

مطالعه پراکنش فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل سیسنگان - جنوب دریای خزر

حسین باقری^۱، علی عظیمی^{۲*}

۱- مربی پژوهشی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، مرکز اقیانوس‌شناسی دریای خزر، استان مازندران، نوشهر. پست الکترونیکی: hosseinbagheri@inio.ac.ir

۲- کارشناس پژوهشی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، مرکز اقیانوس‌شناسی دریای خزر، استان مازندران، نوشهر. پست الکترونیکی: a.azimi@inio.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۲۰

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۶

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

چکیده

در این تحقیق، غلظت فلزات سنگین جیوه، آرسنیک، کادمیوم، نیکل، وانادیوم، سرب و روی در رسوبات سطحی سواحل سیسنگان در جنوب دریای خزر مطالعه گردید. بدین منظور تعداد ۱۲ ایستگاه در سواحل سیسنگان انتخاب و نمونه‌برداری از رسوبات سطحی در دی ماه ۱۳۹۱ به‌وسیله قایق صیادی با استفاده از گرب و از سه نقطه در هر ایستگاه انجام شد. سنجش فلزات کادمیوم، نیکل، سرب و روی به‌وسیله دستگاه جذب اتمی با شعله، جیوه با دستگاه جذب اتمی با تکنیک بخار سرد (CVAAS) و سنجش وانادیوم و آرسنیک نیز به کمک کوره گرافیتی انجام شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات نشان داد که فلز وانادیوم بیشترین تجمع (۱۴۱/۴۷ میکروگرم بر گرم وزن خشک) و فلز جیوه کمترین تجمع (۴ نانوگرم بر گرم وزن خشک) را در رسوبات سطحی سواحل سیسنگان داراست. غلظت فلزات نیکل، سرب، روی، کادمیوم و آرسنیک به ترتیب ۲۷/۵۴، ۱۶/۱۸، ۸۰/۳۱، ۱/۲۳ و ۰/۱۹ میکروگرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری شد. مقایسه میزان اندازه‌گیری شده فلزات سنگین مورد مطالعه با راهنماهای کیفیت رسوب NOAA و کانادا نشان داد که تنها غلظت فلزات کادمیوم و نیکل در رسوبات منطقه از کمترین حد تأثیرگذاری (راهنمای کیفیت رسوب NOAA) و حد آستانه تأثیرگذاری (راهنمای کیفیت رسوب کانادا) بیشتر بود. غلظت سایر فلزات بسیار کمتر از حدود راهنما به‌دست آمد.

کلمات کلیدی: آلودگی، فلزات سنگین، رسوبات سطحی، سواحل سیسنگان، دریای خزر.

۱. مقدمه

آسیا با اروپا، میان کشورهای قزاقستان، آذربایجان، ایران، روسیه و ترکمنستان تقسیم شده است. طول خطوط ساحلی سراسری این دریا ۶۳۷۹ کیلومتر است که در حدود ۹۹۱ کیلومتر آن مربوط به خطوط ساحلی ایران است (مستقیم، ۱۳۸۴). وجود دریای خزر

دریای خزر بزرگ‌ترین پیکره آبی محصور دنیا و یکی از مهم‌ترین دریاچه‌های دنیا تلقی می‌شود. این دریا به‌عنوان مرز آبی

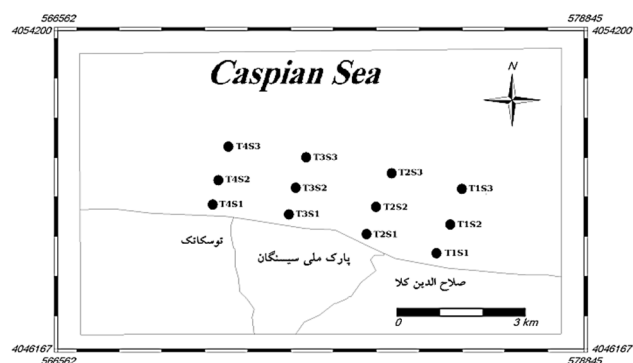
زنجیره غذایی و انتقال به مصرف‌کنندگان بعدی، در نهایت موجب آسیب به سلامت عمومی افراد مصرف‌کننده از آبزیان منطقه می‌گردند (Zhou et al., 2007).

در این تحقیق غلظت فلزات سنگین مهم از منظر سمیت و آلودگی، شامل جیوه، آرسنیک، کادمیوم، سرب، وانادیوم، نیکل و روی در رسوبات سواحل سیسنگان در جنوب دریای خزر مطالعه گردید و به‌منظور ارزیابی وضعیت سلامت منطقه در خصوص میزان پراکنش این فلزات در رسوبات سطحی، نتایج حاصل با راهنماهای بین‌المللی کیفیت رسوب (آمریکا و کانادا) مقایسه گردید.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. نمونه‌برداری

به‌منظور عملیات میدانی، تعداد ۱۲ ایستگاه در سواحل شهرستان نوشهر محدوده سیسنگان انتخاب گردید. نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۱ و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. نمونه‌برداری از رسوبات سطحی ایستگاه‌های مورد مطالعه در دی ماه ۱۳۹۱ به‌وسیله قایق صیادی با استفاده از گرب ون وین^۱ و از سه نقطه در هر ایستگاه انجام شد. نمونه‌ها پس از برداشت درون یخدان محتوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند (ASTM, 1991). در آزمایشگاه، نمونه‌ها تا زمان شروع سنجش فلزات سنگین در فریزر در دمای 20°C - نگهداری شدند (Gavrilovic et al., 2007).



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

در سواحل شمال ایران باعث حفظ شرایط زیست‌محیطی مناطق جنوبی آن شده، به گونه‌ای که ادامه حیات جنگل‌های دامنه شمالی سلسله جبال البرز و ادامه کار کشت و فعالیت منطقه شمالی کشور مستلزم بقای این دریاچه است.

