

بررسی قابلیت استفاده از یک گونه دو کفه ای به منظور پایش زیستی عناصر در خلیج فارس با بکارگیری یک روش آنالیز غیر تخریبی

نیماپورنگ^{۱*}، فاطمه قنبری باغستانی^۲، محمد لامعی رشتی^۳، محمد صدیق مرتضوی^۱، عیسی کمالی^۱،
طوبی وارسته^۴

[*n_pourang@yahoo.com](mailto:n_pourang@yahoo.com)

- ۱- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی - موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور - تهران
- ۲- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی - مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان
- ۳- سازمان انرژی اتمی ایران - پژوهشکده علوم هسته ای - آزمایشگاه واندوگراف - تهران
- ۴- دانشگاه شهید بهشتی - دانشکده علوم زیستی - تهران

تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۴

چکیده

به منظور بررسی قابلیت استفاده از بافت های نرم و سخت یک گونه دو کفه ای (*Callista umbonella*) برای پایش زیستی عناصر مختلف در مناطق ساحلی شمال خلیج فارس و همچنین امکان بکارگیری روش پیکسی به این منظور، نمونه های گونه مزبور به همراه رسوبات سطحی مرتبط از سه ایستگاه نمونه برداری واقع در مناطق بین جزر و مدی استان هرمزگان، در تیر ۱۳۹۳ گردآوری گردید. اندازه گیری میزان تجمع عناصر در نمونه ها با استفاده از روش غیر تخریبی پیکسی انجام گردید. علاوه بر این مقادیر کل مواد آلی در رسوبات و دانه بندی آنها نیز اندازه گیری گردید. بر اساس نتایج حاصله از ۱۷ عنصر مورد بررسی در بافت نرم نمونه ها (Al, Br, Ca, Cl, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, O, P, S, Si, Sr, Ti, Zn) در مورد P, Fe, Br و O اختلاف معنی داری بین ایستگاههای نمونه برداری مشاهده گردید. از ۱۴ عنصر اندازه گیری شده در صدف نمونه ها (Al, Br, Ca, Cl, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, O, K, Si, S, Sr) صرفاً در مورد Si اختلاف معنی داری بین ایستگاههای نمونه برداری مشاهده شد و از ۱۴ عنصر اندازه گیری شده در رسوبات سطحی (Al, Ca, Cl, Cr, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, O, S, Si, Ti, Ca, K, Cl, S, Mg, Na) در مورد عناصر Fe و Ti اختلاف معنی داری بین ایستگاههای نمونه برداری مشاهده گردید. در هر یک از موارد مزبور ترتیب تجمع عناصر در ایستگاهها مشخص گردید و علل احتمالی این تفاوت ها مورد بررسی قرار گرفت. به منظور گروه بندی عناصر از نقطه نظر میزان تجمع در رسوبات، بافت نرم و صدف نمونه ها از آنالیزهای چند متغیره (آنالیز خوشه ای و آزمون تحلیل مولفه اصلی) استفاده گردید. با توجه به نتایج حاصله می توان اظهار نمود که گونه مورد نظر به دلایل مختلف کاندید مناسبی برای معرفی به عنوان پایشگر زیستی برخی عناصر در منطقه مطالعاتی می باشد.

لغات کلیدی: دو کفه ای، عناصر، خلیج فارس، پایش زیستی، پیکسی

*نویسنده مسئول

مقدمه

دو کفه ای ها در سطح غذایی^۱ دوم اکوسیستم های دریایی قرار دارند و قابلیت آنها در تجمع عناصر ضروری و غیرضروری از سال ها قبل شناسایی شده است. این آبریان پیشگرا زیستی بسیار مناسبی برای اکوسیستم های آبی محسوب می شوند. زیرا دارای قابلیت بردباری نسبتا بالایی در قبال تغییرات اکولوژیک پارامترهای محیطی (مانند دما و شوری) می باشند و دارای توان تجمع زیستی بسیاری از آلاینده های آلی و فلزی در حد چندین برابر مقادیر آنها در محیط پیرامونشان می باشند (بدون آنکه منجر به مرگ آنها شود). اهمیت کاربرد دو کفه ای ها در این راستا، هنگامی بیشتر آشکار خواهد شد که این نکته را مد نظر قرار داد که از سال ها قبل (اواخر دهه ۱۹۶۰) برنامه ای بین المللی تحت عنوان ماسل واچ^۲ آغاز شده است و تاکنون نیز در بسیاری از نقاط جهان از جمله در منطقه دریایی راپمی^۳ ادامه دارد (Szefer et al., 2002; Tarique, 2008; ROPME, 2013) از آنجا که نرمتنان دوکفه ای اغلب دارای توانایی تجمع برخی عناصر در مقادیری خیلی بالاتر از آب و رسوبات محیط پیرامون خود می باشند، لذا معمولا دارای قابلیت استفاده برای پایش اکوسیستم های ساحلی و دریایی می باشند (Maanan, 2008). اصولا دوکفه ای ها نسبت به سایر آبریان دارای ویژگی های شاخصی می باشند که آنها را برای استفاده به عنوان پیشگر زیستی مناسب می سازد. برخی از این ویژگی ها عبارتند از: پراکنش نسبتا گسترده، فراوانی مناسب، عدم تحرک (یا تحرک بسیار کم)، مقاوم به تغییرات و آلودگی های مختلف محیطی، فاکتور تجمع زیستی بالا در مورد بسیاری از آلاینده ها، فعالیت های خیلی پایین آنزیم های سوخت و ساز، جمعیت های پایدار و گسترده، طول عمر طولانی و اندازه مناسب (Zhou et al., 2008). بر اساس نتایج برخی تحقیقات گونه *C. umbonella* به عنوان شاخص آلودگی فلزات شناخته می شود (Tarique, 2008; Saeedi, 2012). این گونه

علاوه بر صافی خواری، رسوب خوار نیز می باشد. انتقال آلودگی فلزات از رسوبات به آب و آبریان از طریق گونه مزبور امکانپذیر است و همچنین دارای قابلیت استفاده برای بررسی کیفی اکوسیستم های ساحلی و دریایی می باشد (Phillips and Rainbow, 1993). این گونه در سواحل شنی- ماسه ای خلیج کویت پراکنده می باشد (Al-Yamani et al., 2012). علاوه بر این پراکنش آن در مناطق بین جزر و مدی سواحل خلیج فارس و دریای عمان نیز گزارش شده است (Bosch et al., 1995). گستره پراکنش این گونه سواحل شمالی خلیج فارس در حوالی بندر عباس (Saeedi and Ardalan, 2010) و همچنین خلیج چابهار را نیز شامل می گردد (کاظمیان و همکاران، ۱۳۸۸).

هدف اصلی از این تحقیق بررسی قابلیت استفاده از بافت های نرم و صدف گونه *C. umbonella* برای پایش زیستی عناصر مختلف در مناطق ساحلی شمال خلیج فارس و همچنین بررسی امکان استفاده از روش پیکسی به این منظور می باشد.

مواد و روش کار

با توجه به مکان های پراکنش گونه انتخاب شده، سه ایستگاه نمونه برداری در منطقه بین جزر و مدی در سواحل استان هرمزگان انتخاب گردید. ایستگاه ۱ در سواحل بندرعباس (۲۷°۱۰' عرض شمالی و ۵۶°۱۹' طول شرقی)، ایستگاه ۲ در بندرکلاهی (۲۷°۱۱' عرض شمالی و ۵۶°۲۰' طول شرقی) و ایستگاه ۳ در غرب اسکله شهید رجایی (۲۷°۰۵' عرض شمالی و ۵۶°۰۰' طول شرقی) انتخاب گردید (شکل ۱). بخشی از سواحل منطقه مورد بررسی متاثر از شرایط محیطی نواحی جنگلهای ماندابی بوده (شرق استان) و بخشی متاثر از فعالیتهای صنعتی (غرب اسکله رجائی و مرکزی) می باشد، لذا در راستای اهداف تحقیق سعی گردید مناطقی انتخاب گردد که شاخصی از شرایط منطقه باشد. در تیر ماه سال ۱۳۹۳، از هر ایستگاه تعداد ۹ نمونه رسوب توسط نمونه بردار Van Veen با سطح مقطع ۲۲۵ سانتیمتر مربع گردآوری گردید (سه نمونه برای آنالیز عناصر، سه

^۱ trophic level^۲ International Mussel Watch^۳ ROPME Sea Area

سازی می شود. به منظور بررسی صحت^{۱۱} و دقت^{۱۲} نتایج از یک نمونه استاندارد^{۱۳} با شش تکرار مربوط به بافت ماهی با کد MA-B-3/TM در شرایطی مشابه استفاده گردید. درصد بازیابی^{۱۴} عناصر بین ۹۴ تا ۱۰۸ درصد و دقت اندازه گیری ها بین ۲/۱ تا ۴/۳ درصد انحراف استاندارد نسبی^{۱۵} اندازه گیری گردید. آنالیز کمی عناصر توسط نرم افزار Gupix انجام شد (Vatankhah et al., 2003; Salimi et al., 2004; Moosavi et al., 2010). به منظور تعیین دانه بندی رسوب از روش هیدرومتری با استفاده از هیدرومتر (ASTM H152 type hydrometer) استفاده گردید (ASTM, 1998). درصد مواد آلی رسوبات براساس روش Holme and McIntyre (1984) اندازه گیری گردید.

به منظور مقایسه ایستگاههای نمونه برداری از نظر میزان تجمع هر یک از عناصر در صدف و بافت نرم و همچنین میزان تجمع هر یک از عناصر در رسوبات از آزمون کروسکال-والیس^{۱۶} استفاده شد و در صورت مشاهده اختلاف معنی دار آزمون posthoc مربوطه (من-ویتنی^{۱۷}) مورد استفاده قرار گرفت. به منظور بررسی رابطه بین میزان تجمع عناصر مورد نظر در رسوبات و همچنین دانه بندی و مواد آلی رسوبات از ضرائب همبستگی اسپیرمن^{۱۸} استفاده گردید. به منظور بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی دار بین طول کل و ارتفاع نمونه های گردآوری شده از ایستگاههای نمونه برداری و همچنین برای بررسی وجود اختلاف معنی دار بین ایستگاههای نمونه برداری از دیدگاه درصد رسوبات دانه ریز (fine)

