

ارزیابی میزان تجمع جیوه در رسوبات سطحی خور موسی (استان خوزستان، خلیج فارس)

صدیقه بابادی^{۱*}، علیرضا صفاهیه^۲، سید محمدباقر نبوی^۳، کمال غانمی^۴، محمدتقی رونق^۵

- ۱- کارشناس ارشد آلودگی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: sbabadi65@hotmail.com
- ۲- استادیار گروه زیست دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: safahieh@kmsu.ac.ir
- ۳- استادیار گروه زیست دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: m.nabavi@kmsu.ac.ir
- ۴- استادیار گروه شیمی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: kamal.ghanemi@kmsu.ac.ir
- ۵- استادیار گروه زیست دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: mt.rounagh@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۶

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۰

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۴، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

این مطالعه به منظور آگاهی از غلظت جیوه در رسوبات سطحی خور موسی صورت گرفت. ۵ خور زندگی، جعفری، پتروشیمی، غزاله و مجیدیه انتخاب گردید و از هر یک جمعاً ۹ نمونه رسوب برداشت شد. عملیات نمونه‌برداری در آبان ماه ۱۳۸۸ انجام شد. پس از هضم نمونه‌ها، محتوی جیوه آن‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی و روش بخار سرد اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت جیوه در رسوبات مورد بررسی در محدوده ۰/۳۱-۰/۶۹ میکروگرم بر گرم قرار داشت. مقادیر بالای جیوه به ترتیب در دو خور پتروشیمی و مجیدیه یافت شد که احتمالاً ناشی از ورود پساب واحد کلرآلکالی پتروشیمی بندر امام، ریزش‌های نفتی و فعالیت‌های کشتیرانی بود. فاکتور آلودگی در مقیاس منطقه‌ای، آلودگی شدید خوربات را نشان داد، اما در مقیاس جهانی، آلودگی در محدوده کم تا متوسط قرار داشت.

کلمات کلیدی: رسوبات، جیوه، آلودگی، خور موسی، خلیج فارس.

۱. مقدمه

شود. با این حال، همواره توسعه فعالیت‌های انسانی موجب شده تا مقدار زیادی از پساب‌های صنعتی، شهری و کشاورزی وارد بوم‌سازگان‌های آبی گردد.

خور موسی نیز از جمله بوم‌سازگان‌هایی است که به دلیل مجاورت با صنایع مختلف و عدم توجه کافی به مسایل

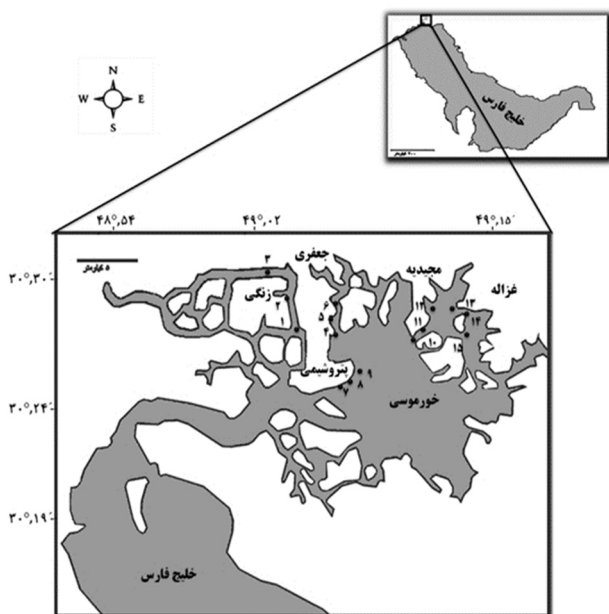
صنعت و فن‌آوری به سرعت محیط اطراف و شیوه زندگی انسان‌ها را تغییر می‌دهد. مزایای فن‌آوری به خوبی شناخته شده و به‌عنوان انگیزه‌ای برای پیشرفت‌های بعدی بشر به‌کار گرفته می‌-

مختلف در بوم‌سازگان‌های آبی هستند و اندازه‌گیری غلظت مواد آلاینده در رسوبات، رایج‌ترین و مستقیم‌ترین روش برای آشکار نمودن میزان آلودگی‌های محیطی است (Schilderman et al., 2008; Zhou et al., 1999)، به‌منظور آگاهی از شدت آلودگی خور موسی به جیوه، در این مطالعه غلظت این عنصر خطرناک در رسوبات اندازه‌گیری شد و غلظت‌های به‌دست آمده با راهنمای استاندارد رسوب مورد قیاس قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری

در این مطالعه، ۵ خور در منطقه خور موسی (خورهای زنگی، جعفری، پتروشیمی، غزاله و مجیدیه) انتخاب شد (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه

نمونه‌برداری شامل برداشت رسوبات سطحی با استفاده از گرب ون وین از ۳ ایستگاه (با ۳ تکرار) در هر خور بود. عملیات نمونه‌برداری در آبان ماه ۱۳۸۸، توسط قایق صیادی صورت گرفت. موقعیت این ایستگاه‌ها توسط دستگاه GPS (مدل 12CX) تعیین شد (جدول ۱). نمونه‌های رسوب برداشت شده از وسط هر گرب در کیسه‌های پلاستیکی حاوی برچسب اطلاعات قرار داده شد و در مجاورت یخ در یخدان به آزمایشگاه دانشگاه علوم

زیست‌محیطی دست‌خوش جنبه‌های منفی فن‌آوری مدرن گردیده است.

