تجمع زیستی فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در دوکفه‌ای *Crassostrea gigas* در منطقه بندر امام خمینی(ره)

علی عظیمی[۱]، علیرضا صفاهیه[۱*]، علی دادالهی سهراب[۲]، حسین ذوالقرنین[۱]، احمد سواری[۱]

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

تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۸ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱/۱۴

چکیده

فلزات سنگین به‌دلیل پایداری زیاد با تجمع در بافت‌های آبزیان، قابل انتقال به سطوح مختلف غذایی و در نهایت انسان می باشند و به‌این ترتیب باعث بروز پیامدهای خطرناک آلودگی به این فلزات می‌شوند. بندر امام خمینی بزرگ‌ترین بندر ایران واقع در شمال غرب خلیج فارس می‌باشد که تردد فراوان کشتی‌ها در این بندر و همچنین وجود صنایع مختلف به‌خصوص صنایع پتروشیمی در اطراف این بندر سبب تخلیه ناپاکی‌های فراوان آلی و معدنی از جمله فلزات سنگین به این منطقه می‌شود. در این مطالعه به‌منظور آگاهی از سطوح فلزات سنگین در بافت نرم دوکفه‌ای *Crassostrea gigas*، نمونه‌برداری از صدف‌های متصل به اسکله‌های بندر امام خمینی در اسفند ماه ۱۳۸۸ در ۵ ایستگاه به‌صورتی که کل منطقه بندر امام خمینی پوشش داده شود به نام‌های اسکله پتروشیمی، داک سرسره، اسکله ۱۵، اسکله ۲۸ و اسکله ۳۳ انجام و پس از انتقال به آزمایشگاه و عملیات آماده سازی و هضم شیمیایی توسط اسید نیتریک، میزان فلزات سنگین نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی (AAS) اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که میانگین سطوح جیوه، کادمیوم، سرب و مس در بافت نرم دوکفه‌ای‌های جمع-آوری شده از ایستگاه‌های مختلف به‌ترتیب ۲/۹۷±۳/۱۲، ۳/۶۲±۷/۵۶، ۳/۳۰±۷/۱ و ۶۶/۱۷±۴۴۰/۵۷ میکروگرم بر گرم وزن خشک می‌باشد. مقایسه آماری میزان فلزات جیوه، کادمیوم، سرب و مس در دوکفه‌ای‌های مربوط به ایستگاه‌های مختلف اختلافات معنی‌داری را نشان داد ($P<0/05$). مقایسه مقادیر این فلزات با استانداردهای بین-المللی نشان داد که میزان هر چهار فلز سنگین در صدف‌های منطقه بندر امام بالاتر از حد استانداردهای بین‌المللی می‌باشد. با توجه به فعالیت‌های پتروشیمی بندر امام و سایر صنایع فعال در منطقه، پایش زیست محیطی مداوم فلزات سنگین در منطقه لازم به نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: تجمع زیستی، فلزات سنگین، دوکفه‌ای، بندر امام خمینی(ره)، خلیج فارس

* نویسنده مسوول، پست الکترونیک: safahieh@hotmail.com

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر ورود آلاینده های فلزی با منشأ انسانی به محیط‌های دریایی به میزان زیادی افزایش یافته است که خطری جدی برای حیات اکوسیستم های دریایی به شمار می آید. نبود قوانین زیربنایی و عمومی منجر به تخلیه آلاینده‌ها و سیستم‌های فاضلاب به طور غیر مسئولانه می‌شود که می‌تواند سطوح بالایی از آلودگی را در آب باعث شده و در مقابل، ساختار و پویایی جمعیت جانوران و گیاهان محلی منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Dias *et al.*, 2009). از این‌رو تخلیه آلاینده‌ها خصوصاً فلزات سنگین به اکوسیستم‌های دریایی به یک نگرانی بزرگ تبدیل شده است (Hopner, 1999).

فلزات سنگین مشکلاتی را برای دوره‌های طولانی به‌وسیله تجمع زیستی[1] در موجودات زنده به وجود می‌آورند (Povlesen *et al.*, 2003). ابن آلاینده‌ها که آلاینده‌های پایدار به حساب می‌آیند می‌توانند به واسطه بزرگنمایی زیستی[2] به رده‌های بالاتر زنجیره غذایی انتقال یابند (Mance, 1990). مقدار فلزات سنگین معمولاً به‌دلیل تجمع زیستی در بدن آبزیان بسیار بالاتر از محیط اطراف می‌باشد و چون بسیاری از گونه‌های دریایی مورد تغذیه انسان قرار می‌گیرد، توجه به این امر بسیار حائز اهمیت می‌باشد. مطالعات زیست محیطی مربوط به آلاینده‌ها عمدتاً شامل پایش[3] شیمیایی (اندازه گیری آلاینده‌ها در محیط مانند آب، رسوب، خاک) و زیستی (اندازه گیری آلاینده‌ها در بدن موجودات) در اکوسیستم‌های طبیعی می‌باشد (deMora *et al.*, 2004; Abdallah and Abdallah, 2008).