نمونه برای اندازه گیری دانه بندی^۴ و سه نمونه برای اندازه گیری کل مواد آلی^۵. تعداد ۵ نمونه *C. umbonella* نیز از هر ایستگاه جمع آوری شد. نمونه های متعلق به گونه مورد نظر با استفاده از یک بیلچه پلاستیکی به آرامی از میان رسوبات ایستگاههای نمونه برداری گردآوری گردید. نمونه ها به تفکیک در داخل ظروف پلی اتیلنی درب دار عاری از آلودگی، واجد برچسب مشخصات قرارداده شدند و سپس توسط یخدان به آزمایشگاه پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان منتقل شدند و تا قبل از سنجش های آزمایشگاهی درون فریزر (۱۸- درجه سانتیگراد) قرارداده شدند. در آزمایشگاه پس از اندازه گیری طول کل^۶ و ارتفاع^۷ صدف نمونه ها توسط کولیس (با دقت ۰/۱ میلیمتر)، سطوح خارجی آنها بطور کامل از گل و لای و ذرات خارجی پاک گردید. در ادامه بافت های نرم آنها با استفاده از اسکالپل و قیچی تشریح از جنس استیل و استریل تفکیک گردید و درون آون با دمای ۵±۶۰ درجه سانتیگراد خشک گردید. پس از ۴۸ ساعت نمونه ها از آون خارج و با هاون چینی پودر گردید. نمونه پودر شده پس از انتقال به آزمایشگاه واندوگراف^۸ سازمان انرژی اتمی توسط دستگاه پرس به پلت هایی^۹ با ضخامت حدود ۵ میلیمتر و قطر تقریبی ۱/۷ سانتیمتر تبدیل شد و سپس یک لایه بسیار نازک کربن بر روی نمونه ها اسپری گردید. فرآیند مزبور در مورد نمونه های مربوط به صدف نمونه ها و رسوبات نیز انجام گردید. آنالیز نمونه ها به منظور اندازه گیری میزان تجمع عناصر با استفاده از روش پیکسی انجام شد. در این روش اشعه X گسیل شده از نمونه ها توسط آشکارساز ^{۱۰}Si(Li) آشکار

^{۱۱} accuracy

^{۱۲} precision

^{۱۳} CRM: Certified Reference Material

^{۱۴} recovery

^{۱۵} Relative Standard Deviation (RSD)

^{۱۶} Kruskal-Wallis

^{۱۷} Mann-Whitney U

^{۱۸} Spearman

^۴ grain size

^۵ Total Organic Matter

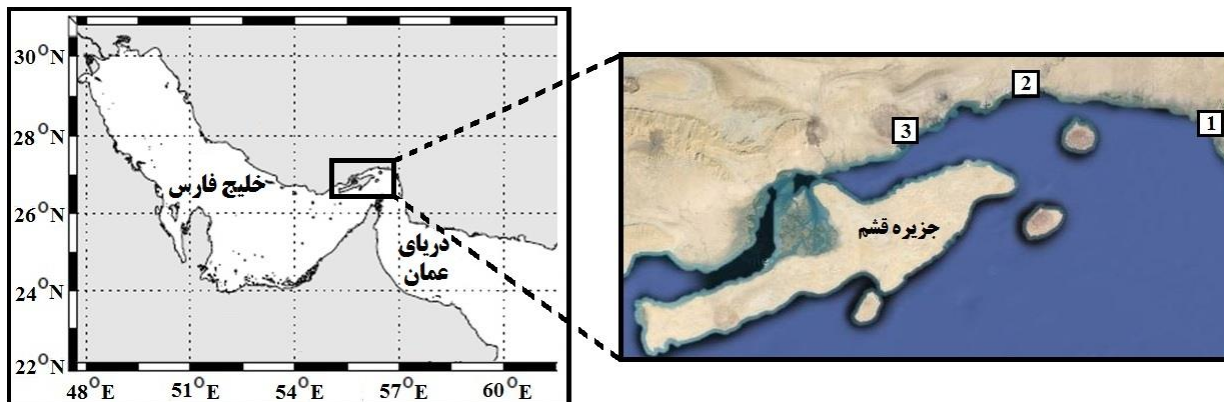
^۶ total length

^۷ height

^۸ Van de Graaff

^۹ pellets

^{۱۰} Si(Li) X-ray detector



شکل ۱: موقعیت ایستگاههای نمونه برداری.

معنی داری بین ایستگاههای نمونه برداری مشاهده گردید. با توجه به نتایج آزمون های *posthoc*، ترتیب تجمع این عناصر در بافت های نرم نمونه های گردآوری شده از ایستگاههای نمونه برداری به قرار زیر است:

P: ۳ < ۱ < ۲؛ Fe: ۳ < ۲ < ۱؛ Br: ۱ < ۲، ۳؛ O: ۲ < ۱ < ۳.

نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشاندهنده آن است که از ۱۴ عنصر مورد نظر صرفاً در مورد Si اختلاف معنی داری بین ایستگاههای نمونه برداری مشاهده گردید. با توجه به نتایج آزمون های *posthoc*، ترتیب تجمع این عنصر در صدف نمونه های گردآوری شده از ایستگاههای نمونه برداری به این ترتیب است: Si: ۱ < ۲، ۳. نتایج درج شده در جدول ۳ حاکی از آن است که از ۱۴ عنصر مورد نظر در مورد ۸ عنصر اختلاف معنی داری بین ایستگاههای نمونه برداری مشاهده گردید. این عناصر عبارتند از Mg، Na، S، Cl، Ca، Ti و Fe. با توجه به نتایج آزمون های *posthoc*، ترتیب تجمع این عناصر در نمونه های رسوب گردآوری شده از ایستگاههای نمونه برداری به این ترتیب است: Na: ۳ و ۱ < ۲؛ K: ۱ < ۳ و ۲؛ Mg: ۱ و ۲ < ۳؛ Ca: ۳ < ۱ < ۲؛ S: ۱ و ۳ < ۲؛ Cl: ۱ < ۲ و ۳؛ Ti: ۱ و ۳ < ۲؛ Fe: ۱ و ۳ < ۲. در جدول ۴ نتایج مربوط به دو آزمون به منظور مقایسه میان نمونه های گردآوری شده از ایستگاههای نمونه برداری از نظر بررسی اختلاف معنی دار میان طول کل و ارتفاع نمونه های گردآوری شده از ایستگاههای نمونه برداری و

(fraction: silt+clay) و همچنین درصد کل مواد آلی^{۱۹} در رسوبات گردآوری شده از ایستگاهها از آزمون کروسکال-والیس استفاده گردید و متعاقباً در صورت مشاهده اختلاف معنی دار از آزمون *posthoc* مربوطه استفاده شد. به منظور گروه بندی عناصر از نقطه نظر میزان تجمع در رسوبات از آنالیزهای خوشه ای بر مبنای مقیاس اقلیدسی^{۲۰} استفاده شد. برای گروه بندی عناصر از نظر میزان تجمع در بافت نرم و صدف نمونه ها از دو آزمون تحلیل مولفه اصلی استفاده گردید. کلیه آنالیزهای مزبور با استفاده از نسخه جدید بسته نرم افزاری SPSS (Version 20) انجام شد.

نتایج

نتایج مربوط به آزمون های کروسکال-والیس به منظور بررسی وجود اختلاف معنی دار میان ایستگاههای نمونه برداری به تفکیک تجمع هر یک از عناصر در بافت های نرم، صدف نمونه ها و رسوبات سطحی و همچنین نتایج آزمون های *posthoc* مربوطه (در مواردی که اختلاف معنی داری مشاهده گردید) به ترتیب در جداول ۱، ۲ و ۳ ارائه گردیده است.

نتایج مندرج در جدول ۱ حاکی از آن است که از ۱۷ عنصر مورد نظر صرفاً در مورد P، Fe، Br و O اختلاف

^{۱۹} TOM: Total Organic Matter

^{۲۰} Euclidean distance

همچنین نتایج آزمون مقایسه میانگین ها در هر مورد ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می گردد، نمونه های مربوط به ایستگاه ۲ دارای طول کل و ارتفاع کمتری نسبت به دو ایستگاه دیگر می باشند.

جدول ۱: نتایج ۱۷ آزمون کروסקال-والیس به منظور بررسی این فرضیه صفر که هیچ اختلاف معنی داری میان ایستگاههای نمونه برداری از دیدگاه تجمع عناصر مختلف در بافت های نرم نمونه ها وجود ندارد. مقادیر میانگین و انحراف معیار (درون پرانتزها) نیز ارائه گردیده است (بر حسب میکروگرم برگرم وزن خشک). ایستگاههایی که باحروف لاتین مشابه مشخص گردیده اند، فاقد اختلاف معنی دار می باشند (بر مبنای آزمون من-ویتنی، $p \leq 0.05$).

عنصر	ایستگاههای نمونه برداری			H	P-value
	۱	۲	۳		
Na	۷۱۱۰۰/۰۰ (۱۶۰۳۰)	۸۷۰۶۰/۰۰ (۱۰۲۱۲/۸۸)	۶۸۶۲۰/۰۰ (۱۱۶۳۵/۵۹)	۵/۴۶۰	۰/۰۶۵
Mg	۲۰۸۶۰/۰۰ (۴۳۸۷/۸۲)	۲۳۲۶۰/۰۰ (۴۵۹۶/۵۲)	۲۴۶۶۰/۰۰ (۳۸۸۸/۸۳)	۰/۹۸۰	۰/۶۱۳
Al	۶۴۴۰/۰۰ (۲۶۸۷/۵۶)	۴۲۲۰/۰۰ (۱۶۸۱/۳۶)	۳۸۵۰/۰۰ (۱۹۳۹/۹۳)	۲/۶۴۹	۰/۲۶۶
Si	۲۰۶۰۰/۰۰ (۲۴۱۶۲/۲۶)	۸۸۴۰/۰۰ (۶۴۰۹/۶۰)	۵۴۲۰/۰۰ (۶۹۴/۲۶)	۱/۴۶۳	۰/۴۸۱
P	^{ab} ۳۳۷۲۰/۰۰ (۱۳۱۲۰/۸۶)	^a ۲۶۷۴۰/۰۰ (۱۴۳۱۷/۵۷)	^b ۵۳۲۴۰/۰۰ (۱۱۰۸۷/۰۶)	۶/۰۲۰	۰/۰۴۹
S	۴۸۳۴۰/۰۰ (۸۸۵۱/۷۲)	۴۰۶۲۰/۰۰ (۴۸۸۱/۲۹)	۴۶۴۲۰/۰۰ (۷۶۱۴/۲۶)	۲/۶۶	۰/۲۶۴
Cl	۳۳۱۷۲۰/۰۰ (۶۸۵۷۲/۶۷)	۴۱۵۲۶۰/۰۰ (۶۴۰۷۴/۳۱)	۳۱۷۳۲۰/۰۰ (۴۸۳۰۷/۱۱)	۴/۹۴۰	۰/۰۸۵
K	۴۹۳۲۰/۰۰ (۱۳۱۸۵/۸۶)	۳۵۹۴۰/۰۰ (۷۲۸۴/۰۹)	۴۶۵۶۰/۰۰ (۱۰۲۷۰/۹۷)	۴/۰۲۰	۰/۱۳۴
Ca	۱۴۵۷۸۰/۰۰ ۵۷۳۴۴/۲۸	۱۲۸۷۶۰/۰۰ (۵۶۸۶۵/۶۵)	۱۵۹۳۲۰/۰۰ (۳۵۰۰۳/۲۴)	۰/۸۶۰	۰/۶۵۱
Ti	۸۰۰/۰۰ (۴۰۰/۰۰)	۳۶۶/۶۶ (۱۱۵/۴۷)	۲۳۳/۳۳ (۵۷/۷۳)	۵/۹۳۶	۰/۰۵۱
Cr	nd	nd	nd	-	-
Mn	۱۱۲۰/۰۰ (۹۴۹/۷۳)	۲۳۸۰/۰۰ (۲۶۰۸/۰۶)	۳۳۰۰/۰۰ (۱۰۲۷/۱۳)	۴/۳۴۸	۰/۱۱۴
Fe	^b ۹۹۶۰/۰۰ (۳۹۳۲/۹۳)	^{ab} ۵۷۴۰/۰۰ (۱۶۳۴/۹۳)	^a ۴۳۸۰/۰۰ (۱۶۲۲/۸۸)	۶/۷۳۲	۰/۰۳۵
Zn	۲۷۵/۰۰ (۹۵/۷۴)	۱۵۰/۰۰ (۵۷/۷۳)	۴۶۰/۰۰ (۴۲۱/۹۰)	۵/۳۷۴	۰/۰۶۸
Br	^a ۹۲۰/۰۰ (۲۴۸/۹۹)	^b ۱۵۲۰/۰۰ (۱۴۸/۳۲)	^a ۷۴۰/۰۰ (۳۳۶/۱۵)	۹/۷۶۴	۰/۰۰۸
Sr	۸۰۰/۰۰ (۸۴۸/۵۲)	۷۷۵/۰۰ (۱۷۰/۷۸)	۸۲۵/۰۰ (۴۰۳/۱۱)	۰/۰۴۹	۰/۹۷۶
O	^{ab} ۲۵۹۰۶۰/۰۰ (۳۰۹۲۵/۶۸)	^a ۲۱۸۷۰۰/۰۰ (۲۳۳۸۷/۲۸)	^b ۲۶۵۶۸۰/۰۰ (۱۷۶۵۳/۶۶)	۶/۳۲۰	۰/۰۴۲

