

تعیین سطح آلودگی رسوبات سطحی خلیج چابهار به فلزات سنگین

عزیزاله بزی

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۸/۰۳

چکیده

زمینه و هدف: در این مقاله، به بررسی غلظت فلزات سنگین نظیر کادمیوم، مس، سرب، روی، نیکل، کروم، آهن و منیزیم در رسوبات ساحلی خلیج چابهار پرداخته شده است.

روش بررسی: بدین منظور پنج ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب و نمونه‌برداری از رسوبات ساحلی و آب‌های کم عمق در دو فصل تابستان و زمستان سال ۱۳۹۱ انجام شده است.

یافته‌ها: نتایج بیانگر این است که غلظت فلزات سنگین در رسوبات بیشتر از آب است، هرچند غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف در نمونه‌های رسوب و آب از یک روند کلی پیروی کرده است. تغییرات فصلی بر روی میزان غلظت فلزات تاثیرگذار است؛ به طوری که در فصل زمستان غلظت برخی از فلزات سنگین مانند مس، سرب، روی، کادمیوم و نیکل بیشتر از فصل تابستان است.

نتیجه‌گیری: به طور کلی غلظت فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه از حدود استاندارد تعیین شده برای رسوبات کمتر مشاهده شده است و در بین ایستگاه‌های مختلف، ایستگاه‌های نزدیک و مرتبط با بنادر ماهی‌گیری غلظت بالاتری از فلزات را نشان دادند. نتایج نشان می‌دهد، اگرچه برخی فلزات منشاء طبیعی دارند، اما افزایش غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد بررسی می‌تواند به تاثیر چشم‌گیر آلودگی ناشی از قایق‌های ماهی‌گیری نیز نسبت داده شود.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، آب دریا، رسوب، دریای عمان، خلیج چابهار

مقدمه

رسوبات بستر و ساحل دریا، حاوی پیشینه‌ای از شرایط سطحی متغیر هستند؛ به ویژه، در محیط‌های حاشیه‌ای دریا، از پیشین رسوب برای مستند کردن تغییرات انسان زاد استفاده شده است. مهم است بدانیم که برهمکنش‌های آب و رسوب می‌توانند پیشینه رسوب را توسط توزیع مجدد فلزات دستخوش تغییر کنند. معمولاً رسوبات به عنوان بزرگ‌ترین انبار برای ذخیره آلاینده‌ها در محیط‌های آبی و نیز جایگاهی خاص برای ناپاکی‌هایی که می‌توانند برای دوره‌های طولانی مدت باقی بمانند، به شمار می‌روند (۱). یکی از دلایلی که سبب اهمیت بررسی فلزات موجود در آب و رسوبات می‌شود، این است که بسیاری از گونه‌های زیستی بخش عمده دوره زندگی خود را در محیط رسوبی یا روی آن می‌گذرانند. از این رو مواد موجود در آب و رسوبات از طریق چرخه زیستی وارد بدن موجودات دیگر و همچنین انسان می‌شود. فلزات سنگین پس از ورود به یک منبع آبی به تدریج در بستر آن به صورت‌های مختلف همچون فاز معدنی جامد، جذب سطحی به رسوبات دانه ریز و با بقایای مواد آلی، تجمع می‌یابند (۲). مهمترین منابع آلوده کننده سواحل، دفع و تخلیه فضولات کشتی‌ها، تخلیه آب توازن و مواد نفتی از شناورهای کوچک و بزرگ و فاضلاب ناشی از صنایع هستند. پساب‌های مناطق روستایی و کشاورزی و آلودگی‌های ناشی از پسماندهای جامد که عمدتاً از طریق شناورهای صیادی و بعضاً مناطق روستایی وارد آب دریا می‌شوند، دیگر منابع آلوده‌کننده سواحل هستند. مطالعات مختلف نشان داده است که پسماندهای ناشی از فعالیت‌های انسانی در صورت ورود به اکوسیستم‌های آبی، می‌توانند غلظت مواد زائد بخصوص فلزات سنگین را در این محیط‌ها افزایش دهند (۳). فلزات سنگین از مهمترین آلاینده‌های پایدار و مضر در بین این ترکیبات محسوب می‌شوند. عناصر سنگین بطور طبیعی در اکوسیستم‌ها وجود دارند و تعدادی از آنها در بقاء موجودات زنده نقش حیاتی دارند (۴). اما در صورتی که غلظت آنها از حد معینی فراتر رود، ممکن است باعث تغییر در روند طبیعی اکوسیستم‌های آبی و عملکرد صحیح اندام‌های آبیان شوند (۵). بخشی از فلزات سنگین پس از ورود به محیط‌های آبی به صورت محلول در می‌آیند. مقداری از این فلزات نیز توسط پیوندهای سست سولفیدی و یا آلی

به ذرات معلق متصل می‌شوند. ذرات معلق حاوی فلزات سنگین در صورت ته‌نشین شدن به کف می‌رسند و به مرور در رسوبات تجمع می‌یابند (۶). میزان تجمع فلزات به ساختار شیمیایی رسوبات، نوع ترکیبات موجود در آب، نرخ رسوبگذاری عناصر، شرایط فیزیکی و شیمیایی آنها (یونی، کمپلکسی) و همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب از نظر pH، قلیائیت، وجود تجمع‌دهنده‌ها و غلظت اکسیژن محلول بستگی دارد (۷). این مطالعه با هدف مطالعه تجمع غلظت فلزات سنگین (Ni, Cu, Pb, Cd, Cr, Fe, Mn, Zn) در رسوبات ساحلی و آب‌های کم عمق خلیج چابهار طی دو فصل سرد و گرم، مقایسه غلظت این فلزات در ایستگاه‌های مختلف و همچنین مقایسه غلظت این فلزات در رسوب و آب با استانداردهای جهانی و مطالعات قبلی صورت گرفته در ایران و سایر مناطق مرتبط با خلیج چابهار انجام گرفته است. روند رو به رشد فعالیت‌های مختلف در این منطقه باعث گردیده تا خطر آلودگی ناشی از فلزات سنگین در خلیج چابهار جدی شود. از مهمترین منابع آلودگی می‌توان به دفع و تخلیه فاضلاب کشتی‌های کانتینری و قایق‌های صیادی، تخلیه مواد سوختی شناورهای کوچک و بزرگ، فاضلاب ناشی از صنایع مستقر در منطقه و پساب‌های کشاورزی و یا منشاء طبیعی برخی از فلزات اشاره کرد.

