

## ارزیابی سلامت اکولوژیک رسوبات سطحی سواحل مرجانی خارک و خارکو (خلیج فارس، ایران)

سید قاسم قربان‌زاده زعفرانی<sup>۱\*</sup>، فرهاد حسینی طایفه<sup>۱</sup>، امین احمدی گیوی<sup>۲</sup>، محمد امین طلاب<sup>۳</sup> و علی صابری<sup>۴</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۷)

### چکیده

به منظور ارزیابی ریسک اکولوژیک زیستگاه مرجانی جزایر خارک و خارکو در خلیج فارس (استان بوشهر)، در شهریور ۱۳۹۹ نمونه‌های رسوب سطحی از هفت ایستگاه جمع‌آوری شد. این جزایر، به دلیل داشتن آبسنگ‌های مرجانی دارای ارزش اکولوژیک فوق‌العاده‌ای است. میزان عناصر بالقوه سمی، دانه‌بندی، مواد آلی کل، فسفر کل و نیتروژن کل در رسوبات، به ترتیب با استفاده از طیف‌سنجی جرمی پلاسما، جفت‌شده القایی، ال‌ک، روش سوزاندن در کوره، اسپکتروفتومتر و کجلدال اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت آلومینیوم و آهن (درصد) و میانگین غلظت نیکل، سرب، روی، وانادیوم، فسفر کل و نیتروژن کل (میلی‌گرم در کیلوگرم) در رسوبات به ترتیب  $۰/۷۶ \pm ۰/۵۳$ ،  $۰/۰ \pm ۵۵/۳۵$ ،  $۱۹ \pm ۳۵$ ،  $۲/۱ \pm ۱/۵$ ،  $۱۰ \pm ۲۲$ ،  $۲۵ \pm ۴۰$ ،  $۰/۰ \pm ۷/۳$  و  $۱۴/۷ \pm ۶/۲$  ثبت گردید. بر اساس میزان فاکتور غنی‌شدگی نیکل و روی (به ترتیب در حد متوسط تا خیلی شدید)، منشاء آنها در اطراف خارک می‌تواند فعالیت انسانی از جمله صنایع نفتی باشد. شاخص بار آلودگی (۰/۲۵ - ۰/۰۶) کلیه ایستگاه‌ها را بدون آلودگی نشان داد. میزان نیکل در ایستگاه ۱ و ۷ به ترتیب از استانداردهای "محدوده اثرات متوسط" و "سطح اثرات احتمالی" بیشتر بود که نشان‌دهنده اثرات زیستی متوسط و احتمالی این فلز بر روی موجودات بستر است. به طور کلی کیفیت اکولوژیک رسوبات سطحی اطراف خارکو نسبت به خارک، بهتر ارزیابی گردید.

واژه‌های کلیدی: رسوب، جزایر خارک و خارکو، عناصر بالقوه سمی، فسفر کل، نیتروژن کل

۱. پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران.

۲. دانشجوی دکتری، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی - مدیریت، برنامه ریزی و آموزش محیط زیست، تهران، ایران.

۳. اداره کل محیط زیست استان بوشهر، بوشهر، ایران.

۴. سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران.

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Ghorbanzadeh110@yahoo.com

## مقدمه

اکوسیستم‌های دریایی به دلیل رشد فزاینده فعالیت‌های انسانی اثرات شدید محیط‌زیستی را تجربه می‌کنند. در میان این عوامل استرس‌زا، آلودگی فلزات و شبه فلزات حداقل در ۴۰ سال اخیر به عنوان تهدید مهم برای اکوسیستم‌های دریایی شناخته شده است (۳۴). خلیج فارس به عنوان اکوسیستم حساس و شکننده دریایی و همچنین یک منطقه استراتژیک همواره در معرض فعالیت‌های مختلف انسانی و متعاقباً آلودگی‌های ناشی از آن بوده است. این آلودگی‌ها عمدتاً از صنایع نفتی و پتروشیمی و پساب شهری منشأ می‌گیرد که موجب به خطر افتادن حیات زیست‌مندان می‌گردد. از جمله این زیست‌مندان، آبسنگ‌های مرجانی حاشیه ای جزایر خارک و خارکو می‌باشند که پراکنش محدودی در منطقه دارند. به طور کلی به علت روند تولید مثل کم و رشد کند مرجان‌ها، مساحت این اکوسیستم در خلیج فارس روز به روز در حال کاهش می‌باشد (۱۹). مهم‌ترین عوامل تخریب اکوسیستم مرجانی جزیره خارک را می‌توان به دو دسته فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی تقسیم کرد. پساب‌های صنعتی تصفیه نشده به ویژه پساب مجتمع پتروشیمی خارک، تردد و حمل و نقل دریایی، سوانح منجر به ریزش‌های نفتی، تخریب سواحل بر اثر عملیات لوله‌گذاری یا توسعه اسکله‌ها و همچنین فعالیت‌های منجر به اکتشاف و استخراج نفت در میادین نفتی از جمله عوامل موثر در تخریب زیستگاه‌های مرجانی منطقه به شمار می‌آیند (۱۹). عوامل استرس‌زای محلی مانند آلودگی فلزی و شبه فلز (عناصر بالقوه سمی) ممکن است ظرفیت صخره‌های مرجانی را برای رویارویی با تغییرات بی‌سابقه مرتبط با گرم شدن کره زمین و اسیدی شدن اقیانوس‌ها کاهش دهد. از طرفی تغییرات اقلیمی، سمیت این آلودگی‌ها را بر روی موجودات زنده از جمله آب‌سنگ‌های مرجانی افزایش می‌دهد (۳۴). به طور کلی، تخمین زده شده است که انواع آلودگی‌ها بر ۲۵ درصد از صخره‌های مرجانی در سراسر جهان تأثیر منفی می‌گذارد (۱۱). در چند سال اخیر مطالعات بررسی اثرات آلودگی‌ها بر روی رسوبات اطراف

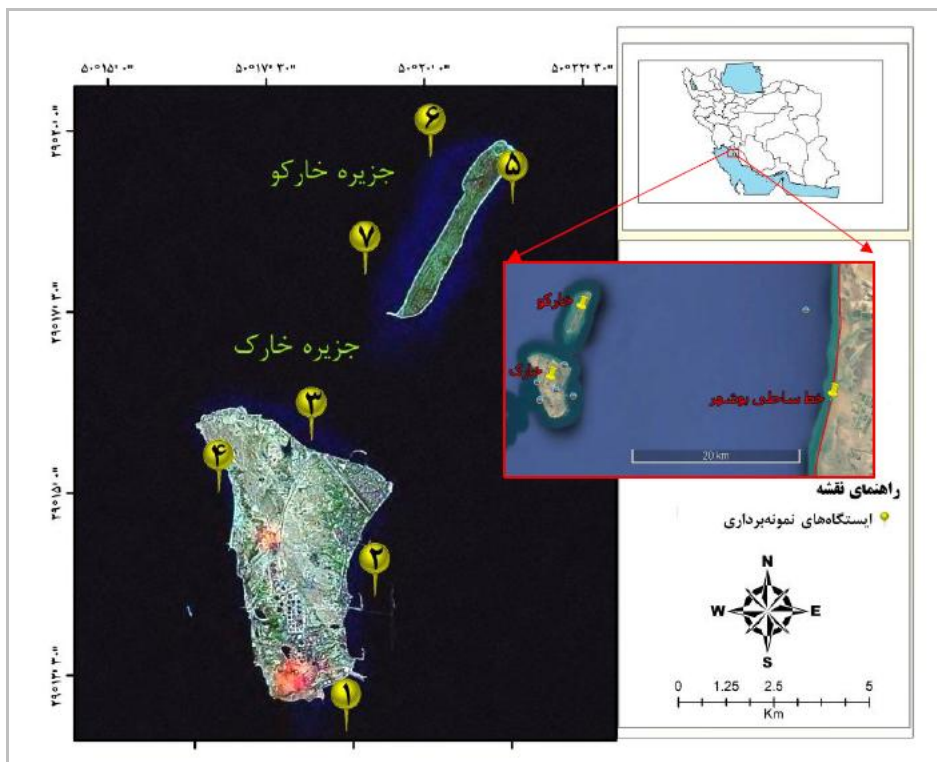
جزایر خارک و خارکو صورت گرفته است. برخی از آنها نشان‌دهنده میزان بیشتر آلودگی‌های نفتی (مثل هیدروکربن‌های نفتی حلقوی و n-آلکان‌ها) در رسوبات اطراف خارک نسبت به جزیره خارکو می‌باشند که منشا پتروژنیک داشته اند ولی غالباً دارای آلودگی متوسط و در محدوده اثرات کم بودند (۳۱، ۳۰). همچنین با افزایش غلظت عناصر بالقوه سمی همچون سرب و جیوه، درصد پوشش مرجان‌های مرده می‌تواند به طور قابل توجهی بیشتر باشد (۵). مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که مس (۱/۰ میلی‌گرم در لیتر) در مدت کوتاه (۲۴ ساعت) می‌تواند باعث سفیدشدگی و مرگ آب‌سنگ مرجانی شود (۱۲). عناصر فلزی سمی که تمایل به تجمع زیستی در شبکه‌های غذایی دارند، ممکن است اثرات فیزیولوژیکی مهمی بر موجودات زنده داشته باشند و اثرات شدید مضر بر اکوسیستم‌های صخره‌های مرجانی نشان دهند. بسیاری از عناصر بالقوه سمی با افزایش سطوح تغذیه‌ای در امتداد شبکه‌های تغذیه‌ای زیستی کاهش می‌یابند (۱۱). بر اساس نتایج رنجبر جعفرآبادی و همکاران (۳۳) غلظت عناصر بالقوه سمی منگنز، روی، مس، کروم، کبالت، نیکل، وانادیوم، آرسنیک، کادمیوم، جیوه و سرب در رسوبات سطحی و آب در اطراف خارک بیشتر از جزیره لارک بود که می‌تواند به دلیل بارگذاری بیشتر این عناصر از جمله فعالیت‌های پتروشیمی در منطقه باشد. مرجان‌های خارک و لارک دارای گزینش متمایز برای جذب فلزات از رسوبات محیط و آب دریا بودند (۳۳). همچنین مطالعات نشان داد در سواحل بوشهر میزان وانادیوم و نیکل در بافت صدف صخره چسب کمتر از میزان آنها در نمونه‌های رسوب منطقه بوده است (۲۴). با این وجود کمبود اطلاعات در زمینه الگوی تجمع و انتقال آلودگی‌ها در طول شبکه غذایی به ویژه در مناطق گرمسیری و زیستگاه‌های مرجانی، بررسی اثرات آنها در کوتاه مدت و بلند مدت را دچار مشکل کرده است (۱۱، ۳۳). بنابراین نیاز به اطلاعات پایه در مورد سطح آلودگی عناصر بالقوه سمی در اکوسیستم‌های دریایی وجود دارد. رسوبات، شاخص خوبی از گذشته این نوع آلودگی‌ها هستند. زیرا بعد از تخلیه آلودگی‌ها

