سنجش کیفیت رسوب بر اساس وضعیت فلزات سنگین (آهن، روی، مس، منگنز و نیکل) در رسوبات ساحلی بندر بوشهر

زهرا مرادی و عیسی سلگی[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۱۸)

چکیده

رسوبات مخزن انباشت انواع آلاینده‌ها و جزء تفکیک‌ناپذیر اکوسیستم‌ها هستند که از این میان، فلزات سنگین به‌دلیل اثرات زیانبار روی زیست‌بوم‌ها و ماندگاری بسیار زیاد از اهمیت زیادی برخوردارند. پژوهش حاضر به‌منظور تعیین غلظت و درجه آلودگی فلزات آهن، روی، مس، منگنز و نیکل در رسوبات ساحلی بندر بوشهر انجام گرفت. به‌منظور نمونه‌برداری از رسوب در بندر بوشهر، مسافتی به طول ۱۰ کیلومتر در نظر گرفته شد. از روش هضم اسیدی برای آماده‌سازی نمونه‌ها به‌منظور آنالیز فلزات استفاده شد. همچنین ویژگی های فیزیکی رسوب با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه گیری شد. شدت آلودگی فلزات سنگین در رسوبات نیز با استفاده از شاخص‌های درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح‌شده، ضریب آلودگی، ضریب غنی‌شدگی و شاخص‌های مولر تعیین شد. بر اساس نتایج، توزیع فلزات در رسوبات به‌صورت نیکل < مس < روی < منگنز < آهن به‌دست آمد. در مطالعه حاضر به‌دلیل فاصله عسلویه تا بندر بوشهر مقادیر کمتری برای فلز نیکل به‌دست آمد. نتایج شاخص‌های آلودگی ژئوشیمیایی مولر و سایر شاخص‌ها حاکی از آن بود که رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه در وضعیت غیرآلوده قرار دارند. مقایسه میانگین فلزات در رسوبات با استانداردهای کیفیت رسوب نشان داد که غلظت فلزات مطالعه حاضر از سطوح استانداردها کمتر است. در نتیجه نوار ساحلی بندر بوشهر نسبت به فلزات آهن، روی، مس، منگنز و نیکل فاقد آلودگی است. این پژوهش نشان می‌دهد که اگرچه تغییرات کمی در یافته‌های این شاخص‌ها وجود دارد، ترکیب آنها درک جامع‌تری از خطرات فلزات سنگین در رسوبات سطحی بندر بوشهر به ما می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، رسوبات ساحلی، شاخص مولر، ضریب غنی‌شدگی، بندر بوشهر

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

*: مسئول مکاتبات: e.solgi@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

فلزات سنگین به‌دلیل سمیت، پایداری و عدم تجزیه زیستی از مهم‌ترین مشکلات محیط زیست به‌ویژه در اکوسیستم‌های آبی، محسوب می‌شوند. فلزات سنگین عمدتاً از طریق هوازدگی، فرسایش سنگ و فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، رواناب زمینی و دفع فاضلاب وارد سیستم آبی می‌شوند. این فلزات در محیط‌های آبی به‌راحتی می‌توانند در رسوبات تجمع یابند. رسوبات جزئی تفکیک‌ناپذیر از اکوسیستم‌ها هستند و از طریق فازهای آب و رسوب نقش مؤثری در آلودگی یا پالایش آب‌های درگیر با رسوب ایفا می‌کنند و مانند آرشیوی تاریخی، در ثبت فلزات سنگین عمل می‌کنند (۲۷). میزان تجمع فلزات به ساختار شیمیایی رسوبات، نوع ترکیبات موجود در آب، نرخ رسوب‌گذاری عناصر، شرایط فیزیکی و شیمیایی آنها و همچنین ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی آب و غلظت اکسیژن محلول بستگی دارد. درصورتی که مقدار آلودگی رسوبات از مقادیر خاصی تجاوز کند، سبب برهم خوردن تعادل اکوسیستم و زوال آن می‌شود. بررسی مقدار تجمع فلزات در رسوبات امکان نظارت پیوسته بر آلودگی در یک منطقه را میسر می‌کند که از تجزیه و مطالعه آنها می‌توان به‌سهولت مقدار و نوع آلودگی را تشخیص داد و تصمیمات مقتضی را برای کنترل آن اتخاذ کرد (۷).

فعالیت‌های صنایع مستقر در سواحل خلیج فارس طی سال‌های اخیر یکی از مهم‌ترین عوامل ورود آلاینده‌های فلزی به آب‌های این منطقه است. از دیگر منابع آلاینده سواحل خلیج فارس می‌توان به فاضلاب‌های شهری، کشاورزی، صنعتی، استفاده از قایق‌های موتوری، کشتی‌رانی در حاشیه بندر، ورود روغن موتورها به درون رودخانه و تعمیرات لنج اشاره کرد (۲۹).

مؤذنی و همکاران (۲۳) به بررسی غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، مس، سرب و نیکل) در رسوبات سطحی پارک ملی دریایی نای بند، پرداختند. مقایسه نتایج این مطالعه با استاندارد کیفیت جهانی رسوبات (SQGs) نشان داد که رسوبات از نظر کادمیوم و مس در وضعیت غیرآلوده و نیکل و سرب در دامنه آلودگی متوسط قرار دارند.

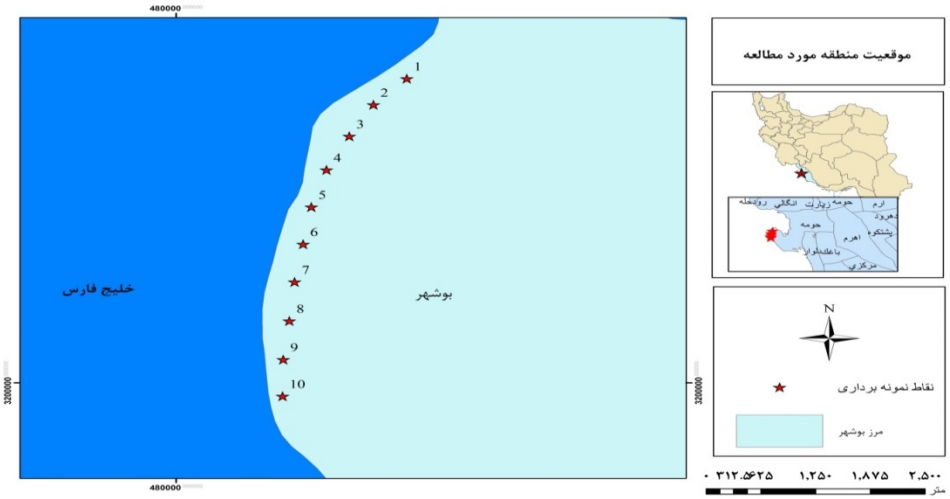
بهادر و همکاران (۳) تأثیر فعالیت‌های انسانی بر غلظت فلزات سنگین (آهن، سرب، روی و نیکل) در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور، بندرعباس را بررسی کردند. نتایج حاصل از فاکتور غنی‌شدگی (EF) نشان‌دهنده تجمع پایین نیکل در رسوبات سطحی منطقه بود. آلگان و همکاران (۱) به محاسبه و ارزیابی خطر بوم‌شناختی با استفاده از فلزات سنگین در رسوبات سطحی خلیج ازمیر پرداختند. طبق نتایج حاصل، مس و نیکل دارای Cf کمتر از یک (غیرآلوده) بودند و کادمیوم، سرب و روی، دارای Cf بین یک و سه بودند و آلودگی متوسط را نشان دادند.