جیوه از جمله آلاینده‌های خور موسی بوده و مطالعات متعدد حاکی از آلودگی این منطقه به این عنصر فلزی است (گودرزی و همکاران، ۱۳۸۵؛ حقیقت، ۱۳۸۸؛ عصار، ۱۳۸۸؛ فقیری، ۱۳۸۸). جیوه یکی از سمی‌ترین ترکیبات موجود در محیط است و تأثیرات سوء آن بر بوم‌سازگان‌های آبی از دیرباز شناخته شده است. جیوه در فعالیت‌های متابولیسمی بدن موجود زنده شرکت نمی‌کند و حتی غلظت‌های کم آن باعث اختلال در فعالیت‌های طبیعی موجود زنده می‌شود (Boening 2000; Wiener et al., 2003; Rao et al., 2010).

کانی اصلی جیوه در پوسته زمین، سینابر است که در مناطق معدودی از جهان وجود دارد. فرسایش فیزیکی یا شیمیایی، و متصاعد شدن بخارات در اثر پدیده‌های طبیعی می‌تواند منجر به ورود جیوه به محیط‌های آبی گردند (Boening, 2000; Jahed Khaniki et al., 2005). از آنجایی‌که معمولاً مقدار جیوه در رسوبات بکر و طبیعی دریایی بسیار کم است (Sadiq, 1992) بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت‌های انسانی مسئول بروز آلودگی جیوه در منطقه است.

فعالیت‌های انسانی از قبیل تولید باتری، دماسنج و لامپ‌های فلورسنت، احتراق سوخت‌های فسیلی، سوزاندن پسماندهای جامد، معدن‌کاری، صنعت رنگ، صنایع کلرآلکالی، خمیر چوب و کاغذسازی، ساخت ترکیبات صنعتی مهم و فعالیت‌های اکتشاف نفت، جیوه را به محیط وارد می‌کنند (Boening, 2000; Liang et al., 2000; USEPA, 2001; Clarkson, 2002; Jahed Khaniki et al., 2005). با وجود استفاده گسترده از جیوه، بررسی‌ها نشان داده که بزرگ‌ترین مصرف‌کننده جیوه در جهان صنایع کلرآلکالی هستند. در مطالعات صورت گرفته در منطقه خور موسی نیز مشاهده شده است که پساب واحد کلرآلکالی پتروشیمی کیمیا، واقع در منطقه ویژه اقتصادی بندر امام خمینی (ره)، حاوی مقادیر بالایی از جیوه بوده، و منبع اصلی آلودگی جیوه در این خور است (گودرزی و همکاران، ۱۳۸۵؛ حقیقت، ۱۳۸۸؛ عصار، ۱۳۸۸؛ فقیری، ۱۳۸۸؛ Agah et al., 2010).

حضور جیوه در این منطقه، توانایی تجمع این ماده شیمیایی در بدن موجودات آبی، همچنین سمیت بالا و اثرات ناشی از آن، منجر به بروز نگرانی‌هایی در این خصوص گردیده است. از آنجایی‌که رسوبات عمده‌ترین پذیرنده و ذخیره‌گاه آلاینده‌های

سنجش شد. جهت کالیبراسیون دستگاه از محلول‌های استاندارد با غلظت‌های مختلف و برای بررسی صحت نتایج به دست آمده نیز از نمونه رسوبات دریایی MESS-2 استفاده گردید. درصد بازیافت نمونه‌های مرجع ۹۷٪ تا ۱۰۲٪ به دست آمد.

لازم به ذکر است که تمامی وسایل مورد استفاده برای هضم و سنجش جیوه قبل از استفاده به مدت ۲۴ ساعت در نیتریک اسید ۵٪ قرار داده شد و در نهایت با آب دو بار تقطیر شسته شدند (Öztürk et al., 2009).

۳-۲. محاسبه فاکتور آلودگی (Cf) و تعیین میزان آلودگی رسوبات

از جمله مهمترین شاخص‌های تعیین آلودگی رسوبات به مواد مختلف از قبیل فلزات سنگین، فاکتور آلودگی است. محاسبه فاکتور آلودگی به دو طریق محاسبه می‌شود که در فرمول‌های ۱ و ۲ آمده است. جهت تفسیر نتایج و تعیین شدت آلودگی از جدول ۲ استفاده گردید.

$$Cfr = \frac{\text{غلظت فلز در رسوبات مورد مطالعه}}{\text{غلظت فلز در رسوبات طبیعی و بکر منطقه}} \quad \text{فرمول ۱}$$

فاکتور آلودگی منطقه‌ای (۱)

در محاسبات صورت گرفته برای تعیین مقدار فاکتور آلودگی منطقه‌ای از مقادیر مرجع ۰/۰۵ میکروگرم بر گرم که میانگین غلظت جیوه در رسوبات بکر دریایی (Sadiq, 1992) است، استفاده گردیده است.

$$Cfg = \frac{\text{غلظت فلز در رسوبات مورد مطالعه}}{\text{غلظت فلز در شیل میانگین جهانی}} \quad \text{فرمول ۲}$$

فاکتور آلودگی جهانی (۲)

مقدار جیوه در شیل میانگین جهانی، ۰/۴ میکروگرم بر گرم است (پوررحیم و همکاران، ۱۳۸۸).

