

استفاده از جلبک *Padina pavonica* به عنوان پایشگر زیستی فلزات سنگین در رسوبات منطقه بین جزر و مدی سواحل بوشهر، خلیج فارس

زینب عیسی‌نژاد^۱، فائده امینی^{۲*}، نسرین سخائی^۳، کمال غانمی^۴، احمد شادی^۵

۱- کارشناسی ارشد، گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خوزستان، پست الکترونیکی: Z.eisanezhad@gmail.com

۲- استادیار، گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خوزستان، پست الکترونیکی: Faedeh_amini@yahoo.com

۳- دانشیار، گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خوزستان، پست الکترونیکی: N.sakhaee@yahoo.com

۴- دانشیار، گروه شیمی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خوزستان، پست الکترونیکی: kamal.ghanemi@kmsu.ac.ir

استادیار، گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، پست الکترونیکی: Ahmadshadi82@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱/۱۶

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۲۶

چکیده

این پژوهش با هدف استفاده از *Padina pavonica* به عنوان پایشگر زیستی فلزات سنگین در سواحل بوشهر انجام گرفت. بدین منظور چهار ایستگاه هلیله، لیان، رافائل (کشتی سوخته) و نفتکش به عنوان مناطق نمونه‌برداری انتخاب شدند. نمونه‌برداری از رسوب و جلبک برای سنجش غلظت فلزات سنگین نیکل، سرب، مس، جیوه و کادمیوم در دو فصل زمستان و تابستان سال ۱۳۹۵ انجام شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، میزان جذب فلزات سنگین با کمک دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج سنجش میزان جذب فلزات سنگین نشان داد که روند تجمع عناصر مورد مطالعه به صورت $\text{Hg} > \text{Cd} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Ni}$ می‌باشد. بیشترین میزان غلظت فلز مربوط به عنصر نیکل در نمونه‌های جلبک ایستگاه هلیله در فصل زمستان (میانگین \pm انحراف معیار) $12/31 \pm 3/9$ میلی‌گرم بر گرم و رسوب ایستگاه نفتکش در فصل تابستان $11/45 \pm 0/65$ میلی‌گرم بر گرم بوده است. کمترین میانگین غلظت فلزات نیز مربوط به عنصر جیوه در نمونه رسوب ایستگاه نفتکش در فصل زمستان $0/05 \pm 0/36$ میلی‌گرم بر گرم و نمونه جلبک ایستگاه نفتکش در فصل زمستان $0/15 \pm 0/39$ میلی‌گرم بر گرم بوده است. بیشترین مقدار شاخص تجمع بیوتا-رسوب (BSAF^1) نیز متعلق به فلز کادمیوم در ایستگاه رافائل و در فصل زمستان به میزان $6/23$ بود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که این جلبک می‌تواند پایشگر زیستی مناسبی برای فلزات کادمیوم، نیکل، مس جیوه در منطقه مورد مطالعه باشد.

کلمات کلیدی: *Padina pavonica*، بوشهر، فلزات سنگین، رسوب، BSAF

¹ Biosediment Accumulation Factor

۱. مقدمه

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه، چهار ایستگاه هلیله، لیان، رافائل (کشتی سوخته) و نفتکش در امتداد ساحل جزرومدی منطقه‌ی بوشهر، بر اساس میزان فعالیت‌های انسانی در منطقه، پساب‌های ورودی و همچنین وجود گونه‌های جلبک، انتخاب (شکل ۱) و موقعیت ایستگاه‌های تعیین شده توسط دستگاه GPS ثبت گردید (جدول ۱).

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

کد	استان	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	موارد قابل توجه در ایستگاه‌ها
۱	بوشهر	هلیله	۵۰°۵۱'۰۲/۰"	۲۸°۵۱'۴۷/۵"	فاصله‌ی نسبتاً دور از منطقه مسکونی شهری
۲	بوشهر	لیان	۵۰°۵۰'۰۳/۴"	۲۸°۵۳'۱۱/۳"	فعالیت‌های کارگاه‌های کشتی‌سازی
۳	بوشهر	رافائل	۵۰°۴۸'۴۵/۵"	۲۸°۵۴'۵۵/۶"	منطقه مسکونی پرجمعیت
۴	بوشهر	نفتکش	۵۰°۴۹'۳۵/۶"	۲۸°۵۹'۰۶/۰"	منطقه مسکونی نسبتاً کم جمعیت

۲-۲ نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در دو فصل تابستان (نیمه مرداد) و زمستان (نیمه بهمن) سال ۱۳۹۵ و در زمان جزر کامل صورت گرفت. برای مشخص شدن زمان حداکثر جزر در ایستگاه‌ها، از وبگاه ایران هیدروگرافی (Iranhydrography.org) که وضعیت جزر و مدی سواحل ایران را نشان می‌دهد، استفاده شد. با توجه به وجود دو فصل گرم و سرد در منطقه دو ماه میانی انتخاب گردید. از میان جلبک‌های مشاهده شده، نمونه‌های چسبیده به بستر با اندازه‌های یکسان و ظاهری سالم از ناحیه جزرومدی هر ایستگاه به صورت تصادفی سه بار تکرار برداشت و با دست جمع‌آوری شد. برای شناسایی گونه‌ها و ویژگی‌های ریخت‌شناسی آنها نظیر رنگ، اندازه و شکل پهنک و ... یادداشت گردید و سپس شناسایی گونه‌های جمع‌آوری شده، با استفاده از کلیدهای شناسایی معتبر انجام شد (Ni-Ni-Win et al., 2013b; Hanyuda, et al., 2010; Amini et al., 2013; پس از شستشو با آب دریا و به منظور جلوگیری از هر گونه آلودگی در ظروف پلی‌اتیلنی ذخیره شده و به آزمایشگاه بیولوژی

فلزات سنگین از مهم‌ترین عوامل آلودگی در خاک و آب هستند و افزایش آن‌ها خطر مهمی برای محیط پیرامون و انسان ایجاد می‌نماید. این آلاینده‌ها قابلیت تخریب زیست‌شیمیایی ندارند و فقط حالت شیمیایی آن‌ها در طبیعت عوض می‌شود. این عدم تخریب‌پذیری سبب تجمع آن‌ها در چرخه‌ی غذایی می‌شود (Mane & Bhosle, 2012).

یکی از مهم‌ترین روش‌های بررسی فلزات سنگین، استفاده از شاخص‌های زیستی است که همواره در محیط‌زیست حضور دارند و به صورت مستمر در معرض آلودگی‌های زیست‌محیطی و سایر پارامترهای محیطی قرار می‌گیرند، بنابراین برای بیان کیفیت محیط‌زیست از نظر آلودگی فلزات سنگین بسیار مناسب به شمار می‌آیند. جلبک‌های ماکروسکوپی به علت داشتن ویژگی‌های منحصر به فردی، همچون فراوانی و گستردگی مناسب، قرار داشتن در قسمت‌های ابتدایی زنجیره‌ی غذایی و همچنین کفزی و ثابت بودن، می‌توانند در ارزیابی کیفی اکوسیستم‌های ساحلی بکار روند (Cardwell et al., 2002). از این رو مطالعات زیادی در رابطه با استفاده از جلبک به عنوان پایشگر زیستی فلزات سنگین در محیط‌های آبی در ایران و سایر نقاط جهان انجام شده است؛ به طور مثال در تحقیقی که در نواحی ساحلی عربستان در منطقه الجبل صورت گرفت، با استفاده از جلبک‌های قهوه‌ای نظیر *Padina gymnospora* مشخص گردید که این گونه می‌تواند بیشترین میزان جذب فلز روی را انجام دهد (Alkhalifa et al., 2012).