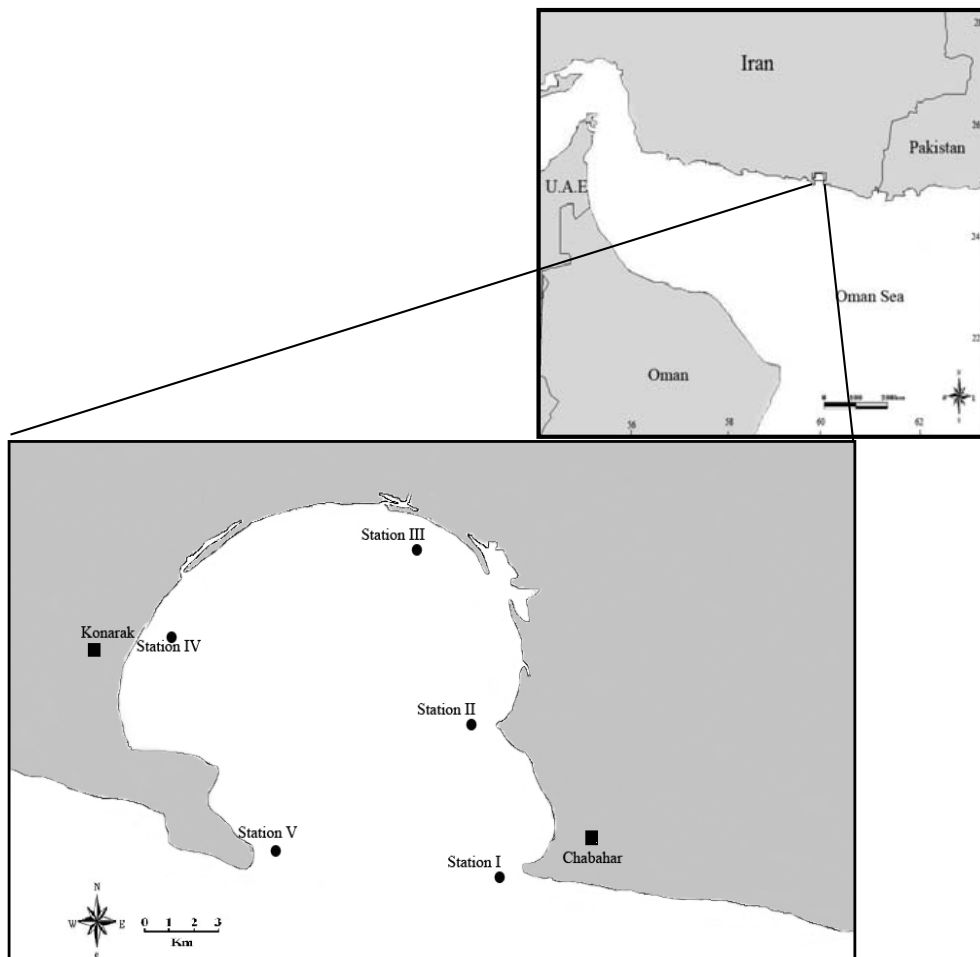
مواد و روش‌ها

- منطقه مورد مطالعه

خلیج چابهار با مختصات جغرافیایی $60^{\circ}36'$ تا $60^{\circ}25'$ عرض شمالی $25^{\circ}17'$ تا $25^{\circ}26'$ طول شرقی، در بخش شمالی دریای عمان و جنوب خاوری ایران واقع شده است. بیشترین طول خلیج در راستای شمالی جنوبی 17 km و بیشترین عرض آن در راستای شرقی - غربی در حدود 20 km است. خلیج چابهار از طریق دهانه‌ای به عرض $13/5 \text{ km}$ با دریای عمان ارتباط دارد. عمق آب در عمیق‌ترین قسمت خلیج 15 m و متوسط عمق 5 m الی 10 m است. سه رودخانه شور، پارک و کنارک مهمترین رودخانه‌های فصلی منطقه اند که اغلب در مواقع بارندگی پر آب شده و آب حوضه‌های اطراف را وارد خلیج چابهار می‌نمایند. در محل ورود این رودخانه‌ها به خلیج چابهار خور تشکیل

بادهای موسمی تابستانی (monsoon) اقیانوس هند با جهت شرقی قرار دارد. منطقه مورد مطالعه به لحاظ تجاری و صنعتی در حال پیشرفت و گسترش است. وجود منطقه آزاد تجاری و صنعتی چابهار باعث رونق تجارت، واردات و صادرات در این منطقه گردیده است. این امر موجب رفت و آمد کشتی های نسبتا بزرگ در خلیج چابهار شده که می توانند به عنوان منابع افزایش غلظت فلزات سنگین در این منطقه مطرح باشند. یکی از مهمترین چالش های این منطقه استفاده از قایق های ماهی گیری بسیار قدیمی از یک طرف و روش های سنتی ماهی گیری از طرف دیگر است. این عوامل باعث گردیده تا آلودگی آبها و رسوبات خلیج چابهار به فلزات سنگین مسئله جدی به نظر رسد.