### مواد و روش ها

عملیات نمونه برداری از رسوب سطحی اطراف خارک و خارکو در هفت ایستگاه در شهریور ۱۳۹۹ انجام گردید. ایستگاه‌های نمونه برداری بر اساس پراکنش کانون‌های بالقوه آلودگی با انجام پیمایش میدانی و اطلاعات موجود (۱۶) مشخص شدند (شکل ۱. ب). نمونه برداری از رسوب در انتهای محدوده‌ی پراکنش آب‌سنگ‌های مرجانی به سمت دریا که نمونه رسوب توسط نمونه بردار قابل برداشت بوده، انجام شد (شکل ۱. الف). کلیه روش‌های نمونه‌برداری براساس (Manual of Oceanographic Observations and Pollutant Analyses Methods, MOOPAM) (۲۵) انجام شد.

نمونه‌برداری از رسوبات سطحی بستر نرم دریا (حدود ۱۰ سانتی‌متر) با استفاده از گرب ون وین (Van veen) انجام و نمونه‌ها در ظروف مناسب (کیسه پلاستیکی زیبدار برای عناصر بالقوه سمی، دانه‌بندی و مواد آلی و مغذی) در شرایط استاندارد (نگهداری در دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس و انجماد نمونه) به آزمایشگاه انتقال داده شد. عمق ایستگاه‌های نمونه‌برداری توسط دستگاه عمق‌سنج دیجیتال دستی (Hondex PS-7 Depth Sounder) تعیین گردید. در هر ایستگاه ۳ نمونه رسوب برداشت و مخلوط و نمونه همگن جهت انجام آزمون‌های آزمایشگاهی استفاده شد. در این مطالعه با توجه به اینکه فعالیت غالب انسانی منطقه، فعالیت نفتی می‌باشد، عناصر بالقوه سمی شاخص آلودگی نفتی (نیکل و وانادیوم) و سایر عناصر بالقوه سمی که احتمالاً در محصولات نفتی وجود دارند (۲۷)، مورد سنجش قرار گرفتند. ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه رسوب جهت انجام اندازه گیری عناصر بالقوه سمی (آلومینیوم، آهن، نیکل، سرب، وانادیوم و روی) در ۲/۴ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی (مخلوط اسید نیتریک ۶۵ درصد و اسید کلریدریک ۳۷ درصد سوپراپیور به نسبت ۱ به ۳) در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت دو ساعت هضم شد (۹). غلظت عناصر را در محلولی که با آب دیونیزه به حجم ۵۰ میلی لیتر رسیده، با روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (Inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MAS) قرائت گردید. برای کنترل دقت دستگاه و صحت نتایج،

در محیط، رسوبات محل اصلی ته‌نشینی فلز و شبه فلزات ناشی از منابع طبیعی یا انسان‌زاد هستند (۳۴). بنابراین، بررسی زمین‌شیمیایی رسوبات برای پی بردن به شرایط این اکوسیستم‌ها، امری حیاتی است (۱۳). برای این منظور می‌توان از برخی شاخص‌ها از جمله شاخص‌های زمین‌شیمیایی برای بررسی میزان ریسک این آلودگی‌ها از جمله عناصر بالقوه سمی استفاده نمود. شاخص غنی‌شدگی ابزار مناسبی است برای منشایابی عناصر بالقوه سمی ترسیب شده ناشی از فعالیت‌های انسانی و یا کانی‌های طبیعی در یک منطقه می‌باشد. برای نرمال سازی این شاخص، می‌توان از فلز آلومینیوم استفاده کرد که در برخی مواقع نشان‌دهنده سیلیکات آلومینیوم است که در نواحی ساحلی بطور طبیعی غالباً وجود دارد (۳، ۲۶، ۳۶، ۴۱). در مطالعات داخلی نیز استفاده از آلومینیوم در محاسبه این شاخص توصیه شده است (۱۷، ۴۴). به طور کلی سمیت عناصر بالقوه سمی به دو سطح (Effect Range Low (ERL) و (ERM) Effect Range Medean طبقه‌بندی می‌شوند (۲۲). به این ترتیب که غلظت کمتر از حد ERL دارای اثر منفی کمی بر موجودات زنده بوده و در حدود ۱۰ درصد آنها را می‌تواند تحت تاثیر قرار دهد که بر حسب فلز، متفاوت است. مقادیر بیشتر از ERM نیز به احتمال بسیار زیادی درصد قابل توجهی (بیش از ۵۰ درصد) از موجودات زنده را می‌تواند متأثر سازد. بنابراین در این مطالعه برای ارزیابی ریسک و بررسی وضعیت کیفی رسوبات سطحی اطراف مناطق مرجانی جزایر خارک و خارکو، مواد مغذی مهم (فسفر کل و نیتروژن کل) و عناصر بالقوه سمی (آلومینیوم، آهن، نیکل، سرب، وانادیوم و روی) اندازه‌گیری شده و با محاسبه شاخص‌های زمین‌شیمیایی فاکتور غنی‌شدگی و بار آلودگی، به ترتیب میزان غنی‌شدن و منشأ و وضعیت آلودگی هر یک از عناصر بالقوه سمی مورد نظر در کل محدوده مورد مطالعه و هر یک از ایستگاه‌ها مشخص شده و در نهایت با کمک استانداردهای مناسب جهانی، اثرات زیستی احتمالی هر یک از پارامترهای مورد مطالعه در رسوب سطحی مورد بررسی قرار گرفت.



(الف)



(ب)

شکل ۱. الف) ایستگاه‌های مورد مطالعه در اطراف جزایر خارک (۱ الی ۴) و خارکو (۵ الی ۷)؛ ب) کانون‌های مهم آلودگی اطراف خارک (۱۶):

شهریور ۱۳۹۹. اعداد ۱ الی ۷ در شکل الف، نشان‌دهنده موقعیت ایستگاه نمونه‌برداری می‌باشد

جدول ۱. میزان استاندارد ERL و ERM برای عناصر بالقوه سمی (میلی گرم بر کیلوگرم) و درصد بروز اثرات زیستی در محدوده تعیین شده (۲۲)

عناصر بالقوه سمی	* درصد وقوع اثرات				
	راهنا	ERL	ERM	<ERL	ERL-ERM
آرسنیک	۸/۲	۷۰	۵	۱۱/۱	۶۳
کادمیوم	۱/۲	۹/۶	۶/۶	۳۶/۶	۶۵/۷
کروم	۸۱	۳۷۰	۲/۹	۲۱/۱	۹۵
مس	۳۴	۲۷۰	۹/۴	۲۹/۱	۸۳/۷
سرب	۴۶/۷	۲۱۸	۸	۳۵/۸	۹۰/۲
جیوه	۰/۱۵	۰/۷۱	۸/۳	۲۳/۵	۴۲/۳
نیکل	۲۰/۹	۵۱/۶	۱/۹	۱۶/۷	۱۶/۹
نقره	۱	۳/۷	۲/۶	۳۲/۳	۹۲/۸
روی	۱۵۰	۴۱۰	۶/۱	۴۷	۶۹/۸

\* تعداد موارد ورودی در هر محدوده غلظت که در آن اثرات زیستی مشاهده شد، تقسیم بر تعداد کل ورودی‌ها در هر محدوده.

جدول ۲. درصد بازیابی عناصر بالقوه سمی در ماده مرجع استاندارد با غلظت اندازه‌گیری شده (به میلی گرم بر کیلوگرم به جز آلومینیوم و آهن که بر حسب گرم بر کیلوگرم است).

