

مطالعه سطوح فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات شمال غرب خلیج فارس - بندر امام خمینی^(ه)

علی عظیمی^{۱*}، علی داداللهی سهراب^۲، علیرضا صفاهیه^۳، حسین ذوالقرنین^۴، احمد سواری^۵، ایرج فقیری^۶

- ۱- کارشناس پژوهشی مؤسسه ملی اقیانوس شناسی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: a.azimi@into.ac.ir
- ۲- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: p_dadolahi@yahoo.com
- ۳- استادیار گروه بیولوژی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: safahieh@hotmail.com
- ۴- استادیار گروه بیولوژی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: zolgharnine@yahoo.com
- ۵- استادیار گروه بیولوژی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: savari53@yahoo.com
- ۶- کارشناس ارشد آلودگی دریا، مسئول HSE شرکت بنیاد بارانداز، استان بوشهر، پست الکترونیکی: irajfaghiri@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۱۳

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۱۹

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس شناسی ۱۳۹۱، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس شناسی است.

چکیده

بندر امام خمینی^(ه) بزرگ‌ترین بندر ایران در شمال غربی خلیج فارس است که تردد فراوان کشتی‌ها در این بندر و همچنین وجود صنایع مختلف به‌خصوص صنایع پتروشیمی در اطراف آن سبب تخریب آلاینده‌های فراوان آلی و معدنی از جمله فلزات سنگین به این منطقه می‌شود. فلزات سنگین به دلیل پایداری زیاد با تجمع در بافت‌های آبریان، قابل انتقال به سطوح مختلف غذایی و در نهایت انسان هستند و به این ترتیب باعث بروز پیامدهای خطرناک آلودگی ناشی از این آلاینده‌ها می‌شوند. در این مطالعه از رسوبات ۵ ایستگاه در منطقه بندر امام خمینی^(ه) شامل اسکله‌ی پتروشیمی، داک سرسره، اسکله ۱۵، اسکله ۲۸ و اسکله ۳۳ در اسفند ماه ۱۳۸۸ نمونه‌برداری شد. پس از خشک کردن و هضم نمونه‌ها توسط اسید نیتریک، میزان فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی (AAS) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که دامنه‌ی سطوح فلزات سنگین در رسوبات ایستگاه‌های مختلف بر اساس میکروگرم بر گرم وزن خشک ۴/۵-۰/۵ جیوه، ۲/۸-۳/۲ سرب و ۸/۱۹-۱۵/۲ مس است. میزان کادمیوم در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه زیر حد تشخیص دستگاه اندازه‌گیری شد (۰/۵<). در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه ایستگاه اسکله پتروشیمی بیشترین میزان آلودگی جیوه، سرب و مس را در رسوبات خود دارا بود. ایستگاه اسکله ۲۸ نیز پاک‌ترین ایستگاه به فلزات مذکور شناخته شد. از میان فلزات مورد مطالعه، میزان جیوه در رسوبات منطقه از حد استانداردهای بین المللی بیشتر و سایر فلزات کم‌تر از حدود استانداردهای بین المللی بودند. با توجه به فعالیت پتروشیمی بندر امام و سایر صنایع فعال در منطقه، پایش زیست محیطی مداوم فلزات سنگین به‌خصوص جیوه، در منطقه لازم به نظر می‌رسد.

۱. مقدمه

از رشد و توسعه چشمگیری برخوردار بوده است. پتروشیمی بندر امام، رازی، فارابی و منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی که در زمره بزرگترین مجموعه‌های صنعتی کشور محسوب می‌شوند، در این بندر واقع شده‌اند. آلودگی ناشی از اکتشاف و استخراج نفت و تردد نفت‌کش‌ها، حوادث و سوانح مربوط به سکوها نفتی، رفت و آمد کشتی‌ها، منابع و صنایع مستقر در خشکی به‌خصوص صنایع پتروشیمی سبب تخلیه ناپاکی‌های فراوان آلی و معدنی به‌خصوص فلزات سنگین به این منطقه می‌شود و با توجه به این‌که خورموسی راه ارتباطی محدودی با خلیج فارس دارد ناپاکی‌های پایدار از جمله فلزات سنگین طی سالیان دراز در محیط خور باقی مانده و به‌علت انباشته شدن، این ناپاکی‌ها تبدیل به آلودگی‌های محیطی خواهد شد و در نهایت سبب تأثیرگذاری بر ویژگی‌های بوم‌شناختی منطقه می‌شوند. لذا با بررسی مقدار تجمع فلزات در رسوبات منطقه و مقایسه آن‌ها با استانداردهای بین‌المللی، راهکارهای مناسب برای جلوگیری از نابودی این بوم‌سامانه‌ی آبی و آبریان آن پیشنهاد می‌گردد. همچنین نتایج این تحقیق و مقایسه آن با نتایج مطالعات آتی، بیانگر روند تغییر فلزات سنگین در منطقه خواهد بود و در نتیجه امکان نظارت پیوسته بر آلودگی در منطقه میسر شده و به سیاست‌گذاران این امکان را خواهد داد تا در خصوص نحوه کنترل و نظارت بر خروجی‌های صنایع فعال منطقه، به‌خصوص صنایع پتروشیمی به محیط زیست تصمیمات لازم را اتخاذ نمایند.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. نمونه‌برداری

ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر اساس وضعیت توپوگرافی و موقعیت هر ایستگاه در ارتباط با تخلیه آلاینده‌ها انتخاب شدند. بر این اساس نمونه‌برداری از رسوبات سطحی اسکله‌ها در سواحل جزر و مدی بندر امام خمینی در اسفند ماه ۱۳۸۸ توسط قایق‌های صیادی با استفاده از نمونه‌بردار کف^۲ و از سه نقطه در هر ایستگاه انجام شد. بدین‌منظور رسوبات از ۵ ایستگاه شامل

