

شناسایی مناطق مستعد آلودگی زیست محیطی سواحل خلیج چابهار

محمی الدین احراری رودی^{۱*}، بیتا بصیرانی^۲، حمید رضایی^۳

*- استادیار، گروه اقیانوس شناسی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار،

۲- کارشناسی ارشد رسوب شناسی رسوبی و سنگ رسوبی، مدیرعامل و عضو هیات مدیره شرکت زغال سنگ طیس احیا سپاهان

۳- کارشناس ارشد بخش علوم غیرزیستی، مرکز اقیانوس شناسی چابهار، پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی ایران، استان سیستان و بلوچستان، چابهار

*ایمیل نویسنده مسئول: m.ahrari@cmu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱

چکیده

خلیج چابهار با طول ۱۷ کیلومتر، عرض ۲۰ کیلومتر بزرگترین خلیج در سواحل جنوب شرق ایران می باشد که از طریق دهانه‌ای به عرض ۱۳/۵ کیلومتر با دریای عمان ارتباط دارد. از دیدگاه زمین شناسی ساختاری منطقه مورد مطالعه در پهنه زمین شناسی مکران واقع می‌باشد. از آنجاییکه آلودگی آبها و رسوبات توسط فلزات سنگین و تاثیر آنها بر اکوسیستم بسیار مهم می‌باشد در این تحقیق سعی گردیده میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات خلیج چابهار مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور تعداد ۱۳ نمونه رسوب سطحی از بستر خلیج چابهار برداشت گردید و در آزمایشگاه مورد آنالیزهای رسوب شناسی و زمین شیمی قرار گرفتند. به همین منظور رسوبات دانه ریز (کوچکتر از ۲۰۰ مش) برای تعیین عناصر اصلی، فرعی و فلزات سنگین تجزیه ICP شدند. با مقایسه آنالیزهای دانه بندی و زمین شیمی رسوبات، مناطق مستعد آلودگی شناسایی گردید. براساس طبقه بندی فولک ۱۹۸۴ در رسوبات بستر خلیج چابهار ۹ تیپ رسوبی شامل گراول، ماسه، سیلت، گل، سیلت ماسه‌ای، رس ماسه‌ای، گل ماسه‌ای، ماسه سیلتی و ماسه گلی شناسایی شدند. برخی عناصر سنگین از قبیل آرسنیک، بیسموت، کروم، استرانسیوم، روی، تنگستن و مس در رسوبات واقع در خلیج چابهار به ویژه منطقه کنارک و حاشیه اسکله شهید بهشتی دارای تمرکز بالایی است. به نظر می‌رسد دلیل این آلودگی، منشاء انسانزاد مانند آلودگی‌های ناشی از تعمیر و نگهداری لنج‌ها و قایق‌های صیادی باشد.

کلمات کلیدی

"فلزات سنگین"، "آلودگی"، "خلیج چابهار"، "زمین شیمی"، "زیست محیطی"

۱- مقدمه

جانداران کف زی و آبی دارد (Defew et al., 2005). بعلاوه، رسوبات ساحلی آلوده باعث کاهش گردشگری در این سواحل می‌گردد (احراری رودی، ۲۰۱۷؛ Muzuka, 2007). این اثرات، اهمیت ارزیابی و دیده بانی تغییرات غلظت فلزات سنگین در محیط‌های ساحلی را آشکار می‌سازد. از دیدگاه آلودگی زیست محیطی، فلزات را می‌توان بصورت زیر تقسیم بندی نمود (Burton and Statham, 2019; Rao et al., 2019):

- غیر خطرناک (Li, Sr, Al, Ca, K, Fe, Mg, Na, Rb)
 - سمی اما بسیار نامحلول یا خیلی کمیاب (W, Zr, Hf, Ti, Rh, Ba, Ru, Ir, Os, La, Ga, Ta)
 - خیلی سمی و نسبتاً در دسترس (Zn, Cu, Ni, Co, Be, Bi, Sb, Pb, Tl, Hg, Cd, Ag, Te, Se, As, Cr, Sn)
- مطالعات در زمینه توزیع غلظت فلزات سنگین در محیط‌های دریایی از اواسط دهه ۱۹۷۰ (Burton and Statham, 2000) آغاز گردید. این امر بیشتر به دلیل پیشرفت‌های مهم در زمینه تکنیک‌های نمونه برداری، حمل، آماده سازی و از همه مهمتر، تجزیه شیمیایی رسوبات حاصل گردید. مهمترین این عوامل افزایش کاربرد روش‌های پیشرفته تجزیه شیمیایی مانند

فلزات سنگین به دلیل، قابلیت زیست انباشت و ماندگاری زیاد به یک مشکل زیست محیطی جدی در ارتباط با زیست بوم‌ها تبدیل شده‌اند (Clark et al. 1998; Tam abd Wong, 2000). در مقایسه با آلاینده‌های آلی، فلزات سنگین نمی‌تواند از طریق فرآیندهای شیمیایی و یا زیستی از بین بروند و بنابراین، بصورت محلی تجمع پیدا می‌کنند تا مسافت‌های بسیار دور انتقال می‌یابند (مرین و همکاران، ۲۰۰۴). در محیط‌های طبیعی، تجمع و توزیع فلزات سنگین بستگی به عوامل مختلفی مانند شرایط اکسیداسیون و احیاء، pH (ALabdeh et al. 2019; Berkowitz et al. 1997) و میزان مواد آلی (Langmuir, 2008) دارد. بعلاوه، این فلزات می‌توانند توسط سطح کانی‌هایی مانند کانی‌های رسی و هیدروکسیدهای آهن، منیزیم یا آلومینیوم جذب شوند (خدیبور و تقی پور، ۲۰۱۹؛ Eby, 2005). در نتیجه غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین می‌توانند در رسوبات و بخصوص ذرات دانه ریز دارای سطح تماس زیاد تجمع پیدا کنند (Benmoussa et al. 2019; Berkowitz et al. 2008). از آنجا که رسوبات دریایی محل بالقوه ته نشست و منشاء فلزات سنگین در ستون آب می باشند، میزان بالای فلزات سنگین در رسوبات ساحلی، اثرات منفی فراوانی در

روش هیدرومتری و با تکیه بر قانون استوکس (Stock's law) استفاده گردیده است (موسوی حرمی، ۱۳۹۳). برای رسم نمودارهای درصد تجمعی از مقیاس فی و فرمول کرومابین (0) استفاده شده است. جهت تعیین میزان کرنبات کلسیم، کرنبات مضاعف کلسیم و منیزیم در رسوبات، آزمایش کلسی متری صورت گرفت. در این آزمایش صرفاً مقدار وزنی کلسیت و منیزیم مشخص می گردد. فرمول مورد استفاده برای محاسبه میزان کرنبات کلسیم به روش برنارد با فرمول $P = V/2.24 \times A$ محاسبه شد که در آن مقدار وزنی نمونه رسوب A و تغییر حجم آب در لوله دستگاه برنارد V می باشند. برای تعیین میزان آلی رسوبات از روش کوره استفاده گردید. مطالعات کانی شناسی با استفاده از مقاطع نازک انجام گرفت. در روش ICP بغیر از گازها، تمامی عناصر پایدار جدول تناوبی قابل شناسایی است (Potts, 1987). در این مطالعه نمونه ها به روش ICP مورد تجزیه قرار گرفتند. با استفاده از نرم افزار ها ترسیمی مانند GIS و تهیه نقشه های مربوطه و همچنین رسم نمودار ها و شکل های مختلف سعی شده است پراکندگی و تأثیر عناصر در منطقه نشان داده شود. بررسی رابطه بین دو متغیر خطی طبق فرمول ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد.

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

مقدار ضریب همبستگی می تواند بین +۱ و -۱ تغییر کند. به نحوی که مقدار ضریب همبستگی +۱ موید همبستگی کامل و مستقیم متغیرهاست، در حالی که ضریب همبستگی -۱ نشانگر همبستگی غیرمستقیم و کامل در متغیر است و ضریب همبستگی صفر، عدم ارتباط بین دو متغیر را نشان می دهد. در نهایت تمامی داده ها با هم مقایسه و نتیجه گیری های لازم انجام گرفت.

