



Investigating the effectiveness of a Bit Trap Filter (BTF) in removing chemical, green, and zinc ionic nanoparticles from water

Narges Rostamian¹ | Arash Javanshir Khoei^{2✉} | Arash Salahinejad³

1. Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: narges.rostamian333@yahoo.com

2. Corresponding Author, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: arashjavanshir@ut.ac.ir

3. Postdoctoral Researcher, Department of Biology, University of Saskatchewan, Canada. E-mail: aslahin@uwo.ca

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 28 November 2024 Received in revised form 29 March 2025 Accepted 17 May 2025 Published online 28 June 2025 Keywords: <i>Bit Trap Filter,</i> <i>Green nanoparticles,</i> <i>Ionic metals,</i> <i>Nanoparticles,</i> <i>Zinc oxide.</i>	With the increasing spread of pollution, it is essential to focus on removing and reducing the entry of pollutants into the environment using cost-effective and efficient methods. One of the main sources of pollution in aquatic ecosystems is elements in various forms, which, unlike organic compounds, do not decompose in nature through chemical or biological processes and severely affect food webs and ultimately human health. Zinc is one such particle, which, given the varying tolerance levels of aquatic organisms, induces different effects in the aquatic environment. This study aimed to remove chemical, green, and ionic zinc nanoparticles at two concentrations of 1.5 and 2.5 mg/L using a Bit Trap Filter system. Sampling was performed over three hours, every twenty minutes. The efficiency of reducing the concentration of chemical, green, and ionic zinc nanoparticles at an initial concentration of 1.5 mg/L was 98%, 98.67%, and 98.67%, respectively. The efficiency of reducing the concentration of chemical, green, and ionic zinc nanoparticles at an initial concentration of 2.5 mg/L was 98.40%, 99.20%, and 98.40%, respectively. This study demonstrated that chemical, green, and ionic zinc nanoparticles can be removed from the aquatic environment using a Bit Trap Filter system.

Cite this article: Rostamian, N., Javanshir Khoei, A. & Salahinejad, A. (2025). Investigating the effectiveness of a Bit Trap Filter (BTF) in removing chemical, green, and zinc ionic nanoparticles from water. *Journal of Natural Environment*, 77 (4), 613-620. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.386115.2732>



بررسی کارایی سیستم تصفیه تله ذره گیر (BTF) در حذف نانوذرات شیمیایی، سبز و یون فلزی روی از آب

نرگس رستمیان^۱ | آرش جوانشیرخوئی^۲ | آرش صلاحی نژاد^۳

۱. گروه شایلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: narges.rostamian333@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، گروه شایلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: arashjavanshir@ut.ac.ir
۳. پژوهشگر پسا دکترا، گروه زیست شناسی، دانشگاه ساسکاچوان، کانادا. رایانامه: aslahin@uwo.ca

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	با گسترش روزافزون آلودگی‌ها، توجه به حذف و کاهش ورود آلاینده‌ها به محیط با روش‌هایی مقرون به صرفه و کارآمد ضروری می‌نماید. یکی از منابع اصلی آلوده کننده بوم‌سازگان آبی عناصر با فرم‌های مختلف هستند، که برخلاف ترکیبات آلی از طریق فرایندهای شیمیایی یا زیستی در طبیعت تجزیه نمی‌شوند و به‌طور جدی شبکه‌های غذایی و نهایتاً سلامت انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. یکی از این ذرات روی می‌باشد که با توجه به دامنه تحمل متفاوت آبزیان، با حضور در محیط آبی اثرات متفاوتی را القا می‌نماید. مطالعه حاضر به منظور حذف نانوذره شیمیایی، سبز و یون فلز روی در دو غلظت ۱/۵ و ۲/۵ میلی گرم در لیتر با استفاده از سیستم تصفیه تله ذره گیر Bit Trap Filter انجام شد. نمونه برداری‌ها در یک بازه زمانی سه ساعته و هر بیست دقیقه یکبار صورت گرفت. بازدهی کاهش غلظت نانوذره شیمیایی، سبز و یون فلزی روی در غلظت اولیه ۱/۵ میلی گرم در لیتر به ترتیب ۹۸ درصد، ۹۸/۶۷ درصد و ۹۸/۶۷ درصد به دست آمد. بازدهی کاهش غلظت نانوذره شیمیایی، سبز و یون فلزی روی در غلظت اولیه ۲/۵ میلی گرم در لیتر به ترتیب ۹۸/۴۰ درصد، ۹۹/۲۰ درصد و ۹۸/۴۰ درصد به دست آمد. مطالعه حاضر به خوبی نشان داد که نانوذره شیمیایی، سبز و یون فلزی روی را می‌توان با استفاده از سیستم تصفیه تله ذره گیر از محیط آبی حذف نمود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۸	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۰۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۷	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۷	
کلیدواژه‌ها:	
اکسید روی،	
تله ذره گیر،	
نانوذرات،	
نانوذره سبز،	
یون فلزات.	

