استفاده از محتوای کلروفیل جلبکهای *Ulva intestinalis* و *Sargassum angustifolium* به عنوان شاخص زیستی آلودگی فلزی

مصطفی اله وردی[۱]، علی دادالهی سهراب[*۲]، علیرضا صفاهیه[۱]، احمد سواری[۱]

۱. گروه زیست شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر
۲.گروه محیط زیست دریا، دانشکده منابع طبیعی دریا،دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر

چکیده

توانایی دو گونه جلبک ماکروسکوپی *Ulva intestinalis* و *Sargassum angustifolium*در تجمع زیستی فلزات سنگین نیکل، کادمیم، مس و سرب و امکان استفاده از محتوای کلروفیل آنها به عنوان شاخص استرس فلزی مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه های جلبک و رسوب از ۴ ایستگاه ساحلی در محدوده استان بوشهر، در طی دو فصل سرد (بهمن ماه ۱۳۸۷) و گرم (تیر ماه ۱۳۸۸) جمع آوری گردید. فلزات سنگین با کمک اسیدنیتریک غلیظ و داغ (۶۵ درصد)، استخراج و به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شدند. استخراج و اندازه گیری کلروفیل جلبکها نیز با کمک استون (۹۰ درصد) و دستگاه اسپکتروفوتومتر صورت پذیرفت. میانگین غلظت فلزات نیکل، کادمیم، مس و سرب در رسوبات به ترتیب ۳۲/۱۷، ۶/۳۸، ۶/۹۰ و ۴۵/۹۶ میکروگرم در گرم وزن خشک، در جلبک *U.intestinalis* به ترتیب ۲۹/۲۷، ۴/۰۸، ۶/۷۸ و ۳۲/۰۸ میکروگرم در گرم وزن خشک و در جلبک *S.angustifolium* به ترتیب ۱۵/۰۰، ۳/۷۸، ۵/۱۳ و ۱۸/۳۰ میکروگرم در گرم وزن خشک به دست آمد. ضرایب همبستگی پیرسون بین غلظت سرب در رسوبات و جلبک *U.intestinalis* و همچنین بین غلظت سرب و کادمیم در رسوبات و جلبک *S.angustifolium* معنی دار بود. نتایج نشان داد که جلبک *U.intestinalis* در مقایسه با جلبک *S.angustifolium*توانایی بیشتری برای تجمع زیستی فلزات سنگین دارد و جلبک قهوه ای *S. angustifolium*، حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات غلظت فلزات دارد. نتایج نشان داد که تغییرات غلظت کلروفیل در جلبک *S.angustifolium* بهتر می تواند تغییرات غلظت فلزات سنگین در محیط را انعکاس بدهد. همچنین به نظر می رسد تغییرات نسبت کلروفیل ها در هر دو گونه جلبکی (b/a و c/a) تغییرات غلظت فلزات سنگین را در مقایسه با تغییرات غلظت هر یک از کلروفیلهای a، b و c، بهتر منعکس کرده باشد.

واژگان کلیدی: *U. intestinalis*، *S. angustifolium*، تجمع زیستی، فلزات سنگین، کلروفیل، شاخص زیستی.

[۱] *نویسنده مسوول، پست الکترونیک: P_dadolahi@yahoo.com

۱. مقدمه

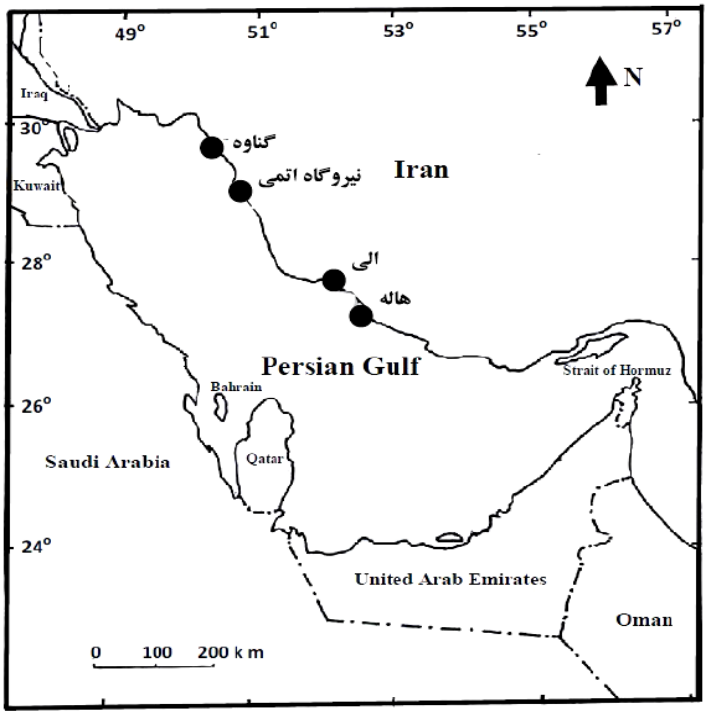
جلبکهای ماکروسکوپی به علت داشتن ویژگیهای منحصر به فردی همچون فراونی و گستردگی مناسب، قرار داشتن در قسمتهای ابتدایی زنجیره غذایی و همچنین بستر زی و ثابت بودن، می توانند در ارزیابی کیفی اکوسیستمهای ساحلی به کار روند (Cardwell et al., 2002). در سطح جهان، جلبکهای سبز و خصوصا گونه های مربوط به جنس *Enteromorpha* و *Ulva*، بیشتر از سایر گونه های جلبکی در تحقیقات مرتبط با پایش زیستی فلزات سنگین در اکوسیستمهای ساحلی مورد استفاده قرار می گیرند. دلایل کاربرد وسیع این جلبکها؛ فراوانی و گسترش مناسب در بسیاری از نقاط ساحلی دنیا، داشتن مورفولوژی و ساختار ظریف، ساده و یکنواخت، سرعت رشد بالا و انعکاس سریع تغییرات آلودگی محیط در مقایسه با بسیاری از گونه های دیگر، ذکر شده است. این گونه ها از نظر غذایی نیز از اهمیت خاصی برخوردارند (Malea et al., 2006; Dhargalkar and Verlecar, 2009). برخی محققان عقیده دارند که گونه های مربوط به جنس *Sargassum* که جزو جلبکهای قهوه ای هستند، مناسب ترین گونه های جلبکی برای پایش زیستی برخی فلزات سنگین به ویژه در مناطق گرمسیری می باشند (Jadeja and Tewari, 2007; Jothinayagi and Anbazhagan, 2009). این جنس از اهمیت غذایی و تجاری زیادی در سطح جهان برخوردار است و از آن ماده تجاری آلژینات که در صنایع مختلف به ویژه غذایی، دارویی و بهداشتی کاربرد دارد، استخراج می شود. این ترکیب نوعی پلی ساکارید است که به وفور در دیواره سلولی جلبکهای قهوه ای یافت می شود و ظرفیت بالایی برای جذب فلزات سنگین دارد (Dhargalkar and Verlecar, 2009).

