

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره دوازدهم، اسفند ماه ۹۸

دستیابی زیستی جیوه در رسوبات خوریات پتروشیمی و جعفری، بندر امام

صدیقه آقابکی آوقره^۱

صدیقه بطالبلوئی^{*۲}

sblooie@gmail.com

حکیمه امانی پور^۲

کامران گرایش^۳

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۲۱

چکیده

زمینه و هدف: باتوجه به تحرک جیوه و سمیت بالای آن و توانایی تجمع آن در زنجیره غذایی، آگاهی از سطوح جیوه در بخش‌های مختلف محیط زیستی برای درک و پیش بینی در معرض قرارگیری انسانی و ارزیابی خطر اکولوژیکی جیوه ضروری است. پژوهش حاضر با هدف تعیین غلظت کل و دستیابی زیستی فلز سنگین جیوه در رسوب خورهای پتروشیمی و جعفری صورت پذیرفت. **روش بررسی:** تعداد ۲۷ نمونه رسوب از خورهای پتروشیمی و جعفری برداشت شد. پس از هضم نمونه‌ها، محتوی جیوه آن‌ها با استفاده از دستگاه آنالیز جیوه اندازه‌گیری شد. استخراج ترتیبی رسوبات با روش BCR انجام شد.

یافته‌ها: داده‌های غلظت کل جیوه مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب با حداقل ۲/۱۹ میلی گرم بر لیتر در ایستگاه ۲-۸ و حداکثر ۴۵/۷۱ میلی گرم بر لیتر در ایستگاه ۱-۹ و با میانگین ۹/۲۳ میلی گرم بر لیتر، نشان می‌دهد که رسوبات منطقه نسبت به این عنصر آلوده است. همچنین میزان جیوه موجود در رسوبات منطقه از حد استانداردهای بین المللی NOAA بیش تر بود. فرم های شیمیایی جیوه با استفاده از روش استخراج ترتیبی در نمونه های رسوب نشان داد که به ترتیب ۵/۱۰ درصد، ۵/۵۷ درصد، ۱۵/۵۱ درصد، ۴۵/۷۹ درصد جیوه به ترتیب در بخش تبادل پذیر، کاهنده، اکساینده و فاز باقی مانده است.

بحث و نتیجه‌گیری: بخش اعظم فلز جیوه با بخش غیر تبادل پذیر همراه می‌باشد و نمی‌تواند تحت شرایط فیزیکوشیمیایی حاکم (pH قلیایی) بین آب و رسوب مبادله شوند. فلزاتی که در بخش تبادل پذیر قرار می‌گیرند به علت داشتن پیوندهای الکترواستاتیک ضعیف به- راحتی تحت تأثیر فرایندهای تبادل یونی (جذب/ واجذب) قرار می‌گیرند. مقادیر بالای جیوهی به ایستگاه‌های نزدیک به خروجی پساب

۱- کارشناسی ارشد، زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران

۲- استادیار، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۳- کارشناس ارشد، پتروشیمی بندر امام خمینی، بندر امام خمینی، ایران

واحد کلروآلکالی تعلق داشت که با افزایش فاصله از این ایستگاه‌ها، مقدار جیوه کل در رسوبات نسبت به مناطق نزدیک به ساحل، کاهش می‌یابد. بنابراین جیوه‌ی تجمع یافته در رسوبات نزدیک به ساحل، از این منابع منشا گرفته و سطح آلودگی فلز سنگین جیوه در رسوبات به شدت وابسته به این منابع است.

واژه‌های کلیدی: دستیابی زیستی، جیوه، خورپتروشیمی، خور جعفری

The Study of Mercury Bio-availability in Sediments of Petrochemical and Ja'fari, Bandar Imam Creeks

Sedigheh Aghabaki Alooghareh¹

Sedigheh Battaleb-Looie^{2*}

sblooie@gmail.com

Hakimeh Amanipoor²

Kamran Gerayesh³

Accepted: 2018.01.10

Received: 2017.06.11

Abstract

Background and Objective: Due to high mobility and toxicity of mercury in environment and also high accumulation of mercury in food chain, it is important to understand and predict human exposure and ecological risk assessment of mercury. The purpose of this study was to investigate the total concentration of mercury and its bio-availability in sediment of Petrochemical and Ja'fari creeks.

Method: In the present study, 27 sediment samples were collected from the sampling sites. Digestion was employed in sample digestion followed by analysis using MOOPAM. Samples were analyzed and determined for mercury concentrations by Mercury Analyzer model VM-3000 MERCURY VAPOR MONITOR. Sediments were further investigated for mercury fractions using a three step sequential extraction procedure of BCR.

Results: The concentrations of THg in sediment samples with a minimum of 2.19 and maximum of 45.71 and average of 23.9 milligram per liter show that area is contaminated with mercury according to the National Oceanographic and Atmospheric Administration standard.

Discussion and Conclusion: The sequential extraction procedure showed that most Hg in the sediments was largely bound in exchangeable phases. Therefore it can't be exchanged between water and sediment under the physicochemical conditions with alkaline pH. The mercury which bound to exchangeable phase can easily desorb and adsorb by sediments. High content of mercury was in station close to chloral alkaline factory and with distance, Hg concentration was decreased.

Keyword: bioavailability, mercury, petrochemical creek, Ja'fari creek

-
- 1- Msc. Environmental geology, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran
 - 2- Assistant Professor, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.*(Corresponding author)
 - 3- Msc. Petrochemical Complex of Imam Khomeini Port, Bandar-e-Imam Khomeini, Iran

مقدمه

آلودگی‌های فلزات سنگین که توسط فعالیت‌های صنعتی و بسیاری از فعالیت‌های دیگر ایجاد می‌شوند، غیرقابل تجزیه بیولوژیکی هستند و در اجزای محیط باقی مانده و تجمع زیستی پیدا می‌کنند، به همین خاطر یکی از تهدیدهای جدی برای محیط زیست و بهداشت عمومی تلقی می‌شوند (۱). به گونه‌ای که سطح جهانی آلودگی محیطی به فلزات در ۱۵۰ سال گذشته بیش از ۴۰۰۰ برابر گزارش شده است (۲). از جمله فلزات سنگین بسیار سمی و خطرناک، می‌توان به جیوه اشاره کرد که تأثیرات سوء آن بر اکوسیستم‌های آبی از دیرباز شناخته شده است.

مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات موجود در پیکره‌ی آبی مانند رودخانه‌ها، مصب‌ها و بستر دریاها، می‌تواند گام مؤثری برای یافتن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزش‌یابی محیط زیستی وضعیت آلاینده‌ها، برای مدت موجود در یک منطقه باشد (۳). از جمله عوامل مختلفی که در انتقال و توزیع آلاینده‌ها از جمله فلز سنگین از جمله جیوه بین فازهای محلول و جامد رسوبات تأثیر دارند، می‌توان به بافت رسوبات و ژئومورفولوژی، اقلیم و فصول سال (۴) عمق آب و دینامیک جریان (۵)، پخشیدگی بین سطح مشترک رسوب و آب (۶) و اندازه ذرات رسوبات (۷) اشاره کرد. افزایش تدریجی غلظت جیوه در بدن آبزیان مانند ماهی، می‌تواند از راه خوردن غلظت‌های موجود در یک شبکه غذایی، یا زیست انباشت شدن غلظت‌های اندک در بلند مدت ایجاد شود که در نهایت انسان با مصرف این ماده غذایی غلظت بالایی از جیوه در وارد بدن می‌کند.

مطالعات مختلف نشان داده است که فلزات به‌منزله منابع آلودگی، با اندازه‌گیری غلظت کلی، نمی‌توانند به‌خوبی ارزیابی شوند و متحرک بودن قابلیت دستیابی زیستی و سمیت فلزات در ارتباط با فرم‌های شیمیایی مختلف آن‌هاست. با استفاده از آزمون‌های تفکیک شیمیایی، می‌توان فازهای پیوندی مختلف فلزات را تعیین کرد.

Yu و همکاران (۲۰۱۲) (۸) میزان توزیع، گونه شناسی شیمیایی و دسترسی زیستی جیوه را در رسوبات رودخانه پیرل جنوب چین بررسی کردند. نتایج استخراج متوالی نشان داد که کمپلکس‌های آلی-فلزی و کمپلکس‌های قوی جیوه کسر عمده جیوه در رسوبات را به خود اختصاص می‌دهد در حالی که جیوه موجود در فازهای قابل تحرک، کم‌تر از ۰/۵٪ از کل جیوه را شامل می‌شوند. هم‌چنین نتایج نشان داد که ارتباط معنی-داری بین میزان کل جیوه، میزان استخراج جیوه و میزان مواد آلی رسوبات وجود دارد و لذا مواد آلی رسوبات نقش کنترل‌کننده در توزیع، تحرک پذیری و دسترسی زیستی جیوه دارند. Chakraborty و همکاران (۲۰۱۴) (۹) فرم‌های شیمیایی جیوه را در سواحل غربی هند با استفاده از یک روش استخراج متوالی اصلاح شده مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه نشان داد که بر هم کنش بین جیوه و رسوبات ساحلی بیش‌تر تحت تأثیر اندازه ذرات (ماسه، سیلت و رس) و مقدار کل مواد آلی (TOC) رسوبات قرار می‌گیرد.

خورها و سواحل از عمده ترین مکان‌های رسوب‌گذاری و هم‌چنین به‌عنوان مکان‌های ته‌نشینی بسیار مهمی برای آلاینده‌ها محسوب می‌شوند و این آلاینده‌ها می‌توانند روی رسوبات کف و موجودات تجمع پیدا کنند (۱۰). بنابراین رسوبات به‌عنوان یک شناساگر محیط زیستی به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند و توانایی آن‌ها در آلودگی محیط به فلزات سنگین به ویژه مشخص شده است (۱۱).

خور موسی راه ارتباطی محدودی با خلیج فارس دارد و هم‌چنین به‌علت حضور تعداد زیادی از صنایع پتروشیمی در محدوده آن و مجاورت با پرترددترین بنادر تجاری ایران یعنی بندر ماهشهر و بندر امام خمینی و وجود اسکله‌های نفتی و مجتمع‌های پتروشیمی، روزانه مقادیر زیادی از آلاینده‌های متفاوت آلی و معدنی به‌خصوص فلز سنگین جیوه را دریافت می‌کند. این آلاینده به‌شدت اکوسیستم و موجودات آبی موجود در منطقه را تهدید می‌نماید (۱۲). دستیابی زیستی فلز سنگین جیوه و

خوزستان، زاگرس چین خورده و زاگرس رو رانده تقسیم می-شود (۱۳). پیش روی خلیج فارس در سواحل خوزستان خورهای متعددی را ایجاد کرده است که در این میان خور موسی با ۲۶ انشعاب، یکی از خورهای درخور توجه است که شاخه‌ایی مثلثی شکل در منتهی‌الیه شمال غربی خلیج فارس است. آب‌وهوای آن نیمه گرمسیری و مشخصاً دارای دو فصل زمستان و تابستان با میانگین دمای سالانه ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

در این مطالعه از بین انشعابات خور موسی، دو خور پتروشیمی و خور جعفری مورد بررسی قرار گرفتند. نقشه منطقه مورد مطالعه و محل‌های نمونه‌برداری شده در شکل ۱ نشان داده شده است. جدول ۱ موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

تعیین مقادیر این فلز در رسوبات برای ارزیابی خطرات محیط زیستی و تحرک آلاینده‌های تجزیه‌ناپذیر در زیست‌بوم‌های آبی از اهمیت زیادی برخوردار است. از این رو منطقه مورد نظر جهت بررسی دستیابی زیستی فلز جیوه در رسوبات مورد مطالعه قرار گرفت.

روش تحقیق

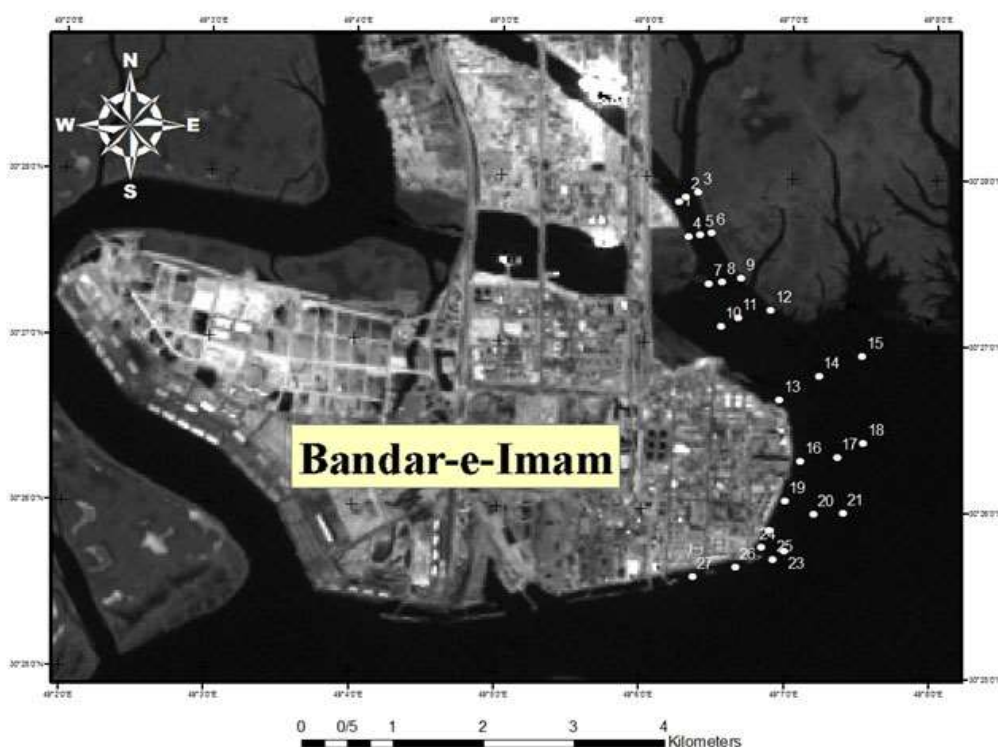
منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه (خلیج فارس) جزئی از زون زاگرس می‌باشد، این زون ناحیه‌ی جنوب و جنوب غربی ایران را در برمی‌گیرد. حد غربی آن تراست اصلی زاگرس و حد شرقی آن گسل میناب است که آن را از زون مکران جدا می‌کند. زون زاگرس خود به سه زون کوچک‌تر به نام‌های دشت

