



بررسی استفاده از جلبک سبز (*Entromorpha intestinalis*) به عنوان شاخص کنترل زیستی فلزات سنگین (Ni, Pb, Cd & Cu) در آبهای نواحی ساحلی بوشهر

محمد پرهیزکار

دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگیهای محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اهواز

علی دادلهی سهراب

استادیار دانشگاه علوم و فنون خرمشهر

تاریخ ارسال: ۸۸/۳/۵ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۱/۱۳

چکیده

در این تحقیق میزان غلظت عناصر سنگین کادمیوم، نیکل، سرب و مس در رسوبات بستر و بافت ماکرو جلبک‌های غالب *Entromorpha* تعیین شد. به منظور مشخص نمودن روند آلودگی فلزات سنگین در نوار ساحلی بوشهر از فروردین ۱۳۸۷ لغایت شهریور ۱۳۸۷ از پنج ایستگاه، نمونه برداری رسوبات بستر و جلبک انجام شد که تعداد نمونه برداری از هر ایستگاه ۸ نمونه در هر فصل بود. نمونه‌ها ابتدا در هر ایستگاه با مقادیر کافی آب همان منطقه به منظور جدا سازی اجسام اضافی چسبیده به جلبک‌ها شسته شده و نمونه‌های رسوبات همان منطقه نیز، دقیقاً از ایستگاه‌های برداشت جلبک‌ها تهیه شدند. غلظت فلزات موجود در نمونه‌ها به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی *unicam* مدل ۹۱۹ بررسی شد. همچنین، آنالیز فلزات سنگین در رسوبات و جلبک‌ها بر اساس روش راپمی و پس از عملیات هضم و آماده سازی در آزمایشگاه انجام شد. غلظت فلزات در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی محاسبه شد. طی این مطالعه، میانگین غلظت عناصر در دو فصل نمونه برداری در بافت جلبک مورد بررسی برای عناصر Ni، Pb، Cd و Cu به ترتیب ۲/۶۸، ۴/۳۵، ۰/۶۸ و ۳/۴۶ میکروگرم بر گرم در وزن خشک (PPm) که میزان فراوانی آنها به صورت Cd<Ni<Cu<Pb بود. بنابراین، بیشترین غلظت فلزات در این جلبک مربوط به سرب بود، همچنین، غلظت این فلزات در نمونه‌های رسوبات برای عناصر Ni، Pb، Cd و Cu به ترتیب ۲۰/۱۹۸، ۲۲/۸۹۲، ۲۳/۳۶۶ و ۰/۶۴۲ میکروگرم بر گرم در وزن خشک به دست آمد که میزان فراوانی آنها به صورت Cd<Ni<Pb<Cu بود، بنابراین، در رسوبات منطقه بیشترین تجمع مربوط به عنصر مس بود.

واژه‌های کلیدی: انترومورفا، بوشهر، جلبک سبز، فلزات سنگین.

مقدمه

فلزات جزء مفیدترین مواد و اولین عناصری هستند که انسان شناخت و مهمترین نقش را در توسعه تمدن ایفا کرده‌اند. اما در طول استفاده از فلزات، خوردگی، سائیدگی و زنگ زدگی رخ می‌دهد که به محیط زیان می‌رساند. در بسیاری از موارد، استفاده از مواد حاوی فلز منجر به آزاد شدن مستقیم فلز در محیط می‌شود (زاهد، ۱۳۷۹).

علاوه بر استفاده مستقیم از فلزات، فعالیت‌های دیگر انسان نیز در محیط آلودگی فلزی ایجاد می‌کند. برای مثال، سوزاندن سوخت فسیلی بنزین (حاوی مواد افزودنی) منبع صدور فلزات به محیط می‌باشد. علی‌رغم منابعی با وسعت زیاد، اغلب آلوده‌کننده‌های فلزی سرانجام به آب‌های سطحی و زیرزمینی منتهی می‌شود (زاهد، ۱۳۷۹).

به علت پایداری زیست محیطی فلزات سنگین و افزایش استفاده از این مواد، مشکل آلودگی حاصل از آنها یکی از مهمترین معضلات زیست محیطی بشر «به خصوص در محیط‌های آبی» شده است (Wang and Chen, 2006).

معمولاً، آلودگی فلزات به صورت محلول یا سوسپانسیون است و از آنجا که تجمع فلزات در اندام‌های مختلف موجودات دریایی، برگشت ناپذیر می‌باشد، در نهایت یا رسوب کرده و یا به وسیله موجودات جذب می‌شود. فلزاتی که تجزیه یا دفع نشوند در بدن موجود باقی مانده و به طور مستمر انباشته و مقدار آن به تدریج بیشتر می‌شود. این پدیده به‌عنوان تجمع زیستی^۱ شناخته شده است. اگر حیواناتی از انباشته‌کننده‌های زیستی^۲ که غنی از مواد پایدارند تغذیه کنند و به طور معمول، آنها هم

قادر به دفع این مواد نباشند در بدن آنها مقدار بیشتری از این مواد انباشته می‌شود. این پدیده، بزرگنمایی زیستی^۳ نامیده می‌شود (درویش بلورانی، ۱۳۸۶).

امروزه، استفاده از موجودات دریایی به‌عنوان شاخص پایش زیستی فلزات سنگین در دریاها، یک امر متداول است (Tuzen et al., 2008).

