Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics

Online ISSN: 2345-427X
Print ISSN: 2345-4288

Study on biological function of oyster (*Anodonta cygnea*) in reducing chlorpyrifos organophosphate pesticide from aquatic environment

Mahboobeh Mirzaei[1], Arash Javanshir Khoei[*2], Kiadokht Rezaei[3], Soheil Eagderi[4]

1. M.Sc. of Aquatic Ecology of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mahboobe.mirzaei@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: arashjavanshir@ut.ac.ir
3. Ph.D. Student, Aquatic Ecology of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: kia.rezaie@ut.ac.ir
4. Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: soheil.eagderi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 04.18.2022
Revised: 05.07.2022
Accepted: 05.24.2022

Keywords:
Anodonta cygnea,
Bioremediation,
Chlorpyrifos,
Contamination,
Pesticide

ABSTRACT

In nowadays world, the extensive use of pesticides to control agricultural pests and their entry into water resources is a threat to aquatic ecosystems. In this study, reduction of Chloriprifos organophosphate pesticide from aqueous environment was investigated by bioremediation method by *Anodonta cygnea* oyster as a bio filter. During a period of 12 days, 3 treatments with 3 replications were exposed to 3 different concentrations of pesticide, 30, 20, 15 mg/l. and indices of toxin concentration, light absorption, water pH and oyster filtration rate were measured to determine the reduction of toxin concentration. At the end of the experiment, the amount of pesticide concentration for treatments with concentrations of 30, 20 and 15 mg/L pesticides were 19 ± 0.1, 4.6 ± 0.153, 3 ± 0.133, with a reduction efficiency of 36.67%, 76.83%, 100% respectively. Percent, light absorption rate 0.44 ± 0.001, 0.011 ± 0.002, 0.000 ± 0.000 with a reduction efficiency of 38.04%, 77.75%, 100% and a pH of 7.53, 99.7, 6.8 were estimated. Filtration rate for treatments with concentrations of 30 and 20 mg/L pesticides decreased and for treatment with 15 mg/L pesticide concentration had an increasing trend. There was a significant difference between changes in toxin concentration, light absorption miran and filtration rate at the beginning and end of the experiment ($P<0.05$). *Anodonta cygnea* species as a suitable bioremediator for the removal of chlorpyrifos pesticides in agricultural wastewater treatment systems or contaminated natural water environments is recommended, however, further studies are needed in this area.

Cite this article: Mirzaei, Mahboobeh, Javanshir Khoei, Arash, Rezaei, Kiadokht, Eagderi, Soheil. 2022. Study on biological function of oyster (*Anodonta cygnea*) in reducing chlorpyrifos organophosphate pesticide from aquatic environment. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 11 (3), 69-83.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/japu.2022.20125.1647
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان

شاپا آنلاین: ۲۳٤٥-٤۲۷X
شاپا چاپی: ۲۳٤٥-٤۲۸۸

مطالعه عملکرد زیستی صدف (*Anodonta cygneta*) در کاهش آفت‌کش ارگانوفسفره کلرپیریفوس از محیط آبی

محبوبه میرزایی[۱]، آرش جوانشیر خوئی*[۲]، کیادخت رضایی[۳]، سهیل ایگدری[٤]

۱. کارشناسی‌ارشد بوم‌شناسی آبزیان شیلاتی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mahboobe.mirzaei@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: arashjavanshir@ut.ac.ir
۳. دانشجوی دکتری بوم‌شناسی آبزیان شیلاتی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: kia.rezaie@ut.ac.ir
٤. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: soheil.eagderi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۱/۲۹
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۱/۰۲/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۳/۰۳

واژه‌های کلیدی:
آفت‌کش،
آلودگی،
تصفیه زیستی،
کلریفوس،
Anodonta cygnea

چکیده

در دنیای امروزه استفاده گسترده بشر از آفت‌کش‌ها جهت کنترل آفات کشاورزی و ورود آن‌ها به منابع آبی یک عامل تهدیدکننده برای اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شود. در این مطالعه کاهش آفت‌کش ارگانوفسفره کلرپیریفوس از محیط آبی با روش تصفیه زیستی به‌وسیله صدف *Anodonta cygnea* به عنوان یک فیلترکننده زیستی بررسی گردید. در طی یک بازه زمانی دوازده روزه، سه تیمار با سه تکرار در مواجهه با سه غلظت متفاوت آفت‌کش ۳۰، ۲۰ و ۱۵ میلی-گرم در لیتر قرار گرفتند. و شاخص‌های میزان غلظت سم، میزان جذب نور، pH آب و نرخ فیلتراسیون صدف جهت تعیین کاهش غلظت سم اندازه‌گیری شدند. در پایان دوره آزمایش میزان غلظت آفت‌کش به ترتیب برای تیمارهای با غلظت ۳۰، ۲۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش ۰/۱ ± ۱۹، ۰/۱۵۳ ± ٤/٦، ۰/۱۳۳ ± ۳ با درصد راندمان کاهش ۳٦/٦۷ درصد، ۷٦/۸۳ درصد، ۱۰۰ درصد، میزان جذب نور ۰/۰۰۱ ± ۰/٤٤، ۰/۰۰۲ ± ۰/۰۱۱، ۰/۰۰۰ ± ۰/۰۰۰ با درصد راندمان کاهش ۳۸/۰٤ درصد، ۷۷/۷۵ درصد، ۱۰۰ درصد و میزان pH، ۷/۵۳، ۷/۹۹، ۸/٦ برآورد گردید. نرخ فیلتراسیون برای تیمارهای با غلظت ۳۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش روندی کاهشی و برای تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش روندی افزایشی داشت. بین تغییرات غلظت سم، میزان جذب نور و نرخ فیلتراسیون در آغاز و پایان آزمایش تفاوت معنی‌داری یافت شد ($P<۰/۰۵$). گونه *Anodonta cygnea* به عنوان یک پالایشگر زیستی مناسب جهت حذف آفت‌کش کلرپیریفوس در سیستم‌های تصفیه پساب‌های کشاورزی یا محیط‌های آبی طبیعی آلوده شده پیشنهاد می‌گردد با این وجود مطالعات بیش‌تری در این زمینه لازم می‌باشد.

استناد: میرزایی، محبوبه، جوانشیر خوئی، آرش، رضایی، کیادخت، ایگدری، سهیل (۱۴۰۱). مطالعه عملکرد زیستی صدف (*Anodonta cygneta*) در کاهش آفت‌کش ارگانوفسفره کلرپیریفوس از محیط آبی. *نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان*، ۱۱ (۳)، ۸۳-۶۹.
DOI: 10.22069/japu.2022.20125.1647