جدول ۱. موقعیت نمونه‌ها

Table1- Location of samples

ایستگاه	Y	X	عمق	ایستگاه	Y	X	عمق
S1-1	E۴۹° ۶' ۱۳/۷۶"	N۳۰° ۲۷' ۵۱/۳۲"	۰/۵	S۵-۳	E۴۹° ۷' ۳۰/۷۳"	N۳۰° ۲۶' ۵۶/۲۸"	۱/۵
S1-2	E۴۹° ۶' ۱۶/۶۶"	N۳۰° ۲۷' ۵۲/۷۹"	۳/۱	S۶-۱	E۴۹° ۷' ۵/۸۷"	N۳۰° ۲۶' ۱۸/۰۲"	۳
S1-3	E۴۹° ۶' ۲۱/۸۳"	N۳۰° ۲۷' ۵۴/۸۵"	۰/۵	S۶-۲	E۴۹° ۷' ۲۱/۰۹"	N۳۰° ۲۶' ۱۹/۷۶"	۱۰/۳
S2-1	E۴۹° ۶' ۱۷/۹۴"	N۳۰° ۲۷' ۳۸/۷۵"	۱/۳	S۶-۳	E۴۹° ۷' ۳۱/۷۱"	N۳۰° ۲۶' ۲۵/۰۲"	۲/۴
S2-2	E۴۹° ۶' ۲۳/۰۳"	N۳۰° ۲۷' ۳۹/۴۴"	۴/۶	S7-1	E۴۹° ۶' ۵۹/۷۳"	N۳۰° ۲۶' ۳/۷۴"	۲/۳
S2-3	E۴۹° ۶' ۲۷/۶۶"	N۳۰° ۲۷' ۴۰/۱۵"	۰/۴	S7-2	E۴۹° ۷' ۱۱/۵۱"	N۳۰° ۲۵' ۵۹/۱۳"	۱۲/۶
S3-1	E۴۹° ۶' ۲۶/۸۶"	N۳۰° ۲۷' ۲۱/۶۶"	۰/۸	S7-3	E۴۹° ۷' ۲۳/۹۲"	N۳۰° ۲۵' ۵۹/۳۸"	۱۵/۶
S3-2	E۴۹° ۶' ۳۲/۱۶"	N۳۰° ۲۷' ۲۲/۵۸"	۲/۳	S8-1	E۴۹° ۶' ۵۳/۳۴"	N۳۰° ۲۵' ۵۲/۸۹"	۴/۲
S3-3	E۴۹° ۶' ۴۰/۲۷"	N۳۰° ۲۷' ۲۴/۰۳"	۰/۶	S8-2	E۴۹° ۶' ۵۹/۶۷"	N۳۰° ۲۵' ۴۵/۶۱"	۱۸/۶
S4-1	E۴۹° ۶' ۳۲/۱۸"	N۳۰° ۲۷' ۶/۳۵"	۰/۸	S9-1	E۴۹° ۶' ۵۱/۰۵"	N۳۰° ۲۵' ۱۰/۵۴"	۲/۷
S4-2	E۴۹° ۶' ۳۹/۱۲"	N۳۰° ۲۷' ۹/۴۳"	۰/۹	S9-2	E۴۹° ۶' ۵۵/۰۱"	N۳۰° ۲۵' ۴۲/۳۰"	۱۸/۳
S4-3	E۴۹° ۶' ۵۲/۶۸"	N۳۰° ۲۷' ۱۲/۳۳"	۰/۶	S10-1	E۴۹° ۶' ۳۹/۷۸"	N۳۰° ۲۵' ۳۹/۲۸"	۸/۹
S5-1	E۴۹° ۶' ۵۶/۸۲"	N۳۰° ۲۶' ۴۰/۲۳"	۱/۳	S11-1	E۴۹° ۶' ۲۱/۸۹"	N۳۰° ۲۵' ۳۵/۸۸"	۳/۸
S5-2	E۴۹° ۷' ۱۳/۰۰"	N۳۰° ۲۶' ۴۸/۸۴"	۴/۱				



شکل ۱- موقعیت نمونه‌ها و ایستگاه‌ها

Fig1- Location of samples and sites

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

در این مطالعه به منظور سنجش و تعیین غلظت و دستیابی زیستی جیوه در منطقه جزر و مدی خور پتروشیمی و خور جعفری، نمونه‌برداری در فصل بهار ۱۳۹۵ از رسوبات سطحی (۰ تا ۲۰ cm) انجام پذیرفت (۱۴). که در طی آن ۲۷ نقطه از ۱۱ ایستگاه منطقه‌ی خور موسی، شامل خورهای جعفری، پتروشیمی بندر امام خمینی (ره)، که پساب‌های صنعتی منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر و بندر امام خمینی به آب‌های آن منطقه تخلیه می‌گردد، با استفاده از گرب ون وین نمونه‌برداری شد. در طی نمونه‌برداری، سعی بر این بود که نمونه‌برداری به صورت آرایش شعاعی و برای دقت بیشتر به صورت مرکب با روند افزایش فاصله از خط ساحلی برداشت شود. اما به دلیل شرایط حاکم بر منطقه، در بعضی ایستگاه‌ها امکان نمونه برداری در طول شعاع در نظر گرفته شده مقدور نبود و تنها یک یا دو نمونه از آن ایستگاه برداشت شد. نمونه‌های رسوب

برداشت‌شده از وسط هر گرب و با استفاده از قاشق پلاستیکی داخل کیسه‌های پلاستیکی حاوی برچسب اطلاعات قرار داده شد و به آزمایشگاه منتقل گردید. موقعیت جغرافیایی این ایستگاه‌ها توسط دستگاه (GPS) (Global Positioning System) (مدل CX ۱۲) و همچنین میزان pH، دمای آب، هدایت الکتریکی هر ایستگاه با مولتی‌متر تعیین شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، جهت آماده‌سازی آن‌ها در ابتدا نمونه‌های جمع‌آوری شده در دمای محیط (۲۵ درجه سانتی-گراد) خشک شدند و به حالت همگن درآمدند و سپس از الک ۲۳۰ مش (۶۳ میکرون) عبور داده شدند تا به صورت یک نمونه هموژن برای انجام آزمایش‌ها به کار روند.

