

آلودگی و ارزیابی اثرات بوم‌شناختی برخی فلزات سنگین در رسوبات سطحی خلیج چابهار

روزبه میرزا^۱، مظاهر معین‌الدینی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع طبیعی، محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، پست الکترونیکی: roozbeh_mirza@yahoo.com

۲- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، پست الکترونیکی: moeinaddini@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۲۸

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۱۹

چکیده

هدف از این مطالعه اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین (جیوه، کادمیوم، مس، سرب، نیکل و وانادیوم) در رسوبات دریایی خلیج چابهار است. همچنین پتانسیل آسیب‌رسانی فلزات سنگین به کمک شاخص‌های ریسک اکولوژیکی ترکیبی آلودگی (CPI) و شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی (PERI) در ۷ ایستگاه در خلیج چابهار تعیین شد. از هر ایستگاه تعداد ۳ نمونه از رسوبات سطحی (۵-۰ cm) با استفاده از گرب ون ون جمع‌آوری شدند و نمونه‌ها طبق روش‌های استاندارد استخراج و آنالیز شدند. میزان غلظت فلزات سنگین به ترتیب $V > Ni > Pb > Cu > Cd > Hg$ مشاهده شدند. بررسی وضعیت آلودگی رسوبات بر مبنای شاخص CPI نشان داد که به استثنای ایستگاه پوزم کلیه ایستگاه‌ها دارای مقادیر $CPI > 1$ بودند، که بیانگر آلوده بودن رسوبات به فلزات سنگین است. شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی (PERI) فلزات نیکل، مس و سرب دارای سطح زیر ۴۰ بود که بیانگر خطرات بوم‌شناختی پایین این فلزات بود. با توجه به نتایج بدست آمده، ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین مطالعه شده در سواحل خلیج چابهار دارای سطح کم تا بسیار زیاد بودند.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، ریسک اکولوژیکی، رسوبات، خلیج چابهار، دریای عمان.

۱. مقدمه

(2001). از مهمترین آلاینده‌های دریا که همواره مورد توجه بوده- اند، می‌توان به فلزات سنگین اشاره نمود که به دلیل تجزیه ناپذیر بودن، پایداری زیادی در بوم سامانه‌های دریایی دارند (یزدان پناه و همکاران، ۱۳۹۶). برخی از فلزات در غلظت‌های بسیار پایین وجود دارند و برخی دیگر از لحاظ زیست‌شناختی ضروری هستند (Nies, 1999). فلزات سنگین به طور طبیعی از طریق هوازدگی پوسته زمین وارد بوم‌سامانه‌های آبی می‌شوند (Khaled., 2004). در مناطق ساحلی، فلزات سنگین به طور طبیعی به‌وسیله رودخانه و یا فرسایش بادی و خاکی به دریا

تحولات ایجاد شده در بخش‌های صنعتی و کشاورزی و ارتقاء سطح زندگی بشر در دهه‌های اخیر، کاربرد عناصر و ترکیبات شیمیایی را در زمینه‌های مختلف اجتناب‌ناپذیر نموده است. از آنجایی که مناطق ساحلی و مصبی، مکان‌های عمده برای توسعه‌های شهری و صنعتی هستند، این مناطق می‌توانند به عنوان مکان‌های هرز برای بسیاری از آلاینده‌ها همانند فلزات سنگین مطرح شوند (Kasuba and Rozgaj, 2000; Suzuki et al.,)

برای توده‌های مرجانی و پهنه‌های جلبکی فراهم آورده است که ورود آلاینده از منابع مختلف در سال‌های اخیر موجب تهدید و تخریب این بوم‌سامانه‌های بارزش شده است.

عزیزاله بزی (۱۳۹۴) آلودگی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی در ۵ ایستگاه خلیج چابهار را مورد مطالعه قرار داد. نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت فلزات سنگین نسبت به مطالعات مشابه گذشته افزایش نسبی داشته است. عامل اصلی آلودگی در منطقه به فعالیت‌های مرتبط با انسان نسبت داده شده است. کشاورزی و همکاران (۱۳۹۲) توزیع فلزات سنگین در رسوبات ساحلی و دریایی خلیج چابهار را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که مهمترین منبع وجود آلاینده در منطقه، به دلیل تعمیر و نگه داری قایق‌ها و لنج‌ها است که باعث ریزش روغن موتور، سوخت و رنگ به دریا می‌شوند. با توجه به مطالب ذکر شده، بررسی، پایش و تعیین منشأ فلزات سنگین و همچنین اثراتی که این آلاینده‌ها بر موجودات منطقه می‌گذارند، به عنوان یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌های دریایی محسوب می‌شوند. با توجه به مطالعات اندکی که در زمینه این آلاینده‌ها در داخل کشور صورت گرفته و پتانسیل خطرآفرینی که این ترکیبات بر محیط‌زیست و انسان دارند، این مطالعه از اهمیت بالایی برخوردار است. بر این اساس، این تحقیق با هدف بررسی وضعیت آلودگی رسوبات ساحلی خلیج چابهار به فلزات سنگین و همچنین ارزیابی اثرات محیط زیستی و بوم‌شناختی این آلاینده‌ها بر محیط‌زیست منطقه با استفاده از شاخص‌های پتانسیل ریسک اکولوژیکی و شاخص ترکیبی آلودگی رسوبات انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

با توجه به اهمیت بوم‌شناختی منطقه و به لحاظ منابع ورودی آلاینده‌های شهری و صنعتی، ۷ ایستگاه در سواحل خلیج چابهار انتخاب شدند و نمونه‌برداری انجام گرفت. از هر ایستگاه ۳ نمونه از رسوبات سطحی (۵-۰ cm) با استفاده از گرب و ون وین با سطح مقطع 1000 cm^2 جمع‌آوری شدند و لایه سطحی آن با استفاده از یک بیلچه پلاستیکی شسته شده، برداشت شد و تمامی پوسته‌های بزرگ صدف و خرده‌سنگ‌های درشت نیز از آن جدا شدند. نمونه‌های رسوب در ظروف پلی‌اتیلنی برچسب‌گذاری شده، قرار داده شدند. سپس روی برچسب‌ها نام ایستگاه و تاریخ نمونه‌برداری ثبت شدند. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها در یخدان

