

ارزیابی عملکرد دوکفه‌ای (*Anodonta cygnea*) در فیلتراسیون ترکیبات نیتروژن و فسفر

چکیده

در این تحقیق نرخ فیلتراسیون ترکیبات نیتروژنه و فسفات‌ها در صدف آنودونتا سیگنه‌آ در سیستم مدار بسته‌ای ارزیابی شد. این سیستم از یک مخزن اصلی ۱۰۰ لیتری و چهار مخزن ۲/۵ لیتری برای قرار گرفتن صدف‌ها (یکی از آنها به عنوان شاهد) و یک مخزن ۵۰ لیتری برای برگشت آب تشکیل شد. در این تحقیق سه تیمار مختلف نیتروژن (۱۰۰، ۸۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و فسفر (۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) به صورت مجزا مورد آزمایش قرار گرفتند. روش کار سیستم به این صورت بود که صدف‌ها و آب احاطه‌کننده آنها در دوره‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای بازدید و نمونه‌برداری می‌شدند. در صورتی که بین هر دو دوره ۳۰ دقیقه‌ای و در طول ۱۲۰ دقیقه در جریان گردش، پالایش طبیعی خود را انجام می‌دادند. در همه تیمارها، سه مرتبه نمونه‌برداری صورت گرفت. نتایج نشان داد که در هر سه تیمار با گذشت زمان از نرخ فیلتراسیون مواد آلاینده کاسته شد، همچنین با افزایش غلظت نیتروژن در محیط میزان فیلتراسیون آن با صدف افزایش یافت، به طوری که نرخ فیلتراسیون از ۶/۵۳ در تیمار اول به ۷/۱۵ در تیمار دوم و ۸/۰۷ میلی‌لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک در تیمار سوم رسید. نرخ فیلتراسیون فسفر نیز توسط صدف با افزایش غلظت فسفر افزایش یافت به طوری که نرخ فیلتراسیون از ۵/۶۱ در تیمار اول به ۶/۵ در تیمار دوم و به ۷/۵۸ میلی‌لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک در تیمار سوم رسید. با مقایسه نتایج فیلتراسیون نیتروژن و فسفر می‌توان نتیجه گرفت که کارایی آنودونتا سیگنه‌آ در جذب ترکیبات نیتروژنی احتمالاً بیشتر از ترکیبات فسفات‌ها است.

کلید واژه

نرخ فیلتراسیون، جذب فسفر، آنودونتا سیگنه‌آ، تصفیه زیستی فاضلاب

سراغاز

تأمین آب رکن اساسی توسعه است که مستقیماً سلامت، اقتصاد و اشتغال را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آنچه مورد توجه است تولید ضایعات و فضولات ناشی از مصرف آب برای تأمین نیازهای جامعه بشری و به دنبال آن آلودگی منابع آبی در دسترس انسان است. در میان آلاینده‌های مختلف، عناصر مغذی (نیتروژن و فسفر) به دلیل تأثیر در اکوسیستم‌های آبی و برهم زدن تعادل آنها (پدیده یوتروفیکاسیون) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حذف ترکیبات مغذی نظیر فسفات و نترات از آبهای آلوده یکی از راههای کنترل رشد زیستی در محیط‌های آبی است. لکن پس از تصفیه این آبها، تمامی نیتروژن و فسفر جدا نمی‌شوند. با توجه به موارد ذکر شده و مشکلات ناشی از ورود فسفات و نترات به آبهای مصرفی، پرداختن

به راهکارهای حذف این عناصر مباحثی مهم و در عین حال جدید است که از سال ۱۹۷۱ و با وجود پدیده غنی شدن مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (غنی‌زاده اردی، ۱۳۷۸). امروزه به‌نظر می‌رسد از روشهای زیستی بتوان در پالایش پسابها بهره جست. اخیراً در دنیا استفاده از موجودات زنده که بخشی از آن شامل نرم‌تنان و جلبکهاست به عنوان فیلتر زیستی به صورت وسیع مورد مطالعه قرار می‌گیرد. نظریه استفاده از نرم‌تنان آب شیرین و جلبک‌های کشت داده شده برای پالایش مواد غذایی موجود در فاضلاب را در سال ۱۹۶۲ مطرح کردند (Guillard & Ryther, 1962). دوکفه‌ای‌ها از لحاظ اکولوژیک علاوه بر داشتن جایگاه ویژه در زنجیره غذایی، نقش بسزایی در چرخه غذایی سایر آبزیان ایفا می‌کنند. این موجودات شاخص زیستی اکوسیستم‌های آبی محسوب شده و قادرند آلودگی‌های نفتی، فلزات سنگین، مواد

الف) تهیه سیستم آزمایش ب) تهیه صدف ج) اندازه‌گیری میزان حذف مواد آلاینده د) خشک کردن، وزن کردن و سوزاندن صدف‌ها ه) تجزیه و تحلیل داده‌ها