اگرچه پایش شیمیایی آلاینده‌ها نسبتاً ساده‌تر و در مواردی ارزان‌تر می‌باشد ولی اطلاعات کافی در مورد میزان دسترسی زیستی[4] موجود زنده به آلاینده فراهم نمی‌سازد (Giusiti, 2001). از طرفی محیط طبیعی دستخوش تغییرات شدید عوامل فیزیکو شیمیایی حاکم قرار گرفته که این منجر به اختلاف فاحش در داده‌های حاصل از پایش شیمیایی آلاینده ها می‌گردد. پایش زیستی که با استفاده از گونه‌های مناسب به عنوان بیواندیکاتور[5] صورت می‌گیرد روشی مطمئن‌تر بوده که اطلاعات قابل قبول‌تری را در مورد میزان دسترسی زیستی آلاینده و اثر احتمالی آنان در اختیار قرار می‌دهد (Amiard *et al.*, 2006).

در محیط زیست های آبی، دوکفه‌ای‌ها همواره جهت برنامه‌های پایش زیستی در اولویت بوده‌اند. آن-ها به دلیل ظرفیت بالا در فیلتر نمودن آب و زندگی ثابت و غیر متحرکشان به طور گسترده جهت ارزیابی سطوح آلودگی، مخصوصاً آلودگی فلزات سنگین استفاده می شوند (Rainbow, 2006).

بندر امام خمینی (ره) بزرگ ترین بندر ایران می‌باشد که در منطقه محصور شده خورموسی، واقع در شمال غرب خلیج فارس قرار دارد. این بندر به-واسطه صنایع پتروشیمی، طی سالیان اخیر از رشد و توسعه چشمگیری برخوردار بوده است. این منطقه در صورتی که در معرض هجوم توسعه و اثرات ناشی از آن نباشد، از بارورترین مناطق ساحلی در مجموعه اکوسیستم دریایی برای تأمین مواد مغذی و محیطی مناسب برای برقراری زنجیره غذایی از ساحل به دریا محسوب می‌شود.

آلودگی ناشی از اکتشاف و استخراج نفت و تردد نفت‌کش ها، حوادث و سوانح مربوط به سکوهای نفتی، رفت و آمد کشتی‌ها، منابع و صنایع مستقر در خشکی به‌خصوص صنایع پتروشیمی سبب تخلیه ناپاکی‌های فراوان آلی و معدنی از جمله فلزات سنگین به این منطقه می‌شود و با توجه به این‌که خورموسی راه ارتباطی محدودی با خلیج فارس دارد ناپاکی‌های پایدار از جمله فلزات سنگین طی سالیان درازی در محیط خور باقی مانده و به‌علت انباشته

1. Bioaccumulation
2. Biomagnification
3. Monitoring
4. Bioavailability
5. Bioindicator

شدن، این ناپاکی‌ها تبدیل به آلودگی‌های محیطی خواهد شد و در نهایت سبب تأثیرگذاری بر اکولوژی منطقه می‌شوند.

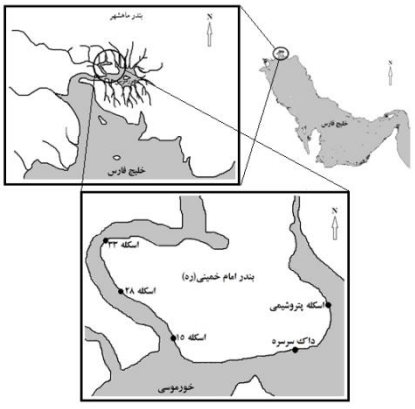
از این‌رو حفظ و پیشگیری از هرگونه آلودگی در این محل باید مورد توجه مجریان هرگونه فعالیت به‌خصوص فعالیت های اقتصادی قرار گیرد. زیرا ایجاد هرگونه آلودگی در این زیستگاه پرارزش می تواند تغییرات اساسی در اکوسیستم آن به‌وجود آورد که جبران آن عملاً غیرممکن خواهد بود.

۲. مواد و روش ها

نمونه برداری در اسفند ماه ۱۳۸۸ توسط قایق‌های صیادی در زمان جزر از اسکله‌های بندر امام خمینی صورت پذیرفت. بدین منظور صدف‌های هم‌اندازه (طول پوسته ۵±۳۵ میلی‌متر) از ۵ ایستگاه شامل اسکله پتروشیمی، داک سرسره، اسکله ۱۵، اسکله ۲۸ و اسکله ۳۳ جمع‌آوری گردیدند. نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌ها در منطقه در شکل ۱ و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری در جدول ۱ نشان داده شده است. از هر ایستگاه تعداد ۴۵ صدف (۳ تکرار) برداشت شد و بلافاصله درون یخدان محتوی یخ به آزمایشگاه منتقل گردیدند، در آزمایشگاه بافت نرم صدف‌ها از پوسته خارج و تا زمان شروع آنالیزها در فریزر در دمای۲۰C- نگهداری شدند (Gavrilovic *et al.*, 2007).