جدول ۲: توصیف آلودگی منطقه با توجه به مقدار فاکتور آلودگی رسوبات

Cf	Cf < 1	1 ≤ Cf < 3	3 ≤ Cf < 6	Cf ≥ 6
آلودگی خیلی شدید	آلودگی قابل توجه	آلودگی متوسط	آلودگی کم	توصیف آلودگی منطقه

و فنون دریایی خرمشهر منتقل گردید. در آزمایشگاه، نمونه‌های رسوب تا زمان اندازه‌گیری جیوه در فریزر ۲۰°C- نگهداری شدند (BuTayban and Preston, 2004). لازم به ذکر است که نمونه‌ها یک هفته بعد از عملیات نمونه‌برداری هضم شده و محتوی جیوه آن‌ها اندازه‌گیری گردید.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری

نام خور	شماره ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	فعالیت رایج در منطقه
زنگی	۱	۳۹° ۰۴' ۰۰/۰۶"E	۳۰° ۲۷' ۵۸/۱۰"N	دور از فعالیت‌های صنعتی و کشتی رانی
	۲	۳۹° ۰۳' ۴۸/۴۳"E	۳۰° ۲۹' ۱۲/۸۰"N	
	۳	۳۹° ۰۲' ۳۳/۱۹"E	۳۰° ۳۰' ۱۸/۹۴"N	
جعفری	۴	۳۹° ۰۶' ۳۳/۸۹"E	۳۰° ۲۷' ۱۸/۷۸"N	نزدیکی با مجتمع‌های پتروشیمی
	۵	۳۹° ۰۶' ۲۰/۹۵"E	۳۰° ۲۷' ۵۹/۶۰"N	
	۶	۳۹° ۰۶' ۲۵/۵۷"E	۳۰° ۲۸' ۳۵/۹۲"N	
پتروشیمی	۷	۳۹° ۰۷' ۰۲/۸۹"E	۳۰° ۲۵' ۳۶/۶۶"N	ورودی فاضلاب واحد کلر الکالی پتروشیمی
	۸	۳۹° ۰۷' ۰۷/۵۷"E	۳۰° ۲۵' ۴۵/۶۷"N	
	۹	۳۹° ۰۷' ۱۵/۹۰"E	۳۰° ۲۶' ۰۲/۸۱"N	
مجیدیه	۱۰	۳۹° ۱۰' ۰۹/۸۹"E	۳۰° ۲۷' ۰۰/۸۰"N	اسکله‌ی صادرات نفت
	۱۱	۳۹° ۱۰' ۳۳/۰۶"E	۳۰° ۲۷' ۳۶/۰۵"N	
	۱۲	۳۹° ۱۱' ۱۶/۸۴"E	۳۰° ۲۸' ۰۱/۲۴"N	
غزاله	۱۳	۳۹° ۱۱' ۳۴/۹۷"E	۳۰° ۲۸' ۰۰/۰۰"N	پرورش ماهی در قفس
	۱۴	۳۹° ۱۲' ۳۰/۱۶"E	۳۰° ۲۷' ۳۴/۸۷"N	
	۱۵	۳۹° ۱۳' ۰۳/۰۶"E	۳۰° ۲۶' ۵۱/۴۱"N	

۲-۲. آماده‌سازی و هضم نمونه‌ها

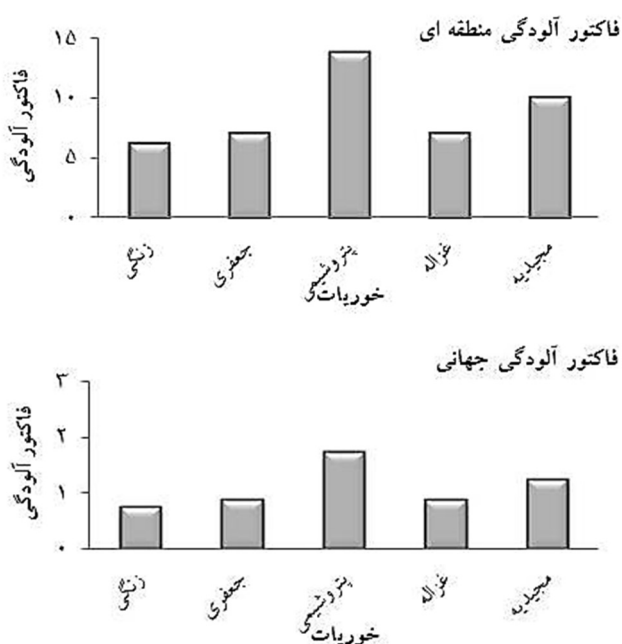
نمونه‌های رسوب پس از خارج کردن از فریزر به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه خشک کننده انجمادی خشک شدند و سپس با هاون چینی به شکل پودر درآمدند. به منظور جدا نمودن ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون، نمونه‌ها با استفاده از الک استیل ۶۳ میکرون الک گردیدند (Dehghan Madiseh, et al., 2009; Mooraki et al., 2009; Öztürk et al., 2009). ۱ گرم از هر نمونه به همراه ۴ میلی‌لیتر نیتریک اسید غلیظ و ۲ میلی‌لیتر سولفوریک اسید غلیظ درون لوله‌های هضم ریخته شد. پس از پوشاندن درب لوله‌ها، نمونه‌های رسوب یک ساعت در دمای اتاق و ۳ ساعت در دمای ۹۰°C 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. به موازات آماده سازی هر دسته از نمونه‌ها، ۳ نمونه شاهد در همان شرایط و با همان نسبت اسید و آب مقطر هضم گردید (MOOPAM, 1999). در نهایت میزان جیوه نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل UNICAM 919 با دقت ۰/۵ نانوگرم بر گرم و تکنیک بخار سرد

