

بررسی همبستگی بین تجمع آلومینیوم، روی و سرب در رسوبات با ماکروبتوزهای ساکن

خورموسی

چکیده

فلزات سنگین به دلیل برخورداری از قابلیت پایداری بالا و تجمع‌زیستی از مهم‌ترین آلاینده‌های بوم-سازگان‌های آبی محسوب شده و حائز اهمیت می‌باشند. این پژوهش با هدف بررسی همبستگی بین غلظت تجمع‌یافته آلومینیوم، روی و سرب در رسوبات با ماکروبتوزهای ساکن خوریاات موسی در سال ۱۳۹۱ انجام یافت. نمونه‌برداری از رسوب توسط گرب ون وین انجام یافت. پس از انتقال نمونه‌های ماکروبتوزی تثبیت-شده به آزمایشگاه و شستشو در الک ۰/۵ میکرون، نسبت به شناسایی گونه‌ها اقدام شد. پس از هضم اسیدی نمونه‌های رسوب و ماکروبتوز، غلظت تجمع‌یافته عناصر توسط دستگاه ICP قرائت شد. پردازش آماری نتایج نیز از طریق آزمون‌های شاپیرو-ویلک، تی تک‌نمونه‌ای، آنالیز واریانس یک‌طرفه و ضریب همبستگی پیرسون توسط نرم‌افزار SPSS انجام یافت. نتایج بیانگر آن بود که بیشینه میانگین غلظت عناصر آلومینیوم، روی و سرب بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم در نمونه‌های رسوب به ترتیب برابر با $620/39 \pm 80/0$ ، $48/76 \pm 5/32$ و $8510/11 \pm 619/40$ و در نمونه‌های ماکروبتوز با $10/47 \pm 3/0$ و $136/0 \pm 24/0$ و $24/0 \pm 3/99$ به ترتیب مربوط به گروه‌های Bivalvia، Gastropoda و Crustacea است. همچنین میانگین غلظت عناصر روی و سرب در نمونه‌های رسوب کم‌تر از رهنمود WHO است. نتایج آزمون همبستگی نیز نشان داد بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر سرب در نمونه‌های رسوب و گروه ماکروبتوزی شکم‌پایان همبستگی معنی‌دار وجود دارد. بنابراین گرچه رسوبات منطقه مورد مطالعه به فلزات سنگین روی و سرب آلوده نیست، ولی استقرار صنایع مختلف پتروشیمی در منطقه مورد مطالعه، آلودگی ناشی از اکتشاف و استخراج نفت و تردد نفتکش‌ها، حوادث و سوانح مربوط به سکوها نفتی مناطق پیرامون، رفت و آمد کشتی‌ها، منابع و صنایع مستقر در خشکی احتمال آلودگی رسوبات و به تبع آن آب‌زیان ساکن به فلزات سنگین را افزایش می‌دهد.

واژگان کلیدی: جوامع کفزی، تجمع‌زیستی، فلز سنگین، خورموسی.

مریم محمدی روزبهانی^۱

سهیل سبحان اردکانی^{۲*}

راضیه مشعل پور فرد^۳

۱. استادیار گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی،

اهواز، ایران

۲. دانشیار گروه محیط‌زیست، واحد همدان، دانشگاه آزاد

اسلامی، همدان، ایران

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط‌زیست، واحد اهواز،

دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*مسئول مکاتبات

s_sobhan@iauh.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۲۹

کد مقاله: ۱۳۹۶۰۱۰۱۶۱

مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی

ارشد است.

مقدمه

سیستم‌های آبی پیوسته با مشکلات ناشی از آلاینده‌هایی مواجه هستند که از منابع مختلف مانند فاضلاب‌های صنعتی، پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری وارد آن‌ها می‌شود (Khademi et al., 2014). در دهه‌های اخیر آلودگی محیط‌های آبی به فلزات سنگین به یک مشکل جهانی در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته تبدیل شده است (Malik et al., 2010; Shariati et al., 2012). خلیج فارس بخشی از منطقه دریایی راپمی است که در منطقه‌ای گرمسیری و خشک واقع شده و به‌وسیله فعالیت‌های انسانی نظیر کشتیرانی، ترافیک تانکرها و توسعه صنعتی و کشاورزی آلوده شده است (De Mora et al., 2004; Abdolapur Monikh et al., 2013). همچنین به‌دلیل وضعیت روحی-روانی و محیطی ویژه، از دامنه تحمل آب‌زیان ساکن در خلیج فارس نسبت به تغییرات محیطی کاسته شده است و ورود



آلاینده‌ها نیز آسیب بیش‌تری را به این زیست‌مندان وارد می‌آورد (جعفریان مقدم و همکاران، ۱۳۹۰). در این میان خورها به دلیل موقعیت بلافاصل خود با خشکی‌ها، در معرض ورود حجم بیش‌تری از آلاینده‌ها قرار دارند. علاوه بر آن بسیاری از خورها به علت این که دارای محیطی آرام و به دور از امواج می‌باشند، به دلیل سکون آب در معرض انباشت بار آلودگی هستند. این مساله زمانی که خورها از اطراف یا مراکز شهری عبور می‌کنند، بیش‌تر مشهود است. به طوری که فاضلاب‌ها و پساب‌های شهری عموماً از محل خورها به دریاها می‌ریزند (فاطمی و حمیدی، ۱۳۸۹). خورموسی از شاخص‌ترین نمونه بوم‌سازگان از نوع پهنه‌های کشنده یا جزر و مدی است که به دلیل شرایط خاص محیطی در نوع خود بسیار با اهمیت محسوب می‌شود. به طوری که اگر در معرض هجوم توسعه و اثرات ناشی از آن نباشد، از بارورترین مناطق ساحلی در مجموعه بوم‌سازگان‌های دریایی به حساب می‌آید (Hopner and Maraschi, 1999).

