

ویژگی‌های رسوب‌شناسی و ژئوشیمیایی رسوبات ساحل و بستر خلیج گواتر، جنوب خاوری ایران

عزیزاله بزی^{۱*}، محمد بومری^۲، حمید رضایی^۳

۱- مربی آموزشی گروه علوم پایه، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، پست الکترونیکی: a.bazzi@cmu.ac.ir

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، پست الکترونیکی: boomeri@hamoon.usb.ac.ir

۳- کارشناس پژوهشی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، ایستگاه پژوهشی دریای عمان و اقیانوس هند، چابهار، پست الکترونیکی: h.rezaei@inio.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۷

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۱

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۳، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

برای بررسی خصوصیات رسوب‌شناسی و ژئوشیمیایی رسوبات ساحل و بستر خلیج گواتر در جنوب خاوری ایران، تعداد ۱۴ نمونه رسوب سطحی در تابستان ۱۳۸۸ برداشت و مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی‌های صورت گرفته نشان داد که رسوبات ساحلی از نظر دانه‌بندی در حد ماسه و رسوبات خلیج دانه ریزتر و در محدوده‌ی سیلت و رس قرار می‌گیرند. بر این اساس، ۷ نوع رسوب شناسایی گردید. کانی‌های تشکیل دهنده رسوبات، علاوه بر اجزای آواری حاوی سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی و خرده‌های رسوبی برجا و نابرجا، مجموعه‌ای از کانی‌های کوارتز، کلسیت، فلدسپار، اکسیدهای آهن و کانی‌های رسی هستند. نقشه‌های ژئوشیمیایی فلزات سنگین نشان داد که بیشترین غلظت این عناصر مربوط به رسوبات ساحلی پسابندر است که در آن غلظت عناصر آهن، منگنز، سرب، روی و کروم به ترتیب ۳/۱۵، ۲/۵۳، ۱/۳۵، ۴/۲۴، و ۱۰۰ برابر عیار طبیعی آنها در محدوده مورد مطالعه است. ضرایب همبستگی مبین نقش زیاد کلونیدها شامل هیدروکسیدهای آهن و منگنز و کانی‌های رسی در تحرک فلزات سنگین محدوده مورد مطالعه است. همبستگی زیاد عناصر کروم، منیزیم، نیکل و آهن نشان داد که یکی از منابع این عناصر در خلیج گواتر هوازدگی سنگ‌های افیولیتی توسط رودخانه باهوکلالت و انتقال این عناصر به دریا است.

کلمات کلیدی: خلیج گواتر، رسوب‌شناسی، ژئوشیمی، ساحل، بستر.

۱. مقدمه

پیشینه‌ی رسوب برای مستند کردن تغییرات انسان‌زاد استفاده شده است. مهم است بدانیم که برهم‌کنش‌های آب منفذی- رسوب می‌تواند پیشینه‌ی رسوب را توسط توزیع مجدد فلزات دچار تغییر کند. با توجه به این مهم، ثابت شده است که تجزیه و تحلیل

رسوبات بستر و ساحل دریا، حاوی پیشینه‌ای از شرایط سطحی متغیر هستند؛ به ویژه، در محیط‌های حاشیه‌ای دریا، از

باهوکلات و شرایط جوی) قرار دارند. از این رو انتظار می‌رود، تمرکز برخی فلزات در این رسوبات بیشتر از حد طبیعی آنها باشد، با توجه به اینکه مقدار فلزات در رسوبات تحت تاثیر خصوصیات کانی‌شناسی، اندازه‌ی دانه، مقدار مواد آلی و فعالیت‌های انسانی می‌تواند باشد، بررسی این ویژگی‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است.

از دیدگاه زمین‌شناسی، محدوده‌ی مورد مطالعه در منطقه مکران قرار دارد؛ منطقه مکران از لحاظ ساختاری به دو بخش بیرونی (ساحلی) و درونی تقسیم می‌شود. نوار ساحلی گواتر در بخش بیرونی قرار دارد. از ویژگی‌های عمومی این بخش وجود مجموعه‌های افیولیتی، نهشته‌های رسوبی با رخساره فلیش و عدم بروز سنگ‌های قدیمی‌تر از کرتاسه است (McCall, 1997). مجموعه کمپلکس‌های افیولیتی منطقه، بیشتر به صورت نوارهای باریک و کم و بیش پیوسته‌ای هستند که اغلب در امتداد گسل‌های طولی اصلی رخنمون دارند (Jacob et al., 1979). بزرگ‌ترین مجموعه، محور افیولیتی جنوب جازموریان، کهنوج - ایرانشهر است، مجموعه بند زیارت - دره انار، رمشک - مختارآباد و گنج از دیگر نوارهای افیولیتی منطقه هستند. (Mc Call 1997) معتقد است که این مجموعه‌ها قسمتی از یک افیولیت بزرگتر هستند که اکنون به صورت مجموعه‌های جدا از هم درآمده‌اند. رودخانه باهوکلات پر آب‌ترین رودخانه منطقه، که با عبور از مجموعه سنگ‌های فوق، آب‌های مناطق وسیعی از جنوب کشور را جمع‌آوری کرده و به دریای عمان در محل خلیج گواتر سرازیر می‌کند (شکل ۱). بنابراین می‌توان انتظار داشت که یکی از منابع مهم عناصر موجود در رسوبات خلیج گواتر هوازدگی سنگ‌های افیولیتی توسط رودخانه باهوکلات و انتقال این عناصر به دریا باشد. از سوی دیگر، خلیج گواتر از جمله مناطقی است که به دلیل شرایط خاص اقلیمی و زمین‌شناسی از جمله نوسانات سطح آب دریا در زمان‌های مختلف زمین‌شناسی، فرایندهای هوازدگی فرسایش و نیز فعالیت‌های زمین‌ساختی ناشی از فرورانش صفحه عمان و بالا آمدگی صفحه‌ی مکران، ساختارهای منحصر به فردی داشته و به‌طور عمده از سنگ‌های رسوبی آواری تشکیل شده است (Farhoudi and Kraig, 1977). واحدهای سنگی مختلف در منطقه‌ی ساحلی و خشکی‌های مشرف به دریا عبارتند از: واحدهای مارنی به سن میوسن، واحدهای مارنی و ماسه سنگی میوسن-پلیوسن، رسوبات ماسه‌ای و سیلتی مخروط‌افکنه‌ها و رسوبات حاوی صدف‌های جانوری. پادگانه‌های سواحل پسابندر

کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبات، ابزار بسیار مفیدی برای درک شرایط و تغییرات رسوب‌گذاری است (Ali Beg, 1995). بررسی نحوه‌ی توزیع دانه‌های رسوبی برای مقایسه نمونه‌های مختلف با یکدیگر از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا بدین‌وسیله می‌توان به اختصاصات مختلف رسوبات و فرآیندهایی که باعث تشکیل آنها گردیده است، پی برد. از سوی دیگر، مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات در محیط‌های ساحلی و آبی می‌تواند گام مؤثری برای یافتن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش فلزات سنگین و ارزیابی زیست محیطی وضعیت آلاینده‌های موجود در یک منطقه باشد (Shajan, 2001). رسوبات طی سالیان متمادی در اثر فرآیند رسوب‌گذاری رفته رفته بر روی هم انباشته شده و سرانجام می‌توانند به‌عنوان ثابت میزان آلودگی‌ها در نظر گرفته شوند و مقدار فلزات سنگین در لایه‌ها و طبقات مختلف رسوبات نمایانگر میزان این فلزات و مقدار آلودگی بوم‌سامانه در زمان رسوب‌گذاری آن لایه‌ها است (Defew et al., 2005). با وجود آن‌که رسوب‌شناسی و بررسی غلظت فلزات در بنادر صیادی و رسوبات سطحی نواحی ساحلی در بسیاری از نقاط دنیا به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است (Binning and Baird, 2003; Man et al., 2004; Sarkar et al., 2004; Caplat et al., 2005; Mc Cready et al., 2006; Muzuka, 2007; Ahdy and Khaled, 2010; Herve et al., 2009)، این گونه مطالعات در سواحل ایرانی دریای عمان و به‌خصوص خلیج گواتر به ندرت انجام گرفته و تقریباً می‌توان گفت علی‌رغم اهمیت فوق العاده منطقه مورد مطالعه از لحاظ زیست‌بوم‌های منحصر به‌فرد، تاکنون هیچ گونه مطالعه جامعی در این مورد صورت نگرفته است. تنها بررسی صورت گرفته در سال‌های اخیر توسط حمزه و همکاران، (۱۳۹۰) است که مسایل زیست محیطی فلزات سنگین در منطقه، مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به مطالب فوق و اهمیتی که رسوب‌شناسی و خصوصیات ژئوشیمیایی رسوبات در سواحل دارد، محدوده خلیج گواتر جهت انجام این مطالعات برگزیده شد. خلیج گواتر بین عرض جغرافیائی ۲۱° ۰۰' تا ۲۱° ۲۰' شمالی و طول جغرافیایی ۶۱° ۲۰' تا ۶۱° ۴۰' شرقی در منتهی الیه جنوب خاوری ایران، در حدود ۱۰۰ کیلومتری شرق چابهار واقع شده است (شکل ۱). رسوبات ساحلی خلیج گواتر تحت تاثیر دو دسته فعالیت‌های انسانی (تاسیسات صنعتی و اقتصادی از جمله لنج‌ها و قایق‌های صیادی، مزارع و استخرهای پرورش میگو و فاضلاب‌های شهری) و طبیعی (عناصر ورودی از رودخانه