دریای خزر دریای بسته‌ای است که آب آن از طریق ۱۲۰ رودخانه تأمین می‌شود و رودخانه ولگا با آب دهی سالانه بیش از ۲۰۰ کیلومتر مکعب (۸۰٪) بیش از سایر رودخانه‌های منتهی به دریای خزر باعث توازن آبی دریای مذکور می‌گردد. این رودخانه پس از طی مسیر طولانی از چند کشور اروپایی، هر ساله مواد آلاینده بسیاری را وارد دریای خزر می‌نماید. علاوه بر آن تنها منطقه باکو سالانه میلیون‌ها متر مکعب فاضلاب وارد دریای خزر می‌کند. به‌طوری که خلیج باکو یکی از آلوده‌ترین مکان‌های دریای خزر است. در سواحل دریای خزر حدود ۲۰۰ شهر بزرگ با بیش از ۲۲۰ منبع آلودگی صنعتی موجود است و جمهوری اسلامی ایران با بیشترین تراکم جمعیت در سواحل این دریا بیش از سایر کشورها از آلودگی رنج می‌برد (Caspian Environment Program, 2005).

به‌طور کلی، دو منبع مؤثر در ایجاد آلودگی فلزات سنگین در دریای خزر، عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی هستند. با فرض مطالب مذکور و با توجه به نزدیکی شهرهای ساحلی، جریانات رودخانه‌ای که حاوی پساب، مواد معلق و رسوبات بوده و بعضاً حاصل سیلاب‌های مکرر ناشی از عوامل طبیعی هستند، خود بسیاری از مواد آلاینده از جمله سموم و کودهای شیمیایی باقیمانده در خاک و مواد حاصل از شستشوی زه‌آب‌های صنایع کوچک و بزرگ شهرها را به دریای خزر تخلیه کرده و سبب تجمع عناصر سنگین در رسوبات می‌گردند (De Mora et al., 2004).

با توجه به بسته بودن دریای خزر، تمامی آلاینده‌هایی که به آن تخلیه می‌شود، درحوزه دریا انباشته می‌شود. در نتیجه تجمع آن‌ها به‌تدریج موجب آلودگی شدید زیست‌بوم می‌شود. بنابراین درصد قابل توجهی از جمعیت ساکنین اطراف و گردشگرانی که همه ساله به این منطقه وارد می‌شوند، در معرض غلظت‌های بالایی از این آلاینده‌های سمی قرار می‌گیرند.

آلودگی رسوبات به فلزات سنگین منجر به مشکلات زیست-محیطی جدی می‌شود. به‌طوری که نواحی برخوردار از رسوبات آلوده، همواره یک خطر حقیقی را برای موجودات زنده منطقه به-همراه دارند (Dias et al., 2009). بخشی از این آلاینده‌ها به‌دلیل پایداری بالادر بافت‌های آبزیان مختلف، تجمع یافته و با ورود به

^۱ Van Veen

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره ایستگاه	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	T1S1	۵۱°۵۰'۳۰/۳۰"	۳۶°۳۴'۵۰/۴۰"
۲	T1S2	۵۱°۵۰'۳۹/۰۰"	۳۶°۳۵'۱۳/۵۰"
۳	T1S3	۵۱°۵۰'۴۷/۳۰"	۳۶°۳۵'۳۵/۴۰"
۴	T2S1	۵۱°۴۹'۳۶/۰۰"	۳۶°۳۵'۰۶/۰۰"
۵	T2S2	۵۱°۴۹'۴۵/۰۰"	۳۶°۳۵'۲۲/۰۰"
۶	T2S3	۵۱°۴۹'۵۷/۰۰"	۳۶°۳۵'۴۴/۰۰"
۷	T3S1	۵۱°۴۸'۳۹/۰۰"	۳۶°۳۵'۱۹/۰۰"
۸	T3S2	۵۱°۴۸'۴۳/۰۰"	۳۶°۳۵'۳۸/۰۰"
۹	T3S3	۵۱°۴۸'۴۹/۰۰"	۳۶°۳۵'۵۵/۰۰"
۱۰	T4S1	۵۱°۴۷'۳۱/۰۰"	۳۶°۳۵'۲۶/۰۰"
۱۱	T4S2	۵۱°۴۷'۳۴/۰۰"	۳۶°۳۵'۴۲/۰۰"
۱۲	T4S3	۵۱°۴۷'۴۰/۰۰"	۳۶°۳۵'۱۸/۰۰"

وانادیوم و آرسنیک نیز به کمک کوره گرافیتی سنجش گردید (Yap et al., 2002).

۳-۲. پردازش داده‌ها

رسم جداول و نمودارها در محیط اکسل و پردازش آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS (V.17) صورت گرفت. به منظور بررسی پراکنش نرمال و همگنی واریانس‌ها از آزمون Shapiro-wilk استفاده شد. از روش آماری تحلیل واریانس یک طرفه^۶ برای مقایسات کلی و به منظور مقایسات چندگانه و معنی دار بودن اختلاف‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد از آزمون توکی استفاده گردید. جهت ترسیم نقشه پهنه‌بندی توزیع غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه، از نرم افزار ArcGIS 10 (در محیط ArcMap) استفاده شد. برای نمایش تغییرات غلظت هر فلز در ایستگاه‌های مختلف، ایستگاه‌ها به صورت Graduated Symbols نمایش داده شدند. طبقه بندی محدوده‌ی غلظت عناصر به روش آماری Natural Breaks (Jenks) انجام گردید.

۳. نتایج

نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان فلز جیوه در رسوبات سواحل سیسنگان نشان داد که میانگین آن در ایستگاه‌های مورد مطالعه 4 ± 0.32 نانوگرم بر گرم وزن خشک با دامنه ۱ تا ۹ بود. مقایسه آماری غلظت جیوه در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه‌ها وجود داشت ($P < 0.05$). بیشترین غلظت جیوه در رسوبات ایستگاه T1S3 و کمترین غلظت آن در ایستگاه T2S3 مشاهده گردید (شکل ۲).

