مجله بوم شناسی آبزیان

Journal homepage: http://jae.hormozgan.ac.ir

دوکفه‌ای *Corbicula fluminalis* (Müller, 1774) : شاخص زیستی نشان دهنده فلزات سنگین در زیستگاه‌های رودخانه زاینده‌رود

حوریه موحدی، مهرداد فتح‌الهی* اسماعیل پیرعلی، رسول زمانی احمد محمودی

گروه شیلات و محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۹۴/۰۷/۱۳
اصلاح: ۹۴/۰۹/۲۹
پذیرش: ۹۴/۱۱/۰۱

کلمات کلیدی:
پایش زیستی
رسوب
فلزات سنگین
Corbicula fluminalis

چکیده

در این تحقیق انباشتگی فلزات سنگین کادمیوم، روی، مس و سرب در بدن و صدف دوکفه‌ای *Corbicula fluminalis* به عنوان پایشگر زیستی احتمالی آلودگی فلزات سنگین و رسوبات محل تجمع صدفها در زاینده‌رود در منطقه صفاییه اصفهان در دو فصل سرد و گرم سال ۱۳۹۳ ارزیابی شد. نتایج سنجش غلظت فلزات در بافتهای نرم و پوسته دوکفه‌ای و رسوبهای زیستگاه بعد از هضم نمونه ها با روش هضم اسیدی در دستگاه جذب اتمی با شعله، نشان داد که فلز روی در رسوبات فصل گرم و نیز فصل سرد، بیشترین غلظت را به ترتیب با ۳/۸۰ ± ۲۸/۸ و ۱/۲۳ ± ۱۶/۹۷ میکروگرم بر گرم وزن خشک داشته و به همین ترتیب غلظت روی در فصلهای گرم و سرد در بافت نرم دوکفه‌ای به ترتیب با میزان ۳۳/۷۷ ± ۲۰۶/۲۲ و ۱۹/۰۲ ± ۸۹/۰۷ میکروگرم بر گرم وزن خشک و نیز در پوسته صدفها به ترتیب با ۳/۰۶ ± ۳۵/۵۷ و ۳/۱۰ ± ۳۳/۰۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک دارای بیشترین غلظت بوده است. غلظت سه فلز کادمیوم، سرب و روی در پوسته صدف دوکفه‌ای *C. fluminalis* در رودخانه زاینده رود بدون تاثیر فصل، می تواند نشان دهنده بزرگی میزان غلظت فلزات در رسوبات منطقه زیست آنها باشد. همچنین بافت نرم دوکفه‌ای *C. fluminalis* محل تجمع فلزات روی، سرب، مس و کادمیوم در زاینده‌رود بوده است.

مقدمــه

قرار گرفتن آبزیان در معرض فلزات سنگین موجب بروز علائمی از جمله اختلالات رفتاری، تولیدمثلی، گردش خون و دستگاه گوارش می‌شود (Tominack *et al.*, 2002). علاوه بر ایجاد اثرات نامطلوب در گونه، این فلزات می توانند برای شکارچیان سطوح بالاتر غذایی و نیز جوامع انسانی مصرف‌کننده آن‌ها مخاطره‌آمیز باشند (Eisler, 1985). در بیشترجانداران اندامهایی که در معرض فلزات سنگین قرار می‌گیرند، تنها در محدوده خاصی از غلظتهای فلزات سنگین قادر به زیست هستند و گاهی فلزات سنگین، از بدن دفع نشده، در بدن باقی مانده و به‌طور مداوم طی دوره زندگانی جانوران به میزان غلظت آنها در بافتها به عنوان یک تجمع زیستی یا Bioaccumulation افزوده می‌شود. خطرات حاصل از تجمع زیستی این فلزات در سطوح بالاتر زنجیره غذایی نیز، یکی از نگرانی‌های عمده در بحث سلامت انسانی است (Zhou *et al.*, 2007). طی دهه‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای به منظور مطالعه‌ی فلزات سنگین مختلف در بدن آبزیان به‌ویژه دوکفه‌ای‌ها صورت پذیرفته است (Yap *et al.*, 2002; De Astudillo *et al.*, 2005 ; Sidoumou *et al.*, 2006). محققین برای فلزات سنگینی همچون سرب یا کادمیوم نقش زیستی قائل نیستند و در واقع این فلزات در آبزیان دارای عملکردهای متابولیکی شناخته‌شده‌ای نمی‌باشند (Yap *et al.*,

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: mehrdad.fatollahi@nres.sku.ac.ir

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1395.6.3.4.6]

2002; Thompson, 2005)، اما برخی فلزات نظیر مس یا روی یکی از ۲۶ عنصر نادر ضروری عملکردهای زیستی در جانداران هستند. مس در ساختمان بیش از ۳۰ آنزیم حضور دارد و در فرایندهای احیایی (مانند سیتوکروم اکسیداز و نیترات ردوکتاز) و نقل و انتقال اکسیژن (مانند هموسیانین) نقش مؤثری دارد. به‌رغم ضروری بودن مس برای موجودات زنده، وجود این عنصر در غلظت‌های بیش از حد نیاز، می‌تواند به بروز عوارض ناشی از مسمومیت در موجود زنده منجر گردد (Jeng *et al.*, 2000).

با توجه به مشکلاتی که در ارزیابی آلودگی‌های موجود در محیط‌های آبی با استفاده از پایش آب و رسوب و به دست آوردن نمونه‌های درست و دقیق از آب مناطق وجود دارد، دانشمندان مناسب‌ترین روش را پایش زیستی آلودگی‌ها می‌دانند که در آن ارگانیسمهای قرارگرفته در معرض محیط‌زیست با غلظتهای مختلف مواد یا میدانهای فیزیکی در طول زمان، مورد ارزیابی اثرات و یا سنجش میزان این مواد و یا نیروهای تجمع یافته در آنها قرار می‌گیرند. این تکنیک براساس نمونه‌برداری و آنالیز مایعات و بافت‌های ویژه از موجوداتی خاص که پایشگر زیستی یا Biomonitor نامیده می‌شوند استوار است (Hamed and Emara, 2006). از آنجاکه موجودات آبزی در تماس مستقیم با بخش‌های آلوده شده زیستگاه‌های آبی (رسوبات و آب) هستند، می‌توانند سطوح بالایی از فلزات سنگین را در بافت‌های نرم خود ذخیره کنند (Van Duren *et al.*, 2006) و همچنین آبزیان می‌توانند در معرض ورود هر دو دسته از عناصر ضروری و غیرضروری از رسوبات باشند (Demirak *et al.*, 2006). فلزات سنگین از طریق ته‌نشست مداوم با غلظت کم می‌توانند وارد اکوسیستم شوند، که این پدیده ممکن است در طول زمان منجر به غنی شدن اکوسیستم از این عناصر گردد. این عمل از طریق تجمع زیستی آن‌ها در پلانکتون‌ها، کفزیان و صافی‌خواران filter feeders و همچنین ظهور پدیده بزرگنمایی زیستی در زنجیره غذایی بالاتر میسر می‌باشد (Giffords *et al.*, 2004).

