سنجش میزان غلظت فلزات سنگین (نیکل، وانادیوم، سرب، کبالت و کادمیوم) در مخازن آب توازن کشتی های تجاری ورودی به بندر امام خمینی (ره)

سرور سلامی اصل[1*]
احمد سواری[2]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲. استاد گروه بیولوژی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر، ایران

***مسئول مکاتبات**
Soroursalami@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۳۱
این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد است.

چکیده

تحقیق حاضر به‌منظور بررسی غلظت فلزات سنگین (نیکل، وانادیوم، سرب، کبالت و کادمیوم) ورودی از طریق آب توازن کشتی‌ها در دو فصل (زمستان ۱۳۹۳ و تابستان ۱۳۹۴) در منطقه بندر امام خمینی (ره) در شمال غربی خلیج‌فارس انجام شد. انتقال مواد شیمیایی و همچنین گونه‌های مختلف جانوری و گیاهی از طریق آب توازن از دلایل اهمیت این معضل جهانی می‌باشد. نمونه‌برداری از آب و رسوب مخازن آب توازن ۱۲ کشتی تجاری (حامل سنگ‌آهن، کاندنسیت و آهن‌آلات) ورودی از مسیرهای آمریکای جنوبی و آسیای جنوب شرقی انجام شد. از آب و رسوب موجود در هر کشتی ۳ نمونه تهیه‌شده و پس از آماده‌سازی به روش EPA (۲۰۰۷)، غلظت فلزات سنگین موردبررسی با استفاده از دستگاه ICP اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، کبالت، کادمیوم، نیکل و وانادیوم موجود در نمونه‌های آب در دو فصل در مسیر آمریکای جنوبی به ترتیب ۱/۵۴±۴/۳۱، ۱/۱۹±۳/۴۱، ۱/۰۲±۱/۷۳، ۱/۴۵±۳/۳۳ و ۰/۰۱±۰/۵ (میلی‌گرم بر لیتر) و بیشینه میزان آن ۱/۹۴±۴/۵۵، ۰/۸۸±۳/۴۵، ۱/۵۲±۱/۷۷، ۱/۲۶±۳/۵۲ و ۰/۰۱±۰/۵ (میلی‌گرم بر لیتر) و در مسیر آسیای جنوب شرقی میانگین فلزات به ترتیب ۰/۹۲±۴/۲۰، ۰/۷۵±۱/۹۲، ۰/۳۲±۱/۲۵، ۰/۶۱±۱/۶۶ و ۰/۰۱±۰/۰۵ و بیشینه میزان آن ۰/۷۱±۴/۲۱، ۰/۱۲±۱/۹۴، ۰/۵۲±۱/۲۹، ۰/۴±۱/۶۸ و ۰/۰۱±۰/۰۵ بود. همچنین میانگین غلظت فلزات مذکور در نمونه‌های رسوب مخازن در مسیر آمریکای جنوبی در دو فصل به ترتیب ۱۰/۶۲±۶۵/۵، ۴/۴۵±۲۷/۶، ۰/۰۰۱±۰/۱، ۳/۳۰±۴۷/۸۳ و ۱/۵۶±۲۵/۴۶ (میکروگرم در کیلوگرم) و بیشینه میزان آن ۱۰/۷۵±۶۷/۵، ۴/۴۷±۲۹/۵، ۰/۰۰۱±۰/۱، ۱/۹۵±۵۰/۹۳ و ۲/۰۰±۲۵/۷۰ (میکروگرم در کیلوگرم) و در مسیر آسیای جنوب شرقی میانگین فلزات در دو فصل به ترتیب ۲۳/۴۵±۹۴، ۳/۲۱±۲۹/۰۳، ۰/۰۰۱±۰/۱، ۵/۰۵±۵۵/۵ و ۳/۲۵±۴۱/۳۲ (میکروگرم در کیلوگرم) و بیشینه میزان آن ۲۹/۴۱±۱۰۶، ۳/۶۷±۳۲/۹، ۰/۰۰۱±۰/۱، ۳/۷۹±۶۱/۱۲ و ۲/۷۶±۴۱/۸۵ (میکروگرم در کیلوگرم) بود. همچنین با مقایسه میزان غلظت فلزات در آب و رسوب کشتی‌ها بین دو فصل اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (P>۰/۰۵) و تنها برای فلز سرب بین دو فصل در مسیر آمریکای جنوبی اختلاف معنی‌دار وجود داشت (P<۰/۰۵)، لازم به ذکر است که میزان غلظت فلزات مذکور در تابستان در هر دو مسیر مقدار بیشتری را نسبت به زمستان نشان داد و از سنجش آب و رسوبات در مسیر آسیای جنوب شرقی مقادیر بالاتری نسبت به مسیر آمریکای جنوبی ملاحظه گردید. همچنین مقادیر فلزات برای هر دو مسیر و هر دو فصل در رسوبات مخازن اختلاف معنی‌داری با مقادیر موجود در آب داشت (P<۰/۰۵). مقایسه غلظت فلزات فوق با مقادیر استاندارد آب (ROPME,2003) و رسوب (EPA,2005) نشان داد که غلظت فلزات مذکور در آب و رسوبات مخازن آب توازن کشتی‌های موردبررسی، با توجه به مقادیر در نظر گرفته‌شده در استاندارد ROPME,2003 و EPA,2005 در محدوده استاندارد قرار داشته و تخلیه آب توازن آن در منطقه به لحاظ زیست‌محیطی آلودگی فلزات سنگین مذکور را ایجاد نمی‌نماید.

واژگان کلیدی: آب توازن، فلز سنگین، نیکل، وانادیوم، سرب، کبالت، کادمیوم، بندر امام خمینی، خلیج‌فارس.