در تحقیقات دیگری نیز دو جنس *Padina* و *Sargassum* به عنوان بهترین شاخص‌های زیستی معرفی شدند (Davis et al., 2003; Murphy et al., 2008; Jothinayagi and Anbazhagan, 2009). وجود منابع و تأسیسات نفت و گاز در سواحل واسکله‌ها و استقرار سایر صنایع شیمیایی و شیلاتی در محدوده‌ی سواحل استان بوشهر از عوامل عمده‌ی بروز آلودگی‌های مختلف و تهدید تنوع زیستی این سواحل هستند. لذا در پژوهش حاضر از جلبک *P. pavonica* به عنوان پایشگر زیستی مناسب برای آلودگی فلزات سنگین، میزان فلزات نیکل، سرب، مس، کادمیوم و جیوه در رسوبات و جلبک *P. pavonica* در منطقه ساحلی بوشهر و در دو فصل تابستان و زمستان استفاده شده است.

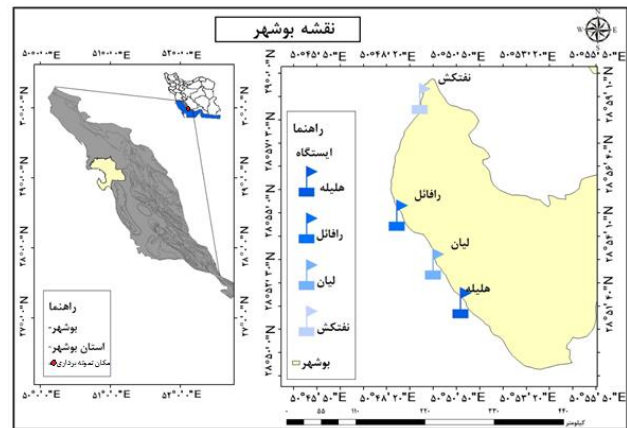
شرایط و با همان نسبت اسید و آب مقطر نیز هضم گردید (Licata et al., 2005; Tadiso et al., 2011; Escobar-Sánchez et al., 2011). برای هر دو گروه نمونه جلبک و رسوب، قبل از خشک شدن کامل، ظرف‌ها از روی هات‌پلیت برداشته شده و به نمونه‌ها ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱۰ درصد اضافه گردید. نمونه‌ها در بالن حجمی با فیلتر واتمن شماره ۴۲ صاف شده و با آب دو بار تقطیر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس به ظروف پلی اتیلنی منتقل شده و تا زمان تزریق به دستگاه جذب اتمی، در دمای کمتر از ۴ درجه سانتیگراد در یخچال قرار گرفت (Licata et al., 2005; Tadiso et al., 2011; Escobar-Sánchez et al., 2011). برای بررسی میزان جذب فلزات سنگین ابتدا کالیبراسیون این عناصر به کمک استانداردهای موجود انجام شد. سپس برای همه نمونه‌های جلبک و رسوب مراحل هضم انجام و سنجش نهایی آنها توسط دستگاه جذب اتمی (Savant A&A Sigma; GBC Scientific Equipment) تعیین گردید. (Ltd., Dandenong, Australia)

۲-۴ آماده‌سازی نمونه‌ها جهت سنجش فلز جیوه

نمونه‌های جلبک پس از شستشو با آب دو بار تقطیر، در آن در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد خشک شده، سپس در هاون پودر و با استفاده از الک ۶۳ میکرون به صورت همسان درآمدند و در ظروف پلاستیکی قرار گرفتند. سپس ۱ گرم از نمونه خشک‌شده به همراه ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۱۵ میلی‌لیتر پتاسیم پرمنگنات پنج درصد درون لوله‌های هضم ریخته شد. پس از پوشاندن درب لوله‌ها، نمونه‌ها یک ساعت در دمای اتاق و سه ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد بر روی هات‌پلیت قرار داده شدند. به موازات آماده‌سازی هر دسته، سه نمونه شاهد در همان شرایط و با همان نسبت اسید و آب مقطر نیز هضم گردید. پس از خنک شدن، نمونه‌های هضم‌شده از کاغذ صافی عبور داده و به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شدند.

از نمونه‌های رسوب نیز پس از خشک شدن در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد، سه تکرار ۰/۲ گرمی همگن شده در کف بشر قرار گرفت. ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به همراه مخلوط ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک و اسید نیتریک به نسبت ۴:۱ اضافه و به مدت دو دقیقه در حمام آب ۹۵ درجه سانتیگراد حرارت داده شد. پس از خنک شدن نمونه، ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۵ میلی‌لیتر

دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر منتقل شدند. نمونه‌برداری از رسوبات نیز با سه بار تکرار از لایه سطحی ۵-۰ سانتی‌متری به وسیله گرب و ونوین با سطح مقطع 1000 cm^2 انجام شد و نمونه‌ها در ظروف پلی‌اتیلنی ذخیره شدند، سپس کلیه این ظروف در یخدان با دمای کمتر از چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری و به آزمایشگاه منتقل گردید (Licata et al., 2005; Tadiso et al., 2011; Escobar-Sánchez et al., 2011).



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در سواحل استان بوشهر

۲-۳ آماده‌سازی نمونه‌ها جهت سنجش فلزات سنگین

جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین (مس، سرب، نیکل و کادمیوم)، نمونه‌های رسوب و جلبک (شسته شده با آب دو بار تقطیر) به مدت ۲۴ ساعت در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک شدند. سپس نمونه‌ها در هاون پودر شده و با الک ۶۳ میکرون الک شدند و در ظروف پلاستیکی قرار گرفتند. عمل هضم شیمیایی ۱ گرم از جلبک پودر شده با ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ انجام شد. پس از باقی ماندن به مدت حدود یک شب در دمای اتاق، نمونه‌ها برای هضم کامل به مدت ۵ ساعت بر روی دستگاه هات‌پلیت با دمای ۱۴۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند (Licata et al., 2005; Tadiso et al., 2011; Escobar-Sánchez et al., 2011).

