

ژئوشیمی زیست محیطی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی خلیج گواتر، منتهی الیه جنوب شرقی ایران

محمد علی حمزه^{۱*}، محمد بومری^۲، حمید رضایی^۳، غلام رسول بسکله^۴

۱- بخش علوم غیر زیستی، مرکز اقیانوس شناسی چابهار، مؤسسه ملی اقیانوس شناسی ایران، استان سیستان و بلوچستان، چابهار، پست الکترونیکی: hamzeh@inio.ac.ir

۲- عضو هیات علمی بخش زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، استان سیستان و بلوچستان، چابهار، پست الکترونیکی: boomeri@hamoon.usb.ac.ir

۳- مرکز اقیانوس شناسی چابهار، مؤسسه ملی اقیانوس شناسی، استان سیستان و بلوچستان، چابهار، پست الکترونیکی: h.rezaei@inio.ac.ir

۴- مرکز اقیانوس شناسی چابهار، مؤسسه ملی اقیانوس شناسی، استان سیستان و بلوچستان، چابهار، پست الکترونیکی: baskaleh@inio.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۷

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۱۹/۶/۳۰

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس شناسی ۱۳۹۰، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس شناسی است.

چکیده

در این تحقیق، رسوبات ساحلی خلیج گواتر جهت تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین به وسیلهی فرایندهای طبیعی و یا فعالیت های انسانی مورد بررسی قرار گرفتند. برای این کار، نمونه برداری از ۱۴ ایستگاه در تابستان ۱۳۸۸ انجام شد و به وسیلهی طیف سنج جرمی پلاسمای جفت شده القایی غلظت عناصر آهن، منیزیم، منگنز، سرب، روی، مس، کروم، کادمیوم و نیکل در نمونه ها اندازه گیری و با عیارهای استاندارد زیست محیطی مقایسه شد. به علاوه، رسوبات به روش تر و دستگاه دانه بندی لیزری دانه بندی گردیدند و درصد مواد آلی آنها نیز تعیین شد. مطالعهی نقشه های هنجار سازی ژئوشیمیایی نشان داد که بیشترین غلظت فلزات سنگین مرتبط با 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. دلیل این آلودگی، تعمیر و نگهداری شناورهای صیادی و همچنین ورود فاضلاب های انسانی به داخل محیط نیمه بسته اسکله پسابندر است. زیست بوم جنگل حرا که در اطراف خور گواتر وجود دارد نیز به دلیل خصوصیات رسوب شناسی بستر و میزان زیاد مواد آلی، محل تجمع برخی فلزات سنگین در خلیج گواتر است. ضرایب همبستگی مبین نقش زیاد کلونیدهای آلی و غیر آلی شامل هیدروکسیدهای آهن و منگنز و کانی های رسی در تحرک و دسترسی زیستی فلزات سنگین در محدوده مورد مطالعه است. همبستگی زیاد عناصر کروم، منیزیم، نیکل و آهن نشان داد که یکی از منابع این عناصر در محدوده مورد مطالعه، انحلال سازندهای افیولیتی توسط رودخانه باهوکلالت و انتقال این عناصر به خلیج گواتر است. در این بررسی همچنین مشخص گردید که محل پرورش میگو نقش چندانی در آلودگی منطقه توسط فلزات سنگین ندارد.

کلمات کلیدی: خلیج گواتر، فلزات سنگین، آلودگی، نقشه ی ژئوشیمیایی

تعیین نقش آلودگی های انسانی در منطقه است.

۲. مواد و روش ها

۲-۱. ویژگی های عمومی و زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

محدوده خلیج گواتر بین عرض جغرافیائی $21^{\circ} / 20' - 21^{\circ} / 00'$ شمالی و طول $61^{\circ} / 40' - 61^{\circ} / 20'$ شرقی، در منتهی الیه جنوب شرقی ایران در مجاورت دریای عمان واقع شده است. بخش غربی خلیج گواتر به کشور ایران و نیمه شرقی آن به پاکستان تعلق دارد. وسعت خلیج حدود 350 کیلومتر مربع، عمق متوسط آن 8 متر و حد اکثر در دهانه 12 متر است. عرض دهانه (از بندر حیوانی در پاکستان تا پسابندر) حدود 31 کیلومتر است. اکثر رسوبات خلیج از نوع آواری اند که حاصل فرسایش تشکیلات زمین شناسی اطراف خلیج و رسوبات حمل شده توسط رودخانه باهوکلان است.

رژیم بارندگی در منطقه کاملاً مستقل از سایر نقاط ایران است. این منطقه دارای تابستان های گرم و طولانی و زمستان های کوتاه و معتدل است. دمای متوسط سالیانه حدود 27 درجه سانتیگراد است. جهت بادهای تابستان به دلیل وزش بادهای موسمی بیشتر از سمت جنوب شرقی است و موجب موج شدن دریا در این فصل می گردد (گلشنی و همکاران، ۱۳۸۷). گاهی پیشروی مراکز کم فشار و جبهه استوایی از اقیانوس هند به دریای عمان طوفان های شدیدی را در دریای عمان و ساحل آن ایجاد می کند. مقدار تبخیر سطحی بین 4 تا 7 میلی متر در روز است و نسبت به ماه های مختلف سال متفاوت است. حد متوسط رطوبت در زمستان بین 50 تا 70 و در بهار و تابستان بین 70 تا 78 درصد است (Reyss et al., 1998).

از دیدگاه زمین شناسی، خلیج گواتر بخشی از محدوده مکران ساحلی است. مکران ساحلی و ناحیه شمال آن یک لبه ی برافزایشی از رسوبات تغییر شکل یافته و دارای سنی از اواخر کرتاسه تا هولوسن است (علوی تهرانی، ۱۳۵۸) که در یک حاشیه ی فرورانش اقیانوسی به سمت بالا رانده شده اند (Farhoudi and Craig, 1977). دانشمندان میزان فرورانش کنونی را 4 تا 5 سانتیمتر در سال می دانند (Jacob and Quittmeyer, 1979). پادگانه های سواحل پسابندر تا خلیج گواتر شامل ماسه-سنگ تا کنگلومرا حاوی مقادیر زیادی پوسته های صدف هستند.

