



Original Research Paper

Assessment of pollution, bioavailability and bioaccumulation of heavy metals in sediment and razor clam, *Solen dactylus* in the western and eastern estuaries of Hormozgan province

Asieh Soleimanirad ¹, Mohammad Reza Taherizadeh ^{1*}, Mohsen Safaie ², Narges Amrollahi Biuki ¹

¹ Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

² Department of Fisheries, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Key Words

Sequential extraction
Partial concentration
Pollution assessment
Metal toxicity
Mangrove

Abstract

Introduction: The aim of this study was to determine the concentration of heavy metals in the sediments and the bivalve molluscs, *Solen dactylus*, in the estuaries covered by mangrove trees of west (Khamir estuary) and east (Shahrno estuary-Jask) of Hormozgan province and also to assess the pollution, bioaccumulation and toxicity of heavy metals (Fe, Ni, Cu and Pb), in these areas.

Materials & Methods: Sediments were studied to determine the grain size, organic carbon, organic matter, total and partial concentration and bioavailability of metals.

Results: The results showed that the environmental factors such as organic matter and grain size of sediments affect the distribution of heavy metals. According to the results, there was no significant difference between the sediments of two stations in the accumulation of metals ($P > 0.05$). Contamination and enrichment factors for Ni and Pb showed a moderate degree of contamination and enrichment. The geochemical speciation of the studied metals indicated more bioavailability for Cu and Pb. The Risk Assessment Code and the screening quick reference table (SQRT) indicate the high risk in Cu for Shahrno estuary and in Pb for Khamir estuary, and both metals are above the threshold effect level (TEL) for the clam in the area. The results of *S. dactylus*'s bioaccumulation factor showed that Cu accumulated more than other metals in both regions.

Conclusion: In general, the present study showed that the sediments of the studied areas are contaminating in terms of Cu and Pb.

* Corresponding Author's email: taheri.1965@gmail.com

Received: 26 February 2021; Reviewed: 3 April 2021; Revised: 7 June 2021; Accepted: 12 July 2021

(DOI): 10.22034/AEJ.2021.288893.2547

مقاله پژوهشی

ارزیابی آلودگی، دسترسی و تجمع زیستی فلزات سنگین در رسوب و صدف تیغی *Solen dactylus* در خورهای غرب و شرق استان هرمزگان

آسیه سلیمانی راد^۱، محمدرضا طاهری زاده^{۱*}، محسن صفایی^۲، نرگس امراللهی بیوکی^۱

^۱ گروه زیست شناسی دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

^۲ گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

چکیده

کلمات کلیدی

مقدمه: هدف این مطالعه تعیین غلظت فلزات سنگین در رسوبات و صدف دو کفه‌ای *Solen dactylus* در خورهای پوشیده از درختان مانگرو غرب (خور خمیر) و شرق (خور شهرنو-جاسک) استان هرمزگان و همچنین ارزیابی آلودگی، تجمع زیستی و تعیین سمیت فلزات سنگین (آهن، نیکل، مس و سرب)، در این مناطق می‌باشد.

مواد و روش‌ها: رسوبات بستر جهت تعیین دانه بندی، کربن آلی، مواد آلی، غلظت کل، غلظت جزئی و دسترسی زیستی فلزات، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت.

نتایج: نتایج نشان داد که عوامل محیطی مانند مواد آلی و اندازه دانه بندی رسوبات بر توزیع فلزات سنگین تاثیر گذارند. با توجه به نتایج به دست آمده هیچ اختلاف معنی داری در تجمع فلزات در رسوبات بین دو ایستگاه مشاهده نگردید ($P > 0.05$). نتایج شاخص‌های فاکتور آلودگی و غنی‌شدگی نشان داد که فلزات نیکل و سرب دارای درجه آلودگی و غنی‌شدگی متوسط می‌باشند. شکل ژئوشیمیایی فلزات مورد مطالعه بیانگر دسترسی زیستی بیشتر فلزات مس و سرب بود. شاخص کد ارزیابی ریسک و جدول SQRT نشانگر درجه ریسک بالا برای فلز مس در خور شهرنو و فلز سرب در خور خمیر بوده و هر دو فلز بالاتر از حد آستانه (TEL) برای صدف‌ها در منطقه قرار دارد. نتایج فاکتور تجمع زیستی صدف *S. dactylus* نشان داد که در هر دو منطقه، تجمع فلز مس بیش‌تر از بقیه فلزات مورد مطالعه می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: به‌طور کلی مطالعه حاضر نشان داد که رسوبات این مناطق از نظر فلزات مس و سرب، آلوده کننده می‌باشند.

استخراج متوالی
غلظت جزئی
ارزیابی آلودگی
سمیت فلز
مانگرو

مقدمه

خورها اکوسیستم‌های تبدالی بین آب‌شور و شیرین بوده و به واسطه پیشروی آب‌دريا در خشکی در محلی که جزر و مد دریا و آب رودخانه به هم می‌رسند، ایجاد می‌گردند (۱). خورهای استان هرمزگان بر مبنای تقسیمات استانی، به دو منطقه کلی غرب و شرق بندرعباس تفکیک می‌گردند. اکثریت خورهای حوزه شرق استان به‌علاوه خوریات لافت-خمیر (واقع در حوزه غرب استان) دارای پوشش گیاهی مانگرو می‌باشند. مانگروها به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خود، حجم زیادی از فلزات موجود در پساب محیط اطراف خود را که از طریق رواناب‌ها، پساب‌های شهری، کشاورزی و صنعتی و غیره وارد شده‌اند، را در خود انباشته کنند (۲). فلزات سنگین به‌عنوان یک آلودگی در خورها، به‌علت ایجاد اثرات سمی در محیط، تجمع زیستی در گونه‌های مختلف آبزیان و ایجاد پدیده بزرگ‌نمایی زیستی در زنجیره غذایی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند (۳). رسوبات مانگرو به‌عنوان مخزن مهم تجمع فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها شناخته شده‌اند (۴). فلزات نیکل، مس، آهن و سرب به‌علت تجمع و پراکنش زیاد در رسوبات، از آلاینده‌های مهم اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شوند (۵). این فلزات می‌توانند به‌صورت مستقیم از مسیر گوارش (مصرف آب و مواد غذایی) یا غیرمستقیم از مسیر پوست (عبور از غشا سلولی) وارد زنجیره غذایی گردند (۶). بنابراین آلودگی فلزات سنگین در رسوبات خورها می‌تواند بر روی کیفیت آب و در نتیجه دسترسی و تجمع زیستی فلزات در بافت بدن موجودات زنده دریایی و هم‌چنین در درازمدت بر روی سلامت انسان و اکوسیستم تاثیر گذار باشد (۷). اغلب مطالعات گذشته به اندازه‌گیری غلظت کل فلزات سنگین در رسوبات محدود شده‌اند، اما اندازه‌گیری غلظت کل فلزات سنگین معیار مناسبی برای انتقال و قابلیت دسترسی زیستی این فلزات در موجودات زنده نمی‌باشد (۸). رفتار و عملکرد فلزات عمدتاً به شکل شیمیایی و حالت ژئوشیمیایی مختلف آن‌ها در رسوبات بستگی دارد (۹). استفاده از روش استخراج متوالی برای تعیین غلظت جزئی فلز در بخش‌های مختلف ژئوشیمیایی بسیار مناسب است (۱۰). در همین راستا مطالعه و بررسی غلظت کل و غلظت جزئی فلزات سنگین و بررسی ارتباط مستقیم بین دسترسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات و تجمع زیستی آن‌ها در خورها مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است (۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶). امروزه در اغلب کشورهای آسیایی مدیریت سواحل بر مبنای پایش آلاینده‌ها در صدف‌های ریزه‌خوار انجام می‌پذیرد چرا که میزان تجمع آلاینده‌ها در این موجودات انعکاس‌دهنده مناسبی از وضعیت آلاینده در ستون آب و رسوبات است (۱۷). دوکفه‌ای‌ها با ساختار بدنی ساده، بی‌حرکی، عدم وجود سیستم تنظیم متابولیکی و تغذیه

