اقیانوس‌شناسی/ سال ششم/ شماره ۲۲/ تابستان ۱۳۹۴/۱۰۶/۱۰-۹۷

مطالعه آلودگی فلزات سنگین رسوبات ساحلی جزیره هرمز و منشا آن‌ها

مهدی غلام دخت بندری[1*]، پیمان رضائی[2]

۱- کارشناسی ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه هرمزگان، استان هرمزگان، پست الکترونیکی: gholamdokht.bandari@yahoo.com

۲- استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، استان هرمزگان، پست الکترونیکی: peiman_rezaie@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۱۵ * نویسنده مسوول تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۱۰

© نشریه علمی ـ پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۴، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

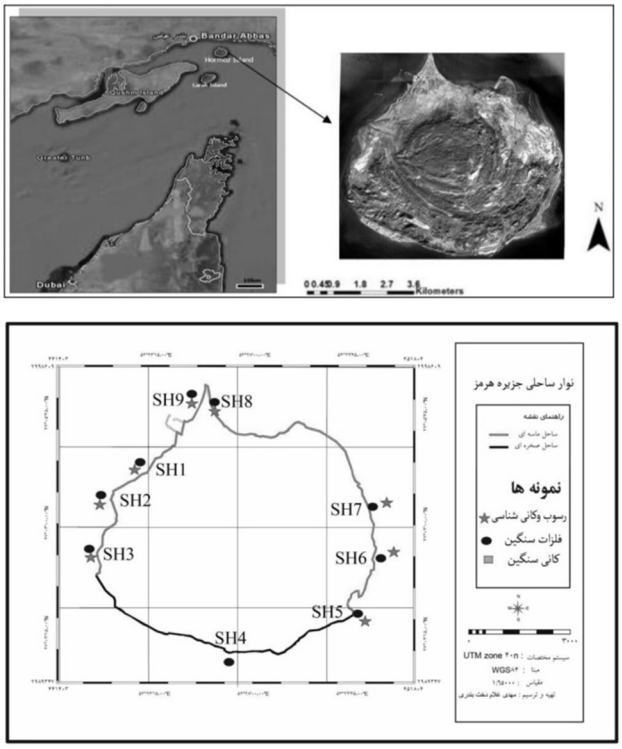
پراکندگی فلزات سنگین در انواع رسوبات از مباحث مهم و نوین در رسوب شناسی محیطی است. در این میان، آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از آن‌ها، اهمیت بسیار زیادی دارند. به منظور شناسایی آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از فلزات سنگین رسوبات ساحلی جزیره هرمز، ۹ نمونه از این رسوبات برداشت شد و مورد تجزیه و تحلیل ژئوشیمیایی به روش XRF (فلورسانس اشعه ایکس) قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که عناصر سرب، روی، مس، نیکل، آرسنیک، وانادیوم و کروم به ترتیب با مقدار میانگین (Mean±SD) ۵/۳۶±۱۴/۴۴، ۱۰/۶۷±۲۷/۷۷، ۲/۶۹±۶/۴۴، ۳/۲۵±۳۷/۱۱، ۱۷/۲۳±۳۳/۴۴، ۱۱/۷۶±۳۱/۱۲، ۱۲۶/۱۳±۱۶۳/۸۸ (برحسب ppm) در رسوبات موجود است. با محاسبه شاخص‌های مولر (Igeo)، ضریب غنی شدگی (EF)، ضریب آلودگی (CF)، فاکتور آلودگی (Cd) و درجه آلودگی اصلاح شده (mCd) و مقایسه مقدار عناصر نسبت به میانگین شیل و مقدار زمینه عناصر، مشخص شد که نوار ساحلی جزیره هرمز نسبت به عناصر نیکل، روی و مس فاقد آلودگی و نسبت به عناصر سرب، آرسنیک و کروم دارای آلودگی است. با محاسبه ضرایب همبستگی، تجزیه و تحلیل آنالیز خوشه‌ای مشخص می‌شود که منشا این عناصر فرسایش، واحدهای سنگی موجود در جزیره و فعالیت‌های انسانزاد است.

کلمات کلیدی: *آلودگی، فلزات سنگین، رسوبات ساحلی، جزیره هرمز.*

۱. مقدمه

رسوبات، محل نهایی تجمع فلزات سنگین در محیط آبی هستند، اما تحت شرایطی می‌توانند خود به عنوان منبع آلودگی در آب عمل کنند (Yu et al., 2001; Izquierdo et al, 1997). ناحیه‌های خوری و ساحلی، به عنوان مکان‌های ته نشینی بسیار مهمی برای آلاینده‌ها محسوب می‌شوند و این آلاینده‌ها می‌توانند روی رسوبات کف و موجودات تجمع پیدا کنند (Szefer et al., 1995). بنابراین خصوصیات ژئوشیمیایی رسوبات می‌تواند در شناسایی و تفسیر منبع آلودگی کمک قابل توجهی نماید (Forstner and Salomons, 1980; Fedo et al., 1996). فلزات سنگین گروهی از عناصر فلزی بوده که دارای جرم مخصوص بیش از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند (عرفانی منش و افیونی، ۱۳۸۱). از جمله این عناصر می‌توان به آلومینیوم،