عناصر بالقوه سمی						ماده مرجع
Zn	Pb	Ni	Fe	V	Al	مقدار
۱۰۱	۲۶	۳۹/۴	۴۰/۸	۱۶۰	۷۸/۲	مقدار اندازه‌گیری شده $\pm$ انحراف استاندارد
۹۱ $\pm$ ۴	۲۵/۳ $\pm$ ۵/۴	۳۵/۵ $\pm$ ۴/۲	۳۴/۷ $\pm$ ۲/۳	۱۴۳/۱ $\pm$ ۳/۱	۷۵/۳ $\pm$ ۵/۲	IAEA-433
۹۰	۹۷	۹۰	۸۵	۸۹	۹۶	درصد بازیابی

سازمان ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده آمریکا (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)، استفاده گردید (۱۴). برای محاسبه فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor, EF) عناصر بالقوه سمی از فرمول ۱ استفاده شد. در این تحقیق عنصر آلومینیوم به عنوان عنصر نرمال‌ساز جهت جداسازی آلودگی‌های انسانی و طبیعی به کار برده شد. آلومینیوم عنصری است که به فراوانی در پوسته حضور دارد و به ندرت تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرد. این شاخص همچنین برای میزان رسوب‌گذاری منطقه استفاده می‌شود (۲۰، ۴۲).

$$EF = (Hs/Als) / (Hc/Alc) \quad (1)$$

از مواد استاندارد مرجع IAEA-433 استفاده شد که میزان خطای آزمایش در دامنه مورد نظر استاندارد قرار داشت (جدول ۲). دانه‌بندی رسوب (ماسه با قطر بزرگتر از ۶۲ میکرومتر، سیلت با قطر ۴ تا ۶۲ میکرومتر، رس با قطر کوچکتر از ۴ میکرومتر) با روش سری الک آزمایشگاهی (۲۸) و مواد آلی کل (Total Organic Matter, TOM) رسوب با روش سوزاندن در کوره (۸) اندازه‌گیری شد. فسفر کل با روش اسید اسکورییک به وسیله اسپکتروفتومتر (UV/Vis Spectrophotometer) و نیتروژن کل با روش کج‌دلال اندازه‌گیری شد (۲۸). برای مقایسه میزان عناصر بالقوه سمی مورد نظر در رسوب و ارزیابی ریسک بوم‌شناختی از استانداردهای جهانی طبق

با توجه به نرمال نبودن اکثر میانگین داده‌ها، همبستگی بین متغیرها با آزمون اسپیرمن در سطح  $p < 0/05$  با استفاده از نرم‌افزار SPSS23 مشخص شد. همچنین برای دسته‌بندی ایستگاه‌ها از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای استفاده گردید (۱۸). برای مقایسه داده‌های پارامترهای رسوب از استانداردهای جهانی (۱۴، ۲۷) استفاده شده است. در این مطالعه، از استاندارد سطح اثرات کم (Low Effects Levels, LEL)، سطح آستانه اثر (Threshold Effects Levels, TEL)، سطح اثر احتمالی (Probable Effects Levels, PEL) و سطح اثرات شدید (Sever Effects Level, SEL)، اثرات کم (Effect Range Low, )، اثرات متوسط (Effect Range Median, ERM) و آستانه اثرات آشکار (Apparent Effects Threshold, AET) استفاده شد (جدول ۳).

### نتایج

در مطالعه حاضر، عمق ایستگاه‌های ۱ الی ۷ به ترتیب ۱۰، ۱۸، ۱۰، ۱۵، ۳۱، ۲۶ و ۲۶ متر به ثبت رسیده است. از آنجایی که نقاط نمونه‌برداری به منظور دست یافتن به رسوب مناسب، بلافاصله بعد از آخرین نقطه رویشگاهی مرجان‌های سخت در هر ایستگاه در نظر گرفته شده است، لذا فاصله هر ایستگاه تا بستر سخت مرجانی به ترتیب حدود ۵۰، ۲۵۰، ۴۰۰، ۱۹۰، ۵۰۰، ۴۵۰ و ۴۶۰ متر ثبت گردید. ایستگاه ۵ علی‌رغم این‌که دارای حداکثر عمق (۳۱ متر) بین سایر ایستگاه‌ها بوده ولی فاقد رسوب ریزدانه کافی برای اندازه‌گیری کلیه پارامترهای مورد نظر بوده است. بر اساس جدول ۴، بیشترین مقدار بافت ریزدانه (مجموع سیلت و رس) در ایستگاه ۲ (۳/۵ درصد) و کمترین آن در ایستگاه ۳ (۰/۱ درصد) به ثبت رسید. از طرفی بیشترین مقدار مواد آلی کل (TOM) در ایستگاه ۲ (۵/۳۷ درصد) و کمترین آن نیز در ایستگاه ۱ (۲/۲ درصد) به ثبت رسید. میانگین فسفر کل و نیتروژن کل در رسوبات اطراف خارک و خارکو به ترتیب ۰/۷ و ۱۴/۷ میلی‌گرم در لیتر تعیین گردید.

$H_s$  و  $H_c$ : غلظت فلز مورد نظر به ترتیب در نمونه مورد مطالعه (s; sample) و در نمونه زمینه (c; crust; background)  $Al_s$  و  $Al_c$ : میزان آلومینیوم به ترتیب در نمونه مورد مطالعه و زمینه (۲۳).

بر اساس گزارش‌های موجود، استفاده از مقادیر زمینه محلی و منطقه‌ای برای تعیین کمیت آلودگی فلزی در رسوبات پیشنهاد شده است (۳۵). بنابراین برای محاسبه شاخص‌های زمین-شیمیایی از نتایج نمونه‌های مغزه رسوبی که توسط کرباسی و همکاران (۲۱) گزارش شده است، به عنوان مقدار زمینه آهن، آلومینیوم، نیکل، سرب و روی و از مقدار وانادیوم پوخته زمین (۶) برای مقدار زمینه وانادیوم استفاده شد (جدول ۶). بر اساس گزارش‌های موجود، میزان فاکتور غنی‌شدگی  $EF < 1$ ، فاقد غنی‌شدگی؛  $EF < 3$ ، غنی‌شدگی کم؛  $EF < 3-5$ ، غنی‌شدگی متوسط؛  $EF < 5-10$ ، غنی‌شدگی متوسط تا شدید؛  $EF < 10-25$ ، غنی‌شدگی شدید؛  $EF < 25-50$ ، غنی‌شدگی خیلی شدید و  $EF > 50$ ، غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید را نشان می‌دهد (۱، ۲، ۱۷). در صورتی که شاخص EF از ۳ کمتر باشد، بیشتر عوامل طبیعی و فرایند هوازدگی تاثیرگذار می‌باشد و اگر میزان شاخص از ۳ بیشتر باشد، بیانگر نقش موثرتر عوامل انسان-ساخت در غنی‌شدگی این عناصر بالقوه سمی در منطقه می‌باشد (۱۰، ۱۶).

برای ارزیابی کیفیت محیطی رسوبات از فرمول ۲ با عنوان شاخص بار آلودگی (Pollution Load Index, PLI) استفاده شد (۴۰).

$$PLI = (CF_1 * CF_2 * CF_3 \dots CF_n)^{1/n} \quad (2)$$

(Contamination Factor, CF): فاکتور آلودگی برابر است با نسبت بین میزان هر یک از عناصر بالقوه سمی در نمونه مورد مطالعه به میزان فلز در نمونه زمینه (فرمول ۳)

$$n: \text{تعداد عناصر فلزی مورد مطالعه} \\ CF_{metals} = CH_{metal} / CH_{back} \quad (3)$$

برای تعیین میزان بار آلودگی در یک منطقه، اگر شاخص  $PLI > 1$  باشد، نشان‌دهنده آلوده بودن و اگر  $PLI < 1$ ، منطقه فاقد آلودگی می‌باشد (۳۷).

جدول ۳. مقادیر استاندارد جهانی میزان عناصر بالقوه سمی و مواد مغذی در رسوب دریایی (علامت \* نشان‌دهنده مقادیر به درصد می‌باشد)

عنصر	رسوب دریایی (میلی‌گرم بر کیلوگرم، *درصد)						
	LEL	TEL	ERL	ERM	PEL	SEL	AET
Al							۱/۸*
Fe							۲۲*
Pb	یوچمن	۳۰/۲	۴۶/۷	۲۱۸	۱۱۲		
Ni	(۱۴)	۱۵/۹	۲۰/۹	۵۱/۶	۴۲/۸		
V				۵۷			
Zn		۱۲۴	۱۵۰	۴۱۰	۲۷۱		
TN	پرسود و	۵۵۰				۴۸۰۰	
TP	همکاران	۶۰۰				۲۰۰۰	
	(۲۷)						

جدول ۴. میزان مواد مغذی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، مواد آلی کل و بافت رسوب (درصد) اطراف خارک (K۱ تا K۴) و خارکو (K۶ و K۷):

شهریور ۱۳۹۹

ایستگاه	فسفر کل	نیتروژن کل	مواد آلی کل	سیلت و رس	ماسه (۶۲ میکرومتر >)
K۱	۰/۴	۱۱/۲	۲/۲	۰/۴	۹۹/۶
K۲	۰/۵	۸/۷	۵/۴	۳/۵	۹۶/۵
K۳	۱/۰	۱۱/۱	۳/۳	۰/۱	۹۹/۹
K۴	۰/۴	۹/۲	۳/۸	۰/۶	۹۹/۴
K۶	۰/۸	۳۲/۲	۴/۴	۱/۳	۹۸/۷
K۷	۱/۲	۱۵/۸	۴/۳	۲/۲	۹۷/۸
میانگین ± انحراف معیار	۰/۷±۰/۳	۱۴/۷±۶/۲	۳/۹±۱/۰	۱/۴±۱/۲	۹۸/۷±۱/۲

کمترین آن (۰/۱۶ درصد) در ایستگاه ۳ به ثبت رسید. میزان آهن نیز مشابه آلومینیوم می‌باشد. بدین صورت که بیشترین مقدار آن در شمال خارکو و ایستگاه ۶ (۱ درصد) و ۷ (۰/۹۱ درصد) و کمترین آن در ایستگاه ۳ (۰/۱۳ درصد) اندازه‌گیری شد. کمترین مقدار نیکل در ایستگاه شماره ۳ و ۴ (۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و بیشترین آن در ایستگاه ۱ (میلی‌گرم در کیلوگرم) به ثبت رسید. بیشترین میزان سرب (۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) در رسوب ایستگاه ۱ و ۶ و کمترین آن (۰/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) در ایستگاه ۳ و ۷ قرائت شد. هم‌چنین