مسئله آلودگی محیط زیست در سال‌های اخیر بحران بزرگی به‌وجود آورده و کلیه فعالیت‌های انسان در رابطه با طبیعت را تهدید می‌کند. آلودگی‌های دریایی بخش قابل توجهی از بحران آلودگی محیط زیست را تشکیل می‌دهد. فعالیت‌های انسانی موجب افزایش غلظت فلزات سنگین در رسوبات ساحلی گردیده است (Bryan, 2000; Savvides et al., 1995) به‌طوری که همواره در مناطقی با سطوح بالای فعالیت‌های صنعتی و شهری، غلظت‌های بسیار زیاد این آلاینده‌ها در رسوبات این مناطق مشاهده می‌شود (Dias et al., 2009; birch, 1996). آلودگی رسوبات با فلزات سنگین منجر به مشکلات محیطی جدی می‌شود (Savvides et al., 1995). غلظت فلزات در رسوبات می‌تواند با غلظت‌های فلزی بالای ثبت شده در موجودات زنده پیوند داشته باشد (Pempkowiak et al., 1999). به‌طوری که مکان‌هایی با داشتن رسوبات ناپاک همیشه یک خطر حقیقی را برای موجودات زنده در سایر زیستگاه‌ها فراهم می‌کنند (Dias et al., 2009). جانوران دریایی می‌توانند فلزات را به واسطه‌ی آب دریا، ذرات معلق، رسوبات و از طریق زنجیره غذایی تجمع دهند (Povlesen et al., 2003). از آنجایی که فلزات سنگین آلاینده‌های پایداری هستند، لذا می‌توانند به واسطه‌ی بزرگ‌نمایی زیستی^۱ به رده‌های بالاتر زنجیره غذایی انتقال یابند (Mance, 1990; De Astudillo et al., 2005).

در ارزیابی شرایط آلودگی محیط‌های دریایی، آنالیز رسوبات نقش مهمی را ایفا می‌نماید. امروزه آلودگی رسوبات به عنوان یکی از وخیم‌ترین مشکلات بوم‌سامانه‌های مصبی مطرح شده است. در سراسر جهان، آلودگی فلزات سنگین در رسوبات در نزدیکی بندرهای صنعتی و شهری گزارش گردیده است (Long et al., 2000; Caplat et al., 2005).

بندر امام خمینی^(۳) بزرگ‌ترین بندر ایران است که در منطقه محصور شده خورموسی، واقع در شمال غرب خلیج فارس قرار دارد. این بندر به‌واسطه‌ی وجود صنایع پتروشیمی، طی سالیان اخیر

² Grab

¹ Biomagnification

شدند. جهت سنجش فلزات کادمیوم، سرب و مس یک گرم از رسوب الک شده را با افزودن ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵٪) و اسید پرکلریک (۶۰٪) به نسبت ۱:۴ و قرار دادن بر روی دستگاه هضم^۳، به مدت یک ساعت در دمای ۴۰°C و ۴ ساعت در دمای ۱۴۰°C هضم نموده و پس از سرد شدن نمونه ها و رقیق کردن با آب دو بار تقطیر و عبور دادن از کاغذ صافی واتمن ۴۲ به حجم ۲۵ میلی لیتر رسانده شدند. سپس غلظت فلزات مذکور توسط دستگاه جذب اتمی (AAS)^۴ با شعله مدل GBC-Savanta Σ سنجش گردید (Yap et al., 2002).

جهت سنجش جیوه، ابتدا ۱ گرم از رسوب خشک یکنواخت شده با ۴ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۲ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ درون لوله‌های آزمایش مخلوط گردید و پس از بستن درب لوله‌ها با فویل آلومینیومی، نمونه‌ها به مدت یک ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند، سپس به مدت ۳ ساعت در دمای ۹۰°C هضم گردیدند، بعد از سرد شدن کامل نمونه‌ها، ۱ میلی لیتر محلول دی کرومات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) به آن‌ها افزوده شد و پس از رقیق و صاف کردن در پایان میزان جیوه موجود در آن‌ها توسط دستگاه جذب اتمی بدون شعله (CVAAS)^۵ مدل UNICAM919 با روش بخار سرد اندازه‌گیری شد (MOOPAM, 1999).

۳-۲. پردازش داده‌ها

پردازش آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS (V. 17) صورت پذیرفت. به منظور بررسی پراکنش نرمال نتایج از آزمون Shapiro-wilk استفاده شد. از روش آماری تحلیل واریانس یک طرفه برای مقایسات کلی و از آزمون توکی جهت مقایسات چند گانه و معنی دار بودن اختلاف‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید.

۳. نتایج

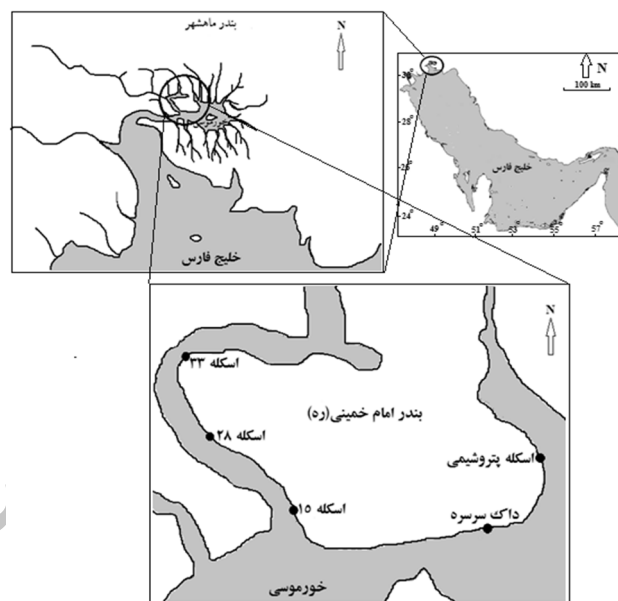
میانگین غلظت جیوه در رسوبات منطقه بندر امام خمینی $1/55 \pm 1/75$ میکروگرم بر گرم وزن خشک با دامنه ۴/۴ - ۰/۵