دوکفه‌ای‌ها به دلیل توان بالا در فیلتر نمودن آب و زندگی به نسبت ثابت و غیرمتحرک، به‌طور گسترده جهت ارزیابی سطوح آلودگی آبها، مخصوصاً آلودگی فلزات سنگین مطالعه می شوند (Maanan, 2008; Hedge *et al.*, 2009). در این مطالعه نیز به بررسی غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب، روی و مس در بافت نرم و پوسته دوکفه‌ای *C. fluminalis* و ارتباط آن با این آلاینده‌ها در رسوبات بستر زندگی این دوکفه‌ای، پرداخته شده است. زاینده‌رود یکی از مهمترین منابع آب شیرین در پهنه داخلی ایران و بزرگترین رودخانه فلات مرکزی ایران است. مساحت حوضه آبریز این رودخانه ۲۷۲۰ کیلومترمربع است و بسیاری از صنایع بزرگ کشور که فعالیت آن‌هابه آب زاینده‌رود بستگی دارد در اطراف این رودخانه قرارگرفته‌اند. تنش شدید وارد شده در چند سال اخیر به رودخانه، پدیده خالی شدن و خشک شدن متوالی این رودخانه در بخشهای نزدیک شهر اصفهان به دلیل مصرف شدید آب آن توسط جامعه انسانی است که تمام موجودات این اکوسیستم آبی را از بین برده است. این مطالعه در بخشهایی دارای آب بالا دست رودخانه به منظور بررسی امکان سنجش آلودگی های احتمالی در اجزای زنده (مانتل) و غیر زنده (پوسته) صدف دوکفه ای انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

شناسایی مناطق زیستگاهی دوکفه ای

برنامه‌ی نمونه‌برداری در دو فصل گرم (خرداد تا مرداد) و فصل سرد (آذر تا بهمن) ۱۳۹۳ در حوضه رودخانه زاینده‌رود بعد از یک شناسایی نه ماهه و تعیین منطقه تجمع صدف مورد مطالعه از میان دهها کیلومتر بستر جاری سالیانه رود در استان چهارمحال و بختیاری و اصفهان به انجام رسید. مناطق مورد جستجو برای یافتن زیستگاههای صدف عبارت از مناطق اطراف گوشه، چغاهست و سامان در استان چهارمحال‌وبختیاری و در استان اصفهان، تمام مناطقی که آب رودخانه زاینده‌رود در استان هنوز حالتی از یک اکوسیستم رودخانه‌ای و غیرخشک شده داشت ازجمله مناطق چمگردان، چرمهین، باغ بهادران، زرین‌شهر، صفائیه و زیر پل صفاییه بودند.

نمونه برداری در محل و آماده سازی نمونه‌ها

از حفار سطحی و بستر بردار دستی شن‌کش با کمک صافی سوربر ۱۶۰۰ سانتیمترمربعی و با تور چشمه ۰/۵۰ میلی‌متر برای جمع‌آوری نمونه‌ها استفاده گردید (Einollahi Pir *et al.*, 2011; Davies, 2001). از یک مغزه‌بردار، نمونه‌بردار شن و رسوب و

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1395.6.3.4.6]

نیز از یک بیلچه برای جستجوی اولیه صدف به ویژه در زیر گیاهان آبزی موجود در مناطق استفاده شد. برای این منظور چهارچوب کف دستگاه بر روی بستر رودخانه در مقابل جریان آب قرار داده شد و با یک بیلچه و شن‌کش دستی رسوب بستر رودخانه تا عمق نرم تقریباً ۱۵ سانتیمتری که دوکفه‌ای مورد نظر قدرت حفاری در آن را داشته است به دهانه سوربر هدایت می‌شد. با این عمل مواد بستر به همراه موجودات کفزی توسط دست و نیز جریان آب به انتهای تور سوربر هدایت می‌شدند.
بعد از جدا کردن، صدفهای زنده داخل ظروف نمونه‌برداری (ظروف پلی‌اتیلنی برچسب‌گذاری‌شده) و در یخدان به آزمایشگاه منتقل و پس از جداسازی پوسته و مانتل تا قبل از آماده سازی و پاکسازی در فریزر ۲۰- درجه سانتی گراد نگهداری شدند. به طور همزمان، نمونه‌های رسوب از بستر محل زیست دوکفه‌ای برداشت شدند و نمونه‌های برداشت‌شده در یخدان به آزمایشگاه منتقل گردیدند (Delman *et al.*, 2006). برای شروع آنالیزها، نمونه‌ها از فریزر خارج و در دمای اتاق یخزدایی شدند. سپس با قرار دادن نمونه‌های دوکفه‌ای جمع‌آوری شده در آکواریومی پر شده با آب مقطر در دمای حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نمونه‌ها رسوب زدایی شدند. بافت نرم با استفاده از کاردک فولادی ضد زنگ از پوسته جدا شده و نمونه‌های بافت و پوسته در آون مدل INC-V500 در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک (۴۸ تا ۷۲ ساعت) شدند. نمونه‌های رسوب پس از یخزدایی در دمای اتاق و خروج آب باقی مانده و مواد زائد، مواد درشت و خار و خاشاک در آون خشک شدند. نمونه‌های خشک شده در دسیکاتور قرار داده شد و سپس در هاون چینی کوبیده و یکنواخت شدند. بعد از آن نمونه‌های رسوب را از الک ۶۳ میکرون عبور داده تا اجسام خارجی و ذرات درشت از آن‌ها کاملاً جدا گردند. نمونه‌های آماده شده تا زمان شروع هضم در ظروف پلی اتیلنی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد یخچال نگهداری شدند (Delman *et al.*, 2006; Yap *et al.*, 2003).

هضم نمونه‌ها و خواندن غلظت فلزات

به منظور سنجش غلظت عناصر مورد نظر در نمونه‌های رسوب و نمونه‌های جانوری، حدود ۱ گرم از هر نمونه خشک شده توسط مخلوطی از اسیدنیتریک غلیظ (۶۵ درصد) و اسید پرکلریدریک (۶۰ درصد) به نسبت ۴ به ۱ در دستگاه هضم‌کننده هات پلیت (hot plate digester) ابتدا در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت و سپس در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت هضم شدند. پس از خنک شدن نمونه‌های هضم شده، آن‌ها را از کاغذ فیلتر واتمن شماره ۱ عبور داده و محلول‌های صاف شده با آب دیونیزه در بالن ژوژه ۲۵ سی‌سی به حجم رسانده شدند. محلول‌های به حجم رسانده شده در ظروف پلی‌اتیلنی برچسب‌گذاری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد یخچال نگهداری شدند (Yap *et al.*, 2002; 2003). غلظت فلزات سنگین کادمیوم، روی، سرب و مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله مدل GBC 932 PLUS تعیین و غلظت عناصر بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک نمونه (ppm) محاسبه شد. نمونه های سنجش شده برای به دست آوردن هر میانگین از رسوب، بافت و پوسته ۱۵ نمونه هضم شده مشتمل بر تکرارهای سه گانه در هر نمونه برداری بوده است.

تحلیل داده‌ها

گزارش میانگین به صورت خطای معیار ± میانگین و توصیف آماری بزرگی داده‌ها به منظور دست‌یابی به خلاصه اطلاعات آماری با استفاده از نرم افزار SPSS 17.0 و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۰۷ انجام گرفت. به منظور بررسی روند تغییرات میزان فلزات به ازای مکانهای تجمع یعنی رسوبات و صدف و نیز بافت دوکفه‌ای از آزمون تجزیه به مولفه‌های اصلی از نرم‌افزار PC-ORD استفاده شد.

نتایــج

از میان مناطق مورد جستجو، تنها منطقه‌ای که گونه *C. fluminalis* در آن مشاهده شد، شاخه‌ی رودخانه زاینده‌رود در منطقه صفاییه در مبارکه اصفهان بوده است. موثرترین روش جمع آوری صدفهای زنده، استفاده از بیلچه و توری سوربر برای کسب نمونه‌ها به دلیل وجود گیاهان آبزی در این اکوسیستم رودخانه‌ای بود.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1395.6.3.4.6]

نتایج میانگین حاصل از نمونه ها در جدول ۱ آورده شده است. کمترین مقدار به دست آمده از تجمع فلزات مربوط به غلظت کادمیوم در رسوب در فصل سرد و بیشترین مقدار به دست آمده مربوط به روی در بافت نرم دوکفه‌ای در فصل گرم می‌باشد. همه‌ی نمونه‌های سنجش شده غلظتهای مربوط به وجود فلزات سنگین را نشان دادند و با توجه به تعداد نمونه‌ها و انجام آزمون ناپارامتریک (K-S test) انجام شده اختلاف معنی دار گروهها در جدول یک گزارش شده است.

