



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

مقاله پژوهشی

## ارزیابی آلودگی رسوبات ساحلی جزیره قشم به عناصر Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr با استفاده از شاخص‌های کیفیت رسوب

پریسا نوروزی فرد<sup>۱</sup>، ثمر مرتضوی<sup>۱\*</sup>، صدیقه اسد<sup>۲</sup>، نسرین حسن‌زاده<sup>۱</sup>  
۱- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران  
۲- گروه بیوتکنولوژی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله:

**زمینه و هدف:** رسوبات دریایی مهمترین اجزای پایش سلامت بوم‌سازگان‌های (اکوسیستم) آبی هستند. پژوهش حاضر با استفاده از شاخص‌های کیفیت رسوب به بررسی وضعیت آلودگی در بوم‌سازگان قشم و نیز ارزیابی میزان سمیت عناصر مورد بررسی برای موجودات زنده آن می‌پردازد. **روش بررسی:** نمونه‌برداری از رسوبات سطحی هفت ایستگاه در سواحل قشم انجام و نمونه‌ها با ترکیبی از اسید نیتریک و پرکلریک هضم و غلظت فلزات با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. **یافته‌ها:** نتایج شاخص‌های برآورد سمیت بوم‌شناختی نشان داد رسوبات دریاچه هامون و اسکله ذاکری از نظر زیستی سمیت زیادی دارند. نتایج شاخص برخه خطر اصلاح شده حاکی از بالا بودن شدت آلودگی برای فلزات مس و نیکل در اغلب ایستگاه‌ها است که با نتایج شاخص آلودگی بالقوه در رابطه با فلز نیکل مطابقت دارد. همچنین نتایج شاخص آلودگی بالقوه و فاکتور آلودگی در مورد مقدار عنصر سرب مطابقت دارد. مطابق نتایج شاخص آلودگی دریاچه هامون و اسکله ذاکری به شدت آلوده و شاخص اصلاح شده آن نشان‌دهنده وضعیت آلوده در رمچاه، دریاچه هامون، اسکله ذاکری و جزایر ناز است. شاخص غنی‌شدگی نیز با آلودگی قابل توجه در رابطه با اغلب فلزات مویدی بر سایر شاخص‌های مورد بررسی و آلودگی منطقه مورد مطالعه است. **نتیجه‌گیری:** با توجه به بالاتر بودن غلظت عناصر از رهنمودهای کیفیت رسوب، وجود سمیت بالای رسوبات برای آبریان این بوم‌سازگان تایید می‌شود. ایستگاه‌های رمچاه، دریاچه هامون، اسکله ذاکری وضعیت آلودگی بالاتری داشته‌اند و سمیت بالایی برای آبریان نشان می‌دهد که فلزات مس، نیکل و در برخی موارد، سرب بیشترین سهم را در ایجاد آلودگی رسوبات منطقه دارند.

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۲۹  
تاریخ ویرایش: ۹۷/۰۷/۱۸  
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۲۵  
تاریخ انتشار: ۹۷/۰۹/۲۸

**واژگان کلیدی:** خلیج فارس، عناصر سمی، شاخص‌های کیفیت رسوب، جزیره قشم، وضعیت آلودگی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

mortazavi.s@gmail.com

## مقدمه

عناصر سمی آلاینده‌های محیط‌زیستی گسترده‌ای هستند که در اکوسیستم‌های آبی پایدار، غیرقابل تجزیه بیولوژیکی بوده و دارای سمیت زیادی هستند (۱، ۲) که به دلیل اثرات منفی بر سلامت زیست‌بوم و انسان جایگاه مطالعاتی ویژه‌ای دارند (۳). یکی از دلایلی که سبب اهمیت بررسی فلزات موجود در آب و رسوبات می‌گردد، این است که بسیاری از گونه‌های زیستی بخش عمده دوره زندگی خود را در محیط رسوبی یا روی آن می‌گذرانند. از این‌رو مواد موجود در آب و رسوبات از طریق چرخه زیستی وارد بدن موجودات دیگر و همچنین انسان می‌شود (۴). در دهه‌های اخیر بسیاری از محققان شاخص‌های مختلفی را برای ارزیابی کیفیت رسوبات معرفی کرده‌اند. Cairo و همکاران (۵)، چنین شاخص‌هایی را در سه نوع تقسیم‌بندی می‌کنند؛ (۱): شاخص‌های آلودگی که غلظت‌های کلی فلزات در منطقه مورد مطالعه را در مقایسه با ایستگاه‌های غیر آلوده یا پاک در نظر می‌گیرند، (۲) شاخص‌های غنی‌شدگی پس‌زمینه که غلظت‌های فلزات را با سطوح زمینه یا هر مقدار پایه قابل اعتماد در مقالات مقایسه یا نرمال می‌کنند، و (۳) شاخص‌های خطر اکولوژیکی که رهنمودهای کیفیت رسوب ((Sediment Quality Guideline (SQG)) را برای تعیین سمیت آلاینده اندازه‌گیری شده به کار می‌گیرند (۶). در این راستا مطالعات بسیاری صورت گرفته از جمله مطالعات Haghshenas و همکاران (۷) که به ارزیابی خطر اکولوژیکی عناصر سمی در رسوبات سطحی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس با استفاده از شاخص‌های خطر اکولوژیکی، زمین‌انباشتی، شاخص بار آلودگی و فاکتور آلودگی پرداختند، اشاره نمود. Ranjbar Jafarabadi و همکاران (۸) به توزیع مکانی، ارزیابی خطر محیط‌زیستی در رسوبات سطحی سواحل مرجانی خلیج فارس با استفاده از شاخص‌های غنی‌شدگی و خطر اکولوژیکی پرداختند. در خارج از کشور نیز Alharbi و همکار (۹) به ارزیابی آلودگی فلزات در رسوبات ساحلی منطقه Al-Khobar خلیج فارس در عربستان با استفاده از شاخص‌های غنی‌شدگی و فاکتور آلودگی پرداختند. El-Sorogy و

همکاران (۱۰) به بررسی آلودگی فلزات و تعیین منشا آنها در منطقه Dammam Al-Jubail خلیج فارس در عربستان با استفاده از شاخص غنی‌شدگی پرداختند. درک توزیع، خطر اکولوژیکی بالقوه و منبع انتشار برای مدیریت فلزات سمی در محیط‌زیست بسیار ضروری است (۱۱). در این راستا معیارهایی با استفاده از رهنمودهای کیفیت رسوبات ارائه می‌گردند که بر پایه پاسخ بیولوژیک موجودات به شرایط ایجاد شده توسط آلاینده‌ها استوار است (۱۲). سطح اثر آستانه ((Threshold Effect Level (TEL)) به غلظت کمی از عناصر سمی که تأثیرات بیولوژیکی سمی ایجاد می‌کند اشاره دارد و سطح اثر احتمالی ((Probable Effect Level (PEL)) نمایانگر غلظت بالایی است که اثرات ناسازگار فراوانی را نشان می‌دهد (۱۳). رسوبات، مخزنی برای تجمع عناصر سمی به شمار می‌روند به گونه‌ای که این عناصر با ذخیره در رسوبات به زنجیره غذایی راه می‌یابند (۱۴). درک رابطه بین غلظت فلز در رسوبات و میزان آلودگی ناشی از آلاینده‌ها برای آزمون لازم و ضروری است (۱۵). متداولترین روش ارزیابی آلودگی عناصر سمی و ریسک اکولوژیکی در رسوبات از طریق برآورد سمیت بوم‌شناختی ( $Q_{TEL}$ ,  $Q_{PEL}$ , modified Hazard) mHQ, و محاسبه فاکتور آلودگی ((Quotient)) و (Toxicity Unit) TU و شاخص آلودگی ((Contamination Factor (CF))، شاخص آلودگی بالقوه ((Potential Contamination Index (PCI))، فاکتور غنی‌شدگی ((Enrichment Factor (EF)) است. با توجه به اثرات تداخلی عناصر سمی در محیط، شاخص‌های عنصری منفرد در ارزیابی ریسک و آلودگی آنها ناکافی است (۱۱، ۱۶). بر این اساس محدودیت شاخص‌های تک عنصری منجر به توسعه شاخص‌های آلودگی چندعنصری برای ارزیابی کیفیت رسوبات گردید (۱۷-۱۹). شاخص‌های چند عنصری مانند شاخص آلودگی نمری (Pollution Index Nemerow ( $PI_{Nemerow}$ )) و شاخص اصلاح شده آلودگی ((Modified Pollution Index (MPI)) می‌توانند اثرات هم‌بیشی فلزات مختلف را در نظر بگیرند (۱۸، ۲۰). در بین محیط‌های آبی، خلیج فارس در زمره با ارزش‌ترین

جزیره ایران و خلیج فارس با مساحت  $1491 \text{ km}^2$  در تنگه هرمز قرار دارد (۲۱).  $300$  کیلومتر از جزیره قشم به منطقه آزاد اختصاص دارد و طول جزیره از بندر قشم تا بندر باسعیدو در انتهای جزیره  $130$  کیلومتر است (۲۲). این جزیره در  $15^\circ 55'$  تا  $16^\circ 56'$  طول شرقی و  $26^\circ 32'$  تا  $27^\circ$  عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد (۲۱). شکل ۱ موقعیت قرارگیری جزیره قشم در خلیج فارس و ایستگاه‌های مورد مطالعه در جزیره قشم و جدول ۱ موقعیت جغرافیایی و منابع احتمالی آلوده‌کننده ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. جهت نمونه‌برداری ۷ ایستگاه در نیمه شرقی جزیره براساس وجود منابع احتمالی آلوده‌کننده و امکان دسترسی برای نمونه‌برداری به‌عنوان معرف وضعیت منطقه انتخاب گردید که از نظر هزینه‌های آنالیز نیز مقرون به‌صرفه بود.

#### - نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌برداری در فصل بهار و اواخر فروردین ماه سال ۱۳۹۶ انجام شد. در هر ایستگاه نمونه‌ها با سه تکرار از لایه سطحی رسوبات ( $0-10 \text{ cm}$ ) به روش تصادفی طبقه‌بندی شده (Stratified Random Sampling) برداشت و در کیسه پلاستیکی در دمای  $4^\circ \text{C}$  به آزمایشگاه انتقال یافت. در آزمایشگاه نمونه‌ها در مجاورت هوا خشک و پس از کوبیدن با هاون چینی، ابتدا از الک مش  $10$  به منظور جداسازی اجزای خارجی و زائدات و سپس از الک مش  $230$  ( $63 \mu$ ) عبور داده شد. به منظور هضم

بوم‌سازگان آبی جهان محسوب می‌گردد. محصور بودن این پهنه آبی، تردد کشتی‌های متعدد و منابع نفت و گاز منطقه، سبب شده است که آلودگی‌های محیطی به‌ویژه عناصر سمی در این بوم‌سازگان رو به فزونی باشد. در بوم‌سازگان خلیج فارس جزیره قشم بزرگ‌ترین جزیره ایران در دهانه تنگه هرمز واقع گردیده است. این جزیره از قابلیت‌های بالای تجاری، شیلاتی و توریستی برخوردار بوده و صنایع مختلفی در حاشیه آن قرار دارند. با توجه به وجود صنایع و منابع آلوده‌کننده مختلف در حاشیه جزیره قشم به‌عنوان منابع آلوده‌کننده و همچنین ویژگی‌های خاص و منحصر به‌فرد عناصر سمی همچون کادمیوم، مس، روی، سرب، نیکل و کروم، به دلیل مقاومت، سمیت و توانایی تجمع در زنجیره غذایی به‌عنوان آلاینده‌های اصلی اکوسیستم‌های آبی در نظر گرفته می‌شوند، بر این اساس ضرورت پایش و کنترل آلودگی ناشی از عناصر سمی در این بوم‌سازگان نمایان می‌گردد. در این راستا شاخص‌های تک‌عنصری به منظور بررسی اثرات فلزات مختلف بر بوم‌سازگان و شاخص‌های چندعنصری به منظور بررسی اثرات تداخلی عناصر، محاسبه می‌گردد.

#### مواد و روش‌ها

##### - منطقه مورد مطالعه

جزیره قشم یکی از جزایر استان هرمزگان به‌عنوان بزرگ‌ترین



شکل ۱- موقعیت مکانی جزیره قشم در خلیج فارس و ایستگاه‌های مورد مطالعه در آن

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و منابع احتمالی آلوده‌کننده ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	موقعیت جغرافیایی	منابع احتمالی آلوده‌کننده
۱	کندالو	۵۵°۵۴'۴۹" N ۲۶°۴۱'۵۸" E	کارگاه‌های محلی ساخت قایق و کشتی، اسکله شناور تفریحی در ساحل کندالو، مجاورت با منطقه مسکونی
۲	شیب دراز	۵۵°۵۵'۲۳" N ۲۶°۴۱'۰۹" E	توسعه گردشگری و کاربرد قایق‌های تفریحی، قایق‌های مسافربری و صیادی، کارگاه‌های پرورش ماهی، آب شیرین کن
۳	رمچاه	۵۶°۰۹'۵۲" N ۲۶°۵۳'۵۶" E	آب شیرین کن، تردد شناور صیادی سنتی و لنج ماهیگیری، ایستگاه گاز
۴	دریاچه هامون	۵۶°۱۴'۴۶" N ۲۶°۵۸'۴۳" E	مجموعه‌ای تفریحی با امکانات متعدد شامل محل ماهیگیری و قایقرانی، کارخانه و کارگاه‌های ساخت قایق و کشتی
۵	اسکله ذاکری	۵۶°۱۶'۲۳" N ۲۶°۵۷'۵۷" E	ورود فاضلاب شهری، تردد شهروندان با استفاده از قایق و اتوبوس‌های دریایی، قایق، لنج و تندرو، تردد لندینگ کرافت
۶	جزایر ناز	۵۶°۰۶'۴۲" N ۲۶°۴۸'۴۷" E	انواع امکانات تفریحی شامل جت‌اسکی و قایق
۷	اسکله لافت	۵۵°۴۵'۳۰" N ۲۶°۵۷'۰۷" E	تردد کشتی و لندینگ کرافت، فعالیت‌های پالایشگاهی (پالایش، تصفیه و تولید فرآورده‌های نفتی)، اسکله باربری

تا ۱۰۵ درصد و درصد خطای نسبی (RSD) آنها بین ۳/۶۵ تا ۸/۷۷ به‌دست آمد. تجزیه و تحلیل آمار توصیفی با استفاده از نرم‌افزار SPSS,21 و محاسبه شاخص‌های مختلف و رسم نمودارها با استفاده از Excel انجام پذیرفت.

#### - شاخص‌های کیفیت رسوبات

#### الف) برآورد سمیت بوم‌شناختی

پتانسیل سمیت حاد ( $\Sigma TU$ ) آلاینده‌ها در نمونه‌های رسوب را می‌توان به‌صورت مجموع واحدهای سمی بررسی کرد که در آن واحد سمیت (TU) مطابق معادله ۱ به‌دست می‌آید (۸).

$$\text{Toxicity Unit} = C_i / \text{PEL}_i \quad (1)$$

که در آن:  $C_i$  غلظت فلز  $i$  و  $\text{PEL}_i$  بیانگر سطح اثرات احتمالی آن فلز است که برای مس، سرب، روی، کادمیوم، نیکل و کروم به ترتیب ۱۰۸، ۱۱۲، ۲۷۱، ۴/۲۱، ۴۲/۸ و ۱۶۰ mg/kg است (۲۴).

به‌منظور ارزیابی سمیت حاد ترکیب چند فلز در نمونه رسوب  $\Sigma TU$  مطابق معادله ۲ به‌دست می‌آید. در صورتی که  $\Sigma TU > 4$

نمونه‌های رسوب، از هر نمونه ۰/۵ g با اسید نیتریک ( $\text{HNO}_3$ ) و پرکلریک ( $\text{HClO}_4$ ) فوق خالص به نسبت ۴ به ۱ ترکیب و در دستگاه هضم‌کننده ابتدا در دمای پایین ( $40^\circ\text{C}$ ) به مدت ۱ h و سپس در دمای بالا ( $140^\circ\text{C}$ ) به مدت ۳ h قرار گرفت (۲۳). پس از سرد شدن، نمونه‌ها از کاغذ صافی  $42 \mu$  عبور و به حجم نهایی ۲۵ mL رسانده شدند. نمونه‌ها تا زمان سنجش غلظت عناصر در بطری‌های پلی‌اتیلنی تیره در یخچال نگهداری و در نهایت با دستگاه جذب اتمی قرائت گردید. لازم به‌ذکر است غلظت تمامی عناصر به‌جز کادمیوم که به روش کوره خوانده شد با روش شعله اندازه‌گیری شد. در این روش حد تشخیص دستگاه LOD (Limit Of Detection) برای عناصر مس، سرب، روی، نیکل، کروم و آهن به ترتیب ۰/۲۳۱۱، ۰/۳۸۵، ۰/۲۰۹۵، ۰/۲۹۲۷، ۰/۷۶۹۴ و ۰/۷۵۵۰ mg/L حد کمینه شدن LOQ (Limit of Quantitation) برای آنها به ترتیب ۰/۸۴۶۲، ۰/۷۳۸۸، ۰/۷۳۰۸، ۰/۹۲۰۸، ۱/۰۹۴ و ۲/۷۳۰ mg/L است و برای عنصر کادمیوم به‌ترتیب حد تشخیص و حد کمینه شدن ۱/۱۷۲ و ۳/۹۸۸  $\mu\text{g/L}$  است. درصد بازایی این عناصر بین ۸۷