بیشترین تاثیرات انسان ساخت در آلودگی با فلزات سنگین ناشی از تخلیه فاضلاب‌های صنعتی، شهری، محلی، منابع غیر نقطه‌ای، رواناب‌های کشاورزی، باران‌های جوی و ضایعات حفاری معادن است که از منابع اصلی ورود فلزات سنگین به اکوسیستم‌های آبی است. لذا، میزان انباشتگی و تجمع فلزات سنگین در ماکرو جلبک‌ها بیش از رسوبات و در آب کمترین مقدار را می‌باشد.

در سال ۲۰۰۷ عبدالله، جذب زیستی فلزات سنگین در بیوتا و رسوبات ساحل جنوب غربی دریای مدیترانه و مصر، را بررسی کرد. وی غلظت‌های زیادی از عناصر Fe, Cu, Co, Zn, Mn و Cd را در جلبک‌های بزرگ *Entromorpha compressa* (جلبک *Ulva lactuca* (جلبک‌های سبز) و *Jania rubens* (جلبک قرمز) را به جز برای Cd گزارش کرد. بندر El-mex بیشترین غلظت فلزات را در رسوبات داشت که به ترتیب فراوانی $Co < Cd < Cu < Mn < Zn < Fe$ بودند. تغییرپذیری زیاد در سطوح فلزات در میان جلبک‌ها و بیوتای مطالعه شده و بین بندرهای مطالعه شده، وجود داشت. همچنین، روابط قابل توجه همبستگی برای هر کدام از Zn و Fe بین دوکفه‌ای‌ها و رسوبات سطحی یافت شد.

در سال ۱۳۸۵، نگارنده مقاله و همکاران به بررسی روند تغییرات فلزات سنگین (Zn, V, Pb, Ni, Cu, Cd) در آب و

1- Bioaccumulation
2- Bioaccumulator

3- Biomagnification

جلبک‌های ساحلی جزیره کیش پرداختند نتایج حاصل نشان داد که میزان غلظت آب‌ها در فصول سرد سال بیشتر از فصول گرم بود و این می‌توانست ناشی از فعالیت‌های بیولوژیکی باشد. در کل، روند تغییرات غلظت فلزات در رسوبات حاکی از آن بود که غلظت، Ni، Pb، Zn بیشتر از Cu و بیشتر از V، Cd نشان داد و کلاً میزان غلظت فلزات در ایستگاه‌هایی که ساختار گلی و ماسه‌ای نرم داشتند بیشتر بود. در مقایسه با ایستگاه‌هایی با ساختار شنی و سنگی کلاً تفاوت معنی‌داری بین ایستگاه‌های مختلف دارای ساختار رسوبی متفاوت مشاهده شد. میزان جذب فلزات به وسیله جلبک‌ها نیز نشان داد که گونه‌های مختلف جلبکی توانایی جذب فلزات مختلف را دارند. به طوری که گونه‌های مختلف، به عنوان شاخص آلودگی فلزات متفاوتی می‌توانند باشند (Dadolahi, 2006).

در سال ۲۰۰۲ آقای چان و همکاران، جذب Zn، Cr، Cd را به واسطه جلبک بزرگ *Entromorpha* بررسی کردند. نتایج نشان داد که جلبک‌های دریایی بزرگ می‌توانند فلزات را خارج از آب شور به طور قابل توجهی انباشته کنند، بنابراین، نقش مهمی را در وارد کردن فلزات در شبکه‌های غذایی دریایی ایفا می‌کنند. همچنین، مشخص شد جذب فلزات در جلبک‌های بزرگ به طور خطی پیشرفت کرده و مستقیماً با غلظت فلزی در آب‌های دریایی محیطی متناسب بود. جلبک‌های بزرگ فراوانی آمونیوم و نیترات انباشتنی Cd را افزایش داد، در حالی که مواد مغذی بر انباشتنی Cr تاثیر گذاشت.

ویژگی‌های جلبک سبز *Entromorpha intestinalis*
Phylum : Chlorophyta
Family : Ulvaceae
Entromorpha intestinalis

پراکنش این جلبک در آب‌های خلیج فارس شامل آب‌های ایران، کویت و بحرین می‌باشد. این گونه متعلق به جلبک‌های سبز می‌باشد و در قسمت‌های بالای ساحلی (*Upper tidal area*) و آب‌های گرم در خلال فصل‌های پاییز، زمستان، بهار و تابستان زیست می‌کند. این جلبک را می‌توان در آب‌های شیرین، دریاچه‌ها و مصب‌ها مشاهده کرد. مهمترین ویژگی‌هایی که سبب آلودگی فلزات سنگین می‌شوند:

- پایداری یا تجزیه ناپذیری بیولوژیکی آنها
- امکان تجمع پذیری بیش از حد در برخی از بافت‌های بدن انسان و دیگر جانداران
- توانایی ورود به زنجیره غذایی
- امکان تشکیل کمپلکس‌های پایدار با لیگاندهای آلی
- تجمع، پایداری و تداوم افزایش غلظت: مثلاً غلظت جیوه Hg در بدن ماهی می‌تواند بین ۳۰ تا ۱۰۰۰ برابر غلظت آن در آبی باشد که ماهی در آن زندگی می‌کند.