بیشینه مقدار فسفر کل در ایستگاه ۷ (۱/۲ میلی‌گرم در لیتر) و کمترین آن در ایستگاه ۱ و ۴ (۰/۴ میلی‌گرم در لیتر) به ثبت رسیده است. بیشترین مقدار نیتروژن کل در رسوب ایستگاه ۶ (۳۲/۲ میلی‌گرم در لیتر) و کمترین آن در ایستگاه ۲ (۸/۷ میلی‌گرم در لیتر) اندازه‌گیری شد. مطابق با شکل ۲، میانگین مقادیر آلومینیوم و آهن به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۵۵ درصد و نیکل، سرب، وانادیوم و روی به ترتیب ۳۵، ۲/۱، ۲۲ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در رسوب منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. بیشترین مقدار آلومینیوم در رسوب (۱/۳۹ درصد) در ایستگاه ۷ و

## بحث

در مطالعه حاضر بر اساس میزان ماسه (بیش از ۹۸ درصد) و سیلت و رس در منطقه، بافت رسوب کلیه ایستگاه‌ها با توجه به نزدیکی با ساحل، ماسه ای می‌باشد که در سوابق مطالعاتی (۲۹) نیز نتایج مشابه‌ای در اکثر ایستگاه‌های غرب خارک (ماسه ای یا ماسه ای- لومی) گزارش شده است. همچنین اخباری زاده (۴) محتوای ماسه، سیلت و رس نمونه‌های رسوب ساحل خارک (نزدیک به خط ساحلی در محدوده بین جزر و مدی) را به ترتیب در محدوده ۵۰ تا ۹۱/۱۶ درصد، ۲ تا ۲۱/۴۰ درصد و ۶/۴۰ تا ۲۸/۶۰ درصد گزارش نمود. میزان زیاد ماسه در منطقه می‌تواند به واسطه جریان و امواج ساحلی باشد که ذرات ریز دانه را در اعماق بیشتر و در جایی که تلاطمات و امواج کمتر می‌باشد، منتقل و به تدریج ته‌نشین خواهد نمود. در سواحل جزیره خارک باد تاثیر مهمی در ایجاد جریان‌های ساحلی دارد. این جریانات نقش مهمی در انتقال رسوب و نیز انتقال الودگی- های مناطق ساحلی دارند (۳۸). نتایج شبیه سازی جریان‌ها توسط مدل نشان داد که بیشترین سرعت جریان در سواحل شمال غربی رخ داده است و الگوی جریان‌های اطراف جزیره خارک غالباً از ناحیه شمالی در امتداد سواحل شرقی و غربی به سمت جنوب امتداد می‌یابد (۳۸). ارتباط مثبت عمق و ذرات ریزدانه در این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش عمق، مقادیر ریزدانه افزایش یافته است. از طرفی با توجه به افزایش ریزدانه (سیلت و رس) در هر ایستگاه و همبستگی مثبت آنها با مواد آلی انتظار می‌رود میزان مواد آلی نیز افزایش یابد. ذرات ریز رسوبات با افزایش نسبت سطح به حجم (یا وزن)، پتانسیل بیشتری برای به دام انداختن آلاینده‌های آلی و غیر آلی از ستون آب دارند. به‌طور کلی ذرات ریز رسوبات بسترهای نرم و گلی با داشتن مواد آلی بیشتر، آلاینده‌های بیشتری را نسبت به بسترهای شنی - ماسه‌ای در خود نگه می‌دارند (۱۵، ۳۹). از طرفی چون میزان مواد ریزدانه در رسوبات نزدیک منطقه رویشگاهی مرجانی در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه اطراف خارک و خارکو، کم می‌باشد، انتظار می‌رود میزان مواد

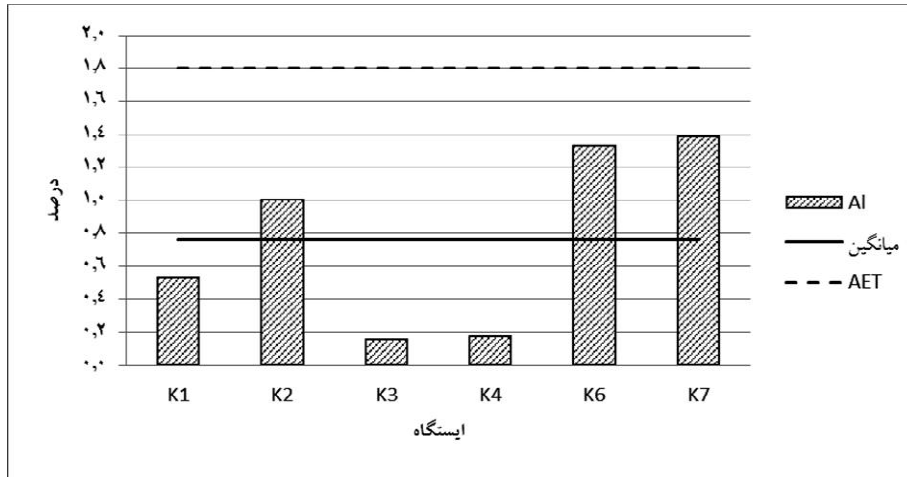
بیشترین مقدار وانادیوم (۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) در ایستگاه ۶ و کمترین آن (۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) در دو ایستگاه ۳ و ۴ اندازه‌گیری گردید. در نهایت همانطور که در شکل (۲-و) مشخص است، بیشترین مقدار روی (۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) در رسوب ایستگاه ۱ و کمترین آن (۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) در ایستگاه ۶ به ثبت رسید. ایستگاه‌های ۱ و ۴ از میانگین (۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر بوده است.

بر اساس جدول ۵، وضعیت کلی منطقه در اطراف خارک و خارکو بر اساس میزان فلز روی دارای وضعیت غنی‌شدگی شدید می‌باشد و برای سایر عناصر بالقوه سمی مورد مطالعه دارای وضعیت فاقد غنی‌شدگی (سرب) تا وضعیت غنی‌شدگی کم (آهن، نیکل و وانادیوم) می‌باشد. همچنین نتایج جدول ۶ نشان داد با توجه به اینکه مقادیر شاخص بار آلودگی در کلیه ایستگاه‌های مورد نظر کمتر از یک می‌باشد، وضعیت آلودگی منطقه، بدون آلودگی ارزیابی شده است.

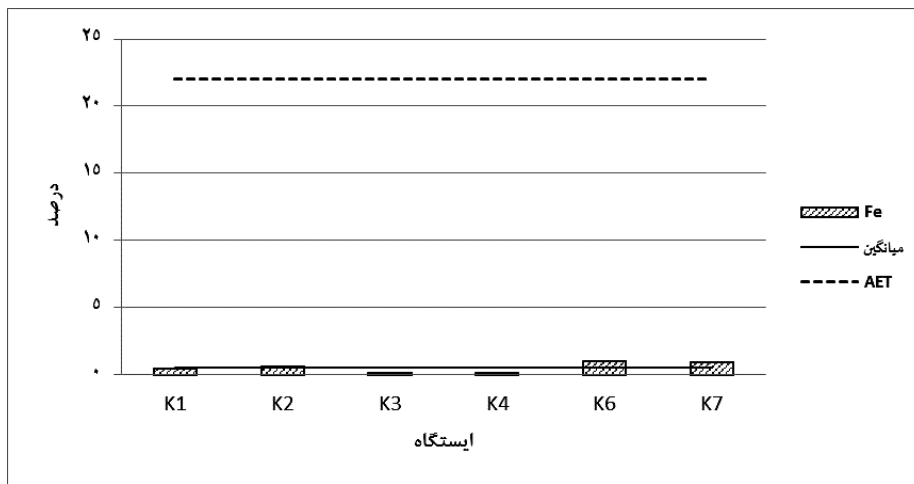
با آزمون خوشه‌ای (Euclidean distance, Ward's Method) میزان شباهت بین ایستگاه‌های اطراف خارک و خارکو بر اساس میزان عددی فاصله بین آنها (مثلاً فاصله عددی ۵ در شکل ۳) به واسطه ویژگی‌های رسوب شامل میزان عناصر بالقوه سمی (آلومینیوم، آهن، نیکل، سرب، وانادیوم و روی) و فسفر کل، نیتروژن کل و بافت رسوب مشخص شده است. به‌طور کلی ایستگاه‌ها به ۳ گروه تفکیک شدند. طوری‌که ایستگاه‌های ۳، ۴ و ۱ در یک گروه و ایستگاه‌های ۲ و ۷ در گروه دوم و ایستگاه ۶ به تنهایی با فاصله بیشتر نسبت به دو گروه دیگر قرار گرفته است.

بر اساس نتایج آزمون اسپیرمن، ارتباط مثبت قوی و معنی‌دار ( $r=0/9; p<0/05$ ) بین وانادیوم با آلومینیوم و آهن و همچنین سیلت و رس با مواد آلی کل ( $r=0/88; p<0/019$ ) وجود داشته و در مقابل، همبستگی منفی قوی و معنی‌دار بین سیلت - رس و کل مواد آلی با میزان ماسه مشاهده شد. از طرفی بین آلومینیوم، آهن، وانادیوم و عمق ایستگاه‌ها با ذرات ریزدانه (سیلت و رس) ارتباط قوی و مثبت ( $r=0/7; p<0/05$ ) وجود داشته است.

