

## مقایسه غلظت برخی از فلزات سنگین در رسوبات بین جزر و مدی جزیره خارک (خلیج فارس) در دو فصل تابستان و زمستان

دانیال یزدان پناه<sup>۱</sup>، علیرضا صفاهیه<sup>۲\*</sup>، محمد علی سالاری علی‌آبادی<sup>۳</sup>، کمال غانمی<sup>۴</sup>

۱- کارشناسی ارشد زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، پست الکترونیکی: [cjdaneal@gmail.com](mailto:cjdaneal@gmail.com)

۲- استادیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، پست الکترونیکی: [safahieh@hotmail.com](mailto:safahieh@hotmail.com)

۳- دانشیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، پست الکترونیکی: [salari1346@gmail.com](mailto:salari1346@gmail.com)

۴- استادیار گروه شیمی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، پست الکترونیکی: [kamalghanemi@gmail.com](mailto:kamalghanemi@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۱۷

\* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۲۵

### چکیده

این مطالعه به منظور تعیین سطح ناپاکی رسوبات جزیره خارک نسبت به فلزات سنگین روی، مس، نیکل، سرب و کادمیوم صورت گرفت. نمونه برداری در ماه‌های شهریور و اسفند ۱۳۹۲ و از پنج ایستگاه انجام شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال یافتند و پس از خشک شدن و هضم توسط مخلوطی از اسید نیتریک و اسید پرکلریک با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله‌ای GBC مدل Savantaa  $\Sigma$  ساخت کشور استرالیا سنجش شدند. نتایج نشان داد که غلظت فلزات روی، مس، نیکل و سرب در رسوب جزیره خارک در فصل تابستان به ترتیب ( $\pm$ SE میانگین)  $۷۲/۵ \pm ۳/۶$ ،  $۲۸/۸ \pm ۲/۹$ ،  $۳۸/۱ \pm ۱/۷$  و  $۲۸/۸ \pm ۲/۱$  میکروگرم بر گرم و در فصل زمستان نیز به ترتیب  $۶۵/۷ \pm ۴/۳$ ،  $۳۶/۳ \pm ۲/۷$ ،  $۴۷/۱ \pm ۳/۶$  و  $۳۴/۸ \pm ۲/۷$  میکروگرم بر گرم وزن خشک رسوبات بود. درحالی‌که غلظت فلز کادمیوم تشخیص داده نشد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات مس، نیکل و سرب در رسوب جزیره خارک در فصل زمستان بیشتر از فصل تابستان است. همچنین مقایسه میزان فلزات سنگین رسوب در جزیره خارک با استانداردهای کیفیت رسوب مشخص کرد که میزان فلزات سنگین در رسوبات این منطقه در حد قابل قبولی قرار دارد و میزان ناپاکی نسبت به فلزات سنگین بسیار کمتر از حد خطرناک و آلوده کننده است.

کلمات کلیدی: آلودگی، فلزات سنگین، جزیره خارک، خلیج فارس.

### ۱. مقدمه

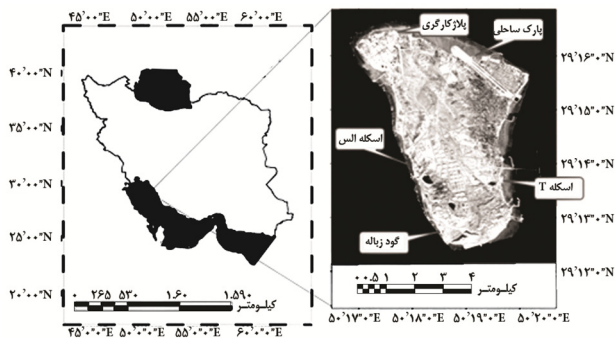
فراوانی گزارش شده است. به همین منظور تحقیقات فراوانی در زمینه مشکلات ناشی از آلاینده‌های مختلف در محیط زیست دریا انجام گرفته است (Hashemi et al., 2015; Vodopivec et al., 2015; Gao et al., 2010). از مهم‌ترین آلاینده‌های دریا که

در سال‌های اخیر به دلیل ورود آلاینده‌های مختلف ناشی از فعالیت‌های انسان به بوم‌سامانه دریا، مشکلات زیست محیطی

معیار مهمی برای ارزیابی وضعیت محیط زیست است؛ در همین راستا تعیین و اندازه‌گیری فلزات سنگین در رسوبات درک قابل توجهی از تغییرات زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی را به نمایش می‌گذارد (Yang et al., 2014). جزیره خارک به عنوان یکی از مهمترین جزایر خلیج فارس، حجم زیادی از صادرات نفت و محصولات پتروشیمی را به خود اختصاص داده است که به دلیل وجود پایانه‌های نفتی، تردد فراوان نفتکش‌ها، صنایع مربوط به نفت و پتروشیمی و همچنین کارخانجات مختلف احتمال بروز آلودگی‌های گوناگون از جمله آلودگی‌های مربوط به فلزات سنگین را در این منطقه افزایش داده است. این مطالعه به منظور مقایسه فصلی و تعیین سطح ناپاکی رسوبات این منطقه نسبت به فلزات سنگین صورت گرفته است.

## ۲. مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از رسوبات سطحی جزیره خارک در دو فصل تابستان (شهریور) و زمستان (اسفند) سال ۱۳۹۲ و در ۵ ایستگاه (اسکله T، گود زباله، اسکله آذرخیز، پلاژکارگری و پارک ساحلی) انجام شد. شکل ۱ موقعیت محل مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت مناطق نمونه‌برداری در شمال خلیج فارس و دریای عمان

فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب شامل اکسیژن محلول، دما و میزان اسیدیته و میزان شوری توسط مولتی‌متر HACH مدل HQ40d اندازه‌گیری و ثبت گردید. در هر یک از ایستگاه‌ها سه نمونه رسوب از ۵ سانتی‌متر سطح رسوبات با استفاده از بیلچه برداشت گردید و در کیسه پلاستیکی نگهداری شدند. سپس نمونه‌ها در یخدان به آزمایشگاه انتقال یافتند (Delman et al., 2006). در آزمایشگاه نمونه‌های سوب به مدت ۴۸ ساعت در