مقدمه

کشتی‌ها یکی از مهم‌ترین ارکان حمل‌ونقل در دنیا محسوب می‌شوند. آب توازن یکی از لوازم کشتی‌رانی امن در اقیانوس‌ها و دریاهای پرتلاطم برای حفظ تعادل کشتی است. هرچند که آب توازن برای ایمنی کشتی‌رانی ضروری است اما طیفی از چالش‌ها و معضلات زیست‌محیطی را نیز به

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

همراه دارد (پاکروان،۱۳۸۵). آب توازن، آب شیرین یا شوری است که در تانک‌های توازن و انبار کالای کشتی‌ها نگه‌داشته می‌شود، این آب برای حفظ ثبات کشتی و قابلیت مانور آن در طول سفر هنگامی‌که کالا حمل نمی‌کند، یا وقتی‌که ثبات بیشتر به‌واسطه دریای متلاطم نیاز است استفاده می‌شود، هم‌چنین آب توازن ممکن است به‌منظور اضافه کردن وزن جهت فرورفتن بیشتر در آب برای عبور از زیر پل‌ها و دیگر سازه‌ها بکار گرفته شود، معمولاً آب توازن هنگامی‌که کشتی در حال تحویل کالا به بندر و جدا شدن با کالای کمتر یا بدون کالا از اسکله است به درون تانک‌ها پمپ می‌شود. با توجه به تردد شناورهای اقیانوس‌پیما در خلیج‌فارس و احتمال بروز معضلات زیست‌محیطی برای منطقه به‌واسطه آب توازن این شناورها، آلودگی‌های احتمالی موجود در آب توازن کشتی‌ها و اثرات تخریبی را به وجود می‌آورد (قربانی نژاد و همکاران،۱۳۸۷).

محیط‌زیست دریایی خلیج‌فارس به علت شرایط اکولوژیک خاصی که دارد و بهره‌گیری‌هایی که این محیط و منابع آن می‌شود به‌طور مستمر در معرض مخاطراتی قرارگرفته است. خلیج‌فارس در زمره یکی از باارزش‌ترین زیست‌بوم‌های آبی جهان محسوب می‌گردد که باوجود متنوع‌ترین رویش‌های گرمسیری، گونه‌های مختلف جانداران آبزی و ... دارای شرایط بسیار ویژه ایست که محیط‌زیست آن را تبدیل به محیطی شکننده کرده است. عبور و مرور انواع شناورها و تخلیه مواد آلاینده آن‌ها به این منطقه، تخلیه انواع آلاینده‌های شیمیایی خطرناک و ... از عمده‌ترین عوامل آلودگی محیط‌زیست دریایی خلیج‌فارس به شمار می‌آید که توانسته در اندک زمانی اکوسیستم بی‌نظیر آن را بیش‌ازحد طبیعی، آلوده نماید و بدین طریق آبزیان و موجودات آن را با خطر نابودی مواجه سازد (لطفی و همکاران،۱۳۹۰). بندر امام خمینی بزرگ‌ترین بندر ایران است که در منطقه محصورشده خور موسی واقع در شمال غرب خلیج‌فارس واقع‌شده است. آلودگی ناشی از اکتشاف و استخراج نفت و تردد نفت‌کش‌ها، حوادث و سوانح مربوط به سکوهای نفتی، رفت‌وآمد کشتی‌ها، منابع و صنایع مستقر در خشکی سبب تخلیه ناپاکی‌های فراوان آلی و معدنی به‌خصوص فلزات سنگین به این منطقه می‌شود و با توجه به اینکه خور موسی راه ارتباطی محدودی با خلیج‌فارس دارد ناپاکی‌های پایدار ازجمله فلزات سنگین طی سالیان دراز در محیط خور باقی‌مانده و به علت انباشته شدن، این ناپاکی‌ها تبدیل به آلودگی‌های محیطی خواهد شد و درنهایت سبب تأثیرگذاری بر ویژگی‌های بوم‌شناختی منطقه می‌شوند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱). مسئله آلودگی محیط‌زیست در سال‌های اخیر بحران بزرگی را به وجود آورده و کلیه فعالیت‌های انسان در رابطه با طبیعت را تهدید می‌کند. آلودگی‌های دریایی بخش قابل‌توجهی از بحران آلودگی محیط‌زیست را تشکیل می‌دهد. فعالیت‌های انسانی موجب افزایش غلظت فلزات سنگین در رسوبات ساحلی گردیده است (Bryan, 2000; Savvides *et al*., 1995) آلودگی محیط‌زیست به فلزات سنگین تبدیل به یک مشکل جهانی شده است (Irabien and velasco, 1999). به‌طوری‌که همواره در مناطقی با سطوح بالای فعالیت‌های صنعتی و شهری غلظت‌های بسیار زیاد این آلاینده‌ها مشاهده می‌شود (Birch, 1996). فلزات سنگین عناصری هستند که از پایداری بالایی در محیط برخوردارند و با تجمع در بافت‌های آبزیان، قابل‌انتقال به سطوح مختلف غذایی می‌باشند و توانایی ایجاد سمیت در موجودات زنده و درنهایت انسان رادارند و به‌این‌ترتیب باعث بروز پیامدهای خطرناک ناشی از این آلاینده‌ها می‌شوند که در صورت ورود به محیط مشکلاتی را ایجاد می‌نمایند و ممکن است از طریق تخلیه آب توازن به محیط وارد شوند. آلودگی رسوبات با فلز سنگین منجر به مشکلات محیطی جدی می‌شود (Savvides *et al*., 1995). غلظت فلزات در محیط می‌تواند با غلظت‌های فلزی بالای ثبت‌شده در موجودات زنده پیوند داشته باشد (Pempkowiak *et al*., 1999). به‌طوری‌که مکان‌هایی با داشتن رسوبات ناپاک همیشه یک خطر حقیقی را برای موجودات زنده در سایر زیستگاه ا فراهم می‌کنند (Dias *et al*., 2009). فلزات سنگین به دلیل سمیت، تجزیه‌ناپذیری و تجمع پذیری یکی از جدی‌ترین آلاینده‌ها در محیط طبیعی می‌باشند که انباشت در بافت‌ها و بدن جانداران از خطر سمیت آن مهم‌تر است (Hoff, 2002). جانوران دریایی می‌توانند فلزات را به‌واسطه‌ی آب دریا، ذرات معلق، رسوبات و از طریق زنجیره غذایی تجمع دهند (Povelson *et al*., 2003). این فلزات می‌توانند با تجمع زیستی در زنجیره غذایی به سمیت مزمن و شدید دامن زنند (Ahmad *et al*., 2010). به‌واسطه‌ی بزرگنمایی زیستی به رده‌های بالاتر زنجیره غذایی انتقال یابند (Mance, 1990; De Astudillo *et al*., 2005). فعالیت‌های زمین‌شناختی و انسانی هر دو منبع

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

اصلی فلزات در محیط‌زیست می‌باشند (Farkas *et al.*, 2007). به همین جهت با توجه به اهمیت فلزات سنگین در محیط‌های آبی تعیین میزان غلظت این فلزات در محیط ضروری است (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱).

