تجمع فلزات سنگین (Cd, Pb, Ni, Cu) در رسوب و صدف دسته چاقویی (*Solen roseomaculatus*) در بخشی از سواحل استان بوشهر

علیرضا صفاهیه[1*]، سمیه حبیبی[2]، حسین پاشا زانوسی[3]، مهدی فتح تبار[4]

۱- استادیار، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: safahieh@hotmail.com
۲- کارشناسی ارشد آلودگی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: s.habibi@kmsu.ac.ir
۳- مربی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: h.pasha@kmsu.ac.ir
۴- کارشناسی ارشد آلودگی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: mehdi_f_bio@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۲۹ * نویسنده مسوول تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۱۲

چکیده

هدف از این مقاله، تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین Cu، Ni، Pb، Cd در رسوب و صدف بخشی از سواحل استان بوشهر است. بدین منظور نمونه‌های رسوب و صدف در بهمن ماه ۱۳۸۷ از ۵ ایستگاه شامل خور لیلتین، بندر امام حسن، خور گناوه، بندر ریگ و جزیره شیف برداشت گردید. پس از خشک کردن و هضم آن‌ها توسط اسید نیتریک و اسید پرکلریک غلیظ، غلظت فلزات سنگین موجود در آنها توسط دستگاه جذب اتمی سنجیده شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات Cu، Ni، Pb، Cd در رسوب ایستگاه‌های مذکور به ترتیب در محدوده ۱۴/۷۵-۵/۶، ۵۸/۷۲-۱۹/۶۷، ۱۳/۹۲-۷/۹۶، ۰/۹۶-۰/۶۸ میکروگرم بر گرم بود. همچنین میزان فلزات مذکور در بافت نرم به ترتیب در محدوده ۲۷/۸۴-۵/۳۶، ۲/۷۲-۰/۲۴، ۱۰/۰۴-۵/۶۴، ۱/۸-۰/۳۲ و در پوسته صدف ۲۱/۲۵-۱۰/۷۵، ۳/۵۲-۱/۳۶، ۸/۰۸-۴/۲۸، ۰/۹۶-۰/۶۸ میکروگرم بر گرم بود. به طور کلی غلظت تمام فلزات مورد مطالعه در این تحقیق، کمتر از استانداردهای جهانی FAO و USEPA است.

کلمات کلیدی: *رسوب، صدف دسته چاقویی، فلزات سنگین، استان بوشهر، خلیج فارس.*

۱. مقدمه

موجودات زنده را می‌توان به عنوان هشداردهنده‌های کارآمد، برای آلودگی محیط زیست به کار گرفت. برای ارزیابی و تشخیص آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های دریایی، انواع مختلفی از آبزیان مانند جلبک‌های دریایی و نرم تنان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Rainbow, 2002). نرمتنان دوکفه‌ای به دلیل قابلیت زیاد در انباشت فلزات سنگین به کرات به عنوان پایشگر زیستی محیط‌های آبی استفاده شده‌اند (Avelar et al., 2000). این جانوران مقاوم بوده و در برابر شرایط محیطی نامساعد، تحمل نسبتا بالایی دارند. پراکندگی دوکفه‌ای‌ها در بوم-سامانه‌های آبی بسیار گسترده است. ساختار بدنی ساده ای دارند

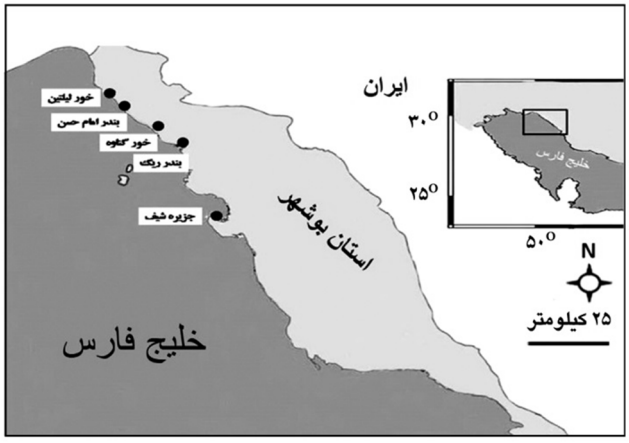
و فاقد سیستم تنظیم متابولیکی آلاینده هستند. همچنین از آنجاییکه تغذیه‌کنندگان فیلتری هستند، آلودگی را از محیط دریافت نموده و در بافت‌های مختلف خود ذخیره می‌کنند. این امر باعث شده آن‌ها در برنامه پایش زیستی Mussle watch مورد استفاده قرار بگیرند (Nicolson and Lam, 2004; Zhou et al., 2007). مقصد نهایی فلزات سنگین وارد شده به محیط دریا، رسوبات است. صدف *Solen roseomaculatus* به دلیل این که در در داخل رسوب ساکن است، نسبت به بسیاری از گونه‌هایی که در سطح رسوب قرار دارند با آلودگی رسوب تماس بیشتری داشته و احتمالا آلودگی بیشتری را در بدن خود جمع می‌کنند. این صدف در بسترهای گلی استان بوشهر پراکندگی نسبتا خوبی داشته وافراد محلی زیادی از آن تغذیه می کنند. به همین دلیل احتمال انتقال آلودگی از رسوب به انسان زیاد است. اندازه درشت صدف‌های دسته چاقویی، بافت کافی جهت آنالیزهای شیمیایی را در اختیار قرار می‌دهند و می‌توان از آن‌ها به عنوان پایش زیستی و تخمینی از دسترسی زیستی فلزات سنگین استفاده کرد. با این وجود در میان مطالعات انجام شده، تاکنون اطلاعات منتشر شده چندانی از غلظت فلزات سنگین در این موجودات وجود ندارد. هدف از این تحقیق بررسی میزان غلظت فلزات سنگین مس، سرب، کادمیوم و نیکل در بافت‌های نرم و سخت این دوکفه‌ای و مقایسه آن با استانداردهای غذایی و آبزیان برای تعیین صحت سلامت این دوکفه‌ای در بخشی از سواحل استان بوشهر است.