شده است (خور پارک) که دریا از طریق این خورها منطقه بالای جزرومدی پشت خط ساحلی را در مواقع طوفانی تغذیه می کند. شواهد تاریخی نشان دهنده اهمیت این خلیج در امر دریانوردی و تجارت از یک طرف و ماهی گیری از طرف دیگر است. دو بندر شهید بهشتی و شهید کلاتتری مهمترین بنادر تجاری خلیج چابهار محسوب می شوند و بنادر صیادی تیس و کنارک بزرگ ترین بنادر ماهی گیری این خلیج هستند. همجواری منطقه چابهار با دریا، نزدیکی به مدار راس السرطان و قرارگیری در مسیر بادهای موسمی شبه قاره هند و جبهه های استوایی موجب گردیده تا منطقه دارای آب و هوایی گرمسیری معتدل با رطوبت نسبی بالا شود. این محدوده تحت تاثیر مستقیم و غیر مستقیم



شکل ۱: موقعیت خلیج چابهار در سواحل شمالی دریای عمان و ایستگاه های مختلف نمونه برداری

مواد و روش ها

در این مطالعه، نمونه برداری از ۵ ایستگاه مختلف در خلیج چابهار صورت گرفته است (شکل ۱). ایستگاه ها اغلب بر اساس تاثیر فعالیت های انسانی و یا منشاء طبیعی فلزات انتخاب شده اند. نمونه برداری در دو فصل تابستان و زمستان انجام پذیرفت. نمونه های آب از عمق تقریبی ۰/۵ تا ۱ m سطح آب و نمونه های رسوب از عمق ۵ تا ۱۵ cm برداشت شده است. از هر ایستگاه تعداد سه نمونه جمع آوری گردید. پنج ایستگاه نمونه برداری عبارتند از: ایستگاه ۱: جلوی بندر شهید بهشتی، ایستگاه ۲: جلوی اسکله ماهی گیری تیس، ایستگاه ۳: مقابل رودخانه فصلی پارک و نزدیک آب شیرین کن کنارک، ایستگاه ۴: نزدیک اسکله ماهی گیری کنارک و ایستگاه ۵: در فاصله دورتر از فعالیت های صنعتی و ماهی گیری و جلوی دماغه خلیج چابهار. نمونه های آب جهت تجزیه شیمیایی به وسیله ظروف پلی اتیلنی برداشت گردید. سپس به وسیله کاغذ صافی واتمن (GF/C) صاف و با اسید نیتریک غلیظ تثبیت شد. فلزات سنگین در نمونه های آب براساس روش استاندارد آمریکا و استخراج مایع - مایع اندازه گیری گردید (۸، ۹). در این روش با استفاده از حلال آلی متیل ایزوبوتیل کتون (MIBK) و کمپلکس دهنده آمونیوم پرولیدین دتیو کاربامات (APDC) طی چند مرحله عمل استخراج و جداسازی فلزات سنگین صورت پذیرفت. تجزیه شیمیایی نمونه ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu AA/680 انجام گرفته است. نمونه های رسوب پس از جمع آوری به وسیله دستگاه خشک کن در دمای 70°C خشک گردید. نمونه های خشک شده درون هاون چینی پودر، و از الکی با قطر دهانه $63\ \mu$ عبور داده شد (۱۰). همراه با مخلوطی از HNO_3 ، HClO_4 و HF با نسبت ۳، ۲ و ۱ به مدت ۲ h با یکدیگر مخلوط گردید (۱۱). سرانجام تجزیه شیمیایی نمونه ها به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل فوق الذکر صورت پذیرفت.

یافته ها

غلظت فلزات سنگین در آب های کم عمق و رسوبات سطحی

ایستگاه های مختلف خلیج چابهار در دو فصل تابستان و زمستان در جدول ۱ و ۳ آورده شده است. همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، بیشترین غلظت فلزات سنگین مربوط به آب های سطحی ایستگاه ۲ (اسکله ماهیگیری تیس) در بخش شرقی خلیج چابهار است. دلیل این افزایش غلظت تاثیر آلاینده های ورودی به اسکله فوق به دلیل حضور قایق های صیادی و لنج ها است. فاضلاب ناشی از تعمیر، سوخت، روغن کاری و رنگ آمیزی این وسایل ماهی گیری مستقیماً وارد این بخش از خلیج چابهار میگردد. غلظت بالای مس ($5/74\ \mu\text{g/L}$) در این ایستگاه نیز ناشی از خوردگی و زنگ زدگی بدنه قایق ها و همچنین ضد زنگ های استفاده شده جهت رنگ آمیزی بدنه این وسایل است. غلظت روی در تمامی ایستگاه های مورد مطالعه در تابستان و زمستان به ترتیب افزایش و کاهش می یابد این تغییرات به دلیل افزایش فیتوپلانکتون ها در فصول تابستان و بهار و کاهش این موجودات در فصل زمستان است (۱۲). Abou-El-Sherbini و همکار (۱۳) نیز معتقدند که فیتوپلانکتون ها نقش بسیار مهمی در افزایش و کاهش غلظت روی در آب دریا دارند. فلزات کروم، نیکل، آهن و منگنز بیشترین غلظت را در بخش های داخلی (مرکزی) خلیج چابهار (ایستگاه ۳) نشان می دهند. همچنین غلظت این فلزات در زمستان نسبت به تابستان افزایش بیشتری را نشان می دهد. بررسی های صورت گرفته نشان می دهد که افزایش غلظت این فلزات منشاء طبیعی دارد. همانطور که در شکل ۱ نیز نشان داده شده است ایستگاه ۳ در مجاورت رودخانه پارک قرار دارد و این رودخانه از رشته کوه های مکران سرچشمه می گیرد. رشته کوه های مکران در جنوب خاوری ایران اغلب از سنگ های افیولیتی دارای مقادیر قابل ملاحظه ای کروم و نیکل تشکیل شده اند (۱۶-۱۴). بنابراین افزایش غلظت فلزات کروم، نیکل، آهن و منگنز در اثر هوازدگی و انحلال سنگ های افیولیتی منطقه مکران و انتقال آنها به درون خلیج چابهار از طریق رودخانه پارک است. با مقایسه غلظت فلزات سنگین در دو فصل تابستان و زمستان به این نتیجه می توان رسید که مس بیشترین غلظت را در زمستان داشته ($5/74\ \mu\text{g/L}$) و در تابستان کمترین غلظت را دارا است ($1/08\ \mu\text{g/L}$). غلظت فلزات سرب و کادمیوم از $1/13\ \mu\text{g/L}$ ، $0/1$ و در تابستان تا $4/52\ \mu\text{g/L}$ ، $0/19$ در زمستان به ترتیب متفاوت است. بیشترین غلظت کروم و نیکل

صورت $Fe > Cr > Zn > Ni > Mn > Cu > Pb > Cd$ است. فلزات مس، روی، سرب و کادمیوم بیشترین غلظت را در ایستگاه ۲ نشان می دهند، غلظت نیکل در ایستگاه ۳ و آهن در ایستگاه ۴ در زمستان افزایش یافته و فلزات کروم و منگنز بیشترین غلظت را در ایستگاه ۳ در تابستان نشان می دهند. فلزات مس، روی، سرب، نیکل و کادمیوم کمترین غلظت را در ایستگاه ۵ در فصل تابستان نشان می دهند، ولی کروم در همین فصل کمترین غلظت را در ایستگاه ۱ دارد و آهن و منگنز کمترین غلظت را در ایستگاه ۵ و ۲ در فصل زمستان نشان می دهند.