مقادیر به دست آمده در مورد غلظت فلز کادمیوم بر حسب میکروگرم به گرم وزن خشک نمونه به ترتیب مربوط به بافت نرم فصل سرد (۸/۶۶±۱/۵۹)، بافت نرم فصل‌گرم (۷/۹۵±۲/۵۶)، پوسته فصل‌سرد (۲/۴۰±۰/۰۴)، رسوب فصل‌سرد (۲/۳۸±۰/۰۸)، پوسته فصل‌گرم (۲/۳۴±۰/۰۶) و رسوب فصل‌گرم (۲/۳۱±۰/۰۳) می‌باشد و مقادیر به دست آمده در مورد فلز مس به ترتیب مربوط به بافت نرم فصل‌سرد (۲۸/۳۹±۳/۶۳)، بافت نرم فصل‌گرم (۲۳/۷۰±۳/۲۳)، رسوب فصل‌گرم (۶/۶±۰/۹۹)، رسوب فصل‌سرد (۳/۹۱±۰/۳۵)، پوسته فصل‌گرم (۰/۹۰±۰/۰۳) و پوسته فصل‌سرد (۰/۶۸±۰/۰۳) بوده است.

مقادیر به دست آمده در مورد فلز سرب بر حسب میکروگرم به گرم وزن خشک نمونه به ترتیب مربوط به بافت نرم فصل سرد (۶۳/۷۸±۱۱/۴۵)، بافت نرم فصل گرم (۶۲/۹۷±۱۲/۰۶)، رسوب فصل سرد (۱۴/۷۸±۱/۷۷) رسوب فصل گرم (۱۲/۵±۰/۶۳) و پوسته فصل سرد (۱۱/۵۷±۰/۵۶) و پوسته فصل گرم (۱۰/۴۷±۰/۶۵) و مقادیر به‌دست آمده در مورد فلز روی به ترتیب مربوط به بافت نرم فصل گرم (۲۰۶/۲۲±۳۳/۷۷)، بافت نرم فصل سرد (۸۹/۰۷±۱۹/۰۲)، پوسته فصل گرم (۳۵/۵۷±۳/۰۶)، پوسته فصل سرد (۳۳/۰۶±۳/۱۰)، رسوب فصل گرم (۲۸/۸±۳/۸۰) و رسوب فصل سرد (۱۶/۹۷±۱/۲۳) بوده است. از نظر بزرگی تجمع فلزات در بدن دو کفه‌ای و نیز محیط (رسوبات) بیشترین میانگین‌ها مربوط به فلز روی و کمترین آن برای کادمیوم سنجش شده است.

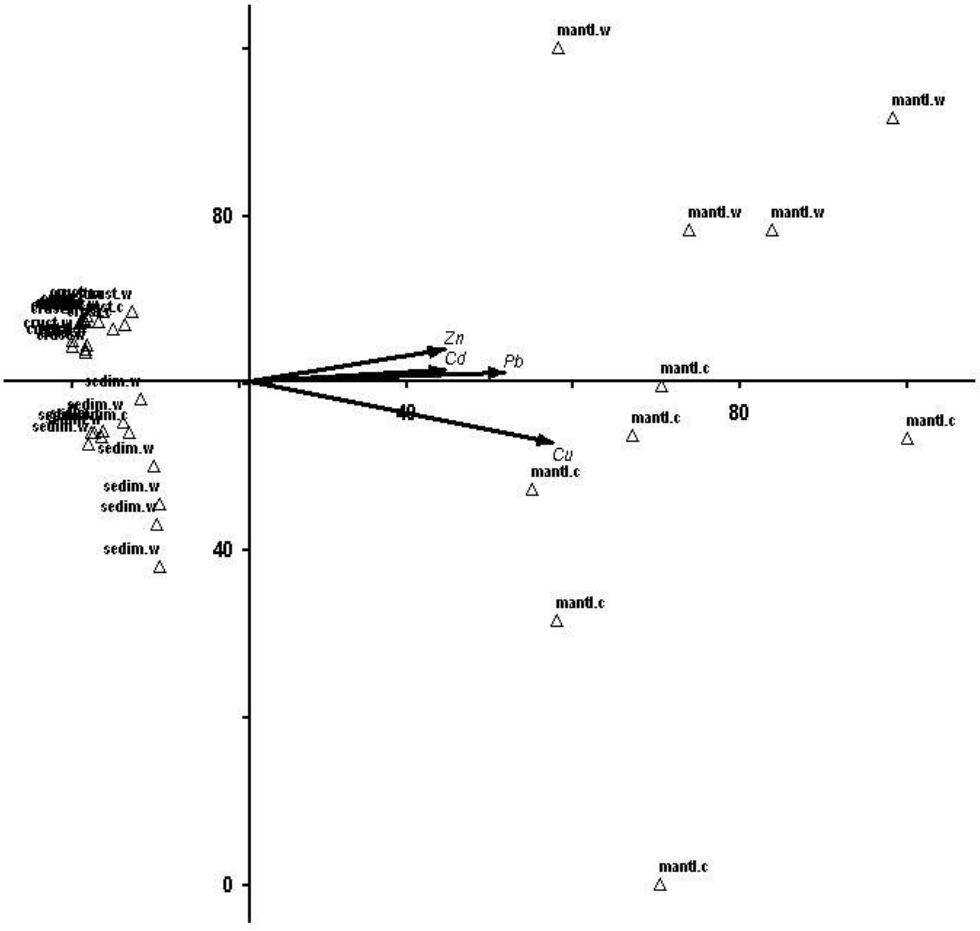
جدول ۱. میانگین غلظتهای فلزات (ppm) در فصل سرد و فصل گرم در رسوب، بافت نرم و پوسته در صدف دوکفه‌ای *Corbicula fluminalis*

نمونه	فصل	سنجه	Cd	Cu	Pb	Zn
رسوب	گرم	Mean ± se	۰/۰۳± ۲/۳۱	۰/۹۹±۶/۶	۰/۶۳±۱۲/۵	۳/۸۰±۲۸/۸
		Min.	۲/۱۵	۳/۶۵	۹/۴۰	۱۶/۵۰
		Max.	۲/۵۰	۱۰/۹۲	۱۴/۷۰	۴۴/۱۰
	سرد	Mean ± se	۰/۰۸±۲/۳۸	۰/۳۵±۳/۹۱	۱/۷۷±۱۴/۷۸	۱/۲۳±۱۶/۹۷
		Min.	۲/۲۵	۳/۴۱	۱۱/۸۰	۱۴/۷۰
		Max.	۲/۵۵	۴/۶۰	۱۷/۹۴	۱۸/۹۴
مانتل	گرم	Mean ± se	۰/۵۶±۷/۹۵	۳/۲۳±۲۳/۷۰	۲/۰۶±۶۲/۹۷	۳۳/۷۷±۲۰۶/۲۲
		Min.	۴/۷۵	۱۶/۲۵	۴۳/۰۰	۱۰۵/۸۸
		Max.	۱۵/۵۹	۳۰/۵۰	۹۷/۶۵	۲۵۰/۷۵
	سرد	Mean ± se	۱/۵۹±۸/۶۶	۳/۶۳±۲۸/۳۹	۱۱/۴۵±۶۳/۷۸	۳/۰۲±۸۹/۰۷
		Min.	۵/۰۰	۱۹/۵۰	۳۳/۵۰	۳۰/۵۰
		Max.	۱۴/۴۷	۴۳/۵۰	۱۰۴/۹۳	۱۳۹/۰۰
پوسته	گرم	Mean ± se	۰/۰۶±۲/۳۴	۰/۰۲±۰/۹۰	۰/۶۵±۱۰/۴۷	۳/۰۶±۳۵/۵۷
		Min.	۲/۱۰	۰/۱۶	۶/۲۰	۲۶/۷۰
		Max.	۲/۶۰	۲/۵۵	۱۲/۶۵	۵۱/۶۰
	سرد	Mean ± se	۰/۰۴±۲/۴۰	۰/۳۱±۰/۶۸	۰/۵۶±۱۱/۵۷	۳/۱۰±۳۳/۰۶
		Min.	۲/۲۰	۰/۰۶	۸/۹۵	۲۰/۰۰
		Max.	۲/۵۵	۲/۸۵	۱۳/۸۰	۵۲/۵۰
معنی داری خطا		K-W Test	P < 0.01	P < 0.01	P < 0.01	P < 0.01

