

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

### چکیده

تحقیق حاضر به منظور 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 خلیج فارس 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 سنگ آهن، کاندنسیتر و آهن آلات) ورودی از مسیرهای آمریکای جنوبی و آسیای جنوب شرقی انجام شد. از آب و رسوب موجود در هر کشتی ۳ نمونه تهیه شده و پس از آماده‌سازی به روش EPA (۲۰۰۷)، غلظت فلزات سنگین مورد بررسی 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  $4/31 \pm 1/54$ ،  $3/41 \pm 1/19$ ،  $1/73 \pm 1/02$ ،  $3/33 \pm 1/45$  و  $0/5 \pm 0/01$  (میلی گرم بر لیتر) و بیشینه میزان آن  $4/55 \pm 1/94$ ،  $3/45 \pm 0/88$ ،  $1/77 \pm 1/52$ ،  $3/52 \pm 1/26$  و  $0/5 \pm 0/01$  (میلی گرم بر لیتر) و در مسیر آسیای جنوب شرقی میانگین فلزات به ترتیب  $4/20 \pm 0/92$ ،  $4/20 \pm 0/92$ ،  $1/92 \pm 0/75$ ،  $1/25 \pm 0/32$  و  $1/66 \pm 0/61$  و بیشینه میزان آن  $4/21 \pm 0/71$ ،  $4/21 \pm 0/71$ ،  $1/94 \pm 0/52$ ،  $1/68 \pm 0/4$  و  $0/5 \pm 0/01$  بود. همچنین میانگین غلظت فلزات مذکور در نمونه‌های رسوب مخازن در مسیر آمریکای جنوبی در دو فصل به ترتیب  $65/5 \pm 10/62$ ،  $27/6 \pm 4/45$ ،  $0/1 \pm 0/01$  و  $47/83 \pm 3/30$  و  $25/46 \pm 1/56$  (میکروگرم در کیلوگرم) و بیشینه میزان آن  $67/5 \pm 10/75$ ،  $29/5 \pm 4/47$ ،  $0/1 \pm 0/01$  و  $50/93 \pm 1/95$  و  $25/70 \pm 2/00$  (میکروگرم در کیلوگرم) و در مسیر آسیای جنوب شرقی میانگین فلزات در دو فصل به ترتیب  $94 \pm 23/45$ ،  $29/03 \pm 3/21$ ،  $0/1 \pm 0/01$ ،  $55/5 \pm 5/05$  و  $41/32 \pm 2/25$  (میکروگرم در کیلوگرم) و بیشینه میزان آن  $106 \pm 29/41$ ،  $32/9 \pm 3/67$ ،  $0/1 \pm 0/01$ ،  $61/12 \pm 2/79$  و  $41/85 \pm 2/76$  (میکروگرم در کیلوگرم) بود. همچنین با مقایسه میزان غلظت فلزات در آب و رسوب کشتی‌ها بین دو فصل اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ( $P > 0/05$ ) و تنها برای فلز سرب بین دو فصل در مسیر آمریکای جنوبی اختلاف معنی‌دار وجود داشت ( $P < 0/05$ )، 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 ( $P < 0/05$ ). 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 مورد بررسی، با توجه به مقادیر در نظر گرفته شده 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، خلیج فارس.

### 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

سرور سلامی اصل<sup>۱\*</sup>

احمد سواری<sup>۲</sup>

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.