همواره مورد توجه بوده است می‌توان به فلزات سنگین اشاره نمود که به دلیل تجزیه ناپذیر بودن، پایداری زیادی در بوم‌سامانه دریا دارند (Huang et al., 2013). آبریان قادر هستند فلزات سنگین را از محیط اطراف جذب کنند. زمانیکه غلظت فلزات سنگین در بدن این موجودات از حد معینی فراتر رود ممکن است باعث تغییر در روند طبیعی بوم‌سامانه‌های آبی و عملکرد درست بدن آنان شود (Kenish, 1997). از جمله این تغییرات می‌توان به اختلال در مبادله مواد، توقف رشد، بروز تغییرات رفتاری و ژنتیکی در لاروها و کاهش ذخایر آبریان اشاره نمود (Mance, 1990). همچنین در صورت انباشت فلزات سنگین در بدن آبریان ممکن است این آلاینده‌ها در زنجیره غذایی<sup>۱</sup> به سطوح تغذیه‌ای<sup>۲</sup> بالاتر منتقل شوند و سلامتی انسان را از طریق مصرف آبریان آلوده به خطر اندازند (Dixon et al., 1996).

رسوبات در محیط زیست دریایی برای فلزات سنگین به عنوان یک مخزن طبیعی عمل می‌کنند و منبع آلودگی به شمار می‌روند (Rauf et al., 2009). بسیاری از مطالعات مذکور حاکی از آن است که رسوب مناطق ساحلی دریا به دلیل ارتباط نزدیک با اتمسفر و آب دریا بیش از سایر قسمت‌ها تحت تاثیر آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسان در محدوده بوم‌سامانه دریا قرار می‌گیرد (Qiao et al., 2013). تغییر فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب دریا که عمدتاً از تغییر فصول حاصل می‌گردد بر تحرک و میزان دسترسی فلزات سنگین تاثیر بسزایی دارد (Di Toro et al., 2007; 1992). تغییر فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب دریا موجب تسریع و یا کند نمودن فعل و انفعالات فیزیکی و شیمیایی و در نتیجه تبادل فلزات بین آب دریا و سطح رسوبات می‌گردد (Burdige, 1993; Di Toro et al., 1992). از آنجا که در سطح رسوب جانداران بیشتری نسبت به عمق آن زیست می‌کنند فلزات سنگین در این ناحیه بیشتر از سایر قسمت‌ها در دسترس زیستی<sup>۳</sup> موجودات زنده قرار می‌گیرند (Kesavan et al., 2013). آلودگی فلزات سنگین در خلیج فارس عمدتاً ناشی از تخلیه پساب آلوده به این فلزات در مناطق ساحلی است که بیشترین سهم آلودگی مربوط به پساب واحدهای صنعتی، پتروشیمی، تامین برق و آب شیرین‌کن‌ها است (Lattemann et al., 2008).

<sup>1</sup> Food chain

<sup>2</sup> Trophic levels

<sup>3</sup> Bioavailability

سانتی‌گراد) و کمترین ( $17/12 \pm 0/32$ ) درجه سانتی‌گراد) میزان دمای آب به ترتیب در فصل‌های تابستان و زمستان و در ایستگاه اسکله آذرباد ثبت گردید. دامنه تغییرات میزان اکسیژن محلول در ایستگاه‌های مختلف در فصل تابستان  $5/15$  تا  $5/81$  میلی‌گرم در لیتر بود و در فصل زمستان محدوده این تغییرات  $6/13$  تا  $6/52$  میلی‌گرم در لیتر بود. نتایج نشان داد که همانند میزان دمای آب، اکسیژن محلول نیز در دو فصل تابستان و زمستان دارای اختلاف معنی‌داری است ( $t$ -test,  $P < 0/05$ ). اما بر خلاف دمای آب بیشترین اکسیژن محلول در فصل زمستان و کمترین آن در فصل تابستان به دست آمد. دامنه تغییرات میزان شوری نیز بین ایستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری گردید و مشخص شد که در فصل تابستان شوری آب  $37/26$  تا  $39/75$  psu و در فصل زمستان  $42/21$  تا  $44/45$  psu است. همانند دیگر فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده، میزان شوری آب نیز بین ایستگاه‌های مختلف در دو فصل تابستان و زمستان اختلاف معنی‌داری را نشان داد ( $t$ -test,  $P < 0/05$ ). بر همین اساس بیشترین و کمترین میزان شوری به ترتیب در فصل زمستان و تابستان ثبت گردید. میزان اسیدیته آب نیز در هر دو فصل در بین ایستگاه‌ها بدون اختلاف معنی‌دار بود ( $t$ -test,  $P > 0/05$ ). دامنه تغییرات اسیدیته در هر دو فصل بین  $8/19$  -  $8/28$  اندازه‌گیری گردید. نتایج حاصل از سنجش فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب شامل شوری، دما، اکسیژن محلول و اسیدیته در جدول ۱ آمده است.

مقایسه فاکتورهای شوری، دما، اکسیژن محلول و اسیدیته بین ایستگاه‌های مختلف در هر دو زمان نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری را بین ایستگاه‌های مختلف نشان داد. با وجود اختلاف معنی‌دار، دامنه نوسان فاکتورها محدود و ناچیز بود. به نظر می‌رسد این اختلاف بیشتر مربوط به تفاوت در زمان نمونه‌برداری از ایستگاه‌های مختلف و تغییر یافتن ساعات جزر و مدی در هنگام نمونه‌برداری است. مقایسه فاکتورها بین دو فصل، کاهش معنی‌داری را در مورد دما و افزایش معنی‌داری را برای شوری و اکسیژن محلول در زمستان نسبت به تابستان داشته است.