انتقال پیدا می‌کنند. به هر حال میزان بالایی از فلزات سنگین در محیط‌زیست ساحلی عموماً در اثر فعالیت‌های انسانی است. راه‌های اصلی ورود فلزات به محیط‌زیست دریایی و رودخانه‌ها، ته‌نشست‌های اتمسفری و فعالیت‌های انسانی هستند. مهم‌ترین فعالیت‌های انسانی که موجب ورود فلزات به محیط‌زیست دریایی می‌شوند، شامل فعالیت‌های کشتیرانی، لایروبی کف یا بستر دریا، فاضلاب‌های شهری و صنعتی، معدن‌کاوی، استفاده از کودهای کشاورزی و سوزاندن سوخت‌های فسیلی و غیره هستند (Machiwa, 1992; Lionetto et al., 2003).

فلزات سنگین با توجه به پایداری، ساختار غیر قابل تجزیه^۱ و تجمع زیستی^۲ بالقوه در گونه‌های مختلف آبزیان از نگرانی‌های خاص به شمار می‌روند (Javed and Usmani, 2012; Khaled., 2004). فلزات سنگین به علت پایداری و قابلیت سمیت برای موجودات زنده دارای اهمیت خاصی در مطالعات اکوتاکسیکولوژی هستند (Edward et al., 2013). اثرات بوم-شناختی فلزات سنگین روی موجودات آبی به نوع فلز، غلظت و مدت زمان در معرض قرارگیری فلز و شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط بستگی دارد (Shulkin and Presley, 2003).

خلیج چابهار در جنوب شرقی سواحل استان سیستان و بلوچستان در سواحل دریای عمان قرار دارد. وسعت خلیج ۲۹۰ کیلومترمربع و عمق متوسط آن ۶ متر و عرض دهانه ۱۳ کیلومتر است. وجود ذخایر عظیم آبزیان در جوار شهرستان چابهار و نقش فزاینده آبزیان دریایی در رژیم غذایی انسان، به این شهرستان موقعیت صیدگاهی قابل توجهی بخشیده است (کشاورزی و همکاران، ۱۳۹۲). دو بندر شهید کلاتری و شهید بهشتی مهم‌ترین بنادر تجاری خلیج چابهار محسوب می‌شوند و بندر صیادی تیس و کنارک بزرگ‌ترین بندر ماهی‌گیری این خلیج هستند. خلیج چابهار به دلیل موقعیت خاص بوم‌شناختی و از آنجاییکه صیدگاه عمده شاه‌میگو در آب‌های سیستان و بلوچستان است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در کنار فعالیت‌های عمده صید و صیادی در این خلیج، بندر چابهار نیز از دیرباز محل تردد کشتی‌های تجاری بوده و از رونق و اعتبار خاصی برخوردار است. سایر منابع آلاینده این خلیج شامل تأسیسات آب‌شیرین‌کن، صنایع کشتی‌سازی، خروجی پساب شهری و صنعتی به دریا می‌باشد. وجود سواحل صخره‌ای در این خلیج زیستگاه مناسبی را

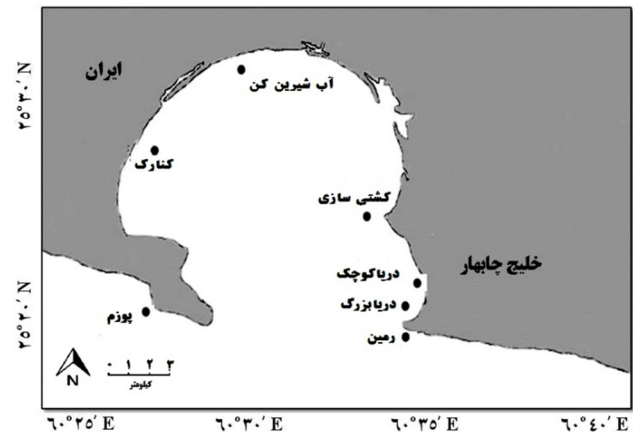
¹ Undegradable

² Bioaccumulation

پس از سرد شدن نمونه‌ها ۱ میلی‌لیتر محلول دی کرومات پتاسیم (K₂Cr₂O₇) به آنها افزوده شد. نمونه‌ها به بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری منتقل یافتند و با استفاده از آب دو بار تقطیر رقیق شدند و پس از تکان دادن نمونه‌ها، به منظور جدا کردن ذرات معلق از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شدند و سپس نمونه‌ها آنالیز شدند (MOOPAM, 2003). جهت سنجش سایر فلزات سنگین، مقدار ۱ گرم از نمونه رسوب خشک هموزن شده را برداشته و به منظور استخراج فلزی به داخل بالن ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده شد. به بالن، ۴ میلی‌لیتر اسید نیتریک (HNO₃) و ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک (HCl) اضافه شدند. پس از گرم کردن نمونه‌ها، به آرامی به مدت ۳ ساعت استخراج شدند، اما از جوش زیاد آن جلوگیری شد. محلول‌های هضم شده به بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتر انتقال یافتند و با آب دوبار تقطیر رقیق شدند. نمونه‌های رقیق شده با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ فیلتر شدند و تا زمان اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در دمای یخچال نگهداری شدند (EPA, 1999).