($21/46$ و $17/14$ $\mu g/L$) در زمستان و کمترین غلظت این دو فلز ($9/34$ و $3/2$ $\mu g/L$) در تابستان اندازه گیری شده است. غلظت آهن تفاوت معناداری را نشان نمی دهد و بیشترین و کمترین غلظت آن به ترتیب $25/36$ و $11/52$ $\mu g/L$ در زمستان ثبت گردیده است. در مقابل منگنز بیشترین غلظت ($8/67$ $\mu g/L$) را در تابستان و کمترین غلظت ($2/12$ $\mu g/L$) را در زمستان نشان می دهد. به طور کلی تمامی فلزات سنگین به جزء منگنز بیشترین غلظت را در تابستان و کمترین غلظت را در زمستان نشان می دهند. بنابراین غلظت فلزات سنگین در آب های ساحلی خلیج چابهار به

جدول ۱: غلظت فلزات سنگین ($\mu g/L$) آب های کم عمق خلیج چابهار در فصل زمستان و تابستان در ۵ ایستگاه مختلف

		فلزات							ایستگاه
		منگنز	آهن	نیکل	کروم	کادمیوم	سرب	روی	مس
زمستان	I ایستگاه	۴/۷۵	۲۲/۱۸	۹/۶۹	۱۲/۷۶	۰/۱۶	۲/۰۸	۹/۷۶	۳/۲۲
	II ایستگاه	۲/۱۲	۱۹/۷۰	۱۰/۰۸	۱۵/۵۹	۰/۱۹	۴/۵۲	۲۲/۶۲	۵/۷۴
	III ایستگاه	۷/۰۶	۱۵/۴۳	۱۷/۱۴	۲۱/۴۶	۰/۱	۱/۹۱	۸/۴۳	۲/۶۸
	IV ایستگاه	۵/۱۸	۲۵/۳۶	۱۰/۸۵	۱۵/۱۲	۰/۱۳	۱/۶۸	۱۱/۵۷	۲/۹۰
	V ایستگاه	۳/۳۲	۱۱/۵۲	۵/۶۳	۹/۶۳	۰/۱۲	۱/۱۶	۶/۷۲	۱/۱۶
تابستان	I ایستگاه	۴/۵۶	۲۳/۸۲	۱۲/۹۶	۹/۳۴	۰/۱۳	۲/۷۵	۸/۸۳	۳/۰۳
	II ایستگاه	۲/۴۵	۱۶/۴۸	۱۴/۸۹	۱۷/۶۷	۰/۱۵	۴/۲۴	۱۸/۰۱	۳/۳۷
	III ایستگاه	۸/۶۷	۲۴/۷۶	۱۶/۴۲	۲۰/۱۶	۰/۱	۰/۹۸	۱۳/۳۶	۲/۴۲
	IV ایستگاه	۳/۲۹	۱۹/۱۸	۸/۴۶	۱۷/۳۴	۰/۱۶	۱/۷۹	۱۲/۵۸	۲/۰۸
	V ایستگاه	۳/۶۶	۱۳/۸۲	۳/۲۰	۱۵/۹۹	۰/۱	۱/۱۳	۵/۳۲	۱/۰۶

غربی و مرکزی منطقه مورد مطالعه است. این موضوع نشان می دهد که نقش فعالیت های انسانی در افزایش غلظت فلزات در خلیج چابهار بیشتر از تاثیر عوامل طبیعی در ازدیاد غلظت این فلزات است. چرا که اغلب فعالیت های صنعتی و ماهی گیری در بخش های شرقی و نزدیک شهر بندری چابهار

در جدول ۳ غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی ایستگاه های مختلف خلیج چابهار در دو فصل تابستان و زمستان آورده شده است. داده های جدول نشان می دهد که غلظت فلزات سنگین در رسوبات بخش های شرقی خلیج چابهار و به ویژه اسکله ماهی گیری تیس بیشتر از بخش های

تمرکز دارند و در قسمت های غربی و ایستگاه ۵ این فعالیت ها گسترش زیادی ندارند. داده های جدول ۳ نشان می دهد که فلزات مس، روی، سرب، کادمیوم و نیکل (به ترتیب با غلظت ۵۴/۷۶، ۴۳/۱۲، ۲۸/۲۳، ۰/۶۳ و ۲۸/۶۸ $\mu\text{g/L}$) بیشترین غلظت را در ایستگاه ۲ و کمترین غلظت (به ترتیب با غلظت ۱۰/۹۷، ۱۶/۲۱، ۱۰/۷۲، ۰/۲۱ و ۸/۳۲ $\mu\text{g/L}$) را در ایستگاه ۵ دارند. Bilos و همکاران (۱۷) معتقدند تغییرات زیاد فلزات سنگین در رسوب یا ذرات معلق بعثت تغییرات دینامیک آب است. از طرفی عامل اصلی ته نشینی رسوبات در آب دریا و خورها بوسیله جریانها و دینامیک حرکت آب کنترل می شود (۱۸). ایستگاه شماره ۵ بعثت شرایط خاص مانند باز بودن منطقه و نداشتن اسکله ساحلی بزرگ جهت گرفتن اثرات امواج، میزان تلاطم و آشوب های دریایی بیشتری را دارا است. در نتیجه مواد معلق در آب فرصت ته نشینی کمتری را خواهند داشت. این عوامل دلیل کم بودن میزان غلظت فلزات سنگین در این ایستگاه است. غلظت مس در محدوده بین ۱۰/۹۷ در ایستگاه ۵ تا ۵۴/۷۶ در ایستگاه ۲ قرار دارد. همچنین عناصر نیکل، کادمیوم، سرب و روی الگوی مشابه را به نمایش گذاشته و کمترین غلظت را در ایستگاه ۵ در فصل تابستان نشان می دهند. مس بیشترین غلظت را هم در نمونه های برداشت شده از آب و هم رسوب در ایستگاه ۲ دارا است. همانطور که ذکر شد این امر در نتیجه آلودگی ناشی از رنگ آمیزی قایق های ماهی گیری در اسکله تیس است. در بدنه شناورها از رنگ ها به عنوان عامل محافظت کننده، استفاده می شود. این رنگ ها حاوی سرب و مس هستند (۱۹). از آن جایی که روزانه کشتی ها و قایق های مختلفی برای رنگ آمیزی و تعمیر در اسکله تیس (ایستگاه ۲) توقف می کنند، در نتیجه رنگ آمیزی ممکن است مقداری از این فلزات وارد محیط دریا شده و غلظت این فلزات را در آب و رسوب افزایش دهند. علاوه بر این، سرب یکی از فلزات اصلی تشکیل دهنده بنزین شناورها و قایق ها نیز است و به دلیل تردد و توقف زیاد این وسایل، مقدار زیادی از پساب ناشی از این سوخت آنها وارد محیط می شود. غلظت روی در نمونه های رسوب هر دو فصل تابستان و زمستان افزایش چشم گیری را