nd: not detected

جدول ۲: نتایج ۱۴ آزمون کروسکال-والیس به منظور بررسی این فرضیه صفر که هیچ اختلاف معنی‌داری میان ایستگاههای نمونه برداری از دیدگاه تجمع عناصر مختلف در صدف نمونه‌ها وجود ندارد. مقادیر میانگین و انحراف معیار (درون پرانتزها) نیز ارائه گردیده است (بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک). ایستگاههایی که باحروف لاتین مشابه مشخص گردیده‌اند، فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند (بر مبنای آزمون من-ویتنی، $p \leq 0.05$).

عنصر	ایستگاههای نمونه برداری			H	P-value
	۱	۲	۳		
Na	۱۰۰۵۷/۱۴ (۵۱۹۸/۰۳)	۱۲۱۸۳/۳۳ (۹۱۳۲/۲۳)	۱۰۱۷۷/۴۲ (۵۵۶۶/۳۱)	۰/۲۸۴	۰/۸۶۷
Mg	۴۰۷۸/۵۷ (۱۸۱۱/۵۸)	۶۵۴۴/۴۴ (۳۸۹۲/۰۱)	۳۶۹۰/۰۰ (۱۲۷۲/۳۱)	۴/۲۱۷	۰/۱۲۱
Al	۴۰۲۱/۰۵ (۱۴۴۱/۶۷)	۳۵۴۶/۱۵ (۹۷۲/۶۴)	۳۹۰۰/۰۰ (۱۲۳۷/۶۰)	۱/۱۴۳	۰/۵۶۵
Si	^a ۳۴۲۷/۷۷ (۹۵۱/۶۶)	^b ۵۲۴/۰۰ (۲۱۴۲/۰۳)	^a ۳۶۷۵/۰۰ (۹۲۱/۹۵)	۹/۶۹۹	۰/۰۰۸
S	۲۵۴۴/۰۰ (۱۲۸۹۹/۷۹)	۲۰۵۶۸/۷۵ (۹۴۷۳/۷۳)	۲۶۹۲۹/۴۱ (۱۱۱۵۱/۸۹)	۲/۸۲۵	۰/۲۴۴
Cl	۲۸۸۳۵/۰۰ (۱۳۵۹۷/۷۷)	۳۱۹۷۵/۰۰ (۲۴۰۱۸/۵۱)	۳۲۵۳۸/۸۹ (۲۲۴۰۷/۷۷)	۰/۲۲۸	۰/۸۹۲
K	۱۸۶۶/۶۷ (۹۷۱/۲۵)	۵۷۰۰/۰۰ (۳۲۵۲/۶۹)	۱۶۵۰/۰۰ (۱۹۱۷/۰۲)	۳/۸۹۶	۰/۱۴۳
Ca	۶۵۱۰۴۵/۰۰ (۲۷۶۸۵/۷۸)	۶۵۵۲۸۷/۵۰ (۲۷۱۴۱/۲۶)	۶۵۱۰۷۷/۷۸ (۳۰۷۴۵/۳۶)	۰/۲۸۳	۰/۸۶۸
Mn	۴۴۴/۴۴ (۲۲۴/۲۲)	۴۸۸/۸۹ (۳۴۸/۰۱)	۴۵۰/۰۰ (۱۲۹/۰۹)	۰/۵۲۰	۰/۷۷۱
Fe	۹۸۹/۴۷ (۴۱۸/۸۵)	۱۲۳۷/۵۰ (۹۳۵/۱۴)	۱۰۸۳/۳۳ (۴۳۹/۵۸)	۰/۹۴۳	۰/۶۲۴
Cu	۴۲۶/۳۱ (۳۲۴/۶۲)	۳۲۸/۵۷ (۲۹۲/۰۲)	۴۳۵/۲۹ (۳۴۲/۶۷)	۱/۴۸۴	۰/۴۷۶
Br	۳۴۱۰/۰۰ (۲۵۳۸/۱۱)	۲۷۰۶/۲۵ (۲۴۷۹/۱۰)	۳۴۲۹/۴۱ (۲۴۰۰/۴۶)	۱/۵۶۴	۰/۴۵۷
Sr	۲۲۲۵/۰۰ (۴۹۴/۰۴)	۲۶۴۳/۷۵ (۷۵۷/۱۶)	۲۴۶۶/۶۷ (۴۶۹/۰۴)	۴/۶۸۴	۰/۰۹۶
O	۲۷۰۴۲/۰۰ (۷۹۸۰/۰۱)	۲۶۸۱۶۸/۷۵ (۱۶۴۴۸/۹۴)	۲۶۹۳۲۲/۲۲ (۱۲۸۰۴/۸۰)	۰/۳۰۱	۰/۸۶۰

جدول ۳: نتایج ۱۴ آزمون کروسکال-والیس به منظور آزمون این فرضیه صفر که هیچ اختلاف معنی‌داری میان ایستگاههای نمونه برداری از دیدگاه تجمع عناصر مختلف در رسوبات وجود ندارد. مقادیر میانگین و انحراف معیار (درون پرانتزها) نیز ارائه گردیده است (بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک). ایستگاههایی که باحروف لاتین مشابه مشخص گردیده‌اند، فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند (بر مبنای آزمون من-ویتنی، $p \leq 0.05$).

عنصر	ایستگاههای نمونه برداری			H	P-value
	۱	۲	۳		
Na	۸۵۳۳/۳۳ ^a (۸۳۲/۶۶)	۱۵۸۶۶/۶۶ ^b (۱۴۰۱/۱۸)	۴۶۲۶۶/۶۶ ^c (۱۳۶۵/۰۳)	۷/۲۰۰	۰/۰۲۷
Mg	۲۷۴۶۶/۶۶ ^b (۱۵۸۲/۱۹)	۲۴۳۳۳/۳۳ ^b (۱۳۲۰/۳۵)	۱۵۲۶۶/۶۶ ^a (۲۱۵۰/۱۹)	۷/۲۰۰	۰/۰۲۷
Al	۳۶۴۰۰/۰۰ (۲۷۰۰/۰۰)	۳۵۹۶۶/۶۶ (۳۸۵۰/۱۰)	۲۵۹۶۶/۶۶ (۱۹۵۰/۲۱۳)	۵/۴۲۲	۰/۰۶۶
Si	۱۷۳۱۰۰/۰۰ (۲۰۱۲۹/۸۲)	۲۰۱۹۳۳/۳۳ (۳۰۵۰۰/۸۷)	۱۱۲۶۰۰/۰۰ (۴۲۰۳/۵۶)	۵/۹۵۶	۰/۰۵۱
S	۱۳۰۰/۰۰ ^b (۲۰۰/۰۰)	۸۹۶/۶۶ ^b (۸۵/۰۴)	۱۷۵/۰۰ ^a (۷۷/۷۸)	۶/۲۵۰	۰/۰۴۴
Cl	۱۰۰۰۰/۰۰ ^a (۲۰۰۰/۰۰)	۱۳۸۰۰/۰۰ ^a (۱۱۰۰/۰۰)	۷۰۹۶۶/۶۶ ^b (۳۴۹۴/۷۵)	۷/۲۰۰	۰/۰۲۷
K	۹۴۰۰/۰۰ ^a (۱۰۰/۰۰)	۹۱۰۰/۰۰ ^a (۱۰۰/۰۰)	۵۸۳۳/۳۳ ^b (۴۰۴/۱۴)	۷/۲۰۰	۰/۰۲۷
Ca	۲۹۶۹۳۳/۳۳ ^b (۲۵۵۴/۰۸)	۲۶۴۳۳۳/۳۳ ^a (۳۵۱۱/۸۸)	۳۵۳۳۳۳/۳۳ ^c (۴۳۰۱/۵۵)	۷/۲۰۰	۰/۰۲۷
Ti	۳۸۰۰/۰۰ ^c (۱۰۰/۰۰)	۲۶۰۰/۰۰ ^b (۲۰۰/۰۰)	۱۲۰۰/۰۰ ^a (۲۰۰/۰۰)	۷/۲۰۰	۰/۰۲۷
Cr	۸۰۰/۰۰ ^b (۱۰۰/۰۰)	۷۰۰/۰۰ ^a (۱۰۰/۰۰)	۸۰۰/۰۰ ^b (۱۰۰/۰۰)	۱/۸۰۲	۰/۴۰۶
Mn	۸۰۰/۰۰ (۱۰۰/۰۰)	۵۰۰/۰۰ (۱۰۰/۰۰)	۵۰۰/۰۰ (۱۰۰/۰۰)	۵/۵۳۸	۰/۰۶۳
Fe	۳۳۶۰۰/۰۰ ^b (۲۷۵۱/۳۶)	۲۳۵۶۶/۶۶ ^a (۲۴۱۷/۲۹)	۳۰۵۶۶/۶۶ ^b (۱۸۵۰/۲۲)	۶/۴۸۹	۰/۰۳۹
Ni	۲۰۰/۰۰ (۱۰۰/۰۰)	۲۳۳/۳۳ (۵۷/۷۳)	۲۶۶/۶۶ (۱۱۵/۴۷)	۰/۵۶۶	۰/۷۵۴
O	۳۹۴۰۳۳/۳۳ (۳۷۲۲/۰۰)	۴۰۴۹۳۳/۳۳ (۳۰۱۰۵/۵۳)	۳۳۴۲۶۶/۶۶ (۱۹۷۵۳/۵۶)	۵/۶۰۰	۰/۰۶۱

جدول ۴: نتایج دو آزمون کروسکال-والیس به منظور آزمون این فرض صفر که هیچ اختلاف معنی داری میان طول کل و ارتفاع نمونه های گردآوری شده از ایستگاههای نمونه برداری وجود ندارد. مقادیر میانگین و انحراف معیار (درون پرانتزها) نیز ارائه گردیده است (بر حسب mm). ایستگاههایی که با حروف لاتین مشابه مشخص گردیده اند، فاقد اختلاف معنی دار می باشند (بر مبنای آزمون من-ویتنی، $p \leq 0.05$).