۳- نتایج

پراکنش آلاینده ها در سطح خیابان انقلاب

مواد آلی موجود در رسوبات نقش مهمی در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی رسوبات دارند (مرادپور و همکاران، ۲۰۱۹). از دیدگاه ژئوشیمی زیست محیطی مهمترین عملکرد مواد آلی موجود در رسوبات اثر آنها بر روی جذب عناصر سمی موجود در ستون آب می باشد. همچنین عناصر سنگین در شناسایی نقاط مستعد آلودگی بسیار تعیین کننده است. نتایج تجزیه ۱۳ نمونه از رسوبات سطحی بستر (شکل ۳)، به روش ICP ارائه شده (جدول ۱)، مقادیر عناصر کلسیم، منگنز، منیزیم، تیتانیوم، آلومینیوم، آهن و سیلیسیوم به صورت درصد

- بررسی های صحرایی و نمونه برداری
- بررسی های آزمایشگاهی
- پردازش داده ها

در ابتدا تمامی تحقیقات مرتبط با خلیج چابهار جمع آوری و مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی ها و نمونه برداری ها توسط ابزارهای نمونه برداری با توجه به محیط مورد نمونه برداری انجام شد. نمونه برداری در خلیج چابهار (و قسمت عمیقتر دریا برای مقایسه با نمونه های ساحلی و چند نمونه بصورت انتخابی از سازندهای خشکی نوار ساحلی) انجام شد. برای نمونه برداری از خلیج، ابتدا با موقعیت نقاط نمونه برداری تعیین و با یک GPS استفاده از یک (نمونه برداری از Grap Ekman عدد نمونه گیر اکمن) رسوبات نرم سطحی انجام و از قایق جهت حرکت و انتقال به محل نمونه برداری ها استفاده گردید (شکل ۲). همچنین جهت مشخص نمودن عمق دقیق نقاط نمونه برداری از یک عدد عمق یاب استفاده گردید. جهت مطالعه رسوبات خلیج چابهار مطالعات در چندین مرحله مختلف انجام شد که به شرح ذیل می باشد:

- مطالعات و بررسی های کتابخانه ای
- بررسی های صحرایی و نمونه برداری
- بررسی های آزمایشگاهی
- پردازش داده ها

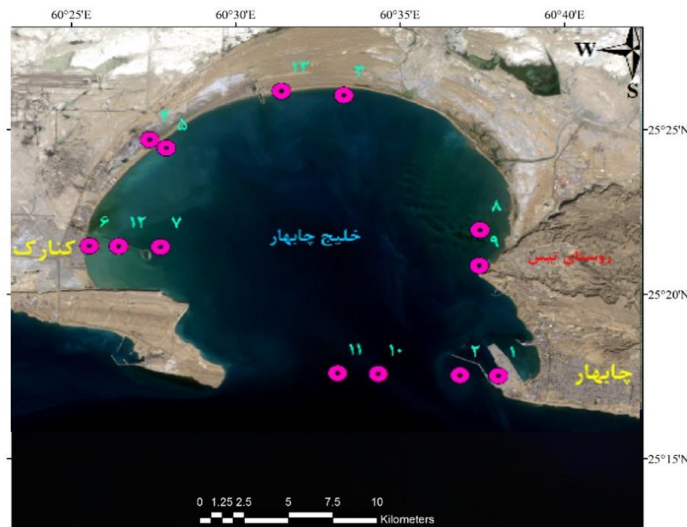
در ابتدا تمامی تحقیقات مرتبط با خلیج چابهار جمع آوری و مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی ها و نمونه برداری ها توسط ابزارهای نمونه برداری با توجه به محیط مورد نمونه برداری انجام شد. نمونه برداری در خلیج چابهار (و قسمت عمیقتر دریا برای مقایسه با نمونه های ساحلی و چند نمونه بصورت انتخابی از سازندهای خشکی نوار ساحلی) انجام شد. برای نمونه برداری از خلیج، ابتدا با استفاده از یک GPS موقعیت نقاط نمونه برداری تعیین و با یک عدد نمونه گیر اکمن (Grap Ekman) نمونه برداری از رسوبات نرم سطحی انجام و از قایق جهت حرکت و انتقال به محل نمونه برداری ها استفاده گردید (شکل ۲). همچنین جهت مشخص نمودن عمق دقیق نقاط نمونه برداری از یک عدد عمق یاب استفاده گردید.



شکل ۲- استفاده از گرب جهت نمونه برداری از رسوبات کف بستر مهمترین آزمایشات انجام گرفته بر روی رسوبات شامل دانه بندی رسوبات، کلسی متری، مطالعات کانی شناسی و نیز تجزیه عنصری به روش ICP. جهت تعیین قطر ذرات ریز دانه نیز از

وزنی در نمونه و عناصر بیسموت، تنگستن، باریم، آرسنیک، استرانسیوم، روی، مس، نیکل، کروم و بر به صورت مقدارشان در نمونه بر حسب ppm ارائه شده اند (جدول ۱ تا ۴) با مقایسه عناصر موجود در رسوبات منطقه با مقدار استاندارد آنها در پوسته زمین و دیگر نقاط مطالعه شده در جهان، میزان آلودگی رسوبات مشخص شد و میزان آلودگی را ارزیابی گردید. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که غلظت فلزات در رسوبات معلق و بستر می‌تواند به عنوان شاخصی حساس جهت نشان دادن آلودگی در سیستم‌های هیدرولوژیکی باشد (کریمی و همکاران، ۲۰۲۰؛

2002; Sarkar, 1990; Louma). حضور فلزات کمیاب در رسوبات متأثر از اندازه ذرات و ترکیب شیمیایی رسوبات می‌باشد (Sarkar et al., 2004). رسوبات زیر ۲۰۰ میکرون از هر یک نمونه‌ها جدا شد و پس از ارسال به آزمایشگاه با استفاده از روش ME-MS61 مورد تجزیه قرار گرفت. مقدار ۷ اکسید اصلی به دلیل مقدار زیاد به صورت درصد و مقدار ۱۱ فلز سنگین به ppm بیان شد.



شکل ۳- نمایش ایستگاههای نمونه برداری

جدول ۱- درصد عناصر اصلی در رسوبات نمونه برداری شده

SAM	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
Si	۱۹/۶۰	۲۰/۹۶	۲۹/۳۳	۲۸/۰۵	۱۶/۲۶	۲۲/۳۵	۲۱/۸۲	۱۴/۶۲	۱۲/۷۵	۲۸/۹۱	۲۸/۵۹	۲۴/۲۳	۲۴/۷۶
Al	۲/۷۰	۳/۹۲	۳/۸۳	۲/۲۲	۱/۱۶	۲/۱۷	۳/۸۳	۲/۱۰	۲/۱۹	۴/۴۶	۴/۲۴	۵/۳۷	۲/۱۰
Fe	۲/۵۹	۳/۰۸	۳/۱۷	۳/۵۷	۲/۴۵	۲/۹۴	۲/۲۶	۲/۵۲	۲/۷۳	۳/۲۲	۳/۱۵	۳/۱۳	۲/۷۳
Ca	۱۵/۴۱	۱۲/۴۴	۷/۸۶	۱۴/۶۷	۲۱/۴۲	۱۵/۸۵	۱۳/۱۵	۱۷/۸۲	۲۲/۷۷	۶/۳۳	۶/۰۴	۹/۷۵	۱۳/۵۰
Mg	-/۷۹	۱/۲۳	-/۸۸	۱/۱۳	۱/۰۱	۱/۱۸	۲/۱۷	-/۶۹	-/۸۴	۱/۱۵	۱/۱۵	۲/۵۹	۱/۰۹
Mn	-/۰۵۴	-/۰۴	-/۰۵۴	-/۰۶	-/۰۶	-/۰۶	-/۰۶	-/۰۶۹	-/۰۶۹	-/۰۵۴	-/۰۵۴	-/۰۶	-/۰۱
Ti	-/۲۱	-/۲۱	-/۲۴	-/۱۷	-/۰۹	-/۱۸	-/۲۴	-/۰۷	-/۱۰	-/۲۴	-/۲۴	-/۳۴	-/۱۳

جدول ۲- درصد اکسیدهای فلزی اصلی در رسوبات نمونه برداری شده

SAM	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
SiO ₂	۴۲/۰۲	۴۴/۹۲	۸۷/۶۲	۶۰/۱۱	۳۴/۸۶	۴۷/۹۰	۴۶/۷۷	۳۱/۳۳	۲۷/۳۳	۶۱/۹۷	۶۱/۲۷	۵۱/۹۳	۵۳/۰۷
Al ₂ O ₃	۵/۱۰	۷/۴۱	۷/۲۴	۴/۲۰	۲/۲	۴/۱۰	۷/۲۴	۳/۹۸	۴/۱۴	۸/۴۴	۸/۰۱	۱۰/۱۶	۴/۰۰
Fe ₂ O ₃	۳/۷۰	۴/۴۰	۴/۵۰	۵/۱۰	۳/۵	۴/۲۰	۳/۲۴	۳/۶۰	۳/۹۰	۴/۶۰	۴/۵۰	۴/۴۸	۳/۹۰
CaO	۲۱/۵۸	۱۷/۴۲	۱۱/۰۱	۲۰/۵۴	۳۰/۰۰	۲۲/۲۰	۱۸/۴۱	۲۴/۹۵	۳۱/۸۹	۸/۸۷	۸/۴۶	۱۳/۶۶	۱۸/۹۰
MgO	۱/۳۳	۲/۰۶	۱/۴۷	۱/۸۹	۱/۶۹	۱/۹۷	۳/۶۲	۱/۱۶	۱/۴۱	۱/۹۲	۱/۹۲	۴/۳۳	۱/۸۳
MnO	-/۰۷	-/۰۶	-/۰۷	-/۰۸	-/۰۸	-/۰۸	-/۰۸	-/۰۹	-/۰۹	-/۰۷	-/۰۷	-/۰۸	-/۱۳
TiO ₂	-/۳۰	-/۳۶	-/۴۰	-/۲۹	-/۱۶	-/۳۱	-/۴۰	-/۱۲	-/۱۸	-/۴۱	-/۴۰	-/۵۷	-/۲۲