در ایستگاه ۲ نشان می دهد (به ترتیب ۴۳/۱۲ در زمستان و ۴۰/۱۴ در تابستان) و به همین ترتیب در ایستگاه ۵ کمترین غلظت روی اندازه گیری شده است (۱۶/۲۱ در زمستان ۱۸/۷۷ در تابستان). غلظت نسبتا کم روی در زمستان نسبت به تابستان به دلیل کاهش مواد آلی معلق در آب دریا، یا کاهش میزان فیتوپلانکتون ها در اثر کاهش درجه حرارت آب دریا است. در نمونه های رسوب مورد مطالعه در این تحقیق، غلظت سرب بین ۱۳/۸۸ تا ۲۸/۲۳ و ۱۸/۷۷ تا ۴۰/۱۴ $\mu\text{g/L}$ در ایستگاه های ۵ و ۲ به ترتیب در فصل زمستان و تابستان اندازه گیری شده است. بیشترین غلظت فلزات منگنز، آهن و کروم به ترتیب ۸۹/۱۴، ۵۳/۴۶ و ۵۱/۴۳ $\mu\text{g/L}$ در ایستگاه ۳ ثبت گردید. این امر به دلیل تشابه رفتار ژئوشیمیایی این عناصر و همچنین منشا مشترک آنها است. رودخانه پارک که در نزدیکی ایستگاه ۳ وارد خلیج چابهار می شود از رشته کوه های مکران سرچشمه می گیرد و با توجه به پیسنگ افیولیتی منطقه مکران، می توان افزایش غلظت فلزات کروم، نیکل و منگنز را به انحلال این سنگ ها و انتقال آنها به خلیج چابهار از طریق رودخانه پارک نسبت داد. de Mora و همکاران (۲۰) نیز افزایش غلظت نیکل و کروم را در سواحل جنوبی دریای عمان (جزیره میسره) به دلیل تاثیر پوسته اقیانوسی از جنس افیولیت دانسته اند. همانطور که در جدول ۱ و ۳ آورده شده است، فلز کادمیوم کمترین غلظت را در بین فلزات مورد مطالعه در خلیج چابهار دارا است. منبع اصلی کادمیوم موجود در دریاها، فاضلاب های صنعتی و شهری هستند. فراوانی کادمیوم به طور کلی در طبیعت پایین است (۲۱). معمولا در عرض جغرافیایی بالا سطح بالاتری از کادمیوم دیده می شود. به طوری که Kavun و همکاران (۲۲) در جزیره Kurile در شمال غرب اقیانوس آرام، افزایش غیر معمول کادمیوم گزارش کرده اند. بنابراین منطقه مورد مطالعه بدلیل قرار گرفتن در عرض های جغرافیایی پایین دارای مقدار فلز کادمیوم کمتری است، اختلاف بین غلظت فلز کادمیوم برای ایستگاه های مختلف ناچیز است. بالاترین میزان غلظت کادمیوم در فصل زمستان در ایستگاه شماره ۱ (اسکله شهید کلانتری) ثبت شد.

جدول ۳: غلظت فلزات سنگین ($\mu\text{g/g}$) در رسوبات سطحی خلیج چابهار در فصل زمستان و تابستان در ۵ ایستگاه مختلف

ایستگاه	فلزات								
	مس	روی	سرب	کادمیوم	کروم	نیکل	آهن		
زمستان	I ایستگاه	۴۱/۴۸	۲۸/۱۶	۲۳/۹۷	۰/۸۷	۲۲/۱۵	۱۹/۶۱	۳۴/۵۶	۷۳/۲۷
	II ایستگاه	۴۶/۷۹	۴۳/۱۲	۲۸/۲۳	۰/۶۳	۳۵/۵۶	۲۶/۴۵	۳۷/۰۲	۴۳/۱۶
	III ایستگاه	۳۳/۷۷	۲۹/۰۵	۲۰/۶۱	۰/۴۰	۴۷/۱۶	۱۱/۷۵	۵۳/۴۶	۸۴/۴۲
	IV ایستگاه	۲۱/۸۵	۳۵/۱۶	۲۳/۸۰	۰/۴۹	۲۰/۴۲	۱۸/۷۶	۲۳/۸۹	۵۹/۳۶
	V ایستگاه	۳۰/۴۲	۱۶/۲۱	۱۳/۸۸	۰/۳۶	۱۹/۱۸	۱۳/۶۳	۱۴/۲۲	۴۵/۳۳
تابستان	I ایستگاه	۳۹/۵۴	۳۱/۷۸	۲۱/۸۶	۰/۵۰	۱۹/۰۳	۱۴/۳۱	۳۳/۲۸	۶۴/۲۰
	II ایستگاه	۵۴/۷۶	۴۰/۱۴	۲۵/۶۳	۰/۵۳	۳۷/۰۴	۲۸/۶۸	۴۱/۹۵	۵۳/۱۷
	III ایستگاه	۲۳/۰۹	۲۲/۶۶	۱۴/۸۷	۰/۲۲	۵۱/۴۳	۱۴/۴۰	۵۲/۱۳	۸۹/۱۴
	IV ایستگاه	۳۱/۹۸	۳۰/۳۱	۱۳/۸۶	۰/۳۲	۲۷/۵۴	۱۷/۲۴	۲۲/۴۶	۵۲/۸۱
	V ایستگاه	۱۰/۹۷	۱۸/۷۷	۱۰/۷۲	۰/۲۱	۲۵/۹۶	۸/۳۲	۱۲/۷۷	۴۶/۹۳