	ایستگاههای نمونه برداری			H	P-value
	۱	۲	۳		
طول کل	^b ۴۵/۰ (۲/۹)	^a ۳۴/۶ (۶/۹)	^b ۴۴/۸ (۱/۹)	۹/۵۵۷	۰/۰۰۸
ارتفاع	^b ۵۶/۰ (۴/۲)	^a ۴۲/۶ (۴/۲)	^b (۴/۲)۵۰/۶ (۴/۶)	۹/۳۷۲	۰/۰۰۹

گردآوری شده از ایستگاههای نمونه برداری می باشد (H=7.2 و $p=0.027$). متعاقبا بر اساس نتایج آزمون posthoc با این ترتیب در مورد ایستگاههای نمونه برداری مواجه خواهیم بود: $۱ < ۳ < ۲$ از نقطه نظر رسوبات دانه ریز و ۲ و $۳ < ۱$ از دیدگاه کل مواد آلی.

درصد دانه بندی و مواد آلی در رسوبات گردآوری شده از ایستگاههای نمونه برداری در جدول ۵ مندرج می باشد. نتایج آزمون کروسکال-والیس حاکی از وجود اختلاف معنی دار بین ایستگاههای نمونه برداری از دیدگاه درصد رسوبات دانه ریز و همچنین درصد مواد آلی در رسوبات

جدول ۵: درصد دانه بندی و مواد آلی در رسوبات گردآوری شده از ایستگاههای نمونه برداری.

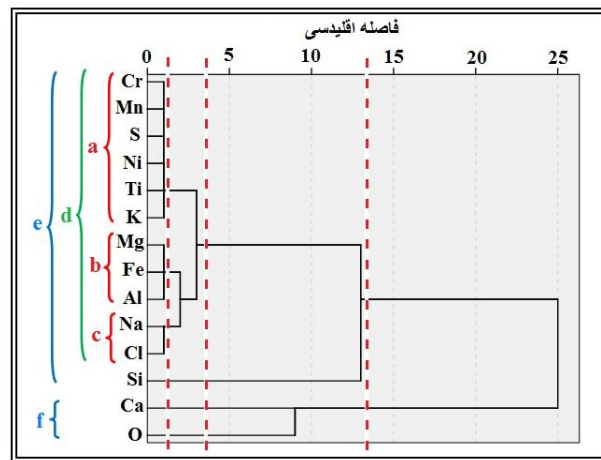
ایستگاه	تکرار	رس (clay)	لای (silt)	شن (sand)	Silt+Clay (دانه ریز)	TOM
۱	۱	۱۶،۲	۳۵،۶	۴۸،۲	۵۱/۸	۳،۵۹۶
	۲	۱۴،۹	۳۷،۳	۴۷،۹	۵۲/۲	۳،۱۸۵
	۳	۱۷	۳۶،۵	۴۶،۵	۳۵/۵	۳،۷۲۵
۲	۱	۲۲،۸	۵۲،۲	۲۵	۷۵	۵،۴۶۸
	۲	۲۴،۲	۵۲،۸	۲۳	۷۷	۵،۶۰۵
	۳	۲۲،۵	۵۲	۲۵،۵	۷۴/۵	۵،۴۱۶
۳	۱	۱۶،۲	۴۹،۲	۳۴،۶	۶۵/۴	۵،۲۳۷
	۲	۱۸،۴	۴۶،۹	۳۱،۷	۶۵/۳	۵،۳۵۵
	۳	۱۷،۳	۴۸،۲	۳۴،۵	۶۵/۵	۵،۲۱۵

همبستگی منفی و معنی دار ($r=0.80$ ، $p<0.01$ در مورد رسوبات دانه ریز و $r=0.92$ ، $p<0.01$ در مورد TOM) وجود دارد. نتایج مربوط به گروه بندی عناصر از نظر میزان تجمع در رسوبات با استفاده از آنالیز خوشه ای در شکل ۲ ارائه گردیده است. با در نظر گرفتن این شکل مشخص می گردد که چنانچه یک خط عمود فرضی در

از سوی دیگر با بررسی ضرایب همبستگی اسپیرمن بین میزان تجمع ۸ عنصر Na، K، Mg، Ca، S، Cl، Ti و Fe (که بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۳ اختلاف معنی داری در میزان تجمع آنها در ایستگاههای نمونه برداری وجود دارد) با درصد TOM و رسوبات دانه ریز مشاهده می شود که تنها در مورد عنصر آهن نوعی

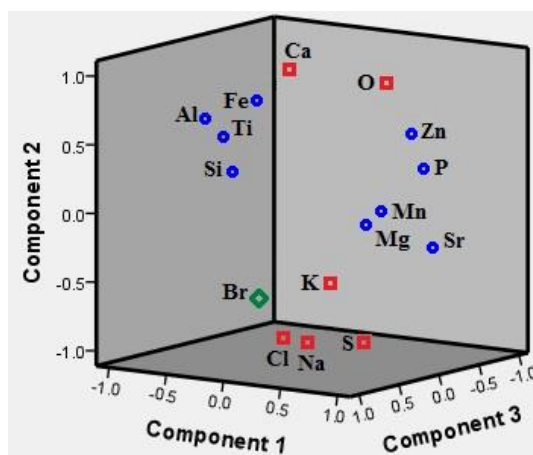
فاصله تقریبی ۱۴ در نظر گرفته شود، کلیه عناصر مورد بررسی در قالب دو گروه e و f قابل طبقه بندی می باشند. بطوری که عناصر Ca و O در یک گروه (f) و سایر عناصر در گروه دیگری (e) قرار می گیرند. با توجه به نتایج آزمون proximity، از بین عناصر مزبور بیشترین نزدیکی (کمترین فاصله) بین عناصر Mn و Cr و کمترین نزدیکی (بیشترین فاصله) بین عناصر Ni و O قابل تشخیص است.

فاصله تقریبی ۲ در نظر گرفته شود، عناصر S، Mn، Cr، Ni، Ti و K در یک گروه (a)، عناصر Mg، Fe و Al در گروه دوم (b)، عناصر Na و Cl در گروه سوم (c) و عناصر Si، Ca و O بصورت مجزا قرار می گیرند. از سوی دیگر با در نظر گرفتن خط عمود فرضی در فاصله تقریبی ۴، سه گروه اول با یکدیگر قابل ادغام می باشند (گروه d). نهایتاً چنانچه یک خط عمود فرضی در



شکل ۲: دندروگرام آنالیز خوشه ای برای گروه بندی عناصر مختلف از دیدگاه میزان تجمع در رسوبات ایستگاههای نمونه برداری.

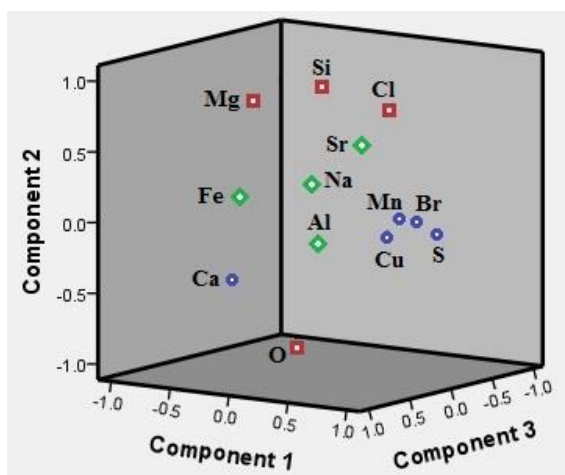
نتایج مربوط به گروه بندی عناصر از نظر میزان تجمع در بافت های نرم نمونه ها با استفاده از آزمون PCA در شکل ۳ ارائه گردیده است.



شکل ۳: نقشه مولفه میزان تجمع فلزات در بافت های نرم نمونه ها. عناصر متعلق به گروه یک با علامت \bullet ، عناصر متعلق به گروه دو با علامت \square و عناصر متعلق به گروه سه با علامت \blacklozenge نشان داده شده اند. با توجه به اینکه مقادیر Cr در بسیاری از نمونه ها کمتر از حد تشخیص دستگاه بود، امکان شمول آن در گروه بندی عناصر از طریق آزمون PCA وجود نداشت.

با توجه به نتایج ماتریس مولفه های اصلی (پس از چرخش واریماکس)، عوامل بارگذاری دوران داده شده متناظر با مؤلفه های اول، دوم و سوم در مجموع 84.548 درصد از کل واریانس ها را توجیه می کند. مولفه نخست 44.066 درصد از کل واریانس ها را شامل می شود و بر اساس آن عناصر S ، Br ، Mn ، Cu و Ca در یک گروه قابل طبقه بندی می باشند. از سوی دیگر مولفه دوم وابسته به عناصر O ، Si ، Mg و Cl است که 24.116 درصد از کل واریانس ها را به خود اختصاص می دهند. با توجه به مولفه سوم که 16.366 درصد از کل واریانس ها را پوشش می دهد، عناصر Fe ، Na ، Al و Sr در گروهی دیگر قرار می گیرد (شکل ۴).

با توجه به نتایج ماتریس مولفه های اصلی (پس از چرخش واریماکس)، عوامل بارگذاری دوران داده شده متناظر با مؤلفه های اول، دوم و سوم در مجموع صد درصد از کل واریانس ها را توجیه می کند. مولفه نخست 49.683 درصد از کل واریانس ها را شامل می شود و بر اساس آن عناصر Sr ، Si ، P ، Mn ، Ti ، Mg ، Zn و Al در یک گروه قابل طبقه بندی می باشند. از سوی دیگر مولفه دوم وابسته به عناصر Cl ، Ca ، Na ، S و O است که 39.504 درصد از کل واریانس ها را به خود اختصاص می دهند. با توجه به مولفه سوم که 10.812 درصد از کل واریانس ها را پوشش می دهد، عنصر Br در گروهی مجزا قرار می گیرد (شکل ۳). نتایج مربوط به گروه بندی عناصر از نظر میزان تجمع در صدف نمونه ها با استفاده از آزمون PCA در شکل ۴ ارائه گردیده است.



شکل ۴: نقشه مولفه میزان تجمع فلزات در صدف نمونه ها. عناصر متعلق به گروه یک با علامت: \bullet ، عناصر متعلق به گروه دو با علامت: \square و عناصر متعلق به گروه سه با علامت: \diamond نشان داده شده اند. با توجه به اینکه مقادیر K در بسیاری از نمونه ها کمتر از حد تشخیص دستگاه بود، امکان شمول آن در گروه بندی عناصر از طریق آزمون PCA وجود نداشت.