اثرات عمده فلزات مورد مطالعه بر انسان

Cd: کادمیوم فلزی نرم به رنگ سفید نقره ای براق، زود گداز، با جرم اتمی ۱۱۲/۴۱ گرم، نقطه جوش ۷۶۷ درجه سانتی گراد و نقطه ذوب ۳۲۰/۹ درجه سانتی گراد بوده و از لحاظ بیولوژیکی غیر ضروری و دارای قدرت سمی بالا می‌باشد همچنین، در قسمت‌های مختلف بدن رسوب می‌کند و عوارض آن شامل:

- تخریب مغز استخوان و جایگزینی به جای کلسیم استخوان
- پیدایش علائم نورولوژیک (معروف به ایتای ایتای)
- پیدایش حلقه‌های زرد میان دندان‌ها و لثه‌ها
- کاهش حس بویایی

- کاهش تعداد گلبول‌های قرمز خون

- تخریب مغز استخوان و نرم و مچاله شدن اسکلت بدن (مچاله شدن اسکلت بدن تا حد ۳۰ سانتیمتر مشاهده شده است)

Ni: نیکل فلزی درخشان و سفید رنگ، با عدد اتمی ۲۸، جرم اتمی ۵۸/۷ گرم، نقطه جوش 2730°C و نقطه ذوب آن 1453°C است. به طور کلی، نیکل فلزی فرومغناطیس است که بیشتر به صورت کاتالیزور استفاده میشود. نیکل در محیط زیست به دو شکل اکسیداسیونی انتشار گسترده‌ای داشته است. غالب‌ترین شکل اکسیداسیونی نیکل در فلز نیکل و دیگر آلیاژهای آن به صورت محلول و غیرمحلول است (دبیری، ۱۳۷۹) و عوارض آن شامل: آلرژی، سرطان، اختلالات تنفسی و مسمومیت‌های ایاتروژنیک (در بیماران که تحت عمل همودیالیز قرار دارند)

Pb: سرب عنصری خاکستری رنگ و نرم با جرم اتمی ۲۰۷/۲۱ گرم می‌باشد. نقطه جوش و ذوب آن به ترتیب ۱۷۴۰ درجه سانتیگراد و $327/4$ درجه سانتیگراد است. این عنصر تقریباً ۰/۰۰۲ درصد از پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. سرب از نظر انتشار، گسترده‌ترین عنصر سنگین و سمی در محیط زیست است که به ویژه از زمان مصرف آن در بنزین پراکنش بسیار وسیعی در سطح جهان دارد. به طوری که، از یخ‌های قطبی تا رسوبات اعماق دریاها می‌توان اثرات آن را دید ولی سنگ معدن اصلی آن به صورت سولفید می‌باشد و اصطلاحاً گالنا (*Galena*) نام دارد که در بسیاری از نقاط دنیا به دست می‌آید. سرب بعد از جذب در مدت طولانی می‌تواند به دیگر قسمت‌های بدن برسد و عواقبی نظیر تب و کم خونی را به وجود آورد. کم خونی اولین نشانه در آلودگی سرب است چون سرب

در جلوگیری از ساخت پروتئین ضروری هم (*Heme*)، ماده اصلی تشکیل دهنده هموگلوبین دخالت می‌کند، در نتیجه، مقدار هم به وسیله سلول‌های قرمز خون کاهش می‌یابد (دبیری، ۱۳۷۹).

Cu: مس یک عنصر ضروری در متابولیسم بدن به ویژه در آزاد سازی آهن، رشد استخوان، سیستم عصبی مرکزی و بافت پیوندی است. مس معمولاً با پروتئین‌ها ترکیب می‌شود، به عنوان عنصر ضروری در ساختمان پلاسماهای خون است، همچنین، متالوتئین یک پروتئین ذخیره‌ای مس است (EPA, 1994). جذب زیاد مس در انسان باعث خوردگی شدید مخاطی، آسیب گسترده مویرگی، دستگاه گوارشی و سیستم عصبی مرکزی شده و منجر به افسردگی می‌شود. تماس نمک‌های مس باعث آسیب جدی به پوست می‌شود و تماس موضعی مس با چشم با التهاب همراه است. (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱)

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری‌ها در منطقه جزر و مدی سواحل بوشهر و در ۵ ایستگاه انجام شد که تعداد نمونه‌ها در هر ایستگاه ۸ نمونه و در کل ۴۰ نمونه در هر فصل می‌باشد. بنابراین، در دو فصل ۸۰ نمونه بوده که در هر نمونه میزان ۴ عنصر سنگین (Cd، Cu، Pb، Ni)، اندازه‌گیری شد. همچنین، آنالیز نمونه‌ها بر اساس روش راپمی و با دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی *unicam* مدل ۹۱۹ سنجش شد.

نمونه برداری از جلبک به صورت برداشت با دست و با استفاده از کواردات با ابعاد ۵۰ در ۵۰ سانتیمتر انجام شد (Dawes, 1998). برای جلوگیری از هرگونه آلودگی در جریان نمونه‌برداری، از ظروف پلی اتیلنی استفاده شد. کلیه

ظروف مورد استفاده نیز از قبل در اسید نیتریک ۱۰٪ به مدت ۲۴ ساعت غوطه ور شدند و سپس با آب دو بار تقطیر شستشو و آنگاه استفاده شدند. در هر ایستگاه در زمان جزر و مد، از منطقه بین جزر و مدی جلبک‌های غالب چسبیده به بستر نمونه‌برداری شدند. بعد از نمونه‌برداری جلبک‌ها در آب دریا شسته شده سپس، در ظروف پلی اتیلنی که دارای مشخصات ایستگاه، زمان نمونه‌برداری و نوع جلبک بود، ذخیره شدند (Ganesan et al., 1991).