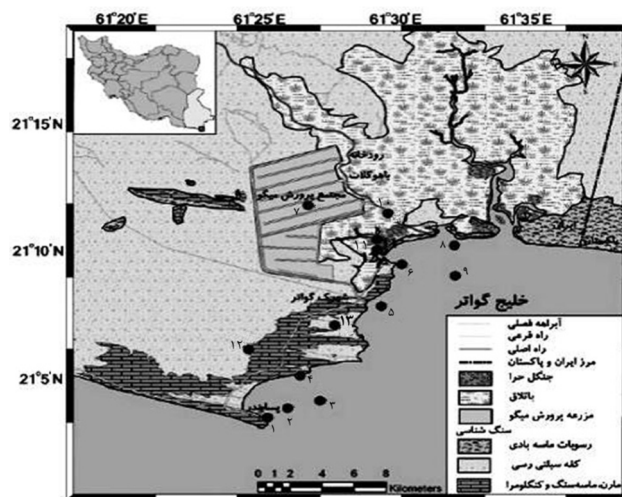
دانه‌بندی، پس از خشک شدن رسوبات در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آن، بخش ماسه رسوبات به روش تر و درصد سیلت و رس توسط دستگاه دانه‌بندی لیزری اندازه‌گیری شد. مطالعات میکروسکوپی نیز با تهیه ۱۲ عدد مقطع نازک از نمونه‌ها صورت گرفت. میزان مواد آلی توسط روش کوره اندازه‌گیری شد؛ در این روش ۱۰ گرم رسوب داخل ظرف چینی ریخته شد و به مدت ۴ ساعت درون کوره الکتریکی با دمای ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و میزان کاهش بر حسب درصد اندازه‌گیری گردید. در نهایت حدود ۵ گرم نمونه رسوب همگن و الک شده توسط الک شماره ۲۳۰ (قطر کمتر از ۶۳ میکرون) جهت تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه ALS Chemex در کشور کانادا ارسال گردید. تجزیه شیمیایی نمونه‌ها توسط روش طیف سنج جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) صورت گرفت.

۳. بحث و نتیجه‌گیری

۳-۱. دانه‌بندی رسوبات

مطالعات دانه‌بندی انجام شده بر روی رسوبات نشان‌دهنده‌ی آن است که ذرات کوچکتر از ۲ میکرون که عمدتاً کانی‌های رسی هستند تا ذرات درشت‌تر در حد ماسه و گاهی گراول در رسوبات وجود دارد. ولی همان‌طور که در شکل (۲، B) نشان داده شده است درصد رس و سیلت در رسوبات منطقه مورد مطالعه بیشتر است. ذرات آواری از قبیل کوارتز، فلدسپار، کربنات آواری و ذرات بیوشیمیایی که عمدتاً قطعات صدف‌های دوکفه‌ای هستند از دیگر اجزای تشکیل‌دهنده‌ی رسوبات هستند. بر اساس مطالعه اندازه رسوبات بستر و ساحل و با توجه به نمودار مثلثی (Folk, 1974)، هفت تیپ از رسوبات در خلیج و ساحل گواتر شناسایی گردید که عبارتند از: رس، رس ماسه‌ای، رس‌گلی، ماسه‌رسی و گلی، ماسه گلی، گل ماسه‌ای و ماسه (شکل ۲، A). بر اساس مطالعات صورت گرفته اغلب نمونه‌های رسوبی مورد مطالعه دارای جور شدگی بد (بین ۱ تا ۲ فی) و جور شدگی متوسط (بین ۰/۷ تا ۱ فی) هستند. براین اساس از لحاظ دانه‌بندی، رسوبات خلیج گواتر را می‌توان در سه گروه بررسی نمود. گروه اول شامل نمونه‌های ۱، ۲، ۳، ۷، ۱۱ و ۱۲ است. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است به جزء نمونه شماره ۳ که از رسوبات نزدیک درختان حرا برداشت گردیده، بقیه نمونه‌های این گروه از بستر خلیج گواتر جمع‌آوری شده‌اند.

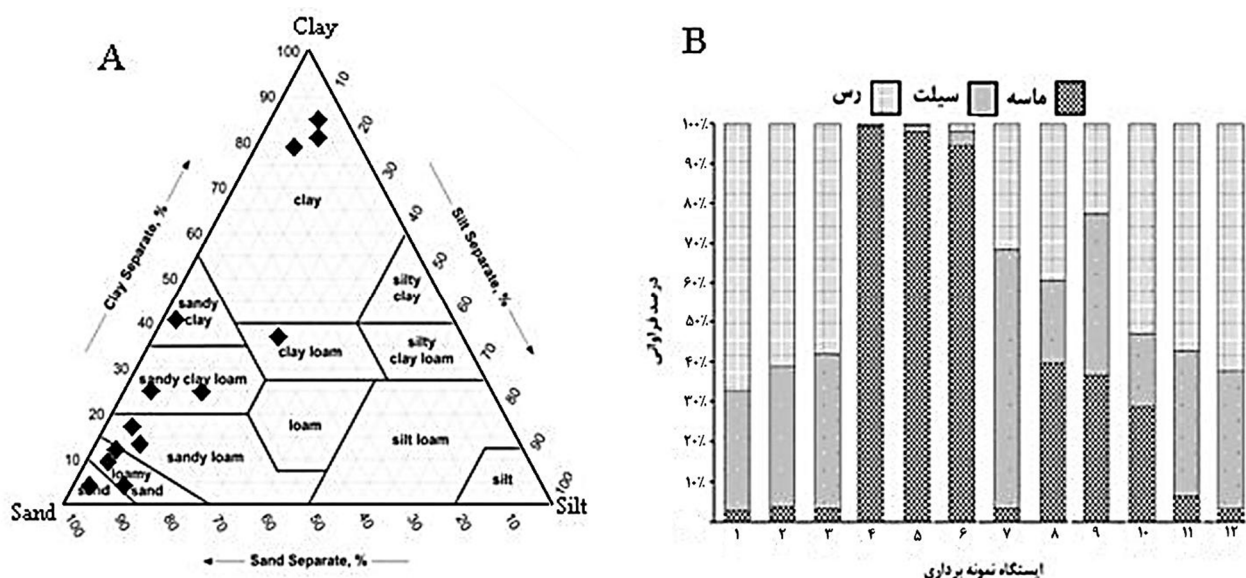
تا خلیج گواتر عمدتاً شامل ماسه سنگ تا کنگلومرا حاوی مقادیر زیادی پوسته‌های صدف هستند (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه و موقعیت نمونه‌های برداشت شده (اقتباس از حمزه و همکاران، ۱۳۹۰)