در خلیج‌فارس مطالعه‌ای روی فلزات سنگین ورودی از طریق آب توازن صورت نگرفته اما می‌توان به مطالعاتی که بر روی آب و رسوبات منطقه بندر امام خمینی (ره) صورت گرفته اشاره کرد. در سال ۱۳۹۴ مطالعه‌ای باهدف بررسی غلظت فلزات سنگین (Cd, Cr, Ni, Pb, Zn) در آب و رسوبات سواحل شمال غربی خلیج‌فارس در بندر امام خمینی انجام گرفت که غلظت به‌دست‌آمده به‌طور میانگین برای نیکل ۷۳/۲۴، کروم ۱۱۴/۷۱ و روی ۴۲/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. نتایج حاصل از آن روند کاهشی فراوانی فلزات سنگین در نمونه‌های آب به‌صورت Ni> Cr> Zn> Cd>Pb و در نمونه‌های رسوب به‌صورت Cr> Ni > Zn>Pb> Cd را نشان داد. غلظت سرب در نمونه‌های آب و غلظت سرب و کادمیوم در نمونه‌های رسوب پایین‌تر از حد آشکارسازی دستگاه بود. درنهایت نتایج فاکتور آلودگی و ضریب غنی‌شدگی نشان داد که عنصر روی در رده آلودگی کم، عنصر کروم در رده آلودگی متوسط و عنصر نیکل در رده آلودگی زیاد می‌باشد (ثقفیان خو و همکاران، ۱۳۹۴). مطالعه دیگری در سال ۱۳۸۸ باهدف بررسی سطوح فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات شمال غرب خلیج‌فارس- بندر امام خمینی (ره) انجام شد که پس از نمونه‌برداری از ۵ ایستگاه در نظر گرفته‌شده نتایج نشان داد دامنه سطوح فلزات سنگین در رسوبات ایستگاه‌های مختلف بر اساس میکروگرم بر گرم وزن خشک ۴/۴-۰/۵ جیوه، ۸/۲-۳/۲ سرب، ۱۹/۸-۱۵/۲ مس است. میزان کادمیوم در رسوبات ایستگاه‌های موردمطالعه زیر حد تشخیص دستگاه اندازه‌گیری شد. از میان فلزات مذکور، میزان جیوه در رسوبات منطقه از حد استانداردهای بین‌المللی بیشتر و سایر فلزات کمتر از حدود استانداردهای بین‌المللی بودند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین برای بررسی اثرات سرب و کادمیوم در آب و رسوب خور زنگی (از انشعابات خور موسی) مطالعه‌ای صورت گرفت که تعداد ۷ ایستگاه برای نمونه‌برداری در نظر گرفته شد و پس از آنالیز نمونه‌ها نتایج نشان داد که حداقل و حداکثر مقادیر به‌دست‌آمده برای فلز سرب در آب ۰/۱۹ و ۰/۲۹ و در رسوب ۱/۴۳ و ۷/۳۱ و مقدار کادمیوم در آب ۰/۰۷ و ۰/۱۲ و در رسوب ۱/۶۸ و ۲/۸۸ بود که بین مقادیر به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (منوچهری و همکاران، ۱۳۸۷).

همچنین نتایج بررسی غلظت و منشأ فلزات سنگین (Al, As, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Sr, Zn) در رسوبات ۱۶ ایستگاه در منطقه خور موسی در خلیج‌فارس نشان داد که میانگین غلظت برای هر یک از فلزات مذکور به ترتیب آلومینیوم ۱/۰۱، آرسنیک ۱۰/۵، باریم ۵۶، کبالت ۳، کروم ۴۳، مس ۲۲، منگنز ۳۵۱، نیکل ۶۲، استرانسیوم ۳۸۰ و روی ۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم به دست آمد؛ که نتایج تفکیک شیمیایی نشان داد که غیر از عنصر مس آلودگی سایر فلزات ناشی از فعالیت‌های انسانی است (واعظی و همکاران، ۱۳۹۳).

هدف از پژوهش حاضر بررسی غلظت فلزات سنگین ورودی از طریق آب توازن کشتی‌ها به منطقه بندر امام خمینی (ره) می‌باشد که در زمستان ۱۳۹۳ و تابستان ۱۳۹۴ انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری به‌طور فصلی در زمستان ۱۳۹۳ و تابستان ۱۳۹۴ از آب و رسوبات درون مخازن آب توازن کشتی‌های ورودی به پایانه‌های بندر امام خمینی صورت گرفت. هدف از انتخاب زمان در نظر گرفتن دو فصل سرد و گرم سال است که ممکن است موجب تغییرات در میزان غلظت فلزات گردد. برای نمونه‌برداری از آب توازن در کشتی‌های انتخاب‌شده به‌عنوان ایستگاه‌های نمونه‌برداری، ۳ قسمت مشخص گردید و از این نقاط ۳ نمونه ۳ تا ۵ لیتری آب تهیه شد (MOOPAM, 1999)؛ که نمونه‌ها در بطری‌های پلاستیکی عاری از هر نوع آلودگی و برای حفظ شرایط در یونولیت یخ قرار داده شد و به آزمایشگاه منتقل شد. برای نمونه‌برداری از رسوبات ته‌نشین شده در مخازن آب توازن نیز در هر فصل و در هر

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

ایستگاه به‌منظور نمونه‌برداری از رسوبات درون مخازن از نمونه‌گیر دستی (گرب پترسون) استفاده شد. محتویات گرب درون یک ظرف پلاستیکی عاری از هرگونه آلودگی تخلیه شد.