رسوبات ساحلی به عنوان نشانگرهای حساس جهت پایش آلودگی در مناطق ساحلی به کار می روند (Muzuka, 2007). این رسوبات محل تجمع انواع آلاینده های ورودی به سواحل هستند که از این میان، فلزات سنگین به دلیل اثرات زیانبار بر روی زیست بوم ها و ماندگاری بسیار زیاد از اهمیت زیادی برخوردارند (Berkowitz et al., 2008). فلزات سنگین از طریق رودخانه ها، هواویزه های جوی، فرسایش سواحل و در نهایت آلودگی های حاصل از فعالیت های انسانی وارد مناطق ساحلی می شوند (Merian et al., 2004). درون ستون آب، این فلزات توسط ته نشینی توسط فرایندهای زیست شناختی و یا جذب سطحی بر روی ذرات معلق رسوب می کنند. با در نظر گرفتن pH متوسط $8/13$ برای آب دریا، و به یاد داشتن این نکته که کانی های رسی، اکسی هیدروکسیدهای آهن و منگنز و مواد آلی در این pH دارای سطوح باردار منفی هستند (Sarkar, 2002)، ذرات، گونه های فلزات سنگین دارای بار مثبت را جذب می کنند و به همراه خود ته نشین می نمایند.

اهمیت مطالعه سواحل خلیج گواتر به دلیل حضور انواع گوناگونی از عوامل طبیعی و انسانی مؤثر در آلودگی و رفتارهای ژئوشیمیایی فلزات سنگین است که لزوم انجام مطالعات زیست محیطی را در آن نشان می دهد. زیست بوم های حرا توسط میزان بالای کربن آلی، وجود شرایط احیایی و درصد بالای رس در رسوبات بستر مشخص می شوند (MacFarlane and Burchett, 2002). این نواحی به خاطر وجود شرایط فوق، محل ته نشین و یا منبع فلزات سنگین در محیط های ساحلی محسوب می گردند (Harbison, 1986). رودخانه باهوکلان در این منطقه به عنوان مهمترین منبع طبیعی ورودی عناصر مطرح است و با عبور از سازندهای متنوع مکران، می تواند گستره وسیعی از عناصر را وارد محیط خلیج گواتر کند. به علاوه وجود اسکله مهم صیادی پسابندر و حوضچه های پرورش میگو در این ناحیه می تواند نقش زیادی در آلودگی انسانزاد این محیط ایفا کند.

اهداف تحقیق حاضر شامل: (۱) ارزیابی عیار طبیعی عناصر مورد مطالعه در رسوبات ناحیه ساحلی خلیج گواتر، و (۲) تهیه نقشه ژئوشیمیایی هنجارسازی فلزات سنگین (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) در رسوبات توسط سامانه های اطلاعات مکانی جهت

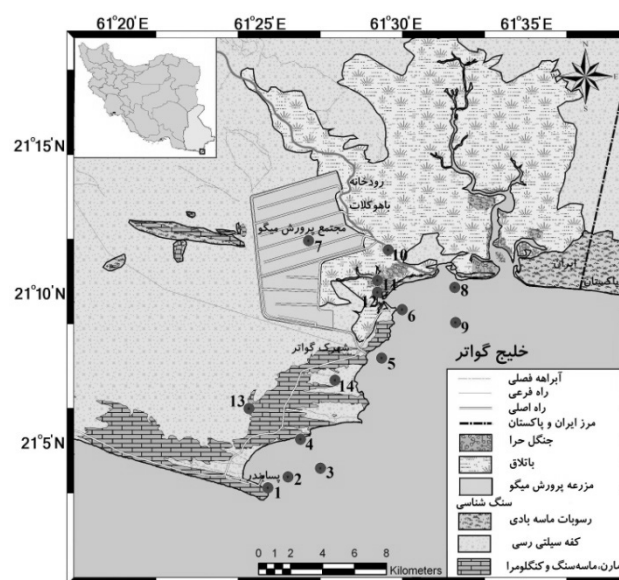
۲-۲. نمونه‌برداری

مطالعات میدانی و نمونه‌برداری در تابستان ۱۳۸۸ انجام گردید. جمعاً ۱۴ ایستگاه نمونه‌برداری در منطقه انتخاب گردید و سعی شد تا پراکندگی محل برداشت نمونه با توجه به منابع طبیعی و انسانی احتمالی فلزات و محیط‌های مهم ژئوشیمیایی باشد. بر این اساس، نمونه‌ها از محل پرورش میگو، بندر صیادی، مصب رودخانه باهوکلالت، بستر جنگل حرا در خور گوآتر و قسمت عمیق تر دریا و سازندهای مارنی و ماسه‌سنگی نوار ساحلی برداشته شد. به دلیل عدم وجود مطالعات قبلی، عیار طبیعی عناصر در رخنمون‌های سنگی و رسوبات نوار ساحلی در منطقه موجود نیست. به همین دلیل، در این بررسی، نمونه‌ی شماره هشت به‌عنوان نمونه طبیعی منطقه برداشت گردید. دلیل انتخاب محل برداشت این نمونه، دوری از مناطق آلاینده احتمالی بود. دو نمونه نیز رخنمون‌های ماسه‌سنگی و مارنی منطقه که دو رخنمون شاخص منطقه هستند، برداشته شد تا میزان ورود عناصر در اثر فرسایش نوار ساحلی به‌دست آید. نمونه‌برداری در ایستگاه‌های منطقه بین جزر و مدی ساحلی به‌صورت دستی توسط بیلچه پلاستیکی انجام شد و نمونه-برداری از رسوبات داخل دریا و حداکثر تا عمق ۵ متری آب، توسط گرب وان وین ۱ از داخل شناور تحقیقاتی مرکز اقیانوس‌شناسی چابهار با سطح مقطع ۲۵۰ سانتی متر با عمق برداشت رسوب تا ۱۰ سانتیمتر انجام شد. از هر ایستگاه، نمونه‌برداری سه نمونه برداشت گردید و نمونه‌ها کاملاً به‌صورت دستی با هم مخلوط گردید. شرایط محیطی آب در تماس با رسوب شامل شوری، دما و pH نیز توسط دستگاه شوری‌سنج و دماسنج مدل Cond315i و pH قابل حمل مدل pH330i قبلاً واسنجی (کالیبره) شده، سه مرتبه در هر ایستگاه اندازه‌گیری گردید و میانگین آن گزارش شد. نمونه‌های رسوب بلافاصله به آزمایشگاه مؤسسه ملی اقیانوس‌شناسی، ایستگاه پژوهشی دریای عمان و اقیانوس هند - چابهار منتقل گردید و تا قبل از انجام آزمایشات در دمای ۱۸- درجه سانتیگراد نگهداری شد (Muzuka, 2007).

۳-۲. مطالعات آزمایشگاهی رسوبی

جهت دانه‌بندی، پس از خشک شدن رسوبات در دمای ۶۰

واحد مارنی ارتفاعات کوتاهی را در منطقه تشکیل می‌دهد. نوع رسوبات و پوسته‌های صدفی بزرگ، محیط رسوبگذاری این مارن‌ها را منطقه‌ی کم عمق دریا (نزدیک ساحل) با سن میوسن میانی - پسین معرفی می‌کند (آقناباتی، ۱۳۸۳). بخش اعظم منطقه از رسوبات ماسه و سیلت حاصل از فرسایش واحدهای ماسه سنگی، کنگلومرایی و مارنی تشکیل شده است (شکل ۱). از دیدگاه ژئوشیمیایی، این واحدهای سنگی و رسوبات عناصر جزئی سمی چندانی را در خود جای نمی‌دهند. به این دلیل به نظر می‌رسد میزان ورودی فلزات سنگین حاصل از فرسایش سواحل بسیار ناچیز باشد (Faure, 1992).