۲. مواد و روش‌ها

نمونه‌های رسوب و صدف در بهمن ماه ۱۳۸۷ از ناحیه بین جزر و مدی ۵ ایستگاه در سواحل استان بوشهر به ترتیب از غرب به شرق خور لیلتین، بندر امام حسن، خور گناوه، بندر ریگ و جزیره شیف برداشت شدند (شکل ۱، جدول ۱). نمونه‌های رسوب با سه تکرار توسط گرب ضد زنگ Van Veen از رسوبات سطحی (تا عمق ۵ سانتی‌متر) برداشته شد. در حالی که نمونه‌های صدف به کمک سیخ های فولادی مقاوم به زنگ از عمق ۷۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر رسوب برداشت گردید. از هر ایستگاه ۲۰ نمونه صدف *S. roseomaculatus* تقریبا هم اندازه (میانگین طول (±SD) ۱۰±۶۰ میلی‌متر و میانگین وزن (±SD) ۱۱±۶۸ گرم) جهت سنجش فلزات سنگین جمع آوری شد. نمونه‌ها در محل نمونه‌برداری با آب دریا شستشو داده شدند و درون کیسه-های نایلونی برچسب دار با مشخصات کامل، به همراه نمونه رسوب در یخدان محتوی یخ پودر شده قرار داده شدند. سپس به فریزر با دمای ۲۰°C- در آزمایشگاه دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر انتقال یافتند (Delman et al., 2006).

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری

ایستگاه	مختصات جغرافیایی							
خور لیلتین	″۵۳/۸۸	′۵۲	°۲۹	شمالی	″۴۸/۰۷	′۱۲	°۵۰	غربی
بندر امام حسن	″۲۴/۴۶	′۵۰	°۲۹	شمالی	″۸/۰۷	′۱۵	°۵۰	غربی
خور گناوه	″۴۹/۸۶	′۳۲	°۲۹	شمالی	″۱۰/۸۵	′۳۰	°۵۰	غربی
بندر ریگ	″۲۸/۳۸	′۲۷	°۲۹	شمالی	″۵۸/۱۳	′۳۷	°۵۰	غربی
جزیره شیف	″۵/۳۸	′۲	°۲۹	شمالی	″۳۳/۱۹	′۵۳	°۵۰	غربی



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

به منظور آنالیز نمونه‌ها در آزمایشگاه، ابتدا نمونه‌های مزبور در دمای آزمایشگاه یخ زدایی شدند و نمونه‌های رسوب در آون با حرارت ۸۰ °C کاملا خشک گردیدند. سپس رسوب خشک شده توسط هاون ساییده شدند و از الک ۶۳ میکرون عبور داده شدند. نمونه‌های بافت نرم و پوسته صدف نیز به مدت حداقل ۴۸ ساعت در آون با دمای ۸۰ °C تا زمان ثابت شدن وزن خشک و بعد از پودر شدن توسط هاون چینی به ظروف پلی اتیلنی انتقال یافتند. یک گرم از هر نمونه رسوب خشک شده با ۱۰ میلی لیتر مخلوط اسید نیتریک و پرکلریک به نسبت ۴:۱ مخلوط گردید. نمونه‌های رسوب ابتدا یک ساعت در دمای ۴۰°C و سپس بمدت سه ساعت در دمای ۱۴۰ °C قرار داده شدند تا هضم شوند. پس از اتمام عملیات هضم و خنک شدن مخلوط در هوای آزمایشگاه، حجم آنها توسط آب دوبار تقطیر به میزان معینی افزایش یافت (نمونه‌های رسوب ۴۰ میلی‌لیتر). برای هضم نمونه‌های بافت، ۰/۵