در فصل زمستان غلظت مس رسوب در ایستگاه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری نداشت ( $ANOVA$ ,  $P > 0/05$ ). در حالیکه مقدار این فلز در فصل تابستان بین ایستگاه‌های مختلف متفاوت بود ( $ANOVA$ ,  $P < 0/05$ ). دامنه تغییر فلز مس در رسوبات جزیره خارک در فصل تابستان  $26/47$  تا  $30/42$  و در فصل زمستان  $34/33$  تا  $38/28$  میکرو گرم بر گرم بود. همچنین مقایسه غلظت

آون با دمای  $105$  درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. نمونه‌ها پس از رسیدن به وزن خشک با استفاده از هاون چینی پودر شدند و از الک  $63$  میکرومتر عبور داده شدند. سپس نمونه‌های یک گرمی رسوب توسط  $10$  میلی لیتر مخلوطی از اسیدنیتریک غلیظ ( $65\%$ ) و اسید پرکلریک ( $60\%$ ) به نسبت  $4:1$  به مدت  $1$  ساعت در دمای  $40$  درجه و  $3$  ساعت در دمای  $140$  درجه سانتی‌گراد روی دستگاه هضم<sup>۱</sup> قرار داده شدند تا به طور کامل هضم شوند. سپس با استفاده از آب دو بار تقطیر، به حجم  $40$  میلی‌لیتر رسانیده شدند و از کاغذ صافی واتمن  $42$  میکرومتر عبور داده شدند. در نهایت غلظت فلزات توسط دستگاه جذب اتمی شعله‌ای<sup>۲</sup> سنجش شدند (Yap et al., 2013). به منظور اندازه‌گیری صحیح، سه نمونه از اسیدی که توسط آنها هضم انجام گردید و در واقع فاقد نمونه‌های رسوب بودند، به عنوان نمونه‌های شاهد در نظر گرفته شدند. و در کنار سایر نمونه‌ها هضم و سنجش شدند تا میزان اطلاعات به دست آمده توسط نمونه‌های شاهد تصحیح گردد. همچنین جهت کالیبره کردن دستگاه جذب اتمی از محلول‌های نمکی مربوط به هر فلز، غلظت‌های متفاوتی تهیه گردید و دستگاه توسط محلول‌های نمکی تنظیم شد. به منظور پردازش داده‌ها ابتدا پراکنش آنها توسط آزمون Shapiro-Wilk بررسی شدند و پس از حصول اطمینان از نرمال بودن پراکنندگی، برای مقایسه غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های مختلف از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه<sup>۳</sup> استفاده شد و در صورت وجود اختلاف از پس آزمون Tukey استفاده گردید. همچنین برای مقایسه بین فصول از آزمون  $t$ -test با داده‌های زوج استفاده شد.

### ۳. نتایج و بحث

اندازه‌گیری فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب مشخص نمود که دامنه دمای آب در ایستگاه‌های مختلف در فصل تابستان  $34/11$  تا  $36/75$  درجه سانتی‌گراد است در حالی‌که در فصل زمستان دامنه تغییرات بین  $17/12$  تا  $19/81$  درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. همچنین میزان دمای آب ایستگاه‌های مختلف در دو فصل تابستان و زمستان تفاوت معنی‌داری را نشان داد ( $t$ -test,  $P < 0/05$ ). بیشترین ( $\pm SE$  میانگین)  $36/75 \pm 0/49$  درجه

<sup>1</sup> Hot plate digester

<sup>2</sup> Flame Atomic Absorption Spectrophotometer

<sup>3</sup> One Way ANOVA

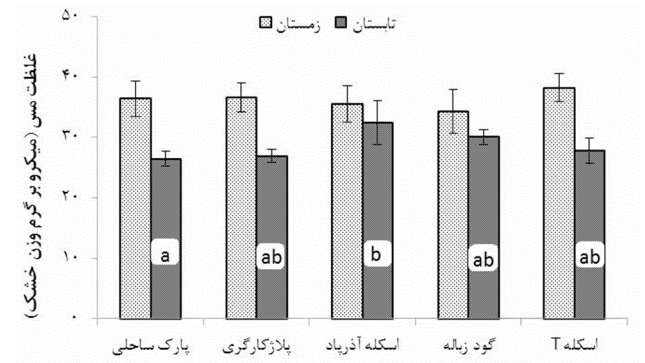
غلظت فلز نیکل در رسوب طی هر دو فصل در بین ایستگاه‌های مختلف متفاوت بود که نشان می‌دهد این فلز در رسوبات جزیره خارک دارای پراکنش یکسانی نبوده و از منابع آلوده کننده نقطه‌ای منشأ می‌گیرد. در فصل تابستان بیشترین غلظت فلز نیکل در ایستگاه اسکله T و کمترین مقدار آن در ایستگاه پارک ساحلی مشاهده شد. در حالی که در فصل زمستان نیز اسکله T به همراه اسکله آذریاد بیشترین میزان فلز نیکل را دارا بودند.

در جزیره خارک به منظور تامین برق و آب شیرین در پایانه‌های صادرات نفتی، آب دریا را با استفاده از منابع فراوان سوخت که در منطقه وجود دارد تبخیر می‌کند و آب شیرین مورد نیاز را برای کارکنان و ساکنین جزیره فراهم می‌کند. در ساخت تاسیسات آب شیرین‌کن از آلیاژهای نیکل استفاده می‌شود. آلیاژهای نیکل به طور معمول به عنوان مبادله کننده دمایی در این کارخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Mezher et al., 2011). از عوامل بالا بودن غلظت فلز نیکل در رسوبات ایستگاه‌هایی که در نزدیکی اسکله‌های نفتی قرار دارند، می‌تواند به دلیل پساب خروجی آب شیرین‌کن‌های جزیره خارک که در اسکله T و اسکله آذریاد قرار دارند باشد که مقدار بالایی از فلزات سنگین از جمله نیکل را به دریا وارد می‌کنند. Lattemann و همکاران (۲۰۰۸) به ارزیابی اثرات زیست محیطی آب شیرین‌کن‌ها از جمله آب شیرین‌کن‌های خلیج فارس پرداختند و اعلام کردند که فعالیت مربوط به کارخانجات آب شیرین‌کن و پساب خروجی آنها از منابع مهم انتشار فلزات سنگین از جمله فلز نیکل به بوم-سامانه دریا است (Lattemann et al., 2008).