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 هنگامی که کالا حمل نمی‌کند، یا وقتی که ثبات بیشتر به واسطه دریای متلاطم نیاز است استفاده می‌شود، هم‌چنین آب توازن ممکن است به منظور اضافه کردن وزن جهت فرورفتن بیشتر در آب برای عبور از زیر پل‌ها و دیگر سازه‌ها بکار گرفته شود، معمولاً آب توازن هنگامی که 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 خلیج فارس و احتمال بروز معضلات زیست‌محیطی برای منطقه به واسطه 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 خلیج فارس به علت شرایط اکولوژیک خاصی که دارد و بهره‌گیری‌هایی که این محیط و منابع آن می‌شود به‌طور مستمر در معرض مخاطراتی قرار گرفته است. خلیج فارس در زمره یکی از باارزش‌ترین زیست‌بوم‌های آبی جهان محسوب می‌گردد که باوجود متنوع‌ترین رویش‌های گرمسیری، گونه‌های مختلف جانداران آبی 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 خلیج فارس به شمار می‌آید که توانسته در اندک زمانی اکوسیستم بی‌نظیر آن را بیش‌ازحد طبیعی، آلوده نماید و بدین طریق آبریزان 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 خلیج فارس واقع شده است. آلودگی ناشی از اکتشاف و استخراج نفت و تردد نفت‌کش‌ها، حوادث و سوانح مربوط به سکوها 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 خلیج فارس 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 قابل توجهی 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 آبریزان، قابل‌انتقال به سطوح مختلف غذایی می‌باشند و توانایی ایجاد سمیت در موجودات زنده و درنهایت انسان را دارند 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 فراهم می‌کنند (Dias et al., 2009). فلزات سنگین به دلیل سمیت، تجزیه‌ناپذیری و تجمع‌پذیری 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

اصلی فلزات در محیط‌زیست می‌باشد (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 خلیج فارس 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 خلیج فارس 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  $Ni > Cr > Zn > Pb > Cd$  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 (تقویان خو و همکاران، ۱۳۹۴). مطالعه دیگری در سال ۱۳۸۸ باهدف بررسی سطوح فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات شمال غرب خلیج فارس- 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 مورد مطالعه 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 خلیج فارس 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 ۵ 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

ایستگاه به منظور نمونه برداری از رسوبات درون مخازن از نمونه گیر دستی (گرب پترسون) استفاده شد. محتویات گرب درون یک ظرف پلاستیکی عاری از هرگونه آلودگی تخلیه شد.

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

جهت انجام بررسی های آماری داده های خام با استفاده از نرم افزارهای Excel و SPSS.21 آنالیز شد. برای تعیین نرمال بودن داده ها از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف استفاده گردید. آنالیز متغیرها در فصول مختلف توسط آزمون T-test و آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) صورت گرفت.

## نتایج

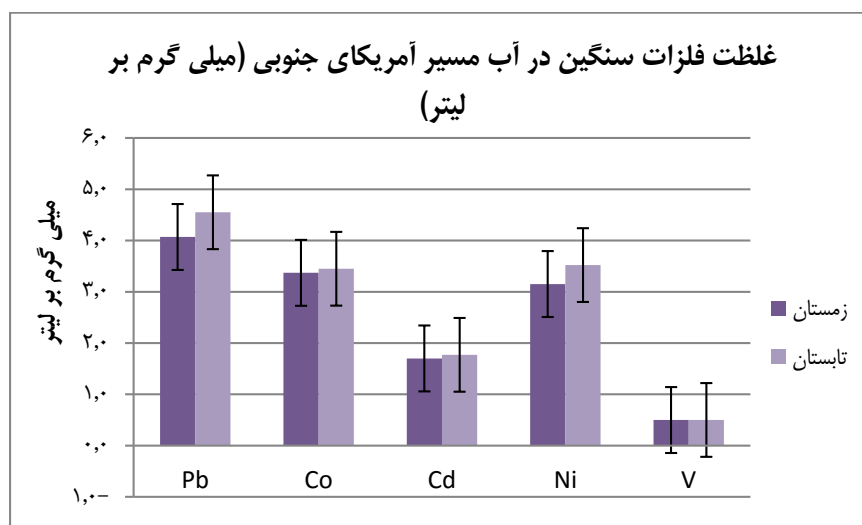
میانگین غلظت های به دست آمده برای فلزات سرب، کبالت، کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب مسیر آمریکای جنوبی در فصل تابستان  $4/55 \pm 1/94$ ،  $3/45 \pm 0/88$ ،  $1/77 \pm 1/52$  و  $3/52 \pm 1/26$  و در زمستان به ترتیب  $4/07 \pm 1/34$ ،  $3/37 \pm 1/51$ ،  $1/70 \pm 0/25$  و  $0/5 \pm 0/01$  (میلی گرم بر لیتر) بود. در رسوبات نیز مقادیر فلزات مذکور در تابستان به ترتیب  $67/5 \pm 10/75$ ،  $29/5 \pm 4/47$ ،  $29/5 \pm 4/47$  و  $25/22 \pm 1/12$  و در زمستان  $62/5 \pm 10/48$ ،  $24/8 \pm 4/42$ ،  $0/1 \pm 0/001$  و  $50/93 \pm 1/95$  (میکروگرم در کیلوگرم) بود. در آب مسیر آسیای جنوب شرقی در تابستان مقادیر فلزات بررسی شده به ترتیب  $4/20 \pm 1/11$ ،  $1/90 \pm 1/4$ ،  $1/64 \pm 0/92$  و  $0/5 \pm 0/01$  و در زمستان به ترتیب  $4/21 \pm 0/71$ ،  $1/94 \pm 0/12$ ،  $1/29 \pm 0/52$  و  $1/68 \pm 0/14$  (میلی گرم بر لیتر) بود؛ و مقادیر به دست آمده در رسوبات این مسیر در تابستان به ترتیب  $82 \pm 17/49$ ،  $32/9 \pm 3/67$ ،  $0/1 \pm 0/001$  و  $40/80 \pm 3/75$  و در زمستان به ترتیب  $25/17 \pm 2/76$ ،  $0/1 \pm 0/001$ ،  $61/12 \pm 3/79$  و  $40/80 \pm 3/75$  (میکروگرم در کیلوگرم) بود. همچنین در سنجش فلزات مذکور مقادیر عناصر وانادیوم در آب و کادمیوم در رسوب پایین تر از حد آشکارسازی دستگاه بود. نتایج سنجش فلزات سنگین در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: میانگین فلزات اندازه گیری شده در آب و رسوب کشتی های ورودی به بندر امام خمینی (ره)