آرسنیک، بریلیوم، کروم، کبالت، آهن، سرب، مس، جیوه، منگنز، بیسموت، کادمیم، نیکل، سلنیم، تالیوم، روی، قلع، تیتانیوم، کروم و آهن اشاره کرد. فلزات سنگین در چرخه ژئوشیمیایی خود در نهایت درون رسوبات انباشته شده و در مقادیر بالای حد مجاز، آثار مخرب زیست محیطی را بر جای می‌گذارند. این مهم در رسوبات ساحلی به خوبی مشهود است. در چند دهه گذشته محققان بسیاری به بررسی پراکندگی عناصر فلزی سنگین در رسوبات ساحلی پرداخته‌اند. برای ارزیابی کمی و کیفی آلودگی فلزات سنگین و منشا آنها، در محیط‌های آبی و ساحلی، روش‌های متفاوتی وجود دارد. یکی از روش‌های رایج کمی سازی آلودگی رسوبات، استفاده از شاخص‌های زیست محیطی است که تاکنون محققین متعددی کیفیت رسوبات را از نظر آلودگی با استفاده از این شاخص‌ها مورد ارزیابی قرار داده‌اند. در بسیاری از مطالعات در کشورهای مختلف جهان، برای تخمین سطوح آلودگی از این شاخص‌ها استفاده شده است (Liu et al., 2005; Gong et al., 2009). از مطالعات مشابه انجام گرفته در جهان و ایران می‌توان به پایش میزان آلودگی با استفاده از فلزات سنگین در رسوبات دریای مرمره (Algan et al., 1999)، محاسبه و ارزیابی خطر بوم‌شناختی با استفاده از فلزات سنگین و شاخص ژئوشیمیایی مولر در رسوبات سطحی خلیج ازمیر در شمال شرقی دریای مرمره اشاره نمود. طبق نتایج حاصل، کبالت، مس و نیکل دارای Cf[1] کمتر از ۱ (غیرآلوده) بودند و کادمیوم، سرب و روی، Cf بین ۱ و ۳ (آلودگی متوسط) را نشان می‌دادند. حمزه و همکاران (۱۳۹۳) به مطالعه و بررسی ژئوشیمیایی منشا و اثرات آلودگی فلزات سنگین در بنادر صیادی رمیس و بریس دریای عمان با استفاده از شاخص‌های زمین انباشت و غنی‌شدگی پرداخته‌اند. با توجه به نتایج، عوامل آلودگی را تعمیر و نگهداری شناورهای صیادی در این اسکله‌های نیمه بسته در نظر پرداخته‌اند. حمزه و همکاران (۱۳۹۰) ژئوشیمی زیست محیطی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی خلیج گواتر منتهی الیه جنوب شرقی ایران را مورد ارزیابی و بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه نقشه‌های ژئوشیمیایی فلزات سنگین نشان داد که بیشترین غلظت این عناصر مربوط به رسوبات ساحلی پسابندر است. باقری و همکاران (۱۳۹۲) به مطالعه تعیین غلظت و منشایابی فلزات سرب و کادمیوم در رسوبات سطحی سواحل بندرعباس با روش استخراج پی در پی پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بیش از نیمی از کل سرب و کادمیوم موجود در سواحل بندرعباس منشا طبیعی دارند و افزایش غلظت فلزات موجود در سواحل بندرعباس به‌دلیل وجود مقادیر بیشتر این دو فلز به‌طور طبیعی در پوسته زمین در منطقه مورد مطالعه است. جزیره هرمز در مدخل ورودی خلیج فارس و دریای عمان در جنوب ایران و در منتهی‌الیه جنوب خاوری واحد رسوبی- ساختاری زاگرس قرار دارد (آقانباتی، ۱۳۸۵) (شکل ۱). این جزیره حاصل دیاپیریسم[2] سری هرمز است (الیاسی و همکاران، ۱۳۵۴).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی جزیره و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رسوبات ساحلی جزیره هرمز

سری هرمز (پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین) در جزیره هرمز شامل سنگ‌های رسوبی (سنگ آهک و دولومیت) و سنگ‌های پلوتونیکی (نظیر دیاباز) و آتشفشانی (ریولیت، تراکیت، بازالت و توف) است. رخنمون‌های محدودی از سازند آغاجاری (میوسن میانی - پلیوسن میانی) در کنار نهشته‌های بادی و ساحلی در این جزیره دیده می‌شود. حجم بالای عبوری کشتی‌های تجاری و نفتکش و همچنین قرار گرفتن صنایع مختلف و اسکله‌های

[1] Contaminiation factor

[2] Diapirism

تجاری و نفتی در غرب این منطقه، موجب شده تا رسوبات ساحلی آن در معرض انواع آلودگی از جمله تمرکز فلزات سنگین واقع شوند. در این پژوهش آلودگی رسوبات ساحلی جزیره هرمز با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی و منشا آن‌ها مورد بحث و ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. موقعیت نقاط نمونه‌برداری و روش بررسی

به منظور سنجش و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین رسوبات ساحلی جزیره هرمز، با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، نواحی صنعتی و راه‌های دسترسی به نوار ساحلی جزیره هرمز، ۹ ایستگاه نمونه‌برداری در نظر گرفته شد (شکل ۱). نمونه‌ها در امتداد خط ساحل و در پهنه جزر و مدی ساحلی به صورت دستی توسط بیلچه پلاستیکی تا عمق ۱۰ سانتی‌متری از سطح رسوبات با فواصل مختلف در زمستان ۱۳۹۱ برداشته شد و پس از قرار دادن در ظروف پلاستیکی با ثبت مشخصات به آزمایشگاه منتقل شدند. آماده سازی نمونه‌های رسوب با توجه به توصیه‌های مندرج در راهنما و دستور العمل‌های راپمی (ROPME, 1999) صورت گرفت. براین اساس نمونه‌های رسوب در دمای ۷۰°C و به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک شدند. به‌دلیل دمای پایین آون، عمل آبگیری نمونه‌های رسوب مدت زمان بیشتری به درازا انجامید، این دمای پایین برای آن است تا شکل اصلی عناصر تغییر نکند.

بعد از طبقه‌بندی نمونه‌ها، عملیات خشک کردن، تقسیم و غربال روی آن‌ها صورت گرفت. از آنجا که ترکیب شیمیایی رسوبات دریایی و ساحلی با افزایش یا کاهش اندازه دانه‌ها، تغییر می‌کند (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹) و معمولا غلظت عناصر کمیاب با کاهش اندازه دانه‌ها، افزایش می‌یابند و فلزات سنگین در ذرات ماسه‌ای به دلیل حضور کانی‌های سنگین حضور دارند (Stephen et al., 2004; Prins et al., 2000). لذا در این تحقیق برای تعیین غلظت عناصر سنگین در رسوبات ساحلی، از ذرات در اندازه ماسه ۲-۰/۰۶۲۵ میلی‌متر جهت تعیین میزان غلظت فلزات سنگین استفاده شد. در ادامه نمونه‌ها برای آنالیز ژئوشیمیایی به روش XRF به آزمایشگاه کانساران بینالود تهران، ارسال شدند. پس از جمع‌آوری و ثبت داده‌ها، نرمال بودن آن‌ها با استفاده از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف (استفاده از منحنی Q-Q) بررسی و تایید شد. برای تشخیص وجود رابطه بین متغیرهای اندازه‌گیری شده از آزمون آماری پیرسون استفاده شد. کلیه آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. سرانجام با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی و مقایسه با استانداردهای مختلف، شدت آلودگی و نحوه پراکنش آن‌ها مشخص گردید (Muller, 1969). در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری برای سنجش میزان فلزات سنگین رسوبات ساحلی جزیره هرمز نشان داده شده است.

همان‌طور که ذکر گردید برای تعیین میزان آلایندگی رسوب به عناصر سنگین در یک منطقه، بایستی غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود. بهترین شیوه، مقایسه داده‌ها با استانداردهای موجود برای همان منطقه است، زیرا شرایط زمین شناسی، محیطی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند. در کشور ما متاسفانه به دلیل عدم وجود استانداردهای خاص برای درجه آلودگی رسوب، از استانداردهای موجود در دیگر کشورها و یا استانداردهای جهانی استفاده می‌شود. در این پژوهش برای تعیین میزان آلودگی رسوب به عناصر سنگین از میانگین شیل که توسط ودفولو ترکیان Wedephol، Turkian ارایه شده، استفاده گردیده است (جدول ۱).