در موجودات تولید کننده، اثرات سمیت فلزات سنگین ممکن است به صورت جلوگیری از تولید کلروفیل، فتوسنتز و رشد بروز پیدا کند (Baumann et al., 2009). فلزات سنگین با اختلال در زنجیره انتقال الکترون و جایگزین شدن به جای اتمهای منیزیم در مولکولهای کلروفیل، فعالیت فتوسنتز در گیاهان را با نقصان روبرو می سازند (Kupper et al., 1996). بنابراین محتوای کلروفیل گیاهان می تواند از جمله شاخصهای فیزیولوژیک جهت بررسی استرسها از جمله استرسهای با منشا انسانی باشد. برخی محققان عقیده دارند که بررسی نسبت غلظت کلروفیلهای موجود در گیاهان بهتر از بررسی جداگانه غلظت هر یک از کلروفیلها می تواند تغییرات محیطی را نشان بدهد (Zis et al., 2004).هدف از انجام مطالعه حاضر، مقایسه توانایی جلبکهای *U. intestinalis* و *S.angustifolium*در تجمع زیستی فلزات سنگین نیکل، کادمیم، مس و سرب و بررسی امکان استفاده از محتوای کلروفیل آنها به عنوان شاخص استرس فلزی می باشد.

۲.مواد و روش ها

نمونه برداری از جلبکها و رسوبات از چهار ایستگاه در امتداد سواحل جزر و مدی استان بوشهر صورت گرفت. در جدول ۱، مختصات و در شکل ۱، موقعیت ایستگاه های مورد مطالعه مشخص شده است. سعی شد تنها جلبکهای سالم و چسبیده به بستر برداشت شوند. پس از نمونه برداری از جلبکها، نمونه ها با آب دریا شسته و درون کیسه های نایلونی قرار داده شدند. نمونه های رسوب نیز از محل نمونه برداری جلبکها و از لایه سطحی ۵-۰ سانتیمتری برداشت و درون ظروف پلی اتیلنی اسید شویی شده ذخیره شدند. تمام نمونه ها در یخدان و در دمای ۴ درجه سانتیگراد تا زمان انتقال به آزمایشگاه نگهداری شدند. در آزمایشگاه جهت استخراج کلروفیل، ابتدانمونه های جلبک، سه بار با آب مقطر شسته و آبکشی و به کمک هاون چینی کاملا کوبیده شدند. سپس حدود یک گرم از جلبکهای کاملا له شده در لوله های شیشه ای مخصوص دستگاه سانتریفیوژ قرارداده شد و ۱۰سی سی استون۹۰ درصد

به آن اضافه گردید (Dadolahi et al., 2005). لوله ها در محیط تاریک و خنک یخچال حدود ۲ ساعت نگهداری شدند. پس از گذشت این مدت، لوله ها از یخچال خارج شده و پس از رسیدن به دمای اتاقدر دستگاه سانتریفیوژ قرار داده شدند و به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه، سانتریفیوژ شدند. سپس جذب محلول بالایی درون لوله ها به کمک اسپکتروفوتومتر ابتدا در طول موج ویژه کدورت محلول (۷۵۰ نانومتر) و سپس در طول موجهای ویژه کلروفیل a، b و c(جلبکهای سبز دارای کلروفیلهای a و b و جلبکهای قهوه ای دارای کلروفیلهای a و c هستند) یعنی ۶۶۴، ۶۴۷ و ۶۳۰ نانومتر خوانده شد(De Jong et al., 1994). پس از قرائت جذب نمونه ها، میزان غلظت کلروفیلها بر اساس روش Dadolahi و همکاران (۲۰۰۵)، محاسبه گردید.



شکل ۱. موقعیت ایستگاههای مورد مطالعه بر روی نقشه

جدول ۱.موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	جغرافیایی
گناوه	۲۹°, ۳۹′N - ۵۰ °,۲۴′E
نیروگاه	۲۸°, ۵۰′ N - ۵۰°,۵۲′E
الی	۲۷°, ۴۹′ N - ۵۱°, ۵۵′ E
هاله	۲۷°, ۲۴′ N - ۵۲°,۳۸′E

جهت استخراج و اندازه گیری فلزات سنگین، ابتدا نمونه های جلبک با آب مقطر شسته و سپس در آون و در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند (برای رسیدن به وزن ثابت). سپس با کمک هاون چینی کاملا پودر شدند. نمونه های رسوب نیز در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت

کاملا خشک شده و پس از پودر کردن از الک ۶۳ میکرومتری عبور داده شدند. برای هر نمونه حداقل ۳ تکرار در نظر گرفته شد. نمونه ها در ظروف پلی اتیلنی اسید شویی شده و در محلی خشک و خنک تا زمان هضم، نگهداری شدند. هضم نمونه ها بوسیله اسید نیتریک غلیظ و با کمک دستگاه رفلاکس، انجام پذیرفت. حدود یک گرم از هر نمونه با کمک ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۱ گرم) وزن شد و همراه با ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد درون لوله های اسید شویی شده مخصوص دستگاه رفلاکس ریخته شد و جهت انجام هضم مقدماتی به مدت یک شب در دمای آزمایشگاه نگهداری گردید. پس از طی این مدت، جهت هضم کامل نمونه ها، دستگاه رفلاکس روی دمای ۱۴۰ درجه سانتیگراد تنظیم شد و نمونه ها به مدت حدود ۴ ساعت بر روی دستگاه قرار داده شد. پس از اتمام عمل هضم، نمونه ها از کاغذ صافی عبور داده و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شدند. اندازه گیری غلظت فلزات موجود در نمونه ها در آزمایشگاه محیط زیست دانشگاه تهران و با کمک دستگاه جذب اتمی مدل Varian spectra AA-220، صورت گرفت. از نمونه شاهد (محلول حاوی اسید هضم کننده و فاقد نمونه جلبک و رسوب) و نمونه کنترل (محلول حاوی اسید هضم کننده و ماده استاندارد NRCC, Dogfish protein standard reference material DORM-3) نیز جهت بررسی دقت و صحت کار، استفاده گردید (جدول ۲). تجزیه و تحلیل آماری داده های بدست آمده و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار $SPSS_{12}$ و$Excel_{2007}$ انجام پذیرفت (Haritonidis and Malea, 1999; Conti *et al.*, 2003; Morea *et al.*, 2004; AL.Shwafi and Rushdi, 2008).

۳. نتایج

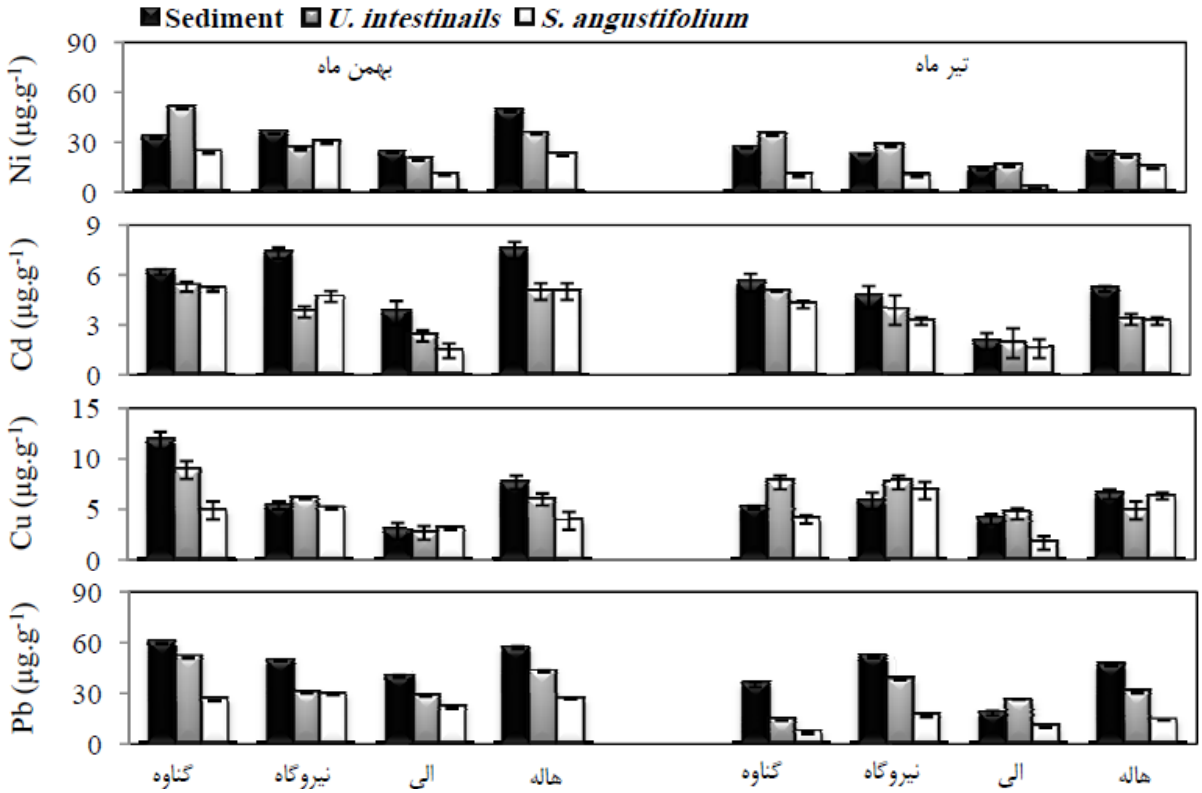
در مطالعه انجام شده از نمونه کنترل جهت بررسی میزان دقت کار استفاده گردید. نتایج آنالیز دستگاهی نمونه کنترل در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. غلظت فلزات سنگین در نمونه استاندارد و درصد بازیافت بر حسب میکروگرم در گرم وزن خشک

فلز	غلظت مرجع	غلظت سنجیده شده	درصد بازیابی
نیکل	۱/۲۸	۱/۱۳	۰/۸۸
کادمیم	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۷۹
مس	۱۵/۵۰	۱۴/۰۰	۰/۹۰
سرب	۰/۴۰	۰/۳۶	۰/۹۰

جهت مقایسه بهتر میزان توانایی جلبکهای نمونه برداری شده در تجمع زیستی فلزات سنگین از شاخص یا فاکتور تجمع زیستی رسوب (Biosediment accumulation factor: BSAF)، استفاده می شود (Lafabrie *et al.*, 2007). این شاخص بیانگر نسبت غلظت فلزات سنگین در جلبکها و رسوبات مرتبط با آنها می باشد. جدول ۳، مقادیر محاسبه شده این شاخص در مطالعه حاضر را نشان می دهد.