گرم از بافت نرم و پوسته هر صدف با ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (Merck, ٪۶۵) مخلوط و برای هضم اولیه در دمای ۴۰°C به مدت ۱ ساعت روی هات پلیت قرار داده شدند، سپس هضم نمونه‌ها به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۴۰ °C کامل شد. نمونه‌های بافت هضم شده نیز با آب دوبار تقطیر به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسید (Yap et al., 2002). تمام ظروف مورد استفاده در این مطالعه به مدت ۲۴ ساعت در محلول ۱۰٪ اسید نیتریک اسید شویی و سپس توسط آب دوبار تقطیر شستشو و آبکشی شدند (Storelli and Marcotrigiano, 2005). سنجش غلظت فلزات سنگین با حد تشخیص (مس= ۳۲۴/۷ نانومتر، نیکل= ۲۳۲ نانومتر، سرب= ۲۱۷ نانومتر، کادمیوم= ۲۲۸/۸ نانومتر) با استفاده از دستگاه جذب اتمی با شعله GBC مدل SavantAAΣ صورت گرفت. جهت اطمینان از وجود دقت کافی در عملیات هضم و اندازه‌گیری غلظت فلزات، از نمونه استاندارد مرجع پروتئین ماهی کانادا با نام تجاری DORM-3 استفاده شد که درصد بازیابی (نمونه شاهد بدون بافت یا رسوب، تهیه و همراه با سایر نمونه‌ها در تمامی مراحل هضم و آماده سازی قرار داده شد. این نمونه شاهد برای صفر کردن دستگاه استفاده شد. ضمنا پس از هر ۱۰ عدد قرائت نمونه، یکبار دستگاه با نمونه شاهد صفر گردید) هر یک از فلزات سنجیده شده به تفکیک در جدول ۲ آمده است. نمونه استاندارد مانند روش هضم نمونه بافت‌های دوکفه‌ای هضم و تهیه گردید که برای صفر کردن دستگاه مورد استفاده قرار گرفت.

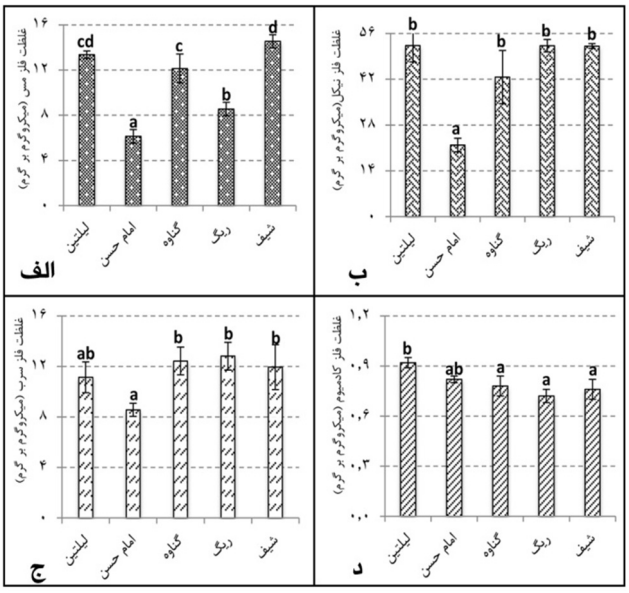
جدول ۲: غلظت فلزات سنگین در نمونه استاندارد DORM-3 بر حسب میلی‌گرم بر گرم در وزن خشک

فلزات سنگین	غلظت مرجع (µg/g)	غلظت سنجیده شده (µg/g)	درصد بازیابی
Cu	۱/۲۸	۱/۱۳	٪۸۸
Ni	۰/۲۹	۰/۲۳	٪۷۹
Pb	۱۵/۵	۱۴	٪۹۰
Cd	۰/۴	۰/۳۶	٪۹۰

برای پردازش داده‌ها از نرم افزار SPSS، نسخه ۱۶ استفاده شد. به منظور حصول اطمینان از نرمال بودن پراکنش داده‌ها از آزمون نرمالیتی استفاده شد. برای مقایسه میانگین فلزات در هر بافت در ایستگاه‌های مختلف از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و برای تعیین اختلاف بین ایستگاه‌ها از پس‌آزمون Tukey استفاده گردید. بررسی همبستگی غلظت فلزات سنگین در رسوب و بافت‌های مختلف صدف توسط آزمون همبستگی پیرسون انجام شد.