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1395.6.3.4.6]

روند تغییرات میزان فلزات سنگین سنجش شده در محلهای بررسی از تجمع فلزات در بافت‌نرم، پوسته و رسوب سنجش شده با استفاده از تجزیه مولفه‌های اصلی تغییرات PCA نشان داد که تجمع این فلزات در بافت‌های نرم صدف از سایر مقاطع متفاوت‌تر و فصل‌های سنجش گرم و سرد یا در حقیقت فصول رشد این جاندار در میزان تجمع این تفاوت را ایجاد کرده است. میزان تجمع فلزات در رسوبات سنجش شده در فصل گرم نیز می‌تواند تا حدودی نسبت به سایر مقاطع تفاوت را نشان دهد. از چند محور موثر نشان دهنده‌ی تاثیر تجمع فلزات مختلف در تشکیل محورهای استخراجی برای تعیین شکل توزیع داده‌ها و میانگین غلظتهای فلزات، در بافتهای مختلف دوکفه‌ای محور نخست معنی‌دار و توجیه کننده بیشترین تغییرات (۷۵ درصد) در بین نمونه‌های سنجش شده بوده است. سایر محورهای استخراج شده در این خصوص معنی دار نبوده و تغییرات با استفاده از محور نخست به‌دست آمده توجیه می‌گردند (شکل۱). شکل ۱، نمودار تجزیه مولفه‌های اصلی تغییرات PCA در نمونه‌های مختلف رسوب، بافت نرم و پوسته را نشان می‌دهد. در این شکل تجمع مقادیر نمونه های مانتل و رسوب فصل گرم جدای از سایر نمونه ها مشهود است. بیشترین تاثیر و ترتیب آنها بر روند این تفاوت میانگین‌ها ناشی از تجمع انواع مختلف فلزات سنگین سنجش شده به عنوان صفت متغیر سنجش شده در مانتل صدف نسبت به سایر نقاط سنجش شده حاصل از بزرگی تجمع فلزات مس (برای فصل سرد)، سرب، کادمیوم و روی (برای فصل گرم) بوده است.

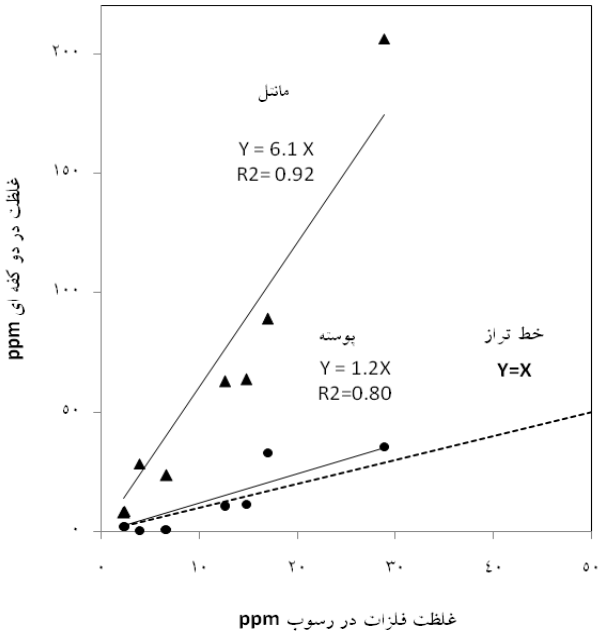


شکل ۱. نمودار تجزیه مولفه‌های اصلی تغییرات PCA در نمونه‌های ایستگاههای مختلف
مانتل فصل گرم (mantl.w)؛ مانتل فصل سرد (mantl. c)؛ رسوب فصل گرم (sediment w)؛ نمونه های رسوب فصل سرد (.sediment c)؛ پوسته فصل گرم (crust w)؛ پوسته فصل سرد (crust c)

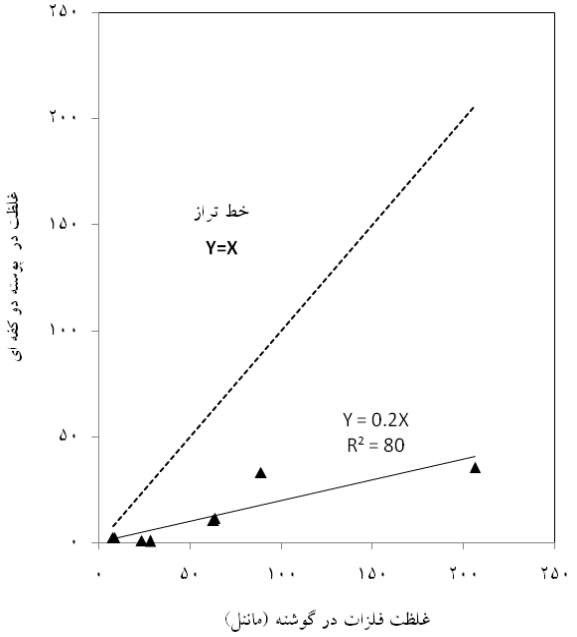
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1395.6.3.4.6]

بررسی رابطه‌ی میزان افزایش میانگین غلظت فلزات سنجش شده به عنوان یک عامل افزایش دهنده تجمع فلزات سنگین با غلظتهای تجمع یافته از فلزات در بافتهای نرم و پوسته‌ی دوکفه ای در مناطق نمونه‌برداری شده نشان می دهد که با بالا رفتن غلظت هر فلزی در محل زیستگاه دوکفه‌ای فلامینالیس *C. fluminalis* در رودخانه، انتظار افزایش غلظت در بافت نرم به صورت کاملا محسوس وجود دارد؛ درحالیکه این افزایش در پوسته‌ی صدف مانند بافت گوشته و مانتل نبوده است. با رسم نمودار خطی میزان افزایش تجمع فلزات سنگین در پوسته به ازای افزایش غلظت در گوشته این افزایش بسیار ملایم نمایان می شود. شیب رابطه خطی (Y= ۱/۶ X) رسم شده برای غلظت فلزات در بافت به عنوان متغیر تبعیت کننده از متغیر مستقل غلظت در رسوبات نبست به شیب رابطه مذکور از غلظتهای پوسته نسبت به تغییرات غلظت فلزات در رسوب (Y= ۱/۲ X) شدیدتر بوده است و برای تبعیت تجمع میزان فلزات در پوسته به تبعیت از میزان آن در گوشته (Y = ۰/۲ X) این شیب بسیار ملایم تر است (شکل ۲ و ۳).