باشد نمایانگر نبود سمیت و در صورتی که  $\Sigma TU < 6$  باشد نشان دهنده سمیت حاد است (۲۵).  
 $\Sigma TU = TU_{Cu} + TU_{Pb} + TU_{Zn} + \dots$  (۲)

### ج) فاکتور آلودگی (Cf)

این شاخص اطلاعاتی در رابطه با چگونگی تمرکز یک عنصر در مکان مورد نظر نسبت به مکان مرجع ارائه می‌دهد (۱۴). این شاخص مطابق معادله ۶ به دست می‌آید (۲۸).

$$Cf = \frac{C_i}{C_b} \quad (۶)$$

که Cf فاکتور آلودگی،  $C_i$  غلظت فلز مورد نظر در یک مکان و  $C_b$  غلظت همان فلز در مکان مرجع است. در این پژوهش برای تعیین میزان آلودگی رسوب به عناصر سمی از میانگین شیل که توسط Turkian, Wedephol ارائه شده، استفاده گردیده است. بر این اساس میانگین شیل برای فلزات مس، سرب، روی، کادمیوم، نیکل، کروم و آهن به ترتیب ۴۵، ۲۰، ۹۵، ۰/۳، ۵۰، ۹۰ و ۴۷۰۰ mg/kg است (۲۹). طبقه‌بندی ارائه شده برای این شاخص به صورت:  $1 < Cf < 3$  ضریب آلودگی پایین،  $3 < Cf < 6$  ضریب آلودگی قابل توجه و  $Cf \geq 6$  ضریب آلودگی بسیار زیاد است (۱۸، ۲۸).

### د) شاخص آلودگی نمر (PI<sub>Nemerow</sub>) و شاخص آلودگی اصلاح شده (MPI)

شاخص آلودگی (PI) توسط Nemerow (۱۹۹۱) توسعه یافت (۱۶). اخیراً Brady و همکاران شاخص آلودگی اصلاح شده (MPI) را پیشنهاد کردند که بهبود یافته شاخص آلودگی است و در محاسبه آن فاکتورهای غنی‌شدگی بجای فاکتورهای آلودگی به کار می‌رود (۱۷). معادلات ۷ و ۸ نشان می‌دهند که چگونه شاخص آلودگی و شاخص آلودگی اصلاح شده محاسبه می‌شوند. طبقه‌بندی کیفی رسوبات با استفاده از دو شاخص یکپارچه در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

$$PI = \sqrt{\frac{(Cf_{average})^2 + (Cf_{max})^2}{2}} \quad (۷)$$

$$MPI = \sqrt{\frac{(Ef_{average})^2 + (Ef_{max})^2}{2}} \quad (۸)$$

که در آن:  $Cf_{average}$ ،  $Cf_{max}$  و  $Ef_{average}$ ،  $Ef_{max}$  به ترتیب

در این معادله: C بیانگر غلظت عناصر سمی در رسوبات و TEL بیانگر سطح اثر آستانه آن فلز است که برای مس، سرب، روی، کادمیوم، نیکل و کروم به ترتیب ۱۸/۷، ۳۰/۲، ۱۲۴، ۰/۶۸ و ۱۵/۹ mg/kg است (۲۴). اگر  $Q_{TEL}$  کمتر از یک باشد عناصر سمی موجود در رسوبات هیچ خطری برای موجودات کفزی ندارند. از سوی دیگر چنانچه مقادیر  $Q_{PEL}$  بیشتر از یک باشد رسوبات سمیت بالایی دارند، درحالی‌که اگر  $1 \leq Q_{PEL} \leq Q_{TEL}$  باشد، وضعیت خطر آنها نامشخص است (۲۶).

### ب) بر خه خطر اصلاح شده (mHQ)

تعیین بر خه خطر اصلاح شده عناصر (mHQ) یک ابزار مهم ارزیابی درجه خطر هر عنصر برای محیط‌های آبی و موجودات زنده است که مطابق معادله ۵ به دست می‌آید (۲۷).

$$mHQ = [C_i (\frac{1}{TEL_i} + \frac{1}{PEL_i} + \frac{1}{SEL_i})]^{1/2} \quad (۵)$$

که در آن:  $C_i$  غلظت اندازه‌گیری شده فلز سنگین در نمونه رسوب،  $TEL_i$ ،  $PEL_i$  و  $SEL_i$  (Severe Effect Level) حروف اختصاری به ترتیب سطح اثر آستانه، سطح اثر احتمالی و سطح اثر شدید برای فلز i ام هستند. مطابق طبقه‌بندی ارائه شده برای این شاخص چنانچه  $mHQ < 0.5$  باشد شدت آلودگی صفر تا خیلی کم،  $0.5 \leq mHQ < 1$  شدت خیلی کم آلودگی،  $1 \leq mHQ < 1.5$  شدت کم آلودگی،  $1.5 \leq mHQ < 2$  شدت متوسط آلودگی،  $2 \leq mHQ < 2.5$  شدت قابل ملاحظه آلودگی،

جدول ۲- طبقه‌بندی کیفی رسوبات برای شاخص‌های چند عنصری

طبقه	طبقه‌بندی کیفی رسوبات	PI	MPI
۰	آلوده نشده (Unpolluted)	$PI < 0.7$	$MPI < 1$
۱	اندکی آلوده (Slightly polluted)	$0.7 \leq PI < 1$	$1 \leq MPI < 2$
۲	به‌طور متوسط آلوده (Moderately polluted)	$1 \leq PI < 2$	$2 \leq MPI < 3$
۳	به‌طور متوسط تا به‌شدت آلوده (Moderately-heavily polluted)	-	$3 \leq MPI < 5$
۴	به‌شدت آلوده (Severely polluted)	$2 \leq PI < 3$	$5 \leq MPI < 10$
۵	بی‌نهایت آلوده (Heavily polluted)	$PI \geq 3$	$MPI \geq 10$

$EF < 2$  عدم غنی‌شدگی یا حداقل غنی‌شدگی،  $2 \leq EF < 5$  غنی‌شدگی متوسط،  $20 < EF \leq 50$  غنی‌شدگی قابل توجه،  $40 < EF \leq 200$  غنی‌شدگی بسیار زیاد و چنانچه  $EF \leq 40$  باشد به‌شدت غنی‌شده است (۳۱).

#### ۵) شاخص آلودگی بالقوه (PCI)

شاخص آلودگی بالقوه فلز  $i$  ( $PCI_i$ ) با استفاده از معادله ۱۱ که توسط Davault and Rognerud در سال ۲۰۰۱ پیشنهاد شده است، محاسبه می‌گردد (۳۳):

$$PCI_i = \frac{C_{i_{max}}}{C_{bkg}} \quad (11)$$

که  $PCI_i$  شاخص آلودگی بالقوه فلز  $i$ ،  $C_{i_{max}}$  غلظت بیشینه فلز  $i$  در رسوبات و  $C_{bkg}$  نشان‌دهنده غلظت مرجع (مقادیر زمینه ژئوشیمیایی فلز در میانگین مرجع شیل همان فلز کمیاب (۲۹)) است. این شاخص سه طبقه‌بندی برای رسوبات مطرح می‌نماید:  $1 < PCI < 3$  نشان‌دهنده آلودگی کم،  $3 < PCI < 10$  آلودگی متوسط و  $PCI > 3$  آلودگی شدید و یا خیلی شدید (۲۷، ۳۳).

#### یافته‌ها

##### - غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف

جدول ۳ نشان‌دهنده میانگین غلظت فلزات مس (Cu)، سرب (Pb)، روی (Zn)، کادمیوم (Cd)، نیکل (Ni) و کروم (Cr) در ایستگاه‌های مختلف منطقه مطالعاتی است. مطابق نتایج

نمایانگر متوسط فاکتورهای آلودگی، متوسط فاکتورهای غنی‌شدگی، فاکتور آلودگی بیشینه و فاکتور غنی‌شدگی بیشینه است (۱۶).