به منظور هضم رسوبات برای تعیین غلظت فلز جیوه، از روش هضم اسیدی که شامل مخلوطی از ۱ گرم از هر نمونه خشک‌شده به همراه ۴ میلی‌لیتر نیتریک اسید غلیظ و ۲

روش استخراج ترتیبی BCR که یک روش آزمایشگاهی و تجزیه‌ای است که در آن با استفاده از حلال‌های شیمیایی فازهای مختلف ژئوشیمیایی فلزات در نمونه‌های رسوب و در طی ۳ مرحله عملیاتی جدا می‌شوند، استفاده گردید (جدول ۱). این روش از طریق واسطه‌هایی همانند اسید استیک (۰/۱۱ مول بر لیتر)، کلرید آلومینیوم هیدروکسید (۰/۱ مول بر لیتر) پرو کسید هیدروژن (۸/۸ مول بر لیتر) و استات آمونیوم (۱ مول بر لیتر) فلزات سنگین را از فاز جامد وارد محلول می‌کنند که به ترتیب شامل فلزات موجود در فاز قابل‌تبادل، کاهش پذیر و اکسیدان می‌باشد. در جدول ۱ مراحل و مواد این روش ذکر گردیده است (۱۶).

میلی‌لیتر سولفوریک اسید غلیظ بود، استفاده شد. پس از پوشاندن درب لوله‌های هضم که حاوی این مخلوط بودند، نمونه‌های رسوب یک ساعت در دمای اتاق و ۳ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد بر روی هات پلیت قرار داده شدند. پس از سرد شدن نمونه‌های هضم شده، ۰/۵ میلی‌لیتر محلول ۱۰ درصد پتاسیم دی کرومات به آن‌ها افزوده گردید. سپس نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شد و در بالن‌های ژوژه به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شدند (۱۵) محلول صاف‌شده در ظروف پلی‌اتیلنی مخصوص تا هنگام خوانش مقدار غلظت جیوه، در یخچال نگهداری شدند. جهت آنالیز غلظت جیوه در بخش‌های ژئوشیمیایی رسوب از

جدول ۲- مراحل مختلف BCR

Table 2.- BCR stages

مراحل استخراج	واکنشگر / غلظت / اسیدیته	فاز محلول
۱	اسیداستیک ۰/۱۱ مولار. pH = ۲/۸۵	بخش تبدالی، آب و محلول اسید (مانند کربنات‌ها)
۲	هیدروکسی آمونیوم کلرید ۰/۱ مولار. pH = ۲	بخش کاهنده (مانند اکسیدهای آهن، منگنز)
۳	هیدروژن پروکسید ۸/۸ مولار، آمونیوم استات ۰/۱ مولار ۲ pH = تیزاب سلطانی	بخش اکسنده (مانند مواد آلی و سولفیدها) باقی‌مانده، فلزات غیر سیلیکاتی

آزمون همبستگی اسپیرمن استفاده شد. کلیه آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام گرفت.

نتایج

نتایج حاصل از توصیف آماری غلظت فلز جیوه (میلی‌گرم بر لیتر)، pH، مواد آلی در رسوبات در جدول (۳) نشان داده شده است که با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول، غلظت جیوه در محدوده ۲/۱۹ تا ۴۵/۷۱ میلی‌گرم بر لیتر با میانگینی برابر ۹/۲۳ میلی‌گرم بر لیتر قرار دارد. اسیدیته رسوبات در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای میانگین ۸/۴۴ و در محدوده ۷/۹۳ تا ۸/۸۳ متغیر است. اسیدیته منطقه مورد مطالعه

به منظور اندازه‌گیری pH و مواد آلی رسوبات به ترتیب از روش D ۹۰۴۵ آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (۱۷) و روش کوره (۱۸) استفاده شد. برای قرائت فلزات سنگین از دستگاه مرکوری آنالایزر (Mercury Analyzer) مدل ۳۰۰۰ VM-MERCURY VAPOR MONITOR موجود در واحد پتروشیمی بندر امام با دقت ppb استفاده شد. در این دستگاه از استاندارد CRM ۰۲۴-۰۵۰ استفاده شد

آنالیز و تجزیه تحلیل آماری

پس از جمع‌آوری و ثبت داده‌ها، نرمال بودن آن‌ها به‌وسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. به‌علت نرمال نبودن غلظت‌های بدست آمده، برای بررسی همبستگی بین داده‌ها از

بر اساس مقدار میانگین و دامنه تغییرات مشاهده شده، در بازه-
 ی قلیایی قرار می‌گیرد. حداکثر و حداقل میزان مواد آلی
 اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۱۸/۲۱ و
 ۷/۷۲، با میانگین ۱۳/۵۷ می‌باشد. مقدار میانگین EC در
 منطقه مورد مطالعه نیز، ۳۰/۰۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر
 اندازه‌گیری شد.

جدول ۳- نتایج حاصل از توصیف آماری پارامترهای اندازه‌گیری شده در رسوبات منطقه مورد مطالعه (میلی‌گرم بر لیتر)

Table3- Descriptive statistics of measured parameters in sediments(mg/l)

پارامترها	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
pH	۷/۹۳	۸/۸۳	۸/۴۴	±۰/۲۴۲
HgT	۲/۱۹	۴۵/۷۱	۹/۲۳	±۹/۳۲۶
OMT	۷/۷۲	۱۸/۲۱	۱۳/۵۷	±۳/۳۴۴
EC	۱۰/۶۵	۵۱/۴۰	۳۰/۰۵	±۷/۹۳۸

نتایج ضریب همبستگی بین عوامل اندازه‌گیری شده در رسوبات در جدول (۲) ارائه شده است

جدول ۴- بررسی همبستگی بین غلظت فلز سنگین جیوه در نمونه‌های رسوب، مواد آلی، pH و EC