نمونه‌برداری رسوبات نیز از همان ایستگاه‌هایی انجام شد که نمونه‌های جلبک برداشت شده بود. نمونه‌های رسوب از لایه سطحی ۵-۰ سانتیمتری جمع‌آوری و در ظروف پلی اتیلنی اسید شویی شده و ذخیره شدند (Tariqet al., 1993). سپس، کلیه این ظروف در یخدان با دمای کمتر از ۴ درجه سانتیگراد نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه نمونه‌های جلبک را با آب دو بار تقطیر شستشو داده سپس، تمامی نمونه‌ها را در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت خشک کردیم. پس از خشک شدن، نمونه‌ها را در هاون شیشه‌ای پودر کرده و در ظروف پلاستیکی مخصوص ذخیره کردیم. برای نمونه‌های رسوب نیز به روش بالا عمل کرده و پس از خشک کردن با استفاده از الک ۶۳ به صورت همسان درآمده و در هاون شیشه‌ای پودر شدند و در نهایت، همچون نمونه‌های جلبک در ظروف پلی اتیلنی قرار گرفتند (Ganesan et al., 1991; Rajendran et al., 1993). برای هضم نمونه‌های جلبک حدود ۱ گرم از جلبک پودر شده را با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری و عمل هضم شیمیایی با ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ (Merck) انجام شد. پس از گذشت حدود یک

شب (حداقل ۱۲ ساعت) به منظور انجام عمل هضم مقدماتی در دمای اتاق، نمونه‌ها برای هضم کامل روی دستگاه صفحه داغ در دمای ۱۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵ ساعت قرار گرفتند. پس از اتمام عمل هضم نمونه‌ها، هنگامی که محلول تقریباً شفاف باقی مانده بود، قبل از خشک شدن کامل از روی صفحه داغ برداشته سپس، به نمونه‌ها ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۱۰ درصد اضافه شد. آن گاه نمونه‌ها در بالن حجمی ۲۵ میلی لیتر با فیلتر واتمن شماره ۴۲ صاف شده و با آب دو بار تقطیر به حجم رسانده شد، سپس در ظروف شیشه‌ای منتقل شده و تا زمان تزریق به دستگاه جذب اتمی، در دمای کمتر از ۴ درجه سانتیگراد در یخچال قرار گرفتند (Rajendran et al., 1993).

برای هضم شیمیایی نمونه‌های رسوب ۱ گرم از نمونه‌ها را برداشته و ۸ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ (Merck) را به آرامی به آن اضافه کرده و در ادامه ۲ میلی لیتر اسید کلریدریک را با احتیاط به نمونه‌ها افزوده تا نمونه‌ها هضم شدند. پس از گذشت حداقل یک شب (۱۲ ساعت) به منظور انجام عمل هضم مقدماتی در دمای اتاق، نمونه‌ها برای هضم کامل روی دستگاه صفحه داغ در دمای ۱۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵ ساعت قرار گرفتند. پس از اتمام عمل هضم نمونه‌ها و هنگامی که محلول تقریباً شفاف باقی مانده بود قبل از خشک شدن محلول، از روی صفحه داغ برداشته و به نمونه‌ها ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۱۰ درصد اضافه شد. آن گاه، نمونه‌ها به بالن حجمی ۲۵ میلی لیتر به وسیله فیلتر واتمن شماره ۴۲ صاف و با آب دو بار تقطیر به حجم رسانده شد. بعد از این مرحله نمونه‌ها با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شده سپس، به ظروف شیشه‌ای منتقل و تا زمان تزریق به

دستگاه جذب اتمی، در دمای کمتر از ۴ درجه سانتیگراد در یخچال قرار گرفتند (Al-Abdali et al., 1996).

نتایج

میانگین میزان نیکل در رسوبات ایستگاه‌های مختلف ۲۰/۱۹۸ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود. حداقل میزان آن ۱۸/۴۵ مربوط به ایستگاه شهرداری و حداکثر آن ۲۴/۶۵ مربوط به ایستگاه پایگاه هوایی به دست آمد. میانگین میزان سرب در رسوبات ایستگاه‌های مختلف ۲۲/۸۹۲ میکروگرم بر گرم وزن خشک تعیین شد. حداقل میزان آن ۲۰/۳۳ مربوط به ایستگاه نیروگاه هوایی و حداکثر آن ۲۶/۵۷ مربوط به ایستگاه بندرگاه بود. میانگین میزان کادمیوم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف ۰/۶۴۲ میکروگرم بر گرم وزن خشک تعیین شد. حداقل میزان آن ۰/۴۹ مربوط به ایستگاه بندرگاه و حداکثر آن ۰/۷۴ مربوط به ایستگاه شهرداری به دست آمد. میانگین میزان مس در رسوبات ایستگاه‌های مختلف ۲۳/۳۶۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک معین شد. حداقل میزان آن ۲۱/۸۴ مربوط به ایستگاه بندرگاه و حداکثر آن ۲۶/۵۷ مربوط به ایستگاه نیروگاه هوایی بود (جدول ۱).

میانگین میزان نیکل در جلبک سبز *Intestinalis* و *Enteromorpha* در ایستگاه‌های مختلف ۲/۶۷

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در رسوب و جلبک از نرم افزار SPSS(11) به منظور آنالیز و از نرم افزار Excel برای رسم نمودارها استفاده شد.