فیلتری عموماً آلودگی را از محیط زیست خود دریافت نموده و در بافت‌های مختلف بدن خود ذخیره می‌نمایند. این امر باعث شده که این موجودات در مطالعات پایش زیستی بسیار مورد استفاده قرار گیرند (۱۸). دوکفه‌ای *S. dactylus* (۱۹) معروف به صدف تیغی (Razor Clam) با نام محلی ملوک، ساکن بسترهای گلی بوده و در استان هرمزگان به‌ویژه در خورهای این استان، از پراکنش نسبتاً خوبی برخوردار می‌باشد. بسیاری از مردم بومی منطقه از صدف ملوک جهت مصارف خوراکی و هم‌چنین طعمه برای ماهیگیری استفاده می‌کنند. هم‌چنین در سال‌های اخیر توسط پرورش‌دهندگان میگو به‌عنوان غذای زنده استفاده می‌شود. صدف مذکور به دلیل نوع زندگی خود که با ایجاد حفره (نقب) در درون رسوبات زیست می‌نماید و تغذیه فیلتر فیدری (خودپالایی)، می‌تواند از طریق تغذیه به دلیل تماس با آب هر دو دسته عناصر ضروری و غیر ضروری را از آب و رسوبات دریافت کند و گزینه مناسبی برای پایش زیستی فلزات سنگین در منطقه باشد (۲۰). برای اغلب دوکفه‌ای‌ها تغذیه فیلتر فیدری به معنای ورود مقدار بسیار زیادی آب دریا برای تغذیه، تنفس و دفع می‌باشد (۲۱). سواحل خلیج فارس خصوصاً استان ساحلی هرمزگان به دلیل حمل و نقل دریایی، اسکله‌های باری و صیادی، ورود فاضلاب شهری و صنعتی، سکوها و پابانه‌های نفتی در معرض انواع آلاینده‌ها خصوصاً آلودگی نفتی و صنعتی می‌باشند (۲۲). غرب استان هرمزگان مناطق خمیر و قشم در حال پیشرفت و گسترش روزافزون صنایع (مانند کارخانه سیمان، صنعت پتروشیمی) و توسعه شهری و تجاری بوده و ورود پساب‌های شهری و صنعتی به‌صورت روزانه در طول سالیان گذشته به این منطقه، باعث افزایش سطح آلودگی‌ها و تجمع فلزات سنگین در رسوبات این منطقه گردیده است شاخص‌های ارزیابی آلودگی معیاری مناسب در جهت مدیریت آلودگی محیط زیست، شناسایی و کاهش عوامل بالقوه آسیب‌رسان به محیط زیست می‌باشند (۲۳). اگرچه تاکنون مطالعات متعددی در زمینه تعیین غلظت فلزات سنگین در رسوبات و دوکفه‌ای‌ها در نقاط مختلف جهان و ایران صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعه Safahieh و همکاران، بر روی تجمع فلزات سنگین (Cd, Pb, Ni, Cu) در رسوب و صدف دسته‌چاقویی (*S. roseomaculatus*) در بخشی از سواحل استان بوشهر (۲۴) Pashaeirad و همکاران، روی تجمع برخی فلزات در رسوب، بافت نرم و پوسته دوکفه‌ای (*Amiantis umbonella*) در ساحل بندرعباس (۲۵) و مطالعه Salahshur و همکاران، بر روی دوکفه‌ای *Solen brevis* به‌عنوان مانیتورینگ زیستی فلزات کادمیوم، سرب و روی در سواحل استان بوشهر (۲۶)، اشاره کرد، اما در خصوص تعیین غلظت قابل دسترس زیستی فلزات و انتقال سمیت احتمالی آلودگی فلز از رسوب به موجود زنده‌ای که در رسوبات زیست می‌کند (بیوتا) و هم‌چنین ارزیابی ریسک اکولوژیکی



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

درصد شن، ماسه و رس از طریق روش هیدرومتری (۳۰)، مقدار کربن آلی با استفاده از روش اکسیداسیون تر Walkley-Black (۳۱) و مواد آلی کل با روش کوره الکتریکی (۳۲) و اسیدیته (pH) رسوب نیز با تهیه گل اشباع و با استفاده از pH متر (۳۳) تعیین شد. تمامی ظروف مورد استفاده در این مطالعه به مدت ۲۴ ساعت در محلول ۱۰ درصد اسیدنیتریک اسیدشویی و سپس با آب دوبار تقطیر شستشو و آبکشی شدند. کلیه مراحل آزمایشگاهی در آزمایشگاه سنجش آلودگی محیط زیست هرمزگان انجام شد. مواد آزمایشگاهی مورد نیاز با درجه خلوص بالا (۶۵ درصد) از شرکت Merck آلمان تهیه گردید. سنجش غلظت کل با روش Aqua Regia (ترکیب اسیدنیتریک و اسیدپرکلریک فوق خالص به نسبت ۴ به ۱) انجام شد (۳۴). تعیین غلظت جزء نیز طبق پروتکل استخراج متوالی (۳۵)، جدول ۱ انجام گردید. جهت بررسی توزیع ترکیبات مختلف فلزات سنگین، از روش استخراج متوالی Tessier که شامل آنالیز ۵ مرحله‌ای و متوالی است، استفاده شد (۳۵). درصد بازیابی از مقایسه مجموع پنج مرحله فرکشن و غلظت کل فلزات مورد مطالعه به دست آمد (جدول ۱) (۳۶). سنجش غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله AAS Thermo ساخت کشور انگلیس مدل s-series اندازه‌گیری گردید. حد تشخیص دستگاه در خصوص عناصر آهن، نیکل، مس و سرب برحسب میلی گرم بر کیلوگرم به ترتیب ۵/۲۷±۱/۷۶، ۲/۰±۷۵/۹۲، ۰/۰±۴۱/۱۴ و ۱۲/۰۱±۴/۰۰ می‌باشد. بعد از قرائت هر ۳ نمونه، یک بار دستگاه با نمونه شاهد برای حذف خطاهای احتمالی صفر گردید. بافت نرم صدف با کمک چاقوی پلاستیکی از پوسته جدا شده و همگن شد، سپس در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت در آن تا رسیدن به وزن ثابت خشک و روش هضم اسیدی انجام گردید (۳۴).

منطقه، مطالعات کم‌تری صورت گرفته است. از جمله مطالعات انجام شده در خارج از کشور می‌توان به مطالعه Cruz و همکاران، بر روی ارزیابی آلودگی فلزات و تجمع زیستی در دو کفه‌ای *Polymesoda erosa* در مصب Zuari، ساحل غرب هند (۲۷)، مطالعه Dias و Nayak، روی ژئوشیمی و دسترسی زیستی رسوبات مانگرو و اثرات آن‌ها بر تجمع زیستی جانداران انتخابی در مصب Goa، Zuari، هند (۱۷) و مطالعه Fan و همکاران، بر روی رابطه بین فرکشن ژئوشیمیایی در رسوبات و تجمع زیستی در پرتاران اشاره کرد (۲۸). بنابراین با توجه به موارد مذکور و هم‌چنین وجود خلاءهای تحقیقاتی در این رابطه، هدف از این مطالعه ارزیابی آلودگی فلزات سنگین آهن، نیکل، مس و سرب، با استفاده از شاخص‌های فاکتور آلودگی (CF)، فاکتور غنی‌شدگی (EF)، کد ارزیابی ریسک (RAC) و آلودگی فلز (MPI)، هم‌چنین دسترسی و تجمع زیستی فلزات در رسوب و صدف تیغی *S. dactylus* در خورهای واقع غرب (خور خمیر) و در شرق (خور شهرنو-جاسک) استان هرمزگان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: نمونه‌های رسوب و صدف در بهمن ماه سال ۱۳۹۷، از دو ایستگاه در غرب و شرق استان هرمزگان، براساس احتمال آلودگی به فلزات سنگین (اولی با احتمال تاثیر فاضلاب‌های صنعتی، شهری و نفتی و دومی با احتمال ورود آلودگی کم‌تر) و پراکنش صدف *S. dactylus* گرفته شد. هم‌چنان که در شکل ۱ نیز مشاهده می‌شود، نمونه‌برداری از ایستگاه خور خمیر واقع در غرب استان هرمزگان در موقعیت جغرافیایی $25^{\circ}36'49''$ شمالی و $58^{\circ}0'15''3''$ شرقی و از ایستگاه خور شهرنو (جاسک) واقع در شرق استان هرمزگان، در موقعیت جغرافیایی $26^{\circ}53'32''$ شمالی و $55^{\circ}34'29''$ شرقی انجام گردید. در هر ایستگاه ۲۰ نمونه صدف *S. dactylus* بالغ، بزرگ‌تر از ۴۵ میلی‌متر (۲۹) با میانگین طول $76 \pm 4/9$ میلی‌متر و وزن $(5/0 \pm 94/88)$ گرم برداشت شد. نمونه‌های صدف به کمک سیخ‌های فولادی V شکل و مقاوم به زنگ صید گردید. نمونه‌برداری از رسوبات سطحی (۰ تا ۱۰ سانتی‌متر) مجاور صدف‌ها با استفاده از بیلچه پلاستیکی در ۵ تکرار صورت گرفت. نمونه‌های رسوب و صدف در مجاورت یخ، درون کیسه‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی زیپ‌دار و دارای برچسب مشخصات، به آزمایشگاه سنجش آلودگی محیط زیست هرمزگان-بندرعباس انتقال یافت و تا زمان بررسی در فریزر با دمای -20 درجه سانتی‌گراد نگاه‌داری شدند.

آماده‌سازی نمونه‌ها: بخشی از نمونه رسوب خشک شده بعد از پودر و همگن شدن جهت انجام آنالیز کربن آلی کل (TOC)، مواد آلی کل (TOM)، دانه‌بندی رسوبات (Gs)، pH، مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱: پروتکل استخراج بخش‌های مختلف فلز از رسوب به روش استخراج متوالی (۳۵)

بخش قابل استخراج	غلظت و حجم معرف	مدت هم‌زدن (ساعت)	دما (°C)
۱- بخش قابل تبادل (F1)	۸ mL منیزیم کلراید با pH معادل ۰/۵	۱	۲۵
۲- بخش پیوند با کربنات (F2)	۸ mL سدیم استات یک مولار با pH معادل ۰/۵	۵	۲۵
۳- بخش پیوند با اکسیدهای فلزی (F3)	۲۰ mL هیدروکسیل آمین هیدروکلراید ۰/۰۴ مولار در استیک اسید ۲۵ درصد	۶	۹۶±۳
۴- بخش پیوند با مواد آلی و سولفیدی (F4)	۱- ۳ mL از محلول ۰/۰۲ M HNO ₃ و ۵ mL آب اکسیژنه ۳۰٪ با pH=2	۲	۸۵±۲
	۲- ۳ mL از آب اکسیژنه ۳۰٪ که pH آن با اسیداستیک روی ۲ تنظیم شده دوباره به نمونه اضافه شد	۳	۸۵±۲
۵- بخش باقی‌مانده (F5)	۳- ۳ mL از محلول ۳/۲ M NH ₄ OAC با HNO ₃ ۷/۷٪ و ۲۰ mL رقیق سازی تا حجم ۲۰ mL	۰/۵	۲۵
	HF:HNO ₃ :HClO ₄ به نسبت ۷:۳:۱ اضافه نموده، صبر کرده تا خشک شود. ۲ mL از HCL غلیظ اضافه و بعد از خشک شدن، ۱۰ mL HNO ₃ ۵۰٪ اضافه نموده و با آب مقطر به حجم ۵۰ mL می‌رسد	۱	۲۵

درصد بازیابی فلزات: Fe= ۹۸/۵۸ ، Ni= ۸۸/۷۷ ، Pb=۹۵/۹۳ ، Cu= ۹۱/۴۵

زمینه مقایسه می‌گردد و برای حذف برخی غنی‌شدگی‌ها، عناصری مانند Fe و Al را در رابطه غنی‌شدگی تاثیر می‌دهند. در این مطالعه عنصر Fe به دلیل غالب بودن طبیعی آن در رسوبات، به عنوان عنصر نرمال کننده انتخاب شد (۳۹). غلظت زمینه نیز غلظت شیل جهانی انتخاب گردید (۳۷):

$$EF = \frac{\left(\frac{C_i}{C_{ref}}\right)_{sample}}{\left(\frac{B_n}{B_{ref}}\right)_{Background}} \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در این فرمول: C_i غلظت فلز سنگین در رسوبات، C_{ref} غلظت عنصر مرجع آهن در رسوبات، B_n غلظت زمینه فلز در میانگین شیل یا رسوبات غیرآلوده و B_{ref} غلظت زمینه که غلظت عنصر مرجع آهن در میانگین شیل یا رسوبات غیرآلوده است.