جدول ۱: غلظت عناصر در میانگین شیل (بر حسب PPm)

	Fe	V	Co	Cu	Cr	Ni	Zn	Pb	As
میانگین شیل	۴۷۰۰۰	۱۳۰	۱۹	۴۵	۹۰	۵۰	۹۵	۲۰	۱۳

۲-۲. شاخص‌های زیست محیطی

روش‌های متفاوتی برای تخمین درجه غنی‌شدگی رسوبات توسط فلزات سنگین وجود دارد، که هر کدام از محققین یک مقیاس و طبقه بندی متفاوتی برای تبدیل مقادیر عددی غلظت‌ها به یک حالت توصیفی ارایه کرده‌اند. ۴ شاخصی که در این تحقیق مورد بحث قرار پرداخته‌اند شامل موارد زیر است:

۲-۲-۱. شاخص Igeo (Geoaccumulation index) (زمین انباشت ژئوشیمیایی)

یک روش متداول برای تخمین آلودگی رسوبات به فلزات سنگین، به‌دست آوردن غلظت فلزات سنگین در رسوب به

غلظت زمینه فلز، استفاده از شاخص Igeo است که توسط مولر (Muller, 1969) ارایه گردید. این شاخص بر پایه رابطه ۱ استوار است:

$$I_{geo} = \log_2(\frac{C_n}{1.5B_n}) \quad (۱)$$

که در آن:

I_{geo}: شاخص انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی

C_n: غلظت فلز سنگین در رسوب

B_n: غلظت زمینه (غلظت عنصر در شیل)

ضریب ۱/۵ به منظور کمینه کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت‌های زمینه که عموما به تغییرات سنگ شناسی رسوبات و تاثیر عوامل زمینی نسبت داده می‌شود، منظور شده است.

مولر (Muller) ۷ رده مختلف را برای این شاخص عنوان کرد که در آن، بالاترین رده مقادیر عناصر حداقل ۱۰۰ برابر مقادیر مرجع است (جدول ۲) (Zhang et al., 2007).

جدول ۲: درجه‌بندی سطح آلودگی رسوبات بر اساس شاخص تجمع ژئوشیمیایی مولر (Muller, 1969)

وضعیت آلودگی رسوب یا ذرات معلق	رده Igeo	عدد به‌دست آمده برای Igeo
کاملا غیر آلوده	۰	۰
غیر آلوده تا آلودگی متوسط	۱	۰-۱
آلودگی متوسط	۲	۱-۲
آلودگی متوسط تا شدید	۳	۲-۳
آلودگی شدید	۴	۳-۴
آلودگی شدید تا بسیار شدید	۵	۴-۵
آلودگی بسیار شدید	۶	۵

۲-۲-۲. شاخص *EF* (*Enrichment factor*) (ضریب غنی شدگی)

ضریب غنی شدگی روش مناسبی جهت تفکیک منشا طبیعی و انسانزاد آلودگی است (Sutherland, 2000). ضریب غنی شدگی از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$EF = \frac{(\frac{C_M}{C_S})_x}{(\frac{C_M}{C_S})_c} \quad (۲)$$

در این رابطه EF ضریب غنی‌شدگی، C_m غلظت عنصر m مورد بررسی، C_s غلظت آهن در نمونه رسوب و m غلظت همان عنصر به آهن است. جهت نرمال کردن آلودگی فلزات سنگین معمولا از عناصری چون Zr، Co، Al، Fe، Mn، Sc، Ti استفاده می‌شود. در این تحقیق نیز با نرمالیزه کردن فلزات مورد بررسی، در نرم افزار SPSS، از عنصر آهن (به‌دلیل ماهیت ژئوشیمیایی و تغییرات بسیار ناچیزی که در محیط از خود نشان می‌دهد و همین طور توزیع آهن در محیط در ارتباط با دیگر فلزات نیست و همچنین غلظت آن در طبیعت زیاد است) به عنوان مرجع در نظر گرفته شد. از ترکیب شیل میانگین نیز به عنوان نمونه مرجع استفاده شد. طبقه‌بندی برای غنی شدگی مطابق جدول ۳ پیشنهاد شده است (Sutherland, 2000).

۲-۲-۳. شاخص ضریب آلودگی (*CF*)[1]، درجه آلودگی (*Cd*)[2] و درجه آلودگی اصلاح شده (*mCd*)[3]

مقادیر ضریب آلودگی و درجه آلودگی به ترتیب می‌تواند توصیفی از آلودگی مربوط به فلز مورد بررسی و آلودگی محیط رسوب را ارایه دهد (جدول ۴). ضریب آلودگی هاکنسون (Hakanson, 1980) از رابطه ۳ به‌دست می‌آید:

$$C_f = \frac{M_x}{M_b} \quad (۳)$$

در این رابطه M_x غلظت عنصر در نمونه و M_b غلظت همان فلز در ماده مرجع (شیل میانگین) است.

۲-۲-۴. شاخص درجه آلودگی (*Cd*)

مجموع ضرایب آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه، درجه کلی آلودگی رسوب را بیان می‌کند که به آن درجه آلودگی هاکنسون (Hakanson) گفته می‌شود (جدول ۴) و از رابطه ۴ به‌دست می‌آید:

$$C_d = \sum_{i=1}^{8} C_f^i \quad (۴)$$

به خاطر وجود محدودیت‌هایی که در شاخص درجه آلودگی توسط Hakanson (1980) ارایه شده بود، Abrahim (2005) رابطه اصلاح شده ۵ را بر اساس شاخص درجه آلودگی ارایه نمود.

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_f^i}{n} \quad (۵)$$

که در آن C_f فاکتور آلودگی و n تعداد پارامترهای مورد بررسی است. رابطه ۵ این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان تعداد متنوعی از فلزات سنگین را بدون محدودیت مورد بررسی و مطالعه قرارداد. استفاده از رابطه جدید و محاسبه mC_d به ما امکان

[1] Contaminiation factor
[2] Degree of contamination
[3] Modified degree of contamination

بررسی فلزات بیشتر را می‌دهد و مطالعه با محدودیت کمتری انجام می‌شود. بر طبق رابطه عمومی این شاخص، به‌دلیل فرآیند میانگیری فوق تاثیرات منفرد مقادیر انباشتگی آلاینده‌ها در نتیجه نهایی از الگوی عمومی آلودگی در منطقه، مستهلک و مخفی شده و از بین خواهد رفت. Abrahim (2005) دسته بندی سطح آلودگی رسوبات را بر اساس مقادیر کمی شاخص اصلاح شده درجه آلودگی mC_d به صورت جدول ۵ ارایه نموده است.