دامنه تغییر فلز سرب در فصل تابستان ۲۷/۲۷ تا ۳۱/۲۱ و در فصل زمستان ۳۲/۶۶ تا ۳۵/۹۶ میکروگرم بر گرم بود. برخلاف فلز نیکل، غلظت فلز سرب در ایستگاه‌های مورد مطالعه طی هر دو فصل اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (ANOVA,  $P > 0.05$ ). در حالیکه همانند فلز نیکل غلظت فلز سرب در ایستگاه‌های مختلف افزایش معنی‌داری را در فصل زمستان نسبت به فصل تابستان نشان داد (t-test,  $P < 0.05$ ). به-طوری که در تمامی ایستگاه‌ها غلظت فلز سرب در فصل زمستان بیشتر از تابستان بود (شکل ۴).

غلظت فلز روی در هر دو فصل مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری نداشت (ANOVA,  $P > 0.05$ ). در حالی که غلظت فلز روی در فصل زمستان نسبت به تابستان

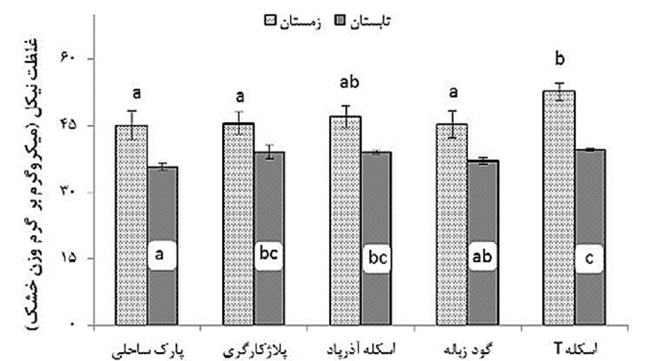
فلز مس در ایستگاه‌های مختلف افزایش معنی‌داری را در فصل زمستان نسبت به فصل تابستان نشان داد (t-test,  $P < 0.05$ ) (شکل ۲).



شکل ۲: غلظت فلز مس در رسوب ایستگاه‌های مختلف جزیره خارک طی دو فصل تابستان و زمستان (آنتنک‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار هستند. ستون‌ها با حروف غیر مشابه، دارای اختلاف معنی‌دار هستند ( $P < 0.05$ )).

غلظت نیکل بین ایستگاه‌های مختلف در هر دو فصل دارای اختلاف معنی‌داری بود به طوری که ایستگاه پارک ساحلی در تابستان دارای کمترین و ایستگاه اسکله T در فصل زمستان دارای بیشترین میزان نیکل در رسوبات بودند (ANOVA,  $P < 0.05$ ).

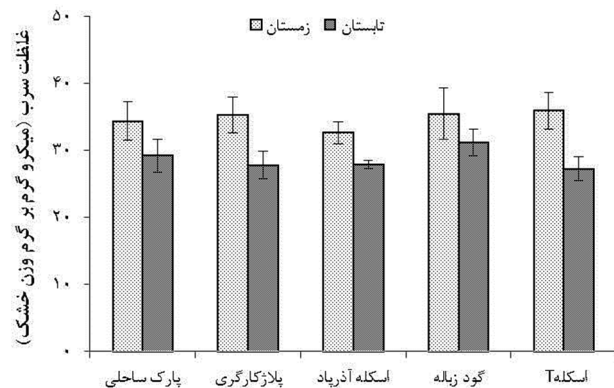
دامنه تغییر فلز نیکل در فصل تابستان ۳۵/۷۴ تا ۳۹/۶۱ و در فصل زمستان ۴۵/۱۶ تا ۵۲/۶۸ میکروگرم بر گرم بود. علاوه بر این نتایج، مشخص شد که فلز نیکل همانند فلز مس در ایستگاه‌های مختلف افزایش معنی‌داری را در فصل تابستان نسبت به فصل زمستان داشته است (t-test,  $P < 0.05$ ). به طوری که در تمام ایستگاه‌ها غلظت فلز نیکل در فصل زمستان بیشتر از مقادیر آن در تابستان ثبت شد (شکل ۳).



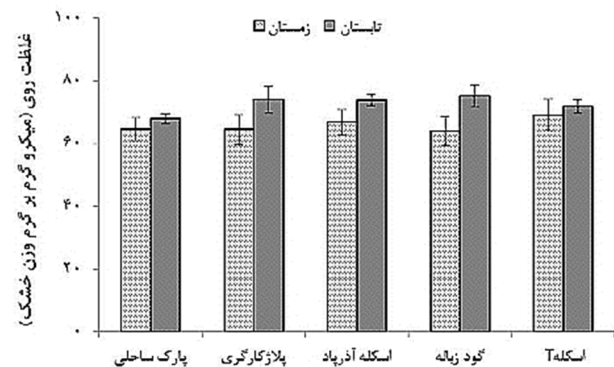
شکل ۳: غلظت فلز نیکل در رسوب ایستگاه‌های مختلف جزیره خارک طی دو فصل تابستان و زمستان (آنتنک‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار هستند. ستون‌ها با حروف غیر مشابه، دارای اختلاف معنی‌دار هستند ( $P < 0.05$ )).