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نوع فعالیت انسانی
اسکله پتروشیمی	۴۹° ۰۶ ′ ۱۵/۱″E	۳۰° ۲۵ ۳۲/۶″N	تخلیه پساب پتروشیمی
داک سرسره	۴۹° ۰۵ ۵/۴ ″E	۳۰° ۲۵ ۲۹/۷ ″N	تعمیر کشتی‌ها
اسکله ۱۵	۴۹° ۰۳ ′ ۳۱/۴″E	۳۰° ۲۵/۵ ′ ۵/۶″N	تخلیه و بارگیری غلات
اسکله ۲۸	۴۹° ۰۲ ۲۰/۶ ″E	۳۰° ۲۶ ۴۴/۸″N	تخلیه و بارگیری مواد معدنی
اسکله ۳۳	۴۹° ۰۲ ۰۱ ″E	۳۰° ۳۰ ۲۱/۲ N	بارگیری مواد نفتی



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌ها در منطقه

بافت نرم صدف‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت (تا ثابت شدن وزنشان) در خشک کننده انجمادی[1] خشک گردیده (Shi *et al.*, 2005)، سپس با هاون چینی کاملاً پودر و یکنواخت شدند. جهت سنجش فلزات کادمیوم، سرب و مس، ۱ گرم از بافت خشک یکنواخت شده را با افزودن ۱۰ میلی‌لیتر اسید

1. Freeze drier

نیتریک غلیظ و قرار دادن بر روی دستگاه هضم[1]، ۱ ساعت در دمای ºC ۴۰ و ۳ ساعت در دمایºC ۱۴ هضم نموده و پس از سرد شدن نمونه ها، با آب دو بار تقطیر به حجم معین رسانده شدند و از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شدند (Yap *et al.*, 2002). غلظت فلزات مذکور توسط دستگاه جذب اتمی (AAS) با شعله مدل GBC-Savantaa Σ سنجش گردید. به‌منظور حصول اطمینان از صحت نتایج به‌دست آمده, از ماده مرجع استاندارد Dorm- 3 (fish protein، کانادا) برای سنجش صحت داده‌ها استفاده شد. درصد بازیافت نمونه‌های مرجع بین ٪۹۳ تا ٪۱۰۷ بدست آمد.

به‌منظور سنجش جیوه، ابتدا ۱ گرم از بافت خشک یکنواخت شده با ۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۴۵ میلی‌گرم پنتا اکسید وانادیوم[2] درون لوله-های آزمایش مخلوط گردیده و پس از بستن درب لوله‌ها با فویل آلومینیومی، نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند، سپس به مدت ۳ ساعت در دمای ۹۰°C هضم گردیدند، بعد از سرد شدن کامل نمونه‌ها, ۱ میلی لیتر محلول دی کرومات پتاسیم[3] به آن‌ها افزوده شد و پس از به حجم رساندن و صاف کردن (MOOPAM, 1999)، میزان جیوه موجود در آن‌ها توسط دستگاه جذب اتمی بدون شعله (CVAAS) مدل UNICAM 919 با روش بخار سرد[4] اندازه‌گیری شد. به‌منظور حصول اطمینان از صحت نتایج به‌دست آمده, از ماده مرجع استاندارد Dorm- 3 (fish protein، کانادا) جهت سنجش صحت داده‌ها استفاده گردید. درصد بازیافت نمونه-های مرجع بین ٪۹۸ تا ٪۱۰۲ بدست آمد.

پردازش آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS 17 صورت پذیرفت. به‌منظور بررسی پراکنش نرمال و همگنی واریانس‌ها از آزمون Shapiro- wilk استفاده شد، از روش آماری تحلیل واریانس یک طرفه برای مقایسات کلی و آزمون توکی جهت مقایسات چند گانه و معنی دار بودن اختلاف‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید.

۳. نتایج

غلظت جیوه در بافت نرم دوکفه‌ای *C.gigas* بین ۰/۶۶ تا ۸/۲۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجیده شد. بین غلظت جیوه در ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید (P<۰/۰۵). بر این اساس بیشترین مقدار جیوه در ایستگاه اسکله پتروشیمی و کمترین غلظت آن در اسکله ۲۸ اندازه‌گیری شد. غلظت کادمیوم در بافت نرم صدف بیشتر از غلظت جیوه بود و بین ۳/۳۳ تا ۱۲/۱۸ میکروگرم بر گرم وزن خشک اندازه گیری شد، غلظت کادمیوم در صدف‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری بود (P<۰/۰۵). بالاترین میزان آن مربوط به اسکله ۱۵ و کمترین غلظت آن مربوط به اسکله ۲۸ بود. غلظت سرب در بافت نرم دوکفه‌ای از دامنه ۳/۵۸ تا ۱۱/۷۶ میکروگرم بر گرم برخوردار بود و اختلاف معنی‌داری در بین ایستگاه-های مختلف نشان داد (P<۰/۰۵) که بالاترین مقدار مربوط به اسکله پتروشیمی و کمترین مقدار مربوط به اسکله ۲۸ بود. غلظت مس در بافت نرم دوکفه‌ای به‌مراتب از دیگر فلزات مطالعه شده بیشتر بود. میزان مس در صدف‌ها بین ۳۶۴/۹۸ تا ۵۱۷/۳۲ میکروگرم بر گرم اندازه‌گیری شد که دارای تفاوت معنی‌داری در بین ایستگاه‌های مختلف بود (P<۰/۰۵). همانند فلزات جیوه و سرب، اسکله پتروشیمی بالاترین مقدار و اسکله ۲۸ کم‌ترین میزان مس را دارا بودند. بنابراین اسکله پتروشیمی به استثنای کادمیوم, نسبت به سایر فلزات مورد مطالعه آلوده‌ترین ایستگاه شناخته شد. اسکله ۲۸ در مورد همه فلزات مورد مطالعه پایین-ترین میزان آلودگی را دارا بود (جدول ۲).

