ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی شهر بندرعباس

صابر قاسمی[۱*]، غلامرضا زارعی[۲]

۱*- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس، ایران

۲- اداره کل حفاظت محیط زیست استان هرمزگان، بندرعباس، ایران.

*ایمیل نویسنده مسئول: saberghasemi@gmail.com

تاریخ دریافت : ۱۴۰۰/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش :۱۴۰۰/۰۴/۰۸

چکیده

هدف از اجرای این تحقیق، ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی مناطق مستعد گردشگری در سطح شهر بندرعباس است. برای تعیین نقاط نمونه‌برداری از روش سیستماتیک طبقه‌بندی تصادفی استفاده شد. بدین ترتیب ۵ ایستگاه مستعد گردشگری در طول نوار ساحلی شهر بندرعباس شامل سواحل شیلات، گورسوزان، پشت شهر، سورو و هدیش به‌طور تصادفی و به‌نحوی‌که کل نوار ساحلی شهر را پوشش دهد انتخاب و به‌صورت نقطه‌ای نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری در بهار سال ۱۳۹۹، در زمان جزر کامل و تقریباً همه‌روزه بین ساعت ۱۰ تا ۱۵ انجام شد. هضم اسیدی نمونه ها انجام گردید و بعد ازصاف نمودن آنها با استفاده از محلول های کالیبراسیون غلظت هریک از عناصر فلزات توسط دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد. کیفیت رسوبات با استفاده از سنجه‌های آلودگی و سنجه ارزیابی ریسک اکولوژیکی ارزیابی شد. بر اساس نتایج تحقیق، میانگین غلظت عناصر سنگین شامل سرب (pb)، مس (Cu)، نیکل (Ni)، کادمیوم (Cd)، روی (Zn) و آهن (Fe) در رسوبات سواحل شهر بندرعباس به ترتیب ۴۶/۷۵±۵/۷۵، ۱۷/۷۵±۱/۵۲، ۶۲/۴۲±۴/۵۱، ۰/۱۳±۲/۹۷، ۴۶/۰۹±۴/۵۶ و ۹۹۴۴/۴۰±۱۴۶۳/۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسوب به دست آمد. نتایج تحقیق نشان می دهد که توالی غلظت کلی فلزات سنگین در رسوبات سواحل شهر بندرعباس به‌قرار $Fe > Ni > pb > Zn > Cu > Cd$ است. بر مبنای سنجه ژئوشیمیایی مولر، میزان سرب در ایستگاه هدیش در محدوده ۱-۰ (غیر آلوده تا متوسط) و در سایر ایستگاه‌ها در محدوده ($0 \geq$ غیر آلوده) قرار دارد. ارزیابی کیفیت رسوبات سواحل شهر بندرعباس نشان داد که مقدار درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd) مقدار سنجه در کلیه موارد به‌جز گورسوزان کمتر از ۱/۵ محاسبه‌شده و وضعیت بندی آلودگی رسوب درجه بسیار پایین از آلودگی برآورد می‌گردد. درمجموع پتانسیل ریسک اکولوژیکی سواحل شهر بندرعباس ۳۱۵/۵ محاسبه گردید که در محدوده خطربالقوه بوم شناختی قابل‌قبول ($RI < 150$) قرار دارند.

کلمات کلیدی

" خلیج‌فارس"، " فلزات سنگین "، " آلودگی "، " سواحل بندرعباس "، " خطربالقوه بوم شناختی "

۱- مقدمه

توسعه روزافزون صنعت اگرچه مزایای بی‌شماری را به همراه دارد ولی متأسفانه مشکلات خاصی همچون آلودگی محیط زیست را نیز به دنبال داشته و کلیه فعالیت‌های انسان در رابطه با طبیعت را تهدید می‌کند (Azimi et al., 2013). بررسی سوابق نشان می‌دهد باوجوداینکه فلزات سنگین از اجزاء تشکیل‌دهنده پوسته زمین هستند و به‌طور طبیعی در همه اکوسیستم‌ها حضور دارند، اما غلظت آن‌ها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در حال افزایش است (Kumar et al., 2015). به‌طوری‌که در دهه‌های اخیر بخش قابل‌توجهی از آلودگی‌های محیط زیست دریایی ناشی از ورود فلزات سنگین به محیط‌های دریایی بوده است و اثرات زیست‌محیطی زیان‌بار آن‌ها، از مباحث اصلی در تحقیقات زیست‌محیطی بوده است (Miola et al., 2016). فلزات سنگین با ترکیبات ضروری بدن از قبیل اکسیژن، گوگرد و ازت به‌صورت گروه‌هایی از قبیل S-S، SH، OH، COO و COOH پیوند برقرار می‌نمایند (Ikem and Egiebor, 2005) و با توجه به اینکه بیشتر ترکیبات ضروری بدن ازجمله آنزیم‌ها و پروتئین‌ها دارای چنین گروه‌هایی می‌باشند درنتیجه فلزات سنگین موجب توقف فعالیت آنزیم‌ها و اختلال در سنتز ترکیبات ضروری بدن می‌شوند (Mojtahid et al., 2008). از طرف دیگر، معضل اصلی مربوط به فلزات سنگین آن است که این آلاینده‌های غیر آلی برخلاف آلاینده‌های آلی تجزیه‌پذیر نمی‌باشند و این واقعیت، فلزات سنگین را به یکی از خطرناک‌ترین گروه آلاینده‌های زیست‌محیطی مبدّل ساخته است (Zhu et al., 2020). فلزات سنگین از راه تخلیه مستقیم پساب‌ها و فاضلاب‌های صنعتی و شهری و یا به‌طور غیرمستقیم توسط رواناب‌های ناشی از باران و همچنین از طریق اتمسفر وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شوند (Siddique et al., 2021, Ahmadov et al., 2020) و بخصوص با تجمع در رسوبات باعث بروز مشکلات جدی می‌شود (Benson et al., 2016). فلزات سنگین به دلیل پایداری و عدم تجزیه بیولوژیکی، تمایل زیادی به تجمع در بدن موجودات آبزی داشته و در بافت‌های نرم‌تنان، دوکفه‌ای‌ها و ماهیان تجمع می‌یابند (Ikem and Egiebor, 2005). با تغذیه دیگر موجودات از این آبزیان، گسترش آلایندگی به سطوح بالاتر و بالاخره به انسان که در رأس زنجیره‌های غذایی قرار دارد، می‌رسد و در بسیاری موارد سلامتی را تهدید می‌نماید (Yu et al., 2021). خلیج‌فارس با طول تقریبی ۱۰۰۰ کیلومتر و عرض۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتر و مساحتی در حدود ۲۲۶۰۰۰ کیلومترمربع و با عمق ۱۰۰-۹۰ متر (Bayani, 2016)، به دلیل ویژگی‌های اکولوژیکی خاص خود و محدودیت‌های جغرافیایی حاکم بر آن و همچنین وجود فعالیت‌های گوناگون انسانی در دریا و ساحل، همواره تحت تأثیر منابع آلاینده گوناگون خصوصاً عناصر سنگین قرار داشته است (Ghasemi et al., 2010). نتایج تحقیق Bagheri et al., (۲۰۱۳) در رسوبات سطحی سواحل بندرعباس با روش استخراج پی نشان می‌دهد که بیش از نیمی از کل سرب و

کادمیوم موجود در سواحل بندرعباس منشأ طبیعی دارند و افزایش غلظت فلزات موجود در سواحل بندرعباس به دلیل وجود مقادیر بیشتر این دو فلز به‌طور طبیعی در پوسته زمین در منطقه موردمطالعه است. نتایج مطالعه Gholam Dokht Bandari and Rezaie (۲۰۱۵) نشان داد که نوار ساحلی جزیره هرمز نسبت به عناصر نیکل، روی و مس فاقد آلودگی و نسبت به عناصر سرب، آرسنیک و کروم دارای آلودگی است. منشأ این عناصر فرسایش واحدهای سنگی موجود در جزیره و فعالیت‌های انسان‌زاد معرفی شد. تحقیق Bahador et al., (2015) در بررسی ضریب غنی‌شدگی (EF) عناصر سنگین در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور در شرق بندرعباس نشان‌دهنده تجمع پایین نیکل در رسوبات سطحی منطقه است. درحالی‌که عنصر روی در ایستگاه‌های مختلف دارای درجات متفاوت غنی‌شدگی است، که آن را می‌توان به تأثیر عوامل انسانی علاوه بر منشأ طبیعی آن نسبت داد و سرب هم فاقد غنی‌شدگی است و هیچ‌گونه آلودگی انسانی را مطرح نمی‌نماید. بر اساس سنجه درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd) ناحیه موردمطالعه ازنظر کیفیت زیست‌محیطی، در زمره مناطق غیر آلوده تا آلودگی بسیار اندک است. همچنین Ghasemi et al., (۲۰۱۸) هم نشان دادند که همبستگی معنی‌داری بین عناصر سنگین در رسوبات خلیج‌فارس در محدوده‌های پراکنش جنگل‌های حرا وجود ندارد.