بحث

آب‌های آزاد اقیانوس، مقدار طبیعی فلزات در آب دریا و میانگین غلظت طبیعی فلزات در رسوبات مقایسه شده است. همانطور که داده‌های جدول نیز نشان می‌دهد غلظت فلزات کادمیوم، سرب و مس از میزان این فلزات در آب‌های آزاد و آب‌های ساحلی بیشتر است. روی تنها از میزان استاندارد آب‌های آزاد بیشتر است ولی در محدوده آب‌های ساحلی اندازه‌گیری شده توسط Bryan و همکار (۲۳) و UNEP (۲۴) قرار می‌گیرد. فلزات کروم و نیکل دارای غلظت بسیار بیشتری از مقادیر طبیعی این فلزات در آب دریا هستند. این امر به علت خصوصیات زمین‌شناسی ناحیه‌ای منطقه مورد مطالعه است. همانطور که قبلاً نیز ذکر شد، خلیج چابهار در منطقه مکران قرار گرفته که پیسنگ افیولیتی وابسته به پوسته اقیانوسی دارد. بنابراین با توجه به غنی بودن این گونه سنگ‌ها از فلزاتی مانند کروم و نیکل، دلیل اصلی غلظت نسبتاً زیاد این فلزات در منطقه مورد مطالعه به منشاء طبیعی ارتباط دارد.

بررسی‌های صورت گرفته بر روی فلزات سنگین در آب‌های ساحلی و رسوبات سطحی خلیج چابهار نشان می‌دهد که غلظت فلزات کادمیوم، مس، سرب، روی، نیکل، کروم، آهن و منیزیم در دو فصل زمستان و تابستان اختلاف معناداری با همدیگر ندارند. از نظر تفاوت بین ایستگاه‌های مختلف نسبت به هر هشت فلز مورد مطالعه، مقدار میانگین غلظت فلزات در ایستگاه‌های ۲ و ۳ تفاوت معناداری را با سایر ایستگاه‌ها به نمایش می‌گذارد. دلیل اصلی افزایش غلظت فلزات مس، سرب و روی در ایستگاه ۲ آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی است و افزایش غلظت فلزات آهن، نیکل، کروم و منگنز در ایستگاه ۳ به عوامل طبیعی ارتباط دارد. در بین ایستگاه‌های مختلف، ایستگاه شماره ۵ کمترین آلودگی رسوبات و آب‌های سطحی را نسبت به فلزات سنگین نشان می‌دهد. در جدول ۲ غلظت فلزات سنگین در آب‌های ساحلی و رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه با مقادیر زمینه این فلزات در آب‌های ساحلی،

جدول ۲: غلظت طبیعی فلزات سنگین در آب دریا، آب‌های ساحلی، آب‌های آزاد اقیانوس ($\mu\text{g/L}$) و رسوبات دریایی ($\mu\text{g/g}$)

منبع	غلظت استاندارد	میانگین غلظت در خلیج چابهار	فلزات	
(۲۳ و ۲۵)	(آب‌های آزاد) ۰/۰۲-۰/۱۲	۰/۱۳	کادمیوم	
(۲۳ و ۲۵)	(آب‌های ساحلی) ۰/۰۱-۰/۱۷			
(۲۶)	(آب‌های آزاد) ۰/۰۲-۰/۰۷	۲/۲۲	سرب	
(۲۶)	(آب‌های آزاد) ۰/۱۴-۰/۹۰	۲/۷۶	مس	نمونه‌های آب
(۲۶)	(آب‌های ساحلی) ۰/۳۵-۰/۴۰			
(۲۳ و ۲۴)	(آب‌های آزاد) <۱	۱۱/۷۲	روی	
(۲۴)	(آب‌های ساحلی) ۰/۳۰-۰/۷۰			
(۲۷)	(غلظت طبیعی در آب دریا) ۰/۰۵	۱۵/۵۰	کروم	
(۲۷)	(غلظت طبیعی در آب دریا) ۵/۴	۱۰/۸۱	نیکل	
(۲۵ و ۲۸)	<۱	۰/۴۵	کادمیوم	نمونه‌های رسوب
(۲۷)	۲۰-۳۰	۱۹/۷۴	سرب	
(۲۳ و ۲۴)	۱۰-۳۰	۳۳/۴۶	مس	
(۲۳ و ۲۴)	<۱۰۰	۲۹/۵۳	روی	
(۲۹)	<۵۲	۳۰/۵۴	کروم	
(۲۹)	<۵/۴	۱۷/۴۱	نیکل	

فلزات سنگین در رسوبات بستر، مواد آلی و معلق موجود در آب دریا است (۶). این امر به دلیل رسوب بسیاری از این فلزات توسط مواد آلی است. اکثر فلزات جذب لیگاندهای آلی می‌شوند، بنابراین انتظار می‌رود که فلزات سنگین موجود در آب دریا توسط لیگاندهای آلی جذب و در درون رسوبات بستر تمرکز پیدا کنند (۳۰). با توجه به کاهش دمای آب در زمستان

همچنین داده‌های جدول ۲ نشان می‌دهد که میانگین غلظت فلزات کادمیوم، سرب، روی و کروم در رسوبات ساحلی خلیج چابهار پایین‌تر از مقادیر زمینه این فلزات در رسوبات دریایی قرار دارد. غلظت فلزات مس و نیکل اندکی بیشتر از میانگین غلظت این فلزات در رسوبات دریایی استاندارد اندازه‌گیری شده است. یکی از عوامل موثر بر میزان غلظت

مطالعه در این تحقیق با سواحل جنوبی دریای عمان، سواحل اقیانوس هند، سواحل خلیج فارس و سایر مطالعات در بخش های مختلف سواحل ایرانی دریای عمان مقایسه شده است. داده های جدول نشان می دهد که غلظت کادمیوم با سایر مطالعات و مناطق در یک محدوده قرار می گیرد. مقادیر غلظت فلزات مس و سرب به طور قابل ملاحظه ای در مقایسه با سال های ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۲ افزایش یافته است. این افزایش نشان دهنده تاثیر فعالیت های انسانی و در نتیجه افزایش غلظت این فلزات در طی این سال ها است.