لیو و همکاران (۱۷) غلظت‌های فلزات سنگین در رسوبات سطحی دریاچه شرقی در چین را بررسی کردند. تجزیه‌وتحلیل شاخص ریسک اکولوژیکی بالقوه نشان داد که آرسنیک، کادمیوم و جیوه ریسک اکولوژیکی قابل توجه بالایی دارند. ژائو و همکاران (۳۰) توزیع و آلودگی فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیم، کروم ، مس، جیوه، سرب و روی) در رسوبات سطحی خلیج دایا در چین را بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده کاهش تدریجی توزیع و غلظت فلزات از غرب به شرق بود.

بررسی و پایش وضعیت کیفی رسوبات سواحل با توجه به اهمیت آثار تخریبی فلزات سنگین، از اهم ملاحظات زیست‌محیطی محسوب می‌شود. فلزات سنگین، اغلب تأثیرات قوی و زیان‌آوری دارند. میزان بالای فلزات سنگین در رسوبات ساحلی، به‌علاوه رسوبات ساحلی آلوده اثرات منفی فراوانی در جانداران کفزی و آبی دارد. این اثرات، اهمیت ارزیابی و بررسی تغییرات غلظت فلزات سنگین در محیط‌های ساحلی را آشکار می‌سازد. اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین می‌تواند تصویر واقعی از آلودگی‌های یک محیط را فراهم سازد. بنابراین به‌دلیل ورود آلاینده‌ها از منابع مختلف به سواحل استان بوشهر لازم است بررسی‌های کافی برای مشخص کردن انواع

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. موقعیت نقاط نمونه‌برداری‌شده رسوب در منطقه مورد مطالعه

آلودگی‌ها به‌ویژه فلزات سنگین در منطقه صورت گیرد. این مطالعه با هدف بررسی توزیع و غلظت فلزات سنگین (آهن، روی، مس، منگنز و نیکل) در رسوبات ساحلی بندر بوشهر انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش رسوبات ساحلی سواحل استان بوشهر (اسکله جفره- جلالی) برای تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین به‌وسیله فرایندهای طبیعی و یا فعالیت‌های انسانی بررسی شدند. بندر بوشهر شهری بندری و مرکز استان بوشهر از استان‌های جنوب غربی ایران است که با مختصات °۲۸/۹۵۷۶ شمالی و °۵۰/۸۳۷۱ شرقی در ارتفاع ۱۸ متری از سطح دریا و در منطقه ساحلی خلیج فارس واقع شده و آب‌وهوای نیمه‌بیابانی گرم دارد. به‌منظور نمونه برداری از رسوب در فاصله اسکله جفره- جلالی در بندر بوشهر مسافتی به طول ۱۰ کیلومتر درنظر گرفته شد و در این مسافت ۱۰ ایستگاه انتخاب و نمونه‌های رسوب از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری برداشت شدند. در نمونه‌برداری در محل هر نقطه یک پلات ۱۰×۱۰ متر درنظر گرفته شد و داخل آن نمونه‌ها از چهار گوشه و مرکز برداشت و با هم مخلوط شدند تا یک نمونه مرکب رسوب به‌دست آید. به این ترتیب روی هم رفته از ۱۰ نقطه به روش مرکب نمونه‌برداری شد. رسوبات با استفاده از بیلچه پلاستیکی برداشته شدند و پس از برداشت در کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌کیپ برای انتقال به آزمایشگاه ذخیره شد. از سیستم موقعیت‌یاب GPS برای ثبت مکان نمونه‌ها استفاده شد (شکل ۱).

نمونه‌های رسوب پس از انتقال به آزمایشگاه ابتدا به‌مدت چند روز در دمای اتاق هوا خشک شد. نمونه‌های رسوب خشک‌شده در دو مرحله، یک‌بار با الک دو میلی‌متری و برای به‌دست آوردن جزء کوچک‌تر با الک ۰/۶۳ میکرون عبور داده شد. سپس برخی ویژگی‌های (pH ،EC، بافت و مواد آلی رسوب) با روش‌های استاندارد سنجیده شد. دو گرم از نمونه‌های رسوب عبور داده شده از الک ۰/۶۳ با ترکیب اسیدهای (HNO_3: HCl: $HClO_4$ = ۴:۱۲:۴) در دمای ۱۲۰ در جه سانتی‌گراد به‌مدت شش ساعت در دستگاه هضم‌کننده قرار داده شد و برای اندازه‌گیری فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی مدل Analitical JenaConttra700 به روش شعله استفاده شد (۱۶).

اندازه‌گیری pH و EC خاک

برای اندازه‌گیری pH و Ec ابتدا سوسپانسیونی توسط نسبت ۱:۵ رسوب به آب مقطر تهیه شد. به این ترتیب که پنج گرم رسوب الک شده با اندازه ذرات دو میلی‌متری به ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر

www.SID.ir

Archive of SID

اضافه شد. سپس نمونه‌ها توسط شیکر به‌مدت دو ساعت تکان داده شدند. در نهایت با استفاده از دستگاه‌های pH متر و EC متر، pH و EC نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (۸).

اندازه‌گیری ماده آلی رسوب

برای اندازه‌گیری میزان مواد آلی در نمونه‌ها ۱۰گرم نمونه‌های رسوب خشک و الک‌شده در درون بوته‌چینی ریخته شد و با استفاده از کوره الکتریکی با دمای۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت دو ساعت سوزانده شدند. این روش برمبنای اندازه‌گیری اختلاف وزن نمونه‌های رسوب قبل و بعد از سوزاندن در کوره به‌عنوان میزان ماده آلی موجود در رسوب استوار است (۱۶).