تبادلی و جدا شدن از سطح رسوب و وارد شدن به فاز محلول است. در جدول ۲ مقدار فلزات سنگین رسوب جزیره خارک با سایر مطالعات صورت گرفته در خلیج فارس مقایسه شده است. پایین بودن میزان فلز کادمیوم در رسوب جزیره خارک که در این مطالعه تشخیص داده نشد، را می‌توان با استفاده از مقایسه این موضوع با نتایج بدست آمده از دیگر مطالعات انجام شده در خلیج فارس به سادگی متوجه شد. مقایسه نتایج به دست آمده، این مسئله را به وضوح نشان می‌دهد که همواره رسوبات خلیج فارس مقادیر اندکی از فلز کادمیوم را دارا هستند. علاوه بر پایین بودن میزان طبیعی کادمیوم در پوسته، ویژگی‌های رفتاری این فلز و تحرک بالای آن همواره موجب کم بودن غلظت آن در رسوبات می‌گردد. براساس مقایسه انجام شده غلظت فلز مس در رسوب جزیره خارک از غلظت فلز مس در رسوبات بوشهر، خوزستان، هرمزگان، امارات، قطر و عربستان بیشتر بود و مقدار اندکی نیز بیشتر از میانگین رسوبات جهانی و پس زمینه آن در خلیج فارس بود. همچنین این مقدار در دامنه غلظت مطالعات انجام شده در رسوبات کویت قرار داشت و از میزان غلظت فلز مس در رسوب بحرین کمتر بود. در حالیکه در این مطالعه میزان فلز سرب موجود در رسوب به عنوان کمترین میزان فلز مورد مطالعه ثبت گردید ولی این مقدار از میانگین رسوبات جهانی بیشتر بود که البته با توجه به پس زمینه فلز سرب در خلیج فارس این مقدار کاملاً طبیعی است. همچنین مقدار آن از غلظت فلز سرب در رسوبات بوشهر (Salahshur et al., 2012)، خوزستان، هرمزگان، امارات، قطر، عربستان بیشتر بود و از غلظت فلز سرب در رسوبات بوشهر (مودنی، ۱۳۹۲) و بحرین کمتر بود. برخلاف فلز سرب، غلظت فلز روی که در رسوب جزیره خارک دارای بیشترین میزان غلظت در بین فلزات مورد مطالعه بود از میانگین جهانی این فلز کمتر بود. در همین حال مقادیر آن از فلزات سنگین رسوبات بوشهر، بحرین و عربستان بیشتر بود. همانند فلز روی غلظت فلز نیکل در رسوب جزیره خارک پایین‌تر از غلظت آن در میانگین رسوبات جهانی و پس زمینه فلزات در خلیج فارس بود در حالیکه غلظت آن از رسوبات بوشهر، هرمزگان، کویت، امارات، قطر و بحرین بیشتر بود. همچنین غلظت این فلز از رسوبات خوزستان و عربستان کمتر بود. غلظت فلز کادمیوم نیز که در این مطالعه مقدار آن بسیار ناچیز بود و توسط دستگاه تشخیص داده نشد در مقایسه با دیگر مطالعات انجام شده تفاوت محسوسی را نشان نداد.

کاهش معنی‌داری یافته بود ( $t\text{-test}, P < 0/05$ ). بر همین اساس در کلیه ایستگاه‌ها غلظت فلز روی در زمستان کمتر از تابستان بود (شکل ۵). دامنه تغییر فلز روی رسوب در فصل تابستان ۶۷/۸۵ تا ۷۴/۰۲ و در فصل زمستان ۶۳/۹۳ تا ۶۹/۰۸ میکروگرم بر گرم وزن خشک رسوبات بود.



شکل ۴: غلظت فلز سرب در رسوب ایستگاه‌های مختلف جزیره خارک طی دو فصل تابستان و زمستان (آنتنک‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار هستند).



شکل ۵: غلظت فلز روی در رسوب ایستگاه‌های مختلف جزیره خارک طی دو فصل تابستان و زمستان (آنتنک‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار هستند).

غلظت فلز روی در هر دو فصل در بین ایستگاه‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری را نشان نداد که نشان‌دهنده پراکنش یکسان غلظت این فلز در رسوبات جزیره خارک است و از منابع نقطه‌ای منشأ نمی‌گیرند. غلظت فلز روی در توالی فلزات اندازه‌گیری شده، از سایر فلزات بیشتر است اما با این حال این مقدار طبیعی به نظر می‌رسد. غلظت فلز کادمیوم در رسوب جزیره خارک در هر دو فصل سرد و گرم بسیار پایین و کمتر از حد تشخیص دستگاه بود. به طور کلی ناچیز بودن غلظت فلز کادمیوم در رسوبات به علت قابلیت بالای این فلز در آزادسازی مجدد از فاز

جدول ۱: مقادیر شوری، دما و اکسیژن محلول در ایستگاه‌های مورد مطالعه (SE± میانگین) (مقادیر با حروف غیر مشابه، دارای تفاوت معنی‌دار هستند ( $P < 0.05$ )).

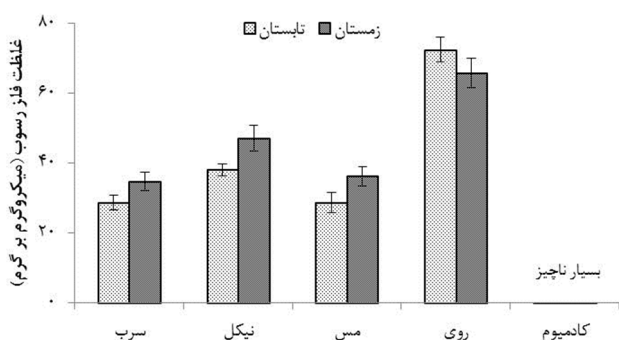
ایستگاه	شوری (psu)		دما (°C)		اکسیژن محلول (mg/l)		اسیدیته
	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	
جزیره خارک	۳۷/۲±۰/۸ <sup>a</sup>	۳۹/۵±۰/۲ <sup>b</sup>	۳۴/۱±۰/۳ <sup>b</sup>	۱۹/۸±۰/۳ <sup>a</sup>	۵/۱±۰/۰۳ <sup>a</sup>	۶/۵±۰/۰۵ <sup>a</sup>	زمستان
اسکله T	۳۹/۵±۰/۲ <sup>b</sup>	۳۹/۳±۰/۸ <sup>b</sup>	۳۶/۵±۰/۵ <sup>a</sup>	۱۷/۳±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۳±۰/۰۴ <sup>a</sup>	۶/۴±۰/۰۵ <sup>a</sup>	تابستان
اسکله آذر یاد	۳۹/۳±۰/۲ <sup>b</sup>	۳۹/۷±۰/۲ <sup>b</sup>	۳۶/۷±۰/۴ <sup>a</sup>	۱۷/۱±۰/۳ <sup>b</sup>	۵/۸±۰/۰۳ <sup>b</sup>	۶/۵±۰/۰۴ <sup>a</sup>	تابستان
پلاژکارگری	۳۹/۷±۰/۲ <sup>b</sup>	۳۹/۷±۰/۲ <sup>b</sup>	۳۵/۳±۰/۵ <sup>ab</sup>	۱۷/۵±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۱±۰/۰۴ <sup>a</sup>	۶/۱±۰/۰۴ <sup>b</sup>	تابستان
پارک ساحلی	۳۹/۴±۰/۱ <sup>b</sup>	۳۹/۴±۰/۱ <sup>b</sup>	۳۵/۵±۰/۵ <sup>ab</sup>	۱۹/۷±۰/۱ <sup>a</sup>	۵/۲±۰/۰۳ <sup>a</sup>	۶/۴±۰/۰۵ <sup>a</sup>	تابستان