برای فهمیدن آنکه کدام یک از دو گونه جلبک نمونه برداری شده تغییرات محیطی از نظر میزان آلودگی به فلزات سنگین را بهتر منعکس کرده اند، می توان از ضرایب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در جلبکها و محیط احاطه کننده آن (رسوب) بهره گرفت. جدول ۴، ضرایب همبستگی بین غظت فلزات سنگین در رسوبات و غلظت فلزات سنگین در جلبکهای *U. intestinalis* و *S. angustifolium* را نشان می دهد.



شکل ۲. میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات و جلبک *U. intestinalis* و *S. angustifolium* در ایستگاههای مختلف در بهمن ماه و تیر ماه را نشان می دهد. همانگونه که دیده می شود، هر دو گونه جلبک نمونه برداری شده به خوبی تغییرات مکانی (ایستگاهی) و زمانی (فصلی) در میزان غلظت فلزات سنگین را نشان داده اند.

جدول ۳. شاخص BSAF در جلبکهای نمونه برداری شده

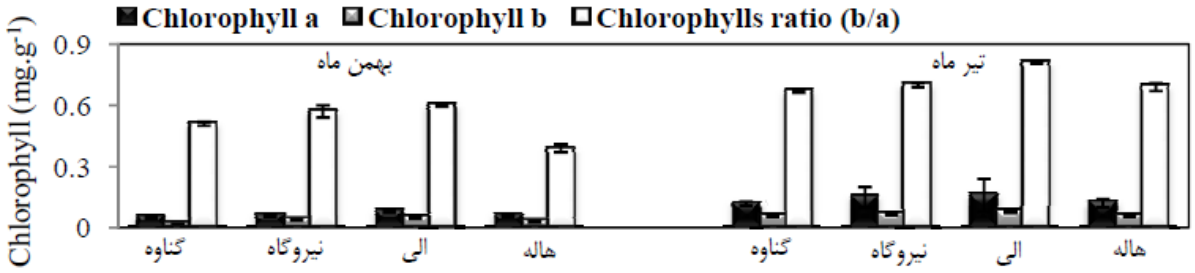
	نیکل	کادمیم	مس	سرب
U. intestinalis	۰/۷۰	۰/۹۸	۰/۶۴	۰/۹۱
S.angustifolium	۰/۴۰	۰/۷۴	۰/۵۹	۰/۴۷

جدول ۴-ضرایب همبستگی پیرسون بین غلظت فلزات سنگین در جلبکها و رسوبات

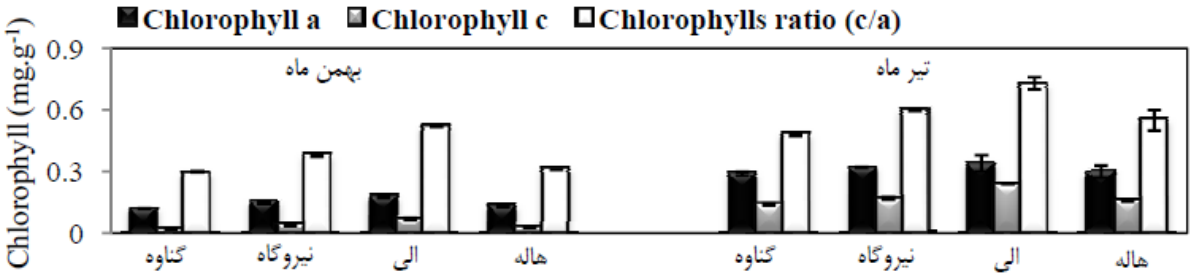
	نیکل	کادمیم	مس	سرب
U. intestinalis–رسوب	۰/۷۱**	۰/۴۸*	۰/۴۹*	۰/۱۶
S. angustifolium– رسوب	۰/۷۳**	۰/۲۸	۰/۶۸**	۰/۴۵*

*: معنی داری در سطح ۰/۰۵، **: معنی داری در سطح ۰/۰۱

تعیین میزان غلظت کلروفیل در جلبکهای ماکروسکوپی به منظور مشخص کردن وضعیت فیزیولوژیکی آنهامی تواند به عنوان شاخصی از وضعیت محیط زیست اطراف جلبکها به کار رود(Zis *et al.*, 2004). شکل ۳، میانگین غلظت و نسبت کلروفیل های a و bدرگونه *U.intestinalis* و شکل ۴،میانگین غلظت و نسبت کلروفیل های aوc درگونه *S. angustifolium* در ایستگاههای مختلف در بهمن ماه و تیر ماه را نشان می دهد.



شکل ۳. غلظت و نسبت کلروفیلها (b/a) در جلبک *U.intestinalis*



شکل ۴. غلظت و نسبت کلروفیلها (c/a) در جلبک*S.angustifolium*

به منظور بررسی امکان استفاده از محتوای کلروفیل جلبکها به عنوان شاخصی برای استرس فلزات سنگین، می توان ضرایب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین و غلظت و نسبت کلروفیلها در جلبکهارا تعیین نمود. وجود همبستگی منفی و معنی دار بین میزان فلزات و حجم کلروفیلها می تواند حاکی از تاثیر منفی فلزات سنگین بر روی جلبکها باشد (Zis *et al.*, 2004).

در جدول ۵، ضرایب همبستگی پیرسون بین غلظت کلروفیل در جلبک *U. intestinalis* و غلظت فلزات سنگین در رسوبات نشان داده شده است. در جدول ۶ نیز، ضرایب همبستگی پیرسون بین غلظت کلروفیل و فلزات سنگین در جلبک*U. intestinalis* نشان داده شده است.