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی و موقعیت نقاط نمونه‌برداری در محدوده‌ی مورد مطالعه

اسکله صیادی پسابندر که در لبه‌ی غربی خلیج واقع شده، می‌تواند به‌عنوان مهمترین منبع آلودگی منطقه مطرح باشد. در این بندر به‌همراه دیگر بنادر صیادی جنوب استان سیستان و بلوچستان، بیش از ۸۰ درصد ماهیان تن‌کشور صید می‌گردد. صید این ماهیان توسط لنج‌های صیادی صورت می‌گیرد که حدود ۹ ماه از سال را جهت صید ماهی در دریای عمان و اقیانوس هند سپری کرده و در تابستان که زمان اوج تأثیر مونسون تابستانه دریای عمان است و دریا بسیار موج است، در اسکله‌های صیادی می‌مانند و به تعمیر و نگهداری لنج‌های خود می‌پردازند. این فعالیت‌ها در طی سالیان متمادی موجب آلودگی شدید رسوبات بستر اسکله‌ها صیادی پسابندر گردیده است. در این اسکله که دارای مساحتی حدود ۵۰۰ کیلومتر مربع است، ۱۳۰ قایق و ۱۲۰ لنج صیادی فعالیت دارند.

¹ Van-Veen

اغلب محیط‌های رسوبی، رابطه‌ای خطی بین عناصر بی‌اثر (عناصر هنجارساز مانند آهن و آلومینیوم) و میزان رس موجود در رسوبات وجود دارد که به ما اجازه می‌دهد تا از عناصر هنجارساز به عنوان جایگزین متغیرهای دانه‌بندی رسوبات استفاده نماییم. بنابراین، جهت ارزیابی اثرات انسانی احتمالی، بسیاری از محققین (Schiff and Weisberg, 1999; Mucha et al., 2003; Guerra-Garcia and Garcia-Gomez, 2005) به طور موفقیت‌آمیزی از عنصر آهن جهت هنجارسازی آلاینده های فلزی استفاده نموده‌اند. در این بررسی، نقشه هنجارسازی فلزات سنگین مورد مطالعه توسط نرم افزار ArcMap 9.3 تهیه گردید. این نقشه‌ها به ما کمک می‌کند تا ناهنجاری‌های طبیعی و انسان‌زاد فلزات سنگین در منطقه را به وضوح شناسایی نماییم.

۳. نتایج

۳-۱. خصوصیات فیزیکی رسوبات و متغیرهای محیطی

نمودار دانه‌بندی رسوبات مورد مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است. نمونه‌های رسوب شماره ۴، ۵ و ۶ که از ساحل یا نزدیک آن برداشته شده‌اند، تقریباً به طور کامل از ماسه تشکیل شده‌اند. نمونه‌های ۸ و ۹ که فاصله بیشتری از خط ساحل دارند دارای مخلوطی از ذرات ماسه، سیلت و رس در مقادیر تقریباً یکسان هستند. نمونه‌ی شماره ۱۰ که متعلق به بستر رودخانه باهوکلالات است، داری حدود ۳۰ درصد ماسه است و مقدار رس آن بیش از سیلت است. سایر نمونه‌ها از جمله نمونه‌های بستر جنگل حرا و داخل محیط اسکله صیادی با مقادیر زیاد رس مشخص می‌شوند که می‌تواند تأثیر زیادی در جذب و نگهداشت فلزات در این محیط‌ها داشته باشد.

داده‌های جدول شماره ۱ نشان می‌دهد که میزان pH آب دریا در محل نمونه‌برداری در حد pH طبیعی آب دریاهاست. اما میزان شوری آب در منطقه در حد ۳۶ تا ۳۷ گرم بر لیتر است که بیش از میانگین آب اقیانوسها است (حدود ۳۳ گرم بر لیتر). در این داده‌ها میزان شوری (۶ گرم بر کیلوگرم) و pH (۷/۶) رودخانه باهوکلالات لحاظ نگردیده است. افزایش شوری می‌تواند موجب کاهش انحلال پذیری فلزات در آب دریا و در نتیجه کاهش دسترسی زیستی^۲ عناصر مسمومیت‌زا گردد (Yalcin, 2009).

درجه سانتیگراد در آون، بخش ماسه رسوبات به روش تر دانه‌بندی گردید (Shau, 1965) و درصد سیلت و رس توسط دستگاه دانه‌بندی لیزری اندازه‌گیری گردید. میزان مواد آلی موجود در نمونه‌ها توسط روش کوره اندازه‌گیری شد (Daessle et al., 2009). در این روش ۱۰ گرم رسوب داخل ظرف چینی ریخته شد و به مدت ۴ ساعت داخل کوره الکتریکی با دمای ۴۴۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد و میزان کاهش وزن 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. در این آزمایشگاه، نمونه‌ها پس از یکنواختی و آسیاب، توسط ترکیبی از اسید نیتریک (HNO₃)، پرکلریک اسید فلوریدریک (HF)، محلول تیزاب (HNO₃: HCl)، پرکلریک (HClO₄)، به طور کامل هضم گردید (Loring and Rantala, 1992) و توسط روش جذب اتمی پلاسما جفت شده القایی^۱ غلظت عناصر آهن، منیزیم، منگنز، سرب، روی، مس، کادمیوم، نیکل و کروم در آنها تعیین گردید. درستی داده‌ها توسط تجزیه ماده مرجع استاندارد بین‌المللی (انجمن تحقیقات ملی کانادا) آزمایش شد. در تمام مراحل آزمایشات، از محلول‌های آزمایشگاهی کاملاً خالص استفاده شد و تمامی ظروف قبل از استفاده توسط اسید و آب مقطر دوبار تقطیر شسته شد.