³ Hot plate digester

⁴ Atomic Absorption Spectrophotometry

⁵ Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry

اسکله پتروشیمی، داک سرسره، اسکله ۱۵، اسکله ۲۸ و اسکله ۳۳ جمع‌آوری گردیدند. از هر ایستگاه ۳ نمونه با فاصله برداشته شد و درون یخدان محتوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند (ASTM, 1991)، در آزمایشگاه نمونه‌ها تا زمان شروع سنجش فلزات سنگین در فریزر در دمای ۲۰°C- نگهداری شدند (Gavrilovic et al., 2007). نقشه‌ی منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌ها در منطقه در شکل ۱ و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارایه شده‌اند.



شکل ۱: نقشه‌ی منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌ها در منطقه

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی	نوع فعالیت انسانی
اسکله پتروشیمی	۳۰° ۲۵' ۳۲/۶" N ۴۹° ۰۶' ۱۵/۱" E	تخلیه پساب پتروشیمی
داک سرسره	۳۰° ۲۵' ۲۹/۷" N ۴۹° ۰۵' ۵/۴" E	تعمیر کشتی‌ها
اسکله ۱۵	۳۰° ۲۵' ۵/۵۶" N ۴۹° ۰۳' ۳۱/۴" E	تخلیه و بارگیری غلات
اسکله ۲۸	۳۰° ۲۶' ۴۴/۸" N ۴۹° ۰۲' ۲۰/۶" E	تخلیه و بارگیری مواد معدنی
اسکله ۳۳	۳۰° ۳۰' ۲۱/۲" N ۴۹° ۰۲' ۰/۱" E	بارگیری مواد نفتی

۳-۲. آماده‌سازی نمونه‌ها و سنجش فلزات سنگین

رسوبات را به مدت ۴۸ ساعت (تا ثابت شدن وزنشان) در خشک کننده انجمادی^۱ خشک نموده (Shi et al., 2005)، سپس به منظور یک‌دست کردن^۲ نمونه‌ها، رسوبات خشک شده با استفاده از الک ۶۳ میکرون الک شده و داخل هاون کوبیده

¹ Freeze drier

² Homogenization

غلظت فلزات جیوه، سرب و مس در رسوب اسکله پتروشیمی اندازه‌گیری گردید. میزان جیوه در رسوب ایستگاه اسکله پتروشیمی $4/39 \pm 0/79$ میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش شد. این ایستگاه در جوار پتروشیمی بندر امام خمینی^(ره) است. مجتمع پتروشیمی بندر امام خمینی^(ره) بزرگترین مجتمع پتروشیمی کشور می‌باشد و شامل ۱۴ واحد تولیدی از جمله واحدهای کلرآلکالی، پلی‌ونیل کلراید و اتیلن دی‌کلراید است، که تولیدات این واحدها به روش سلولی انجام می‌گیرد. این روش موجب آزاد شدن میزان زیادی جیوه در پساب می‌گردد (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۶). پساب این واحدها مستقیماً وارد خور می‌گردد و بدین ترتیب موجب آلودگی منطقه به‌خصوص ایستگاه اسکله پتروشیمی به فلز سمی جیوه می‌شود. به‌طوری‌که با فاصله گرفتن از ایستگاه اسکله پتروشیمی از میزان جیوه در رسوبات کاسته می‌شود. مطالعات مختلف توسط سایر محققین در دیگر نقاط دنیا نیز آلودگی جیوه حاصل از فعالیت واحدهای کلرآلکالی را در رسوبات نشان می‌دهند. براساس مطالعات Zhang و همکاران در سال ۲۰۰۱، میزان جیوه در رسوبات رودخانه Jiyaun واقع در شهر Tianjin در شرق چین که یک کارخانه کلرآلکالی در حواشی آن فعالیت می‌کرد، بین $0/03$ تا 845 میکروگرم بر گرم وزن خشک گزارش شد، که پساب کارخانه بدون تصفیه وارد آب می‌شد. این میزان جیوه بیشتر از میزان جیوه در مطالعه حاضر است. BuTayban و Preston در سال ۲۰۰۴ میزان جیوه را در رسوبات سواحل خلیج کویت در خلیج فارس در نزدیکی لوله‌های تخلیه فاضلاب $34/93 \pm 36/5$ میکروگرم بر گرم وزن خشک گزارش نمودند که این میزان غلظت جیوه را ناشی از فعالیت کارخانه‌های تولید کلر بیان کردند که فاضلاب‌های خود را بدون تصفیه وارد ساحل می‌کنند. Ulrich و همکاران نیز در سال ۲۰۰۷ اثر تخلیه پساب حاوی جیوه از کارخانه تولید کلرآلکالی بر بوم‌سامانه‌ی دریاچه Balkyldak در Pavlodar در شمال قزاقستان را مورد بررسی قرار دادند. رسوبات این دریاچه در لایه‌های سطحی در نزدیکی لوله‌های تخلیه پساب، بیش از ۱۵۰۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک جیوه داشت که این میزان جیوه تهدیدی جدی را برای بوم‌سامانه دریاچه به دنبال داشت. مهمترین آلودگی جیوه در خلیج میناماتا ژاپن گزارش شد که در اثر تخلیه فاضلاب از کارخانه تولید استال‌دئید بود که عواقب بسیار وخیمی به همراه داشت (Li et al., 2009). میانگین غلظت جیوه در رسوبات منطقه $1/75 \pm 1/55$ میکروگرم بر گرم وزن

