

توزیع سطحی و عمقی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی و دریایی بخش ایرانی خلیج گواتر

فرید مُر^۱، محمد جواد نعمت الهی^{۱*}، بهنام کشاورزی^۱، محمد علی حمزه^۲

۱. زمین شناسی زیست محیطی، بخش علوم زمین، دانشگاه شیراز

۲. مؤسسه ملی اقیانوس شناسی، ایستگاه پژوهشی چابهار-دریای عمان

چکیده

در این پژوهش غلظت و توزیع فلزات سنگین در سطح و عمق رسوبات ساحلی و دریایی خلیج گواتر برای تعیین آلودگی طبیعی و انسانزاد بررسی شد. برای این منظور ۱۷ نمونه رسوب سطحی و ۵ مغزه رسوبی برداشته، و با عیار طبیعی منطقه مقایسه شد. نتایج توزیع سطحی فلزات نشان می دهد که بیشترین غلظت فلزات مس و روی، سرب، و نیکل به ترتیب در اسکله پسابندر، ساحل ماسه ای پسابندر، و پهنه های گلی جنگل حرا مشاهده می شود. ضرایب همبستگی بیانگر همبستگی بالای آهن و کسر رس انداز با فلزات بالقوه سمناک، مانند مس، سرب، روی و نیکل است. همچنین، توزیع عمقی فلزات در مغزه های رسوبی نشان می دهد که در ۶۰ درصد مغزه ها، فلز سرب غنی شدگی سطحی، و در همه مغزه ها فلزات نیکل و کبالت غنی شدگی عمقی دارند. محاسبه ضرایب زمین انباشت بیانگر این است که عناصر روی و مس در اسکله پسابندر آلودگی شدید دارند. همچنین، محاسبه شاخص بار آلودگی، و مجموع ریسک های بالقوه بوم شناختی نشان می دهد که بالاترین مقدار PLI و RI مربوط به اسکله پسابندر است. به نظر می رسد که تراکم تردد، و تعمیر و نگهداری شناورهای کوچک و بزرگ دریایی، به ویژه در دو ناحیه اسکله پسابندر و حاشیه جنگل حرا، و همچنین هوازگی واحدهای افیولیتی و آمیزه های رنگین مکران، دو عامل اصلی انباشت فلزات سنگین در خلیج گواتر است.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، رسوبات سطحی، خلیج گواتر، اسکله پسابندر، جنگل حرا

۱. مقدمه

نواحی ساحلی و خلیج های دهانه ای، به دلیل حضور آلاینده های مقاوم در رسوبات بستر می توانند برای آبریان و به ویژه کف زیان خطرناک باشند (Szefer et al., 1995). از زمان انقلاب صنعتی، مقدار زیادی مواد آلاینده سمناک، وارد محیط های ساحلی شده است، و رسوبات خلیج ها و مصب های رودخانه ای تبدیل به مخازن بزرگ فلزات سنگین شده اند (Wang et al., 2010). رشد شهرنشینی و صنعتی شدن به طور معمول به افزایش تخلیه مواد باطله، که ممکن است فلزات سنگین را نیز در بر داشته باشند، در دریا منجر می شود. بنابراین، بار کلی آلاینده های دریا، به ویژه فلزات سنگین، توام با رشد شهرنشینی افزایش یافته است (Akan et al., 2010). همچنین، عبور و مرور شناور های دریایی به ویژه در بنادر و مناطق مجاور آنها، و فعالیت های مرتبط با تعمیر و نگه داری این شناورها، عوامل دیگری هستند که به عنوان نشانگر غلظت بالای فلزات سنگین در بنادر مد نظر قرار گرفته اند (Okoro et al., 2012).

فلزات سنگین به دلیل اثر سمناک و سرطان زایی بر روی اندامگانها، ضرایب غنی شدگی بالا، و نرخ پایین حذف، به عنوان آلاینده های غیر آلی خطرناک، در سامانه های آبگین مورد توجه قرار گرفته اند (Fu and Wang, 2011). حضور غلظت بالایی از فلزات سنگین، به ویژه در رسوبات، می تواند نشانگر خوبی از آلودگی انسانزاد باشد. مطالعه زمین شیمیایی رسوبات سطحی، و مغزه های رسوبی در ارزیابی آلودگی، تغییر شرایط آب و هوایی، و انباشت و تحرک عناصر کمیاب در رسوبات محیط های آبگین کاربرد دارد (Ahmad et al., 2010). در چند دهه اخیر، از مغزه های رسوبی، به عنوان ابزاری ارزشمند برای تعیین اثر فعالیت های انسانزاد و طبیعی در محیط رسوبگذاری استفاده شده است (Viguri et al., 2007). نیمرخ قائم گونه های آلاینده در مغزه های

رسوبی معمولا نشان دهنده تاریخچه آلودگی است. رسوبات بسته به شرایط زیست محیطی، می توانند یک گردآورنده^۱ و یا یک رهاکننده^۲ فلزات سنگین در محیط های آبگین باشند (Qiu et al., 2011). انباشت فلزات در رسوبات، به چند عامل زمین شیمیایی محیطی مثل Eh، pH، قدرت یونی، ورود مواد انسانزاد، نوع و غلظت لیگاندهای آلی و غیر آلی، و جایگاه های سطحی موجود برای جذب سطحی، بستگی دارد. رسوبات با گذشت زمان با مواد آلاینده آمیخته می شوند و شاری ثابت با ستون آب اطراف خود برقرار می کنند. تجزیه فلزات سنگین در رسوبات علاوه بر اینکه آلاینده هایی را که ممکن است در رسوبات حضور داشته باشند آشکار می کند، توزیع مکانی و زمانی آلودگی در یک ناحیه یا بوم سامانه خاص را نیز نشان می دهد (Davis et al., 1991). جنگل حرا در منطقه گواتر، یک زیستگاه ساحلی حساس است. بوم سامانه درختان کرنا^۳، مقدار زیادی آلاینده را از آبهای مجاور دریافت می کند در نتیجه، بسیاری از این محیط ها، جایگاه مهمی برای مواد مغذی و آلاینده های آلی و غیر آلی شده اند (Harbison, 1986). در میان این آلاینده ها، فلزات سنگین بخاطر دوام و پایداری زیاد در محیط، توجه بیشتری را به خود جلب کرده اند، بنابراین، فهم توزیع این فلزات، و پایش زیست دسترس پذیری بالقوه آنها برای جانوران و گیاهان این بوم سامانه بسیار مهم است (Silva et al., 2003). در این مطالعه، غلظت فلزات سنگین در نمونه های رسوب سطحی، و مغزه های رسوبی خلیج گواتر، به همراه اطلاعات فیزیکی-شیمیایی مرتبط با آب روی رسوبات (pH، شوری، EC) ارائه شده است. هدف اصلی این پژوهش، بررسی آلودگی و توزیع فلزات سنگین، و همچنین روابط آنها در رسوبات سطحی و عمقی بخش ایرانی خلیج گواتر است.

1. Sink
2. Source
3. Mangrove Plants

۲. مواد و روش ها

۱. ویژگی های عمومی و زمین شناسی منطقه

خلیج گواتر در جنوب شرقی ترین نقطه ایران، در ۸۵ کیلومتری چابهار، و در عرض جغرافیایی $1^{\circ} 25'$ تا $14^{\circ} 25'$ و طول جغرافیایی $40^{\circ} 61'$ تا $20^{\circ} 61'$ واقع شده است (شکل ۱). $69/4$ درصد از خلیج گواتر در کشور پاکستان (بخش غربی خلیج)، و $30/6$ درصد آن در ایران (بخش شرقی خلیج) قرار دارد (دانه کار و همکاران، ۱۳۸۵). در بخش ایرانی پنج شاخه خور و رودخانه شامل رودخانه های کاجو، نهنگ و باهوکلان، و خورهای باهو و گواتر به خلیج گواتر می ریزند (زارعی، ۱۳۷۳). مساحت خلیج حدود 350 کیلومتر مربع، و عمق متوسط آن 8 متر است. بیشتر رسوبات خلیج، آواری و حاصل فرسایش تشکیلات زمین شناختی اطراف خلیج، و حمل آنها توسط رودخانه باهوکلان است. جهت باد در 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). براساس روش آمبرژه، اقلیم خلیج، بیابانی گرم شدید تعیین شده است (آذر نوید، ۱۳۸۲).