استناد: رستمیان، نرگس؛ جوانشیر، آرش؛ صلاحی نژاد، آرش (۱۴۰۳). بررسی کارایی سیستم تصفیه تله ذره گیر (BTF) در حذف نانوذرات شیمیایی، سبز و یون فلزی روی از آب. محیط زیست طبیعی، ۷۷ (۴)، ۶۲۰-۶۱۳.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.386115.2732>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

گسترش صنایع و افزایش روزافزون جمعیت شهرها و روستاها و در پی آن توسعه مناطق کشاورزی باعث شده است تا حجم ورودی پساب‌های صنعتی، شهری و کشاورزی که دارای ترکیبات شیمیایی با فرم‌های مختلف همانند فلزات سنگین، میکروپلاستیک‌ها، مواد رادیواکتیو و نانو ذرات به بوم سازگان آبی زیاد شود (Tariq and Mushtaq, 2023; Zeitoun et al., 2014). یکی از منابع اصلی آلوده کننده بوم سازگان آبی عناصر با فرم‌های مختلف هستند که برخلاف ترکیبات آلی از طریق فرایندهای شیمیایی یا زیستی در طبیعت تجزیه نمی شوند و به طور جدی شبکه‌های غذایی و نهایتاً سلامت انسان را تحت تأثیر قرار می دهند (Gad, 2009; Sharma et al., 2024; Erkkilä et al., 2004).

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در بخش تصفیه و پالایش فلزات سنگین و نانوذرات، این عناصر همچنان به عنوان یک خطر بالقوه برای انسان و سایر جانوران محسوب می شوند از پیامدهای آنها بزرگنمایی زیستی در زنجیره غذایی می باشد، به طوری که در نتیجه این فرآیند مقدار آنها در زنجیره غذایی می تواند تا چندین برابر مقدار آنها که در آب یا هوا یافت می شود، افزایش یابد (Shahjahan et al., 2022).