جدول ۵.ضرایب همبستگی پیرسون بین غلظت فلزات سنگین در رسوبات و غلظت کلروفیل در جلبک *U. intestinalis*

	نیکل	کادمیم	مس	سرب
کلروفیل a	۰/۴۴*	۰/۲۷	۰/۵۶**	۰/۸۰**
کلروفیل b	۰/۳۶	۰/۳۰	۰/۴۷*	۰/۹۱**
نسبت کلروفیلb به a	-۰/۴۴*	۰/۰۴	-۰/۰۳	-۰/۱۴

*: معنی داری در سطح ۰/۰۵، **: معنی داری در سطح ۰/۰۱

جدول ۶.ضرایب همبستگی پیرسون بین غلظت فلزات سنگین و غلظت کلروفیل در جلبک *U. intestinalis*

	نیکل	کادمیم	مس	سرب
کلروفیل a	۰/۶۲**	۰/۴۰	۰/۱۷	۰/۹۴**
کلروفیل b	۰/۴۰	۰/۲۴	۰/۰۵	۰/۹۲**
نسبت کلروفیلb به a	-۰/۳۱	-۰/۲۲	۰/۱۱	-۰/۴۳*

*: معنی داری در سطح ۰/۰۵، **: معنی داری در سطح ۰/۰۱

در جدول ۷، ضرایب همبستگی پیرسون بین غلظت کلروفیل در جلبک *S.angustifolium* و غلظت فلزات سنگین در رسوبات و در جدول ۸، ضرایب همبستگی پیرسون بین غلظت کلروفیل و غلظت فلزات سنگین در جلبک*S.angustifolium*، نشان داده شده است.

جدول ۷.ضرایب همبستگی پیرسون بینغلظت فلزات سنگین در رسوبات و غلظت کلروفیل در جلبک*S. angustifolium*

	سرب	مس	کادمیم	نیکل
کلروفیل a	-۰/۵۵**	-۰/۲۳	-۰/۲۴	-۰/۷۰**
کلروفیل c	-۰/۵۵*	-۰/۱۰	-۰/۲۶	-۰/۶۸**
نسبت کلروفیلc به a	-۰/۰۱	۰/۵۰*	۰/۰۴	-۰/۴۰

*: معنی داری در سطح ۰/۰۵، **: معنی داری در سطح ۰/۰۱

جدول ۸.ضرایب همبستگی پیرسون بین غلظت فلزات سنگین و غلظت کلروفیل در جلبک *S. angustifolium*

	سرب	مس	کادمیم	نیکل
کلروفیل a	-۰/۶۷**	۰/۱۴	-۰/۳۶	-۰/۵۵**
کلروفیل c	-۰/۶۴**	۰/۳۴	-۰/۲۳	-۰/۵۲*
نسبت کلروفیلc به a	-۰/۳۰	۰/۵۲*	۰/۳۳	-۰/۱۱

*: معنی داری در سطح ۰/۰۵، **: معنی داری در سطح ۰/۰۱

۴. بحث و نتیجه گیری

بررسی شکل ۲ نشان می دهد که هر دو گونه جلبک نمونه برداری شده به خوبی تغییرات مکانی (ایستگاهی) و زمانی (فصلی) در میزان غلظت فلزات سنگین را انعکاس داده اند. همچنین مشاهده می شود که بطور کلی غلظت فلزات مورد بررسی در جلبک سبز *U. intestinalis* بالاتر از جلبک قهوه ای *S. angustifolium*، می باشد. این امر ممکن است نشان دهنده توانایی بیشتر جلبک *U. intestinalis*، برای تجمع دادن فلزات باشد. البته میزان غلظت فلزات سنگین در هر دو گونه جلبک نمونه برداری شده کمتر از رسوبات بود. این امر می تواند نشان دهنده این باشد که همه اشکال فلزی موجود در رسوبات قابلیت دسترسی زیستی برای جلبکها نداشته و در نتیجه از پتانسیل خطر کمتری برخوردارند (Eggleton and Thomas, 2004).

بررسی فاکتور BSAFدر مطالعه حاضر نشان می دهد که توانایی جلبک سبز *U. intestinalis* برای تجمع دادن فلزات سنگین بیشتر از جلبک قهوهای *S. angustifolium*است.El Ati-Hellal و همکارانش (۲۰۰۷)، نیز عقیده دارند که گونه های جلبکی متعلقبه جنس*Ulva* نسبت به*Sargassum*توانایی بیشتری برای تجمع دادن فلزات سنگین دارند. بسیاری از محققان عقیده دارند که توانایی جلبکهای سبز در تجمع دادن بسیاری از فلزات سنگین بیشتر از جلبکهای قهوه ای و توانایی جلبکهای قهوه ای بیشتر از جلبکهای قرمزمی باشد و به همین دلیل غالبا جلبکهای سبزبه عنوان شاخص زیستی آلودگیهای موجود در اکوسیسمهای ساحلی مورد استفاده قرارمی گیرند (Brown *et al.*, 1999; AL-Shwafi and Rushdi, 2008). با این حال برخی محققان عقیده دارند که توانایی تجمع زیستی برخی فلزات سنگین در جلبکهای قهوه ای بیشتر از سایر گروه هایجلبکی می باشد و علت این امر به حضور پلی ساکاریدهای سولفاته و آلژیناتهایباردار در دیواره سلولی و همچنین وجود ترکیبات متعدد فنولی در فضاهای بین سلولی در جلبکهای قهوه ای نسبت دادهمی شود(Dadolahi, 2003; Salgado *et al.*, 2005). یکی از مهمترین دلایل