۴-۳. پردازش داده‌ها

مقدار فاکتورهای آلودگی منطقه‌ای و جهانی به‌دست آمده از خورهای مختلف در شکل ۳ ارائه گردیده است. فاکتور آلودگی منطقه‌ای برای خورهای زنگی، جعفری، پتروشیمی، غزاله و مجیدیه به ترتیب ۶/۲۰، ۷/۰۰، ۱۳/۸۰، ۷/۰۰، ۱۰/۰۰ به‌دست آمد که نشان دهنده آلودگی شدید خوریات به جیوه است. اما در مقیاس جهانی، فاکتور آلودگی رسوبات خورهای زنگی، جعفری و غزاله به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۸۸ و ۰/۸۸ به‌دست آمد که آلودگی کم را نشان داد. اما خورهای مجیدیه (۱/۲۵) و پتروشیمی (۱/۷۳) آلودگی متوسط داشتند.

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه غلظت جیوه در رسوبات خورهای مورد مطالعه از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه و برای تفکیک گروه‌های دارای اختلاف از پس آزمون توکی استفاده گردید. کلیه آنالیزهای آماری فوق توسط نرم افزار SPSS 11.5 انجام گرفت و کلیه نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2007 رسم شد.

۳. نتایج



شکل ۳: فاکتور آلودگی منطقه‌ای و جهانی در خورهای مختلف

غلظت جیوه نمونه‌های رسوب خوریات مورد مطالعه در جدول ۳ و شکل ۴ ارائه گردیده است. این نتایج نشان می‌دهد که به‌طور میانگین تجمع جیوه در رسوبات خورهای زنگی، جعفری، پتروشیمی، غزاله و مجیدیه به ترتیب ۰/۳۱، ۰/۳۵، ۰/۶۹، ۰/۳۵، ۰/۵۰ میکروگرم بر گرم است (شکل ۲). میان مقدار جیوه در خورهای مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید (ANOVA, $P < 0.05$). کمترین تجمع جیوه در خورهای زنگی، جعفری و غزاله یافت شد. پس از ۳ خور نامبرده، مجیدیه مقدار بیشتری از جیوه را به خود اختصاص داد و در نهایت بیشترین غلظت جیوه در رسوبات پتروشیمی اندازه‌گیری شد.

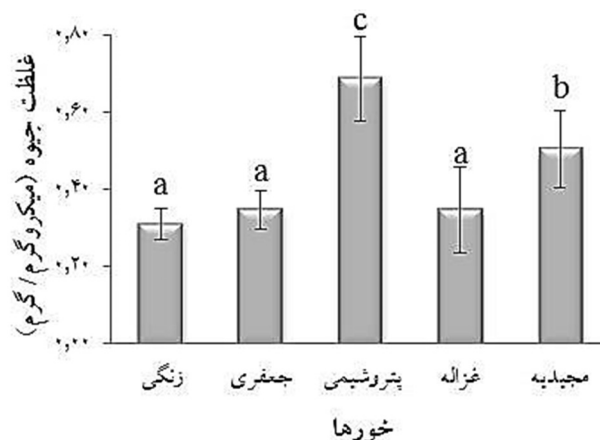
جدول ۳: میزان تجمع جیوه در رسوبات ایستگاه‌های مختلف خوریات موسی

ایستگاه	زنگی	جعفری	پتروشیمی	غزاله	مجیدیه
۱	0.27 ± 0.06	0.23 ± 0.01	0.69 ± 0.06	0.30 ± 0.01	0.56 ± 0.12
۲	0.23 ± 0.03	0.41 ± 0.04	0.60 ± 0.11	0.49 ± 0.01	0.52 ± 0.11
۳	0.23 ± 0.01	0.31 ± 0.02	0.78 ± 0.10	0.25 ± 0.07	0.43 ± 0.09

۴. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از بررسی رسوبات، الگوی پراکنش جیوه در خوریات مورد مطالعه به‌صورت: زنگی - جعفری - غزاله > مجیدیه > پتروشیمی به‌دست آمد. در مطالعه Dehghan Madiseh و همکاران (۲۰۰۹) نیز غلظت جیوه و سایر فلزات سنگین در رسوبات خوریات ماهشهر (غزاله، زنگی، جعفری، غنم، پاتیل، بیحد، احمدی، درویش و دورق) اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($P > 0.05$).

مطالعات نشان داده که یکی از منابع ورود جیوه به محیط، آلودگی‌های نفتی و احتراق سوخت‌های فسیلی است (پوررحیم و



شکل ۲: میانگین مقدار جیوه (SD±) در نمونه‌های رسوب (حروف لاتین غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است $P < 0.05$)

بر گرم) نیز در رسوبات اطراف کارخانه سابق کلرآلکالی این کشور یافت شد (BuTayban and Preston, 2004). در مطالعه انجام شده توسط Kreish و Al-Muftah (۱۹۹۹) که در کشور قطر صورت گرفت مقادیر بالای جیوه در ایستگاه ام سعید مشاهده گردید و احتمال داده شد برخی صنایع موجود در این منطقه در فرآیندهای صنعتی خود از جیوه به‌عنوان کاتالیزور استفاده نمایند.