جدول ۳: مقادیر شاخص ضریب غنی شدگیEF

میزان غنی شدگی	EF
فاقد غنی شدگی تا غنی شدگی کم	≤۲
غنی شدگی متوسط	۲-۵
غنی شدگی زیاد	۵-۲۰
بسیار غنی شده	۲۰-۴۰
به شدت غنی شده	≥۴۰

جدول ۴: رده بندی هاکنسون بر مبنای ضریب آلودگی Cf و درجه آلودگی Cd رسوبات

مقدار Cf	ضریب آلودگی رسوب	مقدارCd	کیفیت رسوب
Cf≤1	ضریب آلودگی پایین	Cd≤۶	درجه آلودگی پایین
۱≤P≤۳	ضریب آلودگی متوسط	۶≤Cd≤۱۲	درجه آلودگی متوسط
۳≤P≤۶	ضریب آلودگی قابل توجه	۱۲≤Cd≤۲۴	درجه آلودگی قابل توجه
cf≥6	ضریب آلودگی بسیار بالا	Cd≥۲۴	درجه آلودگی بسیار بالا

جدول ۵: درجه بندی سطح آلودگی رسوبات بر مبنای شاخص mCd

محدوده شاخصmCd	وضعیت آلودگی رسوب
mCd≤۱/۵	درجه بسیار پایین از آلودگی
۱/۵≤mCd≤۲	درجه پایین از آلودگی
۲≤mCd≤۴	درجه متوسط از آلودگی
۴≤mCd≤۸	درجه بالا از آلودگی
۸≤mCd≤۱۶	درجه بسیار بالا از آلودگی
۱۶≤mCd≤۳۲	به شدت بسیار بالا آلوده
mCd≥۳۲	آلودگی با درجه مافوق زیاد

۲-۲-۵. ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای

ضریب همبستگی میزان ارتباط بین دو متغیر را تعیین می‌کند. این ضریب بین دو مقدار ۱+ و ۱- قرار می‌گیرد. هرچه این مقدار به ۱+ نزدیک‌تر باشد، همبستگی بین دو متغیر خطی و مستقیم می‌گردد. در صورت نزدیک شدن به ۱-، همبستگی بین دو متغیر خطی و معکوس می‌گردد. هر چه مقادیر به صفر نزدیک شود، همبستگی بین دو متغیر از بین خواهد رفت (کریم‌زاده ثمرین، ۱۳۹۱). آنالیز خوشه‌ای یک روش پژوهشی چند متغیره است که در این مطالعه به منظور منشایابی آماری عناصر به‌وسیله نرم افزار SPSS، نسخه ۱۶ مورد استفاده قرار گرفته است (Karbassi and Davis, 1973). از ضرایب همبستگی که توسط نرم افزار SPSS به‌دست آمده، برای دستیابی به ضرایب تشابه و رسم درخت خوشه‌ای (دندوگرام) استفاده شد. درخت خوشه‌ای، گزینه‌های هم وزن را به هم متصل می‌کند تا خوشه‌های بزرگ‌تر ایجاد شود و تشابهات ما بین نمونه‌ها را سنجش و ارزیابی نماید (Anazwa et al., 2004; Baeyens et al., 2005).

۳. نتایج

۳-۱. آنالیز ژئوشیمیایی

نتایج سنجش غلظت فلزات سنگین در رسوبات ساحلی جزیره هرمز به روش فلورسانس اشعه X (XRF) در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶: غلظت عناصر اندازه‌گیری شده به‌وسیله فلورسانس اشعه X (XRF) (غلظت عناصر بر حسب Mg/g)

Sample	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	V	Co	As	Fe
SH1	۸	۲۵	۸	۳۵	۳۵۴	۳۶	۲	۲	۷۳۵۰۰
SH2	۵	۳۰	۱۴	۴۳	۳۱۹	۴۶	۱	۴	۱۰۵۶۰۰
SH3	۱۱	۲۹	۱۹	۳۷	۴۳	۱۹	۲	۲	۴۸۴۰۰
SH4	۶	۳۴	۲۲	۳۸	۲۸۱	۴۱	۲	۴۴	۱۰۶۳۰۰
SH5	۴	۱۳	۱۴	۳۸	۷۵	۱۷	۴	۴	۱۸۴۰۰
SH6	۹	۵۰	۱۱	۳۴	۱۴۳	۲۳	۲	۳	۴۶۴۰۰
SH7	۷	۱۸	۱۴	۴۰	۴۲	۲۰	۱	۲	۲۳۶۰۰
SH8	۶	۳۰	۲۱	۳۷	۴۰	۳۴	۱	۴۱	۹۷۳۰۰
SH9	۲	۲۱	۷	۳۲	۱۷۸	۴۶	۲	۱۰	۲۶۱۹۰۰

نتایج مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر (Igeo) مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات ساحلی جزیره هرمز در جدول ۷ نشان داده شده است. بر اساس محاسبات انجام شده در ایستگاه‌های مختلف (جدول ۷) با استفاده از شاخص Igeo، عناصر Zn، Pb، V، Cu، Ni در تمامی ۹ ایستگاه مورد مطالعه فاقد آلودگی هستند. بر اساس محاسبات انجام شده عنصر کروم در ایستگاه‌های ۱ و ۹ از آلودگی متوسطی برخوردار است.

جدول ۷: نتایج مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر Igeo مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات ساحلی جزیره هرمز

Sample	Cu	Zn	Pb	Cr	V	Ni	As
SH1	-۳/۰۸	-۲/۵۱	-۲/۱۴	۱/۳۸	-۲/۴۴	-۱/۱۰	-۳/۲۹
SH2	-۴/۴۱	-۲/۲۵	-۱/۱۰	۱/۲۳	-۲/۰۸	-۰/۸۰	-۲/۲۸
SH3	-۲/۶۲	-۲/۳۰	-۰/۶۵	-۱/۶۵	-۳/۳۶	-۱/۰۲	-۳/۲۹
SH4	-۳/۵۰	-۲/۰۷	-۰/۴۴	۱/۰۵	-۲/۲۵	-۰/۹۸	۱/۱۶
SH5	-۴/۰۸	-۳/۴۵	-۱/۱۰	-۰/۸۴	-۳/۵۲	-۰/۹۸	-۲/۲۸
SH6	-۲/۹۱	-۱/۵۱	-۱/۴۵	۰/۰۸	-۳/۰۹	-۱/۱۴	-۲/۷۳
SH7	-۳/۲۷	-۲/۹۸	-۱/۱۰	-۱/۶۸	-۳/۲۹	-۰/۹۰	-۳/۲۹
SH8	-۵/۱۰	-۲/۷۶	-۲/۱۰	۰/۳۸	-۲/۰۸	-۱/۲۳	-۰/۹۶
SH9	-۳/۵	-۲/۲۵	-۰/۵۱	-۱/۷۵	-۲/۵۲	-۱/۰۲	۱/۰۷