شکل ۲. میزان افزایش غلظت فلزات در بدن و پوسته دوکفه‌ای *C. fluminalis* به ازای افزایش آن در زیستگاه (رسوب)



شکل ۳. میزان افزایش غلظت فلزات در پوسته دوکفه‌ای *C. fluminalis* به ازای افزایش آن در گوشته (مانتل)

بحث

علاوه بر ماهیان مختلف، اهمیت گروههای ماکروبنتوزی در نشان دادن آلودگی و تجمع فلزات در بدنه آبی اکوسیستمهای آبی مختلف کشور در گزارشهای محققین کشورمان آورده شده است (Mazandarani *et al*., 2015; Ejlali *et al*., 2015; Solgi and Esfandi Sarafraz, 2015). به طور کلی توالی میانگین سالیانه غلظتهای فلزات سنگین در رسوب محل زیست دوکفه‌ای *C. fluminalis* در بررسی حاضر به صورت Zn > Pb > Cu > Cd به دست آمده است که در بین فلزات سنجش شده بیشترین غلظت مربوط به غلظت فلز روی در فصل گرم با مقدار۲۸/۸۰ ppm و کمترین میزان سنجش شده مربوط به غلظت فلز کادمیوم در فصل گرم با مقدار۲/۳۱ ppm بوده است. الگوی میانگین غلظت فلزات (ppm) در فصل گرم در رسوب در پژوهش جاری به صورت روی (۲۸/۸۰) > سرب (۱۲/۵۸) > مس (۶/۶۹) >کادمیوم (۲/۳۱) با الگوی میانگین غلظت فلزات در فصل سرد در رسوب به صورت روی (۱۶/۹۷) > سرب (۱۴/۷۸) > مس (۳/۹۱) > کادمیوم (۲/۳۸) مشابه بوده است. در این الگو میزان روی و مس در فصل گرم بیشتر از فصل سرد، اما میزان سرب و کادمیوم روندی عکس داشته اند، هر چندبه طور کلی میانگین اختلاف مقادیر غلظت فلزات کادمیوم، سرب و مس در دو فصل گرم و سرد (با حداکثر ۲/۸۷ ppm در مس) به مانند

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1395.6.3.4.6]

اختلاف مربوط به غلظت روی زیاد نبوده است (حدود ppm ۱۲) و به نظر می رسد میزان تغییرات دمایی و فصلی آب بر روی غلظت این عناصر در رسوبات تاثیر چندانی ندارد. باید توجه نمود که فلز کادمیوم به طور کلی در طبیعت غلظت بالایی ندارد (Kanakaraju *et al.*, 2008). ساختار شیمیایی رسوبات بستگی به میزان عناصر موجود در آب، نرخ رسوب‌گذاری عناصر از آب به رسوب، شرایط فیزیکی و شیمیایی عناصر و همچنین ویژگی‌های آب از نظر pH، قلیائیت و غلظت اکسیژن دارد (Barsytelovejoy, 1999). در حقیقت هر فلزی در pH و قلیائیت مختلف، نرخ رسوب‌گذاری متفاوتی را نشان می‌دهد (Revera and Cenci, 2003). در یک مطالعه نزدیک به زمان انجام بررسی جاری در منطقه مورد بررسی (Rastgari Mehr *et al.*, 2012) مقدار غلظت به ppm عناصر روی (۱۱۰)، سرب (۱۶) و مس (۳۷/۲۰) در رسوبات بیشتر و غلظت فلز کادمیوم (۰/۲۱) کمتر از مطالعه جاری به دست آمده است، اما در هر دو مطالعه در بین ۴ فلز از موارد مورد بررسی ترتیب غلظت ها مشابه، روی بالاترین و کادمیوم پایین‌ترین غلظت را به خود اختصاص داده‌اند. بالا بودن غلظت روی نسبت به سایر فلزات را می‌توان به حضور صنایع آلیاژی و واحدهای گالوانیزاسیون در حاشیه‌ی رودها و تخلیه پساب آنها به رودخانه نسبت داد. Vahid Dastjerdi و همکارانش (۲۰۱۰)، در پژوهش خود با عنوان بررسی و مقایسه تجمع فلزات سنگین در آب و خاک و گیاه تالاب بین‌المللی گاوخونی در سال‌های ۱۳۸۱- ۱۳۸۵ به این نتیجه رسیدند که در رسوب بستر رودخانه غلظت اکثر فلزات مورد اندازه‌گیری، بیشتر از مقدار آن‌ها در رسوب کنار رودخانه (رسوب سطحی و عمق ۵ سانتی‌متری انتهای کوه‌سیاه) می‌باشد که این به دلیل تماس مداوم بستر رودخانه با آب حاوی فلزات سنگین است که این فلزات از طریق به دام افتادن در رسوب یا ترسیب در بستر قرار می‌گیرند. Rastgari Mehr و همکارانش (۲۰۱۲) در بررسی آب زمین‌شیمی و منشأ فلزات بالقوه سمی (Ni , Cr, Cd, Zn, Pb, Cu) در رودخانه زاینده‌رود گزارش کردند که غلظت فلزات سنگین در رودخانه زاینده‌رود به شدت تحت تأثیر رواناب‌ها و پساب‌های تخلیه شده در آن قرار دارد. در مطالعه ذکر شده غلظت برخی فلزات در آب، پساب و رسوب رودخانه زاینده‌رود در ۲۲ ایستگاه اندازه‌گیری شد که یکی از این ایستگاه‌ها صفاییه (محل نمونه‌برداری تحقیق جاری) بود. در ایستگاه نمونه‌برداری صفاییه توالی فلزی در رسوب را به صورت روی > کروم > نیکل > مس > سرب > کادمیوم و میانگین کل ایستگاه‌ها را به صورت کروم > روی > نیکل > مس > سرب > کادمیوم ارائه دادند. این گزارش علت غلظت بسیار بالای مس و روی را تخلیه غیرقانونی پساب صنایع کوچک مانند آبکاری در حاشیه رودخانه عنوان نموده است.

در پژوهش جاری، توالی میانگین غلظت فلزات سنگین در بافت نرم بدن در دو فصل سرد و گرم به صورت Zn > Pb > Cu > Cd بوده است که بیشترین غلظت مربوط به فلز روی در فصل گرم با میزان ppm ۲۰۶/۲۲ و کمترین غلظت مربوط به کادمیوم در فصل گرم با مقدار ppm ۷/۹۵ می‌باشد. الگوی میانگین غلظت فلزات بر حسب ppm در فصل گرم در بافت نرم دوکفه‌ای به صورت روی (۲۰۶/۲۶) > سرب (۶۲/۹۷) >مس (۲۳/۰۷) > کادمیوم (۷/۹۵) مشابه غلظت فلزات در فصل سرد و به صورت روی (۸۹/۰۷) > سرب (۶۳/۷۸) > مس (۲۸/۳۹) > کادمیوم (۸/۶۶) به دست آمده است. توالی غلظت فلزات سنگین در پوسته در دو فصل سرد و گرم به صورت Zn > Pb > Cd > Cu به دست آمد که بیشترین مقدار مربوط به فلز روی در فصل گرم با غلظت ppm ۳۵/۵۷ و کمترین مقدار آن مربوط به فلز کادمیوم در فصل گرم با غلظت ppm ۲/۳۴ می‌باشد. میانگین غلظت فلزات در فصل گرم در پوسته دوکفه‌ای در پژوهش جاری به صورت روی (۳۵/۵۷) > سرب (۱۰/۷۴) > کادمیوم (۲/۳۴) > مس (۰/۹۰) با روند همانند بافت و رسوب مشابه با الگوی میانگین غلظت در فصل سرد به صورت روی (۳۳/۰۶) > سرب (۱۱/۵۷) > کادمیوم (۲/۴۰) > مس (۰/۶۸) بر حسب ppm به دست آمده است.