۲. مواد و روش‌ها

مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری در تابستان صورت گرفت و تعداد ۱۴ نمونه (۶ عدد از برونزدهای ساحلی و ۸ عدد از بستر خلیج) جمع‌آوری شد (شکل ۱). با توجه به اینکه رسوبات تشکیل دهنده‌ی خلیج گواتر متأثر از رسوبات حمل شده از دریای باز (عمان)، رسوبات آواری که توسط رودخانه‌های فصلی وارد خلیج می‌گردند و نیز ته‌نشست‌های درون حوضه و رسوبات بادی هستند، نمونه‌برداری هم از بخش ساحلی و هم بستر خلیج صورت گرفت. نمونه‌برداری در ایستگاه‌های منطقه بین جزر و مدی ساحلی به صورت دستی توسط بیلچه پلاستیکی و نمونه‌برداری از رسوبات داخل دریا، حداکثر تا عمق ۵ متری آب توسط گروپ وان وین ۱ از داخل شناور تحقیقاتی مرکز اقیانوس‌شناسی چابهار، وابسته به پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی با سطح مقطع ۲۵۰ سانتی‌متر با عمق برداشت رسوب تا ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. از هر ایستگاه نمونه‌برداری سه نمونه برداشت گردید و نمونه‌ها کاملاً به صورت دستی با هم مخلوط گردیدند. شرایط محیطی آب نیم متر روی سطح رسوب شامل شوری، دما، pH و میزان هدایت الکتریکی نیز با کمک دستگاه‌های دیجیتال اندازه‌گیری گردید. مراحل مقدماتی آماده سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه پژوهشگاه فوق در چابهار انجام شد. برای



شکل ۲: انواع مختلف رسوبات موجود در منطقه (A) و درصد فراوانی ذرات ماسه، سیلت و رس در منطقه مورد مطالعه (B)

رویش جنگل‌های حرا است) تقسیم‌بندی نمود. در بخش‌هایی از ساحل که جلو آمده است، به دلیل عملکرد امواج به‌خصوص در فصول تسلط طوفان‌های حاره‌ای (مونسون)، فرسایش مکانیکی زیاد صخره‌های ساحلی، موجب گردیده تا رسوبات بسیار دانه‌درشت (در حد گراول) تولید شوند و در خلیج‌ها و تورفتگی‌های ایجاد شده در دو سمت دماغه، رسوب‌گذاری اجزای دانه‌ریزتر انجام می‌شود. نوع رسوبات بادی کرانه ساحلی و رسوبات مصب رودخانه باهوکلات از نوع ماسه و نوع رسوبات خور گواتر از نوع ماسه بسیار دانه‌ریز است. منشأ رسوبات خشکی زاد ساحلی منطقه شامل فرسایش نوار ساحلی، انتقال توسط رودخانه‌های فصلی و دائمی و انتقال توسط باد است. رسوبات زیست‌زاد شامل صدف‌های جانداران با ترکیب کربنات کلسیم است.

همان‌طور که ذکر شد رسوبات ساحلی خلیج گواتر از نظر دانه‌بندی در حد ماسه هستند، در حالی که رسوبات موجود در بستر بسیار دانه‌ریزتر (سیلت-رس) بوده، اندازه دانه‌ها و میزان کانی‌های رسی آنها افزایش می‌یابد. در نمونه‌های برداشته شده از بستر خلیج، با دور شدن از ساحل، رسوبات دانه‌ریزتر می‌شوند. ذرات درشت‌تر به‌طور عمده قطعات پوسته صدفی موجودات هستند که دارای شکل تیغه‌ای هم هستند. ولی با فاصله گرفتن از ساحل و نزدیک شدن به بخش‌های عمیق‌تر، رسوبات حالت کروی پیدا کرده و صدف‌های خرد شده نیز دیگر لبه‌های تیز و اشکال تیغه‌ای را ندارند.

این نمونه‌ها دانه‌ریز و دارای مقادیر توجهی سیلت و رس هستند و درصد ماسه آنها کم است. آنها کج‌شدگی مثبت دارند که نشان‌دهنده‌ی رسوب‌گذاری در یک محیط آرام است، و تک منشأ بودن رسوبات نیز حاکی از ورود رسوبات دانه‌ریز رودخانه باهوکلات به خلیج گواتر است. گروه دوم شامل نمونه‌های ۴، ۵ و ۶ است که هر سه از ساحل برداشت شده است. این نمونه‌ها که تماماً از ماسه تشکیل شده‌اند، کج‌شدگی منفی دارند که گویای انرژی بالای محیط تشکیل آنها است که توانسته شکل دانه‌بندی را تحت تأثیر خود قرار دهد. از سوی دیگر کوارتز یکی از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده‌ی این دسته از نمونه‌هاست که باعث گردیده تا جورشدگی نسبتاً خوبی داشته باشند؛ هر چند وجود خرده‌های اسکلتی و پوسته‌های صدف از میزان این جورشدگی به شدت کاسته است. گروه سوم شامل نمونه‌های ۸، ۹ و ۱۰ دارای مقادیر تقریباً برابری از رس، سیلت و ماسه هستند. هر چند نمونه شماره ۱۰ که از رسوبات نزدیک به درختان حرا گرفته شده است، دارای درصد سیلت و رس بیشتر است. نمونه‌های این دسته شباهت‌های زیادی از قبیل جورشدگی خوب تا متوسط و تک منشأ بودن با همدیگر دارند.

به‌طور کلی، بر اساس نوع رسوبات، سواحل منطقه را می‌توان به سواحل صخره‌ای، سواحل ماسه‌ای (که سواحل کم‌عرضی را تشکیل می‌دهند و به صخره‌های ساحلی ختم می‌شوند) و سواحل گلی (که دارای کمترین فراوانی در منطقه بوده و اغلب محل

۲-۳. اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات

گاستروپودها، قطعات خرد شده خرچنگ‌ها، خارهای خارپوستان، خرده‌های مرجانی، کرم‌های حلقوی و غیره هستند. این قطعات به‌طور عمده در فراکسیون‌های ماسه‌ی متوسط تا درشت به فراوانی دیده می‌شوند. به‌طوری‌که هر چه اندازه ذرات درشت‌تر می‌شود، درصد فراوانی این اجزا نیز افزایش می‌یابد. مطالعات مورفوسکوپی سطوح دانه‌ها نیز نشان می‌دهند که برخی از سطوح پوسته‌های صدفی براق نبوده و یا تغییر رنگ داده‌اند که با ظهور رنگ‌های قرمز و تیره در سطوح آنها مشخص می‌شود. مهم‌ترین دلیل تنوع رنگی این پوسته‌ها وجود سولفیدهای آهن و مواد آلی در منطقه مورد مطالعه است.

۳-۳. ژئوشیمی رسوبات

برای بررسی توزیع مکانی عناصر مورد مطالعه، میزان غلظت عناصر در محدوده خلیج گواتر، به‌عنوان داده‌های ورودی برای تهیه نقشه‌های هم‌غلظت این عناصر به‌کار گرفته شد. هدف از تهیه این نقشه‌ها، مطالعه توزیع عناصر در نقاط مختلف نمونه-برداری و تعیین نقاط آلوده در منطقه مورد مطالعه است. مطالعه این نقشه‌ها بیانگر توزیع مکانی غلظت عناصر، عیار طبیعی این عناصر در محیط‌های طبیعی و میزان دخالت فعالیت‌های انسانی در افزایش غلظت این عناصر در محل‌های آلاینده است.