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

براساس مطالعاتی که (۱) انجام داده‌اند آفت‌کش‌ها یک بخش جدایی‌ناپذیر از فعالیت‌های کشاورزی پیشرفته می‌باشند. یک نمونه از آفت‌کش‌هایی که بعد از جنگ جهانی اول به‌طور گسترده مورد استفاده کشاورزان قرار گرفته‌اند و جهت کنترل حشرات و آفات استفاده می‌شوند، آفت‌کش‌های ارگانوفسفره می‌باشند (۲)، این آفت‌کش‌ها در صورت اتصال به رسوبات و مواد معلق به آسانی براثر شست‌وشو وارد پیکره‌های آبی می‌شوند، در نتیجه با وارد شدن در چرخه اکوسیستم‌ها اثرات مخربی بر روی اکوسیستم‌ها برجای می‌گذارند (۳). از عمده دلالیل خطرناک بودن آفت‌کش‌های ارگانوفسفره می‌توان به ماندگاری، پایداری و سمیت آن‌ها اشاره‌کرد (٤). کلرپریفوس یکی از آفت‌کش‌های ارگانوفسفره می‌باشد که برای حشرات، پرندگان، پستانداران، باکتری‌ها، آبزیان و گونه‌های خاصی از جلبک‌ها به شدت سمی و خطرناک است (۵). از نخستین تغییرات ظاهری ناشی از اثرات آفت‌کش کلرپیریفوس بر روی آبزیان می‌توان به شنای غیرعادی اشاره کرد (٦). بر اساس مطالعات انجام گرفته غلظت کشنده این آفت‌کش برای قزل‌آلای دریاچه‌ای ۹۸ گرم در بیلیون (۷) و برای ماهی گوپی ۱۷٦ گرم در بیلیون می‌باشد (٦ و ۸) به اثرات نامطلوب آفت‌کش کلرپیریفوس برای ماهیان آب شیرین و سایر موجودات آبزی اشاره کرده‌اند و نیز بیان داشته‌اند که این آفت‌کش قادر به تجمع در بدن آبزیان می‌باشد، در نتیجه می‌تواند بر روی مصرف‌کننده نهایی یعنی انسان اثرات ثانویه داشته باشد (۹). آفت‌کش‌های ارگانوفسفره از جمله کلرپیریفوس جزء مهم‌ترین و پراستفاده‌ترین آفت‌کش‌های مورد استفاده در کشور ایران می‌باشند (۱۰). به دلیل افزایش روند تولید و استفاده از سموم ارگانوفسفره، افزایش نگرانی‌ها به علت توانایی این سموم در ایجاد آسیب‌های جدی و آلودگی برای انسان و موجودات حیات وحش غیرهدف، استفاده گسترده از آن‌ها در بخش کشاورزی، جذب و ماندگاری این آفت‌کش‌ها در خاک و ورود آن‌ها به محیط آبی به وسیله روان‌آب‌های کشاورزی تصفیه آن‌ها لازم و ضروری به نظر می‌رسد (۱۱). به علت پرهزینه بودن بسیاری از روش‌های تصفیه (۱۲)، به صورت تصفیه فیزیکی و مکانیکی (۱۳)، مانند روش‌های ازن زنی، هیدروژن پراکسید، فنتون، کواگولاسیون (١٤). تصفیه زیستی به‌وسیله بیواندیکارتورهای زیستی از جمله دوکفه‌ای‌ها توصیه می‌شود (۱۵). امروزه از برخی از گونه‌های آبزی جهت پایش محیط‌های آبی از آلودگی‌ها استفاده می‌شود که از میان آن‌ها می‌توان به بی‌مهرگان آبزی از جمله دوکفه‌ای‌های آبزی اشاره نمود (١٦). موجودات دوکفه‌ای به علت داشتن ویژگی‌های خاصی به‌عنوان بیواندیکاتور و تصفیه‌کننده‌های زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند که از جمله آن‌ها می‌توان به طول عمر طولانی، پراکنش گسترده و تراکم مناسب، مقاومت بالا در برابر آلودگی‌ها (۱۷) و خصوصیت فیلترکنندگی و غیرمتحرک بودن آن‌ها اشاره کرد (۱۸). صدف دوکفه‌ای *Anodonta* cygnea بزرگ‌ترین صدف دوکفه‌ای آب شیرین از خانواده *Unionidae* می‌باشد (۱۹). در مطالعه‌ای که محمودی و همکاران (۱۳۹۰) بر روی پایش زیستی هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی در سواحل استان بوشهر با استفاده از دوکفه‌ای *Barbarian helblingii* به‌عنوان پالایشگر زیستی انجام دادند بیان داشته‌اند که دوکفه‌ای *Barbarian helblingii* گونه مناسبی برای پایش زیستی هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای می‌باشد (۲۰). در مطالعه‌هایی (۲۱) بیان داشته‌اند که دوکفه‌ای *Corbicula fluminea* به‌عنوان یک پالایشگر زیستی مناسب در پساب‌های غنی از فلزات سنگین عمل می‌کند (۲۲). در آزمایشی نشان داده‌اند که مواجهه

شدن صدف دوکفه‌ای آب‌شیرین با غلظت‌های حاد فلزات سنگین موجب ایجاد آشفتگی در نرخ فیلتراسیون آن‌ها می‌شود. به‌طورکلی، کاهش نرخ فیلتراسیون توسط دوکفه‌ای‌ها در برابر آلودگی‌های محیطی، یک سازگاری رفتاری می‌باشد که دوکفه‌ای‌ها برای جلوگیری از آسیب‌های فیزیولوژیک بعدی ایجاد شده توسط آلودگی‌ها از خود نشان می‌دهند (۲۳). با توجه به استفاده گسترده از آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در مزارع کشاورزی، فراوانی بالای دوکفه‌ای *Anodonta cygnea* در مناطق آبی ساحلی که محل تخلیه آلاینده‌ها در محیط‌های آبی می‌باشند، قابلیت دسترسی و نگهداری آسان و مقاومت بالای دوکفه‌ای *Anodonta cygnea* در برابر بسیاری از آلاینده‌ها، مطالعه حاضر به‌منظور بررسی میزان توانایی دوکفه‌ای *Anodonta cygnea* در تصفیه آفت‌کش کلرپیریفوس و تعیین میزان تقریبی غلظتی از آفت‌کش کلرپیریفوس که دوکفه‌ای *Anodonta cygnea* قادر به فیلتراسیون و تصفیه در آن غلظت می‌باشد طراحی گردید.

مواد و روش‌ها

تهیه آفت‌کش: برای انجام این آزمایش آفت‌کش کلرپیریفوس مایع با وزن مولکولی ۳۵۰/۸۹ گرم بر مول [۱۵] با ماده مؤثره ۴۰۸ گرم بر لیتر با درصد خلوص ۹۹/۵ درصد از نمایندگی‌های شرکت کشاورزی الوند تهیه گردید. دلیل انتخاب آفت‌کش کلرپیرفوس میزان مصرف بالای آن توسط کشاورزان می‌باشد (۱۰).

نمونه‌برداری از صدف‌ها: گونه *Anodonta cygnea* به تعداد مورد نیاز در شهریورماه ۱۳۹۵ از مصب رودخانه تجن (منطقه سمسکنده شهرستان ساری) جمع‌آوری شدند و به آزمایشگاه لیمونولوژی و هیدروبیولوژی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انتقال داده شدند. صدف‌ها به منظور رفع استرس و سازگاری با شرایط آزمایشگاه در مخازن فایبرگلاس حاوی آب شهری کلرزدایی شده با درجه حرارت ۲۷ درجه سانتی‌گراد و pH (۵/۷–۸) به‌مدت یک ماه نگهداری شدند.