۳-۲. روش‌های تحقیق و نرم‌افزارهای مورد استفاده

میزان ضرایب همبستگی پیرسون عناصر توسط نرم افزار SPSS 17.0 اندازه‌گیری شد و نمودار دانه‌بندی رسوبات توسط نرم افزار Excel 2007 تهیه گردید. نقشه زمین‌شناسی و موقعیت نقاط نمونه‌برداری توسط نرم افزار ArcMap 9.3 تهیه گردید. در این نقشه، لایه‌های اطلاعاتی مانند واحدهای زمین‌شناسی، موقعیت خط ساحلی، جنگل حرا، رودخانه باهوکلالات و مرزعه پرورش میگو ارائه گردید. تغییرات غلظت فلزات در محیط زیست به دلیل عوامل مختلف طبیعی مانند دانه‌بندی متنوع رسوبات، بررسی آلودگی رسوبات دریایی را مشکل می‌سازد، زیرا مقادیر اندازه‌گیری شده فلزات به تنهایی نمی‌تواند حاکی از غنی شدگی آنها توسط فعالیت‌های انسانی باشد (Guerra-Garcia and Garcia-Gomez, 2005). در

² Bioavailability

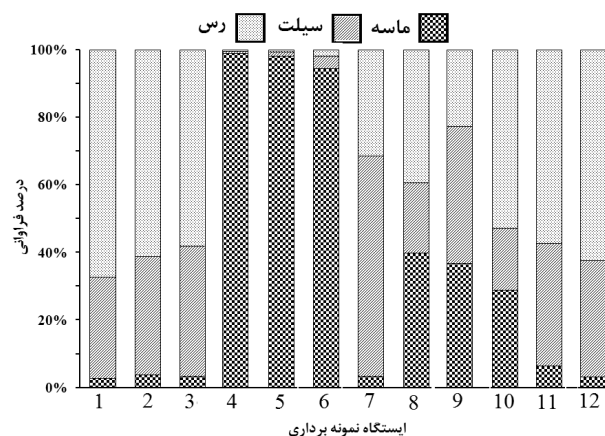
¹ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)

۳-۲. غلظت فلزات سنگین در رسوبات

میزان غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. این داده‌ها همچنین با عیار طبیعی در پوسته قاره‌ای و اقیانوسی و برخی سنگ‌های رسوبی مقایسه گردیده است.

با توجه به داده‌های جدول ۱ می‌توان دریافت که عنصر کروم دارای بیشترین ناهنجاری در منطقه است، به طوری که غلظت آن در نمونه شماره ۴ به بیش از ۱۰/۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم می‌رسد. میزان افزایش غلظت برای عناصر سرب، روی، مس و نیکل مراتب کمتر از کروم است، اما به هر حال، میزان افزایش غلظت این عناصر در رسوبات بستر اسکله پسابندر کاملاً مشهود است. میزان غلظت این عناصر در مارن و ماسه‌سنگ‌های ساحلی که مهمترین منشاء طبیعی این عناصر هستند، حتی از میانگین پوسته نیز کمتر است. عنصر کادمیوم چندان دستخوش آلودگی قرار نگرفته است و غلظت آن در رخنمون‌های زمین‌شناسی و

میزان مواد آلی در نمونه‌های بستر اسکله پسابندر بیش از سایر نقاط است. میزان نسبتاً بالای مواد آلی در رسوبات بستر جنگل حرا نیز در نمونه‌ها کاملاً مشهود است.



شکل ۲- نمودار دانه‌بندی رسوبات مورد مطالعه

جدول ۱- میزان رس، کربن آلی و عناصر انتخابی موجود در نمونه‌های رسوب و برخی پارامترهای فیزیکی آب در محل نمونه‌برداری

شماره نمونه	عمق (m)	OC (%)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mg (%)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	شوری (ppt)	pH	دما (°C)
۱	۱/۶	۷/۲	-/۰/۹	۱۰/۵	۱۰/۱	۴/۲۵	۲/۲۷	۴۵۴	۱۰/۱	۸۸/۰	۱۵۱	۲۶/۹	۸/۱۰	۳۱/۰
۲	۳/۶	۶/۸	-/۱/۳	۷۵/۵	۸۵/۶	۲/۲۲	۱/۱۲	۵۸۳	۴۹/۱	۱۲۰/۵	۵۵	۲۶/۵	۸/۱۱	۲۹/۹
۳	۴/۵	۵/۹	-/۱/۰	۱۱/۳	۷۹/۸	۴/۰۰	۲/۱۸	۶۱۶	۹۲/۰	۲۴۵/۸	۷۴	۲۶/۷	۸/۱۲	۳۱/۰
۴	ساحل	۲/۹	-/۱/۱	۱۰۰۰۰	۱۹/۴	۷/۶۸	۱/۰۷	۱۵۴۰	۷۲/۲	۲۵/۸	۱۷۴	۲۶/۸	۸/۱۱	۳۱/۲
۵	۲/۹	۱/۴	-/۱/۱	۱۵۵۰	۴۶/۴	۳/۴۵	۱/۱۱	۸۳۸	۶۶/۴	۱۸/۸	۶۰	۲۶/۹	۸/۱۶	۳۱/۱
۶	ساحل	۲/۵	-/۱/۳	۷۷/۱	۱۹/۶	۳/۰۶	۱/۱۹	۲۱۸	۶۳/۰	۱۴/۰	۵۰	۲۷/۴	۸/۱۵	۳۱/۰
۷	-	۴/۰	-/۰/۸	۹/۵	۲۹/۰	۳/۶۶	۲/۴۳	۶۷۸	۹۲/۶	۱۳/۵	۶۹	-	-	-
۸	۱/۸	۳/۸	-/۱/۲	۱۰۰	۱۹/۴	۲/۴۴	۱/۲۳	۶۰۸	۵۰/۶	۱۳/۹	۴۱	۳۷/۰	۸/۱۲	۳۰/۰
۹	۵	۲/۶	-/۱/۵	۸۴	۲۲/۳	۳/۲۷	۱/۷۰	۶۶۳	۷۷/۳	۱۵/۹	۵۹	۲۶/۶	۸/۱۳	۳۱/۰
۱۰	-	۱/۶	-/۰/۹	۱۳۰	۲۷/۵	۲/۸۴	۱/۹۰	۸۶۹	۸۹/۶	۱۲/۸	۵۸	-	-	-
۱۱	۲/۱	۴/۲	-/۱/۹	۹۲	۳۹/۴	۴/۹۵	۲/۵۲	۶۱۱	۹۷/۸	۱۶/۵	۷۶	۲۶/۸	۸/۱۳	۳۱/۲
۱۲	۲/۲	۴/۶	-/۳/۳	۱۰/۴	۳۲/۰	۴/۱۲	۲/۳۴	۵۷۳	۱۰/۴	۱۶/۹	۸۲	۲۶/۵	۸/۱۴	۳۱/۱
۱۳	-	-	-/۱/۲	۱۵	۶/۲	-/۹/۱	-/۶۴	۲۸۳	۱۷/۹	۷/۳	۱۳	-	-	-
۱۴	-	۲/۴	-/۱/۵	۹۶	۲۵/۷	۴/۲۵	۲/۱۰	۵۵۵	۱۰/۹	۱۴/۷	۸۳	-	-	-
پیشینه	۷/۲	۷/۲	-/۳/۳	۱۰۰۰۰	۱۰/۱	۷/۶۸	۲/۵۲	۱۵۴۰	۱۰/۹	۲۴۵/۸	۱۷۴	۳۷/۴	۸/۱۶	۳۱/۲
کمیته	۱/۴	۱/۴	-/۰/۸	۱۵	۶/۲	-/۹/۱	-/۶۴	۲۸۳	۱۷/۹	۷/۳	۱۳	۲۶/۵	۸/۱۰	۲۹/۹
میانگین	۴/۲	۴/۲	-/۱/۴	۱۰۰/۲	۳۹/۵۲	۳/۷۴	۱/۷۰	۶۹۳	۷۷/۳	۴۴/۶	۷۴/۶	۲۶/۹	۸/۱۳	۳۰/۴
میانگین پوسته قاره ای*	-	-	-/۱/۰	۱۲۶	۲۵	۴/۳	۲/۲	۷۱۶	۵۶	۱۵	۶۵	-	-	-
میانگین پوسته اقیانوسی*	-	-	-/۱/۳	۳۱۷	۸۱	۷	۴/۵	۱۲۰۰	۱۴۴	-/۵	۷۸	-	-	-
میانگین در شیل**	-	-	-/۱/۳	۹۰	۴۵	۴/۸	۱/۶	۸۵۰	۶۸	۲۲	۹۵	-	-	-
میانگین در ماسه‌سنگ**	-	-	-/۰/۹	۸۸	۲۴	۳/۸	۱/۳	۷۵۰	۲۴	۱۴	۷۶	-	-	-
غلظت طبیعی در منطقه	-	-	-/۱/۵	۸۴	۲۲	۳/۲۷	۱/۷	۶۶۳	۷۷/۳	۱۵/۹	۵۹	-	-	-