علاوه بر این، غلظت دسترسی زیستی هر فلز با جدول SQRT (Screening Quick Reference Table) جهت تعیین سمیت فلزات مقایسه شد. Buchman، واژه‌ها و گروه‌های راهنما را در ۵ گروه توضیح داده است (۴۰). در میان موارد ارزیابی ریسک، کد ارزیابی ریسک (RAC: Risk Assessment Code) که اولین بار توسط Perin و همکاران، معرفی گردید (۴۱)، به منظور ارزیابی تحرک و دسترسی زیستی فلزات در رسوبات سطحی استفاده گسترده‌ای دارد. در معیار RAC، درصد هر فلز در بخش تبدلی (F_1+F_2) برای بررسی در دسترس بودن فلزات در رسوبات به کار برده می‌شود (۴۲). طبقه‌بندی RAC براساس درصد فلزات در بخش تبدلی یا همان محلول اسیدی در ۵ رده قرار می‌گیرد (جدول ۴). شاخص آلودگی فلز (MPI: Metal Pollution Index) نیز محاسبه و با محدوده‌های مجاز ریسک آلودگی فلز در دو کفه‌ای مقایسه گردید. MPI براساس فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$MPI = [Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times \dots \times Cf_n] \quad \text{رابطه ۳:}$$

که Cf_1 غلظت فلز اول، Cf_2 غلظت فلز دوم و Cf_n غلظت فلز n ام است.

محلول به دست آمده در ظروف پلی اتیلنی مخصوص کدگذاری و تا زمان انجام آنالیز در یخچال و دمای ۴- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شد. در ابتدا نرمال بودن و توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov با حدود اطمینان ۹۵ درصد بررسی و تایید شد. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام گردید. محاسبه شاخص‌های مختلف و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت. برای تعیین میزان آلودگی رسوب به فلزات سنگین در یک منطقه، باید غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد شناخته شده، مقایسه شود. در این پژوهش برای تعیین میزان آلودگی رسوب به عناصر سنگین از میانگین استاندارد جهانی شیل که توسط Turkian و Wedephol ارائه شده، استفاده گردیده است. این مقادیر برای فلزات آهن، مس، نیکل و سرب به ترتیب ۴۷۲۰۰، ۴۵، ۶۸ و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۳۷). فاکتور آلودگی (CF: Contamination Factor) یک شاخص آلودگی است که از نسبت غلظت یک فلز سنگین به غلظت زمینه همان فلز به دست می‌آید. رابطه ۱:

$$CF = \frac{C_{metal}}{C_{bkg}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

که C_{metal} غلظت فلز در رسوبات و C_{bkg} غلظت زمینه فلز بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم است. در حالت ایده‌آل، غلظت زمینه باید مقادیر از پیش تعیین شده در یک محیطی باشد که عاری از هرگونه آلودگی ناشی از انسان است. در این مطالعه، مفهوم غلظت زمینه به غلظت فلزات قبل از فرآیند صنعتی شدن در رسوبات شیل جهانی (۳۷) می‌باشد. درجه آلودگی رسوبات در جدول ۲ آورده شده است. شاخص غنی‌شدگی (EF: Enrichment Factor) ابزاری مفید جهت تشخیص بین آلودگی طبیعی و انسان‌ساخت بوده و بیانگر شدت تاثیر عامل خارجی بر رسوبات منطقه می‌باشد (۳۸). در شاخص غنی‌شدگی معمولاً غلظت عناصر در نمونه آلوده با غلظت آن عنصر در نمونه

جدول ۲: درجه‌بندی سطح آلودگی رسوبات براساس شاخص‌های فاکتور آلودگی، شاخص غنی‌شدگی، کد ارزیابی ریسک

(۴۳) CF (Contamination Factor)		(۳۸) EF (Enrichment Factor)		(۴۱) RAC (Risk assessment code)	
درجه آلودگی		درجه آلودگی		درجه ریسک	
کم	CF < ۱	EF < ۱	بدون غنی‌شدگی	RAC ≤ ۱٪	بدون خطر
متوسط	۱ ≤ CF < ۳	۱ < EF < ۳	غناى جزئى	۱٪ < RAC ≤ ۱۰٪	کم خطر
قابل توجه	۳ ≤ CF < ۶	۳ ≤ EF ≤ ۵	غناى متوسط	۱۱٪ < RAC ≤ ۳۰٪	خطر متوسط
خیلی زیاد	CF ≥ ۶	۵ ≤ EF ≤ ۱۰	غناى متوسط تا شدید	۵۰٪ < RAC ≤ ۳۱٪	ریسک بالا
		۱۰ ≤ EF ≤ ۲۵	غناى شدید	RAC > ۵۰٪	ریسک بسیار بالا

شاخص‌های فاکتور آلودگی (CF) و غناى زیستی (EF) در جدول ۵ آورده شده است. توزیع هر فلز در بخش‌های مختلف ژئوشیمیایی رسوبات براساس پروتکل استخراج متوالی در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. فلزات در ۵ بخش ژئوشیمیایی رسوب شامل (تبادلی (F1)+پیوند با کربنات‌ها (F2)+پیوند با اکسیدهای فلزی احیا شده (F3)+پیوند با مواد آلی و سولفید (F4)+باقی‌مانده (F5) توزیع شده‌اند. نتایج آنالیز جزء به جزء در مطالعه حاضر نشان داد که الگوی توزیع فلزات سنگین در رسوبات همه ایستگاه‌ها تقریباً مشابه می‌باشد. الگوی میانگین توزیع به صورت: باقی‌مانده (F5) < اکسیدهای فلزی احیا شونده (F3) < مواد آلی (F4) < کربنات‌ها (F2) < قابل تبادل (F1)، به دست آمده است. میانگین غلظت قابل دسترس فلزات (bioavailable)، مورد استفاده در طبقه‌بندی RAC به صورت درصد در جدول ۶ آورده شده است. طبق نتایج در خور شهرنو، مس در محدوده ریسک بالا قرار دارد. تعیین سمیت احتمالی آلودگی فلز به موجود زنده‌ای که در رسوبات زیست می‌کند (بیوتا) نیز در جدول SQRT آورده شده است (جدول ۷ و ۸). برطبق جدول استاندارد SQRT تنها در TEL (حد آستانه) غلظت‌های بالاتر از حدود اعلام شده دیده شده است. خور خمیر (۳۰/۲) سرب و در خور شهرنو مس (۱۸/۷۰) مقادیر بالاتر از حد آستانه را دارند. در هر دو ایستگاه، نتایج آنالیز غلظت فلزات در بافت نرم صدف *S. daetylus* نشان داد که میانگین غلظت فلز آهن از همه بیشتر و غلظت فلز نیکل از همه کمتر می‌باشد (جدول ۹). فاکتور تجمع رسوب-موجود (BSAF) بیانگر کم‌ترین میزان تجمع آهن و بیش‌ترین میزان تجمع مس می‌باشد. شاخص MPI که حاصل ضرب غلظت فلزات آهن، نیکل، مس و سرب در هر منطقه را نشان می‌دهد، در خور خمیر این شاخص بیش از سه برابر خور شهرنو می‌باشد.

علاوه بر این، فاکتور تجمع رسوب-موجود زنده (Biota- Sediment Accumulation Factor: BSAF)، که بیانگر نسبت غلظت آلاینده در موجود زنده به غلظت آن در رسوبات است، نیز طبق فرمول زیر تعیین شد (۴۴).

رابطه ۴: غلظت کل فلز در رسوبات / غلظت فلز در دوکفه‌ای = BSAF
این معادله توسط Nayak و Dias، اصلاح شد و BSAF با مقدار غلظت قابل دسترس فلز در رسوبات محاسبه گردید (۱۷).

رابطه ۵: Modified BSAF =

غلظت قابل دسترس (Bioavailable) فلز در رسوب / غلظت فلز در دوکفه‌ای در صورتی که فاکتور BSAF فلزات بالاتر از ۱ به دست آید، انباشت زیستی فلزات سنگین در صدف تایید می‌شود و نشان‌دهنده این است که صدف توانایی انباشت فلز مورد نظر را دارد (۴۵).