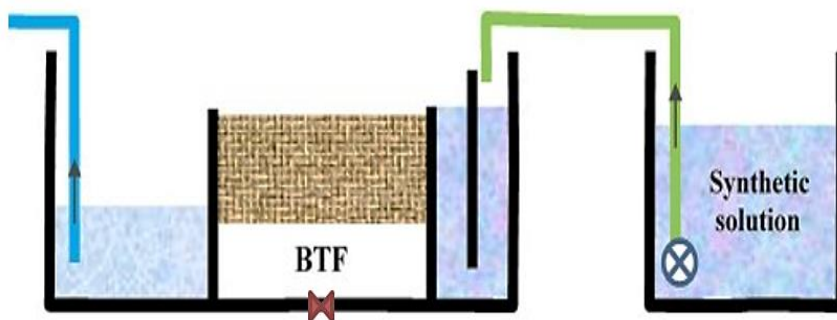
اکسید روی یکی از مهم ترین اکسیدهای فلزی است که در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. اکسید روی پودری سفید یا زرد است که از سنگ معدن روی به دست می آید. در طول بیست سال گذشته، نانوذرات روی در بسته بندی مواد غذایی، حسگرهای زیستی، تصویربرداری سلولی و درمان سرطان، لوازم آرایشی، تصفیه آب و فاضلاب مورد توجه زیادی قرار گرفته اند. اندازه ذرات تا حد نانومتری کاهش می یابد که باعث تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی مواد و ظهور خواص جدید در آنها می شود. سطح ویژه نانو اکسید روی نفوذپذیری آن را افزایش می دهد و اندازه کوچک ذرات قابلیت پخش خوبی به آنها می دهد که توزیع آن را در بافت هدف یکنواخت می کند (Dawood et al., 2021). بسته به غلظت و ساختار شیمیایی، عنصر روی می تواند به عنوان یک فاکتور تغذیه ای، آنتی اکسیدانی یا سمی به کار رود (Yi and Zhang, 2012; Wu et al., 2024). همانند دیگر عناصر، سمیت با عنصر روی ممکن است به دلیل تغییر شرایط فیزیوشیمیایی آب همانند درجه حرارت، اکسیژن محلول، پی اچ، سختی آب، و دیگر لیگاند های آلی و غیر آلی رخ دهد (Naeem et al., 2021). عنصر روی ممکن است در نتیجه فرایندهای طبیعی همانند هواز دگی و فرسایش، بارش باران های اسیدی بر مواد ساختمانی حاوی روی، یا از طریق فعالیت های انسانی (واحدهای کشاورزی، پساب و فعالیت های صنعتی) وارد اکوسیستم های آبی شود و بر اساس غلظت، شکل و اندازه جانوران آبی را تحت تأثیر قرار دهد (Dawood et al., 2021). محدوده تحمل روی در بین موجودات آبی به طور قابل توجهی متفاوت است و به گونه، شرایط محیطی و پارامترهای فیزیوشیمیایی آب بستگی دارد. بنابراین، معیارهای سطوح آلودگی و سمیت روی برای حفاظت از زندگی آبیان می توانند در سطوح ملی و حتی منطقه ای مقادیر متفاوتی داشته باشند (Li et al., 2021). به طور کلی در آب های داخلی، مقادیر LC50 از ۰/۷۰ میلی گرم بر لیتر تا ۷۸۰۰ میلی گرم بر لیتر متغیر است. کمترین مقادیر LC50 برای سخت پوستان عنوان شده است. مقادیر بالاتر LC50 بیشتر مربوط به ماهیان مقاوم و با حساسیت کمتر بوده است (Bodar, 2007; Bis, 2007). در برخی مطالعات آزمایش های سمیت حاد نشان داده اند که غلظت های بالاتر از ۲ میلی گرم بر لیتر می تواند برای بسیاری از ارگانیسم های آب شیرین، عوارض مضر سریعی ایجاد کند (Li et al., 2021). روی توسط روده و آبشش ماهیان جذب و از طریق خون به اندام های مختلف انتقال می یابد (Zeitoun et al., 2014). مطالعات قبلی گزارش دادند که آلودگی با عنصر روی باعث اختلال در فرآیند تنظیم اسمزی، تغییر در قلیائیت خون، هیپوکسی بافت ها، افزایش ضربان قلب، آسیب انواع بافت، کاهش درصد هج تخم ها، تأثیر سوء بر فاکتورهای خونی و تغییرات رفتاری در ماهیان می شود (Sfakianakis et al., 2015; Wu et al., 2024).

انواع فاضلاب از جمله فاضلاب های روغنی، فاضلاب های کشتارگاهی، فاضلاب های لبنی و حتی پساب های سطحی دارای مواد و ذرات شناور و معلق بسیاری می باشند که معضلی در امر تصفیه آب و رفع کدورت ایجاد می نمایند. در سیستم های پیشین اساس رفع کدورت و مواد و ذرات معلق و شناور، در ذرات درشت بر پایه ته نشینی اولیه و در ذرات ریز بر پایه به کار بردن مواد شیمیایی منعقد کننده و لخته ساز جهت ایجاد ذرات درشت تر برای کسب توانایی فیلتر و گرفتن این ذرات در مراحل بعد است که همچنان که بیان شد دارای معضلاتی بسیار است (Saravanan et al., 2021) و تاکنون حذف مواد ریز شناور و معلق با تکیه بر کنش های فیزیکی و نحوه حرکت آب بدون صرف هزینه اجرا نشده است. با توجه به استفاده از مواد شیمیایی کیفیت آب تغییری

مجدد داشته همچنین هزینه تهیه مواد شیمیایی و نیز برگرداندن شرایط کیفی مطلوب آب به هزینه تصفیه فاضلاب افزوده و در نهایت مواد شیمیایی به کار برده شده در مقیاسی وسیع آثار نامطلوبی بر محیط زیست وارد می نمایند و از نظر محیط زیستی ایمن نبوده و موجب آلودگی ثانویه لجن حاصل در کولاب های تصفیه می گردد. همچنین در سیستم های ته نشینی سرعت جریان آب نیز عاملی محدود کننده در حذف رسوبات می باشد (Jyoti et al., 2022). بنابراین توجه به ارائه راهکاری با معایب و یا صدمات محیط زیستی کمتر ضروری می نماید. در سیستم تصفیه تله ذره گیر (BTF^۱) (شماره اختراع ملی ۹۰۰۲۸) با در نظر گرفتن مخاطرات محیط زیستی، افزودن مواد شیمیایی و هزینه بردار بودن روش های متداول تصفیه، صرفاً با تکیه بر حرکت و جریانات القا شده در بدنه آبی و نیروها و حرکات ایجاد شده در مولکول های آب، طی گذر آب از تله ذره گیر، فرایند تصفیه پساب فاضلاب صورت می گیرد (Rezaei and Javanshir, 2015). بنابراین مطالعه حاضر با تکیه بر عملکرد BTF به منظور حذف نانوذره شیمیایی، سبز و یون فلز روی در دو غلظت ۱/۵ و ۲/۵ میلی گرم در لیتر طراحی شده است.