و افزایش درجه حرارت آب در تابستان، میزان فعالیت های زیستی نیز در زمستان کمتر از فصل تابستان است. بنابراین در زمستان با کاهش درصد مواد آلی در آب و رسوبات مواجه هستیم. به همین دلیل همانطور که در خلیج چابهار نیز مشاهده می شود به دلیل کاهش مواد آلی در زمستان و در نتیجه آن کاهش جذب فلزات توسط لیگاندهای این مواد، غلظت برخی از فلزات سنگین در زمستان کاهش قابل توجهی می یابد. به عبارتی دیگر، افزایش نسبی غلظت فلزات سنگین در زمستان به دلیل کاهش مواد آلی در نتیجه کاهش دمای آب است. در جدول ۴ غلظت فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد

جدول ۴: مقایسه غلظت فلزات سنگین ($\mu\text{g/g}$) در رسوبات خلیج چابهار با مناطق اطراف آن در سایر مطالعات

محدوده مطالعاتی	مس	سرب	کادمیوم	نیکل	کروم	روی	منبع
سواحل پاکستان	۷۲/۸۰	۱۹/۸۰					(۳۱)
سواحل عمان	۶/۶۶	۱/۸۲	۰/۱۶	۴۳/۴۰	۳۹/۹۰	۵/۶۸	(۳۲)
سواحل بحرین	۳۴/۱۵	۸/۸۴	۰/۰۸	۲۳/۲۰	۴۱/۸۰	۲۱/۴۱	(۲۰)
سواحل امارات	۵۸/۴۳	۲/۲۸	۰/۰۷	۱۵/۵۰	۸۳/۵۰		(۲۰)
سواحل قطر	۸/۱۷	۳	۰/۰۹	۱۷/۱۰	۳۱/۹۰		(۲۰)
سواحل دریای عمان (ایران)	۶/۶۶	۱/۸۲	۰/۱۶	۳۸/۲۸	۵۰/۳۷		(۳۳)
خلیج چابهار	۱۴/۱۵	۲۸/۸۴	۰/۰۸	۳۳/۴۶	۱۹/۷۴	۰/۴۵	مطالعه حاضر

نتیجه گیری

در نتیجه رنگ کاری مقداری از این فلزات وارد محیط دریا شده و غلظت این فلزات را در آب و رسوب افزایش می دهد. علاوه بر این، سرب یکی از فلزات تشکیل دهنده بنزین شناورها و قایق ها نیز هست و به دلیل تردد و توقف زیاد این وسایل مقدار زیادی از پساب ناشی سوخت آنها وارد محیط می شود. در مقابل ایستگاه شماره ۳ دارای غلظت بیشتری از فلزات کروم و نیکل است. به نظر می رسد دلیل افزایش غلظت این فلزات در این ایستگاه و کل منطقه مطالعاتی در ارتباط با منشاء طبیعی این فلزات است. به طوری که هوازدگی و انحلال سنگ های افیولیتی منطقه مکران و نوع پوسته اقیانوسی غنی از فلزات کروم و نیکل در این منطقه عوامل اصلی افزایش غلظت این فلزات در خلیج چابهار هستند.

بررسی غلظت فلزات سنگین در آب های کم عمق ساحلی و رسوبات سطحی خلیج چابهار نشان می دهد که اغلب فلزات دارای غلظت پایین تری نسبت به استانداردهای جهانی هستند. ولی در مقایسه با سایر مطالعات در سال های گذشته به این غلظت این فلزات سنگین از گذشته تا به امروز افزایش نسبی یافته است. در بین ایستگاه های مختلف نمونه برداری، ایستگاه شماره ۲ (اسکله ماهی گیری تیس) دارای غلظت بیشتری از فلزات بوده و آلوده ترین ایستگاه معرفی می گردد. فلزات مس، سرب و روی در این ایستگاه از بیشترین غلظت برخوردارند. عامل اصلی آلودگی در این منطقه به فعالیت های انسانی نسبت داده می شود؛ از آنجا که همه روزه کشتی ها و قایق های مختلفی برای رنگ کاری و تعمیر در اسکله تیس توقف می کنند،

تشکر و قدردانی

این پژوهش با پشتیبانی و حمایت دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار انجام گرفته است. بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی نویسنده از مسئولین محترم این دانشگاه ابراز می‌گردد. همچنین از مدیریت محترم بخش و کارشناسان آزمایشگاه گروه زمین‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان به خاطر فراهم آوردن امکانات جهت مطالعات میکروسکوپی و آزمایشگاهی کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

- Gognou C, Fisher NS. The bioavailability of sediment bound Cd, Co, and Ag to the mussel *Mytilus edulis*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1997;54(1):147-56.
- Clark RB, Frid C, Attrill M. Marine Pollution. Oxford: Clarendon Press; 1997.
- Morillo J, Usero G, Gracia I. Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest of Spain. Chemosphere. 2004;55(3):431-42.
- Demirak A, Yilmaz F, Tuna AL, Ozdemir N. Heavy metals in water, sediment and tissue of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. Chemosphere. 2006;63(9):1451-58.
- Canli M, Atli G. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. Environmental Pollution. 2003;121(1):129-36.
- Poté J, Haller L, Loizeau J-L, Bravo AG, Sastre V, Wildi W. Effects of a sewage treatment plant outlet pipe extension on the distribution of contaminants in the sediments of the Bay of Vidy, Lake Geneva, Switzerland. Bioresource Technology. 2008;99(15):7122-31.
- Karsten J, Gjengedal E, Mobbsa HJ. Trace element exposure in the environment from MSW landfill leachate sediments measured by a sequential extraction technique. Journal of Hazardous Materials. 2008;153(1):751-58.
- APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
- Brewer P, Spencer D, Smith C. Determination of trace metals in seawater by atomic absorption spectrophotometry. Atomic Absorption Spectroscopy, ASTM Special Publication. 1969;443:70-77.
- Yap C, Ismail A, Tan S, Rahim IA. Can the shell of the green-lipped mussel *Perna viridis* from the west coast of Peninsular Malaysia be a potential biomonitoring material for Cd, Pb and Zn? Estuarine, Coastal