الف) تهیه سیستم آزمایش

واحد آزمایش (شکل شماره ۱) از یک مخزن اصلی با گنجایش ۱۰۰ لیتر و سه مخزن برای قرار گرفتن صدف‌ها و یک مخزن به عنوان شاهد، هر کدام به گنجایش ۲/۵ لیتر و یک مخزن برای جمع آوری آب خروجی از ۴ مخزن و برگشت آن به مخزن اصلی، تشکیل شد. آب ابتدا از مخزن اصلی خارج شده و از طریق لوله پلی اتیلن وارد ۴ مخزن شد و پس از خارج شدن از آنها با مخزن جمع آوری، به مخزن اصلی برگشت داده شد. برگشت آب از مخزن جمع آوری به مخزن اصلی با استفاده از پمپ آب (مدل HAILEA/ACO-318) صورت گرفت. در هر ۴ مخزن، در ورودی و همچنین در خروجی آب، شیرهایی برای قطع و وصل جریان آب وجود داشت. یک انشعاب شیردار هم بعد از مخزن اصلی و قبل از رسیدن به ۴ مخزن، برای نمونه‌برداری غلظت اولیه نصب شد. مخزن اصلی دارای هواده و بخاری برای ثابت نگه داشتن اکسیژن در حد اشباع و دمای مورد نظر (۲۰ درجه سلسیوس) بود. اکسیژن محلول که به میزان زیادی به دمای آب بستگی دارد، در تمامی آزمایش‌ها تقریباً ثابت و برابر با (۹/۲ میلی‌گرم بر لیتر) بود. در این آزمایش صدف‌های آنودونتا در سه گروه تقریباً هم اندازه (۱±۱۴ سانتیمتر)، به تعداد ۱ عدد در هر تکرار قرار گرفتند. ابتدا شیرهای خروجی موجود در ۴ مخزن بسته و شیر اصلی باز و نمونه‌برداری برای تعیین غلظت اولیه انجام گرفت. پس از پر شدن ۴ مخزن، شیر اصلی بسته شد و به مدت ۳۰ دقیقه جریان در سیستم متوقف بود تا صدف‌ها زمان کافی برای پالایش داشته باشند. این زمان از زمان عبور لقمه غذایی از لوله گوارش^۱ که در مطالعات قبلی ۴۰ دقیقه به‌دست آمده بود کوتاهتر است (جوانشیر و جندقی، ۱۳۸۵). در پایان این زمان شیرهای خروجی باز شده و غلظت‌های ثانویه از ۴ مخزن نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری در محفظه ۳۰ میلی‌لیتری از جنس پلی اتیلن صورت پذیرفت.

در این زمان شیر اصلی باز شده و پمپ آب به برق وصل شد تا جریان به مدت ۱۲۰ دقیقه برقرار شود. این زمان مورد نیاز است تا کل ماده آلاینده در درون ظرف ۲/۵ لیتری به‌طور کامل تخلیه شود. پس از گذشت این زمان مراحل قبلی دو بار تکرار شد. در این سازگان آب همراه آلاینده از مخزن اصلی در داخل ظروف حاوی صدف تخلیه شده و پس از خروج وارد مخزن جمع آوری می‌شود. این پساب جمع آوری

راديوکتیو و غیره را از محیط جمع آوری کرده و موجب پاکیزگی و سلامتی نسبی محیط آبی شوند (Lie, 1993).

دوکفه‌ای آنودونتا سیگنه‌آ در بسیاری از رودخانه‌ها، برخی دریاچه‌ها و قسمت‌هایی با شوری کم از ورودی‌های دریا زیست می‌کنند و از گونه‌های نرم‌تن شاخص در حوضه دریای خزر است. این دوکفه‌ای‌ها از جمله بی‌مهرگان صافی کننده هستند که در محیط آبی، ذرات آلی غذایی را از طریق فیلتر کردن از آب جدا و سپس معدنی (مصرف مواد آلی و دفع به صورت مواد مغذی) می‌کنند. در نتیجه مواد غذایی مورد نیاز تولیدات اولیه را مهیا می‌سازند (Kautsky, 1996 &). در عین حال با توجه به نوسان‌های مواد غذایی در محیط زندگی خود، توانایی دیگری در آنها تکامل یافته تا در صورت کمبود غذای معلق در محیط، مواد محلول را (آلی و معدنی) مستقیماً از طریق برانشی‌ها و به‌صورت غیر فعال جذب کنند (Jorgensen, 1990).

با توجه به این‌که در دوکفه‌ای‌ها عمل فیلتراسیون انجام می‌شود، در صورتی که در محیط زیست آنها مواد آلاینده وجود داشته باشد، این مواد با انجام عمل فیلتراسیون وارد بافت‌ها می‌شود و بدین ترتیب عمل حذف آلاینده‌ها از محیط آبی انجام می‌گیرد (Tran, et al., 2003) بنابراین محاسبه میزان تصفیه آنها می‌تواند حایز اهمیت باشد.

به دلیل تأثیرات مختلف این جانوران در محیط آبی و استفاده بهینه از آنها، به‌نظر می‌رسد بررسی مقدماتی برای تعیین میزان فیلتراسیون نیتروژن و فسفر آنها به‌نحوی که نقش این موجودات را در آبهای آلوده روشن کند لازم باشد. شایان ذکر است این صدف، بومی ایران بوده و مطالعات زیادی در زمینه فیلتراسیون و نقش آنها در بهبود کیفیت آب صورت پذیرفته است.

جندقی در سال ۱۳۸۵ تحقیقاتی در مورد کاهش نیترات و فسفات در حضور جلبک کلرلا، سندسموس و آنودونتا سیگنه‌آ انجام داده است، اما مشکلی که وجود داشت این بود که نرخ دقیق فیلتراسیون نیترات و فسفات به وسیله آنودونتا، به علت خاصیت جذب این مواد با جلبک‌ها معلوم نشد (جندقی، ۱۳۸۵). در این تحقیق با الهام از دو ماده آلاینده که بیشترین فرکانس را در محیط‌های آلوده دارند، عملکرد صدف‌های آنودونتا در فیلتراسیون آنها بررسی شد.