میانگین آرسنیک در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل سیسنگان 19 ± 1.89 نانوگرم بر گرم وزن خشک با دامنه ۳ تا ۳۷ اندازه‌گیری شد. تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های آرسنیک در ایستگاه‌های مختلف مشاهده شد ($P < 0.05$). بیشترین و کمترین غلظت‌های آرسنیک در ایستگاه‌های T1S3 و T2S3 (شکل ۳).

۳-۲. آنالیز آزمایشگاهی

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 داخل هاون کوبیده و با استفاده از الک ۶۳ میکرون صاف شدند.

برای سنجش جیوه، ۱ گرم از رسوب را با ۴ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۲ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ درون لوله‌های آزمایش آمیخته و پس از بستن درب لوله‌ها با فویل آلومینیومی به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق و ۳ ساعت در دمای 90°C هضم گردیدند. بعد از سرد شدن کامل نمونه‌ها، ۱ میلی‌لیتر محلول دی کرومات پتاسیم ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) به آن‌ها افزوده و پس از رقیق و صاف کردن، در پایان میزان جیوه موجود در آن‌ها توسط دستگاه جذب اتمی بدون شعله (CVAAS)^۳ با روش بخار سرد اندازه‌گیری شد (MOOPAM, 1999).

جهت سنجش سایر فلزات مورد مطالعه، یک گرم از رسوب الک شده را با افزودن ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵٪) و اسید پرکلریک (۶۰٪) به نسبت ۱:۴ و قرار دادن بر روی دستگاه هضم^۴، ۱ ساعت در دمای 40°C و ۴ ساعت در دمای 140°C هضم نموده و پس از سرد شدن نمونه‌ها و رقیق کردن با آب دو بار تقطیر و عبور دادن از کاغذ صافی واتمن ۴۲ به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. سپس غلظت فلزات کادمیوم، نیکل، سرب و روی توسط دستگاه جذب اتمی (AAS)^۵ با شعله و غلظت

^۱ Freeze dryer

^۲ Homogenization

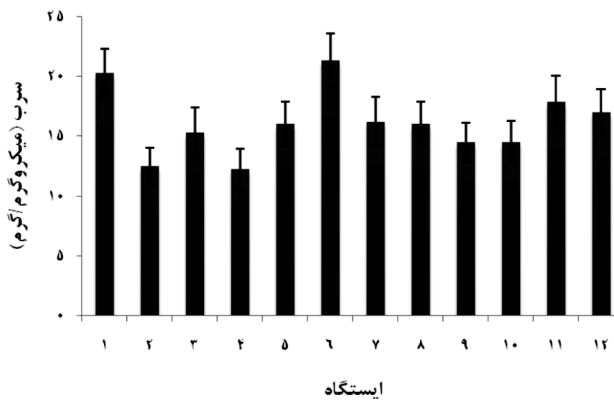
^۳ Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry

^۴ Hot plate digester

^۵ Atomic Absorption Spectrophotometry

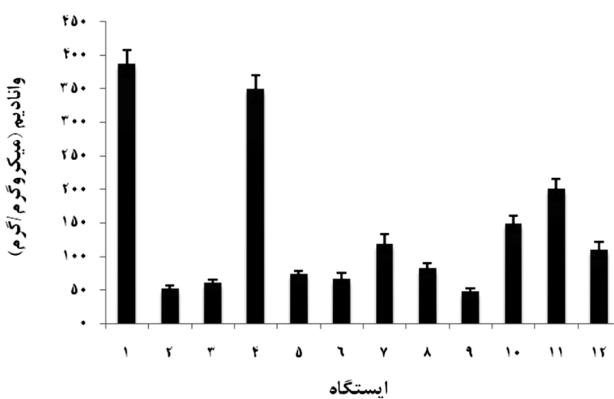
^۶ One-Way ANOVA

میانگین فلز سرب در رسوبات سواحل سیسنگان $16/18 \pm 1/90$ میکروگرم بر گرم وزن خشک با دامنه $12/25$ تا $21/40$ به دست آمد. مقایسه آماری غلظت این فلز در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه‌ها وجود دارد ($P < 0/05$). بیشترین غلظت سرب در ایستگاه T2S3 و کمترین غلظت آن در ایستگاه T2S1 مشاهده گردید (شکل ۵).



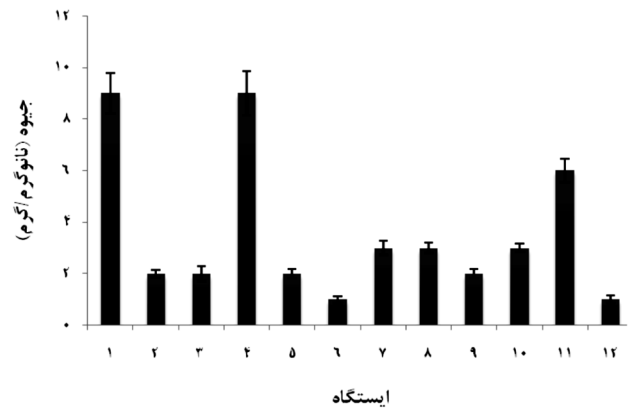
شکل ۵: پراکنش فلز سرب در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل سیسنگان، دی ماه ۱۳۹۱

میانگین غلظت وانادیم در رسوبات سواحل سیسنگان $10/56$ میکروگرم بر گرم وزن خشک با دامنه $3/3$ تا $38/5$ اندازه‌گیری شد. غلظت‌های وانادیم در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای اختلافات معنی‌داری بود ($P < 0/05$). بیشترین غلظت وانادیم در ایستگاه T1S1 و کمترین غلظت آن در ایستگاه T3S3 مشاهده شد (شکل ۶).