نتیجه

محدوده تغییرات و میانگین دانه‌بندی، کربن آلی، مواد آلی و pH رسوبات در جدول ۳ آورده شده است. در هر دو ایستگاه ذرات شن بیش از ۷۵ درصد ذرات را به خود اختصاص داده است (۸۴-۷۷ درصد). ذرات دانه‌ریز رس در خور خمیر نسبت به خور جاسک درصد بیشتری را شامل می‌شوند. براساس نتایج حاصل درصد کربن آلی و مواد آلی در خور خمیر بیش‌تر از خور شهرنو به دست آمد (جدول ۳). در مطالعه حاضر غلظت فلزات در خور خمیر به صورت الگوی Fe > Ni > Pb > Cu > Pb در خور شهرنو به صورت الگوی Fe > Ni > Cu > Pb > Pb به دست آمد (جدول ۴). غلظت فلز سرب در خور خمیر (۴۲/۶ ± ۵۱/۶۴) نسبت به خور شهرنو (۲۱/۳ ± ۰۶/۲۱) بالاتر بود (تقریباً دو برابر). در میان فلزات مورد مطالعه غلظت نیکل و سرب از میانگین شیل جهانی بالاتر می‌باشد. نتایج آنالیزهای آماری نشان داد که بین فلزات در مناطق مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (P > ۰/۰۵). نتایج

جدول ۳: میانگین دانه‌بندی، درصد کربن آلی، درصد مواد آلی و pH در خورهای خمیر و شهرنو

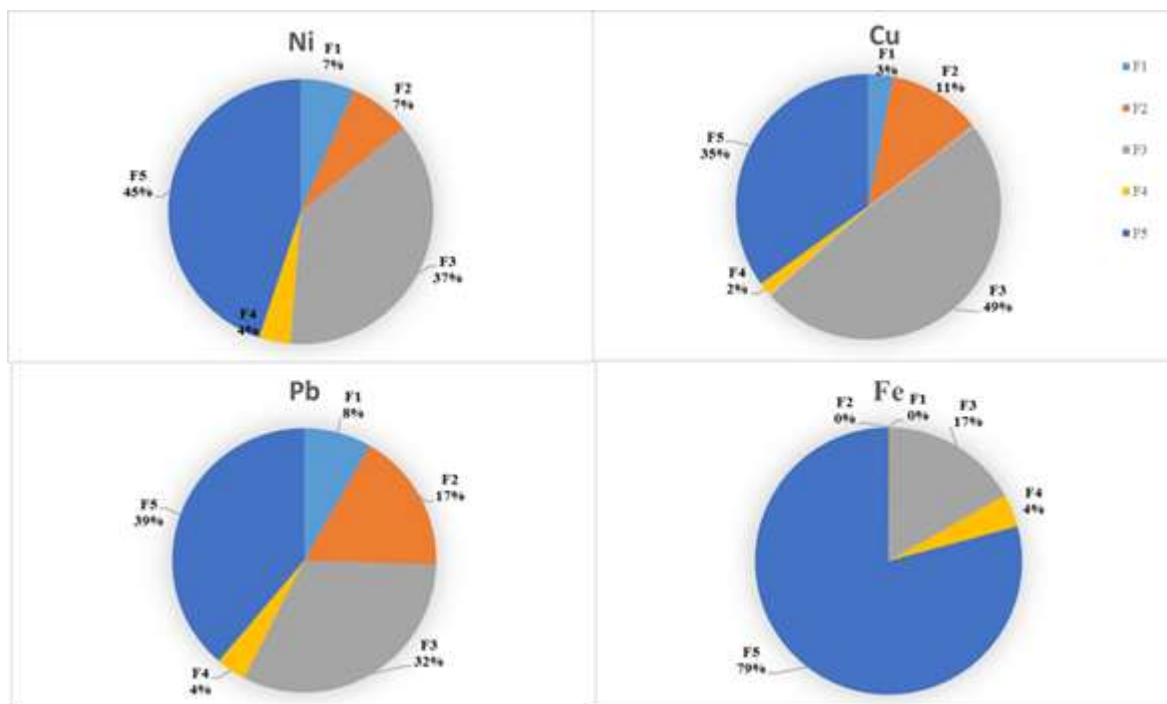
منطقه	شن. %	ماسه. %	رس. %	کربن آلی کل. % (TOC)	مواد آلی کل. % (TOM)	pH
خور خمیر	۹۰-۷۸	۹-۶	۱۳-۴	۰/۷۹ تا ۰/۵۹	۶-۶/۵	۷/۵۳ - ۷/۸۶
	۸۴	۷/۵	۸/۵	۰/۷۶	۶/۲۵	۷/۶۹
خور شهرنو	۷۸-۷۲	۷-۵	۲۱-۱۷	۰/۴۹ تا ۰/۵۹	۲/۵ - ۳/۴۸	۷/۸۱ - ۷/۸۴
	۷۵	۶	۱۹	۰/۵۴	۲/۹۹	۷/۸۲

جدول ۴: میانگین غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات خورهای خمیر و شهرنو

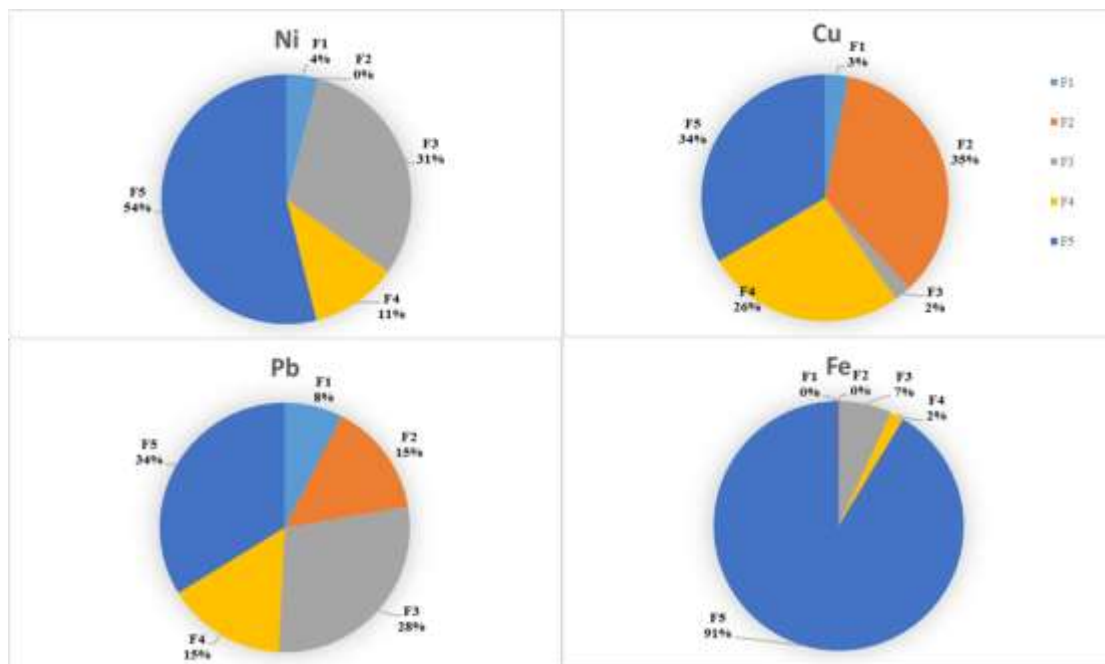
فلزات (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Fe	Ni	Cu	Pb
خور خمیر	محدوده تغییرات میانگین ۳۲۷۶۰-۱۵۸۳۷ ۲۴۸۵۹/۸۵۶۸±۷۹	محدوده تغییرات میانگین ۱۲۵/۶۶-۶۶/۸۶ ۹۰/۲۸±۸۰	محدوده تغییرات میانگین ۱۸/۳۷-۹/۷۲ ۱۳/۳±۶۴/۷۱	محدوده تغییرات میانگین ۴۸/۳۲-۳۴/۸۷ ۴۲/۶±۵۱/۶۴
خور شهرنو	محدوده تغییرات میانگین ۴۸۳۷۸-۳۶۷۶۳ ۸۲۱۳±۴۲۵۷۰	محدوده تغییرات میانگین ۸۲/۹۳-۱۱ ۸۷/۷±۵۵/۷	محدوده تغییرات میانگین ۱۸/۲۱-۹۴/۶۹ ۲۰/۱±۳۱/۹۴	محدوده تغییرات میانگین ۲۳/۳۴-۱۸/۷۹ ۲۱/۳±۰۶/۲۱
غلظت زمینه در شیل (۳۷)	۴۷۲۰۰	۶۸	۴۵	۲۰

جدول ۵: فاکتور آلودگی (CF) و غنای زیستی (EF) فلزات سنگین مورد مطالعه در خورهای خمیر و شهرنو

فلزات (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فاکتور آلودگی (CF)		شاخص غنای زیستی (EF)	
	خور خمیر	خور شهرنو	خور خمیر	خور شهرنو
Fe	۰/۵۲	۰/۹۰	۱	۱
Ni	۱/۴۶	۱/۲۸	۲/۷۸	۱/۴۲
Cu	۰/۳۰	۰/۴۵	۰/۵۷	۰/۵۰
Pb	۲/۱۲	۱/۰۵	۴/۰۳	۱/۱۶



شکل ۲: نتایج توزیع شکل ژئوشیمیایی فلزات Ni, Cu, Pb در رسوبات خور خمیر



شکل ۳: نتایج توزیع شکل ژئوشیمیایی فلزات Ni، Cu و Pb در رسوبات خور شهرنو

جدول ۶: میانگین غلظت فلز در فرکشن‌های قابل دسترس در رسوبات و مجموع بخش‌های (F₁) قابل تبادل و (F₂) پیوند با کربنات که در طبقه‌بندی RAC به صورت درصد بیان می‌شود

خور شهرنو		خور خمیر		فلزات (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
درصد	قابل دسترس	درصد	قابل دسترس	
۰/۱۳	۶۱/۵۶	۰/۱	۲۵/۹۸	Fe
۴/۱۲	۳/۴۸	۱۴/۰۹	۱۲/۶۸	Ni
۳۸	۷/۲۶	۱۴/۵۷	۱/۶۳	Cu
۲۲/۳۲	۵/۶۲	۲۵/۵۴	۱۱/۳۲	Pb

جدول ۷: راهنمای رسوبات و واژه‌های به‌کاربرده شده در SQRT

راهنمای رسوب	تعریف
Threshold Effect Level (TEL)	حداکثر غلظتی که تحت تاثیر آن اثرات سمی مشاهده نمی‌شود (حد آستانه)
Effects Range Low (ERL)	حدی از غلظت که ۱۰ درصد جوامع بیولوژیک در خطرند.
Probable Effects Level (PEL)	حداقل غلظتی که اثرات سمی مشاهده می‌شود (آستانه تاثیر غلظت)
Effects Range Median (ERM)	حدی از غلظت که ۵۰ درصد جوامع بیولوژیک در خطرند.
Apparent Effects Threshold (AET)	غلظت بالایی که اثرات بیولوژیک مشاهده شده است.

