

استفاده از فیلترهای زیستی برای کاهش آلودگی فلزات سنگین در خلیج فارس

حامد آذرباد*^۱، آرش جوانشیر خوبی^۲، مریم شاپوری^۳

*^۱ و ^۲ - دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه شیلات، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۳۱۴-۳۱۵۸۵

^۳ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه، گروه شیلات و بیولوژی دریا، سوادکوه، ایران، صندوق پستی: ۱۵۵

azarbad.hamed@gmail.com

چکیده

پوسته اویسترها در حال حاضر در دنیا به عنوان منبع آهک (Ca (OH)_2) و منبع تغذیه‌ای برای ماکیان و چهارپایان استفاده می‌شود. بنابراین استفاده‌های دیگر از این پوسته‌ها می‌تواند بسیار مفید باشد. در این مطالعه توانایی صدف *Saccostrea cucullata* (زنده و پوسته‌های مرده) را برای جذب فلزات سنگین به عنوان فیلتر زیستی هنگامی که در معرض ۵۰ میکروگرم بر لیتر فلز آهن (به عنوان یک عنصر ضروری) و ۱۵۰ میکروگرم بر لیتر فلز کادمیوم (به عنوان یک عنصر غیر ضروری) در خلیج فارس مورد مطالعه قرار گرفت. در مقایسه با پوسته‌های مرده، صدف‌های زنده این دو فلز را به میزان بیشتری حذف کردند که میزان جذب با توجه به ماهیت فلز متفاوت بود. میزان حذف کادمیوم و آهن توسط پوسته‌ها در طول یک ساعت آزمایش به میزان متوسط ۸ درصد و ۹ درصد (به ترتیب) نسبت به غلظت اولیه اندازه‌گیری شد. این مقدار برای صدف‌های زنده (به ترتیب) ۲۳ درصد و ۱۹/۶۱ درصد محاسبه شد. با توجه به نتایج گرفته شده مشخص می‌شود که صدف *Saccostrea cucullata* توانایی بالایی در جذب فلزات سنگین و در نتیجه خود پالایی زیستگاه مانگرو دارا می‌باشد و می‌توان از آن‌ها به عنوان فیلتر زیستی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، *Saccostrea cucullata*، پوسته صدف، خلیج فارس، فیلتر زیستی.

مقدمه

اکوسیستم‌های جنگلی مانگرو از جوامع گیاهی و جانوری مهمی حمایت می‌کنند. این اکوسیستم‌ها توسط گونه‌های منحصر به فرد درختی و درختچه‌ای مشخص می‌شوند که حاشیه پهنه‌های جزر و مدی را در امتداد مناطق ساحلی، مصبی و رودخانه‌ای در عرض‌های جغرافیایی گرمسیری و نیمه گرمسیری تشکیل می‌دهند (۲). دلایل عمده تخریب این اکوسیستم‌ها توسعه شهری، آبرزی پروری، معدن‌کاری و بهره‌کشی مفرط از منابع شیلاتی، سخت‌پوستان و صدف‌ها هستند. آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در اکوسیستم مانگرو دربردارنده آلودگی گرمایی، فلزات سنگین و همچنین آلودگی با مواد مغذی (مثل فاضلاب‌ها) و آلودگی نفتی می‌شود (۵). پساب‌های صنعتی و آلاینده‌های نفتی شامل مقادیر زیادی از فلزات سنگین اغلب در غلظت‌های بسیار بالا هستند که اغلب به صورت مستقیم وارد اکوسیستم‌های ساحلی می‌شوند که زیستگاه مانگرو از جمله این اکوسیستم‌ها می‌باشد. انتشار مواد سمی به ویژه منابع آلاینده‌ای که نزدیک به رودخانه‌ها و منابع آبی هستند بسیار نگران‌کننده بوده و رو به افزایش است (۱۳). در ارتباط با آلاینده‌های نفتی که انتشار آن‌ها سریع اتفاق می‌افتد، نیاز به کنترل سریع دارند و معمولاً به علت اینکه در این نواحی انتشار آلودگی وسیع می‌باشد شیوه به کارگیری باید به لحاظ هزینه مقرون به صرفه باشد. به ویژه برای مناطقی که اختصاص بودجه‌های گران برای بازسازی مناطق امکان پذیر نیست. بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه آلودگی با فلزات سنگین تایید کننده این نکته‌اند که این آلودگی یک مشکل جهانی بوده و به

شدت در حال گسترش است که در نتیجه باعث تخریب زیستگاه‌ها خواهد شد (۶، ۱۸ و ۲۰). گونه‌های بسیاری از گیاهان و جانورانی که نسبت به آلودگی فوق‌العاده حساس هستند می‌توانند به عنوان نگهبان‌هایی (هشدار قبل از وقوع) در زمینه وجود آلاینده‌های خاص مورد استفاده قرار گیرند. در این مورد شناسایی ارگانسیم‌هایی در آب ضروری است. قرن‌هاست که دوکفه‌ای‌ها به عنوان گونه‌های حساس برای نظارت پیوسته اکوسیستم آبی استفاده می‌شوند (۹، ۱۲ و ۲۴). بدین منظور گروه‌های مختلف مواد شیمیایی مثل آلاینده‌های آلی آبنگیز (HOCs) از قبیل (PAHs)، (PCB.s) و همچنین آلاینده‌های غیرآلی مثل فلزات سنگین (Cd, Pb, Hg) با استفاده از این موجودات در اکوسیستم مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. موجودات فیلترفیدر از جمله دوکفه‌ای‌ها دارای دو نقش مهم در اکوسیستم‌های آبی هستند. اول اینکه خودشان ذرات را از آب حذف می‌کنند، ثانیاً تنظیم و کنترل کننده گونه‌هایی هستند که در تصفیه آب نقش دارند. بنابراین نقش تنظیمی موجودات فیلتر فیدر در اکوسیستم چندگانه است، به طوری که این‌ها متعادل‌کننده عوامل زیادی هستند که نه تنها جلبک‌ها، بلکه باکتریها و قارچ‌ها را هم شامل می‌شوند (۲۲). در نتیجه موجودات فیلترکننده می‌توانند پروسه‌های اکسیداسیون مواد آلی را که توسط باکتری‌ها (و قارچ‌ها) انجام می‌شوند را در اکوسیستم آبی کنترل کنند (۲۸). پوسته اویستر بافت سختی است که از کربنات کلسیم و ترکیبات آلی تشکیل یافته است. ساختار غیر آلی پوسته نرم‌تنان و سخت پوستان کربنات کلسیم (CaCO_3) می‌باشد که تصور بر این است به دو فرم کریستالی کلسیت و