رسوبات خلیج‌فارس به دلیل ماهیت رسی و داشتن بار الکتریکی زیاد و همچنین ظرفیت تبادل کاتیونی بالا قدرت زیادی در جذب عناصر آلاینده دارد (Rezaei et al., 2020). فلزات سنگین بر اثر عوامل طبیعی مانند فرسایش، سیلاب، چرخش آب دریا، فاضلاب‌های صنعتی و انسانی، نشت نفت و گاز، سوانح کشتی‌ها و تخلیه آب توازن می‌تواند وارد این اکوسیستم شود (Rahmanpour et al., 2014). درنتیجه به نظر می‌رسد اکوسیستم‌هایی مثل بنادر سواحل صنعتی که با ورود مزمنی از فلزات روبرو هستند، دارای بیشترین رسوبات آلوده می‌باشند و به علت اثرات سمی و قابلیت تجمع زیستی منجر به تغییرات اکولوژیکی در سواحل شده و سلامت انسان را به مخاطره اندازد (Jahromi et al., 2021). یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی شهرستان بندرعباس در حال حاضر می‌توان به ورود فاضلاب و پسماند به سواحل و خورهای شهر است که استفاده‌های گردشگری در آن را به حداقل می‌رساند (Esmaili et al., 2015). ازآنجاکه بخش اعظم فاضلاب شهری شهر بندرعباس و برخی فاضلاب‌های صنعتی بدون تصفیه مستقیماً به دریا می‌ریزد، آب‌های سواحل شهر بندرعباس آلودگی شدید داشته و هرگونه برداشت آبزیان از آب‌های ساحلی و شنا کردن در این آب‌ها به دلیل آلودگی می‌تواند خطرناک باشد (Besharatipour et al., 2020, Saeedi et al., 2012). بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که خورهای «گورسوزان»، «شیلات»، «سورو»، «دوهزار» عمده‌ترین مناطق شنای مردم بومی و درعین‌حال عمده‌ترین مناطق پذیرنده فاضلاب شهری بندرعباس هستند و گاهی تجمع فاضلاب و زباله در این کانال‌ها موجب رشد نیزارها و تجمع حشرات و حیوانات ولگرد می‌شود که علاوه بر نازیبا کردن ظاهر شهر، می‌تواند موجب شیوع برخی بیماری‌های میکروبی و انگلی شود (Saeedi et al., 2012). هدف از اجرای این تحقیق، ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی مناطق مستعد گردشگری در سطح شهر بندرعباس است. این تحقیق بر این مبنا که اکوسیستم منطقه به علت عمق کم آب و نیمه بسته بودن آن و محدودیت ورود منابع و تبخیر زیاد و همچنین وجود مناطق حساس دریایی در محدوده شهرستان بندرعباس که آسیب‌پذیر و شکننده می‌باشند (Nouri et al., 2009)، انجام شده است.

۲- روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

محدوده مطالعاتی سواحل شهر بندرعباس است که با وسعت حدود ۴۵ کیلومترمربع و ارتفاع از سطح دریا ۱۰ متر در ضلع شمالی خلیج‌فارس واقع شده است. موقعیت جغرافیایی و مختصات نقاط نمونه‌برداری در ضلع شمالی خلیج‌فارس در شکل ۱ نشان داده شده است.

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری شده در ضلع شمالی خلیج‌فارس

- **روش نمونه برداری و آنالیز شیمیایی**

برای تعیین نقاط نمونه‌برداری از روش سیستماتیک طبقه‌بندی تصادفی استفاده شد. بدین ترتیب ۵ ایستگاه در طول نوار ساحلی شهر بندرعباس شامل سواحل شیلات، گورسوزان، پشت شهر، سورو و هدیش به‌طور تصادفی و به‌نحوی‌که کل نوار ساحلی شهر را پوشش دهد انتخاب و به‌صورت نقطه‌ای نمونه‌برداری شد. عملیات نمونه‌برداری در بهار سال ۱۳۹۹ و در زمان جزر کامل و تقریباً همه‌روزه بین ساعت ۱۰ تا ۱۵ انجام شد. رسوبات با رعایت اصول کنترل کیفیت (QC) و تضمین کیفیت (QA) نمونه‌برداری شده و با درج نام ایستگاه و تاریخ نمونه‌برداری در ظروف پلی‌اتیلنی اسید شویی شده قرار داده‌شده و توسط یخدان حاوی یخ به آزمایشگاه انتقال یافت. تمامی نمونه‌ها در مجاورت یخ به آزمایشگاه منتقل و تا زمان آنالیز در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. اندازه‌گیری فلزات سنگین (شامل سرب، مس، نیکل، کادمیوم، روی و آهن) در آزمایشگاه در محیط آزمایشگاه انجام شد و قبل از شروع آزمایش‌های سنجش، کلیه ظروف مورداستفاده در آزمایش، کاملاً اسید شویی شده و سپس با استفاده از آون در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد کاملاً خشک و آماده آزمایش شدند. نمونه‌های رسوب در آون با دمای ۱۰۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. نمونه‌های خشک‌شده برای به دست آوردن مخلوطی همگن با هاون چینی به‌صورت پودر درآمده و از الک آلومینیومی ۶۹ میکرون عبور داده شد. سپس ۱ گرم از رسوبات با اضافه کردن مخلوطی از اسید نیتریک و اسید پرکلریک غلیظ (۱:۴) با قرار گرفتن به مدت یک ساعت در دمای اتاق و ۳ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد هضم شدند. جهت فیلتر نمودن نمونه‌های هضم شده، محلول از کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون عبور داده شد و با آب دو بار تقطیر به حجم معینی رسانده شد. سنجش نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی با رعایت QC/QA انجام شد. تمامی‌مراحل مذکور مطابق با روش استاندارد OSHA-125G، اندازه‌گیری جزءهای ژئوبیوشیمیایی فلزات سنگین موردمطالعه

(Bowen, 1966) و اندازه‌گیری کل فلزات (Ismail et al., 2002) صورت پذیرفت.

- **کنترل کیفی آنالیز**

برای تعیین کیفیت روش های آنالیز، دقت و صحت بررسی گردید، بدین منظور در هر مرحله، حداقل یک نمونه دو بار تحت آنالیز قرار گرفت. میزان اختلاف نتایج حاصله بیانگر دقت روش آنالیز می‌باشد. کنترل کیفی آنالیز داده ها نشان داد که میزان درصد اختلاف (دقت) برای سنجش فلزات سنگین بین ۵ تا ۱۴ درصد متغیر است که در محدوده قابل قبول دستورالعمل آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا[1] می‌باشد.

جدول ۱- میانگین صحت (میانگین درصد بازیافت) روش آنالیز فلزات سنگین

سرب	مس	نیکل	کادمیوم	روی	آهن
٪۸۶	٪۹۵	٪۸۹	٪۹۲	٪۹۲	٪۸۶

- **محاسبه سنجه‌های آلودگی**

در مطالعات محیط زیستی به‌ویژه زمانی که توزیع ژئوشیمیایی عناصر در محیط، حاصل ترکیبی از عوامل انسانی و طبیعی باشد، باید روند تغییرات با استفاده از سنجه‌های آلودگی ارزیابی شود (Abdollahi et al., 2021). جهت مطالعه ارزیابی کیفیت رسوبات، سنجه‌های ضریب آلودگی[1] (Cf)، درجه آلودگی[2] (Cd) و درجه آلودگی اصلاح‌شده[3] (mCd)، سنجه آلودگی فلزی[4] (MPI)، سنجه زمین انباشت مولر[5] (I_{geo}) و سنجه ارزیابی ریسک اکولوژیک بالقوه[6](RI) و استفاده شد.

۱- سنجه ضریب آلودگی (Cf)

سنجه ضریب آلودگی Cf توصیفی از آلودگی مربوط به فلز موردبررسی را ارائه می‌دهد و در سال ۱۹۸۰ به‌وسیله Hakanson (۱۹۸۰) تعریف گردید. برای تعیین این ضریب، بایستی غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد شناخته‌شده مقایسه شود یعنی ضریب آلودگی هاکانسون با استفاده از نسبت غلظت عنصر در نمونه به غلظت فلز در ماده مرجع (شیل میانگین) محاسبه می‌شود (رابطه ۱). بهترین شیوه، مقایسه داده‌ها با استانداردهای موجود برای همان منطقه است، زیرا شرایط زمین‌شناسی، محیطی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند.

رابطه ۱:

$$Cf = \frac{M_x}{M_b}$$

در این رابطه M_x غلظت عنصر در نمونه و M_b در این رابطه فلز در ماده مرجع (شیل میانگین) است.