اندازه‌گیری بافت رسوب

در مرحله اول رسوب را از الک دو میلی‌متری عبور داده شد، سپس به‌اندازه ۵۰ گرم از این رسوب الک‌شده وزن شد و داخل ظرف‌های مخصوصی ریخته و مقدار ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آنها اضافه شد. سپس یک گرم پلی‌فسفات سدیم اضافه شد و به‌مدت دو ساعت به‌وسیله شیکر تکان داده شدند. در ادامه نمونه‌ها داخل استوانه یک لیتری با آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده و با همزن به‌مدت یک دقیقه مخلوط شدند. بلافاصله هیدرومتر ۴۸ ثانیه درون استوانه قرار داده و قرائت انجام شد. سپس دماسنج را درون استوانه قرار داده و دمای اولیه قرائت شد. در مرحله بعد نمونه‌ها به‌مدت دو ساعت به حالت ساکن رها و بدون آنکه از همزن استفاده شود با هیدرومتر و دماسنج دمای ثانویه خوانده شد. عدد هیدرومتر تصحیح دمایی شد. بعد از این مرحله با استفاده از روابط زیر درصد رس، سیلست و شن به‌دست آمد و سرانجام بافت رسوب با استفاده از مثلث بافت خاک تعیین شد (۸).

$$\text{درصد شن} = \frac{\text{وزن شن}}{\text{وزن کل خاک خشک}} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

$$\text{درصد سیلت} = \frac{\text{وزن سیلت}}{\text{وزن کل خاک خشک}} \times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

$$\text{درصد رس} = \frac{\text{وزن رس}}{\text{وزن کل خاک خشک}} \times ۱۰۰ \qquad (۳)$$

شاخص‌های انباشتگی فلزات

روش‌های متفاوتی برای تخمین درجه غنی‌شدگی رسوبات توسط فلزات سنگین وجود دارد، چهار شاخصی که در این پژوهش بحث شدند، شامل موارد زیر است:

شاخص Igeo (زمین‌انباشت ژئوشیمیایی، Geoaccumulation index)

این شاخص توسط مولر (۲۰) ارائه شده و بر پایه رابطه مقابل استوار است :

$$Igeo = \log_{۲}(C_n/۱/۵B_n) \qquad (۴)$$

Igeo: شاخص انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی، C_n: غلظت فلز سنگین در رسوب، B_n: غلظت زمینه (غلظت عنصر در شیل)، ضریب ۱/۵ به‌منظور کمینه کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت‌های زمینه منظور شده است. غلظت عناصر در میانگین شیل (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم) برای فلز روی ۹۵، نیکل ۵۰، مس ۴۵ و آهن ۴۷۰۰۰ است. رده Igeo از صفر تا عدد شش طبقه‌بندی شده که به‌ترتیب عدد صفر به وضعیت کاملاً غیرآلوده، و شش آلودگی بسیار شدید تعلق می‌گیرد.

شاخص EF (ضریب غنی‌شدگی، Enrichment factor)

ضریب غنی‌شدگی روش مناسبی برای تفکیک منشأ طبیعی و انسان‌زاد آلودگی است (۲۷). ضریب غنی‌شدگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Ef = (C_M / C_S)_x / (C_M / C_S)_c \qquad (۵)$$

در این رابطه EF ضریب غنی‌شدگی، Cm غلظت عنصر m مورد بررسی، Cs غلظت آهن در نمونه رسوب و مخرج کسر غلظت عناصر در میانگین شیل است (۲۷). مقادیر شاخص ضریب غنی‌شدگی EF عبارت است از: فاقد غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی کم ۲≤؛ تا به‌شدت غنی شده ۴۰≤.

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص ضریب آلودگی (Contamination factor ،Cf)، درجه آلودگی (Enrichment factor ،Cd) و درجه آلودگی اصلاح‌شده (modified degree of contamination ،mCd)

ضریب آلودگی هاکنسون از رابطه زیر به‌دست می‌آید: در این رابطه M_x غلظت عنصر در نمونه و M_b غلظت همان فلز در ماده مرجع (شیل میانگین) است (۱۳). رده‌بندی هاکنسون برمبنای ضریب آلودگی Cf به‌ترتیب زیر است: $Cf \leq 1$ ضریب آلودگی پایین، $1 \leq Cf \leq 3$ ضریب آلودگی متوسط، $3 \leq Cf \leq 6$ آلودگی قابل توجه و $Cf \geq 6$ آلودگی بسیار بالا.

$$Cf = M_x / M_b \qquad (۶)$$

شاخص درجه آلودگی (Cd)

مجموع ضرایب آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه، درجه کلی آلودگی رسوب را بیان می‌کند که به آن درجه آلودگی هاکنسون گفته می‌شود. که در آن Cf فاکتور آلودگی و n تعداد پارامترهای مورد بررسی است. (۱۳). درجه‌بندی آلودگی Cd رسوبات عبارت است از: $Cd \leq 6$ درجه آلودگی پایین تا $Cd \geq 24$ درجه آلودگی بسیار بالا.

$$C_d = \sum_{i=1}^{n} C_f^i \qquad (۷)$$

درجه‌بندی سطح آلودگی رسوبات بر مبنای شاخص mCd نیز به‌صورت روبه‌رو است: $mCd \leq 1/5$ درجه بسیار پایین از آلودگی تا $mCd \geq 32$ آلودگی با درجه خیلی زیاد.

$$mC_d = \sum_{i=1}^{n} C_f^i \Big/ n \qquad (۸)$$

تجزیه‌وتحلیل آماری

برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS 19 و در رسم نمودارها و جداول از نرم‌افزار Excel استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها از طریق آزمون کولموگروف– اسمیرنوف بررسی شد. به‌دلیل نرمال نبودن داده‌ها از آمار غیرپارامتری مناسب استفاده شد. به‌منظور بررسی و وجود ارتباط میان غلظت فلزات سنگین با یکدیگر، از آزمون همبستگی اسپیرمن استفاده شد. همچنین برای مقایسه میانگین داده‌ها و برای مقایسه دو به دو از آزمون من ویتنی یو استفاده شد. پس از آن نتایج با معیارهای استاندارد پیشنهادی سازمان‌های معتبر جهانی، نظیر WHO با آزمون (One- sample t test) مقایسه شد.

نتایج

نتایج غلظت فلزات سنگین و ویژگی‌های رسوب ساحلی در بندر بوشهر

نتایج برخی پارامترهای آماری فلزات سنگین آهن، روی، مس، منگنز و نیکل و نیز ویژگی‌های رسوب ساحلی و نتایج حاصل از آنالیز همبستگی اسپیرمن فلزات سنگین در بندر بوشهر در جدول‌های (۱ و ۲) نشان داده شده است. میانگین غلظت فلزات آهن، روی، مس، منگنز و نیکل در رسوبات به‌ترتیب ۵۴۴/۷۷، ۳۱/۷۸، ۱۵/۹۸، ۲۶۰/۰۳ و ۴/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. جدول (۱) نشان می‌دهد که در رسوبات مورد مطالعه مواد آلی موجود در جزء (بخش یا فرکشن) شن مقادیر (۹۱/۳۵–۶۷/۲۰ درصد) بالایی دارد. این نشان می‌دهد که شن جزء غالب در نمونه‌های جمع‌آوری شده است. افزون بر این، محتوای مواد معدنی کم و از ۰/۲۱ تا ۰/۹۱ درصد متغیر بود. EC نشان می‌دهد که در محدوده ۰/۲ تا ۱۴/۵۲ دسی زیمنس بر متر است.