دارد و از شاخص‌های آلودگی نفتی می‌باشد (۷). هدف از این تحقیق مطالعه نقش پالایش صدف (صدف‌های زنده و پوسته‌های مرده) در زیستگاه مانگرو در جهت کاهش آلاینده‌ها در خلیج فارس می‌باشد. در صورتی که صدف‌های زنده و پوسته‌های مرده توانایی خوبی در کاهش آلودگی داشته باشند، با ایجاد زیستگاه‌های مصنوعی در مناطق آلوده برای نشست صدف‌های زنده و همچنین با انتقال پوسته‌های مرده به مناطق آلوده در خلیج فارس بتوان آلودگی فلزات سنگین (که در نتیجه آلودگی‌های نفتی می‌باشند) را تا حدی کاهش داد. بدین منظور نرخ پالایش و جذب صدف صخره‌ای (*Saccostrea cucullata*) هنگامی که در شرایط طبیعی در معرض فلزات سنگین قرار گرفت اندازه‌گیری شد تا توانایی پالایش صدف در کاهش غلظت آلاینده‌ها و تأثیر آلاینده‌ها (فلزات سنگین) بر نرخ پالایش تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

ابتدا ایستگاه مطالعات در جنگل‌های مانگرو انتخاب شدند (E ۴۹° ۵۵' N ۴۵° ۲۶'). برای این منظور جنگل‌های حرا در شمال غربی جزیره قشم به سبب دسترسی راحت‌تر، وجود اجتماعات صدف *Saccostrea cucullata* و فراهم بودن اطلاعات پایه قبلی انتخاب شد. سپس، تعداد مشخصی از صدف‌های زنده موجود در محل پس از شستشو و وزن کردن برای انجام آزمایشات پالایش در داخل ظروف ۲ لیتری (گروه تیمار) قرار گرفتند (شکل ۱). صدف‌ها به تعداد ۱۵ عدد با طول‌های مساوی (وزن کلی همراه با پوسته) دو ساعت قبل از شروع آزمایش در داخل فلاسک ۲ لیتری قرار داده شدند تا به شرایط جدید سازگار شوند.

آراگونیت وجود دارد (۲۷). بر اساس روابط شیمیایی فرض بر این است که بین بخش‌های معدنی شده پوسته‌ها و یون‌های فلزی مثل Pb^{2+} و Cd^{2+} واکنش رخ می‌دهد. امروزه نه تنها پوسته نرم‌تنان و سخت‌پوستان به علت خصوصیات ذاتی از جمله ماهیت معدنی به عنوان جاذب فلزات از فاز محلول شناخته شده‌اند بلکه این مواد در حال حاضر برای حذف فلزات از منابع آلوده آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از پوسته اویستر و *Clams* همچنین به عنوان فیلترهای متخلخل برای حذف مواد معلق و ذره‌ای از آب‌های آلوده استفاده می‌شود (۱۴، ۱۵ و ۲۱). با توجه به اینکه صدف *Saccostrea cucullata* یکی از انواع صدف‌های مهم فیلتر کننده محسوب می‌گردد. به نظر می‌رسد در پاک نمودن آب از ذرات معلق و محلول نیز نقش داشته باشد. به عبارت دیگر چنین فرض می‌شود که این موجود کارآیی تصفیه آب و برداشتن مواد آلاینده را دارا است. در این مطالعه از دو فلز آهن و نیکل به عنوان دو فلز سنگین برای تعیین توانایی صدف در کاهش غلظت آن‌ها از آب و همچنین تأثیر فلزات بر نرخ پالایش صدف استفاده گردید. آهن به دلیل ویژگی‌های منحصر بفرد خود، در صنایع بسیار گسترده‌ای همچون آلیاژسازی، فولادسازی، شیمیایی و بسیاری دیگر کاربردهای زیادی دارد. آهن از فلزات ضروری محسوب می‌شود و در زیستبوم آبی به صورت کاتیون‌های دو ظرفیتی و سه ظرفیتی پایدار پدیدار است. نیکل که از فلزهای غیر ضروری برای موجودات می‌باشد از دیدگاه سم‌شناسی برای اکوسیستم‌های خشکی و آبی در شمار آلاینده‌های با میزان سمیت بالا جای می‌گیرد. این عنصر در صنایع بسیاری همچون باتری‌سازی، آلیاژسازی و فولاد کاربردهای زیادی

قرار دادن نمونه‌ها در ظرف مخصوص جهت انجام آزمایش پالایش (ظرف پالایش) سعی شد که کوچکترین حباب هوا در داخل ظرف باقی نماند. میزان فلز سنگین ورودی و خروجی محفظه پالایش در فواصل زمانی ۵ دقیقه اندازه‌گیری و ثبت شد. بدین ترتیب که غلظت اولیه (C_0) غلظت فلز سنگین در زمان صفر یا در شروع آزمایش و غلظت ثانویه (C_1) غلظت فلز سنگین در مدت زمان ۵ دقیقه در خروجی ظرف پالایش (شکل ۱) می‌باشد (۲۳). در ابتدای شروع آزمایش آب دریا با فیلتر ۵۵ میکرون فیلتر شد تا از ورود ذرات مزاحم جلوگیری شود. در مخزن اصلی که آلودگی از طریق آن به سیستم وارد می‌شود، دائماً توسط پمپ باطری‌دار هوادهی می‌شود، این مورد بدین جهت می‌باشد تا اکسیژن عامل محدود کننده برای فعالیت پالایش نباشد. بدیهی است که آزمایشات فوق برای هر کدام از فلزات به صورت مجزا انجام گرفته است. فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب شامل شوری (۳۷ ppt)، دمای آب (۳۲ درجه سانتی‌گراد)، قلیائیت (۱۱۴ واحد)، اکسیژن (۷ میلی‌گرم در لیتر)، pH: ۷/۸ در مراحل مختلف اندازه‌گیری شدند. وزن خشک بدون خاکستر که مبنای محاسبات می‌باشد از رابطه زیر به دست می‌آید:

وزن خشک - وزن خاکستر = وزن خشک بدون خاکستر

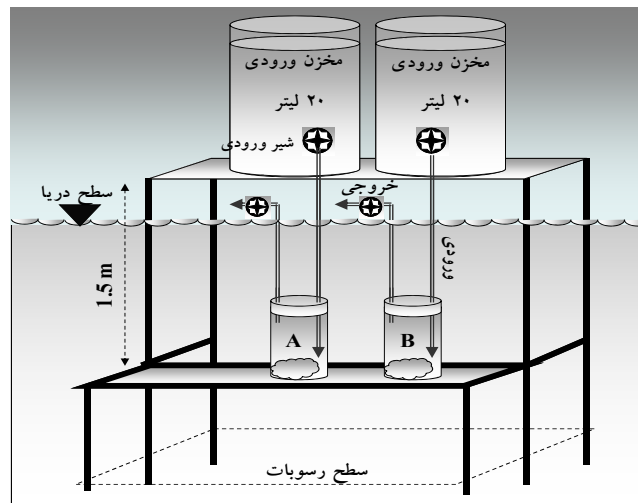
عدد پالایش (Clearance rate) از رابطه (۱۷)