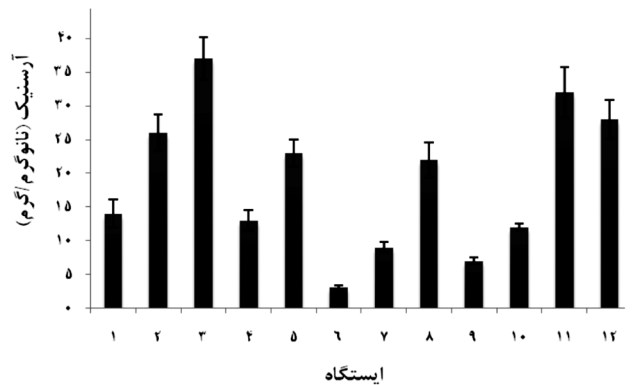


شکل ۶: پراکنش فلز وانادیم در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل سیسنگان، دی ماه ۱۳۹۱

میانگین فلز نیکل در رسوبات سواحل سیسنگان $27/54 \pm 3/35$ میکروگرم بر گرم وزن خشک با دامنه $12/8$ تا $41/85$ بود. مقایسه آماری غلظت نیکل در ایستگاه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی-

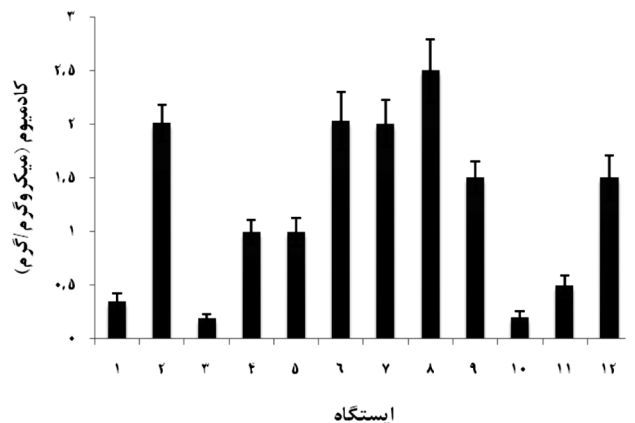


شکل ۲: پراکنش فلز جیوه در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل سیسنگان، دی ماه ۱۳۹۱



شکل ۳: پراکنش فلز آرسنیک در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل سیسنگان، دی ماه ۱۳۹۱

میانگین فلز کادمیوم در رسوبات منطقه $1/23 \pm 0/15$ میکروگرم بر گرم وزن خشک با دامنه $0/19$ تا $2/5$ بود. بررسی‌های آماری نشان داد که غلظت کادمیوم در ایستگاه‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌داری است ($P < 0/05$). بیشترین غلظت کادمیوم در رسوبات ایستگاه T3S2 و کمترین آن در ایستگاه T1S3 مشاهده شد (شکل ۴).



شکل ۴: پراکنش فلز کادمیوم در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل سیسنگان، دی ماه ۱۳۹۱

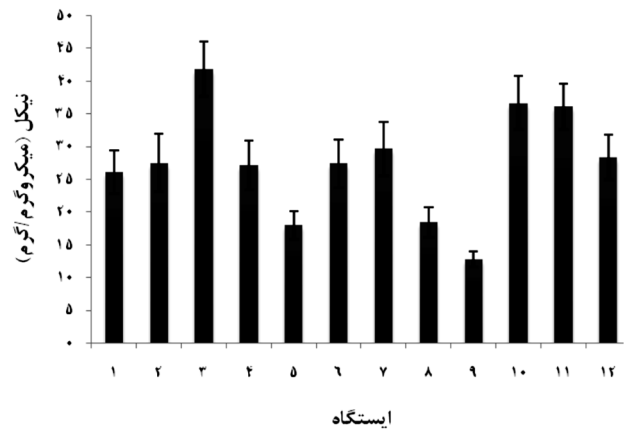
۴. بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این تحقیق توالی میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی سیسنگان به صورت زیر است: وانادیوم < روی < نیکل < سرب < کادمیوم < آرسنیک < جیوه
بر این اساس، در میان فلزات مختلف اندازه‌گیری شده، فلز وانادیم بیشترین تجمع (با میانگین غلظت ۱۴۱/۴۷ میکروگرم بر گرم وزن خشک) را در رسوبات سطحی سواحل سیسنگان دارا بود. کمترین تجمع را نیز فلز جیوه (با میانگین غلظت ۴ نانوگرم بر گرم وزن خشک) در رسوبات منطقه نشان داد.

مطالعه سلیمی و همکاران (۱۳۸۶) نشان داد در رسوبات تالاب انزلی نیز غلظت فلز وانادیم به‌طور چشمگیری بالاتر از سایر فلزات است. با توجه به این‌که وانادیم به‌عنوان فلز شاخص نفت خام است، لذا سلیمی و همکاران (۱۳۸۶) نتیجه گرفتند که میزان بالای این فلز ناشی از آلودگی نفتی در حوزه جنوبی دریای خزر است که وارد آب‌های ایران شده است. اگرچه بسیاری از تحقیقات صورت گرفته توسط محققین مختلف در گذشته، منشأ اصلی وانادیم را نفت بیان کرده‌اند (Fowler et al., 1993; Metwally et al., 1997; Beg et al., 2001)، اما منابع دیگر این فلز شامل تخلیه فاضلاب‌ها، پساب‌های خانگی و صنعتی و سوزاندن سوخت‌های فسیلی نیز می‌تواند در تجمع آن موثر باشد (EI- Moselhy, 2006؛ میرزا و همکاران، ۱۳۹۲).