جدول ۲: مقایسه فلزات سنگین (روی، مس، نیکل، سرب و کادمیوم) رسوب جزیره خارک با سایر مطالعات صورت گرفته در خلیج فارس

منبع	Cd	Zn	Cu	Ni	Pb	منطقه
مودنی و همکاران، ۱۳۹۲	۰/۰۷-۰/۴	-	۵/۲	۴۰/۱	۵۲/۲	بوشهر) خلیج فارس
Salahshur et al., 2012	۲/۳۶	۲۶/۲	-	-	۲۱/۱	بوشهر) خلیج فارس
عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱	۰/۱۸	-	۱۵/۳-۱۹/۸	-	۳/۲-۸/۲	خوزستان) خلیج فارس
صفاهیه و همکاران، ۱۳۹۰	-	-	۱۲/۷-۲۴	۵۹/۳-۷۹	۷/۴-۱۸/۷	خوزستان) خلیج فارس
Dadolahi and Nazarizadeh, 2013	۵/۷	-	۵/۶	۳۳/۹	۲۱/۳	هرمزگان) خلیج فارس
Beg et al., 2001	-	۳-۶۸/۳	-	۲-۷۸/۱	۰/۴-۳۹	کویت) خلیج فارس
de Mora et al., 2004	۰/۰۲-۰/۱۱	-	۱/۹۹	۲	۰/۷	امارات) خلیج فارس
de Mora et al., 2004	۰/۰۳-۰/۰۹	-	۸/۰۲	۲۰/۸	۳/۱۶	قطر) خلیج فارس
de Mora et al., 2004	۰/۰۴-۰/۱۸	۵۲/۲	۴۸/۳	۲۳/۲	۹۹	بحرین) خلیج فارس
de Mora et al., 2004	۰/۰۱	۴/۹۲	۱/۶	۵۰/۹	۱/۸۲	عربستان) خلیج فارس
Karbassi and Bayati, 2005	۰/۴۲	۹۵	۳۳	۵۲	۱۹	میانگین رسوبات جهانی
Al-Abdali et al., 1996	۱/۲-۲	-	۱۵-۳۰	۷۰-۸۰	۱۵-۳۰	پس زمینه فلزات سنگین در خلیج فارس
مطالعه حاضر	ND	۶۹/۱	۳۵/۵	۴۲/۶	۳۱/۷	جزیره خارک

ND = Not Detect

افزایش اکسیژن محلول در آب دریا می‌تواند با تسریع کردن واکنش اکسیداسیون فلزهای آهن و منگنز باعث افزایش فلزات سنگین در رسوب شود. پس از اتصال یون‌های فلزی با این اکسیدها این ترکیبات در آب دریا رسوب می‌کنند و ته نشین می‌گردند. کاهش دمای آب، افزایش میزان اکسیژن محلول در آب، میزان شوری و اسیدیته در آب دریا با تسریع نمودن واکنش‌های اکسیداسیون آهن و منگنز و رسوب دادن یون‌های فلزی آب می‌تواند مقدار فلزات سنگین در رسوب را افزایش دهند (Burdige, 1993; Di Toro et al., 1992). شکل ۶ مقایسه روند تغییر چهار فلز مورد مطالعه را طی دو فصل تابستان و زمستان نشان می‌دهد.



شکل ۶: مقایسه تغییرات فلزات سنگین رسوب در دو فصل تابستان و زمستان (آنتنک‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار هستند).

توالی غلظت فلزات سنگین در رسوبات جزیره خارک در دو فصل تابستان و زمستان به صورت  $Zn > Ni > Cu > Pb > Cd$  به دست آمد. این روند نشان می‌دهد که غلظت فلز روی از غلظت سایر فلزات بیشتر است. در سایر مطالعات انجام شده در نقاط مختلف مشابه این روند از توالی غلظت فلزات در رسوب نیز مشاهده گردید (Bazzi, 2014; Raeisi sarasiab et al., 2014; Dadolahi and Nazarizadeh, 2013). میزان فلزات سنگین در رسوبات جزیره خارک در فصل زمستان افزایش معنی‌داری را برای فلزات مس، نیکل و سرب نسبت به فصل تابستان نشان می‌دهد. در همین حال بیشترین میزان شوری و اکسیژن محلول و حداقل دما در فصل زمستان اندازه‌گیری شده است. افزایش میزان فلزات سنگین در رسوبات در فصل زمستان می‌تواند به دلیل تمایل بالای یون‌های فلزی برای اتصال به یون‌های اکسید منگنز و آهن باشد. این واکنش‌ها در نتیجه مساعد بودن فاکتورهای محیطی برای انجام واکنش تسریع می‌شوند. از فاکتورهایی که می‌تواند شرایط را برای انجام این گونه واکنش‌ها مطلوب نماید، می‌توان به افزایش اکسیژن محلول در آب و کاهش دمای آب اشاره نمود (Simpson et al., 2007).