Table4- Correlation coefficient between mercury and OM, pH, EC

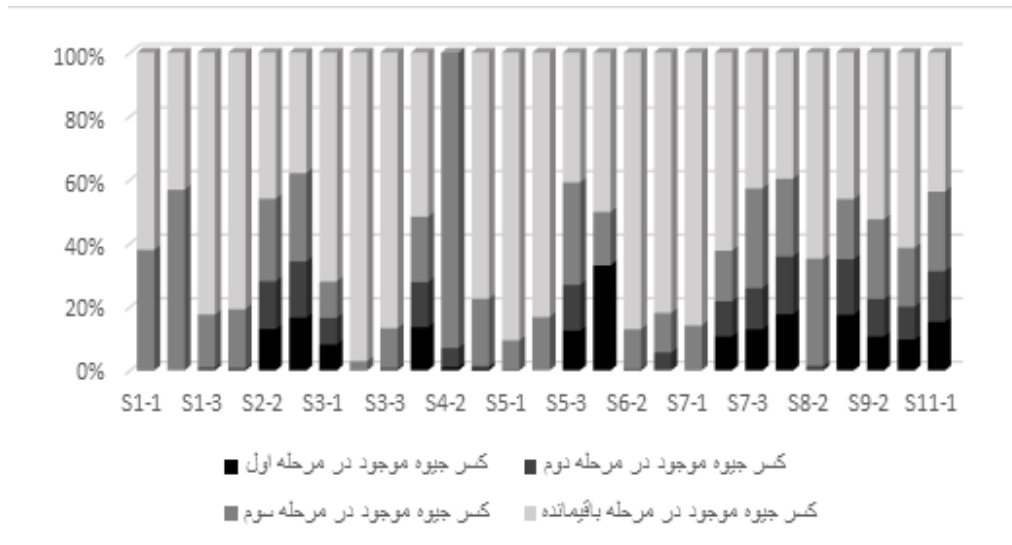
پارامترها	Hg	مواد آلی	EC	pH
Hg	۱	۰/۶۲۵**	۰/۲۲۸	-۰/۱۴۵
مواد آلی	-	۱	۰/۴۰۷*	-۰/۰۵۹
EC	-	-	۱	-۰/۳۲۲
pH	-	-	-	۱

** همبستگی با احتمال خطای کم‌تر از ۰/۰۱ معنی دار است ($p > 0/05$).

* همبستگی با احتمال خطای کم‌تر از ۰/۰۵ معنی دار است ($p > 0/05$).

طور که مشاهده می‌شود در رسوبات نمونه برداری شده از
 منطقه مورد مطالعه، ایستگاه S_{9-1} هم در بخش تبادل پذیر و
 هم در بخش باقی‌مانده بیش‌ترین مقدار جیوه را دارد.

با توجه به تقسیم‌بندی اعمال شده در شکل (۲) مشاهده می-
 شود که بیش‌ترین میزان جیوه اندازه‌گیری شده و آلوده‌ترین
 ایستگاه در نمونه‌های برداشت شده از منطقه، در ایستگاه S_{9-1}
 و کم‌ترین میزان آن در ایستگاه S_{1-2} مشاهده می‌شود. همان-



شکل ۲- نمودار ستونی استخراج ترتیبی BCR در نمونه های رسوب

Fig 2- Histogram of sequential extraction of BCR in sediments

بحث

آلودگی در منطقه مورد مطالعه، به صورت نقطه‌ای است. وجود این اختلافات بر اثر مجاورت با صنایع مختلف واقع در محدوده مورد مطالعه به خصوص صنایع پتروشیمی، فراوانی حمل و نقل کشتی‌ها در اسکله‌های مختلف، و نیز تخلیه و بارگیری انواع مواد سوختی، کالاهای نفتی، مواد معدنی و همچنین ریزش مواد آلاینده در اسکله‌های مختلف است. ایستگاه S₉₋₁ در مجاورت خروجی فاضلاب واحد کلروآلکالی و همچنین در مجاورت اسکله قرار گرفته است. بدین ترتیب علت آلودگی بالا جیوه در این ایستگاه را می‌توان به مجاورت با خروجی فاضلاب و اسکله کشتی‌ها دانست، به طوری که با فاصله گرفتن از این ایستگاه از میزان جیوه در رسوبات کاسته می‌شود. در دیگر ایستگاه‌ها نیز با فاصله گرفتن از ساحل از مقدار غلظت جیوه کاسته می‌گردد در بسیاری از مطالعات صورت گرفته در نقاط دیگر نیز چنین روندی مشاهده شده است. بطور مثال Ullrich و همکاران (۲۳) نیز در سال ۲۰۰۷ اثر تخلیه پساب حاوی جیوه از کارخانه تولید کلرآلکالی بر بوم سامانه دریایچه در Balkyldak در Pavlodar در شمال قزاقستان را مورد بررسی قرار دادند. رسوبات این دریایچه در لایه‌های سطحی در نزدیکی لوله‌های تخلیه پساب، بیش از ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر

با افزایش رشد سریع صنعت و شهری شدن خارج از کنترل نواحی ساحلی، سطح آلودگی در محیط زیست آبی به حد هشدار رسیده است (۱۹). خورهای جعفری و پتروشیمی واقع در خور موسی نیز از جمله مناطقی هستند که آلاینده‌های صنعتی و شهری متعددی به آن‌ها وارد می‌شود. کارخانه‌های کلروآلکالی جیوه‌ی معدنی را به عنوان پسماند وارد محیط‌های آبی می‌کنند (۲۰، ۲۱). و از آنجایی که جیوه‌ی معدنی حلالیت کمی در آب دارد و همچنین جنس بستر خورموسی از نوع رس می‌باشد، جیوه‌ی تخلیه شده به محیط (دارای بار مثبت) با رس (دارای بار منفی) تشکیل کمپلکس پایدار داده و در سطح بستر ته‌نشین می‌گردد. بدین ترتیب انتظار می‌رود که با افزایش فاصله از محل خروج پساب، به تدریج از میزان غلظت جیوه کاسته شود (۲۲). در این مطالعه، همان‌طور که ذکر گردید، بین مقادیر فلز جیوه اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف اختلافات قابل توجهی مشاهده شده است و بیش‌ترین میزان جیوه اندازه‌گیری شده در نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه، در ایستگاه S₉₋₁ و کم‌ترین میزان آن در ایستگاه S₁₋₂ مشاهده گردید است (جدول ۳). با توجه به علل ذکر شده، این اختلافات می‌تواند حاکی از این باشد که منابع

توان مشاهده کرد (۲۴). چنین روندی نیز در نقاط ایستگاه نمونه برداری شماره ۲ مشاهده گردیده است.

در ایستگاه شماره ۳ و ۴، بر خلاف ایستگاه شماره ۱ و ۲، میزان غلظت جیوه در دومین نقطه نمونه برداری شده از هر ایستگاه ($S_{۳-۲}$ و $S_{۴-۲}$) نسبت به اولین و سومین نقاط نمونه برداری شده از همان ایستگاه افزایش یافته است. با توجه به شکل (۱)، این افزایش در دومین نقطه نمونه برداری شده از ایستگاه ۳ و ۴ ممکن است به علت افزایش عرض مجرای جریان آب نسبت به عرض مجرای جریان آب در ایستگاههای شماره ۱ و ۲ باشد.

تعدادی از استانداردهای جهانی برای رسوب در جدول ۳-۴ ارائه شده است. نتایج حاصل از مقایسه‌ی مطالعه‌ی حاضر با این استانداردها نشان می‌دهد که میانگین غلظت جیوه در رسوبات ایستگاههای مورد بررسی ($۹/۲۳$ میلی‌گرم بر لیتر) از استانداردهای ERM^1 (حدی که کم‌تر از ۵۰ درصد جوامع بیولوژیک در خطر هستند) و PEL^2 (میزان احتمال اثر) و همچنین از سطح ERL^3 (حدی که کم‌تر از ۱۰ درصد جوامع بیولوژیک در خطرند) بیش‌تر است.