۳-۳-۱. ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی در رسوبات

در جدول ۱ میزان غلظت عناصر اصلی، فرعی و سنگین در رسوبات ساحلی و خلیج گواتر آمده است. در شکل ۳ نیز نقشه-های ژئوشیمیایی عناصر دارای اهمیت بیشتر در منطقه مطالعاتی مانند کروم، آرسنیک، سرب و فسفر نشان داده شده است. با توجه به جدول، تغییرات غلظت آلومینیوم از ۷/۴۶-۱/۱۷ درصد است. عنصر آلومینیوم یکی از فراوان‌ترین عناصر در پوسته زمین بوده و به‌طور عمده در کانی‌های رسی و فلدسپارها متمرکز است. میانگین غلظت این عنصر در رسوبات ساحلی منطقه در حدود نصف غلظت آن در پوسته بوده و در همه نمونه‌ها غلظت آن کمتر عیار طبیعی پوسته است. دلیل این امر میزان کم آلومینوسیلیکات‌ها و مشتقات هوازگی آنها (کانی‌های رسی) در رسوبات و فراوانی کانی‌های دیگر مانند کانی‌های حاوی کربنات و سولفات کلسیم (حاصل از پوسته جانداران و ذرات آواری) در رسوبات است. غلظت زیاد کلسیم موجود در رسوبات

مطالعه اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات برای پی بردن به مشخصات سنگ منشا، نحوه حمل، و شرایط آب و هوایی منطقه از اهمیت خاصی برخوردار است. در منطقه مورد مطالعه به‌دلیل نزدیک بودن شرایط محیطی تشکیل ذرات شیمیایی و بیوشیمیایی به یکدیگر و نیز به‌دلیل وجود کربنات‌های تخریبی، جدایش کامل ذرات کربنات و تعیین درصد کربنات تخریبی از کربنات درون حوضه‌ای وجود نداشت. اما به‌طور کلی مشخص گردید که در ۹۷ درصد از نمونه‌های مورد مطالعه پوسته موجودات^۱ در ۹۳ درصد از نمونه‌ها کربنات، در ۲۰ درصد از نمونه‌ها کانی اپک، در ۵۰ درصد از نمونه‌ها قطعات گیاهی، در ۹۰ درصد نمونه‌ها کانی کوارتز و در تمامی نمونه‌ها (۱۰۰ درصد) خرده سنگ وجود دارد.

۳-۲-۱. اجزای رسوبی آواری

در منطقه‌ی مورد مطالعه، اجزای رسوبی آواری در فراکسیون‌های متنوع در ابعاد ماسه، سیلت و رس هستند که از فرسایش سازنده‌های بالادست و حمل توسط رودخانه‌ها و باد وارد حوضه رسوبی شده‌اند. این رسوبات در محیط‌های نزدیک به ساحل گسترش بیشتری داشته و شکل عمومی آنها مکعبی است. این رسوبات واجد کرویت خوبی بوده، ولی قطعات صدف خرد شده که به‌طور عمده دانه درشت هم هستند، کرویت بسیار بدی دارند. مهم‌ترین ذرات رسوبی آواری شامل کانی‌های رسی، کوارتز، فلدسپار، کربنات آواری و کانی‌های اپک هستند. بلورهای کوارتز در اندازه‌های مختلف در حد سیلت تا ماسه درشت و گاه در اندازه گراول در رسوبات مشاهده می‌شوند. بلورهای کوارتز اغلب ساحلی بوده و حالت کاملاً گرد شده و کروی دارند که این امر به‌دلیل سایش مداوم در اثر جریان‌ات، امواج و جریان‌های جزر و مدی است. کربنات‌های آواری به‌طور عمده در حد سیلت تا ماسه دیده می‌شوند؛ دارای گردشگی تقریباً خوبی هستند که در نتیجه حمل توسط رودخانه حاصل شده است.

۳-۲-۲. اجزای بیوشیمیایی

مهم‌ترین اجزای رسوبی بیوشیمیایی در داخل رسوبات منطقه مورد مطالعه قطعات و خرده‌های صدف دوکفه‌ای‌ها،

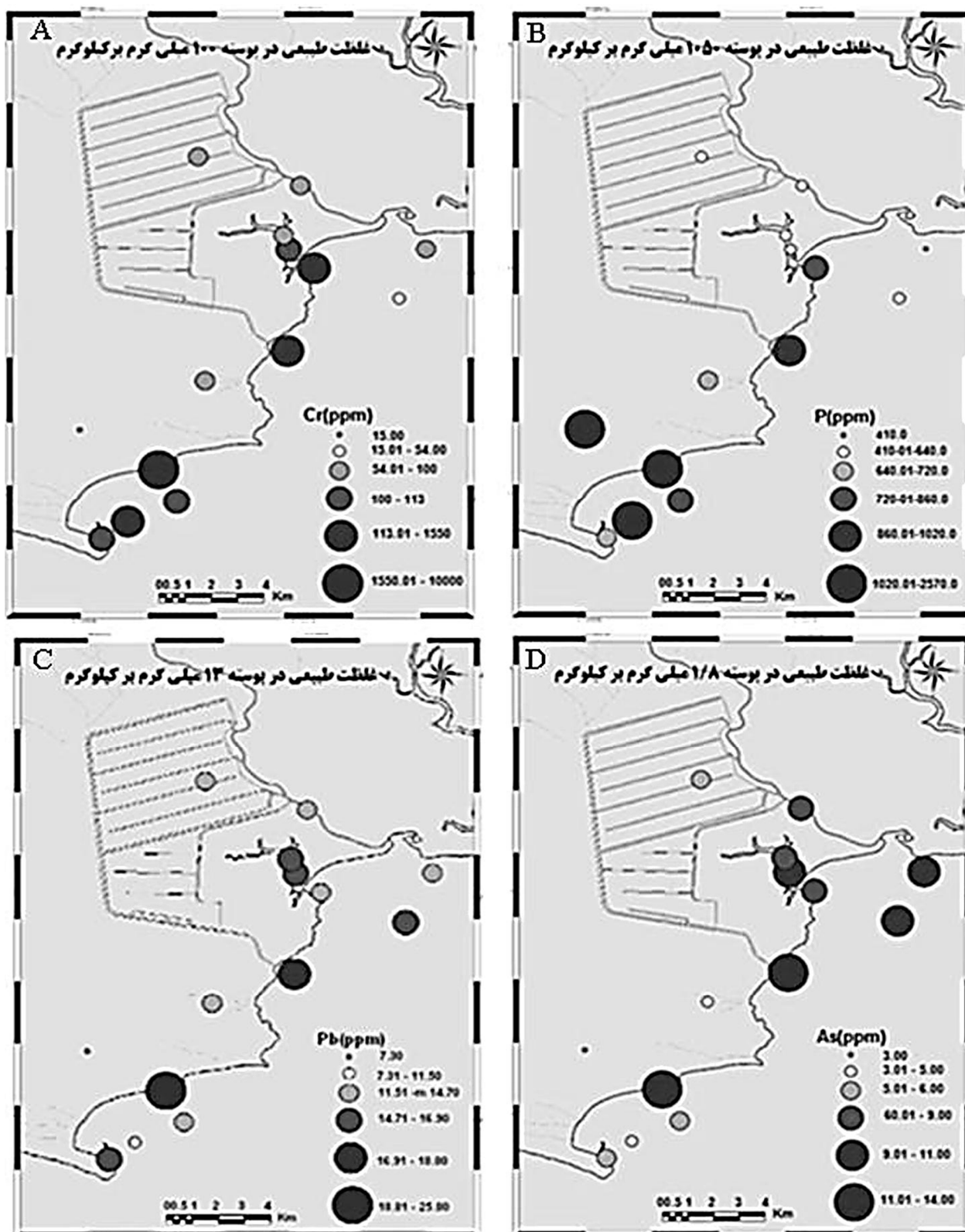
^۱ Shell

رخمون‌ها، لایه‌های کانی ژئیس به‌خوبی قابل مشاهده است. در محیط‌های ژئوشیمیایی مختلف، عناصر جزئی بر اساس قوانین توزیع عناصر، اکثراً جایگزین عناصر اصلی می‌شوند که دارای خواص ژئوشیمیایی مشابه با آنها باشند (مر و مدبری، ۱۳۸۰). در میان این عناصر، لیتیم، باریوم و روبیدیم دارای خواص ژئوشیمیایی یکسان با پتاسیم بوده و اکثراً در کانی‌های رسی جایگزین می‌شوند (Eby, 2005). بنابراین مانند پتاسیم در رسوبات ریزدانه پسابندر و همچنین رسوبات بستر جنگل حرا و به میزان کمتر در بستر رودخانه باهوکلان غنی‌شدگی بیشتری نشان می‌دهند. همچنین، غلظت باریوم، روبیدیم، تیتانیوم و منگنز در اکثر موارد به دلیل کمبود کانی‌های فلدسپار و رس در رسوبات منطقه مورد مطالعه نسبت به میانگین پوسته به‌مراتب کمتر است (Che et al., 2003). عنصر استرانسیم از نظر خواص ژئوشیمیایی کاملاً شبیه کلسیم است (مر و مدبری، ۱۳۸۰). تغییرات غلظت این عنصر در محدوده مورد مطالعه کاملاً از روند تغییرات کلسیم پیروی می‌کند. شباهت تغییرات غلظت عناصر منگنز و تیتانیوم با آهن نیز کاملاً مشهود است. فسفر یک عنصر غذایی است که در محیط‌های ساحلی و دور از فعالیت‌های انسانی غلظت آن بیشتر است.