در SPSS برای بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین غلظت فلزات در رسوبات در ایستگاه‌های مختلف و وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین غلظت فلزات در جلبک‌ها در ایستگاه‌های مختلف از آنالیز واریانس یک طرفه ANOVA استفاده شد همچنین، برای بررسی اینکه بین کدام ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد از آزمون Duncan به کار رفت. به منظور مقایسه غلظت فلزات در دو فصل بهار و تابستان از آزمون *t-test* مستقل استفاده شد، همچنین، برای بررسی ارتباط بین غلظت فلزات (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در رسوبات و جلبک‌ها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

جدول ۱- میانگین میزان عناصر سنگین (میکروگرم بر گرم وزن خشک) رسوبات در ایستگاه‌های مختلف

ایستگاه / فلز	Ni	Pb	Cd	Cu
شهرداری	۱۸/۴۵ ± ۱/۶۶	۲۱/۷۷ ± ۰/۵۸	۰/۷۴ ± ۰/۱۰	۲۳/۳۷ ± ۱/۰۱
پایگاه هوایی	۲۴/۶۵ ± ۰/۹۳	۲۵/۲۵ ± ۰/۹۷	۰/۶۴ ± ۰/۱۹	۲۳/۷۷ ± ۱/۸۷
دانشگاه	۱۸/۴۸ ± ۱/۳۹	۲۰/۵۴ ± ۱/۳۷	۰/۶۱ ± ۰/۱۳	۲۲/۲۸ ± ۱/۷۴
نیروگاه اتمی	۱۹/۸۰ ± ۲/۱۰	۲۰/۳۳ ± ۱/۶۴	۰/۷۳ ± ۰/۱۹	۲۵/۵۷ ± ۳/۲۳
بندرگاه	۱۹/۶۱ ± ۱/۳۷	۲۶/۵۷ ± ۰/۸۷	۰/۴۹ ± ۰/۰۷	۲۱/۸۴ ± ۱/۶۱
میانگین	۲۰/۱۹۸ ± ۱/۳۷	۲۲/۸۹۲ ± ۱/۱۷	۰/۶۴۲ ± ۰/۰۴	۲۳/۳۶۶ ± ۱/۰۷
حداقل	۱۸/۴۵ ± ۱/۶۶	۲۰/۳۳ ± ۱/۶۴	۰/۴۹ ± ۰/۰۷	۲۱/۸۴ ± ۱/۶۱
حداکثر	۲۴/۶۵ ± ۰/۹۳	۲۶/۵۷ ± ۰/۸۷	۰/۷۴ ± ۰/۱۰	۲۵/۵۷ ± ۳/۲۳

میکروگرم برگرم وزن خشک بود. حداقل میزان آن ۱/۶۸ مربوط به ایستگاه دانشگاه و حداکثر آن ۳/۱۳ مربوط به ایستگاه پایگاه هوایی بود. میانگین میزان سرب در ایستگاه‌های مختلف ۴/۳۵ میکروگرم برگرم وزن خشک بود. حداقل میزان آن ۳/۷۱ مربوط به ایستگاه دانشگاه و حداکثر آن ۴/۸۵ مربوط به ایستگاه پایگاه تعیین شد. میانگین میزان کادمیوم در ایستگاه‌های مختلف ۰/۸۳ میکروگرم برگرم وزن خشک، حداقل میزان آن ۰/۳۱ مربوط به ایستگاه بندرگاه و حداکثر آن ۱/۹۰ مربوط به ایستگاه دانشگاه معین شد. میانگین میزان مس در ایستگاه‌های مختلف ۳/۵۳ میکروگرم برگرم وزن خشک مشخص شد و حداقل میزان آن ۲/۷۷ مربوط به ایستگاه پایگاه هوایی و حداکثر آن ۴/۲۲ مربوط به ایستگاه شهرداری بود (جدول ۲).

بحث و نتیجه‌گیری

طی سالیان اخیر، به دلیل گسترش فعالیت‌های صنعتی که افزایش آلودگی‌های زیست محیطی را به همراه دارد،

توجه بسیاری از محققین به این موضوع و نتایج زیست محیطی آن معطوف شده، به طوری که مطالعات فراوانی در این زمینه انجام شده است. یکی از مهمترین مباحث آن آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های دریایی است که عدم کنترل آن، آسیب‌های بزرگی در پی دارد. بنابراین، خلیج فارس نیز به دلیل داشتن صنایع بزرگ صنعتی در سواحل خود در معرض شدید آلودگی‌های صنعتی قرار می‌گیرد که عدم کنترل و توجه به این موضوع پیامدهای جبران ناپذیری دارد.

یکی از مهمترین روش‌های بررسی فلزات سنگین، استفاده از پایشگرهای زیست محیطی است. از آنجاکه، پایشگرهای زیست محیطی همواره در محیط زیست حضور دارند و به صورت مستمر در معرض آلودگی‌های زیست محیطی و سایر پارامترهای محیط هستند، می‌توانند شاخص مناسبی به منظور بیان کیفیت محیط زیست از نظر آلودگی فلزات سنگین باشند. تاکنون، از شاخص‌های گوناگونی برای بررسی فلزات سنگین در محیط آبی استفاده شده که شامل آب دریا، جانوران، گیاهان دریایی و رسوبات

جدول ۲- میانگین میزان عناصر سنگین (میکروگرم برگرم وزن خشک) جلبک سبز *Enteromorpha Intestinalis* در ایستگاه‌های مختلف

فلز ایستگاه	Ni	Pb	Cd	Cu
شهرداری	۲/۷۵ ± ۰/۳۹	۴/۲۶ ± ۰/۴۵	۰/۵۶ ± ۰/۲۷	۴/۲۲ ± ۰/۶۵
پایگاه هوایی	۳/۱۳ ± ۰/۳۸	۴/۸۵ ± ۰/۵۳	۰/۷۵ ± ۰/۳۳	۲/۷۷ ± ۰/۹۵
دانشگاه	۱/۶۸ ± ۰/۴۰	۳/۷۱ ± ۰/۲۷	۱/۹۰ ± ۰/۲۶	۳/۹۷ ± ۰/۰۹
نیروگاه اتمی	۳/۰۱ ± ۰/۴۶	۴/۱۷ ± ۰/۶۳	۰/۶۷ ± ۰/۴۱	۳/۲۲ ± ۰/۳۷
بندرگاه	۲/۷۹ ± ۰/۲۲	۴/۷۸ ± ۰/۹۲	۰/۳۱ ± ۰/۱۰	۳/۱۴ ± ۰/۷۰
میانگین	۲/۶۷ ± ۰/۳۷	۴/۳۵ ± ۰/۵۶	۰/۸۳ ± ۰/۲۷	۳/۵۳ ± ۰/۵۵
حداقل	۱/۶۸ ± ۰/۴۰	۳/۷۱ ± ۰/۲۷	۰/۳۱ ± ۰/۱۰	۲/۷۷ ± ۰/۹۵
حداکثر	۳/۱۳ ± ۰/۳۸	۴/۸۵ ± ۰/۵۳	۱/۹۰ ± ۰/۲۶	۴/۲۲ ± ۰/۶۵