همان‌طور که اشاره شد، ضریب غنی‌شدگی روش مناسبی جهت تفکیک منشا طبیعی و انسان‌زاد آلودگی است (Sutherland, 2000). نتایج مقادیر شاخص ضریب غنی‌شدگی EF مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات ساحلی جزیره هرمز در جدول ۸ نشان داده شده است. با توجه به نتایج محاسبه شده ضریب غنی‌شدگی برای عناصر در ایستگاه‌های مختلف (جدول ۸) بر اساس تقسیم‌بندی ساترلند، که حد ضریب غنی‌شدگی را EF= ۲ در نظر می‌گیرد. رسوبات ساحلی جزیره هرمز نسبت به عناصر مس، روی، نیکل، وانادیوم، سرب و آرسنیک از میزان غنی شدگی کمی برخوردار هستند. عنصر کروم بر اساس این طبقه‌بندی از غنی‌شدگی متوسطی برخوردار است.

جدول ۸: نتایج مقادیر شاخص ضریب غنی شدگیEF مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات ساحلی جزیره هرمز

Sample	Cu	Zn	Pb	Cr	V	Ni	As
SH1	۰/۰۱۱	۰/۱۷	۰/۲۵	۲/۵۳	۰/۱۸	۰/۴۷	۰/۱۰
SH2	۰/۰۴۹	۰/۱۴	۰/۳۱	۱/۵۸	۰/۱۶	۰/۴۰	۰/۱۴
SH3	۰/۲۳	۰/۲۹	۰/۹۳	۰/۴۶	۰/۱۴	۰/۷۶	۰/۱۵
SH4	۰/۰۵۸	۰/۱۵	۰/۴۹	۱/۳۹	۰/۱۴	۰/۳۵	۱/۵۳
SH5	۰/۲۲	۰/۳۵	۱/۸۱	۲/۱۴	۰/۳۴	۲/۰۶	۰/۸۰
SH6	۰/۲۰	۰/۵۳	۰/۵۶	۱/۶۲	۰/۱۸	۰/۷۳	۰/۲۳
SH7	۰/۳۰	۰/۳۸	۱/۴۱	۰/۹۳	۰/۳۱	۱/۶۹	۰/۳۱
SH8	۰/۰۰۷	۰/۰۴۰	۰/۰۶	۰/۳۵	۰/۰۶۵	۰/۱۲	۰/۱۴
SH9	۰/۰۶۴	۰/۱۵	۰/۵۱	۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۳۸	۱/۵۶

نتایج مقادیر شاخص آلودگی CF مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات ساحلی جزیره هرمز در جدول ۹ نشان داده شده است. با توجه به نتایج محاسبه شده ضریب آلودگی برای عناصر در ایستگاه‌های مختلف (جدول ۹) بر اساس رده بندی هاکنسون (Hakanson, 1980) عناصر مس، روی، وانادیوم و نیکل از ضریب آلودگی پایینی در منطقه برخوردار هستند. عنصر سرب فقط در ایستگاه‌های ۴ و ۸ از ضریب آلودگی متوسطی برخوردار است. عناصر کروم و آرسنیک از ضریب آلودگی قابل توجهی در رسوبات برخوردار هستند.

نتایج مقادیر شاخص درجه آلودگی Cd و mCd مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات ساحلی جزیره هرمز در جداول ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. با توجه به محاسبات انجام شده برای شاخص درجه آلودگی (Cd) (جدول ۱۰) عناصر وانادیوم، روی و مس از درجه آلودگی پایین برخوردار هستند و عناصر نیکل، سرب و آرسنیک از درجه آلودگی متوسط برخوردار می‌باشند. همچنین بر اساس این شاخص عنصر کروم از درجه آلودگی قابل توجهی در رسوبات برخوردار است. بر اساس نتایج محاسبه شده برای شاخص اصلاح شده درجه آلودگی (mCd) (جدول ۱۱) عناصر مس، روی، نیکل، سرب، وانادیوم و آرسنیک از درجه بسیار پایین آلودگی در منطقه برخوردارند. بر اساس این شاخص عنصر کروم از درجه آلودگی متوسطی برخوردار است.

جدول ۹: نتایج مقادیر شاخص آلودگیCF مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات ساحلی جزیره هرمز

Sample	Cu	Zn	Pb	Cr	V	Ni	As
SH1	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۴	۳/۹۳	۰/۲۷	۰/۷	۰/۱۵
SH2	۰/۱۱	۰/۳۱	۰/۷	۳/۵۴	۰/۳۵	۰/۸۷	۰/۳۰
SH3	۰/۲۴	۰/۳۰	۰/۹۵	۰/۴۷	۰/۱۴	۰/۷۴	۰/۱۵
SH4	۰/۱۳	۰/۳۵	۱/۱	۳/۱۲	۰/۳۱	۰/۷۶	۳/۳۸
SH5	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۷	۰/۸۳	۰/۱۳	۰/۷۶	۰/۳۰
SH6	۰/۲	۰/۵۲	۰/۵۵	۱/۵۸	۰/۱۷	۰/۶۸	۰/۲۳
SH7	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۷	۰/۴۶	۰/۱۵	۰/۸	۰/۱۵
SH8	۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۳۵	۱/۹۷	۰/۳۵	۰/۶۴	۰/۷۶
SH9	۰/۱۳	۰/۳۱	۱/۰۵	۰/۴۴	۰/۲۶	۰/۷۴	۳/۱۵

جدول ۱۰: نتایج مقادیر شاخص درجه آلودگی Cd مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات ساحلی جزیره هرمز

عناصر	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	V	As
Cd	۱/۲۵	۲/۵۸	۶/۵	۶/۶۵	۱۶/۳۴	۲/۱۳	۸/۵۷

جدول ۱۱: نتایج مقادیر شاخص بار آلودگی اصلاح شده mCd مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات ساحلی جزیره هرمز

عناصر	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	V	As
mCd	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۷۲	۰/۷۳	۲/۳۳	۰/۲۳	۰/۹۵