۲- سنجه درجه آلودگی (Cd)، درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd)، سنجه آلودگی فلزی (MPI)

سنجه درجه آلودگی (Cd) یا درجه کلی آلودگی رسوب منطقه که به آن درجه آلودگی Hakanson نیز گفته می‌شود، از مجموع ضرایب آلودگی آلاینده‌های موردمطالعه محاسبه می‌شود (رابطه ۲).

رابطه ۲:

$$Cd = \sum_{i=1}^{n} Cf_i$$

به خاطر وجود محدودیت‌هایی که در سنجه آلودگی ارائه‌شده توسط Hakanson (۱۹۸۰) دیده شد، Abrahim and Parker (۲۰۰۸) سنجه درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd) را به‌صورت رابطه ۳ ارائه نمودند که این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان تعداد متنوعی از فلزات سنگین را بدون محدودیت موردمطالعه قرارداد. مقادیر محاسباتی mCd کمتر از ۲ درجه‌های پایین آلودگی را نشان می‌دهند (جدول ۲).

رابطه ۳ :

$$mCd = \frac{\sum_{i=1}^{n} Cf_i}{n}$$

که در آن Cf فاکتور آلودگی، n تعداد پارامترهای مورد بررسی است. سنجه بار آلودگی فلزی (MPI) معیاری جهت تعیین بار آلودگی در رسوبات به‌صورت تجمعی در هر نقطه است که بر اساس رابطه ۴ برآورد می‌شود (Dadolahi-Sohrab, 2003):

$$MPI = (Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times Cf_n)^{\frac{1}{n}}$$

رابطه ٤:

که در این معادله Cf_i برابر است با غلظت فلز i در نمونه. MPI یک سنجه تجمعی مهم در بررسی میزان آلودگی در مناطق آلوده ساحلی است که هر چه از عدد یک بالاتر باشد، مراتب آلودگی بیشتری نسبت به محل غیر آلوده را نشان می‌دهد (Solgi and Keramaty, 2015).

۳- سنجه زمین انباشت مولر (I_{geo})

روش ارزیابی رایج برآورد آلودگی رسوبات عهد حاضر استفاده از اندیس ژئوشیمیایی یا زمین انباشت I_{geo} و مقایسه آن با رسوبات قدیم‌تر همان ناحیه است. در این رویکرد نسبت لگاریتم غلظت عناصر فلزی در رسوبات ریزدانه عهد حاضر به غلظت همان عناصر در رسوبات قدیم‌تر سنجیده می‌شود. مقداری که به دست می‌آید به‌عنوان سنجه تجمع زمینی شناخته می‌شود (Duarte et al., 2021). درواقع این سنجه بیانگر تمرکز مواد شیمیایی بر اساس وضعیت زمین‌شناختی است. این سنجه اولین بار توسط مولر (۱۹۶۹) بیان گردید و برای اندازه‌گیری و تعریف آلودگی رسوبات توسط مقایسه غلظت‌های کنونی یک عنصر با میزان آن ماده قبل از صنعتی شدن در رسوبات محاسبه می‌گردد.

رابطه ٥:

$$Igeo = Log_2^{\left[\frac{Cn}{1.5 \times Bn}\right]}$$

در این رابطه ، Igeo = سنجه تجمع ژئوشیمیایی یا سنجه شدت آلودگی در رسوبات، Cn = غلظت عنصر در رسوبات، Bn = غلظت همان عنصر در پوسته زمین (غلظت زمینه یا غلطت عنصر در شیل) بوده و ضریب ۱/۵ به‌منظور تصحیح غلظت اولیه رسوبات به دلیل تأثیر عوامل زمینی اعمال شده است (Wu et al., 2011). مولر (۱۹۶۹) ۷ کلاس مختلف را برای طبقه‌بندی این سنجه عنوان کرد که در آن، در بالاترین کلاس یعنی کلاس آلودگی ۶ مقادیر عناصر حداقل ۱۰۰ برابر مقادیر مرجع می‌باشند (جدول ۳).

٤- سنجه ارزیابی ریسک اکولوژیکی بالقوه

در این پژوهش جهت بررسی اثرهای اکولوژیکی و محیط زیستی فلزهای سنگین، سنجه خطر بالقوه محیط زیستی (RI) نیز محاسبه شد.

[1] Contaminiation Factor
[2] Degree of Contamination
[3] Modified Degree of Contamination
[4] Metal Pollution Index
[5] Geoaccumulation Index
[6] Potential Ecological Risk Index

برای ارزیابی ریسک اکولوژیک رسوبات محیط‌های آبی، Hakanson (۱۹۸۰) سنجه RI را به‌صورت رابطه ۶ بیان کرده است:

$$RI = \sum Er \qquad \mathrm{Er} = \mathrm{Tf} \times \mathrm{Cf}$$

رابطه ٦:

که در این معادله، Er پتانسیل ریسک اکولوژیکی هر یک از عناصر و RI بیانگر پتانسیل ریسک اکولوژیک کل فلزات (تجمیعی) است. Cf ضریب آلودگی رسوب، Tr به‌صورت ضریب سمیت هاکانسون تعریف شده است. Hakanson (۱۹۸۰) مقدار T_f را که فاکتور پاسخ سمیت فلزات سنگین نام دارد، برای جیوه ۴۰، کادمیوم ۳۰، آرسنیک ۱۰، مس = سرب = نیکل ۵، کروم ۲، و روی ۱ ارائه داده است. این پارامتر بیانگر پاسخ سمیت آلاینده نسبت به میزان تولیدات زیستی در آن منبع آبی است. در یک منبع آبی، حساسیت فون و فلور آن منبع نسبت به آلاینده‌ها شدیداً تحت کنترل تولیدات زیستی قرار می‌گیرد بطوریکه اثرات منفی فلزات سنگین با کاهش تولیدات زیستی، افزایش می‌یابد. برای تحلیل سطح ریسک اکولوژیکی از جدول راهنمای ۴ استفاده شد.

جدول ۲- درجه‌بندی سطح آلودگی رسوبات بر مبنای سنجه‌های ضریب آلودگیCf ، درجه آلودگیCd (Hakanson, 1980) و درجه آلودگی اصلاح‌شده (Abrahim and Parker, 2008) mCd

mCd	وضعیت آلودگی رسوب	مقدارCf	ضریب آلودگی رسوب	مقدار Cd	کیفیت رسوب
mCd≤ ۱/۵	درجه بسیار پایین از آلودگی	Cf≤ ۱	ضریب آلودگی پایین	Cd≤ ۷	درجه آلودگی پایین
۱/۵≤ mCd≤ ۲	درجه پایین از آلودگی	۱≤P≤۳	ضریب آلودگی متوسط	۷≤Cd≤۱۴	درجه آلودگی متوسط
۲≤ mCd≤ ٤	درجه متوسط از آلودگی	۳≤P≤۶	ضریب آلودگی قابل‌توجه	۱۴≤ Cd≤۲۸	درجه آلودگی قابل‌توجه
٤≤ mCd≤ ۸	درجه بالا از آلودگی	≥ ۶	ضریب آلودگی بسیار بالا	≥ ۲۸	درجه آلودگی بسیار بالا
۸≤ mCd≤ ١٦	درجه بسیار بالا از آلودگی				
١٦≤ mCd≤ ۳۲	درجه به‌شدت بسیار بالا از آلودگی				
mCd ≥ ۳۲	آلودگی با درجه مافوق زیاد				

جدول ۳- طبقه‌بندی کیفیت رسوبات بر اساس سنجه تجمع زمینی مولر

وضعیت آلودگی	درجه آلودگی	مقادیرIgeo
غیر آلوده	۰	0 ≥
از غیر آلوده تا آلودگی متوسط	۱	0-1
آلودگی متوسط	۲	1-2
از آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد	۳	2-3
آلودگی زیاد	۴	3-4
از آلودگی زیاد تا به‌شدت آلوده	۵	4-5
به‌شدت آلوده	۶	>5

جدول ٤- محدوده تغییرات و طبقه‌بندی سنجه ارزیابی ریسک اکولوژیک (Hakanson, 1980)

سطح کلی ریسک اکولوژیکی	سنجه ارزیابی ریسک اکولوژیک	سطح ریسک اکولوژیکی هر عامل آلودگی	مقادیر E^i_f
ریسک اکولوژیکی کم	RI < 150	ریسک اکولوژیکی کم	$E^i_f < 40$
ریسک اکولوژیکی متوسط	150≤RI < 300	ریسک اکولوژیکی متوسط	$40 \le E^i_f < 80$
ریسک اکولوژیکی قابل‌توجه	300≤RI < 600	ریسک اکولوژیکی قابل‌توجه	$80 \le E^i_f < 160$
ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد	RI ≥ 600	ریسک اکولوژیکی زیاد	$160 \le E^i_f < 320$
		ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد	$E^i_f \ge 320$