میکروگرم بر گرم اندازه‌گیری شد که بیشترین میزان آن در رسوبات اسکله پتروشیمی و کمترین میزان در رسوبات ایستگاه اسکله ۲۸ مشاهده گردید. میانگین فلز سرب در منطقه $5/63 \pm 2/06$ میکروگرم بر گرم وزن خشک با دامنه $8/12 - 3/2$ میکروگرم بر گرم و میانگین فلز مس $17/24 \pm 2/1$ میکروگرم بر گرم وزن خشک با دامنه $19/8 - 15/2$ میکروگرم بر گرم اندازه‌گیری گردیدند. همانند جیوه، بیشترین میزان فلزات مس و سرب در رسوبات اسکله پتروشیمی و کمترین میزان آن‌ها در رسوبات اسکله ۲۸ مشاهده شد. غلظت کادمیوم در رسوبات بندر بسیار کمتر از فلزات دیگر بود، به‌طوری‌که میزان آن پایین تر از حد تشخیص دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی با شعله ($0/5$) اندازه‌گیری شد. مقادیر اندازه‌گیری شده فلزات جیوه، کادمیوم، مس و سرب در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۲ به نمایش درآمده است.

جدول ۲: میانگین غلظت فلزات جیوه، کادمیوم، سرب و مس بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه (مقادیر مشخص شده با حروف متفاوت، دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($P < 0.05$)).

ایستگاه	جیوه	کادمیوم	سرب	مس	فلز
اسکله پتروشیمی	$4/39 \pm 0/79$ a	$\leq 0/5$	$8/15 \pm 0/84$ a	$19/81 \pm 1/51$ a	اسکله پتروشیمی
داک سرسره	$1/79 \pm 0/43$ b	$\leq 0/5$	$7/25 \pm 0/79$ ab	$19/13 \pm 0/78$ a	داک سرسره
اسکله ۱۵	$0/97 \pm 0/1$ c	$\leq 0/5$	$4/19 \pm 0/37$ c	$16/48 \pm 1/26$ ab	اسکله ۱۵
اسکله ۲۸	$0/49 \pm 0/14$ d	$\leq 0/5$	$2/12 \pm 0/84$ c	$15/52 \pm 1/31$ b	اسکله ۲۸
اسکله ۳۳	$1/13 \pm 0/16$ c	$\leq 0/5$	$5/33 \pm 1/01$ bc	$15/23 \pm 1/55$ b	اسکله ۳۳
میانگین \pm انحراف معیار	$1/93 \pm 1/71$	$\leq 0/5$	$5/63 \pm 2/06$	$17/24 \pm 2/10$	

۴. بحث و نتیجه‌گیری

توالی غلظت فلزات سنگین در رسوب ایستگاه‌های مختلف در بندر امام خمینی^(ره) به‌صورت $Cu > Pb > Hg > Cd$ به‌دست آمد. وجود اختلافات معنی‌دار بین مقادیر فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در بین ایستگاه‌های مختلف می‌تواند حاکی از این باشد که منابع آلودگی در این بندر به‌صورت نقطه‌ای است. وجود این اختلافات بر اثر مجاورت با صنایع مختلف واقع در محدوده بندر به‌خصوص صنایع پتروشیمی، فراوانی حمل و نقل کشتی‌ها در اسکله‌های مختلف، مجاورت با محل تعمیر و نگهداری کشتی‌ها و نیز تخلیه و بارگیری انواع مواد سوختی، کالاهای نفتی، مواد معدنی، غذایی و غیره و ریزش مواد آلاینده در اسکله‌های مختلف است. نتایج این تحقیق نشان داد که در منطقه بندر امام خمینی^(ره)، ایستگاه اسکله پتروشیمی آلوده‌ترین ایستگاه است. بالاترین

سواحل استان هرمزگان را حدود ۱۰/۵۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک، ارزیابی نمودند. ریاحی و مرتضوی در سال ۱۳۸۶، غلظت سرب در رسوبات جزیره هندورابی را بین ۱/۶۰ تا ۶/۶۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک گزارش نمودند.

میانگین مس نیز در رسوبات منطقه $2/10 \pm 17/24$ میکروگرم بر گرم تعیین شد. خراسانی و همکاران در سال ۱۳۸۴ میانگین غلظت مس در رسوبات سواحل استان هرمزگان را حدود ۴۸/۴۵ میکروگرم بر گرم وزن خشک، اندازه‌گیری نمودند. deMora و همکاران در سال ۲۰۰۴، غلظت مس در رسوبات سواحل امارات، قطر و عمان را در محدوده ۲/۵۰ تا ۴/۵۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک گزارش کردند. البته این محققین غلظت مس در رسوبات سواحل بحرین را حدود ۱۵/۴۵ میکروگرم بر گرم وزن خشک برآورد نمودند. ایستگاه اسکله ۲۸ کمترین میزان فلزات جیوه، سرب و مس را در رسوبات خود نشان داد. این ایستگاه از اسکله پتروشیمی فاصله داشته و بنابراین کمتر تحت تأثیر خروجی‌های واحدهای تولیدی مجتمع پتروشیمی بندر امام است. از طرف دیگر با توجه به آمار تردد و پهلوگیری کشتی‌ها در اسکله‌های بندر امام، این اسکله به نسبت سایر ایستگاه‌های مطالعه شده دارای پهلوگیری کشتی‌های کمتری است، که به دنبال آن احتراق سوخت کشتی‌ها، آزاد شدن فلزات از رنگ بدنه کشتی‌ها و وارد نمودن آلاینده‌ها از طریق نشت روغن و سوخت کشتی‌ها به درون آب کاهش می‌یابند. لذا به نظر می‌رسد مجموع عوامل مذکور موجب پاک‌تر بودن رسوبات ایستگاه اسکله ۲۸ به فلزات مورد مطالعه است. مقادیر کادمیوم در رسوبات تمام ایستگاه‌ها، بسیار کم‌تر از سایر فلزات اندازه‌گیری شد. دلیل احتمالی غلظت کم کادمیوم در رسوبات، حلالیت بالای این فلز در آب (Birch, 1998; Warren, 1996) و همچنین لایروبی رسوبات منطقه است. لایروبی بنادر دریایی برای حفظ عمق کشتیرانی در بنادر، لازم و ضروری است. رسوبات لایروبی شده بی‌ثبات و متحرک هستند. از این رو فلزات سنگین به موجب اغتشاشات زیستی^۱ و دوباره معلق شدن^۲ از رسوبات جدا شده، در ستون آب قرار گرفته و در دسترس زیستی^۳ ارگانسیم‌ها قرار می‌گیرند (Bell et al., 2007; Hedge et al., 2009). به این ترتیب عمل لایروبی یک خطر بالقوه را برای موجودات آبی به وجود می‌آورد (Caplat et al., 2005).