#### ر) شاخص غنی‌شدگی (EF)

شاخص غنی‌شدگی یک شاخص تک عنصری است که نسبت عنصر موردنظر به یک "عنصر زمینه" (عنصری که هیچ ورودی انسانی نداشته و توسط فرایندهای هوازدگی تحت تاثیر قرار نگرفته باشد مانند Al، Fe، Li) مطابق معادله ۱۰ محاسبه می‌گردد (۳۰). فاکتورهایی که برای انتخاب عنصر معیار و نیز محدودیت‌ها در نظر گرفته شده‌اند در مقاله Brady و همکاران ارائه شده‌اند (۱۷). در مطالعه حاضر عنصر آهن به دلیل اینکه منابع طبیعی آن در خاک و رسوبات غالب هستند، به‌عنوان عنصر نرمال کننده انتخاب شد (۳۱). فاکتور غنی‌شدگی بیشتر از یک نشان‌دهنده منشا انسانی عنصر مورد نظر است (۳۲).

$$EF = \frac{\left(\frac{C_i}{C_{ref}}\right)_{Sample}}{\left(\frac{B_n}{B_{ref}}\right)_{Background}} \quad (10)$$

که در آن:  $C_i$  غلظت فلز سنگین در رسوبات،  $C_{ref}$  غلظت عنصر مرجع آهن (Fe) در رسوبات،  $B_n$  غلظت زمینه فلز در میانگین شیل یا رسوبات آلوده نشده و  $B_{ref}$  غلظت زمینه عنصر مرجع آهن (Fe) در میانگین شیل یا رسوبات آلوده نشده است. براساس طبقه‌بندی ارائه شده برای شاخص غنی‌شدگی چنانچه

جدول ۳- غلظت عناصر مورد مطالعه (میانگین  $\pm$  انحراف معیار) در ایستگاه‌های مختلف (mg/kg)

شماره ایستگاه	Cu	Pb	Zn	Cd	Ni	Cr
۱	۳۳/۳۲ $\pm$ ۲/۴۵	۲۶/۸۵ $\pm$ ۰/۶۷	۶۷/۵۰ $\pm$ ۱/۶۸	۰/۱۶ $\pm$ ۰/۰۰۲	۳۰/۱۰ $\pm$ ۰/۴۳	۱۵/۳۷ $\pm$ ۰/۱۵
۲	۳۱/۵۸ $\pm$ ۰/۴۲	۲۶/۸۹ $\pm$ ۰/۴۶	۷۶/۹۵ $\pm$ ۸/۳۵	۰/۱۴ $\pm$ ۰/۰۰۱	۴۸/۸۵ $\pm$ ۴/۸۳	۱۶/۸۱ $\pm$ ۰/۱۷
۳	۱۱۰/۰۵ $\pm$ ۱/۶	۲۸/۸۰ $\pm$ ۰/۳۵	۱۰۴/۶۴ $\pm$ ۰/۴۱	۰/۱۶ $\pm$ ۰/۰۰۲	۶۱/۶۱ $\pm$ ۰/۴۰	۱۷/۵۱ $\pm$ ۰/۱۲
۴	۱۱۵/۴۰ $\pm$ ۰/۶۱	۳۱/۶۹ $\pm$ ۰/۲۸	۱۳۱/۸۷ $\pm$ ۱/۵۶	۰/۱۱ $\pm$ ۰/۰۰۱	۱۰۹/۴۶ $\pm$ ۰/۱۵	۲۰/۴۵ $\pm$ ۰/۱۵
۵	۱۲۷/۸۶ $\pm$ ۱/۳۱	۳۱/۹۸ $\pm$ ۰/۱۲	۱۵۹/۲۲ $\pm$ ۱/۷۸	۰/۱۵ $\pm$ ۰/۰۰۴	۸۵/۳۸ $\pm$ ۱/۱۳	۲۰/۵۶ $\pm$ ۰/۲۸
۶	۲۳/۷۵ $\pm$ ۰/۰۷	۳۳/۴۸ $\pm$ ۱/۷۴	۶۱/۸۰ $\pm$ ۰/۵۶	۰/۱۳ $\pm$ ۰/۰۰۲	۲۷/۳۵ $\pm$ ۰/۲۲	۱۴/۸۲ $\pm$ ۰/۲۳
۷	۳۱/۷۵ $\pm$ ۰/۲۴	۲۷/۰۱ $\pm$ ۰/۰۸	۷۲/۷۰ $\pm$ ۰/۶۲	۰/۱۱ $\pm$ ۰/۰۰۰	۵۱/۵۹ $\pm$ ۰/۳۰	۱۸/۱۰ $\pm$ ۰/۰۴

**- برخه خطر اصلاح شده (mHQ)**

نمودار ۲ مقادیر برخه خطر عناصر مورد مطالعه در هر ایستگاه را نشان می‌دهد. مطابق شکل ایستگاه‌های سوم، چهارم و پنجم بیشترین میزان آلودگی و عناصر مس و نیکل بالاترین مقادیر را به خود اختصاص می‌دهند.

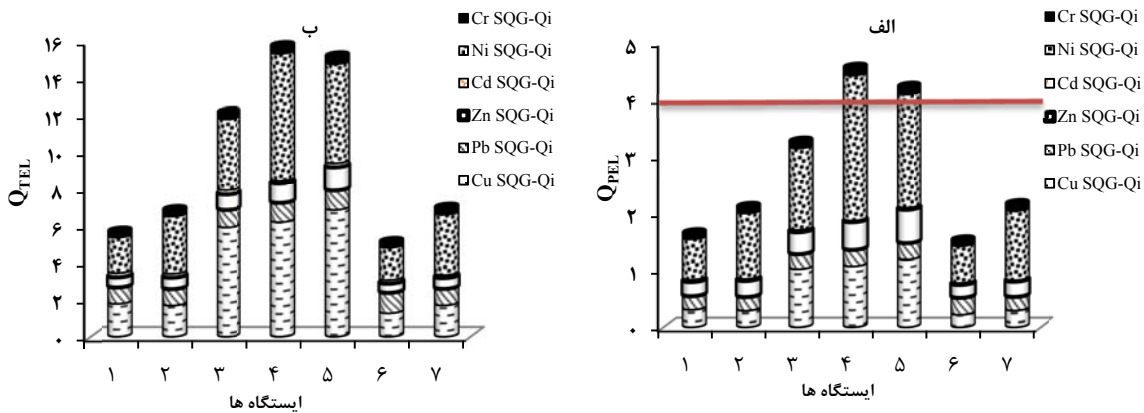
**- فاکتور آلودگی (CF)**

نمودار ۳ فاکتور آلودگی فلزات مختلف در ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. مطابق نتایج به دست آمده در ایستگاه‌های سه، چهار و پنج فلز مس و در سایر ایستگاه‌ها فلز سرب بیشترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهد و مقادیر Cf به دست آمده برای اکثر فلزات در این ایستگاه‌ها مقادیر کمتر از یک و یا در محدوده بین یک تا سه قرار دارند.

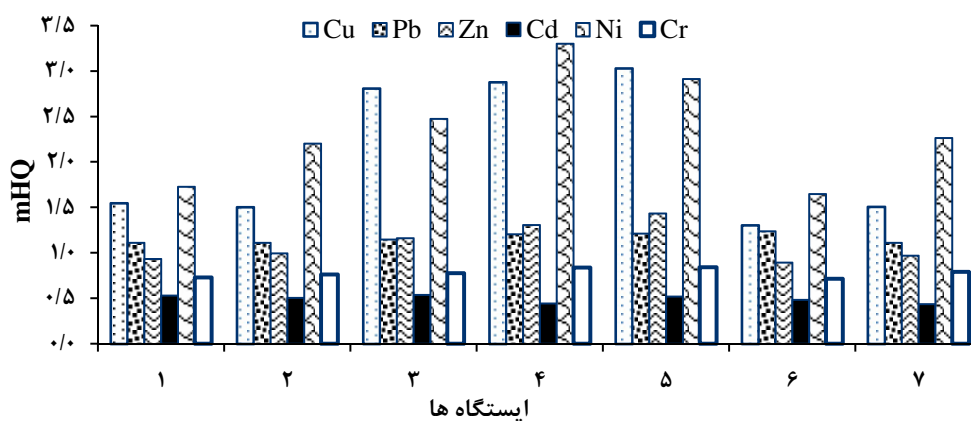
بیشترین غلظت مربوط به فلز روی و کمترین آن مربوط به فلز کادمیوم است.