مواد و روش بررسی

مراحل انجام این تحقیق به صورت زیر بود:

است که در محیط طبیعی رودخانه تجن در طول سال مخصوصاً در فصل تابستان که میزان ورودی آب رودخانه پایین است، اتفاق می‌افتند (روشن طبری، ۱۳۷۹) برای ایجاد غلظت‌های مختلف نیتروژن و فسفر به ترتیب از نمک اوره $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$ (اوره یک ترکیب آلی است) و ولی نمک اوره یک ترکیب معدنی و قابل حل در آب است) و K_2HPO_4 استفاده شد که مقادیر آن در جدول شماره (۱) آورده شده است. طبیعی است که آلاینده‌ها غالباً به صورت معدنی وارد محیط‌های آبی شده و پس از جذب در بدن میکروارگانیسم‌ها تشکیل مواد آلی فسفر و نیتروژن دار را می‌دهند. با توجه به این نکته این دو آلاینده در شکل معدنی خود انتخاب شدند، اندازه‌گیری نیتروژن از روش استاندارد ماکرو کج‌لدال با اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال (شماره ۴-۱۲۴) (Clesceri et al., 1999) و فسفر از روش استاندارد مولیبدات آمونیوم (شماره ۴-۱۴۴) در طول موج ۶۸۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر صورت گرفت (صبحانی و خیردوش، ۱۳۸۲؛ Clesceri, et al., 1999)

جدول شماره (۱): مقادیر مورد استفاده برای ایجاد

غلظت‌های مختلف مواد آلاینده

غلظت نیتروژن	میزان اوره	غلظت فسفر	میزان K_2HPO_4
۸۰ ppm	۱۷/۲ گرم	۲۰ ppm	۱۱/۲ گرم
۱۰۰ ppm	۲۱/۵ گرم	۴۰ ppm	۲۲/۴۴ گرم
۲۰۰ ppm	۴۳ گرم	۶۰ ppm	۳۳/۶۶ گرم

(د) خشک کردن، وزن کردن و سوزاندن صدف‌ها

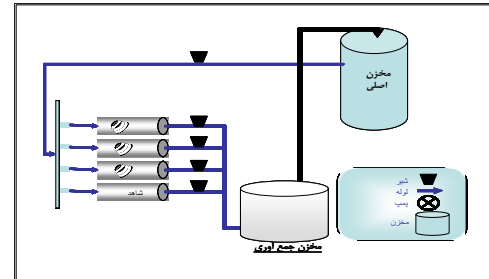
پس از اتمام آزمایش، صدف‌ها در دمای ۴۸ درجه سلسیوس و به مدت ۴۸ ساعت خشک و پس از خشک شدن وزن شدند. حرارت نسبتاً پایین و زمان زیاد با توجه به جلوگیری از تخریب اسیدهای چرب و عناصر معدنی Volatile و مطابق دستورالعمل مندرج در مقالات دیگر انتخاب شد (Javanshir, 2001). عدد به‌دست آمده وزن خشک را به ما نشان داد. سپس به کوره انتقال یافته تا در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس کلیه مواد آلی آن سوزانده شود. خاکستر به‌دست آمده وزن شده و از وزن خشک به‌دست آمده در قبل کسر شد. بدین ترتیب وزن خشک بدون خاکستر به‌دست آمد. در این تحقیق با تقسیم نتایج به‌دست آمده بر روی این وزن، اثر بزرگی و کوچکی صدف‌ها از آزمایش‌ها حذف می‌شود.

(ه) انجام محاسبات و تجزیه و تحلیل داده‌ها

وزن خشک بدون خاکستر که مبنای محاسبات است از رابطه (۱) حاصل می‌شود:

$$(۱) \quad \text{وزن خاکستر} - \text{وزن خشک} = \text{وزن خشک بدون خاکستر}$$

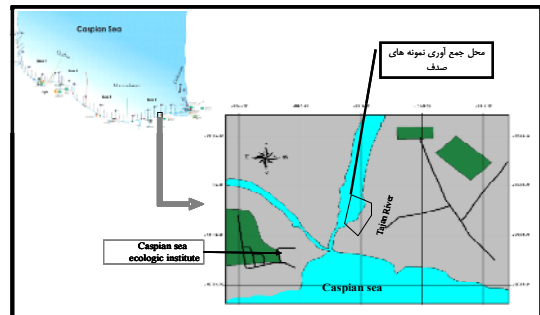
شده سپس با پمپاژ دوباره به مخزن اصلی انتقال می‌یابد. شیرهای اتصالی امکان توقف و عبور را در سازگان فراهم می‌آورند.



شکل شماره (۱): شمایی از سازگان طراحی شده آزمایشی

(ب) تهیه صدف

صدف‌های مورد مطالعه از حاشیه رودخانه تجن (شکل شماره ۲) در محل دهانه این رودخانه جمع‌آوری و پس از قرار دادن در یخدان با حفاظت ویژه به آزمایشگاه منتقل شد. به منظور از بین بردن استرس‌های ناشی از حمل و نقل، گروه صدف‌ها یک دوره سازگاری ۱۰ روزه را در داخل مخزنی طی کردند که از قبل برای آنها آماده و هوادهی شده بود. آب مخزن در دوره سازگاری هوادهی شده و جریان ملایمی در آن وجود داشته است. صدف‌ها در این دوره تغذیه نشده و برای شروع آزمایش‌ها آماده شدند.