غلظت جیوه به‌دست آمده در رسوبات این مطالعه با نتایج حاصل از سایر مطالعات در جدول ۴ مقایسه شده است. مشاهده اجزالی نتایج حاصل از پژوهش‌های صورت گرفته حاکی از شرایط بسیار بد زیست محیطی خور موسی در آلودگی به عنصر سمی جیوه است.

جدول ۴: مقایسه غلظت جیوه رسوبات مطالعه حاضر با سایر مطالعات

منطقه مورد مطالعه	غلظت جیوه (میکروگرم بر گرم)	منبع
خور موسی	۰/۶۹ - ۰/۳۱	مطالعه حاضر
خور موسی	۰/۴۴ - ۰/۵	عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱
خور موسی	۰/۴۴ - ۹/۰۱	فقیری و همکاران، ۱۳۹۰
خور موسی	۵/۶۳ - ۳/۹۲	پروانه و همکاران، ۱۳۹۰
خور موسی	۱۶/۱۴ - ۰/۲۱	عصار، ۱۳۸۸
خور موسی	۱۱/۵۴ - ۱/۶۱	حقیقت، ۱۳۸۸
خور موسی	۱۰/۰۲ - ۰/۱۵	گودرزی و همکاران، ۱۳۸۵
خور موسی	۲/۴۳ ± ۰/۶۶	Hosseini et al., 2014
خور موسی	۰/۱۵ - ۰/۰۲	Nabavi et al., 2013
خور موسی	۰/۱۳ - ۰/۰۰	Mooraki et al., 2009
خور موسی	۰/۰۹ - ۰/۷۸	Dehghan Madiseh et al., 2009
قطر (خلیج فارس)	۰/۱۰ - ۰/۳۲	Kreish and Al-Muftah, 1999
کویت (خلیج فارس)	۰/۰۳ - ۳۶/۵۰	BuTayban and Preston, 2004
عسلویه (خلیج فارس)	۰/۰۲ - ۰/۰۳	ربانی و همکاران، ۱۳۸۷
لیفه-بوسیف (خلیج فارس)	۰/۱۱ - ۰/۲۵	سبزعلیزاده و دهقان مدیسه، ۱۳۸۹
سیریک و جاسک (دریای عمان)	۰/۰۱ - ۰/۰۶	پوررحیم و همکاران، ۱۳۸۸

خور موسی دارای انشعابات زیادی است که هر یک از آن‌ها نیز به‌عنوان یک خور کوچک شناخته می‌شوند. در هر یک از مطالعات صورت گرفته در این منطقه عموماً تعداد معدودی از این خورهای کوچک مورد بررسی قرار گرفته است. طبعاً شدت آلودگی خوریات مختلف با توجه به موقعیت مکانی و نیز فاصله‌ای که تا منابع رها کننده جیوه در خور موسی دارند متفاوت است. به‌طوری‌که محدوده تجمع جیوه در مطالعات پیشین در رسوبات خور موسی بسیار گسترده (۱۶/۱۴ - ۰/۰۹ میکروگرم بر گرم) گزارش شده است و حتی مشاهده شده که مقادیر جیوه گزارش شده از یک خور در مطالعات مختلف بسیار متفاوت است. برای مثال در مطالعات انجام گرفته توسط عصار (۱۳۸۸) و حقیقت (۱۳۸۸) غلظت جیوه در رسوبات خور

همکاران، ۱۳۸۸؛ Stathopoulou et al., 2001). به‌طور معمول غلظت جیوه موجود در نفت خام و گاز طبیعی، ۰/۵ نانوگرم بر گرم تا ۱۰ میکروگرم بر گرم است (Liang et al., 2000, Wilhelm and Bloom, 2000). با توجه به حضور اسکله صادرات نفت در خور مجیدیه، احتمال حضور آلودگی نفتی در این خور و مشاهده مقادیر بالای جیوه در آن امری قابل توجیه است. لازم به ذکر است که رسوبات جمع آوری شده از این خور سیاه و چسبنده بود که احتمالاً حاکی از وجود نفت در رسوبات این ایستگاه بوده است. پوررحیم و همکاران (۱۳۸۸) در ارزیابی رسوبات بنادر سیریک و جاسک مشاهده نمودند که با وجود اینکه تراکم جمعیت، حجم فاضلاب‌های شهری و همچنین فعالیت‌های کشاورزی در منطقه جاسک کمتر از سیریک است، میانگین غلظت جیوه در منطقه جاسک از سیریک بیشتر است. این پژوهشگران تردد بیشتر وسایل حمل و نقل دریایی در منطقه جاسک و احتمال حضور آلودگی نفتی در این منطقه را دلیل افزایش غلظت جیوه بیان نمودند. در مطالعه Stathopoulou و همکاران (۲۰۰۱) نیز مقادیر بالای جیوه در رسوبات سطحی نزدیک صنایع نفت، و محل ساخت و تعمیر کشتی‌ها مشاهده گردید.