(۲ برابر عیار طبیعی در پوسته) گواه این مطلب است. میزان آلومینیوم زیاد موجود در رسوبات مارنی، رسوبات بستر جنگل حرا و رسوبات رودخانه باهوکلان حاکی از میزان نسبتاً زیاد رس در این رسوبات است. تغییرات غلظت آهن، پتاسیم و منیزیم نیز تا حد زیادی مانند آلومینیوم است. میزان تغییرات غلظت این عناصر به‌ترتیب ۷/۶۸-۰/۹۱، ۲/۳۹-۰/۳۴ و ۲/۵۲-۰/۶۴ درصد است. غلظت آنها در اکثر نمونه‌ها، نسبت به پوسته کاهیدگی نشان می‌دهد و از سوی دیگر فراوانی بیشتر این عناصر در رسوبات دانه ریزتر، حاکی از همراهی آنها با کانی‌های رسی است. دامنه‌ی تغییرات غلظت عنصر سدیم چندان زیاد نیست (۲/۵۴-۰/۳۴ درصد). به‌دلیل آنکه رسوبات قبل از ارسال به آزمایشگاه توسط آب مقطر دوبار تقطیر و آبشویی می‌شود و نمک موجود بر روی سطح رسوبات شسته شده، در نتیجه غلظت سدیم موجود در رسوبات مربوط به ژئوشیمی خود رسوبات است. در میان عناصر اصلی، گوگرد دارای بیشترین غنی‌شدگی نسبت به پوسته است. دلیل این امر وجود کانی ژئیس در نواحی ساحلی منطقه مورد مطالعه است. فراوانی مواد آلی در این رسوبات نیز دلیل دیگر این افزایش غلظت است. بیشترین مقدار گوگرد متعلق به سازندهای مارنی سواحل منطقه است. در این

جدول ۱: نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه در خلیج گواتر

عناصر	نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
آلومینیم (%)	۴/۰۹	۳/۵۴	۷/۴۶	۳/۹۹	۷/۱۸	۱/۱۷	۲/۹۵	۷	۶/۶۲	۶/۶۲	۶/۱۸	۳/۹۴	۶/۶۲	
آهن ppm	۲/۴۴	۳/۴۵	۴/۹۵	۳/۰۶	۴/۳۵	-/۹۱	۷/۶۸	۴/۱۲	۴/۳۵	۴/۳۵	۳/۸۴	۲/۲۲	۴	
منگنز (%)	۶-۸	۸۳۸	۶۱۱	۸۲۸	۵۶۵	۲۸۳	۱۵۴۰	۵۷۳	۴۵۴	۴۵۴	۶۶۹	۵۸۳	۶۱۶	
منیزیم (%)	۱/۳۳	۱/۱۱	۲/۵۲	۱/۱۹	۱/۲۱	-/۶۴	۱/۰۷	۲/۳۴	۲/۲۷	۲/۲۷	۱/۹	۲/۴۳	۲/۱۸	
کلسیم (%)	۶/۱۱	۷/۳۵	۳/۹۹	۷/۳۵	۴/۱۲	۱۵	۵/۷۵	۳/۳۴	۳/۳۴	۳/۳۴	۵/۳	۳/۴۳	۴/۷۴	
سدیم (%)	۱/۳۴	۲/۵۴	۱/۹۹	۱/۵۳	۰/۹۹	-/۳۴	۲/۲	۱/۸۴	۲/۵۳	۱/۸۴	۱/۷۹	۲	۱/۹۳	
پتاسیم (%)	۱/۰۵	۰/۸۷	۲/۳۹	۱/۰۱	۲/۲۴	-/۳۴	۰/۴۶	۲/۱۹	۲/۲	۲/۲	۱/۶	۱/۷۹	۲/۰۳	
گوگرد ppm	-/۰۵	-/۰۸	-/۰۷	-/۰۳	-/۰۳	-/۱۵	-/۰۸	-/۲۷	-/۶۱	-/۲۷	-/۰۶	-/۱۲	-/۱۹	
فسفر ppm	۵۱۰	۱۰۲۰	۶۲۰	۸۶۰	۷۰۰	۱۷۳۰	۲۵۷۰	۶۳۰	۷۲۰	۶۳۰	۵۹۰	۶۴۰	۸۳۰	
تیتانیوم ppm	-/۲۲	-/۴۲	-/۳۸	-/۳۴	-/۳۶	-/۰۶	۱/۶۷	-/۳۲	-/۳۲	-/۳۲	-/۳۵	-/۳۲	-/۳۴	
کروم ppm	۱۰۰	۱۵۵۰	۹۲	۷۷۱	۹۶	۱۵	۱۰۰۰۰	۱۰۴	۹۴	۱۰۵	۹۴	۷۵۵	۱۱۳	
لیتیم ppm	۲۷	۲۴	۵۶	۲۷	۵۷	۹	۱۹	۵۳	۵۲	۵۲	۴۳	۲۶	۵۲	
آرسنیک ppm	۱۱	۱۴	۹	۹	۵	۳	۱۴	۱۰	۸	۶	۸	۵	۶	
روبییدیم ppm	۵۴/۸	۴۲/۷	۱۲/۷	۴۸	۱۲۳	۱۵/۹	۲۰/۷	۱۲۰	۷۳/۶	۱۱۴	۹۰/۵	۴۴/۲	۱۰۵	
استرانسیم ppm	۲۵۱	۲۹۱	۱۵۱	۲۶۸	۱۵۷	۲۳۸۰	۲۴۱	۱۲۸	۱۵۴	۱۲۸	۱۹۳	۲۳۰	۱۶۹	
باریم ppm	۱۸۵	۲۵۲	۲۱۵	۱۷۲	۲۰۱	۱۰۹	۱۱۲	۱۸۹	۱۷۰	۱۹۱	۱۸۲	۱۴۲	۱۸۷	
روی ppm	۴۱	۶۰	۷۶	۵۰	۸۳	۱۳	۱۷۴	۸۲	۵۸	۱۵۱	۶۹	۵۵	۷۴	
قلع ppm	۱/۹	۲/۶	۲/۶	۲/۱	۲/۷	-/۷	۲/۳	۲/۱	۱/۳	۳	۱/۳	۱/۷	۲	
سرب ppm	۱۳/۹	۱۸/۸	۱۶/۵	۱۴	۱۴/۷	۷/۳	۲۵/۸	۱۶/۹	۱۶	۱۶/۹	۱۲/۸	۱۳/۵	۱۳/۶	
نیکل ppm	۵۰/۶	۶۶/۴	۹۷/۸	۶۳	۱۴/۹	۱۰۹	۷۲/۲	۱۰۴	۷۹/۶	۱۰۱	۲۷/۶	۴۹/۱	۹۲	
مس ppm	۱۹/۶	۴۶/۴	۳۹/۴	۱۹/۶	۲۵/۷	۶/۲	۱۹/۴	۳۲	۲۷/۵	۱۰۱	۲۷/۵	۱۵/۶	۲۵/۸	
آنتیمون ppm	-/۳۷	-/۵۵	-/۴۳	-/۴۴	-/۴۴	-/۲۱	-/۹۷	-/۴۹	-/۴۳	-/۴۱	-/۴۳	-/۴۴	-/۳۸	
بیسموت ppm	-/۱۸	-/۱۸	-/۳۲	-/۱۷	-/۳۳	-/۱۱	-/۲۶	-/۲۶	-/۲۲	-/۲۳	-/۲۲	-/۱۴	-/۲۴	
مولیبدن ppm	-/۵۹	۲/۲۳	-/۴	۱/۵۶	-/۳	-/۲۶	۲	-/۶۱	۱/۵۹	-/۳۱	-/۴۲	-/۶۳	-/۴	
کیالت ppm	۱۴/۲	۲۰/۵	۲۵/۷	۱۷/۳	۲۳/۱	۴/۹	۵۳/۲	۲۲/۸	۱۷/۸	۲۰	۲۰/۷	۱۴/۹	۲۰/۵	
کادمیوم (%)	-/۱۲	-/۱۵	-/۱۱	-/۱۳	-/۱۵	-/۱۲	-/۱۱	-/۳۳	-/۰۹	-/۳۳	-/۰۹	-/۰۸	-/۱۳	



شکل ۳: نقشه‌های ژئوشیمیایی عناصر کروم (A)، فسفر (B)، سرب (C) و آرسنیک (D) در منطقه مورد مطالعه A و B: کروم و فسفر بیشترین فراوانی را در رسوبات مربوط به اسکله صیادی پسابندر دارند. C و D: سرب و آرسنیک علاوه بر رسوبات اسکله صیادی پسابندر، در رسوبات ساحل و بستر خلیج گواتر نیز حضور دارند.