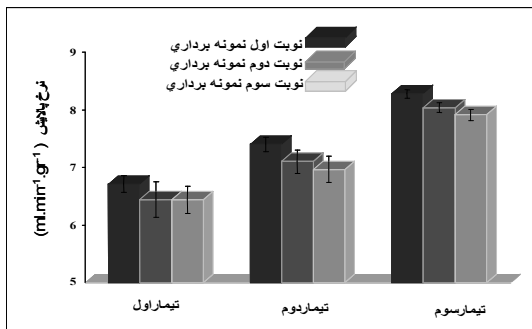


شکل شماره (۲): محل نمونه برداری صدف آنودونتا

(ج) اندازه‌گیری میزان حذف مواد آلاینده

در این بخش سعی شد میزان حذف دو آلاینده نیتروژن و فسفر با صدف اندازه‌گیری و مطالعه شود. به منظور حذف آثار متقابل بین عناصر معدنی فسفر و نیتروژن، هر کدام از این دو عنصر بطور جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند. در این آزمایش ۳ تیمار با ۳ تکرار طراحی شد که تیمارها با توجه به مرور منابع شامل سه غلظت مختلف از نیتروژن (۸۰، ۱۰۰، ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و سه غلظت متفاوت از فسفر (۲۰، ۴۰، ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) انتخاب شد. همچنین حدهای بالا و پایین این آلاینده‌ها نزدیک به غلظت‌هایی

داشت که این اختلافات معنی دار بودند. (تیمار اول به تیمار دوم: $t=8.01, p<0.05$ تیمار دوم به سوم: $t=10.98, p<0.05$) با افزایش غلظت از $۸۰/۰۲$ به $۲۰۰/۰۱$ میلی گرم بر لیتر نرخ پالایش از $۶/۵۳$ به $۸/۰۶$ میلی لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک رسید. می توان نتیجه گرفت که با افزایش غلظت نیتروژن، نرخ پالایش افزایش می یابد و رابطه مستقیمی بین آنها وجود دارد.



شکل شماره (۳): نمودار نرخ پالایش نیتروژن در هر سه تیمار توسط صدف آلودونتا

با توجه به جدول شماره (۲)، با گذشت زمان در هر سه تیمار، درصد جذب نیتروژن با صدف آلودونتا کاسته شده، به طوری که در تیمار اول و در نمونه برداری اول، غلظت اولیه نیتروژن از $۸۰/۰۲$ به $۶۷/۹۲$ میلی گرم بر لیتر رسید و در نمونه برداری دوم غلظت نیتروژن از $۷۱/۰۳$ به $۶۰/۶۹$ میلی گرم بر لیتر و در نمونه برداری سوم از $۶۵/۶۴$ به $۵۶/۰۹$ میلی گرم بر لیتر کاهش یافت.

در تیمار دوم و در نمونه برداری اول، غلظت اولیه نیتروژن از $۱۰۰/۰۴$ به $۸۳/۵۵$ میلی گرم بر لیتر و در نمونه برداری دوم از $۸۹/۲۲$ به $۷۵/۰۳$ میلی گرم بر لیتر و در نمونه برداری سوم از $۸۰/۵۷$ به $۶۷/۹۸$ میلی گرم بر لیتر رسید. در تیمار سوم و در نمونه برداری اول غلظت اولیه نیتروژن از $۲۰۰/۰۱$ به $۱۶۳/۴۴$ میلی گرم بر لیتر و در نمونه برداری دوم از $۱۸۱/۰۳$ به $۱۴۸/۷۹$ میلی گرم بر لیتر و در نمونه برداری سوم از $۱۶۹/۳۷$ به $۱۳۹/۶۴$ میلی گرم بر لیتر رسید. در بین دفعات نمونه برداری اختلاف معنی داری وجود نداشت. (بار اول به بار دوم: $t=0.00, p>0.05$ بار دوم به بار سوم: $t=0.02, p>0.05$) در بین تیمارها اختلافات معنی داری مشاهده شد.

(تیمار اول به تیمار دوم: $t=4.63, p<0.05$ تیمار دوم به سوم: $t=18/17, p<0/05$) با افزایش غلظت از $۸۰/۰۲$ به $۲۰۰/۰۱$ میلی گرم بر لیتر درصد جذب نیتروژن از ۱۵ درصد به ۱۸ درصد رسید و به نظر می رسد که هر چه غلظت نیتروژن در محیط بیشتر باشد فعالیت صدفها برای جذب آنها بیشتر می شود.

نرخ فیلتراسیون یا عدد پالایش از رابطه Jorgensen (Jorgensen, 1990) به دست می آید که به صورت زیر است:

$$V_w = V \times \frac{\ln(Ct_0) - \ln(Ct_n)}{t \times W}$$

که در آن:

V_w : میزان فیلتراسیون بر حسب $ml.min^{-1}.g^{-1}$ (میلی لیتر در دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک بدون خاکستر)؛

V : حجم ظرف بر حسب ml (میلی لیتر)؛

Ct_0 : غلظت مواد آلاینده در زمان صفر (میلی گرم بر لیتر)؛

Ct_n : غلظت مواد آلاینده در پایان آزمایش (میلی گرم بر لیتر)؛

t : زمان آزمایش بر حسب دقیقه؛

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

گرم؛

عدد پالایش به ازای وزن خشک بدون خاکستر (AFDW)

محاسبه شد. برای محاسبه درصد جذب نیتروژن و فسفر، از رابطه (۲) استفاده شد (Jorgensen, 1990).

$$A_w = 100 \times \frac{(Ct_0) - (Ct_n)}{t \times W} \quad (2)$$

آنالیز آماری از طریق مقایسه میانگینها به کمک آزمون زمان (t) (دقت اندازه گیری غلظت های آلاینده در این تحقیق در حد صدم (۰/۰۱) است.