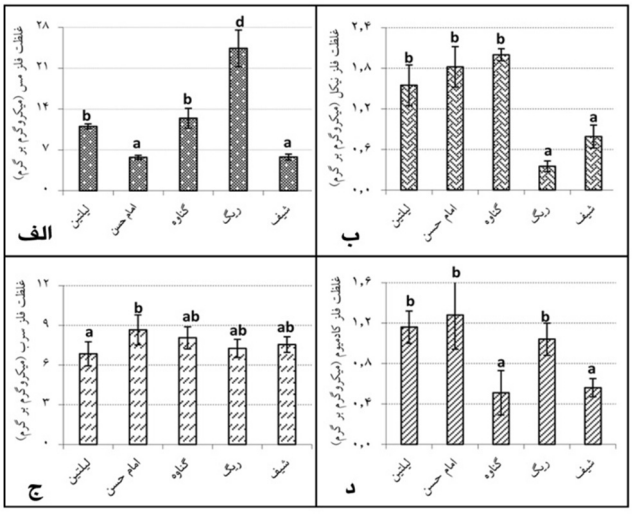
۳. نتایج و بحث

غلظت فلز مس در رسوب ایستگاه‌های مورد مطالعه بین ۵/۶۰ تا ۱۴/۷۵میکروگرم بر گرم مشاهده شد و میزان این فلز در بین ایستگاه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۵). پایین‌ترین غلظت فلز مس در رسوب ایستگاه امام حسن ثبت گردید. غلظت فلز نیکل در رسوب ایستگاه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۵) که پایین‌ترین غلظت آن در ایستگاه امام حسن ثبت گردید. میزان غلظت فلز سرب در رسوب ایستگاه‌های مورد مطالعه بین ۸/۵۶ تا ۱۲/۸۱ میکروگرم برگرم متغیر بود. ایستگاه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری در غلظت فلز سرب با یکدیگر داشتند(P<۰/۰۵) به طوریکه ایستگاه امام حسن کمترین میزان سرب رسوب را نشان داد. دامنه غلظت فلز کادمیوم در رسوب بین ۰/۶۸ تا ۰/۹۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک رسوبات مشاهده شد. غلظت کادمیوم در رسوب ایستگاه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵)، به‌طوریکه بیشترین غلظت فلز کادمیوم در رسوب مربوط به ایستگاه لیلتین مشاهده گردید (شکل ۲).



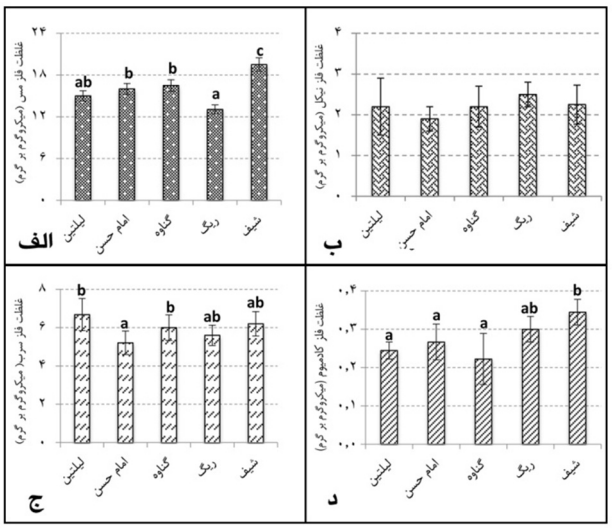
شکل ۲: غلظت فلزات سنگین در رسوب سواحل بوشهر (الف: مس، ب: نیکل، ج: سرب، د: کادمیوم)
حروف غیریکسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار است (ANOVA, P<۰/۰۵).

غلظت فلزات سنگین مس، نیکل، سرب و کادمیوم در بافت نرم صدف دسته چاقویی در شکل ۳ نشان داده شده است. میزان فلز مس در بافت نرم صدف در محدوده ۵/۳۶ تا ۲۷/۸۴ میکروگرم بر گرم قرار داشت. مقایسه غلظت مس در بافت نرم صدف ایستگاه-های مختلف تفاوت معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۵). بطوریکه ایستگاه ریگ در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها دارای بیشترین غلظت فلز مس (۳/۴۴±۲۴/۴) بود و همچنین ایستگاه‌های امام حسن و شیف دارای کمترین غلظت فلز مس هستند. غلظت فلز نیکل بافت نرم صدف نیز نسبت به فلز مس بسیار پایین‌تر بود و در محدوده ۲-۰/۳۵ میکروگرم بر گرم قرار داشت. غلظت فلز نیکل بافت نرم در ایستگاه‌های ریگ و شیف نسبت به سایر ایستگاه‌ها تفاوت معنی‌داری داشتند (P<۰/۰۵)، بنابراین ایستگاه‌های ریگ و شیف دارای کمترین غلظت فلز نیکل هستند. غلظت فلز سرب بیشتر از فلز نیکل بود و در محدوده ۱۰/۰۴-۵/۹۸ میکروگرم بر گرم به دست آمد. ایستگاه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری را از لحاظ میزان فلز سرب بافت نرم با یکدیگر داشتند و غلظت فلز سرب در ایستگاه‌های لیلتین بطور معنی‌داری کمتر از امام حسن بود (P<۰/۰۵). همانند فلز نیکل غلظت فلز کادمیوم در بافت نرم صدف پایین بود و دامنه آن بین ۱/۸۰-۰/۳۲ میکروگرم بر گرم قرار داشت. مقایسه میانگین غلظت کادمیوم در بافت نرم تفاوت معنی-داری را بین ایستگاه‌های مختلف نشان داد (P<۰/۰۵). بیشترین غلظت مربوط به ایستگاه امام حسن (۰/۳۴±۱/۲۸) و کمترین غلظت در ایستگاه گناوه (۰/۲۲±۰/۵۱) مشاهده گردید.



شکل۳: غلظت فلزات سنگین در بافت نرم صدف (الف: مس، ب: نیکل، ج: سرب، د: کادمیوم)
حروف غیریکسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار است (P<۰/۰۵, ANOVA).