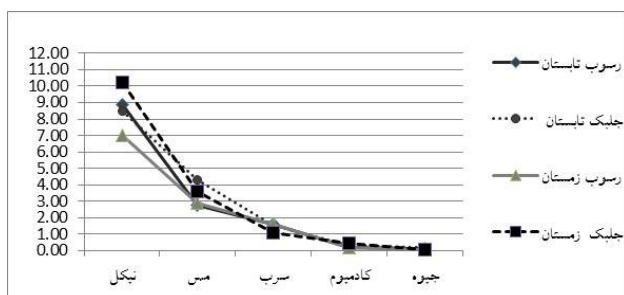
برای هضم نمونه‌های رسوب نیز، ۱ گرم از نمونه با اضافه کردن ۸ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۲ میلی‌لیتر اسید کلریدریک (به نسبت ۴:۱)، به مدت حداقل ۱۲ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت. سپس بر روی دستگاه هات‌پلیت با دمای ۱۴۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند. به موازات آماده‌سازی هر سه تکرار از نمونه‌های مربوط به رسوب و جلبک، سه نمونه شاهد در همان

۳. نتایج و بحث

۳-۱- غلظت فلزات سنگین در رسوبات و جلبک *P. pavonica*

در میان عناصر مورد مطالعه، بیشترین میانگین غلظت فلزات در جلبک متعلق به عنصر نیکل است که به ترتیب در نمونه‌های جلبک ایستگاه هلیله در فصل زمستان (میانگین \pm انحراف معیار) $12/31 \pm 3/9$ میلی‌گرم بر گرم و نمونه‌های جلبک ایستگاه نفتکش در فصل تابستان $10/38 \pm 3/1$ میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد (جدول ۲). در نمونه‌های رسوب نیز بالاترین میانگین غلظت فلزات سنگین مربوط به عنصر نیکل $11/45 \pm 0/65$ و $7/44 \pm 2/86$ میلی‌گرم بر گرم به ترتیب در ایستگاه نفتکش در فصل تابستان و نمونه رسوب ایستگاه نفتکش در فصل زمستان بوده است. کمترین میانگین غلظت فلزات نیز مربوط به عنصر جیوه است که به ترتیب در نمونه‌های رسوب ایستگاه نفتکش در فصل زمستان $0/005 \pm 0/036$ میلی‌گرم بر گرم و نمونه جلبک ایستگاه نفتکش در فصل زمستان $0/015 \pm 0/039$ میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد (جدول ۲).

بر اساس نتایج بدست آمده الگوی تجمع عناصر فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوب و جلبک بدین صورت است؛ جیوه > کادمیوم > سرب > مس > نیکل (شکل ۲).



شکل ۲: میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب و جلبک *P. pavonica* در منطقه جزرومدی بوشهر در فصل تابستان و زمستان

بسیاری از مطالعات انجام شده در خلیج فارس نیز الگوی مشابهی با این روند از توالی غلظت فلزات سنگین را نشان می‌دهند؛ به طوری که در مطالعه ی یزدان پناه و همکاران در سال ۱۳۹۶، با هدف مقایسه غلظت برخی از فلزات سنگین در رسوبات بین جزرومدی جزیره خارک (خلیج فارس)، توالی غلظت فلزات سنگین در رسوبات این جزیره در دو فصل تابستان

محلول پتاسیم پرمنگنات با آن کاملاً مخلوط گردید و در حمام آب در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت. پس از خنک شدن نمونه‌ها ۶ میلی‌لیتر محلول سدیم کلراید-هیدروکسیل آمین^۱ برای حذف پرمنگنات اضافی، اضافه شد. برای هر بطری به طور جداگانه خالص سازی انجام شده و پس از آن در زمان تزریق به دستگاه جذب اتمی، ۵ میلی‌لیتر کلرید قلع اضافه گردید و پس از دو دقیقه عملیات اندازه‌گیری انجام شد (Licata et al., 2005; Tadiso et al., 2011; Escobar- (Sánchez et al., 2011).

۲-۵- تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در رسوب و جلبک از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. در نرم افزار SPSS برای بررسی نرمال بودن پراکنش داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک^۲ با توجه به نرمال بودن داده‌ها، برای بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین غلظت فلزات در فصل‌ها و نمونه‌های ایستگاه‌های مختلف، از آنالیز واریانس یک طرفه^۳ استفاده شد.

در صورت وجود اختلاف معنی‌دار از پس آزمون دانکن استفاده شد. جهت بررسی همبستگی میان غلظت فلزات سنگین رسوبات با غلظت آنها در جلبک مورد مطالعه از رگرسیون و تعیین ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. همچنین جهت مقایسه بهتر میزان توانایی جلبک‌های نمونه‌برداری شده در تجمع زیستی فلزات سنگین از شاخص تجمعی بیوتا-رسوب (BSAF) استفاده شد (Szefer et al., 1999). شاخص تجمع زیستی از طریق ثبت غلظت فلز در اندام‌های یک موجود زنده به غلظت آن عنصر در آب یا رسوب محاسبه می‌شود. چنانچه این مقدار بیش از ۲ باشد، موجود درشت تغلیظ کننده (Macro concentrator) است ولی اگر این مقدار، عددی بین ۱ و ۲ باشد موجود ریز تغلیظ کننده (Micro concentrator) و اگر کمتر از عدد یک باشد، موجود کم تغلیظ کننده (De concentrator) بوده و فلز را در رسوب رها می‌کند (Dallinger, 1993).

¹ NaCl-hydroxylamine hydrochloride

² Shapiro Wilk

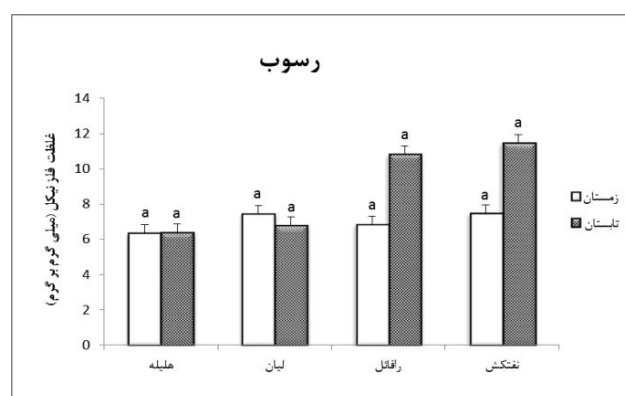
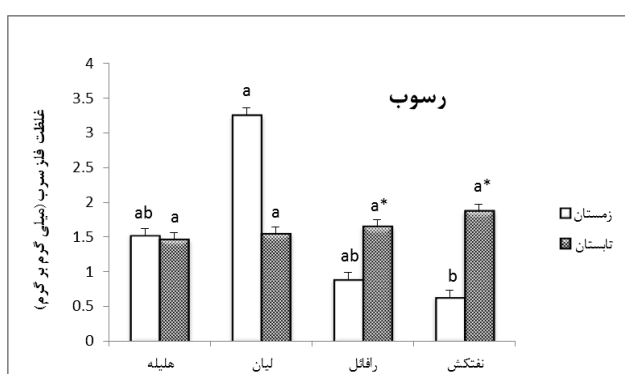
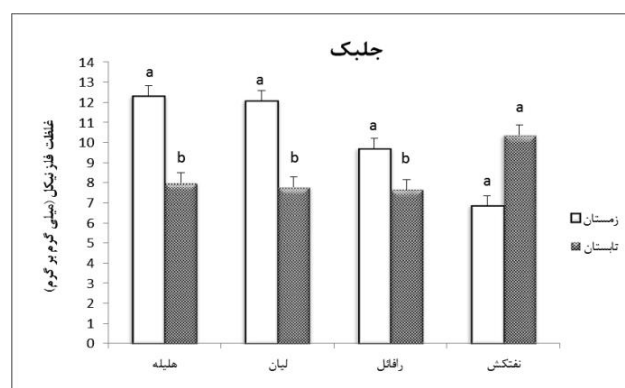
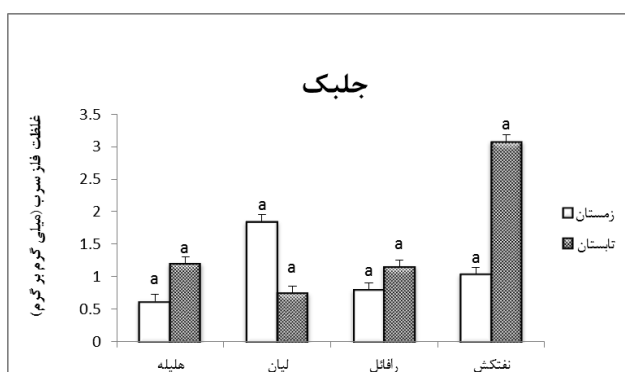
³ One Way ANOVA