توانایی بالایجنس*Ulva*در جذب فلزات سنگین را می توان در مقاومت بالای این جلبک در برابر فلزات سنگین جست و جو کرد. نتایج حاصل از برخی مطالعات نشانداده است که میزان تجلی پروتئین HSP_{70} در جلبک ماکروسکوپی *U.intestinalis* پس از در معرض قرارگیری با برخی فلزات از جمله مس افزایش می یابد (Lewis *et al.*, 2001). HSP_{70} یک پروتئین شوک حرارتی است که در افزایش مقاومت موجودات زنده در برابر فلزات نقش دارد. Ratkevicicus و همکاران (۲۰۰۳) نیز به بررسی اثرات تجمع مس در میزان استرس های اکسیداسیونی ناشی از حضور مس در محیط رشد جلبک *U. compressa* پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که جهتخنثی سازی استرس های اکسیداسیونی ناشی از حضور مس، فعالیت آنزیم آسکوربات پروکسیداز که یک آنتی اکسیدان جهت خنثی سازی استرسهای ناشی از حضور فلزات سنگین است، در این جلبک افزایشمی یابد. اما تغییری در میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز که نوع دیگری از آنزیمهای آنتی اکسیدان است، ایجاد نمی شود. این در حالی است که در بسیاری از گیاهانی که دچار استرس اکسیداسیونی می شوند، فعالیت این دو آنزیم، همزمان افزایش پیدا می کند. این وضعیت در این گونه جلبکی نشان دهنده مقاومت زیاد آن در برابر فلز مس می باشد.

وجود یک همبستگی مناسب بین غلظت فلزات سنگین در محیط و موجودات زنده یکی از عوامل بسیار مهم و تاثیر گذار در انتخاب نمایشگرهای زیستی می باشد (Phillips, 1977). بایستی توجه داشت که در تحقیقات علوم زیستی، ضرایب همبستگی بالای ۵۰ درصد که در سطح خطای تعریف شده معنی دار باشند، از نظر آماری قابل قبول می باشند. در مطالعه حاضر، بیشترین همبستگی بین رسوبات و هر دو گونه جلبک ماکروسکوپی در مورد فلز سرب دیدهمی شود. بنابراین این دو گونهجهت پایش زیستی فلز سرب در رسوبات مناطق نمونه برداری شده مناسب می باشند. بسیاری از محققان، گونه های مربوط به جنس *Ulva* و *Enteromorpha* را برای پایش زیستِی فلز سرب مناسب دانسته اند (Buo-Olayan and Subrahmanyan, 1996; Seeliger and Edwards, 1977; Brown *et al.*, 1999; Villares *et al.*, 2002). قمرزاده (۱۳۸۷)، گونه*S. angustifolium* را پایشگر زیستی مناسبی برای فلز سرب در سواحل بوشهر معرفی کرد. با توجه به میزان همبستگی بالایی که بین میزان غلظت کادمیم در رسوبات و جلبک *S. angustifolium* در مطالعه حاضر وجود دارد، این گونه برای پایش زیستی فلز کادمیم در سواحل بوشهر نیز مستعد به نظر می رسد.

افزایش بیش از حد فلزات سنگین می تواند موجب کاهش کلروفیل و سایر رنگدانه ها و جلوگیری از فعالیت آنزیمهای مرتبط با فتوسنتز و در نتیجه کاهش فعالیت فتوسنتز در گیاهان و جلبکها گردد (Ralph and Burchett, 1998). بر اساس نتایج مطالعاتRijstenbil و همکاران (۱۹۹۴)، در جلبکهابا افزایش غلظت فلزات در راستای کاهش غلظت هر یک از کلروفیلها، نسبت کلروفیلهای فرعی (کلروفیل b، c و d) به اصلی (کلروفیل a) کاهشمی یابد.Zis و همکاران (۲۰۰۴)، نیز غلظت کلروفیل a و c و نسبت بین این دو کلروفیل (c/a) را در جلبک قهوه ای *Fucus garcheri* در دو منطقه پاکیزه و آلوده به مس (در سواحل کانادا) مورد بررسی قرار دادند. آنها متوجه شدند که بین غلظت کلروفیل a در جلبکهای دو منطقه تفاوت معنی دار وجود ندارد ($P>0/05$). اما، غلظت کلروفیل c و نسبت کلروفیل c به a (c/a) در جلبکهای منطقه آلوده به میزانمعنی داری کمتر از جلبکهای منطقه پاکیزه می باشد.

در مطالعه حاضر، بین غلظت سرب در رسوبات و غلظت کلروفیلهای a و b و همچنین بین غلظت مس در رسوبات و غلظت کلروفیل a، همبستگی مثبت و معنی داریوجود دارد. وجود همبستگی مثبت و بالا بین غلظت مس در رسوبات و غلظت کلروفیل a، با توجه به ضروری بودن مقادیر کم این فلز برای رشد و متابولیسم جلبکهاتوجیه پذیر می باشد. اما سرب یک عنصر غیر

ضروری برای گیاهان به شمار می رود و وجود همبستگی مثبت بین غلظت این فلز در رسوبات و غلظتهای کلروفیلهای a و bدر جلبک *U. intestinalis*، غیر عادی به نظر می رسد.بین غلظت نیکل در رسوبات و نسبت کلروفیل b به aدر جلبک *U. intestinalis*، یک همبستگی منفی، ضعیف و معنی دار (P<۰/۰۵)، مشاهده می شود و این امر بطور ضعیفی ممکن است نشاندهنده آن باشد که میزان غلظت نیکل در رسوبات بالاتر از آستانه تحمل جلبک *U. intestinalis*قرار دارد.