- **تجزیه‌وتحلیل داده‌ها**

ابتدا تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال، توسط آزمون کلموگروف–اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت که بررسی‌ها نشان داد داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند ($P>0.05$). پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل غلظت فلزات سنگین انجام شد. جهت بررسی رابطه همبستگی غلظت فلزات از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver. 23 انجام شد. بدین منظور، با استفاده از نرم‌افزار SPSS، میانگین عناصر در هر ایستگاه به همراه مقدار انحراف معیار (SE) محاسبه شد. پس از محاسبه میانگین‌ها، برای سنجش میزان مجاز غلظت عناصر مورد آزمایش در منطقه موردمطالعه از میانگین پوسته زمین، استانداردهای کیفیت رسوب[1] از جمله استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)[2] استفاده شد. لازم به ذکر است که استانداردهای کیفیت رسوب آمریکا دو خطر برای آلودگی فلزات سنگین بیان شده است که به‌صورت ERL[3] (حدی است که کمتر از ۱۰ درصد جوامع بیولوژیک درخطرند) و ERM[4] (حدی است که کمتر از ۵۰ درصد جوامع بیولوژیک درخطرند)، ارائه شده است.در راستای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، با توجه به اینکه با استفاده از غلظت فلزات سنگین و سنجه‌های مختلف، میزان شدت، خطرآفرینی و ریسک آلودگی هر منطقه را محاسبه کرد، در این تحقیق از سنجه‌های آماری زمین انباشت (Igeo)، درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd) و سنجه ریسک اکولوژیک بالقوه (RI) استفاده شده است. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2016 انجام شد.

۳- یافته‌ها

- **غلظت عناصر سنگین در رسوبات سطحی**

نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز نمونه‌های برداشت‌شده از رسوبات سواحل شهر بندرعباس (از ساحل شیلات تا هدیش) در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میانگین غلظت سرب، مس، نیکل، کادمیوم، روی و آهن به ترتیب ۵/۷۵±۴۶/۷۵، ۱/۵۲±۱۷/۷۵، ۴/۵۱±۶۲/۴۲، ۰/۱۳±۲/۹۷، ۴/۵۶±۴۶/۰۹ و ۱۴۶۳/۴۹±۹۹۴۴/۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسوب به دست آمد.

آنالیز میزان همبستگی فلزات سنگین مورد با همدیگر نشان می‌دهد که تنها همبستگی معنی‌داری بین آهن و نیکل وجود دارد ($P<0.05$) و در بین سایر عناصر همبستگی معنی‌داری وجود ندارد ($P>0.05$) (جدول ۶).

- **نتایج ارزیابی کیفیت رسوبات سواحل شهر بندرعباس با استفاده از سنجه‌های آلودگی رسوبات**

۱- سنجه ضریب آلودگی (Cf)

با توجه به نتایج مقادیر سنجه ضریب آلودگی (Cf) (جدول ۷) ضریب آلودگی عناصر سنگین در رسوبات سواحل شهر بندرعباس برای سرب، مس، نیکل، کادمیوم، روی و آهن به ترتیب ۲/۳۴، ۰/۳۹، ۰/۹۲، ۹/۸۹، ۰/۴۹ و ۰/۲۱. محاسبه شد.

۲- سنجه درجه آلودگی (Cd)، درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd)، سنجه آلودگی فلزی (MPI)

مقدار درجه آلودگی (Cd) در ایستگاه‌های پنج‌گانه نمونه‌برداری شامل سواحل شیلات، گورسوزان، پشت شهر، سورو و هدیش به ترتیب ۱/۴۲، ۲/۴۱، ۱/۱۷، ۱/۴۵ و ۱/۱۹ محاسبه شد. درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd) نیز برای ایستگاه‌های فوق‌الذکر به ترتیب ۰/۴۹، ۹/۸۹، ۰/۹۲، ۰/۳۹ و ۲/۳۴ و همچنین سنجه آلودگی فلزی (MPI) به ترتیب ۱/۰۸۱، ۰/۶۷۵، ۰/۹۸۸، ۱/۰۲۱ و ۱/۰۶۷ محاسبه شد که ازاین‌رو رسوبات در دو نقطه پشت شهر و گورسوزان فاقد آلودگی و رسوبات هدیش، سورو و شیلات دارای آلودگی هستند.

۳- سنجه زمین انباشت مولر (I_{geo})

نتایج حاصل از محاسبه سنجه ژئوشیمیایی مولر مربوط به عناصر سنگین موردنظر تحقیق (شامل سرب، مس، نیکل، کادمیوم، روی و آهن در رسوبات سواحل شهر بندرعباس نشان داد که تنها سنجه کادمیوم در همه ایستگاه‌های مطالعاتی مثبت بوده و در گستره ۲ الی ۳ قرار دارد. مقدار عددی سنجه برای سرب در ایستگاه‌های غرب بندرعباس شامل هدیش، سورو و پشت شهر مثبت اما در محدوده ۰-۱ قرار دارند. سایر مقادیر همگی منفی محاسبه شدند (جدول ۸).

٤- سنجه ارزیابی ریسک اکولوژیکی بالقوه

مقادیر محاسبه‌شده سنجه ریسک اکولوژیکی فلزات پنج‌گانه موردبررسی در رسوبات مناطق مطالعاتی سواحل شهر بندرعباس، در جدول ۹ آورده شده است. درمجموع، سنجه ارزیابی ریسک اکولوژیکی بالقوه برای ایستگاه‌های پنج‌گانه نمونه‌برداری شامل سواحل شیلات، گورسوزان، پشت شهر، سورو و هدیش به ترتیب ۳۱۷/۶، ۳۲۷/۲، ۳۳۱/۵، ۳۳۱/۴ و ۲۷۰ و ریسک اکولوژیکی بالقوه سواحل شهر بندرعباس ۳۱۵/۵ محاسبه گردید.

[1] Sediment Quality Guidelines
[2] National Oceanic and Atmospheric Administration
[3] Effect Range Low
[4] Effect Range Medium

جدول ۵- غلظت عناصر سنگین در رسوبات سواحل شهر بندرعباس در محدوده ساحل شیلات تا هدیش

ایستگاه نمونه‌برداری		فلزات سنگین (mg/Kg)					
		Pb	Cu	Ni	Cd	Zn	Fe
هدیش		۶۰/۷۰	۱۷/۰۸	۷۳/۲۶	۲/۴۷	۵۰/۶۸	۱۲۶۷۳
سورو		۵۶/۱۸	۲۱/۲۸	۶۱/۸۷	۳/۱۰	۴۳/۹۱	۹۱۴۹
پشت شهر		۴۱/۵۷	۱۶/۵۹	۶۳/۹۸	۳/۱۴	۵۵/۸۹	۹۷۹۴
گورسوزان		۲۸/۰۴	۱۲/۹۹	۴۶/۱۰	۳/۱۵	۲۹/۴۹	۴۹۸۲
شیلات		۴۷/۲۸	۲۰/۸۱	۶۶/۸۷	۲/۹۸	۵۰/۴۶	۱۳۱۲۴
میانگین		۴۶/۷۵	۱۷/۷۵	۶۲/۴۲	۲/۹۷	۴۶/۰۹	۹۹۴۴/۴
میانگین شیل		۲۰	۴۵	۶۸	۰/۳	۹۵	۴۶۷۰۰
استاندارد کیفیت رسوب آمریکا NOAA	ERM	۲۱۸	۲۷۰	۵۱/۶	۹/۶	۴۱۰	–
	ERL	۴۶/۷	۳۴	۲۰/۹	۱/۲۰	۱۵۰	–

جدول ٦- نتایج همبستگی میان فلزات سنگین در رسوبات سواحل شهر بندرعباس

		pb	Cu	Ni	Cd	Zn	Fe
pb	Pearson Correlation	1					
	Sig. (2-tailed)						
Cu	Pearson Correlation	0.69	1				
	Sig. (2-tailed)	0.20					
Ni	Pearson Correlation	0.86	0.59	1			
	Sig. (2-tailed)	0.06	0.30				
Cd	Pearson Correlation	-0.68	-0.06	-0.70	1		
	Sig. (2-tailed)	0.21	0.93	0.19			
Zn	Pearson Correlation	0.58	0.51	0.87	-0.3	1	
	Sig. (2-tailed)	0.30	0.38	0.06	0.6		
Fe	Pearson Correlation	0.75	0.65	0.947*	-0.6	0.82	1
	Sig. (2-tailed)	0.15	0.24	0.02	0.3	0.09	