نفت بوده و نشان‌دهنده وجود آلودگی نفتی در منطقه است (Sheykhvand et al., 2015). از ویژگی‌های ایستگاه نفتکش، ورود مقادیر زیادی آلاینده‌های نفتی و فلزات از جمله فلزات سنگین به آبهای مجاور می‌گردد. احتمال دارد که یکی از دلایل افزایش فلز نیکل در رسوبات ایستگاه مذکور در فصل تابستان (شکل ۳)، افزایش فعالیت و تردد نفتکش‌ها باشد. داوری و همکاران در سال ۱۳۹۱ نیز به نتایج مشابهی دست یافته و علت افزایش فلزات سنگین در ایستگاه‌های مورد مطالعه و در فصل تابستان را نزدیکی ایستگاه‌ها به کارگاه کشتی‌سازی، افزایش تردد کشتی‌ها به ویژه نفتکش‌ها بیان نمودند که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. همچنین بر اساس مطالعات برخی محققین علت افزایش میزان فلز نیکل، ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند: فاضلاب‌های شهری و صنعتی، تردد کشتی‌ها، قایق‌ها و نفتکش‌ها و نفت خام باشد (De Astudillo et al., 2005; El Tokhi et al., 2008).

و زمستان به صورت $Zn > Ni > Cu > Pb > Cd$ بوده است. صفاهیه و همکاران نیز در سال ۱۳۹۵، توالی غلظت فلزات تجمع یافته در رسوبات در سواحل بوشهر را به صورت کادمیوم $> سرب > مس > نیکل$ گزارش دادند. دادالهی و همکاران در سال ۱۳۹۰ تحقیقی را در سواحل بندرعباس و بندر لنگه انجام داده و بیشترین میزان غلظت فلزات سنگین مس، سرب، کادمیوم و نیکل در رسوب را در بین چهار فصل در دو فصل بهار و تابستان و کمترین آنها را در دو فصل پاییز و زمستان گزارش کرده‌اند. در تحقیق مذکور نیز مشخص گردید که گونه *Padina pavonica* موجود در این سواحل بیشترین میزان تجمع فلزات سنگین را نسبت به سایر جلبک‌های مورد مطالعه در خود داشته است. در مطالعه حاضر نیز بیشترین میزان غلظت فلزات سنگین در فصل تابستان و کمترین آن در فصل زمستان مشاهده شد (جدول ۲). در این مطالعه، فلز نیکل نسبت به سایر عناصر دارای غلظت بالاتری است (شکل ۲ و ۳). به طور کلی نیکل فلزی مرتبط با

جدول ۲: میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین رسوب (میلی‌گرم بر گرم) و جلبک *P. pavonica* (میلی‌گرم بر گرم) در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دو فصل زمستان و تابستان

زمستان						فصل	
Ni	Cu	Pb	Cd	Hg	نمونه	ایستگاه	
۶/۳۴ ± ۰/۶۶	۲/۷۱ ± ۰/۸۵	۱/۵۲ ± ۰/۴۹	۰/۱۵ ± ۰/۰۷	۰/۰۳۶ ± ۰/۰۱	رسوب	هلیله	
۱۲/۳۱ ± ۳/۹	۳/۸۶ ± ۰/۰۵	۰/۶۲ ± ۰/۷۱	۰/۲۶ ± ۰/۲۴	۰/۰۵۳ ± ۰/۰۰۵	<i>P. pavonica</i>		
۶/۳۴ ± ۲/۰۵	۲/۶۸ ± ۰/۵۸	۳/۲۵ ± ۱/۸۰	۰/۱۸ ± ۰/۱۹	۰/۰۴ ± ۰/۰۰۱	رسوب	لیان	
۱۲/۱ ± ۱/۷	۳/۲۳ ± ۰/۸۳	۱/۸۵ ± ۰/۷۲	۰/۴۱ ± ۰/۰۹۶	۰/۰۵۲ ± ۰/۰۰۳	<i>P. pavonica</i>		
۶/۸۶ ± ۳/۰۸	۳/۰۹ ± ۰/۱۳	۰/۸۹ ± ۰/۱۳	۰/۱ ± ۰/۰۸	۰/۰۴ ± ۰/۰۰۱	رسوب	رافائل	
۹/۷ ± ۱/۸	۴ ± ۰/۷۲	۰/۸ ± ۰/۹۸	۰/۶۲ ± ۰/۰۳	۰/۰۴۵ ± ۰/۰۰۹	<i>P. pavonica</i>		
۷/۴۴ ± ۲/۸۶	۳/۱۲ ± ۱/۱۶	۰/۳۸ ± ۰/۶۳۶	۰/۳۴۶ ± ۰/۴۱	۰/۰۳۶ ± ۰/۰۰۵	رسوب	نفتکش	
۱/۰۸۵ ± ۶/۸۶	۲/۳۷ ± ۰/۲۱	۱/۰۴ ± ۰/۸۸	۰/۳۸ ± ۰/۱۰۳	۰/۰۳۹ ± ۰/۰۱۵	<i>P. pavonica</i>		
تابستان						فصل	
Ni	Cu	Pb	Cd	Hg	نمونه	ایستگاه	
۶/۳۷ ± ۰/۹۰	۲/۰۶ ± ۱/۱۶	۱/۴۶ ± ۱/۱۱	۰/۱۸ ± ۰/۰۹	۰/۱ ± ۰/۰۰۵	رسوب	هلیله	
۸/۰۱ ± ۲/۳	۳/۷۵ ± ۰/۶۲	۱/۲۱ ± ۱/۳	۰/۲۵ ± ۰/۰۸۲	۰/۱۵ ± ۰/۰۲۶	<i>P. pavonica</i>		
۶/۷۶ ± ۳/۶۵	۳/۱۲ ± ۰/۳۱	۱/۵۵ ± ۱/۲۰	۰/۰۹۶ ± ۰/۰۷۶	۰/۱۰ ± ۰/۰۷	رسوب	لیان	
۷/۸ ± ۳/۶۳	۷/۴۵ ± ۲/۴۳	۰/۷۵ ± ۰/۶	۰/۳۷ ± ۰/۱۱	۰/۳ ± ۰/۰۹۹	<i>P. pavonica</i>		
۱۰/۸۰ ± ۰/۷۶	۲/۵۷ ± ۰/۹۵	۱/۶۵ ± ۰/۳۵	۰/۱۱ ± ۰/۰۸	۰/۱۲ ± ۰/۰۱	رسوب	رافائل	
۷/۶۶ ± ۱/۶۲	۳/۸۳ ± ۰/۶۸	۱/۱۶ ± ۰/۱۷	۰/۴۶ ± ۰/۲۲	۰/۱۵ ± ۰/۰۲	<i>P. pavonica</i>		
۱۱/۴۵ ± ۰/۶۵	۲/۲۸ ± ۱/۲۴	۱/۸۷ ± ۰/۶۲	۰/۲۹۳ ± ۰/۲۸	۰/۱۲۶ ± ۰/۰۴	رسوب	نفتکش	
۱۰/۳۸ ± ۳/۱	۲/۲۶ ± ۰/۲۲	۳/۰۸ ± ۳/۲	۰/۱۸ ± ۰/۰۵	۰/۰۹ ± ۰/۰۱	<i>P. pavonica</i>		