آلودگی فلزات سنگین ممکن است، اثرات مخربی بر تعادل بوم‌شناختی محیط پذیرنده و تنوع موجودات آبی داشته باشد (Vosyliene et al., 2012; Farombi et al., 2007; Kamaruzzaman et al., 2003). فلزات سنگین به‌عنوان عناصری غیرقابل تجزیه زیستی، از آن جا که توسط کفزیان به‌عنوان اولین سطح تولیدکننده در دریا جذب می‌شوند از قابلیت تجمع در زنجیر غذایی برخوردار بوده و نمی‌توانند به شکل های کم خطرتر تبدیل شوند (Mojtahid et al., 2008; Forghani et al., 2009).

در پژوهشی که با هدف تعیین غلظت فلز سرب در رسوبات سطحی سواحل بندرعباس انجام یافت، نتایج نشان داد که غلظت کل عنصر سرب بر حسب نانوگرم در گرم در ایستگاه‌های پایانه بندرعباس و پارک جهانگردی سورو به‌ترتیب برابر با ۵۹۴ و ۱۲۰۶ می‌باشد (باقری و همکاران، ۱۳۹۲).

در پژوهشی که با هدف بررسی نسبت نیکل و وانادیوم ناشی از آلودگی‌های نفتی در رسوبات و صدف خوراکی صخره‌ای (*Saccosterea cucullata*) در سواحل استان بوشهر انجام یافت، نتایج نشان داد که بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در رسوبات با صدف صخره‌ای همبستگی معنی‌دار آماری وجود ندارد (میرزا و همکاران، ۱۳۹۲).

در پژوهشی که به‌منظور بررسی غلظت برخی فلزات سنگین در ماهی کفشک گرد (*Euryglossa orientalis*) و رسوبات خورموسی انجام یافت، نتایج نشان داد که بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر سرب در نمونه‌های رسوب و بافت ماهی بر حسب میکروگرم در گرم وزن خشک به‌ترتیب با ۱۸/۶۴ و ۱/۳۲ همبستگی معنی‌دار آماری وجود ندارد (پروانه و همکاران، ۱۳۹۰).

در پژوهشی که به‌منظور بررسی برخی فلزات سنگین رسوبات بستر در منطقه لیفه و بوسیف انجام یافت، نتایج بیانگر آن است که میانگین غلظت عناصر روی و سرب بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم به‌ترتیب برابر با ۶۹ و ۲۳ می‌باشد. همچنین با استناد به نتایج شاخص ژئوشیمیایی مولر (Igeo)، کیفیت رسوبات از نظر فلز سرب در رده آلودگی ۲ (دارای بار آلودگی متوسط) طبقه‌بندی می‌شود (سبزی‌زاده و دهقان مدیسه، ۱۳۸۹). در پژوهشی که با هدف بررسی برخی فلزات سنگین در رسوبات منطقه خورموسی انجام یافت، نتایج نشان داد که میانگین غلظت عناصر روی و سرب بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم به‌ترتیب برابر با ۱۱۴ و ۱۵ می‌باشد. همچنین بر اساس مقادیر شاخص آلودگی (Cf)، غلظت روی در سطح خطر می‌باشد (دهقان مدیسه و همکاران، ۱۳۸۷).

در پژوهشی که با هدف سنجش عناصر روی و سرب در صدف خوراکی صخره‌ای در سواحل استان هرمزگان انجام یافت، نتایج بیانگر آن است که میانگین غلظت عناصر بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم در پوسته و عضله صدف برای عنصر روی به‌ترتیب برابر با ۵/۹ و ۱/۲ و برای سرب به‌ترتیب برابر با ۱۱ و ۵/۲ می‌باشد (مرتضوی و همکاران، ۱۳۸۱).

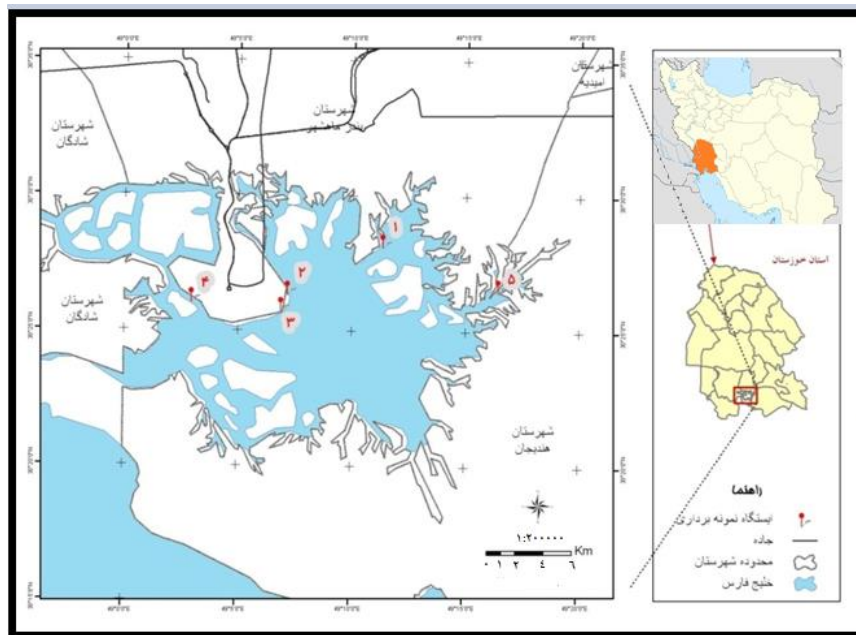
با توجه به آثار مخرب فلزات سنگین بر حیات موجودات ساکن در آب و یا متأثر از پیکره آبی، بررسی و پایش موجودات زنده در دریاها همواره از نظر زیست‌محیطی از اهمیتی بسزا برخوردار است. به طوری که در مطالعاتی متعدد از دوکفه‌ای‌ها و شکم پایان به‌عنوان نشانگر زیستی برای سنجش آلودگی فلزات سنگین استفاده شده‌است (Li et al., 2009; Kesavan et al., 2010; Nejatkhah Manavi, 2013). بنابراین

با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش با هدف بررسی همبستگی بین غلظت تجمع یافته فلزات سنگین آلومینیوم، روی و سرب در رسوبات با جوامع ماکروبتیک ساکن در رسوبات خوریات موسی انجام یافت.