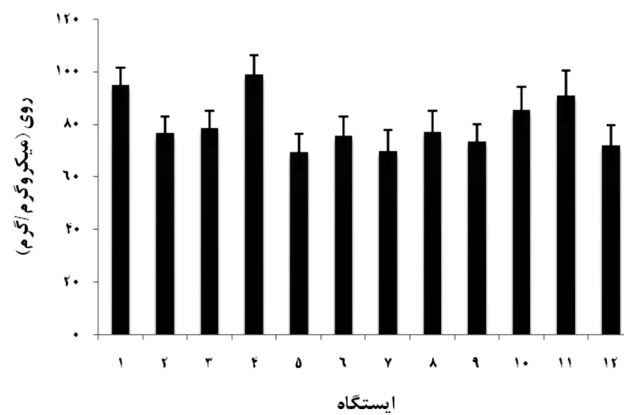
Pourang و همکاران (۲۰۰۵) با مطالعه رسوبات سواحل ایرانی خلیج فارس، بیشترین غلظت وانادیم و نیکل را در رسوبات سواحل قشم و بندر لنگه گزارش کردند. از نظر آنها، منابع احتمالی آلودگی این دو فلز، نشت نفت و تخلیه آب توازن از تانکرهای نفتکش و سکوهای حفاری نفت در منطقه است. همین‌طور، Beg و همکاران (۲۰۰۱) در بررسی رسوبات سواحل کویت بیان کردند وانادیم و نیکل فلزات مرتبط با نفت بوده و نشان‌دهنده وجود آلودگی نفتی در منطقه هستند. اما بر اساس مطالعاتی که de Mora و همکاران (۲۰۰۴) بر روی سواحل دریای خزر انجام دادند، بیشترین غلظت فلزات نیکل و وانادیم در منطقه‌ای بود که هیچ فعالیت صنعتی و مرکز شهری پرجمعیتی در نزدیکی آن قرار نداشت، ولی رسوبات منطقه غنی از کانی‌های افیولیت^۱ بود.

داری بین ایستگاه‌های مختلف نشان داد ($P < 0.05$). بیشترین غلظت نیکل مربوط به رسوبات ایستگاه T1S3 و کمترین آن مربوط به رسوبات ایستگاه T3S3 بود (شکل ۷).



شکل ۷: پراکنش فلز نیکل در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل سیسنگان، دی ماه ۱۳۹۱

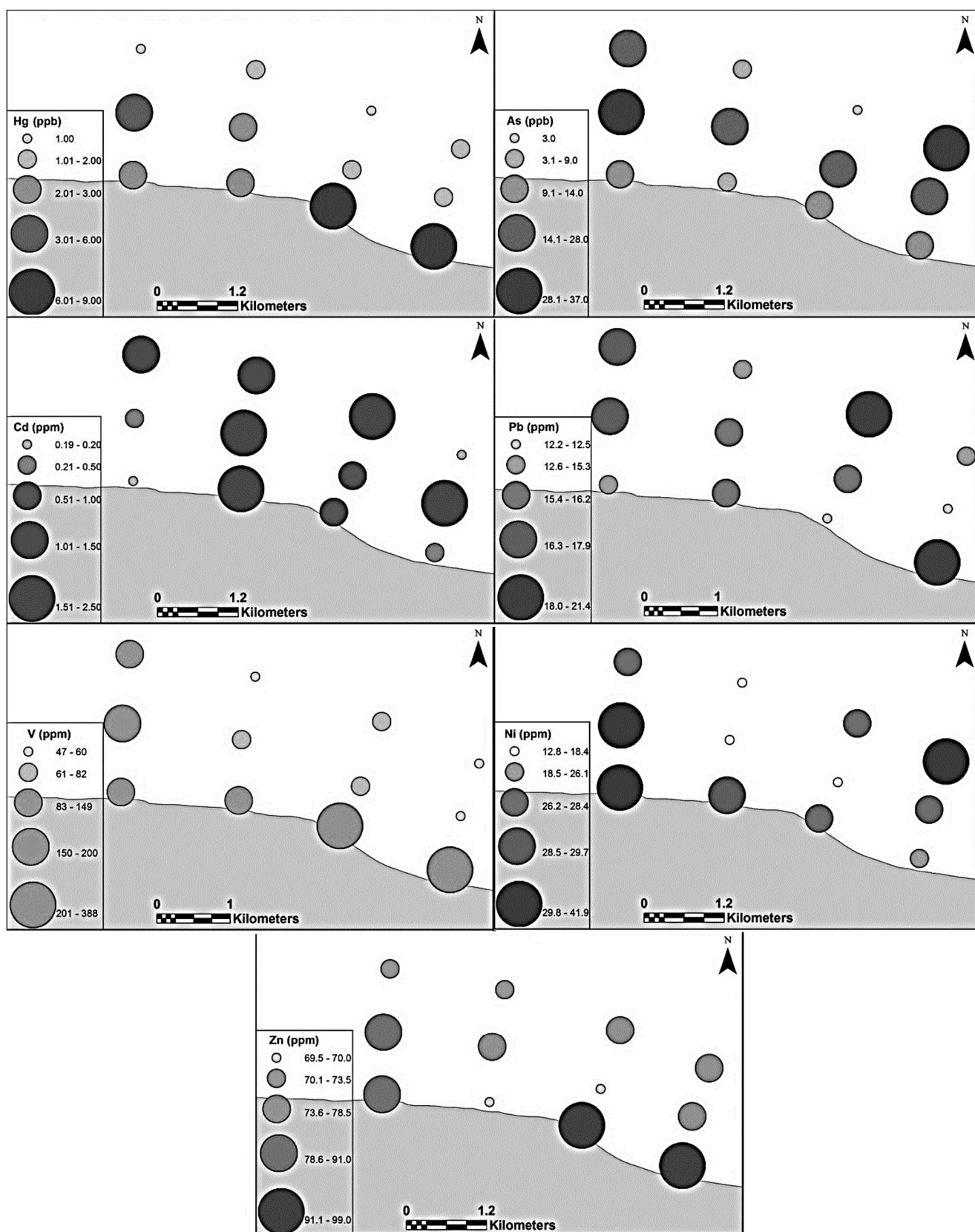
میانگین روی در رسوبات سواحل سیسنگان 80.31 ± 7.40 میکروگرم بر گرم وزن خشک با دامنه ۶۹/۵۰ تا ۹۹/۰۳ اندازه‌گیری شد. بررسی آماری غلظت‌های روی در ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه‌ها نشان داد ($P < 0.05$). بیشترین و کمترین غلظت روی در ایستگاه‌های T2S1 و T3S1 مشاهده گردید (شکل ۸).