جدول ۳- مقدار وزنی عناصر اصلی در رسوبات نمونه برداری شده (ppm)

SAM	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
As	۶۰۸	۵۴۸	۵۵۰	۱۸۴	۶۹	۸۹	۴۹۴	۷۱۰	۷۲۳	۴۹۹	۵۲۰	۴۳۹	۱۶۸
Ni	۷۰	۴۲	۶۶	۱۹	۲۹	۲۶	۵۳	۴۷	۵۸	۸۰	۶۵	۷۹	۲۷
Cr	۵۶۷	۲۸۰	۴۸۲	۱۱۳	۲۷۶	۲۳۸	۲۵۲	۲۲۸	۴۷۶	۲۶۳	۲۴۵	۲۶۵	۱۱۸
Zn	۷۹	۷۲	۶۹	۴۰	۴۳	۵۴	۷۶	۶۴	۶۷	۷۳	۷۵	۸۴	۳۹
Cu	۱۵	۲۵	۱۰	۱۱	۲۱	۱۶	۱۶	۱۵	۱۹	۲۵	۲۴	۲۱	۵
Ba	۳۳	۴۵	۷۰	۱۱۷	۱۲۵	۱۲۳	۱۲۶	۶۴	۵۴	۵۵	۵۲	۱۴۸	۱۳۲
P ₂ O ₅	۲۴۱۸	۲۴۱۴	۱۰۶۶	۲۲۳۱	۲۲۱۸	۲۲۷۲	۲۷۰۰	۲۴۰	۱۰۳۸	۲۴۰۶	۱۱۶۷	۲۷۵۹	۸۳۷
B	۲۲	۴۱	۴۲	۱۰	۳۱	۲۴	۵۰	۹	۱۴	۴۸	۵۱	۷۵	۱۶
Cr	۵۶۷	۲۸۰	۴۸۲	۱۱۳	۲۷۶	۲۳۸	۲۵۲	۲۲۸	۴۷۶	۲۶۳	۲۴۵	۲۶۵	۱۱۸
Ni	۷۰	۴۲	۶۶	۱۹	۲۹	۲۶	۵۳	۴۷	۵۸	۸۰	۶۵	۷۹	۲۷
Cu	۱۵	۱۰	۱۱	۲۱	۱۶	۱۶	۱۵	۱۹	۱۹	۲۴	۲۵	۲۱	۵
Zn	۷۹	۶۹	۴۰	۴۳	۵۴	۷۶	۶۴	۶۷	۶۷	۷۵	۷۳	۸۴	۳۹
As	۶۰۸	۵۵۰	۱۸۴	۶۹	۸۹	۴۹۴	۷۱۰	۷۲۳	۷۲۳	۵۲۰	۴۹۹	۴۳۹	۱۶۸
Sr	۶۸۶	۳۱۱	۱۰۰۱	۵۱۲	۶۶۵	۵۲۴	۷۰۰	۹۵۸	۹۵۸	۱۸۲	۲۰۳	۳۹۳	۶۱۲
Ba	۳۳	۷۰	۱۱۷	۱۲۵	۱۲۳	۱۲۶	۶۴	۵۴	۵۴	۵۲	۵۵	۱۴۸	۱۳۲
W	۱۹۸	۲۱۵	۳۳۶	۴۶۹	۱۱۱	۱۵۶	۳۱۷	۳۲۶	۳۲۶	۱۴۳	۱۲۴	۱۴۱	۲۴۹
Bi	۱۱	۱۴	۳۱	۳۰	۲۴	۳۳	۳۱	۳۸	۳۸	۱۲	۱۲	۲۹	۲۳

جدول ۴- پارامترهای آماری عناصر در رسوبات نمونه برداری شده

	حداکثر	حداقل	مد	میانه
P ₂ O ₅	۲۷۵۹	۲۴۰	۲۴۰	۱۸۲۸/۱۵۳۸
B	۷۵	۹	۹	۳۲/۳-۷۷
Cr	۵۶۷	۱۱۳	۱۱۳	۲۹۲/۵۳۸۵
Ni	۸۰	۱۹	۱۹	۵-۱۸۴۶۲
Cu	۲۵	۵	۵	۱۷/۱۵۳۸
Zn	۸۴	۳۹	۳۹	۶۴/۲۳-۸
As	۷۲۳	۶۹	۶۹	۴۳-۱۸۴۶۲
Sr	۱۰۰۱	۱۸۲	۱۸۲	۵۶۴/-۷۶۹
Ba	۱۴۸	۳۳	۳۳	۸۸
W	۴۶۹	۱۲۴	۱۲۴	۲۳-۱۴۶۱۵
Bi	۳۸	۱۱	۱۱	۲۳/۶۹۲۳

می باشد. غلظت این اکسید در اسکله کنارک در غرب خلیج چابهار به مراتب از میانگین غلظت پوسته بالاتر است. بیشترین مقدار اکسید منیزیم در اسکله کنارک در غرب خلیج چابهار و کمترین میزان آن در رسوبات دریایی تیس دیده می شود که منیزیم در سازندهای مارنی ساحلی فراوان است. غلظت طبیعی در پوسته ۲/۰۹ درصد می باشد. غلظت این اکسید در اسکله کنارک از میانگین غلظت پوسته بالاتر است. بیشترین مقدار اکسید منگنز در بخش شمالی خلیج و نزدیک تصفیه خانه آب شیرین و کمترین میزان آن در جنوب شرق خلیج اسکله شهید کلانتری دیده می شود. غلظت طبیعی در پوسته ۹۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. غلظت این اکسید در نزدیکی تصفیه خانه آب شیرین به مراتب از میانگین غلظت پوسته بالاتر است. بیشترین مقدار اکسید تیتانیوم در اسکله کنارک در غرب خلیج چابهار و کمترین میزان آن در رسوبات دریایی تیس دیده می شود. بیشترین مقدار فسفر در اسکله کنارک در غرب خلیج چابهار و کمترین میزان آن در رسوبات دریایی تیس دیده می شود. غلظت طبیعی در پوسته ۱۰۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. غلظت این اکسید در اسکله کنارک تقریباً دو برابر میانگین پوسته است. بیشترین مقدار بور در اسکله

با استفاده از نتایج فوق و همچنین مکانهای نمونه برداری شده می توان گفت: بیشترین مقدار اکسید آلومینیوم در اسکله کنارک در غرب خلیج چابهار دیده می شود. بالا بودن اکسید آلومینیوم در این مکان می تواند به دلیل فراوانی کانیهای رسی در این منطقه باشد. غلظت طبیعی در پوسته زمین ۸/۱۳ درصد می باشد. غلظت اکسید آلومینیوم که از غلظت طبیعی آن در پوسته بیشتر است. بیشترین مقدار اکسید سیلیسیوم در ساحل صیادی تیس (شرق خلیج) دیده می شود. بیشترین مقدار اکسید آهن در شمال شرق خلیج دیده می شود. آهن معمولاً یک آلودگی مشخص در آب نیست و مقادیر بالای آن در آب را نمی توان دال بر آلوده بودن منبع آبی ذکر کرد به دلیل فراوانی آهن در کره زمین و مشخصات شیمیایی آن تبدلات آهن از رسوبات به آب و بالعکس با تغییر میزان اکسیژن محلول در آب صورت می گیرد. غلظت طبیعی در پوسته به طور متوسط ۵ درصد می باشد. بیشترین مقدار اکسید کلسیم در ساحل صیادی تیس (شرق خلیج) و کمترین میزان آن در میانه خلیج دیده می شود. بیشترین میزان غلظت کلسیم در نمونه برداشت شده از رخساره مارنی است. غلظت طبیعی در پوسته ۳/۶۳ درصد