غلظت فلزات سنگین مس، نیکل، سرب و کادمیوم در پوسته سخت صدف دسته چاقویی در شکل ۴ نشان داده شده است. غلظت مس بین ۱۴ تا ۲۰ میکروگرم بر گرم متغیر بود و بیشترین غلظت این فلز در ایستگاه شیف مشاهده گردید. غلظت فلز نیکل همانند مقدار آن در بافت نرم بسیار پایین و بین ۱/۸ تا ۲/۱ میکروگرم بر گرم متغیر بود. احتمالا این نوسان کم نیکل بین ایستگاه‌ها باعث شد که اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نگردد (P>۰/۰۵). غلظت سرب در پوسته سخت صدف بین ۶ تا ۷ میکروگرم بر گرم و غلظت این فلز در پوسته سخت صدف نسبتا پایین و نوسان کمی داشت. غلظت سرب در ایستگاه لیلتین به طور معنی‌داری از سایر ایستگاه‌ها بیشتر بود. غلظت کادمیوم در پوسته سخت صدف تغییرات کمی داشت و بین ۰/۳۶ تا ۰/۲۵ میگروگرم بر گرم متغیر بود. گرچه بین ایستگاه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری وجود داشت (P<۰/۰۵) ولی به دلیل کم بودن اختلاف غلظت فلزات، این اختلاف نمی‌تواند بیانگر درستی از نوسانات و رابطه آن با رسوب در محیط باشد.



شکل ۴: غلظت فلزات سنگین در بافت سخت صدف (الف: مس، ب: نیکل، ج: سرب، د: کادمیوم)
حروف غیریکسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار است (P<۰/۰۵, ANOVA).

نتایج این تحقیق نشان داد که توالی غلظت فلزات مورد مطالعه در رسوب به صورت کادمیوم< سرب< مس< نیکل است. بر اساس این نتایج غلظت فلز نیکل در رسوب بیشتر از سایر فلزات است. این توالی روند مشابهی با توالی موجود در رسوب مطالعه شده در تحقیقات سایر بوم‌سامانه آبی جهان دارد (جدول ۳).

نتایج به دست آمده حاکی از این است که کادمیوم و سرب در منطقه منشا نقطه‌ای ندارند، چرا که نوسان بسیار کمی در بین ایستگاه‌ها و فلزات مختلف دیده می‌شود. همچنین از آنجا که غلظت مس و نیکل در ایستگاه‌های گوناگون دستخوش تغییرات شدیدتری شده است، احتمالا ممکن است تا حدودی تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی موجود در منطقه قرار گرفته باشند. از بین دو فلز اخیر غلظت نیکل در مقایسه با استاندارد کیفیت رسوب USEPA کمی بالا به نظر می‌رسد (جدول ۳).

به طور کلی در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، نمونه‌های رسوب بندر امام حسن از غلظت فلزات سنگین کمتری برخوردار بوده، لذا این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها از آلودگی کمتری برخوردار است. در مقابل بندر گناوه نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه از آلودگی بیشتری برخوردار است. بالاتر بودن جمعیت (۶۴۱۱۰ نفر) و فعالیت‌های انسانی، افزایش تخلیه پساب‌ها و فاضلاب به دریا، پرورش آبزیان، کارخانه تولید آسفالت، تردد بیشتر شناورها همراه با تعمیر و رنگ آمیزی آنها می‌تواند از دلایل بالا بودن غلظت فلزات سنگین در این محل باشد. در مقابل کمتر بودن این منابع آلاینده در ایستگاه امام حسن ممکن است به دلیل کمتر بودن غلظت فلزات در این ایستگاه باشد. مطالعات متعددی بر غلظت فلزات سنگین در رسوب سواحل شمال خلیج فارس انجام شده است. نتایج مطالعه حاضر تا حدود زیادی شبیه نتایج مطالعه Safahieh و همکاران (۲۰۱۴) در خلیج فارس است که غلظت‌های به دست آمده (مس=۱۴/۰۵میکروگرم بر گرم، نیکل=۵۴/۹۳ میکروگرم بر گرم، سرب=۱۰/۵۴ میکروگرم بر گرم، کادمیوم= ۰/۳۸ میکروگرم بر گرم) با مطالعه حاضر همخوانی بالایی دارد، گرچه مطالعه مذکور در استان خوزستان انجام شده است. از طرفی غلظت‌های سنجیده شده در مطالعه حاضر تا حدودی در دامنه غلظت فلزات سنگین است (مس= ۲۶/۵میکروگرم بر گرم، نیکل= ۵۴/۹۳ میکروگرم بر گرم، سرب= ۹/۸۶ میکروگرم بر گرم، کادمیوم= ۰/۴ میکروگرم بر گرم) که توسط ROPME (2003) گزارش شده است که تأیید دیگری بر صحت یافته‌های این پژوهش است. همچنین نتایج در مطالعه حاضر نشان داد که غلظت فلزات مس، نیکل، سرب و کادمیوم در بافت نرم صدف *S. roseomaculatus* از غلظت نسبتا کمتری برخوردار هستند. فلز سرب در بین ایستگاه‌های مختلف از نوسان کمی برخوردار بود. غلظت فلزات مختلف در بافت نرم صدف *S. roseomaculatus* در سواحل بوشهر با سایر نرمتنان مطالعه شده در منطقه در جدول ۴ مقایسه شده است. اگرچه در داخل کشور از غلظت این فلزات در صدف مورد مطالعه اطلاع چندانی در دست نیست، ولی غلظت این فلزات در صدف حاضر با دوکفه‌ای *Barbatia helblingii* در سواحل استان بوشهر که توسط اسلامی (۱۳۸۷) مطالعه شده است نزدیکی زیادی دارد (جدول ۴).