مواد و روش‌ها

خور موسی در ناحیه شمال غربی خلیج فارس و در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۱ دقیقه واقع شده است (سواری و همکاران، ۱۳۸۱). به منظور نمونه برداری از رسوبات و بررسی همبستگی بین غلظت تجمع یافته فلزات در رسوبات با جوامع ماکروبتیک، ۵ ایستگاه با در نظر گرفتن نرخ فعالیت‌های انسانی در منطقه و حجم پساب ورودی انتخاب شد. موقعیت استقرار و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری به ترتیب در شکل ۱ و جدول ۱ ارائه شده است.

نمونه برداری از رسوبات در شهریورماه ۱۳۹۱ و در زمان جزر کامل در شرایطی که سطح رسوبات حداقل با ۱/۵ متر آب پوشیده شده بود، از منطقه بین جزر و مدی خوریات موسی انجام یافت. نمونه‌ها از لایه ۵ سانتی متری سطح رسوب با استفاده از گرب ون وین (با سطح مقطع ۰/۰۲۵ مترمربع) با ۳ تکرار برداشت شد. نمونه‌های حاوی ماکروفونا توسط الک ۵۰۰ میکرون و توسط آب دریا شسته و به ظروف پلی اتیلنی که از قبل توسط اسید نیتریک رقیق و آب مقطر شسته شده بودند، منتقل شدند. پس از تثبیت نمونه‌ها با فرمالین ۴ درصد، ظروف برچسب گذاری شدند. نمونه‌های رسوب نیز در کیسه‌های پلاستیکی تخلیه و برچسب گذاری شدند (Allen et al., 1991; Karbassi et al., 2005). سپس نمونه‌ها توسط یخدان حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند.



شکل ۱: نقشه موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه برداری.

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

نام ایستگاه	عرض شمالی	طول شرقی	توضیحات
ایستگاه ۱	30 28 09.8	49 11 20.8	خور مجیدیه جنب پایانه صادراتی نفت ماهشهر
ایستگاه ۲	30 26 24.5	49 07 09.3	خورموسی
ایستگاه ۳	30 25 47.8	49 06 52.5	جنب پتروشیمی بندر امام در خور جعفری
ایستگاه ۴	30 26 06.3	49 02 56.6	جنب اسکله‌های بندر امام خمینی در خور دورق
ایستگاه ۵	30 26 32.1	49 16 25.3	ایستگاه شاهد در خور غزاله

نمونه‌های ماکروبتوزی پس از انتقال به پتری دیش و با استفاده از استریومیکروسکوپ شناسایی و در گروه‌های ماکروبتوزی دوکفه‌ای‌ها، شکم‌پایان، سخت‌پوستان و کرم‌ها تقسیم شدند. سپس نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا ثابت شدن وزن بافت، در آون خشک شدند (Silva et al., 2001). نمونه‌های خشک‌شده توسط هاون چینی کاملاً پودر و از الک ۶۳ میکرون عبور داده شدند. به‌منظور هضم نمونه‌های ماکروبتوزی، ۰/۵ گرم از هر نمونه پودر شده توسط ترکیبی از اسید نیتریک (۶۹ درصد) و اسید پرکلریدریک (۶۰ درصد) به نسبت ۴:۱ ابتدا به مدت یک ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سپس به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد بر روی هات پلیت قرار داده شد. بعد از سرد شدن کامل نمونه‌های هضم‌شده در دمای معمولی آزمایشگاه، محلول‌های هضم‌شده به بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری منتقل و توسط آب دوبار تقطیر رقیق شدند. نمونه‌های رقیق‌شده با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲، فیلتر و تا زمان قرائت غلظت فلزات سنگین در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند (Yap et al., 2009).

به‌منظور هضم نمونه‌های رسوب، پس از خشک و آسیاب کردن آن‌ها به‌ترتیب در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد و توسط هاون چینی، یک گرم از نمونه پودر شده در ظرف تفلونی تخلیه شد. پس از افزودن یک میلی‌لیتر مخلوط اسید نیتریک و اسید کلریدریک با نسبت ۳:۱ و ۶ میلی‌لیتر اسید فلئوئوریدریک به نمونه‌ها، محلول حاصل به مدت ۱۵۰ دقیقه بر روی حمام شن در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. با شفاف شدن رنگ نمونه‌ها و پس از سرد شدن آن‌ها، ۳/۷ گرم اسیدبوریک در ۲۰ میلی‌لیتر آب عاری از یون حل و به نمونه‌های سرد اضافه شد. نمونه‌های هضم شده به بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری منتقل و توسط آب دوبار تقطیر رقیق شد. سپس محلول توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲، فیلتر و تا زمان قرائت غلظت فلزات سنگین در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شد (Karbassi et al., 2006; Chatain et al., 2013). در نهایت پس از ساخت محلول استاندارد عناصر (مرک آلمان) و کالیبراسیون دستگاه نشر اتمی، غلظت تجمع‌یافته فلزات سنگین در نمونه‌های ماکروبتوز (۵ نمونه از هر گروه) و رسوب (۱۵ نمونه) توسط دستگاه ICP-OES (Perkin Elmer, Optima 2100 DV) قرائت شد (Chatain et al., 2013; Lim et al., 2013).

به‌منظور پردازش آماری داده‌ها از نسخه ۱۸ نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد. بدین صورت که از آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی نرمال بودن داده‌ها، از آزمون‌های تی تک‌نمونه‌ای و آنالیز واریانس یک‌طرفه (آزمون چنددامنه‌ای دانکن) به‌ترتیب برای مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر روی و سرب در نمونه‌های رسوب با رهنمود WHO و مقایسه میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در رسوب و ماکروبتوز بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری و از آزمون همبستگی پیرسون به‌منظور بررسی همبستگی بین غلظت تجمع‌یافته عناصر آلومینیوم، روی و سرب در رسوب با جوامع ماکروبتیک ساکن و همبستگی بین غلظت تجمع‌یافته عناصر بین گروه‌های ماکروبتیک استفاده شد. سطح اطمینان در همه آزمون‌ها برابر با ۹۵ درصد در نظر گرفته شد.