سنجش فلزات سنگین نمونه‌های آب توسط روش استاندارد EPA (۲۰۰۷) انجام شد. نمونه‌های آب منتقل‌شده به آزمایشگاه از کاغذ صافی عبور داده شد و سپس با دستگاه ICP کالیبره شده و با استفاده از محلول استاندارد ۱۰۰۰(میلی‌گرم بر لیتر) سرب، کبالت، کادمیوم، نیکل و وانادیم به تهیه محلول‌های استاندارد فلزات برحسب (میلی‌گرم بر لیتر) اقدام شد و درنهایت غلظت فلزات برحسب (میلی‌گرم بر لیتر) توسط دستگاه ICP قرائت شد. در مورد نمونه‌های رسوب از روش هضم کامل اسیدی استفاده شد (MOOPAM, 1999) و درنهایت توسط دستگاه ICP میزان غلظت فلزات قرائت گردید (Spark, 1992).

جهت انجام بررسی‌های آماری داده‌های خام با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SPSS.21 آنالیز شد. برای تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلوموگروف- اسمیرنوف استفاده گردید. آنالیز متغیرها در فصول مختلف توسط آزمون T-test و آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) صورت گرفت.

نتایج

میانگین غلظت‌های به‌دست‌آمده برای فلزات سرب، کبالت، کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب مسیر آمریکای جنوبی در فصل تابستان ۱/۹۴±۴/۵۵، ۰/۸۸±۳/۴۵، ۱/۵۲±۱/۷۷، ۱/۲۶±۳/۵۲ و ۰/۰۱±۰/۵ (میلی‌گرم بر لیتر) و در زمستان به ترتیب ۱/۳۴±۴/۰۷، ۱/۵۱±۳/۳۷، ۰/۲۵±۱/۷۰، ۱/۶۴±۳/۱۵ و ۰/۰۱±۰/۵ (میلی‌گرم بر لیتر) بود. در رسوبات نیز مقادیر فلزات مذکور در تابستان به ترتیب ۱۰/۷۵±۶۷/۵، ۴/۴۷±۲۹/۵، ۰/۰۰۱±۰/۱، ۵/۲۴±۴۵/۴۳ و ۱/۱۲±۲۵/۲۲ (میکروگرم در کیلوگرم) و در زمستان ۱۰/۴۸±۶۲/۵، ۴/۴۲±۲۴/۸، ۰/۰۰۱±۰/۱، ۱/۹۵±۵۰/۹۳ و ۲/۰۰±۲۵/۷۰ (میکروگرم در کیلوگرم) بود. در آب مسیر آسیای جنوب شرقی در تابستان مقادیر فلزات بررسی‌شده به ترتیب ۱/۱۱±۴/۲۰، ۱/۴±۱/۹۰، ۰/۱۳±۱/۲۱، ۰/۹۲±۱/۶۴ و ۰/۰۱±۰/۵ و در زمستان به ترتیب ۰/۷۱±۴/۲۱، ۰/۱۲±۱/۹۴، ۰/۵۲±۱/۲۹، ۰/۱۴±۱/۶۸ و ۰/۰۱±۰/۵ (میلی‌گرم بر لیتر) بود؛ و مقادیر به‌دست‌آمده در رسوبات این مسیر در تابستان به ترتیب ۱۷/۴۹±۸۲، ۳/۶۷±۳۲/۹، ۰/۰۰۱±۰/۱، ۶/۳۱±۵۰/۴۳ و ۳/۷۵±۴۰/۸۰ و در زمستان به ترتیب ۲۹/۴۱±۱۰۶، ۲/۷۶±۲۵/۱۷، ۰/۰۰۱±۰/۱، ۳/۷۹±۶۱/۱۲ و ۳/۷۵±۴۰/۸۰ (میکروگرم در کیلوگرم) بود. همچنین در سنجش فلزات مذکور مقادیر عناصر وانادیوم در آب و کادمیوم در رسوب پایین‌تر از حد آشکارسازی دستگاه بود. نتایج سنجش فلزات سنگین در جدول ۱ آورده شده است.

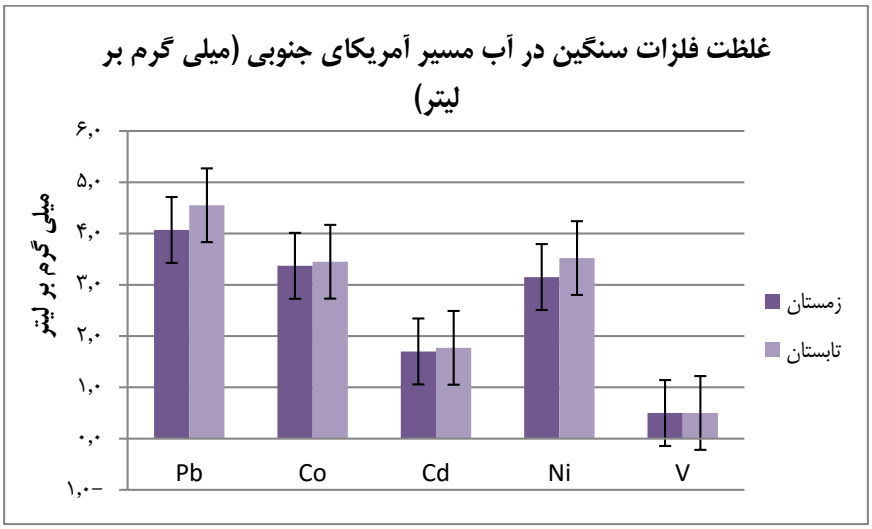
جدول ۱: میانگین فلزات اندازه‌گیری شده در آب و رسوب کشتی‌های ورودی به بندر امام خمینی (ره)