نتایج

الف) بررسی میزان پالایش (نرخ فیلتراسیون) نیتروژن از

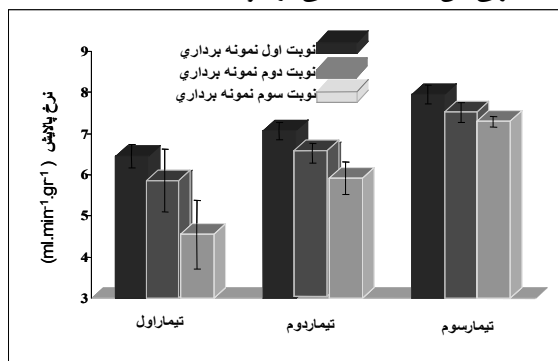
محیط توسط صدف آلودونتا: نرخ پالایش صدف در هر سه تیمار در شکل شماره (۳) نشان داده شده و در هر سه تیمار با گذشت زمان از پالایش نیتروژن توسط صدف کاسته شده است. همان طور که از شکل شماره (۳) نیز بر می آید با گذشت زمان از نرخ پالایش نیتروژن با صدف کاسته شد، به طوری که در تیمار اول و در بار اول نمونه برداری از $۶/۷۱$ به $۶/۴۴$ میلی لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک در بار دوم و سوم نمونه برداری رسید.

در تیمار دوم از $۷/۴$ میلی لیتر در بار اول به $۷/۰۹$ و $۶/۹۵$ میلی لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک در نوبت های دوم و سوم نمونه برداری رسید و در تیمار سوم از $۸/۲۷$ به $۸/۰۳$ و $۷/۹۱$ میلی لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک کاهش نشان داد. بین دفعات نمونه برداری در هر سه تیمار با وجود اختلافات جزئی این اختلافات معنی دار نبودند. (بار اول به بار دوم: $t=0.00, p>0.05$ بار دوم به بار سوم: $t=0.00, p>0.05$) بین تیمارها اختلافاتی وجود

جدول شماره (۲): میانگین غلظت‌های خروجی و درصد جذب شده نیتروژن در سه تیمار

تیمارها				دفعات نمونه برداری			
	غلظت اولیه	بار اول	درصد جذب شده	بار دوم	درصد جذب شده	بار سوم	درصد جذب شده
۲۰/۰۱	میانگین	۱۶۳/۴۴	٪۱۸	۱۴۸/۷۹	٪۱۱	۱۳۹/۶۴	٪۹
	انحراف معیار	±۰/۵۶		±۰/۵۷		±۰/۵۵	
۱۰/۰۴	میانگین	۸۳/۵	٪۱۶/۵	۷۵/۰۳	٪۱۰	۶۷/۹۸	٪۸
	انحراف معیار	±۰/۳۸		±۰/۴۷		±۰/۴۹	
۸/۰/۰۲	میانگین	۶۷/۹۲	٪۱۵	۶۰/۶۹	٪۱۰	۵۶/۰۹	٪۷
	انحراف معیار	±۰/۳۳		±۰/۵۳		±۰/۳۹	

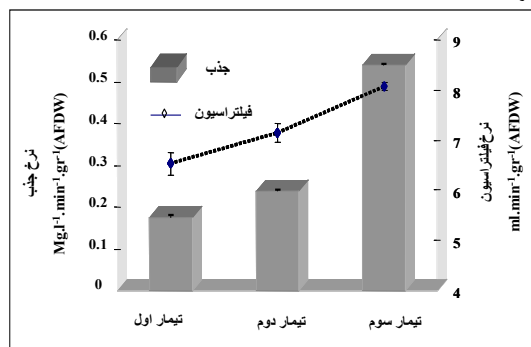
بار دوم و ۷/۲۹ میلی‌لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک در بار سوم نمونه‌برداری رسیده است. در بین دفعات نمونه‌برداری با وجود اختلافات جزئی این اختلافات معنی‌دار نبودند.



شکل شماره (۵): نمودار نرخ پالایش فسفر در هر سه تیمار توسط صدف آنودونتا

(بار اول به بار دوم: $t=0.00, p>0.05$ بار دوم به بار سوم: $t=0.00, p>0.05$ بین تیمارها اختلافاتی وجود داشت که این اختلافات معنی‌دار بودند. (تیمار اول به تیمار دوم: $t=2.72, p<0.05$ تیمار دوم به سوم: $t=5.16, p<0.05$) با افزایش غلظت فسفر از ۲۰/۰۳ به ۶۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر، نرخ پالایش آن با صدف آنودونتا از ۵/۶۱ به ۷/۵۸ میلی‌لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک رسیده و نشان دهنده این موضوع است که با افزایش غلظت فسفر، نرخ پالایش نیز افزایش یافته و با آن رابطه مستقیمی دارد. همان‌طور که در جدول شماره (۳) مشاهده می‌شود، با گذشت زمان در هر سه تیمار از کاهش در غلظت فسفر با صدف‌ها کاسته شده به طوری که در تیمار اول در نمونه‌برداری اول، غلظت اولیه ۲۰/۰۳ به ۱۷/۱۱ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافت و در نمونه‌برداری دوم، غلظت فسفر از ۱۸/۰۵ به ۱۵/۶۴ میلی‌گرم بر لیتر و در نمونه‌برداری سوم از ۱۶/۰۶ به ۱۴/۳۷ میلی‌گرم بر لیتر رسید. در تیمار دوم و در بار اول نمونه‌برداری، غلظت اولیه ۴۰/۰۹ به ۳۳/۷۴ میلی‌گرم بر لیتر رسیده و در نمونه‌برداری دوم غلظت فسفر از ۳۶/۲۶ به ۳۰/۹۲ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافت و در بار سوم نمونه‌برداری از ۳۱/۸۹ به ۲۷/۶ میلی‌گرم بر لیتر رسید. در تیمار سوم و در نوبت اول نمونه‌برداری،

با توجه به شکل شماره (۴) می‌توان مشاهده کرد که با افزایش غلظت نیتروژن، نرخ پالایش و نرخ جذب افزایش یافته به گونه‌ای که نرخ پالایش در تیمار اول از ۶/۵۳ به ۷/۱۵ در تیمار دوم و ۸/۰۷ میلی‌لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک در تیمار سوم افزایش داشته و نرخ جذب از ۰/۱۷ در تیمار اول به ۰/۲۳ در تیمار دوم و ۰/۵۳ میلی‌گرم بر لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک در تیمار سوم رسیده است.