- and Shelf Science. 2003;57(4):623-30.
- 11- Oregioni B, Aston S. The determination of selected trace metals in marine sediments by flameless/flame atomic absorption spectrophotometry. Monaco: IAEA Monaco laboratory; 1984.
- 12- El-Samra M, Abdallah A, Hamed M. Seasonal variation of some metal in the aquatic system of the Suez Bay. *Journal of Environmental Sciences*. 1995;9:81-95.
- 13- Abou-El-Sherbini KhS HM. Abou-El-Sherbini KhS HM. Pollution assessment in the aquatic ecosystem along the western coast of the Suez Bay, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 2000;4(4):37-59.
- 14- Farhoudi G, Karig D. Makran of Iran and Pakistan as an active arc system. *Geology*. 1977;5(11):664-68.
- 15- Jacob KH, Quittmeyer RL. The Makran region of Pakistan and Iran: Trench-arc system with active plate subduction. In: Farah A, DeJong KA, editors. *Geodynamics of Pakistan*. Quetta: Geological Survey of Pakistan; 1979. p. 305-317.
- 16- Mcall GJH. The geotectonic history of the Makran and adjacent areas of southern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*. 1997;15(6):517-31.
- 17- Bilos C, Colombo JC, Rodriguez MJ. Trace metals in suspended particles, sediments and asiatic clams (*Corbicula fluminea*) of the Rio de la Plata Estuary, Argentina. *Environmental Pollution*. 1998;99(1):1-11.
- 18- Maanan M. Heavy metal concentrations in marine molluscs from the Moroccan coastal region. *Environmental Pollution*. 2008;153(1):176-83.
- 19- Thompson KC, Wadhia K, Loibner AP. *Environmental Toxicity Testing*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd; 2005.
- 20- de Mora S, Fowler SW, Wyse E, Azemard S. Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Gulf and Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin*. 2004;49(5):410-24.
- 21- Kanakaraju D, Ibrahim F, Berseli MN. Comparative study of heavy metal concentrations in Razor Clam (*Solen regularis*) in Moyan and Serpan, Sarawak. *Global Journal of Environmental Research*. 2008;2(2):87-91.
- 22- Kavun VY, Shul'kin V. Changes in the microelement composition in organs and tissues of the bivalve *Crenomytilus grayanus* acclimatized in a biotope with long-term heavy metal contamination. *Russian Journal of Marine Biology*. 2005;31(2):109-14.
- 23- Bryan G, Langston W. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: A review. *Environmental Pollution*. 1992;76(2):89-131.
- 24- UNEP. Preliminary assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by zinc, copper and their compounds and proposed measures. Athens: United Nation Environmental Programme; 1993.
- 25- Sadiq M. *Toxic Metal Chemistry in Marine Environments*. New York: Marcel Dekker; 1992.
- 26- Law R, Waldock M, Allchin C, Laslett R, Bailey K. Contaminants in seawater around England and Wales: Results from monitoring surveys, 1990–1992. *Marine Pollution Bulletin*. 1994;28(11):668-75.
- 27- USPHS. Toxicological profile on CD-ROM. USA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, United States Public Health Service; 1997.
- 28- Salomons W, Förstner U. *Metals in the Hydrocycle*. Berlin: Springer-Verlag; 1984.
- 29- Long ER, MacDonald DD, Smith SL, Calder FD. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*. 1995;19(1):81-97.
- 30- Eby GN. *Principles of Environmental Geochemistry*. Pacific Grove: Thomson-Brooks/Cole; 2004.
- 31- Arain MB, Kazi TG, Jamali MK, Jalbani N, Afridi HI, Baig JA. Speciation of heavy metals in sediment by conventional, ultrasound and microwave assisted single extraction methods: A comparison with modified sequential extraction procedure. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;154(1):998-1006.
- 32- Riley JP, Chester R. *Introduction to Marine Chemistry*. London: Academic Press; 1971.
- 33- Einollahi Peer F, Safahieh A, Dadollahi Sohrab AD, Pakzad Tochaii SP. Heavy metal concentrations in rock oyster *Saccostrea cucullata* from Iranian coasts of the Oman Sea. *Trakia Journal of Sciences*. 2010;8(1):79-86.

Determining the level of heavy metal pollution in surface sediments of the Gulf of Chabahar

A. Bazzi

Master of Geology, Faculty of Marine Science, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran

Received: 2 August 2014; Accepted: 25 October 2014

ABSTRACT

Background & Objectives: This paper, discussed the concentrations of heavy metals such as cadmium, copper, lead, zinc, nickel, chromium, iron, and magnesium in surface sediments of the Gulf of Chabahar.

Materials & Methods: Samples of coastal sediment and shallow waters were collected from five different stations in summer and winter, 2013.

Results: The research found that the concentrations of heavy metals in sediments is more than water, although the concentrations of metals in sediment and water from different stations followed a general trend. Seasonal variation had effect on the concentration of metals, so that in winter, the concentration of heavy metals such as copper, lead, zinc, cadmium, and nickel was more than of the summer season.

Conclusion: Generally, concentration of heavy metals in the study area was less than the quality guidelines for sediments and water. However, between different stations, higher concentrations of heavy metals were found in stations nearby the fishing ports. The results show that increase in the concentrations of heavy metals can contribute considerable impacts on the pollution level due to fishing boats in the study area; although some metals are also of natural origin.

Keywords: Heavy metals, Seawater, Sediment, Oman Sea, Gulf of Chabahar.

*Corresponding Author: *a.bazzi@cmu.ac.ir*

Tel: +98 9151964464