از دیدگاه زمین شناختی، خلیج گواتر نوار ساحلی بخش شرقی محدوده مکران ساحلی را در بر می گیرد. اشتوکلین (۱۹۷۴) بر این باور است که این رشته کوه (مکران)، یک زمیندرز کهن است که به شکل منشوری بر افزایشی، از کرتاسه پسین یا ترشیری پیشین و هولوسن، در فرا دیواره یک زون فرورانش کم ژرفا و کم شیب قرار داشته است (آقابات، ۱۳۸۳). واحدهایی که در منطقه رخنمون دارند از ماسه سنگ، مارن، و کنگلومرا تشکیل شده اند، و تنوع سنگ شناختی اندک، اما تغییرات رخساره ای شدید دارند. واحدهای مارنی، ارتفاعات نه چندان بلندی را در منطقه تشکیل می دهند. بخش اعظم رسوبات منطقه از ماسه و سیلت ناشی از فرسایش واحدهای ماسه سنگی، کنگلومرای و

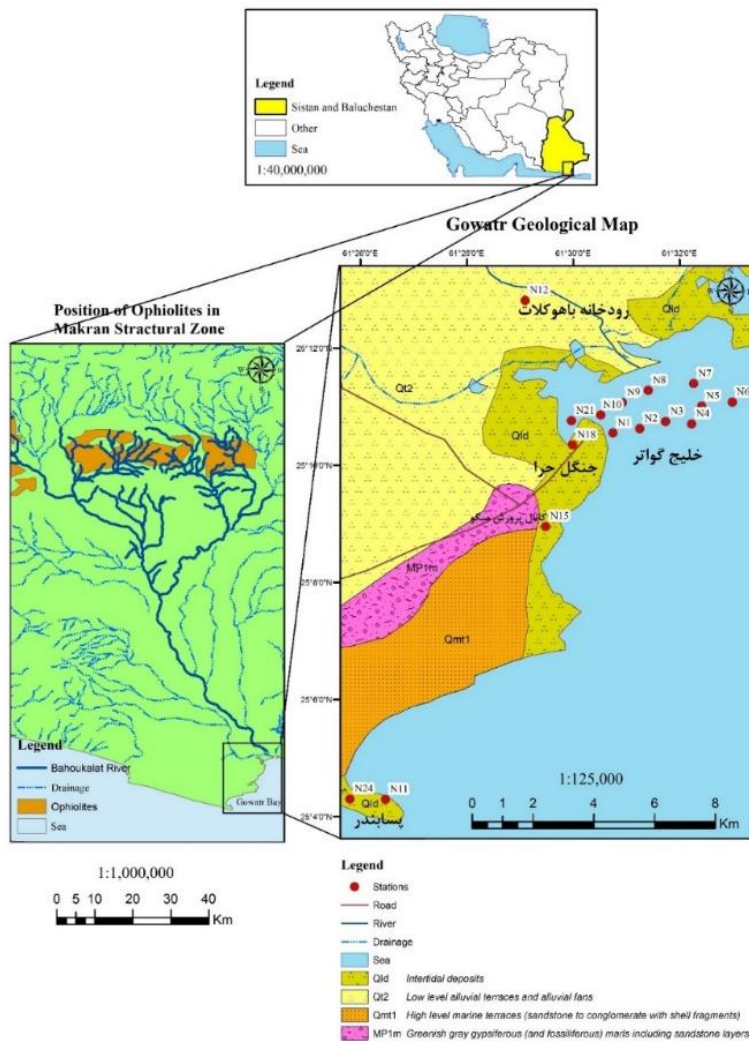
مارنی تشکیل شده است. از دیدگاه زمین شیمیایی این واحدهای سنگی و رسوبی، عناصر جزئی سمناک چندانی را در خود جای نمی دهند (Faure, 1992). به این دلیل، به نظر می رسد میزان ورودی فلزات سنگین حاصل از فرسایش سواحل بسیار ناچیز باشد.

۲.۲. نمونه برداری و مطالعات آزمایشگاهی

نمونه برداری در شهریور ماه سال ۱۳۹۱ انجام شد. محدوده نمونه برداری شامل بخش ایرانی خلیج گواتر، و محدوده های اطراف آن (پسابندر، جنگل حرا، کانال پرورش میگو، و رودخانه باهوکلان) می شود (شکل ۱). در این پژوهش ۱۷ نمونه سطحی (عمق $5-0$ cm) هر مغزه رسوبی نیز نمونه سطحی در نظر گرفته شد، و ۵ مغزه رسوبی از محدوده مورد مطالعه جمع آوری شد. از مجموع ۱۷ نمونه سطحی، ده نمونه به رسوبات درون خلیج تا عمق بیش از 6 متر، دو نمونه به بستر جنگل حرا، یک نمونه برای هر یک از مناطق آلاینده درون بندر صیادی-تجاری پسابندر، ساحل ماسه ای پسابندر، بستر رودخانه باهوکلان، و کانال پرورش میگوی گواتر، و یک نمونه رسوب ماسه بادی تعلق داشت. نمونه های مناطق ساحلی و میان کشندی با بیلچه پلاستیکی، و نمونه های زیر سطح آب توسط چنگه ون وین^۱ با سطح مقطع 250 سانتی متر برداشته شد. عمق آب در محل نمونه برداری توسط دستگاه عمقیاب لیزری اندازه گیری شد. نمونه ها پس از جمع آوری در کیسه های پلاستیکی تمیز قرار داده شدند، و سپس به آزمایشگاه زمین شناسی مرکز اقیانوس شناسی دریای عمان و اقیانوس هند-چابهار منتقل گردیدند، تا آماده سازی اولیه بر روی آنها صورت گیرد. هنگام نمونه برداری برخی پارامترهای کیفیت آب مانند شوری (توسط دستگاه شوری سنج Cond)، pH (با pH متر قابل

نگهداری و خشک شدند. سرانجام، سه نمونه از ابتدا، وسط و انتهای هر مغزه جدا گردید تا مراحل بعدی آماده سازی بر روی آنها اعمال شود. درصد کسر ریزدانه رسوب بوسیله آزمایش دانه بندی لیزری در آزمایشگاه زمین شناسی مؤسسه ملی اقیانوس شناسی- واحد چابهار، اندازه گیری شد. در نهایت ۵ گرم از کسر ریز دانه رسوب (سیلت و رس) عبور داده شده از الک ۲۳۰ مش (قطر کمتر از ۶۳ میکرون) جدا، و برای تعیین غلظت فلزات سنگین به روش ICP-MS به آزمایشگاه Acme کانادا ارسال گردید.

حمل، و هدایت الکتریکی به منظور تجزیه و تحلیل های زمین شیمیایی اندازه گیری شد (جدول ۱). مغزه های رسوبی نیز با استفاده از لوله های پلی اتیلن از مناطق میان کشندی جمع آوری شدند. دو مغزه از جنگل حرا، و از هر یک از سه منطقه کانال پرورش میگو، بندر صیادی-تجاری پسابندر، و رودخانه باهوکلالت، یک مغزه (در مجموع سه مغزه) برداشته شد. مغزه های رسوبی در آزمایشگاه به فواصل پنج سانتی متری تقسیم، و سپس برش داده شده، و در کنار نمونه های رسوب سطحی در دمای چهار درجه سانتی گراد



شکل ۱. مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه برداری

جدول ۱. مشخصات نقاط نمونه برداری، و برخی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب

EC µmho/cm	pH	شوری g/kg	عمق (cm, m)	مختصات جغرافیایی		موقعیت	نوع نمونه	شماره نمونه
				عرض	طول			
۵۴.۹۰	۸.۱۹	۳۶۶۰	۵.۳m	N ۲۵° ۰۹' ۵۸"	E ۶۱° ۳۰' ۲۰"			N1
۵۴.۸۰	۸.۱۹	۳۶۵۰	۶m	N ۲۵° ۰۹' ۵۹"	E ۶۱° ۳۰' ۵۱"			N2
۵۴.۸۰	۸.۱۹	۳۶۶۰	۶m	N ۲۵° ۱۰' ۰۳"	E ۶۱° ۳۱' ۲۱"			N3
۵۴.۸۰	۸.۱۷	۳۶۶۰	۶.۳m	N ۲۵° ۰۹' ۵۷"	E ۶۱° ۳۱' ۵۰"			N4
۵۴.۸۰	۸.۱۷	۳۶۶۰	۵.۰۰m	N ۲۵° ۱۰' ۱۴"	E ۶۱° ۳۲' ۰۴"			N5
۵۴.۸۰	۸.۱۹	۳۶۶۰	۴.۰۰m	N ۲۵° ۱۰' ۱۴"	E ۶۱° ۳۲' ۳۹"			N6
۵۵.۰۰	۸.۱۶	۳۶۷۰	۲.۷۰m	N ۲۵° ۱۰' ۳۸"	E ۶۱° ۳۱' ۵۸"			N7
۵۵.۰۰	۸.۱۹	۳۶۷۰	۲.۷۰m	N ۲۵° ۱۰' ۳۷"	E ۶۱° ۳۱' ۰۶"			N8
۵۴.۹۰	۸.۲۲	۳۶۶۰	۳.۶۰m	N ۲۵° ۱۰' ۲۸"	E ۶۱° ۳۰' ۳۵"			N9
۵۵.۱۰	۸.۱۵	۳۶۷۰	۳.۴۰m	N ۲۵° ۱۰' ۱۸"	E ۶۱° ۳۰' ۰۹"			N10
۵۶.۷۰	۸.۰۲	۳۷۹۰	۳.۵۰m	N ۲۵° ۰۴' ۱۳"	E ۶۱° ۲۵' ۱۳"	اسکله پسابندر	N11	
۶۵.۶۰	۷.۷۰	۴۴.۷۰	۰.۰۰-۵.۰۰	N ۲۵° ۱۲' ۲۵"	E ۶۱° ۲۹' ۰۰"	رودخانه باهوکلالت	مغزه رسوبی ۱	N12
۶۵.۶۰	۷.۷۰	۴۴.۷۰	۴۵.۰۰-۵۵.۰۰	N ۲۵° ۱۲' ۲۵"	E ۶۱° ۲۹' ۰۰"			N13
۶۵.۶۰	۷.۷۰	۴۴.۷۰	۹۰.۰۰-۱۱۰.۰۰	N ۲۵° ۱۲' ۲۵"	E ۶۱° ۲۹' ۰۰"	کانال پرورش میگو	مغزه رسوبی ۲	N14
۵۸.۹۰	۸.۰۶	۳۹۶۰	۰.۰۰-۵.۰۰	N ۲۵° ۰۸' ۳۱"	E ۶۱° ۲۸' ۵۱"			N15
۵۸.۹۰	۸.۰۶	۳۹۶۰	۲۵.۰۰-۳۰.۰۰	N ۲۵° ۰۸' ۳۱"	E ۶۱° ۲۸' ۵۱"	کانال پرورش میگو	مغزه رسوبی ۲	N16
۵۸.۹۰	۸.۰۶	۳۹۶۰	۴۵.۰۰-۵۵.۰۰	N ۲۵° ۰۸' ۳۱"	E ۶۱° ۲۸' ۵۱"			N17
۶۴.۴۰	۷.۳۲	۴۳.۹۰	۰.۰۰-۵.۰۰	N ۲۵° ۰۹' ۵۱"	E ۶۱° ۲۹' ۳۳"	جنگل حرا	مغزه رسوبی ۳	N18
۶۴.۴۰	۷.۳۲	۴۳.۹۰	۴۵.۰۰-۵۵.۰۰	N ۲۵° ۰۹' ۵۱"	E ۶۱° ۲۹' ۳۳"			N19
۶۴.۴۰	۷.۳۲	۴۳.۹۰	۹۰.۰۰-۱۱۰.۰۰	N ۲۵° ۰۹' ۵۱"	E ۶۱° ۲۹' ۳۳"	جنگل حرا	مغزه رسوبی ۴	N20
۵۸.۵۰	۷.۹۰	۳۹.۳۰	۰.۰۰-۵.۰۰	N ۲۵° ۱۰' ۰۶"	E ۶۱° ۲۹' ۳۵"			N21
۵۸.۵۰	۷.۹۰	۳۹.۳۰	۴۵.۰۰-۵۵.۰۰	N ۲۵° ۱۰' ۰۶"	E ۶۱° ۲۹' ۳۵"	جنگل حرا	مغزه رسوبی ۴	N22
۵۸.۵۰	۷.۹۰	۳۹.۳۰	۹۰.۰۰-۱۱۰.۰۰	N ۲۵° ۱۰' ۰۶"	E ۶۱° ۲۹' ۳۵"			N23
۵۷.۰۰	۸.۰۹	۳۸.۱۰	۰.۰۰-۵.۰۰	N ۲۵° ۰۴' ۱۷"	E ۶۱° ۲۴' ۳۲"	ساحل ماسه ای پسابندر	مغزه رسوبی ۵	N24
۵۷.۰۰	۸.۰۹	۳۸.۱۰	۲۵.۰۰-۳۰.۰۰	N ۲۵° ۰۴' ۱۷"	E ۶۱° ۲۴' ۳۲"			N25
۵۷.۰۰	۸.۰۹	۳۸.۱۰	۴۵.۰۰-۵۵.۰۰	N ۲۵° ۰۴' ۱۷"	E ۶۱° ۲۴' ۳۲"	بین لیپار و بریس	ماسه بادی	N26
۵۷.۰۰	۸.۰۹	۳۸.۱۰	۴۵.۰۰-۵۵.۰۰	N ۲۵° ۱۳' ۳۷"	E ۶۰° ۵۷' ۰۹"			N27

۳. نتایج

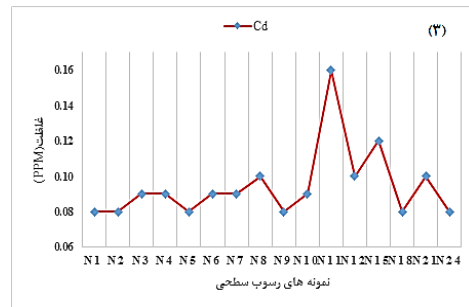
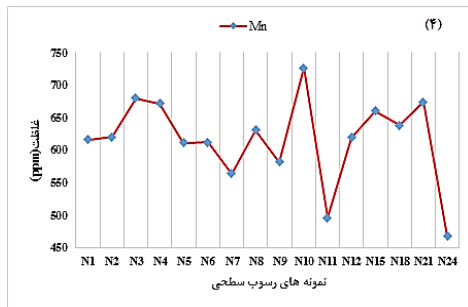
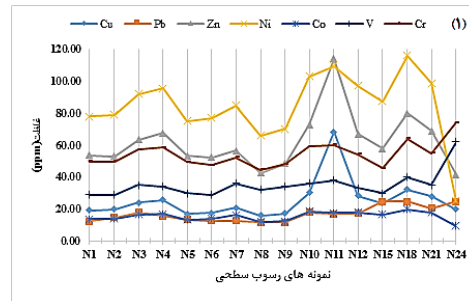
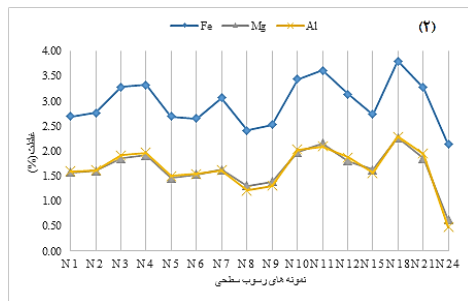
(نمونه N27) مقایسه شدند. در این پژوهش، نمونه N27 حاصل مخلوط کردن چند نمونه رسوب ماسه بادی است که در مسافت حدود ۱۵ کیلومتری از محدوده مورد مطالعه قرار دارد، و از هر گونه منابع آلاینده انسانزاد در منطقه دور، و نشان دهنده زمینه دست نخورده و بکر منطقه است. روند توزیع عناصر در نمونه های رسوب سطحی را می توان با استفاده از نمودارهای ترسیم شده در شکل ۲ بررسی کرد. به دلیل اختلاف زیاد غلظت ها، توزیع سطحی برخی عناصر بطور جداگانه رسم گردیده است.

آمار توصیفی عناصر موجود در رسوبات خلیج گواتر در جدول ۲ آورده شده است. این داده ها همچنین با عیار طبیعی عناصر زمینه طبیعی منطقه، و استاندارد های زیست محیطی مقایسه شده است. استفاده از غلظت های عنصری شیل میانگین (Turekian and Wedepohl, 1961) که معمولا به عنوان زمینه استفاده می شود، به دلیل تغییر پذیری زیاد غلظت زمینه طبیعی منطقه، برای تغییرات محلی ترکیب رسوبات خلیج گواتر مناسب نیست. بجای آن، غلظت های عنصری نمونه های رسوبی، با عیار طبیعی عناصر زمینه

جدول ۲. آمار توصیفی عناصر انتخابی موجود در نمونه های رسوب و مقایسه با نمونه های مرجع

Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	Cd	V	Cr	Mg	Al	عنصر واحد
PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	%	%	
۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۱.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۲.۰۰	۰.۵۰	۰.۰۱	۰.۰۱	حد آشکار سازی
۲۶.۰۰	۲۶.۰۰	۲۶.۰۰	۲۶.۰۰	۲۶.۰۰	۲۶.۰۰	۲۶.۰۰	۲۶.۰۰	۲۶.۰۰	۲۶.۰۰	۲۶.۰۰	۲۶.۰۰	۲۶.۰۰	تعداد نمونه در این مطالعه
۰.۳۱	۲۷.۲۲	۱۸.۴۲	۶۳.۷۸	۸۸.۰۳	۱۶.۱۸	۶۳۲.۱۲	۳.۰۴	۰.۱۰	۳۵.۰۰	۵۴.۷۴	۱.۶۷	۱.۷۰	میانگین
۰.۳۰	۱۰.۴۵	۷.۳۹	۱۶.۲۳	۲۶.۲۳	۳.۱۵	۵۹.۵۵	۰.۵۱	۰.۰۲	۶.۴۹	۸.۴۴	۰.۴۲	۰.۵۲	انحراف معیار
۰.۱۳	۱۵.۷۶	۱۱.۶۵	۳۰.۹۰	۲۵.۰۰	۹.۴۰	۴۶۷.۰۰	۱.۹۸	۰.۰۸	۲۶.۰۰	۳۱.۴۰	۰.۶۲	۰.۴۴	کمینه
۱.۳۱	۶۸.۱۷	۴۸.۰۰	۱۱۳.۹۰	۱۲۱.۷۰	۲۰.۶۰	۷۲۶.۰۰	۳.۸۰	۰.۱۶	۶۲.۰۰	۷۳.۹۰	۲.۲۶	۲.۳۵	بیشینه
۰.۴۷	۴.۱۶	۱۴۶۶	۶.۷۰	۱۰.۳۰	۸.۶۰	۳۱۸.۰۰	۱.۲۳	۰.۱۴	۱۷.۰۰	۹.۴۰	۱.۱۱	۰.۲۷	زمینه منطقه
۱.۳۰	۴۵.۰۰	۲۲.۰۰	۹۵.۰۰	۶۸.۰۰	۱۹.۰۰	۸۵۰.۰۰	۴.۸۰	۰.۱۳	۱۳۰.۰۰	۹۰.۰۰	۱.۶۰	۸.۰۰	شیل میانگین*
۰.۸۰	۸۱.۰۰	۰.۵۰	۷۸.۰۰	۱۴۴.۰۰	۴۵.۰۰	۱۲۰۰.۰۰	۷.۰۰	۰.۱۳	۲۵۲.۰۰	۳۱۷.۰۰	۴.۵۰		میانگین در پوسته اقیانوسی**