انتقال ذرات ریز فلزی ساحل توسط امواج غالب منطقه است، منشاء این ذرات فلزی ریختن روغن قایق‌ها و لنج‌های این بندر در آب دریا است.

۳-۳-۳. همبستگی عناصر

نمودارهای همبستگی بین فلزات سنگین حاکی از همبستگی نسبتاً زیاد بین عناصر در محدوده مورد مطالعه است. این مطلب می‌تواند به دلیل منبع مشترک آلودگی این عناصر و یا خواص ژئوشیمیایی یکسان آنها باشد. به طور مثال روند افزایش غلظت عناصر کالکوفیل تقریباً مشابه است. همچنین آهن و منگنز کاملاً به طور یکنواخت افزایش حاصل می‌کنند و ضریب همبستگی آنها حدود ۰/۷ است (جدول ۲).

دلیل افزایش یکنواخت آهن و منگنز با دیگر فلزات سنگین، جذب این عناصر در هیدروکسیدهای این دو عنصر است. عنصر آهن با بسیاری از عناصر دیگر همبستگی زیادی نشان می‌دهد. این عناصر شامل آرسنیک، کبالت، مس، آنتیموان، روی، بیسموت، قلع، مولیبدن، منگنز و سرب هستند. این حالت نشان‌دهنده جذب این عناصر توسط کلوئیدهای هیدروکسید آهن است. همبستگی زیاد کروم، منگنز، آهن و منیزیم همچنین می‌تواند ناشی از ورود این عناصر از طریق هوازدگی واحدهای افیولیتی و آمیزه‌های رنگین در مسیر رودخانه باهوکلالت باشد (شکل ۱). باید یادآور شد که دلیل دیگر این همبستگی می‌تواند منبع مشترک آلودگی برخی از این عناصر با آهن (مانند قلع، مس و روی) و یا داشتن خصوصیات ژئوشیمیایی یکسان با آهن (مانند کبالت و منگنز) باشد. این حالت در مورد عنصر منگنز نیز صادق است؛ به این معنا که همبستگی بین منگنز و عناصر سنگین نسبتاً بالاست. میزان عنصر آلومینیوم در رسوبات نشانه‌ای از میزان همبستگی عناصر با آلومینیوم به عنوان نشانه‌ای از همبستگی این عناصر با میزان کانی‌های رسی استفاده نمود. همبستگی بین آلومینیوم و قلع، بیسموت و روی نسبتاً بالاست که حاکی از جذب این عناصر توسط کانی‌های رسی است. نکته مهم دیگر، همبستگی زیاد مس، نیکل، روی و تا حدودی سرب با میزان رس موجود در نمونه‌ها است. همبستگی بالای رس با آهن و بخصوص منیزیم ($r=0.91$) به دلیل حضور این عناصر در ساختمان کانی‌های رسی است. میزان کانی‌های رسی به عنوان ذراتی با کارایی بالا در جذب عناصر سمی بسیار مهم است

کمترین میزان این عنصر مربوط به محیط‌های غیر دریایی مانند رودخانه باهوکلالت، مارن‌های ساحلی و رسوبات ماسه بادی است (شکل ۳، B). نقشه‌های ژئوشیمیایی عناصر فرعی نیز بیانگر افزایش غلظت عناصر لیتیم و روبیدیم در اسکله صیادی پسابندر است که دارای میزان زیاد کانی‌های رسی هستند. میزان منگنز و تیتانیوم در منطقه ناچیز است و فقط در نمونه‌ی حد بین جزر و مدی در نزدیکی اسکله‌ی پسابندر غنی‌شدگی نشان می‌دهند که مربوط به آلودگی‌های انسانی است. دلیل این ناهنجاری انتقال ذرات ریز فلزی به ساحل توسط امواج غالب منطقه است، منشاء این ذرات فلزی ریختن روغن قایق و لنج‌های این بندر در آب دریا است.

۳-۳-۲. ژئوشیمی عناصر سنگین

در جدول ۱ غلظت عناصر سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه آمده است. با توجه به جدول می‌توان گفت غلظت اکثر عناصر سنگین مورد مطالعه در مناطق ساحلی طبیعی، و در حد میانگین غلظت آنها در پوسته و یا کمتر از آن است (بجز کروم، آرسنیک و آنتیموان). کروم دارای وزن مخصوص زیادی است، بنابراین اکثراً در نواحی ساحلی غلظت آن افزایش می‌یابد. به همین دلیل غلظت آن در رسوبات ساحلی درشت‌دانه زیاد است و در رسوبات گلی (مانند بستر جنگل حرا و مارن) کاهش غلظت نشان می‌دهد (شکل ۳، A). به طور کلی میزان غلظت زمینه عنصر آرسنیک در منطقه زیاد است که علت این امر انحلال‌پذیری زیاد این عنصر در آب دریا به نسبت دیگر عناصر سمی و تمایل به غنی‌شدگی این عنصر در کانی‌های تبخیری درجازاد است (شکل ۳، D). با توجه به نقشه‌های ژئوشیمیایی میزان غلظت عناصر سمی در اکثر نمونه‌های اسکله پسابندر و ساحل جزر و مدی شرقی آن بیش از عیار آنها در محیط‌های طبیعی است. غلظت عناصری مانند کادمیوم، کبالت، سرب، قلع، آنتیموان، کروم، مس، نیکل، روی و آرسنیک در پسابندر افزایش غلظت نشان می‌دهد. این تغییرات ناشی از دانه ریزتر بودن رسوبات بستر اسکله پسابندر و همچنین بیشتر بودن میزان آلاینده‌های ورودی به اسکله فوق به دلیل تعداد بیشتر قایق‌های صیادی و لنج‌ها است. در نمونه شماره ۷ که از رسوبات ماسه‌ای ساحل پسابندر برداشت شده است، غلظت عناصر آهن، منگنز، سرب، روی و کروم به ترتیب ۳/۱۵، ۲/۵۳، ۱/۳۵، ۴/۲۴ و بیش از ۱۰۰ برابر عیار طبیعی آنها در محدوده مورد مطالعه است. دلیل این ناهنجاری

مورد مطالعه بیش از ۳/۵ برابر بیشینه کروم در این بندر آلوده است.

با توجه به مطالعات انجام شده، نتایج کلی این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱) رسوبات ساحلی خلیج گواتر از نظر دانه‌بندی در حد ماسه بوده، در حالی که رسوبات موجود در بستر خلیج بسیار دانه‌ریزتر هستند. در نمونه‌های برداشته شده از سواحل طبیعی، با دور شدن از ساحل و نزدیک شدن به نقاط عمیق-تر، رسوبات ریزدانه‌تر می‌شوند.

۲) به دلیل تنوع کم سنگ‌شناسی نواحی ساحلی منطقه مورد مطالعه (مارن، کنگلومرا و ماسه‌سنگ آهکی)، تنوع کانی‌های موجود در سواحل منطقه نیز بسیار کم است و به ترتیب فراوانی شامل کلسیت، کوارتز، فلدسپار، کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن است.

۳) در بررسی‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی مشخص گردید که میزان این عناصر در محدوده مورد مطالعه قابل مقایسه با عیار طبیعی در پوسته است. میزان همبستگی آلومینیوم (به‌عنوان نشانه‌ای از حضور کانی‌های رسی) و کلسیم در منطقه منفی است. از میان عناصر اصلی، میزان گوگرد نسبت به میانگین پوسته غنی‌شدگی نشان می‌دهد که به دلیل حضور کانی‌های سولفات کلسیم در نمونه‌ها است. افزایش غلظت عناصر لیتیم، باریوم و روبیدیم در اسکله‌ی صیادی پسابندر به دلیل جانشین شدن این عناصر به جای عنصر پتاسیم در کانی‌های رسی است.