روش شناسی پژوهش

طراحی سیستم تصفیه: سیستم طراحی شده جهت انجام آزمایش شامل دو واحد عملیاتی است. واحد اول شامل آکواریومی شیشه ای به ابعاد ۵۰×۴۰×۳۰ با گنجایش ۶۰ لیتر آب و حاوی نانوذره شیمیایی، سبز و یون اکسید روی با دو غلظت ۱/۵ و ۲/۵ میلی گرم در لیتر می باشد. واحد دوم سیستم تصفیه اصلی از جنس شیشه و با ابعاد ۵۰×۹۸×۲۵ سانتی متر ساخته می شود. طراحی این سیستم به گونه ای است که بتوان در کمترین فضای ممکن بیشترین کارایی را در حذف نانوذرات و فلزات اعمال نماید. با طراحی سیستم شبکه ای-لوله ای با قطر یک سانتی متر، سطح مقطع ۵۰×۲۵ سانتی متر و از جنس پلی پروپیلن، جریان های میکروتوربولانس را به آب ورودی القا نموده که پس از حرکات تلاطمی ریز و برخورد ذرات به دیواره ها در اثر واکنش های فیزیکی این نیروهای ریز از جانب دیواره های سازه، به تدریج و در طول مسیر ذرات، حرکتی مستقیم و میکرولامینار عمودی به سمت کف می یابند و ته نشین می گردند، در واقع این سیستم به صورت تله ای برای ذرات معلق عمل می نماید. در این حالت سرعت و جهت این جریانات درونی به حدی است که اغتشاش مجدد ایجاد ننموده و دیگر این ذرات به سطوح بالای آب منتقل نمی گردند (شکل ۱).



شکل ۱- نمای شماتیک از تله ذره گیر (BTF) مورد استفاده در این مطالعه

در راکتور تصفیه، در بخش اول با ایجاد دیواره، راه عبوری انتهایی آب، سرعت را تعدیل نموده در این حالت مواد با چگالی کم و ذرات سبک سطحی آب به راحتی جدا می شوند. در بخش دوم که در قسمت پایینی بخش اول در نظر گرفته شده، مواد سنگین و رسوبی خارج می گردند. در بخش سوم تله ذره گیر، به صورت تله ای برای ذرات معلق عمل می نماید و ذرات را به سمت سقوط و ته نشینی هدایت می کند. با قرار دادن شیر خروجی ذرات ته نشین شده از سیستم تصفیه خارج می گردند. در پایان آبی با قابلیت استفاده مجدد از سیستم خارج می شود. لازم به ذکر است جهت انتقال آب در تمامی مسیرها، از پمپ آب با دبی ۲۰۰ لیتر در ساعت و با کارکرد ممتد استفاده شده است.