**- برآورد سمیت بوم‌شناختی و مقایسه با استانداردهای جهانی**

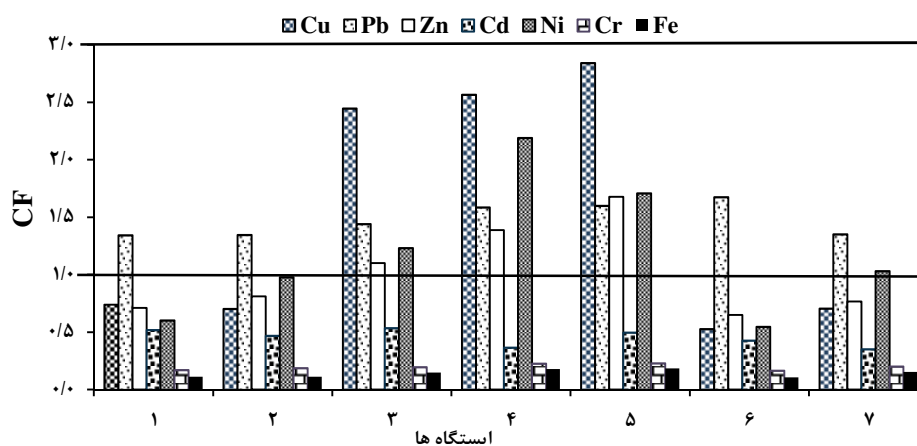
مطابق نمودار ۱ در هر ایستگاه نمودار تجمعی نسبت غلظت فلز به مقادیر PEL و TEL فلزات مختلف به دست می‌آید. نتایج نشان داد ایستگاه چهارم بیشترین و ایستگاه ششم کمترین مقادیر را به خود اختصاص می‌دهد. در این میان سهم فلز نیکل و مس نسبت به سایر فلزات در ایجاد  $Q_{TEL}$  و  $Q_{PEL}$  بیشتر است. مطابق راهنمای  $\Sigma TU$  چنانچه مقادیر آن کمتر از چهار باشد بیانگر عدم وجود سمیت است.



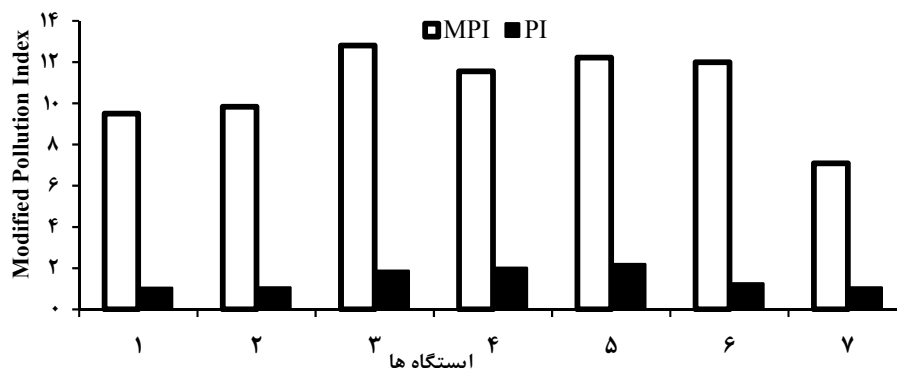
نمودار ۱- (الف) نمودار تجمعی مقادیر  $Q_{PEL}$  در هر ایستگاه و (ب) نمودار تجمعی مقادیر  $Q_{TEL}$  در هر ایستگاه



نمودار ۲- نمودار برخیه خطر فلزات مختلف در منطقه مورد مطالعه



نمودار ۳- نمودار مقادیر فاکتور آلودگی برای هر فلز منفرد



نمودار ۴- نمودار مقادیر شاخص MPI و PI در ایستگاه‌های مختلف



و بالاتر بودن سرب در سایر ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. خطوط افقی رسم شده حد طبقات غنی‌شدگی را نشان می‌دهند.

**- شاخص آلودگی بالقوه (PCI)**

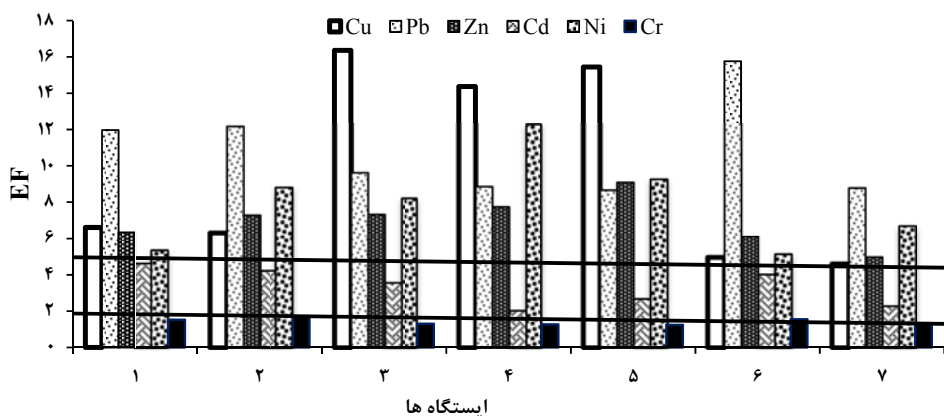
نمودار ۶، نمودار شاخص بالقوه آلودگی فلزات مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج این شاخص نیز مؤید سایر شاخص‌ها و بیانگر وضعیت آلودگی بیشتر در ایستگاه‌های سه، چهار و پنج و اغلب در رابطه با فلزات مس و سرب است. خطوط افقی رسم شده بیانگر محدوده‌های تعریف شده برای این شاخص است.

**- شاخص آلودگی نمره (PI<sub>Nemerow</sub>) و شاخص آلودگی اصلاح شده (MPI)**

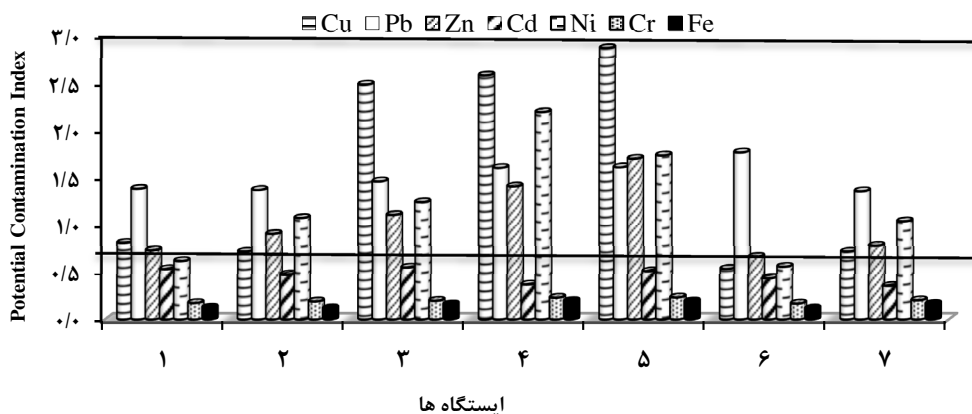
مطابق نمودار ۴ مقادیر شاخص آلودگی و شاخص آلودگی اصلاح شده ارائه شده است. مقادیر هر دو شاخص در تناسب با یکدیگر بوده و بیشترین مقدار برای ایستگاه سوم به دست آمد.

**- شاخص غنی‌شدگی (EF)**

مطابق نمودار ۵، نمودار شاخص غنی‌شدگی فلزات مختلف ارائه شده است. نتایج این شاخص در تایید با شاخص‌های فاکتور آلودگی، شاخص آلودگی و شاخص اصلاح شده آلودگی بوده و بالاتر بودن مقادیر برای فلز مس در ایستگاه‌های سه، چهار و پنج



نمودار ۵- نمودار مقادیر EF فلزات مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف



نمودار ۶- نمودار شاخص PCI در ایستگاه‌های مختلف

## بحث

### - غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف

مطابق نتایج بالا بودن غلظت فلزات مس و روی در ایستگاه پنجم (اسکله ذاکری) می‌تواند به دلیل ورود فاضلاب تصفیه نشده شهری، تردد تندروها و قایق‌های موتورهای فعال در مسیرهای پرتردد و نیز رنگ‌ها و ترکیبات ضد رسوب‌گیر حاوی مس و روی در بدنه شناورهای دریایی (۳۴) باشد. کروم در ایستگاه‌های چهارم و پنجم (دریاچه هامون و اسکله ذاکری) به دلیل ورود پساب‌های شهری و خانگی (۳۵) و نیز تعمیرات و آب توازن کشتی‌ها و قایق‌های مسافری در این ایستگاه‌ها و نیز مجاورت کارخانه کشتی‌سازی و کارگاه‌های محلی با دریاچه هامون و سرب در ایستگاه ششم (جزایر ناز) به دلیل تردد وسایل نقلیه در زمان جزر آب تا مجاورت جزایر و وجود سرب در سوخت خودروها و نیز تردد کشتی‌ها و قایق‌های تفریحی که علاوه بر آلودگی ناشی از سوخت آنها، سرب موجود در ترکیب رنگ‌های آنها و نیز مجاورت با سکوی نفت می‌تواند از دلایل احتمالی بالا رفتن این عناصر در ایستگاه‌های مذکور باشد. همچنین بیشترین غلظت کادمیوم در ایستگاه اول (کندالو) احتمالاً به دلیل مجاورت با شرکت‌های شناورسازی که به تولید و تعمیر انواع شناورهای فایبرگلاس، آلومینیومی و فولادی می‌پردازند و نیز تردد قایق‌های تفریحی در این ایستگاه و نیز وجود آب شیرین‌کن، اسکله صیادی، وجود نفت کش قدیمی در منطقه و مجاورت با روستای ساحلی و تأثیرپذیری از فاضلاب تصفیه نشده آنها در ایستگاه سوم (رمچاه) به دست آمد. ایستگاه چهارم (دریاچه هامون) به دلیل تردد قایق‌های تفریحی و جت اسکی‌ها و ترکیبات موجود در سوخت آنها، ترکیبات رنگ‌های ضدزنگ و وجود کارخانه کشتی‌سازی و کارگاه‌های محلی در مجاورت این ایستگاه که می‌تواند منجر به بالا رفتن غلظت عنصر نیکل نسبت به سایر ایستگاه‌ها گردد.