خشک اندازه‌گیری شد که از حداقل غلظت تأثیرگذار (۰/۷ میکروگرم بر گرم وزن خشک) بر روی موجودات آبی که توسط Chouvleon و همکاران در سال ۲۰۰۹ بیان شد، بیشتر است. این مقدار از میزان جیوه اندازه‌گیری شده در مطالعه Horvat و همکاران در سال ۲۰۰۳ در دریای Yatsushira ($0/86 \pm 3/46$ میکروگرم بر گرم) در ژاپن کمتر است. عامل اصلی افزایش میزان جیوه در دریای Yatsushira ژاپن نیز فعالیت کارخانه کلر-آلکالی گزارش شد و میزان جیوه با فاصله گرفتن از منبع آلودگی کمتر می‌شد. بیشترین میزان سرب اندازه‌گیری شده ($8/15 \pm 0/84$ میکروگرم بر گرم وزن خشک) در رسوب ایستگاه اسکله پتروشیمی مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان مس نیز در رسوبات ایستگاه اسکله پتروشیمی با میانگین $19/81 \pm 1/51$ میکروگرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری گردید. عنصر مس و سرب در صنایع پتروشیمی کاربردهای زیادی دارند و به میزان زیادی استفاده می‌شوند. فاضلاب واحد آمونیاک و واحد استالدئید که در ایستگاه اسکله پتروشیمی تخلیه می‌شود، از بار آلودگی مواد ازته، آمونیاک، روغن، کلراستالدئید، سرب، کلرید مس و مس برخوردار است (منوری، ۱۳۸۱). به همین دلیل مقادیر بالای فلزات سرب و مس در ایستگاه اسکله پتروشیمی که پساب کارخانه پتروشیمی در این محل تخلیه می‌شود و همچنین در ایستگاه داک سرسره که در نزدیکی آن قرار دارد و محل تعمیر و نگهداری کشتی‌ها است، به دست آمد. عنصر مس و سرب در ترکیبات رنگ‌ها از جمله رنگ‌های مورد استفاده برای کشتی‌ها و شناورها وجود دارد (CCREM, 1987). این دو عنصر در پساب‌های شهری و خانگی نیز وجود دارند (Luoma and Rainbow, 2008). در نتیجه به نظر می‌رسد تردد قایق‌ها و شناورها و نیز تخلیه فاضلاب‌های انسانی و صنعتی به آب‌های این منطقه موجب ناپاکی این منطقه به عنصر مس و سرب شده است. deAstudillo و همکاران در سال ۲۰۰۵ غلظت فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب، مس و نیکل را در رسوبات سواحل خلیج Paria که به وسیله دو کشور ترینیداد و ونزوئلا احاطه شده است را اندازه‌گیری کردند و دریافتند که این رسوبات دارای غلظت بالایی از این فلزات سنگین هستند که علت آن را ورود این آلاینده‌ها از طریق فاضلاب‌های شهری و صنعتی به منطقه عنوان کردند. میانگین سرب در منطقه مورد مطالعه $5/63 \pm 2/06$ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود، در حالی که خراسانی و همکاران در سال ۱۳۸۴، میانگین غلظت سرب در رسوبات

¹ Bioturbation

² Resuspention

³ Bioavalability

جدول ۳: مقایسه غلظت فلزات جیوه و کادمیوم (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در رسوبات منطقه مورد مطالعه با رسوبات سایر نقاط دنیا