تجزیه‌وتحلیل همبستگی برای بررسی روابط میان فلزات سنگین و ویژگی‌های رسوب، استفاده شد (جدول ۲). بر اساس نتایج این جدول بین فلز آهن و روی، فلز آهن و مس و بین فلز نیکل و منگنز همبستگی مثبت در سطح ۰/۰۵ و بین فلز مس و روی همبستگی مثبت در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. این همبستگی‌ها نشان از مشابه بودن عوامل حاکم بر رفتار شیمیایی این فلزات و یا منشأ مشترک این فلزات است (۱۱).

مقایسه میانگین فلزات سنگین در رسوبات بندر بوشهر با استانداردهای کیفیت رسوب نیز در جدول (۳) نشان داده شده است که بر اساس آن غلظت فلزات مطالعه حاضر از سطوح استانداردها کمتر است. این استانداردها شامل استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)، استاندارد کیفیت

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. آماره‌های توصیفی غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و ویژگی‌های (ماده آلی (درصد)، EC (دسی‌زیمنس بر متر)، رس، سیلت و شن (درصد)) رسوب ساحلی در بندر بوشهر

متغیر	تعداد	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
آهن	۱۰	۱۷۴/۵۰	۹۴۵/۷۵	۵۴۴/۷۷	۲۷۲/۵۹	-۰/۰۸	-۱/۲۰
روی	۱۰	۴/۳۳	۶۴/۹۷	۳۱/۷۸	۱۷/۳۷	۰/۳۲	۰/۳۲
مس	۱۰	۴/۵۴	۳۸/۶۶	۱۵/۹۸	۱۰/۸۱	۱/۱۵	۰/۶۸
منگنز	۱۰	۱۹۴/۱۲	۳۳۶/۱۲	۲۶۰/۰۳	۴۸/۱۰	-۰/۰۳	-۱/۲۹
نیکل	۱۰	۳/۴۷	۶/۵۲	۴/۸۹	۱/۰۵	۰/۲۵	-۱/۲۱
رس	۱۰	۷/۲۰	۱۱/۳۰	۹/۰۴	۱/۴۶	۰/۱۴	-۰/۷۷
سیلت	۱۰	۰/۰۱	۲۵/۵۰	۵/۷۸	۷/۶۸	۲/۲۲	۵/۳۳
شن	۱۰	۶۷/۲۰	۹۱/۳۵	۸۵/۱۰	۷/۴۵	-۱/۸۶	۳/۴۱
EC	۱۰	۰/۶۱	۱۴/۵۲	۶/۴۷	۴/۷۰	۰/۹۱	-۰/۰۰۴
pH	۱۰	۵/۸۳	۹/۷۴	۶/۴۵	۱/۱۷	۳/۰۱	۹/۲۹
موادآلی	۱۰	۰/۲۱	۰/۹۳	۰/۴۹	۰/۲۳	۰/۹۸	۰/۱۸

جدول ۲. آزمون همبستگی اسپیرمن بین فلزات سنگین و ویژگی‌های رسوب ساحلی بندر بوشهر

	هدایت الکتریکی	pH	مواد آلی	سیلت	رس	شن	آهن	روی	مس	منگنز	نیکل
هدایت الکتریکی	۱										
pH	۰/۰۸	۱									
مواد آلی	۰/۶۹*	-۰/۰۳	۱								
سیلت	۰/۵۲	-۰/۰۸	۰/۴۴	۱							
رس	-۰/۳۴	۰/۴۵	-۰/۱۷	۰/۰۳	۱						
شن	-۰/۴	۰/۰۱	-۰/۴۴	-۰/۹۶**	-۰/۲۱	۱					
آهن	-۰/۱۲	-۰/۳۸	-۰/۴	-۰/۲۸	۰/۰۵	۰/۲۴	۱				
روی	۰/۰۶	-۰/۴۱	-۰/۲۸	-۰/۳۷	-۰/۴۱	۰/۴۵	۰/۷۳*	۱			
مس	-۰/۱	-۰/۳۷	-۰/۴	-۰/۲۸	-۰/۳۹	۰/۳۲	۰/۶*	۰/۸۷**	۱		
منگنز	-۰/۳۵	-۰/۴۲	-۰/۴۱	۰/۳	-۰/۰۵	-۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۱۱	۰/۳۳	۱	
نیکل	-۰/۷۲*	-۰/۵۵	-۰/۳۲	-۰/۰۶	۰/۱۲	-۰/۰۴	۰/۱۶	-۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۶۷*	۱

**: همبستگی درسطح ۰/۰۱ معنی‌دار و *: همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

رسوب کانادا (ISQGs) و نیویورک هستند. در کیفیت رسوب NOAA دو خطر برای آلودگی فلزات سنگین بیان شده است که به صورت ERL (حدی است که کمتر از ۱۱ درصد جوامع بیولوژیک در خطر را نشان می‌دهد) و ERM (حدی است که کمتر از ۹۱ درصد جوامع بیولوژیک در خطر را نشان می‌دهد)، ارائه شده است. PEL (سطوحی که موجب اثرات زیان‌آور می‌شود) توسط محیط زیست کانادا تعیین شده است (۱۹).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوب با استاندارد کیفیت رسوب آمریکا و کانادا برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

فلز	کیفیت رسوب آمریکا		کیفیت رسوب کانادا		کیفیت رسوب نیویورک		رسوبات ساحلی بندر بوشهر
	NOAA[1]						
	ERL[2]	ERM[3]	ISQGs[4]	PEL[5]	Lowest Effects[6]	Sever Effects[7]	
					range	range	
آهن	–	–	–	–	–	–	۵۴۴/۷۷
مس	۳۴	۲۷۰	۳۵/۷	۱۹۷	۱۶	۱۱۰	۱۵/۹۸
روی	۱۵۰	۴۱۰	۱۲۳	۳۱۵	۱۲۰	۲۷۰	۳۱/۷۸
منگنز	–	–	–	–	–	–	۲۶۰/۰۳
نیکل	۵۱/۶	۲۰/۹	۱۶	۷۵	۱۶	۵۰	۴/۸۹

۱: National Oceanic and Atmospheric Administration سازمان ملی اقیانوس و جو آمریکا، ۲: Effect Range Low کمترین اثر مضر، ۳: Effect Range Medium اثر مضرمتوسط، ۴: Interim Sediment Quality Guideline استاندارد کیفیت رسوب کانادا، ۵: Probable Effect Level حدی که موجب اثرات زیان آور می‌شود، ۶: The Lowest Effect range پایین‌ترین سطح اثر و ۷: The Sever Effect range شدیدترین سطح اثر