به دست می‌آید که به صورت زیر می‌باشد:

$$V_w = V \times \ln (CT_0) - \ln (CT_n) / T \times W$$

که عبارتند از:

گروه دوم آزمایش که شامل پوسته‌های مرده می‌باشند نیز به میزان ۵۰۰ گرم برای هر دو فلز پس از وزن کردن در ظرف ۲ لیتری دیگری قرار داده شدند (شکل ۱). دو ساعت قبل از انجام آزمایش محلول‌های مادر فلزات به مخزن ۲۰ لیتری اضافه شدند (غلظت فلز آهن ۵۰ میکروگرم بر لیتر و غلظت فلز کادمیوم ۱۵۰ میکروگرم بر لیتر انتخاب شدند). شروع باز شدن کفه‌ها به عنوان شروع زمان آزمایش درج می‌شود. بدین ترتیب که با باز کردن شیرهای ورودی مخزن‌های ۲۰ لیتری جریان برقرار شده و وارد محفظه‌های ۲ لیتری می‌شود. ورود جریان آب به داخل ظرف‌های ۲ لیتری بدین ترتیب است که جریان از کف وارد شده و از بالا خارج می‌شود. این جریان برای ۲ دقیقه برقرار بوده و بعد از آن به مدت ۵ دقیقه در ظرف‌های محتوی صدف‌های زنده و پوسته‌ها متوقف خواهد شد. در پایان ۵ دقیقه جریان مجدداً برقرار شده و از آن نمونه‌برداری (از محل شیرهای خروجی) می‌شود. بنابراین نمونه‌برداری‌ها (که در هر بار نمونه‌برداری ۳ تکرار انجام شد) در ابتدای ۲ دقیقه (در محل شیرهای ورودی) و انتهای ۵ دقیقه انجام خواهد گرفت این تناوب تا ۷ بار تکرار خواهد شد (۲۳ و ۲۴). پیش فرضی این آزمایش آن است که صدف در هر بار پررود جریان در معرض آلاینده با غلظت قبلی قرار می‌گیرد و ۵ دقیقه زمان دارد تا آن غلظت را در محیط کاهش دهد. در زمان بعدی یعنی ۷ دقیقه دوم (۱۴ دقیقه بعد از شروع آزمایش) دوباره در معرض آلاینده جدید قرار می‌گیرد که می‌بایست آن را کاهش دهد. مدت زمان آزمایش ۴۹ دقیقه انتخاب شد به این دلیل که در ارتباط با آلاینده‌های نفتی که انتشار آن‌ها سریع اتفاق می‌افتد، نیاز به کنترل سریع دارند. بعد از



شکل ۱: نمایی کلی از سیستمی که در آن مطالعه کاهش فلزات توسط صدف ها انجام شده است. همانطور که در شکل مشخص است سیستم در رسوبات قرار گرفته و دارای ۲ مخزن اصلی ورود آلاینده می باشد که جریان آب توسط لوله های PVC به ظروف A (صدف های زنده) و B (پوسته های مرده) منتقل می شوند. جریان آلاینده ها توسط شیرهای ورودی تنظیم می شوند.

طبیعی دانشگاه تهران) توسط کاغذ واتمن و سپس توسط فیلترهای مخصوص (۰/۲ میکرون) صاف شده و به وسیله دستگاه (ICP) مقدار فلزات سنگین در نمونه ها تعیین شدند. با استفاده از نرم افزار (SPSS) و آزمون آماری T- Test و One way ANOVA داده های حاصل از گروه های کنترل و تیمار در سطح ۰/۰۵ درصد با هم مقایسه شدند.

نتایج

نرخ پالایش صدف های زنده *Saccostrea cucullata* و پوسته های مرده که در معرض ۵۰ میکروگرم در لیتر فلز آهن قرار گرفته در نمودار ۱ آورده شده است. نرخ پالایش در بین دو گروه آزمایش اختلاف معنی داری را داشته است ($\text{sig}=0/000$ ، $t = 4/828$). همچنین نرخ پالایش صدف های زنده در معرض با فلز آهن در بین زمان های آزمایش اختلاف معنی داری را با هم داشته اند ($\alpha = 0/05$). میزان ماده آلی در توده صدف زنده پس از آنالیزهای

Vw: میزان پالایش بر حسب $\text{ml. Min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$

V: حجم ظرف بر حسب میلی لیتر

CT₀: غلظت فلز در زمان صفر (میکروگرم در لیتر)

CT_n: غلظت فلز در پایان آزمایش (میکروگرم در لیتر)

T: زمان آزمایش بر حسب دقیقه

W: وزن جانور بر حسب وزن خشک بدون خاکستر بر حسب گرم

عدد پالایش به ازای وزن خشک بدون خاکستر

(AFDW)^۱ محاسبه خواهد شد. از مزیت های این

مطالعه این می باشد که اندازه گیری فاکتورهای مورد

مطالعه در مورد پالایش صدف کاملاً در شرایط میدانی

انجام می پذیرد. زیرا عوامل مختلف محیطی در میزان

پالایش صدف دخیل هستند که در شرایط آزمایشگاهی

این عوامل حذف خواهند شد (۳۱). نمونه های آب

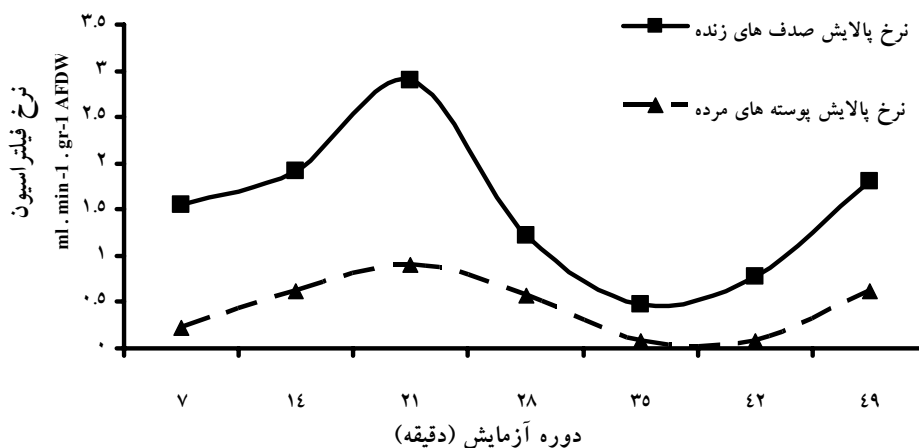
توسط فرمالین فیکس شده و پس از انتقال به آزمایشگاه