جیوه داشت که این میزان جیوه تهدیدی جدی را برای بوم سامانه دریاچه به دنبال داشت.

در طول ایستگاه نمونه برداری شماره یک همان‌طور که در بالا ذکر شد، انتظار می‌رود که مقدار غلظت جیوه با افزایش فاصله از ساحل کاهش یابد، که چنین روندی نیز تا نقطه نمونه برداری دوم ($S_{۱-۲}$) در این ایستگاه دیده شده اما در نقطه سوم ایستگاه شماره یک ($S_{۱-۲}$)، نسبت به نقطه دوم همین ایستگاه ($S_{۱-۲}$) غلظت افزایش یافته است اما نسبت به اولین نقطه نمونه برداری شده ($S_{۱-۱}$) در طول ایستگاه، دارای غلظت کم-تری از جیوه است. علت این افزایش غلظت جیوه در $S_{۱-۳}$ نسبت به $S_{۱-۲}$ را می‌توان به بیش‌تر بودن سرعت جریان آب در نقطه $S_{۱-۲}$ (که تقریباً در قسمت میانی کانال جریان قرار دارد) در طول ایستگاه شماره یک (S_1) مربوط دانست. در یک کانال باز، سرعت جریان در نقاط مختلف یک مقطع یکسان نمی‌باشد. از مهم‌ترین علل این عدم یکنواختی می‌توان به اصطکاک در طول مسیر جریان و هم‌چنین اصطکاک سطح آزاد سیال با هوا اشاره کرد بر این اساس در یک مجرای جریان، بیش‌ترین میزان سرعت جریان را در قسمت میانی مسیر می

جدول ۵- استانداردهای مختلف NOAA^۴ برای رسوبات (۲۵)

Standards of NOAA for sediments (25)- Table5

استاندارد	غلظت جیوه (میلی گرم بر لیتر)
ERL ^۳	۰/۲
ERM ^۱	۰/۷
PEL ^۲	۰/۷
مطالعه‌ی حاضر	۹/۲۳

1- Effects Range Medium

2 - Probable Effect Level

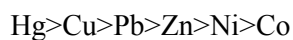
3 - Effects Range Low

4- National Oceanographic and Atmospheric Administration

اکسیدهای آهن و منگنز نقش مهمی در نگه‌داشت فلزات در رسوبات ایفا می‌کنند (۲۹). متوسط سهم جیوه در این بخش، ۵/۵۷ درصد از غلظت جیوه کل در هر ایستگاه می‌باشد. جیوه متصل به این بخش، تحت تغییر شرایط احیا ممکن است محلول و قابل دسترس شوند (۳۰، ۳۱، ۳۲).

Ram و همکاران (۲۰۰۹) (۳۳) گزارش کردند که حداکثر ۱/۵ درصد از جیوه رسوب خوریات Ulhas (هند) متصل به اکسیدهای آهن و منگنز می‌باشد. دلیل این موضوع را احیای اکسیدهای آهن و منگنز رسوبات سطحی به دلیل ورود مواد آلی پساب صنایع و کاهش اکسیژن آب در فصل خشک نسبت دادند که موجب رهاسازی جیوه متصل به آن‌ها می‌گردد. جیوه محلول در آب دوباره می‌تواند جذب مواد آلی و سولفیدهای آهن رسوب شود و به بخش باقی‌مانده جیوه ملحق گردد که پایداری بیشتر دارد و مدت زمان بیشتر در آن می‌ماند.

ماده آلی نیز می‌تواند عاملی مهم در جذب یا پراکندگی جیوه باشد (۲۹ و ۳۳). در رسوبات مورد مطالعه، سهم جیوه در این جزء تقریباً ۱۵/۵۱ درصد از میزان جیوه کل رسوبات را تشکیل داده است. در سیستم‌های آبی، مواد آلی درجه بالایی از گرینش‌پذیری را نسبت به یون‌های دو طرفیتی در مقایسه با یون‌های تک طرفیتی نشان می‌دهند. معمولاً روند قدرت اتصال یون‌های فلزی به مواد آلی به ترتیب زیر می‌باشد:



با توجه به این روند، که بیان‌گر تمایل زیاد جیوه برای اتصال به مواد آلی است (۳۴) و همچنین با توجه به مقادیر بالای مواد آلی بدست آمده در رسوبات منطقه مورد مطالعه، درصد جیوه موجود در این بخش توجیه پذیر است. Raeisi و همکاران (۲۰۱۴) (۳۵)، طی مطالعه‌ای که بر روی رسوبات خورهای سواحل خوزستان انجام دادند، درصد جیوه وابسته به مواد آلی رسوبات را ۱۶/۶ گزارش کردند.

فلزاتی که در جزء باقی‌مانده سهم دارند فلزاتی غیر متحرک و پایدار به حساب می‌آیند. در رسوبات مورد مطالعه، ۴۵/۷۹

مقدار جیوه در پوسته‌ی خلیج فارس بسیار ناچیز بوده و مقدار این عنصر شیمیایی در رسوبات آن، قبل از صنعتی شدن منطقه، ۰/۰۵ میلی گرم بر لیتر گزارش شده است (۲۵، ۲۶).

براساس نتایج بدست آمده در جدول ۳، به طور متوسط تقریباً ۵/۱۰ درصد از غلظت جیوه کل هر ایستگاه، در فاز تبادل‌پذیر قرار گرفته است که در بین ایستگاه‌های مورد بررسی ایستگاه ۱-S_۹، بیش‌ترین غلظت جیوه در این فاز را دارد. متوسط سهم جیوه در بخش کاهنده و بخش اکسنده به ترتیب، ۵/۵۷ و ۱۵/۵۱ درصد از غلظت جیوه کل در هر ایستگاه می‌باشد و فاز باقی‌مانده با متوسط ۴۵/۷۹ درصد از جیوه کل رسوبات، بیش‌ترین مقدار جیوه را به خود اختصاص داده است.