روش کار: در طی آزمایش صدف‌ها به مدت دوازده روز، در شرایط نوری بسیار ضعیف در آکواریوم‌هایی با حجم ۱۲ لیتر آب در حال گردش و بدون تغذیه در آزمایشگاه لیمنولوژی و هیدروبیولوژی دانشگاه تهران نگهداری شدند. آب مورد استفاده در این آکواریوم‌ها آب شهری کلرزدایی شده بود. در این مطالعه آکواریوم‌هایی به ابعاد ۳۰×۲۵×۲۰ سانتی‌متر به عنوان سه تکرار استفاده گردید. این آکواریوم‌ها به گونه‌ای طراحی شده بودند که آب دائماً در آن‌ها در حال گردش بود. برای ایجاد گردش آب از پمپ الکتریکی با سرعت ۷۰۰ لیتر در ساعت استفاده گردید. برای هر کدام از آکواریوم‌ها بستری از ماسه تهیه شد و در هر کدام از آکواریوم‌ها صدفی با میانگین وزن زنده ۱۴۶ گرم قرار داده شد. براساس مطالعات قبلی صورت گرفته در ارتباط با میزان حضور سم در محیط (۱۰) و تعیین غلظت کشنده این آفت‌کش برای آبزیان (۵) و تغییرات نرخ فیلتراسیون در صدف دوکفه‌ای آب شیرین بعد از مواجهه با غلظت‌های مختلف سموم (۲۲) در این آزمایش از غلظت‌های ۳۰، ۲۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش استفاده گردید. نمونه‌برداری‌ها بعد از گردش و مخلوط شدن کامل آب و آفت‌کش کلرپیریفوس در سیستم بیودراف، بلافاصله شروع شد و طی یک دوره دوازده روزه ادامه یافت. شایان ذکراست که در روز اول نمونه‌برداری، در طی یک بازه شش ساعته به فاصله هر یک ساعت یکبار انجام گرفت. در طی این نمونه‌برداری‌ها غلظت آفت‌کش کلرپیریفوس، مقدار pH آب، جذب نور و نرخ فیلتراسیون به عنوان شاخصی جهت تعیین کاهش مقدار سم در آب اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری غلظت باقی‌مانده آفت‌کش موجود در نمونه‌های آب و تعیین میزان جذب نور در نمونه‌ها: برای اندازه‌گیری غلظت آفت‌کش و جذب نور از روش رنگ‌سنجی و دستگاه اسپکتروفتومتر UV/Vis مدل ۲۱۰۰ ساخت UNICO آمریکا استفاده گردید. کووت مورد استفاده از جنس کوارتز بود. روش کار به این ترتیب بود که ابتدا ۱ میلی‌لیتر پتاسیم هیدروکسید الکلی ۱ نرمال به ۱ میلی‌لیتر نمونه آب حاوی مقدار نامشخصی از آفت‌کش کلرپیریفوس اضافه گردید. سپس ۱۰ میلی‌لیتر پتاسیم برومات ۰/۱ نرمال به آن اضافه شد. ۰/۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱ نرمال و ۲ میلی‌لیتر آب مقطر دو بار تقطیر نیز به محتویات قبلی اضافه شد، با گذشت زمان رنگ زرد متمایل به نارنجی به‌دست می‌آید، در نهایت در طول موج ٤٥٠ نانومتر و پس از مدت زمان ۵ دقیقه جذب نور محلول محاسبه گردید. غلظت مربوط به هر میزان جذب نور از روی یک نمودار استاندارد مشخص گردید (٢٤).

اندازه‌گیری نرخ فیلتراسیون در صدف‌ها: جهت محاسبه نرخ فیلتراسیون در صدف‌ها از رابطه ۱ استفاده شد.

$$V_W = (V(Ln\ CT_0 - Ln\ CT_n)) / T*W \qquad (1)$$

که در آن، V_W میزان فیلتراسیون، V ($ml\ min^{-1}g^{-1}AFDW$)، حجم توده آبی، CT_0 (ml) غلظت آفت‌کش در زمان صفر، CT^n ($\mu\ g^{-1}$) غلظت آفت‌کش در زمان پایان دوره زمانی، T ($\mu\ g^{-1}$) زمان آزمایش بر حسب دقیقه و W وزن موجود بر حسب وزن خشک بدون خاکستر (g^2 ATDW) است (۲۵).

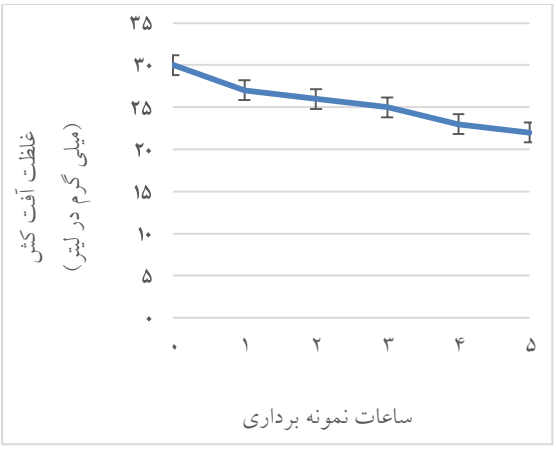
اندازه‌گیری میزان pH آب: از pHسنج دیجیتال (Hanna instruments، ایتالیا) استفاده گردید.

آنالیز آماری: همه آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. جهت تعیین معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌های پارامترهای مورد برررسی در تیمارها (غلظت آفت‌کش، جذبنور، نرخ فیلتراسین و pH آب)، از آزمون آماری One-Way ANOVA استفاده گردید. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL ترسیم شدند.

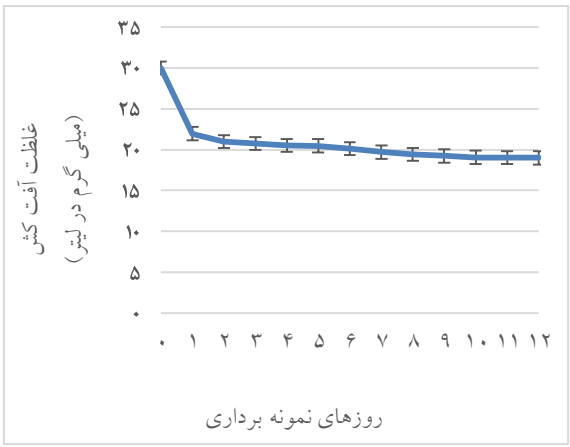
نتایج

غلظت آفت‌کش کلرپیریفوس: در تصفیه زیستی با تیمارهای با غلظت اولیه ۳۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش کلرپیریفوس در طول دوازده روز دوره آزمایش، به ترتیب غلظت در طول روز اول به میزان ۰/۱۵۳ ± ۲۲، ۰/۲۵۲ ± ۱۰/۵ میلی‌گرم در لیتر کاهش پیدا کرد که به عنوان غلظت‌های کمینه در طول روز اول ثبت گردیدند و راندمان کاهش این غلظت‌ها به‌ترتیب ۲٦/۷۸ و ٤۷/٦۷ درصد برآورد شدند. میانگین غلظت‌ها به ترتیب ۰/۱۷۵± ۲۵ و ۰/۲۱۰± ١٤ میلی‌گرم در لیتر ثبت شدند. براساس نتایج بین میزان ورودی به مخزن تیمارهای با غلظت اولیه ۳۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیترآفت‌کش و غلظت آن در روز اول تفاوت معنی‌داری یافت شد ($P<0/05$). روند تغییرات غلظت کلرپیریفوس در طول روز اول و دوازده روز دوره آزمایش در نمودارهای ۱ و ۲ برای تیمار با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش و نمودارهای ۳ و ٤ برای تیمار با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش نشان داده شده است. در آزمایش تصفیه زیستی با تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش، در طول دوازده روز دوره آزمایش، غلظت در طول دوره آزمایش (روز دوازدهم) به میزان ۰/۰۰۰± ۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش پیدا کرد که به‌عنوان غلظت کمینه در طول این دوره آزمایش ثبت

گردید و راندمان این کاهش غلظت و میانگین غلظت به ترتیب ۱۰۰ درصد و ۰/۱۳۳± ۳ میلی‌گرم درلیتر برآورد و ثبت شدند. براساس نتایج بین میزان ورودی به مخزن حاوی تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش و غلظت آن در روز دوازدهم تفاوت معنی‌داری یافت شد (P<۰/۰۵). روند تغییرات کلرپیریفوس در طول روز اول و دوازده روز دوره آزمایش برای تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش به ترتیب در نمودارهای ۵ و ٦ نشان داده شده است.