سوخت و ساز موجودات زنده می باشند. از این میان عناصر O ، P و Fe در زمره درشت مغذی ها^{۲۲} و Br جزء ریز مغذی ها^{۲۳} محسوب می گردد (Cohen, 2008). بطور کلی در تبیین علل اختلاف میزان تجمع برخی عناصر در بافت های نمونه های دو کفه ای

بحث

از دیدگاه مقایسه نمونه های گردآوری شده از ایستگاههای نمونه برداری، با مد نظر قرار دادن نتایج مربوط به بافت نرم آنها، شایان ذکر است که هر چهار عنصری که اختلاف معنی داری را آشکار ساختند (جدول ۱) در زمره مواد مغذی^{۲۱} (مواد مورد نیاز برای رشد و

^{۲۲} macronutrients
^{۲۳} micronutrients

^{۲۱} nutrients

باشند که بسته به گونه و نوع فلز ممکن است منجر به کاهش، افزایش یا عدم تغییر میزان تجمع فلزات با افزایش ابعاد بدن گردد (Warnau *et al.*, 1995; Méndez *et al.*, 2006; Pourang *et al.*, 2014). اصولاً کلمه‌ها^{۲۷} در زمره صافی خواران اختیاری^{۲۸} محسوب می‌شوند و قادرند انواع عناصر، منجمله عناصر کیمیا را از طرق مختلف دریافت نمایند (مانند: دریافت عناصر محلول در ستون آب از طریق برانشی‌ها یا بلع غذای حاوی انواع فیتوپلانکتون‌ها، باکتری‌ها و ذرات مواد آلی و معدنی موجود در منطقه بین جزر و مدی) (Tarique, 2008; Metaxatos and Ignatiades, 2011; Baeta *et al.*, 2014; Bagheri *et al.*, 2014). مواد وارد شده به بدن این آبزیان با توجه به منشأ آنها حاوی انواع مختلفی از عناصر می‌باشند که ممکن است منشأ طبیعی یا انسان ساخت داشته باشند (Kennedy, 1986). یکی از نکات شایان توجه در مورد گونه مورد مطالعه (*C. umbonella*) این است که بر اساس مطالعات برخی محققین رفتار تغذیه‌ای این آبزیان ممکن است در واکنش به تغییر در برخی شرایط محیطی (بواسطه عوامل استرس‌زا، کمبود مواد معلق یا میزان جریان آب) از تغذیه از مواد معلق^{۲۹} به استفاده از ذراتی که به تازگی بر روی رسوبات ترسیب شده‌اند^{۳۰} تغییر نماید. لذا تجمع عناصر مختلف در این گونه ممکن است بنا به شرایط محیطی از طریق آب و یا از طریق رسوبات باشد (Tarique, 2008).

در تفسیر دلایل وجود اختلاف در میزان تجمع سه عنصر O، P و Br در بافت‌های نرم نمونه‌های گردآوری شده از ایستگاه ۲ نسبت به دو ایستگاه دیگر، باید وجود اختلاف معنی‌دار بین طول کل و ارتفاع نمونه‌های مربوط به ایستگاه مزبور در مقایسه با دو ایستگاه دیگر (جدول ۴) را نیز مدنظر قرار داد.

گردآوری شده از ایستگاه‌های نمونه برداری مختلف باید به نکات زیر توجه نمود:

الف) تفاوت در قابلیت دسترسی زیستی^{۲۴} عناصر مورد نظر در بین ایستگاه‌های نمونه برداری (احتمالاً ناشی از تغییرات مقطعی در برخی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب یا رسوبات): اصولاً در اکوسیستم‌های آبی میزان پراکنش فلزات در میان فازهای مختلف (شامل ستون آب، رسوبات و آب میان ذرات رسوبی^{۲۵}) بر میزان دسترسی زیستی فلزات موثر است. در هریک از فازهای مزبور، میزان دسترسی زیستی بواسطه فاکتورهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی مشخص می‌گردد.

ب) تفاوت احتمالی در مکانیسم جذب عناصر مورد نظر در بین ایستگاه‌های نمونه برداری: مکانیسم‌های مختلفی برای جذب عناصر در دو کفه‌ای‌ها وجود دارد که بواسطه تغییر در شرایط فیزیولوژیکی، وضعیت تولید مثلی، عوامل محیطی و یا حتی جنسیت این جانوران تغییر می‌کند (Luoma, 1989; Hamed and Emara, 2006; Peake *et al.*, 2006).

پ) تاثیر پارامترهای بیومتریکی (بویژه ابعاد بدن) بر میزان تجمع عناصر مختلف در بدن آبزیان، توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. با این وجود مکانیسم‌های مربوطه هنوز بطور کامل شناسایی نشده‌اند. معهداً معمولاً در تبیین رابطه مزبور به سه توجیه کلی اشاره می‌گردد: (۱) کاهش نسبت سطح به حجم آبزیان با افزایش ابعاد بدن (۲) کاهش فعالیت‌های متابولیک (سوخت و ساز) در آبزیان بزرگتر (مسن‌تر) (۳) در آبزیان بزرگتر احتمال تخم‌ریزی بالاتر است و معمولاً در حین تخم‌ریزی، برخی عناصر ضروری^{۲۶} به‌همراه تخم از بدن خارج می‌شوند. هر سه عامل مزبور منجر به کاهش میزان جذب فلزات با افزایش ابعاد بدن آبزیان می‌گردد. البته نتایج تحقیقات مختلف حاکی از آن است که بویژه در دو کفه‌ای‌ها مکانیسم‌های متنوعی در این رابطه دخیل می‌

^{۲۷} clams

^{۲۸} facultative filter feeders

^{۲۹} suspension feeding

^{۳۰} newly deposited particles

^{۲۴} bioavailability

^{۲۵} pore water

^{۲۶} essential elements

در تفسیر علت وجود اختلاف در میزان تجمع Si در صدف نمونه های گردآوری شده از ایستگاه ۲ نسبت به دو ایستگاه دیگر، باید وجود اختلاف معنی دار بین طول کل و ارتفاع نمونه های مربوط به ایستگاه مزبور در مقایسه با دو ایستگاه دیگر (جدول ۴) را نیز مدنظر قرار داد. با توجه به کوچکتر بودن نمونه های مربوط به ایستگاه ۲، توضیحات فوق الذکر در رابطه با تاثیر پارامترهای بیومتریکی بر میزان تجمع عناصر مختلف در بدن آبزیان نیز در تبیین علل احتمالی این اختلاف ثمربخش خواهد بود.

از دیدگاه مقایسه میزان تجمع عناصر در رسوبات ایستگاههای نمونه برداری، توجه به این نکته حائز اهمیت است که اصولاً تفاوت در میزان تجمع عناصر در رسوبات گردآوری شده از ایستگاههای مختلف، نباید الزاماً به منابع انسان ساخت (آنتروپوژنیک) نسبت داده شود. به بیانی دیگر بالاتر بودن میزان تجمع برخی از عناصر در بعضی ایستگاهها ممکن است ناشی از بالاتر بودن نسبت رسوبات دانه ریز در این مناطق باشد. میزان تجمع عناصر در رسوبات نه تنها به منابع انسان ساخت و زمین شناختی موجود در منطقه مرتبط می باشد، بلکه به ساختار بافت رسوبات، محتویات مواد آلی، ترکیب کانی شناسی^{۳۹} و منشاء تشکیل رسوبات بستگی دارد. عناصر کمیاب^{۴۰} در وهله نخست به رسوبات دانه ریز متصل می شوند. ذرات رسوبی کوچکتر دارای نسبت سطح به حجم بیشتری می باشند از اینرو معمولاً بواسطه جذب بیشتر فلزات کمیاب به سطح ذرات رسوبی میزان تجمع فلزات کمیاب در آنها بیشتر است (Pourang et al., 2010 ; El

Kashouty and Sabbagh, 2011). همانگونه که قبلاً ذکر گردید با توجه به جدول ۵ ملاحظه می گردد که در رسوبات گردآوری شده از ایستگاه ۲ درصد رسوبات دانه ریز و همچنین درصد مواد آلی از دو ایستگاه دیگر بیشتر می باشد. اما با بررسی ضرایب همبستگی بین میزان تجمع ۸ عنصری که اختلاف معنی داری در میزان تجمع آنها در ایستگاههای نمونه برداری وجود دارد، با

از دیدگاه مقایسه نمونه های گردآوری شده از ایستگاههای نمونه برداری، با در نظر گرفتن نتایج مربوط به صدف آنها، همانگونه که در جدول ۲ مشهود است، صرفاً در مورد Si اختلاف معنی داری بین ایستگاههای نمونه برداری مشاهده گردید. بطور کلی بر اساس نتایج تحقیقات پژوهشگران مختلف، وجود تفاوت در ساختار شیمیایی صدف های متعلق به یک گونه که از مناطق مختلف گردآوری شده اند، ممکن است ناشی از عوامل مختلفی نظیر تفاوت در ترکیبات شیمیایی موجود در آب و رسوبات و همچنین تفاوت در پارامترهای محیطی (مانند شوری و درجه حرارت) در ایستگاههای نمونه برداری باشد (Zacherl, 2005; Gillikin et al., 2005; Niemand, 2009). اصولاً Si پس از اکسیژن فراوان ترین عنصر در پوسته زمین محسوب می شود. این عنصر دارای پتانسیل حلالیت کمی در آب می باشد و احتمالاً بخش عمده سیلیسیم محلول در آب ناشی از تجزیه سیلیکات هادر فرآیند دگرگونی^{۳۱} یا هوازدگی^{۳۲} می باشد (Bartram & Balance, 1996). منابع Si در اکوسیستم های آبی عمدتاً طبیعی می باشند و شامل سه منشاء اصلی می باشند: الف) ورود به دریاها و اقیانوس ها از طریق رودخانه ها و آب های زیرزمینی حاوی اسید سیلیسیک^{۳۳} یا سیلیکات ناشی از هوازدگی سنگ های سیلیسی متشکل از فلدسپارها^{۳۴} و میکاها^{۳۵} ب) دارای منشاء بیوژنیک^{۳۶} ناشی از انحلال موجودات تولید کننده سیلیس مانند سوزنه های اسفنج های سیلیسی^{۳۷}، شعاعیان^{۳۸} و دیاتومه ها پ) بواسطه ترسیب ذرات از طریق اتمسفر (متعاقب هوازدگی سنگ های سیلیسی و انتقال ذرات به اتمسفر).

^{۳۱} metamorphism

^{۳۲} weathering

^{۳۳} silicic acid

^{۳۴} feldspars

^{۳۵} micas

^{۳۶} biogenic

^{۳۷} siliceous sponge spicules

^{۳۸} radiolaria

^{۳۹} mineralogical composition

^{۴۰} trace elements

بطور کلی الگوهای گروهبندی تجمع عناصر در صدف نرم‌تنان دارای وضوح و تمایز بیشتری نسبت به بافت های نرم می باشند. علاوه بر این صدف دوکفه هایی که دارای طول عمر بالا و رشد کند می باشند، قابلیت استفاده برای ثبت تغییرات محیطی طویل‌المدت را دارند (Beone *et al.*, 2011).

در تبیین علل گروهبندی عناصر در رسوبات منطقه (شکل ۲) باید به این نکته توجه نمود که اصولاً میزان تجمع عناصر مختلف در رسوبات نه تنها تحت تاثیر منابع انسان ساخت و زمین زاد^{۴۳} می باشد، بلکه از ویژگی های بافت شناختی رسوبات، میزان مواد آلی، ترکیب کانی شناسی و سرعت ترسیب ذرات رسوبی نیز متاثر می گردد (Presley *et al.*, 1980; Pourang *et al.*, 2005).