فلز کادمیوم در بافت پوسته گونه *C. fluminalis* و رسوب محل زندگی آن غلظت بسیار نزدیکی داشته، اما تجمع این فلز در بافت نرم گونه بیشتر از پوسته و رسوب (تقریباً ۴ برابر پوسته و رسوب) بوده است. تجمع فلزات در موجود زنده روندی زیستی است و با تغییرات متابولیسم در موجودات مرتبط خواهد بود. تجمع فلزات از قبیل کادمیوم در پوسته تحت تاثیر بافت نرم یعنی تابع شرایط فیزیولوژیک موجود و محیط از قبیل اکسیژن محلول، pH، دمای آب و میزان و نوع تغذیه است. تجمع کمتر کادمیوم در پوسته احتمالاً ناشی از روند کند جذب زیستی و خروج این فلز از بافت نرم به پوسته می‌باشد به طوری که جذب کادمیوم توسط بافت نرم سریع‌تر از خروج آن به پوسته است (Lannig *et al.*, 2008; Suk Lee *et al.*, 2005; Szefera *et al.*, 2005). فلز کادمیوم تمایل بالایی به تجمع در بافت‌های کلسیمی دارد (Cravo *et al.*, 2002)، بنابراین هرچه مقدار کادمیوم

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1395.6.3.4.6]

جذب شده توسط موجود بیش‌تر شود، می‌توان گفت به همان نسبت غلظت این فلز در بافت پوسته نیز افزایش می‌یابد. کادمیوم مانند سرب در فرآیندهای متابولیکی کارکرد مشخصی ندارد، اما به دلیل شباهت شیمیایی به کلسیم در بافت‌های زنده جذب می‌شود، زیرا اندازه شعاع یونی و بار الکتریکی کلسیم و کادمیوم مشابه است (Bhattacharya *et al.*, 2000). میزان کم این عنصر در رسوبات یکی از دلایل پایین بودن غلظت این فلز در بافت دوکفه‌ای می‌باشد. کادمیوم همچنین با مواد آلی غیرمحلول، کمپلکس تشکیل داده یا به کانی‌های سولفیدی باند می‌شود که در نتیجه‌ی این فرایند انحلال آن کم شده و دسترسی زیستی نیز کاهش می‌یابد (Gaw *et al.*, 2008). اما همواره شبکه پیچیده‌ای از انتقال و فرآیندهای تجزیه‌ای در موجودات وجود دارند که باعث می‌شود فلزات غیرضروری را در حداقل مقدار نگه دارند و مانع ایجاد آسیب در سطح سلولی گردند (Madhava Rao *et al.*, 2006).

نتایج تحقیق نشان داد که فلز مس حدود ۵ برابر بیشتر از رسوب در بافت نرم دوکفه‌ای *C. fluminalis* تجمع یافته است، اما میزان غلظت آن در پوسته این دوکفه‌ای تقریباً ۶ برابر کمتر از رسوب تجمع یافته است. فلز مس در رسوبات با انواع مختلفی از سولفورهای آلی و معدنی واکنش می‌دهد و کمپلکس‌های غیرمحلول را تشکیل می‌دهند (Gaw *et al.*, 2008)، از این رو بخشی از مس از دسترس زیستی خارج می‌شود. با این وجود فلز مس فلزی ضروری است که صدف‌ها از آن برای ساخت هموسیانین جهت انجام فرآیند تنفس استفاده می‌کنند (Caussy *et al.*, 2003). غلظت بالای مس در بافت نرم به احتمال زیاد مربوط به غلظت بالای هموسیانین در بافت صدف می‌باشد و نیاز صدف به این عنصر برای متابولیسم و جذب آن از محیط و تغذیه غلظت آن را به صورت تجمعی در بدن دو کفه ای بالا برده است.

فلز سرب در پوسته *C. fluminalis* کمتر از رسوب محل زندگی این گونه تجمع یافته است، اما در بافت نرم این دوکفه‌ای بیشتر از رسوب و پوسته (تقریباً ۴ برابر رسوب و ۵ برابر پوسته) تجمع یافته است. نتایج نشان داد که ترتیب غلظتهای فصلی مشاهده شده در میانگین فلز سرب در زیستگاه دوکفه‌ای و رسوب محل زیست با ترتیب میزان غلظت این فلز در دو فصل در بافت سخت صدف مشابه بوده است. تجمع سرب در دوکفه‌ای دو روند دارد؛ یک فرآیند فعال که به سبب آن سرب انباشته شده در بافت نرم به مانتل (گوشته) منتقل شده و در پوسته ذخیره می‌شود و یک روند غیرفعال دارد که به موجب آن سرب از محیط اطراف از لحاظ فیزیکی به مواد پوسته جذب می‌شود (Conners *et al.*, 1999). بالا رفتن غلظت فلزات غیرضروری مانند سرب در پوسته ممکن است به این دلیل تمایل زیاد ترکیب ساختار کریستالی پوسته برای ترکیب شدن با این فلزات باشد؛ جذب برخی از فلزات سنگین در پوسته صدف‌ها از طریق جایگزینی با یون کلسیم در ساختار کریستالی پوسته و یا به همراه مواد آلی موجود در ساختار اسکلتی مولکولی پوسته نیز صورت می‌گیرد (Yap *et al.*, 2008; Yap *et al.*, 2003).

فلز روی در پوسته *C. flaminalis* بیشتر از رسوب و در بافت نرم آن بیشتر از پوسته تجمع یافته است، این فلز تقریباً ۶ برابر رسوب و ۴ برابر پوسته در بافت نرم *C. fluminalis* تجمع یافته و بزرگی عددی آن در مقایسه با سایر فلزات سنگین سنجش شده بیشتر بود. از نظر فیزیولوژیکی، فلز روی در مقایسه با دیگر فلزات کارایی و قدرت جذب بالاتری دارد، ضمن اینکه تفاوت در سرعت تبادل و انتشار به خارج از فلز روی نیز بر اساس نظر Sajwan و همکاران (۲۰۰۸)، می‌تواند عاملی برای اختلاف بین سطوح فلز روی با دیگر فلزات در صدف‌های خوراکی باشد. وجود پروتئین‌هایی با وزن مولکولی کم در بافت نرم دوکفه‌ای‌ها مانند متالوتیونین‌ها از دیگر علل بالا بودن نیاز روی در بافت نرم می‌باشد که به صورت انتخابی با فلزات سنگین خاص نظیر روی کمپلکس برقرار کرده و سبب فراوانی این فلز در مایعات بافت نرم می‌شود (Apeti *et al*., 2005). به طور کلی روی دارای فعالیت بالایی در مقایسه با فلزی مانند کادمیوم است و حتی به عنوان یک عنصر سمی می تواند به عنوان عامل بازدارنده در فرآیندهای زیستی عمل کند. آلودگی روی در محیط زیست اغلب با سرب همراه است. زیرا روی از عناصری است که همراه با سرب در معادن یافت می‌شود.

در طی تحقیقات Arini و همکارانش (۲۰۱۴)، برای بررسی ظرفیت‌های سم‌زدایی و بازیافت *C. fluminea* در یک آزمایش پاکسازی (depuration) پس از آلودگی به فلزات کادمیوم و روی، ابتدا دوکفه‌ای مورد نظر به مدت ۲۴ روز در معرض ترشحات صنعتی فلزی (کادمیوم و روی) در یک رودخانه آلوده به فلز قرار گرفت و سپس دوکفه‌ای‌ها به مدت یک سال تحت شرایط بدون فلز در آزمایشگاه نگهداری شدند که تجمع فلز، تولید متالوتیونین و بیان ژنتیکی ژن‌های دخیل در استرس‌های فلزی

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1395.6.3.4.6]

نشان داد که کادمیوم دوام بالایی در بافت دوکفه‌ای *C. fluminea* دارد و تنها ۷۳ درصد آن در ۳۶۵ روز حذف شد، در حالی که روی موجود در بدن آنها به سرعت پاکسازی شده بود. نتایج این بررسی نشان داد که ممکن است دوکفه‌ای‌ها مقدار کمی از فلزات غیرضروری را در بافت خود بدون نشانه‌ای از اثرات مضر آن بر روی ژن مورد آزمایش تحمل و آنرا دفع کنند.