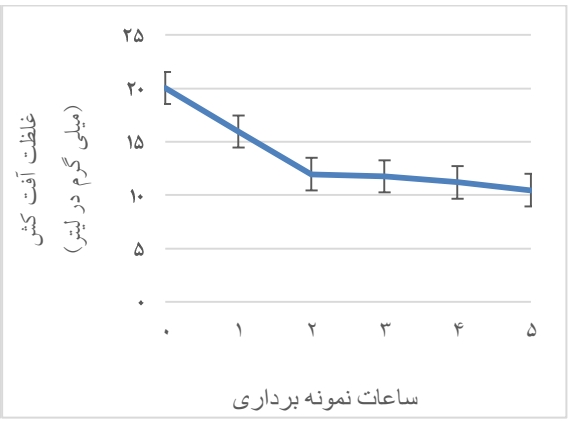


نمودار (۱)

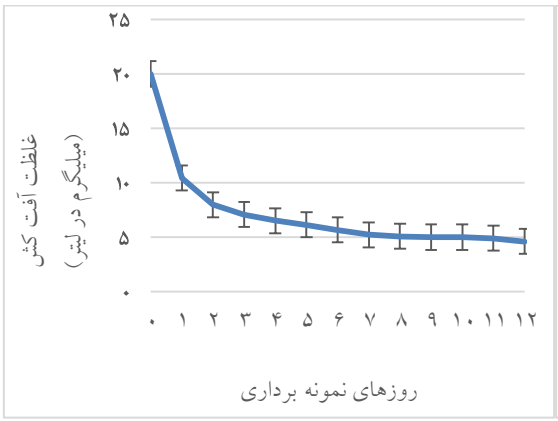


نمودار (۲)

نمودارهای ۱ و ۲- تغییرات غلظت آفت‌کش کلرپیریفوس برای تیمار با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش.

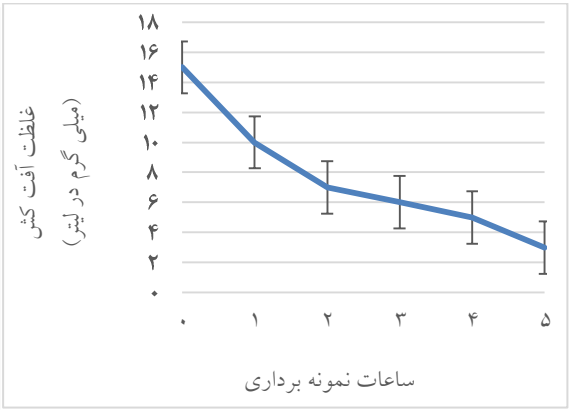


نمودار (۳)

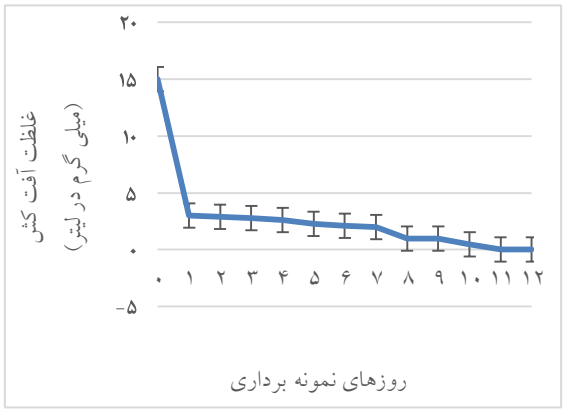


نمودار (٤)

نمودارهای ۳ و ٤- تغییرات غلظت آفت‌کش کلرپیریفوس برای تیمار با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش.



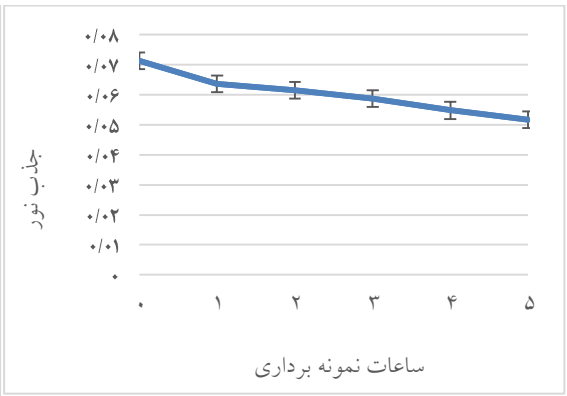
نمودار (۵)



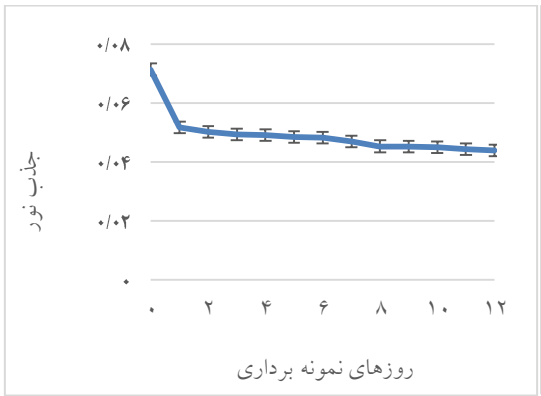
نمودار (٦)

نمودارهای ۵ و ٦- تغییرات غلظت آفت‌کش کلرپیریفوس برای تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش.

جذب نور: در آزمایش تصفیه زیستی در طول دوازده روز دوره آزمایش، در سه تیمار با غلظت‌های ۳۰، ۲۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش کلرپیریفوس، میزان جذب نور به ترتیب به میزان ۰/۰۰۲ ± ۰/۵۲، ۰/۰۲۵ ± ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۷ ±۰/۰۰۲ کاهش پیدا کرد، که به عنوان جذب نور کمینه در طی روز اول ثبت شد و راندمان کاهش آن‌ها به ترتیب ۲۷/۲۰، ٤۷/۷۸ و ۷۱/٦۷ درصد برآورد شد. بیشینه جذب نور در روز اول به ترتیب ۰/۰۰۳ ±۰/۷۱، ۰/۰۰۳ ± ۰/۰٤۸ و ۰/۰۰۳ ±۰/۰۳۳ محاسبه گردید و میانگین جذب نور به ترتیب ۰/۰۰۲ ± ۰/٦۰، ۰/۰۰۲ ± ۰/۰۳۲ و ۰/۰۰۲ ±۰/۱۷ ثبت شد. روند تغییرات جذب نور در روز اول و دوازده روز دوره آزمایش برای تیمار با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش در نمودارهای ۷ و ۸، تیمار با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش در نمودارهای ۹ و ۱۰ و تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش در نمودارهای ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. براساس نتایج بین تغییرات جذب نور در روز اول در سه تیمار اختلاف معنی‌داری یافت شد ($P < ۰/۰۵$).

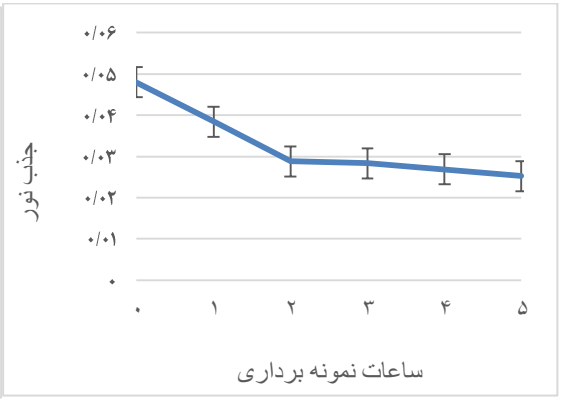


نمودار (۷)

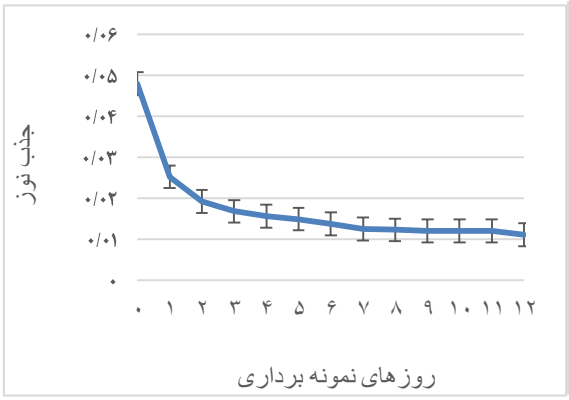


نمودار (۸)

نمودارهای ۷ و ۸- تغییرات جذب نور برای تیمار با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش.