فلزات	آب (میلی‌گرم بر لیتر)				رسوب (میکروگرم در کیلوگرم)			
	مسیر آمریکای جنوبی		مسیر آسیای جنوب شرقی		مسیر آمریکای جنوبی		مسیر آسیای جنوب شرقی	
	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان
Pb	۱/۹۴±۴/۵۵	۱/۳۴±۴/۰۷	۱/۱۱±۴/۲۰	۰/۷۱±۴/۲۱	۱۰/۷۵±۶۷/۵	۱۰/۴۸±۶۲/۵	۱۷/۴۹±۸۲	۲۹/۴۱±۱۰۶
Co	۰/۸۸±۳/۴۵	۱/۵۱±۳/۳۷	۱/۴±۱/۹۰	۰/۱۲±۱/۹۴	۴/۴۷±۲۹/۵	۴/۴۲±۲۴/۸	۳/۶۷±۳۲/۹	۲/۷۶±۲۵/۱۷
Cd	۱/۵۲±۱/۷۷	۰/۲۵±۱/۷۰	۰/۱۳±۱/۲۱	۰/۵۲±۱/۲۹	۰/۰۰۱±۰/۱	۰/۰۰۱±۰/۱	۰/۰۰۱±۰/۱	۳/۷۹±۶۱/۱۲
Ni	۱/۲۶±۳/۵۲	۱/۶۴±۳/۱۵	۰/۹۲±۱/۶۴	۰/۱۴±۱/۶۸	۵/۲۴±۴۵/۴۳	۱/۹۵±۵۰/۹۳	۶/۳۱±۵۰/۴۳	۳/۷۵±۴۰/۸۰
V	۰/۰۱±۰/۵	۰/۰۱±۰/۵	۰/۰۱±۰/۵	۰/۰۱±۰/۵	۱/۱۲±۲۵/۲۲	۲/۰۰±۲۵/۷۰	۳/۷۵±۴۰/۸۰	۲/۷۶±۴۱/۸۵

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

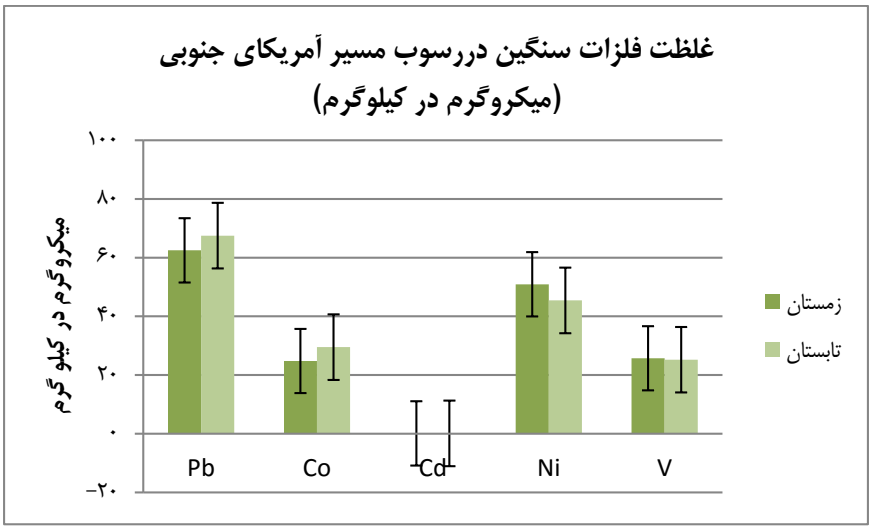
ابتدا نرمال بودن غلظت‌های حاصل از سنجش میزان فلزات سنگین سرب، کبالت، نیکل، کادمیوم و وانادیوم در آب و رسوب کشتی‌های وارده از هریک از مسیرهای آمریکای جنوبی و آسیای جنوب شرقی با استفاده از آزمون کلوموگروف- اسمیرنوف بررسی شد سپس با استفاده از آزمون T-test مقایسه بین دو فصل برای هریک از فلزات به‌صورت جداگانه در آب و رسوب انجام گرفت.

با مقایسه میانگین غلظت هر یک از فلزات در آب مسیر آمریکای جنوبی در فصل تابستان و زمستان مشخص شد که تنها برای فلز سرب اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مربوط به مسیر آمریکای جنوبی در دو فصل تابستان و زمستان در آب وجود داشت ($P<۰/۰۵$) و برای بقیه فلزات تفاوت معنی‌داری بین مقادیر آن‌ها در دو فصل وجود نداشت ($P>۰/۰۵$). در رسوب مسیر آمریکای جنوبی برای تمام فلزات اختلاف معنی‌دار بین مقادیر فلزات مسیر آمریکای جنوبی در دو فصل تابستان و زمستان در رسوبات وجود نداشت ($P>۰/۰۵$). همچنین از مقایسه میانگین غلظت فلزات در آب مسیر آسیای جنوب شرقی در فصل تابستان و زمستان مشخص شد که برای تمام فلزات اختلاف معنی‌دار بین مقادیر فلزات مسیر آسیای جنوب شرقی در دو فصل تابستان و زمستان در آب وجود نداشت ($P>۰/۰۵$). در رسوب مسیر آسیای جنوب شرقی برای تمام فلزات اختلاف معنی‌دار بین مقادیر فلزات مسیر آسیای جنوب شرقی در دو فصل تابستان و زمستان در رسوب وجود نداشت ($P>۰/۰۵$). نتایج مقایسه میانگین‌ها در شکل‌های زیر ارائه گردیده است.

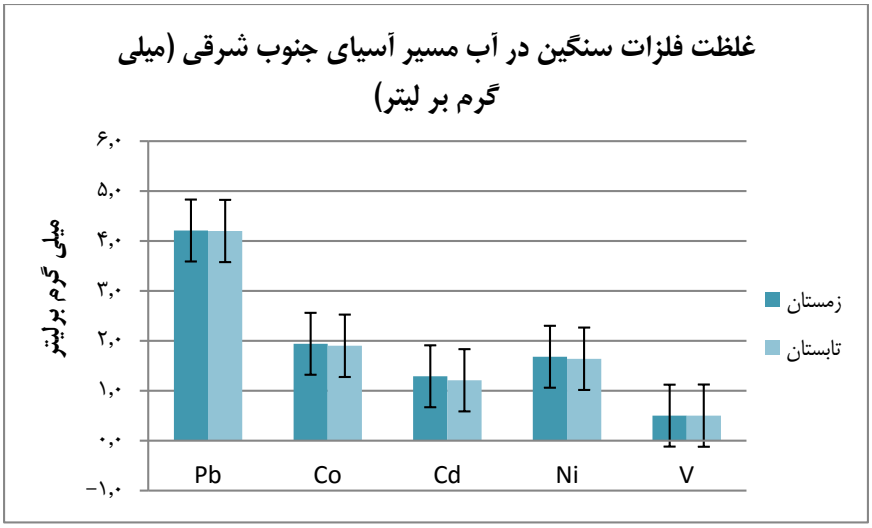


شکل ۱: میانگین مقادیر فلزات سنگین (سرب، کبالت، کادمیوم، نیکل و وانادیوم) در آب مسیر آمریکای جنوبی در دو فصل زمستان ۱۳۹۳ و تابستان ۱۳۹٤.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