مشاهده مقادیر بالای جیوه در رسوبات پتروشیمی نیز احتمالاً ناشی از مجاورت این خور با کارخانه کلرآلکالی است. کارخانه‌های کلرآلکالی جیوه معدنی را به‌عنوان پسماند وارد محیط‌های آبی می‌کنند (Manohar et al., 2002; Zagury et al., 2006). جیوه معدنی حلالیت کمی در آب دارد و از آنجایی که جنس بستر خور موسی از نوع رس است، جیوه تخلیه شده به محیط (دارای بار مثبت) با رس (دارای بار منفی) تشکیل کمپلکس پایدار داده و در سطح بستر ته نشین می‌گردد. بدین ترتیب با افزایش فاصله از محل خروج پساب، به‌تدریج از میزان غلظت جیوه کاسته می‌شود (گودرزی و همکاران، ۱۳۸۵). در مطالعه صورت گرفته توسط فقیری (۱۳۸۸) در ۵ اسکله از بندر امام خمینی (ره) (داک سرسره، اسکله‌ی آلومینیوم، مواد غذایی، مواد معدنی و مواد نفتی)، بیشترین غلظت جیوه به رسوبات داک سرسره اختصاص داشت و دلیل آن نزدیکی به واحد کلرآلکالی پتروشیمی بندر امام و بالا بودن پهلوگیری، شستشو، تعمیر و رنگ‌آمیزی کشتی‌ها بیان شد. دلیل افزایش میزان جیوه در منطقه لیفه-بوسیف (سبزعلیزاده و دهقان مدیسه، ۱۳۸۹) نیز وجود صنایع متعدد موجود در منطقه و پساب واحد کلرآلکالی پتروشیمی اعلام گردید. مقادیر بالای جیوه مشاهده شده در خلیج کویت (۳۶/۹۳ ± ۳۶/۵۰ میکروگرم

موجودات زنده برساند (کلارک، ۱۳۸۰). با توجه به اینکه مقدار جیوه در پوسته خلیج فارس قبل از صنعتی شدن منطقه بسیار ناچیز بوده (۰/۰۵ میکروگرم بر گرم) (Dehghan Madiseh, et al., 2009; Mooraki et al., 2009)، محاسبه فاکتور آلودگی منطقه‌ای، آلودگی شدید را نشان می‌داد. البته باید مد نظر داشت که احتمال دارد این افزایش منطقه‌ای، کمتر از غلظت ماده مورد نظر در منطقه‌ای دیگر و با ورودی طبیعی، بالاتر باشد. به همین جهت در این مطالعه فاکتور آلودگی در مقیاس جهانی نیز محاسبه گردید. در مقیاس جهانی، آلودگی رسوبات خورهای زنگی، جعفری و غزاله در حد کم و در خورهای مجیدیه و غزاله در حد متوسط بود.

از آنجایی که موجودات زنده گوناگونی در تماس با رسوبات بستر بوده و یا در آن زندگی می‌کنند، رسوبات می‌توانند به‌عنوان یک مسیر مهم در مواجهه موجودات آبی به آلاینده‌ها عمل نمایند. به همین جهت استانداردهایی برای رسوبات تدوین گردیده که می‌توان از آن‌ها جهت درجه‌بندی رسوبات آلوده و نیز پیش‌بینی احتمال بروز اثرات سوء زیستی در آبزیانی که در تماس با این رسوبات قرار دارند استفاده نمود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت جیوه در رسوبات مورد بررسی در مطالعه حاضر با برخی مقادیر راهنمای کیفیت رسوب در جهان در جدول ۵ مقایسه شده است. این نتایج نشان می‌دهند که میانگین غلظت جیوه در منطقه از استانداردهای ERM^۱ (حدی که کمتر از ۵۰ درصد جوامع بیولوژیک در خطرند) و PEL^۲ (میزان احتمال اثر) کمتر و از سطح ERL^۳ (حدی که کمتر از ۱۰ درصد جوامع بیولوژیک در خطرند) و ISQG^۴ بیشتر است. با این وجود غلظت جیوه یافت شده در رسوبات ایستگاه پتروشیمی (۰/۶۹ میکروگرم بر گرم) تقریباً با مقادیر ERM و PEL برابر است که به‌عنوان زنگ خطری برای این زیست‌بوم آبی تلقی می‌گردد.

در نهایت پیشنهاد می‌گردد به‌منظور حفظ و حمایت از این زیست‌بوم با ارزش و تأمین سلامت عمومی، پایش متوالی این منطقه در دستور کار قرار گیرد و مسئولان امر تمهیدات و سیاست‌های لازم را به‌منظور ممانعت از ورود این ماده آلاینده به منطقه به‌کار گیرند.