^۱Bit Trap Filter

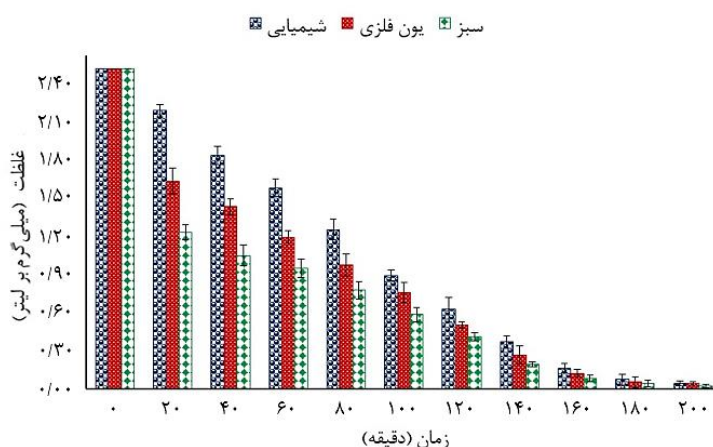
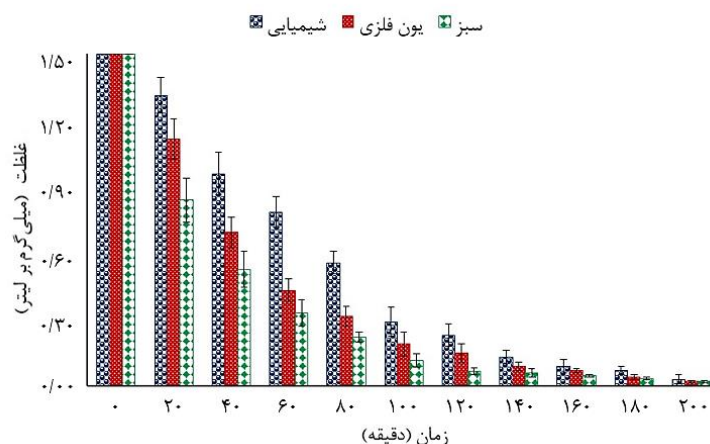
آماده سازی پساب آلوده به روی: به منظور استفاده از پساب سنتتیک در تعیین عملکرد سیستم BTF برای هر سه فرم نانوذره شیمیایی، سبز و یون فلزی روی، به کمک آب دیونیزه، دو غلظت ۱/۵ و ۲/۵ میلی گرم در لیتر به مقدار ۱۰۰ لیتر آماده سازی شد. **سنجش میزان حضور انواع اشکال روی:** نمونه برداری در حجم ۲۰ میلی لیتر و در سه تکرار، از خروجی سیستم هر ۲۰ دقیقه در بازه زمانی ۳ ساعت (۲۰۰ دقیقه) صورت گرفت. نمونه ها جهت سنجش توسط روش ICP-ms (Inductively Coupled Plasma – Mass spectroscopy) به آزمایشگاه مرکز تحقیقات فراواری مواد معدنی ایران انتقال داده شده اند، و داده های به دست آمده جهت ارائه بازدهی عملکرد سیستم در کاهش نانوذرات و یون فلز روی، مدنظر قرار گرفت.

آنالیز آماری: آزمایش حاضر در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام شد. ابتدا نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. بررسی آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS v.20 و به کمک آنالیز واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) انجام شد. تمام مفروضات آنالیز واریانس پیش از انجام تحلیل های آماری، مورد بررسی قرار گرفت و در صورت لزوم از تبدیل های مناسب استفاده شد. شایان ذکر است که تمامی آزمون ها در سطح معنی داری کمتر از ۵ درصد تفسیر شد و نتایج نهایی به صورت $\text{Mean} \pm \text{SE}$ گزارش گردید. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۱۶ استفاده شد.

یافته های پژوهش

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود، با داشتن غلظت اولیه ۱/۵ و ۲/۵ میلی گرم در لیتر برای سه فرم شیمیایی، سبز و یون فلزی آزمایش ها صورت گرفته است که نتایج به ترتیب گزارش می گردد. در پایان آزمایش، غلظت نانوذره شیمیایی روی به ترتیب به میزان 0.03 ± 0.02 و 0.04 ± 0.02 میلی گرم در لیتر کاهش یافت و بازدهی کاهش آن به ترتیب ۹۸ درصد و ۹۸/۴۰ درصد برآورد شد. همچنین غلظت نانوذره سبز اکسید روی در پایان آزمایش به ترتیب به غلظت 0.02 ± 0.01 و 0.02 ± 0.02 میلی گرم در لیتر کاهش یافت و بازدهی کاهش آن به ترتیب ۹۸/۶۸ درصد و ۹۹/۲۰ درصد برآورد شد. غلظت یون فلزی روی نیز در پایان آزمایش به ترتیب به 0.02 ± 0.01 و 0.04 ± 0.01 میلی گرم در لیتر کاهش یافت و بازدهی کاهش آن به ترتیب ۹۸/۶۸ درصد و ۹۸/۴۰ درصد برآورد شد (جدول ۱).