### - برآورد سمیت بوم‌شناختی

علیرغم عدم وجود رابطه مثبت و معنی‌دار بین غلظت فلزات با تاثیرات سمی آنها، با افزایش غلظت فلزات، اثرات سمی به مراتب بالاتری ایجاد می‌گردد، به همین دلیل استفاده از این

شاخص به‌عنوان مقیاسی از آلودگی برای فلزاتی که دارای غلظتی بیشتر از حد آستانه هستند، مناسب است (۳۶). مطابق نتایج به‌دست آمده  $\Sigma TU$  در دو ایستگاه دریاچه هامون و اسکله ذاکری بیشتر از مقدار عددی چهار بوده و بنابراین وجود سمیت در محیط را نشان می‌دهد. همچنین نتایج حاصل از محاسبه شاخص  $Q_{TEL}$  و  $Q_{PEL}$  و مقایسه با حدود استاندارد ارائه شده برای آنها می‌توان گفت مقادیر برای هر دو شاخص بالاتر از یک بوده و براین اساس رسوبات این منطقه دارای سمیت بالایی هستند. نتایج حاکی از روند نزولی مقادیر در ایستگاه‌های مختلف به ترتیب ایستگاه ۶ > ایستگاه ۱ > ایستگاه ۲ > ایستگاه ۷ > ایستگاه ۳ > ایستگاه ۵ > ایستگاه ۴ است که در واقع بیشترین مقدار در ایستگاه دریاچه هامون و کمترین آن در ایستگاه جزایر ناز به دست آمد. بالاتر بودن میزان آلودگی ناشی از این فلزات در ایستگاه دریاچه هامون می‌تواند به دلیل فعالیت‌هایی همچون ماهیگیری، قایقرانی و جت اسکی و نیز تردد وسایل نقلیه در منطقه تفریحی حوضچه هامون و نیز به دلیل وجود کارخانه کشتی‌سازی و کارگاه‌های محلی، اسکله‌های نفتی و به‌ویژه حضور شهرک و بخش‌های صنعتی در مجاورت این ایستگاه باشد.

### - بر خه خطر اصلاح شده (mHQ)

برخه خطر توانایی ارزیابی آلودگی از طریق مقایسه غلظت فلزات در رسوبات با اثرات اکولوژیکی ناسازگار مربوط به سطوح آستانه (TEL، PEL و SEL) را دارد. نتایج به‌دست آمده از این شاخص در رابطه با فلزات مورد مطالعه به‌جز مس و نیکل در وضعیت آلودگی با شدت‌های صفر تا متوسط قرار دارند؛ که در ایستگاه دوم (شیب دراز) نیکل با شدت قابل ملاحظه آلودگی، در ایستگاه سوم (رمچاه) مس با شدت بالا و نیکل با شدت قابل ملاحظه آلودگی، در ایستگاه چهارم (دریاچه هامون) مس با شدت بالا و نیکل با شدت بسیار بالای آلودگی به دست آمد. همچنین ایستگاه پنجم (اسکله ذاکری) مس شدت بسیار بالا و نیکل شدت بالای آلودگی و ایستگاه هفتم (اسکله لافت) نیکل شدت قابل ملاحظه آلودگی را نشان می‌دهد. بالا بودن نیکل در این ایستگاه‌ها احتمالاً به دلیل فعالیت شناورهای صیادی،

### - شاخص آلودگی نمو ( $PI_{Nemerow}$ ) و شاخص آلودگی اصلاح شده ( $MPI$ )

نتایج شاخص آلودگی به جز ایستگاه‌های چهارم (دریاچه هامون) و پنجم (اسکله ذاکری) که در وضعیت به شدت آلوده شده قرار دارند، در سایر ایستگاه‌های مورد بررسی حاکی از وضعیت آلودگی متوسط است. مطابق نتایج Ranjbar Jafarabadi در خلیج فارس، جزایر خارک، لاوان و سیری وضعیت آلودگی کم و سایر مناطق بدون آلودگی به دست آمد (۸).

نتایج شاخص اصلاح شده آلودگی بیانگر وضعیت به شدت آلوده در ایستگاه‌های اول (کندالو)، دوم (شیب دراز) و هفتم (اسکله لافت) و وضعیت آلوده در ایستگاه‌های سوم (رمچاه)، چهارم (دریاچه هامون)، پنجم (اسکله ذاکری) و ششم (جزایر ناز) هستند. در رابطه با نتایج به دست آمده می‌توان گفت با توجه به کاربرد مؤلفه‌های مختلف در محاسبه شاخص آلودگی و شاخص اصلاح شده آن، بالاتر بودن میزان آلودگی در نتایج شاخص اصلاح شده می‌تواند به دلیل منشأ انسانی این فلزات و تاثیر غنی‌شدگی نسبت به عنصر مرجع آهن در نظر گرفته شده در آن باشد. همچنین بالا بودن میزان آلودگی در ایستگاه ششم مطابق شاخص  $MPI$  می‌تواند به علت بکارگیری پارامتر بیشینه غنی‌شدگی در میان فلزات مورد مطالعه باشد. در این ایستگاه با وجود پایین‌تر بودن غلظت عناصر، عنصر سرب مقادیر بالایی داشته که این امر منجر به تاثیرگذاری بر نتیجه این شاخص شده است.

### - شاخص غنی‌شدگی ( $EF$ )

از آنجایی که ضریب غنی‌شدگی با نرمال کردن آلودگی فلزات سنگین نسبت به یک عنصر روش مناسبی جهت تفکیک منشأ آلودگی انسان‌زاد و طبیعی است، در پژوهش حاضر نرمالیزه کردن فلزات مورد بررسی با عنصر آهن صورت گرفت که بدلیل ماهیت ژئوشیمیایی و تغییرات بسیار ناچیزی که این عنصر در محیط از خود نشان می‌دهد و اینکه توزیع آن در محیط، مستقل از سایر فلزات و نیز غلظت آن در طبیعت زیاد است به‌عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود (۴۲). نتایج این شاخص در مورد همه فلزات و در تمامی ایستگاه‌ها

تفریحی و مسافری (بسته به کاربری منطقه) تعمیرات و مواد موجود در رنگ‌ها و ترکیبات ضدزنگ‌ها، تخلیه آب توازن و یا سوخت این شناورها است (۳۷، ۳۸). همچنین بالا بودن مس علاوه بر ترکیبات رنگ و ضدزنگ در شناورها (۳۴)، می‌تواند به دلیل ورود فاضلاب شهری در مناطقی مانند رمچاه، اسکله ذاکری و حوضچه هامون باشد. نمودار ۱ نیز نمایانگر سهم مؤثر فلزات نیکل و مس در ایجاد مقادیر نهایی شاخص‌های  $Q_{PEL}$  و  $Q_{TEL}$  است که تایید کننده نتایج این شاخص است.