برای مقایسه نتایج تحقیق کنونی از نظر تجمع عناصر در بافت های نرم با سایر تحقیقات مرتبط با تجمع عناصر در بافتهای نرم دو کفه ای ها در سطوح منطقه ای و بین المللی می توان به جدول ۶ مراجعه نمود. همانگونه که مشاهده می گردد تنها در مورد برخی عناصر (Fe, Al, Mn و Zn) داده های مرتبط برای مقایسه در دسترس می باشد. در رابطه با چهار عنصر مزبور، مقادیر مربوط به این تحقیق در اکثر موارد بطور قابل ملاحظه ای بیشتر از سایر تحقیقات درج شده در جدول مزبور می باشد. بطور کلی همانگونه که قبلاً بیان گردید تفاوت های مشاهده شده بین میزان تجمع هر عنصر در بافت های آریزان مناطق مختلف ممکن است ناشی از عوامل متعددی باشد که از آن جمله می توان به تفاوت در قابلیت دسترسی زیستی عناصر و همچنین تفاوت احتمالی در مکانیسم جذب عنصر مورد نظر (در بافت مورد نظر) در مناطق مختلف اشاره نمود (Luoma, 1989; Hamed & Emara, 2006; Pourang *et al.*, 2014).

مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق در رابطه با تجمع عناصر در صدف نمونه ها با سایر تحقیقات مشابه در سطح بین المللی (جدول ۷) نشانگر آن است که نتایج تحقیق کنونی در تمامی موارد بیشتر از سایر تحقیقات درج شده

درصد TOM و رسوبات دانه ریز مشاهده می شود که تنها در مورد عنصر آهن نوعی همبستگی منفی و معنی دار وجود دارد. اصولاً مشاهده همبستگی منفی بین میزان تجمع فلزات و رسوبات دانه ریز (کمتر از ۶۳ میکرومتر) را می توان به اثر رقیق کنندگی این بخش از رسوبات (به دلیل محتویات بالاتر کوارتز و فلدسپار) نسبت داد (Devesa-Rey *et al.*, 2011). عدم همبستگی بین هیچیک از عناصر مورد بررسی (بجز آهن) با TOM نشانگر عدم منشاء بیوژنیک آنها می باشد (Montalvo *et al.*, 2014). با توجه به تفاوت در موقعیت ایستگاههای نمونه برداری (در ورودی دریای عمان، تنگه هرمز و خلیج فارس) تفاوت در میزان تجمع عناصر مزبور در رسوبات گردآوری شده از ایستگاههای مختلف ممکن است ناشی از عوامل گوناگون باشد که از آن جمله می توان به عواملی همچون تفاوت در حضور طبیعی آنها در محیط، دوری یا نزدیکی به منابع انتشار انسان ساخت موجود در منطقه، تفاوت در سرعت و جهت جریانات دریایی اشاره نمود (Pourang *et al.*, 2010).

در تفسیر گروهبندی عناصر در بافت های نرم و سخت نمونه ها (شکل های ۳ و ۴) باید به نکات ذیل توجه نمود: اصولاً نتایج تحقیقات بسیاری از محققین مبین آن است که الگوی تجمع فلزات سنگین در بافت های جانوران به سرعت های جذب و دفع آنها در بافت مورد نظر بستگی دارد (Moloukhia & Sleem, 2011).

بطور کلی سه عامل در ویژگی های فلزات در بدن موجودات زنده دخیل می باشند: الف) تفاوت در میل ترکیبی ب) تفاوت میزان تجمع درون سلولی فلزات (متاثر از سیستم های مشخص جذب یا دفع) پ) مزیت های هندسه کوئوردینانس^{۴۱} فلزات مختلف یا به تعبیر دیگر قابلیت های ایجاد تغییر صورتبندی^{۴۲} مطلوب (Harvie *et al.* 2006; Liu *et al.* 2006; Beone *et al.*, 2011).

۴۱ coordination geometry

۴۲ conformational change

۴۳ lithogenic

تحقیقات انجام شده در سایر نقاط جهان بیشتر است. بالاتر بودن نتایج تحقیق کنونی از نتایج سایر تحقیقات (در اکثر موارد) احتمالاً تا حدودی ناشی از دانه ریز بودن نسبی رسوبات نمونه برداری شده از منطقه مطالعاتی بوده است. زیرا اصولاً ذرات رسوبی دانه ریزتر دارای نسبت سطح به حجم بیشتری نسبت به ذرات دانه درشت تر می باشند و از اینرو قابلیت تجمع مقادیر بیشتری از عناصر را دارند (Parizanganeh, 2008; El kashouty & El Juracic *et al.*, 1980, 1982). در هر صورت قضاوت دقیق در مورد علل بیشتر بودن نسبی مقادیر عناصر مورد نظر در منطقه مطالعاتی مستلزم انجام مطالعاتی در مورد منابع انتشار آنها در این منطقه می باشد.

همانگونه که قبلاً ذکر گردید، اختلاف میزان تجمع برخی عناصر در نمونه های دو کفه ای گردآوری شده از ایستگاههای نمونه برداری ممکن است ناشی از عوامل مختلفی باشد (تفاوت در قابلیت دسترسی زیستی عناصر، تفاوت احتمالی در مکانیسم جذب عناصر مورد نظر در بین ایستگاه های نمونه برداری، تاثیر تفاوت در پارامترهای بیومتریکی بر میزان تجمع عناصر مختلف در بافت های مختلف و...). از اینرو قضاوت قطعی در مورد سهم نسبی هر یک از عوامل مذکور مستلزم انجام مطالعات تکمیلی می باشد.

در نهایت می توان چنین استنباط نمود که گونه مورد نظر به چند دلیل کاندید مناسبی برای معرفی به عنوان یک پایشگر زیستی عناصر مختلف در منطقه مطالعاتی می باشد: الف) دامنه پراکنش نسبتاً گسترده در سواحل خلیج فارس و دریای عمان ب) امکان تشخیص دامنه ای گسترده از عناصر (در مجموع ۱۸ عنصر در بافت نرم و صدف نمونه ها با استفاده از روش پیکسی) پ) تعدادی از عناصر (Zn و Sr, P, Cu, Br) در بافت های نمونه ها قابل تشخیص بودند اما در رسوبات منطقه قابل اندازه گیری نبودند (جدول ۶، ۷ و ۸). ت) میزان تجمع برخی از عناصر مورد بررسی در این تحقیق در بافت های نرم و سخت گونه مورد مطالعه بطور قابل ملاحظه ای بالاتر از دیگر گونه های دو کفه ای مورد مطالعه در سطوح ملی و بین المللی بوده اند (بویژه عناصر Mn, Fe و Zn در

در جدول مزبور می باشد. اصولاً تفاوت در میزان تجمع یک عنصر در صدف گونه های مختلف نرمتنان ممکن است ناشی از عوامل مختلفی باشد که مهمترین آنها عبارتند از: الف) تفاوت در مراحل رشد^{۴۴} نمونه های متعلق به گونه های مورد بررسی ب) تفاوت در سرعت رشد^{۴۵} نمونه های متعلق به گونه های مورد بررسی پ) کانی شدن^{۴۶} یا معدنی شدن زیستی^{۴۷} ت) تفاوت در برخی عوامل فیزیکی و شیمیایی محیط بویژه میزان شوری و درجه حرارت در اکوسیستم های آبی مختلف ث) نوسانات مکانی و زمانی در غلظت عناصر مختلف در آب محیط زیست نرمتنان ج) میزان مواد آلی موجود در رسوبات محیط زیست گونه های مورد نظر چ) تفاوت در عادات غذایی^{۴۸} گونه های مختلف (Chang *et al.*, 2007; Protasowicki *et al.*, 2008 Niemand, 2009; Pourang *et al.*, 2010).

مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق در رابطه با تجمع عناصر در رسوبات سطحی با استانداردهای مرتبط و همچنین سایر تحقیقات مشابه در سطوح منطقه ای و بین المللی (جدول ۸) حاکی از آن است که نتایج تحقیق کنونی در اکثر موارد بیشتر از استانداردها و مقادیر راهنمای مرتبط (مندرج در جدول مزبور) می باشند. در مقایسه با مقادیر پایه جهانی برای فلزات در رسوبات^{۴۹} بجز در مورد عناصر Mn و Ti در سایر موارد میزان تجمع عناصر در رسوبات منطقه مطالعاتی از مقادیر مزبور بیشتر می باشد. اما در قیاس با مقادیر عناصر در پوسته زمین^{۵۰} بالعکس میزان تجمع عناصر در رسوبات منطقه مطالعاتی در اکثر موارد (بجز در مورد Ni و Cl) کمتر می باشد. همانطوری که در جدول مذکور مشاهده می گردد، مقادیر مربوط به تحقیق کنونی در اکثر موارد در مقایسه با نتایج

^{۴۴} otogenetic stages

^{۴۵} growth rate

^{۴۶} mineralogy

^{۴۷} biomineralization

^{۴۸} feeding habits

^{۴۹} global baseline values for metals in sediments

^{۵۰} earth crust

جدول ۶: میانگین (±SD) یا دامنه مقادیر تجمع فلزات سنگین در بافت های نرم گونه *Callineta umbonella* از منطقه مطالعاتی و همچنین سایر گونه های دو کفه ای از نقاط مختلف دنیا. کلیه مقادیر بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک می باشند.

گونه	منطقه جغرافیایی	عنصر														منبع		
		Al	Br	Ca	Cl	Fe	K	Mg	Mn	Na	O	P	S	Si	Sr		Ti	Zn
<i>Callineta umbonella</i>	Northern part of the Persian Gulf	4907.1 ±	1060.0 ±	144620.0 ±	354766.6 ±	6693.3 ±	43940.0 ±	22926.6 ±	2266.6 ±	75593.3 ±	247813.3 ±	37900.0 ±	45126.6 ±	11620.0 ±	8000.0 ±	466.6 ±	307.6 ±	Present study
		2321.6	4188	48795.5	71976.9	3461.7	11429.0	4300.7	1832.5	14609.5	31312.3	16662.5	7569.5	14965.5	3800	331.6	284.1	
<i>C. umbonella</i>	Kuwait bay, Persian Gulf								19.4 ±								102 ±	Tarique, 2008
	Northern part of the Persian Gulf					100-150			2-617								3-160	Saeedi, 2012
<i>Pinna muricata</i>	Jebel Ali, UAE, Persian Gulf					501			1110								1830	Mora et al., 2004
<i>Saccostrea cucullata</i>	Al Sawadi, Oman, Sea of Oman					164			7.11								745	Mora et al., 2004
<i>Solen dactylus</i>	Northern part of the Persian Gulf					210-1886			8-56								60-92	Saeedi, 2012
<i>Laternula aliprica</i>	Deception Island, Antarctic Peninsula	2000 ±				9200 ±			700 ±									Deleym et al., 2005
<i>Comptopallium rahlia</i>	Sainte Marie Bay, New Caledonia					2200 ±			400 ±									Deleym et al., 2005
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Southeastern Adriatic coast					221 ±			6.06 ±								183 ±	Meitan et al., 2008
						88 ±			2.46 ±								90 ±	Meitan et al., 2008
						225.6 ±			20.0 ±								167.0 ±	Stanković et al., 2014
						140.3 ±			21.6 ±								75.4 ±	Stanković et al., 2014

جدول ۷: میانگین (±SD) یا دامنه مقادیر تجمع عناصر مورد بررسی در این تحقیق در صدف گونه *Callista umbonella* از منطقه مطالعاتی و همچنین سایر گونه های دو کفه ای از نقاط مختلف دنیا. کلیه مقادیر بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک می باشند.