جدول ۸: استاندارد (SQRT) برای فلزات (فلزات (میلی‌گرم بر کیلوگرم)) در رسوبات دریایی (۴۰)

AET	ERM	PEL	ERL	TEL	فلزات
-	-	-	-	-	خور خمیر ۲۴۸۵۹/۸۵۶۸±۷۹ خور شهرنو ۸۲۱۳±۴۲۵۷۰
۱۱۰۰ (بی‌مهرگان درون بستر زی)	۵۱۶	۴۲۸	۲۰۹	۱۵۹	خور خمیر ۹۹/۲۸±۸۰ خور شهرنو ۸۷/۷±۵۵/۷
۳۹۰ (لارو اویستر)	۲۷۰	۱۰۸	۳۴	۱۸/۷۰	خور خمیر ۱۳/۳±۶۴/۷۱ خور شهرنو ۲۰/۱±۳۱/۹۴
۴۰۰ (دوکفهای)	۲۱۸	۱۱۲	۴۶/۷	۳۰/۲	خور خمیر ۴۲/۶±۵۲/۶۴ خور شهرنو ۲۱/۳±۰۶/۲۱

جدول ۹: میانگین غلظت فلزات (میلی گرم بر کیلوگرم) در صدف، فاکتور تجمع رسوب-موجود زنده (BSAF و Modified BSAF) (اصلاح شده) با در نظر گرفتن بخش قابل دسترس فلز و شاخص آلودگی دریایی (MPI) در خورهای خمیر و شهرنو

خور شهرنو				خور خمیر				فلزات
MPI	Modified BSAF	BSAF	<i>S. dactylus</i>	MPI	Modified BSAF	BSAF	<i>S. dactylus</i>	
۸۵/۶۷	۵/۹۴	۰/۰۰	۳۶۵/۱۵۴±۷۴	۳۰۳/۳۴	۱۳/۹۷	۰/۰۱	۴۶۲/۲۵۱±۷۱	Fe
	۱/۰۸	۰/۰۴	۳/۲±۷۷/۰۹		۰/۶۶	۰/۰۸	۸/۰±۴۹/۵۵	Ni
	۱/۵۵	۰/۵۹	۱۱/۴±۲۹/۲۹		۷/۱۱	۰/۸۴	۱۱/۳±۷۶/۶۷	Cu
	۱/۰۷	۰/۳۲	۶/۲±۰۳/۵۱		۰/۸۱	۰/۲۱	۱۶/۰±۰۳/۴۱	Pb

بحث

و همچنین میانگین غلظت مس بیش‌تر (۲۱/۰۶±۳/۲۱) در خور شهرنو می‌باشد. این نتایج با مطالعه‌ای که Ghasemi و همکاران، در منطقه حفاظت شده حرای خمیر-لافت و خور آذینی (که همانند خور شهرنو در شرق هرمزگان واقع شده است) انجام داده‌اند، مشابهت دارد. در مطالعه ذکر شده الگوی توزیع فلزات در منطقه حفاظت شده خمیر-لافت به ترتیب $Pb > Zn > Cu > Cd$ و در خور آذینی به ترتیب $Pb > Cu > Zn > Cd$ گزارش شد. به نظر می‌رسد بیش‌تر بودن غلظت عناصر در خور خمیر نسبت به خور شهرنو، ناشی از پیشرفت‌های اخیر غرب استان هرمزگان و وجود صنایع و کارخانه‌های متعدد در مجاورت این منطقه و همچنین تاثیر احتمالی غبار آلودگی ناشی از کارخانه‌های سیمان، گچ، گوگرد، تردد شناورها، گردشگری و تخلیه فاضلاب تصفیه نشده شهری می‌باشد. Sharifinia و همکاران، نیز در مطالعه بوم‌شناختی خوریات استان هرمزگان (خورهای خمیر، تیاب و جگین)، بالا بودن شاخص‌های آلودگی در خور خمیر را به دلیل ورود فاضلاب‌های صنعتی به این منطقه عنوان نموده‌اند (۲۲). Pourang و همکاران، غلظت بالای وانادیوم و نیکل را در خلیج فارس به دلیل آلودگی نفتی ناشی از تردد کشتی‌های نفت کش عنوان کرده‌اند (۵۲). ورود نیکل به محیط زیست از طریق استخراج نفت خام، استخراج آن از معادن و از سوختن مواد زاید صورت می‌گیرد (۵۳). نتایج حاصل از ارزیابی ریسک اکولوژیکی در مناطق مورد مطالعه نشان داد که شاخص فاکتور آلودگی فلزات نیکل و سرب در درجه آلودگی متوسط قرار دارند که با توجه به بالاتر بودن مقادیر این فلزات نسبت به استاندارد جهانی شیل که در جدول ۸ آورده شده است، بیانگر آلوده بودن رسوبات منطقه مورد مطالعه نسبت به این فلزات می‌باشد. Rezaei و Zarezadeh، در مطالعه تجمع فلزات سنگین در رسوبات بستر مانگرو، خور گابریک (جاسک) نیز میزان فلزات سرب و نیکل را بیش از رسوبات مانگرو قشم و رسوبات شیل گزارش کرده‌اند (۴۶). در این مطالعه با توجه به بالا بودن این فلزات در سوخت‌های فسیلی می‌توان به اسکله صیادی و فعالیت شناورهای صیادی، قاچاق و تخلیه سوخت در منطقه و ورود فاضلاب انسانی به آن‌جا نسبت دادند. براساس

رسوبات مانگرو نسبت به آلودگی بسیار حساس می‌باشند و به دلیل وجود مقادیر زیاد مواد آلی طبیعی در بستر و درصد زیاد رس در دانه‌بندی رسوبات، محلی مناسبی جهت تجمع فلزات سنگین ورودی به این اکوسیستم می‌باشند (۴۶). وجود کربن آلی بالا در خور به قابلیت جذب آن در رسوبات ریزتر نسبت داده می‌شود. رسوبات دانه ریز سطح وسیع‌تری ایجاد کرده و محل اتصال کربن آلی می‌باشند (۴۷). در میان فاکتورهای موثر بر جذب فلزات سنگین در رسوبات، دانه‌بندی رسوبات و مواد آلی نقش مهم‌تری در توزیع و غلظت فلزات سنگین ایفا می‌کنند (۱۷). در مطالعه حاضر نتایج TOC نوسان اندکی را در بین دو خور نشان داد اما مقدار TOM نشان‌دهنده بالاتر بودن این مقادیر در خور خمیر نسبت به شهرنو می‌باشد. دانه‌بندی رسوبات نیز با تفاوت اندک در خور خمیر درصد بیش‌تری ذرات دانه ریز رس را نشان داد. ماده آلی با برقراری پیوند با فلزات سنگین و چلاته کردن (Chelate) باعث نگهداشت فلزات سنگین در رسوبات و کاهش قابلیت دسترسی زیستی آن‌ها در گیاه می‌گردد (۴۸). Abollino و همکاران، در مطالعه خود بیان داشتند که وجود مواد آلی بیش‌تر در رسوبات مانگرو موجب جذب و تجمع بیش‌تر فلزات سنگین در منطقه می‌شود (۴۹). در مطالعه حاضر نیز احتمالاً یکی از دلایل وجود مقادیر غلظت فلزات سنگین بالاتر در خور خمیر نسبت به شهرنو حضور درصد بافت رسی بیش‌تر و مواد آلی بالاتر می‌باشد. در مطالعه Hamzeh و همکاران، بافت رسی بستر و میزان بالای مواد آلی در رویشگاه مانگرو در خلیج گواتر نقش به‌سزایی در تجمع فلز نیکل در رسوبات ساحلی داشته است. براساس نتایج به‌دست آمده، خور خمیر که به‌عنوان ایستگاه آلوده فرض شده بود از لحاظ تجمع فلزات در رسوبات اختلاف معنی‌داری را نسبت به خور شهرنو نشان نداد. بنابراین فرضیه آلوده بودن ایستگاه اول نسبت به ایستگاه دوم مورد قبول نمی‌باشد و فقط اختلاف در تجمع فلزات در رسوبات بین دو منطقه قابل توجه می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز غلظت کل فلزات سنگین در خورهای خمیر و شهرنو بیانگر میانگین غلظت سرب بیش‌تر در خور خمیر (۴۲/۵۱±۶/۶۴)