(آزمایشگاه خاک شناسی دانشکده کشاورزی و منابع

^۱ Ash Free Dry Weight

کمترین مقدار پالایش (در زمان ۴۲ دقیقه) و بیشترین این مقدار (در زمان ۲۱ دقیقه) به ترتیب ۰/۸ و ۰/۶۲ (ml.min⁻¹.g⁻¹ DW) محاسبه شد. با توجه به اینکه فلز آهن از فلزهای ضروری می باشد. اویستر برای انجام متابولیسم‌های سلولی خود به این فلز نیاز دارد (البته در یک حد مشخص). بنابراین همان‌طور که در نمودار ۱ مشخص است فعالیت فیزیولوژیکی (نرخ پالایش) صدف به صورت معنی‌دار تحت تاثیر این فلز ضروری کاهش نیافته است.

آزمایشگاهی ۳۰/۹ گرم محاسبه شد. میانگین نرخ پالایش در توده صدف زنده ۱/۵۱ ml.min⁻¹.g⁻¹ AFDW و کمترین مقدار (در زمان ۳۵ دقیقه) و بیشترین مقدار (در زمان ۲۱ دقیقه) در این گروه به ترتیب ۲/۸۹ و ۰/۴۷ (ml.min⁻¹.g⁻¹ AFDW) اندازه‌گیری شد. نرخ پالایش پوسته‌های در معرض با این فلز در بین زمان‌های آزمایش اختلاف معنی‌داری با هم داشتند ($\alpha = 0/05$). میانگین نرخ پالایش در توده صدف مرده (پوسته) ۰/۳ ml.min⁻¹.g⁻¹ DW و



نمودار ۱: نرخ پالایش در دو گروه پوسته‌ها و صدف‌های زنده که در معرض ۵۰ میکروگرم در لیتر فلز آهن قرار گرفته‌اند

میکروگرم در لیتر کاهش دادند. کمترین مقدار کاهش (در زمان ۲۱ دقیقه) و بیشترین مقدار کاهش (در زمان‌های ۷، ۴۲ و ۴۹ دقیقه) به ترتیب ۳۷/۲۵ و ۴۳/۵۸ میکروگرم در لیتر در داخل آب اندازه‌گیری شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نرخ جذب در ابتدا و انتهای آزمایش به یک نسبت بوده است. نرخ کاهش فلز آهن توسط پوسته‌ها در بین زمان‌های آزمایش نیز با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند ($\alpha < 0/05$ ، $F = 39.3/5$). پوسته‌ها به طور متوسط غلظت فلز آهن

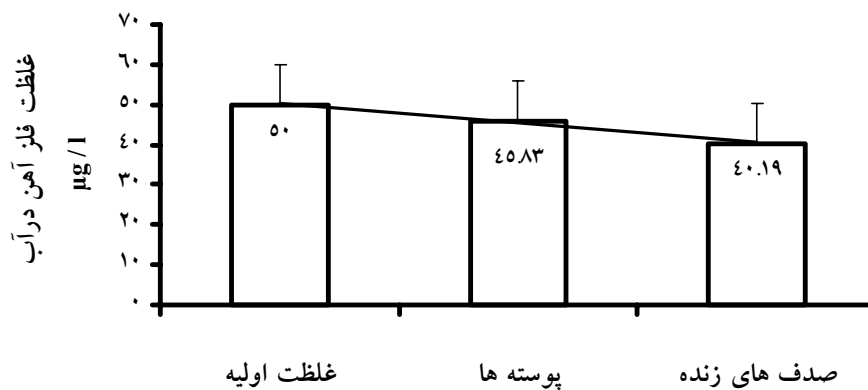
میزان کاهش فلز آهن در دو گروه آزمایش در بین زمان‌های مختلف آزمایش در جدول ۱ مشخص شده است. نرخ پالایش در بین دو گروه آزمایش داری اختلاف معنی‌داری بود ($t = -6/828$, $\text{sig} = 0/000$). همچنین نرخ کاهش صدف‌های زنده در معرض با فلز آهن در بین زمان‌های مختلف آزمایش دارای اختلافات معنی‌داری بودند ($F = 28/105$, $\alpha < 0/05$). صدف‌های زنده به طور متوسط غلظت فلز آهن را از ۵۰ میکروگرم در لیتر در داخل آب به ۴۰/۱۹

در آب محاسبه شده است (نمودار ۲). میانگین متوسط کاهش فلز آهن در توده صدف زنده ۱۹/۶۱ درصد کاهش نسبت به غلظت اولیه بوده است و این مقدار برای پوسته‌ها ۸/۳۴ درصد می‌باشد.

را از ۵۰ میکروگرم در لیتر به ۴۵/۸۳ میکروگرم در لیتر کاهش دادند. کمترین مقدار کاهش (در زمان ۷ دقیقه) و بیشترین مقدار کاهش (در زمان ۴۲ دقیقه) در این گروه به ترتیب ۴۳/۰۲ و ۴۸/۵۷ میکروگرم در لیتر

جدول ۱: کاهش فلز آهن نسبت به غلظت ابتدایی (۵۰ میکروگرم بر لیتر) در زمان‌های مختلف آزمایش در دو گروه پوسته‌ها و صدف‌های زنده

زمان (دقیقه)	غلظت فلز آهن در آب گروه کنترل (ppb)	درصد فلز کاهش یافته از آب توسط گروه کنترل	غلظت فلز آهن در آب گروه تیمار (ppb)	درصد فلز کاهش یافته از آب توسط گروه تیمار
۷	۴۸.۵۷	۲۸.۶٪	۳۷.۸۲	۲۴.۳۲٪
۱۴	۴۴.۸۷	۱۰.۲۶٪	۴۲.۷۴	۱۴.۵۲٪
۲۱	۴۶.۶۵	۶.۷۰٪	۴۳.۵۸	۱۲.۸۴٪
۲۸	۴۶.۰۹	۷.۸۲٪	۴۱.۳۴	۱۷.۳۲٪
۳۵	۴۵.۳۱	۹.۳۸٪	۴۱.۲۶	۱۷.۴۸٪
۴۲	۴۳.۰۲	۱۳.۹۶٪	۳۷.۳۶	۲۵.۲۸٪
۴۹	۴۶.۳۱	۷.۳۸٪	۳۷.۲۵	۲۵.۵۰٪