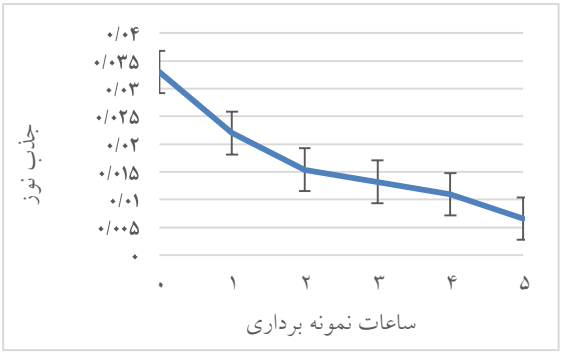


نمودار (۹)

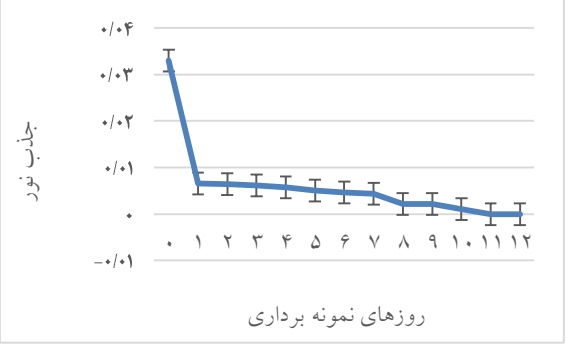


نمودار (۱۰)

نمودارهای ۹ و ۱۰- تغییرات جذب نور برای تیمار با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش.



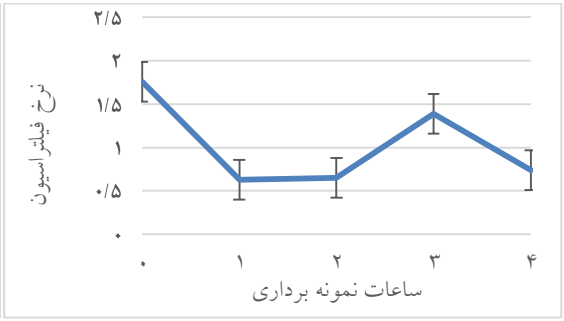
نمودار (۱۱)



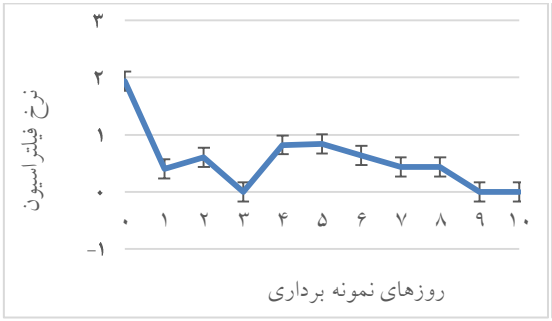
نمودار (۱۲)

نمودارهای ۱۱ و ۱۲- تغییرات جذب نور برای تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش.

نرخ فیلتراسیون: براساس نتایج روند تغییرات نرخ فیلتراسیون در سه تیمار با غلظت ۳۰، ۲۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش بعد از مواجهه با آفت‌کش کلرپیریفوس الگوی نامنظمی داشته است، ولی به طور کلی در طول دوره آزمایش در تیمارهای با غلظت ۳۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش یک روند کاهشی و در تیمار باغلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش، یک روند افزایشی داشته است. که این نتایج بیانگر آن است که فیلتراسیون صدف در غلظت‌های بالا (۳۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) نسبت به غلظت‌های پایین (۱۵ میلی‌گرم در لیتر) و در زمان‌های مختلف پس از مواجهه شدن متفاوت می‌باشد. به طور کلی تفاوت معنی‌داری در مقدار نرخ فیلتراسیون در هر سه تیمار مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). روند تغییرات نرخ فیلتراسیون در روز اول و دوازده روز دوره آزمایش برای تیمار با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش در نمودارهای ۱۳ و۱٤، تیمار با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش در نمودارهای ۱۵ و ۱٦ و غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش در نمودارهای ۱۷ و ۱۸ نشان داده شده است.

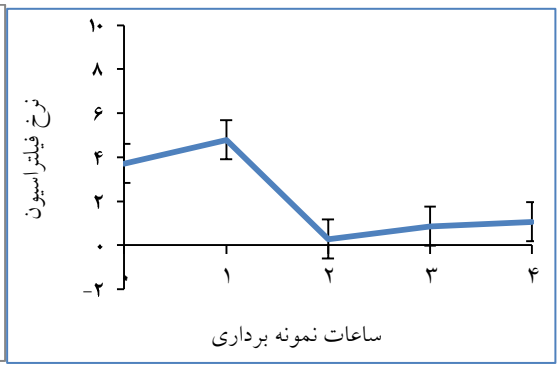


نمودار (۱۳)

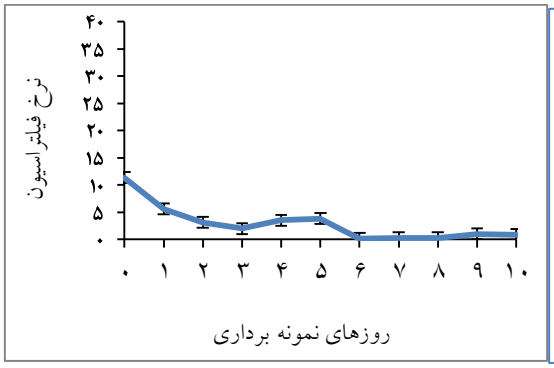


نمودار (۱٤)

نمودارهای ۱۳ و ۱٤- تغییرات نرخ فیلتراسیون برای تیمار با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش.

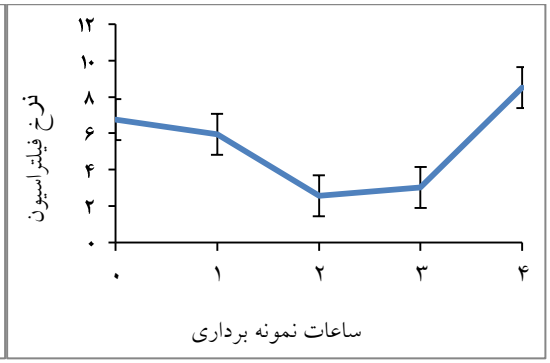


نمودار (۱۵)

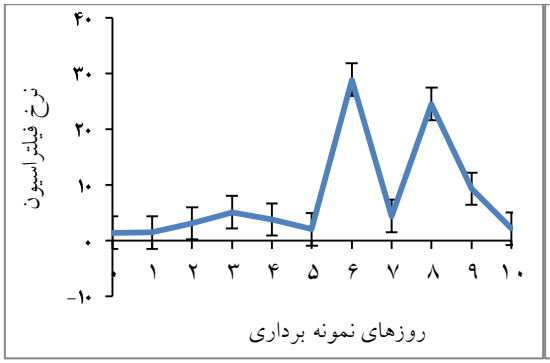


نمودار (۱٦)

نمودارهای ۱۵ و ۱٦- تغییرات نرخ فیلتراسیون برای تیمار با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش.