Kanakaraju و همکاران (۲۰۰۸ a) تغییرات فلزات سنگین در صدف *S. regularis* را در دو سایت نمونه‌برداری Moyan و Sepran در مالزی مورد بررسی قرار دادند که یافته‌های آن‌ها نزدیک به مطالعه حاضر است (شکل ۳). مس از جمله عناصر ضروری برای این دوکفه‌ای بوده و در سیستم‌های آنزیمی آن به کار می‌رود، همچنین این دوکفه‌ای توانایی تنظیم این فلز را دارد (Kanakaraju et al., 2008a). این موجودات، فلز مس را برای ساختن هموسیانین جهت انجام فرآیند تنفس و همین طور به عنوان کوفاکتور در تولید آنزیم به کار می‌برند و اگر از حد استانداردهای جهانی مانند FAO بیشتر باشد می‌تواند در دسته آلودگی به حساب آید (Caussy et al., 2003). بالاترین مقدار مس موجود در بافت نرم، در ایستگاه‌های گناوه و ریگ ثبت گردید. همان‌طور که می‌دانیم در ایستگاه گناوه تعمیر و رنگ آمیزی کشتی‌ها و شناورها صورت می‌گیرد و در ایستگاه ریگ تردد شناورها و پهلوگیری کشتی‌های تجاری بالا است. آلودگی مس در محیط‌های دریایی عموما در اثر فعالیت‌های صنایع و ورود فاضلاب رخ می‌دهد. عنصر مس در فاضلاب‌های شهری و خانگی وجود دارد. این عنصر در ترکیبات رنگ‌ها از جمله رنگ-های مورد استفاده برای کشتی‌ها و شناورها نیز وجود دارد (خراسانی و همکاران، ۱۳۸۴). به نظر می‌رسد افزایش جمعیت در گناوه منجر به افزایش تخلیه فاضلاب به محیط دریایی این منطقه شده و همچنین تعمیر و رنگ‌آمیزی شناورها در این ایستگاه می-تواند از جمله دلایل افزایش غلظت مس در بافت‌های صدف باشد. نیکل از فلزات ضروری برای برخی از موجودات آبزی است و توانایی شرکت در برخی از عملکردهای بدن مانند کمک به فعالیت برخی آنزیم‌ها را دارد (Onianwa et al., 2000)، لذا این احتمال وجود دارد که این دوکفه‌ای توانایی تنظیم نیکل را داشته باشد. با وجود تفاوت‌های کم در غلظت نیکل بافت نرم، میزان این فلز در ایستگاه گناوه بالاتر از سایر ایستگاه‌ها بود که این موضوع می‌تواند به خاصیت تجمع فلزات سنگین در بدن صدف دسته چاقویی مربوط باشد.

جدول ۳: مقایسه مقادیر فلزات موجود در رسوبات سواحل بوشهر با استانداردهای مختلف رسوب (میکروگرم بر گرم وزن خشک)

فلزات سنگین	کیفیت رسوب آمریکا NOAA[3] (Long et al., 1995)		استاندارد محیط زیست کانادا (CCME[2], 1999)		USEPA1 (Bowen, 1979)		رسوبات بوشهر مطالعه حاضر
	ERM[9]	ERL[8]	PEL[7]	ISQGs[6]	LAL[5]	HAL[4]	
Cu	۳۷۰	۳۴	۱۰۸	۱۸/۷۰	۲	۲۷۰	۱۴/۵۴
Ni	۲۱۸	۴۶/۷	۱۱۲	۳۰/۲۰	۲	۲۱۸	۱۳/۳۸
Pb	۹/۶	۱/۲۰	۴/۲	۰/۷۰	۰/۰۴	۹/۶	۰/۷۶
Cd	۵۱/۶	۲۰/۹	۴۲/۸	۱۵/۹	۳	۵۰	۵۰/۱۲

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

جدول ۴: مقایسه غلظت فلزات سنگین در دوکفه‌ای *S. roseomaculatus* و سایر دوکفه‌ای‌ها در ایران و سایر نقاط جهان (میکروگرم بر گرم وزن خشک)