به عنوان شاخص های کلی پایش فلزات سنگین در محیط‌های دریایی هستند.

نتایج این تحقیق نشان داد که در رسوبات بیشترین میزان Ni، Pb، Cd و Cu به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های پایگاه هوایی، بندرگاه، شهرداری و نیروگاه اتمی بوده و میزان تجمع فلزات سنگین در رسوبات به صورت $Cd < Ni < Pb < Cu$ بود بنابراین، در مجموع رسوبات بیشترین میزان مس و کمترین میزان کادمیوم را جذب کرده‌اند (جدول ۳).

میزان Cd مربوط به ایستگاه دانشگاه بوده که دلیل اصلی آن وجود صخره‌های فسفات در منطقه مورد نظر و بیشترین میزان Cu در ایستگاه شهرداری بر اثر ورود فاضلاب‌های شهری به سواحل این منطقه می‌باشد، که نتایج تحقیقات قمرزاده (۱۳۸۵) در این منطقه تایید کننده این مهم است. میزان تجمع فلزات سنگین در این جلبک به صورت $Cd < Ni < Cu < Pb$ بوده، بنابراین این جلبک بیشترین تجمع سرب و کمترین تجمع کادمیوم را داشته است. همچنین، نتایج فعالیت‌های پژوهشی نگارنده مقاله و همکاران در سال ۲۰۰۶ تایید کننده مراتب فوق می‌باشد. براساس نظر ایشان نیز جذب فلزات سنگین (مس، سرب و نیکل) در جلبک‌های سبز بیش از قهوه‌ای و در جلبک‌های قهوه‌ای بیشتر از جلبک‌های قرمز است. ضمناً، که جذب فلز کادمیوم در جلبک‌های قهوه‌ای بالاتر از جلبک‌های قرمز و در جلبک‌های قرمز نیز میزان جذب فلز بیش از جلبک‌های سبز بود در نتیجه، از این جلبک سبز می‌توان به عنوان پایشگر (که شاخص مناسبی برای بیان کیفیت محیط از نظر آلودگی فلزات سنگین است) و انباشت کننده زیستی فلز سرب در رتبه اول و فلزات مس و نیکل در رتبه‌های بعدی در پساب‌های صنعتی صنایع و معادنی که حاوی حجم بالایی از این فلزات است، استفاده کرد.

پس از بررسی تمام نمونه‌های رسوب و جلبک، این نتیجه بدست آمد که به طور مشترک در تمامی نمونه‌ها بیشترین میزان فلزات سنگین به ترتیب مربوط به سرب و مس و کمترین آن مربوط به نیکل و کادمیوم بوده که از میان ۴ فلز سنگین، کادمیوم کمترین میزان تجمع را در نمونه‌ها داشته است و دلیل آن را می‌توان وجود الکترونگاتیوی کمتر کادمیوم در مقایسه با سه فلز دیگر

جدول ۳- نتایج حاصل از آنالیز واریانس یک طرفه برای

Intestinalis Enteromorpha

فلزات	df	Sig	F	ایستگاه‌ها
Ni	۴	.۰/۳۰ P>.۰/۰۵	۱/۲۹۲	اختلاف معنی دار ندارند
Pb	۴	.۰/۳۳۱ P>.۰/۰۵	۱/۲۱۱	اختلاف معنی دار ندارند
Cd	۴	.۰/۰۲۶ P<.۰/۰۵	۳/۳۲۷	اختلاف معنی دار دارند
Cu	۴	.۰/۰۴۷ P<.۰/۰۵	۲/۸۰۴	اختلاف معنی دار دارند

Cd بین ایستگاه ۳ با ایستگاه‌های ۱ و ۵ اختلاف معنی داری در سطح $P < ۰/۰۰۵$ مشاهده شد.

Cu بین ایستگاه ۱ با ایستگاه‌های ۲ و ۴ و ۵ و نیز بین ایستگاه ۲ با ایستگاه ۳ در سطح $P < ۰/۰۰۵$ اختلاف معنی داری دیده می‌شود. طبق آزمون t-test بین دو فصل بهار و تابستان اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

در جلبک سبز *Enteromorpha* بیشترین میزان Ni و Pb مربوط به ایستگاه پایگاه هوایی بوده که یکی از مهمترین دلایل آن رهاسازی فاضلاب‌های منطقه پایگاه هوایی در این ایستگاه و نزدیکی به جاده بدست آمد. همچنین، بیشترین

دانست که باعث جذب کمتر آن در جلبک شده است. در مبحث جذب زیستی فلزات سنگین، همواره دو مسیر عمده برای ورود به درون گیاه وجود دارد. اول، ورود ماده آلاینده از طریق فضای برون سلولی و دیواره سلولی است که معکوس پذیر بوده و با سرعت بالا به وقوع می پیوندد. دوم، از طریق غشاء سلولی است که به صورت آهسته، با صرف انرژی و غیر قابل برگشت است و چون فلزی همچون سرب از مسیر اول و کادمیوم از مسیر دوم به درون بافت گیاه نفوذ کرده و در آنها انباشته می شود در نتیجه، بیشترین میزان سرب و کمترین میزان کادمیوم را در جلبک خواهیم داشت.