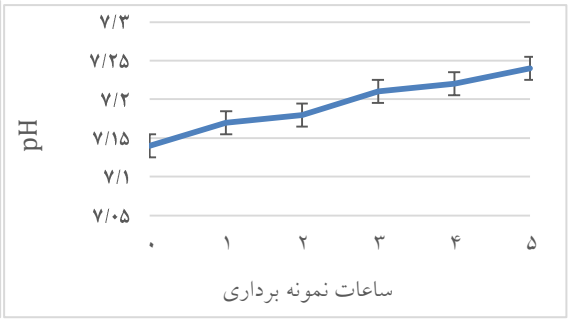
نمودار (۱۷)



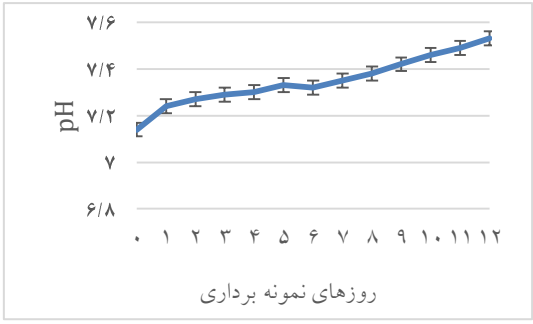
نمودار (۱۸)

نمودارهای ۱۷ و ۱۸- تغییرات نرخ فیلتراسیون برای تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش.

pH: میزان pH در طول دوازده روز دوره آزمایش، به‌ترتیب در تیمارهای با غلظت ۳۰، ۲۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش کلرپیریفوس (۷/۱۴–۷/۵۳)، (۷/۴۹–۷/۹۹) و (۷/۷۰– ۸/۶) ثبت گردید. همان‌طور که در نمودارها مشاهده می‌شود، روند تغییرات pH در هر سه تیمار در طول دوازده روز دوره آزمایش افزایشی می‌باشد. روند تغییرات pH در روز اول و دوازده روز دوره آزمایش برای تیمار با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش در نمودارهای ۱۹ و ۲۰، تیمار با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش در نمودارهای ۲۱ و ۲۲ و تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش در نمودارهای ۲۳ و ۲۴ نشان داده شده است.

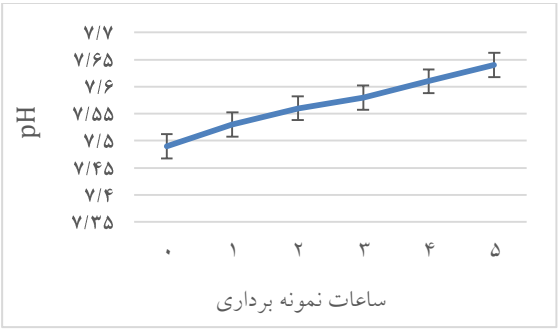


نمودار (۱۹)

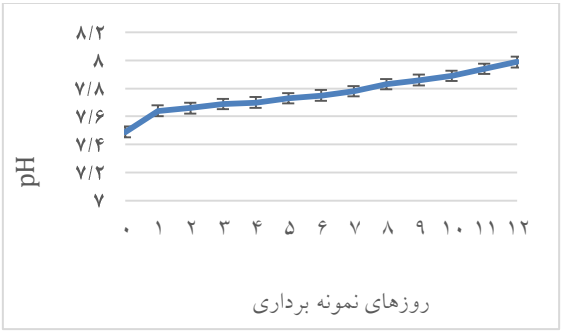


نمودار (۲۰)

نمودارهای ۱۹ و ۲۰- تغییرات pH برای تیمار با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش.

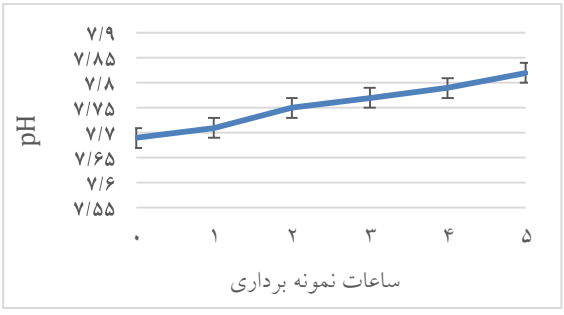


نمودار (۲۱)

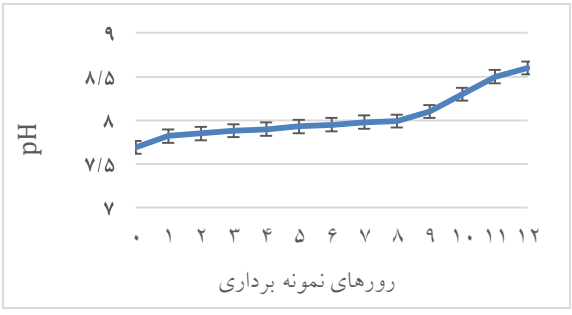


نمودار (۲۲)

نمودارهای ۲۱ و ۲۲- تغییرات pH برای تیمار با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش.

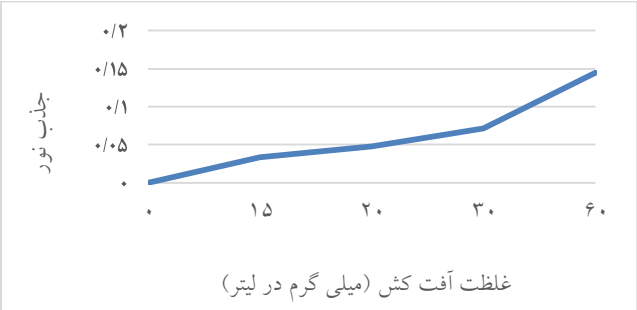


نمودار (۲۳)



نمودار (۲۴)

نمودارهای ۲۳ و ۲۴- تغییرات pH برای تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آفت‌کش.



نمودار ۲۵- نمودار استاندارد جذب نور در غلظت‌های معین سم کلرپیریفوس.

نتیجه‌گیری و بحث

نتایج به‌دست آمده در این آزمایش نشان دادند که نرخ فیلتراسیون صدف‌های آلوده شده هم در روز اول و هم در بقیه روزهای نمونه‌برداری، در تیمارهای با غلظت ۳۰، ۲۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری داشته است. این تفاوت می‌تواند ناشی از اثر زمان مواجهه با آفت‌کش کلرپیریفوس باشد که مطالعه (۲۶) تأییدکننده این موضوع می‌باشد. به‌طوری‌که با گذشت زمان و جذب آفت‌کش از آب عملکرد ناقص اندام‌های درگیر فیلتراسیون (آبشش و جبه) سبب شده است که نرخ فیلتراسیون در تیمارهای با غلظت ۳۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش یابد. در آزمایشی که توسط (۲۷) صورت گرفت صدف‌های دوکفه‌ای *Corbicula fiuminea* به مدت ۱۴ روز در مواجهه با ۳۰ میلی‌گرم در لیتر جیوه قرار گرفتند، براساس نتایج آزمایش روندی کاهشی در نرخ فیلتراسیون صدف دوکفه‌ای مشاهده گردید. در غلظت‌های ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نتایج نشان می‌دهد که در حالت پاسخ سریع، موجود زنده سعی نموده است علی‌رغم سمی بودن محیط، فیلتراسیون خود را پس از هر دوره کاهش، مجدداً افزایش دهد، ولی ظاهراً نتوانسته است. (۲۸) به‌منظور بررسی توانایی صدف *Anodont cygnea* در کاهش غلظت فسفات و نیترات در فاضلاب شهری چندین صدف از این گونه را، در دو سیستم باز و بسته مورد آزمایش قرار دادند، نتایج نشان داد که با افزایش غلظت مواد آلاینده، میزان فیلتراسیون ویژه توسط صدف‌ها افزایش می‌یابد. در تیمارهای با غلظت ورودی آفت‌کش به‌ترتیب ۳۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، نوساناتی در نرخ فیلتراسیون مشاهده گردید. این نوسانات در حالت مزمن یا طولانی‌مدت (در این آزمایش ۱۱ روز) (۲۹)، ممکن است به‌علت تجزیه آهسته آفت‌کش کلرپیریفوس و تولید متابولیت‌ها باشد (۳۰ و ۳۱). در پایان دوره آزمایش احتمالاً *Anodonta cygnea* در غلظت‌های ۳۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر صدمات بدنی داشته که نتوانسته نرخ پالایش خود را به حالت متعادل در بیاورد و نرخ فیلتراسیون همواره روندی کاهشی داشته است آزمایش (۳۲) تأییدکننده این موضوع می‌باشد. در مطالعه‌ای (۳۳) نشان دادند که افزایش غلظت فلزات سنگین سرب، روی و کادمیوم موجب کاهش نرخ فیلتراسیون در صدف دوکفه‌ای *Anodontites trapesialis* می‌شود. در تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر علی‌رغم نوسانات در نرخ فیلتراسیون، به‌طورکلی گرایشی مثبت و افزاینده داشته است، و از روز دهم به بعد غلظت سم در حد ۱-۲ میلی‌گرم در لیتر بوده که لطمه‌ای به عمل فیلتراسیون نزده و به هر حال موجود زنده توانسته فعالیت بیولوژیک خود را بازیابد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که، در غلظت‌های پایین آفت‌کش نرخ فیلتراسیون بالا می‌باشد (۳۴). براساس نتایج در تیمار با غلظت