شکل شماره (۴): نمودار تغییرات نرخ پالایش و نرخ جذب نیتروژن در سه تیمار

(ب) بررسی میزان پالایش (نرخ فیلتراسیون) فسفر از محیط توسط صدف آنودونتا: نتایج مربوط به نرخ پالایش فسفر با صدف آنودونتا در شکل شماره (۵) آورده شده است. همان‌طور که در شکل شماره (۵) مشاهده می‌شود در هر سه تیمار با گذشت زمان از نرخ پالایش فسفر با صدف آنودونتا کاسته شده به طوری که در تیمار اول و در بار اول نمونه‌برداری از ۶/۴۴ به ۵/۸۵ در بار دوم نمونه‌برداری رسیده و در بار سوم به ۴/۵۴ میلی‌لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک کاهش نشان داد.

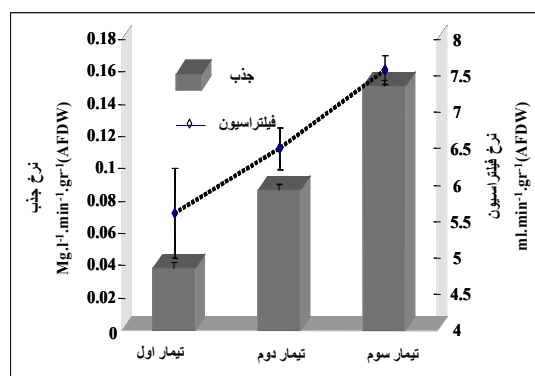
در تیمار دوم از ۷/۰۶ در بار اول نمونه‌برداری به ۶/۵۲ در بار دوم و ۵/۹۲ میلی‌لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک در بار سوم نمونه‌برداری رسید. در تیمار سوم نیز همانند تیمارهای قبلی روند کاهشی داشته و از ۷/۹۴ در بار اول نمونه‌برداری به ۷/۵۲ در

هر گرم وزن خشک بود. همچنین در مورد نرخ جذب نیتروژن و فسفر به ترتیب در تیمار اول (۰/۱۷، ۰/۰۳) و در تیمار دوم (۰/۲۳، ۰/۰۸) و در تیمار سوم (۰/۵۳، ۰/۱۵) میلی گرم بر لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک بود. در مخزن شاهد که در آن مطابق مراحل عبور و توقف در ظروف حاوی صدف آب جاری یا متوقف می شد، هیچگونه اختلافی در ورودی و خروجی مشاهده نشد. این مطلب مؤید این است که فسفر و نیتروژن جذب دیواره ها نشده و در ظرف دارای موجود زنده به تمامی جذب صدف شده اند.

بحث و نتیجه گیری

امروزه یکی از روشهای بسیار مؤثر و رایج برای حذف مواد محلول و بخصوص ترکیبات نیتروژنه و فسفات، استفاده از فیلترهای زیستی است. ایده استفاده از نرم تنان آب شیرین برای پالایش مواد غذایی از پساب مطرح کردند (Guillard & Ryther, 1962). فیلتراسیون مواد از آب یکی از خصوصیات ذاتی هر گونه نرم تن است. برای تعیین نرخ فیلتراسیون از کاهش نمایی ذرات (یعنی اختلاف غلظت نیتروژن و فسفر ورودی و خروجی هر ظرف) استفاده شد. بر طبق نتایج به دست آمده در مورد پالایش نیتروژن با صدف آنودونتا، نرخ پالایش در هر سه تیمار با گذشت زمان کاهش یافته، به طوری که در تیمار اول از ۶/۷۱ به ۶/۴۴، در تیمار دوم از ۷/۴ به ۶/۹۵ و در تیمار سوم از ۸/۲۷ به ۷/۱ میلی لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک رسیده است. این نتایج به دو علت یکی کاهش تقاضای صدف نسبت به مواد موجود با گذشت زمان و دیگری کاهش غلظت اولیه مواد است که نتایج به دست آمده در این بررسی گواه این موضوع است. بدن موجود زنده از جمله صدفها به دلیل وجود سیستم خودتنظیمی منفی و ظرفیت خاص برای هر ماده ای ابتدا نیاز آنها زیاد و بعد از گذشت زمان کم می شود شایان ذکر است سیستم خودتنظیمی صدفها را وادار به جذب نکردن می کند و واکنش منفی (پالایش نکردن) نشان می دهد (Jorgensen, 1990). بدیهی است بخشی از موادی که به صورت غیر انتخابی جذب شده اند وارد سوخت و ساز جانور شده و بقیه آن طی مراحل دیگری دفع خواهند شد. این مورد در مطالعه حاضر اندازه گیری نشده است. نرخ پالایش نیتروژن در بین تیمارها دارای اختلاف معنی داری است و از ۶/۵۳ در تیمار اول به ۸/۰۷ میلی لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک در تیمار سوم رسیده است و نشان می دهد که با افزایش غلظت نیتروژن در محیط، پالایش آنها افزایش می یابد. همچنین درصد جذب نیتروژن در غلظت های مختلف با هم اختلاف معنی داری داشته و از ۱۵ درصد در تیمار اول به ۱۸ درصد در تیمار سوم رسیده است و نشان دهنده این است که با افزایش غلظت نیتروژن درصد جذب هم بالا می رود.