* Merian et al. (2004) ** Wedepohl (1995)

از ۱۰۰ برابر عیار طبیعی آنها در محدوده مورد مطالعه است.

۳-۳. بررسی ضرایب همبستگی

ضرایب همبستگی بین عوامل مختلف اندازه‌گیری شده در این

رسوبات ساحلی منطقه در حد عیار طبیعی پوسته است. تنها در نمونه بستر جنگل حرا کمی افزایش غلظت کادمیوم دیده می‌شود (۰/۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم). در نمونه‌ی ماسه ساحلی پسابندر (نمونه شماره ۴)، غلظت عناصر آهن، منگنز، سرب، روی و از همه مهمتر کروم به ترتیب ۳/۱۵، ۲/۵۳، ۱/۳۵، ۴/۲۴ و بیش

همبستگی بین کروم با مس، نیکل و سرب، یا مس با نیکل و سرب، و یا سرب و روی نیز قابل توجه است. همبستگی آهن و منگنز با فلزات سنگین بسیار زیاد می‌باشد که حاکی از جذب سطحی این عناصر توسط هیدروکسیدهای آهن و منگنز است. نکته‌ی مهم دیگر، همبستگی زیاد مس، نیکل، روی و تا حدودی سرب با میزان رس موجود در نمونه‌ها است. داده‌ها همچنین نشانگر همبستگی زیاد سرب با کربن آلی موجود در رسوبات است ($r=0.60$). این همبستگی برای عناصر نیکل و تا حدودی مس با میزان کمتر دیده می‌شود.

تحقیق در جدول ۲ ارائه شده است. ذکر این نکته ضروری است که در تهیه این داده‌ها از بدنه اصلی داده‌های آماری استفاده شده و از برخی داده‌های ناهنجار چشم پوشی گردیده است (Reimann et al., 2008). داده‌های جدول ۲ بیانگر همبستگی زیاد بین فلزات سنگین مورد بررسی است. در میان فلزات سنگین مورد مطالعه، کادمیوم به دلیل غلظت پایین و عدم ورود از طریق آلودگی، ارتباط معنی داری 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- ضرایب همبستگی پیرسون بین عناصر، کانی‌های رسی و کربن آلی در سطح اطمینان ۰/۰۵ (ضرایب همبستگی زیاد با یک خط و ضرایب بسیار زیاد با دو خط در زیر اعداد نشان داده شده است).

	Clay	OC	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Zn
Clay	1										
OC	0.02	1									
Cd	0.01	0.02	1								
Cr	0.31	0.00	0.01	1							
Cu	0.66	0.30	0.05	0.55	1						
Fe	0.51	0.10	0.00	0.63	0.59	1					
Mg	0.91	0.17	0.08	0.59	0.86	0.78	1				
Mn	-0.47	-0.13	0.01	0.83	0.61	0.57	0.00	1			
Ni	0.89	0.43	0.11	0.64	0.77	0.91	0.82	0.05	1		
Pb	0.37	0.60	0.02	0.65	0.76	0.78	0.23	0.71	0.43	1	
Zn	0.53	0.04	0.00	0.40	0.80	0.92	0.73	0.73	0.93	0.78	1

آمیزه‌های رنگین در مسیر رودخانه‌های سرباز و باهوکلالت باشد. همبستگی بالای رس با آهن و بخصوص منیزیم ($r=0.91$) به دلیل حضور این عناصر در ساختمان کانی‌های رسی است. میزان کانی‌های رسی به‌عنوان ذراتی با کارایی بالا در جذب عناصر سمی بسیار مهم است (Ibhadon, 2004). از آنجا که کربن آلی یک سازای مهم کلویدهای دریایی است، رابطه‌ی بین فراوانی فلزات و کربن آلی، حائز اهمیت است. اگر فلزات به لیگاندهای آلی متصل شده باشند، انتظار می‌رود که بین غلظت فلز و کربن آلی همبستگی وجود داشته باشد (Eby, 2005). برای عناصری که غلظت آنها از راه اتصال به لیگاندهای آلی کنترل می‌شود، بین این نسبت و میل ترکیبی فلز به لیگاند، همبستگی مستقیمی وجود دارد (سری ایروین - ویلیامز). برای مواد هومیک، سری ایروین - ویلیامز به صورت $Mg < Ca < Cd < Mn < Co < Zn, Ni < Cu < Hg$ است (Mantoura et al., 1978).