سنجش جیوه موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی مدل YOUNGLIN ASS 8020 با روش بخارسرد (CVAAS^۲) صورت پذیرفت. سنجش سایر فلزات سنگین به کمک این دستگاه و با استفاده از شعله صورت گرفت. جهت اطمینان از صحت عملیات هضم و اندازه‌گیری غلظت فلزات و عدم تأثیرگذاری محسوس مواد و وسایل مورد استفاده بر غلظت فلزات موجود در نمونه‌ها، از یک نمونه شاهد و یک نمونه کنترل نیز استفاده شد. نمونه کنترل، نمونه ای است با حجم ۵۰ میلی‌لیتر که حاوی ماده استاندارد فلزات کمیاب (IAEA, 433) و اسید نیتریک جهت هضم است و آب مقطر برای رقیق سازی می‌باشد. درصد بازیافت نمونه‌های کنترل بین ۹۵٪ تا ۱۰۳٪ به دست آمد که این مقدار برای این تحقیق قابل قبول بود. از آزمون Shapiro-wilk جهت بررسی پراکنش نرمال داده‌ها استفاده شد. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها جهت مقایسه غلظت فلزات در رسوبات بین ایستگاه‌های مختلف، از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد و در صورت معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد، جهت مقایسه‌های چندگانه از پس آزمون Tukey استفاده گردید. از آزمون همبستگی جهت تعیین ضریب همبستگی بین غلظت فلزات در رسوب ایستگاه‌های

در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه پژوهشکده خلیج فارس منتقل شدند. موقعیت هر ایستگاه توسط نرم‌افزار Google Earth و به وسیله موقعیت‌یاب جغرافیایی (GPS^۱) کنترل گردیدند. شکل ۱ و جدول ۱ موقعیت تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده را نشان می‌دهند.



شکل ۱: ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل بندر چابهار

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه با دستگاه GPS

شماره	ایستگاه	مشخصات ایستگاه	مختصات جغرافیایی
۱	ریمین	اسکله صیادی و تخلیه روغن صنعتی	E ۶۰° ۴۴' N ۱۶' ۲۵°
۲	دریای بزرگ	متصل به دریای عمان، فاقد فعالیت	E ۶۰° ۳۳' N ۱۶' ۲۵°
۳	دریای کوچک	اسکله صیادی و تردد شناورهای بزرگ	E ۶۰° ۳۷' N ۱۸' ۲۵°
۴	کشتی‌سازی	تعمیر و نگهداری شناورها	E ۶۰° ۳۶' N ۲۵° ۲۱'
۵	آب‌شیرین‌کن	خروج پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن	E ۶۰° ۲۹' N ۲۵° ۲۶'
۶	کنارک	منطقه مسکونی و اسکله صیادی	E ۶۰° ۲۴' N ۲۵° ۲۳'
۷	پوزم	اسکله صیادی و محل پهلوگیری لنج‌ها	E ۶۰° ۱۹' N ۲۵° ۲۱'

۱-۲ سنجش فلزات سنگین در رسوب

ابتدا نمونه‌های رسوب در دمای ۵۰ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت در آن کاملاً خشک شدند (Sidoumou et al., 2006; Clinton et al., 2008). نمونه‌های خشک شده با استفاده از هاون چینی کاملاً پودر شدند و با استفاده از الک ۶۳ میکرون الک شده و ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون جدا شدند. به منظور سنجش فلز جیوه، مقدار ۱ گرم از رسوب خشک هموزن شده را به دقت وزن نموده و درون لوله آزمایش با ۴ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۲ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ (H₂SO₄) مخلوط شدند. سپس نمونه‌ها روی هیتر آزمایشگاهی در زیر هود به مدت ۳ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد هضم گردیدند.

^۱ Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometer

^۱ Geographic position system

Cf مختلف، استفاده شد. برای رسم نمودارها و جداول نیز از نرم‌افزار Excel، نسخه ۲۰۰۷ و به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS، نسخه ۱۶ استفاده شد.

۲-۲ بررسی وضعیت آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص‌های موجود

جهت بررسی وضعیت آلودگی رسوبات، فاکتور آلودگی^۱ برای هر یک از فلزات سنگین و همچنین درجه آلودگی^۲ برای هر ایستگاه محاسبه شد (Hakanson, 1980). شاخص آلودگی معیاری برای بررسی وضعیت آلودگی تک‌تک فلزات سنگین در رسوبات است که توسط معادله ۱ محاسبه می‌شود:

$$E_f^i = C_f^i \times T_f^i \quad \text{معادله ۳}$$

$$RI = \sum E_f^i \quad \text{معادله ۴}$$

درجه‌بندی سمیت با این شاخص به صورت $RI < 150$ (خطر کم)، $150 \leq RI \leq 300$ (میزان خطر متوسط)، $300 \leq RI \leq 600$ (میزان خطر قابل‌توجه) و $RI \geq 600$ (خطر بسیار زیاد) است. شاخص ترکیبی آلودگی^۴ (CPI)، جهت بررسی وضعیت کلی آلودگی رسوبات مورد استفاده قرار گرفت که از طریق معادله ۵ به دست می‌آید. جهت محاسبه ضریب آلودگی، میانگین غلظت فلز مورد نظر بر میزان میانگین غلظت آن فلز قبل از صنعتی شدن تقسیم می‌شود. در معادله ۵، M تعداد فلزات سنگین مورد مطالعه است. درجه‌بندی آلودگی با این شاخص به صورت $CPI < 1$ (نشان‌دهنده رسوبات غیر آلوده هستند) و $CPI \geq 1$ (نشان‌دهنده رسوبات آلوده به فلزات سنگین هستند و با افزایش مقدار CPI آلودگی افزایش پیدا می‌کند) است.

$$CPI = \sum_{i=1}^m \frac{C_f^i}{m} \quad \text{معادله ۵}$$

۳. نتایج و بحث

۳-۱ غلظت فلزات سنگین در رسوبات سواحل چابهار

نتایج مربوط به میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات ۷ ایستگاه در سواحل چابهار در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، بین میانگین غلظت‌های جیوه، کادمیوم، سرب، مس، نیکل و وانادیوم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$). نتایج به دست آمده بیشترین غلظت فلزات جیوه، مس، نیکل، سرب و وانادیوم در

کرباسی (۱۳۷۹) در سواحل شمال غربی و بخش مرکزی خلیج فارس، مطالعه‌ای در خصوص تعیین شدت آلودگی فلزات سنگین انجام داد که در این تحقیق از مقادیر مذکور به‌عنوان مرجع استفاده شده بود. به مجموع غلظت همه فاکتورهای آلودگی به دست آمده درجه آلودگی می‌گویند که از معادله ۲ به دست می‌آید:

$$C_f^i = C_D^i / C_R^i \quad \text{معادله ۱}$$

Cf: فاکتور آلودگی، CD: میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات، CR: میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات پایه یا قبل از صنعتی شدن.