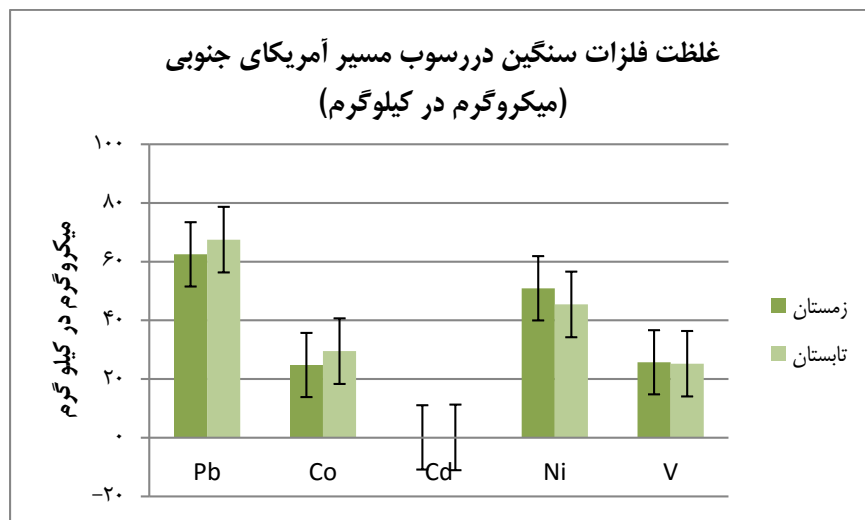
| فلزات | آب (میلی گرم بر لیتر) |                 |                      |                 | رسوب (میکروگرم در کیلوگرم) |                  |                      |                  |
|-------|-----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------------|------------------|----------------------|------------------|
|       | مسیر آمریکای جنوبی    |                 | مسیر آسیای جنوب شرقی |                 | مسیر آمریکای جنوبی         |                  | مسیر آسیای جنوب شرقی |                  |
|       | تابستان               | زمستان          | تابستان              | زمستان          | تابستان                    | زمستان           | تابستان              | زمستان           |
| Pb    | $4/55 \pm 1/94$       | $4/07 \pm 1/34$ | $4/20 \pm 1/11$      | $4/21 \pm 0/71$ | $67/5 \pm 10/75$           | $62/5 \pm 10/48$ | $82 \pm 17/49$       | $106 \pm 29/41$  |
| Co    | $3/45 \pm 0/88$       | $3/37 \pm 1/51$ | $1/90 \pm 1/4$       | $1/94 \pm 0/12$ | $29/5 \pm 4/47$            | $24/8 \pm 4/42$  | $32/9 \pm 3/67$      | $25/17 \pm 2/76$ |
| Cd    | $1/77 \pm 1/52$       | $1/70 \pm 0/25$ | $1/21 \pm 0/13$      | $1/29 \pm 0/52$ | $0/1 \pm 0/001$            | $0/1 \pm 0/001$  | $0/1 \pm 0/001$      | $0/1 \pm 0/001$  |
| Ni    | $3/52 \pm 1/26$       | $3/15 \pm 1/64$ | $1/64 \pm 0/92$      | $1/68 \pm 0/14$ | $45/43 \pm 5/24$           | $50/93 \pm 1/95$ | $50/43 \pm 6/31$     | $61/12 \pm 3/79$ |
| V     | $0/5 \pm 0/01$        | $0/5 \pm 0/01$  | $0/5 \pm 0/01$       | $0/5 \pm 0/01$  | $25/22 \pm 1/12$           | $25/70 \pm 2/00$ | $40/80 \pm 3/75$     | $41/85 \pm 2/76$ |