نتایج

نتایج قرائت غلظت تجمع یافته عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب و گروه‌های مختلف ماکروبتوز به تفکیک ایستگاه نمونه برداری به ترتیب در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. همچنین نتایج قرائت غلظت تجمع یافته عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های مختلف ماکروبتوز به تفکیک گروه ماکروبتوزی و مقادیر استاندارد فلزات سنگین آلومینیوم، روی و سرب در خاک و رسوب نیز به ترتیب در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است.

جدول ۲: نتایج قرائت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم به تفکیک ایستگاه.

ایستگاه	عنصر	آلومینیوم	روی	سرب
۱		۵۴۱/۹۰±۷۵/۰ ^{c**}	۷۳/۴۴±۱۳/۰ ^c	۶/۴۳±۲/۰ ^c
۲		۶۰۳/۸۶±۷۱/۰ ^d	۱۳۶/۰±۲۴/۰ ^d	۶/۲۹±۱/۰ ^c
۳		۶۲۰/۲۹±۸۰/۰ ^e	۷۲/۳۰±۱۰/۰ ^c	۵/۴۷±۱/۰ ^b
۴	انحراف معیار± میانگین	۵۰۸/۷۸±۷۲/۰ ^b	۵۱/۷۲±۱۱/۰ ^b	۱۰/۴۷±۳/۰ ^d
۵		۳۷۹/۴۲±۴۵/۰ ^a	۴۶/۶۱±۹/۰ ^a	۴/۷۶±۱/۰ ^a
کل		۵۳۰/۸۵±۸۲/۹۸	۷۶/۰۱±۱۱/۰۱	۶/۶۸±۲/۳۲

* داده‌ها مربوط به میانگین ۳ تکرار می‌باشد.

**حروف غیرمشترک (a, b, c و ...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی دار ($P < 0.05$) بین ایستگاه‌ها از نظر میانگین غلظت تجمع یافته عناصر در نمونه‌های رسوب بر اساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه است.

نتایج قرائت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب بر حسب میلی گرم در کیلوگرم (جدول ۲) بیانگر آن است که کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر آلومینیوم با $۳۷۹/۴۲±۴۵/۰$ و $۶۲۰/۲۹±۸۰/۰$ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۵ و ۳؛ کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر روی با $۴۶/۶۱±۹/۰$ و $۱۳۶/۰±۲۴/۰$ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۵ و ۲ و کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر سرب با $۴/۷۶±۱/۰$ و $۱۰/۴۷±۳/۰$ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۵ و ۴ بود.

نتایج آزمون آنالیز واریانس یک طرفه بیانگر آن بود که همه ایستگاه‌ها از نظر میانگین غلظت تجمع یافته آلومینیوم با یکدیگر اختلاف معنی دار آماری دارند ($p < 0.05$). از نظر مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته روی نتایج بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین ایستگاه‌های ۱ و ۳ بود. همچنین از نظر مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته سرب نیز نتایج بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین ایستگاه‌های ۱ و ۲ است (جدول ۲).

جدول ۳: نتایج قرائت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌ها بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم به تفکیک ایستگاه.

ایستگاه	گروه ماکروبتوزی	تعداد نمونه	انحراف معیار ± میانگین	
			روی	سرب
۱	Bivalvia	۵	۶۴۲/۹۹±۹۶/۳۰	۲۸/۰۲±۴/۱۷
	Gastropoda		۶۵/۲۷±۱۳/۱۷	۱/۸۰±۰/۱۸
	Worm		۴۳۷۵/۳۰±۴۱۲/۰۹	۹/۳۹±۲/۰۰
۲	Bivalvia	۵	۱۶۷۳/۲۶±۱۴۶/۲۰	۱۵/۳۲±۲/۶۳
	Crustacea		۴۲۶/۷۵±۷۷/۳۱	۲۲/۲۱±۳/۲۷
	Gastropoda		۲۶۲/۳۷±۴۱/۱۹	۱۹/۰۱±۲/۸۳
۳	Bivalvia	۵	۸۵۱۰/۱۱±۶۱۹/۴۰	۱۸/۶۱±۲/۲۵
	Crustacea		۷۲۰/۰±۹۱/۱۳	۱۶/۰±۲/۰۳
	Gastropoda		۳۸/۱۷±۶/۲۹	۴۸/۷۶±۵/۳۲
۴	Bivalvia	۵	۲۱۲۶/۸۶±۲۱۵/۰۶	۸/۰۱±۱/۰۹
	Crustacea		۷۴۳/۷۹±۹۸/۱۱	۲۴/۵۳±۲/۷۷
	Gastropoda		۱۱۱/۸۳±۲۰/۱۲	۴/۰۳±۰/۶۴
۵	Bivalvia	۵	۱۳۴۲/۱۱±۱۱۲/۱۶	۱۷/۰۰±۲/۳۷
	Gastropoda		۶۲/۴۰±۱۰/۳۳	۹/۷۸±۱/۶۱
	Worm		۳۶۹۳/۶۸±۲۱۲/۱۷	۱۶/۴۰±۲/۲۸

نتایج مربوط به قرائت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های ماکروبتوز (جدول ۳) بیانگر آن بود که کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر آلومینیوم با $۳۸/۱۷±۶/۲۹$ و $۸۵۱۰/۱۱±۶۱۹/۴۰$ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به Bivalvia و Gastropoda؛ کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر روی با $۳/۴۴±۰/۶۶$ و $۴۸/۷۶±۵/۳۲$ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به Worm و Gastropoda و کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر سرب با $۰/۸۱±۰/۰۴$ و $۲۴/۰۰±۳/۹۹$ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به Worm و Crustacea است. نتایج آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (آزمون چنددامنه ای دانکن) برای مقایسه میانگین غلظت عناصر آلومینیوم، روی و سرب در نمونه‌های ماکروبتوز بین گروه‌های ماکروبتوزی بیانگر آن بود که همه گروه‌ها از نظر میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر با یکدیگر اختلاف معنی‌دار آماری دارند ($P < ۰/۰۵$).