یافته‌های شاخص‌های محیط زیستی

مقادیر متوسط شاخص ژئوشیمیایی مولر، شاخص ضریب غنی‌شدگی و شاخص آلودگی) فلزات سنگین (آهن، روی، مس، منگنز و نیکل) و مقادیر متوسط شاخص درجه آلودگی و شاخص بار آلودگی اصلاح‌شده فلزات در جدول (۴) نشان داده شده است. با توجه به جدول مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر در تمام ایستگاه‌ها منفی است. مقادیر شاخص EF ($EF \leq ۲$) فاقد غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی کم فلزات را نشان داد. مقادیر شاخص Cf ($Cf \leq ۱$) برای فلزات آهن، روی مس و منگنز آلودگی پایین و برای فلز نیکل آلودگی متوسط را در منطقه نشان داد. مقادیر شاخص Cd ($Cd \leq ۶$) درجه آلودگی پایین و مقادیر شاخص mCd ($mCd \leq ۱/۵$) درجه بسیار پایین از آلودگی را نشان داد.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی میزان تجمع فلزات سنگین در رسوبات ساحلی بندر بوشهر نشان داد که توزیع فلزات سنگین در رسوبات به‌صورت نیکل < مس < روی < منگنز < آهن است. آهن (با میانگین غلظت ۵۴۴/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) و نیکل (با میانگین غلظت ۴/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) به‌ترتیب بیشترین و کمترین غلظت را در نمونه‌های رسوب دارا بودند. کمتر بودن میزان فلز نیکل در مطالعه حاضر نسبت به سایر پژوهش‌ها (جدول ۵) به‌دلیل فاصله صنایع پتروشیمی با بندر بوشهر و وجود صنایع پتروشیمی در عسلویه است، به‌دلیل فاصله عسلویه تا بندر بوشهر در مطالعه حاضر مقادیر کمتری برای فلز نیکل به‌دست آمد. مقایسه مقادیر میانگین فلزات سنگین (آهن، روی، مس، منگنز و نیکل) در رسوبات مناطق مختلف جهان با مقادیر میانگین این فلزات در رسوبات ساحلی بندر بوشهر در جدول (۵) نشان داده شده است. درباره آهن در بین مواردی که فلز آهن را اندازه‌گیری کرده‌اند، مقادیر میانگین غلظت آن در مطالعه حاضر از مقادیر مطالعه انجام شده در رودخانه شفارود گیلان (۱۵) بیشتر است. میانگین فلز منگنز در مطالعه حاضر از مقادیر مطالعه انجام شده در رودخانه شفارود (۱۵) و مقادیر مطالعه خورموسی در خلیج فارس (۲۹) کمتر است. میزان اندازه‌گیری شده روی و مس در این مطالعه از میزان این فلزات در رسوبات رودخانه شفارود (۱۵) و از میزان گزارش شده در خور موسی در خلیج فارس کمتر (۲۹) و از سایر نقاط در جزیره هرمز (۱۰) بیشتر است. این مطالعات

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. نتایج مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر (Igeo)، شاخص ضریب غنی‌شدگی (EF)، شاخص آلودگی (Cf) و مقادیر شاخص درجه آلودگی (Cd) و شاخص بار آلودگی اصلاح‌شده (mC_d) مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات ساحلی بندر بوشهر

	شاخص‌ها / فلزات	Igeo	EF	Cf	Cd	mC_d
کمترین	آهن	−۸/۶۵	–	۰/۰۰۳		
	روی	−۵/۰۴	۰/۱۲	۰/۰۴		
	مس	−۳/۸۹	۰/۰۹	۰/۱	۱/۳۷	۰/۲۷
	منگنز	−۲/۷۱	۰/۱۷	۰/۲۲		
	نیکل	−۰/۷۹	۰/۱	۰/۸۶		
بیشترین	آهن	−۶/۲۲	–	۰/۰۲		
	روی	−۱/۱۳	۰/۶۱	۰/۶۸		
	مس	−۰/۸	۰/۵۷	۰/۸۵	۳/۲۶	۰/۶۵
	منگنز	−۱/۹۲	۰/۹۲	۰/۳۹		
	نیکل	۰/۱۱	۰/۹۷	۱/۶۲		
میانگین	آهن	−۷/۲۲	۱	۰/۰۱۱		
	روی	−۲/۴۴	۰/۳۰	۰/۳۲		
	مس	−۲/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۵	۲/۲۲	۰/۴۴
	منگنز	−۲/۳۱	۰/۳۵	۰/۲۹		
	نیکل	−۰/۳۲	۰/۵۷	۱/۲۱		

آبشویی ساحل را از عوامل مؤثر در افزایش غلظت فلزات مس و روی گزارش کرده‌اند. با توجه به اینکه دو فلز آهن و منگنز مقادیر بیشتری نسبت به سایر فلزات در منطقه مورد مطالعه داشتند، از این‌رو نیازمند توجهات بیشتری به آلودگی‌های ناشی از این دو فلز است، اگرچه نباید نسبت به افزایش غلظت و آلودگی‌های احتمالی سایر فلزات در آینده غافل شد.

بر اساس نتایج حاصل از آنالیز همبستگی اسپیرمن، همبستگی آهن و منگنز با فلزات سنگین زیاد است که حاکی از جذب سطحی این عناصر توسط هیدروکسیدهای آهن و منگنز است. همبستگی میان روی با آهن حاکی از انتقال روی به‌وسیله جذب با اکسید آهن آبدار است. منگنز عنصری متحرک در شرایط احیایی است و تقریباً با هیچ‌یک از فلزات سنگین ارتباطی ندارد با وجود این در این مطالعه با نیکل همبستگی دارد. عناصر منیزیم و آهن عموماً از فرسایش فیزیکوشیمیایی سنگ مادر، یا رسوب وجود می‌آیند و همبستگی فلزات سنگین با این عناصر نشانگر منشأ طبیعی فلزات سنگین است (۱۰). فرناندز و همکاران (۶) نشان دادند که میزان کل مس رسوبات همبستگی مثبتی با میزان مواد آلی دارد. ضریب همبستگی معنی‌دار مثبت بین فلز نیکل و pH نشان داد که pH توزیع این فلز را در رسوبات بندر بوشهر تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و نشان‌دهنده کنترل‌شدن غلظت فلزات سنگین توسط اندازه ذرات است. بین مواد آلی و pH همبستگی مثبت در سطح ۰/۰۵ و بین شن و سیلت همبستگی مثبت در سطح ۰/۰۱ وجود داشت.