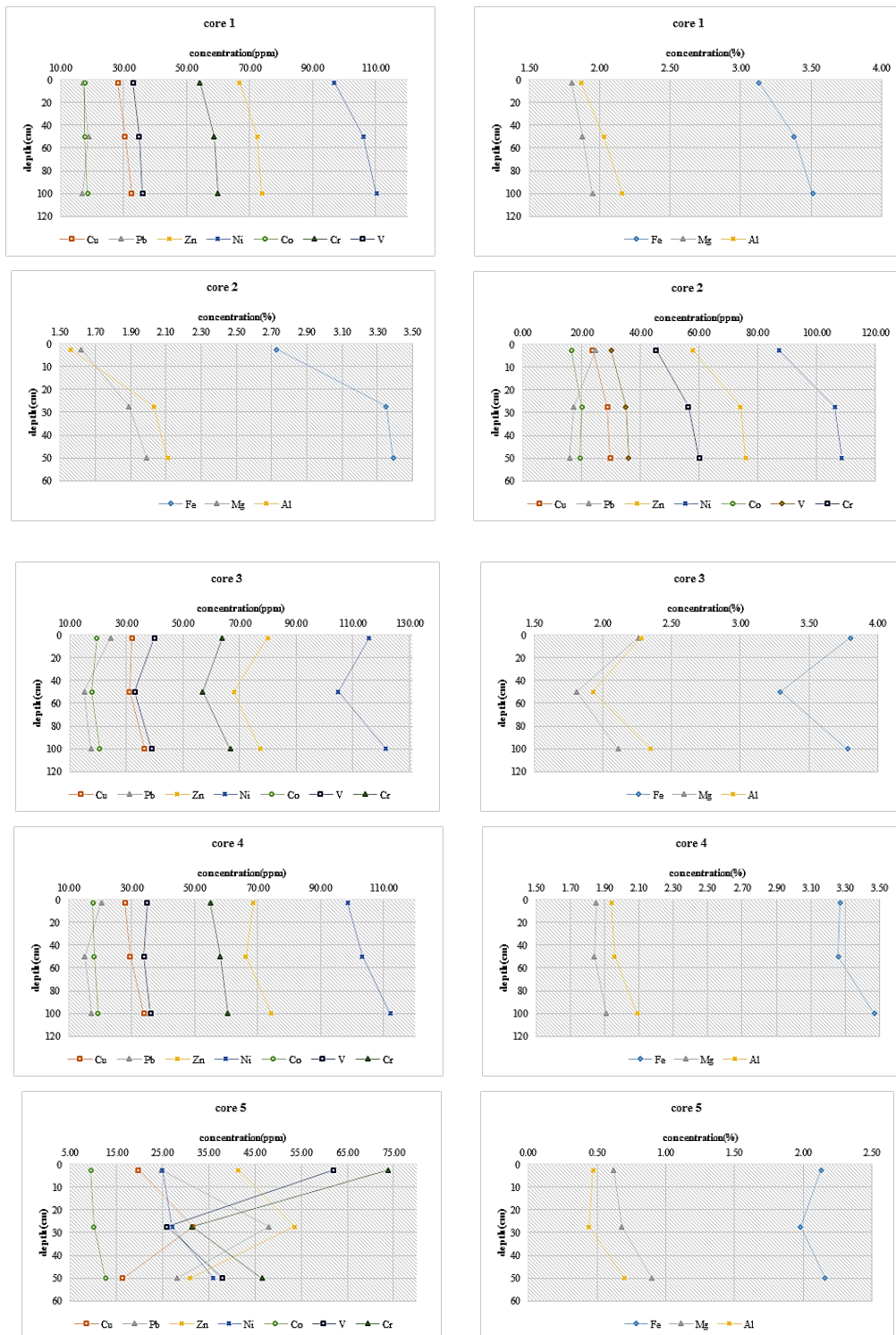
*Turekian and Wedepohl, 1961; **Merian et al., 2004



شکل ۲. توزیع سطحی (۱): مس، سرب، روی، نیکل، کبالت، وانادیم و کروم؛ (۲): آلومینیم، آهن و منیزیم؛ (۳): کادمیم؛ و (۴): منگنز

همبستگی در جدول ۳، می توان به روابط معنادار بین عناصر، و یا عناصر با کسر رس اندازه پی برد. مغزه های رسوبی معمولاً برای مطالعه پیشینه آلودگی بوم سامانه های آبگین، مورد استفاده قرار می گیرند (Lopez and Luch, 2000). شکل ۳ روند تغییرات عمقی غلظت فلزات در مغزه های رسوبی را نشان میدهد.

اگرچه ضرایب همبستگی، تغییر توأم مشاهده شده بین متغیرها را تعیین می کند، اما مدرکی برای رابطه علت و معلولی بین دو متغیر فراهم نمی کند. همبستگی داده ها به خاطر نرمال نبودن آنها به روش اسپیرمن، و با استفاده از نرم افزار آماری SPSS 20 تعیین، و ماتریس همبستگی عناصر رسم گردید. با مقایسه ضرایب



شکل ۳. نمودارهای توزیع عناصر در مغزه های رسوبی

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین عناصر و کسر ریزدانه رسوب در نمونه های سطحی

Parameters	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Cd	V	Cr	Fe	Mg	Al	clay
clay	۰.۱۸	۰.۸۴**	۰.۶۷*	۰.۷۹**	۰.۸۰**	۰.۸۳**	۰.۴۸	۰.۱۳	۰.۴۸	۰.۶۸*	۰.۸۰**	۰.۸۰**	۰.۸۰**	۱.۰۰
Al	۰.۰۷	۰.۸۹**	۰.۳۹	۰.۹۵**	۰.۹۷**	۰.۹۳**	۰.۴۸	۰.۲۷	۰.۴۰	۰.۶۳*	۰.۹۹**	۰.۹۹**	۱.۰۰	
Mg	۰.۱۷	۰.۹۰**	۰.۴۶	۰.۹۷**	۰.۹۸**	۰.۹۵**	۰.۵۱*	۰.۳۵	۰.۴۲	۰.۵۹*	۰.۹۹**	۱.۰۰		
Fe	۰.۱۳	۰.۸۸**	۰.۴۳	۰.۹۶**	۰.۹۶**	۰.۹۳**	۰.۴۸	۰.۲۸	۰.۴۴	۰.۶۳*	۱.۰۰			
Cr	۰.۳۴	۰.۷۵**	۰.۶۱*	۰.۵۶*	۰.۵۵*	۰.۵۱*	۰.۰۵	-۰.۱۰	۰.۸۱**	۱.۰۰				
V	۰.۶۳*	۰.۶۱*	۰.۵۳*	۰.۴۲	۰.۴۰	۰.۳۶	-۰.۰۷	۰.۰۷	۱.۰۰					
Cd	۰.۴۱	۰.۴۰	۰.۱۸	۰.۴۱	۰.۴۰	۰.۳۸	۰.۲۴	۱.۰۰						
Mn	-۰.۱۲	۰.۳۴	۰.۳۳	۰.۴۵	۰.۴۹	۰.۵۶*	۱.۰۰							
Co	۰.۰۰	۰.۹۰**	۰.۵۱*	۰.۹۳**	۰.۹۸**	۱.۰۰								
Ni	۰.۰۹	۰.۹۳**	۰.۴۹	۰.۹۸**	۱.۰۰									
Zn	۰.۱۶	۰.۹۰**	۰.۴۷	۱.۰۰										
Pb	۰.۳۵	۰.۶۷**	۱.۰۰											
Cu	۰.۳۱	۱.۰۰												
Mo	۱.۰۰													

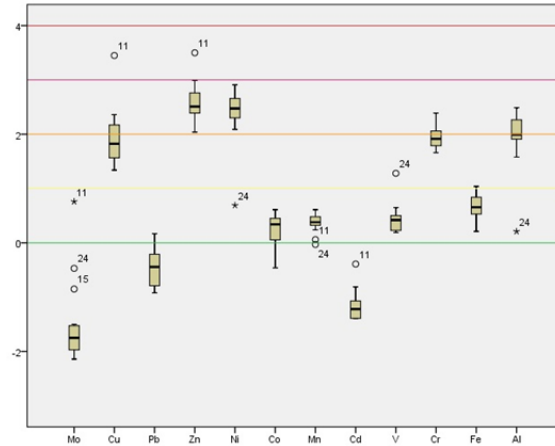
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

زمینه طبیعی منطقه (Bn) محاسبه، و نمودارهای جعبه ای حاصل از ضرایب I_{geo} با استفاده از نرم افزار SPSS 20 ترسیم شد (شکل ۴). ضریب ۱/۵ برای موازنه کردن تغییرات احتمالی در داده های زمینه در نتیجه تغییرات بعد از رسوب گذاری است.