غلظت اولیه فسفر از ۶۰/۰۵ به ۴۹/۴۶ میلی گرم بر لیتر رسیده و در نوبت دوم نمونه برداری، غلظت فسفر از ۵۴/۵۳ به ۴۵/۳۸ میلی گرم بر لیتر کاهش یافت و در نوبت سوم نمونه برداری غلظت اولیه فسفر از ۴۹/۲۷ به ۴۱/۲۳ میلی گرم بر لیتر رسید. اختلافاتی بین غلظت های خروجی بین تیمارها و دفعات نمونه برداری وجود داشت که این اختلافات در بین تیمارها معنی دار بود. درصد جذب هم بین ۱۴/۵ درصد تا ۱۷/۵ درصد بود که بین تیمارها اختلافات معنی داری داشت. بیشترین درصد جذب در تیمار سوم (غلیظ) مشاهده شد و نشان می دهد که با افزایش غلظت فسفر درصد جذب آن هم با صدف آنودنتا بیشتر می شود. (بار اول به بار دوم: $t=0.01, p>0.05$ بار دوم به بار سوم: $t=0.00, p>0.05$) (تیمار اول به تیمار دوم: $t=15/46, p<0.05$ تیمار دوم به سوم: $t=9.98, p<0.05$). با توجه به شکل شماره (۶) مشاهده شد که با افزایش در غلظت فسفر، نرخ پالایش و جذب آن افزایش یافته به طوری که در تیمار اول، نرخ پالایش از ۵/۱۶ به ۶/۵ میلی لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک در تیمار دوم رسیده و در تیمار سوم این میزان به ۷/۵۸ میلی لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک افزایش نشان داد.



شکل شماره (۶): نمودار تغییرات نرخ پالایش و جذب فسفر در هر سه تیمار

در مورد نرخ جذب نیز وضع به همین منوال می بود و از ۰/۰۳ در تیمار اول به ۰/۰۸ در تیمار دوم و به ۰/۱۵ میلی گرم بر لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک در تیمار سوم رسید. با مقایسه بین نرخ پالایش و جذب نیتروژن و فسفر می بینیم که در این صدف مقادیر نرخ پالایش و جذب نیتروژن بیشتر از فسفر بود به طوری که نرخ پالایش نیتروژن در تیمار اول ۶/۵۳ بوده و نرخ پالایش فسفر در تیمار اول ۵/۶۱ میلی لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک است به همین منوال نرخ های پالایش نیتروژن و فسفر در دو تیمار دیگر به ترتیب (۶/۵، ۷/۱۵) و (۷/۵۸، ۸/۰۷) میلی لیتر بر دقیقه به ازای

جدول شماره (۳): میانگین غلظت های خروجی و درصد جذب شده فسفر در سه تیمار

تیمارها				دفعات نمونه برداری			
غلظت اولیه		بار اول	درصد جذب شده	بار دوم	درصد جذب شده	بار سوم	درصد جذب شده
۶۰/۰۵	میانگین	۴۹/۴۶	%۱۷/۵	۴۵/۳۸	%۱۰	۴۱/۲۳	%۹
	انحراف معیار	۰/۳۶		۰/۳۴		۰/۲	
۴۰/۰۹	میانگین	۳۳/۷۴	%۱۶	۳۰/۹۲	%۹	۲۷/۶	%۷
	انحراف معیار	۰/۲۲		۰/۲۳		۰/۳	
۲۰/۰۳	میانگین	۱۷/۱۱	%۱۴/۵	۱۵/۶۴	%۸	۱۴/۳۷	%۶/۵
	انحراف معیار	۰/۱۳		۰/۳۱		۰/۳	

(واحد غلظت اولیه و خروجی بر حسب میلی گرم بر لیتر است.)

صاف می‌تواند ۸۷ درصد از نیتروژن و ۶۰ درصد از فسفر را از توده آب جذب کند (Kerciku et al., 1999).

با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق که حاکی از دارا بودن توانایی نسبتاً خوب تصفیه‌ای این صدف است، می‌توان از آن جهت کنترل زیستی و کاهش بار آلودگی ترکیبات نیتروژنه و فسفات‌ها در دریاچه‌های یوتروف، استخرها و سیستم‌های فاضلاب استفاده کرد. این مطالعات همچنین یادآور می‌شوند که قدرت جذب آلاینده توسط صدف آنودونتا سیگنه محدود بوده و ممکن است دامنه تحمل آن نیز در شرایط آلودگی بسیار بالا کاهش یابد. بهر حال نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که می‌توان جوامعی از صدف را برای پالایش ابتدایی و به صورت کاربردی در پساب‌های سبک مورد استفاده قرار داد.

برای دستیابی به نتایج بهتر پیشنهاد می‌شود تحقیقاتی در مورد نرخ فیلتراسیون این گونه مواد آلاینده با گونه‌های دیگر، با غلظت‌های مختلف و همچنین تغییر عوامل دیگر از جمله درجه حرارت صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از جناب آقای دکتر حمید علیزاده، معاون پژوهشی مرکز ملی اقیانوس‌شناسی ایران که در انجام هرچه بهتر این تحقیق از هیچ گونه کمکی دریغ نفرمودند قدردانی می‌شود.

یادداشت‌ها

- 1-Gut passage time
- 2-Crassostrea Virginia
- 3-Corbicula japonica
- 4- Dreissena polymorpha
- 5-Polish

مطالعاتی که روی صدف آنودونتا سیگنه آ در سال ۱۳۸۵ انجام شده نشان می‌دهد که رابطه مستقیمی بین افزایش غلظت نیتروژن و نرخ پالایش آن با صدف وجود دارد (جندقی، ۱۳۸۵). همچنین نتایج ما با نتایج به دست آمده در مورد کراسوسترا ورجینیکا^۲ در سال ۲۰۰۳ مطابقت دارد (Mugg Pietros & Rice, 2003).