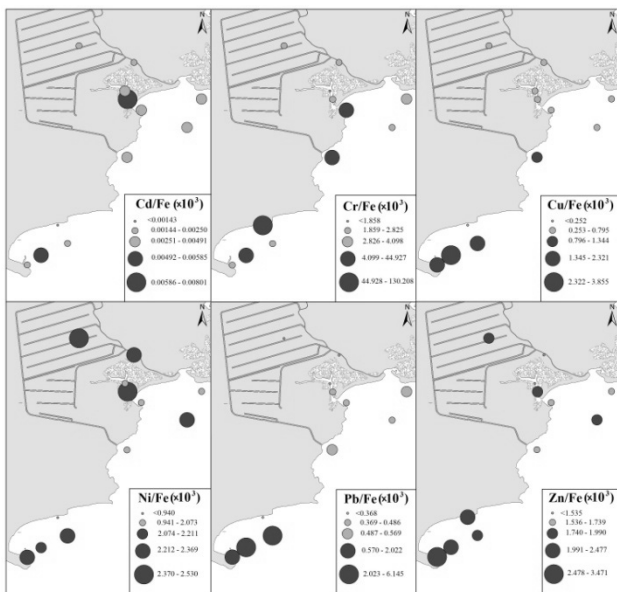
چنانچه مقادیر همبستگی نشان می‌دهد، میزان زیاد مواد آلی به‌همراه فراوانی کانی‌های رسی در رسوبات اسکله موجب جذب و ماندگاری بیشتر فلزات سنگین در محیط اسکله می‌گردد. به دلیل عملکرد امواج به‌خصوص در فصل تابستان و حاکمیت مونسون،

۴. بحث و نتیجه‌گیری

مناطق ساحلی خلیج گواتر از نظر وجود صنایع و یا معادن آلاینده زیست‌محیطی فقیرند. منابع درآمد مردم منطقه ماهیگیری و داد و ستدهای تجاری است. به نظر می‌رسد مهمترین منابع آلاینده‌ی منطقه، شناورهای صیادی پسابندر هستند. میزان زیاد کربن آلی در ساحل پسابندر احتمالاً در نتیجه ورود فاضلاب انسانی کارکنان شناورها و تخلیه‌ی بقایای لاشه‌ی ماهی‌ها است که در محل این بندر تخلیه می‌گردند.

همبستگی نسبتاً زیاد فلزات سنگین، نشان دهنده‌ی عدم تنوع منابع آلودگی در منطقه است که مهمترین آن آلودگی‌های ناشی از تعمیر، تعویض روغن و نقاشی لنج‌ها و قایق‌های صیادی و همچنین ریختن زباله و فاضلاب انسانی در محیط ساحلی پسابندر و به میزان کمتر بندر گواتر است. دلیل دیگر این همبستگی زیاد، احتمالاً یکنواختی ترکیب ژئوشیمیایی واحدهای زمین‌شناسی ساحلی منطقه است (آقاباتی ۱۳۸۳). به‌علاوه، همبستگی زیاد کروم، منگنز، آهن و منیزیم همچنین می‌تواند ناشی از ورود این عناصر از طریق انحلال واحدهای افیولیتی و

احیایی بوده و بنابراین غنی از سولفید و مواد آلی هستند (Silva et al., 1999; Tom and Wong, 2000). اغلب فلزات سنگین در محیط‌های احیایی نا محلولند و سریعاً جذب کلوئیدها می‌گردند (Eby, 2005). در نتیجه غلظت فلزات سنگین در این رسوبات ۳-۵ برابر میزان آنها در آب دریای روی آنها است (Zabetoglou et al., 2002). با وجود این غلظت زیاد، دسترسی زیستی حتی مقدار کمی از این عناصر اهمیت زیادی در تجمع زیستی در گونه‌های جانوری و گیاهی جنگل‌های حرا دارد.



شکل ۳- نقشه ژئوشیمیایی نشان دهنده نسبت‌های هنجارسازی شده فلزات سنگین با استفاده از آهن به عنوان عنصر هنجارساز. مقادیر بیش از حد طبیعی (مقدار اندازه‌گیری شده برای نمونه طبیعی در منطقه) با رنگ قرمز و مقادیر مساوی یا کمتر از آن با رنگ سبز نشان داده شده‌اند.

اکسیداسیون سولفیدها در محیط‌های بین جزر و مدی موجب تحرک و دسترسی زیستی این عناصر می‌گردد (Clark et al., 1998). بنابراین افزایش آلودگی و دسترسی زیستی این عناصر در محیط‌های سواحل ماسه‌ای تهدید زیادی برای جانداران مقیم این مناطق به دنبال دارد. به دلیل آنکه این عناصر در محیط زیست قابلیت تجزیه ندارند، در طولانی مدت متحمل زیست انباشت^۱ می‌گردند و بنابراین تأثیر زیادی در آلودگی این محیط‌ها دارند (Defew, 2005). بنابراین می‌توان گفت جنگل‌های حرا زیست‌بوم‌های بسیار حساسی در برابر آلودگی توسط فلزات سنگین هستند. همان‌گونه که پیشتر بیان شد، میزان کربن آلی در رسوبات جنگل حرا بیشترین مقدار است. به علاوه پس از منطقه

بسیاری از عناصر فلزی که دارای وزن مخصوص بالایی هستند (مانند، کروم و نیکل) از رسوبات آلوده بستر دریا به سمت سواحل ماسه‌ای رانده می‌شوند و موجب افزایش غلظت فلزات سنگین در این مناطق می‌گردند (نمونه شماره ۴)، به طوری که لایه‌های رسوبات ماسه‌ای تیره رنگ سرشار از ذرات فلزی در این ساحل به خوبی قابل مشاهده است. منشا این ذرات فلزی احتمالاً ریختن روغن موتور و ضایعات حاصل از تعمیر موتور و بدنه قایق و لنج‌های این بندر در آب دریاست. روغن موتور به دلیل اصطکاک زیاد و سایش طولانی مدت قطعات موتور، حاوی مقادیر زیادی ذرات فلزی است. منشا مهم دیگر این فلزات رنگ‌های ضد خوردگی و جرم‌گرفتگی است که جهت محافظت بدنه لنج‌ها در برابر موجوداتی مانند برخی جلبک‌ها و بارناکل‌ها استفاده می‌گردد. بر اساس تحقیقات انجام شده (Orlic and Tang, 1999) حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد این رنگ‌ها از برخی فلزات مانند مس و روی تشکیل یافته است.

در این تحقیق عنصر آهن به عنوان یک عنصر هنجار ساز جهت جداسازی آلودگی‌های انسانی و طبیعی به کار گرفته شد. آهن عنصری است که به فراوانی در پوسته حضور دارد و به ندرت توسط فعالیت‌های انسانی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Guerra-Garcia and Garcia-Gomez, 2005). نقشه‌های هنجارسازی ژئوشیمیایی عناصر کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی بوسیله عنصر آهن در شکل ۳ ارائه شده است.

مقادیر بدست آمده بیش از مقدار طبیعی (نمونه شماره ۸) به رنگ قرمز و مقادیر مساوی یا کمتر از آن به رنگ سبز نشان داده شده‌اند. براین اساس مشاهده می‌شود که عنصر کادمیوم تنها در نمونه شماره ۲ اسکله پسابندر و ۱۲ جنگل حرا کمی آلودگی نشان می‌دهد. عنصر کروم در نمونه‌های نزدیک ساحل ناهنجاری دارد. آلودگی عناصر مس، سرب و روی تنها در نمونه‌های اسکله‌ی پسابندر کاملاً مشهود است. این امر مشخص می‌سازد که منبع آلودگی این عناصر منحصر به فعالیت‌های انسانی است. عنصر نیکل در اغلب نمونه‌ها ناهنجاری نشان می‌دهد.