بر اساس نتایج به دست آمده، بین غلظت نیکل در جلبک و غلظت کلروفیل a و همچنین بین غلظتسرب در جلبک و غلظت کلروفیلهای a و bهمبستگی بالایی وجود دارد. وجود اینمیزان همبستگی مثبت نشان دهنده آن است که در راستای افزایش غلظت یونهای نیکل و سرب در جلبک *U. intestinalis*، میزان کلروفیلهای a و b نیز افزایش پیدا کرده است. این افزایش غیر منطقی به نظر می رسد.زیرا هرچند نیکل در غلظتهای بسیار کم برای رشد و متابولیسم جلبکها ضروری است، امامقادیر بالای این عنصر نیز می تواند اثرات منفی زیادی به دنبال داشته باشد. فلز سرب نیز یک عنصر غیر ضروری برای رشد و متابولیسم جلبکها به شمارمی رود و اثرات منفی حضور مقادیر بالای این عنصر در گیاهان توسط بسیاری از مطالعات به اثبات رسیده است. دلیل وجود این همبستگی مثبت و بالا، شاید مقاومت بالای این جلبک در برابر تجمع غلظتهای بالای فلزات سنگین باشد. البتهبین غلظت فلز سرب در جلبک و نسبت کلروفیل b به a، یک همبستگی منفی، ضعیف و معنی دار وجود دارد (P<۰/۰۵). این امر ممکن است بدین معنی باشد که میزان سرب بالاتر از آستانه تحمل جلبک برای فلز سرب قرار دارد. همچنین، وجود این همبستگی منفی نشان می دهد که بر خلاف غلظت کلروفیلهای a و b که به تنهایی تاثیر منفی فلزات را نشان نداده اند، نسبت کلروفیل b به a، تاثیر منفی سرب بر روی جلبک را بطور ضعیفی نشانداده است.

همانطور که دیده می شود، بین غلظت نیکل و سربو غلظت کلروفیلهای a و c در جلبک *S. angustifolium*، همبستگی منفی و متوسط به بالایی وجود دارد. وجود این مقادیر همبستگی با توجه به وجود غلظتهای بالای این دو عنصر هم در جلبک و هم در رسوبات، منطقی به نظر می رسد. بنابراین به نظر می رسد، غلظت کلروفیلهای a و cدر جلبک *S. angustifolium*، به خوبی تاثیر منفی این دو عنصر را نشان داده اند. همچنین بین غلظت مس و نسبت غلظت کلروفیلc به a، همبستگی مثبت و بالایی دیده می شود و این ممکن است بدان معنی باشد که میزان غلظت مس در جلبک در حد مطلوب برای انجام فعالیتهای بیولوژیکی قرار دارد. در واقع این مقادیر همبستگی با توجه به ضروری بودن مس برای رشد و متابولیسم جلبکها و همچنین پایین بودن غلظت این عنصر در جلبکها و رسوبات، توجیه پذیر می باشد.

در مطالعه حاضر بین غلظت کادمیم و کلروفیل در هر دو گونه نمونه برداری شده همبستگی معنی داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). این در حالی است که میزان غلظت این فلز هم در رسوبات و هم در جلبکهای نمونه برداری شده بالاتر از حد طبیعی بود. این امر نشان دهنده آن است که میزان غلظت کلروفیل در جلبکها نتوانسته است، میزان تاثیر کادمیم بر جلبکها را نشان بدهد.

با مقایسه ضرایب همبستگی بین غلظت فلزات و غلظت کلروفیل در جلبکهای نمونه برداری شده این مطلب را می توان استنباط کرد که تغییرات غلظت کلروفیل در گونه *S. angustifolium* نسبت به گونه *U. intestinalis*، بهتر توانسته است اثرات منفی حضور فلزات سنگین (به ویژه نیکل و سرب) در محیط را نشان بدهد. زیرا بین غلظت فلزات سنگین و غلظت کلروفیل در جلبک *S. angustifolium* همبستگی منفی بالاتری دیده می شود. این امر ممکن است به دلیل مقاومت کمتر جلبک قهوه ای *S. angustifolium*نسبت به جلبک سبز *U. intestinalis* در برابر فلزات سنگین باشد. زیرا همانطور که عنوان شد، توانایی جلبک *U.*

*intestinalis*در تجمع دادن فلزات سنگین بیشتر از جلبک *S. angustifolium* می باشد و بالاتر بودن توانایی جلبک *U. intestinalis* در تجمع دادن فلزات سنگین، می تواند نشان دهنده مقاومت بالای این جلبک در برابر غلظتهای بالای فلزات سنگین باشد. همچنین به نظر می رسد که نسبت بین کلروفیلها در دو گونه مورد مطالعه، در مقایسه با غلظت کلروفیلهای a، b و c، استرسهای محیطی ناشی از حضور فلزات سنگین را بهتر منعکس کند. البته در مورد استفاده از محتوای کلروفیل جلبکها بایستی با احتیاط زیادی عمل کرد. زیرا بسیاری از فاکتورهای متغیر محیطی مانند نور، دما، کدورت، pH، مواد غذایی از جمله میزان نیترات و فسفات، میزان کربن محلول و غیره نیز میزان غلظت کلروفیل در جلبکها را تحت تاثیر قرار می دهند.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر و اداره کل حفاظت محیط زیست استان بوشهر به خاطر در اختیار قرار دادن امکانات مورد نیاز تشکر نموده و همچنین از آقایان ابوالفضل عمادآبادی، علیرضا نیک ورز و محسن گراوند به خاطر کمکها و راهنمایی های ارزشمندشان، صمیمانه سپاسگزاری می کنم.

منابع

قمرزاده، ح. ۱۳۸۷. مطالعه و بررسی استفاده از جلبکها به عنوان شاخص زیستی فلزات سنگین نیکل، کادمیم، مس و سرب در آبهای ساحلی شهرستان بوشهر. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.

Al-Shwafi, N.A. and Rushdi, A.I.,2008. Heavy metals concentrations in marine green, brown, and red seaweeds from coastal waters of Yemen, the Gulf of Aden. Environ. Geol. 55: 653–660.

Baumann, H.A., Morrison, L. , Stengel, D.B., 2009. Metal accumulation and toxicity measured by PAM-Chlorophyll fluorescence in seven species of marine macroalgae. Ecotoxicol. Environ. Safe 72: 1063–1075.