۱۵ میلی‌گرم در لیترکه غلظت کم‌تری از آفت‌کش را دریافت کرده بود میانگین نرخ فیلتراسیون بیش‌تر و در تیمار با غلظت ۳۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر که غلظت بیش‌تری از آفت‌کش را دریافت کرده بودند میانگین نرخ فیلتراسیون کم‌تر ثبت گردید (۳۵). این نتایج نشان می‌دهد که تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر که غلظت کم‌تری از آفت‌کش را دریافت کرده است و عملکرد بهتری برای تصفیه و جذب آفت‌کش کلیرپیریفوس داشته است، که با توجه به غلظت باقی‌مانده اندازه‌گیری شده آفت‌کش در پایان واکنش نیز قابل توصیف می‌باشد. مقدار جذب نور در این مطالعه به عنوان شاخصی جهت میزان آفت‌کش در محیط محاسبه گردید (٤). در این آزمایش جذب نور روندی کاهشی داشت. براساس نتایج در تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر که غلظت کم‌تری از آفت‌کش را دریافت کرده بود میانگین جذب‌نور کم‌تر و در تیمار با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر که غلظت بیش‌تری از آفت‌کش را دریافت کرده میانگین جذب نور بیش‌تر بود (۳٦). در مطالعه‌ای بر روی جذب آفت‌کش دایمتوات با استفاده از نانوکره‌ها و نانومیله‌های طلا نشان دادند که جذب‌نور توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-Vis) در غلظت‌ها و طول موج‌های مختلف متفاوت می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت هرچه غلظت آفت‌کش بیش‌تر باشد با جذب نور بیش‌تری روبرو هستیم و به عبارتی دیگر جذب نور عدد بالاتری را به ما نشان می‌دهد و عبور نور کم‌تر خواهدبود (۳۷). از آن‌جایی‌که در این آزمایش جذب نور روندی کاهشی داشته است (برای همه تیمارها)، این روند نشان‌دهنده این است که صدف‌ها توانسته‌اند در طول دوره آزمایش آفت‌کش کلرپیریفوس را جذب نمایند و از این‌رو باعث شفاف‌سازی آب سیستم‌ها و کاهش غلظت آفت‌کش شوند. طبق مشاهدات این آزمایش، با افزایش مدت زمان مواجهه شدن آفت‌کش کلرپیریفوس با صدف‌ها، یعنی از روز اول تا دوزازدهم میزان pH روند افزایشی از خود نشان می‌دهد و pH محیط به سمت قلیائیت می‌رود که نشان‌دهنده کاهش و تجذیه آفت‌کش کلرپیریفوس می‌باشد (۳۷) در تصفیه فیزیکی دیازینون و مالاتیون با رس موریلونیت و کربن‌فعال به‌عنوان جاذب در آب نشان دادند که مقدار pH آب در طول ده روز دوره آزمایش روندی افزایشی داشته است. براساس مطالعات (۳۸) نتایج نشان دادند که در خاک‌های قلیایی میزان آفت‌کش کلرپیریفوس کاهش می‌یابد که این می‌تواند به علت هیدرولیز شیمیایی کلرپیریفوس در خاک‌های قلیایی باشد. هم چنین براساس نتایج تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر که غلظت کم‌تری از آفت‌کش را دریافت کرده است میانگین pH بیش‌تر و در تیمار با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر که غلظت بیش‌تری از آفت‌کش را دریافت کرده است میانگین pH کم‌تر ثبت گردید. این نتایج نشان می‌دهد که تیمار با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر که غلظت کم‌تری از آفت‌کش را دریافت کرده است عملکرد بهتری برای تصفیه و جذب آفت‌کش کلیرپیریفوس داشته است. براساس مطالعات موجود سموم ارگانوفسفره از جمله کلرپیریفوس در pH بالا در محیط کاهش می‌یابند (٤). در آزمایشی که توسط (۳۹) بر روی تخریب یکی از سموم ارگانوفسفره به‌نام متیل پاراتیون با استفاده از روش ازن زنی انجام گرفت نتایج نشان دادند که، درصد تخریب در pHهای ۹، ۷ و ۳ به ترتیب ۹۸ درصد، ۸۱ درصد و ٦۱ درصد می‌باشد که این نتیجه بیانگر تخریب مناسب سموم ارگانوفسفره در pH قلیایی می‌باشد. نتایج آزمایش‌ها (٤۰ و ٤۱) تأییدکننده این موضوع می‌باشند. به طور کلی علی‌رغم نوسانات موجود در نرخ فیلتراسیون توسط صدف دوکفه‌ای *Anodonta cygnea* با توجه به کاهش غلظت آفت‌کش کلرپیریفوس در نمونه‌ها،

افزایش جذب نور و افزایش pH آب که همان‌طور که در متن اشاره شده است، این تغییرات نشان‌دهنده کاهش میزان آفت‌کش در محیط می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که صدف *Anodonta cygnea* توانایی پالایش زیستی جهت کاهش آفت‌کش کلرپیریفوس را دارد ولی بااین‌حال مطالعات بیش‌تری در این زمینه لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

1.Osman, K.A., and Al-Rehiayani, S. 2003. Risk assessment of pesticide to human and the environment. Saudi J. Biol. Sci. 10: 81-106.

2.Cortina-Puig, M., Istamboulie, G., Marty, J.L., and Noguer, T. 2010. Analysis of pesticide mixtures using intelligent biosensors. INTECH Open Access Publisher.

3.Gebremariam, S.Y., Beutel, M.W., Yonge, D.R., Flury, M., and Harsh, J.B. 2012. Adsorption and desorption of chlorpyrifos to soils and sediments. In: Reviews of environmental contamination and toxicology. Springer, pp. 123-175.

4.Maleki, A., Moradi, F., Shahmoradi, B., Rezaee, R., and Lee, S.M. 2019. The photocatalytic removal of diazinon from aqueous solutions using tungsten oxide doped zinc oxide nanoparticles immobilized on glass substrate. Journal of Molecular Liquids.

5.Mary John, E., and Manakulam Shaike, J. 2015. Chlorpyrifos pollution and remediation. Springer International Publishing Switzerland. Environ. Chem. Lett. 13: 269-291.

6.Sharbidre, A.A., Metkari, V., and Patode, P. 2011. Effect of methyl parathion and chlorpyrifos on certain biomarkers in various tissues ofguppy fish, Poecilia reticulata. Pest Biochem. Physiol. 101: 2. 132-141.

7.Johnson, W.W., and Finley, M.T. 1980. Handbook of acute toxicity of chemicals to fish and aquatic invertebrates. Summaries of toxicity tests conducted at Columbia National Fisheries Research Laboratory. United States Fish and Wildlife Service Resource Publication, pp. 1965-78.

8.Francisco Claudio, F., Allen, L., Marcos Antônio, A., and Ronaldo, F. 2013. Use of Microwave-Assisted Oxidation for Removal of the Pesticide Chlorpyrifos from Aqueous Media. International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS, 12p.