شاخص زمین-انباشت (I_{geo}) با استفاده از معادله $I_{geo} = \log_2 C_n / 1.5 \times B_n$ محاسبه می شود. بر این اساس، هفت رده آلودگی (جدول ۴) را می توان در نظر گرفت (Muller, 1979). مقدار I_{geo} برای عناصر مورد مطالعه در رسوبات سطحی خلیج گواتر، با استفاده از داده های زمین شیمیایی نمونه ها (Cn) و غلظت های عنصری

جدول ۴. رده های شاخص زمین-انباشت

وضعیت آلودگی	گستره	رده
عملا غیر آلوده	$I_{geo} \leq 0$	۰
غیر آلوده تا آلودگی متوسط	$0 < I_{geo} < 1$	۱
آلودگی متوسط	$1 < I_{geo} < 2$	۲
آلودگی متوسط تا شدید	$2 < I_{geo} \leq 3$	۳
آلودگی شدید	$3 < I_{geo} < 4$	۴
آلودگی شدید تا بی نهایت آلوده	$4 < I_{geo} < 5$	۵
بی نهایت آلوده (آلودگی بیشینه)	$I_{geo} \geq 5$	۶



شکل ۴. ضریب زمین انباشت عناصر مورد مطالعه بر اساس زمینه طبیعی

فلزات سنگین در یک ناحیه خاص استفاده می شود. در این معادله، $Eri = \text{خطر بالقوه بوم شناختی}$ ، $Tr^i = \text{ضریب سمناکي-پاسخ برای یک ماده مشخص}$ ، و $CF^i = \text{آلودگی بر اساس معادله } CF = C_s / C_b \text{ است که } C_s = \text{غلظت عنصر در نمونه رسوب}$ ، و $C_b = \text{غلظت عنصر در زمینه طبیعی است}$. شاخص بار آلودگی (PLI) برای نمونه های رسوب سطحی، به روش پیشنهادی Tomlinson et al., (1980)، و با استفاده از معادله $PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{1/n}$ محاسبه، و نتایج به دست آمده در جدول ۷ ارائه شده است. در این معادله $PLI = \text{شاخص بار آلودگی}$ ، $n = \text{تعداد فلزات بررسی شده}$ ، و $CF = \text{ضریب آلودگی است}$.

خطر بالقوه بوم شناختی (Eri) یک آلاینده خاص، بر طبق معادله $Eri = Tr^i \times CF^i$ محاسبه می شود. از Tr^i (ضریب سمناکي-پاسخ) می توان به عنوان یک ابزار تشخیصی برای ارزیابی وضعیت فلزات سنگین در رسوبات سطحی استفاده کرد (Hakanson, 1980). مقادیر Tr^i برای فلزات سنگین در جدول ۵ آورده شده است. برای توصیف خطر بالقوه بوم شناختی، و ضریب ریسک (RI) از اصطلاحات فنی جدول ۶ استفاده می شود (Hakanson, 1980). مجموع خطرات بالقوه بوم شناختی (یا ضریب ریسک = RI) با استفاده از معادله $RI = \sum Eri = \sum Tr^i \times CF^i$ محاسبه، و نتایج بدست آمده در جدول ۷ ارائه شده است. این روند برای ارزیابی خطرات بوم شناختی ایجاد شده در اثر آلودگی انسانزاد

جدول ۵. ضریب سمناکي-پاسخ (Tri) فلزات سنگین (Hakanson, 1980)

Element	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cd	Cr
Tri	۵	۵	۱	۵	۵	۳۰	۲

جدول ۶. اصطلاحات فنی بیان کننده میزان خطر بالقوه بوم شناختی نمونه های رسوب سطحی (Hakanson, 1980)

$RI < 150$	$Eri < 40$	ریسک بالقوه بوم شناختی پایین
$150 \leq RI < 300$	$40 \leq Eri < 80$	ریسک بالقوه بوم شناختی متوسط
$300 \leq RI < 600$	$80 \leq Eri < 160$	ریسک بالقوه بوم شناختی قابل ملاحظه
$RI \geq 600$	$160 \leq Eri < 320$	ریسک بالقوه بوم شناختی بالا
	$Eri \geq 320$	ریسک بالقوه بوم شناختی بسیار بالا

جدول ۷. خطر بالقوه بوم شناختی، مجموع ریسک ها، و شاخص بار آلودگی در هر ایستگاه نمونه برداری

	Er Cu	Er Pb	Er Zn	Er Ni	Er Co	Er Cd	Er Cr	RI	PLI
N1	۲۳.۱۴	۴.۲۲	۸.۰۱	۳۷.۸۲	۷.۹۱	۱۷.۱۴	۱۰.۵۳	۱۰۸.۷۷	۱.۸۰
N2	۲۳.۶۵	۵.۰۳	۷.۹۱	۳۸.۲۵	۸.۲۰	۱۷.۱۴	۱۰.۵۵	۱۱۰.۷۴	۱.۸۳
N3	۲۸.۷۱	۶.۰۵	۹.۴۶	۴۴.۵۶	۹.۶۵	۱۹.۲۹	۱۲.۱۷	۱۲۹.۹۰	۲.۱۳
N4	۳۰.۷۶	۵.۳۱	۱۰.۰۹	۴۶.۳۶	۹.۸۸	۱۹.۲۹	۱۲.۴۰	۱۳۴.۰۹	۲.۱۶
N5	۲۰.۲۳	۴.۵۱	۷.۹۳	۳۶.۳۶	۷.۶۷	۱۷.۱۴	۱۰.۵۱	۱۰۴.۳۵	۱.۷۶
N6	۲۱.۱۸	۴.۳۲	۷.۷۹	۳۷.۳۸	۸.۰۸	۱۹.۲۹	۱۰.۰۶	۱۰۸.۱۰	۱.۸۰
N7	۲۴.۷۸	۴.۳۷	۸.۴۳	۴۱.۱۲	۹.۳۶	۱۹.۲۹	۱۱.۱۵	۱۱۸.۴۹	۱.۹۳
N8	۱۸.۹۴	۳.۹۷	۶.۳۶	۳۲.۰۴	۷.۰۳	۲۱.۴۳	۹.۴۷	۹۹.۲۴	۱.۷۱
N9	۲۰.۸۱	۴.۰۴	۷.۱۹	۳۴.۰۳	۷.۲۱	۱۷.۱۴	۱۰.۲۱	۱۰۰.۶۳	۱.۷۳
N10	۳۶.۳۸	۶.۰۳	۱۰.۸۴	۴۹.۹۵	۱۰.۸۱	۱۹.۲۹	۱۲.۵۷	۱۴۵.۸۸	۲.۲۷
N11	۸۱.۹۴	۵.۷۲	۱۷.۰۰	۵۳.۱۱	۱۰.۱۷	۳۴.۲۹	۱۲.۷۹	۲۱۵.۰۱	۳.۸۵
N12	۳۴.۰۰	۵.۸۴	۹.۹۹	۴۷.۰۴	۱۰.۳۵	۲۱.۴۳	۱۱.۵۳	۱۴۰.۱۷	۲.۰۸
N15	۳۶.۶۶	۶.۴۷	۱۰.۸۱	۵۱.۴۶	۱۰.۳۵	۲۱.۴۳	۱۲.۴۹	۱۴۹.۶۶	۲.۱۹
N18	۳۸.۵۹	۸.۳۷	۱۱.۹۳	۵۶.۲۱	۱۱.۴۵	۱۷.۱۴	۱۳.۶۲	۱۵۷.۳۱	۲.۳۶
N21	۳۳.۵۹	۶.۹۵	۱۰.۲۵	۴۷.۸۲	۱۰.۲۹	۲۱.۴۳	۱۱.۷۰	۱۴۲.۰۴	۲.۲۴
N24	۲۳.۶۹	۸.۴۲	۶.۱۸	۱۲.۱۴	۵.۴۷	۱۷.۱۴	۱۵.۷۲	۸۸.۷۶	۱.۶۶