نتایج به دست آمده در رسوبات کم و بیش با نتایج جلبک *Enteromorpha* قابل تطبیق بوده که شامل این موارد است:

در فصل تابستان رابطه معنی داری (در سطح ۰/۰۱) بین غلظت فلزات در رسوبات و جلبک سبز *Enteromorpha* مشاهده شد. در کل دوره (بهار و تابستان) رابطه معنی داری (در سطح ۰/۰۵) بین رسوبات و این جلبک مشاهده شد. (جدول ۴). غلظت فلزات در رسوبات و جلبک *Enteromorpha* بین دو فصل بهار و تابستان هیچ گونه اختلاف معنی داری نداشت. اختلاف بسیار کمی که بین این دو فصل وجود دارد، مربوط به پدیده تجمع زیستی در فلزات است زیرا با گذشت زمان میزان تجمع فلزات در جلبک ها و رسوبات افزایش یافته است. لذا، در فصل تابستان که بعد از

بهار قرار دارد میزان تجمع فلزات سنگین در رسوبات و جلبک ها کمی افزایش پیدا کرده لیکن، این اختلاف در حد معنی داری نیست.

در مطالعه ای که به وسیله حمید قمر زاده در سال ۱۳۸۶ روی جلبک ها در ۴ فصل در همین منطقه بوشهر انجام شد، در دو فصل پاییز و زمستان (فصول سرد) میزان تجمع فلزی بیشتری نسبت به دو فصل بهار و تابستان (فصول گرم) وجود داشت که علت آن را افزایش بارندگی و نزولات جوی در فصول سرد عنوان کرده اند و فلزات سنگین در آب های ساحلی را از طریق رواناب های سطحی افزایش داده که از خشکی ها و زمین های اطراف صنایع، جاده ها و غیره حجم بالایی از آلاینده ها به خصوص فلزات سنگین را به نواحی ساحلی سرازیر می کنند. به علاوه، دلیل دیگر آن را کاهش دما و انرژی نورانی خورشید در فصول سرد دانسته که باعث کاهش فیتوپلانکتون ها در سواحل شده است. در نتیجه، جلبک ها در مجاورت حجم بیشتری از فلزات قرار گرفته و چون « در فصل سرما، سوخت و ساز در گیاهان کاهش می یابد بنابراین، در کل باعث جذب و انباشت بیشتری از فلزات سنگین خواهد شد» (Strezov & Nonova; 2005). در نتیجه، برای به دست آوردن اختلاف معنی دار در رسوبات و جلبک ها بهتر است که این مطالعات در دو فصل سرد و گرم سال صورت گیرد.

جدول ۴- میانگین میزان عناصر سنگین (میکروگرم بر گرم وزن خشک) *Enteromorpha ntestinalis* در دو فصل

فلز فصل	Ni	Pb	Cd	Cu
تابستان	۲/۷۶ ± ۰/۲۵	۴/۶۶ ± ۰/۳۳	۰/۸۳ ± ۰/۱۵	۳/۶۴ ± ۰/۱۹
بهار	۲/۵۹ ± ۰/۲۷	۴/۰۴ ± ۰/۱۴	۰/۵۲ ± ۰/۱۴	۳/۲۸ ± ۰/۳۵

پیشنهادات و راهکارها

نهایت بتوان با داشتن یک تصویر درست از وضعیت زیست محیطی منطقه میزان و نوع آلودگی‌های زیست محیطی منطقه بوشهر را ارزیابی کرد.

- با توجه به اینکه ایستگاه بندرگاه محل تردد و تعمیر لنج‌ها و قایق‌های موتوری است، بهتر است با ارائه خدمات مناسب و استاندارد به آنها در ایستگاه‌های استقرار مشخص و تازه تاسیس میزان آلودگی را کاهش داد.

- انجام تحقیقات و کارهای پژوهشی طی سالیان متوالی در منطقه بوشهر به منظور بررسی روند تغییرات آلاینده‌های مختلف. - بررسی بافت زمین شناسی و رسوب شناسی سواحل بوشهر تا بتوان در بررسی منشاء آلودگی‌های منطقه از اطلاعات به دست آمده استفاده کرد.

- جلوگیری از تخلیه زباله در منطقه ساحلی بوشهر که شیرابه خروجی آن ممکن است، حاوی عناصر سمی باشد و علاوه بر آلودگی زیست محیطی، سلامت و بهداشت عمومی را به مخاطره اندازد.

- استقرار سیستم مدیریت زیست محیطی در مناطق ساحلی و دریایی و دریافت گواهینامه‌های زیست محیطی از مراجع مربوطه.

- تشویق سازمان‌ها به منظور ایجاد یک رویکرد عمومی در زمینه مدیریت زیست محیطی.

- تعیین فهرست منابع آلاینده محیط زیست دریایی و اولویت‌بندی آنها که یکی از وظایف سازمان حفاظت محیط زیست دریایی می‌باشد.

منابع

۱. احمدی فقیه، م. ۱۳۷۸. آشنایی با تکنیک‌های تجزیه و جذب اتمی، مرکز تحقیقات هسته‌ای سازمان انرژی ایران.