در طی انجام آزمایش از ابتدا تا انتها در روند کاهش و حذف نانوذره سنتز شیمیایی اکسید روی، نانوذره سنتز سبز اکسید روی و یون فلزی روی، توسط سیستم BTF اختلاف معنی دار مشاهده می شود به این ترتیب که در غلظت اولیه ۱/۵ میلی گرم در لیتر نانوذره اکسید روی سنتز شیمیایی با بازدهی ۹۸ درصد ($f=275/12$ و $P<0.05$)، یون فلزی روی بازدهی ۹۸/۸۶ درصد ($f=338/31$) و $P<0.05$ و نانوذره اکسید روی سنتز سبز بازدهی ۹۸/۶۸ ($f=318/07$ و $P<0.05$) کاهش نشان داده است. در نانوذره روی، سنتز شیمیایی تا دقیقه ۸۰، در یون فلزی روی تا دقیقه ۸۰ و در نانوذره روی سنتز سبز تا دقیقه ۶۰ این اختلاف معنی دار بین تمامی زمان ها مشاهده شده است. در غلظت اولیه ۲/۵ میلی گرم در لیتر نانوذره اکسید روی، سنتز شیمیایی با بازدهی ۹۸/۴۰ درصد ($f=732/46$ و $P<0.05$)، یون فلزی روی بازدهی ۹۸/۴۰ درصد ($f=545/48$ و $P<0.05$) و نانوذره روی سنتز سبز بازدهی ۹۹/۲۰ درصد ($f=669/93$ و $P<0.05$) کاهش نشان داده است. در نانوذره روی سنتز شیمیایی تا دقیقه ۱۴۰، در یون فلز روی تا دقیقه ۱۴۰ و در نانوذره اکسید روی سنتز سبز تا دقیقه ۱۲۰، این اختلاف معنی دار بین تمامی زمان ها مشاهده شده است.

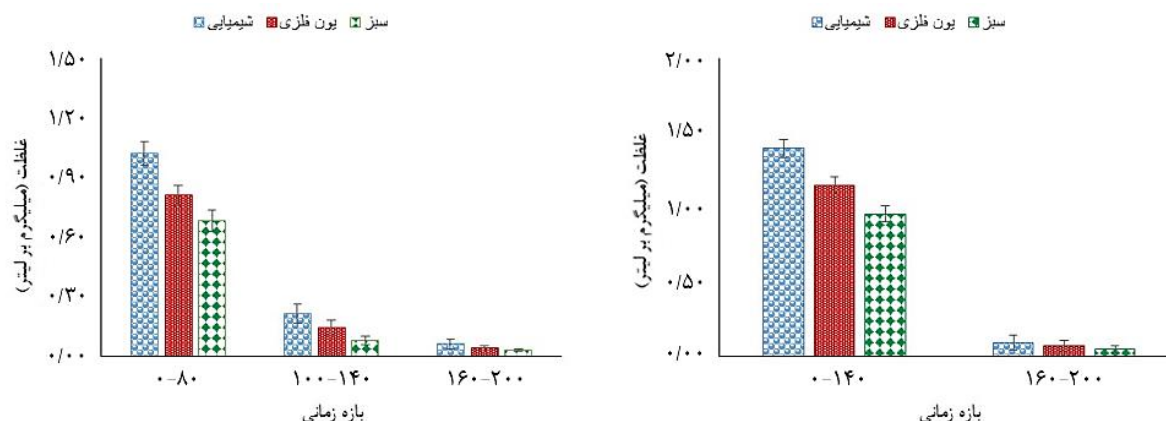


شکل ۲ - تغییرات غلظت نانوذره شیمیایی، سبز و یون فلزی روی در طی زمان ۲۰۰ دقیقه با غلظت اولیه ۱/۵ میلی گرم در لیتر (بالا)، تغییرات غلظت نانوذره شیمیایی، سبز و فلز سنگین روی در طی زمان ۲۰۰ دقیقه با غلظت اولیه ۲/۵ میلی گرم در لیتر (پایین)

جدول ۱ - بازدهی کاهش غلظت نانوذره شیمیایی، سبز و یون فلزی روی در بازه زمانی ۲۰۰ دقیقه

غلظت اولیه ۱/۵ میلی گرم در لیتر			غلظت اولیه ۲/۵ میلی گرم در لیتر			فرم زمان (دقیقه)
شیمیایی	یون فلزی	سبز	شیمیایی	یون فلزی	سبز	
۲۲/۴۴	۲۵/۵۶	۴۴/۰۰	۱۳/۲۰	۳۵/۲۰	۵۱/۲۰	۲۰
۲۶/۹۰	۳۷/۹۱	۳۷/۳۰	۱۶/۱۳	۱۲/۳۵	۱۴/۷۵	۴۰
۱۸/۰۶	۳۷/۵۰	۳۷/۳۴	۱۳/۹۲	۱۶/۶۷	۹/۶۲	۶۰
۲۹/۲۴	۲۷/۶۹	۳۳/۳۳	۲۰/۸۵	۱۸/۵۹	۱۸/۴۴	۸۰
۴۷/۹۰	۳۹/۳۶	۴۶/۹۷	۲۸/۷۶	۲۲/۱۵	۲۴/۳۵	۱۰۰
۲۰/۶۹	۲۱/۰۵	۴۲/۸۶	۳۰/۱۹	۳۳/۷۸	۲۹/۸۹	۱۲۰
۴۳/۴۸	۴۰/۰۰	۱۰/۰۰	۴۱/۰۸	۴۶/۹۸	۵۳/۲۸	۱۴۰
۳۰/۷۷	۲۲/۲۲	۲۲/۲۲	۵۵/۹۶	۵۴/۴۳	۵۷/۸۹	۱۶۰
۲۲/۲۲	۴۲/۸۶	۲۸/۵۷	۵۶/۲۵	۵۸/۳۳	۵۰/۰۰	۱۸۰
۵۷/۱۰	۵۰/۰۰	۴۰/۰۰	۴۲/۸۶	۲۰/۰۰	۵۰/۰۰	۲۰۰
۹۸	۹۸/۶۷	۹۸/۶۷	۹۸/۴۰	۹۸/۴۰	۹۹/۲۰	بازدهی کل