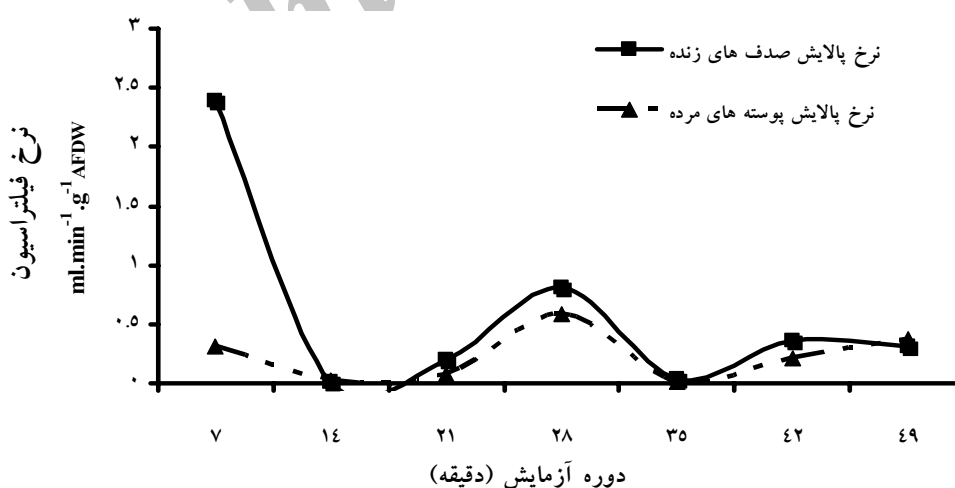
نمودار ۲: میانگین کاهش غلظت فلز آهن در دو گروه پوسته‌ها و صدف‌های زنده نسبت به غلظت اولیه در طول دوره آزمایش

زمان‌های ۷، ۴۲ و ۴۹ دقیقه صورت پذیرفته است. نرخ پالایش صدف‌های زنده *Saccostrea cucullata* و پوسته‌های مرده که در معرض ۱۵۰ میکروگرم در لیتر فلز کادمیوم قرار گرفته است در نمودار ۳ مشخص شده است. نرخ پالایش در صدف‌های زنده و

مقایسه نرخ کاهش فلز آهن نسبت به غلظت ابتدایی ۵۰ میکروگرم بر لیتر در طول دوره آزمایش در دو گروه آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. بیشترین نرخ پالایش در صدف‌های زنده در زمان ۲۱ دقیقه بوده در حالیکه بیشترین نرخ کاهش فلز در

مدت آزمایش کاهش می‌یابد. نرخ پالایش در پوسته‌های مرده در معرض با فلز کادمیوم نیز در بین زمان‌های آزمایش دارای اختلاف معنی‌دار بودند ($F=5.2/91, \alpha < 0.05$). میانگین نرخ پالایش در توده صدف مرده (پوسته‌ها) $0.23 \text{ ml.min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$ و کمترین (در زمان ۱۴ و ۳۵ دقیقه) و بیشترین (در زمان ۲۸ دقیقه) مقدار پالایش در این گروه به ترتیب 0.07 و $0.79 \text{ ml.min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$ انجام گرفته است. میزان کاهش غلظت فلز کادمیوم در ارتباط با صدف‌های زنده *Saccostrea cucullata* و پوسته‌های مرده در نمودار ۴ نمایش داده شده است. نرخ کاهش غلظت فلز کادمیوم در دو گروه آزمایش دارای اختلاف معنی‌داری بود ($t = 8/528, \text{sig} = 0.000$). نرخ کاهش غلظت فلز کادمیوم توسط صدف‌های زنده در زمان‌های مختلف آزمایش با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند ($F = 16/204, \alpha < 0.05$).

پوسته‌های مرده در معرض با فلز کادمیوم با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($\text{sig} = 0.000$). مقدار ماده آلی توده صدف زنده که در معرض فلز کادمیوم قرار گرفته‌اند $23/7$ گرم محاسبه شد. نرخ پالایش صدف‌های زنده در معرض با فلز کادمیوم در بین زمان‌های مختلف آزمایش نسبت به یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند ($\alpha < 0.05$). میانگین نرخ پالایش در توده صدف زنده $0.59 \text{ ml.min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ AFDW}$ و کمترین (در زمان‌های ۱۴ و ۳۵ دقیقه) و بیشترین مقدار پالایش (در زمان ۷ دقیقه) در این گروه به ترتیب 0.04 و $2/39 \text{ ml.min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ AFDW}$ انجام گرفته است (همراه با افزایش مدت زمان در معرض بودن با فلز نرخ پالایش کاهش یافته است). همان‌طور که در نمودار ۳ نیز مشخص است بیشترین نرخ پالایش در اولین زمان آزمایش اندازه‌گیری شده است که به ترتیب در طول



نمودار ۳: نرخ پالایش در دو گروه پوسته‌ها و صدف‌های زنده که در معرض 150 میکروگرم در لیتر فلز کادمیوم قرار گرفته‌اند

مقدار (اواخر آزمایش در ۴۹ دقیقه) و بیشترین مقدار کاهش (در زمان ۷ دقیقه) به ترتیب $111/3$ و $129/6$

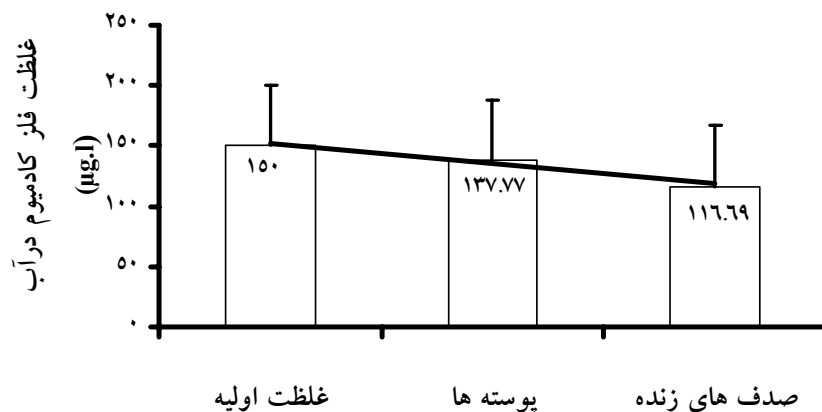
متوسط کاهش غلظت فلز کادمیوم در صدف‌های زنده $116/69$ میکروگرم در لیتر و کمترین

مقدار کاهش (در زمان ۴۲ دقیقه) و بیشترین مقدار کاهش (در زمان ۳۵ دقیقه) و به ترتیب ۱۲۲/۴ و ۱۴۵/۴ میکروگرم در لیتر اندازه‌گیری شدند. همانطور که واضح است میزان کاهش غلظت فلز کادمیوم نسبت به غلظت اولیه در توده صدف‌های زنده نسبت به پوسته‌ها بیشتر بوده است (نمودار ۴).