گونه *C. fluminalis* در نتایج این تحقیق نشان داد که مقادیر فزاینده‌ای از فلزات سنگین بررسی شده در این تحقیق را در بافت مانتل خود جذب نموده که با توجه به افزایش آن در فصل گرم و تغذیه فعال جانور نسبت به فصل سرد این موضوع می‌تواند ارتباطی مستقیم را با فعالیت‌های متابولیسمی دوکفه‌ای بیان کند. آزمون مقایسه تطبیقی نشان داد که تجمع روی در بدن این جاندار در فصول مختلف گرم و سرد از نظر میزان از سایر مقاطع رسوب و پوسته متفاوت‌تر و به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. در منابع تایید شده است که عامل تغییر دهنده غلظت فلزات در بین مناطق مختلف ناشی از تغییرات غلظت این فلز در محیط اطراف دوکفه‌ای می‌باشد (Madkour, 2005) که به نظر می‌رسد در همه فلزات بررسی شده می‌توان یک روند تجمع از فلزات را برای بافت نرم دوکفه‌ای با افزایش آن در رسوبات محل زندگی صدفها مشاهده نمود و بافت دو کفه ای به طورکلی به عنوان یک تجمع دهنده و پوسته به عنوان یک ثبت کننده‌ی غلظت فلزات سنگین موجود در زیستگاه (رسوبات) عمل کرده است (شکل ۲). به طور کلی تغییرات غلظت فلزات در بافت نرم می‌تواند تاثیرمستقیمی بر تغییر غلظت این فلزات در پوسته داشته باشد (Farlane *et al.*, 2006) و با افزایش میزان نقش فلزات در فعالیت‌های زیستی دوکفه‌ای تجمع آنها تا حدودی در پوسته قابل ارزیابی خواهد بود (شکل ۳). از آنجایی که ارتباط معنی‌داری بین اندازه بدن و تجمع فلزات در دوکفه‌ای‌ها وجود دارد (Hédouin *et al.*, 2006)، معمولاً صدف‌ها با اندازه‌های مختلف با توجه به نیازهای متابولیکی بدن و نسبت سطح به حجم میزان متفاوتی از فلزات را انباشته می‌کنند (Hédouin *et al.*, 2006). در مطالعه Bilos و همکاران در سال ۱۹۹۸ بین تجمع مس در گونه *C. fluminea* با اندازه آن یک همبستگی مثبت گزارش کردند. از آنجاییکه دوکفه‌ای‌های با اندازه بزرگتر دارای سن بیشتری نیز می‌باشند، بنابراین مدت زمان بیشتری در معرض فلزات سنگین قرار داشته و مقدار بیشتری از فلزات را در بدن خود تجمع داده‌اند. بدیهی است با سنجش میزان غلظت فلزات سنگین، در صورت از بین رفتن صدف و خشکی یک اکوسیستم آبی مانند زاینده رود با توجه به سن صدف دوکفه‌ای می‌توان سابقه‌ای از آلودگی را در بدن و نیز خود اکوسیستم ارزیابی نمود. البته میزان آلودگی محیط زیست تنها یک فاکتور از میان چندین فاکتور تأثیر گذار بر میزان و غلظت فلزات موجود در بدن حیوانات می‌باشد و عوامل مختلفی اعم از تفاوت‌های جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی)، تفاوت‌های گونه‌ای و اثرات فعالیت‌های انسانی و حتی نوع فیتوپلانکتون مورد تغذیه در تجمع فلزات تاثیر دارد (Chong and Wang, 2000 ؛ Bilos *et al.*, 1998؛ Dalinger, 1987).

به طور کلی از دو بخش مورد بررسی در دوکفه‌ای *C. fluminalis*، بخش صدف یا پوسته یک بخش ماندگار در طبیعت است که حتی پس از مرگ جاندار و حتی در صورت خشکی اکوسیستم رودخانه می تواند مورد بررسی قرار گیرد. در صدف دوکفه‌ای *C. fluminalis* بزرگی میزان مس سنجش شده در پوسته کمتر از رسوبات سنجش شد که با این نتیجه میزان تجمع مس در پوسته نمی‌تواند قضاوت درستی از بزرگی میزان آلودگی در بستر و زیستگاه و بدن موجود را نشان دهد ولی برای کادمیوم، روی و سرب مقیاس و بزرگی غلظتها در پوسته بازگوکننده بزرگی این غلظتها به ویژه در رسوبات بستر رودخانه است که میزان غلظت‌های نزدیک به هم فلزات کادمیوم و روی و سرب در پوسته و رسوبات در ارزیابی میزان آلودگی‌ها از طریق پوسته های نمونه برداری شده به عنوان یک اندام باقیمانده غیرزنده از آبزیان در نمونه برداری قابل اطمینان خواهد بود.

تشکر و قدردانی

همکاران این تحقیق تمام نتایج ارائه شده در کارهای خود را مرهون زحمتها و راهنمایی‌های بی‌شائبه جناب آقای مهندس عظیمی کارشناس وقت و محقق برجسته پژوهشکده ملی اقیانوس شناسی ایران می‌دانند و از ایشان سپاسگزاری می‌نمایند.

منابـع

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1395.6.3.4.6]

Apeti, D.A., Robinson, L., Johnson, E. 2005. Relationships between heavy metal concentrations in the American oyster (*Crassostrea virginica*) and metal levels in the water column and sediment in Apalachicola Bay. Florida. American Journal of Environmental Sciences. 1: 179-186.

Arini, A., Daffe, G., Gonzalez, P., Feurtet-Mazel, A., Baudrimont, M. 2014. Detoxification and recovery capacities of *Corbicula fluminea* after an industrial metal contamination (Cd and Zn): A one-year depuration experiment. Environmental Pollution. 192: 74-82.

Barsytelovejoy, D. 1999. Heavy metal concentrations in water, sediments and mollusk tissues. Acta Zoologica Lituanica Hydrobiologia. 9(2): 24-33.

Bhattacharya, M.H., Wilson, A.K., Rajan, S.S., Jonah, M. 2000. Biochemical pathways in cadmium toxicity. In: Molecular Biology and Toxicology of Metals. Zalups, R.K., Koropatnick, J. (eds.). Taylor and Francis, London. pp. 34-74.

Bilos, C., Colombo, J.C., Presa, M.J.R. 1998. Trace metals in suspend particles, sediments and Asiatic clams (*Corbicula fluminea*) of the Rio de La Plata Estuary. Argentina. Environmental Pollution. 99: 1-11.

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

Chong, K., Wang, W.X. 2000. Bioavailability of sediment-bound Cd, Cr and Zn to the green mussel *Perna viridis* and the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. Experimental Marine Biology and Ecology. 255: 75-92.

Conners, D.E., Westerfield, S.M., Feyko, A., Black, M.C. 1999. Lead accumulation in soft tissues and shells of Asiatic clams (*Corbicula fluminae*). Proceeding of the 1999 Georgia Water Resources Conference. Edition by Institute of Ecology, University of Georgia. pp. 597-600.

Cravo, A., Foster, P., Bebianno, M.J. 2002. Minor and trace elements in the shell of *Patella aspera* (Roding 1798). Environmental International. 28: 295-302.

Dalinger, R. 1987. Contaminated food and uptake of heavy metals by fish. Oecologia Berlin. 73: 91-103.

Davies, A. 2001. The use and limits of various methods of sampling and interpretation of bentic macroinverbrates. Journal of Limnology. 60(Suppl. 1): 1-6.