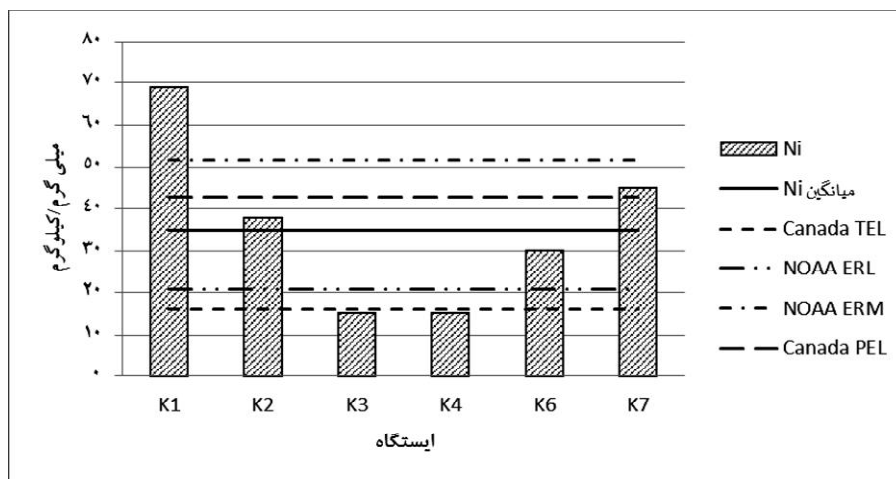




(الف)



(ب)

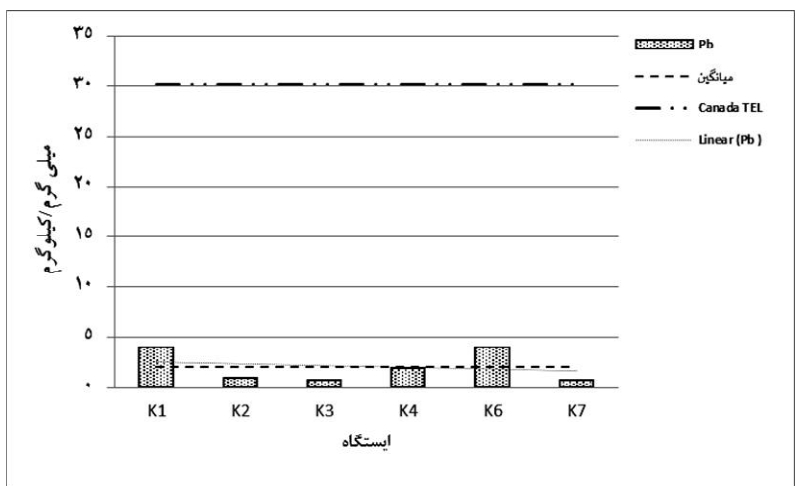


(ج)

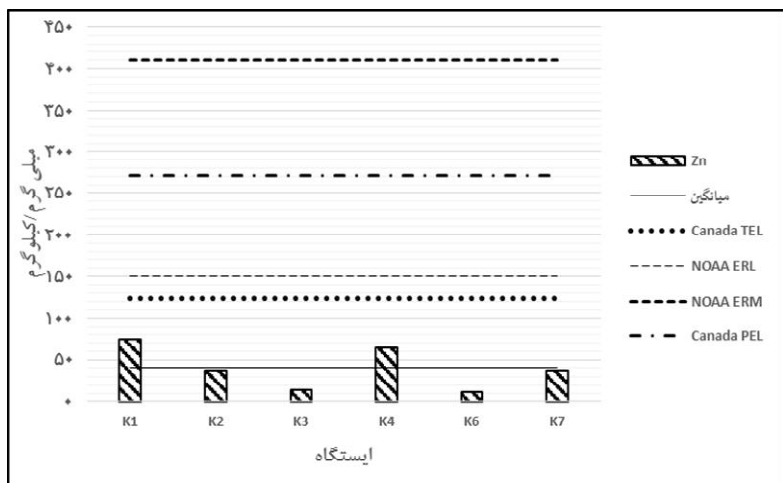
شکل ۲. مقادیر آلومینیوم (الف، Al)، آهن (ب، Fe)، نیکل (ج، Ni)، وانادیوم (د، V)، سرب (ن، Pb)، روی (و، Zn) در رسوبات خارک (K1 تا K4) و خارکو (K6 و K7) و مقایسه آن با استاندارد جهانی (AET, TEL, ERL, ERM, PEL): شهریور ۱۳۹۹



(د)



(ن)



(و)

ادامه شکل ۲.

جدول ۵. وضعیت غنی شدگی عناصر بالقوه سمی در رسوبات خارک (K1 تا K4) و خارکو (K6 و K7): شهریور ۱۳۹۹

Fe	شدگی غنی	Ni	شدگی غنی	Pb	شدگی غنی	Zn	شدگی غنی	V	شدگی غنی	EF
۱/۵	کم	۵/۳	متوسط-شدید	۰/۷	-	۱۲/۹	شدید	۱/۰	کم	K1
۱/۰	کم	۱/۶	کم	۰/۱	-	۳/۴	متوسط	۰/۶	-	K2
۱/۵	کم	۳/۹	متوسط	۰/۵	-	۸/۲	متوسط-شدید	۲/۱	کم	K3
۱/۵	کم	۳/۵	متوسط	۱/۱	کم	۳۲/۸	خیلی شدید	۱/۸	کم	K4
۱/۳	کم	۰/۹	-	۰/۳	-	۰/۸	-	۰/۸	-	K6
۱/۱	کم	۱/۳	کم	۰/۱	-	۲/۴	کم	۰/۶	-	K7
										انحراف
۱/۳±۰/۲	کم	۲/۸±۱/۸	کم	۰/۵±۰/۴	-	۱۰/۱±۱۲/۰	شدید	۱/۱±۰/۷	کم	معیار
										± میانگین

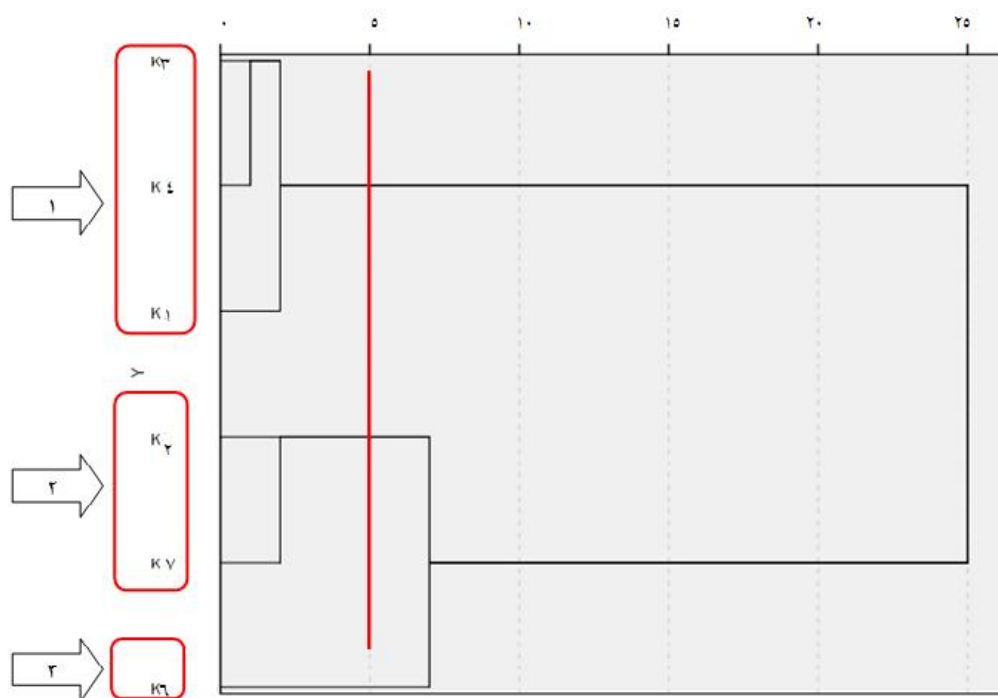
علامت (-) وضعیت بدون غنی شدگی را نشان می‌دهد.

جدول ۶. وضعیت آلودگی اطراف خارک (K1 تا K4) و خارکو (K6 و K7) بر اساس شاخص بار آلودگی (PLI) - شهریور ۱۳۹۹

PLI	وضعیت آلودگی	ایستگاه
۰/۲۵	بدون آلودگی	K1
۰/۱۹	بدون آلودگی	K2
۰/۰۶	بدون آلودگی	K3
۰/۱۱	بدون آلودگی	K4
۰/۲۴	بدون آلودگی	K6
۰/۲۲	بدون آلودگی	K7

ورودی خطوط لوله فروزان بوده است. همچنین اخباری زاده (۴) میانگین مواد آلی کل در اطراف خارک را ۳/۵۹ درصد گزارش نمود که از میانگین مطالعه حاضر (۳/۹) کمتر می‌باشد. مطابق با جدول ۲، مقادیر استاندارد جهانی LEL و SEL برای نیتروژن کل در رسوب محیط‌های آبی به ترتیب ۵۵۰ و ۴۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و برای فسفر کل نیز به ترتیب ۶۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (۲۷). بنابراین، مقادیر

آلی و آلاینده‌ها در نمونه‌های رسوب نیز کم باشد. در این مطالعه مطابق با جدول ۴، با افزایش میزان مواد ریزدانه، میزان مواد آلی کل در ایستگاه‌های ۲، ۶ و ۷ نیز افزایش پیدا کرده است. طبق گزارش پویندگان محیط‌زیست (۲۹)، کمترین و بیشترین مقدار مواد آلی کل به ترتیب ۲/۰۴ و ۳/۱۵ درصد بوده است که مربوط به بخش نزدیک به ساحل (حداکثر تا فاصله ۶۰۰ متری از ساحل) در غرب خارک و در نزدیکی سایت