1. Hot plate digester
2. V2O5
3. K2Cr2O7
4 .Cold vapor

جدول ۲. میانگین غلظت فلزات جیوه، کادمیوم، سرب و مس بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک در بافت نرم دوکفه‌ای های ایستگاه-های مورد مطالعه (مقادیر مشخص شده با حروف متفاوت، دارای تفاوت معنی‌داری می باشند (P<۰/۰۵)).

ایستگاه / فلز	Hg	Cd	Pb	Cu
اسکله پتروشیمی	۸/۲۴±۰/۳۴ a	۶/۹۸±۲/۰۱ bc	۱۱/۷۳±۳/۱۴ a	۵۱۷/۳۲±۱۸/۲۷ a
داک سرسره	۴/۱۸±۰/۲۸ b	۵/۱۱±۲/۳۴ cd	۹/۰۵±۲/۳۲ ab	۵۰۱/۷±۱۶/۰۸ a
اسکله ۱۵	۱/۳۶±۰/۱۱ c	۱۲/۱۸±۱/۷۵ a	۴/۸۶±۲/۴۲ bc	۳۹۸/۶۵±۲۱/۱۹ bc
اسکله ۲۸	۰/۶۶±۰/۲۱ c	۳/۲۳±۰/۸ d	۳/۵۸±۱/۶۸ c	۳۶۴/۹۸±۸/۰۵ c
اسکله ۳۳	۱/۱۷±۰/۱۷ c	۱۰/۱۸±۲/۴ ab	۶/۲۵±۲/۴۷ bc	۴۲۰/۲۲±۳۷/۵۴ b
میانگین ± انحراف معیار	۳/۱۲±۲/۷۷	۷/۵۶±۳/۶۲	۷/۱±۳/۳۰	۴۴۰/۵۷±۶۶/۱۷

۴. بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده، توالی غلظت فلزات سنگین در بافت نرم دوکفه‌ای *C. gigas* در بندر امام خمینی به‌صورت Cu > Cd > Pb > Hg می‌باشد. این روند نشان می‌دهد که فلز مس در دوکفه‌ای *C.gigas* نسبت به فلزات جیوه، کادمیوم و سرب دارای تجمع بیشتری می‌باشد. به‌طور کلی صدف‌ها می‌توانند فلزاتی مانند مس و روی را در غلظت‌هایی بسیار بالا بدون هیچ گونه اثرات زیان آور در بدن خود تجمع دهند (Chen et al., 2003). فلز مس فلزی ضروری است که صدف‌ها از آن برای ساخت هموسیانین جهت انجام فرایند تنفس استفاده می‌کنند (Caussy *et al.*, 2003). الگوی به‌دست آمده از فلزات نشان می‌دهد که دوکفه‌ای‌ها احتمالاً فلز مس جذب شده را در بافت نرم خود ذخیره می‌کنند. غلظت بالای مس در بافت نرم به احتمال زیاد مربوط به غلظت بالای هموسیانین در بافت صدف می‌باشد. محققین دیگری نیز در مطالعه نرم‌تنان از قبیل *Crassostrea virginica* (Greig *et al.*, 1975)، *C.gigas* (Chen *et al.*, 2003) و *Saccostrea cuculata* (Fowler *et al.*, 2007) به نتیجه مشابهی دست یافته‌اند. غلظت فلز کادمیوم نیز در بافت نرم صدف‌ها در منطقه بندر امام خمینی به‌طور کلی بالا بود. این نتیجه نشان دهنده این نکته است که دسترسی زیستی این فلز در محیط، بالا بوده و باعث افزایش تجمع در بافت شده است (Paez-Osuna *et al.*, 1999). همچنین کادمیوم دارای فاکتور تغلیظ سازی زیستی بسیار بالایی می‌باشد که این امر به‌علت دفع بسیار ضعیف آن توسط دوکفه‌ای‌ها می‌باشد (Warren *et al.*, 1998). جذب کادمیوم دارای مکانیسم مشابهی با جذب کلسیم و آهن بوده و بنابر-این با یک عنصر ضروری اشتباه گرفته شده و جذب می‌شود (Rainbow *et al.*, 2003). از این‌رو جذب کادمیوم به وضعیت تشدید کمبود آهن کمک می‌کند (Thompson, 2005). یکی از منابع اصلی کادمیوم در محیط دریایی فاضلاب و لجن حاصل از تصفیه آن می باشد (Thompson, 2005; Rainbow, 2006). گسترش شهرهای سربندر و ماهشهر می‌تواند بر آلودگی آب‌های منطقه بیافزاید. با افزایش توسعه شهری مقدار فاضلاب‌های تخلیه شده به آب‌های خور نیز افزایش می‌یابد. ترتیب فلزات در بافت نرم صدف-ها در این منطقه در مقایسه با بسیاری از مطالعات انجام شده در مناطق آبی دیگر دارای روند مشابهی می‌باشد (Jeng *et al.*, 2000; Chen et al., 2003; de Astudillo *et al.*, 2005; Gaspic *et al.*, 2007).