Brown, M.T., Hodgkinson, W.M. , Hurd, C.L., 1999. Spatial and temporal variations in the copper and zinc concentrations of two green seaweeds from Otago Harbour, New Zealand. Mar. Environ. Res. 47: 175-184.

Buo-Olayan, A.H. , Subrahmanyam, M.N.V., 1996. Heavy metals in marine algae of the Kuwait coast. Environ. Contam. Toxicol. 57: 816-823.

Cardwell, A.J., Hawker, D.W. , Greenway, M., 2002. Metal accumulation in aquatic macrophytes from southeast Queensland, Australia. Chemosphere 48: 653–663.

Conti, M.E. , Cecchetti, G., 2003. A biomonitoring study: trace metal in algae and mollusks from Tyrrhenian coastal areas. Environ. Res. 93: 99-112.

Dadolahi, A.S., Savari, A., Omar, H., Kusnan, K. , Ismail, R., 2005. Biomonitoring with seaweed and direct assay of heavy metal in seawater and sediment of the Kish Island coasts, I.R.Iran. International Conference on Coastal Oceanography and Marine Aquaculture 2-4 May 2005, Kota Kinobalu, Saba, Malaysia.

Dadolahi, A., 2003. A study on the potential of using seaweed as biomonitoring indicator in Kish Island, Iran. Ph.D Thesis. University Putra Malaysia.

De Jong, L., Diana, C.; Campos, J.R., Arnoux, A. , Pellegrini, L., 1994. Toxicity of methyl mercury and mercury (II) chloride to a brown algae *Cyctoseira barbata* (Fucales) under labratoey culture conditions. Detoxify rol of calcium. Botanica Mar. 37: 367-379.

Dhargalkar, V.K. , Verlecar, X.N., 2009. Southern Ocean seaweeds: A resource for exploration in food and drugs. Aquaculture 287: 229–242.

Eggleton, J. , Thomas, K.V., 2004. Areview of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediments disturbance events. Environ. Int. 30: 973-980.

El Ati-Hellal, M., Hedhili, A. , Dachraoui, M., 2007. Contents of trace metals in water and macroalgae along the mediterranean coast of Tunisia. Environ. Contam. Toxicol. 78: 33–37.

Haritonidis, S. , Malea, P., 1999. Bioaccumulation of metals by the green alga Ulvarigida from Thermaikos Gulf, Greece. Environ. Poll. 104: 365-372.

Jadeja, R.N. , Tewari, A., 2007. Effect of soda ash industry effluent on bioaccumulation

Ratkevicius, N., Correa, J.A. , Moenne, A., 2003. Copper accumulation, synthesis of ascorbate and activation ascorbate proxidase in *Enteromorpha compressa* from heavy metal-enriched environments in northern Chile. Cell Environ 26: 1599-1608.

Rijstenbil, J.W., Derksen, J.W.M., Gerringa1, L.J.A., Poortvliet, T.C.W., Sandee, A., Van den Berg, M., van Drie, J. , Wijnholds, J.A., 1994. Oxidative stress induced by copper: defense and damage in the marine planktonic diatom (Ditylum brightwellii), grown in continuous cultures with high and low zinc levels. Mar. Biol. 119: 1432–1793.

Salgado, L.T., Andrade, L.R. , Amado Filho, G.M., 2005. Localization of specific monosaccharides in cells of the brown alga Padina gymnospora and the relation to heavy-metal accumula-tion. Protoplasma 225: 132-128.

Seeliger, U. , Edwards, P., 1977. Correlation coefficients and concentrations factors of copper and lead in seawater and benthic algae. Mar. Poll. Bull. 8: 16–19.

Villares, R., Puente, X. , Carballeira, A., 2002. Seasonal variation and background levels of heavy metals in two green seaweeds. Environ. Poll. 119: 79–90.

Zis, T., Ronningen, V. , Scrosati R., 2004. Minor improvement for intertidal seaweeds and invertebrates after acid mine drainage diversion at Britannia Beach, Pacific Canada. Mar. Poll. Bull. 48: 1040–1047.

of metals by seaweeds of coastal region of Gujarat, India. Hazardous Material 147: 148-154.

Jothinayagi, N. , Anbazhagan, C., 2009. Heavy metal monitoring of rameswaram coast by some sargassum species. Am. Eur. J. Sci. Res. 4: 73-80.

Küpper, H., Küpper, F. , Spiller, M., 1996. Environmental relevance of heavy metals substituted chlorophylls using the example of water plants. J. Exp. Botany 47: 259-266.

Lafabrie, C., Pergent, G., Kantin, R., Pergrnt-Martin, C. , Gonzalez, J.L., 2007. Trace metals assessment in water, sediment, mussel and seagrass species validation of the use *Posidouia oceanicas* a metal biomonitor. Chemosphere 68: 2033-2039.

Lewis S., Donkin M.E. , Depledge M.H., 2001. Hsp70 expression in *Enteromorpha intestinalis* (Chlorophyta) exposed to environmental stressors. Aquatic Toxicol. 51: 277-291.

Malea, P., Rijstenbil, J.W. , Haritonidis, S., 2006. Effects of cadmium, zinc and nitrogen status on non-protein thiols in the macroalgae Enteromorpha spp. from the Scheldt Estuary (SW Netherlands, Belgium) and Thermaikos Gulf (N Aegean Sea, Greece), Mar. Environ. Res. 62: 45–60.

Morea, D.S., Fowler, S.W., Wyse, E. , Azemard, S., 2004. Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediment in the Persian Gulf and Gulf of Oman. Mar. Poll. Bull. 49: 410-424.

Phillips, D.J.H., 1977. The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environment-a review. Environ. Poll. 13: 281–317.

Ralph, P.J. , Burchett, M.D., 1998. Photosynthetic response of *Halophila ovalis* to heavy metal stress. Environ. Poll. 103: 91-101.