نتایج شاخص غنی‌شدگی (EF) که با کمک نرمال کردن آلودگی فلزات سنگین نسبت به عنصر آهن که به‌صورت غالب در پوسته زمین وجود دارد، به‌دست می‌آید. مس در هر دو منطقه در درجه بدون غنی‌شدگی و فلزات نیکل و سرب در خور خمیر دارای غنای متوسط و در خور شهر نو دارای غنای جزئی می‌باشند. Neyestani و همکاران، در مطالعه رسوبات شمال خلیج فارس نیز حداقل غنی‌شدگی را برای فلز مس گزارش نموده‌اند (۳۶). غنی‌شدگی بالای فلزات نیکل و سرب در خور خمیر، احتمالاً به‌دلیل ورود فاضلاب ناشی از شستشو شناورها و نفت‌کش‌ها و نشت سوخت آن‌ها، رنگ کردن شناورها و همچنین مجاورت با روستاهای ساحلی و تاثیرپذیری از فاضلاب تصفیه نشده آن‌ها می‌باشد. با استفاده از روش استخراج متوالی فلزات سنگین موجود در رسوبات، می‌توان به درک فرآیندهای ژئوشیمیایی، پیوندهای مختلف فلز با رسوبات و دسترسی زیستی فلزات پی برد (۱۰). نتایج حاصل از آنالیز غلظت جزء به جزء فلزات سنگین مورد مطالعه نشان داد که فلزات اغلب در بخش‌های اکسیدهای فلزی قابل احیا (F₃) و باقی‌مانده (F₅) قرار دارند. بخش باقی‌مانده یا پایدار (F₅) مربوط به بخش ژئوشیمیایی فلزات سنگین موجود در رسوبات منطقه می‌باشد و نشان‌دهنده این است که عمده فلزات موجود در رسوبات منشاء طبیعی دارند (۵۴). در پژوهش حاضر بخش باقی‌مانده ۳۳ تا ۷۹ درصد از غلظت کل را در رسوبات مناطق مورد مطالعه به خود اختصاص داده است. در مطالعه Nowrouzi و همکاران، فلزات نیکل، سرب و کادمیوم در رسوبات سطحی جنگل‌های حرا جزیره قشم و بندر خمیر، بیش از ۵۱٪ ترکیبات فلزی در بخش باقی‌مانده قرار دارند (۵۵). همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین فلزات متصل به مواد آلی و میزان کربن کل رسوبات وجود داشت. فاز باقی‌مانده به دلیل اتصال و همبستگی قوی با کریستال رسوبات در برابر تغییرات فیزیکی و شیمیایی در محیط مقاوم بوده و در دسترس اکوسیستم آبی قرار نمی‌گیرد (۵۶). Machado و همکاران، فلزات سنگین موجود در رسوبات مانگروهای خلیج گوانابارا را مطالعه کرده‌اند، جابجایی فلزات در حرا عمدتاً به فرم‌های اکسیدها و اکسی هیدروکسیدها می‌باشد و سپس توسط باکتری‌های تجزیه‌کننده مواد آلی حل شده و منجر به افزایش این فلزات در فاز محلول می‌گردد (۵۷). فلزات محلول با ترکیبات آلی و سولفیدها رسوب داده شده‌اند. در بخش غیرپایدار یا آنترپوژنیک (همه بخش‌ها به‌جز F₅) با تغییر در شرایط محیطی هم‌چون تغییر شوری، pH، دما، شرایط اکسید و احیا، فلزات می‌توانند از درون رسوبات آزاد شده و در دسترس موجودات قرار گیرند و تجمع زیستی و بزرگ‌نمایی زیستی در زنجیره غذایی را ایجاد کنند (۵۸). نتایج شاخص کد ارزیابی ریسک (RAC) که براساس معیار درصد هر فلز در بخش تبدالی (F1+F2) و به‌منظور بررسی در دسترس

بودن فلزات در رسوبات به‌کار برده می‌شود (۴۲)، نشان داد که با توجه به بالاتر بودن بخش قابل دسترس فلزات سرب و مس، فلز مس در خور شهرنو در وضعیت ریسک بالا و فلز سرب در هر دو منطقه و فلزات نیکل و مس در خور شهرنو از ریسک متوسط برخوردار می‌باشند. درخصوص فلز آهن نیز طبق نتایج به‌دست آمده، از نظر ارزیابی ریسک در طبقه بدون خطر قرار می‌گیرد، که به‌دلیل حداقل دسترسی زیستی این فلز و غالب بودن آن در پوسته زمین می‌باشد. براساس جدول استاندارد SQRT و توضیحات ارائه شده در جدول ۸ فلز مس در خور شهرنو و فلز سرب در خور خمیر بالاتر از حد آستانه (حداکثر غلظتی که تحت تاثیر آن اثرات سمی مشاهده نمی‌شود) در رسوبات منطقه قرار دارند. درخصوص فلز سرب می‌توان بیان کرد که یکی از منابع ورود این فلز، سوخت بنزین و گازوئیل شناورها و قایق‌ها، رنگ‌آمیزی شناورها و عایق‌کاری بدنه کشتی‌ها با رنگ‌های آنتی فولینگ ضدخزه برای جلوگیری از چسبیدن خزه‌ها و بارناکل‌ها و همچنین مسئله قاچاق سوخت در مناطق، به‌عنوان منبع ناشناخته ورود سرب، طی سالیان گذشته می‌باشد. بررسی تجمع فلزات درون رسوبات دریایی اغلب به‌منظور ارزیابی وضعیت ریسک اکولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما بی‌مهرگان بستری خصوصاً جانداران درون بستری (این فونا) از جمله نرم‌تنان و سخت‌پوستان به‌دلیل امکان جابجایی و تحرک کم‌تر و همچنین تغذیه در محیط می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های زیستی مورد استفاده قرار گیرند (۳۴). طی سال‌های گذشته صدف تیغی (*S. dactylus*) یک گونه دوکفه‌ای، با فراوانی قابل ملاحظه در اکثر سواحل گلی شنی خلیج فارس خصوصاً استان هرمزگان بوده است، ولی در زمان انجام این تحقیق در مناطق محدودتر و با فراوانی کم‌تر قابل برداشت بود که می‌تواند ناشی از افزایش عوامل آلاینده در سواحل و همچنین صید بی‌رویه افراد بومی در منطقه باشد. در مطالعه Saeedi و همکاران، بر روی دوکفه‌ای *S. dactylus* نتایج سنجش غلظت فلزات Fe، Pb و Cu به ترتیب (۱۸۸۶-۲۱۰)، (۴-۷) و (۲۰-۱۳) میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد (۲۰). Salimi و همکاران، میزان فلزات سنگین کبالت، کروم، کادمیوم، نیکل و وانادیوم در صدف دسته چاقویی (*Solen roseamaculatus*) در سواحل بندر خمیر را مورد مطالعه قرار دادند (۵۹). در این مطالعه نیکل بالاترین غلظت را در بین فلزات به‌خود اختصاص داد. خلیج فارس به‌دلیل دارا بودن منابع عظیم نفت و گاز، یکی از اصلی‌ترین مسیرهای تردد کشتی‌ها، نفت‌کش‌ها و فعالیت‌های پالایشگاهی دنیا محسوب می‌شود. نشت نفت خام به اکوسیستم آبی خلیج فارس باعث آلودگی‌های متعدد شده است (۶۰). فاکتور تجمع زیستی (BAF (Bio Accumulation Factor) جذب ترکیبات یا آلاینده‌ها در موجود زنده از طریق تغذیه از غذا یا آب پیرامون می‌باشد. در مطالعه آلاینده‌ها در موجودات

می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد که رسوبات خلیج فارس از حیث تجمع فلزات سنگین نسبت به عناصر Ni و Pb آلاینده‌گی دارند. با توجه به روند رو به گسترش فعالیت‌های صنعتی در خطوط ساحلی استان هرمزگان خصوصاً اطراف شهر بندرعباس این احتمال وجود دارد که ورود آلاینده‌ها به دریا و مانگروها افزایش یابد. فاکتور انتقال فلزات سنگین نیز بیانگر توانایی انباشت فلزات سنگین در صدف *S. dactylus* بود. در این تحقیق میزان غلظت فلزات سرب و مس از حداکثر غلظتی که تحت تاثیر آن اثرات سمی مشاهده نمی‌شود (TEL)، بالاتر بود که نشان می‌دهد این مناطق از حیث این فلزات دارای آلودگی می‌باشد. از این‌رو نیاز به کنترل و مدیریت درخصوص منابع ورودی و پایش این فلزات در جهت جلوگیری از صدمات به آبریزان منطقه وجود دارد. از آنجایی که دوکفه‌ای *S. dactylus* به عنوان پایشگر زیستی معرفی شده (۲۰) و همچنین کفزی می‌باشد و غذای خود را با فلیتر کردن آب اطراف خود به‌دست می‌آورد، وجود مقادیر کم فلزات سنگین نیز در آن می‌تواند دلیل بر حضور مواد آلاینده در محیط باشد که ممکن است هنگام انتقال آن‌ها در زنجیره غذایی پدیده بزرگ‌نمایی زیستی اتفاق بیافتد که نگران‌کننده است. در پایان پیشنهاد می‌شود با توجه نیاز مبرم به کنترل آلودگی و حفظ محیط زیست، مطالعات مکرر ارزیابی ریسک اکولوژیکی جهت پایش غلظت فلزات سنگین در این مناطق انجام گردد. به‌علاوه به منظور حفظ سلامت افراد بومی منطقه که از این گونه به‌عنوان یکی از غذاهای محلی در رژیم غذایی استفاده می‌کنند و همچنین استفاده مراکز تکثیر میگو در تغذیه لاروها، ریسک سلامت مصرف صدف *S. dactylus* مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در سایزهای مختلف صدف و برآورد تجمع فلزات سنگین در سنین مختلف صدف ضروری به‌نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی

این فعالیت پژوهشی با حمایت مادی اداره کل محیط زیست استان هرمزگان از محل طرح دانشجویی سال ۱۳۹۸ صورت گرفته است. نویسندگان مقاله کمال تشکر و قدردانی خود را از پرسنل گرامی آزمایشگاه محیط‌زیست هرمزگان، خصوصاً خانم دکتر سلیمی زاده، خانم مهندس دودی و آقای مهندس محوری اعلام می‌دارند.

منابع

1. Silva, R.F., Rosa-Filho, J.S., Souza, S.R. and Souza Filho, P.W., 2011. Spatial and temporal changes in the structure of soft-bottom benthic communities in an Amazon estuary (Caeté estuary, Brazil). J. Coast. Res. 64: 440-444.