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 به صورت جداگانه در آب و رسوب انجام گرفت.

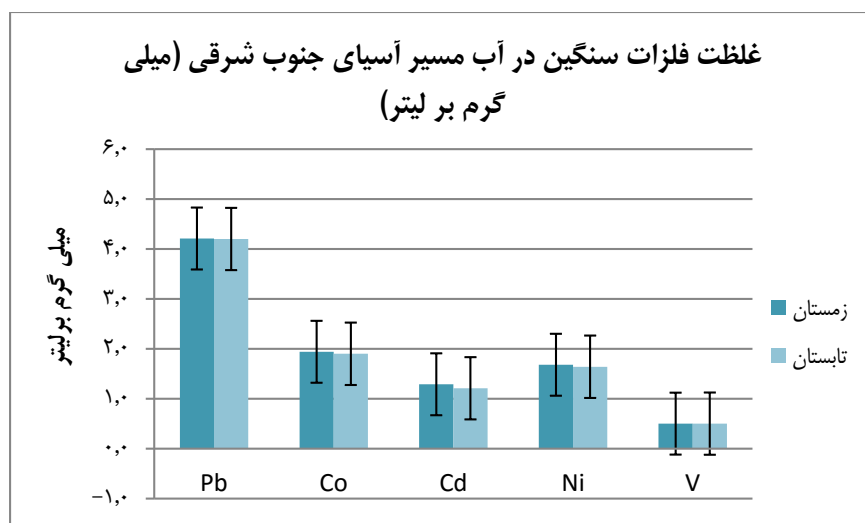
با مقایسه میانگین غلظت هر یک از فلزات در آب مسیر آمریکای جنوبی در فصل تابستان و زمستان مشخص شد که تنها برای فلز سرب اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مربوط به مسیر آمریکای جنوبی در دو فصل تابستان و زمستان در آب وجود داشت ( $P < 0.05$ ) و برای بقیه فلزات تفاوت معنی‌داری بین مقادیر آن‌ها در دو فصل وجود نداشت ( $P > 0.05$ ). در رسوب مسیر آمریکای جنوبی برای تمام فلزات اختلاف معنی‌دار بین مقادیر فلزات مسیر آمریکای جنوبی در دو فصل تابستان و زمستان وجود نداشت ( $P > 0.05$ ). 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 ( $P > 0.05$ ). در رسوب مسیر آسیای جنوب شرقی برای تمام فلزات اختلاف معنی‌دار بین مقادیر فلزات مسیر آسیای جنوب شرقی در دو فصل تابستان و زمستان وجود نداشت ( $P > 0.05$ ). نتایج مقایسه میانگین‌ها در شکل‌های زیر ارائه گردیده است.