درجه‌بندی آلودگی رسوبات با این شاخص به صورت $C_d < 7$ (آلودگی با شدت پایین)، $7 \leq C_d \leq 14$ (آلودگی با شدت متوسط)، $14 \leq C_d \leq 28$ (آلودگی با شدت قابل‌توجه) و $C_d \geq 28$ (نشان‌دهنده آلودگی شدید انسانی) است. جهت بررسی خطرات و آسیب‌های فلزات سنگین در رسوبات و خاک از شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی^۳ (PERI) که در سال ۱۹۸۰ توسط یک دانشمند سوئدی به نام Hakanson ارایه شد، استفاده گردید (معادله ۳). در بسیاری از مطالعات زیست‌محیطی در دنیا از این شاخص استفاده شده است (Dehghan et al., 2009; Dauvalter)

$$C_d = \sum C_f^i \quad \text{معادله ۲}$$

۱ Contamination Factor
۲ Degree of Contamination
۳ Potential Ecological Risk Index

⁴ Combined pollution index

دادند. نتایج نشان داد که وجود غلظت‌های بالای فلزات در رسوبات سواحل دریای خزر ناشی از تخلیه میزان قابل توجهی از آلاینده‌های انسانی در نقاط و یا در نزدیکی ایستگاه‌های نمونه‌برداری است. مقایسه نتایج حاضر بر رسوبات مورد مطالعه در سواحل چابهار با نتایج به دست آمده از مطالعه ترکیبات فلزات سنگین، در سایر نقاط جهان در جدول ۳ آمده است. مقایسه مقادیر مس سواحل خلیج چابهار با سایر نقاط جهان نشان داد که مقدار این عنصر از کلیه مناطق مقایسه شده کمتر است و تقریباً در محدوده سواحل امارات در خلیج فارس قرار دارد. فلز نیکل سواحل چابهار فقط از خوریاات ماهشهر (Dehghan et al., 2009) و شمال غرب خلیج فارس (Karbasi et al., 2005) کمتر می‌باشد و نسبت به سایر رسوبات ساحلی نقاط دیگر دنیا بیشتر است. سرب اندازه‌گیری شده در سواحل چابهار تقریباً در محدوده مقادیر به دست آمده در رسوبات سواحل امارات قرار داشت که توسط De Mora و همکاران (۲۰۰۴) گزارش شده است و از سایر رسوبات ساحلی مناطق دیگر جهان کمتر است. همچنین مقایسه غلظت فلز کادمیوم نشان داد که در محدوده غلظت کادمیوم اندازه‌گیری شده در رسوبات خلیج فیلیپ استرالیا است و نسبت به سایر مناطق مطالعه شده بیشتر است. جیوه اندازه‌گیری شده در سواحل چابهار تقریباً در محدوده مقادیر به دست آمده در رسوبات سواحل بحرین بود که توسط De mora و همکاران (۲۰۰۴) گزارش شد که از سایر رسوبات ساحلی مناطق دیگر جهان بیشتر بود.

ایستگاه‌های کنارک و رمین را نشان داد. علت بالا بودن غلظت فلزات سنگین در این دو ایستگاه به خصوص در ایستگاه کنارک، می‌تواند به دلیل وجود بافت مسکونی زیاد و اسکله‌های صیادی فراوان باشد که در این منطقه واقع شده‌اند و حجم وسیعی از آلودگی‌های انسانی و صنعتی را وارد آب‌های ساحلی این منطقه می‌کنند. کمترین میزان فلزات اندازه‌گیری شده در ایستگاه پوزم ثبت گردید. از عوامل آلودگی این ایستگاه می‌توان به تخلیه فاضلاب روستای پوزم و تردد لنج‌ها و قایق‌های صیادی اشاره نمود. با توجه به این که موقعیت این ایستگاه تقریباً در بیرون از خلیج چابهار است، علت پایین بودن غلظت فلزات سنگین در آن را می‌توان به دلیل دور بودن از منابع آلودگی‌های نقطه‌ای که بیشتر در محدوده داخلی خلیج چابهار هستند، دانست. Adamo و همکاران (۲۰۰۵) پراکنش فلزات سنگین را در رسوبات سطحی و رسوبات عمقی در بندر شهر ناپل ایتالیا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج اندازه‌گیری شده در ۲۰ ایستگاه در این بندر نشان داد که بیشترین آلودگی فلزی در قسمت‌هایی از بندر که مختص فعالیت‌های ساخت‌وساز تأسیسات کشتی‌رانی بود، مشاهده شد. در حالی که قسمت‌های جنوب شرقی بندر تحت تأثیر فعالیت‌های پالایشگاه‌های پتروشیمی قرار داشت. پری زنگنه و لاکان (۱۳۸۶) غلظت عناصر آلومینیوم، کادمیوم، مس، سرب، نیکل و روی ناشی از فعالیت‌های صنعتی و اقتصادی را روی رسوبات سواحل ایرانی دریای خزر مورد مطالعه قرار دادند. این محققین تعداد ۱۴ ایستگاه با فواصل تقریبی ۴۵ تا ۵۵ کیلومتر را مورد مطالعه قرار