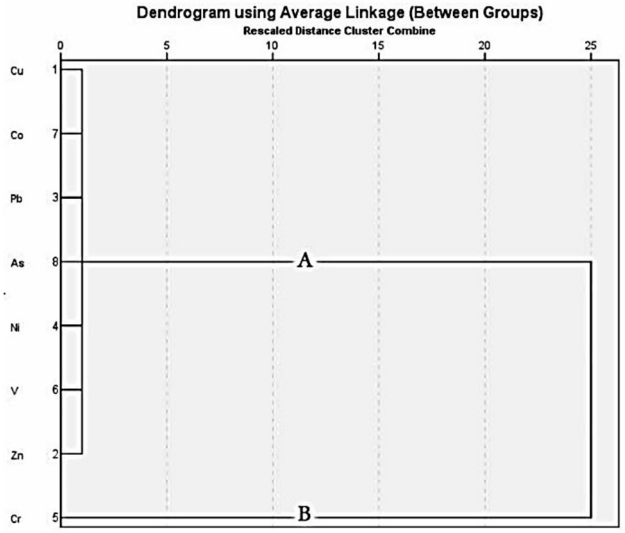
۳-۲. *ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای*

با محاسبه ضرایب همبستگی (جدول ۱۲) که به‌وسیله نرم افزار SPSS به‌دست آمد، برای دستیابی به ضرایب تشابه و رسم دندوگرام استفاد شد. نتایج آنالیز خوشه‌ای برای رسوبات ساحلی جزیره هرمز در شکل ۲ ارایه شده است.

دندوگرام از دو شاخه تشکیل شده است که در شاخه A عناصر Cu، As، Zn، Pb، Ni و V قرار دارند که تحت ضرایب تشابه بسیار بالا و معنی‌دار به یکدیگر متصل شده‌اند و می‌توان نتیجه گرفت که عوامل کنترل کننده آن‌ها یکسان است. در شاخه B عنصر Cr به تنهایی قرار گرفته است، که با توجه به این موضوع می‌توان نتیجه گرفت منشا آن متفاوت از دیگر عناصر است.

جدول ۱۲: همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین در رسوبات ساحلی جزیره هرمز

Sample	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	As	V	Co
Cu	۱							
Zn	۰/۴۸۶	۱						
Pb	۰/۲۶۱	۰/۱۵۰	۱					
Ni	۰/۰۲۲	-۰/۱۸۶	۰/۴۵۵	۱				
Cr	-۰/۱۶۳	۰/۱۹۲	-۰/۳۱۶	۰/۰۶۲	۱			
As	-۰/۲۰۶	۰/۱۶۸	۰/۶۸۷	۰/۰۰۶	۰/۰۱۸	۱		
V	-۰/۵۲۵	۰/۱۰۸	۰/۱۴۱	-۰/۰۲۷	۰/۷۱۵	۰/۳۸۲	۱	
Co	-۰/۱۷۸	-۰/۳۰۶	-۰/۱۶۵	-۰/۲۸۵	-۰/۰۹۳	-۰/۲۰۸	-۰/۳۹۷	۱



شکل ۲: نمودار دندوگرام آنالیز خوشه‌ای برای فلزات سنگین در رسوبات ساحلی جزیره هرمز

۴. بحث و نتیجه گیری

با توجه به اهمیت آثار تخریبی فلزات سنگین و آلاینده‌های نفتی در تهدید حیات زیست‌شناختی موجودات ساکن و متاثر از پیکره‌های آبی، بررسی و پایش وضعیت کیفی رسوبات سواحل، دریاها و اقیانوس‌ها همواره از اهم ملاحظات زیست محیطی مرتبط محسوب می‌شود. مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات محیط‌های ساحلی، آبی و بستر دریاها می‌تواند گام موثری برای یافتن منشا رسوبات و الگوی پراکنش عناصر و ارزیابی زیست محیطی وضعیت آلاینده‌ها برای مدت موجود در یک منطقه باشد (Shajan, 2001). لذا اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین می‌تواند تصویر واقعی از آلودگی‌های یک محیط را فراهم سازد. در مطالعه حاضر از طریق انجام نمونه‌برداری‌های متعدد از رسوبات سطحی سواحل جزیره هرمز نسبت به بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات و شناسایی منشا آن‌ها اقدام شد. به‌طور کلی منابع آلوده‌کننده منطقه مورد مطالعه را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود: الف) منابع آلوده کننده موجود در بیرون از منطقه مورد مطالعه: عمده‌ترین منابع آلاینده واحدهای بزرگ تولیدی و صنعتی از جمله نیروگاه، مجتمع فولاد و پالایشگاه بندرعباس، کارخانه تولید سرب و روی قشم، کشتی‌سازی که در غرب منطقه تجمع یافته‌اند، که بخش زیادی از آلاینده‌ها و پساب‌های آلوده آن‌ها از طریق سواحل به دریا منتقل می‌گردد. علاوه براین، می‌توان آلودگی‌های شهری بندرعباس (فاضلاب شهری) و نیز آلودگی‌های ایجاد شده در اثر تخلیه و بارگیری عناصر کروم، سرب و روی در اسکله‌های شهید باهنر و رجایی را نیز اضافه نمود، که از طریق آب‌های ساحلی و خورها به درون خلیج فارس سرازیر گشته و توسط جریان‌های دریایی به طرف منطقه مطالعاتی انتقال می‌یابند. همچنین آلودگی‌های نفتی ناشی از تخلیه آب توازن نفتکش‌ها را نباید نادیده گرفت (کریمی، ۱۳۸۲). ب) منابع آلوده کننده موجود در درون منطقه مورد مطالعه: عمده ترین منابع آلاینده در درون منطقه مطالعاتی را می‌توان وجود فعالیت‌های معدنی خاک سرخ در نظر گرفت (غلام دخت بندری، ۱۳۹۲). علاوه بر این، می‌توان به آلودگی‌های تردد شناورها در منطقه، صید ماهی و میگو توسط قایق‌ها و لنج‌ها در فصل صید اشاره نمود. بر اساس محاسبات صورت گرفته با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی برای تعیین آلودگی رسوبات در ایستگاه‌های مختلف (جدول ۷) با استفاده از شاخص Igeo، عناصر Ni،Cu،V،Pb،Zn در تمامی ۹ ایستگاه مورد مطالعه فاقد آلودگی هستند. بر اساس این شاخص عنصر کروم در ایستگاه‌های شماره ۱ و ۹ از آلودگی متوسطی برخوردار است. از آنجاییکه در این ایستگاه‌ها، هیچ کانی حاوی کروم وجود ندارد به نظر می‌رسد آلودگی این منطقه به‌خاطر نزدیکی به محل اسکله، آلودگی‌های انسان‌زاد و نفتی باشد. عنصر آرسنیک بر اساس شاخص مولر (Muller, 1964) از آلودگی متوسط برخوردار است. این عنصر فقط در دو ایستگاه آلودگی نشان می‌دهد و بقیه ایستگاه‌های مورد مطالعه فاقد آلودگی است. آلودگی این عنصر در ایستگاه‌های ۴ و ۸ که به ترتیب محل معدن خاک سرخ و دپوی خاک سرخ در جزیره هرمز هستند، مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج محاسبه شده ضریب غنی شدگی برای عناصر در ایستگاه‌های مختلف (جدول ۸) بر اساس تقسیم بندی ساترلند، که حد ضریب غنی شدگی را EF=۲ در نظر می‌گیرد، رسوبات ساحلی جزیره هرمز نسبت به عناصر مس، روی، نیکل، وانادیوم، سرب و آرسنیک از میزان غنی شدگی کمی برخوردار هستند.