در این مطالعه، روند دستیابی زیستی عناصر بدین صورت جیوه تبادل‌پذیر \approx جیوه وابسته به اکسیدهای آهن و منگنز > جیوه وابسته به بخش مواد آلی > جیوه وابسته به بخش باقی‌مانده تغییر می‌کند. بدین ترتیب بخش اعظم فلز جیوه با بخش غیر تبادل‌پذیر همراه هستند و نمی‌تواند تحت شرایط فیزیکیوشیمیایی حاکم (pH قلیایی) بین آب و رسوب مبادله شوند. فلزاتی که در بخش تبادل‌پذیر قرار می‌گیرند به علت داشتن پیوندهای الکترواستاتیک ضعیف به راحتی تحت تأثیر فرایندهای تبادل یونی (جذب/ واجذب) قرار می‌گیرند. pH و یا قدرت یونی آب نیز بر این فرایندها اثر می‌گذارد (۲۷). در رسوبات نمونه‌برداری شده از منطقه مورد مطالعه، به طور متوسط تقریباً ۵/۱۰ درصد از غلظت جیوه کل هر ایستگاه، در این فاز قرار گرفته است. pH ای که ۵۰ درصد فلزات در اثر جذب بر روی رسوبات از ترکیب آب حذف می‌شوند حدود ۴ است که به آن pH_{۵۰} یا لبه جذب (Sorption Edge) گفته می‌شود (۲۸). این بدان معنی است که در pH بیش از ۴، تقریباً همه فلزات (به جز چند استثناء) جذب رسوبات می‌شوند. با توجه به این مطلب و همچنین با در نظر گرفتن محدوده تغییرات pH (قلیایی) مشاهده شده در نمونه‌های آب و رسوب، کم بودن غلظت جیوه در جزء تبادل‌پذیر قابل توجه است.

بنابراین جیوهی تجمع یافته در رسوبات نزدیک به ساحل، از این منابع منشا گرفته است و سطح آلودگی فلز سنگین جیوه در رسوبات به شدت وابسته به این منابع است. از دیگر نتایج این مطالعه می‌توان به مقایسه‌ی میزان جیوه رسوبات با استانداردهای جهانی اشاره کرد که نشان داد جیوهی اندازه‌گیری شده از حد مخاطره آمیز استانداردهای ERM و PEL و همچنین از سطح ERL بیش‌تر بوده است. این امر می‌تواند تهدیدی جدی برای سلامت محیط زیست و موجودات منطقه محسوب شود؛ از اینرو نیازمند نظارت بیش‌تر در منطقه است. بر مبنای نتایج تجزیه‌ی استخراج ترتیبی، در رسوبات مورد مطالعه، فلز سنگین جیوه عمدتاً در فاز باقی‌مانده حضور دارند (درصد غلظت کل). اگرچه جیوه موجود در رسوبات مورد مطالعه بیش‌تر در فاز باقی‌مانده قرار دارد و درصد کمی از آن در فازهای متحرک قرار دارد، اما اگر ورود این فلز به محیط‌های آبی و سپس رسوبات کنترل نشود، با گذشت زمان خطراتی در ارتباط با زیست‌انباشت این فلز در زنجیره غذایی بوجود خواهد آمد.

منابع

1. Guo H, Luo S, Chen L, Xiao X, Xi Q, Wei W., 2010. Bioremediation of heavy metals by growing hyperaccumulaor endophytic bacterium *Bacillus* sp. L14. *Bioresource Technology*; 101(22):8599-605.
2. Järup L., 2003. Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*; 68(1):167-82.
3. Shajan, K.P., 2001. Geochemistry of bottom sediments from a river-estuary-shelf mixing zone on the tropical southwest coast of India. *Bull. Geol. Surv. Japan*. 52(8):371-382.
4. Macklin, M.G., 1996. Fluxes and storage of sediment-associated heavy metals in floodplain systems: assessment and river basin

درصد از جیوه کل رسوبات را این بخش به خود اختصاص داده است. پژوهش‌گران اجزای بخش‌های ناپایدار (تبادلی، اکسیدهای آهن و منگنز و مواد آلی) را حاصل ورود فلزات در نتیجه فعالیت‌های انسانی و بخش پایدار را در نتیجه حضور طبیعی آن‌ها در پوسته زمین می‌دانند (۳۶، ۳۷). در این مطالعه با توجه به مقادیر بالای اندازه‌گیری شده مواد آلی در منطقه مورد مطالعه، انتظار می‌رفت که بیش‌ترین مقدار جیوه، در بخش متصل به مواد آلی مشاهده گردد اما نتایج بیش‌ترین مقدار جیوه را در بخش متصل به باقی‌مانده‌ها نشان داد. غلظت بالای جیوه در بخش باقی‌مانده در مقایسه با دیگر بخش‌های رسوب (به‌ویژه بخش متصل به مواد آلی)، ممکن است به تشکیل سولفیدهای معدنی جیوه که در سطرهای بالا ذکر شد، مرتبط باشد. Ram و همکاران (۲۰۰۹) (۳۸)، چنین روندی را برای جیوه باقی‌مانده‌ی رسوبات سواحل اقیانوس هند گزارش کردند. اسدی نیا و همکاران (۱۳۹۳) (۳۹) در مطالعه خود بر روی ترکیبات جیوه در رسوبات خور موسی گزارش کردند که، محتوای اکسید آهن رسوب اثر قابل توجهی در افزایش غلظت جیوه متصل به این بخش نشان داده است. نتایج این مطالعه نشان داد که حدود ۷۵٪ جیوه موجود در رسوب، زیست‌دسترس پذیر نیست.

در مطالعه حاضر، بر اساس نتایج ارائه شده، بخش اعظم فلز جیوه با بخش غیر تبادلی پذیر همراه هستند و نمی‌تواند تحت شرایط فیزیکوشیمیایی حاکم (pH قلیایی) بین آب و رسوب مبادله شوند. در نتیجه از سمیت بسیار کمی برای ارگانسیم‌ها در محیط‌های آبی برخوردار هستند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تصویری کلی از شرایط زیست محیطی خورهای پتروشیمی و جعفری با تاکید بر جیوه ارائه شده است. براساس نتایج ارائه شده، مقادیر بالای جیوهی به‌دست آمده به ایستگاه‌های نزدیک به خروجی پساب واحد کلروآلکالی تعلق داشت که با افزایش فاصله از این ایستگاه‌ها و ساحل، مقدار جیوه کل در رسوبات نسبت به مناطق نزدیک به ساحل، کاهش می‌یابد.