شکل ۳. دسته بندی ایستگاه‌های اطراف خارک (K۱ تا K۴) و خارکو (K۶ و K۷) بر اساس غلظت عناصر بالقوه سمی، مواد مغذی، مواد آلی و بافت رسوب با استفاده از آزمون خوشه‌ای (Euclidean distance, Ward's Method): شهریور ۱۳۹۹

Al > Fe > Ni > V > Mn > Zn > Cu > Cr > Co > As > Cd > Pb > As  
 میزان آلومینیوم در رسوبات غرب خارک در نزدیک ساحل و در فاصله حداکثر ۶۰۰ متری از خط ساحلی (۲ - ۰/۱ درصد) و در بخش دور از ساحل، در درون دریا (Offshore) و در محدوده‌ی میدان نفت و گاز فروزان (۳ - ۲/۲ درصد) گزارش شده است (۲۹) که نشان‌دهنده شباهت مقادیر مطالعه حاضر و مقادیر نزدیک به ساحل مطالعه یک دهه قبل می‌باشد. در مطالعه حاضر، مقادیر آلومینیوم و آهن در رسوب کلیه ایستگاه‌ها از استاندارد AET (به ترتیب ۱/۸ و ۲۲ درصد) کم‌تر می‌باشد. به نظر می‌رسد به احتمال زیاد اثرات زیستی آشکار در منطقه برای این دو عنصر متصور نیست. میزان نیکل تنها در رسوب ایستگاه ۱ بیشتر از استاندارد ERM کانادا (۵۱/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود که بیانگر آن است که اثرات متوسط (حدود ۱۶/۹ درصد اثرات منفی نیکل) در این ایستگاه قابل مشاهده است. در صورتی که در ایستگاه ۷ (۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) همانند

نیروژن کل و فسفر کل در مطالعه حاضر خیلی کمتر از حد استاندارد می‌باشد. این بدان معنی است که احتمال اثرات زیستی برای موجودات بستری در مقادیر به ثبت رسیده در رسوب کم بوده و برای موجودات بستری قابل تحمل خواهد بود. در مطالعه حاضر ترتیب میانگین مقادیر عناصر بالقوه سمی در رسوب منطقه به صورت  $Al > Fe > Zn > Ni > V > Pb$  می‌باشد. این نتیجه با نتایج اخباری زاده (۴) که به صورت زیر می‌باشد، در خصوص روی و نیکل و وانادیوم مشابه بوده ولی مقدار سرب از وانادیوم بیشتر گزارش شده است.

Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > V > As > Mo > Cd > Hg

در گزارش رنجبر و همکاران (۳۲) میانگین کل مقادیر عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های رسوبات اطراف جزایر خلیج فارس (خارک تا قشم) به صورت زیر بوده است که ترتیب آن مشابه مطالعه حاضر می‌باشد. در گزارش مذکور بیشترین میانگین عناصر مذکور در اطراف خارک اندازه‌گیری شده است.

در رسوبات سطحی از ده ناحیه صنعتی واقع در محدوده سواحل شمالی خلیج فارس گزارش دادند که میزان روی و سرب در تمام نمونه‌ها از ERM کم‌تر بوده است. حداقل و حداکثر میزان روی در گزارش مذکور در مناطق تفریحی و مناطق شهری، صنعتی و تجهیزات نمک‌زدایی (۴۴/۴۲ - ۵/۹۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) می‌باشد که از میزان معادل آن در مطالعه حاضر در خارک (۱۱-۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) کم‌تر می‌باشد. همچنین مطابق با گزارش مذکور میزان کمترین و بیشترین مقدار سرب به ترتیب در منطقه بکر و منطقه صنعتی، کشتیرانی، بندرگاه و کشاورزی سواحل خلیج فارس (۱۸۰/۷۸-۰/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) بوده که از حداقل و حداکثر سرب در مطالعه حاضر (۸/۰-۰/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر می‌باشد.

بر اساس جدول ۷ مقادیر وانادیوم، روی، سرب، نیکل، آهن و آلومینیوم در مطالعه حاضر تقریباً از نتایج کلیه مطالعات پیشین در سواحل بوشهر و پوسته زمین کمتر می‌باشد. در صورتی که به استثنای سرب، بقیه مقادیر فلزی این مطالعه از نتایج پویندگان محیط‌زیست (۲۹) نسبتاً بیشتر بوده است. از طرفی مقدار سرب و روی گزارش شده توسط رنجبر و همکاران (۳۲) کمتر از نتایج حاضر است.

بر اساس جدول ۵، با توجه به وضعیت غنی شدگی متوسط-شدید نیکل در ایستگاه ۱ و وضعیت غنی شدگی متوسط آن در ایستگاه‌های ۳ و ۴، می‌توان گفت منشأ نیکل در ایستگاه‌های ۱، ۳ و ۴ غالباً انسانی و ناشی از فعالیت‌های نفتی منطقه می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج غنی شدگی متوسط تا خیلی شدید فلز روی در ایستگاه ۱ الی ۴، می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً ناشی از فعالیت‌های انسانی باشد. اما با توجه به ارتباط مثبت بین ذرات ریزدانه (سیلت و رس) با آلومینیوم، آهن و وانادیوم و همچنین بر اساس مقادیر شاخص غنی شدگی برای سرب، وانادیوم و آهن در نمونه‌های رسوب که کم‌تر از ۳ بوده است، به نظر می‌رسد منشأ اصلی این فلزات در منطقه، طبیعی و زمین‌زاد باشد. مطالعه‌ای که توسط کرباسی و همکارانش (۲۱) در زمینه سنجش عناصر بالقوه سمی Zn، Cu،

ایستگاه ۱ از استاندارد PEL (۴۲/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر بوده است. این موضوع نیز بیانگر آن است که اثرات زیستی در موجودات بسترزی گهگاهی می‌تواند مشاهده گردد (۲۷). بر اساس جدول ۷، ایستگاه ۲ و ۶ نیز فقط از استانداردهای TEL (۱۵/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) و ERL (۲۰/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر بوده است که مطابق با جدول ۱، اثرات زیستی کمی و در حد ۱۶/۷ درصد اثرات منفی احتمالاً بروز خواهد کرد. بر اساس نتایج پویندگان محیط‌زیست (۲۹)، میزان نیکل و وانادیوم در رسوبات نزدیک ساحل به ترتیب ۳۰-۶ و ۱۶-۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است که از میزان کمینه و بیشینه آنها در مطالعه حاضر که به ترتیب ۶۹-۱۵ و ۳۸-۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم است، کم‌تر می‌باشد (۲۹). افزایش مقادیر این دو فلز به عنوان شاخص آلودگی نفتی در سال‌های اخیر می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت‌های انسانی منطقه (به ویژه فعالیت‌های نفتی) در دهه اخیر باشد. از طرفی بر اساس جداول ۲ و ۷، چون میانگین وانادیوم در منطقه (۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) کم‌تر از استاندارد ERM (۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) می‌باشد، می‌توان گفت اثرات زیستی بر روی موجودات بسترزی منطقه کم بوده و به احتمال زیاد اثرات متوسط زیستی مشاهده نشده است. میزان سرب در رسوبات نزدیک ساحل غربی خارک به ترتیب ۵ تا ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است که در مقایسه با مقادیر مطالعه حاضر (۷۵-۰/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر است (۲۹). با این وجود میزان سرب در کلیه ایستگاه‌ها کم‌تر از استاندارد TEL (۳۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) است که نشان‌دهنده بروز اثرات آستانه ای این فلز در موجودات منطقه می‌باشد. میانگین مقادیر فلز روی در مطالعه حاضر (۷۵-۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) نیز از مقادیر به ثبت رسیده در نمونه‌های رسوب در یک دهه قبل در نزدیک ساحل غربی خارک (۳۴-۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر بوده است (۲۹). با این حال کم‌تر از TEL (۱۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) می‌باشد. بنابراین اثرات زیستی آن نیز کم‌تر از حد آستانه خواهد بود. کاظمی و همکاران (۲۰۱۲) پس از تعیین میزان غلظت عناصر بالقوه سمی

جدول ۷. مقایسه غلظت عناصر بالقوه سمی در رسوبات سواحل نزدیک خارک و خارکو با سوابق و استانداردهای جهانی - شهریور ۱۳۹۹

رفرنس	Al (%)	Fe (%)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	V (mg/kg)	منطقه/استاندارد جهانی
مطالعه حاضر	۰/۷۶±۰/۵۳ (۰/۱۶-۱/۳۹)	۰/۵۵±۰/۳۵ (۰/۱۳-۱/۰۰)	۱۹±۳۵ (۶۹-۱۵)	۷/۱±۱/۵ (۰/۸-۴/۰)	۴۰±۲۵ (۱۱-۷۵)	۲۲±۱۰ (۱۲-۳۸)	اطراف خارک و خارکو
الوی (۶)	--	--	۸۰	۱۴	۷۵	۱۶۰	پوسته زمین
پرسود و همکاران (۲۷)	-	۳/۱۲	۳۱	۲۳	۶۵	-	background (Great Lakes, 1992)
میرزا و همکاران (۲۴)	--	--	۴۵/۸۶±۴/۸۲	--	--	۳۱/۵۳±۲/۵۹	بوشهر (نیروگاه)
میرزا و همکاران (۲۴)	--	--	۵۱/۱۰±۳/۸۴۲	--	--	۳۰/۷۰±۳/۰۲	سواحل گناوه
کریاسی و همکاران (۲۱)	۴/۳۵±۰/۶۸	۲/۵۲±۰/۱۶	۱۰۵/۷±۸/۱۶	۴۴/۶±۹/۷۲	۴۷/۷±۸/۷۴	--	نمونه‌های مغزی ساحل بوشهر
پویندگان محیط زیست (۲۹)	--	۰/۱-۱/۱	۳۰-۶	۱۲-۱۱	۳۴-۶	۱۶-۱۲	غرب خارک (نزدیک ساحل)
پویندگان محیط زیست (۲۹)	--	۱/۲-۱/۷	۴۲-۳۳	۲۰-۱۳	۲۴-۱۷	۲۳-۱۵	فراساحل خارک
رنجبر و همکاران (۳۲)	۳/۳	۲/۷	۱۲۵/۸	۱/۸۹ (۰/۱۳-۴/۸۶)	۲۵/۷	۷۵/۴	خارک
پوچمن (۱۴)	--	--	۱۵/۹	۳۰/۲	۱۲۴	--	TEL
	--	--	۲۰/۹	۴۶/۷	۱۵۰	--	ERL
	--	--	۴۲/۸	۱۱۲	۲۷۱	--	PEL
	--	--	۵۱/۶	۲۱۸	۴۱۰	۵۷	ERM
	۱/۸	۲/۲	--	--	--	--	AET