عنصر کروم بر اساس این طبقه‌بندی از غنی شدگی متوسطی برخوردار هستند. غنی شدگی این عنصر در ایستگاه‌های شماره ۹ و ۵ مشاهده می‌شود. می‌توان غنی شدگی این عنصر را در این ایستگاه‌ها به فعالیت‌های انسان‌زاد نسبت داد، زیرا عنصر کروم در بقیه ایستگاه‌ها فاقد غنی شدگی است. و تنها غنی شدگی مشاهده شده در ایستگاه ۹ نزدیک به محل اسکله است. با توجه به نتایج محاسبه شده ضریب آلودگی برای عناصر در ایستگاه‌های مختلف (جدول ۹) بر اساس رده بندی هاکنسون (Hakanson, 1980) عناصر مس، روی، وانادیوم و نیکل از ضریب آلودگی پایینی در منطقه برخوردار هستند. عنصر سرب فقط در ایستگاه‌های ۴ و ۸ از ضریب آلودگی متوسطی برخوردار است. آلودگی این عنصر در ایستگاه ۴ می‌تواند به حضور کانی گالن در این ایستگاه مرتبط باشد (غلامی، ۱۳۸۷). عناصر کروم و آرسنیک از ضریب آلودگی قابل توجهی در رسوبات برخوردار هستند. آلودگی عنصر آرسنیک فقط در ایستگاه‌های ۴ و ۸ مشاهده می‌شود و بقیه ایستگاه‌ها ضریب آلودگی بسیار پایینی از خود نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد آلودگی این عنصر در ایستگاه‌های مشاهده شده به خاطر فعالیت‌های معدنی خاک سرخ و محل دپوی خاک سرخ در جزیره هرمز باشد (غلام دخت بندری، ۱۳۹۲). آلودگی عنصر کروم در ایستگاه‌های ۱، ۴ و ۹ مشاهده شد. آلودگی عنصر کروم در ایستگاه ۴ می‌تواند به خاطر فعالیت‌های معدنی و در ایستگاه‌های ۱ و ۹ به‌دلیل آلودگی‌های انسان‌زاد و نفتی نزدیک به اسکله باشد. با توجه به محاسبات انجام شده برای شاخص درجه آلودگی (Cd)، عناصر وانادیوم، روی و مس از درجه آلودگی پایین برخوردار هستند (جدول ۱۰)، و عناصر نیکل، سرب و آرسنیک از درجه آلودگی متوسط برخوردارند. همچنین بر اساس این شاخص عنصر کروم از درجه آلودگی قابل توجهی در رسوبات برخوردار است. بر اساس نتایج محاسبه شده برای شاخص اصلاح شده درجه آلودگی (mCd) عناصر مس، روی، نیکل، سرب، وانادیوم و آرسنیک از درجه بسیار پایین آلودگی در منطقه برخوردار هستند. بر اساس این شاخص، عنصر کروم از درجه آلودگی متوسطی برخوردار است (جدول ۱۱). با توجه به نمودار دندوگرام آنالیز خوشه‌ای و بررسی‌های صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت که منشا عناصر در شاخه A با شاخه B متفاوت است. بر این اساس، منشا عناصر مس، روی، نیکل، سرب، آرسنیک و وانادیوم که در شاخه A قرار گرفته‌اند، یکسان است و می‌توان منشا آن‌ها را به فرسایش واحدهای سنگی آذرین و رسوبی موجود در جزیره هرمز نسبت داد و در شاخه B عنصر کروم به تنهایی قرار گرفته و این امر نشان می‌دهد منشا آن متفاوت از دیگر عناصر بوده و ناشی از آلودگی‌های انسان‌زاد است (غلام دخت بندری، ۱۳۹۲). به‌طور کلی نتایج این تحقیق و نمونه‌برداری‌های صورت گرفته مبین آلودگی نسبی ساحل شمالی، شمال‌غربی و جنوبی این جزیره به فلزات سنگین است، در حالی‌که سایر مناطق نمونه‌برداری فاقد آلودگی هستند.

توسعه شاخص‌های موجود در ارتباط با عامل غنی سازی و انباشت ژئوشیمیایی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی این جزیره در کنار برآورد شاخص اصلاح شده درجه آلودگی(mCd) در نواحی مختلف مورد مطالعه نیز وضعیت سیستم را برای اکثر فلزات سنگین در بیشتر مناطق، تمیز و غیرآلوده نشان می‌دهد. صرفا برای دو فلز آرسنیک و کروم آن هم در تعداد محدودی از ایستگاه‌های شمالی، جنوبی و شمال غربی وضعیت آلودگی متوسط مشاهده شده است. بررسی عوامل غنی‌سازی به‌دست آمده در کنار درجه آلودگی محاسبه شده در این مناطق، به‌ویژه در قسمت شمال و شمال غربی آن، گویای روند افزایشی غنی شدن رسوبات از برخی فلزات و وقوع آلودگی محتمل در آینده در منطقه است. محاسبه ضرایب همبستگی و تجزیه و تحلیل درخت خوشه‌ایی در رسوبات ساحلی جزیره هرمز گویای متشابهات آماری عناصر مس، روی، وانادیوم، نیکل، سرب و آرسنیک با یکدیگر است و می‌توان منشا این عناصر را به فرسایش واحدهای سنگی موجود در جزیره نسبت داد. آلودگی عنصر کروم را می‌توان به فعالیت‌های انسان‌زاد نسبت داد و منشا آن را آلودگی‌های نفتی وارد شده به منطقه و صادرات کانی کرومیت که از نقاط مختلف استان هرمزگان جمع آوری شده و در بنادر شهید رجایی و باهنر که بر اثر تخلیه و بارگیری می‌تواند توسط باد و جریان‌های دریایی به منطقه مورد نظر وارد گردند در نظر گرفت. یافته‌های این تحقیق می‌تواند به عنوان مبنایی برای تحقیقات رسوب شناسی شیمیایی رسوبات ساحلی جزیره هرمز با تاکید بر آلودگی‌های زیست محیطی مورد استفاده قرار گیرد.