Yu و همکاران (۲۰۰۰) به بررسی حرکت فلزات سنگین در آب دریا و رسوبات مناطق گرمسیری پرداختند و عنوان داشتند که

می‌رسد و نزدیک به سطح ERM بود. غلظت فلز نیکل از سطوح LEL و ERL بالاتر بود و تنها از سطح SEL کمتر بود. غلظت فلز سرب نیز از سطح LEL بیشتر بود در حالی که غلظت آن در رسوب از سایر استانداردها کمتر بود. فلز روی نیز که دارای بالاترین غلظت در رسوب جزیره خارک بود، میزان آن در بوم-سامانه، طبیعی و کمتر از تمام سطوح استانداردهای مورد بررسی بود و در مقابل، غلظت فلز کادمیوم که در منطقه خارک بسیار جزئی بود از تمام سطوح ارایه شده کمتر بود.

#### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که توالی غلظت فلزات سنگین در رسوبات جزیره خارک در دو فصل تابستان و زمستان به صورت  $Cd > Pb > Cu > Ni > Zn$  است. براساس مقایسه انجام شده، مشاهده شد که این روند از توالی، مشابه اکثر مطالعات صورت گرفته در خلیج فارس در این زمینه است. بطور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که میزان فلزات سنگین روی، مس، نیکل، سرب و کادمیوم در رسوبات جزیره خارک در حد قابل قبولی قرار دارد و میزان ناپاکی این رسوبات نسبت به فلزات سنگین بسیار کمتر از حد خطرناک و آلوده کننده است ولی با توجه به نزدیک بودن میزان فلز نیکل به حد آستانه در استانداردهای رسوب، احتیاج به پایش مداوم در این منطقه یک امر ضروری است.

#### ۵. سپاسگزاری

بدین وسیله نگارندگان از مسوولین اداره محیط زیست جزیره خارک به دلیل همکاری صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

#### منابع

صفاهیه، ع.؛ فرهاد، م.؛ نبوی، س.؛ م.؛ ب.؛ غانمی، ک.؛ موحدی نیا، ع.؛ داراب پور، م.، ۱۳۹۰. تجمع فلزات سنگین در رسوب و دوکفه‌ای *Crassostrea gigas* در بندر امام خمینی (ره). نشریه اقیانوس-شناسی. سال دوم، شماره ۸، صفحات ۵۹-۴۹.

عظیمی، ع.؛ داداللهی سهراب، ع.؛ صفاهیه، ع.؛ ذوالقرنین، ح.؛ سواری، الف.؛ فقیری، الف.، ۱۳۹۱. مطالعه سطوح فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات شمال غرب خلیج فارس- بندر

در جدول ۳ غلظت فلزات روی، مس، نیکل، سرب و کادمیوم در رسوب جزیره خارک با استانداردهای مختلف رسوب در جهان مقایسه شده است. هدف از وضع کردن کیفیت استاندارد رسوب، تعیین سطح سلامت رسوب از نظر میزان غلظت فلزات، مواد غذایی و ترکیبات آلی است. به طوری که باعث بهبود بخشیدن به آگاهی از میزان سطح آلاینده‌گی و محافظت از محیط های آبی شود. از معتبرترین و متداولترین استانداردهای کیفیت رسوب می‌توان به گزارش‌های کشورهای آمریکا و استاندارد کیفیت رسوب کانادا اشاره نمود. استاندارد کیفیت آمریکا (NOAA) میزان آلودگی را در دو سطح به صورت ERL و ERM بیان می‌کند. سطحی از آلودگی که در آن کمتر از ۱۰ درصد اجتماعات زیستی در معرض خطر قرار دارند را با استفاده از استاندارد محدوده اثرات کم (ERL) و سطحی از آلودگی را که در آن بالای ۵۰ درصد از اجتماعات زیستی در معرض خطر قرار دارند را با استفاده از محدوده اثرات متوسط (ERM) مشخص می‌کند. استاندارد کیفیت رسوب کانادا نیز با استفاده از دو سطح LEL و SEL کمترین و بیشترین سطح آلودگی را بیان می‌کند. LEL سطحی از آلودگی است که اکثر جانوران کفزی می‌توانند آن را تحمل کنند. در واقع در این سطح، اثر خاصی در جوامع زیستی دیده نمی‌شود. سطح دیگر استاندارد کیفیت رسوب کانادا سطح SEL است که حدی از آلودگی شدید می‌باشد که سلامت موجودات کفزی را به خطر می‌اندازد.

جدول ۳: مقایسه مقادیر فلزات سنگین رسوب جزیره خارک با استانداردهای کیفیت رسوب

فلز	کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)		کیفیت رسوب کانادا (ISQG)		رسوب جزیره خارک
	ERL	ERM	LEL	SEL	
Cu	۲۴	۲۷۰	۱۶	۱۱۰	۳۵/۵
Ni	۲۰/۸	۵۱/۶	۳۱	۲۵۰	۴۲/۶
Pb	۴۶/۷	۲۱۸	۱۶	۷۵	۳۱۷/۷
Zn	۱۵۰	۴۱۰	۱۲۰	۸۲۰	۶۹/۱
Cd	۱/۲	۹/۶	۶	۱۰۰	ND

NOAA = National Oceanic and Atmospheric Administration  
 ISQG = Canadian Interim Sediment Quality Guidelines  
 ERL = Effects Range Low (Buchman, 2008)  
 ERM = Effects Range Medium (Buchman, 2008)  
 LEL = Lowest Effects Level (Buchman, 2008)  
 SEL = Severe Effects Level (Buchman, 2008)  
 ND = Not Detect

مقدار فلز مس دو برابر سطح استاندارد LEL در کیفیت رسوب کانادا بود و مقداری اندکی بیشتر از سطح ERL در کیفیت رسوب آمریکا بود و در عین حال از سطوح ERM و SEL کمتر بود. غلظت فلز نیکل در رسوبات جزیره خارک نسبتاً بالا به نظر