ایستگاه ۶ شباهت کمتری به بقیه داشته و مجزا می‌باشد. این موضوع بر اساس نتایج بررسی بر روی مدل‌سازی نشت نفتی از خطوط لوله بستر اطراف خارک توسط رنجبر و همکاران (۴۳) می‌تواند به دلیل شرایط باد در منطقه خارک باشد که سبب می‌شود سواحل جنوب شرقی خارک بیشترین پتانسیل آلودگی نفتی را داشته باشد (۴۳). بیشترین سرعت جریان در سواحل شمال غربی گزارش شده است. بر اساس نتایج مدل‌سازی انجام شده، الگوی جریان‌های اطراف جزیره خارک غالباً از ناحیه شمالی که در امتداد سواحل شرقی و غربی به سمت جنوب امتداد می‌یابد، گزارش شده است (۳۸). بنابراین آلودگی‌های مختلف که به ذرات معلق جذب می‌شود، می‌تواند همراه با ذرات ته نشین شوند و در بستر با رسوبات زیرین مخلوط شده و مجدداً ممکن است در آب حل شوند (۴۳). این موضوع به همراه تمرکز منابع آلاینده مهم (به‌ویژه خروجی‌های فاضلاب درود و اسکله آذرپاد در غرب و خروجی‌های پتروشیمی، متانول و اسکله T در جنوب و جنوب شرقی خارک) می‌تواند باعث افزایش مقادیر عناصر بالقوه سمی در رسوبات سطحی بخش غربی و جنوب خارک باشد. در پایان بر اساس نتایج این مطالعه، می‌توان گفت شرایط محیطی بستر در اطراف خارکو بهتر از جزیره خارک بوده، در نتیجه به نظر می‌رسد زیستگاه مرجانی اطراف خارک نسبت به اطراف خارک کم‌تر تحت تاثیر آلودگی به ویژه عناصر بالقوه سمی و مواد مغذی باشند. با توجه به اینکه آلودگی‌های مختلف می‌تواند از ستون آب به رسوب و سپس در سطوح مختلف شبکه غذایی منطقه منتقل و تجمع یابند ولی تجمع آلودگی‌ها و متعاقباً میزان اثرات مضر زیستی آنها، بسته به نوع و سبک زندگی موجودات می‌تواند متفاوت باشد. از طرفی اطلاعات بررسی جامع در این خصوص هم در دنیا و هم در منطقه خارک کم می‌باشد. لذا نتایج این مطالعه می‌تواند اطلاعات پایه ای را برای پژوهشگران ارایه نماید (۲۴، ۱۱، ۳۳). بنابراین برای بررسی دقیق‌تر پیشنهاد می‌گردد تجمع آلودگی‌های منطقه در بافت مرجانی و موجودات بستری شاخص اطراف دو جزیره مورد مطالعه قرار گیرد.

Pb، Ni، Cr و Mn در نمونه مغزی رسوبات ساحل بوشهر انجام شد، نشان می‌دهد منشاء سرب، مس، کرم و روی، آلودگی نفتی می‌باشد. نتیجه مشابه در مطالعه حاضر برای منشاء نیکل و روی صدق می‌کند. منشاء اصلی عناصر بالقوه سمی در خلیج فارس، فعالیت‌های صنعتی / نفتی معرفی شده است (۳۲). ولی نتایج اخباری زاده (۴) بر روی رسوبات نزدیک خط ساحلی خارک با توجه به همبستگی بین عناصر، منشاء وانادیم، کروم، منگنز، نیکل و آرسنیک را بیشتر زمین‌زاد و برخی دیگر مثل مولیبدن، سرب و مس را بیشتر انسان‌زاد و منشاء روی و کادمیوم را به صورت مشترک (انسان‌زاد و زمین‌زاد) معرفی نموده است. بر اساس نتیجه شاخص PLI در این مطالعه، کلیه ایستگاه‌ها فاقد آلودگی ارزیابی شدند (جدول ۵). بنابراین می‌توان گفت علی‌رغم اینکه مقادیر نیکل در برخی ایستگاه‌ها، از برخی استانداردهای مورد نظر در این مطالعه بیشتر بوده و احتمال مشاهده اثرات متوسط زیستی در موجودات منطقه وجود داشته است ولی منطقه از نظر مجموع این عناصر بالقوه سمی بدون آلودگی و فاقد اثرات شدید زیستی می‌باشد. طبق گزارش میرزا و همکاران (۲۴) وضعیت رسوبات سواحل گناوه، بوشهر، دیر و نایبند بر اساس شاخص مولر نیز در حد صفر و غیرآلوده معرفی شده است. از طرفی آنتونی و همکاران (۷) با محاسبه شاخص بار آلودگی در لاگون کواراتی مشابه مطالعه حاضر، سطح متوسطی از آلودگی عناصر بالقوه سمی را گزارش دادند ولی سرب و کادمیوم را تهدید جدی به عنوان ریسک اکولوژیک جزیره کواراتی معرفی نمودند، در صورتی‌که نیکل در مطالعه حاضر می‌تواند یکی از تهدیدات منطقه خارک به حساب آید. بر اساس دسته بندی آزمون خوشه‌ای با استفاده از ویژگی‌های رسوب منطقه، ایستگاه‌های شمال خارک (ایستگاه ۳)، غرب خارک (ایستگاه ۴) و جنوب خارک (ایستگاه ۱) شباهت بیشتری داشته که می‌تواند متأثر از تمرکز کانون آلاینده از جمله اسکله T، سایت پتروشیمی، سایت متانول در این بخش جزیره باشد. ولی ایستگاه‌های شرق خارک (ایستگاه ۲) و شمال غربی خارکو (ایستگاه ۷) به هم نزدیکتر می‌باشند. در صورتی‌که

## سپاسگزاری

جزیره خارک و زحمات بی‌شائبه همکاران محترم معاونت محیط زیست دریایی و تالاب‌ها و هم‌چنین کلیه افرادی که انجام مطالعات میدانی، ما را یاری کردند، تقدیر و تشکر می‌گردد.

از حمایت شرکت نفت فلات قاره ایران و پشتیبانی پرسنل زحمت‌کش شرکت فلات قاره منطقه خارک و همکاری صمیمانه اداره کل محیط‌زیست استان بوشهر و اداره تابعه در

## منابع مورد استفاده

1. Abraham, G. M. S. and R. J. Parker. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Coastal and Shelf Science*, 136: 227-238.
2. Acevedo-Figueroa, D., B. D. Jimenez and C. J. Rodriguez-Sierra. 2006. Trace metals in sediments of two estuarine lagoons from Puerto Rico. *Journal of Environmental Pollution*, 141: 336-342.
3. Adamo, P., M. Arienzo, M. Imperato, D. Naimo, G. Nardi and D. Stanzione. 2005. Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples city port. *Chemosphere*, 61: 800-809.
4. Akhbarizadeh, R. 2017. Ecological risk assessment of potentially toxic elements and organic compounds in the shore and wastewater collecting basins of Khark Island and investigating possible alleviation methods. PhD Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran. (In Farsi).
5. Ali, A. M. A., M. A. Hamed and H. Abd El-Azim. 2011. Heavy metals distribution in the coral reef ecosystems of the Northern Red Sea. *Helgoland Marine Research*, 65:67-80.
6. Alloway, B. J. 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, London, 368 p.
7. Antony, S., K. Unnikrishnan, S. Aswin, V. D. Vinu, V. Arun and K. AnoopKrishnan. 2022. Heavy metals in coral reef sediments of Kavaratti Island, India: An integrated quality assessment using GIS and pollution indicators. *Marine Pollution Bulletin*, 180: 113721.
8. ASTM, 2000. Standard test method for moisture, ash and organic matter of peat and other organic soils (test method c). Available online at: <https://www.madcad.com/store/subscription/ASTM-D2974-00/>. Accessed 25 October 2022.
9. ASTM, 2013. Standard practice for total digestion of sediment samples for chemical analysis of various metals. Available online at: <https://www.astm.org/d4698-92r07.html>. Accessed 25 October 2022.
10. Bagheri, H., K. Darvish Bastami, T. Sharmad, Z. Bagheri. 2012. Assessment of heavy metal distribution in the Gorgan Bay. *Journal of Oceanography*, 3 (11):65-72. (In Farsi).
11. Berkowitz, B., I. Dror and B. Yaron. 2008. Contaminant geochemistry: interactions and transport in the subsurface environment. Springer, Heidelberg, p 412.
12. Besson, M., M. Metian, P. Bustamante and L. Hédouin. 2020. Metal(loid)s in superficial sediments from coral reefs of French Polynesia. *Marine Pollution Bulletin*, 155: 111175.
13. Briand, M., P. Bustamante, X. Bonnet, C. Churlaud and Y. Letourneur. 2018. Tracking trace elements into complex coral reef trophic networks. *Science of the Total Environment*, 612:1091-1104
14. Buchman, M. F. 2008. Screening quick reference tables (SQUIRTs), NOAA OR and R Report; 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34p.
15. De Mora, S. D. and M. R. Sheikholeslami. 2002. ASTP: Contaminant screening program: Final report: interpretation of Caspian Sea sediment data. Caspian Environment Program (CEP), 27 p.
16. Ghorbanzadeh Zaferani, S. G., A. Machinchian Moradi, R. Mousavi Nadushan, A. R. Sari and S. M. R. Fatemi. 2016. Distribution pattern of heavy metals in the surficial sediment of Gorgan Bay (South Caspian Sea, Iran). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 15(3): 1144-1166.
17. Grant, A. and R. Middleton. 1990. An assessment of metal contamination of sediments in the Humber Estuary. Estuarine, *Coastal and Shelf Science*, 31: 71-85.
18. Habibpour Gatabi, K. and R. Safari Shali. 2012. Comprehensive manual for using SPSS in survey resrarches, Loya Pub., Tehran. (In Farsi).
19. Hosseini, S. J. 2016. Investigating, studying and determining the causes and effects of the increase in sea urchin population in the coral reefs of Kharg and Kharko islands and the solutions to deal with it. Bushehr. Persian Gulf Research Institute (PGRI) Research Report, Persian Gulf University, Bushehr, Iran. pp.279. (In Farsi).
20. Huang, K. M. and S. Lin. 2003. Consequences and implication of heavy metal spatial variations in sediments of the Keelung River drainage basin, Taiwan. *Chemosphere*, 53: 1113-1121.
21. Karbassi A. R., Gh. R. Nabi-Bidhendi and I. Bayati. 2005. Environmental geochemistry of heavy metals in a