نتایج آزمون همبستگی پیرسون به‌منظور بررسی همبستگی بین غلظت تجمع‌یافته عناصر آلومینیوم، روی و سرب در نمونه‌های رسوب با جوامع ماکروبتیک مورد مطالعه بیانگر آن است که بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر سرب در نمونه‌های رسوب و گروه ماکروبتوزی شکم‌پایان با ضریب همبستگی (r) برابر با $۰/۸۸۸$ و سطح معنی‌داری (Pp) کوچک‌تر از $۰/۰۵$ ، همبستگی معنی‌دار وجود دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

فلزات سنگین شامل دو دسته عناصر ضروری و غیرضروری در اثر عوامل طبیعی مانند هوازدگی پوسته زمین و نهشت‌های اتمسفری و عوامل مصنوعی مانند استفاده فزاینده از فلزات در کاربری‌های صنعت و کشاورزی و همچنین دفع فاضلاب‌ها و رواناب‌های سطحی شهری وارد

بوم‌سازگان‌های آبی شده و از مهم‌ترین آلاینده‌های سمی در این بوم‌سازگان‌ها محسوب می‌شوند که پایداری بالایی داشته و از توانایی ایجاد سمیت در آب‌زیان و قابلیت تجمع در زنجیر غذایی برخوردارند (خدابنده، ۱۳۸۰؛ Hosseini et al., 2013; Storelli et al., 2005). رسوبات از توانایی بالقوه جذب و انباشت آلاینده‌های فلزی تخلیه‌شده از محیط‌های خشکی برخوردار هستند، در نتیجه آنالیز رسوبات نقش مهمی را در ارزیابی شرایط آلودگی بوم‌سازگان‌های آبی ایفا می‌کند (Loska et al., 2004; Penilla et al., 2005). به بیان دیگر، تعیین پراکنش و غلظت فلزات سنگین در رسوبات و دستیابی زیستی آن‌ها در محیط‌های ساحلی و دریایی می‌تواند وضعیت زیست‌محیطی منطقه را از نظر آلودگی به فلزات سنگین مشخص کند (صفاهیبه و محمدی، ۱۳۸۹؛ Zhou et al., 2007).

نتایج قرائت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب بیانگر آن بود که بیشینه میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر آلومینیوم، روی و سرب بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم برابر با $620/29 \pm 80/0$ ، $136/0 \pm 24/0$ و $10/47 \pm 3/0$ و به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۳، ۲ و ۴ است (جدول ۲)، که می‌تواند بیانگر نقش صنایع مستقر به‌ویژه تخلیه فاصلاب شهری و صنعتی از جمله تخلیه فاصلاب واحدهای آمونیاک و استالئید صنایع پتروشیمی که از بار آلودگی سرب برخوردار است (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱)، تعدد حمل و نقل کشتی‌ها در اسکله‌های بندر امام خمینی (ره)، مجاورت با محل تعمیر و نگهداری کشتی‌ها، تخلیه و بارگیری انواع مواد سوختی و کالاهای نفتی، رنگ مورد استفاده در پوشش کشتی‌ها و شناورها که واجد سرب است، در تجمع این عناصر در رسوبات باشد.

الگوی تجمع فلزات سنگین در رسوبات در مطالعه حاضر به صورت $Al > Zn > Pb$ و مطابق با الگوی تجمع فلزات در پوسته زمین (ربانی و همکاران، ۱۳۸۷) است. نتایج با الگوی تجمع فلزات سنگین در رسوبات مورد مطالعه عبدالله‌پور مونیخ و همکاران (۲۰۱۳) در خوریا جعفری و غزاله، عالم و همکاران (۲۰۱۰) در تالاب ساندربانگ هند، زیفر و همکاران (۲۰۰۹) در خلیج گدانک دریای بالتیک و داویدکوا و همکاران (۲۰۰۵) در خلیج زولوتی راگ دریای ژاپن (Davdykova et al., 2005; Szefer et al., 2009; Alam et al., 2010; Abdolahpur, 2013) مطابقت دارد.

هرگونه تغییر در روند جذب و تجمع زیستی فلزات سنگین در آب‌زیان می‌تواند به عوامل مختلفی مانند نوع فلز، گونه آبی، بافت، وزن و سن موجود و شرایط محیطی وابسته باشد (احسانی و رومیانی، ۱۳۹۳). در این رابطه ماکروبتنوزها می‌توانند فلزات سنگین موجود در محلول‌ها را از طریق پوست و فلزات سنگین موجود در غذا را از طریق گوارش تغلیظ نمایند و این آلاینده‌ها را از طریق مدفوع، ادرار، پوست بدن و همچنین آبشش‌ها دفع کنند (اجلالی و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج مربوط به قرائت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های ماکروبتنوز بیانگر آن بود که میانگین غلظت عناصر آلومینیوم، روی و سرب بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم برابر با $1642/22 \pm 160/27$ ، $16/96 \pm 2/81$ و $6/59 \pm 1/04$ است. مقایسه نتایج این مطالعه با یافته‌های پژوهش مرتضوی و همکاران (۱۳۸۱) که با هدف بررسی عناصر روی و سرب در عضله صدف خوراکی صخره‌ای در سواحل استان هرمزگان انجام یافت، پژوهش احمد و همکاران (۲۰۱۱) که نسبت به بررسی غلظت تجمع‌یافته عنصر سرب در بدن ماکروبتنوزهای ساکن در جنگل‌های مانگرو ساحل جنوب غربی بنگلادش اقدام کردند و پژوهش علی و فیشر (۲۰۰۵) که با هدف بررسی غلظت تجمع‌یافته عناصر روی و سرب در بافت بدن نرم‌تنان و سخت‌پوستان ساکن در بستر دریاچه کارون مصر انجام یافت، بیانگر تشابه نتایج است. همچنین مقایسه نتایج تجزیه و مدی استان هرمزگان انجام یافت، پژوهش احمد و همکاران (۲۰۱۱) که نسبت به بررسی غلظت تجمع‌یافته عنصر روی در بدن ماکروبتنوزهای ساکن در جنگل‌های مانگرو واقع در ساحل جنوب غربی بنگلادش اقدام کردند، پژوهش مآنان (۲۰۰۸) که با هدف بررسی غلظت تجمع‌یافته عنصر روی در بافت بدن ۳ گونه از نرم‌تنان دریایی نواحی ساحلی مراکش انجام یافت، پژوهش مرتضوی و همکاران (۱۳۸۱) که با هدف بررسی عناصر روی و سرب در پوسته صدف خوراکی صخره‌ای در سواحل استان هرمزگان انجام یافت (مرتضوی و همکاران، ۱۳۸۱؛ Ali and Fishar, 2005; Maanan, 2008; Ahmed et al., 2011; Nejatkhah Manavi, 2013)، بیانگر عدم تشابه بین نتایج می‌باشد.

نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بین میانگین غلظت تجمع یافته عنصر سرب در نمونه های رسوب و گروه ماکروبتوزی شکم پایان همبستگی معنی دار وجود دارد. این موضوع را می توان با جذب مستقیم سرب از رسوبات توسط سخت پوستان مرتبط دانست (اجلالی و همکاران، ۱۳۹۴). از این رو می توان سخت پوستان را به عنوان یک شاخص زیستی برای محل زندگیشان در نظر گرفت. احسانی و رومیانی (۱۳۹۳) نیز در مطالعه خود سخت پوستان را به عنوان شاخص زیستی مناسب معرفی کردند.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تجمع عناصر آلومینیوم، روی و سرب در بافت بدن گروه های ماکروبتوزی به صورت $Al > Zn > Pb$ بود، که می توان به تشابه با دستاورد مطالعات قمرالزمان و همکاران (۲۰۱۲)، احمد و همکاران (۲۰۱۱) و مانان (۲۰۰۸)، علی و فیشر (۲۰۰۵) (Ali and (Fishar, 2005; Maanan, 2008; Ahmed et al., 2011; Kamaruzzaman et al., 2012) اشاره کرد.

نتایج بررسی غلظت تجمع یافته عناصر آلومینیوم، روی و سرب در گروه های ماکروبتوزی بیانگر آن بود که تجمع عناصر آلومینیوم و سرب در دو کفه ای ها بیش تر از شکم پایان است، که با دستاورد مطالعه فالر و همکاران (۱۹۹۳) که نسبت به بررسی غلظت تجمع یافته عناصر روی و سرب در بافت بدن دو کفه ای های ساکن در سواحل ۵ کشور حاشیه خلیج فارس قبل و بعد از جنگ ۱۹۹۱ اقدام کرده و نتیجه گرفتند که بیش ترین غلظت تجمع یافته عنصر نیکل مربوط به دو کفه ای های ساکن در سواحل عربستان سعودی به دلیل قرار گرفتن در معرض آلودگی نفتی شدید است (Fowler et al., 1993)، مطابقت دارد. حمزه چافی و همکاران (۱۹۹۹) علت تجمع بالای آلاینده های مختلف در دو کفه ای ها را به فیلتر فیدر بودن آن ها نسبت دادند (Hamza-Chaffai et al., 1992). بنابراین دو کفه ای ها قادرند سطح نسبی بالایی از فلزات سنگین را بدون بروز هیچ گونه اثر مخربی در بافت های بدن خود تجمع دهند.

نتایج آزمون تی تک نمونه ای بیانگر آن بود که میانگین غلظت این عناصر در رسوب کم تر از رهنمود WHO است، ولی استقرار صنایع مختلف پتروشیمی در منطقه مورد مطالعه، نشت نفت از سکوهای نفتی مستقر در نواحی پیرامون و تخلیه آب توازن نفتکش ها (Pourang et al., 2005) احتمال آلودگی رسوبات و به تبع آن تجمع آلاینده ها به ویژه فلزات سنگین در بافت های بدن آبزیان ساکن را افزایش می دهد. از این رو نسبت به نظارت و پایش مداوم کیفی محیط زیست دریایی به عنوان منبع مهم تامین نیازهای غذایی انسان توصیه می شود.

منابع

- اجلالی، ک.، موسوی ندوشن، ر.، ماشینیان، ع.، فاطمی، س.م.، ر. مرتضوی، م. ص.، ۱۳۹۴. مقایسه مکانی غلظت سرب در رسوبات و سه گروه از ماکروبتوزها (خرچنگ ها، شکم پایان و دو کفه ای ها) در سواحل بندرعباس، بوم شناسی آبریان، دوره ۵، شماره ۱، صفحات ۶۶-۶۹.
- احسانی، ج. و رومیانی، ل.، ۱۳۹۳. مقایسه میزان تجمع فلزات سنگین (روی، مس، کادمیوم و سرب) در پوست و عضله میگوی سفیدسرتیز (*Metapenaeus affinis*) و میگوی پاشیدغری (*Litopenaeus vannamei*) در شمال خلیج فارس، زیست شناسی دریا، شماره ۲۱، صفحات ۵۸-۵۱.
- باقری، ز.، ریاحی بختیاری، ع. و باقری، ح.، ۱۳۹۲. مطالعه تعیین غلظت و منشایابی فلزات سرب و کادمیوم در رسوبات سطحی سواحل بندرعباس با روش استخراج پی در پی، اقیانوس شناسی، شماره ۱۴، صفحات ۲۷-۳۳.
- پروانه، م.، خیرور، ن.، نیک پور، ی. و نبوی، س.م.ب.، ۱۳۹۰. غلظت فلزات سنگین در ماهی کفشک گرد (*Euryglossa orientalis*) و رسوبات خورموسی در استان خوزستان، مجله علمی شیلات ایران، دوره ۲۰ (شماره ۲)، صفحات ۱۷-۲۶.
- جعفریان مقدم، ا.، ملمانسی، س.، منوری، س.م. و جوزی، س.ع.، ۱۳۹۰. بررسی اثرات محیط زیستی صنایع پتروشیمی منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، علوم محیطی، سال هشتم (شماره ۳)، صفحات ۱۴۵-۱۵۶.
- خدابنده، ص.، ۱۳۸۰. تجمع فلزات سنگین در رسوبات و آبریان دریایی خزر، آب و فاضلاب، دوره ۱۲ (شماره ۳)، صفحات ۱۹-۲۰.
- دهقان مدیسه، س.، سواری، ا.، پرهام، ه.، غفله مرمضی، ج.، پاپهن، ف. و سبزی زاده، س.، ۱۳۸۷. ارزیابی آلاینده های فلز سنگین در رسوبات منطقه خورموسی در شمال غربی خلیج فارس، مجله علوم شیلاتی ایران، دوره ۷ (شماره ۲)، صفحات ۱۳۷-۱۵۶.