مقادیر جیوه، کادمیوم، سرب و مس در بافت نرم صدف‌ها در بین ایستگاه‌های مختلف دارای اختلافات معناداری بود (P<۰/۰۵). این امر می‌تواند حاکی از این باشد که منابع آلودگی به‌صورت نقطه‌ای در این بندر وجود دارد. میزان جیوه در بافت نرم صدف‌های ایستگاه اسکله پتروشیمی و نیز داک سرسره که در

نزدیکی آن است بالا می‌باشد. واحد های پتروشیمی از فلزاتی همچون جیوه استفاده می‌کنند (Shastri and Diwekar, 2008). مجتمع پتروشیمی بندر امام خمینی(ره) بزرگترین مجتمع پتروشیمی کشور می باشد و شامل ۱۴ واحد تولیدی از جمله واحد های کلرآلکالی، پلی وینیل کلراید، اتیل دی کلراید است. پساب این واحدها که حاوی جیوه می باشد، مستقیماً وارد دریا می گردد و باعث آلودگی منطقه به جیوه می‌شود (کاظمی، ۱۳۸۱). با فاصله گرفتن از منابع پتروشیمی و منطقه ویژه از میزان جیوه در صدف‌ها کاسته شد. UNEP نیز در سال ۱۹۹۷ بیان نمود فعالیت کارخانه‌های کلرآلکالی می‌توانند سبب افزایش جیوه در منطقه شوند. Weis در سال ۲۰۰۴ غلظت جیوه را در بافت ۶ گونه ماهی در ۱۷ ناحیه از کانادا مورد بررسی قرار داد. این محقق علت وجود مقادیر بالای جیوه در برخی مناطق را وجود کارخانجات کلرآلکالی بیان نمود.

کمترین مقدار جیوه بافت نرم (۰/۲۱±۰/۶۶ میکروگرم بر گرم) در ایستگاه اسکله ۲۸ اندازه گیری گردید، این اسکله از صنایع پتروشیمی و منطقه ویژه فاصله دارد. همچنین با توجه به این‌که کمترین پهلو-گیری کشتی‌ها در این اسکله صورت می‌پذیرد بنابراین می‌توان بیان نمود که کشتی‌ها نیز می‌توانند تأثیر مستقیمی بر روی آلودگی‌های جیوه در محیط دریایی داشته باشند. همان‌طور که Hamed و Emara در سال ۲۰۰۶ میزان فلزات سنگین در نرم‌تنان خلیج Suez در دریای سرخ را مورد بررسی قرار دادند و منبع اصلی فلزات سنگین در بافت نرم‌تنان این منطقه را فعالیت‌های صنعتی مربوط به خشکی، همچنین کناره گیری و تعمیرکشتی‌ها ذکر کردند. همچنین Sadiq و Alam در سال ۱۹۹۲ دریافتند که دوکفه‌ای‌های *Meretrix meretrix* که از ایستگاه‌های نزدیک به بندرگاه‌ها و فعالیت‌های کشتیرانی و محل-های بارگیری و تعمیر کشتی‌ها در خلیج فارس جمع آوری شده بودند محتوای جیوه بیشتری نسبت به دو-کفه‌ای‌های جمع‌آوری‌شده از مکان‌های دیگر داشتند.

Maanan و همکارانش در سال ۲۰۰۸ میزان فلز سنگین جیوه را در سه گونه نرم‌تن در سواحل Moroccan مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که با فاصله گرفتن از مناطق صنعتی از میزان جیوه در بافت نرم کاسته می شود. در مطالعه حاضر نیز اسکله پتروشیمی و داک سرسره به دلیل نزدیکی به صنایع پتروشیمی بیشترین بار آلودگی را دارد و با دور شدن از محل ورود پساب پتروشیمی به آب میزان جیوه در دوکفه ای کاهش می یابد.