جدول ۷- مقایسه ضریب آلودگی رسوب (Cf) در مناطق نمونه‌برداری

ایستگاه نمونه‌برداری	Pb	Cu	Ni	Cd	Zn	Fe
هدیش	۳/۰۴	۰/۳۸	۱/۰۸	۸/۲۳	۰/۵۳	۰/۲۷
سورو	۲/۸۱	۰/۴۷	۰/۹۱	۱۰/۳۳	۰/۴۶	۰/۲۰
پشت شهر	۲/۰۸	۰/۳۷	۰/۹۴	۱۰/۴۷	۰/۵۹	۰/۲۱
گورسوزان	۱/۴۰	۰/۲۹	۰/۶۸	۱۰/۵۰	۰/۳۱	۰/۱۱
شیلات	۲/۳۶	۰/۴۶	۰/۹۸	۹/۹۳	۰/۵۳	۰/۲۸
کل ساحل بندرعباس	۲/۳۴	۰/۳۹	۰/۹۲	۹/۸۹	۰/۴۹	۰/۲۱
رده‌بندی ضریب آلودگی هاکانسون	۱≤P≤۳	Cf≤۱	Cf≤۱	P≥ ۶	Cf≤۱	Cf≤۱

جدول ۸- مقادیر سنجه ژئوشیمیایی مولر مربوط به عناصر سنگین در رسوبات سواحل شهر بندرعباس

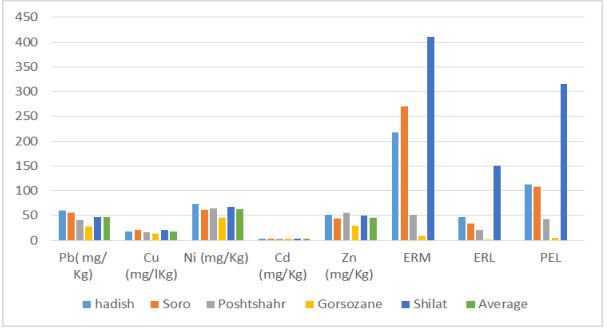
ایستگاه نمونه‌برداری	Pb	Cu	Ni	Cd	Zn	Fe
هدیش	۱/۰۲	−۱/۹۸	−۰/۴۸	۲/۴۶	−۱/۴۹	−۲/۴۷
سورو	۰/۹۱	−۱/۶۷	−۰/۷۲	۲/۷۸	−۱/۷۰	−۲/۹۴
پشت شهر	۰/۴۷	−۲/۰۲	−۰/۶۷	۲/۸۰	−۱/۳۵	−۲/۸۴
گورسوزان	−۰/۱۰	−۲/۳۸	−۱/۱۵	۲/۸۱	−۲/۲۷	−۳/۸۱
شیلات	۰/۶۶	−۱/۷۰	−۰/۶۱	۲/۷۳	−۱/۵۰	−۲/۴۲
کل ساحل بندرعباس	۰/۶۴	−۱/۹۳	−۰/۷۱	۲/۷۲	−۱/۶۳	−۲/۸۲

جدول ۹- جدول مقادیر ضریب Ef برای فلزات سنگین به تفکیک ایستگاه‌ها

ایستگاه نمونه‌برداری	سرب (pb)	مس (Cu)	نیکل (Ni)	کادمیوم (Cd)	روی (Zn)	منطقه
هدیش	۱۵/۱۸	۱/۹۰	۵/۳۹	۲۴۷/۰	۰/۵۳	۲۷۰/۰
سورو	۱۴/۰۵	۲/۳۶	۴/۵۵	۳۱۰/۰	۰/۴۶	۳۳۱/۴
پشت شهر	۱۰/۳۹	۱/۸۴	۴/۷۰	۳۱۴/۰	۰/۵۹	۳۳۱/۵
گورسوزان	۷/۰۱	۱/۴۴	۳/۳۹	۳۱۵/۰	۰/۳۱	۳۲۷/۲
شیلات	۱۱/۸۲	۲/۳۱	۴/۹۲	۲۹۸/۰	۰/۵۳	۳۱۷/۶
پتانسیل کل ریسک اکولوژیکی	۵۸/۴۴	۹/۸۶	۲۲/۹۵	۱۴۸۴/۰	۲/۴۳	۳۱۵/۵

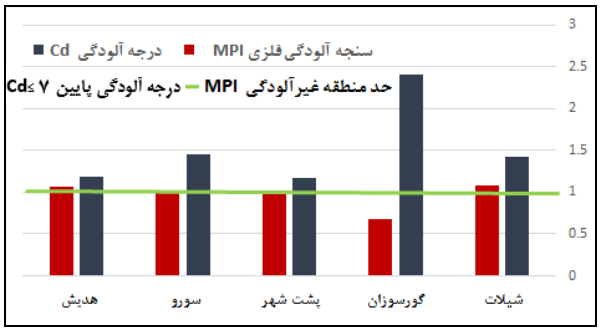
٤- بحث

محیط زیست به‌عنوان یک سیستم باز از مجموعه عناصر و عوامل مختلفی شکل‌گرفته که اجزای آن به‌طور طبیعی دارای هماهنگی و تعادل خاص می‌باشند و البته در صورت عدم‌مداخله انسان اجزای این سیستم قابلیت حفظ تعادل را داشته و روند پویایی خود را ادامه خواهد داد. چنانچه این نظام و تعادل بر هم بخورد برحسب شدت و دامنه این اثرات مخرب، باعث تخریب کلی مجموعه محیط زیست خواهد شد (Ghasemi et al., 2018). با توجه به اهمیت آثار تخریبی فلزات سنگین در تهدید حیات زیست‌شناختی موجودات ساکن و متأثر از پیکره‌های آبی، بررسی و پایش وضعیت کیفی رسوبات همواره از اهم ملاحظات زیست‌محیطی مرتبط محسوب می‌شود. ازاین‌رو توجه محققین در دهه‌های اخیر به ارزیابی شرایط آلودگی در اکوسیستم‌های آبی، آلودگی فلزات سنگین و چگونگی رفع آن‌ها در اکوسیستم‌های گوناگون جلب شده است (Bahador et al., 2015). هدف از اجرای تحقیق حاضر بررسی میزان فلزات سنگین (شامل سرب، مس، نیکل، کادمیوم، روی و آهن) در محدوده ورودی فاضلاب‌ها به دریا در سطح شهر بندرعباس است. بررسی تفکیکی غلظت فلزات سنگین در رسوبات سواحل شهر بندرعباس نشان می‌دهد که بیشترین غلظت فلز سرب در رسوبات منطقه دیش (۶۰/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک رسوب) و کمترین مقدار آن در ایستگاه گورسوزان (۲۸/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک رسوب) است. بیشترین و کمترین میزان غلظت فلز مس به ترتیب در رسوبات سواحل سورو (۲۱/۲۸) و سواحل خور گورسوزان (۱۲/۹۹) به دست آمد. بیشترین و کمترین میزان غلظت فلز نیکل در رسوبات منطقه هدیش (۷۳/۲۶) و سواحل خور گورسوزان (۴۶/۱۰) به دست آمد. بیشترین غلظت فلز کادمیوم ۳/۱۵ و کمترین مقدار آن ۲/۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسوب به ترتیب در ایستگاه‌های گورسوزان و هدیش به دست آمد. بیشترین و کمترین میزان غلظت فلز روی در رسوبات منطقه پشت شهر (۵۵/۸۹) و سواحل خور گورسوزان (۲۹/۴۹) به دست آمد. بیشترین غلظت فلز آهن به مقدار ۱۳۱۲۴ و کمترین مقدار آن ۴۹۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسوب به ترتیب در ایستگاه‌های خور شیلات و خور گورسوزان اندازه‌گیری شد. نتایج تحقیق نشان می دهد که توالی غلظت کلی فلزات سنگین در رسوبات سواحل شهر بندرعباس به‌قرار $Fe > Ni > pb > Zn > Cu > Cd$ است (شکل ۲). بررسی سوابق مطالعاتی نشان می دهد که فراوانی کادمیوم به طور کلی در طبیعت پایین است و بیشتر دارای منشأ انسانی است (Kanakaraju et al., 2008). همچنین منبع اصلی کادمیم موجود در دریاها، فاضلاب های صنعتی و شهری است(Habibi et al., 2011).