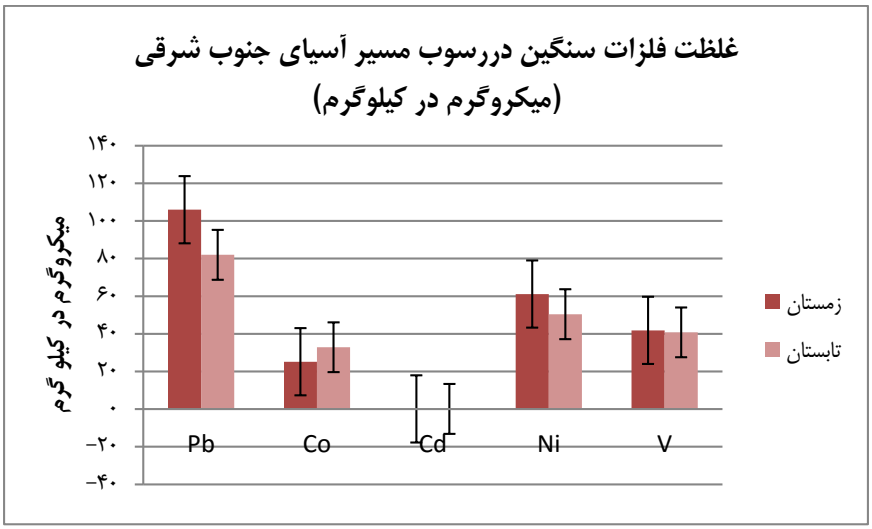


شکل ۲: میانگین مقادیر فلزات سنگین (سرب، کبالت، کادمیوم، نیکل و وانادیوم) در رسوب مسیر آمریکای جنوبی در دو فصل زمستان ۱۳۹۳ و تابستان ۱۳۹٤.



شکل ۳: میانگین مقادیر فلزات سنگین (سرب، کبالت، کادمیوم، نیکل و وانادیوم) در آب مسیر آسیای جنوب شرقی در دو فصل زمستان ۱۳۹۳ و تابستان ۱۳۹٤.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]



شکل ٤: میانگین مقادیر فلزات سنگین (سرب، کبالت، کادمیوم، نیکل و وانادیوم) در رسوب مسیر آسیای جنوب شرقی در دو فصل زمستان ۱۳۹۳ و تابستان ۱۳۹٤.

درنهایت مقادیر به‌دست‌آمده برای هر یک از فلزات در آب و رسوب مسیرهای آمریکای جنوبی و آسیای جنوب شرقی در دو فصل تابستان و زمستان با استانداردهای معتبر ROPME (۲۰۰۳) و EPA (۲۰۰۵) مقایسه گردید.

میانگین به‌دست‌آمده در هر دو فصل و هر دو مسیر برای فلز سرب در آب ۱/۵۴±۴/۳۱ و در رسوب ۱۰/۶۲±۶۵/۵ می‌باشد و مقدار مجاز فلز سرب ۳۰-۱۵ (میلی‌گرم بر لیتر) در آب و ۲۲۰-۴۷ (میلی‌گرم در کیلوگرم) در رسوب است که مقادیر سنجش شده برای این فلز در محدوده مجاز برای آب و رسوب قرار داشته است. میانگین فلز کبالت در آب و رسوب به ترتیب ۱/۱۹±۳/۴۱ و ۴/۴۵±۲۷/۶ و مقدار مجاز فلز کبالت در آب ۱۵-۱۰ (میلی‌گرم بر لیتر) و در رسوب ۲۷۰-۳۴ (میلی‌گرم در کیلوگرم) می‌باشد که مقادیر به‌دست‌آمده برای این فلز نیز در محدوده قابل‌قبول قرار داشت. میانگین فلز کادمیوم در آب ۱/۰۲±۱/۷۳ و در رسوب خارج از محدوده آشکارسازی دستگاه داشت و با توجه مقدار مجاز فلز کادمیوم در آب که ۲-۱/۲ (میلی‌گرم بر لیتر) و در رسوب ۷۰-۸/۲ (میلی‌گرم در کیلوگرم) می‌باشد در محدوده استاندارد قرار دارد. میانگین‌های فلز نیکل در آب ۱/۴۵±۳/۳۳ و فلز وانادیوم خارج از محدوده آشکارسازی دستگاه بود و در رسوب میزان نیکل و وانادیوم به ترتیب ۳/۳۰±۴۷/۸۳ و ۱/۵۶±۲۵/۴۶ و محدوده مجاز فلزات نیکل در آب ۸۰-۷۰ (میلی‌گرم بر لیتر) و در رسوب ۵۲-۲۱ (میلی‌گرم در کیلوگرم) و وانادیوم ۳۰-۲۰ (میلی‌گرم بر لیتر) در آب و ۵۵-۳۰ در رسوب (میلی‌گرم در کیلوگرم) است که هر دو فلز در محدوده مجاز قرار داشتند.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از سنجش نمونه‌های به‌دست‌آمده از کشتی‌های تجاری بررسی‌شده مقادیر فلزات سرب، کبالت، کادمیوم، نیکل و وانادیوم ورودی از طریق آب توازن کشتی‌ها بیشینه میزان غلظت فلزات سنگین در آب مسیر آمریکای جنوبی ۱/۹۴±۴/۵۵، ۰/۸۸±۳/۴۵، ۱/۵۲±۱/۷۷، ۱/۲۶±۳/۵۲ و ۰/۰۱±۰/۵ (میلی‌گرم بر لیتر) و در مسیر آسیای جنوب شرقی بیشینه میزان ۰/۷۱±۴/۲۱، ۰/۱۲±۱/۹۴، ۰/۵۲±۱/۲۹، ۰/۴±۱/۶۸ و ۰/۰۱±۰/۰۵ بود. همچنین بیشینه غلظت فلزات مذکور در نمونه‌های رسوب مخازن در مسیر آمریکای جنوبی به ترتیب ۱۰/۷۵±۶۷/۵، ۴/۴۷±۲۹/۵، ۰/۰۰۱±۰/۱، ۱/۹۵±۵۰/۹۳ و ۲/۰۰±۲۵/۷۰ (میکروگرم در کیلوگرم) و در مسیر آسیای جنوب شرقی بیشینه میزان فلزات