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.

Delman, O., Demirak, A., Balci, A. 2006. Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the southeastern Aegean sea Turkey by atomic absorption spectrometry. Food Chemistry. 26: 157-162.

Demirak, A., Yilmaz, F., Tuna, A.L., Ozdemir, N. 2006. Heavy metals in water, sediment and tissue of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. Chemosphere. 63: 1451-1458.

Einollahi Pir, F., Safahieh, A.R., Ali Dadollahi, S., Savari, A. 2011. Accumulation of the heavy metals (Cu, Pb, Ni) in sediment and bivalves *Saccostrea cucullata* of intertidal zone of Chahbahar, Iran. Journal of Marine Science and Technology. 10(2): 10-25. (in Persian).

Eisler, R. 1985. Cadmium-hazards to fish wildlife and invertebrates: a synoptic review. US Fish and Wildlife Service Reports. Washington. DC. No. 85(1-2).

Ejlali, K., Mosavi Nadoshan, R., Mashinchiyan, A., Fatemi, S.M.R., Mortezavi, M.S. 2015. Spatial comparison of Lead concentration in sediment and three group of macrobenthos (Crabs, Gastropods and Bivalves) in coast of Bandar Abbass. Journal of Aquatic Ecology. 5(1): 76-96. (in Persian).

Farlane, G.R.M., Gifford, S., Dunstan, R.H., Connor, W.O., Russell, R.A. 2006. The Akoya pearl oyster shell as an archival monitor of lead exposure. Environmental Pollution. 143: 166-173.

Gaw, S., Kim, N., Northcott, G., Wilkins, A., Robinson, G. 2008. Developing Site- Specific Guidelines for Orchard Soils Based on Bioaccessibility – Can It Be Done? Chemistry in New Zealand. 72(2): 47-50.

Giffords, S., Dunstan, R.H., Connor, W.O., Roberts, T., Tioa, R. 2004. Pearl Aquaculture. Profitable. Environmental. The Science of the Total Environmental. 319: 27-37.

Hamed, M.A., 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.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1395.6.3.4.6]

Hedge, L.H., Knott, N.A., Johnston, E.L. 2009. Dredging related metal bioaccumulation in oysters. Marine Pollution Bulletin. 58: 832-840.

Hédouin, L., Metian, M., Teyssie, J.L., Fowler, S.W., Fichez, R., Warnau, M. 2006. Allometric relationships in the bioconcentration of heavy metals by the edible clam (*Gafrarium tumidum*). Science of the Total Environment. 366: 154-163.

Jeng, M.S., Jeng, W.L., Hung, T.C., Yeh, H., Tseng, R.J., Meng, P.J., Han, B.C. 2000. Mussel Watch: a review of Cu and other metals in various marine organisms in Taiwan, 1991-98. Environmental Pollution. 110: 207-215.

Kanakaraju, D.C., Jios, A., Long, S.M. 2008. Heavy metal concentrations in the Razor clams (*Solen spp.*) from Muara Tebas. Sarawak. Malaysian Journal of Animal Sciences. 12(1): 53-58.

Lannig, G., Anton, S., Cherkasov, S., Po¨rtner, H., Christian, B., Sokolova, I.M. 2008. Cadmium-dependent oxygen limitation affects temperature tolerance in eastern oysters (*Crassostrea virginica* Gmelin). American Journal Physiology Regullar Integration Component Physiology. 294: 1338-1346.

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

Madhava Rao, K.V., Raghavendra, A.S., Janardhan Reddy, K. 2006. Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants. Springer press. 351 p.

Madkour, H.A. 2005. Geochemical and environmental studies of recent marine sediments and som hard corals of Wadiel- Gemal area of the Red sea, Egypt. Egyptian Journal of Aquatic Research. 31(1): 1110-0354.

Mazandarani, M., Sudagar, M., Namroodi, S. 2015. Histopathological effects of acute copper sulphate exposure on kidney, liver and gill of common carp, *Cyprinus carpio*, fingerlings. Journal of Aquatic Ecology. 5(1): 9-16.

Rastgari Mehr, M., Keshavarzi, B., Mor, F. 2012. Investigation of earth chemistry water and toxic metals (Zn, Cd, Cr, Ni, Cu, Pb) in Zayandeh Roud River. Journal of Applied Advanced Geology. 4(1): 82-97.

Revera, O., Cenci, P., Beone, G.M., Dantas, M., Lodigiani, P. 2003. Trace element concentrations in fresh water mussels and macrophytes as related to those in their environment. Journal of Limnology. 62(1): 61-70.

Sajwan, K., Kumar, K. Paramasivam, S., Compton, S., Richardson, J. 2008. Elemental status in sediment and American oyster collected from Savannah Marsh/Estuarine ecosystem: a preliminary assessment. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 54: 245-258.

Sidoumou, Z. Gnassia-Barelli, M., Siau, Y., Morton, V., Roméo M. 2006. Heavy metal concentrations in molluscs from the Senegal coast. Environmental International. 32: 384-387.

Solgi, E., Esfandi Sarafraz, J. 2015. Determination of lead and cadmium in the edible tissue of (*Liza aurata*) in Bandar Anzali coast: Accumulation and risk consumption. Journal of Aquatic Ecology. 5(1): 76-96. (in Persian)

Lee, S.J., Lee, G.B. 2005. Effects of Salinity, Temperature and Food Type on the Uptake and Elimination Rates of Cd, Cr, and Zn in the Asiatic Clam *Corbicula fluminea*. Ocean Science Journal. 40(2): 79-89.

Szefer, P., Kim, B.S., Kim, C.K., Kim, E.H., Lee, C.B. 2005. Distribution and coassociations of trace elements in soft tissue and byssus of *Mytilus galloprovincialis* relative to the surrounding seawater and suspended matter of the southern part of the Korean Peninsula. Environmental Pollutions. 129: 209-228.

Thompson, K.C. 2005. Environmental Toxicity Testing. Blackwell Publishing. 388 p.

Tominack, R., Weber, J., Blume, C., Madhok, M., Murphy, T., Thompson, M. 2002. Elemental mercury as an attractive nuisance: multiple exposures from a pilfered school supply with severe consequences. Pediatric Emergency Care. 18(2): 97-100.

Vahid Dastjerdi, F., Shanbezadeh, S., Zahab Saniee, A., Rozegar, R. 2010. Investigation of heavy metals concentration in water, soil and plants in Gavkhooni marsh in the years of 2002 and 2006. Scientific Research Journal of Health System Research. 6(supl. issues): 829-836. (in Persian)

Van Duren, LA., Herman, P.M.J., Sandee, A.J.J., Heip, C.H.R. 2006. Effects of muscle filtering activity on boundary layer structure. Journal of Sea Researches. 55: 3-14.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1395.6.3.4.6]

Yap, C.K., Hatta, Y., Edward, F.B., Tan, S.G. 2008. Distribution of heavy metal concentrations (Cd, Cu, Ni, Fe and Zn) in the different soft tissues and shells of wild mussels *Perna viridis* collected from Bagan Tiang and Kuala Kedah. Malaysian Applied Biology. 37(2): 1-10.

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: 117-128.

Yap, C.K.A., Ismail, S.G., Tan, I., Abdul Rahim, I. 2003. Can the shell of the green-lipped mussel *Perna viridis* from the west coast of Peninsular Malaysia be a potential biomonitoring material for Cd, Pb and Zn. Journal of Estuarine Coastal and Shelf Science. 57: 623-630.

Zhou, F., Gou, H., Hao, Z. 2007. Spatial distribution of heavy metals in Hong Kong's marine sediments and their human impacts: A GIS-based chemometric approach. Marine Pollution Bulletin. 54: 1372-1384.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1395.6.3.4.6]