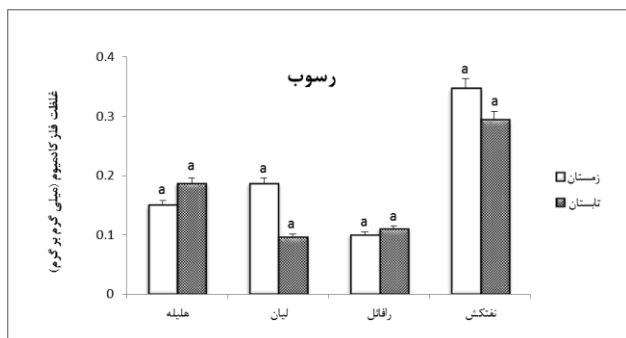
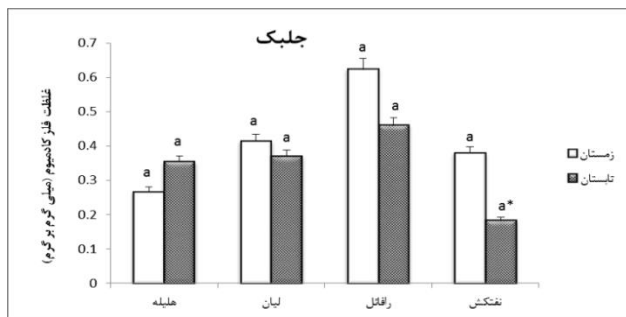
شکل ۴: میانگین غلظت فلز سرب در رسوب و جلبک *P. pavonica* در منطقه جزر و مدی ساحل بوشهر (آنتنک‌ها نشان دهنده انحراف معیار هستند). ستون‌ها با حروف غیر مشابه، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (p ≤ 0.05).

شکل ۳: میانگین غلظت فلز نیکل در رسوب و جلبک *P. pavonica* در منطقه جزر و مدی ساحل بوشهر (آنتنک‌ها نشان دهنده انحراف معیار هستند). ستون‌ها با حروف غیر مشابه، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (p ≤ 0.05).

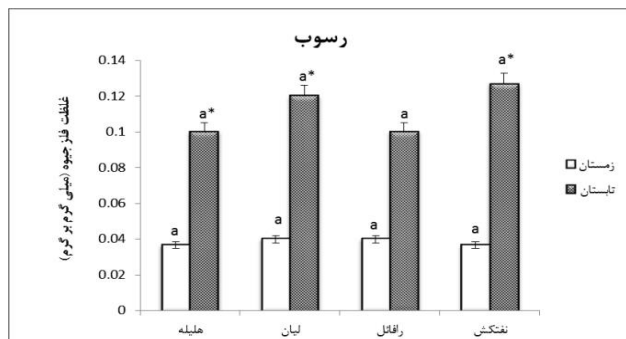
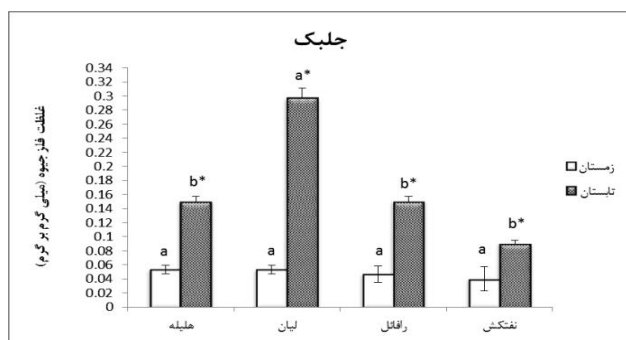
بیشترین میزان کادمیوم در رسوب در زمستان و در ایستگاه نفتکش 0.41 ± 0.346 میلی گرم بر گرم و کمترین آن 0.076 ± 0.096 میلی گرم بر گرم در ایستگاه لیان و در تابستان دیده شد (جدول ۲). بجز ایستگاه نفتکش در بقیه موارد میزان کادمیوم در هر دو فصل در نمونه جلبک بیش از میزان آن در رسوب بود (شکل ۳ و ۴). بیشترین غلظت این فلز در ایستگاه نفتکش مشاهده گردید که به طور معنی‌داری در هر دو فصل بالاتر از سایر ایستگاه‌ها بود و علت اصلی آن می‌تواند ناشی از ورودی پساب‌های فعالیت‌های صنعتی به این ناحیه باشد. دلیل احتمالی غلظت کم کادمیوم در رسوبات، حلالیت بالای این فلز در آب است (Amini et al., 2013b). همچنین باید توجه داشت که در جنبه بیوشیمی جذب فلزات سنگین، به الکترون‌گاتیویته کاتیون‌ها توجه می‌شود. در واقع هر چه کاتیونی الکترون‌گاتیوتر باشد، توانایی بیشتری برای جذب در بافت‌های موجود زنده دارد (Dadolahi et al., 2011). برای مثال فلزات مس و سرب نسبت به کادمیوم الکترون‌گاتیویته بیشتری داشته و در این پژوهش به میزان بیشتری در بافت جلبک انباشته شدند. نتایج حاصل از

میزان سرب در رسوب ایستگاه لیان در فصل زمستان با میزان 3.25 ± 1.80 میلی‌گرم بر گرم به صورت معنی‌داری بیش از میزان آن در ایستگاه‌های دیگر و فصل تابستان بود. در فصل تابستان در همه ایستگاه‌ها میزان سرب تقریباً به یک نسبت دیده شد و در محدوده 1.11 ± 1.46 تا 0.62 ± 1.87 میلی‌گرم بر گرم بود (شکل ۴). سرب در فاضلاب‌های شهری، کشاورزی و خانگی یکی از عوامل اصلی آلاینده محسوب می‌شود (Luoma and Rainbow, 2008). به نظر می‌رسد بالا بودن میزان سرب در فصل زمستان در ایستگاه لیان، به علت افزایش بارندگی و نزولات جوی در فصول سرد می‌باشد. فلزات سنگین در آب‌های ساحلی از طریق رواناب‌های سطحی افزایش پیدا می‌کنند که از خشکی‌ها و زمین‌های اطراف صنایع، جاده‌ها و غیره حجم بالایی از آلاینده‌ها به خصوص فلزات سنگین را به نواحی ساحلی منتقل می‌کنند. در نتیجه، جلبک‌ها در مجاورت حجم بیشتری از فلزات قرار می‌گیرند و چون در فصل سرما، سوخت و ساز در گیاهان کاهش می‌یابد، بنابراین، باعث جذب و تجمع بیشتری از فلزات سنگین خواهد شد (Boran and Altnok, 2010).

موجودات آبی بسیار کمتر است و نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه آلودگی جیوه ای ندارد. (جدول ۳).