جعفری به‌ترتیب ۱۲/۰۷ و ۱۱/۱۹ میکروگرم بر گرم به‌دست آمد. Mooraki و همکاران (۲۰۰۹) مقدار جیوه این خور را ۰/۱۳-۳/۰۰ میکروگرم بر گرم (میانگین ۰/۷۳ میکروگرم بر گرم) گزارش نمودند. حال آنکه مقدار یافت شده در خور جعفری در مطالعه حاضر ۰/۳۵ میکروگرم بر گرم بود. مقدار جیوه رسوبات خورهای غزاله و زنگی نیز، در مطالعه عصار (۱۳۸۸) به‌ترتیب ۰/۶۰ و ۰/۹۶ میکروگرم بر گرم، Dehghan Madiseh و همکاران (۲۰۰۹)، ۰/۲۱ و ۰/۲۲ میکروگرم بر گرم، و مطالعه حاضر ۰/۳۵ و ۰/۳۱ میکروگرم بر گرم یافت شده است. فقیری نیز میانگین تجمع جیوه را در خور غزاله ۰/۹۸ میکروگرم بر گرم گزارش نموده است. خور پتروشیمی نیز در مطالعات گودرزی و همکاران (۱۳۸۵)، فقیری و همکاران (۱۳۹۰)، عظیمی و همکاران (۱۳۹۱)، و پژوهش حاضر به‌ترتیب ۰/۳۴۵، ۷/۲، ۱/۷۵ و ۰/۶۹ میکروگرم بر گرم به‌دست آمده است. لازم به‌ذکر است که عوامل بسیاری می‌توانند در گستردگی نتایج به‌دست آمده دخیل باشند. از جمله این موارد می‌توان به شرایط فیزیکی پویا در این منطقه اشاره نمود که ارزیابی‌های محیطی را در خور موسی امری پیچیده ساخته است. نظر به اینکه بندر امام خمینی (ره) بزرگ‌ترین بندر فعال ایران است، عملیات لایروبی نقش بسیار مهمی در ادامه فعالیت این بندر داشته و برای حفظ عمق کشتیرانی، خور موسی به‌طور مداوم لایروبی می‌گردد. عملیات لایروبی سبب آزادسازی فلزات سنگین شده و بالطبع تأثیر به‌سزایی در نتایج حاصله خواهد داشت. علاوه بر این مقدار جیوه مصرفی به ازای هر تن کلر کاستیک در واحد کلر آلکالی پتروشیمی بندر امام و جیوه آزاد شده به محیط در طی سالیان گذشته همواره مقداری ثابت نبوده که این مسئله نیز بر متفاوت بودن نتایج گزارش شده طی سالیان مختلف نقش مهمی ایفا می‌کند. حتی موقعیت دقیق نمونه‌برداری در هر خور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای مثال در مطالعه گودرزی و همکاران (۱۳۸۵) مشاهده می‌گردد که حتی در یک مساحت محدود، در خور پتروشیمی، دامنه تجمع جیوه در رسوبات بین ۰/۱۵ تا ۱۰/۰۳ میکروگرم بر گرم متغیر است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از محاسبه فاکتور آلودگی منطقه‌ای، منطقه مورد مطالعه به شدت آلوده به جیوه بود. طبق تعاریف، آلودگی زمانی روی می‌دهد که عاملی ناشی از فعالیت‌های انسانی، غلظت ماده‌ای را در رسوبات، آب دریا یا موجودات زنده به بیش از سطح طبیعی آن در منطقه و در

¹ Effects Range Medium

² Probable Effect Level

³ Effects Range Low

⁴ Canadian interim sediment quality guideline

- گودرزی، م؛ اسماعیلی ساری، ع؛ ساداتی پور، م؛ پوری، ق، ۱۳۸۵. اندازه‌گیری میزان جیوه ناشی از صنایع کلرالکالی در رسوبات منطقه بندر امام. مقالات هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران. صفحات ۹۸-۱۰۶.
- Agah, H.; Leermakers, M.; Gao, Y.; Fatemi, S.M.R.; Mohseni Katal, M.; Baeyens, W.; Elskens, M., 2010. Mercury accumulation in fish species from the Persian Gulf and in human hair from fishermen. *Environmental Monitoring and Assessment*, 169: 203-216.
- Boeing, D.W., 2000. Ecological effects, transport, and fate of mercury: A general review. *Chemosphere*, 40: 1335-1351.
- BuTayban, N.A.; Preston, M.R., 2004. The distribution and inventory of total and methyl mercury in Kuwait Bay. *Marine Pollution Bulletin*, 49: 930-937.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), 1995. Protocol for the derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life.
- Clarkson, T.W., 2002. The three modern faces of mercury. *Environmental Health Perspectives*, 10(1): 11-23.
- Dehghan Madiseh, S.; 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 and Assessment*, 159: 521-530.
- Hosseini, M.; Daryashekan, M.; Kashefi, M.; Abdolapur Monikh, F., 2014. Level of Cd, Hg, Mn and Pb in sediment and of North Persian Gulf. *Indian journal of geo-marine sciences*, 43(4): 561-563.
- Jahed Khaniki, G.R.; Alli, I.; Nowroozi, E.; Nabizadeh, R., 2005. Mercury contamination in fish and public health aspects: a review. *Pakistan Journal of Nutrition*, 4(5): 276-281.
- Kreish, T.W.; Al-Muftah, A.R., 1999. Total mercury levels in the costal environment of Qatar (Persian Gulf). *Qatar University Science Journal*, 19: 274-284.
- پروانه، م؛ خیرور، ن؛ نیک پور، ی؛ نبوی، س.م.ب، ۱۳۹۰. غلظت فلزات سنگین در ماهی کفشک گرد (*Euryglossa orientalis*) و رسوبات خور موسی در استان خوزستان. مجله علمی شیلات ایران، سال بیستم، شماره ۲، صفحات ۱۷-۲۶.
- پوررحیم، ز؛ دهرآزما، ب؛ قاسمی، ح.ا؛ مرتضوی م.ص؛ تقی پور، ب، ۱۳۸۸. بررسی ویژگی‌های رسوب شناختی و آلودگی رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک به آرسنیک و جیوه. پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی، شماره ۳۷، صفحات ۴۷-۶۴.
- حقیقت، م، ۱۳۸۸. بررسی تجمع زیستی جیوه در ماهی کفشک (*Euryglossa orientalis*) در خور موسی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر. ۹۰ صفحه.
- ربانی، م؛ جعفرآبادی آشتیانی، ا؛ مهرداد شریف، ا.ع، ۱۳۸۷. اندازه‌گیری میزان آلودگی ناشی از فلزات سنگین نیکل، سرب و جیوه در رسوبات خلیج فارس / منطقه عملیاتی عسلویه. اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۵۱، صفحات ۵۳-۵۷.
- سبزه‌علیزاده، س؛ دهقان مدیسه، س، ۱۳۸۹. تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات منطقه لیفه - بوسیف (سواحل شمال غرب خلیج فارس) بر اساس شاخص تجمع زمینی. مجله علمی شیلات ایران، شماره ۳، صفحات ۵۱-۶۰.
- عصار، م، ۱۳۸۸. بررسی تجمع زیستی جیوه و متیل جیوه در ماهی شبه شوریده در خوریات ماهشهر. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر. ۹۷ صفحه.
- عظیمی، ع؛ دادااهی سهراب، ع؛ صفاهی، ع؛ ذوالقرنین، ح؛ سواری، ا؛ فقیری، ا، ۱۳۹۱. مطالعه سطوح فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات شمال غرب خلیج فارس - بندر امام خمینی (ره). نشریه اقیانوس‌شناسی، سال سوم، شماره ۱۱، صفحات ۳۳-۴۱.
- فقیری، ا؛ میرزا، ر؛ ابوعلی، س؛ جعفری، س، ۱۳۹۰. بررسی کیفیت رسوبات خور موسی نسبت به آلودگی فلز سمی جیوه. سیزدهمین همایش ملی صنایع دریایی (MIC). صفحات ۱-۸.
- فقیری، ا، ۱۳۸۸. پایش زیستی فلزات سنگین (جیوه، مس، سرب) در بندر امام خمینی (ره) با استفاده از صدف دوکفه‌ای *Crassostrea gigas*. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر. ۹۸ صفحه.
- کلارک، آر.بی، ۱۳۷۹. آلودگی دریا. چاپ اول. انتشارات نسق و نقش مهر تهران. ۲۶۰ صفحه.