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

۲۹/۴۱±۱۰۶، ۳/۶۷±۳۲/۹، ۰/۰۰۱±۰/۱، ۳/۷۹±۶۱/۱۲ و ۲/۷۶±۴۱/۸۵ بود و از مقایسه مقادیر فوق با مقادیر استاندارد آب (جدول ۲) و رسوب (جدول ۳) نشان داد که غلظت فلزات مذکور با توجه به مقادیر در نظر گرفته‌شده در استاندارد ROPME,2003 و EPA,2005 در محدوده مجاز قرار داشته و تخلیه آب توازن آن در منطقه به لحاظ زیست‌محیطی آلودگی فلزات سنگین مذکور را ایجاد نمی‌نماید. میزان غلظت تمام فلزات اندازه‌گیری شده در آب و رسوب در محدوده استاندارد تعریف‌شده قرار داشتند. همچنین با توجه به آنالیزهای انجام‌شده و مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از سنجش نمونه‌های آب و رسوب مخازن آب توازن کشتی‌های تجاری وارده به بندر امام (ره)، بین آب و رسوب در فصول و مسیرهای مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید ($P<0/05$) و میزان غلظت به‌دست‌آمده فلزات در آب نسبت به رسوب کمتر بوده و احتمال ایجاد آلودگی به فلزات سنگین توسط رسوبات در صورت تخلیه به محل بیشتر می‌باشد. نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در منطقه بندر امام خمینی (ره) که مقادیر فلزات نیکل، سرب، روی، کروم و کادمیوم در آب و رسوب بررسی‌شده بود روند کاهشی فراوانی فلزات سنگین در نمونه‌های آب به‌صورت Ni> Cr> Zn> Cd>Pb و در نمونه‌های رسوب به‌صورت Cr> Ni > Zn>Pb> Cd را نشان داد (ثقفیان خو و همکاران، ۱۳۹۴). بررسی سطوح فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات بر اساس میکروگرم بر گرم وزن خشک ۴/۴–۰/۵ جیوه، ۸/۲–۳/۲ سرب، ۱۹/۸–۱۵/۲ مس است. میزان کادمیوم در رسوبات ایستگاه‌های موردمطالعه زیر حد تشخیص دستگاه اندازه‌گیری شد. از میان فلزات مذکور، میزان جیوه در رسوبات منطقه از حد استانداردهای بین‌المللی بیشتر و سایر فلزات کمتر از حدود استانداردهای بین‌المللی بودند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین در نتایج مطالعه مشابه دیگری در منطقه حداقل و حداکثر مقادیر به‌دست‌آمده برای فلز سرب در آب ۰/۱۹ و ۰/۲۹ و در رسوب ۱/۴۳ و ۷/۳۱ و مقدار کادمیوم در آب ۰/۰۷ و ۰/۱۲ و در رسوب ۱/۶۸ و ۲/۸۸ بود که بین مقادیر به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (منوچهری و همکاران، ۱۳۸۷). طبق مطالعه دیگری میانگین غلظت برای هر یک از فلزات آلومینیوم ۱/۰۱، آرسنیک ۱۰/۵، باریم ۵۶، کبالت ۳، کروم ۴۳، مس ۲۲، منگنز ۳۵۱، نیکل ۶۲، استرانسیوم ۳۸۰ و روی ۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم به دست آمد؛ که نتایج تفکیک شیمیایی نشان داد که غیر از عنصر مس آلودگی سایر فلزات ناشی از فعالیت‌های انسانی است (واعظی و همکاران، ۱۳۹۳). مطالعه‌ای که در ابوظبی امارات برای بررسی رسوبات ساحلی انجام شد در ۵۷ نمونه فلزات آنتیمونی، آرسنیک، باریم، کبالت، مس، جیوه، کادمیوم، سرب، مولیبدن، نیکل و روی سنجش شد و پس از آنالیز مقادیر فلزات همه مربوط به منشأ طبیعی زمین بود و هیچ‌یک به‌عنوان آلودگی محسوب نمی‌شد تنها برای فلز آرسنیک شاخص آلودگی مقدار ۰/۳ را نشان داد (Al-Rashidi *et al*., 2015). از مقایسه این نتایج با پژوهش انجام‌گرفته میزان فلزات سنگین موجود در منطقه به جهت قرارگیری صنایع مختلف در اطراف محل موردنظر مقدار متفاوتی را نان می‌دهد؛ بنابراین فلزات سنگین ورودی از طریق آب توازن دارای مقادیر کمتری از عناصر نسبت به آب و رسوبات منطقه می‌باشد و احتمال آلودگی کمتری به‌وسیله آب توازن کشتی‌ها وجود دارد؛ اما پایش و کنترل مداوم آن قبل از تخلیه به منطقه لازم و ضرری می‌باشد. در این پژوهش با توجه به مبدأ بارگیری آب توازن از بندرها که در نزدیکی شهرها و مراکز صنعتی واقع می‌باشند پیش‌بینی می‌شد که مقدار غلظت فلزات سنگین ورودی از طریق آب توازن به آب‌های بندر مقصد قابل‌توجه باشد که در حال حاضر با توجه به قوانین مدیریت آب توازن و الزام تعویض آب توازن با آب‌های میان‌اقیانوسی و با توجه به‌احتمال بالای تعویض آب توازن توسط کشتی‌های تجاری با آب‌های میانه مسیر سفر میزان این غلظت کاهش پیداکرده و در محدوده مجاز و استاندارد برای تخلیه به محیط طبیعی قرارگرفته است. اگرچه که در مورد برخی از فلزات با احتمال ایجاد سمیت می‌توان با استفاده از روش‌های موجود برای تصفیه آب توازن خطرات احتمالی را کاهش و حتی‌الامکان برطرف ساخت. درنهایت نتایج این پژوهش حاکی از آن است که آب توازن حاوی فلزات سنگین در صورت تخلیه به محیط آلودگی چندانی را در محل ایجاد نمی‌نماید اما توجه و پایش آب توازن موجود در مخازن کشتی‌ها قبل از تخلیه به محیط طبیعی لازم و ضروری است.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