- مناطق مستعد آلودگی ولی با آلودگی کمتر در بخش های میانی در بخش جنوبی رو به دریا و شمال خلیج. مناطق مستعد و با آلودگی بیشتر. منطقه با کمترین آلودگی ولی مستعد در شرق خلیج و سواحل تیس (اسکله شهید کلاتتری و پلاژ ساحلی تیس). مناطق مستعد آلودگی زیست محیطی را می توان با استفاده از ضرایب همبستگی بین عناصر گوناگون (جدول ۵) و میزان مشتق شدن آنها از یک منشاء یا منشاءهای گوناگون شناسایی نمود. از شکل ۴ می توان چنین نتیجه گیری نمود که عناصری که دارای خواص ژئوشیمیایی یکسان می باشند دارای ضریب همبستگی نسبتاً خوبی می باشند، به عنوان مثال روند افزایش غلظت عناصر کالکوفیل تقریباً مشابه می باشد (سالاریان و همکاران، ۲۰۲۰). میزان عنصر آلومینیوم در رسوبات نشان از میزان کانی های رسی در رسوبات است. بنابراین می توان از میزان همبستگی عنصر با آلومینیوم به عنوان نشانه از همبستگی این عناصر با میزان کانی های رسی استفاده نمود. میزان همبستگی بین آلومینیوم و قلع، بیسموت و روی نسبتاً بالاست که این موضوع حاکی از جذب این عناصر توسط کانی های رسی است. عنصر آهن با بسیاری از عناصر دیگر مانند آرسنیک، کبالت، مس، روی، بیسموت، منگنز و سرب همبستگی زیادی نشان می دهد. این حالت نشان دهنده جذب این عناصر توسط کلئیدهای هیدروکسید آهن می باشد (Cao et al., 2020). با یادآور شدن دلیل دیگر این همبستگی منبع مشترک آلودگی برخی از این عناصر با آهن (قلع، مس، روی) یا داشتن خصوصیات ژئوشیمیایی یکسان با آهن (عناصر کبالت و منگنز) نیز می باشد. این حالت در مورد عنصر منگنز صادق است (جدول ۵) و به این معنا که همبستگی بین منگنز و عناصر جزئی سمی نسبتاً بالاست (حسینی یارا و همکاران، ۲۰۲۱).

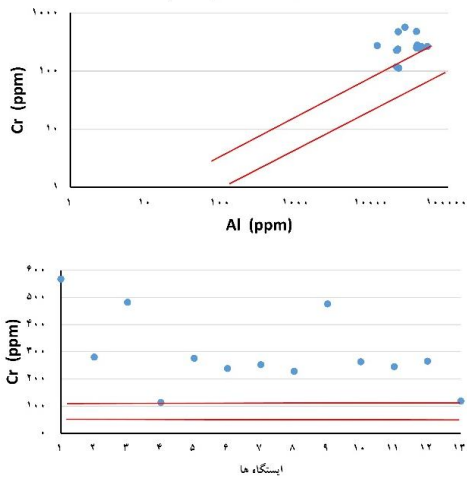
کنارک در غرب خلیج چابهار و کمترین میزان آن در رسوبات دریایی تیس دیده می شود. بیشترین مقدار کروم در جنوب شرق خلیج واقع در اسکله شهید کلاتتری و کمترین میزان آن در شمال خلیج و نزدیک تصفیه خانه آب شیرین دیده می شود. بیشترین مقدار نیکل در اسکله کنارک در غرب خلیج چابهار و کمترین میزان آن در شمال خلیج و نزدیک تصفیه خانه آب شیرین دیده می شود. بیشترین مقدار مس در جنوب میانه جنوبی و شرق خلیج و نزدیک اسکله شهید کلاتتری و کمترین میزان آن در شمال خلیج و نزدیک تصفیه خانه آب شیرین دیده می شود. بیشترین مقدار روی در اسکله کنارک در غرب خلیج چابهار و کمترین میزان آن در شمال خلیج و نزدیک تصفیه خانه آب شیرین دیده می شود. بیشترین مقدار آرسنیک در ساحل صیادی تیس و کمترین میزان آن در غرب تصفیه خانه آب شیرین دیده می شود. غلظت طبیعی در پوسته ۳۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. غلظت استرانسیوم از میانگین پوسته در غرب تصفیه خانه آب شیرین بیشتر است. بیشترین مقدار باریم در اسکله کنارک در غرب خلیج چابهار و کمترین میزان آن در جنوب شرق خلیج و نزدیک اسکله شهید کلاتتری دیده می شود. بیشترین مقدار تنگستن در غرب تصفیه خانه آب شیرین و کمترین میزان آن در اسکله کنارک در غرب خلیج چابهار مشاهده می شود. بیشترین مقدار بیسموت در ساحل صیادی تیس و کمترین میزان آن در اسکله کنارک در غرب خلیج چابهار دیده می شود. غلظت طبیعی در پوسته ۰/۲ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. که میزان آن در ساحل صیادی تیس به مراتب از میانگین پوسته بیشتر است. بنابراین مناطق مستعد آلودگی زیست محیطی در منطقه مورد مطالعه به چهار بخش تقسیم می شوند:

- منطقه اول با بیشترین آلودگی در غرب و جنوب غرب خلیج (اطراف اسکله کنارک).

جدول ۵- ضرایب همبستگی به روش پیرسون

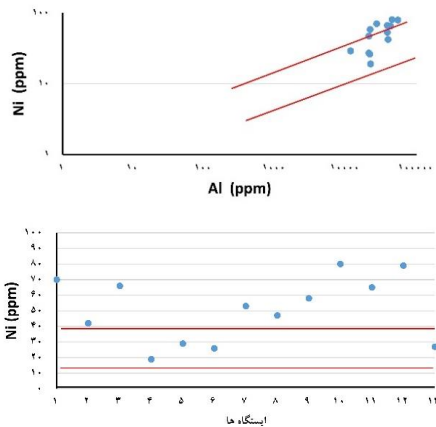
Correlations												
		P ₂ O ₅	B	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Ba	w	Bi
P ₂ O ₅	Pearson Correlation	1										
	Sing. (2-tailed)											
B	Pearson Correlation	-.104	1									
	Sing. (2-tailed)	.730										
Cr	Pearson Correlation	-.324	.032	1								
	Sing. (2-tailed)	.280	.622									
Ni	Pearson Correlation	.279	-.093	.125	1							
	Sing. (2-tailed)	.307	.447	.684								
Cu	Pearson Correlation	-.098	-.090	-.086		1						
	Sing. (2-tailed)	.706	.634	.686								
Zn	Pearson Correlation	-.301	-.146	-.206	-.227	-.070	1					
	Sing. (2-tailed)	.318	.634	.499	.000	.880						
As	Pearson Correlation	.246	-.237	-.228	-.446	-.453	.247	1				
	Sing. (2-tailed)	.427	.266	.223	.127	.120	.003					
Sr	Pearson Correlation	.390	-.233	-.230	-.240	-.240	.266	.020	1			
	Sing. (2-tailed)	.188	.446	.440	.248	.172	.379	.670				
Ba	Pearson Correlation	.104	-.267	-.484	-.437	-.077	.090	.081	.436	1		
	Sing. (2-tailed)	.734	.118	.094	.137	.039	.009	.000	.142			
w	Pearson Correlation	-.007	-.247	-.034	-.080	-.068	.072	-.032	.104	.057	1	
	Sing. (2-tailed)	.983	.410	.912	.636	.903	.041	.671	.734	.048		
Bi	Pearson Correlation	.494	-.288	-.077	.160	-.266	.108	.603	.728	.030	.728	1
	Sing. (2-tailed)	.080	.340	.641	.022	.072	.066	.016	.063	.021	.090	

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2- tailed)
 **. Correlation is significant at the 0.01 level (2- tailed)

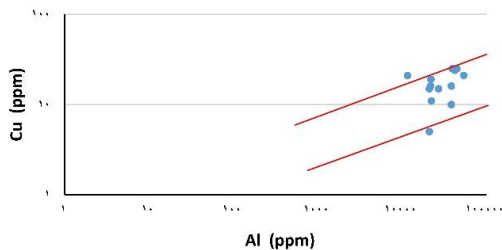


شکل ۵- فراوانی فلز کروم در مقابل آلومینیوم و تجمع کروم در رسوبات منطقه مورد مطالعه

نیکل از نظر فراوانی بیستمین عنصر فراوان در پوسته زمین با فراوانی ۰/۲۰٪ می باشد. بیشترین مقدار وزنی عنصر نیکل (Ni) در رسوبات خلیج چابهار ۸۰ ppm و کمترین مقدار آن نیز ۱۹ ppm است. منشا کروم در رسوبات بستر خلیج چابهار بیرون حوضه ای و آواری است. با توجه به شکل های زیر می توان نتیجه گرفت مقدار عنصر نیکل در رسوبات منطقه در محدوده آلوده قرار می گیرد (شکل های ۷ و ۸). بیشترین مقدار وزنی عنصر مس در رسوبات خلیج چابهار ۲۵ ppm و کمترین مقدار آن نیز ۵ ppm است (شکل ۷). منشا مس در رسوبات بستر خلیج چابهار بیرون حوضه ای و آواری است.