۴. بحث و نتیجه گیری

به صورت فرا رفت سطحی از دریای عمان به خلیج فارس، و آب شور و چگال خلیج فارس به صورت خطوط هم شور و هم دما به دریای عمان وارد می شود. این پدیده در سواحل دریای عمان سبب انتقال آب سرد (غنی از اکسیژن) اعماق اقیانوس هند به سطح می شود (Satoko and Motoyoshi, 2007)، و نقش مهمی در باوری زیست شناختی، اکسایش آهن و منگنز، و تشکیل اکسی هیدروکسیدهای آریخت آهن و منگنز، که نقش مهمی در جذب سطحی فلزات سنگین دارند، ایفا می کند. همچنین، فضولات آبریان، و بقایای آنها پس از مرگ موجب افزایش مواد آلی در سواحل خلیج می شود، که از عوامل مهم جذب سطحی فلزات سنگین است. از سوی دیگر، انتقال کسر رس انداز از اعماق دریا به نزدیکی سواحل، که ممکن است حاوی فلزات سنگین باشد، به افزایش بار فلزی خلیج کمک می کند. دو پارامتر شوری و pH آب، بیشترین تأثیر را بر تغییرات غلظت فلزات موجود در رسوبات دارند (Simpson and Batley, 2003). pH قلیایی خلیج برای تشکیل اکسی - هیدروکسیدهای آریخت آهن، که نقش مهمی در جذب سطحی فلزات سنگین دارند، مناسب است. کاهش در شوری، و بالتبع EC رسوبات ممکن است به ضرایب تفکیک مختلف (نسبت بین فلز در رسوب و آب بین-

با مقایسه داده های حاصل از میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه های رسوبی با زمینه طبیعی منطقه مشخص می گردد که میانگین غلظت فلزات سنگین مس، روی، سرب، نیکل، و کبالت در خلیج، بیش از زمینه طبیعی منطقه بوده، و نشان دهنده منشأ متفاوت آنها است. علاوه بر این، میانگین غلظت عناصر در خلیج گواتر، کمتر از میانگین عناصر در پوسته اقیانوسی و شیل میانگین است. تنها تفاوت، به میانگین غلظت فلز نیکل ($۸۸/۰۳\text{ppm}$) مربوط می شود که بیش از غلظت آن در شیل میانگین (۶۸ppm) است. همچنین، غلظت سرب در میانگین پوسته اقیانوسی ($۰/۵\text{ppm}$) بسیار کمتر از میانگین سرب نمونه ها ($۱۸/۴۲\text{ppm}$) است. پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب مانند شوری، EC و pH (جدول ۱) عوامل مهمی هستند که می توانند باعث تغییر غلظت فلزات بین آب و رسوب شوند. با توجه به پدیده جریانهای موسمی در منطقه، ممکن است علت بالا بودن غلظت فلزات در فصل تابستان پدیده فراشاری باشد، چرا که جریانهای موسمی سبب انتقال حجم عظیمی از آب می شود. بر اثر این پدیده، تبادل آب بین خلیج فارس و دریای عمان، به صورت لایه های وارونگی دما و هیدرواستاتیک رخ می دهد. سپس، بخشی از آب

تعمیر و نگهداری شناورهای دریایی، و ورود فاضلاب های انسانی، حجم زیادی از منابع آلاینده آلی مثل روغن و سوخت قایق ها و لنج های دریایی، که حاوی فلزات سنگین ناشی از سایش و خوردگی طولانی مدت قطعات موتور می باشند وارد آب شده، و شرایط کاهشی و بی اکسیژنی را در رسوبات این ناحیه ایجاد می کنند (رضایی و همکاران، ۱۳۸۹). فلزاتی مانند سرب، مس و روی می توانند با جزء آلی رسوب پیوند تشکیل داده و جذب آن شوند. لایه های رسوبی تیره رنگ سرشار از ذرات فلزی در سواحل این ناحیه به خوبی قابل مشاهده امروزه استفاده از رنگ های ضد رسوب گیر^۱ حاوی مس و روی در بدنه شناورهای دریایی، برای زدایش گل و لای و موجوداتی مانند کشتی چسب^۲، بسیار مرسوم است، به گونه ای که این دو عنصر، فلزات اصلی استفاده شده در این ترکیبات است (Denton et al., 2001). بنابراین، ترکیبات شیمیایی استفاده شده در بدنه شناورها می-تواند از عوامل عمده منشأ انسانی فلزات مس و روی باشد. همچنین، فلزاتی مانند سرب در رنگ های تزئینی استفاده می شود (Siegel, 2002)، که استفاده از این رنگها در بدنه و قطعات داخلی شناورها کاربرد دارد، و می تواند منشأ انسانزاد سرب در خلیج باشد.

رسوبات جنگل کرنا معمولاً بی هوازی و در تماس با آب هستند، و ماده آلی و محتوای سولفیدی بالایی دارند (Machado et al., 2002). این رسوبات ظرفیت بالایی برای جذب فلزات سنگین از آب های میان کشندی، رودخانه های آب شیرین، و رواناب های سطحی داشته و اغلب فلزات سنگین را در خود جای می دهند (Harbison, 1986). بیشتر فلزات سنگین در محیط های کاهشی انحلال ناپذیرند، و به سرعت جذب کلوئیدها می شوند (Eby, 2004). بنابراین، فلزاتی مانند سرب که در نمونه N18 (پهنه های گلی جنگل حرا)

منفذی) فلزات سنگین منجر شود، اما به چند فرآیند غالب مثل تحرک فلزات از راه تشکیل کمپلکس با آنیون های آب دریا (SO_4^{2-} , Cl^-) بستگی دارد، به عبارت دیگر، تغییر شوری نقش عمده ای در توزیع فلزات در رسوبات دارد (Chapman and Wang, 2001). با افزایش شوری، غلظت آنیون هایی مثل سولفات و کلرید افزایش می یابد. فلزات سنگین مانند سرب، میل ترکیبی بالایی با این آنیون ها داشته، و پس از اتصال رسوب می کنند. مقایسه نتایج شوری و EC در ایستگاههای مختلف نشان می دهد که کمترین شوری، EC، و غلظت فلزات سنگین مربوط به رسوبات بستر خلیج است. بنابراین، همانگونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، غلظت فلزات سنگین در بیشتر ایستگاه های مربوط به بستر خلیج، کمتر از سایر ایستگاه ها است. توزیع عناصر در نمونه های رسوب سطحی نشان می دهد که بالاترین غلظت عناصر مس (۶۸/۱۷ppm)، روی (۱۱۳/۹ppm)، و کادمیم (۰/۱۶ppm)، مربوط به نمونه های برداشته شده از اسکله پسابندر، و وانادیم (۶۲ppm) و کروم (۷۳/۹ppm) مربوط به ساحل ماسه ای پسابندر است. همچنین، غلظت عناصر آهن (۳/۶۱٪) و نیکل (۱۰۹/۴ppm) نیز در این ناحیه از خلیج بالا است.

بیشترین غلظت Al، Fe، Ni، و Co متعلق به یکی از نمونه های سطحی جنگل حرا (N18) است. در بین نمونه های بستر خلیج، نمونه N10 بیشترین غلظت Mn را دارد. غلظت سایر نمونه های بستر خلیج، پایین تر است. بالاترین غلظت عنصر سرب در نمونه های سطحی ۲۴/۷ ppm است که مربوط به دو نمونه ساحل ماسه ای پسابندر (N24)، و کانال پرورش میگو (N15) می شود. در بین نمونه های رسوب سطحی، نمونه های N11 و N18 (ناحیه پسابندر و پهنه های گلی جنگل حرا) غلظت بالاتری از فلزات سنگین، بویژه سرب، مس، روی و نیکل داشتند. با توجه به فعالیت های انسانی همچون

1. Antifouling paints

2. Barnacle

توسط هیدروکسید های آهن نسبت به هیدروکسید منگنز می تواند ناشی از حضور فراوان آهن در سنگ های الترابازیک (به عنوان جزئی از واحدهای افیولیتی) باشد. از طرفی، پتانسیل مورد نیاز تبدیل آهن دو ظرفیتی به حالت فریک، و یا ترکیبات هیدروکسیدی و سه ظرفیتی آهن، بسیار پایین تر از پتانسیل مورد نیاز برای تبدیل منگنز به هیدروکسیدهای منگنز است. همبستگی بسیار زیاد کبالت، نیکل و آهن با منیزیم می تواند ناشی از شباهت بار و شعاع این عناصر با منیزیم باشد، و بنابراین باید در کانی های منیزیم به صورت استتار شده حضور داشته باشند. نسبت این عناصر به منیزیم، در بلورهای که در ابتدای تفریق ماگمایی تشکیل می شوند (به ویژه الیوین) در بیشترین حد خود است. نیکل در بین یون های دوظرفیتی رایج، دارای قوی ترین انرژی پایداری میدان بلوری بوده، و بنابراین به طور موفقیت آمیزی با یون های دوظرفیتی Mg و Fe برای اشغال مواضع هشت وجهی بلوری رقابت می کند (Mason and Moore, 1982). از آنجا که واحدهای افیولیتی و آمیزه های رنگین بخش عمده ای از واحدهای سنگی منطقه مکران را تشکیل می دهند، همبستگی بالا بین آهن، منیزیم، کروم، نیکل و کبالت می تواند ناشی از هوازگی این واحدهای سنگی باشد، که به صورت محلول و یا همراه با کسر رس اندازه توسط رودخانه باهوکلات به خلیج گواتر انتقال یافته اند. ضرایب همبستگی منفی نشان دهنده این است که رابطه معناداری بین عناصر، و عناصر با کسر رس اندازه وجود ندارد، بنابراین، نمی توان منشأ و یا رفتار زمین - شیمیایی مشترکی برای آنها در نظر گرفت.