میکروگرم در لیتر بوده است. نرخ کاهش فلز کادمیوم توسط پوسته‌ها نیز در زمان‌های مختلف آزمایش با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند ($\alpha < 0/05$ ، $F = 376988/37$). متوسط کاهش غلظت فلز کادمیوم توسط پوسته‌ها نسبت به غلظت اولیه (۱۵۰ میکروگرم در لیتر) ۱۳۸/۷۳ میکروگرم در لیتر بوده است. کمترین

جدول ۲: کاهش فلز نیکل نسبت به غلظت ابتدایی (۲۰ میکروگرم بر لیتر) در زمان‌های مختلف آزمایش در دو گروه پوسته‌ها و صدف‌های زنده

زمان (دقیقه)	غلظت فلز کادمیوم در آب (ppb) گروه کنترل	درصد فلز کاهش یافته از آب توسط گروه کنترل	غلظت فلز کادمیوم در آب (ppb) گروه تیمار	درصد فلز کاهش یافته از آب توسط گروه تیمار
۷	۱۴۳.۸	۴.۱۳٪	۱۰۸.۲	۲۷.۸۷٪
۱۴	۱۴۵.۴	۳.۰۷٪	۱۱۸.۱	۲۱.۲۷٪
۲۱	۱۴۸	۱.۳۳٪	۱۱۲.۶	۲۴.۹۳٪
۲۸	۱۲۶.۴	۱۵.۷۳٪	۱۲۱.۷	۱۸.۸۷٪
۳۵	۱۲۲.۴	۱۸.۴۰٪	۱۱۱.۳	۲۵.۸۰٪
۴۲	۱۴۸.۱	۱.۲۷٪	۱۲۰	۲۰.۰۰٪
۴۹	۱۳۰.۳	۱۳.۱۳٪	۱۲۴.۹	۱۶.۷۳٪



نمودار ۴: میانگین کاهش غلظت فلز کادمیوم در دو گروه پوسته‌ها و صدف‌های زنده نسبت به غلظت اولیه در طول دوره آزمایش

صدف زنده ۲۲/۱۴۱ درصد کاهش و این مقدار برای پوسته‌ها ۸/۱۵ درصد نسبت به غلظت اولیه بوده است. بیشترین نرخ کاهش فلز کادمیوم در صدف‌های زنده در زمان‌های ۷ دقیقه بوده است، این در حالیست که

مقایسه نرخ کاهش فلز کادمیوم به درصد نسبت به غلظت ابتدایی ۱۵۰ میکروگرم بر لیتر در طول دوره آزمایش در دو گروه آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. میانگین متوسط کاهش فلز کادمیوم در توده

غلظت فلز آهن و ضروری بودن این فلز توجیه کرد (۴). بدین ترتیب که غلظت فلز آهن پایین بوده و همچنین این فلز از جمله فلزاتی می‌باشد که اویستر برای انجام پروسه‌های متابولیکی خود نیازمند به آن می‌باشد و بنابراین قادر است آنرا در غلظت‌های خاصی تنظیم کند که این خود به غلظت فلز در محیط بر می‌گردد (۳). فلزات ضروری در متابولیسم‌های موجود نقش مهمی را دارا هستند و مقدار مشخص از هر فلز ضروری به صورت زیست فراهم به لحاظ متابولیکی در متابولیسم‌های ارگانیسم نیاز می‌باشد و این مقدار به صورت تئوری قابل محاسبه است (۲۵). فلزات غیر ضروری مثل کادمیوم، سرب و جیوه حتی در غلظت‌های کم هم مورد نیاز بدن نیستند و باید توسط موجود دفع یا سمیت زدایی شوند. زمانی که مقدار این فلزات از حد آستانه خود فراتر می‌روند، اثرات سمی خود را ابتدا به شکل اثرات تحت کشنده (کاهش نرخ فعالیت‌های فیزیولوژیکی مثل نرخ فیلتراسیون) و در نهایت اثرات کشنده بروز می‌دهند (۱۹). پایینترین نرخ فیلتراسیون در بین فلزات انتخابی مربوط به صدف‌های در معرض با فلزهای کادمیوم بوده است که هر دو فاکتور غلظت بالا و عنصر غیر ضروری بودن را برای تحت تأثیر قرار دادن فعالیت‌های فیزیولوژیکی صدف دارا هستند (۴). با افزایش در معرض بودن با فلز کادمیوم نرخ فعالیت‌های فیزیولوژیکی کاهش بیشتری را از خود نشان داده است. این فلز از عناصر غیر ضروری می‌باشد. دوکفه‌ای‌ها کادمیوم را به وسیله آبشش توسط انتقال فعال (پیوند با مولکول‌های موجود در غشاء که مخصوص انتقال مواد هستند و یا توسط پمپ انتقال یونی فعال) و همچنین فاگوسیتوز در

بالاترین نرخ پالایش صدف‌های زنده نیز در همین زمان بوده است. به همین ترتیب کمترین نرخ پالایش صدف‌های زنده در اواخر آزمایش (۴۹ دقیقه) بوده است و در همین زمان کمترین کاهش غلظت فلز در آب مشاهده می‌شود (نمودار ۴).

بحث

استفاده از اویسترها به عنوان کاهش دهنده آلاینده‌ها از آن جهت که آن‌ها مقدار زیادی از آب را فیلتر می‌کنند و در نتیجه بسیاری از آلاینده‌ها را در بدن خود انباشته می‌سازند بسیار سودمند است. بنابراین استفاده از این موجودات یک برنامه بسیار مناسب از سیستم‌های حیوانی برای بازسازی زیستی با پتانسیل بالا می‌باشد. در مطالعه حاضر سعی شد از پتانسیل صدف *Saccostrea cucullata* که یکی از گونه‌های اویستر بومی خلیج فارس می‌باشد (و با توجه به این که در مناطق بین جزر و مدی زندگی می‌کند) توانایی بالایی در پالایش آب دارد در جهت کاهش غلظت فلزات سنگین استفاده شود. نتایج گرفته شده نشان دادند که نرخ پالایش این صدف با توجه به غلظت و نوع فلز مورد نظر در آب دچار نوساناتی می‌شود که در نتیجه استرس در معرض بودن با فلزات سنگین می‌باشد (۴ و ۲۵). بالاترین نرخ فیلتراسیون در ارتباط با صدف‌های در معرض با فلز آهن می‌باشد. نرخ کاهش فلز آهن در ابتدا و انتهای آزمایش به یک نسبت انجام گرفته است. بین نرخ پالایش و مقدار کاهش فلز از آب توسط پوسته‌ها چنین الگویی دیده نشد. نرخ کاهش فلز آهن توسط صدف‌های زنده در طول آزمایش تقریباً ثابت باقی مانده است. این موضوع را می‌توان با توجه به اینکه