میانگین مواد آلی، EC و pH در رسوبات اسکله جفره– جلالی در بندر بوشهر به‌ترتیب ۰/۴، ۶/۴۷، ۶/۴۵ به‌دست آمد. با توجه به اینکه pH در رسوب سواحل بندر بوشهر با میانگین ۶/۴۵ به‌دست آمده که با توجه به اینکه pH پایین‌تر از هفت است رسوب سواحل بوشهر دارای وضعیت اسیدی است. مقادیر pH

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۵. مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات بندر بوشهر با سایر مطالعات (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

محدوده مطالعاتی	آهن	روی	مس	منگنز	نیکل	منبع
سواحل امارات	–	–	۵۸/۴۳	–	۱۵/۵۰	(۴)
خلیج سانفرانسیسکو، آمریکا	–	۶۰	–	–	۳۳	(۱۸)
پنینسولار، مالزی	–	۴۵	–	–	۲۲/۹	(۲۴)
رودخانه شفارود	۲/۴۱	۵۹	۳۵/۲۵	۵۰۳/۵	۵۰/۷۵	(۱۵)
خور موسی، خلیج فارس	–	۹۳	۲۲	۳۵۱	۶۲	(۲۹)
جزیره هرمز	–	۲۷/۷۷	۶/۴۴	–	۳۷/۱۱	(۱۰)
بندر بوشهر	۵۴۴/۷۷	۳۱/۷۸	۱۵/۹۸	۲۶۰/۰۳	۴/۸۹	مطالعه حاضر

داده‌ها بر اساس وزن خشک هستند.

در حلالیت فلزات سنگین در آب و رسوبات بسیار مؤثر است. در واقع با افزایش pH، جذب و ته‌نشینی فلزات در محیط بیشتر می‌شود و با کاهش آن پیوند بین فلزات ضعیف می‌شود و این امر مانع نگهداری فلزات توسط رسوبات می‌شود. میانگین ۰/۴ برای مواد آلی میزان کمی است که علت آن شاید آبشویی زیاد سطح رسوب و شسته شدن عناصر غذایی باشد. مواد آلی ظرفیت نگهداری ویژه‌ای برای فلزات سنگین دارند. مقادیر بالاتر مواد آلی رسوبات در درجه اول به حضور نسبتاً بیشتری از مواد آلی حاصل از زمین‌های زراعی، رواناب‌های کشاورزی، پسماندهای خانگی و پساب‌های صنعتی مربوط است (۲۰). نتایج بافت رسوب نشان داد که بافت رسوب اسکله جفره– جلالی در بندر بوشهر در بیشتر ایستگاه‌ها شنی و شنی– لومی است. ذرات شن با ۹۰–۶۰ درصد قسمت اعظم رسوب را به خود اختصاص داده‌اند. درنتیجه بافت خاک سبک است. هرچه بافت خاک سبک‌تر باشند میزان نفوذپذیری فلزات سنگین در خاک افزایش می‌یابد. دانه‌بندی رسوبات فاکتور مهمی برای ارزیابی میزان آلودگی آنها به فلزات سنگین است (۲). دولینگ و همکاران (۵) گزارش کردند که افزایش شوری موجب افزایش زیست‌فراهمی و افزایش آبشویی فلز در رسوبات است. به‌طور کلی رسوبات با درصد رس بیشتر دارای فلزات سنگین کل بیشتری هستند. آکوستا و همکاران (۲) اظهار داشتند که غلظت عناصر فلزی در خاک‌ها با کاهش اندازه ذرات خاک، افزایش پیدا می‌کنند.

یافته‌های مقایسه متوسط فلزات سنگین در رسوب سواحل بوشهر با حدود استانداردهای کیفیت رسوب نشان داد که غلظت فلز مس، روی و نیکل در رسوبات منطقه مورد مطالعه از سطوح استانداردهای کیفیت رسوب آمریکا (ERL (NOAA) و ERM)، استاندارد کیفیت رسوب کانادا (ISQGs و PEL) و استاندارد کیفیت رسوب نیویورک (پایین‌ترین سطح اثر و شدیدترین حد اثر) کمتر است. بنابراین میزان آنها در محیط از لحاظ آلودگی بی‌خطر تلقی می‌شود. در مطالعه قنادپور و همکاران (۱۲) میانگین غلظت فلزات در رسوبات منطقه اروند و بهمنشیر از استانداردهای محیط زیست کانادا و کیفیت رسوب آمریکا پایین‌تر بوده است. طبق مطالعه حاضر میزان روی و نیکل از استانداردهای جهانی کمتر است. در پژوهش صورت گرفته توسط میرزایی و سلگی (۲۲) و مطالعه طباطبایی و ذهب صنیعی (۲۸) نیز میزان روی و نیکل از استانداردهای جهانی کمتر بود. در مطالعه هوشلا و همکاران (۱۴) غلظت فلزات سنگین مس و روی بالاتر از حد مجاز استانداردهای جهانی گزارش شد.

نتایج شاخص‌های آلودگی ژئوشیمیایی مولر در جدول (۴) حاکی از آن بود که فلزات مورد مطالعه در رسوبات سطحی منطقه در وضعیت غیرآلوده قرار دارند. موافق با یافته‌های پژوهش حاضر محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر در مطالعه کرباسی و همکاران در رسوبات رودخانه شفارود (۱۵) نیز مؤید

www.SID.ir

Archive of SID

این امر بود و خروجی محاسبات این شاخص، شدت آلودگی عناصر منگنز، نیکل، مس، روی و آهن را در رده غیرآلوده نشان داد. مطالعه رابین و همکاران (۲۵) در قسمت جنوب غربی اقیانوس هند بیانگر این بود که به‌طور تقریبی در تمام ایستگاه‌ها غلظت فلزات کمتر از حد مرزی سمیت بودند.

با توجه به جدول (۴) و نتایج محاسبه شده رسوبات ساحلی بندر بوشهر نسبت به عناصر مس، روی، منگنز، نیکل داری غنی‌شدگی ضعیفی است. در میان فلزات سنگین مورد بررسی، فلز نیکل روند سریع‌تری نسبت به سایر فلزات برای غنی‌شدن در رسوبات طی می‌کند. تفاوت در مقادیر ضریب غنی‌شدگی می‌تواند ناشی از اختلاف در میزان ورودی این فلز در رسوبات و یا اختلاف در میزان انتقال فلز در رسوبات باشد. علاوه‌بر این، می‌توان آلودگی‌های فاضلاب شهری و نیز آلودگی‌های ایجاد شده در اثر تخلیه و بارگیری عناصر در اسکله‌ها را نیز اضافه کرد که توسط جریان‌های دریایی به‌طرف منطقه مطالعاتی انتقال می‌یابند (۳).

در مجموع درجات متفاوت غنی‌شدگی عناصر را می‌توان به تأثیر عوامل انسانی علاوه بر منشأ طبیعی آنها نسبت داد. غضبان و خوش‌اقبال (۱۱) نشان دادند که عنصر روی در تمام بخش‌ها و نیکل در بیشتر بخش‌های تالاب دارای غنی‌شدگی ضعیف هستند که با یافته‌های این مطالعه همخوانی دارد. نتایج به‌دست آمده از مطالعه واعظی و همکاران (۲۹) نشان‌دهنده نسبت بالای فاکتور تجمع برای فلزات روی، نیکل، منگنز و مس آلودگی بود.