جدول ۲: میانگین (± خطای استاندارد) غلظت فلزات سنگین در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه (میکروگرم بر گرم)

ایستگاه	Hg	Cd	Pb	Cu	Ni	V
رمین	۰/۳۵±۰/۰۵	۶/۲±۰/۹۵	۱۰/۷۹±۱/۶۳	۵/۰۶±۰/۸۵	۱۲۴/۴±۴/۴۶	۲۰/۱۴±۴/۴۶
دریای بزرگ	۰/۳۷±۰/۰۷	۶/۴۸±۰/۹۱	۹/۳۸±۲/۲۹	۷/۴۸±۰/۸۲	۷۱/۹۸±۳/۳۲	۱۵۴/۳۰±۲/۶۸
دریای کوچک	۰/۵۶±۰/۰۵	۶/۰۵±۰/۷۲	۸/۸۸±۱/۸۴	۷/۳۵±۰/۷۷	۷۲/۸۱±۴/۶۷	۱۱۷/۴۶±۲/۲۰
کشتی‌سازی	۰/۳۲±۰/۰۵	۴/۳۱±۰/۸۵	۸/۹۵±۱/۶۰	۵/۰۵±۰/۹۶	۶۰/۹۸±۳/۰۸	۱۰۰±۳/۲۱
آب‌شیرین‌کن	۰/۲۴±۰/۰۴	۶/۱۱±۱/۰۴	۱۰/۵۳±۱/۸۸	۶/۱۱±۰/۶۸	۷۰/۰۸±۳/۹۳	۱۴۳/۲۳±۲/۷۳
کنارک	۰/۷۳±۰/۰۶	۵/۹۹±۰/۷۹	۱۰/۶۰±۲/۱۹	۷/۵۹±۰/۷۸	۱۳۵/۷۰±۵/۰۸	۱۳۷/۱۸±۲/۷۲
پوزم	۰/۰۹±۰/۰۴	۱/۸۲±۰/۵۲	۳/۶۴±۱/۰۱	۴/۲۲±۰/۸۹	۱۵/۰۵±۳/۲۳	۳/۹۴±۱/۱۵

جدول ۳: مقادیر فلزات سنگین در رسوبات نقاط مختلف بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک

منطقه	Cd	Cu	V	Ni	Pb	Hg
خوریاات ماهشهر	۰/۵۶	۳۷/۰۱	-	۱۰/۲۶۷	۱۴/۶۶	۰/۲۲
شمال غرب خلیج فارس	-	۲۲	-	۱۰۹	۴۴	-
خلیج فارس	۴	۱۸	-	۵۹	-	-
خلیج فارس، قطر	۰/۰۳-۰/۰۹	۸/۱۷-۱/۲۲	۲/۷-۳۲/۱	۰/۷۴-۲۰/۸	۰/۴۳-۲/۸۸	۰/۰۰۷-۰/۰۱۱۴
خلیج فارس، امارات	۰/۰۲-۰/۱۱	۰/۶۴-۳/۵۸	۳/۵-۴/۵	۲-۱۰۱۰	۰/۶۹-۵/۸۸	۰/۰۰۰۹-۰/۰۰۲۲
خلیج فارس، بحرین	۰/۰۴-۰/۱۸	۲/۳۸-۴/۸۳	۳/۴۶-۴/۲۸	۲/۴۶-۲۲/۲	۰/۶۷-۹۹	۰/۰۰۲۵-۰/۰۲۲۰۲
بندر بارسلون، اسپانیا	۰/۶-۲/۹	۷۴-۶۰۱	-	۱۹-۳۲	۸۷-۴۵۵	-
خلیج فیلیپ، استرالیا	۰/۱-۵/۸	۱-۶۲	-	۲-۶۶	۱-۱۹۷	-
دریای سیاه، ترکیه	۰/۰۱-۰/۰۹	۴-۹۶	-	۴-۶۶	<۰/۱-۰/۳۱	-
سواحل چابهار	۵/۲۷	۵/۹۸	۱۲/۰۷	۸/۱۸۷	۸/۹۶	۰/۳۵

۳-۲ نتایج مربوط به ضرایب همبستگی بین فلزات سنگین

نتایج حاصل از بررسی ضرایب همبستگی بین فلزات سنگین نشان داد که بین فلز مس با جیوه، سرب با کادمیوم، نیکل با سرب و وانادیوم با سرب همبستگی وجود دارد. بالاترین میزان همبستگی بین فلزات وانادیوم با سرب، روی با سرب، سرب با کادمیوم و وانادیوم با کادمیوم با ضریب همبستگی پیرسون (r) ۰/۹۲ مشاهده شد (جدول ۴). نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین فلزات سنگین در سواحل خلیج چابهار نشان داد که بین فلزات سرب با نیکل، کادمیوم، وانادیوم، مس با جیوه و همچنین کادمیوم با وانادیوم ارتباط و همبستگی معنی‌دار وجود دارد که نشان‌دهنده ورود این آلاینده‌ها از منابع مشترک است (Baptista et al., 2000; Rumisha et al., 2012). مهم‌ترین منابع این آلودگی‌ها می‌تواند ناشی از رنگ‌آمیزی قایق‌ها و لنج‌های صیادی، تردد لنج‌ها و قایق‌های صیادی، اسکله‌های صیادی، ورود فاضلاب‌ها و پساب‌های محلی، صنایع کشتی‌سازی، کارخانه‌ها و تأسیسات آب‌شیرین‌کن، تردد کشتی‌های نفت‌کش و غیر نفت‌کش، تخلیه پساب‌های صنعتی و شهری، ته‌نشست‌های اتمسفری، تردد و تعویض روغن لنج‌ها و قایق‌های صیادی و غیر صیادی مستقر در منطقه در رسوبات ساحلی است. غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی آب‌های ساحلی Jurujuba Sound واقع در جنوب شرقی برزیل توسط Baptista و همکاران (۲۰۰۰) مورد بررسی قرار گرفت. این محققین گزارش نمودند که بین فلزات سرب با روی، مس با روی، نیکل با کروم و نیکل با روی همبستگی مستقیم و معنی‌دار وجود دارد که بیانگر منبع مشترک آلودگی این فلزات است.