منابع

پاکروان، ج.، ۱۳۸۵. طرح مدیریت آب توازن در بندر و کشتی. مجله پیام دریا. شماره ۱۷۵. صفحات ۸۵-۸۲.

قربانی نژاد، الف.، امتیاز جو، م. و عبدی نژاد، ش.، ۱۳۸۷. بررسی آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل آب توازن کشتی‌ها، اثرات سوء زیست‌محیطی و راهکارهای پاک‌سازی آن‌ها. اولین کنفرانس حمل‌ونقل مواد خطرناک و اثرات زیست‌محیطی آن.

لطفی، ح.، بقایی، ح.، موسوی، ر. و خیام باشی، س.، ۱۳۹۰. محیط‌زیست خلیج‌فارس و حفاظت از آن. مجله جغرافیای انسانی. سال سوم شماره ۱ صفحات ۳۴-۲۳.

عظیمی، ع.، داد الهی سهراب، ع.، صفاهیه، ع.، ذوالقرنین، ح.، سواری، الف. و فقیری، الف.، ۱۳۹۱. مطالعه سطوح فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات شمال غرب خلیج‌فارس، بندر امام خمینی. مجله علمی پژوهشی اقیانوس‌شناسی. شماره ۱ صفحات ۴۱-۳۳.

واعظی، ع.، کرباسی، ع.، فخرایی، ع.، ولی خانی سامانی، ع. و حیدری، م.، ۱۳۹۳. بررسی غلظت و منشأ آلاینده‌های فلزی در رسوبات خور موسی، خلیج‌فارس. مجله علمی پژوهشی محیط‌شناسی. شماره ۲ صفحات ۳۶۰-۳۴۵.

منوچهری، ح.، نیکوئیان، ع.، ولی نسب، ت.، نژاد بهادری، ف.، ماجدی، م.، چنگیزی، ر. و جعفریان مقدم، الف.، ۱۳۸۷. بررسی اثرات سرب و کادمیوم بر آب، رسوب و جوامع ماکرو بنتیک خور زنگی (از انشعابات خور موسی در خلیج‌فارس). مجله علمی پژوهشی شیلات. سال دوم شماره ۲.

ثقفیان خو، ص.، امانی پور، ح. و درویشی خاتونی، ج.، ۱۳۹٤. توزیع و ارزیابی فلزات سنگین (Cd, Cr, Ni, Pb, Zn) در رسوبات شمال غرب خور موسی، بندر امام خمینی. نوزدهمین همایش سالانه انجمن زمین‌شناسی ایران و نهمین همایش زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور تهران.

Ahmad, K., Mehdi, Y., Haque, R. and Mondol, P., 2010. Heavy metal concentrations in some macrobenthic fauna of the Sundarbans mangrove forest.south west coast of Bangladesh.

Al Rashidi, S., Arabi, A. M., Howari, F. and Siad, A., 2015. Distribution of heavy metals in the coastal area of Abu Dhabi in the United Arab Emirates. Marine Pollution Bulletin. Vol 97:494-498.

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.

De Astudillo, L. R., Yen, I. C. and Berkele, I., 2005. Heavy metals in sediments, mussels and oysters from Trinidad and Venezuela. Revista de Biologia Tropical. 53: 41–53.

Dias, J. F., Fernandez, W. S., Boufleur, L. A., Dos Santos, C. E. I., Amaral, L., Yoneama, M. L. and 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.

Farkas, A., Claudio E. and Luigi, V., 2007. Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in sediments of the River Po. Chemosphere, 68: 761-768.

Hoff, R. 2002. Oil Spills in Mangroves. National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA Ocean Service. Office of Response and Restoration. 70pp.

Irabien, M. J. and Velasco, F., 1999. Heavy metals in Oka Rive sediments (Urdaibai National Biosphere Reserve, Northern Spain): Lithogenic and anthropogenic effects. Environmental Geology.37: 54–63.

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. and Biernacka, E., 1999. Speciation of heavy metals in marine sediments vs. their bio accumulation by mussels. Chemosphere. 39:313–321.

Povlesen, E., Alshabrawy, M. M., Shindy, M. A. and Abu El-Seoud, A., 2003. Heavy metals and hazardousorganic 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, Kuwaite.217 p.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

Savvides, C., Papadopoulos, A., Haralambous, K. J. and Loizidou, M., 1995. Sea sediments contaminated with heavy metals: metal speciation and removal. Water Science and Technology. 32: 65–73.

Spark, D. L., 1982. Methode of soil Analysis.Part 3.Chemical Methods.Washington,DC: American society Of Agronomy-soil Science.

U.S. EPA, 2005. Procedures for the Derivation of Equilibrium Partitioning Sediment Benchmarks (ESBs) for the Protection of Benthic Organisms: Metals Mixtures (Cadmium, Copper, Lead, Nickel, Silver, Zinc). U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600-R-02-011, January 2005).

U.S. EPA, 2007. Procedures for the Derivation of Equilibrium Partitioning Sediment Benchmarks (ESBs) for the Protection of Benthic Organisms: Metals Mixtures (Cadmium, Copper, Lead, Nickel, Silver, Zinc). U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600-R-02-011, January 2007).

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]