۵. سپاسگزاری

بدینوسیله از آقای مهندس علی کریمی، کارشناس محترم سازمان حفاظت محیط زیست استان هرمزگان که در پیشبرد این تحقیق به اینجانب یاری رسانده نهایت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۵. زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.

باقری، ز.؛ ریاحی بختیاری، ع.؛ باقری، ح.، ۱۳۹۲. مطالعه تعیین غلظت و منشایابی فلزات سرب و کادمیوم در رسوبات سطحی سواحل بندرعباس با روش استخراج پی در پی. نشریه اقیانوس‌شناسی، سال چهارم، شماره ۱۴، صفحات ۳۳- ۲۷.

حمزه، م.؛ بومری، م.؛ رضایی، ح.؛ بسکله، غ.، ۱۳۹۰. ژئوشیمی زیست محیطی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی خلیج گواتر منتهی الیه جنوب شرقی ایران. نشریه اقیانوس‌شناسی، سال دوم، شماره ۸ صفحات ۱۱- ۲۰.

حمزه، م.؛ قرایی، م.؛ بسکله، غ.، ۱۳۹۳. بررسی ژئوشیمیایی منشا و اثرات آلودگی فلزات سنگین در بنادر صیادی رمیس و بریس. نشریه اقیانوس-شناسی، سال پنجم، شماره ۱۷، صفحات ۳۱- ۲۱.

رحیم پور بناب، ح.، ۱۳۸۴. سنگ شناسی کربناته، ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران. ۴۸۷صفحه.

عرفانی منش، م.؛ افیونی، م.، ۱۳۸۰، آلودگی محیط زیست آب و خاک. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۳۱۸ صفحه.

غلام دخت بندری، م.، ۱۳۹۲. رسوب شناسی شیمیایی نهشته‌های ساحلی جزیره هرمز. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان- دانشکده علوم پایه، ۱۷۵صفحه.

غلامی، ن.، ۱۳۸۷. بررسی پترولوژیکی سنگ‌های آتشفشانی جزیره هرمز با نگرشی بر آلودگی فلزات سنگین در منطقه. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته پترولوژی، ۱۵۴ صفحه.

کریم زاده ثمرین، ع.، ۱۳۹۱. کاربرد داده‌های ژئوشیمیایی، ارزیابی- نمایش و تفسیر. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تبریز، ۵۲۷ صفحه.

کریمی، ن.، ۱۳۸۲. بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل بندرعباس. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته محیط زیست، ۹۰ صفحه.

Abrahim, G.M.S., 2005. Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand. Phd. Thesis, University of Auckland, Auckland, New Zealand, 362 P.

Algan, A.O.; Cagtay, M.N.; Sarikaya, H.Z.; Balkis, N.; Sari, E., 1999. Pollution monitoring using marine sediment: A case study on the Istanbul metropolation Area. Turkish Journal of Engineering and Environment Science, 29: 285-291.

Anazawa, K. et al., 2004. Heavy metal distribution in river waters and sediments around a "Fire Fly Village". Shikoku, Japan: Application of Multivariate Analysis. Journal of. Analytical Science, 20: 79-84.

Baeyens,W. et al., 2005. Correlations, partitioning and bioaccumulation of heavy metals Between zone on the tropical southwest coast of India. Bulletin of the Geological Survey of Japan, 52(8): 371-382.

Davis, J.C., 1973. Statistics and data analysis in geology. Wiley International, New York. distribution and contamination in Beijing, China, Environment International, 31(6): 805-812.

Evans, G., 1988. An outline of the geological background and contemporary sedimentation of the ROPME Sea area. Symposium on regional marine pollution monitoring and research programs, ROPME GC, 212: 25-45.

Fedo, C.M.; Eriksson, K.; Krogstad, E.J., 1996. Geochemistry of shales from the Archean Abitibi greenstone belt, Canada: implications for provenance and sourcearea weathering, Geochimica et Cosmochimica Acta2T, 60: 1751-1763.

Förstner, U.; Salomons, W., 1980. Trace metal analysis on polluted sediments. Part 1: assessment of sources and intensities, Environmental Technology Letters, 1: 494-505.

Gong, M.; Bi, X.Y.; Ren, L.M.; Wang, L.; Ma, Z.D.; Bao, Z.Y.; Li, Z.G., 2009. Assessing heavy-metal contamination and sources by GIS-based approach and multivariate analysis of urban–rural topsoils in Wuhan, central China, Environ Geochem Health, 32(1): 59-72.

Hakanson, L., 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach, Water Research, 14: 975-1001.

Izquierdo, C.; Usero, J.; Gracia, I., 1997. Speciation of heavy metals in sediment from salt marshes on the southern Atlantic coast of Spain. Marine pollution Bulletin, 34(2): 123-128.

Klavins, M.; Briede, A.; Rodinov, V.; Kokorite, I.; Parele, E.; Klavina, I., 2000. Heavy metals in river of Lativa. Science Total Environment, 262: 175 183.

Liu, W.; Zhao, J.; Ouyang, Z.; Söderlund, L.; Liu, G., 2005. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing china. Environmental International, 31: 805-812.

Müller, G., 1969. Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River, Geojournal, 2: 108-118.

Prins, M.A.; Postma, G.; Weltje, G.J., 2000. Controls on terrigenous sediment supply to the. ROPME GC, 412: 25-45.

Shajan, K.p., 2001. Geochemistry of bottom sediments from a river-estuary-shelf mixing zone on the tropical southwest coast of india. Bulletin of the Geological Survey of Japan, 52(8): 371-382.

Sutherland, R.A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream Oahu, Hawaii, Environmental Geology, 2T, 39: 611-627.

Szefer, P.; Glassby, GP.; Pempkowiak, J.; Kaliszan, R., 1995. Extraction studies of heavy metal pollutants in surficial sediments from the southern Baltic Sea off Poland, Chemical Geology, 120: 111-126.

Turkian, K.K.; Wedephol, K.H., 1964. Distribution of the elements in some major units of the earth crust,. Geological Society of America Bulletin, 72: 175-192.

Wedepohl, K.H., 1995. The composition of the continental crust. Geochmica Cosmocheimica Acta, 59: 1217-1232.

Yu, K.C.; Tsal, L.J.; Chen, S.H.; Ho, S.T., 2001. Chemical binding of heavy metals in anionic river sediments. Water Research, 35(17): 4086-4096.

Zhang, L.; Ye, X.; Feng, H.; Jing, Y.; Ouyang, T.; Yu, X.; Liang, R.; Gao, C.; Chen, W., 2007. Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. Marine Pollution Bulletin, 54: 974-982.