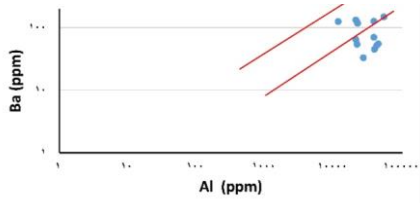


شکل ۶- فراوانی فلز نیکل در مقابل آلومینیوم و تجمع نیکل در رسوبات منطقه مورد مطالعه



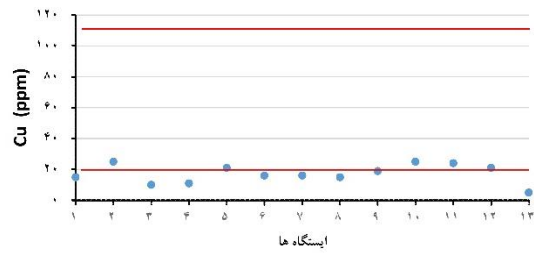
بیشترین مقدار اکسید سیلیسیوم در رسوبات خلیج چابهار ۶۲/۸۷ درصد و کمترین مقدار آن ۲۷/۳۳ درصد است. بیشترین مقدار اکسید آلومینیوم در رسوبات چابهار ۱۰/۱۶ درصد و کمترین مقدار آن نیز ۲/۲ درصد است. اکسید آلومینیوم موجود در رسوبات خلیج با اکسیدهای سیلیسیم و آهن همبستگی مثبت ولی اکسید کلسیم همبستگی منفی دارد. بیشترین مقدار اکسید آهن در رسوبات خلیج چابهار ۵/۱ درصد و کمترین مقدار آن ۳/۵ درصد است. بیشترین تمرکز آهن در جنوب غرب خلیج چابهار و در محدوده نزدیک به ساحل دیده می شود. با توجه به انطباق و همبستگی مثبت بین نمودار تغییرات مقدار اکسید آهن با نمودار های تغییرات مقدار اکسید سیلیس و اکسید آلومینیوم در رسوبات خلیج چابهار، و نیز روند و همبستگی معکوس بین اکسیدهای آهن و کلسیم در رسوبات خلیج، منشاء آهن آواری می باشد. بیشترین مقدار اکسید کلسیم در رسوبات چابهار ۳۱/۸۹ و کمترین مقدار آن نیز ۸/۴۶ درصد است. منشاء اصلی کلسیم موجود در رسوبات خلیج چابهار با توجه به همبستگی معکوس آن با سیلیس و آهن درون حوضه ای می باشد. ولی با توجه به سازندهای ماری موجود در منطقه ممکن است بخشی از کلسیم نیز به صورت آواری و یا کلسیم محلول وارد حوضه شده باشد. بیشترین مقدار اکسید منیزیم در رسوبات چابهار ۴/۳۳ درصد و کمترین مقدار آن نیز ۱/۱۶ درصد است. منشاء اصلی منیزیم موجود در رسوبات خلیج با توجه به همبستگی معکوس آن با کلسیم و نیز با توجه به عدم تشکیل دولومیت اولیه در خود خلیج بیرون حوضه ای و آواری می باشد. بیشترین مقدار اکسید منگنز در رسوبات خلیج چابهار ۰/۱۳ درصد و کمترین مقدار آن نیز ۰/۰۶ درصد است. منشاء اصلی منگنز موجود در رسوبات خلیج چابهار بیرون حوضه ای و آواری می باشد. بیشترین مقدار اکسید تیتانیوم موجود در رسوبات خلیج چابهار ۰/۵۷ و کمترین مقدار آن نیز ۰/۱۲ درصد است. منشاء اصلی تیتانیوم موجود در رسوبات خلیج چابهار بیرون حوضه ای و آواری می باشد. به این معنی که فرسایش ارتفاعات بالا دست و ورود رسوبات آواری باعث افزایش غلظت این عناصر می گردد (احراری رودی، ۲۰۱۵). بیشترین مقدار وزنی اکسید سرب در رسوبات خلیج چابهار ۲۷۵۹ ppm و کمترین مقدار آن نیز ۲۴۰ ppm است. با توجه به همبستگی مستقیم اکسید فسفر با اکسید کلسیم، می توان دو منشاء برای فسفر متصور شد یکی منشاء آواری و بیرون حوضه ای و دیگری منشاء درون حوضه ای. بیشترین مقدار وزنی عنصر کروم در رسوبات خلیج چابهار ۵۶۷ ppm و کمترین مقدار آن نیز ۱۱۳ ppm است. منشا اصلی کروم موجود در رسوبات خلیج چابهار بیرون حوضه ای و آواری می باشد. با توجه به شکل های زیر می توان نتیجه گرفت مقدار عنصر کروم در رسوبات منطقه در محدوده آلوده قرار می گیرد (شکل ۵).

بیشترین مقدار وزنی عنصر باریم در رسوبات خلیج چابهار ppm ۱۴۸ و کمترین مقدار آن نیز ppm ۳۳ است. با توجه به شکل زیر می توان نتیجه گرفت مقدار عنصر آرسنیک در رسوبات منطقه در زیرمحدوده آلوده قرار می گیرد (شکل ۱۰).



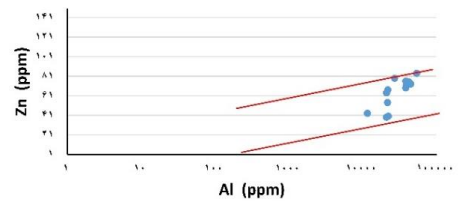
شکل ۱۰- فراوانی فلز باریم در مقابل آلومینیوم

بیشترین مقدار وزنی عنصر بور (B) در رسوبات خلیج چابهار ppm ۷۵ و کمترین مقدار آن نیز ppm ۹ است (جدولهای ۲ و ۳). احتمالاً منشأ بور در رسوبات بستر خلیج چابهار بیرون حوضه ای و آواری است. بیشترین مقدار وزنی عنصر بیسموت در رسوبات خلیج چابهار ppm ۳۸ و کمترین مقدار آن نیز ppm ۱۱ است (جدولهای ۲ و ۳). بیسموت نیز همچون آرسنیک عنصری سمی است که مقدار آن در برخی از بخشهای خلیج بیش از میانگین آن در پوسته است. و با توجه به اینکه مقدار این عنصر در رسوبات کربناته (ریفها و پوسته های صدف) زیاد است لذا در مطالعات زیست محیطی باید نسبت به تمرکز این عنصر در رسوبات کربناته توجه خاصی مبذول گردد. منشأ عنصر بیسموت در رسوبات خلیج چابهار درون حوضه ای است. بیشترین مقدار وزنی عنصر تنگستن در رسوبات خلیج چابهار ppm ۴۶۹ و کمترین مقدار آن نیز ppm ۱۱۱ است (جدولهای ۲ و ۳). مقدار این عنصر نیز در رسوبات کربناته (ریفها و پوسته های صدفی) زیاد است. منشأ عنصر تنگستن در رسوبات خلیج چابهار درون حوضه ای است. نقش فعالیتهای انسانی در افزایش غلظت این فلزات در خلیج چابهار بیشتر از تاثیر عوامل طبیعی است. سرب و روی به دلیل آنکه دارای وزن مخصوص زیادی هستند، اکثراً در نواحی ساحلی غلظت آنها افزایش می یابد. به همین دلیل غلظت آن در رسوبات ساحلی درشت دانه زیاد است. هر چند افزایش غلظت این فلزات در رسوبات مجاور اسکله ماهیگیری تیس نشان می دهد که دلیل اصلی افزایش آنها، منشأ انسانزاد دارد (احراری رودی، ۱۴۰۱). به منظور داشتن بررسی تجمع عناصر در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار GIS نمودارهای توزیع غلظت رسم شد (شکل ۱۵) که نشان می دهد غلظت عنصر نیکل در دو منطقه میانی خلیج و اسکله کنارک از دیگر مناطق نمونه برداری بیشتر است. غلظت بالای این فلز به دلیل مصرف سوخت های فسیلی ناشی از شناورها و سوزاندن مواد زاید است. همچنین غلظت روی نشان می دهد که میزان غلظت این فلز در اسکله کنارک و اسکله شهید کلاتنری بیشتر از سایر نقاط می باشد که احتمالاً ناهنجاری ناشی از فلز روی نیز مانند مس ناشی از آلودگی حاصل از لنج ها و قایق ها می باشد. نمودار غلظت عنصر کروم نشان می دهد بیشترین غلظت این فلز در اسکله شهید کلاتنری و ساحل صیادی



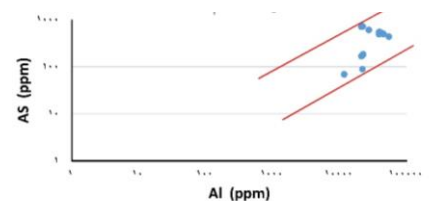
شکل ۷- فراوانی فلز مس در مقابل آلومینیوم و تجمع مس در رسوبات منطقه مورد مطالعه

با توجه به شکل های فوق می توان نتیجه گرفت مقدار عنصر مس در رسوبات در منطقه آلوده قرار می گیرد (شکل ۸) بیشترین مقدار وزنی عنصر روی در رسوبات خلیج چابهار ppm ۸۴ و کمترین مقدار آن نیز ppm ۳۹ است.