مقادیر بالایی از کادمیوم در اسکله ۱۵ (محل تخلیه غلات) و اسکله ۳۳ (محل بارگیری مواد نفتی) مشاهده شد. فلز کادمیوم دارای کاربردهای مختلفی است. این فلز در رنگ‌هایی که برای آبکاری استفاده می‌شوند و همچنین در مواد نگه دارنده رنگ به‌کار می‌رود (CCREM, 1987). در اسکله ۱۵ صدف‌ها بر روی پایه‌های فلزی که توسط رنگ‌های آنتی فولینگ پوشیده شده‌اند, زیست می‌کنند. این رنگ‌ها حاوی مقادیری کادمیوم هستند. لذا تغییر در میزان شوری, حرارت, و pH آب می‌تواند سبب آزاد شدن و افزایش دسترسی زیستی این فلز برای ارگانیسم‌های زنده از جمله صدف‌ها یا غذای آن‌ها در این ایستگاه شود (Knezovich *et al.*, 1994). همچنین ترافیک کشتی در این اسکله فوق‌العاده بالا است. بدنه این کشتی‌ها که با رنگ پوشیده می‌باشند در مجاورت صدف‌ها قرار می‌گیرند. لذا این عمل نیز می‌تواند باعث افزایش غلظت کادمیوم در بافت نرم دوکفه‌ای شود. یکی دیگر از منابع کادمیوم احتراق سوخت‌های فسیلی می‌باشد (CCREM, 1987). ترافیک سنگین کشتی در اسکله ۳۳ و نیز بارگیری سوخت‌های فسیلی و مواد نفتی و ریزش اتفاقی این مواد در اسکله ۳۳ می-تواند از دلایل افزایش کادمیوم در این اسکله باشد. کمترین مقدار کادمیوم در اسکله ۲۸ و داک سرسره مشاهده شد. کمترین تراکم و پهلوگیری کشتی در اسکله ۲۸ اتفاق می افتد, همچنین در این اسکله صدف‌ها بر روی پایه های بتونی زیست می‌کنند. هیچ کشتی بزرگی به داک سرسره وارد نمی شود. در داک

سرسره بارناکل ها بر روی تخته های چوبی رشد می کنند که فاقد رنگ می باشد. این موارد باعث کاهش دسترسی زیستی کادمیوم در این ایستگاه‌ها شده است. عنصر مس و سرب در صنایع پتروشیمی کاربردهای زیادی دارند و به میزان زیادی استفاده می‌شوند. فاضلاب واحد آمونیاک و واحد استالدئید که در مجاورت اسکله پتروشیمی تخلیه می‌شود، از بار آلودگی مواد ازته، آمونیاک، روغن، کلراستالدئید، سرب، کلرید مس و مس برخوردار است (منوری، ۱۳۸۱). به‌همین دلیل وجود مقادیر بالای سرب و مس در اسکله پتروشیمی و بعد از آن در داک سرسره که در نزدیکی آن است، احتمالاً به عوامل فوق مربوط می‌شود.

جدول۴-۴. مقایسه غلظت فلزات سنگین (میکروگرم بر گرم در وزن خشک) در صدف دوکفه ای *C. gigas* با سایر نقاط جهان

گونه	منطقه	Hg	Cd	Pb	Cu	منبع
C.gigas	بندر امام خمینی	۵/۵۲	---	۱۱/۹۰	۶۶۲/۰۱	فقیری، ۱۳۸۸
C. gigas	سواحل تایوان	۰/۲۷۰	۰/۳۸۹	۰/۴۴۶	۲۲۹/۵	Jeng *et al.*, 2000
C. gigas	سواحل مدیترانه	---	۰/۱۳	۰/۲	۵۵/۰۰	Amiard *et al.*, 2005
C. gigas	خلیج Morrocan	---	۲/۱	۶/۷	۲۴/۱	Maanan, 2008
C. virginica	مصب ساوانا (آمریکا)	۰/۹۱	<۱/۵-۲/۹	<۱/۵-۴	---	Kumar *et al.*, 2008
Saccostrea cucullata	سواحل عمان	۰/۰۴۹	---	۰/۲۱	۵۱/۵	Fowler *et al.*, 2007
Saccostrea cucullata	سواحل چابهار- عمان	---	---	۴/۵۵	۲۰۸/۸۶	Einollahi *et al.*, 2010
Mytilus galoprovincialis	خلیج Ussurigsky (اسپانیا)	۰/۱۲۵	۰/۵-۲/۷	۰/۹-۳	۲۵۰/۱	Besada *et al.*, 2002
C.gigas	بندر امام خمینی(ره)	۳/۱۲	۷/۵۶	۷/۱	۴۴۰/۵۷	مطالعه حاضر

در جدول ۴-۵ نتایج حاصل از اندازه گیری غلظت فلزات جیوه، کادمیوم، سرب و مس در بافت نرم *C. gigas* در بندر امام خمینی با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان خوار و بار جهانی (FAO)، حدمجاز تعیین شده توسط وزارت سلامت تاسمانی (TPHR)، حد مجاز تعیین شده توسط انجمن تحقیقات، بهداشت و سلامت ملی انگلیس (UK MAFF)، انجمن کشور های اروپایی(EC)، استاندارد سازمان غذا و داروی آمریکا (USFDA) مقایسه شده است. غلظت‌های به‌دست آمده در این بررسی بر اساس غلظت در بافت نرم با استانداردهای موجود مقایسه شدند. با توجه به جدول ۴-۵ غلظت فلز کادمیوم در بافت نرم دوکفه‌ای مورد مطالعه از مقادیر همه استانداردها بالاتر می‌باشد، که این امر نشان‌دهنده آلودگی بالای منطقه بندر امام خمینی به فلز سنگین کادمیوم می‌باشد که خطری جدی برای سلامت عمومی محسوب می‌شود و نیازمند نظارت و مدیریت قوی‌تر بر فعالیت صنایع آلوده‌کننده و تخلیه فاضلاب‌ها می‌باشد. غلظت فلز مس نیز از استانداردهای WHO، USFDA، FAO، UK MAFF، EC، TPHR وHMRC بیشتر و تنها از استاندارد US FDA کمتر بود. غلظت فلز سرب از استاندارد US FDA و ECکمتر و از میزان تعیین شده توسط سایر استانداردها بیشتر بود. با مقایسه غلظت فلز جیوه بافت نرم صدف نیز مشخص گردید که میانگین غلظت این فلز از استاندارد UK MAFF بیشتر و از سایر استانداردها به میزان اندکی کمتر بود. غلظت جیوه در ایستگاه‌های اسکله پتروشیمی و داک سرسره به میزان زیادی از استانداردها بالاتر بود. در سایر ایستگاه‌ها وضعیت متعادل‌تر بود.