9.Martinez, R.S., Di Marzio, W.D., and Sáenz, M.E. 2015. Genotoxic effects of commercial formulations of Chlorpyrifos and Tebuconazole on green algae. Ecotoxicology, 24: 1. 45-54.

10.Shahian, H., and Shykhlooei, H. 2017. Evalution of Diazinon and Cholorpyriphos residuse in lebanens red apple tree in miyandoab coid stores using by HPLC-PDA. Health food, 7: 2.

11.Schulz, R., and Leiss, M. 1999. A field study of the effects of agriculturally derived insecticide input on stream invertebrate dynamics. Aquat. Toxicol. 46: 155-176.

12.Jamali, S., and Banihashemi, Z. 2012. Investigate the causes of the decline of the plane trees in Shiraz. Ir. J. Planet Pathology, 48: 1. 123-8.

13.Shahidi, A., and Tarkashvand, A. 2015. Investigation of wastewater treatment methods. 11p.

14.Nethaji, S., Sivasamy, A., and Mandal, A. 2013. Preparation and characterization of corncob activated carbon coated with nano sized magnetite particles for the removal of Cr(VI). J. Bioresource. Technol. 134: 94-100.

15.Beone, G.M., Cenci, R., and Lodigiani, P. 2003. Metal concentrations in Unio Pictorum mancus (Mollusca), Lamellibranchia from of 12 Northern Italian lakes in Relation to their trophic level. J. Limnol, 62: 2. 121-138.

16.Opiyo, K., Rawson, Ch, Gagnon, M.M., and Saputra, I. 2021. Biomarkers in Rock Oysters (*Saccostrea mordax*) in Response to Organophosphate Pesticides. Journal of Marine Sciences, 26: 1. 7-16.

17.Zhou, Q., Zhang, J., Fu, J., Shi, J., and Jiang, G. 2008. Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. Analytica Chimica Acta, 606: 135-50.
18.Hedge, L., Knott, N., and Johnston, E. 2009. Dredging related metal bioaccumulation in oysters. *Marine Pollution Bulletin*, 58: 6. 832-40.
19.Simberloff, D. 2012. Sustainability of biodiversity under global changes, with particular reference to biological invasions. In: Weinstein, M.P., Turner, R.E., editors. Sustainability science: The emerging paradigm and the urban environment. New York. Springe, pp. 139-157.
20.Mahmoodi, M., Safahiea, A., Nikpoor, Y., and Ganemi, K. 2011. Study on the possibility of using Barbatia helbeingii bivalve as a bio remeditation of PHAs in Bushehr costs. Ecology, 58: 141-148.
21.Rosa, C.I., Costa, R., Goncalves, F., and Pereira, J.L. 2014. Bioremediation metal- rich effiuents: Could the invasive bivalve *Corbicula fluminaea* work as a biofiltre. Journal of environmental quality, 43: 1535-1545.
22.Teresa, J., and Naim, O.A. 1995. review of the effects of heavy metals on freshwater mussels. *Ecotoxicology*, 4: 341-362.
23.Liu, G.X., Chai, X.L., Shao, Y.Q., and Wu, H.X. 2012. Histological alternation of blood clam Tegillarca granosa in acute copper, zinc, lead and cadmium exposures. Adv. Mater. Res. pp: 518-523: 422-425.
24.Venugopal, N.V.S., Sumalatha, B., and Bonthula, S. 2012. Spectrophotometric determination of Malathion (an organophosphorous insecticide) with Potassium bromate. Eurasian Journal of Analytical Chemistry, 8: 131-135.
25.Jørgensen, C.B. 1990. Bivalves filter feeding. Hydrodynamics, Bioenergetics. Physiology and ecology, Olsen and Olsen, 140p.
26.Rahnama, R., Javanshir, A., and Mashinchian, A. 2010. The effects of lead bioaccumulation on filtration rate of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) from Anzali wetland–Caspian Sea. Toxicol. Environ. Chem. 92: 107-114.
27.Oliveira, P., Gabriel, L., Barboza, A., Brancod, V., Figueiredod, N., and Carvalhod, C. 2018. Effects of microplastics and mercury in the freshwater bivalve Corbicula Fluminea, Filtration rate, biochemical biomarkers and mercury bioconcentration. Ecotoxicology and Environmental Safety, 164: 155-163.
28.Javanshir Khoei, A., and Jandaghi, M. 2007. Eveluation of the ability of *Anodonta sygnea* bivalve in reducing nitrate and phosphate concentration in both open and closed systems. 10th National Conference on Environmental Health, 33p.
29.Kraak, M.H.S., Lavy, D., and Davids, C. 1994. Chronic exotoxicity of copper and cadmium to the zebra mussel Dreissena polymorpha. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 23: 363-369.
30.John, E.M., Rebello, S., and Jisha, M.S. 2014. Chlorpyrifos degradation using bacterial consortium obtained from soil. Int J Environ Eng–IJEE, 1: 4. 91-94.
31.Anwar, S., Liaquat, F., Khan, Q.M., Khalid, Z.M., and Iqbal, S. 2009. Biodegradation of chlorpyrifos and its hydrolysis product 3,5,6-trichloro-2-pyridinol by Bacillus pumilus strain C2A1. J. Hazard Mater. 168: 1. 400-405.
32.Liu, G.X., Shu, M.A., Chai , X.L., Shao, Y.Q., Wu, H.X., Sun, C.S., and Yang, S.B. 2014. Effect of Chronic on Filtration Rate, Sex Ratio, and Gonad Development of a Bivalve Species. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 92: 71-74.
33.Rau´l, L.M., and Rafaela, E.L. 2007. Responses of the mussel Anodontites trapesialis (Unionidae) to environmental stressors: Effect of pH, temperature and metals on filtration rate. Environmental Pollution. 149: 209-215.
34.Loayza, R., Rafaela, M., and Letts, E. 2007. Responses of the mussel Anodontites trapesialis (Unionidae) to environmental stressors: Effect of pH. temperature and metals on filtration rate Environmental Pollution, 149: 209-215.

35. Watling, H. 1981. The effects of metals on mollusc filtering rates. Transactions of the Royal Society of South Africa, 44: 3. 441-451.
36. Momit, T., Lazarevit Pašti, T., Bogdanovit, U., Vodnik, V., Mrakovit, A., RakoIevit, Z., Vladimir, B.P., and Vasit, V. 2016. Adsorption of Organophosphate Pesticide Dimethoate on Gold Nanospheres and Nanorods. Hindawi Publishing Corporation Journal of Nanomaterials Volume, 11p.
37. Jafarzade, N., Javanshir Kkoei, A., Poorbahger, H., and Rezaei, K. 2017. Apllying physical and biolojical treatment metohos to remove dizinon and malation pesticides in water. Fisheries, Journal of natural resources, 70: 327-336.
38. Racke, K.D., Steele, K P., Yoder, R.N., Dick, W.A., and Avidov, E. 1996. Factors effecting the hydrolytic degradation of chlorpyrifos in soil. J. Agric. Food Chem. 44: 1582-1592.
39. Usharani, K., Muthukumar, M., and Kadirvelu, K. 2012. Effect of pH on the Degradation of Aqueous Organophosphate (methylparathion) in Wastewater by OzonationInt. J. Environ. 6: 2. 557-564.
40. Assalin, M.R., Rosa, M.A., and Duran, N. 2004. Remediation of Kraft effluent by ozonation: effect of applied ozone concentration and initial pH. Ozone Sci. Eng. 26: 317-322.
41. Ye, M.M., Chen, Z.L., Liu, X.W., Ben, Y., and Shen, J.M. 2009. Ozone enhanced activity of aqueous titanium dioxide suspensions for photodegradation of 4-chloronitrobenzen. J. Hazard Mater. 167: 1021-1027.