جدول ۴: ضرایب همبستگی پیرسون بین عناصر در رسوبات چابهار (سطح اطمینان ۰/۰۵)

	Hg	Cu	Cd	Pb	Ni	V
Hg	۱					
Cu	-۰/۸۵*	۱				
Cd	-۰/۵۶	۰/۷۰	۱			
Pb	-۰/۵۴	۰/۵۶	-۰/۹۲*	۱		
Ni	-۰/۷۰	-۰/۴۴	-۰/۶۴	-۰/۸۰*	۱	
V	-۰/۴۱	-۰/۴۱	-۰/۹۲*	-۰/۹۲*	-۰/۷۴	۱

* نشان‌دهنده وجود همبستگی معنی‌دار است (P < ۰/۰۵).

پوزم مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان درجه آلودگی برای ایستگاه کنارک و کمترین مقدار برای ایستگاه پوزم بود. نتایج حاصل از بررسی فاکتور آلودگی و درجه آلودگی رسوبات سواحل چابهار نشان داد که توالی فاکتور آلودگی فلزات سنگین مطالعه شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت $Hg > Cd > Ni > Pb > Cu > V$ است. همچنین توالی درجه آلودگی رسوبات ساحلی چابهار بدین ترتیب است: پوزم > کشتی‌سازی > آب‌شیرین‌کن > دریا بزرگ > رمین > دریا کوچک > کنارک.

به‌طورکلی نتایج حاصل از شاخص درجه آلودگی رسوبات به فلزات سنگین نشان داد که ایستگاه‌های کنارک، دریا کوچک و رمین دارای سطح آلودگی قابل‌توجه بودند، در حالی که رسوبات ایستگاه‌های کشتی‌سازی، دریا بزرگ و آب‌شیرین‌کن دارای سطح آلودگی متوسطی بودند. رسوبات ایستگاه پوزم دارای سطح آلودگی پایینی نسبت به فلزات سنگین بودند.

۳-۴ نتایج مربوط به شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی

نتایج مربوط به شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل چابهار در جدول ۶ آورده شده است. بیشترین مقدار شاخص برای فلز جیوه در ایستگاه کنارک و کمترین مقدار برای فلز سرب در پوزم مشاهده شد. بر اساس نتایج بدست آمده، عناصر اصلی که موجب ایجاد خطرات شدید بوم‌شناختی می‌شوند مربوط به فلزات جیوه و کادمیوم هستند که در تمام ایستگاه‌های مطالعه شده، ریسک اکولوژیکی این فلزات در محدوده کم تا بسیار زیاد قرار می‌گیرند. مطالعه‌ای که توسط Guo و همکاران (۲۰۱۰) روی بررسی آلودگی و خطرات بوم‌شناختی فلزات سنگین در بندر Dongiong چین انجام گرفت، نشان داد که فلزات سرب، کادمیوم، مس، آرسنیک و روی دارای ریسک اکولوژیکی کمتر از ۴۰ بودند. آنها بیان کردند که فلز جیوه عنصر اصلی ایجاد خطرات بوم‌شناختی است.

۳-۵ شاخص ترکیبی آلودگی رسوبات

نتایج مربوط به شاخص ترکیبی آلودگی رسوبات در ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل چابهار در شکل ۲ آورده شده است. بیشترین مقدار شاخص برای ایستگاه کنارک و کمترین مقدار برای ایستگاه پوزم مشاهده شد.

۳-۳ نتایج مربوط به فاکتور آلودگی و درجه آلودگی رسوبات

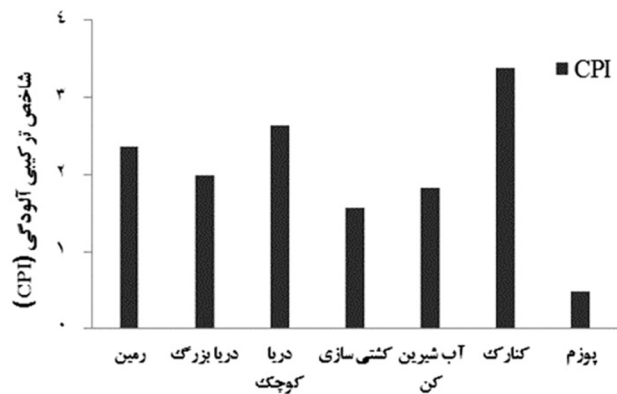
نتایج مربوط به شاخص فاکتور آلودگی و درجه آلودگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل چابهار در جدول ۵ آورده شده است. بیشترین مقدار شاخص فاکتور آلودگی برای فلز جیوه در ایستگاه کنارک و کمترین مقدار برای فلز وانادیوم در ایستگاه

جدول ۵: شاخص فاکتور آلودگی (Cf) و درجه آلودگی (Cd) در رسوبات چابهار

درجه آلودگی ($C_d = \sum C_i^4$)	V	Ni	Pb	Cd	Cu	Hg	ایستگاه
۱۴۴۳	۲/۶۵	۱/۷۷	۰/۴۳	۲/۲۹	۰/۲۹	۷	رمین
۱۱۶۰	۲/۰۳	۱/۰۲	۰/۳۷	۲/۴۰	۰/۳۸	۵/۴	دریا بزرگ
۱۶۷۹	۱/۵۴	۱/۰۴	۰/۳۶	۲/۲۲	۰/۴۳	۱۱/۲	دریا کوچک
۸۸۱	۱/۳۱	۰/۸۷	۰/۳۵	۱/۵۹	۰/۲۹	۴/۴	کشتی‌سازی
۱۰۰۷۱	۱/۸۸	۱	۰/۴۲	۲/۲۶	۰/۳۵	۴/۸	آب‌شیرین‌کن
۲۱۴۰	۱/۸۰	۱/۹۳	۰/۴۲	۲/۲۱	۰/۴۴	۱۴/۶	کنارک
۳/۲۰	۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۶۷	۰/۲۴	۱/۸۸	پوزم