گونه	منطقه جغرافیایی	Al	Br	Ca	Cl	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	O	S	Sr	Si	منبع
<i>Callista umbonella</i>	Northern part of the Persian Gulf	3848.88 ±	3203.77 ±	652312.96 ±	310000.00 ±	402.00 ±	1096.22 ±	2445.45 ±	4633.33 ±	463.63 ±	10177.41 ±	269387.03 ±	24447.16 ±	2429.62 ±	4063.26 ±	مطالعه کنونی
		1251.65	2451.29	28111.69	19836.04	319.11	621.71	2383.84	2648.66	261.03	5566.30	12363.19	11488.23	591.96	1599.69	
<i>Pinctada radiata</i>	Around the Lavan and Hendorabi Islands, Persian Gulf	113017 ±				0.3845 ±	0.0635 ±		3613.8275 ±	4.8207 ±			981.2413 ±			Pourang <i>et al.</i> , 2014
		2.0874				0.2819	0.6808		3568.7025	3.8975			122.0923			
<i>Ensis siligina</i>	Northeast of Anglesey, Western coastal waters of the UK								123					1435		Nicholas <i>et al.</i> , 2006
<i>Crassostrea virginica</i>	Galveston Bay, USA	200	1	546000	340	3	180	30		110	3200		1600			Smith and Wright, 1962
<i>Ensis siligina</i>	Cornwall, Western coastal waters of the UK								56.6					1999		Nicholas <i>et al.</i> , 2006
<i>Pinctada margaritifera</i>	Lagoon of Mahini, French Polynesia	45.7		396000		1.05	67.8		2136	2.30	5536			890		Chang <i>et al.</i> , 2007
<i>Pinctada fucata</i>	Lagoon of Mahini, French Polynesia	258		356000		6.5	18	116	2700	37	5310			1030		Chang <i>et al.</i> , 2007
<i>Mytilus edulis</i>	Polish coast of Baltic Sea	157,1667 ±				3.051 ±	10.876 ±		58.050 ±							Protasowicki <i>et al.</i> , 2008
		23.901				0.438	9.604		27.799							
<i>Tridacna maxima</i>	Different localities of the Red Sea coast Port Said, Mediterranean Sea															
<i>Anadara diluvii</i>	Mediterranean Sea					25-54	100-309			12-50						Ramadan and Shata, 1993

جدول ۸: میانگین (±SD) یا دامنه مقادیر تجمع فلزات سنگین در رسوبات سطحی (مقادیر بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک) منطقه مطالعاتی، رسوبات دریایی سایر مناطق جهان و همچنین برخی استانداردهای بین المللی مرتبط.

منطقه جغرافیایی / استاندارد	Al	Ca	Cl	Cr	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	O	S	Si	Ti	منبع
Northern part of the Persian Gulf	32777.7 ±	304866.6 ±	31588.8 ±	766.6 ±	29244.4 ±	8111.1 ±	22355.5 ±	600.0 ±	23555.5 ±	233.3 ±	377744.4 ±	867.5 ±	162544.4 ±	2533.3 ±	تحقیق کوثری
	5710.4	39114.3	29652.6	100.0	4905.8	1726.5	5685.5	173.2	17359.3	86.6	37592.2	481.5	43558.0	1136.8	
Around the Lavan and Hendorabi islands, Persian Gulf										0.710 ±					Pourang <i>et al.</i> , 2014
Global baseline values for metals in sediments	7.20	6.60		72.00	4.10	2.00	1.40	770.0	0.57	52.00				3800	Bowen, 1979
Upper continental crust	7.74	2.95		35.00	3.09	2.87	1.35	527.0	2.57	18.60				3117	Wedepohl, 1995
Earth crust	81000		130	100	54000		23000	1000		75				5000	Krauskopf and Bird, 1995
ANZECC/ISQG guidelines				81-370				460-1110		20.9-51.6					ANZECC/ARCANZ, 2000
EPA Marine Sediment Screening Benchmarks				52.3						15.9					ROPME, 2013
Ontario Ministry of Environment screening level guidelines				26-110						16-75					ANZECC/ARCANZ, 2000
Hong Kong's sediment quality guideline				80						40					ETWB, 2002
ROPME Sea Area	25338.23	224870.67		123.81	16818.75		25958.56	305.28		76.64					ROPME, 2010
Al Marfa, UAE, Persian Gulf	21000			37.6	5820			225		15.5					De Mora <i>et al.</i> , 2004
Baja California Peninsula, shallow-water hydrothermal vents	2 ± 1.8	29±7			1±0.2			143±94		19±8		0.4±0.2		0.1±0.1	Leal Acosta <i>et al.</i> , 2013
Southeastern Adriatic coast								425.0		79.6					Stanković <i>et al.</i> , 2014
Western Part of Egyptian Mediterranean Sea				24.101	1122.950			57.953		38.762					Ahdy and Khalid, 2009
Vellar estuary, Southeast coast of India	542.00 ±			9.44 ±	10028.10 ±		2954.61 ±	178.28 ±		1.64 ±					Palpani and Kesavan, 2012
	487.58			3.11	557.00		345.24	1.12		1.20					

ANZECC: Australian and New Zealand Environment and Conservation Council; ISQG: Interim Sediment Quality Guideline; EPA: US Environmental Protection Agency; ROPME: Regional Organization for the Protection of the Marine Environment.

correlations between metal in mollusk soft tissue and nonresistant sediment fraction: a tool for biomonitoring intertidal zone of the Persian Gulf, Iran. *Environmental monitoring and assessment* 186:1977-1986.

- Bartram, J. and Balance, R., 1996.** Water quality monitoring. A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes. *Published on behalf of UNESCO, WHO and UNEP by E&FN Spon*, 366 pp.
- Beone, G. M., Cattani, I., Fontanella, M. C. and Ravera, O., 2011.** Relationship between element concentrations and body size in the Lake Maggiore population of *Unio pictorum mancus* (Mollusca, Bivalvia). *Journal of limnology*, 70:283-292.
- Bosch, D., Dance P., Moolenbeek R. and Oliver G., 1995.** Sea shells of Eastern Arabia. Motivate Publishing, Dubai.296 pp.
- Bowen H.J.M., 1979.** Environmental chemistry of the elements. *Academic Press*, London, 333 pp.
- Chang, F., Li, G.C., Haws, M. and Niu, T.H., 2007.** Element concentrations in shell of *Pinctada margaritifera* from French Polynesia and evaluation for using as a food supplement. *Food Chemistry*, 104:1171-1176.
- Cohen, A.N., 2008.** Sources, mechanisms and impacts of changes in nutrient inputs to San Francisco Bay. San Francisco Estuary Institute, Oakland, CA. 23 pp.
- De Mora S., Fowler, S.W., Wyse, E. and Azemard, S., 2004.** Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Gulf and Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin*, 49: 410-424.
- Deheyn, D.D., Gendreau, P., Baldwin, R.J. and Latz, M. I., 2005.** Evidence for enhanced bioavailability of trace elements in the marine ecosystem of Deception Island, a volcano in Antarctica. *Marine Environmental Research*, 60: 1-33.
- Devesa-Rey, R., Díaz-Fierros, F. and Barral, M.T., 2011.** Assessment of enrichment Mn و Mg ,K ,Fe ,Cu ,Br ,Al، عناصر نرم و بافتهای نرم و عناصر (ها) که شاید ناشی از تفاوت در منطقه نمونه برداری، تغییر در شرایط محیطی منطقه در طی زمان، تفاوت در قابلیت تجمع زیستی گونه های مختلف و همچنین تفاوت در روش های آماده سازی و آنالیز نمونه ها در تحقیقات مختلف باشد(جداول ۶ و ۷).
- منابع**
- کاظمیان، م.، دلفیه، پ. و خدادی، م.، ۱۳۸۸. بررسی فراوانی دو کفه ای ها و شکم پایان در سواحل صخره ای طیس، واقع در خلیج چابهار. مجله بیولوژی دریا. دوره ۱، شماره ۳، صفحات ۶۳ تا ۷۷.
- Ahdy, H.H. and Khaled, A., 2009.** Heavy metals contamination in sediments of the western part of Egyptian Mediterranean Sea. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4): 3330-3336.
- Al-Yamani, F.Y., Skryabin, V., Boltachova, N., Revkov, N. and Makarov, M., 2012.** Illustrated Atlas on the Zoobenthos of Kuwait.
- ANZECC/ARCMANZ, 2000.** Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality: Volume 2 - Aquatic Ecosystems - Rationale and Background Information. *Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand* http://www.mincos.gov.au/publications/australian_and_new_zealand_guidelines_for_fresh_and_marine_water_quality/volume_2.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1998.** Standard test method for particle-size analysis of soils. D 422 – 63, 8 P.
- Baeta, M., Ramón, M. and Galimany, E., 2014.** Decline of a *Callista chione* (Bivalvia: Veneridae) bed in the Maresme coast (northwestern Mediterranean Sea). *Ocean & Coastal Management*, 93: 15-25.
- Bagheri, Z., Bakhtiari, A. R. and Savabieasfahani, M., 2014.** Strong