مهمترین محیط طبیعی محدوده مورد مطالعه که دارای حساسیت زیادی نیز نسبت به آلودگی است، جنگل‌های حرا در خلیج گواتر است. به دلیل خصوصیات منحصر بفرد موجود در جنگل‌های حرا، گل‌های حرا دارای ظرفیت فوق العاده‌ای در تجمع آلاینده‌های ورودی به محیط‌های نزدیک ساحل هستند (Harris and Santos, 2000). رسوبات حرا معرف محیط‌های

¹ Bioaccumulation

آلوده پسابندر، بیشترین میزان غلظت فلزات سنگین در این محیط به چشم می خورد.

رودخانه‌ها منشأ اصلی فلزات حل شده و معلق هستند. مقاومت یونی بالای آب دریا باعث می شود فلزاتی که جذب سطحی کانیهای رسی شده‌اند، در آب دریا رها شوند. تغییرات Eh و pH به تهنشینی اکسی هیدروکسیدهای آهن و منگنز منجر می شود (Zhang et al., 2001). منشأ فلزات در رودخانه‌ها نیز می تواند طبیعی (از هوازدگی سنگها) و یا انسانزاد باشد. رودخانه باهوکلات به دلیل عبور از سازندهای رسوبی و عدم وجود صنایع آلاینده مهم در بالادست مسیر، نقش چندانی در آلودگی انسانزاد در محدوده مورد مطالعه ندارد. غلظت نسبتاً زیاد مس، نیکل، منگنز، آهن و تا حدودی کروم و همچنین همبستگی زیاد غلظت این عناصر (جدول ۲)، می تواند حاکی از انحلال واحدهای افیولیتی و آمیزه رنگین^۱ در بالادست باشد. میزان زیاد عنصر نیکل در داخل رودخانه باهوکلات، جنگل حرا و کلاً نمونه‌های برداشته در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه حاکی از اثر زیاد رودخانه باهوکلات در ناهنجاری این عنصر در خلیج گواتر است. مطالعه‌ی کانی شناسی توسط تفریق اشعه ایکس (حمزه و دیگران ۱۳۹۰) نیز حاکی از حضور کانی کلینوکلر در منطقه است که حاصل فرسایش واحدهای افیولیتی بالادست رودخانه باهوکلات است. این کانی‌ها حاوی مقادیر زیادی عناصر نیکل و کروم هستند (Schulz and Zabel, 2006).

میزان کم فلزات سنگین (بجز نیکل) در محل پرورش میگو نشان می دهد که این محل نقش چندانی در توزیع عناصر در محدوده مورد مطالعه ندارد. مطالعه امیدي (۱۳۸۰) نیز نتایج مشابهی با این تحقیق را نشان می دهد.

ضرایب همبستگی قوی بین کلونیدها و فلزات سنگین در منطقه نشان می دهد که هیدروکسیدهای آهن و منگنز، کانی‌های رسی و مواد آلی به ترتیب نقش مهمی در تحرک و دسترسی زیستی فلزات سنگین در منطقه دارند.

فلزات سنگین در آب دریا دارای زمان ماندگاری کوتاه می باشند. عناصر با زمان ماندگاری کوتاه، به شدت واکنش پذیر هستند. بنابراین عناصر مورد مطالعه سریعاً از طریق واکنش‌های جذب، از آب دریا خارج و وارد رسوبات می گردند. در نتیجه بیشترین خطر عناصر سمی در این منطقه متوجه موجودات

کفزی و تغذیه کننده از رسوبات است. در مطالعات دانشمندان، نوع و میزان گونه‌های فلزات موجود در رسوبات ساحلی و آب دریا به خوبی مشخص شده است. به طور مثال مشخص شده است که یون‌های آزاد Cu و Cd زیست دسترس ترین اشکال غیر آلی در آب دریا هستند و بنابراین تنها بخش اندکی از کل فلزات محلول در آب دریا را در بر می گیرند (Leivuori et al., 2000). اما با این وجود، ترکیب رسوبات بسیار پیچیده و متغیر است و مطالعه زیست دسترسی فلزات موجود در رسوبات بسیار مشکل است.

دما و شوری نقش مهمی در دسترسی زیستی عناصر دارند. شوری و دما عوامل اصلی تأثیر گذار بر روی موجودات ساکن آبهای ساحلی هستند و این دو عامل ممکن است شدت مسمومیت حاد توسط بسیاری از فلزات سنگین را تحت تأثیر دهند (Yalcin, 2009). ترکیب میزان شوری پایین و دمای زیاد به صورت هم نیروزادی^۲ عمل می کنند و مسمومیت توسط فلزات سنگین را افزایش می دهند. در شوری کم، میزان دسترسی زیستی فلزاتی مانند کادمیوم و مس (به شکل Cu^{2+} و Cd^{2+} محلول) به دلیل کاهش رقابت جذب با کلسیم و منیزیم، افزایش می یابد. مس در حالت اکسیدی بسیار سمی است. در محدوده‌ی مورد مطالعه شوری نسبتاً زیاد می تواند موجب کاهش دسترسی زیستی عناصر سمی شود.

منابع متنوع فلزات سنگین اعم از طبیعی و انسانی در نیمه غربی خلیج گواتر این محیط را به محلی حائز اهمیت جهت انجام مطالعات زیست محیطی و بررسی اثرات متقابل فرایندهای طبیعی و فعالیت های انسانی در رفتار ژئوشیمیایی عناصر آلاینده بدل نموده است. اسکله‌ی صیادی پسابندر به عنوان منشأ مهم بسیاری از فلزات سنگین مانند کروم، سرب، روی، مس و نیکل محسوب می گردد. رسوب شناسی بستر اسکله که متشکل از سیلت و رس فراوان است و همچنین میزان زیاد مواد آلی حاصل از فعالیت‌های انسانی، ظرفیت نگهداشت و جذب فلزات سنگین در این محل را افزایش داده است. جنگل حرا نیز به دلیل میزان زیاد مواد آلی طبیعی در بستر و درصد زیاد رس، محلی مناسب جهت تجمع فلزات سنگین ورودی به این محل است که لزوم مطالعات بیشتر بر اثرات این فلزات بر روی این بوم سامانه را نمایان می سازد. رودخانه باهوکلات نیز به دلیل عبور از

² Synergistic

¹ Colored Melange

geochemical model. *Chemical Geology*. 149: 147-171.

Daessle, L.W.; Marquez, G.R.; Camacho-Ibar, V.F.; Gutierrez-Galindo, E.A.; Shumilin, E.; and Ortiz-Campos, E., 2009. Geochemistry of modern sediments from San Quintín coastal lagoon, Baja California: Implication for provenance. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 26: 117-132.

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.