جدول۴-۵. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در بافت نرم دوکفه‌ای *C. gigas* با استانداردهای مختلف (برحسب میکروگرم بر گرم در وزن تر)

استانداردها	جیوه	کادمیوم	مس	سرب	منبع
WHO	۰/۵	۰/۲	۱۰	---	Shulkin *et al.*, 2003
FAO	۰/۵	۰/۷۵	۳۰	۱	Shulkin *et al.*, 2003
US FDA	۰/۵	---	۱۰۰	۱/۷	Jeng *et al.*, 2003
NHMRC	۱	۲	۳۰	---	Chen *et al.*, 2003
TPHR	۱	۲	۳۰	---	Chen *et al.*, 2003
EC	۰/۵	۰/۷۵	---	۱/۵	Anonoymous, 2001
MAFF UK	۰/۳	۰/۵	۲۰	۱	Chen *et al.*, 2003
بافت صدف	۰/۴۷	۱/۱۳	۶۵/۶۴	۱/۰۶	مطالعه حاظر

FDA: Food and Drug Administration
NHMRC: National Health Medical Research Council
TPHR: Tasmania Public Health Regulation
MAFF: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food

منابع

منوری، س، م. ۱۳۸۱. راهنمای اثرات زیست محیطی کارخانجات پتروشیمی، تهران، انتشارات فرزانه، چاپ اول.

فقیری، ا. ۱۳۸۸. پایش زیستی فلزات جیوه, سرب و مس با استفاده از صدف دوکفه ای *Crassostrea gigas* در بندر امام خمینی(ره). پایان نامه کارشناسی ارشد آلودگی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر. ۱۰۶ صفحه.

کاظمی، ژ. ۱۳۸۱. اثرات زیست محیطی جیوه موجود در پساب پتروشیمی بندر امام بر محیط زیست خور موسی. پایان نامه کارشناسی ارشد محیط زیست، واحد علوم تحقیقات اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز.

Abdallah, M. A. M., Abdallah, A. M. A., 2008. Biomonitoring study of heavy metals in biota and sediments in the South Eastern coast of Mediterranean sea, Egypt. Environ. Monit. Assess. 146: 139-145.

Amiard J.C., Perrein-Ettajani H., Gerard A., Baud J.P., Amiard-Triquet C,2005. Influence of ploidy and metal-metal interactions on the accumulation of Ag, Cd, Pb and Cu in oysters *Crassostrea gigas* Thunberg. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 48, 68–74.

Amiard, J. C., Amiard-Triquet, C., Barka, S., Pellerin, J. and Rainbow, P. S. 2006. Metallothionein in aquatic invertebrates: Their role in metal detoxification and their use as biomarkers. Aquatic Toxicol. 76: 160–202.

Anonoymous, 2001. Commission Regulation (EC) 466/2001. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Communities, L 77 (16/3/2001), 13 pp.

Besada, V., Fumega J., Vamonde A. 2002. Temporal trends of Cd, Cu, Hg, Pb and Zn in *Mytilus galoprovincialis* from Spanish North-Atlntic coast 1991-1999. Sci. Total Environ. 288: 239-253.

Caussy, D., Gurzau, D. M. Neagu, C., Ruedel, H. 2003. Ecotoxicology and lessons from case studies of metals: investigating exposure, bioavailability and risk. Environ. Safe 56:45-51.

CCREM (Canadian council of Resource and Environment Ministers) 1987. Canadian water quality prepared by the task force on water quality guidelines.

Chen, C.Y., Chen, M.H. 2003. Investigation of Zn, Cu, Cd and Hg Concentrations in the Oyster of Chi-ku, Tai-shi and Tapeng Bay, Southwestern Taiwan. J. Food Drug Analy. 11: 32-38.

De Astudillo, L.R., Yen I.C., Berkele I. 2005. Heavy metals in sediments, mussels and oysters from Trinidad and Venezuela. Revista de Biologia Tropical, 53, 41–53.

various marine organisms in Taiwan, 1991-98. Environ. Pollut. 110: 207-215.

Knezovich, J.P. 1994. Chemical and biological factors afecting bioa- vailability of contaminants in seawater. In: Hamelink, J.L., Land- rum, P.F., Bergman, H.L., Benson, W. (Eds.), Bioavailability. Physical, Chemical and Biological Interactions. CRC Press, Boca Raton, p. 23-30.