۴) غلظت اکثر فلزات جزئی سمی مورد مطالعه در مناطق ساحلی طبیعی در حد میانگین غلظت آنها در پوسته و یا کمتر از آن است (به‌جز کروم و آرسنیک). عنصر کروم به دلیل آنکه دارای وزن مخصوص زیادی است، اکثراً در نواحی ساحلی غلظت آن افزایش می‌یابد. به همین دلیل، غلظت آن در رسوبات ساحلی درشت‌دانه زیاد است و در رسوبات گلی (بستر جنگل حرا و مارن) کاهش غلظت نشان می‌دهد. به‌طور کلی، میزان غلظت زمینه عنصر آرسنیک در منطقه زیاد است که علت این امر، انحلال-پذیری زیاد این عنصر در آب دریا نسبت به دیگر عناصر سمی و تمایل به غنی‌شدگی این عنصر در کانی‌های تبخیری درج‌زاد است.

(Ibhadon et al., 2004). همبستگی منفی بین کلسیم و دیگر عناصر حاکی از عدم تمایل (بجز تعداد محدودی از عناصر فرعی که دارای خواص ژئوشیمیایی مشابه با آن هستند) به جانشینی سازنده‌های دارای کلسیم است. در میان فلزات سنگین مورد مطالعه، کادمیوم به دلیل غلظت پایین و عدم ورود از طریق آلودگی، ارتباط معنی‌داری با هیچ کدام از عناصر دیگر ندارد. در این میان بیشترین میزان همبستگی بین روی و نیکل ($r=0/93$) و روی و مس ($r=0/80$) مشاهده می‌شود (جدول ۲). همبستگی بین کروم با مس، نیکل و سرب، یا مس با نیکل و سرب، و یا سرب و روی نیز قابل توجه است. از آنجا که کربن آلی یک سازای مهم کلویدهای دریایی است، رابطه‌ی بین فراوانی فلزات و کربن آلی، جالب است. اگر فلزات به لیگاندهای آلی متصل شده باشند، انتظار می‌رود که بین غلظت فلز و کربن آلی همبستگی وجود داشته باشد (Eby, 2005). داده‌های جدول ۲ نشانگر همبستگی زیاد سرب با کربن آلی موجود در رسوبات است ($r=0/6$). این همبستگی برای عناصر نیکل و تا حدودی مس با میزان کمتر دیده می‌شود. به دلیل آنکه بسیاری از عناصر سنگین مورد مطالعه از لحاظ ژئوشیمیایی جزء عناصر کالکوفیل طبقه‌بندی می‌شوند، میزان همبستگی این عناصر با گوگرد نیز بررسی گردید. داده‌ها نشان می‌دهد که همبستگی این عناصر با گوگرد چندان بالا نیست. این امر نشان می‌دهد که منشاء گوگرد در رسوبات، اغلب طبیعی بوده، حال آنکه منشا این عناصر اکثراً آلودگی‌های انسان زاد است.

در جدول ۳ میزان تغییرات غلظت برخی عناصر انتخابی در محدوده مورد مطالعه با تحقیقات مشابه در سایر کشورها مقایسه شده است. با توجه به جدول، میزان غلظت آلومینیوم و آرسنیک در منطقه مورد مطالعه با سایر نقاط دنیا در یک محدوده‌ی تقریبی برابر قرار دارد.

میزان غلظت کادمیوم نسبت به بسیاری از بنادر دیگر غلظت کمتری دارد، آلودگی مس، روی، قلع و نیکل نیز با آلوده‌ترین بنادر دنیا برابری می‌کند. اگرچه میزان سرب در بنادر رمین و پسابندر چندان زیاد نیست، اما آلودگی این عنصر در بندر بریس حدود ۷ برابر بندر بوستون در ایالات متحده است. مقدار کروم نسبت به دیگر نقاط ناهنجاری چشمگیری را نشان می‌دهد. برای مثال در قیاس با بندر اسکندریه مصر که آلوده-ترین بندر در این جدول است، مقدار بیشینه کروم در منطقه

جدول ۲: ضرایب همبستگی بین عناصر، کانی‌های رسی و کربن آلی مورد مطالعه

روى	سرب	فسفر	نیکل	منگنز	منیزیم	آهن	مس	کروم	کادمیوم	مواد آلی	رس
رس											۱
مواد آلی										۱	-۰.۲
کادمیوم									۱	-۰.۱	-۰.۱
کروم								۱	-۰.۱	-۰.۱	-۰.۴۴
مس							۱	-۰.۵۵	-۰.۵	-۰.۳	-۰.۶۶
آهن						۱	-۰.۹	-۰.۹۳	-۰.۱	-۰.۱	-۰.۵۱
منیزیم					۱	-۰.۷۸	-۰.۸۶	-۰.۵۸	-۰.۸	-۰.۱۷	-۰.۹۱
منگنز				۱	-۰.۵۲	-۰.۵۷	-۰.۶۱	-۰.۹۱	-۰.۲	-۰.۱۳	-۰.۴۷
نیکل			۱	-۰.۵	-۰.۸۲	-۰.۹	-۰.۷۷	-۰.۶۵	-۰.۱۱	-۰.۴۳	-۰.۸۹
فسفر		۱	-۰.۲۳	-۰.۸۹	-۰.۴	-۰.۴۸	-۰.۲	-۰.۱۱	-۰.۲	-۰.۱	-۰.۲۸
سرب	۱	-۰.۸	-۰.۴۳	-۰.۷۷	-۰.۲۳	-۰.۸۶	-۰.۷۵	-۰.۶۵	-۰.۲	-۰.۶	-۰.۳۷
روى	-۰.۷۸	-۰.۵۸	-۰.۹۳	-۰.۸۵	-۰.۷۳	-۰.۹۱	-۰.۸	-۰.۳۹	-۰.۱	-۰.۴	-۰.۵۳

جدول ۳: مقایسه غلظت برخی از عناصر مورد بررسی در خلیج گواتر با بعضی از بنادر ایران و سایر کشورها

نام کشور	نام بندر	آلومینیوم (ppm)	آرسنیک (ppm)	کادمیوم (ppm)	نیکل (ppm)	سرب (ppm)	قلع (ppm)	منبع
ایران	خلیج گواتر	۱۱۷۰۰-۷۴۶۰۰	۳-۱۴	۰.۸-۰.۲۳	۱۷/۹-۱۰.۹	۷/۳-۱۵/۰.۸	۰.۷-۳	مطالعه حاضر
ایران	بریس	۲۲۸۰۰-۶۶۵۰۰	۵-۱۲	۰.۱-۰.۱۶	۳/۶-۹۴/۹	۱۱/۷-۱۷۸۰	۰.۹-۵۲۴	حمزه و همکاران، ۱۳۸۹
ایران	رمین	۳۰۶۰۰-۷۰۲۰۰	۴-۱۰	۰.۴-۱/۵	۳۹/۱-۸۵/۲	۱۲/۶-۴۲/۳	۰.۹-۷/۸	حمزه و همکاران، ۱۳۸۹
مصر	Alexandria	۹۸۷۳-۵۹۲۰۴	-	-	۱۳-۵۳	۳۸-۱۰۷۰	-	Mostafa et al., 2004
اسپانیا	Pasajes	-	-	-	۱۷-۹۹	۴۵-۳۴۶	-	Legorburu et al., 1991
گوام	Atpa	-	-	-	۲۲/۶-۵۱/۲	۱۴۲-۳۹۵	۳۱-۱۴۳	Belt, 1994
ایرلند	Cork	-	-	-	۱۱-۳۳	۱۴-۲۳	-	Berrow, 1991
انگلستان	Portsmouth	-	-	-	۰.۵-۳/۲	۴۹-۱۱۴	-	Soulsby et al., 1987
ایالات متحده	Boston	۴۷۳۰۰-۸۲۰۰۰	-	-	۸-۹۱	۱۸-۲۶۲	-	Mostafa et al., 2004
فیجی	Suva	-	-	-	۱۷-۳۸	۱۹/۳-۳۷۲	-	Naidu et al., 1994
استرالیا	Kembla	-	-	-	-	۱۵۱-۴۸۴	-	He et al., 2001

منفی کلسیم با عناصر جزئی (به دلیل عدم تمایل عناصر جزئی به حضور در کانی‌های کربنات کلسیم) از این نمودارها استنباط می‌شود.