دریایی به آن BSAF (Biota Sediment Accumulation Factor) نیز گفته می‌شود و مقدار آن از نسبت غلظت آلاینده در موجود زنده به غلظت آن در رسوبات محاسبه می‌گردد. این فاکتور علاوه بر نشان دادن غلظت آلاینده در بدن موجود زنده نسبت به محیط، می‌تواند بیانگر دسترسی زیستی آن‌ها نیز باشد (۴۵). در مطالعه حاضر مقدار BSAF صدف *S. dactylus* در هر دو منطقه نشان داد که تجمع فلز مس بیش‌تر از بقیه فلزات مورد مطالعه بود. در BSAF اصلاح شده که قسمت قابل دسترس فلزات را در بافت نرم صدف محاسبه می‌کند نتایج تا حدودی متفاوت می‌گردد. در خور شهرنو این فاکتور در تمام فلزات و در خور خمیر فلزات آهن و مس بالاتر از یک به‌دست آمده و نشان‌دهنده این است که صدف *S. dactylus* توانایی انباشت این فلزات را در بدن دارد. با توجه به ضرورت وجود آهن در بدن موجود زنده و دسترسی زیستی که در مورد این فلز وجود دارد بر اساس فرمول جدید تجمع این فلز در بدن جانور نیز دیده شده است. از نظر BSAF اصلاح شده الگوی تجمع فلزات در خور خمیر $Fe > Cu > Pb > Ni$ و در خور شهرنو $Fe > Cu > Ni = Pb$ می‌باشد. تجمع فلزات در موجود زنده روندی زیستی است و با تغییرات متابولیسم در موجودات مرتبط خواهد بود. فلزات آهن و مس جزء فلزات ضروری بدن موجودات زنده می‌باشند و نقش مهمی در فعالیت‌های زیستی، فیزیولوژیکی و حیاتی جاندار ایفا می‌نمایند (۶۱). فلز مس نقش بسیار مهمی در فیزیولوژی بدن دوکفه‌ای از قبیل فرآیند نقل و انتقال اکسیژن از طریق رنگدانه هموسیانین، فعالیت آنزیم‌های بدن (سیتوکروم اکسیداز و نیترات ردوکتاز) دارد اما در مطالعات بسیاری بیان شده است که عناصر ضروری نیز در غلظت‌های بالا می‌توانند سمیت ایجاد کنند (۶۱). تجمع فلزاتی از قبیل سرب و کادمیوم در پوسته تحت تاثیر بافت نرم یعنی تابع شرایط فیزیولوژیک موجود و محیط از قبیل اکسیژن محلول، دمای آب، pH، میزان و نوع تغذیه است (۶۲). مطالعات متعددی هم‌چون Salahshur و همکاران، در مطالعه خود بر روی صدف *S. brevis* (۲۶) و Pashaeirad و همکاران، در مطالعه صدف *Amiantis umbonella* (۲۵) پوسته صدف دوکفه‌ای را به‌عنوان شاخص زیستی فلز سرب معرفی کرده‌اند از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که احتمال انتقال فلز سرب از پوسته به بافت بدن دوکفه‌ای و تجمع آن در بافت زنده جانور نیز وجود دارد. اما همیشه شبکه پیچیده‌ای از انتقال و فرایندهای تجزیه‌ای در موجودات زنده وجود دارند که باعث می‌شود فلزات غیرضروری را در حداقل مقدار نگه دارند و مانع ایجاد آسیب در سطح سلولی گردد (۶۳). از آنجایی که نیکل و وانادیوم دو فلز سنگین عمده در نفت خام می‌باشند ورود آن‌ها از فعالیت‌های نفتی به طرق مختلف به اکوسیستم‌های دریایی می‌تواند در موجوداتی نظیر دوکفه‌ای‌ها به‌واسطه نوع تغذیه فیلتر فیدری (خودپالایی) بیش‌تر

17. **Dias, H.D. and Nayak, G.N., 2016.** Geochemistry and bioavailability of mudflats and mangrove sediments and their effect on bioaccumulation in selected organisms within a tropical (Zuari) estuary, Goa, India. *Mar. Pollu. Bull.* 105: 227-236.
18. **Yap, C.K., Ismail, A., Cheng, W.H. and Tan, S.G., 2006.** Crystalline style and tissue redistribution in *Perna viridis* as indicators of Cu and Pb bioavailabilities and contamination in coastal waters. *Ecotoxicol Environ Saf.* 63: 413-423.
19. **Bosch, D., Dance, S.P., Moolenbeek, R. and Oliver, P.G., 1995** Seashells of Eastern Arabia. Motivate Publishing, London. 296 p.
20. **Saeedi, H., Ashja Ardalan, A., Zibaseresht, R. and Kiabi, B., 2012.** Metal concentrations in razor clam *Solen dactylus* (Von Cosel, 1989) (Bivalvia: Solenidae), sediments and water in northern Persian Gulf, Iran. *Iranian Fisheries Science.* 11(1): 165-183.
21. **Monteduro, R.A., Pellizzato, F., Sporni, L. and Pavoni, B., 2007.** Contamination in *Mytilus galloprovincialis* by chlorinated hydrocarbons (PCBs and pesticides), PAHs and heavy metals in the lagoon of Venice. *Polycycl Aromat Compd.* 27: 437-459.
22. **Sharifinia, M., Taherizadeh, M., Imanpour Namin, J. and Kamrani, E., 2018.** Ecological assessment of Hormozgan creeks (Khamir, Tiyab and Jagin) using AMBI biotic index. *Journal of Aquatic Ecology.* 7(4): 20-39. (In Persian)
23. **Sharifinia, M., Taherizadeh, M.R., Imanpour Namin, J. and Kamrani, E., 2018.** Ecological risk assessment of trace metals in the surface sediments of the Persian Gulf and Gulf of Oman: Evidence from subtropical estuaries of the Iranian coastal waters. *Chemosphere.* 191: 485-493.
24. **Safahieh, A., Habibi, S., Zanos, H.P. and Fathtabar, M., 2016.** Accumulation of Heavy Metals (Cu, Ni, Pb, Cd) in the Sediment and Razor Clam, *Solen roseomaculatus* in the Shorelines of Bushehr Province. *Journal of Oceanography.* 7(27): 41-48. (In Persian)
25. **Pashaei Rad, Sh., Saeedi, H., Abtahi, B. and Kiabi, B., 2010.** Accumulation of some heavy metals in soft tissue and shell of edible bivalve *Amiantis umbonella* (Lamarck, 1818) in Bandar Abbas coast, the Persian Gulf. *Journal of Animal Environment.* 2(2): 9-22. (In Persian)
26. **Salahshur, S., Bakhtiari, A.R. and Kochanian, P., 2012.** Use of *Solen brevis* as a Biomonitor for Cd, Pb and Zn on the Intertidal Zones of Bushehr Persian Gulf, Iran. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 88: 951-955.
27. **Cruz, T.C., Nayak, G.N., Tiwari, A.K. and Nasnodkar, M.R., 2020.** Assessment of metal pollution and bioaccumulation of metals by edible bivalve *Polymesoda erosa* in the Zuari Estuary, west coast of India. *Mar. Pollut. Bull.* 158(111415): 1-11.
28. **Fan, W., Xu, Z. and Wang, W.X., 2014.** Metal pollution in a contaminated bay: Relationship between metal geochemical fractionation in sediments and accumulation in a polychaete. *Environ. Pollut.* 191: 50-57.
29. **Maanan, M., 2008.** Heavy metal concentrations in marine mollusks from the Moroccan coastal region. *Environ. Pollut.* 153: 176-183.
30. **Folk, R.L., 1974.** The natural history of crystalline calcium carbonate; effect of magnesium content and salinity. *Sediment Res.* 1974(1): 40-53.
31. **Gaudette, H.E., Flight, W.R., Toner, L. and Folger, D.W., 1974.** An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Sediment. Petrol.* 44(1): 249-253.
32. **Daesslé, L.W., 2009.** Geochemistry of modern sediments from San Quintín coastal lagoon, Baja California: Implication for provenance. *Rev. Mex. de Cienc. Geol.* 26: 117-132.
2. **Defew, L.H., Mair, J.M. and Guzman, H.M., 2005.** An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. *Mar. Pollut. Bull.* 50(5): 547-552.
3. **Pejman, A.H., Nabi Bidhendi, G.R., Ardestani, M., Saeedi, M. and Baghvand., 2016.** Fractionation of heavy metals in sediments and assessment of their availability risk: A case study in the northwestern of Persian Gulf. *Mar. Pollut. Bull.* 114(2): 881-887.
4. **Fernandes, L.L. and Nayak, G.N., 2014.** Characterizing metal levels and their speciation in intertidal sediments along Mumbai coast, India. *Mar. Pollu. Bull.* 79(1-2): 371-378.
5. **Rahmani, M., 2020.** Nickel, Copper and Iron concentrations in sediments and Shrimp *Macrobrachium nipponense*, in Alagol international wetland. *Journal of Animal Environment.* 12(4): 495-500. DOI: 10.22034/AEJ.2020.129573. (In Persian)
6. **Ribeiro, C.A.O., Vollaire, Y., Sanchez-Chardi, A. and Roche, H., 2005.** Bioaccumulation and the effects of organochlorine pesticides PAH and heavy metals in the eel (*Anguilla anguilla*) at the Camargue nature reserve, France. *Aquat. Toxicol.* 74: 53-69.
7. **Ip, C.C., Li, X.D., Zhang, G., Wai, O.W. and Li, Y.S., 2007.** Trace metal distribution in sediments of the Pearl River Estuary and the surrounding coastal area, South China. *Environ. Pollut.* 147: 311-323.
8. **Sundaray, S.K., Nayak, B.B., Lin, S. and Bhatta, D., 2011.** Geochemical speciation and risk assessment of heavy metals in the river estuarine sediments a case study: Mahanadi basin, India. *Hazard. Mater.* 186(2-3): 1837-1846.
9. **Passos, E.A., Alves, J.C., dos Santos, I.S., Alves, J.P.H., Garcia, C.A.B. and Costa, A.C.S., 2010.** Assessment of trace metals contamination in estuarine sediments using a sequential extraction technique and principal component analysis. *Microchem. J.* 96: 50-57.
10. **Sundaray, S.K., Nayak, B.B., Lin, S. and Bhatta, D., 2011.** Geochemical speciation and risk assessment of heavy metals in the river estuarine sediments- a case study: Mahanadi basin, India. *J. Hazard. Mater.* 186: 1837-1846.
11. **Yang, Y., Chen, F., Zhang, L., Liu, J., Wu, S. and Kang, M., 2012.** Comprehensive assessment of heavy metal contamination in sediment of the Pearl River Estuary and adjacent shelf. *Mar. Pollut. Bull.* 64: 1947-1955.
12. **Singh, K.T., Nayak, G.N., Fernandes, L.L., Borole, D.V. and Basavaiah, N., 2014.** Changing environmental conditions in recent Past-Reading through the study of geochemical characteristics, magnetic parameters and sedimentation rate of mudflats, central west coast of India. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 397: 61-74.
13. **Venkatramanan, S., Chung, S.Y., Ramkumar, T., Gnanachandrasamy, G. and Kim, T.H., 2015.** Evaluation of geochemical behavior and heavy metal distribution of sediments: the case study of the Tirumalairajan river estuary, southeast coast of India. *Sediment Res.* 30: 2-38.
14. **Wang, H., Wang, J., Liu, R., Yu, W. and Shen, Z., 2015.** Spatial variation, environmental risk and biological hazard assessment of heavy metals in surface sediments of the Yangtze River estuary. *Mar. Pollut. Bull.* 93: 250-258.
15. **Nayak, G.N., Noronha-D'Mello, C.A., Pande, A. and Volvoikar, S.P., 2016.** Understanding sedimentary depositional environments through geochemical signatures of a Tropical (Vaghotan) estuary, West Coast of India. *Environ. Earth. Science.* 75: 111-125.
16. **Nasnodkar, M.R. and Nayak, G.N., 2018.** Assessment of sediment quality using total and bioavailable concentration of metals in intertidal mudflats of a tropical (Vashishti) estuary, west coast of India. *Arab Journal of J. Geosci.* 11: 505-519.