- Spain). *J. Geol. Soc. India.* 15: 150-157.
12. Salamat, N., Soleimani, Z., Safahieh, A., Savari, A., Ronagh, M.T., 2013. Using Histopathological changes as a biomarker to trace contamination loading of Musa Creeks (Persian Gulf). *Toxicologic Pathology*, 41: 913-920.
 13. Aghanabati, A., 2004., *Geology of Iran.* GSI press. 708p (in Persian).
 14. USEPA., 1999. Distribution and Transport of Total Mercury and Methylmercury in Mercury-contaminated Sediments in Reservoirs and Wetlands of the Sudbury River, East-Central Massachusetts. *water-Resources Investigations Report 99-4060.*
 15. Moopam., 1999. *Manual of Oceanographic Observations and Pollutant Analyses Methods.* Regional Organization for the Protection of the Marine environment, Kuwait.
 16. Quevauviller PH, Rauret G, López-Sánchez JF, Rubio R, Ure A, Muntau H., 1997. Certification of trace metal extractable contents in a sediment reference material (CRM 601) following a three-step sequential extraction procedure. *Sci. Total Environ.* 205, 223–234.
 17. USEPA (U.S. Environmental Protection Agency)., 1997. *Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical/Chemical Methods (SW-846).*
 18. Buchanan, J. B., 1984. Sediment analysis chap 30in: *Methos for the study of marine benthos*, Ed: N.A.Holme and A. D. macIntyre black well, Oxford.
 - management issues at a time of rapid environmental change, P 441-60. In: M.G. Anderson, D.E. Walling and P.D. Bates (Eds.), *Floodplain Processes*, Wiley, Chichester.
 5. Kratzer, C.R., 1999. Transport of sediment-bound organochlorine pesticides to San Joaquin River. California. *J. Am. Water Res. Assoc.* 35: 81-957.
 6. McKnight, D.M., Bencala, K.E., 1989. Reactive iron transport in an acidic mountain stream in Summit Country, Colorado: a hydrologic perspective. *Geochem et Cosmo. Acta.* 53: 34-2225.
 7. Singh, K.P., Mohan, M., Singh, V.K., Malik, M., 2005. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomati river sediment – a tributary of the Ganges, *Ind. J. Hydrol.* 312: 14-27.
 8. Yu, X., Li, H., Pan, K., Yan, Y., Wang., 2012. Mercury distribution, speciation and bioavailability in sediments from the Pearl River Estuary, Southern China, *Marine pollution Bulletin*, 64: 1699-1704.
 9. Chakraborty, P., Babu, P.V.R., Vudamala, K., Ramteke, D., 2014a. Mercury speciation in coastal sediments from the central east coast of India by modified BCR method. *Mar. Pollut. Bull.* 81, 282–288.
 10. Barbara, G; Olga, B; Marta, K; Justyna, W., 2016. Mercury in marine and oceanic waters- a review. *Water Air and Soil pollution.* 227(10); 371.
 11. Bermejo Santos, J.C., Beltran, R., and Ariza. G., 2003. Spatial variations of heavy metals contamination in sediments from Odiel river (South

- Environmental Science and Technology, 6(4): 651-662.
26. Dehghan Madiseh, S., Savary, A., Parham, H. and Sabzalizadeh, S., 2009. Determination of the level of contamination in Khuzestan coastal waters (Northern Persian Gulf) by using an ecological risk index. *Environmental Monitoring and Assessment*. 159: 521-530.
 27. Tessier, A., Campbell, P. G. C., Bisson, M., 1979. Sequential extraction procedure for the the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51 (7), pp 844-851.
 28. Jung, H-B., Yun, S.T., Mayer, B., Kim, S., Park, S.S, Lee, P.K., 2005. Transport and sediment- water partitioning of trace metals in acid mine drainage: an example from the abandoned Kwangyang Au-Ag mine area, South Korea", *Environmental Geology* 48(5) 437-449.
 29. Salomons, W., Forstner, U., 1984. *Metals in the Hydrocycle*. Springer-Verlag, New York, 349.
 30. Tokalioglu. S., Kartal, S., Birol, G., 2003. Application of a Three-Stage Sequential Extraction Procedure for the Determination of Extractable Metal Contents in Highway Soils, *Turk J Chem* 27,333- 346.
 31. Araujo, B; Hintelmann, H; Dimock, B; Sobrinho, R; Bernardes, M; Almeida, M; Krusche, Alex ;Thiago Pessanha, R; Fabiano, T, Carlos, R., 2017. Mercury speciation and Hg stable isotope ratios in sediments from Amazon floodplain lakes—Brazil. *Limnology and Oceanography*, 10.1002/lno.10758.
 32. Krupadam, R.J.; Smita, P.; Wate, S.R., 2006. Geochemical fractionation of
 19. Naji, A., Ismail, A., Ismail, A R., 2010. Chemical speciation and contamination assessment of Zn and Cd by sequential extraction in surface sediment of Klang River, Malaysia. *Micro. Chem. J.* 95: 285-92.
 20. Manohar, D.M., Krishnan, K.A. and Anirudhan, T.S., 2002. Removal of mercury(II) from aqueous solutions and chloralkali industry wastewater using 2-mercaptobenzimidazole-clay. *Water Research*, 36: 1609-1619.
 21. Zagury, G.J., Neculita, C.M., Bastin, C. and Deschênes, L., 2006. Mercury fractionation, bioavailability, and ecotoxicity in highly contaminated soils from chlor-alkali plants. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25(4):1138-1147.
 22. Goodarzi M, Esmaeili saari A, Sadati poor M, Pouri GH., 2006. The study of mercury concentration form chloralkaline industries in Bandar imam sediments. Seventh intentional congress on civil engineering. 9 p (in Persian)
 23. Ullrich, S.M., Ilyushchenko, M.A., Kamberov, I.M., Tanton, T.W., 2007a. Mercury contamination in the vicinity of a derelict chlor-alkali plant. Part I: Sediment and water contamination of Lake Balkyldak and the River Irtysh. *Sci. Total Environ.* 381, 1-16.
 24. Shooshtari, M M., 2017. Principles of open channel flow. Chamran University Press. 588 p (in Persian)
 25. Mooraki, N., Esmaeli Sari, A., Soltani, M. and Valinassab, T., 2009. Spatial distribution and assemblage structure of macrobenthos in a tidal creek in relation to industrial activities. *International journal of*

- Estuary, India, Marine pollution Bulletin, 58:1685-1693.
39. Asadina, F; Nikpoor Y; Ghanemi, K., 2014. Identification of mercury species in Musa estuaries sediments using sequential extraction. (In Persian) 6p.
- heavy metals in sediments of the Tapi estuary. *Geochemical Journal*, 40: 513-522.
33. Tshia, Malehase., Adegbenro, P., Daso, Jonathan., O.Okonkwo., 2016. Determination of mercury and its fractionation products in samples from legacy use of mercury amalgam in gold processing in Randfontein, South Africa. *Emerging Contaminants*. 2(3), 157-165.
34. Horvat M, Nolde N, Fajon V, Jereb V, Logar M, Lojen S., 2003. Total mercury, methylmercury and selenium in mercury polluted areas in the province Guizhou, China. *Sci Total Environ*. 304:231–256.
35. Raeisi-Sarasiab, A., Hosseini, M., Mirsalari, Z., 2014. Mercury distribution in contaminated surface sediments from four estuaries, Khuzestan shore, north part of Persian Gulf. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*. 93, 522–525.
36. Zakir, H.M.; Shikazono, N., 2008. Metal fractionation in sediment: a comparative assessment of four sequential extraction schemes. *Journal of environmental Science for Sustainable Society*, 2: 1-12.
37. Soares, H.M.V.M.; Boaventura, R.A.R.; Machado, A.A.S. C.; Esteves dasilva, J.C.G., 1999. Sediments as monitors of heavy metals contamination in the Ave river basin (Portugal). *Multivariate analysis of data. Environmental Pollution*, 105(3): 311-323.
38. Ram, A., Borole, D. V., Rokade, M.D., 2009. Diagenesis and bioavailability of mercury in the contaminated sediments of Ulhas