- ریانی، م.، جعفرآبادی آشتیانی، ا. و مهرداد شریف، ا. ع.، ۱۳۸۷. اندازه گیری میزان آلودگی ناشی از فلزات سنگین نیکل، سرب و جیوه در رسوبات خلیج فارس / منطقه عملیاتی عسلویه، اکتشاف و تولید، شماره ۵۱، صفحات ۵۳-۵۷.
- سبزی علی زاده، س. و دهقان مدیسه، س.، ۱۳۸۹. تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات منطقه لیفه- بوسیف (سواحل شمال غرب خلیج فارس) بر اساس شاخص تجمع زمینی، مجله علمی شیلات ایران، دوره ۱۹ (شماره ۳)، صفحات ۵۱-۶۰.
- سواری، ا.، سخائی، ن. و کوچنین، پ.، ۱۳۸۱. بررسی اجتماعات ده پایان پلانکتونیک (گروه *Natantia*) در خورموسی (استان خوزستان)، مجله علمی شیلات ایران، دوره ۱۱ (شماره ۴)، صفحات ۴۱-۵۸.
- صفاهیه، ع. و محمدی، م.، ۱۳۸۹. تغییرات فصلی فلزات سنگین (Cu, Pb, Cd) در رسوبات بین جزر و مدی ساحل بحرکان، مجله علوم و فنون دریایی، دوره ۹ (شماره ۳)، صفحات ۳۶-۴۸.
- عظیمی، ع.، داداللهی سهراب، ع.، صفاهیه، ع.، ذوالقرنین، ح.، سواری، ا. و فقیری، ا.، ۱۳۹۱. مطالعه سطوح فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات شمال غرب خلیج فارس - بندر امام خمینی^(۵)، اقیانوس شناسی، شماره ۱۱، صفحات ۳۳-۴۱.
- فاطمی، س.م.ر. و حمیدی، ز.، ۱۳۸۹. بررسی و سنجش فلزات سنگین کادمیوم و سرب در عضله برخی ماهیان خوراکی تالاب هورالعظیم. مجله علمی شیلات آزادشهر، سال چهارم (شماره ۱)، صفحات ۹۵-۱۰۰.
- مرتضوی، ث.، اسماعیلی ساری، ع. و ریاحی بختیاری، ع.، ۱۳۸۱. سنجش میزان روی، سرب، کادمیوم و کروم در صدف خوراکی صخره‌ای (*Saccostrea cucullata*) در سواحل استان هرمزگان، مجله علوم و فنون دریایی ایران، دوره ۲ (شماره ۱)، صفحات ۶۷-۷۶.
- میرزا، ر.، فخری، ع.، فقیری، ا. و عظیمی، ع.، ۱۳۹۲. بررسی نسبت نیکل و وانادیوم ناشی از آلودگی‌های نفتی در رسوبات و صدف صخره‌ای (*Saccostrea cucullata*) در سواحل استان بوشهر، خلیج فارس، اقیانوس شناسی، شماره ۱۴، صفحات ۳۵-۴۳.
- Abdolahpur Monikh, F., Safahieh, A., Savari, A. and Doraghi, A., 2013.** Heavy metal concentration in sediment, benthic, benthopelagic, and pelagic fish species from Musa Estuary (Persian Gulf). *Environmental Monitoring and Assessment*, 185 (1), 215-222.
- Ahmed, K., Mehedi, Y., Haque, R. and Mondol, P., 2011.** Heavy metal concentrations in some macrobenthic fauna of the Sundarbans mangrove forest, south west coast of Bangladesh. *Environmental Monitoring and Assessment*, 177 (1-4), 505-514.
- Alam, M. A., Gomes, A., Sarkar, S. K., Shuvaeva, O. V., Vishnevetskaya, N. S., Gustaytis, M. A., Bhattacharya, B. D. and Godhantaraman, N., 2010.** Trace metal bioaccumulation by soft-bottom polychaetes (Annelida) of Sundarban Mangrove Wetland, India and their potential use as contamination indicator. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85 (5), 492-496.
- Ali, M. H. H. and Fishar, M. R. A., 2005.** Accumulation of trace metals in some benthic invertebrate and fish species relevant to their concentration in water and sediment of lake Qarun, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 31 (1), 289-301.
- Allen, H. E., Fu, G., Boothman, W., Di Toro, D. M. and Mahony, J. D., 1991. **Draft analytical method for determination of acid volatile sulfide in sediment. Determination of acid volatile sulfide and selected simultaneously extractable metals in sediment**, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, p.23.
- Chatain, V., Blanc, D., Borschneck, D. and Delolme, C., 2013.** Determining the experimental leachability of copper, lead, and zinc in a harbor sediment and modeling. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 66-74.
- Davydkova, I. L., Fadeeva, N. P., Kovekovdova, L. T. and Fadeev, V. I., 2005.** Heavy metal contents in tissues of dominant species of the benthos and in bottom sediments of Zolotoi Rog Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*, 31 (3), 176-180.
- De Mora, S., Fowler, S. W., Wyse, E. and 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.
- Farombi, E. O., Adelowo, O. A. and Ajimoko, Y. R., 2007.** Biomarkers of oxidative stress and heavy metal levels as indicators of environmental pollution in African Cat fish (*Clarias gariepinus*) from Nigeria Ogun River. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 4 (2), 158-165.
- Forghani, G., Moore, F., Lee, S. and Qishlaqi, A., 2009.** Geochemistry and speciation of metals in sediments of the Maharlu Saline Lake, Shiraz, SW Iran. *Environmental Earth Sciences*, 59 (1), 173-184.