جدول ۶: شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی (RI) فلزات سنگین در رسوبات چابهار

ایستگاه	Hg	Cd	Pb	Ni	Cu	($RI = \sum E_i^4$)
رمین	۲۸۰	۶۸۷۰	۲/۱۵	۸/۸۵	۱/۴۵	۳۶۱
دریا بزرگ	۲۱۶	۷۲	۱/۸۵	۵/۱۰	۱/۹۰	۲۹۶
دریا کوچک	۴۴۸	۶۶/۶۰	۱/۸۰	۵/۲۰	۲/۱۵	۵۲۳
کشتی‌سازی	۱۷۶	۴۷۷۰	۱/۷۵	۴/۳۵	۱/۴۵	۲۳۱
آب‌شیرین‌کن	۱۹۲	۷۸	۲/۱۰	۵	۱/۷۵	۲۷۹
کنارک	۵۸۴	۶۶/۳۰	۲/۱۰	۹/۶۵	۲/۲۰	۶۶۴
پوزم	۷۵/۲۰	۲۰/۱	۰/۷۰	۴/۰۵	۱/۲۰	۹۸



شکل ۲: شاخص ترکیبی آلودگی در رسوبات چابهار

۴. نتیجه‌گیری

مهمترین منابع آلاینده خلیج چابهار شامل سوخت‌های حاوی فلزات، رنگ‌ها، روغن قایق‌ها، لنج‌ها و تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی است. این مواد آلاینده پس از ورود به آب دریا توسط امواج غالب منطقه به سمت مناطق ساحلی منتقل می‌شوند. همچنین عملکرد امواج و سامانه باران‌های موسمی باعث انتقال آلاینده‌های ته‌نشست شده در رسوبات دریا به سمت مناطق ساحلی می‌شوند که به موجب آن، منجر به افزایش میزان آلودگی در این مناطق می‌شوند (کشاورزی و همکاران، ۱۳۹۲). نتایج حاصل از مطالعه حاضر و مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات خلیج چابهار، بیانگر بیشترین غلظت فلزات در ایستگاه کنارک بود. علت بالابودن آلودگی در این منطقه احتمالاً ناشی

اسکله‌های صیادی، تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی، تخلیه روغن‌ها و رنگ‌آمیزی لنج‌ها و همچنین نزدیکی آن به شهرک صنعتی کنارک است. همچنین غلظت بالای فلزات وانادیوم و نیکل در سواحل خلیج چابهار یکی از شاخص‌ها و عوامل بالا بودن احتمالی آلودگی این سواحل به ترکیبات نفتی است. که می‌تواند ناشی از پهلوگیری لنج‌ها، قایق‌های صیادی و باری، تعویض و تخلیه روغن، تردد کشتی‌های نفت‌کش، تخلیه آب توازن تانکرهای نفت‌کش، ته‌نشست‌های اتمسفری آلاینده‌ها در دریا، وجود تعداد زیادی بنادر و اسکله‌های حمل‌ونقل و صیادی، کارخانه کشتی‌سازی و لنج‌سازی و ورود پساب‌های شهری و صنعتی در سواحل خلیج چابهار باشد که موجب افزایش و بالا رفتن غلظت این فلزات به خصوص فلز وانادیوم شده است (Mirza et al., 2014).

با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان بیان کرد که خطرات بوم-شناختی رسوبات سواحل خلیج چابهار نسبت به آلودگی بسته به نوع فلز سنگین دارای سطح کم تا بسیار زیاد است. همچنین نتایج مربوط به شاخص ترکیبی آلودگی نشان داد که رسوبات سواحل چابهار به استثنای رسوبات ایستگاه پوزم که کمتر از یک بود، همگی دارای سطحی بالاتر از یک هستند که بیانگر آلوده بودن رسوبات این منطقه به فلزات سنگین است. به‌طورکلی نتایج حاصل از ارزیابی آلودگی و اثرات ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات سواحل خلیج چابهار، اطلاعات ارزشمندی را درباره وضعیت آلودگی این منطقه نشان داد. با توجه به این نتایج می‌توان مطالعات گسترده‌تر و دقیق‌تری در مورد ارزیابی این ترکیبات و اثرات زیست‌محیطی آنها انجام داد.

منابع

بزی، ا.ع.، ۱۳۹۴. تعیین سطح آلودگی رسوبات سطحی خلیج چابهار به فلزات سنگین. مجله سلامت و محیط، شماره ۱، صفحات ۴۵-۵۶.