شکل ۲- مقایسه غلظت‌های فلزات سنگین رسوبات در ایستگاه‌های مطالعاتی و استاندارد آستانه‌های تأثیر آلاینده‌ها

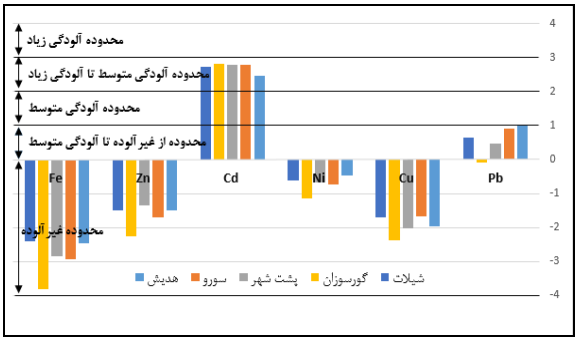
مقایسه عناصر سنگین موردمطالعه در این پژوهش با استانداردهای مختلف نشان داد که میزان تمام عناصر به‌جز نیکل از استانداردهای جهانی پایین‌تر است. ازآنجایی‌که نیکل دارای خطرات بهداشتی فراوان ازجمله سرطان‌زایی و ایجاد آلرژی است (Moazeni et al., 2013)، لازم است اقدامات جدی برای بررسی بیشتر منشأ نیکل و راهکارهای اساسی جهت کاهش آن صورت گیرد. حد مجاز فلزات سنگین در رسوبات ممکن است در برخی زیاد باشد و در برخی کمتر. چراکه عموماً فلزات سنگین ممکن است طی فرآیندهای انسانی یا از طریق فرآیندهای طبیعی وارد رسوب شوند (Miola et al., 2016). همچنین اینکه مقدار و نوع موادی مغذی نیتراتی و فسفاتی که در فاضلاب وجود دارد بر مقدار فلزات سنگین رسوبات پذیرنده آن‌ها تأثیرگذار است (Shi and Schulin, 2018).بررسی‌های این تحقیق نشان می‌دهد که غلظت سرب در بندرعباس از رسوبات بوشهر (Moazeni et al., 2013) و بحرین (de Mora et al., 2004) کمتر و از خوزستان (Azimi et al., 2013) و سواحل امارات و قطر (de Mora et al., 2004) بیشتر بود. فلز مس فقط از بحرین (de Mora et al., 2004) کمتر بود، غلظت فلز نیکل نسبت به سایر بخش‌های خلیج‌فارس از غلظت بیشتری برخوردار بود. غلظت فلز کادمیوم نیز در مقایسه با سواحل جنوبی خلیج‌فارس (de Mora et al., 2004) از غلظت بالاتری برخوردار بود (جدول ۱۰). ازنقطه‌نظر مکانی، بر مبنای درجه آلودگی اصلاح‌شده، مقدار mCd در کلیه سواحل بندرعباس به‌جز گورسوزان کمتر از ۱/۵ و در درجه بسیار پایین از آلودگی برآورد گردید. مقادیر محاسباتی سنجه آلودگی فلزی هم نشان داد که رسوبات در دو نقطه پشت شهر و گورسوزان فاقد آلودگی و رسوبات منطقه هدیش، سورو و شیلات دارای آلودگی هرچند با ضریب بسیار پایین (و حتی قابل‌اغماض) هستند. چراکه میانگین سنجه کل سواحل بندرعباس، معادل ۰/۹۷۶ محاسبه شد که با توجه به نزدیک بودن آن به عدد یک، می‌توان گفت درمجموع بار یا غلظت فلزات سنگین در سواحل شهر بندرعباس نزدیک به غلظت زمینه است و آلودگی خاصی ایجاد نمی‌کنند (شکل ۳) که این نتایج تائید کننده سایر تحقیق‌های انجام‌شده در این محدوده است (Bahador et al., 2015, Gholam Dokht Bandari and Rezaie, 2015).



شکل ۳- مقایسه مقادیر سنجه‌های آلودگی Cd و MPI در رسوبات ساحلی محور موردمطالعه

در این تحقیق از سنجه زمین انباشتگی (Igeo) به‌عنوان مرجع برای برآورد وسعت آلودگی فلزات سنگین استفاده شد. نتایج محاسباتی نشان داد که میانگین سنجه زمین انباشتگی مس، نیکل، روی و آهن منفی است ($I_{geo} < 0$)، منفی بودن این داده‌ها نشان می‌دهد رسوبات سواحل شهر بندرعباس ازلحاظ این عناصر در دامنه رسوبات غیر آلوده قرار می‌گیرند. مقدار این سنجه برای سرب کمتر از یک ($0<I_{geo}<1$) و برای کادمیوم کمتر از ۲ ($1<I_{geo}<2$) محاسبه شد که به ترتیب

دامنه‌های از غیر آلوده تا آلودگی متوسط و آلودگی متوسط را شامل می‌شوند. این نتیجه در ارزیابی کیفیت رسوبات سواحل شهر بندرعباس بر مبنای ضریب آلودگی Cf مورد تائید قرار گرفت و نشان داد که ضریب آلودگی کل سواحل برای عناصر مس، نیکل، روی و آهن پایین، برای سرب متوسط و برای کادمیوم ضریب آلودگی بسیار بالا برآورد گردید (شکل ۴).



شکل ٤- مقادیر سنجه ژئوشیمیایی مولر مربوط به عناصر سنگین در رسوبات محور موردمطالعه

بر اساس محاسبات انجام‌شده سنجه ژئوشیمیایی مولر، میزان سرب در ایستگاه هدیش در محدوده غیر آلوده تا متوسط ($0<Igeo<1$) و در سایر ایستگاه‌ها در محدوده غیر آلوده ($I_{geo} < 0$)، قرار دارد. اگرچه، میزان عنصر مس نیکل روی و آهن در همه ایستگاه‌ها در وضعیت کاملاً غیر آلوده قرار دارد. درحالی‌که کادمیوم در همه ایستگاه‌ها در محدوده $2<I_{geo}<3$ (از آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد) قرار دارد. ممکن است این آلودگی، منشأ زمینی و به‌طور عمده ناشی از فرسایش خاک حوزه‌های ساحلی داشته باشد. از منابع انسان‌ساخت آلودگی می‌توان به فاضلاب‌های صنایع مستقر در غرب بندرعباس و همچنین فاضلاب‌های خانگی اشاره نمود. به نظر می‌رسد که منشأ آلودگی سرب ترکیبات نفتی و یا تخلیه آب توازن کشتی‌ها در اسکله باهنر که نزدیک به نقاط نمونه‌برداری قرارگرفته باشد. بررسی خطر اکولوژیکی و خطر محیط زیستی فلزات سنگین نشان داد که ترتیب خطر به صورت (روی < مس < نیکل < سرب < کادمیوم) می باشد. همچنین پتانسیل ریسک اکولوژیکی سواحل شهر بندرعباس هم معادل ۳۱۵/۵ محاسبه گردید که با توجه به طبقه‌بندی ریسک‌های اکولوژیک در محدوده ریسک اکولوژیک قابل‌قبول ($۳۰۰ \leq RI \leq ۶۰۰$) قرار می‌گیرد. بررسی پتانسیل ریسک فلزات سنگین در رسوبات دریایی سواحل خلیج فارس هم بیانگر خطرات بوم شناختی پایین برای فلزات نیکل، مس و سرب در سواحل خلیج چابهار در استان سیستان و بلوچستان (Mirza and Moeinaddini, 2017) و برای کادمیوم در رسوبات سطحی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در استان بوشهر (Haghshenas et al., 2017) است اما برای سرب، نیکل و مس در سواحل استان خوزستان بالا برآورد شده است (Nazarpour et al., 2017).

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه آلودگی فلزات سنگین در سواحل شهر بندرعباس بررسی شد. پتانسیل ریسک اکولوژیک برای شناسایی میزان احتمالی آلایندگی فلزات سنگین استفاده شده است. مقادیر محاسبه‌شده این سنجه نشان می‌دهد که سواحل شهر بندرعباس در محدوده ریسک اکولوژیک بالقوه کم ($RI < 150$) قرار دارند.

پیشنهادات

به‌هرحال با توجه به موقعیت شهر بندرعباس و نظر به توسعه مناطق مجاور و پروژه‌های متعدد در دست اجرا در محدوده شهرستان و بار آلودگی ناشی از ورود فاضلاب شهری به سواحل بندرعباس، اتخاذ راه‌کارهای مناسبی که بتواند در جهت کاهش آلاینده‌ها کمک کند، ضروری است. در این مورد و با عنایت به مسلم بودن نقش صنایع در آلوده کردن سواحل بندرعباس و با توجـــه به نتیجه‌گیری‌های به‌دست‌آمده در این تحقیق رعایت ضوابط و استانداردهای ملی حفاظت از محیط زیست و اعمال این ضوابط در صنایع هم‌جوار شهر ضروری است. ارائه نتایج به سازمان‌های ذی‌ربط علاوه بر کمک به حفظ بهداشت و سلامت و توسعه پایدار جامعه، باعث پیشگیری از بروز برخی بیماری‌ها و مقدمه‌ای به‌منظور تحقیقات بعدی خواهد بود. درنهایت، با توجه به وضعیت محدوده شهری بندرعباس، انجام پژوهش‌هایی درزمینه سنجش توان خود پالایی خلیج‌فارس و تعیین میزان فلزات سنگین آبزیانی، که در سفره غذایی خانوار جای می‌گیرند، پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله منتج از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته مدیریت محیط زیست است. بدین‌وسیله از همکاری اداره کل حفاظت محیط زیست استان هرمزگان، آزمایشگاه کیفیت آزمای جنوب و همچنین مسئولان پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس که در انجام و ارتقاء کیفی این پژوهش یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

جدول ۱۰- مقایسه فلزات سنگین در سواحل بندرعباس با سایر مطالعات صورت گرفته در خلیج‌فارس