شکل ۸- فراوانی فلز روی در مقابل آلومینیوم و تجمع روی در رسوبات منطقه مورد مطالعه

با توجه به شکل های فوق می توان نتیجه گرفت مقدار عنصر روی در رسوبات منطقه در محدوده آلوده قرار نمی گیرد. بیشترین مقدار وزنی عنصر آرسنیک در رسوبات خلیج چابهار ppm ۷۲۳ و کمترین مقدار آن نیز ppm ۶۹ است. منشأ آرسنیک در رسوبات بستر خلیج چابهار درون حوضه ای است. مقدار فلز سمی آرسنیک در رسوبات چابهار بیشتر از میانگین آن در پوسته زمین است. با توجه به شکل زیر می توان نتیجه گرفت مقدار عنصر آرسنیک در رسوبات منطقه در محدوده آلوده قرار می گیرد (شکل ۹).

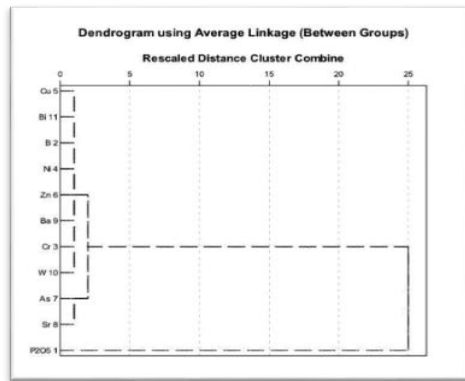


شکل ۹- فراوانی فلز آرسنیک در مقابل آلومینیوم

جدول ۶- نتایج پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب

محل نمونه برداری	تاریخ	زمان (ساعت)	عمق (متر)	رنگ	رشد	دما آب (°C)	دما هوا (°C)	شوری (PSU)	pH	Eh	EC
ایستگاه ۱	۱۴۰۰/۰۶/۱۶	۹:۳۰	۰.۵	روشن	۳۳	۳۱.۱	۳۳	۳۷	۷.۷	۰.۴۸۱	۵۵.۳
ایستگاه ۲	۱۴۰۰/۰۶/۱۶	۱۰	۱	تیره	۳۳	۳۱.۵	۳۳	۳۷.۲	۷.۸	۰.۴۹۹	۵۵.۶
ایستگاه ۳	۱۴۰۰/۰۶/۱۶	۱۱	۲	تیره	۳۱.۹	۳۱.۹	۳۴.۵	۳۷.۴	۷.۸	۰.۴۸۱	۵۵.۸
ایستگاه ۴	۱۴۰۰/۰۶/۱۶	۱۱:۳۰	۳	تیره	۳۲.۹	۳۱.۷	۳۱.۴	۳۷.۹	۷.۸	۰.۴۹۹	۶۰.۷
ایستگاه ۵	۱۴۰۰/۰۶/۱۶	۱۱:۵۵	۳	تیره	۳۲.۲	۳۲.۲	۳۵.۳	۳۷.۹	۷.۸	۰.۴۸۱	۵۶.۳
ایستگاه ۶	۱۴۰۰/۰۶/۱۶	۱۲:۳۰	۵	تیره	۳۲.۲	۳۲.۲	۳۵	۳۷.۴	۷.۸	۰.۴۹۹	۵۵.۸
ایستگاه ۷	۱۴۰۰/۰۶/۱۶	۱۳	۳	تیره	۳۲.۶	۳۲.۶	۳۵	۳۷.۹	۷.۸	۰.۴۹۹	۵۵.۸
ایستگاه ۸	۱۴۰۰/۰۶/۱۶	۱۳:۱۰	۱.۵	تیره	۳۲.۶	۳۲.۶	۳۵	۳۷.۹	۷.۸	۰.۴۹۹	۵۵.۸
ایستگاه ۹	۱۴۰۰/۰۶/۱۶	۱۴:۳۰	۲	تیره	۳۱.۳	۳۱.۳	۳۲	۳۶.۸	۷.۸	۰.۴۶۶	۵۵.۲
ایستگاه ۱۰	۱۴۰۰/۰۶/۱۶	۱۵	۰.۵	روشن	۳۰.۸	۳۰.۸	۳۰.۵	۳۷.۱	۷.۸	۰.۴۷۷	۵۵.۴

همچنین نمودار آنالیز خوشه ای عناصر و تلفیق آنها با نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی آب، شوری و pH نشان‌دهنده بالا بودن فاکتورهای مذکور در رسوبات خلیج چابهار نسبت به دریا می باشد (شکل ۲۰). روند دما با افزایش عمق و دور شدن از خلیج افزایش می یابد. میزان افزایش دما نشان دهنده نفوذ جریان آب گرم خلیج فارس از طریق تنگه هرمز می باشد (ترانه شارمده، ۱۳۸۵).

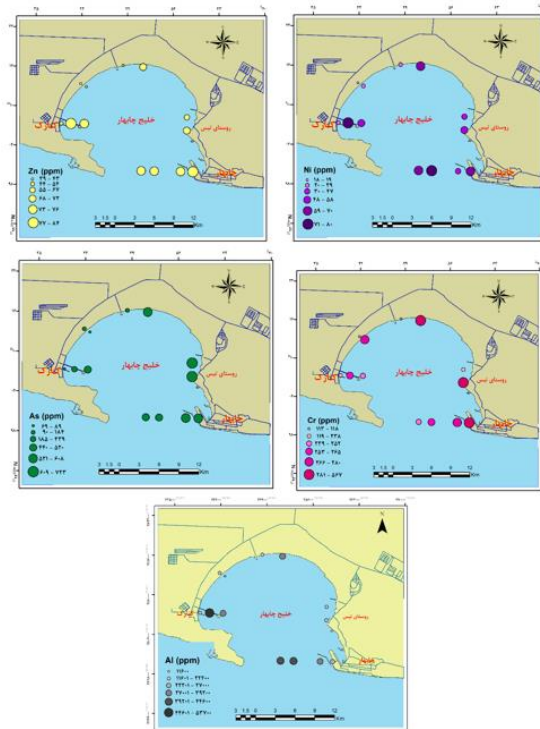


شکل ۱۲- دسته بندی خوشه عناصر

۴- نتیجه گیری

خلیج چابهار یک محیط رسوبی دوگانه ای است زیرا علیرغم آنکه در اکثر محدوده خلیج محیط رسوبی، تخریبی است ولی به صورت محلی در بعضی بخش ها محیط رسوبی کربناته که با برجا گذاشتن رسوبات بیوشیمیایی توام است دیده می شود. رسوبات آواری موجود در خلیج شامل کوارتز، کانیهای رسی، فلدسپات، کلسیت و دولومیت تخریبی می باشند. منشاء این رسوبات آواری، واحدهای سنگی (کنگومرا، ماسه سنگ و مارن) اطراف خلیج است. در رسوبات بستر خلیج ۹ تیپ رسوبی شامل گراول، ماسه، سیلت، گل، سیلت ماسه ای، رس ماسه ای، گل ماسه ای، ماسه سیلتی و ماسه گلی شناسایی شدند که گونه غالب سیلت ماسه ای می باشد. البته رسوبات ساحلی عمدتاً تیپ ماسه ای دارند. پراکندگی ذرات ریز دانه غالباً در مرکز خلیج و دور از ساحل دیده می شوند در حالیکه رسوبات دانه درشت غالباً در سواحل و مناطق نزدیک به ساحل گسترش بیشتری دارند. مقدار عنصر کرم در خلیج چابهار بیشتر از میانگین آن در پوسته بوده و حالتی تقریباً غیر عادی دارد. بنابراین مناطق مستعد آلودگی زیست محیطی در منطقه مورد مطالعه به چهار بخش تقسیم می شوند: منطقه اول با بیشترین آلودگی در غرب و جنوب غرب خلیج (اطراف اسکله

تیس می باشد. دلیل این آلودگی به فعالیت های انسانی باز می گردد. همچنین دلیل غلظت زیاد آرسنیک در ساحل صیادی تیس را می توان به استفاده علف کش های آلی و یا سوخت های فسیلی ناشی از شناورها مربوط دانست. دلیل غلظت زیاد آلومینیوم در اسکله شهید کلاتری را می توان به دلیل فراوانی کانی های رسی در منطقه دانست. با استفاده از نمودارهای بالا و همچنین نتایج حاصل از ICP حاکی از این است که عمده آلودگی خلیج چابهار به اسکله ها محدود می شود که بیشتر حاصل از آلودگی های انسانی است. بررسی نقشه توزیع عنصر استرانسیم (شکل ۱۱) نشان می دهد که در مناطقی از خلیج که رسوبات بستر دارای کربنات کلسیم بیشتری هستند مقدار عنصر استرانسیم نیز بیشتر است. و این مناطق با ریفهای داخل خلیج کاملاً منطبق است. دلیل این امر نیز جایگزینی عنصر استرانسیم به جای کلسیم در ساختار بلوری آراگونیت است. و از آنجایی که ریفها و اکثر پوسته های صدفی داری جنس آراگونیتی هستند لذا در این مناطق مقدار استرانسیم بالا است.