Eby, G.N., 2005. *Principles of environmental geochemistry*, Thomson, Ellis, S. and Mellor, A., New York.

Farhoudi, G.; and Craig, D.E., 1977. Makran of Iran and Pakistan as an active arc system. *Geology*. 5(11): 664-668.

Faure, G., 1992. *Principles and application of inorganic geochemistry*, John Willey. 526p.

Guerra-Garcia, J.M.; Garcia-Gomez, J.C., 2005. Assessing pollution levels in sediments of a harbour with two opposing entrances. *Environmental implications. Journal of Environmental Management*. 77: 1-11.

Harbison, P., 1986. Mangrove muds: a sink or source for trace metals. *Marine Pollution Bulletin*. 17: 246-250.

Harris, R.R.; Santos, M.C.F., 2000. Heavy metal contamination and physiological variability in the Brazilian mangrove crabs, *Ucides cordatus* and *Callinectes danae* (Crustacea: Decapoda). *Marine Biology*. 137: 691-703.

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.; and Quittmeyer, R.C., 1979. The Makran region of Pakistan and Iran trench-arc system with active plate subduction. *Geodynamics of Pakistan*, 305-318pp.

Leivuori, M.; Joksas, K.; Seisuma, Z.; Kulikova, I.; Petersell, V.; Larsen, B.; Pedersen, B.; Floderus, S., 2000. Distribution of heavy metals in sediments of the

سازندهای متنوع زمین‌شناسی مکران، عناصر کروم و نیکل را به خلیج گواتر وارد می‌نماید. به دلیل میزان کم فلزات موجود در رخنمون‌های ساحلی منطقه، فرسایش نواحی ساحلی نمی‌تواند نقش چندانی در تأمین فلزات سنگین در رسوبات بستر خلیج گواتر داشته باشد.

۵. سپاسگزاری

این بررسی با حمایت مؤسسه ملی اقیانوس‌شناسی ایران و دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان انجام گردیده و در مرکز اقیانوس‌شناسی دریای عمان و اقیانوس هند (چابهار) مؤسسه ملی اقیانوس‌شناسی انجام شده است. از جناب آقای دکتر حمید علیزاده کتک لاهیجانی جهت تصحیح علمی مقاله سپاسگزاری می‌گردد. همچنین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از همکاری کارکنان مرکز اقیانوس‌شناسی چابهار در کلیه مراحل نمونه‌برداری و مطالعات آزمایشگاهی تشکر نمایند.

منابع

امیدی، س.، ۱۳۸۰. بررسی پساب‌های مزارع پرورش میگو در منطقه حله بوشهر و اثرات احتمالی آن بر محیط زیست دریایی. *مجله علمی شیلات ایران*. سال دهم، شماره ۳. صفحات ۳۴-۱۳.

آقاناتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. وزارت صنایع و معادن، ۴۳۰ صفحه.

گلشنی، ع. ا.؛ چگینی، و.؛ تائبی، س.، ۱۳۸۷. تحلیل حدی باد و موج به تفکیک جهت در دریاهای ایران (دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان). *طرح پژوهشی مؤسسه ملی اقیانوس‌شناسی*. ۳۳۹ صفحه.

علوی تهرانی، ن.، ۱۳۵۸. *مجموع سنگ‌های افیولیتی در ایران*. سازمان تحقیقات زمین‌شناسی و معدنی کشور. ۵۷ صفحه.

Berkowitz, B.; Dror, I. and Yaron, B., 2008. *Contaminant Geochemistry: Interactions and Transport in the Subsurface Environment*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 412 p.

Clark, M.W.; McConchie, D.; Lewis, D.W.; Saenger, P., 1998. Redox stratification and heavy metal partitioning in *Avicennia*-dominated mangrove sediments: a

- Sarkar, B., 2002. Heavy Metals in the Environment. Marcel Dekker, New York. 725p.
- Schiff, K.C.; Weisberg, S.B., 1999. Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments. Marine Environmental Research, 48: 161–176.
- Schulz, H.D.; Zabel, M., 2006. Marine geochemistry. Springer. New York. 582p.
- Shau, B.K., 1965. Theory of sieving: Journal Sedimentary Petrology. 35: 750-753.
- Silva, C.A.R.; Lacerda, L.D.; Rezende, C.E., 1990. Heavy metal reservoirs in a red mangrove forest. Biotropica. 22: 339–345.
- 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.
- Wedepohl, K.H., 1995. The Composition of the Continental Crust. Geochim. Cosmochim. Acta. 59: 1217-1232.
- Yalcin, M.G., 2009. Heavy mineral distribution as related to environmental conditions for modern beach sediments from the Susanoglu (Atakent, Mersin, Turkey). Environmental Geology. 58: 119-129.
- Zabetoglou, K.; Voutsas, D.; Samara, C., 2002. Toxicity and heavy metal contamination of surficial sediments from Bay of Thessaloniki (Northwestern Aegean Sea) Greece. Chemosphere. 49: 17–26.
- Zhang, W.; Yu, L.; Hutchinson, S.M.; Xu, S.; Chen, Z., and Gao, X., 2001. China's Yangtze Estuary: 1. Geomorphic influence on heavy metal accumulation in intertidal sediments. Geomorphology. 41 (2-3): 195-205.
- Gulf of Riga, Boreal Environ. Res. 5: 165.
- Loring, D.H.; and Rantala, R.T.T., 1992. Manual for geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter, Earth Science Reviews, 32: 235-283.
- MacFarlane, G.R.; Burchett, M.D., 2002. Toxicity, growth and accumulation relationships of copper, lead and zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. Marine Environmental Research. 54: 65–84.
- Mantoura, R.F.C.; Dickson, A.; and Riley, J.P., 1978. The complexation of metals with humic materials in natural waters. Estuarine coastal marine sciences. 6: 387-408.
- Merian, E.; Anke, M.; Ihnat, M.; and Stoeppler, M., 2004. Elements and their compounds in the environment, John Willey. 1170p.
- Muzuka, A.N.N., 2007. Distribution of Heavy Metals in the Coastal Marine Surficial Sediments in the Msasani Bay-Dar es Salaam Harbour Area, Journal of Marine Science. 6: 73–83.
- Orlic, I.; Tang, S.M., 1999. Elemental depth profiles in marine sediments of Singapore coastal waters. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 150: 291–297.
- Reimann, C.; Fitzmozer, P.; Garrett, R.; and Dutter, R., 2008. Statistical Data Analysis Explained, John Wiley and Sons, England. 343 p.
- Reyss, J.L.; Pirazzoli, P.A.; Haghypour, A.; Hatte, C.; Fontugne, M., 1998. Quaternary marine terraces and tectonic uplift rates on the south coast of Iran. In Stewart, I.S.; and Vita-Finzi, C. (eds.), Coastal Tectonics. Geological Society, London, Special Publications, 146: 225–237.