### - فاکتور آلودگی ( $CF$ )

برای تعیین میزان آلودگی رسوب به عناصر سمی در یک منطقه، بایستی غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود (۱۶). مطابق نتایج به دست آمده از محاسبه این شاخص، فلزات مختلف در وضعیت آلودگی پایین و متوسط قرار داشته که با نتایج Vaezi و همکاران در رسوبات خور ماهشهر خلیج فارس (۳۹) و Haghshenas و همکاران در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در جنوب شرق بوشهر، خلیج فارس (۷) مطابقت دارد؛ همچنین در میان فلزات مختلف، فلز سرب در همه ایستگاه‌ها بیشترین مقدار را نسبت به سایر فلزات به خود اختصاص داده است. غلظت سرب در رسوبات بیانگر استرس‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی است (۴۰). در مقایسه مکانی بین ایستگاه‌های مختلف می‌توان گفت ایستگاه‌های سه (رمچاه)، پنج (اسکله ذاکری) و به‌ویژه چهار (دریاچه هامون) نسبت به سایر ایستگاه‌ها آلودگی بیشتری را نشان می‌دهند. بنظر می‌رسد مجاورت با شهرک و بخش‌های صنعتی، اسکله‌های شرکت‌های نفتی و اسکله‌های باربری به حوضچه هامون یکی از دلایل اصلی بالاتر بودن آلودگی در این منطقه باشد که این امر با نتایج Darvishnia و همکاران (۴۱) همخوانی دارد؛ و همچنین ممکن است بالا رفتن آلودگی در ایستگاه ذاکری به دلیل پرتراфик بودن تردد شناورهای مسافری، مجاورت با اسکله مسافری و نیز تخلیه فاضلاب تصفیه نشده شهری و ایستگاه رمچاه به دلیل فعالیت‌های صیادی شدید و تردد قایق و فاضلاب مناطق مسکونی و نیز مجاورت با مناطق گردشگری باشد.

مربوط به ایستگاه‌های دریاچه هامون و اسکله ذاکری باشد. مطابق نتایج شاخص  $Q_{PEL}$ ،  $Q_{TEL}$ ،  $PI$  و  $MPI$  ایستگاه‌های رمچاه، دریاچه هامون و اسکله ذاکری وضعیت آلودگی بالاتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشته و مطابق نتایج شاخص‌های  $EF$ ،  $PCI$ ،  $Cf$ ،  $mHQ$  و فلزات مس، نیکل و گاهی سرب بیشترین سهم را در ایجاد آلودگی منطقه به عهده دارند. در جزایر ناز با وجود پایین بودن غلظت همه فلزات مورد مطالعه، در رابطه با فلز سرب آلودگی بالایی وجود داشته که مطابق نتایج شاخص غنی‌شدگی احتمالاً منشأ انسانی داشته و از آنجایی که در محاسبه شاخص  $MPI$  مقادیر بیشینه شاخص غنی‌شدگی به کار می‌رود، این ایستگاه به‌عنوان منطقه آلوده به‌دست آمد.

مطالعه حاضر به بررسی میزان آلودگی در رسوبات بوم‌سازگان پرداخته و با توجه به پایداری و تمایل عناصر سمی به انتقال در زنجیره غذایی و توانایی جذب در بدن موجودات، می‌توان نتیجه گرفت که سطوح پایین آلودگی در رسوبات می‌تواند از طریق تجمع زیستی منجر به گسترش آلودگی در امتداد زنجیره غذایی به سمت انسان گشته و مشکلات و خطرات زیادی ایجاد نماید. با توجه به جزیره‌ای بودن منطقه مطالعاتی از یک‌سو و وجود صنایع و کارخانه‌های مختلف از سوی دیگر رویکردی که می‌تواند تا حد زیادی بر کاهش وضعیت آلودگی منطقه تاثیرگذار باشد، نظارت بر نحوه دفع و تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی به‌منظور کاهش آلودگی‌های با منشأ انسانی موجود در این بوم‌سازگان خواهد بود. بر این اساس پیشنهاد می‌گردد تاثیر این عناصر بر ارگانسیم‌های آبری منطقه مورد مطالعاتی و تعیین بخش قابل دستیابی زیستی عناصر برای موجودات آبری مورد بررسی قرار گیرد.

### ملاحظات اخلاقی

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

نشان‌دهنده وجود آلودگی قابل توجه است، به‌جز در رابطه با فلز مس در ایستگاه هفتم (اسکله لافت) و کادمیوم در همه ایستگاه‌ها که وضعیت آلودگی متوسطی داشته و عنصر کروم که در همه ایستگاه‌ها وضعیت عدم وجود آلودگی را نشان می‌دهد. این در حالی است که نتایج مطالعات *Gholam Dokht Bandari* و همکار در جزیره هرمز غنی‌شدگی کم برای عناصر مس، روی، نیکل و سرب و غنی‌شدگی متوسط برای عنصر کروم را نشان دادند (۴۳). با توجه به بیان منابع احتمالی آلوده کننده در هر ایستگاه می‌توان گفت تاثیر فعالیت‌های انسانی در منطقه مورد مطالعه به شدت قابل مشاهده بوده که با نتایج مطالعات *Ranjbar Jafarabadi* و همکاران در خلیج فارس (۸) مطابقت دارد. مطالعات *Neyestani* و همکاران در شمال خلیج فارس نشان‌دهنده حداقل غنی‌شدگی برای فلزات مس، سرب، کبالت، کروم، روی و نیکل و حداقل غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی مهم برای کادمیوم و آرسنیک است (۴۴). نتیجه این شاخص با نتایج شاخص اصلاح شده درجه آلودگی مبنی بر وجود آلودگی شدید و بسیار شدید در ایستگاه‌های مورد بررسی همخوانی دارد. شاید بتوان نتیجه گرفت کروم تنها عنصری است که فعالیت‌های انسانی در منطقه مورد مطالعه تاثیر چندانی در ایجاد آلودگی آن نداشته است.

### - شاخص آلودگی بالقوه (PCI)

مقادیر حاصل از محاسبه این شاخص برای فلزات مختلف در هر ایستگاه حاکی از وضعیت آلودگی کم به‌جز در رابطه با فلز مس و روی در ایستگاه‌های سوم، چهارم و پنجم است. همچنین سرب در همه ایستگاه‌ها و نیکل در همه ایستگاه‌ها به جز اول و ششم وضعیت آلودگی متوسط را نشان می‌دهد. نتایج این شاخص مطابقت زیادی با نتایج فاکتور آلودگی در رابطه با فلز سرب داشته و در واقع مؤید یکدیگر هستند.

### نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش غلظت عناصر از مقادیر رهنمودهای کیفیت رسوب، وجود سمیت بالای رسوبات برای آبریان این بوم‌سازگان تایید می‌شود اما با توجه به نتایج به‌نظر می‌رسد سمیت اصلی

توسط زیست نشانگرهای آنزیمی“ در مقطع دکتری است که با کد ۱۳۵۳۹۹۰ در سال ۱۳۹۶ است که با حمایت دانشگاه ملایر انجام پذیرفت.

## تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از رساله دکتری با عنوان “بررسی سمیت ایمنی فلزات سنگین در صدف خوراکی صخره‌ای خلیج فارس

## References

1. Arnason JG, Fletcher BA. A 40+ year record of Cd, Hg, Pb, and U deposition in sediments of Patroon Reservoir, Albany County, NY, USA. *Environmental Pollution*. 2003;123(3):383-91.
2. Li Z, Ma Z, van der Kuijp TJ, Yuan Z, Huang L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. *Science of the Total Environment*. 2014;468:843-53.
3. Brady JP, Ayoko GA, Martens WN, Martens WN. Enrichment, distribution and sources of heavy metals in the sediments of Deception Bay, Queensland, Australia. *Marine Pollution Bulletin*. 2014;81(1):248-55.
4. Bazzi A. Determining the level of heavy metal pollution in surface sediments of the Gulf of Chabahar. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2015;8(1):45-56 (in Persian).
5. Caeiro S, Costa MH, Ramos T, Fernandes F, Silveira N, Coimbra A, et al. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: an index analysis approach. *Ecological Indicators*. 2005;5(2):151-69.
6. Jamshidi-Zanjani A, Saeedi M. Metal pollution assessment and multivariate analysis in sediment of Anzali international wetland. *Environmental Earth Sciences*. 2013;70(4):1791-808.
7. Haghshenas A, Hatami-manesh M, Mirzaei M, Mir Sanjari M, Hossein Khezri P. Measurement and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments of Pars Special Economic Energy Zone. *Iranian South Medical Journal*. 2017;20(5):448-69. 2017;20(5):448-69 (in Persian).
8. Jafarabadi AR, Bakhtiyari AR, Toosi AS, Jadot C. Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. *Chemosphere*. 2017;185:1090-111.
9. Alharbi T, El-Sorogy A. Assessment of metal contamination in coastal sediments of Al-Khobar area, Arabian Gulf, Saudi Arabia. *Journal of African Earth Sciences*. 2017;129:458-68.
10. El-Sorogy A, Al-Kahtany K, Youssef M, Al-Kahtany F, Al-Malky M. Distribution and metal contamination in the coastal sediments of Dammam Al-Jubail area, Arabian Gulf, Saudi Arabia. *Marine Pollution Bulletin*. 2018;128:8-16.
11. Vu CT, Lin C, Shern C-C, Yeh G, Tran HT. Contamination, ecological risk and source apportionment of heavy metals in sediments and water of a contaminated river in Taiwan. *Ecological Indicators*. 2017;82:32-42.
12. MacDonald DD, Ingersoll CG, Berger T. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2000;39(1):20-31.
13. Long ER, Morgan LG. The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the national status and trends program. Maryland, USA: Technical Memorandum; 1990.
14. 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(2):223-32 (in Persian).
15. Spencer K, MacLeod C. Distribution and partitioning of heavy metals in estuarine sediment cores and implications for the use of sediment quality standards. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2002;6(6):989-98.
16. Duodu GO, Goonetilleke A, Ayoko GA. Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment. *Environmental Pollution*. 2016;219:1077-91.
17. Brady JP, Ayoko GA, Martens WN, Goonetilleke A. Development of a hybrid pollution index for heavy metals in marine and estuarine sediments.