- de Mora, S.; Fowler, S.W.; Wyse, E.; Azemard, S., 2004. Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Persian Gulf and Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin*, 49: 410-424.
- Di Toro, D.M.; Mahony, J.D.; Hansen, D.J.; Scott, K.J.; Carlson, A.R.; Ankley, G.T., 1992. Acid volatile sulfide predicts the acute toxicity of cadmium and nickel in sediments. *Environmental Science and Technology*, 26: 96-101.
- Dixon, H.A.; Gill, C.; Gubala, B.; Lasorsa, E.C.; Recelius, E.; Cartis, A., 1996. Heavy metal accumulation in sediment and freshwater fish in u.s. arctic lakes. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(4): 733.
- Gao, X.L.; Chen, C.A.; Wang, G.; Xue, Q.Z., 2010. Environmental status of Daya bay surface sediments inferred from a sequential extraction technique. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86: 369-378.
- Hashemi, E.; Safahieh, A.; Salari Ali Abadi, M.A.; Ghanemi, K., 2015. Accumulation of mercury (*Larus cachinnans*) in Bandar Mahshar and Shadegan. *Journal of Environmental Studies*, 41(1): 11-13.
- Huang, L.L.; Pu, X.M.; Pan, J.F.; Wang, B., 2013. Heavy metal pollution status in surface sediments of swan lake lagoon and Rongcheng bay in the northern yellow sea. *Chemosphere*, 93: 1957-1964.
- Karbassi, A.; Bayati, G.R.N.B.I., 2005. Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, the Persian Gulf. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2: 255-260.
- Kenish, M.J., 1997. Practical handbook of estuarine and marine pollution. *Marine ecology progress series*, 524: 8493-8424.
- Kesavan, K.; Murugan, A.; Venkatesan, V.; Kumar, V., 2013. Heavy metal accumulation in molluscs and sediment from uppanar estuary, southeast coast of india. *International Journal of Marine Sciences*, 29: 15-18.
- امام خمینی(ره). نشریه اقیانوس‌شناسی. سال سوم، شماره ۱۱، صفحات ۴۱-۳۳.
- مودنی، م؛ حایری پور، س؛ محمدی، م؛ فولادی، ح، ۱۳۹۲. بررسی غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، مس، سرب و نیکل) در رسوبات سطحی پارک ملی دریایی نایبند شمال خلیج فارس. فصلنامه علمی و پژوهشی اکوبیولوژی تالاب. سال پنجم، شماره ۱۵، صفحات ۳۲-۲۳.
- Al-Abdali, F.; Massoud, M.S; Al-Ghadban, A.N., 1996. Bottom sediments of the Persian Gulf Trace metal content as indicators of pollution and implications for the effect and fate of the Kuwait oil silk, *Environmental Pollution*, 93: 285-301.
- Bazzi, A.O., 2014. Heavy metals in seawater, sediment and marine organisms in the Gulf of Chabahar, Oman sea. *Journal of Oceanography and Marine Science*, 5(3): 20-29.
- Beg, M.; Al-Muzaini, S.; Saeed, T.; Jacob, P.; Beg, K.; 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.
- Buchman, M.F., 2008. NOAA screening quick reference tables, NOAA OR and R report 08-1, seattle WA, office of response and restoration division national oceanic and atmospheric administration, 34P.
- Burdige, D.J., 1993. The biogeochemistry of manganese and iron reduction in marine sediments. *Earth-Science Reviews*, 35: 249-284.
- Dadolahi, A.; Nazarizadeh, M., 2013. Heavy metals contamination in sediments from the North of the Strait of Hormuz. *Journal of the Persian Gulf*, 4: 39-46.
- Delman, O.; Demirak, A.; Balci, A., 2006. Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the southeastern Aegean sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 26: 157-162.



- the intertidal zones of Bushehr–Persian Gulf, Iran. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88: 951-955.
- Simpson, S.L.; Batlry, G.E., 2007. Predicting metals toxicity in sediments: a critique of current approaches. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3(2): 18-31
- Vodopivec, C.; Curtosi, A.; Villaamil, E.; Smichowski, P.; Pelletier, E.; Mac Cormack, W.P., 2015. Heavy metals in sediments and soft tissues of the Antarctic clam *Laternula elliptica*: More evidence as a possible biomonitor of coastal marine pollution at high latitudes?. *Science of the Total Environment*, 502: 375-384.
- Yang, J.; Cao, L.; Wang, J.; Liu, C.; Huang, C.; Cai, W.; Fang, H.; Peng, X., 2014. Speciation of metals and assessment of contamination in surface sediments from Daya Bay, South China Sea. *Sustainability*, 6(1): 9096-9113.
- Yap, C.; Cheng, W.; Zakaria, M.; Zaharin, A.; Tan, S., 2013. Cd and zn in *Nerita lineata* collected from selected areas of the south west coast of peninsular malaysia. *Journal of Sustainability Science and Management*, 8: 207-211.
- Yu, K.T.; Yen, Y.; Leung, F.; Leung, P., 2000. Behavior of trace metals in the sediment pore water of intertidal mudflats of a tropical wetland. *Environment Toxicological Chemistry*, 19: 535-542.
- 21.
- Lattemann, S.; Hopner, T., 2008. Environmental impact and impact assessment of seawater desalination .*European Desalination Society and Center for Research and Technology Hellas*, 220(3): 1-15.
- Mance, G., 1990. *Pollution threat of heavy metals in aquatic environments: Elsevier Applied Science, New York, 372PP.*
- Mezher, T.; Fath, H.; Abbas, Z.; Khaled, A., 2011. Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies. *Desalination*, 266: 263-273.
- Qiao, Y.M.; Yang, Y.; Gu, J.G.; Zhao, J.G., 2013. Distribution and geochemical speciation of heavy metals in sediments from coastal area suffered rapid urbanization, a case study of Shantou bay, china. *Marine Pollution Bulletin*, 68: 140-146.
- Raeisi sarasiab, A.; Mirsalari, Z.; Hosseini, M., 2014. Distribution and seasonal variation of heavy metal in surface sediments from Arvand River. *The Persian Gulf, Marine Science Research and Development*, 4(3): 1-6.
- Rauf, A.; Javed, M.; Ubaidullah, M., 2009. Heavy metal levels in three major carps (*Catla catla*, *Labeo rohita* and *Cirrhina mrigala*) from the river ravi. pakistan. *Pakistan Veterinary Journal*, 29(1): 24-26.
- Salahshur, S.; Bakhtiari, A .R.; Kochanian, P., 2012. Use of *Solen brevis* as a biomonitor for Cd, Pb and Zn on