منطقه	جیوه	کادمیوم	سرب	مس	منبع
رسوبات جهانی (میزان مرجع)	—	۰/۴۲	۱۹	۳۳	Karbassi et al., 2005
خوریات ماهشهر	۰/۲۲	۰/۶	۱۴/۶۶	۲۷/۰۱	دهقان مدیسه، ۱۳۸۶
دریای خزر - ایران	۰/۰۲ - ۰/۰۹	۰/۱ - ۰/۲	۱۱/۳ - ۲۴/۶	۱۳/۲ - ۵۰/۹	De Mora and Sheikholeslami, 2002
دریای خزر - روسیه	۰/۰۱ - ۰/۰۷	—	۲/۷۷ - ۵۲/۹	۲/۵۴ - ۲۱/۹	De Mora and Sheikholeslami, 2002
دریای خزر - آذربایجان	۰/۰۵ - ۰/۴۵	۰/۱ - ۰/۲	۱۲/۲ - ۲۸/۶	۱۴/۵ - ۵۷/۶	De Mora and Sheikholeslami, 2002
خلیج فارس - قطر	۰/۰۲ - ۰/۰۵	۰/۰۲ - ۰/۰۹	۰/۴۳ - ۳/۸۸	۱/۲۲ - ۸/۱۷	De Mora et al., 2004
خلیج فارس - امارات	۰/۰۰۱ - ۰/۰۰۳	۰/۰۲ - ۰/۱۱	۰/۶۹ - ۵/۸۸	۰/۶۴ - ۳/۵۸	De Mora et al., 2004
خلیج فارس - بحرین	۰/۰۰۳ - ۰/۲۲	۰/۰۴ - ۰/۱۸	۰/۶۷ - ۹۹	۲/۳۸ - ۴۸/۳	De Mora et al., 2004
خلیج فارس - عمان	ND - ۰/۰۱	۰/۱۴ - ۰/۲۱	۰/۲۵ - ۱/۸۲	۰/۶ - ۶/۶۶	De Mora et al., 2004
محدوده دریایی رایمی	۰/۰۱ - ۰/۱۳	۰/۱ - ۰/۷	۴/۲ - ۱۴/۵	—	ROPME, 2003
خلیج ازمیر	۰/۰۵	۰/۰۳	۸/۵	۱۷	Aksu et al., 1997
خلیج سانفرانسیسکو - کالیفرنیا	۰/۰۶	—	۵/۲	۴۱/۴	Horenberger et al., 1999
بندر سیدنی - استرالیا	۱/۴	۳/۱	۲۰۰	۳۶۰	Mc Cready et al., 2006
مصب ساوانا - آمریکا	ND - ۱/۹	ND - ۱/۲	—	۰/۴۱ - ۰/۹۵	Kumar et al., 2008
شمال غرب خلیج فارس	۱/۷۵	۰/۱۸	۵/۶۳	۱۷/۲۴	مقاله حاضر
(بندر امام خمینی)	(۰/۴۹ - ۴/۳۹)	(۰/۱۲ - ۰/۲۶)	(۲/۲۲ - ۸/۱۵)	(۱۵/۲۳ - ۱۹/۸۱)	

ND: زیر حد تشخیص دستگاه

استانداردهای کیفیت رسوب^۱ در جهان از جمله با استانداردهای کیفیت رسوب آمریکا (NOAA^۲) و استاندارد کیفیت رسوب کانادا (ISQGS^۳) و مقادیر PEL^۴ (سطوحی که موجب اثرات زیان آور می‌شود) که توسط محیط زیست کانادا تعیین گردیده است و استاندارد تعیین شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، مقایسه شده است.

یکی از پر کاربردترین استانداردهای کیفیت رسوب در پایش مصب‌ها و محیط‌های دریایی، استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA) است (Long et al., 1995). در کیفیت رسوب NOAA دو خطر برای آلودگی فلزات در رسوبات بیان شده است که به صورت ERL^۵ حدی که کمتر از ۱۰ درصد جوامع بیولوژیک در خطرند و ERM^۶ حدی که کمتر از ۵۰ درصد جوامع بیولوژیک در خطرند، ارائه شده است. در استاندارد تعیین شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، مقادیر LAL^۷ به مقادیری اشاره دارد که اثر خاصی بر موجودات ندارد (USEPA, 1999) و مقادیر HAL^۸ تقریباً شبیه به مقادیر ERM است (USEPA, 1999).

میزان کادمیوم در محدوده دریایی رایمی در دامنه ۰/۱ تا ۰/۷ میکروگرم بر گرم وزن خشک تعیین شده است (ROPME, 2003). دهقان در سال ۱۳۸۶ غلظت کادمیوم را در رسوبات خوریات ماهشهر ۰/۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک تعیین نمود. عبداللهی در سال ۱۳۸۸، با مطالعه غلظت کادمیوم در رسوبات منطقه بندر امام خمینی^(ره)، میزان کادمیوم را در رسوبات این منطقه زیر حد تشخیص دستگاه گزارش نمود.

نتایج حاصل از این مقایسه نشان می‌دهد که میزان جیوه در مطالعه حاضر نسبت به مقادیر گزارش شده این فلز در نقاط دیگر بالاتر می‌باشد. بنابراین رسوبات منطقه مورد مطالعه در بندر امام خمینی از لحاظ جیوه دارای آلودگی زیادی است. میزان جیوه در مطالعه حاضر در مقایسه با سایر مناطق دنیا به میزان جیوه در بندر سیدنی استرالیا که در کنار شهر پرجمعیت و صنعتی سیدنی قرار دارد و مصب ساوانا آمریکا تا حدودی نزدیک است. میزان اندازه‌گیری شده کادمیوم در این مطالعه از میزان این فلز در رسوبات بندر سیدنی استرالیا، مصب ساوانا، محدوده دریایی رایمی و همچنین از میزان گزارش شده در خوریات ماهشهر کمتر و با سایر نقاط برابر و یا بیشتر می‌باشد. میزان سرب و مس از میزان گزارش شده توسط De Mora و همکاران در سال ۲۰۰۴ در رسوبات سواحل قطر، امارات و عمان بیشتر بوده ولی از سایر نقاط کمتر است. میزان مس در این مطالعه از میزان آن در رسوبات مصب ساوانا بیشتر است.

در جدول ۴ نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات بندر امام خمینی^(ره) با برخی از

¹ Sediment Quality Guide Lines

² National Oceanic and Atmospheric Administration

³ Canadian interim marine sediment quality

⁴ Probable Effects level

⁵ Effect RangLow

⁶ Effect Range Medium

⁷ Lowest alert level

⁸ Highest Alert Level

سواحل بندرعباس، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸، شماره ۴، صفحات ۸۶۹-۸۶۱.