- factors and grain size influence on the metal distribution in riverbed sediments (Anllóns River, NW Spain). *Environmental Monitoring and Assessment*, 79:371–388.
- El-Kashouty, M. and El Sabbagh, A., 2011.** Distribution and immobilization of heavy metals in Pliocene aquifer sediments in Wadi El Natrun depression, Western Desert. *Arabian Journal of Geoscience*, 4: 1019–1039.
- ETWB, 2002.** Management of dredged/excavated sediment. Environment, Transport and Works Bureau, Technical Circular (Works) No. 34. Hong Kong, 17pp.
- Gillikin, D. P., Dehairs, F., Baeyens W., Navez J., Lorrain, A. and André, L., 2005.** Inter-and intra-annual variations of Pb/Ca ratios in clam shells (*Mercenaria mercenaria*): A record of anthropogenic lead pollution? *Marine Pollution Bulletin*, 50:1530-1540.
- Hamed, M.A. and Emara, A. M. , 2006.** Marine molluscs as biomonitors for heavy metal levels in the Gulf of Suez, Red Sea. *Journal of Marine Systems*, 60: 220–234.
- Harvie, D.R., Andreini, C., Cavallaro, G. , Meng W., Connolly, B.A., Yoshida, K.I., Fujita, Y., Harwood, C.R. , Radford, D.S., Tottey, S. , Cavet, J.S. and Robinson, N.J., 2006.** Predicting metals sensed by ArsR-SmtB repressors: allosteric interference by a non-effector metal. *Molecular Microbiology*, 59: 1341-1356.
- Holme, N. A. and McIntyre, A. D., 1984.** Methods for the study of marine benthos. Second Edition, Blackwell Scientific Publication, Oxford, 387 P.
- Juracic, M., Bauman, V. and Pavdic, V., 1980.** Physio-chemical characterization of recent sediments of the North Adriatic in relation to pollution problems. Ves journees d'etudes sur les pollutions marines en Mediterranee, *Cagliari*, pp 977–982.
- Juracic, M., Bauman, V. and Pavdic, V., 1982.** Are sediments the ultimately depository of hydrocarbon pollution. Ves journees d'etudes sur les pollutions marines en Mediterranee, *Cagliari*, pp 83–87.
- Kennedy, P.C., 1986.** The use of molluscs for monitoring trace elements in the marine environment in New Zealand. 1. The contribution of ingested sediment to the trace element concentrations in New Zealand mollusks. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 20:627-640.
- Krauskopf K.B. and Bird D.K., 1995.** Introduction to geochemistry. 3rd Edition, McGraw-Hill, 647 pp.
- Leal Acosta M.L., Shumilin E. and Mirlean N., 2013.** Sediment geochemistry of marine shallow-water hydrothermal vents in Mapachitos, bahía Concepción, Baja California peninsula, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30(1): 233-245.
- Liu J., Dutta S.J., Stemmler A.J. and Mitra B., 2006.** Metalbinding affinity of the transmembrane site in ZntA: implications for metal selectivity. *Biochemistry*, 45: 763-772.
- Luoma, S.N. 1989.** Can we determine the biological availability of sediment-bound trace elements? *Hydrobiologia*, 176: 379-396.
- Madkour, H. A., 2005.** Distribution and relationships of heavy metals in the giant clam (*Tridacna maxima*) and associated sediments from different sites in the Egyptian Red Sea Coast. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 312: 45-59.
- Maanan, M., 2008.** Heavy metal concentrations in marine molluscs from the Moroccan coastal region. *Environmental Pollution*, 2008:153:176-83.
- Méndez, L., Palacios, E., Acosta B., Monsalvo–Spencer P. and Alvarez–Castañeda T., 2006.** Heavy metals in clam *Megapitaria squalida* collected from

- wild and phosphorite mine-impacted sites in Baja California, Mexico. Considerations for human health effects: *Biological Trace Element Research*, 110: 275-307.
- Metaxatos, A. and Ignatiades, L., 2011.** Clearance rate in the venerid bivalve *Callista chione* (L) in response to endemic algal species and bacteria: effects of cell biovolume and body size. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 44 (5): 305-320.
- Metian, M., Bustamante, P., Hédouin, L. and Warnau, M., 2008.** Accumulation of nine metals and one metalloid in the tropical scallop *Comptopallium radula* from coral reefs in New Caledonia. *Environmental Pollution*, 152: 543-552.
- Moloukhia, H. and Sleem, S., 2011.** Bioaccumulation, fate and toxicity of two heavy metals common in industrial wastes in two aquatic molluscs. *Journal of American Science*, 7(8): 459-464.
- Montalvo, C., Aguilar, C. A. Amador, L. E., Cerón, J. G., Cerón, R.M., Anguebes, F. and Cordova, A.V., 2014.** Metal Contents in Sediments (Cd, Cu, Mg, Fe, Mn) as Indicators of Pollution of Palizada River, Mexico. *Environment and Pollution*, 3(4): 89-98.
- Moosavi, K., Vatankhah, S., Salimi, J. and Moradi, M., 2010.** A proton induced X-ray emission (PIXE) analysis of concentration of trace elements in varicose veins. *Iranian Journal of Radiation Research*, 8(2): 117 - 121.
- Nicholas, J., Pearce, G. and Mann, V. L., 2006.** Trace metal variations in the shells of *Ensis siliqua* record pollution and environmental conditions in the sea to the west of mainland Britain. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 739-755.
- Niemand, C., 2009.** The application of elemental fingerprinting techniques to identify population connectivity using *Austrovenus stutchburyi* recruits. The University of Waikato. MSc Thesis. 106 pp.
- Palpandi, C. and Kesavan, K., 2012.** Heavy metal monitoring using *Merita crepidularia* -mangrove mollusc from the Vellar estuary, Southeast coast of India. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 2:S358-S367.
- Parizanganeh, A., 2008.** Grain size effect on trace metals in contaminated sediments along the Iranian coast of the Caspian Sea. *Proceedings of Taal 2007, 12th World Lake Conference*, 329-336.
- Peake, B.M., Marsden, I.D. and Bryan, A.M., 2006.** Spatial and temporal variations in trace metal concentrations in the cockle, *Austrovenus stutchburyi* from Otago, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessments*, 115(1-3): 119-44.
- Phillips, D.J.H. and Rainbow, P.S., 1993.** Bio-monitoring of trace aquatic contaminants. Elsevier, New York. 371p.
- Pourang, N., Nikouyan, A., Dennis, H., 2005.** Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from Northern part of the Persian Gulf. *Environ. Monit. Assess.* 109, 293-316.
- Pourang, N., Richardson, C.A. and Mortazavi, M.S., 2010.** Heavy metal concentrations in the soft tissues of swan mussel (*Anodonta cygnea*) and surficial sediments from Anzali wetland, Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 163(1-4): 195-213.
- Pourang, N., Richardson, C.A. Chenery, S. and Nasrollahzede, H., 2014.** Assessment of trace elements in the shell layers and soft tissues of the pearl oyster *Pinctada radiata* using multivariate analyses: a potential proxy for temporal and spatial variations of trace elements. *Environmental monitoring and assessment*, 186:2465-2485.
- Presley, B. J., Trefry, J. H. and Shokes, R. F., 1980.** Heavy metal inputs to Mississippi Delta sediments. *Water Air and Soil Pollution*, 13: 481- 494.
- Protasowicki, M., Dural, M. and Jaremek, J., 2008.** Trace metals in the shells of blue mussels (*Mytilus edulis*) from the Poland coast of Baltic sea. *Environmental monitoring and assessment*, 141:329-337.

- Ramadan, S.E. and Shata, A., 1993.** Biogeochemical studies on the mollusk bivalve *Anadara diluvii* (Lamarck, 1805) (*Pteriomorpha Arcidae*). *Bulletin of National Institute Oceanography and Fisheries*, 19: 145-157.
- ROPME, 2010.** ROPME oceanographic cruise - winter 2006. Contaminants in the marine sediments. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment. Technical Report Series. No.2. 141 pp.
- ROPME, 2013.** ROPME mussel watch programme 2011. Technical Report: No. 1. Trace metal screening. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment. 41 pp.
- Saeedi, H. and Ardalan, A., 2010.** Incidence and biology of *Arcotheres tivelae* (Gordon, 1936) (Crustacea: Decapoda) in *Amiantis umbonella* (Lamarck, 1818) (Bivalvia: Veneridae) on Northern coast of the Persian Gulf. *Iran. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90 (4): 655-661.
- Saeedi, H., 2012.** Availability of Venerid Clam, *Amiantis umbonella* as potential metal bioindicator in Bandar Abbas coast, the Persian Gulf. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 38:93-103.
- Salimi, J., Moosavi, K., Vatankhah, S. and Yaghoobi, A., 2004.** Investigation of heavy trace elements in neoplastic and non-neoplastic human thyroid tissue: A study by proton - induced X-ray emissions. *Iranian Journal of Radiation Research*, 1(4): 211 - 216.
- Smith, R. A. and Wright, E. R., 1962.** Elemental composition of oyster shell. *Texas Journal of Science*, 14(2): 222-224.
- Stanković, S., Tanaskovski, B., Zlatić, B. and Arsenović, M., 2014.** Analysis of trace elements in surface sediments, mussels, seagrass and seawater along the southeastern Adriatic coast - a chemometric approach. *Pure and Applied Chemistry*, 86(7): 1111-1127.
- Szefer, P., Frelek, K., Szefer, K., Lee, C.B., Warzocha, J., Zdrojewska, I. and Ciesielski, T., 2002.** Distribution and relationship of trace metals in soft tissues, byssus and shells of *Mytilus edulis trossulus* from the southern Baltic. *Environmental Pollution*, 120, 423-44.
- Tarique, Q., 2008.** An evaluation of clam *Amiantis umbonella* (bivalve) as a bio-indicator of heavy metal pollution in Kuwait marine coastal waters. ProQuest.
- Vatankhah, S., Moosavi, K., Salimi, J., Geranpayeh, L. and Peyrovani, H., 2003.** A pxe analysis for measuring the trace elements concentration in breast tissue of Iranian women. *Iranian Journal of Radiation Research*, 1(1): 23 - 27.
- Warnau, M., Ledent, G. and Temara, A., 1995.** Allometry of heavy metal bioconcentration in the echinoid *Paracentrotus lividus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 29: 393-9.
- Wedepohl, K.H., 1995.** The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59: 1217-1239.
- Zacherl, D. C., 2005.** Spatial and temporal variation in statolith and protoconch trace elements as natural tags to track larval dispersal. *Marine Ecology Progress Series*, 290: 145-163.
- Zhou, Q., Zhang, J., Fu, J., Shi, J. and Jiang, G., 2008.** Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica Chimica Acta*, 606:135-50.

Evaluating the potential of a bivalve species from the intertidal zone of the Persian Gulf for biomonitoring of trace elements using a nondestructive analytical method

Pourang N.^{1*}; Ghanbari Baghestani F.²; Lamei Rashti M.³; Mrotazavi M.S.¹;
Kamali E.¹; Varasteh T.⁴

*n_pourang@yahoo.com

- 1- Iranian Fisheries Research Institute (IFRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
- 2- Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran
- 3- Van de Graaf Laboratory, Nuclear Science Research School, NSTRI, Iran Atomic Energy Organization, Tehran, Iran
- 4- Faculty of Biological Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: May 2015

Accepted: December 2015

Keywords: Bivalve, Elements, Persian Gulf, Biomonitoring, PIXE

Abstract

This study was carried out in order to evaluate the potential of the soft and hard tissues of a bivalve species (*Callista umbonella*) for biomonitoring of different elements in coastal areas of northern part of the Persian Gulf as well as to assess the possible use of PIXE (Proton Induced X-ray Emission) method in this regard. The bivalve specimens and surficial sediment samples were collected from three sampling sites located on the intertidal zone of Hormozgan Province in August 2014. Concentrations of the elements were determined using the non-destructive method, PIXE. Assessment of total organic matter (TOM) and grain size were also carried out in the sediment samples. Based on the results, of the 17 elements measured in the soft tissues, (Al, Br, Ca, Cl, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, O, P, S, Si, Sr, Ti and Zn) in the case of P, Fe, Br and O significant differences were observed between the sampling sites. Of the 14 elements measured in the shells (Al, Br, Ca, Cl, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, K, O, S, Si and Sr) only in the case of Si significant differences between the sites could be detected and of the 14 elements measured in the surface sediments (Al, Ca, Cl, Cr, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, K, O, S, Si and Ti) in the case of Na, Mg, S, Cl, K, Ca, Ti and Fe significant differences were found between the sites. In each of the above cases, order of the elements accumulation was assessed and possible causes of the differences evaluated. In order to classify the elements based on their levels in the sediments, soft tissues and shells the multivariate analyses (principal component analysis and cluster analysis) were used. According to the gained results, *C. umbonella* can be considered as a potential candidate species for biomonitoring of a number of elements in the coastal area of the Persian Gulf.

* Corresponding author