بررسی نمودارهای توزیع عمقی فلزات نشان می دهد که غلظت فلزات مس، روی، نیکل، کبالت، وانادیم و کروم در مغزه های ۱ و ۲ از سطح به عمق افزایش می یابد، و روند مشابهی دارند. همین روند در مغزه ۴ برای همه عناصر فوق به جز Zn و V صادق است. در مغزه ۳،

غلظت بالایی دارد، از ظرفیت بالای گل های حرا برای جذب این فلز ناشی می شود.

همبستگی مثبت بین آلومینیم با کروم، نیکل، کبالت و آهن وجود دارد که احتمالاً به دلیل منشأ و رفتار زمین شیمیایی مشابه این عناصر، و قرار گرفتن آنها در گروه یون های نامتحرک (عناصر هیدرولیزات) است. همبستگی کروم و وانادیم نیز می تواند به همین دلیل باشد. مس و روی از نظر پتانسیل شیمیایی در گروه کاتیون های محلول قرار می گیرند (Siegel, 2002). علاوه بر آن، این دو عنصر در اسکله پسابندر غلظت بالاتری داشته، و احتمالاً از یک منبع مشترک (احتمالاً ناشی از فعالیت های انسان زاد در این ناحیه از خلیج، به ویژه رنگ های ضد رسوب گیر در بدنه شناورها) وارد خلیج شده اند. مس و روی با آهن همبستگی بالا دارند، که بیانگر جذب سطحی این دو عنصر توسط اکسی - هیدروکسیدهای آریخت آهن است، و به دلیل اینکه آهن با کسر رس اندازه همبستگی دارد، در نتیجه مس و روی نیز با کسر رس اندازه همبستگی دارند. حضور احتمالی کانی های رسی در کسر رس اندازه به عنوان ذراتی با کارایی بالا، می تواند در جذب عناصر سمناک قابل توجه باشد. همبستگی زیاد Al با کسر رس اندازه رسوب، و همچنین با عناصر Cu و Zn ممکن است بدین دلیل باشد که Al جزء اصلی کلوئیدها، و کانی های آلومینوسیلیکاتی مانند رس ها است، و حضور روی و مس در ساختار کسر رس اندازه، و یا در صورت وجود کانی های رسی و کلوئیدها در کسر رس اندازه، جذب بر روی سطح این کانی ها، سبب این همبستگی شده است. به همین ترتیب، همبستگی زیاد کسر ریزدانه با آهن، منیزیم، نیکل، و کبالت می تواند به دلیل حضور این عناصر در ساختار کسر رس اندازه باشد.

همبستگی بالای آهن با عناصر Cu و Zn احتمالاً ناشی از جذب سطحی این عناصر بوسیله هیدروکسیدهای آهن است. بیشتر بودن جذب سطحی فلزات سنگین

دو مغزه ۳ (پهنه های گلی جنگل حرا) و ۵ (ساحل ماسه ای پسابندر)، بیشترین تمرکز را دارند. ضرایب زمین انباشت نشان می دهد که Igeo برای کادمیم و سرب کمتر از صفر، و فاقد آلودگی است. شاخص زمین انباشت برای کبالت، منگنز، وانادیم، آهن و نیکل در نمونه N24 بین صفر و یک، و نشانگر عدم آلودگی تا آلودگی متوسط است. مس (به جز نمونه N11)، کروم و آلومینیم در برخی نمونه ها آلودگی متوسط، و در برخی دیگر آلودگی متوسط تا شدید نشان می دهند. همچنین، روی و نیکل (به جز نمونه N24) در همه نمونه ها آلودگی متوسط تا شدید نشان می دهند. روی و مس در نمونه N11، آلودگی شدید نشان می دهند، و بیشینه Igeo را دارند. شاخص زمین انباشت بیشتر عناصر در نمونه N11 بالاتر است، و نشانگر آلودگی بیشتر این ایستگاه در مقایسه با سایر ایستگاه ها است.

نتایج محاسبه شاخص خطر بالقوه بوم شناختی نشان می دهد که عناصر مس، روی و کادمیم در اسکله پسابندر (نمونه N11)، سرب، نیکل و کبالت در پهنه های گلی جنگل حرا (نمونه N18)، و سرب و کروم در ساحل ماسه ای پسابندر (نمونه N24) بیشترین خطر بالقوه بوم شناختی را دارند. این روند بویژه برای مس، روی و کادمیم در اسکله پسابندر برجسته است. بر اساس جدول ۶، Er مس در ایستگاه N11 بیش از ۸۰ بوده، و خطر بالقوه بوم شناختی قابل ملاحظه دارد. همچنین، مقدار Er برای نیکل در ایستگاه N18 در گستره ۴۰ تا ۸۰ قرار دارد، و خطر بالقوه بوم شناختی متوسط دارد. همچنین، نتایج تغییرات ضریب ریسک و شاخص بار آلودگی ایستگاه های مطالعه شده در این پژوهش نشان می دهد که بالاترین مقدار RI و PLI مربوط به اسکله پسابندر است. از سوی دیگر، بر اساس جدول ۶، مقدار RI در دو ایستگاه N11 و N18 در گستره ۱۵۰ تا ۳۰۰ قرار دارد، و ضریب ریسک متوسط

غلظت فلزات مذکور در عمق ۵-۰ cm بیش از غلظت آنها در عمق ۴۵-۴۰ cm است. این غلظت ها در عمق ۹۰-۱۱۰ cm مجددا افزایش می یابد. این اختلاف، بویژه برای نیکل برجسته تر است، و ممکن است ناشی از ورود نیکل در نتیجه هوازدگی سنگ های افیولیتی باشد. غلظت دو فلز نیکل و کبالت در همه مغزه ها در عمق ۱۰۰ cm بیش از سایر عمق ها است. توزیع عمقی Pb در مغزه ها با سایر فلزات سنگین اندکی تفاوت دارد. بیشترین غلظت سرب مربوط به مغزه ۵ (ساحل ماسه ای پسابندر) است، و عمق ۳۰-۲۵ cm این مغزه بیشترین آلودگی سرب (۴۸ ppm)، و همچنین وانادیم و کروم منطقه را نشان می دهد. این در حالی است که بیشترین آلودگی سرب در مغزه های ۲، ۳ و ۴ در عمق ۵-۰ cm است. در همه مغزه های رسوبی، روند تغییرات عمقی بیشتر فلزات سنگین، شبیه به آهن، منیزیم و آلومینیم است، و نشان می دهد که فلزات سنگین می توانند جزئی از ساختار کسر رس اندازه باشند، و یا بر روی سطح کانی های رسی، اکسی هیدروکسیدهای آهن، و یا مواد آلی در کسر رس اندازه جذب شده باشند. این روند بویژه برای مس، روی، نیکل و کبالت صادق است. روند مشابه توزیع عمقی فلزات سنگین و آهن ممکن است بازتاب اکسایش آهن دوظرفیتی، تشکیل اکسی هیدروکسیدهای آهن سه ظرفیتی، و جذب سطحی فلزات سنگین بر روی سطح کانی های آریخت آهن سه ظرفیتی باشد. این نکته را نیز باید در نظر داشت که با توجه به وجود جریانهای موسمی، مغزه گیری تا عمق ۱۰۰ سانتیمتری ممکن است به تحلیل های درست زمین شیمیایی توزیع عمقی فلزات سنگین منجر نشود، چراکه امواج شدید حاصل از بادهای موسمی باعث آشفته گی و بهم ریختگی رسوبات عمق های بالایی سواحل، و در نتیجه، تغییر روند عمقی فلزات سنگین می شود. در نهایت، با مقایسه غلظت های فلزی در مغزه های رسوبی مشخص گردید که بیشتر فلزات سنگین در

دارند. بنابراین، برنامه های پایشی ویژه ای برای کنترل آلودگی فلزات سنگین در نواحی مذکور، بویژه اسکله پسابندر ضروری به نظر می رسد.