منبع	سرب	مس	نیکل	کادمیوم	روی	منطقه
(Moazeni et al., 2013)	۵۲/۲	۵/۲	۴۰/۱	۰/۷-۰/۴	-	بوشهر (خلیج‌فارس)
(Azimi et al., 2013)	۳/۲-۸/۲	۱۵/۲-۱۹/۸	-	۰/۱۸	-	خوزستان (خلیج‌فارس)
(Yazdan Panah et al., 2017)	۳۱/۷	۳۵/۵	۴۲/۶	-	۶۹/۱	جزیره خارک (خلیج‌فارس)
Dadolahi Sohrab and) (Nazarizadeh Dehkordi, 2013	۲۱/۳	۵/۶	۳۳/۹	۵/۷	-	هرمزگان (خلیج‌فارس)
(de Mora et al., 2004)	۰/۷	۱/۹۹	۲	۰/۰۲-۰/۱۱	-	امارات (خلیج‌فارس)
(de Mora et al., 2004)	۳/۱۶	۸/۰۲	۲۰/۸	۰/۰۳-۰/۰۹	-	قطر (خلیج‌فارس)
(de Mora et al., 2004)	۹۹	۴۸/۳	۲۳/۲	۰/۰۴-۰/۱۸	۵۲/۱	بحرین (خلیج‌فارس)
تحقیق حاضر	۴۶/۷۵	۱۷/۷۵	۶۲/۴۲	۲/۹۷	۴۶/۰۹	بندرعباس (خلیج‌فارس))

منابع

- ABDOLLAHI, S., AZIMZADEH, H., EKHTESASI, M. & MOSLEH-ARANI, A. 2021. Evaluation of quantitative changes, pollution indexes and distribution of heavy metals Pb and Cd in the dust falling (case study: Zahedan city). Environmental Sciences, 19**,** 1-18 [In persian.[
- ABRAHIM, G. & PARKER, R. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environmental monitoring and assessment, 136**,** 227-238.
- AHMADOV, M., HUMBATOV ,F., MAMMADZADA, S., BALAYEV, V., IBADOV, N. & IBRAHIMOV, Q. 2020. Assessment of heavy metal pollution in coastal sediments of the western Caspian Sea. Environmental Monitoring and Assessment, 192**,** 1-18.
- AZIMI, A., DADAHLAHI SOHRAB, A., SAFAIEH, A., DHU AL-QARNAYN, H., SAVARI, A. & FAQIRI, A. 2013. Study on the heavy metal (mercury, cadmium, lead and copper) in sediments of northwest of the Persian Gulf, Imam Khomeini Port. Oceanography, 3**,** 33-41 [In Persian.[
- BAGHERI, Z., RIYAHI BAKHTIARI, A. & BAGHERI ,H. 2013. Concentration and Source Identification of Pb and Cd in the Surface Sediments of Bandar-Abbas Coasts Using Sequential Extraction Technique. Journal of Oceanography, 4**,** 27-33 [In Persian.[
- BAHADOR, M., NAJI, A. & DEHGHANI, M. 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**,** 38-48 [In Persian.[
- BAYANI, N. 2016. Ecology and environmental challenges of the Persian Gulf. Iranian Studies, 49**,** 1047-1063.
- BENSON, N. U., ASUQUO, F. E., WILLIAMS, A. B., ESSIEN, J. P., EKONG, C. I., AKPABIO, O. & OLAJIRE, A. A. 2016. Source evaluation and trace metal contamination in benthic sediments from equatorial ecosystems using multivariate statistical techniques. PLoS One, 11**,** e0156485.
- BESHARATIPOUR, N., NIKAEEN, M., BINA, B., GHOLIPOUR, S. & HASSANZADEH, A. 2020. Microbial quality of coastal areas of bandar Abbas City: Is there any potential risks for swimmers? International Journal of Environmental Health Engineering, 9**,** 15.
- BOWEN, H. J. M. 1966. Trace elements in biochemistry. Trace elements in biochemistry.
- DADOLAHI SOHRAB, A. & NAZARIZADEH DEHKORDI, M. 2013. Heavy metals contamination in sediments from the north of the Strait of Hormuz. Journal of the Persian Gulf, 4**,** 39-46 [In persian.[
- DE MORA, S., FOWLER, S. W., WYSE, E. & AZEMARD, S. 2004. Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Gulf and Gulf of Oman. Marine pollution bulletin, 49**,** 410-424.
- ESMAILI ,M. M., NIKPOUR GHANAVATI, Y. & GHANEMI, K. 2015. Evaluation of Nutrients Amounts in the Coastal Waters of Bandar Abbas. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 3**,** 316-320.
- GHASEMI, S., MOGHADDAM, S. S., RAHIMI, A., DAMALAS ,C. A. & NAJI, A. 2018. Phytomanagement of trace metals in mangrove sediments of Hormozgan, Iran, using gray mangrove (Avicennia marina). Environmental Science and Pollution Research, 25**,** 28195-28205.
- GHASEMI, S., ZAKARIA, M., HAZANDY, A., YUSOF, E., HOVEIZEH, N. M. & DANEHKAR, A. 2010. Physico-chemical factors in the Avicennia and Rhizophora mangrove habitats in Iran. Asia Life Sciences-The Asian International Journal of Life Sciences, 20**,** 503-520.
- GHOLAM DOKHT BANDARI, M. & REZAIE, P. 2015. Study of Some Heavy Metal Pollutions in the Hormuz Islands Coastal Sediments and Their Origin. Journal of Oceanography, 6**,** 97-106 [In Persian.[
- HABIBI, S., SAFAHIEH, A. & PASH, H. 2011. Determination of impurity levels of heavy metal (Cd, Ni, Pb and Cu) Bushehr coastal sediments. IJSTS, 11**,** 84-95.
- HAGHSHENAS, A., HATAMI-MANESH, M., MIRZAEI, M., MIR SANJARI, M. & HOSSEIN KHEZRI, P. 2017. Measurement and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments of Pars Special Economic Energy Zone. ISMJ, 20**,** 44] ٤٦٩-٨In persian.[
- HAKANSON, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water research, 14**,** 975-1001.

- IKEM, A. & EGIEBOR, N. O. 2005. Assessment of trace elements in canned fishes (mackerel, tuna, salmon ,sardines and herrings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America). Journal of food composition and analysis, 18**,** 771-787.
- ISMAIL, A., TAN, S. & OMAR, H. 2002. Correlations between Speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in Sediment and Their Concentrations in Total Soft Tissue Of Green-lipped. Environment International, 28**,** 117-126.
- JAHROMI, F. A., KESHAVARZI, B., MOORE, F., ABBASI, S., BUSQUETS, R., HOODA, P. S. & JAAFARZADEH, N. 2021. Source and risk assessment of heavy metals and microplastics in bivalves and coastal sediments of the Northern Persian Gulf, Hormogzan Province. Environmental Research, 196**,** 110963.
- KANAKARAJU, D., IBRAHIM, F. & BERSELI, M. N. 2008. Comparative study of heavy metal concentrations in razor clam (Solen regularis) in Moyan and Serpan, Sarawak. Global Journal of Environmental Research, 2**,** 87-91.
- KUMAR, G., KUMAR, M. & RAMANATHAN, A. 2015. Assessment of heavy metal contamination in the surface sediments in the mangrove ecosystem of Gulf of Kachchh, West Coast of India .Environmental Earth Sciences, 74**,** 545-556.
- MIOLA, B., DE MORAIS, J. O. & DE SOUZA PINHEIRO, L. 2016. Trace metal concentrations in tropical mangrove sediments, NE Brazil. Marine pollution bulletin, 102**,** 206-209.
- MIRZA, R. & MOEINADDINI, M. 2017. Contamination and Ecological Assessment of Heavy Metals (Hg, Cd, Pb, Ni, V, Cu) in Surface Sediments of Chabahar Bay. Journal of Oceanography, 8**,** 1-9 [In persian.[
- MOAZENI, M., HAYERIPOUR, S., MOHAMADI, M. & FOLADI, H. 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**,** 23-32 [In persian.[
- MOJTAHID, M., JORISSEN, F. & PEARSON, T. 2008. Comparison of benthic foraminiferal and macrofaunal responses to organic pollution in the Firth of Clyde (Scotland). Marine Pollution Bulletin, 56**,** 42-76.
- NAZARPOUR, A., GHANAVATI, N. & BABAENEJAD, T. 2017. Evaluation of the level of pollution and potential ecological risk of some heavy metals in surface soils in the Ahvaz oil-field. Iranian Journal of Health and Environment, 10**,** 391-400 [In persian.[
- NOURI, J., FATEMI, M., DANEKAR, A., FAHIMI, F. & KARIMI, D. 2009. Determination of environmentally sensitive zones along Persian Gulf coastlines through geographic information system. Journal of Food, Agriculture & Environment, 7**,** 718-725.
- RAHMANPOUR, S., GHORGHANI, N. F. & ASHTIYANI, S. M. L. 2014. Heavy metal in water and aquatic organisms from different intertidal ecosystems, Persian Gulf. Environmental monitoring and assessment, 186**,** 5401-5409.
- REZAEI, M., MEHDINIA, A., SALEH, A., MODABBERI, S. & DANESHVAR, M. M. 2020. Environmental assessment of heavy metal concentration and pollution in the Persian Gulf. Modeling Earth Systems and Environment**,** 1-21.
- SAEEDI, H., ASHJA ARDALAN, A., HASSANZADEH KIABI, B. & ZIBASERESHT, R. 2012. Metal concentrations in razor clam Solen dactylus (Von Cosel, 1989)(Bivalvia: Solenidae), sediments and water in Golshahr coast of Bandar Abbas, Persian Gulf. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 11**,** 165-183 [In persian.[
- SHI, P. & SCHULIN, R. 2018. Erosion-induced losses of carbon, nitrogen, phosphorus and heavy metals from agricultural soils of contrasting organic matter management. Science of the Total Environment, 618**,** 210-218.
- SIDDIQUE ,M. A. M., RAHMAN, M., RAHMAN, S. M. A., HASSAN, M. R., FARDOUS, Z., CHOWDHURY, M. A. Z. & HOSSAIN, M. B. 2021. Assessment of heavy metal contamination in the surficial sediments from the lower Meghna River estuary, Noakhali coast, Bangladesh. International Journal of Sediment Research, 36**,** 384-391.
- YAZDAN PANAH, D., SAFAHIEH, A., SALARI ALIABADI, A. & KAMAL, G. 2017. Comparison of Heavy Metals (Zn, Cu, Ni, Pb and Cd) Concentration in the Intertidal Sediments of the Kharg Island during Summer and Winter .Journal of Oceanography, 8**,** 1-9 [In Persian.[
- YU, Z., LIU, E., LIN, Q., ZHANG, E., YANG, F., WEI, C. & SHEN, J. 2021. Comprehensive assessment of heavy metal pollution and ecological risk in lake sediment by combining total concentration and chemical partitioning. Environmental Pollution, 269**,** 116212.
- ZHU, A., LIU, J., QIAO, S. & ZHANG, H. 2020. Distribution and assessment of heavy metals in surface sediments from the Bohai Sea of China. Marine pollution bulletin, 153**,** 110901.