منطقه	گونه	Cu	Ni	Pb	Cd	منبع
مالزی Moyan	*S. regularis*	۸/۶	–	–	۰/۷	Kanakaraju et al., 2008a
مالزی Serpan	*S. regularis*	۹/۴	–	–	۰/۶	Kanakaraju et al., 2008a
مالزی Mura Tebas	*Solen* spp.	۲/۱۷–۱۰/۶۷	–	۹/۵–۱۶/۱۷	۰/۶۷–۲/۸۳	Kanakaraju et al., 2008b
(ایتالیا) خورGoro	*M. galloprovincialis*	۹/۴–۲۱/۲	۳/۵–۹/۷	۱۵/۸–۲۹	۳/۷–۴/۳	Locatelli, 2003
سواحل مراکش	*M. galloprovincialis*	۴/۳۵–۱۴۲/۲	۱۲/۷–۹۴/۳	۰/۵–۳۴/۲	۱/۳۳–۲۵/۳	Maanan, 2008
سواحل بوشهر	*B. helblingii*	۱۴/۵	۴/۵۱	۹/۵۳	––	اسلامی، ۱۳۸۷
سواحل چابهار	*S. cucullata*	۱۸۵/۱۸	۵/۹۶	۵/۰۵	–	عین الهی، ۱۳۸۷
سواحل بوشهر	*S. roseomaculatus*	۱۳/۸	۱/۳۹	۷/۹۸	۰/۷۵	مطالعه حاضر

همچنین می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که میزان دسترسی زیستی فلز نیکل در این ایستگاه بیشتر از سایر ایستگاه‌ها است. برای فلز غیر ضروری سرب هیچ‌گونه عملکرد متابولیکی شناخته نشده است و اغلب در غلظت خیلی کم برای انسان می‌تواند سمی باشد (Belitz et al., 2001). با بررسی میزان سرب بافت نرم مشخص شد که به جز در ایستگاه لیلتین در فصل زمستان، هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری در سایر ایستگاه‌ها برای غلظت سرب بافت نرم مشاهده نشد. شاید بتوان گفت که منبع آلاینده خاصی که باعث غالبیت آلودگی سرب در یکی از ایستگاه‌ها شود، وجود ندارد. بالاترین میزان کادمیوم بافت نرم در ایستگاه امام حسن مشاهده شد. در طول ماه‌هایی که وزش بادهای شمالی و پدیده مانسون وجود دارد و باعث می‌شود که آب دریا متلاطم شده و به دنبال آن فراجوشی اتفاق بیافتد، احتمالا تعداد زیادی از فلزات به خصوص کادمیوم در آب زیاد می‌شوند و ذرات رسوب در آب به صورت معلق در می‌آیند و همراه با اکسایش و کاهش فلزات متصل به رسوب از رسوب جدا شده و به صورت آزاد در آب قرار می‌گیرند، و برای موجود قابل دسترس می‌شوند و در بدن این جانور تجمع می‌یابند (De Mora et al., 2004).

مقایسه غلظت فلزات سنگین در دوکفه‌ای *S. roseomaculatus* و سایر دوکفه‌ای‌ها در ایران و سایر نقاط جهان (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در جدول ۴ آمده است. بین غلظت فلزات در رسوب با غلظت آنها در هیچ کدام از بافت نرم و سخت همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد ($P>0/05$). عدم مشاهده همبستگی، احتمالا به دلیل پایین بودن غلظت فلزات در محیط مورد مطالعه و نوسان کم غلظت‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات مس، سرب و نیکل در بافت نرم *S. roseomaculatus* که از سواحل بوشهر جمع‌آوری شده است، با استانداردهای بهداشت جهانی (WHO[1])، سازمان خواربار جهانی (FAO[2]) و استاندارد سازمان غذا و دارو آمریکا (USFDA[3]) در جدول ۵ مقایسه شده است. به منظور مقایسه از وزن تر بافت نرم استفاده گردید.

[1] World Health Organization
[2] Food and Agriculture Organization
[3] US Food and Drug Administration (1990)

جدول ۵: مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در بافت نرم دوکفه‌ای با استانداردهای مختلف (برحسب میکروگرم بر گرم در وزن تر)

استانداردها	Cu	Pb	Ni	Cd
WHO	۱۰	---	۰/۲	---
FAO	۱۰-۳۰	۱-۶	۰/۵	۲
US FDA	۱۱/۵۰	۱/۷۰	۰/۸	---
بافت صدف	۳/۶	۲/۱	۰/۳۷	۰/۲
مطالعه حاضر				

۴. نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که غلظت فلزات سنگین Cu، Ni، Pb، Cd در رسوبات استان بوشهر نسبتا پایین بوده و در نتیجه نگران کننده نیست. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه امام حسن آلودگی کمتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشت. غلظت فلز کادمیوم در بافت نرم صدف *S. roseomaculatus* از رسوب کمی بیشتر بوده ولی در محدوده مجاز قرار می‌گیرد. غلظت فلزات در بافت نرم و سخت صدف بسیار نزدیک به یکدیگر هستند. بین غلظت فلزات در صدف *S. roseomaculatus* با غلظت این فلزات در رسوب همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد ($P>0/05$). با توجه به حضور صنایع و رونق کشتیرانی در منطقه پایش مداوم منطقه توصیه می‌گیرید.

۵. سپاسگزاری

از جناب آقای دانیال یزدان پناه به خاطر زحمات ایشان تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

منابع

اسلامی اندارگلی، ط.، ۱۳۸۷. بررسی تجمع فلزات سنگین (Ni, Cu, Pb) در رسوبات ناحیه بین جزر و مدی و صدف *Barbatia helblingii* از سواحل بوشهر. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر. ۹۰ صفحه.