بررسی غلظت های عنصری نمونه های رسوب در مناطق مختلف خلیج گواتر، مشخص کرد که دو ناحیه اسکله صیادی و تجاری پسابندر، و پهنه های گلی جنگل حرا بیشترین غنی شدگی فلزات سنگین را دارند. هوازگی واحدهای افیولیتی و آمیزه های رنگین سبب می شود عناصری مانند نیکل و کبالت بصورت محلول و یا همراه با کسر ریزدانه توسط رودخانه باهوکلات به خلیج گواتر منتقل شوند. از سوی دیگر، فعالیت های انسانی همچون تعمیر و نگهداری شناورهای دریایی، و تخلیه سوخت و روغن این شناورها که حاوی غلظت بالایی از فلزات سنگین است، و همچنین استفاده از رنگها و ترکیبات شیمیایی در بدنه این شناورها، بویژه رنگدانه های تزئینی دربردارنده سرب، و همچنین رنگهای ضد رسوبگیر حاوی مس و روی موجب آلودگی انسانزاد این مناطق شده است. هر دو عامل فوق سبب افزایش بار فلزی رسوبات نواحی مذکور شده است. همبستگی بالای کسر رس اندازه، آهن و فلزات سنگین نشانگر جذب فلزات بر روی سطح اکسی - هیدروکسیدهای آریخت آهن، و احتمالاً کانی های رسی موجود در کسر رس اندازه است، که نهایتاً به بالارفتن هرچه بیشتر غلظت های فلزی کل در رسوبات می انجامد. همچنین، شرایط کاهشی ایجاد شده در برخی ایستگاه ها، سبب جذب فلزات مس، سرب، روی بر روی سطح مواد آلی می شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از کارکنان ایستگاه پژوهشی دریایی عمان و اقیانوس هند - چابهار وابسته به مؤسسه ملی اقیانوس شناسی، معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز، مرکز پژوهشی زمین شناسی پزشکی دانشگاه شیراز، و بنیاد

ملی نخبگان به خاطر حمایت های مالی و آزمایشگاهی تشکر می کنند.

منابع

آذر نوید، ف. ۱۳۸۲. جنگل های مانگرو ایران و جهان با نگاهی اجمالی به جنگل های حرا خلیج گواتر، انتشارات کلام شیدا، تهران.

آقناباتی، ع. ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، وزارت صنایع و معادن، ۴۳۰ ص.

دانه کار، ا. و همکاران. ۱۳۸۵. شناسایی و پهنه بندی مناطق حساس ساحلی استان سیستان و بلوچستان، اداره کل منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان.

رضایی، ح.، بومری، م. حمزه، م. ع. ۱۳۸۹. بررسی آلودگی های زیست محیطی ناشی از فلزات سنگین در رسوبات ساحلی خلیج گواتر، نشریه علمی-پژوهشی اقیانوس شناسی.

زارعی، ا. ۱۳۷۳. بررسی مقدماتی هیدرولوژی و هیدروبیولوژی خلیج گواتر، انتشارات موسسه تحقیقات شیلات ایران، چابهار.

گلشنی، ع. ا.، چگینی، و.، تائبی، س. ۱۳۸۷. تحلیل حدی باد و موج به تفکیک جهت در دریاهاى ایران (دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان)، طرح پژوهشی مؤسسه ملی اقیانوس شناسی، ۳۳۹ ص.

Ahmad, M. K., Islam, S., Rahman, S., Haque, M. R. and Islam, M. M., 2010, Heavy Metals in Water, Sediment and Some Fishes of Buriganga River, Bangladesh. *Int. J. Environ. Res.*, 4(2), 321-332.

Akan JC, Abdurrahman FI, Sodipo OA, Ochanya AE, Askira YK, 2010, Heavy metals in sediments from River Ngada, Maiduguri Metropolis, Borno State, Nigeria. *J Environ Chem EcoToxicol* 2: 131-140.

Chapman PM, Wang F (2001) Assessing sediment contamination in estuaries. *Environ Toxicol Chem* 20: 3-22.

- Satoko, I., and Motoyoshi. O., 2007, Reconstruction of Indian monsoon variability over the past 230,000 years: planktic foraminiferal evidence from the NW per open ocean Upwelling area, *Marine Micropaleontology*, 63:143-154.
- Siegel, F.R., 2002. *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Silva, C.A.R., Rainbow. P.S., Smith. B.D., 2003, Biomonitoring of trace metal contamination in mangrove-lined Brazilian coastal systems using the oyster *Crassostrea rhizophorae*: comparative study of regions affected by oil, salt pond and shrimp farming activities, *Hydrobiologia* 501,199–206.
- Simpson, S. L. and Batley, G. E., 2003, Predicting metal toxicity in sediments: a critique of current approaches. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3:18-31.
- Szefer, P., Giasby. G.P., Penpkowiak. J., Kaliszan. R., 1995, Extraction studies of heavy metal pollutants in surficial sediments from the Southern Baltic Sea of Poland, *Chem, Geol*, 120:111-126.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R. and Jeffrey, D.W., 1980, Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoland Marine Research*, 33, 566-575.
- Turekian, K., Wedepohl. K., 1963, Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust, *Bulletin Geological Society of America*, 72, 175–192.
- Viguri, J. R., Irabien. M. J., Yusta. I., Soto. J., Gomez. J., Rodriguez. P., Martinez-Madrid. M., Irabien. J.A., Coz. A., 2007, Physico-chemical and toxicological characterization of the historic estuarine sediments, a multidisciplinary approach, *Environ. Int*, 33, 436–444.40.
- Wang, S., Jia, Y., Wang, S., Wang, X., Wang, H., Zhao, Z. and Liu, B., 2010, Fractionation of heavy metals in shallow marine sediments from Jinzhou Bay, China. *Journal of Environmental Sciences*, 22: 23-31. doi: 10.1016/S1001-0742(09)60070-X.
- Davis, C.A., Tomlinson. K., & Stephenson. T., 1991, Heavy metals in river tees estuary sediments, *Environ. Technol*, 12, 961-972.
- Denton, G.R.W., Bearden, B.G., Concepcion, L.P., Siegrist, H.G., Vann, D.T., Wood, H.R. 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., 2004, *Principles of environmental geochemistry*, Thomson, Ellis. S., & Mellor. A., New York.
- Faure, G., 1992, *Principles and application of inorganic geochemistry*, John Willey, 526p.
- Fu, F., Wang, Q., 2011. Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *J. Environ. Manage.* 92, 407–418.
- Hakanson, L., 1980, an ecological risk index for aquatic pollution control, a sediment logical approach. *Wat. Research*, 14, 975–1001.
- Harbison, P., 1986, Mangrove muds—a sink and a source for trace metals, *Marine Pollution Bulletin* 17, 246–250.
- Machado, W., Silva-Filho. E.V., Oliveira. R.R., Lacerda. L.D., 2002, Trace metal retention in mangrove ecosystems in Guanabara Bay, SE Brazil, *Marine Pollution Bulletin*, 44, 1277–1280.
- Mason, B., and Moore. B. C., 1982, *Principles of geochemistry*, John Wiley, New York, 344 p., 29.95.
- Merian, E., Anke. M., Ihnat. M., and Stoepler. M., 2004, *Elements and their compounds in the environment*, John Willey, 1170p.
- Muller, G., 1979, *Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins Veränderungen seit. Umschau*, 79 (24), 778-783 (6 pages).
- Okoro, H. K., Fatoki O. S., Adekola. F. A., Ximba B. J., and Snyman R. G., 2012, *A Review of Sequential Extraction Procedures for Heavy Metals Speciation in Soil and Sediments*, Open Access Scientific Reports, 181.
- Qiu, Y., Lin, D., Liu, J., Zeng, E.Y., 2011. Bioaccumulation of trace metals in farmed fish from South China and potential risk assessment. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 74, 284–293.

Surficial and vertical distribution of heavy metals in marine and intertidal sediments in the Iranian sector of Gowatr bay

Farid Moore¹, Mohammad Javad Nematollahi^{1*}, Behnam Keshavarzi¹, Mohammad Ali Hamzeh²

1. Department of Earth Sciences, College of Sciences, Shiraz University

2. Iranian national institute for oceanography-Tehran, Iran

Abstract

In order to identify natural and anthropogenic pollution in Gowatr bay (also gowadar bay), the distribution of heavy metals in the surface and different depths of marine and intertidal sediments was studied. For this purpose, 17 surficial sediment samples, and 5 sediment cores were collected, and compared with local background concentration. The results of surficial distribution of heavy metals indicate that maximum concentration of Copper and Zinc, Lead, and Nickel is related to Pasabandar harbor, sandy coast, and mudflats of Mangrove jungle, respectively. Calculated correlation coefficients indicate good positive correlation between Iron, clay fraction and potentially toxic metals, especially; Cu, Zn, Pb and Ni. Heavy metals distribution at depth was determined in five sediment cores. Sixty percent of sediment cores display surficial Pb enrichment, while Ni and Co are concentrated at depth. According to geo-accumulation factor (I_{geo}), zinc and copper show heavy contamination in Pasabandar harbor. Maximum PLI and RI are also related to Pasabandar harbor. Marine traffic, and ship yards activity at and close to Pasabandar harbor and mangrove jungle, along with weathering of ophiolites are apparently responsible for the observed elevated concentration of heavy metals in Gowatr bay.

Keywords: *heavy metal, surficial sediment, Gowatr bay, Pasabandar harbor, mangrove jungle*