Ecological risk assessment of heavy metals in coastal sediment of Bandar abbas city

ASaber Ghasemi[1*]، Gholam Reza Zarei[2]
[*]1. Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Islamic Azad University, Bandar Abbas Branch, Iran.
2 . Department of Environment, Hormozgan Province, Bandar Abbas, Iran.
[*]Email Address : saberghasemi@gmail.com

Abstract

Introduction

Although heavy metals are components of the earth's crust and are naturally present in all ecosystems, their concentrations are increasing significantly. In recent decades, a significant portion of marine environmental pollution has been due to the entry of heavy metals into marine environments and their harmful environmental effects have been a major topic in environmental research. Although the increasing development of industry has numerous benefits, but unfortunately it also leads to special problems such as environmental pollution and threatens all human activities in relation to nature.

The main problem with heavy metals is that these inorganic pollutants are not biodegradable unlike organic pollutants, and this fact has made heavy metals one of the most dangerous groups of environmental pollutants. Heavy metals enter aquatic ecosystems through direct discharge of industrial and municipal effluents or indirectly through rainwater runoff as well as through the atmosphere, and cause serious problems, especially by accumulation in sediments. Due to their stability and lack of biological decomposition, heavy metals have a high tendency to accumulate in the body of aquatic organisms and accumulate in the tissues of mollusks, bivalves and fish.

The results of Bagheri et al., (2013) in surface sediments of Bandar Abbas coasts show that more than half of all lead and cadmium in Bandar Abbas coasts are of natural origin and the increase in metal concentration in Bandar Abbas coasts due to the presence of these two amounts is more It is natural in the earth's crust in the study area.Heavy metals can enter this ecosystem due to natural factors such as erosion, floods, seawater rotation, industrial and human wastewater, oil and gas leaks, ship accidents, and unbalanced water discharge. As a result, ecosystems such as industrial coastal ports, which are chronically exposed to metals, appear to have the most contaminated sediments, leading to ecological changes on the coast and endangering human health due to their toxic effects and bioaccumulation potential.One of the most important environmental problems of Bandar Abbas city at present can be the entry of sewage and waste into the coasts and estuaries of the city, which minimizes tourism uses. Since most of the urban wastewater of Bandar Abbas and some industrial wastewater is discharged directly into the sea, the coastal waters of Bandar Abbas are heavily polluted and any aquatic abstraction from the coastal waters and swimming in these waters can be due to pollution. Preliminary studies show that the beaches of "Shilat", "Gorsuzan", "Posht-shahr", " Soro" and "Hadish" are the main swimming areas of the indigenous people and at the same time the main receiving areas of Bandar Abbas urban sewage. The purpose of this study was to assess the ecological risk of heavy metals in coastal sediments of tourism-prone areas in Bandar Abbas, Hormozgan province.

Methodology

For the purpose of study, a systematic randomly classification method was used to determine the sampling points. Thus, 5 potential tourist destinations along the coast of Bandar Abbas, including the beaches of Shilat, Gorsuzan, Posht-shahr, Soro and Hadish, were randomly selected to cover the entire coastal strip of the city and were sampled as points. Sampling was performed in the spring of 2020, at full tide and almost daily between 10 and 15 o'clock. Acid digestion of the samples was performed and after purification, the concentration of each metal element was measured by atomic absorption spectrometry using calibration solutions.

For the data analysis, at first, the compliance of the data with the normal distribution was examined by the Kolmogorov–Smirnov statistic quantifies test, which showed that the data have a normal distribution. After confirming the normality of the data, heavy metal concentration analysis was performed. Pearson's correlation coefficient also was used to investigate the correlation relationship between metal concentrations. Finally, the sediment quality was assessed using pollution indices and ecological risk assessment index.

Results
According to the results, the average concentrations of elements including lead (pb), copper (Cu), nickel (Ni), cadmium (Cd), zinc (Zn) and iron (Fe) in the coastal sediments of Bandar Abbas areas were 46.75±5.75, 17.75±1.52, 62.42±4.51, 2.97±0.13, 46.09±4.56 and 9944.04±1463.49, mg/kg sediment, respectively. The results show that the sequence of total concentration of heavy metals in the coastal sediments of Bandar Abbas is Fe> Ni> pb> Zn> Cu> Cd.
Analysis of the correlation shows that there is only a significant correlation between iron and nickel (P <0.05) and there is no significant correlation between other elements (P> 0.05).
Heavy element coefficients factor in coastal sediments of Bandar Abbas for lead, copper, nickel, cadmium, zinc and iron, were calculated 2.34, 0.39, 0.92, 9.89, 0.49 and 0.21 respectively. Furthermore, the Cd index in the five sampling stations including the beaches of Shilat, Gorsuzan, Posht-shahr, Soro and Hadish were calculated 1.42, 2.41, 1.17, 1.45 and 1.19, respectively.Based on the the Müller geochemical index, the amount of lead in Hadish is in the range of non-polluted to medium polluted and in other stations were in the range of non-polluted.
In total, the measurement of potential ecological risk for the five sampling stations mentioned was calculated as 317.6, 327.2, 331.5, 331 and 270, respectively, and the total potential ecological risk of the coasts of Bandar Abbas was calculated as 315.5.
Conclusion
The computational results showed that the average accumulation of Cu, Ni, Zn and Fe is negative (Igeo < 0), the negative of these data indicates that the coastal sediments of Bandar Abbas in terms of these elements are in the range of non-polluted sediments. The value of this measurement was calculated for lead less than one (0<Igeo<1) and for cadmium less than 2 (1<Igeo<2), which include the ranges from non-polluted to moderate pollution and moderate pollution, respectively.
Comparison of heavy elements studied in this study with different standards showed that the amount of all elements except nickel is lower than global standards. The study of the ecological risk of heavy metals in the coasts of Bandar Abbas showed that the order of danger is (zinc <copper <nickel <lead <cadmium).Assessing the quality of sediments showed that the amount of modified degree of pollution index (mCd) in all cases except Gur-suzan were calculated less than 1.5 and the status of sediment pollution is estimated to be very low degree of pollution. In total, the ecological risk potential of the coasts of Bandar Abbas was calculated to be 315.5, which is within the acceptable ecological risk.Considering the location of Bandar Abbas city and considering the development of adjacent areas and various ongoing projects in the city and the pollution load caused by the entry of municipal sewage into the coast of Bandar Abbas, it is necessary to adopt appropriate strategies that can help to reduce pollutants. In this case, considering the certainty of the role of industries in polluting the coasts of Bandar Abbas and considering the conclusions obtained in this study, it is necessary to observe the rules and standards of environmental protection and apply these rules in neighboring industries.

Keywords
Persian Gulf; Heavy metals; Pollution; Bandar Abbas coast; Ecological risk assessment