با توجه به جدول (۴) و نتایج محاسبه‌شده ضریب آلودگی برای عناصر بر اساس رده‌بندی هاکنسون (۱۳) عناصر آهن، روی، مس و منگنز از ضریب آلودگی پایینی و عنصر نیکل از ضریب آلودگی متوسطی در منطقه برخوردار هستند. درباره نیکل احتمالاً منابع نفتی در افزایش آن نقش داشته باشد، زیرا نیکل شاخص آلودگی نفتی است. با توجه به طبقه‌بندی ابراهیم مقدار mC_d در تمام ایستگاه‌ها در رده اول و خوشبختانه دارای وضعیت غیرآلوده تا آلودگی بسیار اندک هستند. در بررسی رسوبات کارون فاکتور آلودگی برای تمام فلزات بین $1 < Cf < 3$ به‌دست آمد که نشان‌دهنده آلودگی متوسط رسوبات رودخانه است. همین‌طور درجه آلودگی برای تمامی ایستگاه‌ها در اندازه متوسط است (۲۶). در مطالعه‌ای در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور وضعیت آلودگی فلزات نیکل، روی، و آهن، بررسی شد. نتایج حاصل از EF نشان‌دهنده تجمع پایین نیکل در رسوبات سطحی منطقه بود و روی در ایستگاه‌های مختلف دارای درجات متفاوت غنی‌شدگی است، که آن را می‌توان به تأثیر عوامل انسانی علاوه‌بر منشأ طبیعی آن نسبت داد (۳). غلام دخت‌بندری و رضایی (۱۰) با محاسبه شاخص‌های فاکتور آلودگی در رسوبات ساحلی جزیره هرمز نشان دادند که نوار ساحلی جزیره هرمز نسبت به عناصر نیکل، روی و مس فاقد آلودگی است. نتایج به‌دست آمده از رسوبات ساحلی بندر بوشهر با استانداردهای جهانی نشان داد که میزان عناصر مورد مطالعه در رسوبات منطقه به‌دلیل فاصله بندر بوشهر تا عسلویه در حد خطرناک و بحرانی نیست اما بایستی پیش از آنکه به تهدیدی جدی برای سلامت محیط زیست و موجودات منطقه تبدیل شوند، با اقدامات پیشگیرانه، مدیریت و نظارت صحیح از افزایش این آلاینده‌ها جلوگیری کرد. با توجه به موقعیت شهر بوشهر و نظر به توسعه منطقه اتخاذ راهکارهای مناسب برای کاهش آلاینده‌ها به‌ویژه برای فلز نیکل، ضروری است. نتیجه پژوهش حاضر می‌تواند مبنایی برای مقایسه غلظت این عناصر در آینده باشد. پیشنهاد می‌شود که اندازه‌گیری غلظت این عناصر در منطقه به‌طور متوالی انجام شود زیرا ممکن است در آینده میزان آلودگی در منطقه افزایش یابد. آلودگی ناشی از فعالیت‌های فعلی پالایشگاه‌ها و کارخانه‌های پتروشیمی در محدوده خلیج فارس، ضرورت انجام پژوهش‌های بیشتر برای بررسی فلزاتی مانند نیکل را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع مورد استفاده

1. Algan, A. O., M. N. Cagtay, H. Z. Sarikaya, N. Balkis and E. Sari. 1999. Pollution monitoring using marinesediment: A case study on the Istanbul metropolation Area. *Turkish Journal of Engineering and Environment Science* 29: 285-291.
2. Acosta, J. A., A. Faz Cano, J. M. Arocena, F. Debela andS.Martínez-Martínez. 2009. Distribution of metals in soil particle size fractions and its implication to risk assessment of playgrounds in Murcia City (Spain). *Geoderma* 149: 101-109.
3. Bahador, M., A. Moradi, A. Naji and M. Dehghani. 2015. Anthropogenicimpacts on heavy metals (Pb, Ni, Zn and Fe) concentration in surface sediments of Shoor River Estuary, Bandar Abbas. *Journal of Aquatic Ecology* 5(2): 38-48.
4. De Mora, S., S. W. Fowler, E. Wyse and S. Azemard. 2004.Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the gulf and gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin* 49(5): 410-24.
5. Du Laing, G., R. De Vos, B. Vandecasteele, E. Lesage, F. M. G. Tack and M. G. Verloo. 2008. Effect of salinity on heavy metal mobility and availability in intertidal sediments of the Scheldt estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 77: 4. 569-602.
6. Fernandez-Calvino, D., J. A. Rodriguez-Suarez, E. Lopez-Periago, M. Arias-Estevez and J. Simal-Gandara. 2008. Copper content of soils and river sediments in a winegrowing area, and its distribution among soil or sediment component. *Geoderma* 145: 91-97.
7. Förstner, U. and G. T. W. Wittmann. 1981. Metal Pollution in the Aquatic Environment (2nd rev ed.): Springer. Berlin
8. Rhoades. J. D., F. Chanduvi and S. Lesch. 1999. Soil Salinity Assessment, Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurements. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
9. Farkas. A., C. Erratico and L. Vigano. 2007. Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po.*Chemosphere* 68(4): 761–768.
10. Gholam Dokht Bandari, M. and P. Rezaie. 2015. Study of some heavy metal pollutions in the hormuz islands coastal sediments and their Origin. *Journal of Oceanography* 6(22): 97-106.
11. Ghazban, F. and Z. Zare Khosh Eghbal. 2011. Source of heavy metal pollutions in the sediments of the Anzali wetland in northern Iran. *Journal of Environmental Studies* 37(57): 1-12.
12. Ganadpour, J., A. Zand Moghadam and A. Safavieh.2011. Accumulation of heavy metals of lead, zinc, nickel, and cadmium in *Typha latifolia* plant and Arvand and Bahmanshir sediments in winter. *Journal of Wetland Ecobiology* 2(5): 29-36.
13. Hakanson, L. 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Research* 14: 975-1001.
14. Hochella M. F., J. N. Moore, C. V. Putnis, A. Putnis, T. Kasama and D. D. Eberl. 2005. Direct observation of heavy metal-mineral association from the Clark Fork River Superfund Complex: Implications for metal transport and bioavailability.*Geochemical et Cosmochimical Acts* 69(7): 1651-63.
15. Karbasi, A., A. Bayati and G. H. Nabi Biddeni. 2006. Investigation of pollution intensity of heavy elements in Shefarood River sediments. *Journal of Environmental Studies* 32 (39):41-48.
16. Kakulu, S. E. and J. Jacob. 2006. Comparison of digestion methods for trace metal Determination in moss samples. *In:* Proceeding of the 1st National Conference the Faculty Science, University of Abujapp.
17. Liu, M., Y. Yang, X. Yun, M. Zhang, Q. X. Li and J. Wang. 2014. Distribution and ecological assessment of heavy metals in surface sediments of the East Lake, China. *Ecotoxicology* 23(1): 92-101.
18. Lu, X.Q., I. Werner and T. M. Young. 2005. Geochemistry and bioavailability of metals in sediments from northern San Francisco Bay. *Environmental International* 31: 593–602.
19. Long, E. R., D. D. MacDonald, S. L. Smith and E. D. Calder. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19: 81-97.
20. Müller, G. 1969. Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River. *Geojournal* 2: 108-118.
21. Marathe, R. B., Y. V. Marathe and C. P. Sawant. 2011. Sediment characteristics of Tapti River, Maharashtra ,India, *International Journal of ChemTech Research* 3(3): 1179-1183.
22. Mirzaei, M. and E. Solgi. 2015. Evaluation of heavy metals concentration (cadmium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) in sediments of Zayandehrood River. *Journal of Research in Environmental Health* 1(4): 251-165.
23. Moazeni, M., S. Hayeripour, M. Mohamadi and H. Foladi. 2013. Study of some heavy metals consentation (Cd, Cu, Pb, Ni) in surface sediments of the Naiband national park, Persian Gulf, Iran. *Journal of Wetland Ecobiology* 5(15): 23-32.
24. Rezaee, K., E. B. Saion, C. K. Yap, M. R. Abdi and A. Riyahi Bakhtiari. 2010. Vertical distribution of heavy metals and enrichment in the South China Sea sediment cores. *International Journal of Environment Research* 4(4): 877-886.
25. Robin, R. S., P. R. Muduli, K. V. Vardhan, D. Ganguly, K. R. Abhilash and T. Balasubramanian. 2012. Heavy metal contamination and risk assessment in th e marine environment of arabian sea, along the southwest coast of India.