تنظیم غلظت فلزهای ضروری توسط اویسترها بر می‌گردد که این توانایی در ارتباط با فلزهای غیر ضروری وجود ندارد (۳ و ۲۵). مهم‌ترین هدف این مطالعه گسترش روش‌های موثر برای کاهش آلاینده‌ها با استفاده از جاذب‌های زیستی می‌باشد. همان‌طور که در قسمت نتایج مشاهده شد پوسته‌های مرده صدف نیز در جذب فلزات از آب نقش داشتند. پوسته اویستر بافت سختی است که از کربنات کلسیم و ترکیبات آلی تشکیل یافته است. مواد آلی نقش مهمی در ساخت پوسته دارند (۸). مطالعاتی که اخیراً بر روی مکانیسم‌های Zn^{2+} و Co^{2+} مشخص ساختند که جذب سطحی توسط جایگزین شدن فلزات با Ca^{2+} موجود در لایه‌های سطحی کلسیت انجام می‌شود (۳۲). Demetra (۲۰۰۷) از پوسته‌های دو نوع Atlantic coast و Greek clam) clams برای حذف فلز آرسنیک با غلظت‌های مختلف از آب استفاده کرد (۱۱). این محقق به این نتیجه رسید که هرچه غلظت ابتدایی فلزات بالاتر باشد، میزان جذب توسط پوسته‌ها افزایش می‌یابد در این آزمایش در غلظت ۵۰ میکروگرم در لیتر نرخ جذب دارای یک سیکل سینوسی بود که بعد از گذشت ۳۰ دقیقه این نرخ کاهش یافته و در زمان ۴۵ دقیقه مجدداً افزایش و به همین ترتیب در ۱ ساعت پس از آزمایش کاهش و ۱:۱۵ دقیقه افزایش داشته است. این محقق علت این سیکل سینوسی را مربوط به جذب و پس دادن مجدد فلز به آب توسط پوسته‌ها مربوط دانست. پس دادن مجدد فلزات به آب در ارتباط با آزمایشات جذب فلزات در پوسته‌ها در تحقیق حاضر نیز مشاهده می‌شود. این موضوع می‌تواند مربوط به چند عامل باشد: مدت زمان کوتاه آزمایش، تغییرات pH، تغییرات دما،

سیتوزوم جذب می‌کنند (۱۹ و ۲۶). بعضی از دوکفه‌ای‌ها کادمیوم را در مقادیر زیاد در بدن خود زیست انباشته می‌کنند. در نتیجه از این موجودات در مناطق نسبتاً آلوده برای حذف آلاینده‌ها به عنوان فیلتر زیستی استفاده می‌شود. جذب کادمیوم توسط دو کفه‌ای‌ها تحت تأثیر مقدار آلاینده، زمان در معرض بودن موجود با فلز (۱۰)، اندازه موجود (۲۶) و مکانیسم‌های سمیت‌زدایی که توسط موجود اعمال می‌شود بستگی دارد. بنابراین در مقادیر جذب تفاوت‌های زیادی دیده می‌شود. برای مثال تجمع کادمیوم در نرم‌تنان بین $5/8$ تا $600 \mu\text{g/g}$ با توجه به گونه، زمان در معرض بودن و میزان کادمیوم متفاوت خواهد بود. به طوری که *E. complanata* کادمیوم را به میزان $65 \mu\text{g/g}$ بعد از ۶۰ روز در معرض بودن با 50 ppb از این فلز، در بدن خود زیست انباشته می‌کند، در حالی که *M. edulis* که از دوکفه‌ای‌های دریایی می‌باشد کادمیوم را در طول ۵۱ روز در معرض بودن با $50 \mu\text{g/g Cd}$ زیست انباشته می‌سازد (۱۶). اثر فلزات سنگین در کاهش نرخ پالایش دو کفه‌ای‌ها دریایی در مطالعات زیادی ثابت شده است (۱، ۳ و ۳۰). Amiard و همکاران (۱۹۷۸) ثابت کردند که دوکفه‌ای دریایی *Mytilus edulis* قادر است میزان غلظت فلزات ضروری را در بدنش تنظیم کنند اما این مکانیسم را *Scrobiclaria.p* ندارد (۳). کادمیوم از عناصر غیر ضروری بوده که توسط هیچ کدام از این دوکفه‌ای‌ها غلظت آن تنظیم نمی‌شود. بین نرخ کاهش فلزات از آب و نرخ پالایش صدف‌های زنده در ارتباط با فلز غیر ضروری (کادمیوم) رابطه مستقیمی مشاهده شد، که این مورد در ارتباط با فلز ضروری (آهن) نمایان نشد. این موضوع به توانایی

- coastal organisms. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 106, 73-89.
4. Azarbad, H.; Javanshir, A.; Mirvaghefi, A.; Dane Kar, A. and Shapoori, M., 2010. Biosorption and bioaccumulation of heavy metals by rock oyster *Saccostrea cucullata* in the Persian Gulf. International Aquatic Research 2 39-44.
 5. Bandaranayake, W.M., 1998. Traditional and medicinal uses of mangroves. Mangroves and Salt Marshes 2: 133-148.
 6. Calmano, W., 1983. 'Chemical extraction of heavy metals in polluted river sediments in central Europe, Sci. Total Envir., 28, 77-90.
 7. Clark, R., 1997. Marine Pollution. Oxford, Clarendon press. 176 pp.
 8. Colgan, D.J. and Ponder, W.F., 2002. Genetic discrimination of morphologically similar, sympatric species of pearl oysters (Mollusca: Bivalvia: Pinctada) in eastern Australia. Mar Freshwater Res., 53:697 - 709.
 9. Colombo, J.C.; Bilos, C.; Campanaro, M.; Rodriguez-Presa, M.J. and Catoggio, J.A., 1995. Bioaccumulation of polychlorinated biphenyls and chlorinated pesticides by the Asiatic clam *Corbicula fluminea*: its use as sentinel organism in the Rio de La Plata Estuary, Argentina. Environ Sci Technol 29:914-927.
 10. Das, S. and Jana, B.B., 1999. Dose-dependent uptake and Eichhornia-induced elimination of cadmium in various organs of the freshwater mussel, *Lamellidens marginalis* (Linn.), Ecol. Eng., 12, 207-229.
 11. Demetra, T., 2007. Removal of Arsenic from Water Using Ground Clam Shells. Water Environment Federation. 10.2175/SJWP:1:80.
 12. Farrington, J.W.; Goldberg, E.D.; Risebrough, R.W.; Martin, J.H. and Bower, V.T., 1983. U.S. Mussel Watch 1976-1978: an overview of the trace-metal, DDE, PCB, hydrocarbon and artificial radionuclide data. Environ Sci Technol. 17:490-496.