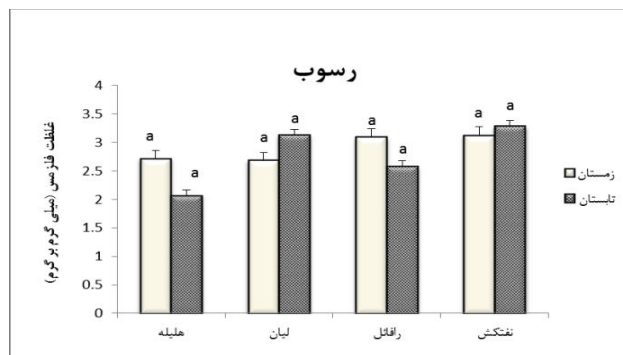
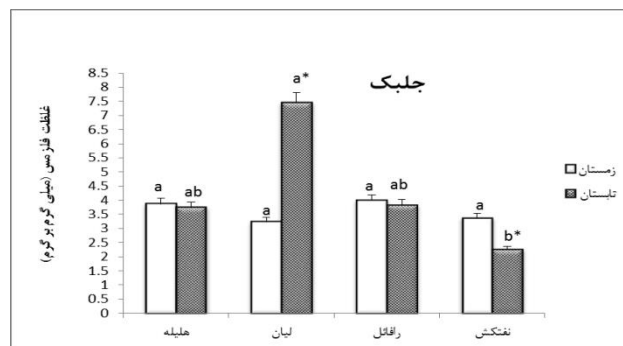


شکل ۶: میانگین غلظت فلز کادمیوم در رسوب و جلبک *P. pavonica* در منطقه جزرومدی ساحل بوشهر (آنتنک‌ها نشان دهنده انحراف معیار هستند. ستون‌ها با حروف غیر مشابه، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند $p \leq 0.05$).



شکل ۷: میانگین غلظت فلز جیوه در بافت رسوب و جلبک *P. pavonica* (آنتنک‌ها نشان دهنده انحراف معیار هستند. ستون‌ها با حروف غیر مشابه، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند $p \leq 0.05$).

مطالعه حاضر نشان می‌دهد که میزان جذب فلز کادمیوم در نمونه‌ی جلبک به شدت کمتر از مس، سرب و نیکل است (شکل ۵ و ۶). در بحث جذب زیستی فلزات سنگین دو مسیر عمده برای ورود مواد به درون گیاه وجود دارد، مسیر اول ورود آلاینده از طریق فضای برون سلولی و دیواره‌ی سلولی که معکوس‌پذیر است و با سرعت بالایی اتفاق می‌افتد و مسیر دوم از طریق غشای سلولی که به صورت آرام و با صرف انرژی و غیر قابل برگشت است. Eide و همکاران در سال ۱۹۸۰، ثابت کردند که فلز سرب از مسیر اول و فلز کادمیوم از مسیر دوم به بافت گیاه نفوذ کرده و در آن انباشته می‌گردد. بنابراین سرب به میزان بیشتر و کادمیوم به مقدار کمتری در جلبک انباشته شده است.



شکل ۵: میانگین غلظت فلز مس در بافت رسوب و جلبک *P. pavonica* در منطقه جزرومدی ساحل بوشهر (آنتنک‌ها نشان دهنده انحراف معیار هستند. ستون‌ها با حروف غیر مشابه، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند $p \leq 0.05$).

میزان جیوه در رسوب بطور محسوسی در همه ایستگاه‌ها و در تابستان، بین 0.005 ± 0.1 تا 0.04 ± 0.126 میلی‌گرم بر گرم بیش از زمستان، بین 0.005 ± 0.036 تا 0.001 ± 0.04 میلی‌گرم بر گرم بود (جدول ۲). غلظت جیوه در رسوبات ایستگاه‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری را نشان داد. بیشترین غلظت این فلز 0.099 ± 0.3 میلی‌گرم بر گرم در فصل تابستان در ایستگاه لیان بود (شکل ۷) که از حداقل غلظت تأثیرگذار (ERL) بر روی

میزان نیکل در مقایسه با استانداردهای کیفیت رسوب از کمترین سطح هشدار (LAL) بیشتر است. با توجه به اینکه منطقه نمونه برداری بوشهر نزدیک به خارک و از مناطق نفت خیز به شمار می آید؛ این مقدار از نیکل ممکن است بصورت طبیعی در رسوبات منطقه وجود داشته باشد و می تواند خطر جدی برای سلامت محیط زیست به شمار آید (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۱ و De Mora et al., 2004).

۴-۳ سنجش میزان تجمع زیستی BSAF

در جدول ۵ مقادیر BSAF سنجیده شده در جلبک *P. pavonica* و رسوب آورده شده است. بیشترین فاکتور تجمعی در مربوط به فلز کادمیوم در فصل زمستان و در ایستگاه رافائل به میزان ۶/۲۳ بوده است. میزان این فاکتور برای عنصر کادمیوم، در تابستان و زمستان بیشتر از بقیه عناصر و در محدوده Macroconcentrate بوده است.

جدول ۵: میزان BSAF بین جلبک *P. pavonica* و رسوب

ایستگاه					فصل زمستان					فصل تابستان				
Hg	Cd	Pb	Cu	Ni	Hg	Cd	Pb	Cu	Ni	Hg	Cd	Pb	Cu	Ni
۱/۵	۱/۹	۰/۸۲۸۷	۱/۸۱	۱/۲۵	۱/۴۱	۱/۸۷	۰/۴۱	۱/۴۳	۱/۹۴	۱/۵	۱/۹	۰/۸۲۸۷	۱/۸۱	۱/۲۵
۲/۴۷	۳/۹۳	۰/۴۸	۲/۳۹	۱/۱۵	۱/۴۲	۲/۱۴	۰/۵۷	۱/۲	۱/۶۳	۲/۴۷	۳/۹۳	۰/۴۸	۲/۳۹	۱/۱۵
۱/۵	۴/۱۴	۱/۶۵	۱/۴۹	۰/۷۱	۱/۰۹۷	۶/۲۳	۰/۷	۱/۳۳	۱/۴۲	۱/۵	۴/۱۴	۱/۶۵	۱/۴۹	۰/۷۱
۰/۹	۰/۵۵	۱/۶۵	۰/۶۸	۰/۹۱	۱/۰۳	۱/۰۸۶	۱/۶۴	۱/۰۸	۰/۹۲	۰/۹	۰/۵۵	۱/۶۵	۰/۶۸	۰/۹۱

به طور کلی، فاکتور تجمع زیستی بیش از یک، تأیید کننده وجود تجمع زیستی مؤثر در موجود است و با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، برای عناصری نظیر کادمیوم، نیکل، مس جیوه و نهایتاً سرب می تواند به عنوان شاخص زیستی فلزات سنگین مورد توجه قرار بگیرد (جدول ۴). آنالیز شیمیایی آب و رسوبات تنها سطح آلودگی را مشخص می کند ولی برای ارزیابی کیفیت زیست محیطی منطقه مورد مطالعه کافی نیست، بنابراین پایش زیستی عناصر و ترکیبات در بافتها و اندامهای زنده روش سودمندی برای بررسی سلامت هر بوم سامانه ای است. مقادیر متفاوت BSAF در بین موجودات، نشان دهنده میزان توانایی آنها در تجمع فلزات سنگین از محیط اطرافشان می باشد (Zhang et al., 2011). تجمع فلز از رسوب توسط موجودات آبی به وضعیت آن موجود در رابطه با رسوب بستگی دارد. فرآیندهای متابولیکی نظیر جذب فعال، انتقال زیستی، حذف آلودگیها،

۲-۳ بررسی همبستگی غلظت فلزات در رسوبات و جلبک *P. pavonica*

بررسی ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی همبستگی غلظت فلزات در رسوبات و جلبک بیانگر آن است که بین میزان نیکل، سرب، مس و کادمیوم در رسوب و جلبک *P. pavonica* ارتباط معنی داری وجود ندارد ($P > 0.05$) (جدول ۳). فقط بین غلظت فلز جیوه در رسوب و جلبک همبستگی مثبت و معنی دار وجود دارد ($P < 0.05$) که نشان می دهد میزان غلظت جیوه در این گونه تحت تأثیر میزان غلظت این فلز در رسوب قرار گرفته است و می توان از این گونه در مطالعات پایش زیستی فلز جیوه استفاده کرد.