خراسانی، ن.ا.؛ شایگان ج.ا.؛ کریمی شهری، ن.، ۱۳۸۴. بررسی غلظت فلزات سنگین (Zn, Cu, Fe, Cr, Pb) در رسوبات سطحی سواحل بندرعباس. مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸، شماره ۴، صفحات ۸۶۱-۸۶۹

عین‌الهی، ف.، ۱۳۸۷. بررسی تجمع فلزات سنگین (Ni, Cu, Pb) در رسوبات ناحیه بین جزر و مدی و صدف *Saccostera cucullata* از سواحل چابهار. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر. ۹۳ صفحه.

Avelar, W.E.P.; Mantelatto, F.L.M.; Tomazelli, A.C.; Silva, D.M.L.; Shuhama, T.; Lopes, J.L.C., 2000. The marine mussel *Perna perna* (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) as an indicator of contamination by heavy metals in the Ubatuba bay, Sao Paula, Brazil. Water, Air and Soil Pollution, 118: 65-72.

Belitz, H.D.; Grosch, W.; Schieberle, P., 2001. Lehrbuch der lebensmittelchemie. Berlin, Springer-Verlag. ISBN: 3-540-41096-15.

Bowen, H.J.M., 1979. Environmental chemistry of the element. Academic press London. 217P.

Caussy, D.; Gurzau, D.M.; Neagu, C.; Ruedel, H., 2003. Ecotoxicology and lessons from case studies of metals: investigating exposure, bioavilability and risk. Environmental Safety, 56: 45-51.

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment)., 1999. Canadian environmental guidelines, from publication No.1299: ISBN 1-896997-34-1.

Delman, O.; Demirak, A.; Balci, A., 2006. Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the southeast ern Aegean sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry. Food Chemistry, 65: 157-162.

De Mora, S.; Fowler, S.W.; Wyse, E.; Azemard, S., 2004. Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Gulf of Oman. Marine Pollution Bulletin, 49: 410-424.

Kanakaraju, D.; Ibrahim, F.; Berseli, M.N., 2008a. Comparative study of heavy metal concentrations in Razor Clam (*Solen regularis*) in Moyan and Serpan, Sarawak. Global Journal of Environmental Research, 2: 87-91.

Kanakaraju, D.; Jios, C.A.; Long, S.M., 2008b. Heavy metal concentration in the razor clams (*Solen* spp.)

Pollution, 120: 497-507.

ROPME, 2003. State of the marine environment report. Regional Organization of the Protection of Marine Environment. Kuwait, 217P.

Safahieh, A.R.; Abdolahpur Monikh, F.; Savari, A.; Doraghi, A.M.; Ronagh, M.T., 2014. Spatial and seasonal variations of heavy metal concentration in sediment, Musa estuary (Persian Gulf). International Journal of Molecular Sciences, 43: 849-857

Shulkin, V.M.; Presley, B.J.; Kavun, V.I., 2003. Metal concentrations in mussel *Crenomytilus grayanus* and oyster *Crassostrea gigas* in relation to contamination of ambient sediments. Environment International, 29: 493-502.

Storelli, M.M.; Marcotrigiano, G.O., 2005. Bioindicator organisms: heavy metal pollution evaluation in the Ionian Sea (Mediterranean Sea-Italy). Environmental Monitoring and Assessment, 102: 159-66.

Yap, C.K.; Ismail, A.; Tan, S.G.; Omar, H., 2002. Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel *Perna viridis* from the west coast of Peninsular Malaysia. Environment International, 28: 117-126.

Zhou, Q.; Fu, J.; Shi, J.; Jiang, G., 2007. Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. Analytica Chimica Acta, 606: 135-150.

from Muara Tebas, Sarawak. The Malaysian Journal of Analytical Sciences, 12: 53-58.

Liu, J.H.; Kueh, C.S.W., 2005. Biomonitoring of heavy metals and trace organics using the intertidal mussel Perna viridis in Hong Kong coastal waters. Marine Pollution Bulletin, 51:857-875.

Locatelli, C., 2003. Heavy metal determinations in algae, mussels and clams, their possible employment for assessing the sea water quality criteria. In Journal de Physique IV. 107: 785-788.

Long, E.R.; MacDonald, D.D.; Smith, S.L.; Culder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentration in marine and estuarine sediment. Environmental Management, 19: 81-97.

Maanan, M., 2008. Heavy metal concentrations in marine molluscs from the Moroccan coastal region. Environmental Pollution, 153: 176-183.

Nicolson, S.; Lam, P.K.S., 2004. Pollution monitoring in Southeast Asia using biomarker in the Mytilid mussels Perna viridis. Water and Environmental Division, 248: 437-443.

Onianwa, P.C.; Lawal, J.A.; Ogunkeye, A.A.; Orejimi, B.M., 2000. Cadmium and nickel composition of Nigerian foods. Journal of Food Composition and Analysis, 13: 961-969.

Rainbow, P.S., 2002. Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so what? Environmental