- intoxication and revitalization during monothioles and vitamins therapy. *Journal of Cell and Tissue Research*, 10(3): 2311-2318.
- Sadiq, M., 1992. Toxic metal chemistry in marine environments. Marcel Dekker, INC. 389 pp.
- Schilderman, P.A.E.L.; Moonen, E.J.C.; Maas, L.M.; Welle, I.; Kleinjans, J.C.S., 1999. Use of crayfish in biomonitoring studies of environmental pollution of the River Meuse. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 44: 241-252.
- Stathopoulou, E.; Dassenakis, M.; Scoullou, M., 2001. Levels of mercury concentration in sediments of Saronicos Gulf. 7th International Conference on Environmental Science and Technology Ermoupolis. September 18-21, Greece, 854-860 pp.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2001. Mercury update: Impact on fish advisories.
- Wiener, J.G.; Krabbenhoft, D.P.; Heinz, G.H.; Scheuhammer, A.M., 2003. Ecotoxicology of Mercury, In: Hoffman, D.J.; Rattner, B.A; Burton, G.A; Cairns, J., (Eds.). *Handbook of ecotoxicology*. Lewis Publications. 409-463 pp.
- Wilhelm, S.M.; Bloom, N., 2000. Mercury in Petroleum. *Fuel Processing Technology*, 63: 1-27.
- Zagury, G.J.; Neculita, C.M.; Bastin, C.; Deschênes, L., 2006. Mercury fractionation, bioavailability, and ecotoxicity in highly contaminated soils from chlor-alkali plants. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25(4): 1138-1147.
- Zhou, Q.; Zhang, J.; Fu, J.; Jiang, G., 2008. Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica Chimica Acta*, 606: 135-150.
- Liang, L.; Lazoff, S.; Horvat, M.; Swain, E.; Gilkeson, J., 2000. Determination of mercury in crude oil by in-situ thermal decomposition using a simple lab built system. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 367: 8-11.
- Long, E.R.; MacDonald, D.D.; Smith, S.L.; Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19(1): 81-97.
- Manohar, D.M.; Krishnan, K.A.; Anirudhan, T.S., 2002. Removal of mercury(II) from aqueous solutions and chloralkali industry wastewater using 2-mercaptobenzimidazole-clay. *Water Research*, 36: 1609-1619.
- MOOPAM., 1999. Manual of oceanographic observations and pollutant analyses methods. ROPME, Kuwait. 321 pp.
- Mooraki, N.; Esmaeli Sari, A.; Soltani, M.; Valinassab, T., 2009. Spatial distribution and assemblage structure of macrobenthos in a tidal creek in relation to industrial activities. *International journal of Environmental Science and Technology*, 6(4): 651-662.
- Nababi, S.M.B; Kazemzadeh Khoei, J.; Abdi Bastami, A.; Parsa, Y., 2013. Heavy metal (Ni, Hg and Co) pollution of oil-Related in sediment from Musa Estuary, Northwest of the Persian Gulf. *World Applied Sciences Journal*, 27 (11): 1485-1488.
- Öztürk, M.; Özözen, G.; Minareci, O.; Minareci, E., 2009. Determination of heavy metals in fish, water and sediments of Avsardam lake in Turkey. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 6(2): 73-80.
- Rao, A.P.; Joshi, K.K.; Tyagi, S.; Sood, P.P., 2010. Biochemical alterations in fish tissues during mercury