دهقان مدیسه، س.، ۱۳۸۶. شناسایی مناطق حساس و تحت اثر در خوریات ماهشهر با استفاده از شاخص های اکولوژیک و بیولوژیک. رساله دکترای تخصصی در رشته بیولوژی دریا. دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر. ۱۴۴ صفحه.

ریاحی بختیاری، ع.؛ مرتضوی، ث.، ۱۳۸۶. سنجش مقادیر سرب و کادمیوم در پوسته صدف مروراید ساز محار (*Pinctada radiata*) جزیره هندورابی. مجله پژوهش و سازندگی در امور آبریان، شماره ۷۴، ۱۱۰-۱۱۷.

منوری، س.، م.، ۱۳۸۱. راهنمای اثرات زیست محیطی کارخانجات پتروشیمی، تهران، انتشارات فرزانه، چاپ اول.

Aksu, A.E.; Ysar, D.; Uslu, O., 1997. Assessment of Marine Pollution in Izmir Bay: Heavy Metal and Organic Compound Concentration in Surficial sediments. Turkish Journal of Engineering and Environmental Science, 22: 387-415.

American Society for Testing and Materials (ASTM), 1991. Standard guide for collection, storage, characterization and manipulation of sediments for toxicological testing. Philadelphia, 1391-90.

Bellas, J.; Ekelund, R.; Halldorsson, H.P.; Berggren, M.; Granmo, A., 2007. Monitoring of organic compounds and trace metals during a dredging episode in the Gota Alv Estuary (SW Sweden) using caged mussels. Water, Air and Soil Pollution, 181: 265-279.

Birch, G.F., 1996. Sediment-bound metallic contaminants in Sydney's estuaries and adjacent offshore, Australia. Estuarine Coastal and Shelf Science, 42: 31-44.

Bryan, G.W., 2000. Pollution due to heavy metals and their compounds, in: O. Kinne, ed., Marine Ecology, Vol. 5, Part 3, Wiley, London and New York, 1289-1431 pp.

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.

Caplat, C.; Texier, H.; Barillier, D.; Lelievre, C., 2005.

جدول ۴: مقایسه مقادیر جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات بندر امام خمینی^(ب) با مقادیر استاندارد بر اساس کیفیت رسوب NOAA و USEPA و محیط زیست کانادا

فلز	کیفیت رسوب آمریکا NOAA					
	USEPA1,1999		محیط زیست کانادا (CCME2, 1999)			
رسوبات بندر امام خمینی	HAL	LAL	ISQGs	PEL	ERL	ERM
جیوه	۰/۷۱ (۰/۴۹ - ۴/۳۹)	۰/۱	۰/۱۳	۰/۷	۰/۱۵	۰/۷۱
کادمیوم	۰/۱۸ (۰/۱۲ - ۰/۲۶)	۹/۶	۰/۴	۴/۲۰	۱/۲۰	۹/۶
سرب	۵/۶۳ (۳/۲۲ - ۸/۱۵)	۲۱۸	۲	۳۰/۲	۱۱۲	۴۶/۷
مس	۱۷/۲۴ (۱۵/۲۳ - ۱۹/۸۱)	۲۷۰	۲	۱۸۷	۱۰۸	۲۷۰

1- United State Environmental Protection Agency

2- Canadian Council of Ministers of the Environment

مقایسه میزان اندازه‌گیری شده فلز جیوه در رسوبات بندر امام خمینی (ره) با استانداردهای کیفیت رسوب نشان داد که غلظت این فلز در رسوبات منطقه مورد مطالعه از سطوح استانداردهای کیفیت رسوب آمریکا (NOAA) (ERM و ERL)، استاندارد کیفیت رسوب کانادا (ISQGs و PEL) و استاندارد ارائه شده توسط USEPA,1999 (LAL و HAL) بیشتر است. این امر می‌تواند تهدیدی جدی برای سلامت محیط زیست و موجودات منطقه محسوب شود؛ از این رو نیازمند نظارت بیشتر در منطقه است.

مقایسه میزان فلزات کادمیوم، سرب و مس در رسوبات بندر امام خمینی^(د) با استانداردهای کیفیت رسوب نشان داد که غلظت این فلزات به جز از کمترین سطح اثر (LAL)، از سطوح سایر استانداردها کمتر می‌باشد. بنابراین میزان آن‌ها در محیط از لحاظ آلودگی بی‌خطر تلقی می‌شود.

۵. سپاسگزاری

بدینوسیله از مرکز پژوهش پتروشیمی بندر امام خمینی^(د) به دلیل حمایت مالی این پروژه تقدیر و تشکر به عمل می‌آید. همچنین از لطف و زحمات آقایان مهندس علی منصوری، مهندس ایرج فقیری و مهندس سجاد عبداللهی در عملیات نمونه‌برداری منطقه و آنالیزهای آزمایشگاهی کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

اسماعیلی ساری، ع.، ۱۳۸۶. جیوه در محیط زیست. انتشارات بازرگان، تهران، ۲۲۶ صفحه.