جدول ۳: ضریب همبستگی پیرسون بین غلظت فلزات سنگین در جلبک و رسوب

فلز سنگین	Cd	Pb	Ni	Cu	Fe	Hg
ضریب همبستگی	ns/۰/۱۴	ns/۰/۴۷	ns/۰/۱۲	ns/۰/۱۰	ns/۰/۱۷	ns/۰/۷۹*

* دارای همبستگی معنی دار است ($P < 0.05$) ns فاقد همبستگی معنی دار است ($P < 0.05$)

۳-۳ مقایسه غلظت فلزات سنگین با راهنمای کیفیت رسوبات دریایی

به منظور ارزیابی فلزات سنگین در رسوبات منطقه بین جزرومدی بوشهر، میزان غلظت این فلزات با مقادیر برخی از استانداردهای کیفیت در جهان مقایسه گردید (جدول ۴).

جدول ۴: مقادیر فلزات سنگین رسوبات سواحل بوشهر با مقادیر استاندارد بر اساس کیفیت NOAA و محیط زیست کانادا (میکروگرم بر گرم)

فلز	کیفیت رسوب آمریکا NOAA ¹ (Long et al., 1995)		استاندارد محیط زیست کانادا (CCME ² , 1999)		USEPA ³ (Bowen, 1979)		نتایج مربوط به مطالعه حاضر
	ERM ⁴	ERL ⁵	ISQGs ⁶	PEL ⁷	LAL ⁸	HAL ⁹	
Cu	۲۷۰	۳۴	۱۸۷۰	۱۰۸	۲۷۰	۲/۸۱	۲/۸۱
Pb	۲۱۸	۴۶/۷	۳۰/۲۰	۱۱۲	۲۱۸	۱/۶	۱/۶
Cd	۹/۶	۱/۲۰	۰/۷۰	۴/۲۰	۹/۶	۰/۱۸	۰/۱۸
Ni	۵۱/۶	۲۰/۹	۱۵/۹	۴۲/۸	۵۰	۷	۷
Hg	۰/۷۱	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۷	۰/۲۳۵	۰/۲۳۵	۰/۲۳۵

¹ National Oceanic and Atmospheric Administration
² Canadian Council of Ministers of the Environment
³ United State Environmental Protection Agency
⁴ Effects Range Medium
⁵ Effects Range Low
⁶ Probable Effects Level
⁷ Canadian Interim Marine Sediment Quality
⁸ Lowest Alert Level
⁹ Highest Alert Level

منابع

حبیبی، س.، صفاهیه، ع.، پاشا زانوسی، ح.، ۱۳۹۱. تعیین سطح ناپاکی رسوبات ساحلی استان بوشهر نسبت به فلزات سنگین (Cu, Pb, Ni, Cd). مجله علوم و فنون دریایی، دوره ۱۱، شماره ۴، صفحات ۸۴-۹۰.

دادالهی سهراب، ع.؛ ثقیلی، م.؛ خیرور، ن.؛ ۱۳۹۰. غلظت فلزات سنگین نیکل، کادمیوم، سرب و مس در جلبکها و رسوبات مناطق ساحلی استان هرمزگان (بندر عباس و بندر لنگه) فصلنامه علمی شیلات ایران سال بیستم، شماره ۱ (پیاپی ۷۴)، بهار، صفحات ۳۱-۴۲.

داوری، ع.، خراسانی، ن.الف.، دانه کار، الف. ۱۳۹۱. مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات رویشگاه های حرا بیدخون، بساتین و مل گزله. مجله اکولوژی کاربردی، سال اول، شماره دوم، صفحات ۱۵-۲۵.

صفاهیه، ع.؛ حبیبی، س.؛ پاشا زانوسی، ح.؛ فتح تبار، م.، ۱۳۹۵. تجمع فلزات سنگین (Cu, Ni, Pb, Cd) در رسوب و صدف دسته چاقویی (*Solen roseomaculatus*) در بخشی از سواحل استان بوشهر. نشریه اقیانوس شناسی، سال هفتم، شماره ۲۷، صفحات ۴۱-۴۸.

یزدان پناه، د.؛ صفاهیه، ع.؛ ر.؛ سالاری علی آبادی، م.؛ غانمی، ک.، ۱۳۹۶. مقایسه غلظت برخی از فلزات سنگین در رسوبات بین جزر و مدی جزیره خارک (خلیج فارس) در دو فصل تابستان و زمستان. نشریه اقیانوس شناسی، سال هشتم، شماره ۳۰، صفحات ۱-۹.

Alkhalifa, A.H.; Al-Homaidan, A.A.; Shehata, A.I.; Al-Khamis, H.H.; Al-Ghanayem, A.A.; Ibrahim, A.S.S., 2012. Brown macroalgae as bio-indicators for heavy metals pollution of Al-Jubail coastal area of Saudi Arabia. African Journal of Biotechnology, 11(92): 15888-15895. <https://doi.org/10.5897/AJB12.2509>

Amini, F.; Riahi, H.; Zolgharnain, H., 2013a. Metal Concentrations in Padina Species and associated Sediment from Nayband Bay and Bostaneh Port, Northern Coast of the Persian Gulf, Iran. Journal of the Persian Gulf (Marine Science), 4(11): 17-24.

Amini, F.; Riahi, H.; Zolgharnain, H., 2013b. Ribulose-1, 5-Bisphosphate Carboxylase/Oxygenase Gene Sequencing in Taxonomic Delineation of Padina

سرعت رشد یک موجود در مقایسه با سرعت جذب آلودگی بر مقدار تجمع زیستی اثرگذار است. از میان گروه‌های مختلف جلبکی، جلبک‌های قهوه ای، جذب فلزات سنگین را بیش از دیگر ماکرو جلبک‌ها انجام می‌دهند (Salgado, et al., 2005; Torres et al., 2008). این امر ناشی از خصوصیات بیوشیمیایی ساختارهای دیواره‌ای آنهاست. دیواره سلولی این جلبک‌ها دارای موادی نظیر آلزینات و فوکوئیدین است که به جذب فلزات سنگین کمک می‌کند (Davis et al., 2003).