Kumar, K.S., Sajwan, K.S., Richardson, J.P.,Kannan, K. 2008. Contamination profiles of heavy metals, organochlorine pesticides, polycyclic aromatic hydrocarbons and alkyl phenols in sediment and oyster collected from marsh/estuarine Savannah GA, USA. Mar. Pollut. Bull. 56: 136–162.

Maanan, M. 2008. Heavy metal concentrations in marine mollusks from the Moroccan coastal region. Environ. Pollut. 153: 176-183.

Mance G. 1990. Pollution threat of heavy metal in aquatic environments. Elsevier Applied Science, New York, p430.

Paez-Osuna, F., Bojorquez-Leyva, H. and Ruelas-Inzunza, J., 1999. Regional variations of heavy metal concentrations in tissues of barnacles from the subtropical pacific coast of Mexico. Environ. Int. 25: 647-654.

Rainbow, P.S. 2006. Biomonitoring of trace metals in estuarine and marine environments. Aust. J. Ecotoxicol. 12: 107-122.

Rainbow, P.S., Blackmore, G., Wang, W.X. 2003. Effects of previous field-exposure history on the uptake of trace metals from water and food by the barnacle *Balanus amphitrite*. Mar. Ecol. Prog. Seri. 259: 201-213.

Shastri, Y. and Diwekar, U. 2008. Optimal control of lake pH for mercury bioaccumulation control. Ecol. Model. 216:1-7.

Shi, J., Liang, L., Jiang, G., Jin, X., 2005. The speciation and bioavailability of mercury in sediments of Haihe River, China. Environ. Int. 31: 357–365.

Shulkin, V.M., Presley, B.J. 2003. Metal concentration in mussel *Crenomytillus grayanus* and oyster *Crassostrea gigas* in relation to contamination of ambient sediment. Environ. Int., 29: 493- 502.

Thompson, K.C., 2005. Environmental Toxicity Testing. Blackwell Publishing, p388.

UNEP 1997. Assessment of land-based sources and activities affect-ing the marine

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

Dias, J.F., Fernandez, W.S., Boufleur, L.A., dos Santos, C.E.I., Amaral, L., Yoneama, M.L. and Dias J.F., 2009. Biomonitoring study of seasonal anthropogenic influence at the Itamambuca beach (SP, Brazil). Nucl. Inst. Method Physics Res. B 267: 1960–1964

Einollahi, P, F., Safahieh, A., Dadollahi Sohrab, A., Pakzad T, S. 2010. Heavy metal concentrations in rock oyster *Sacostrea cucullata* from Iranian of the Oman Sea. Trakia J. Sci. 8: 79-86.

Fowler, W. S., Villeneuve, J., Wyse, E., Jupp, B., De Mora, B.S. 2007. Temporal survey of petroleum hydrocarbons, organochlorinated compounds and heavy metals in benthic marine organisms from Dhofar, southern Oman. Mar. Pollut. Bull. 54: 339–367.

Gaspic, Z.K., Ujevic, I., Zvonaric, T., Baric, A. 2007. Biomonitoring of trace metals (Cu, Cd, Cr, Hg, Pb, Zn) in Mali Ston Bay (eastern Adriatic) using the Mediterranean blue mussel (1998-2005). Acta Adriatica 48: 73-88.

Gavrilovic, A., Srebocan, F., Gotal, P., Peterniec, Z., Prevendar, A. Matasin, Z. 2007. Heavy metals concentrations in oysters from the Mali Ston Bay, south-eastern Adriatic, Croatia-potential safety hazard aspect Spatiotemporal variation of some metal. Vet. Med. 52: 457-463.

Giusiti, L. 2001. Heavy metal concentration of brown seaweed and sediment from the UK coastline between the Wear river and Tees river. Environ. Int. 26: 275-286.

Greig R. A., Nelson B. A., Nelson D. A., 1975.Trace metal content in the American oyster. Mar. Pollut. Bull. 6: 72–73.

Hamed, M.A., Emara, A.M. 2006. Marine molluscs as biomonitors for heavy metal levels in the Gulf of Suez, Red Sea. Mar. System 60: 220-234.

Hopner, T. 1999. A procedure for environmental impact assessments (EIA) for seawater desalination plants. Desal. 124: 1-12.

Jeng, M.S., Jeng, W.L., Hung, T.C., Yeh, H., Tseng, R.J., Meng Han, B.C. 2000. Mussel Watch: a review of Cu and other metals in

sediment in the Red sea and Gulf of Aden, UNEP Regional Seas Reports Studies, No. 166.

Warren, L.A. 1998. Modelling cadmium accumulation by benthic invertebrates in situ: the relative contributions of sediment and overlying water reservoirs to organism cadmium concentrations. Limnol. Ocean 43:1442-1454.

Weis, I.M. 2004. Mercury Concentration in fish from Canadian Great lakes areas of concern: an analysis of data from the Canadian Department of Environment database. Environ. Res. 95 :341-350

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. Environ. Int. 28: 117–128.