شکل ۸: پراکنش فلز روی در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل سیسنگان، دی ماه ۱۳۹۱

نقشه پهنه‌بندی توزیع غلظت هر یک از عناصر سنگین مورد مطالعه در سواحل سیسنگان در شکل ۹ نشان داده شده است.

^۱ Ophiolit



شکل ۹: نقشه پهنه‌بندی توزیع غلظت فلزات سنگین در سواحل سیسنگان، دی ماه ۱۳۹۱

غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل، جیوه، کادمیوم و مس را در رسوبات سواحل خلیج Paria که به‌وسیله دو کشور ترینیداد و ونزوئلا احاطه شده است را اندازه‌گیری کردند و دریافتند که رسوبات، دارای غلظت‌های بالایی از این فلزات سنگین هستند که علت آن را ورود این آلاینده‌ها از طریق فاضلاب‌های شهری و صنعتی به منطقه عنوان کردند.

فلز کادمیوم در رسوبات منطقه مورد مطالعه، میانگین غلظت ۱/۲۳ میکروگرم بر گرم وزن خشک را دارا بود. کادمیوم از عناصر آلوده‌کننده‌ای است که ورود آن در دریا می‌تواند ناشی از استفاده کودهای شیمیایی (کودهای فسفات) در فعالیتهای کشاورزی، ریزش‌های جوی آلوده ناشی از کارخانجات صنعتی و پساب فعالیتهای صنعتی و یا معادن باشد. دلیل احتمالی غلظت کم کادمیوم در رسوبات، حلالیت بالای این فلز در آب است (Birch, 1996; Warren, 1998).

میانگین آرسنیک در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل سیسنگان، ۱۹ نانوگرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری شد. منشاء اصلی آرسنیک فرسایش شیمیایی سنگ‌ها است (Pajany et al., 2012). با این حال فعالیتهای کشاورزی، به‌خصوص استفاده از کودها و قارچ‌کش‌های استفاده شده در مزارع برنج را می‌توان به عنوان منشا آرسنیک موجود در رسوبات سواحل سیسنگان مطرح کرد.

میانگین غلظت جیوه در رسوبات منطقه ۴ نانوگرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری شد که از حداقل غلظت تأثیرگذار بر روی موجودات آبی (۰/۷ میکروگرم بر گرم وزن خشک) که توسط Chouvleon و همکاران (۲۰۰۹) بیان شد، بسیار کمتر است. حسینی و همکاران (۱۳۸۹) با مطالعه میزان جیوه در سواحل استان مازندران از حد فاصل رامسر تا بهشهر، آلوده‌ترین منطقه به فلز جیوه را نوشهر با میانگین غلظت ۰/۱۴۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک گزارش نمودند. آن‌ها بیان نمودند که به‌طور کلی میزان جیوه در رسوبات سواحل غرب مازندران نسبت به رسوبات سواحل شرق مازندران بیشتر است. غلظت جیوه در رسوبات سواحل سیسنگان بسیار کمتر از غلظت جیوه در سواحل نوشهر در مطالعه حسینی و همکاران (۱۳۸۹) به‌دست آمد. حسینی و همکاران (۱۳۸۹) دلیل بالاتر بودن غلظت جیوه در رسوبات سواحل نوشهر نسبت به سایر ایستگاه‌ها را وجود بندر نوشهر، تردد کشتی‌ها و نفت‌کش‌ها، همچنین فعالیتهای مختلف انسانی همچون گردشگری، کارخانجات، کشاورزی و... بیان

افیولیت شامل کرومیت و کانی‌های متنوع سولفید نیکل است. لذا نتیجه گرفتند غلظت بالای فلز نیکل و وانادیم در سواحل دریای خزر، منشاء طبیعی داشته و مربوط به کانی‌شناسی منطقه است. به‌طور کلی غلظت نسبتاً بالای فلز وانادیم در سواحل سیسنگان را می‌توان ناشی از ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی، رودخانه‌ها، پساب شناورها و قایق‌ها و ریزش‌های جوی شامل فرآورده‌های احتراق نفت دانست. هر چند احتمال می‌رود غلظت بالای وانادیم در رسوبات سواحل سیسنگان تا حدود زیادی منشأ طبیعی نیز داشته باشد.

فلز ضروری روی پس از وانادیم بیشترین غلظت را در رسوبات سواحل سیسنگان با میانگین ۸۰/۳۱ میکروگرم بر گرم وزن خشک نشان داد. البته میزان طبیعی این عنصر در رسوبات جهانی بالاست. Tabari و همکاران (۲۰۱۰) در پی بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات دریای خزر، منشأ فلزات سنگین همچون روی را فرسایش خاک در حوزه آبریز بیان کردند. Sartaj و همکاران (۲۰۰۵) نیز با بررسی غلظت فلزات سنگین روی، مس، کروم، نیکل، کادمیوم و سرب در رسوبات تالاب انزلی مشاهده نمودند که فلز روی بیشترین غلظت را در بین فلزات مورد مطالعه داراست.