- Oman. Marine Pollution Bulletin, 49: 410-424.
- Dehghan, S.M.; Savary, A.; Parham, H.; Sabzalizadeh, S., 2009. Determination of the level of contamination in Khuzestan coastal waters (Northern Persian Gulf) by using an ecological risk index. Environmental Monitoring Assessment, 159: 521-530.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1999. The incidence and severity of sediment contamination in surface waters of the United States. EPA- 823-R-007, Washington, DC.
- Edward, J.B.; Idowu, E.O.; Oso, J.A.; Ibidapo, O.R., 2013. Determination of heavy metal concentration in fish samples, sediment and water from Odo-Ayo River in Ado-Ekiti, Ekiti-State, Nigeria. International Journal of Environmental Monitoring and Analysis, 1: 27-33.
- Fabris, G.J.; Monahan, C.A.; Batley, G.E., 1999. Heavy metals in waters and sediments of Port Phillip Bay, Australia. Marine and Freshwater Research, 50: 503-533.
- Guo, W.; Liu, X.; Liu, Z.; Li, G., 2010. Pollution and potential ecological risk evaluation of heavy metals in the sediments around Dongjiang Harbor, Tianjin. Procedia Environmental Sciences, 2: 729-736.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control-a sediment logical approach. Water Research, 14: 975-1001.
- Javed, M.; Usmani, N., 2012. Toxic effects of heavy metals (Cu, Ni, Fe, Co, Mn, Cr, Zn) to the Haematology of *Mastacembelus armatus* thriving in Harduaganj Reservoir, Aligarh, India, Global Journal of Medical Research, 12: 59-64.
- Kasuba, V.; Rozgaj, R., 2000. Biological effects of cadmium. Periodicum Biologorum, 102: 365-371.
- Khaled, A., 2004. Heavy metals concentrations in certain tissues of five commercially important fishes from El-mex Bay, Alexandria, Egypt, National Institute of Oceanography and Fisheries, from El-Mex Bay, Al-
- پری زنگنه، ع.ح.؛ لاکان، ک.، ۱۳۸۶. بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل دریای خزر. مجله آب و فاضلاب، شماره ۶، صفحات ۱۲-۲.
- کشاورزی، ب.؛ ابراهیمی، پ.؛ مر، ف.؛ حمزه، م.ع.، ۱۳۹۲. زمین شناسی و توزیع فلزات سنگین در رسوبات ساحلی و دریایی خلیج چابهار. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۷، صفحات ۷۴-۸۱.
- کرباسی، غ.ر.، ۱۳۷۹. غلظت استاندارد و منشأ Cu, Co, Cd, V, Fe, Pb, Mn, Ni, Zn در رسوبات سطحی خلیج فارس. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۵، صفحات ۶۶-۵۳.
- یزدان پناه، د.؛ صفاهیه، ع.؛ سالاری، م.ع.؛ غانمی، ک.، ۱۳۹۶. مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات بین جزرومدی جزیره خارک در دو فصل تابستان و زمستان. نشریه اقیانوس شناسی، شماره ۳۰، صفحات ۹-۱.
- Adamo, P.; Arienzo, M.; Imperato, M.; Naimo, D., Nardi, G.; Stanzione, D., 2005. Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples city port. Chemosphere, 61: 800-809.
- Baptista, J.A.; Smith, B.J.; McAllister, J.J., 2000. Heavy metal concentrations in surface sediments in a nearshore environment, Jurujuba Sound, Southeast Brazil. Environmental Pollution, 109: 1-9.
- Casado-Martinez, M.C.; Buceta, J.L.; Belzunce, M.J.; Del Vals, T.A., 2006. Using sediment quality guidelines for dredged material management in commercial ports from Spain. Environment International, 32: 388-396.
- Clinton, H.I.; Ujagwung, G.U.; Michael, H., 2008. Trace metals in the tissues and shells of *Tympanotonus fuscatus* var. radula from the mangrove swamps of the Bukuma Oil Field, Niger Delta. European Journal of Scientific Research, 24: 468-476.
- Dauvalter, V.; Rognerud, S., 2001. Heavy metal pollution in sediments of the Pasvik River drainage. Chemosphere, 42: 9-18.
- De Mora, S.; Fowler, S.W.; Wyse, E.; Azemard, S., 2004. Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Perisan Gulf and Gulf of

- and pollutant analyses methods. ROPME. State of the marine environment report. Regional organization for the protection of marine environment, Kuwait, 217P.
- ROPME., 1999. Regional report of the state of the marine environment, ROPME/GC-9/002. ROPME, Kuwait, 220P.
- Rumisha, C.; Elskens, M.; Leermakers, M.; Kochizus, M., 2012. Trace metal pollution and its influence on the community structure of soft bottom molluscs in intertidal areas of the Dar es Salaam coast, Tanzania. *Marine Pollution Bulletin*, 64: 521-531.
- Suzuki, N.; Koizumi, N.; Sano, H., 2001. Screening of cadmium-responsive genes in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Environment*, 24: 1177-1188.
- Shulkin, V.M.; Presley, B.J., 2003. Metal concentration in mussel *Crenomytilus grayanus* and oyster *Crassostrea gigas* in relation to contamination of ambient sediment. *Environment International*, 29:493-502.
- Sidoumou, Z.; Gnassia-Barelli, M.; Siau, Y.; Morton, V.; Rome'o, M., 2006. Heavy metal concentrations in molluscs from the Senegal coast. *Environment International*, 32: 384-387.
- Topcuoglu, S.; Kirbasoglu, C.; Gungor, N., 2002. Heavy metals in organisms and sediments from Turkish coast of the Black Sea. *Environment International*, 27: 521-526.
- Exandria, Egypt, 1- 11PP.
- Karbasi, A.R.; Nabi-Bidhendi, Gh.R.; Bayati, I., 2005. Environmental geochemistry of heavy metal in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf, Iran. *Journal of Environment Health science Engineering*, 2: 255-260.
- Lionetto, M.G.; R. Caricato, M.E.; Giordano, M.F.; Pascariello, L.; Mar-inosci T.; Schettino., 2003. Integrated use of biomarkers (acetylcholinesterase and antioxidant enzymes activities) in *Mytilus galloprovincialis* and *Mullus barbatus* in an Italian coastal marine area. *Marine Pollution Bulletin*, 46:324-330.
- Machiwa, J.F., 1992. The anthropogenic pollution in the Dar es Sa-laam harbour are Tanzania. *Marine Pollution Bulletin*, 24: 562-567.
- Mirza, R.; Mohammady, M.; Faghiri, I.; Abedi, E.; Fakhri, A.; Azimi, A.; Zahed, M.A., 2014. Source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediment samples from the northern part of the Persian Gulf, Iran. *Environmental Monitoring Assessment*, 186: 7387-7398.
- Nies, D.H., 1999. Microbial heavy metal resistance. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 51: 730-750.
- MOOPAM., 2003. Manual of oceanographic observations