در طی انجام آزمایش از ابتدا تا انتها در روند کاهش و حذف نانوذره سنتز شیمیایی اکسید روی، نانوذره سنتز سبز اکسید روی و یون فلزی روی، توسط سیستم BTF اختلاف معنی‌دار مشاهده می‌شود به این ترتیب که در غلظت اولیه ۱/۵ میلی گرم در لیتر، نانوذره اکسید روی سنتز شیمیایی با بازدهی ۹۸ درصد ($f=275/12$ و $P<0/05$)، یون فلزی روی بازدهی ۹۸/۸۶ درصد ($f=338/31$) و $P<0/05$ و نانوذره اکسید روی سنتز سبز بازدهی ۹۸/۶۸ ($f=318/07$ و $P<0/05$) کاهش نشان داده است. در نانوذره اکسید روی سنتز شیمیایی تا دقیقه ۸۰، در یون فلزی روی تا دقیقه ۸۰ و در نانوذره اکسید روی سنتز سبز تا دقیقه ۶۰ این اختلاف معنی‌دار بین تمامی زمان‌ها مشاهده شده است. در غلظت اولیه ۲/۵ میلی گرم در لیتر، نانوذره اکسید روی سنتز شیمیایی با بازدهی ۹۸/۴۰ درصد ($f=732/46$ و $P<0/05$)، یون فلزی روی بازدهی ۹۸/۴۰ درصد ($f=545/48$ و $P<0/05$) و نانوذره اکسید روی سنتز سبز بازدهی ۹۹/۲۰ درصد ($f=669/93$ و $P<0/05$) کاهش نشان داده است. در نانوذره اکسید روی سنتز شیمیایی و یون فلزی روی تا دقیقه ۱۴۰ و در نانوذره اکسید روی سنتز سبز تا دقیقه ۱۲۰ این اختلاف معنی‌دار بین تمامی زمان‌ها مشاهده شده است به این ترتیب می‌توانیم روند کاهش را در بازه‌های زمانی سه گانه مشخص تعریف کنیم. بر این اساس در سه فرم ذره روی، در غلظت ۱/۵ میلی گرم از ابتدای بازه زمانی اول (زمان صفر) تا پایان بازه زمانی دوم (دقیقه ۱۴۰) به طور متوسط ۸۳ درصد و در غلظت ۲/۵ میلی گرم از ابتدای بازه زمانی اول (زمان صفر) تا پایان بازه زمانی دوم (دقیقه ۱۴۰) به طور متوسط ۹۴ درصد کاهش مشخص رخ داده است (شکل ۳).



شکل ۳ - تغییرات غلظت نانوذره شیمیایی، سبز و یون فلزی روی در بازه‌های زمانی با غلظت اولیه ۱/۵ میلی گرم در لیتر (چپ) و با غلظت اولیه ۲/۵ میلی گرم در لیتر (راست)