اندازه‌گیری میزان نیکل در رسوبات منطقه مورد مطالعه نشان داد که نیکل پس از وانادیوم و روی دارای بالاترین غلظت با میانگین ۲۷/۵۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود. بر اساس مطالعات بسیاری از محققین، غلظت بالای نیکل در رسوبات اصولاً ناشی از منابع انسانی است. این منابع شامل فاضلاب‌های شهری و صنعتی، تردد کشتی‌ها، قایق‌ها و نفتکش‌ها و نفت خام است (de Astudillo et al., 2005; El Tokhi et al., 2008).

میانگین سرب در رسوبات منطقه ۱۶/۱۸ میکروگرم بر گرم وزن خشک به‌دست آمد. سرب در فاضلاب‌های شهری، کشاورزی و خانگی یکی از عوامل اصلی آلاینده محسوب می‌شود (Luoma and Rainbow, 2008). بیشترین سهم انتقال فلز سرب در دریای خزر از طریق انتقال فلزات مواد ریگی و مواد معلق رودخانه‌ای برآورد شده است (Bandani et al., 2008). این عنصر در ترکیبات رنگ‌ها از جمله رنگ‌های مورد استفاده برای بدنه کشتی‌ها و شناورها نیز وجود دارد (CCREM, 1987). در نتیجه به‌نظر می‌رسد تخلیه فاضلاب‌های انسانی و صنعتی به آب‌های منطقه و نیز تردد قایق‌ها و شناورها موجب ناپاکی منطقه به عنصر سرب شده است. de Astudillo و همکاران (۲۰۰۵)

مقایسه میزان اندازه‌گیری شده فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات سواحل سیسنگان با راهنمای کیفیت رسوب نشان داد که غلظت فلزات جیوه، آرسنیک، سرب و روی در رسوبات منطقه مورد مطالعه از سطوح مورد تأکید NOAA (SEL و LEL) و راهنمای کیفیت رسوب کانادا (TEL و PEL) بسیار کمتر است. اما میانگین فلز کادمیوم و نیکل در رسوبات منطقه از حد LEL در راهنمای کیفیت رسوب NOAA و حد TEL در راهنمای کیفیت رسوب کانادا بیشتر بود. لذا گرچه میزان این عناصر در رسوبات منطقه در حد خطرناک و بحرانی نیست اما بایستی پیش از آن که به تهدیدی جدی برای سلامت محیط زیست و موجودات منطقه تبدیل شوند، با اقدامات پیش‌گیرانه، مدیریت و نظارت صحیح از افزایش این آلاینده‌ها جلوگیری نمود.

۵. سپاسگزاری

بدین وسیله از مساعدت آقای مهندس محمد علی حمزه کارشناس پژوهشی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی و همچنین از زحمات کلیه کارشناسان مرکز اقیانوس‌شناسی دریای خزر (نوشهر) تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

منابع

- حسینی، م.؛ میرغفاری، ن.؛ محبوبی صوفیانی، ن.؛ خداکرمی، ل.، ۱۳۹۰. ارزیابی آلودگی رسوبات سواحل دریای خزر با جیوه در استان مازندران با استفاده از GIS و زمین آمار. مجله منابع طبیعی ایران، ۱۶۹-۱۸۳: ۲.
- سلیمی، ل.؛ ربانی، م.؛ اقتصادی عراقی، پ.؛ جمیلی، ش.؛ مطلبی، ع.، ۱۳۸۶. تعیین مقادیر فلزات سنگین نیکل و وانادیوم به‌عنوان شاخص نفت خام در رسوبات و دوکفه‌ای *Anodont cygnea* تالاب انزلی و تأثیر فعالیت‌های نفتی کشورهای حوضه دریای خزر بر این آلاینده‌ها، سمینار تخصصی نفت، گاز و محیط زیست، ۸ صفحه.
- مستقیمی، ب.، ۱۳۸۴. حفظ محیط زیست دریای خزر، راهکارهای دیپلماتیک. انتشارات وزارت امور خارجه، چاپ اول.
- میرزا، ر.؛ فخری، ع.؛ فقیری، ا.؛ عظیمی، ع.، ۱۳۹۲. بررسی نسبت نیکل و وانادیوم ناشی از آلودگی نفتی در رسوبات و صدف صخره‌ای *Saccostrea cucullata* در سواحل استان بوشهر، خلیج فارس. نشریه اقیانوس‌شناسی، ۱۴: ۴۳-۳۵.

نمودند. با این حال، Demora و همکاران (۲۰۰۴)، پراکنش تقریباً یکنواختی برای توزیع جیوه در رسوبات سواحل جنوبی دریای خزر در استان مازندران گزارش کردند.

در جدول ۲ نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در رسوبات سواحل سیسنگان با دو مورد از مهمترین راهنماهای کیفیت رسوب^۱ در جهان از جمله راهنمای کیفیت رسوب آمریکا (NOAA^۲) و نیز راهنمای کیفیت رسوب کانادا (ISQGs^۳) مقایسه مقایسه شده است. این مقایسه با توجه به این که این راهنماها مربوط به آب های شور دریایی بوده ولی دریای خزر، پهنه‌ای نیمه شور است، لذا کاملاً صحیح نیست، لیکن با توجه به نبود اطلاعات و مقادیر مرجع برای این پهنه‌ی نیمه شور به ناچار از این راهنماهای دریایی برای مقایسه نتایج استفاده شده است.