- Fowler, S. W., Readman, J. W., Oregioni, B., Villeneuve, J. P. and 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.
- Hamza-Chaffai, A., Amiard, J. C. and Cosson, R. P., 1999.** Relationship between metallothioneins and metals in a natural population of the clam *Ruditapes decussatus* from Sfax coast: a non-linear model using Box-Cox transformation. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C, Pharmacology, Toxicology & Endocrinology*, 123 (2), 153-163.
- Hopner, T. and Maraschi, S. M. K., 1999.** Intertidal Treasure Khowr-e mussa- Nuraised. Tidal Flats in Iran. *Wadden Sea Newsletter*, No. 1. 3-6.
- Hosseini, S. M., Sobhanardakani, S., Batebi Navaei, M., Kariminasab, M., Aghilinejad, S. M. and Regenstein, J. M., 2013.** Metal content in caviar of wild Persian sturgeon from the southern Caspian Sea. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 5839-5843.
- Kamaruzzaman, B. Y., Akbar John, B., Maryam, B. Z., Jalal, K. C. A. and Shahbuddin, S., 2012.** Bioaccumulation of heavy metals (Cd, Pb, Cu and Zn) in *Scylla serrata* (Forsskal 1775) collected from Sungai Penor, Pahang, Malaysia. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 35 (1), 183-190.
- Karbassi, A. R., Nabi-Bidhendi, Gh. R. and Bayati, I., 2005.** Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2 (4), 255-260.
- Karbassi, A. R., Bayati, I. and Moattar, F., 2006.** Origin and chemical partitioning of heavy metals in riverbed sediments. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 3 (1), 35-42.
- Kesavan, K., Raja, P., Ravi, V. and Rajagopalan, S., 2010.** Heavy metals "*Telescopium telescopium*" and sediments from tow stations of velar estuary, southeast coast of India. *Thalassas*, 26 (1), 35-41.
- Khademi, N., Riyahi-Bakhtiari, A., Sobhanardakani, S., Rezaie-Atagholipour, M. and Burger, J., 2014.** Developing a Bioindicator in the Northwestern Persian Gulf, Iran: Trace Elements in Bird Eggs and in Coastal Sediments. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, DOI 10.1007/s00244-014-0084-9.
- Li, X., Jia, L., Zhao, Y., Wang, Q. and Cheng, Y., 2009.** Seasonal bioconcentration of heavy metals in *Onchidium struma* (Gastropoda: Pulmonata) from Chongming Island, the Yangtze Estuary, China. *Journal of Environmental Sciences*, 21 (2), 255-262.
- Lim, D. I., Choi, J. W., Shin, H. H., Jeong,do, H. and Jung, H. S., 2013.** Toxicological impact assessment of heavy metal contamination on macrobenthic communities in southern coastal sediments of Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 73 (1), 362-368.
- Loska, K., Wiechula, D. and Korus, I., 2004.** Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment International*, 30 (2), 159-165.
- Maanan, M., 2008.** Heavy metal concentrations in marine molluscs from the Moroccan coastal region. *Environmental Pollution*, 153 (1), 176-183.
- Malik, N., Biswas, A. K., Qureshi, T. A., Borana, K. and Virha, R., 2010.** Bioaccumulation of heavy metals in fish tissues of a freshwater lake of Bhopal. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160 (1-4), 267-276.
- Mojtahid, M., Jorissen, F. and Pearson, T. H., 2008.** Comparison of benthic foraminiferal and macrofaunal responses to organic pollution in the Firth of Clyde (Scotland). *Marine pollution Bulletin*, 56 (1), 42-76.
- Nejatkhah Manavi, P., 2013.** Heavy metals in water, sediment and macrobenthos in the intertidal zone of Hormozgan Province, Iran. *Marine Science*, 3 (2), 39-47.
- Penilla, S., Bordas, F. and Bollinger, J. C., 2005.** Sequential heavy metals extraction from polluted solids: Influence of sulfate overconcentration. *Journal of Colloid and interface Science*, 292 (1), 20-28.
- Pourang, N., Nikouyan, A. and 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 (1-3), 293-316.
- Shariati F., Esmaili Sari A., Mashinchian Moradi A. and Pourkazemi, M., 2012.** Metal bioaccumulation in Persian sturgeon after sublethal exposure. *International Journal of Marine Science and Engineering*, 2 (1), 81-90.

Silva, C. A. R., Rainbow, P. S., Smith, B. D. and Santos, Z. L., 2001. Biomonitoring of trace metal concentration in the Potengi estuary, Natal (Brazil), using the oyster *Crassostrea rhizophorae*, a local food source. *Water Research*, 35 (17), 4072-4078.

Storelli, M. M., Storelli, A., D'Addabbo, R., Marano, C., Bruno, R. and Marcotrigiano, G. O., 2005. Trace elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the eastern Mediterranean Sea: overview and evaluation. *Environmental Pollution*, 135 (1), 163-170.

Szefer, P., Glasby, G. P., Geldon, J., Renner, R. M., Bjorn, E., Snell, J., Frech, W. and Warzocha, J., 2009. Heavy-metal pollution of sediments from the Polish exclusive economic zone, southern Baltic Sea. *Environmental Geology*, 57 (4), 847-862.

Vosyliene, M. Z., Kazlauskienė, N. and Svecevičius, G., 2003. Effect of heavy metal model mixture on biological parameters of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Environmental Science and Pollution Research*, 10 (2), 103-107.

Yap, C. K., Noorhaidah, A., Azlan, A., Nor Azwady, A. A., Ismail, A., Ismail, A. R., Siraj, S. S. and Tan S. G., 2009. *Telescopium telescopium* as potential biomonitors of Cu, Zn and Pb for the tropical intertidal area. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72 (2), 496-506.

Zhou, F., Guo, H. and Hao, Z., 2007. Spatial distribution of heavy metals in Hong Kong's marine sediments and their human impacts: a GIS-based chemometric approach. *Marine Pollution Bulletin*, 54 (9), 1372-1384.