شکل ۱۱- نقشه غلظت عنصر نیکل، عنصر روی، کروم، آرسنیک و آلومینیوم در رسوبات منطقه مورد مطالعه

داده های فیزیکوشیمیایی نمونه های آب نشان می دهد که شوری متوسط در تمام ایستگاههای نمونه برداری حدود ۳۷ و شرایط pH محیط قلیایی ضعیفی داشته و در نتیجه، غلظت یون هیدروکسید بیشتر از یون هیدروژن می باشد. مقایسه شرایط فیزیکوشیمیایی نشان می دهد با افزایش دما مقادیر شوری، pH و Eh افزایش می یابند (جدول ۸). از آنجاییکه مقادیر محیط مثبت می باشد احتمالاً محیط در شرایط اکسیداسیونی قرار دارد. از طرفی مقدار بالای EC نشان‌دهنده سمیت رسوبات منطقه مورد مطالعه است (جدول ۶).

حوضه ای) باعث افزایش غلظت عناصر سنگین می گردد. شستشوی شناورها که دارای مقادیر زیادی ضایعات ماهی است و همچنین ریختن مستقیم فاضلاب های انسانی به درون آب حوضچه ها موجب ایجاد آلودگی مواد آلی در محیط اسکله ها گردیده است. به دلیل عملکرد امواج بخصوص در فصل تابستان و حاکمیت مونسون، بسیاری از عناصر فلزی که دارای وزن مخصوص بالایی هستند (مانند، کروم، نیکل و آهن) از رسوبات آلوده بستر دریا به سمت سواحل ماسه ای رانده می شوند و موجب افزایش غلظت فلزات سنگین در این مناطق می گردند.

کنارک)، منطقه دوم شامل مناطق مستعد آلودگی ولی با آلودگی کمتر در بخش های میانی در بخش جنوبی رو به دریا و شمال خلیج، منطقه سوم شامل مناطق مستعد و با آلودگی بیشتر و نهایتاً منطقه با کمترین آلودگی ولی مستعد در شرق خلیج و سواحل تیس (اسکله شهید کلاتری و پلاژ ساحلی تیس). از مهمترین منابع آلودگی، آلودگیهای انسانی مانند تخلیه روغن موتور یا سوخت به درون حوضچه ها و یا تعمیر بدنه شناورهای صیادی است که باعث ورود عناصر سنگین به آنها و حوضه های رسوبی دریایی منطقه می شود. همچنین فرسایش ارتفاعات بالا دست و ورود رسوبات آواری به عنوان یک منشاء ژئوتئیک (زمینی و برون

منابع

- آقائباتی، ع. ۱۳۸۹. زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور. وزارت صنایع و معادن، ۴۳۰ ص.
- احراری رودی، م. ۱۴۰۱، رسوب شناسی و شناسایی عوامل غنی سازی عناصر سنگین در نهشته های کم عمق سواحل چابهار، زمین شناسی کاربردی پیشرفته، دانشگاه شهید چمران اهواز، دوره ۱۲ شماره ۱
- احراری رودی، م. ۱۴۰۱، رسوب شناسی و زمین شیمی رسوبات ساحلی خلیج پزم، جنوب خاوری ایران، دوفصلنامه رسوب شناسی کاربردی، دانشگاه بوعلی سینای همدان، دوره ۱۰ شماره ۲۰
- شارمد، ت. ۲۰۰۲. بررسی پیشینه خلیج چابهار از طریق مطالعات ژئوشیمیایی و مواد آلی رسوبات، دانشگاه قاهره، مصر
- احراری رودی، م. (۱۳۹۹) رسوب شناسی سواحل مکران، مرکز نشر دانشگاهی، ۲۹۴ ص.
- صمدیان، م.ر. و جعفریان، م.ب.، ۱۳۷۵، نقشه زمین شناسی چابهار، ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰، چابهار، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- موسوی حرمی، ر. (۱۳۹۳)، رسوب شناسی، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ ۱۵، ۴۷۶ ص.
- Ahrari-Roudi, M., 2017. A Study on Tectonic and Sedimentology in Order to Fault Rupture Potential in Coasts the Makran Sea, *Open Journal of Geology*, 7, pp. 1269-1286.
- Ahrari Roudi, M., 2015, Sedimentology and geochemistry of the Makran coastal sediments Located in South East Iran, *Applied Sciences Reports*, V. 12, 83-92 pp.
- ALabdeh, D., Karbassi, AR., Omidvar, B., Sarang, A., 2019. Speciation of metals and metalloids in Anzali wetland, Iran, *International Journal of Environmental Science and Technology*, Online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-019-02471-8>.
- Benmoussa, T., Amrouni, O., Dezileau, L., Mahé, G., Chiarella, D., Abdeljaouad, S., 2019. Recent geochemical and grain size distribution of terrestrial sediment in coastal area from the watershed of Medjerda River, Gulf of Tunis. In *Paleobiodiversity and Tectono-Sedimentary Records in the Mediterranean Tethys and Related Eastern Areas*, Springer, Cham, pp. 347- 351.
- Berkowitz, B., Dror, I. & Yaron, B., 2008. *Contaminant Geochemistry: Interactions and Transport in the Subsurface Environment*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 412p.
- Binning, K. & Baird, D. 2001. Survey of heavy metals in the sediments of the Swartkops river estuary, Port Elizabeth South Africa. *Water South Africa* 27, 461-466.
- Burton, J.D. and Statham, P.J. 2000. Trace Metals in Seawater, in R. W. Furness & P. S. Rainbow (ed.), *Heavy Metals in the Marine Environment*, CRC Press, Inc, Florida, United States of America.
- Cao, C.Y., Yu, B., Wang, M., Zhao, Y.Y., Wan, X., Zhao, S. 2020. Immobilization of cadmium in simulated contaminated soils using thermal activated serpentine. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1-7.

- Clark, M. W., McConchie, D., Lewis, D. W., Saenger, P., 1998. Redox stratification and heavy metal partitioning in Avicennia-dominated mangrove sediments: a geochemical model. *Chemical Geology* 149, 147–171.
- Defew, L. H., Mair, J. M., and Guzman, H. M. 2005. An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. *Marine Pollution Bulletin* 50, 547–552.
- Denton, G.R.W., Bearden, B. G., Houk, P., Starmer, J. A., Rick Wood, H. 2001. Contaminant Assessment of Surface Sediments from Tanapag Lagoon, Saipan, Water and Environmental Research Institute of the Western Pacific, Technical Report No. 93, University of Guam, Mangilao, Guam.
- Eby, G. N., 2005. Principles of environmental geochemistry, Thomson, Ellis, S. & Mellor, A., New York.
- Folk, R.L., 1974, *Petrology of sedimentary Rock*: Hemphill publishing Co., Austin, Texas 182P.
- Hosseinyara, Gh., Behbahanib, R., Moussavi-Harami, R., Lak, R., Kuijperse, A. (2021) Holocene sea-level changes of the Persian Gulf Quaternary International, 571: 26-45
- Karimi, A., Ahmadi, A., Partabian, A. 2020. Potential soil pollution by heavy metals in Kurdistan region, western Iran: the impact of ultramafic bedrock, *Geopersia*, 10 (1): 41-52.
- Khadivar, Sh., Taghipour, B. 2019. Geochemistry, origin and behavior of trace elements in nickel lathe Chah Gheyb, Ghaderabad, Fars province, *Journal of Advanced Applied Geology*, pp. 120-132
- Langmuir, D. 1997. *Aqueous Environmental Geochemistry*. Prentice-Hall, New Jersey, 603p.
- Lak, R., Mirzapour, B., Aleali, M., Djamali, M., Shahbazi, R. 2020. Identifying the effect of climate changes of sedimentary environments and determining sedimentation rate of south wetland of Lake Urmia during late Pleistocene and Holocene, *Pollution*.
- Luoma, S.N.1990. Bioavailability of trace metals to aquatic organisms-a review. *Sci. Total Environ.*28:1-22.
- Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., and Stoeppler, M. 2004. *Elements and their compounds in the environment*, John Willey, 1170p.
- Moradpour, A., Zarei Sahamieh, R., Ahmadi Khalaji, A., Sarikhani, R. 2019. Environmental pollution and Pattern formation of the Harsin–Sahneh ophiolitic complex (NE Kermanshah-west of Iran). *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 48(2): 193-204
- Muzuka, A. N. N. 2007. Distribution of Heavy Metals in the Coastal Marine Surficial Sediments in the Msasani Bay-Dar es Salaam Harbour Area, *J. Mar. Sci.* 6, 73–83.
- Plant, J.A., et al. 2003. Arsenic and Selenium, in H. D. Holland & K. K. Turekian (ed.), *Treatise on Geochemistry Volume 9: Environmental Geochemistry*, Pergamon, Oxford.
- Potts, P. J. 1987. *A Handbook of Silicate rock analysis*. Pb 549-028 Blackie and Son Ltd.
- Rao, P. G., Reddy, K.S.N., Sekhar, C.R., Naidu, K.B., Krishna, K.M., Reddy, G.V.R., 2019. Provenance studies of ilmenite from Red Sediments, Bhimunipatnam Coast, East Coast of India. *Journal of the Geological Society of India*. 93(1), pp.101-108.
- Salarian, S., Asghari O., Abedi M., Alilou S.K. 2020. Geostatistical-based geophysical model of electrical resistivity and chargeability data applied to image copper mineralization in the Ghalandar deposit, Iran, *international journal of mining and Geo-engineering* 54(2): 153-160
- Sarkar, B. 2002. *Heavy Metals in the Environment*. Marcel Dekker, New York, 725p.
- Sarkar, S. K., Bilinski, S. F., Bhattacharya, A., Saha, M., and Bilinski, H. 2004. Levels of elements in the surficial estuarine sediments of the Hugli River, northeast India and their environmental implications. *Environ Int.* 30: 1089– 98.