49. **Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Sarzanini, C. and Mentasti, E., 2003.** Adsorption of heavy metals on Namontmorillonite. Effect of pH and organic substances. *Water Res.* 37(7): 1619-1627.
50. **Hamzeh, M.A., Bumeri, M., Rezaei, H. and Baskaleh, G., 2012.** Environmental Geochemistry of Heavy Metals in Coastal Sediments of Gawatr Bay, Southeast Extreme of Iran. *Journal of Oceanography.* 2(8): 11-20. (In Persian)
51. **Ghasemi, S., Siavash Moghaddam, S., Rahimi, A., Damalas, C. and Najji, A., 2018.** Ecological risk assessment of coastal ecosystems: The case of mangrove forests in Hormozgan Province, Iran. *Chemosphere.* 191: 417-426.
52. **Pourang, N., Nikouyan, A. and Dennis, H., 2005.** Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from northern part of the Persian Gulf. *Environ. Monit. Assess.* 109: 293-316.
53. **Esmaili Sari, A.D., 2002.** Pollutants, health and standards in the environment. Naqsh Mehr Publications, Tehran. Iran. 798 p.
54. **Wang, F., Wang, W.X. and Huang, X.P., 2012.** Spatial distribution of gut juice extractable Cu, Pb and Zn in sediments from the Pearl River Estuary, Southern China. *Mar. Environ. Res.* 77: 112-119.
55. **Nowrouzi, M., Pourkhabbaz, A.R. and Rezaei, M.R., 2014.** Sequential extraction analysis of metals in sediments from the Hara Biosphere Reserve of Southern Iran. *Chem. Speciat. Bioavailab.* 26(4): 273-277.
56. **Moore, F., Nematollahi, M.J. and Keshavarzi, B., 2014.** Heavy metals fractionation in surface sediments of Gowatr Bay-Iran. *Environ. Monit. Assess.* 187(1): 4117.
57. **Machado, W., Silva-Filho, E.V., Oliveira, R.R. and Lacerda, L.D., 2002.** Trace metal retention in mangrove ecosystems in Guanabara Bay, SE Brazil. *Mar. Pollut. Bull.* 44: 1277-1280.
58. **Singh, K.P., Mohan, D., Singh, V.K. and Malik, A., 2005.** Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments- a tributary of the Ganges, India. *Hydrology.* 312(1-4): 14-27.
59. **Salimi, L., Ashja Ardalan, A. and Soltani, M., 2012.** Evaluation of heavy metals of (Co, Cr, Cd, Ni, V) in razor clam (*Solen rosemaculatus*) in Bandar-e Khamir Coast (Iran). *Journal of marine science and technology research.* 6(4): 30-43. (In Persian)
60. **Ashgholi Farahani, M. and Makki Al-Agha, M., 2007.** Geochemical investigation of heavy elements in Persian Gulf marine sediment cores and their biological effects. *Plant and ecosystem.* 3(12): 29-39.
61. **Jeng, M.S., Jeng, W.L., Hung, T.C., Yeh, H., Tseng, R.J., Meng, P.J. and Han, B.C., 2000.** Mussel Watch: a review of Cu and other metals in various marine organisms in Taiwan, 1991-98. *Environ. Pollut.* 110: 207-215.
62. **Demirak, A., Yilmaz, F., Tuna, A.L. and Ozdemir, N., 2006.** Heavy metals in water, sediment and tissue of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. *Chemosphere.* 63: 1451-1458.
63. **Madhava Rao, K.V., Raghavendra, A.S. and Janardhan Reddy, K., 2006.** Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants. Springer press. 351 p.
33. **Richards, L.A., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, Agriculture, 160, Handbook 60. US Department of Agriculture, Washington DC. 154 p.
34. **Yap, C.K., Ismail, A., Tan, S.G. and Omar, H., 2002.** Concentrations of Cu and Pb in the offshore and intertidal sediments of the west coast of Peninsular Malaysia. *Environ. Int.* 28(8): 467-479.
35. **Tessier, A., Campbell, P.G.C. and Bisson, M., 1979.** Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51(7): 844-851.
36. **Neyestani, M.R., Bastami, K.D., Esmailzadeh, M., Shemirani, F., Kazaali, A., Molamohyeddin, N., Afkhami, M., Nourbakhsh, Sh., Dehghani, M., Aghaei, S. and Firouzbakth, M., 2016.** Geochemical speciation and ecological risk assessment of selected metals in the surface sediments of the northern Persian Gulf. *Mar. Pollut. Bull.* 109(1): 603-611.
37. **Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H., 1961.** Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of American Bull.* 72: 175-192.
38. **Zhao, L., You, W., Hu, H., Hong, W., Liao, X., Xiao, S., Wang, R., Cai, J., Fan, X., Tan, Y. and He, D., 2015.** Spatial Distribution of heavy metals (Cu, Pb, Zn, and Cd) in sediments of a coastal wetlands in Eastern Fujian, China. *Res. J.* 26: 703-710.
39. **Kusin, F.M., Azani, N.N.M., Hasan, S.N.M.S. and Sulong, N.A., 2018.** Distribution of heavy metals and metalloid in surface sediments of heavily-mined area for bauxite ore in Pengerang, Malaysia and associated risk assessment. *CATENA.* 165: 454-464.
40. **Buchman, M.F., 1999.** NOAA screening quick reference tables. NOAA HAZMAT Report 99-1. 12 p.
41. **Perin, G., Craboledda, L., Lucchese, M., Cirillo, R., Dotta, L., Zanette, M.L. and Orio, A.A., 1985.** Heavy metal speciation in the sediments of Northern Adriatic Sea: a new approach for environmental toxicity determination. In Lekkas, T.D., (Ed.). Heavy metals in the environment. 2: 454-456. Edinburgh: CEP Consultants.
42. **Yang, J., Cao, L.L., Wang, J.H., Liu, C.L., Huang, C.G., Cai, W.X., Fang, H.D. and Peng, X.J., 2014.** Speciation of metals and assessment of contamination in surface sediments from Daya Bay, South China Sea. *Sustainability.* 6: 9096-9113.
43. **Gong, Q., Deng, J., Xiang, Y., Wang, Q. and Yang, L., 2008.** Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. *China University of Geosciences.* 19(3): 230-241.
44. **Szefer, P., Ali, A., Ba-Haroon, A., Rajeh, A., Geldon, J. and Nabrzyski, M., 1999.** Distribution and relationships of selected trace metals in molluscs and associated sediments from the Gulf of Aden, Yemen. *Environ. Pollut.* 106: 299-314.
45. **Vrhovnik, P., Arrebola, J.P., Serafimovski, T., Dolenc, T., Smuc, N.R., Dolenc, M. and Mutch, E., 2013.** Potentially toxic contamination of sediments, water and two animal species inlake Kalimanci, Fyr Macedonia: relevance to human health. *Environ. Pollut.* 180: 92-100.
46. **Zarezadeh, R. and Rezaee, P.,** Study on accumulation of heavy metals in mangrove sediments, Gabrik Creek (Jask). *Journal of Natural environment.* 69(1): 61-78. (In Persian)
47. **Kang, X., Song, J., Yuan, H., Duan, L., Li, X., Li, N., Liang, X. and Qu, B., 2017.** Speciation of heavy metals in different grain sizes of Jiaozhou Bay sediments: Bioavailability, ecological risk assessment and source analysis on a centennial timescale. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 143: 296-306.
48. **Peng, J., Song, Y., Yuan, P., Cui, X. and Qiu, G., 2009.** The remediation of heavy metals contaminated sediment. *Hazard. Mater.* 161(2): 633-640.