مطالعاتی در مورد صدف کوریبیکولا جاپونیکا^۳ صورت گرفته، نشان می‌دهد که این گونه می‌تواند ۸۷ درصد نیتروژن موجود در محیط را هنگامی که یوتریفیکاسیون رخ می‌دهد، جذب کند و موجب کاهش بار آلی محیط شود (Kerciku, et al., 1999). نتایج به دست آمده در مورد کاهش غلظت فسفر با صدف آنودونتا مؤید این مطلب است که در اینجا نیز، در هر سه تیمار به مرور زمان، نرخ پالایش فسفر کاهش می‌یابد. به طوری که از ۶/۴۴ به ۴/۵۴ در تیمار اول، از ۷/۰۶ به ۵/۹۲ در تیمار دوم و از ۷/۹۴ به ۷/۲۹ میلی‌لیتر بر دقیقه به ازای هر گرم وزن خشک در تیمار سوم رسیده است. درصد جذب فسفر و نرخ پالایش در بین تکرارها اختلاف معنی‌داری ندارند ولی اختلافات موجود بین تیمارها معنی دار بوده و رابطه مستقیمی بین آنها و افزایش غلظت فسفر وجود دارد (جندقی، ۱۳۸۵; Mugg Pietros & Rice, 2003). با مقایسه بین نرخ پالایش و درصد جذب نیتروژن و فسفر در این صدف مشخص می‌شود که نرخ پالایش و درصد جذب نیتروژن بیشتر از فسفر بوده است. تحقیقات انجام شده روی صدف دریسنا پلی مورف^۴ در دریاچه پولیش^۵ نشان می‌دهد که این صدف بر چرخه و غلظت نیتروژن و فسفر در ستون آب اثر می‌گذارد و ۵۰ تا ۸۰ درصد از نیتروژن و ۴۰ درصد فسفر را فیلتر می‌کنند (Holland, et al., 1995). تحقیقات انجام شده بر روی صدف کوریبیکولا جاپونیکا مؤید این مطلب است و نشان می‌دهد که این

منابع مورد استفاده

- جوانشیر، آ.، جندقی، م. ۱۳۸۵. بررسی توانایی صدف دوکفه‌ای *Anodonta cygnea* و جلبک‌های *Chlorella sp* و *Scenedesmus sp* در جذب فسفات و نیترات محلول در فاضلاب (در سیستم بسته). فصلنامه محیط زیست، زمستان ۸۵ ص ۴۵-۵۳.
- جندقی، م. ۱۳۸۵. بررسی توانایی صدف *Anodonta cygnea* در کاهش غلظت فسفات و نیترات در فاضلاب شهری. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته علوم محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات: ص ۶۰-۶۲.
- روشن طبری، م. ۱۳۷۹. گزارش هیدرولوژی و هیدروبیولوژی و هیدروشیمی آبهای ساحلی ایران. حوضه جنوبی دریای خزر، انتشارات مرکز تحقیقات شیلاتی دریای مازندران. گزارش طرح ۸۰ صفحه.
- صبحانی، ش. و خیردوش، ف. ۱۳۸۲. اصول آزمایشگاهی آب و فاضلاب. انتشارات طاق بوستان: ۱۲۶ صفحه
- غنی زاده اردی، ق. ۱۳۷۸. بررسی حذف مواد آلی و مغذی از فاضلاب شهری در راکتور ناپیوسته متوالی و محیط گرانول کربن فعال. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس: ص ۱۳-۱۵.
- Clesceri, L.S., E., Greenberg, and A.D., Eaton. 1999. Standard method for the examination of water and wastewater. American public health association; 20 th edition. 1325pp.
- Guillard, R.R.L. and J.H., Ryther. 1962. Studies of marine planktonic diatoms. Can.J. Microbiol., 8, 229-239.
- Holland, R.E., T.H., Gohengen, and A.M., Beeton. 1995. Trends in nutrient Concentrations in Hatchery Bay, Western Lake Erie, before and after *Dreissena polymorpha*. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52, pp: 1202-1209.
- Javanshir, A. 2001. Influence of *Labratrema minimus* (Trematoda: Digenea) on filtration rate performance of edible cooke *Cerastoderma edule* in the extreme temperature & salinity conditions (An Invitro Experiment). Iranian Journal of Fisheries Sciences, 3(2), 73-94.
- Jorgensen, C.B. 1990. Bivalve filter feeding: hydrodynamics, bioenergetics, physiology and ecology. Olsen & Olsen, Fredensborg, 140p
- Kerciku, F., Y., Nakamura, & I., Tetsunori. 1999. Metabolism rate of *Corbicula japonica* and its significant in maternal cycling in a Brackish lake. Kyushu University, Hakozaki 6-10-1 Fukuoka.
- Kiibus, M., & N., Kautsky. 1996. Respiration, nutrient excretion and filtration rate of tropical freshwater mussels and energy flow in Lake Karib. Zimbabwe Dep. Ecol. Hydro. Stock. Uni. Vol. 30, pp: 128-130.
- Lie, J. 1993. Estimation of filtration rate of Zebra mussel. Published by the zebra mussel research program, pp: 1-3.
- Mugg Pietros, J., & M.a., Rice. 2003. The impacts of aquacultured oyster, *Crassostrea virginica* on water column nitrogen and sedimentation: results of a mesocosm study. Elsevier Science. Aquaculture 220, pp: 407-422.
- Tran, D.P., et al. 2003. Estimation of potential and limit of bivalve closure response to detect contamination: application to cadmium. Environ. Toxicol. Chem. 22, 116-122