- sediment core of Bushehr, Persian Gulf. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 2 (4), 255-260.
22. Long, E. R., D. D. MacDonald, S. L. Smith and F. D. Calder. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19: 18-97.
  23. Miller, J. R. and Orbock S. M. Miller. 2007. Contaminated rivers : A Geomorphological-Geochemical Approach to Site Assessment and Remediation, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 432 p.
  24. Mirza, R., A. Fakhri, I. Faghiri, A. Azimi. 2013. An investigation of nickel and vanadium ratio from oil pollution in sediments and rocky shore oysters (*Saccostrea cucullata*) in Bushehr coasts (Persian Gulf). *Journal of Oceanography*, 4 (14) :35-43 (In Farsi).
  25. MOOPAM (Manual of Oceanographic Observation and Pollutant Analyses Methods). 2010. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment (ROPME), Fourth Edition.
  26. Morillo, J., J. Usero and I. Gracia. 2004. Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain. *Chemosphere*, 55, 431-442.
  27. Persaud, D., R. Jaagumagi and A. Hayton. 1993. Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. Ministry of Environment and Energy, Queen's Printer for Ontario, Canada, 39p.
  28. Plumb, R. H. 1981. Procedure for handling and chemical analysis of sediment and water samples. Technical Report EPA/CE-81-1. Prepared by State University College at Buffalo, Great Lakes Laboratory, Buffalo, NY. US.Environmental Protection Agency and U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Ms. pp 3-39.
  29. Pouyandegan MohitZist. 2010. The environmental consequences assessment of the development operation project and increasing the production of Forozan oil field, Bushehr, Iranian Offshore Engineering and Construction Company (IOEC), Iran. (In Farsi).
  30. Ranjbar Jafarabadi, A., A. Riyahi Bakhtiari, L. Hedouin, A. Shadmehri Toosi and T. Cappello. 2018. Spatio-temporal variability, distribution and sources of n-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons in reef surface sediments of Kharg and Lark coral reefs, Persian Gulf, Iran, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 163: 307-322.
  31. Ranjbar Jafarabadi, A., A. Riyahi Bakhtiari, M. Maisano, P. Pereira and T. Cappello. 2018. First record of bioaccumulation and bioconcentration of metals in Scleractinian corals and their algal symbionts from Kharg and Lark coral reefs (Persian Gulf, Iran), *Science of The Total Environment*, 640-641: 1500-1511.
  32. Ranjbar, A. J., A. R. Bakhtiyari, A. S. Toosi, C. Jadot. 2017. Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine superficial sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran, *185*: 1090-1111
  33. Ranjbar, P., M. Shafieefar and J. Rezvandoust. 2014. Modeling of oil spill and response in support of decreasing environmental oil effects case study: blowout from Khark subsea pipelines (Persian Gulf), *International Journal of Environmental Research*, 8(2):289-296.
  34. Sabdono, A. 2009. Heavy metal levels and their potential toxic effect on coral *Galaxea fascicularis* from Java Sea, Indonesia. *Research Journal of Environmental Sciences*, 3: 96-102.
  35. Sakan, S., G. Dević, D. Relić, I. Anđelković, N. Sakan and D. Dorđević. 2015. Evaluation of sediment contamination with heavy metals: the importance of determining appropriate background content and suitable element for normalization. *Environmental Geochemistry and Health*, 37: 97-113.
  36. Selvaraj, K., V. Ram Mohan and P. Szefer. 2004. Evaluation of metal contamination in coastal sediments of the Bay of Bengal, India: geochemical and statistical approaches. *Marine pollution Bulletin*, 49, 174-185.
  37. Seshan, B. R. R., U. Natesan and K. Deepthi. 2010. Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7 (2): 291-306.
  38. Shakri Motlaq, M., M. Ezam and A. Aliakbari Bidokht. 2015. Study of coastal currents caused by wave breaking on the coast of Khark Island using Mike 21, In: Proceedings of 16th Fluid Dynamics Conference, Kermanshah, Iran, 17-19 November, pp.1-10. (In Farsi).
  39. Sharbaty, S. 2011. Two dimensional simulation of flow pattern in Gorgan Bay by using Mike21 software. *Journal of Water and Soil Conservation*, 18(4): 241-246.
  40. Suresh, G., V. Ramasamy, V. Meenakshisundaram, R. Venkatachalapathy and V. Ponnusamy. 2011. Influence of mineralogical and heavy metal composition on natural radionuclide concentrations in the river sediments, *Applied Radiation and Isotopes*, 69(10):1466-1474.
  41. Vald'es, J., G. Vargas, A. Sifeddine, L. Ortlieb and M. Guinez. 2005. Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23S), Northern Chile: geochemical and statistical approach. *Marine pollution Bulletin*, 50: 1558-1568.
  42. Woitke, P., J. Wellmitz, D. Helm, P. Kube, P. Lepom and P. Litheraty. 2003. Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments of the river Danube. *Chemosphere*, 51: 633-642.
  43. Zaker, H. N., 2022. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in the coastal sediments of the Kharg Island in the Persian

Gulf, *Pollution*, 8(2): 705-716.

44. Zare Khosheghbal, M. and A. H. Charkhaabi. 2013. Comparison of enrichment methods of heavy metal pollution studies in south of the Caspian sea sedimentary environment: Case study of Anzali wetland, *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 98(1): 51-64. (In Farsi).

## Ecological Health Assessment of the Surface Sediments of the Coral Reefs of Khark and Kharko Islands (Persian Gulf, Iran)

S. Gh. GhorbanZadeh Zaferani<sup>1\*</sup>, F. Hosseini Tayefeh<sup>1</sup>, A. Ahmadi Givi<sup>2</sup>, M. A. Tolab<sup>3</sup> and A. Saber<sup>4</sup>

(Received: October 01-2022; Accepted: November 28-2022)

### Abstract

To assess the ecological risk of the coral reef habitats of Khark and Kharko islands in the Persian Gulf, (Bushehr province), the surface sediment samples were collected from seven stations, in September 2019. The islands have a great ecological value due to the presence of coral reefs. The amounts of potentially toxic elements, sediment texture, total organic matter, total phosphorus and total nitrogen in the sediments were measured by inductively-coupled plasma mass spectrometry, sieve analysis, furnace burning method, spectrophotometer, and Kjeldahl, respectively. The mean concentrations of Al, Fe (%) and Ni, Pb, Zn, V, TP and TN (mg/kg) in the sediments were recorded  $0.76\pm 0.53$ ,  $0.55\pm 0.35$ ,  $35\pm 19$ ,  $2.1\pm 1.5$ ,  $22\pm 10$ ,  $40\pm 25$ ,  $0.7\pm 0.3$  and  $14.7\pm 6.2$ , respectively. Based on the amount of Ni and Zn enrichment factors (moderate to very severe, respectively), their source around Khark Island could be related to human activities, such as oil industries. Pollution load index (0.06-0.25) showed all stations without pollution. The amount of Ni in stations 1 and 7 were higher than the "range of moderate effect" and "level of possible effects", which indicates the possible biological effects of this element on the benthic organisms. In general, the ecological quality of surface sediments around Kharko was better than Khark Island.

**Keywords:** Sediment, Khark and Kharko Islands, Potentially toxic elements, Total phosphorus, Total nitrogen

1. Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department Of Environment, Tehran, Iran.
  2. PhD Student, University of Tehran, College of Engineering, School of Environment, Department of Environmental Planning, Management and Education. Tehran, Iran.
  3. Department of Environment (DOE), Bushehr, Iran.
  4. Department of Environment (DOE), Tehran, Iran.
- \* Corresponding author; Ghorbanzadeh110@yahoo.com