خراسانی، ن.؛ شایگان، ج.؛ کریمی شهری، ن.، ۱۳۸۴. بررسی غلظت فلزات سنگین (روی، مس، آهن، کرم و سرب) در رسوبات سطحی

- related metal bioaccumulation in oysters. *Marine Pollution Bulletin*, 58: 832-840.
- Horvat, M.; Nolde, N.; Fajon, V.; Jereb, V.; Logar, M.; Lojen, S.; Jacimovic, R.; Falnog, I. Qu, L.; Faganeli, J.; Drobne, D., 2003. Total mercury, methylmercury and selenium in mercury polluted areas in the province Guizhou, China, *Science Total Environmetal*, 304: 231-256.
- Karbassii, A.R.; Nabi-Bidhendi, Gh.R.; Bayati, I., 2005. Environmental geochemistry of heavy metal in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf, *Iran Journal of Environment Health science Engineering*, 2: 255-260.
- Kumar, K. S.; Sajwan, K. S.; Richardson, J. P.; Kannan, K., 2008. Contamination profiles of heavy metals, organochlorine pesticides, polycyclic aromatic hydrocarbons and alkylphenols in sediment and oyster collected from marsh/estuarine Savannah GA, USA. *Marine Pollution Bulletin*, 56: 136-162.
- Larsson, P., 1985. Contaminated sediments of lakes and oceans act as sources of chlorinated hydrocarbons for release to water and atmosphere. *Nature*, 317:347-349.
- Li, P. X.B.; Feng, G.L.; Qiu, L.H.; Shang, Z.G.; Li, Z., 2009. Mercury pollution in Asia: A review of the contaminated sites. *Journal of Hazardous Materials*, No. of Pages 11.
- Long, E.R.; MacDonald, D.D.; Severn, C.G.; Hong, C.B., 2000. Classifying probabilities of acute toxicity in marine sediments with empirically derived sediment quality guidelines. *Environmental Toxicological Chemistry*, 19: 598- 601.
- 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: 81- 97.
- Luoma, S.N.; Rainbow, P.S., 2008. Metal contamination in aquatic environments: science and lateral Heavy metals mobility in harbour contaminated sediments: The case of Port-en-Bessin. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 504-516.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 1999. Canadian environmental Quality Guideline, From Publication No.1299: ISBN1-896997-34-1.
- CCREM (Canadian Council of Resource and Environment Ministers), 1987. Canadian water quality prepared by the task force on water quality guidelines.
- Chouvelon, T.; Warnau, M.; Churlaud, C.; Bustamante, P., 2009. Hg oncentrations and related risk assessment in coral reef crustaceans, molluscs and fish from New Caledonia. *Environmental Pollution*, 11: 331-340.
- de Astudillo, L.R.; Yen I.C.; Berkele, I., 2005. Heavy metals in sediments, mussels and oysters from Trinidad and Venezuela. *Revista de Biologia Tropical*, 53: 41-53.
- deMora, S.; Fowler, S. W.; Wyse, E.; Azemard, S., 2004. Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Persian Gulf and Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin*, 49: 410-424.
- deMora, S.; Sheikleslami, M. R., 2002. Contaminant screening program. Final report. Interpretation of Caspian Sea Sediment Data. 27p.
- Dias, J.F.; Fernandez, W.S.; Boufleur, L.A.; dos Santos, C.E.I.; Amaral, L.; Yoneama, M.L.; Dias J.F., 2009. Biomonitoring study of seasonal anthropogenic influence at the Itamambuca beach (SP, Brazil), *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 267: 1960-1964
- Gavrilovic, A.; Srebocan, F.; Gotal, P.; Peterniec, Z.; Prevendar, A.; Matasin, Z., 2007. concentrations in oysters from the Mali Ston Bay, south-eastern Adriatic, Croatia – potential safety hazard aspect Spatiotemporal variation of some metal. *Veterinarni Medicina*, 10: 457-463.
- Hedge, L.H.; Knott, N.A.; Johnston, E.L., 2009. Dredging

- Simpson, C.D.; Mosi, A.A.; Cullen, W.R.; Reimer, K.J., 1996. Composition and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in surficial marine sediments from Kitimat Harbor, Canada. *Science Total Environment*, 181: 265–78.
- Ullrich, S.M.; Ilyushchenko, M.A.; Kamberov, T.W., 2007. 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 Environmental*, 381: 1–16.
- USEPA. 1999. Technical Guidance for Screening contaminated Sediments. New York State Department of Environmental Conservation. 32p.
- Warren, L.A., 1998. Modeling cadmium accumulation by benthic invertebrates in situ: the relative contributions of sediment and overlying water reservoirs to organism cadmium concentrations. *Limnology and Oceanography*, 43: 1442–1454.
- Yap, C. K.; Ismail, A.; Tan, S. G.; Omar, H., 2002. Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel *Perna viridis* from the west coast of Peninsular Malaysia. *Environment International*, 28:117–128.
- Zhang, H.; Lindberg, S.E., 2001. Sunlight and iron (III)-induced photochemical production of dissolved gaseous mercury in fresh water, *Environmental Science Technology*, 35: 928–935.
- management. Xiv, 573 pp. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mance G., 1990. Pollution threat of heavy metal in aquatic environments, New York: Elsevier Applied Science.
- Manual of Oceanographic Observations and Pollutant Analyses Methods (MOOPAM), 1999. ROPME, Kuwait.
- Pempkowiak, J.; Sikora, A.; Biernacka, E., 1999. Speciation of heavy metals in marine sediments vs. their bioaccumulation by mussels. *Chemosphere*, 39: 313–321.
- Povlesen, E.; Alshabrawy, M.M.; Shindy, M.A.; Abu El-Seoud, A., 2003. Heavy metals and hazardous organic pollutants in sediments and mussels in the Gulf of Suez, 1999 and 2001, 4th International Conference and Exhibition for Environmental Technologies: Environment 2003, Cairo International Conference Center.
- ROPME., 2003. State of the marine environment report. Regional Organization for Protection of Marine Environment, Kuwait. 217 p.
- Savvides, C.; Papadopoulos, A.; Haralambous, K.J.; Loizidou, M., 1995. Sea sediments contaminated with heavy metals: metal speciation and removal. *Water Science and Technology*, 32: 65–73.
- Shi, J.; Liang, L.; Jiang, G.; Jin, X., 2005. The speciation and bioavailability of mercury in sediments of Haihe River, China, *Environment International*, 31: 357–365.