جدول ۲: مقایسه مقادیر فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات سواحل سیسنگان با مقادیر استاندارد بر اساس راهنمای کیفیت رسوب NOAA و کانادا

فلز	راهنمای رسوب آمریکا NOAA		راهنمای رسوب کانادا (CCME ^۴ , 1999)	
	SEL	LEL	TEL	PEL
جیوه	۰/۱۵	۱/۳	۰/۱۳	۰/۷
کادمیوم	۰/۶	۹/۰	۰/۷	۴/۲
سرب	۳۱/۰	۱۱۰/۰	۳۰/۲	۱۱۲
نیکل	۱۶/۰	۵۰/۰	-	-
وانادیوم	-	-	-	-
آرسنیک	۶	۳۳	-	-
روی	۱۲۰/۰	۲۷۰/۰	۱۲۴	۲۷۱

یکی از پر کاربردترین راهنماهای کیفیت رسوب در پایش محیط‌های دریایی، راهنمای کیفیت رسوب آمریکا (NOAA) است (Long et al., 1995). در راهنمای کیفیت رسوب NOAA دو خطر برای آلودگی فلزات در رسوبات بیان شده است که به صورت LEL^۵ حدی که کمترین اثر مضر را بر جوامع زیستی در بر دارد و SEL^۶ حدی که اثرات مضر شدیدی بر محیط زیست و جوامع زیستی در بر دارد، ارائه شده است.

در راهنمای کانادا نیز دو سطح برای آلودگی فلزات مطرح شده که به صورت TEL^۷ (حد آستانه) و PEL^۸ (حدی که موجب اثرات زیان آور می‌شود)، بیان می‌شود.

¹ Sediment Quality Guide Lines

² National Oceanic and Atmospheric Administration

³ Canadian interim marine sediment quality

⁴ Canadian Council of Ministers of the Environment

⁵ Lowest Effect Level

⁶ Severe Effect Level

⁷ Threshold Effect Level

⁸ Probable Effect Level

- and Venezuela. *Revista de Biologia Tropical*, 53: 41–53.
- De Mora, S.; Sheikholeslami, M.R.; Wyse, E.; Azemard, S.; Cassi, R., 2004. An assessment of metal contamination in coastal sediments of the Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 48: 61-77.
- Dias, J.F.; Fernandez, W.S.; Bouffleur, 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.
- El Tokhi, M.; Abdelgawad, E.; Lotfy, M., 2008. Impact of Heavy metals and Petroleum hydrocarbons contamination of the East Port Said Port area, Egypt. *Applied Sciences Research*, 4: 1788-1798.
- El- Moselhy, Kh.M., 2006. Distribution of vanadium in bottom sediments from the marine coastal area of the Egyptian Seas. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 32: 12-21.
- Fowler, S.W.; Readman, J.W.; Oregioni, B.; Villeneuve, J.P.; Mckay, K., 1993. Petroleum hydrocarbons and trace metals in nearshore Gulf sediments and biota before and after the 1991 war: an assessment of temporal and spatial trends. *Marine Pollution Bulletin*, 27: 171-182.
- 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 Spatio temporal variation of some metal. *Veterinarni Medicina*, 10: 457–463.
- 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.
- American Society for Testing and Materials (ASTM)., 1991. Standard guide for collection, storage, characterization and manipulation of sediments for toxicological testing. Philadelphia, 1390-91.
- Bandani, Q.; Shokrzadeh, M.; Rostami, H.S.; Yelghi, S.; Saeedi, S.; Babai, M., 2008. Research and comparison of heavy metals levels in sediment, water and high-consumed fish of southern margin of Caspian Sea in Gulestan Province [Project]. Gorgan, Iran: Department of environmental protection in Golestan Province, Iranian Fisheries Research Organization. 174 p.
- Beg, M.U.; Al-Muzaini, S.; Saeed, T.; Jacob, P.G.; Beg, K.R.; Al-Bahloul, M.; Al-Matrouk, K.; Al-Obaid, T.; Kurian, A., 2001. Chemical contamination and toxicity of sediment from a coastal area receiving industrial effluents in Kuwait. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 41: 289– 297.
- Birch, G.F., 1996. Sediment-bound metallic contaminants in Sydney’s estuaries and adjacent offshore, Australia. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 42: 31–44.
- Caspian Environment Program, 2005. “Caspian Sea, Environmental Issues (Iran).” <<http://www.caspianenvironment.org/newsite/Caspian-EnvironmentalIssues.htm>> (May 5, 2006).
- 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 concentrations 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

- Cd, Zn and Pb) in sediments of Anzali Wetland. Iranian Journal of Natural Resources, 58: 623-34.
- 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.
- Tabari, S.; Saeedi Saravi, S.S.; Bandani, G.H.; Dehghan, A.; Shokrzade, M., 2010. Heavy metals Zn, Pb, Cd and Cr) in fish, Water and sediment sampled from Southern Caspian Sea, Iran. Toxicology and Industrial Health, 26: 649-656.
- 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.
- Zhou, F.; Gou, H.; Hao, Z., 2007. Spatial distribution of heavy metals in Hong Kong's marine sediments and their human impacts: A GIS-based chemo metric approach. Marine Pollution Bulletin, 54: 1372-1384.
- 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.
- Manual of Oceanographic Observations and Pollutant Analyses Methods (MOOPAM), 1999. ROPME, Kuwait.
- Metwally, M.E.S.; Al-Muzaini, S.; Jacob, P.G.; Bahloul, M.; Urushiagawa, Y.; Sato, S.; Matsumura, A., 1997. Petroleum hydrocarbons and related heavy metals in the near-shore marine sediments of Kuwait. Environment International, 23: 115-121.
- Pajany, Y.M.; Hurel, C.; G eret, F.; Galgani, F.; Battaglia-Brunet, A.; Marmier, N.; Rom eo, M., 2012. Arsenic in marine sediments from French Mediterranean ports: Geochemical partitioning, bioavailability and ecotoxicology. Chemosphere, 90: 2730-2736.
- Pourang, N.; Nikouyan, A.; Dennis, J.H., 2005. Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from northern part of the Persian Gulf. Environmental Monitoring and Assessment, 109: 293-316.
- Sartaj, M.; Fatollahi Dehkordi, F.; Filizadeh, Y., 2005. The survey of heavy metals accumulation (Cr, Ni, Cu,