- Environmental Monitoring and Assessment. 2015;187(5):306.
18. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. *Water Research*. 1980;14(8):975-1001.
  19. Nemerow NL. *Stream, Lake, Estuary, and Ocean Pollution*. New York: Van Nostrand Reinhold; 1991.
  20. Yan N, Liu WB, Xie HT, Gao LR, Han Y, Wang MJ, et al. Distribution and assessment of heavy metals in the surface sediment of Yellow River, China. *Journal of Environmental Sciences*. 2016;39:45-51.
  21. Dashti S, Monavari M, Hosseini M, Riazi B, Momeni M. Providing appropriate criteria for tourism industry planning in coastal villages (Case Study: Qeshm Island). *Journal of Environmental Sciences and Technology*. 2017;19(4):294-307 (in Persian).
  22. Khosroozadeh A, Mortezaei M. The study of Islamic works and distortions of Qeshm Island. *Journal of Technical and Technological Studies*. 2015;69:69-78 (in Persian).
  23. Yap C, Pang B. Assessment of Cu, Pb, and Zn contamination in sediment of north western Peninsular Malaysia by using sediment quality values and different geochemical indices. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2011;183(1-4):23-39.
  24. Long ER, Macdonald DD, Smith SL, Calder FD. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*. 1995;19(1):81-97.
  25. Pedersen F, Bjørnstad E, Andersen HV, Kjølholt J, Poll C. Characterization of sediments from Copenhagen Harbour by use of biotests. *Water Science and Technology*. 1998;37(6-7):233-40.
  26. Zhang P, Hu R, Zhu L, Wang P, Yin D, Zhang L. Distributions and contamination assessment of heavy metals in the surface sediments of western Laizhou Bay: Implications for the sources and influencing factors. *Marine Pollution Bulletin*. 2017;119(1):429-38.
  27. Benson NU, Adedapo AE, Fred-Ahmadu OH, Williams AB, Udosen ED, Ayejuyo OO, et al. New ecological risk indices for evaluating heavy metals contamination in aquatic sediment: A case study of the Gulf of Guinea. *Regional Studies in Marine Science*. 2018;18:44-56.
  28. Qingjie G, Jun D, Yunchuan X, Qingfei W, Liqiang Y. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. *Journal of China University of Geosciences*. 2008;19(3):230-41.
  29. Turkian KK, Wedepohl KH. Distribution of the elements in some major units of the earth crust. *Geological Society of America Bulletin*. 1964;72:175-92.
  30. Sucharova J, Suchara I, Hola M, Marikova S, Reimann C, Boyd R, et al. Top-/bottom-soil ratios and enrichment factors: What do they really show? *Applied Geochemistry*. 2012;27(1):138-45.
  31. Kusin FM, Azani NNM, Hasan SNMS, Sulong NA. Distribution of heavy metals and metalloid in surface sediments of heavily-mined area for bauxite ore in Pengerang, Malaysia and associated risk assessment. *CATENA*. 2018;165:454-64.
  32. Çevik F, Göksu MZL, Dericci 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.
  33. Dauvalter V, Rognerud S. Heavy metal pollution in sediments of the Pasvik River drainage. *Chemosphere*. 2001;42(1):9-18.
  34. Denton GRW, Bearden BG, Concepcion LP, Siegrist HG, Vann DT, HR. W. Contaminant assessment of surface sediments from Tanapag Lagoon, Saipan. Mangilao: Guam Uo; 2001.
  35. Sujatha C, Manju NP. Environmental geochemistry of core sediment in the Cochin Estuary (CE), India. *Research Journal of Chemical Sciences*. 2013;3(4):65-69.
  36. Roussiez V, Ludwig W, Probst JL, A. M. Background levels of heavy metals in surficial sediments of the Gulf of Lions (NW Mediterranean): An approach based on <sup>133</sup>Cs normalization and lead isotope measurements. *Environmental Pollution*. 2005;138:167-77.
  37. Romić M, D. R. Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area. *Environmental Geology*. 2003;43:795-805.
  38. Zarezadeh R, Rezaee P. Study on accumulation of heavy metals in mangrove sediments, Gabrik Creek

- (Jask). *Journal of Natural Environment, Natural Resources of Iran*. 2016;69(1):61-78 (in Persian).
39. Vaezi A, Karbasi A, Vali Khani Samani A, Heidari M, Fakhraie M, Rahmati A. Zoning, distribution and origin of total petroleum hydrocarbons (TPH) and metallic pollutants in sediments of the estuary Mahshahr, Persian Gulf. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2013;16:1-19 (in Persian).
40. Ali A-hA, Hamed MA, El-Azim HA. Heavy metals distribution in the coral reef ecosystems of the Northern Red Sea. *Helgoland Marine Research*. 2011;65(1):67-80.
41. Darvishnia Z, Riahi BAR, Kamrani E, Sadjjadi MM. Bioaccumulation of heavy metals (Pb, Fe & Zn) in the tissues of skeletal Coral family, Faviidae and surrounding sediments in the south of Qeshm Island-The Persian Gulf. *Journal of Aquatic Ecology*. 2015;5(1):77-87 (in Persian).
42. Duodu GO, Goonetilleke A, Ayoko GA. Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment. *Environmental Pollution*. 2016;219:1077-91.
43. Gholam Dokht Bandari M, Rezaei P. Study of some heavy metal pollutions in the Hormuz Islands coastal sediments and their origin. *Journal of Oceanography*. 2015;22(6):97-106 (in Persian).
44. Neyestani MR, Bastami KD, Esmaeilzadeh M, Shemirani F, Kazaali A, Molamohyeddin N, et al. Geochemical speciation and ecological risk assessment of selected metals in the surface sediments of the northern Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*. 2016;109(1):603-11.



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

Original Article



## Evaluation of contamination of Qeshm island coastal sediments with Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr using sediment quality indices

P Nourozifard<sup>1</sup>, S Mortazavi<sup>1,\*</sup>, S Asad<sup>2</sup>, N Hassanzadeh<sup>1</sup>

1- Department of Environment, Natural Resources and Environmental Science, Malayer University, Malayer, Iran

2- Department of Biotechnology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 20 July 2018

**Revised:** 10 October 2018

**Accepted:** 17 October 2018

**Published:** 19 December 2018

**Keywords:** Persian Gulf, Toxic elements, Sediment quality indices, Qeshm island, Contamination status

**\*Corresponding Author:**  
mortazavi.s@gmail.com

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Marine sediments are the most important component of monitoring the health of aquatic ecosystems. The present study uses sediment quality indices to determine the contamination status in Qeshm ecosystems and to evaluate the toxicity of the elements studied for its organisms.

**Materials and Methods:** Sampling of surface sediments of seven stations was carried out on Qeshm coastal areas. The samples were digested by a combination of nitric acid and perchloric acid, and the concentration of metals was measured by atomic absorption spectrometry.

**Results:** The results of modified Hazard Quotient indicated a high pollution rate for copper and nickel metals in most stations, which was consistent with the results of the Potential Contamination Index in relation to nickel metal. Additionally, the results of the Potential Contamination Index and Contamination Factor agreed with the amount of lead element. According to the results, the pollution index of Hamoon Lake and Zakeri pier was highly contaminated and Modified Pollution Index demonstrated a contamination in Romacha, Hamoon Lake, Zakeri pier and Nazes areas. The enrichment factor associated with contamination regarding most of the heavy metals confirmed the indices used to evaluate the contamination in the study area.

**Conclusion:** Due to the higher concentrations of the heavy metals in the sediments than that of the quality guidelines, the high toxicity of sediments for the aquatic ecosystems was confirmed. The Romachah, Hamoon, Zakeri stations showed higher pollution levels and sever toxicity for aquatic life. Copper, nickel and in some cases lead, were the main heavy metals that contaminated the sediments in the region.

Please cite this article as: Nourozifard P, Mortazavi S, Asad S, Hassanzadeh N. Evaluation of contamination of Qeshm island coastal sediments with Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr using sediment quality indices. Iranian Journal of Health and Environment. 2018;11(3):433-48.