۸) زیست‌بوم جنگل حرا به دلیل حضور رسوبات دانه ریز در بستر، وفور مواد آلی و وجود محیط احیایی، محل بالقوه ته‌نشست و افزایش غلظت عناصر آلاینده است که می‌توانند تهدیدی جدی جهت جانداران متنوع موجود در این زیست‌بوم‌ها باشند.

۴. سپاسگزاری

این پژوهش با پشتیبانی و حمایت پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی و دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان انجام شده است. بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی نویسندگان از مسوولین محترم پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی به واسطه در اختیار گذاشتن بسیاری از وسایل و امکانات ابراز می‌گردد. همچنین از مدیریت محترم گروه و کارشناسان آزمایشگاه بخش زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان به خاطر فراهم آوردن امکانات جهت مطالعات

۵) نقشه‌های ژئوشیمیایی نشان‌دهنده افزایش غلظت عناصری مانند بیسموت، کبالت، کروم، نیوبیوم، تالیم، نیکل، تنگستن، تیتانیوم، سرب، آنتیمون و قلع در اسکله پسابندر است. این امر به دلیل دانه‌ریز بودن رسوبات بستر اسکله‌ی پسابندر و همچنین بیشتر بودن میزان آلاینده‌های ورودی به اسکله‌ی فوق به دلیل تعدد قایق‌های صیادی و لنج‌ها است.

۶) آلوده‌ترین نمونه مربوط به نمونه شماره ۷ نزدیک اسکله صیادی پسابندر است که تنها غلظت کروم، در این نمونه ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شده که حاکی از افزایش ۱۰۰ برابری نسبت به عیار میانگین پوسته زمین است. این نمونه از نزدیک محل توفق لنج‌های صیادی در اسکله پسابندر برداشته شده است.

۷) نمودارهای همبستگی نشان می‌دهد عناصری که خواص ژئوشیمیایی یکسان یا منبع آلودگی مشترکی دارند (مانند عناصر کالکوفیل سمی)، همبستگی بسیار زیادی بین‌شان وجود دارد. همچنین همبستگی زیاد آلومینیوم با اغلب عناصر جزئی (به دلیل جذب این عناصر توسط کانی‌های رسی)، همبستگی نسبتاً زیاد آهن با عناصر جزئی (به دلیل جذب این عناصر توسط هیدروکسیدهای آهن) و همبستگی

- Che, Y.; He, Q.; Lin, W.Q., 2003. The distributions of particulate heavy metals and its indication to the transfer of sediments in the Changjiang estuary and Hangzhou Bay. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 123-131.
- Defew, L.H.; Mair, J.M.; 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.
- Eby, G.N., 2005. Principles of environmental geochemistry, Thomson, Ellis, S., Mellor, A., New York.
- Farhoudi, G.; Craig, D.E., 1977. Makran of Iran and Pakistan as an active arc system. *Geology*, 5(11): 664-668.
- Folk, R.L., 1974. Petrology of sedimentary Rock: Hemphill publishing Co., Austin, Texas 182 p.
- He, Z.; Morrison, R.J., 2001. Changes in the marine environment of Port Kembla harbor, NSW, Australia, 1975-1995: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 42: 193-201.
- Herve, R.P.; Andriamalala, R.; Yves, M.; Marcellin, R.; Christine, R.; Andriamandimboisa, N., 2010. Assessment of heavy metals concentrations in coastal sediments in north-western cities of Madagascar, *Environmental Science and Technology*, 4(2): 51-60.
- Ibhadon, A.O.; Wright, P.; Daniels, R., 2004. Trace metal speciation and contamination in an intertidal estuary. *Environmental Monitoring*, 6: 679-683.
- Jacob, K.H.; Quittmeyer, R.C., 1979. The makran region of Pakistan and Iran trench-arc system with active plate subduction. *Geodynamics of Pakistan*, 3: 305-318.
- Legorburu, I.; Canton, L., 1991. Heavy metal concentration in sediments from Pasajes Harbour (Spain). *Marine Pollution Bulletin*, 22: 207-209.
- Man, K.W.; Zheng, J.; Leung, A.P.K.; Lam, P.K.S.; Lam, M.H.W.; Yen, Y.F., 2004. Distribution and behavior of trace metals in the sediment and pore water of a میکروسکوپی و آزمایشگاهی کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.
- منابع**
- حمزه، م.ع.؛ بومری، م.؛ رضایی، ح.؛ بسکله، غ. ل.، ۱۳۹۰. ژئوشیمی زیست محیطی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی خلیج گواتر، منتهی الیه جنوب شرقی ایران. اقیانوس‌شناسی، ۲ (۸): ۱۱-۲۰.
- حمزه، م.ع.؛ بسکله، غ. ل.، ۱۳۸۹. بررسی آلودگی فلزات سنگین در بنادر صیادی رمین و بریس در سواحل دریای عمان، جنوب شرقی ایران. هشتمین همایش بین‌المللی دو سالانه انجمن متخصصان محیط زیست. ۴ و ۵ اسفند ماه ۱۳۸۹.
- مر، ف.؛ مدبری، س.، ۱۳۸۰. مبانی زمین‌شیمی. مرکز نشر دانشگاهی، ۷۸۸ صفحه.
- Ahdy, H.H.; Khaled, A., 2009. Heavy Metals Contamination in Sediments of the Western Part of Egyptian Mediterranean Sea. *Basic and Applied Sciences*, 3(4): 3330-3336.
- Ali Beg, M.A., 1995. Ecological imbalances in the coastal areas of Pakistan and Karachi harbor. *Marine Sciences*, 4: 159-174.
- Belt, C.H., 1994. Environmental assessment for causeway to drydock AFDM-8, ship repair facility, Apra harbor, Guam (Review copy). Prepared for pasific division, naval facilities engineering command pearl harbor, Hawaii.
- Berrow, S.D., 1991. Heavy metals in sediments and shellfish from Cork harbor, Ireland. *Marine Pollution Bulletin*, 22: 467-469.
- 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.
- Caplat, C.; Texier, H.; Barillier, D.; Lelievre, C., 2005. Heavy metals mobility in harbor contaminated sediments: The case of Port-en-Bessin. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 504-511.

- bay-Dar es Salaam harbour area, *Marine sciences*, 6: 73–83.
- Naidu, S.; Morrison, R.J., 1994. Contamination of Suva harbor, Fiji. *Marine Pollution Bulletin*, 29: 126–130.
- Sarkar, S.K.; Bilinski, S.F.; Bhattacharya, A.; Saha, M.; Bilinski, H., 2004. Levels of elements in the surficial estuarine sediments of the Hugli River, northeast India and their environmental implications. *Environment International*, 30: 1089–1098.
- Shajan, K.P., 2001. Geochemistry of bottom sediments from a river-estuary-shelf mixing zone on the tropical southwest coast of India. *Geological Survey of Japan*, 52: 371–382.
- Soulsby, P.G.; Lowthion, D.; Houston, M., 1978. Observation on the effects of sewage discharged into a tidal harbor. *Marine Pollution Bulletin*, 9: 242–246.
- tropical coastal wetland. *Science of the Total Environment*, 327: 295–314.
- Mcall, G.J.H., 1997. The geotectonic history of the Makran and adjacent areas of southern Iran. *Earth Sciences*, 15: 517–531.
- Mc Cready, S.; Birch, G.F.; Long, E.R., 2006. Metallic and organic contaminants in sediments of Sydney Harbour, Australia and vicinity – A chemical dataset for evaluating sediment quality guidelines. *Environment International*, 32: 455–465.
- Mostafa, A.R.; Barakat, A.O.; Wade, T.L.; Qian, Y.; Yuan, D.X., 2004. An overview of metal pollution in the western Harbor of Alexandria Egypt, *Soil and sediment contamination*, 13: 229–311.
- Muzuka, A.N.N., 2007. Distribution of heavy metals in the coastal marine surficial sediments in the Msasani