www.SID.ir

American Journal of Chemistry 2(4): 191-208.
26. Rastmanesh, F., A. Zaraswandi and F. Muslem. 2015. Evaluation of heavy metals pollution in surface sediments of Karun River in Ahvaz city. *Journal of Advanced Applied Geology* 5(17): 11-22.
27. Sutherland, R. A. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream Oahu, Hawaii, *Environmental Geology* 39: 611-627.
28. Tabatabai, J. and A. ZahabSaniee. 2010. Evaluation of toxic heavy metals and variations in the Zayandehroud River. *In:* Proceeding of the Iranian Water Conference, Clean Water, Power and Water University of Technology, Tehran.
29. Vaezi, A ., A. Karbassi, M. Fakhraee, A. Valikhani Samani and M. Heidari. 2014. Assessment of sources and concentration of metal contaminants in marine sediments of musa estuary, persian gulf. *Journal of Environmental Studies* 40(2): 345-360.
30. Zhao, G., S. Ye, H. Yuan, X. Ding and J. Wang. 2016. Distribution and contamination of heavy metals in surface sediments of the Daya Bay and adjacent shelf, China. *Journal homepage Marine Pollution Bulletin* 112: 420-426.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science
Vol. 23, Winter 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Measurment of Sediment Quality According to Heavy Metals (Fe, Zn, Cu, Mn, Ni) Status in Sediments: The Coastal Sediments of Bushehr Port

Z. Moradi and E. Solgi*[1]

(Received: November 21-2018 ; Accepted: June 8-2019)

Abstract

Sediments are the sink where various contaminants accumulate; they are an inseparable component of ecosystems; among heavy metals are very important because of their harmful effects on the ecosystems and their long extremely long persistency. The present study was conducted to determine the concentration and contamination degree of heavy metals (Iron, Zinc, Copper, Manganese and Nickel) in the coastal sediments of Bushehr Port. In order to sampling sediments, a distance of 10 km was considered. Acid digestion method was used to prepare the samples for metal analysis. Also, the physical properties of the sediments were measured using the standard methods. The metal enrichment and contamination status in the sediments were determined using the contamination degree (Cd), the modified degree of contamination (mCd), the contamination factor (CF), the enrichment factor (EF), and the geoaccumulation index (Igeo). Based on the results, the distribution of heavy metals in sediments were obtained as Ni Fe> Mn > Zn > Cu >. In the present study, due to the distance between Asalouyeh and Bushehr port, a low nickel concentration was obtained. The results of Igeo and other indices showed that the surface sediments of the study were uncontaminated. Comparison of heavy metals in Bushehr Port sediments with sediment quality standards showed that the concentration of metals in this study was less than the standard levels. As a result, the Coastline of Bushehr port was not contaminatied with iron, zinc, copper, manganese, and nickel metals. The study, therefore, indicated that although there were slight changes in these indices, the combination of the indices could give us a comprehensive cognition of heavy metals risks in the surface sediments of the Bushehr Port.

Keywords: Heavy metals, Coastal sediments, Muller index, Enrichment coefficient, Bushehr port

1. Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.
*: Corresponding author: e.solgi@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science
Vol. 23, Winter 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Measurment of Sediment Quality According to Heavy Metals (Fe, Zn, Cu, Mn, Ni) Status in Sediments: The Coastal Sediments of Bushehr Port

Z. Moradi and E. Solgi*[1]

(Received: November 21-2018 ; Accepted: June 8-2019)

Abstract

Sediments are the sink where various contaminants accumulate; they are an inseparable component of ecosystems; among heavy metals are very important because of their harmful effects on the ecosystems and their long extremely long persistency. The present study was conducted to determine the concentration and contamination degree of heavy metals (Iron, Zinc, Copper, Manganese and Nickel) in the coastal sediments of Bushehr Port. In order to sampling sediments, a distance of 10 km was considered. Acid digestion method was used to prepare the samples for metal analysis. Also, the physical properties of the sediments were measured using the standard methods. The metal enrichment and contamination status in the sediments were determined using the contamination degree (Cd), the modified degree of contamination (mCd), the contamination factor (CF), the enrichment factor (EF), and the geoaccumulation index (Igeo). Based on the results, the distribution of heavy metals in sediments were obtained as Ni Fe> Mn > Zn > Cu >. In the present study, due to the distance between Asalouyeh and Bushehr port, a low nickel concentration was obtained. The results of Igeo and other indices showed that the surface sediments of the study were uncontaminated. Comparison of heavy metals in Bushehr Port sediments with sediment quality standards showed that the concentration of metals in this study was less than the standard levels. As a result, the Coastline of Bushehr port was not contaminatied with iron, zinc, copper, manganese, and nickel metals. The study, therefore, indicated that although there were slight changes in these indices, the combination of the indices could give us a comprehensive cognition of heavy metals risks in the surface sediments of the Bushehr Port.

Keywords: Heavy metals, Coastal sediments, Muller index, Enrichment coefficient, Bushehr port

1. Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.
*: Corresponding author: e.solgi@yahoo.com

www.SID.ir