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش که به منظور بررسی قابلیت استفاده از *Padina pavonica* به عنوان پایشگر زیستی فلزات سنگین، در سواحل بوشهر انجام گرفت؛ از چهار ایستگاه هلیله، لیان، رافائل (کشتی سوخته) و نفتکش، نمونه‌های رسوب و جلبک مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد الگوی تجمع عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب و جلبک به صورت $Hg > Cd > Pb > Cu > Ni$ می‌باشد.

بررسی ضریب همبستگی پیرسون بیانگر آن است که بین میزان نیکل، سرب، مس و کادمیوم در رسوب و جلبک *P.pavonica* ارتباط معنی‌داری وجود ندارد و فقط بین غلظت فلز جیوه در رسوب و جلبک همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد ($P < 0.05$) و می‌توان از این گونه در مطالعات پایش زیستی فلز جیوه استفاده کرد. با توجه به اینکه مقادیر بیش از یک برای فاکتور تجمع زیستی تاییدکننده وجود تجمع زیستی مؤثر در جلبک مورد مطالعه است؛ بررسی شاخص تجمع زیستی (BSAF) نشان می‌دهد که این جلبک می‌تواند به عنوان شاخص زیستی فلزات سنگین از جمله کادمیوم، نیکل، مس جیوه مورد توجه قرار بگیرد.

۵. سیاست‌گذاری

این تحقیق با پشتیبانی صندوق حمایت از پژوهشگران کشور (INSF) با شماره ۹۵۸۱۹۴۲۳ انجام شده است. نویسندگان بدین وسیله کمال قدردانی و تشکر خود را از مسئولین آن سازمان ابراز می‌کنند.

- metals in sediments, mussels and oysters from Trinidad and Venezuela. *Revista de Biologia Tropical*, 53: 41–53.
- Eide, I.; Myklestad, S.; Melson, S., 1980. Long-term uptake and release of heavy metals by *Ascophyllum nodosum* in situ. *Environment Pollution*, 23:19-28. [https://doi.org/10.1016/0143-1471\(80\)90093-8](https://doi.org/10.1016/0143-1471(80)90093-8)
- 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.
- Escobar-Sánchez, O.; Galván-Magaña, F.; Rosfles-Martínez, R., 2011. Biomagnification of mercury and selenium in blue shark *Prionace glauca* from the Pacific Ocean off Mexico. *Biological Trace Element Research*, 144: 550–559. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9040-y>
- Jothinayagi, N. and Anbazhagan, C., 2009. Heavy Metal Monitoring of Ramerwaram Coast by Some Sargassum species. *American- Eurasian Journal Scientific Research*, 4(2): 73- 80.
- Hanyuda, T., Arai, S., Uchimura, M., Prathep, A., Draisma, S.G. and Kawai, H., 2010. Four new species of *Padina* (Dictyotales, Phaeophyceae) from the western Pacific Ocean, and reinstatement of *Padina japonica*. *Phycologia*, 49(2):136-153. DOI: 10.2216/09-54.1
- Licata, P.; Trombetta, D.; Naccari, C. 2005. Heavy metal in liver and muscle of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) catch in the Strait of Messina (Sicily, Italy). *Environ Monit*, 10(1-3): 239-248. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-2382-1>
- Long, E.R.; MacDonald, D.D.; Smith, S.L.; Culder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentration in marine and estuarine sediment. *Environmental Management*, 19: 81-97. <https://doi.org/10.1007/BF02472006>
- Species in the Northern Coast of the Persian Gulf, (IRAN). *Journal of the Persian Gulf (Marine Science)/Vol. 4/No. 13/September 2013/11/47-57*.
- Boran, M.; Altınok, I., 2010. A review of heavy metals in water, sediment and living organisms in the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10(4): 565-572. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2010.0418>
- Bowen, H.J.M., 1979. *Environmental chemistry of the element*. Academic press London. 217P.
- Cardwell, A.; Hawker, D.; Greenway, M., 2002. Metal accumulation in aquatic macrophytes from southeast Queensland, Australia. *Chemosphere*, 48: 653–663. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00164-9](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00164-9)
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 1999. *Canadian environmental guidelines*, from publication No.1299: ISBN 1-896997-34-1.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.02.029>
- Dadolahi, A.S., Nikvarz, A., Nabavi, S.M.B., Safahyeh, A. and Ketali-Mohseni, M., 2011. Environmental monitoring of heavy metals in seaweed and associated sediment from the Strait of Hormuz, IR Iran. *WJFMS*, 3(6), 576-589.
- Dallinger, R., 1993. Strategies of metal detoxification in terrestrial invertebrates. In: *Ecotoxicology of metals in invertebrates*. (Rainbow, P. S.; Dallinger R, Eds.) Boca Raton: Lewis Publisher. 246-332.
- Davis, T.A.; Volesky, B.; Mucci, A., 2003. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Research*, 37:4311-4330. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00293-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00293-8)
- De Astudillo, L.R.; Yen I.C.; Berkele, I., 2005. Heavy

- Sheykhvand, N.; Entezami, M.S.; Moghdani, S., 2015. Nickel accumulation levels in habitat and tissues of *Turbo coronatus* (Gastropoda, Turbinidae) near Kish Island, Persian Gulf. *Journal of the Bioflux Society*, 7(1): 82-89.
- Szefer, P.; Ali, A.; Ba-Haroon, A.; Rajeh, A.; Geldon, J.; Nabrzyski, M., 1999. Distribution and relationships of selected trace metals in molluscs and associated sediments from the Gulf of Aden, Yemen. *Environmental Pollution*, 106: 299-314. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00108-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00108-6)
- Tadiso, T.M.; Lie, K.K.; Hordvik, I., 2011. Molecular cloning of IgT from Atlantic salmon, and analysis of the relative expression of tau, mu, and delta in different tissues. *Vet Immunol Immunopathol*, 139: 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2010.07.024>
- Torres, M.A.; Barros, M.P.; Campos, S.C.; Pinto, Rajamani, S.; Sayre, R.T.; Colepicolo, P., 2008. Biochemical biomarkers in algae and marine pollution: A review. *Ecotoxicology Environment Safety*, 71: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.05.009>
- Zhang, H.G.; Cui, B.S.; Zhang, K.J., 2011. Heavy metal distribution of natural and reclaimed tidal riparian wetlands in south estuary, China. *Journal of Environmental Sciences*, 23(12): 1937-1946. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60644-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60644-4)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.08.004>
- Mane, P.C. and Bhosle, A.B., 2012. Bioremoval of some Metals by Living Algae *Spirogyra* sp. and *Spirulina* sp. from Aqueous Solution. *International Journal of Environmental Research*. 6. 571-576.
- Murphy, V.; Huhges, H.; McLoughlin, P., 2008. Comparative study of chromium biosorption by red, green and brown seaweed biomass. *Chemosphere*, 70:1128- 1134. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.08.015>
- Ni-Ni-Win, Hanyuda, T., Draisma, S.G.A., Lim, P.E., Phang, S.M., Kawai, H., 2013. Taxonomy of the genus *Padina* (Dictyotales, Phaeophyceae) based on morphological and molecular evidences, with key to species identification. *Taxonomy of Southeast Asian Seaweeds II*; Phang & Lim (eds), 119-174.
- Salgado, L.; Andrade, L.; Amado, F.G., 2005. Localization of specific monosaccharides in cells of the brown alga *Padina gymnospora* and the relation to heavy metal accumulation. *Protoplasma*, 225:123-128. <https://doi.org/10.1007/s00709-004-0066-2>