- Tam, N. F. Y., Wong, W. S. 2000. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environmental Pollution* 110, 195–205.
- Thorne, LT and Nickless, G. 1981. The relation between heavy metals and particle size fractions within the Severn Estuary (U.K. inter-tidal sediments). *Sci. Total Environ.* 19 207-213.
- Zaresefat, M., Ahrari-Roudi, M., Shoael, Gh. R., Etemadifar. M., Aghamolaei, I. Derakhshani, R. 2022. Identification of Suitable Site-specific Recharge Areas using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Technique: A Case Study of Iranshahr Basin (Iran), *Air, Soil and Water Research*, V 5:1-12

Identification of areas susceptible to environmental pollution in the coasts of Chabahar Bay

Mohyeddin Ahrari Roudi^{1*}, Bita Bassirani², Hamid Rezaei³

1- Assistant Professor, Department of Oceanography, Faculty of Marine sciences, Chabahar Maritime University, chabahar, Iran.

2- Master of geology and sedimentary rock, Managing Director and member of the Board of Tabas Coal Company, Ahya Sepahan

3- MSc, Chabahar Research Center of the Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS), chabahar, Iran.

*Email Address: m.ahrari@cmu.ac.ir

Abstract

Chabahar Bay with a length of 17 km and a width of 20 km is the largest bay on the southeastern coast of Iran, which is connected to the Sea of Oman through a 13.5 km wide opening. From the structural geological point of view, the study area is located in the geological zone of Makran. Since the pollution of water and sediments by heavy metals and their impact on the ecosystem is very important, in this study we have tried to investigate the level of heavy metal pollution in the sediments of Chabahar Bay. For this purpose, 13 surface sediment samples were collected from the bed of Chabahar Bay and were subjected to sedimentological and geochemical analyzes in the laboratory. For this purpose, granular sediments (smaller than 200 mesh) were decomposed ICP to determine the main, secondary and heavy metals elements. By comparing granulation and geochemical analyzes of sediments, areas prone to contamination were identified. According to the 1984 Folk classification, 9 sediment types including gravel, sand, silt, mud, silt sand, sand clay, sand mud, silt sand and mud sand were identified in the bed sediments of Chabahar Bay. Some heavy elements such as arsenic, bismuth, chromium, strontium, zinc, tungsten and copper are highly concentrated in sediments located in Chabahar Bay, especially in Konarak area and the outskirts of Shahid Beheshti wharf. The cause of this pollution seems to be anthropogenic origin, such as pollution caused by the maintenance of fishing boats and yachts.

Introduction

Heavy metals have become a serious environmental problem for ecosystems due to their high bioaccumulation capacity and durability (Tam & Wong 2000; Clark et al. 1998). Compared to organic pollutants, heavy metals cannot they are destroyed by chemical or biological processes and, therefore, accumulate locally over long distances (Merian et al. 2004). In natural environments, the accumulation and distribution of heavy metals depends on various factors such as oxidation and reduction conditions, pH (Langmuir 1997) and the amount of organic matter (Berkowitz et al 2008). In addition, these metals can be adsorbed by the surface of minerals such as clay minerals and iron, magnesium or aluminum hydroxides (Eby 2005). As a result, high concentrations of heavy metals can accumulate in sediments, especially fine-grained particles with high contact surface (Berkowitz et al. 2008). Because marine sediments are potential settlements and sources of heavy metals in the water column, high levels of heavy metals in coastal sediments have many negative effects on terrestrial and aquatic organisms (Defew 2005). In addition, polluted coastal sediments reduce tourism on these beaches (Muzuka 2007). These effects reveal the importance of assessing and monitoring changes in heavy metal concentrations in coastal environments. Makran Basin is located in southeastern Iran and southwestern Pakistan. The Makran Trench is the physiographic expression of a subduction zone along the northeastern margin of the Oman Sea adjacent to the southwestern coast of Baluchestan of Pakistan and the southeastern coast of Iran. Chabahar Bay, with a length of 17 km and a width of 20 km, is the largest bay on the southeastern coast of Iran, which is connected to the Oman Sea by a span of 13.5 km. According to the structural geological divisions, the study area is located in the inner Makran geological zone. Since the pollution of water and

sediments by heavy metals and their impact on the ecosystem is very important. In this study, an attempt has been made to investigate the level of heavy metal pollution in Chabahar Bay sediments.

Methodology

To study the sediments of Chabahar Bay, studies were performed in several different stages, which are as follows:

- Library studies and reviews
- Field surveys and sampling
- Laboratory tests
- Data processing

First, all research related to Chabahar Bay was collected and studied. Surveys and sampling were performed by sampling tools according to the sampling environment. Sampling was performed in Chabahar Bay (and the deeper part of the sea for comparison with coastal samples and some samples were selected from the coastal strip land formations). To sample the bay, first the location of the sampling points was determined using a GPS and with a number of Manual samplers (Grap) sampling of soft surface sediments was performed and the boat was used to move and transfer to the sampling site. A depth finder was also used to determine the exact depth of the sampling points.

In this study, at first, library and documentary studies (include collected of maps, articles, books and researches of related to the research topic) were performed. Then, in the field studies and field visits, for this purpose, 13 sediment samples were collected from the shallow bed of Chabahar Bay and in the laboratory, they were subjected to sediment analysis and geochemistry. Therefore, the fine-grained sediments (less than 200 mesh) to determine the major elements, trace and heavy metals were analyzed ICP. By comparing the grain size analysis and Geochemistry of sediments, pollution-prone areas were identified. Finally, by combining the obtained data, the necessary interpretation and conclusions were made.

Conclusion

Chabahar Bay is a dual sedimentary environment because although in most parts of the Gulf the sedimentary environment is destructive, but in some parts carbonate sedimentary environment is seen which is accompanied by the release of biochemical sediments. Detrital sediments in the bay include quartz, clay minerals, feldspar, calcite and destructive dolomite. The origin of these detrital sediments is rock units (conglomerate, sandstone and marl) around the bay. In the sediments of the Gulf bed, 9 sediment types including gravel, sand, silt, mud, sandy silt, sandy clay, sandy mud, silty sand and mud sand were identified, which are the predominant species of sandy silt. Of course, coastal sediments are mainly sandy. Scattering of fine-grained particles is often seen in the center of the bay and offshore, while coarse-grained sediments are often more widespread along coasts and coastal areas. The amount of worm element in Chabahar Bay is higher than the average in the crust and it is almost unusual. Therefore, areas prone to environmental pollution in the study area are divided into four parts: the first area with the most pollution in the west and southwest of the bay (around Konarak jetty), the second area includes areas prone to pollution but with less pollution in the middle South to the sea and north of the bay, the third region includes areas prone to more pollution and finally the area with the least pollution but prone to the east of the bay and the coast of Tis (Shahid Kalantari wharf and Tis coastal beach). One of the most important sources of pollution is human pollution such as dumping engine oil or fuel into ponds or repairing the hulls of fishing vessels, which causes heavy elements to enter the waters and marine sedimentary basins of the region. Also, erosion of upstream altitudes and the entry of detrital sediments as a geogenic origin (terrestrial and

extra-basin) increase the concentration of heavy elements. The washing of vessels, which contain large amounts of fish waste, as well as the direct dumping of human wastewater into the pond water, has caused the contamination of organic matter in the environment of the docks. Due to the performance of waves, especially in summer and the monsoon rule, many metal elements that have high specific gravity (such as chromium, nickel and iron) are driven from contaminated seabed sediments to sandy beaches, increasing the concentration of heavy metals. They roam in these areas. Based on the Folk classification (1984), 9 sedimentary types (Gravle, Sand, Silt, Mud, Sandy silt, Sandy clay, Sandy mud, Silty Sand & Muddy sand) were identified in the sediments of Chabahar Bay. Some heavy elements such as As, Bi, Cr, Sr, Zn, W and Cu are highly concentrated in sediments located in Chabahar Bay, especially along in the Konarak and Shahid Beheshti Jetty's. The cause of this pollution seems to be human origin (Anthropogenic) such as pollution caused by the maintenance of launches and fishing boats.

Keywords

Contamination; Heavy metals; Chabahar Bay; Geochemistry; Environmental.