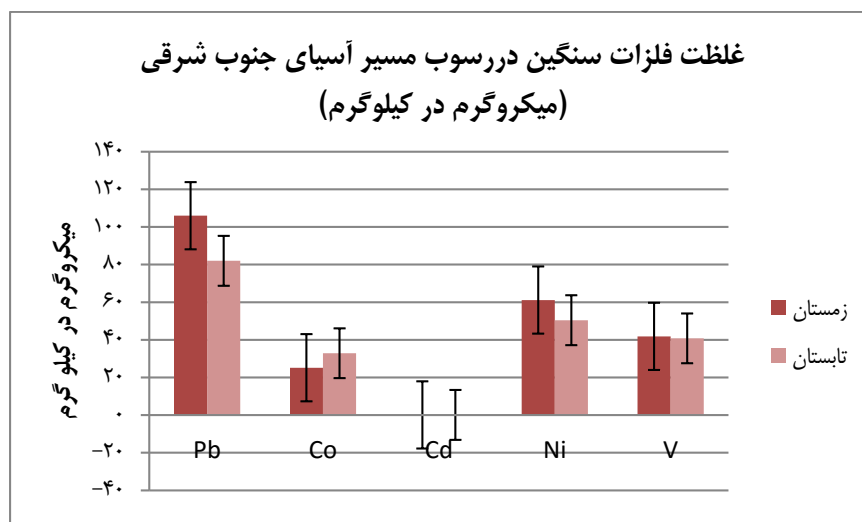
شکل ۱: میانگین مقادیر فلزات سنگین (سرب، کبالت، کادمیوم، نیکل و وانادیوم) در آب مسیر آمریکای جنوبی در دو فصل زمستان ۱۳۹۳ و تابستان ۱۳۹۴.



شکل ۲: میانگین مقادیر فلزات سنگین (سرب، کبالت، کادمیوم، نیکل و وانادیوم) در رسوب مسیر آمریکای جنوبی در دو فصل زمستان ۱۳۹۳ و تابستان ۱۳۹۴.



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 ۱۳۹۴.



شکل ۴: میانگین مقادیر فلزات سنگین (سرب، کبالت، کادمیوم، نیکل و وانادیوم) در رسوب مسیر آسیای جنوب شرقی در دو فصل زمستان ۱۳۹۳ و تابستان ۱۳۹۴.

در نهایت 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  $4/31 \pm 1/54$  و در رسوب  $65/5 \pm 10/62$  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  $3/41 \pm 1/19$  و  $27/6 \pm 4/45$  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 قابل قبول قرار داشت. میانگین فلز کادمیوم در آب  $1/73 \pm 1/02$  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  $3/33 \pm 1/45$  و فلز وانادیوم خارج از محدوده آشکارسازی دستگاه بود و در رسوب میزان نیکل و وانادیوم به ترتیب  $47/83 \pm 3/30$  و  $25/46 \pm 1/56$  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  $4/55 \pm 1/94$ ،  $3/45 \pm 0/88$ ،  $1/77 \pm 1/52$ ،  $3/52 \pm 1/26$  و  $0/5 \pm 0/01$  (میلی‌گرم بر لیتر) و در مسیر آسیای جنوب شرقی بیشینه میزان  $4/21 \pm 0/71$ ،  $1/94 \pm 0/12$ ،  $1/29 \pm 0/52$ ،  $1/68 \pm 0/4$  و  $0/5 \pm 0/01$  بود. همچنین بیشینه غلظت فلزات مذکور در نمونه‌های رسوب مخازن در مسیر آمریکای جنوبی به ترتیب  $67/5 \pm 10/75$ ،  $29/5 \pm 4/47$ ،  $0/1 \pm 0/01$  و  $50/93 \pm 1/95$  و  $25/70 \pm 2/00$  (میکروگرم در کیلوگرم) و در مسیر آسیای جنوب شرقی بیشینه میزان فلزات