- با توجه به اینکه ایستگاه پایگاه هوایی میزان بالایی از فلزات خطرناک نیکل و سرب داشته و حضور این فلزات سلامت زیستی منطقه را تهدید می‌کند لذا، بایستی، راهکارهایی همچون تصفیه فاضلاب‌های رها شده به درون محیط زیست و نیز پایش مستمر فعالیت‌های صنعتی در این ایستگاه در اولویت فعالیت‌های زیست محیطی منطقه قرار گیرد.

- با توجه به اینکه ایستگاه دانشگاه بیشتر مکانی برای تفریح و گذراندن اوقات فراغت می‌باشد، لازم است تا با انجام پایش مستمر این ایستگاه میزان آلودگی‌های مختلف را پایش کرده تا سلامت عمومی این منطقه تامین شود.

- با توجه به اینکه در کنار ایستگاه نیروگاه اجتماعات مسکونی روستایی وجود دارند و البته با آگاهی به اینکه این اجتماعات می‌توانند حجم بالایی از فاضلاب و زباله را به درون سواحل و محیط زیست دریایی منطقه تحمیل کنند، لذا، باید اصول مدیریت پایدار محیط زیست با جدیت بیشتری در این منطقه انجام شود تا سلامت محیط زیست در طولانی مدت تامین شود.

- ایجاد آموزش‌های لازم برای ارگان‌ها و صنایع و ساکنین ساحلی که در حد توان از آلوده کردن آب‌ها جلوگیری کنند. - با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق و لزوم حفظ و کنترل سلامت محیط‌های دریایی لازم است بیش از پیش به نحوه کیفیت پساب‌های ورودی به آب‌های آزاد با در نظر گرفتن محدودیت‌های جدی برای برخی صنایع ضروری توجه شود.

- ایجاد تأسیسات تصفیه برای پساب‌های صنعتی و فاضلاب‌های شهری که آلودگی کمتری وارد محیط دریایی شود.

- بررسی و شناخت نوع و میزان پساب منابع آلاینده متمرکز و غیر متمرکز (که پساب خود را به آب‌های ساحلی می‌ریزند) تا در

11. Dadolahi, A. S. & Savari, A. 2006. "Biomonitoring with Seaweed and Direct Assay of Heavy Metals in Seawater and Sediment of the Kish Island Coast (Northeastern of the Persian Gulf)". International Conference on Coastal Oceanography and Sustainable Marine Aquaculture (ICCOSMA), 2-4 May 2006, by University Malaysia Sabah (UMS).
12. Dennis . apeti . larry robinson and Elitah johanson 2005 . Relathon ships between heavy metal level in the water columen and sediment in a palachi cola bay florida American jornal of environmental science 1(3) - pp179- 186
13. Ganesan, m ., kannan, R ., Rajendran, K ., Govin dasamy ,C., Sam Path Kumar, p., Kannan, L.1991 . Trace metals distribution in seaweeds of the Gulf of Mannar , Bay of Bengal . Marine Pollution Bulletin. 22:205-205.
14. Rajendran, K., Sam Path Kumar, P., Govindasamy, C., Ganesan, M., Kannan, R., Kannan, L. 1993. Levels of the trace metals (Fe,Mn,Cu and Zn) in some Indian seaweeds. Marine pollution Bulletin 26,283-285.
15. Tariq, J., Jaffar, m., Ashraf, M., Moazam, m. 1993. Heavy metal concentration in fish, shrimp, seaweed, sediment and water from the Arabian sea, Pakistan, Marine Pollution Bulletin 26,644-647.
16. Tuzen,M., Verep, B., Ogretmen, A.o., Soy lak, M. 2008. Trace element content in marine algae species from the Black sea, Turkey. Environment Assess DOI 10.1007/s10661-008-0277-7.
17. Wang,J., Chen,C. 2006. Biosorption of metals by Sacharomyces Cerevisia:A review . Biotechnology Advances 24:427-451.
۲. اسماعیلی، س؛ ۱۳۷۹، آلاینده‌ها بهداشت و استاندارد در محیط زیست، انتشارات نقش مهر.
۳. جمالی، ر. ۱۳۸۱. شناسنامه استان بوشهر، مرکز نشر و تحقیقات قلم آشنا، ص ۱۵۷.
۴. دبیری، م، ۱۳۸۵، آلودگی محیط زیست (هوا، آب، خاک، صوت)، انتشارات اتحاد، چاپ چهارم.
۵. درویش بلورانی، ح، ۱۳۸۶، تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین (Hg، Cu، Ni، Cd) در آب و دوکفه‌ای *Saccostrea Cucullata* در مناطق جزر و مدی جزیره هرمز، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و تحقیقات اهواز.
۶. زاهد، م، محمدی دشتکی، ز؛ ۱۳۷۹، آلودگی دریا (تألیف آر، پی، کالارک)، انتشارات نشر مهر و نسق.
۷. فرخیان، ف، سواری، احمد؛ ۱۳۸۰، بررسی میزان آلودگی فلزی در آب و رسوبات تالاب شادگان، اولین همایش بحران‌های زیست محیطی ایران و راه‌کارهای بهبود آنها در واحد علوم و تحقیقات اهواز.
۸. قمر زاده، ح، ۱۳۸۵، بررسی میزان فلزات سنگین (Ni، Cd، Pb، Cu) در ماکرو جلبک‌های سواحل بوشهر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم دریایی واحد شمال.
9. Abdollah, A.M., Abdallah, M.A. 2007. Biomonitoring study of heavy metals in biota and sediments in the South Eastern coast Mediterranean sea, Egypt. Environ Monit Assess DOI 10.1007/s10661-007-0066-8.
10. 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.