تغییرات در ساختار کریستالی پوسته‌ها که در نتیجه جایگزین شدن فلزات با یون کلسیم موجود در پوسته‌ها مربوط است (۲۹ و ۱۱). نتایج حاصل اثبات می‌کند که نرخ پالایش برای تعیین اثرات آلاینده‌ها بر دوکفه‌ای‌ها یک پارامتر موثر است. همچنین نتایج نشان می‌دهد صدف مورد مطالعه که در معرض فلزات قرار گرفته است پتانسیل بالایی در پالایش آب و در نتیجه خودپالایی زیستگاه مانگرو داشته و نرخ پالایش هیچ‌گاه در طول آزمایش به صفر نرسیده است که این موضوع به جایگاه اکولوژیکی (مناطق بین جزر و مدی) این صدف در اکوسیستم بر می‌گردد. با توجه به نتایج گرفته شده صدف *S. cucullata* پتانسیل خوبی برای جذب آلاینده‌ها از محیط دارد که با ایجاد زیستگاه‌های مصنوعی برای نشست این صدف در مناطق آلوده خلیج فارس می‌توان گامی در جهت کاهش آلودگی این اکوسیستم ارزشمند برداشت.

سپاسگزاری

بدینوسیله از کلیه کسانی که ما را در مراحل مختلف این تحقیق یاری نموده‌اند، صمیمانه سپاسگزاریم.

منابع

1. Abel, P.D., 1976. Effect of some pollutants on the filtration rate of *Mytilus*. Mar. Pollut. Bull, 7 (12): 228-31.
2. Aksornkoae, S., 1993. Ecology and Management of Mangroves. IUCN, Bangkok, Thailand, 176 pp.
3. Amiard, J.C.; Amiard-Triquet, C.; Berthet, B. and Metayer, C., 1987. Comparative study of the patterns of bioaccumulation of essential (Cu, Zn) and non-essential (Cd, Pb) trace metals in various estuarine and

13. Grimalt, J.O.; Ferrer, M. and Macpherson, E., 1999. 'The mine tailing accident in Aznalcollar', *Sci. Total Environ.* 242: 3–11.
14. Hensley, J.L., 1992. U.S. Pat. 5,114,595; *May, Int.* 48 671-680.
15. Hering; U.S., 1973. Pat. 3,754,789.
16. Jana, B.B. and Das, S., 1997. Potential of freshwater mussel (*Lamelliden marginalis*) for cadmium clearance in a model system, *Ecol. Eng.*, 8, 179–193.
17. Jørgenson, C.B., 1990. Bivalve filter feeding revisited. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 142: 287–302.
18. Kasuya, H.; Teranishi, H.; Aoshima, K.; Katoh, T.; Horiguchi, H.; Morikawa, Y.; Nishijo, M. and Iwata, K., 1992. Water pollution by cadmium and the onset of itai-itai disease). *Wat. Sci. Tech.* 11: 149–156.
19. Marigomez, I.; Soto, M.; Cajaraville, M.P.; Angulo, E. and Giamberini, L., 2002. Cellular and subcellular distribution of metals in molluscs. *Micros Res Tech.* 56:358-392.
20. Muller, G., 1990. Chemical decontamination of dredged materials, Sludges, Combustion Residues, Soils and Other Materials Contaminated with Heavy Metals', in J.W. Patterson and R. Passino (eds.), *Metals Speciation, Separation, and Recovery*, Vol. 2, Lewis Publishers, Michigan. pp. 447– 496.
21. Oshima, E. and Matsufuji, M., 1990. Multi-Unit Flush System having Carbon Adsorber Column in Calcium Carbonate Bed, U.S. Patent No. 4,933,076, Jun. 12, 1990.
22. Ostroumov, S.A., 2001a. Responses of *Unio tumidus* to a mixture of chemicals and the hazard of synecological summation of anthropogenic. *Doklady Akademii Nauk.* 380: 714-71.
23. Patro, L., 2010. *Aquatic Biodiversity*. Discovery Publishing house PUT.LTD.Indian. 209 pp.
24. Peven, C.S.; Uhler, A.D. and Querzoli, F.J., 1996. Caged mussels and semipermeable membrane devices as indicators of organic contaminant uptake in Dorchester and Duxbury Bays, Massachusetts. *Environ Toxicol Chem.* 15:144-149.
25. Rainbow, P. S. and White, S.L., 1989. Comparative strategies of heavy metal accumulation by crustaceans: zinc, copper and cadmium in a decapod. an amphipod and a barnacle. *Hydrobiologia*, 174, 245-62.
26. Roseman, E.F.; Mills, E.L.; Rutske, M.; Gutenmann, W.H. and Lisk, D.J., 1994. Absorption of cadmium from water by North American zebra and quagga mussels (*Bivalvia: Dreissenidae*), *Chemosphere*, 28, 737–743.
27. Shoji, Y., 1990. Creamy Fish Protein, in S. Keller (ed.), *Making Profits out of Seafood Wastes*, Proceedings of the International Conference on Fish By-Products, Anchorage, Alaska-April 25– 27, 1990, Alaska Sea Grant College Program, pp. 87.
28. Sorokin, Y.A.; Sorokin, P.Y.; Mamaeva, T.I. and Sorokina, O.V., 1997. The Sea of Okhotsk bacterioplankton and planktonic ciliates. In *Complex Studies of Ecosystem of the Sea of Okhotsk*. VV Sapozhnikov (Ed), VNIRO Press, Moscow, pp 210-216.
29. Tudor, H.E.A., 2002. Sequestration of metal ions by calcareous marine exoskeletons', Ph.D. Thesis, Department of Materials Science and Mineral Engineering, Columbia University. Vol. I, 344 pp.; Vol II, 178 pp.
30. Watling, H., 1981. The effects of metals on mollusc filtering rates. *Trans. Royal Soc. S. Afr*, 44(3): 44-51.
31. Widdows, J., 2002. Bivalve clearance rates: inaccurate measurements or inaccurate reviews and misrepresentation? *Mar Ecol Prog Ser.* 221:303–305.
32. Zachara, J.M.; Kittrick, J.A. and Harsh, J.B., 1988, The mechanism of Zn^{2+} adsorption on calcite, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2281-2291.