۱۰۶±۲۹/۴۱، ۳۲/۹±۳/۶۷، ۰/۱±۰/۰۰۱، ۶۱/۱۲±۳/۷۹ و ۴۱/۸۵±۲/۷۶ 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 گرفته شده در استاندارد ROPME, 2003 و EPA, 2005 در محدوده مجاز قرار داشته و تخلیه آب توازن آن در منطقه به لحاظ زیست محیطی آلودگی فلزات سنگین مذکور را ایجاد نمی نماید. میزان غلظت تمام فلزات اندازه گیری شده در آب و رسوب در محدوده استاندارد تعریف شده قرار داشتند. همچنین با توجه به آنالیزهای انجام شده و مقایسه نتایج به دست آمده از سنجش نمونه های آب و رسوب مخازن آب توازن کشتی های تجاری وارده به بندر امام (ره)، بین آب و رسوب در فصول و مسیرهای مختلف تفاوت معنی داری مشاهده گردید ( $P < 0.05$ ) و میزان غلظت به دست آمده فلزات در آب نسبت به رسوب کمتر بوده و احتمال ایجاد آلودگی به فلزات سنگین توسط رسوبات در صورت تخلیه به محل بیشتر می باشد. نتایج پژوهش های انجام شده در منطقه بندر امام خمینی (ره) که مقادیر فلزات نیکل، سرب، روی، کروم و کادمیوم در آب و رسوب بررسی شده بود روند کاهشی فراوانی فلزات سنگین در نمونه های آب به صورت  $Ni > Cr > Zn > Cd > Pb$  و در نمونه های رسوب به صورت  $Cr > Ni > Zn > Pb > Cd$  را نشان داد (تقفیان خو و همکاران، ۱۳۹۴). بررسی سطوح فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات بر اساس میکروگرم بر گرم وزن خشک ۴/۴-۵/۵ جیوه، ۳/۲-۸/۲ سرب، ۱۵/۲-۱۹/۸ مس است. میزان کادمیوم در رسوبات ایستگاه های مورد مطالعه زیر حد تشخیص دستگاه اندازه گیری شد. از میان فلزات مذکور، میزان جیوه در رسوبات منطقه از حد استانداردهای بین المللی بیشتر و سایر فلزات کمتر از حدود استانداردهای بین المللی بودند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین در نتایج مطالعه مشابه دیگری در منطقه حداقل و حداکثر مقادیر به دست آمده 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 به دست آمده از ایستگاه های مختلف اختلاف معنی داری 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 میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد؛ که نتایج تفکیک شیمیایی نشان داد که غیر از عنصر مس آلودگی سایر فلزات ناشی از فعالیت های انسانی است (واعظی و همکاران، ۱۳۹۳). مطالعه ای 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 هیچ یک به عنوان آلودگی محسوب نمی شد تنها برای فلز آرسنیک شاخص آلودگی مقدار ۰/۳ را نشان داد (Al-Rashidi et al., 2015). از مقایسه این نتایج با پژوهش انجام گرفته میزان فلزات سنگین موجود در منطقه به جهت قرارگیری صنایع مختلف در اطراف محل مورد نظر مقدار متفاوتی را نان می دهد؛ بنابراین فلزات سنگین ورودی از طریق آب توازن دارای مقادیر کمتری از عناصر نسبت به آب و رسوبات منطقه می باشد و احتمال آلودگی کمتری به وسیله آب توازن کشتی ها وجود دارد؛ اما پایش و کنترل مداوم آن قبل از تخلیه به منطقه لازم و ضروری می باشد. در این پژوهش با توجه به مبدأ بارگیری آب توازن از بندرها که در نزدیکی شهرها و مراکز صنعتی واقع می باشند پیش بینی می شد که مقدار غلظت فلزات سنگین ورودی از طریق آب توازن به آب های بندر مقصد قابل توجه باشد که در حال حاضر با توجه به قوانین مدیریت آب توازن و الزام تعویض آب توازن با آب های میان اقیانوسی و با توجه به احتمال بالای تعویض آب توازن توسط کشتی های تجاری با آب های میانه مسیر سفر میزان این غلظت کاهش پیدا کرده و در محدوده مجاز و استاندارد برای تخلیه به محیط طبیعی قرار گرفته است. اگرچه که در مورد برخی از فلزات با احتمال ایجاد سمیت می توان با استفاده از روش های موجود برای تصفیه آب توازن خطرات احتمالی را کاهش و حتی الامکان برطرف ساخت. در نهایت نتایج این پژوهش حاکی از آن است که آب توازن حاوی فلزات سنگین در صورت تخلیه به محیط آلودگی چندانی را در محل ایجاد نمی نماید اما توجه و پایش آب توازن موجود در مخازن کشتی ها قبل از تخلیه به محیط طبیعی لازم و ضروری است.

## 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 خلیج فارس 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 خلیج فارس، 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، خلیج فارس. 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 خلیج فارس). مجله علمی پژوهشی شیلات. سال دوم شماره ۲.
- ثقفیان خو، ص.، امانی پور، ح. و درویشی خاتونی، ج.، ۱۳۹۴. 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., Bouffleur, 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 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, Kuwaite.217 p.

**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).