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به خوبی نشان داد که نانوذره سبز، نانوذره شیمیایی و یون فلزی روی را می‌توان با استفاده از سیستم تصفیه تله‌ذره‌گیر سیار از محیط آبی حذف نمود. در غلظت اولیه ۱/۵ میلی گرم در لیتر، بازدهی کاهش نانوذره سبز اکسید روی و یون فلزی روی بیش‌تر از بازدهی کاهش نانوذره شیمیایی اکسید روی شد. و در غلظت اولیه ۲/۵ میلی گرم در لیتر بازدهی کاهش نانوذره سبز بیش‌تر از نانوذره شیمیایی اکسید روی و یون فلزی روی شد. دلیل این امر، تفاوت چگالی و ساختار ظاهری ذرات می‌باشد. در تطابق با نتایج این مطالعه، Javanshir (۲۰۲۳)، Salimzadeh (۲۰۲۱)، گزارش داد سیستم تصفیه تله‌ذره‌گیر سیار کارآمد جهت حذف گل آلودگی ناشی از پساب آبزیان پرورشی دارای بازدهی حذف ۸۵ درصد می‌باشد. Jafarzadeh (۲۰۱۷)، گزارش داد که تصفیه فیزیکی در کاهش غلظت سموم موفق عمل کرده و بازدهی کاهش ۶۴ و ۴۸، به ترتیب برای غلظت‌های ۱۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر دیازینون و مالاتیون داشته است. همچنین Rezaei and Javanshir (۲۰۱۵)، گزارش نمودند عملکرد سیستم تصفیه پساب ناشی از پرورش آبزیان میزان ۵۶/۲۵ درصد و ۶۶/۶۷ درصد کاهش را به ترتیب برای حذف نیترات و فسفات داشته است. در مطالعه دیگر Javanshir و همکاران (۲۰۱۶)، گزارش دادند بازدهی کاهش آرسنیک محلول با استفاده از سیستم تصفیه تله‌ذره‌گیر، در دو غلظت یک و دو میلی گرم در لیتر به ترتیب ۵۷ و ۵۵ درصد بوده است. همچنین بازدهی کاهش نانوذره سبز و شیمیایی اکسید روی در غلظت اولیه ۲/۵ میلی گرم در لیتر بیش‌تر از غلظت اولیه ۱/۵ میلی گرم در لیتر بود. به طوری که در غلظت ۲/۵ میلی گرم در لیتر

بازدهی کاهش در نانوذره سبز و شیمیایی به ترتیب ۹۹/۲۰ و ۹۸/۴۰، و در غلظت ۱/۵ میلی گرم در لیتر این بازدهی ۹۸ و ۹۸/۶۷ می باشد. این افزایش را می توان به بیش تر شدن برخورد ذرات نانوذره به تله ذره گیر مرتبط دانست. این نتایج با مطالعه Jafarzadeh (۲۰۱۷)، همخوانی داشت. آنها گزارش دادند با افزایش غلظت دیازینون و مالاتیون بازدهی کاهش، افزایش می یابد. با توجه به بازدهی مناسب حذف نانوذرات و یون فلزی روی توسط سیستم تصفیه تله ذره گیر سیار، نتایج این مطالعه قابل استفاده برای کارگاه ها و مزارع پرورش ماهی، مدیران بهداشت ماهی، مدیران نظارت بر پرورش، دانشجویان تحصیلات تکمیلی و محققین و سازمان شیلات و دامپزشکی و محیط زیست می باشد.

References

- Bis, T., 2007. Risk Assessment Report on Zinc Environmental Part.
- Bodar, C.W.M., 2007. Environmental risk limits for zinc.
- Dawood, M.A., Alagawany, M., Sewilam, H., 2021. The role of zinc microelement in aquaculture: a review. *Biological Trace Element Research*, 1-13.
- Erkkilä, A.T., Lichtenstein, A.H., Mozaffarian, D., Herrington, D.M., 2004. Fish intake is associated with a reduced progression of coronary artery atherosclerosis in postmenopausal women with coronary artery disease. *The American Journal of Clinical Nutrition* 80(3), 626-632.
- Gad, N.S., 2009. Determination of glutathione related enzymes and cholinesterase activities in *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus* as bioindicator for pollution in Lake Manzala. *Global Veterinaria* 3(1), 37-44.
- Jafarzadeh, N., 2017. Feasibility of gradual removal of malathion and diazinon agricultural toxins in sediment trap structure. Master's thesis. University of Tehran. (In Persian)
- Javanshir, A., Rezaei, K., Darvishi, P., 2016. Studying the reduction of soluble arsenic using sediment trap and BIODROF Biologic Dry Oxygen Filter structure. The 4th Iranian Natural Resources Research Conference focusing on fisheries and aquatic ecosystems. (In Persian)
- Javanshir, A., 2023. Treatment of industrial wastewater of alcohol factories using a particle trap system and their potential for aquaculture using *Daphnia* (*Daphnia pulex*) and Zebrafish (*Danio rerio*) as model bioindicators. *Journal of Aquatic Biology* 11(4), 338-353
- Jyoti, D., Sinha, R., Faggio, C., 2022. Advances in biological methods for the sequestration of heavy metals from water bodies: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 94, 103927.
- Li, L., He, Y., Song, K., Xie, F., Li, H., Sun, F., 2021. Derivation of water quality criteria of zinc to protect aquatic life in Taihu Lake and the associated risk assessment. *Journal of Environmental Management* 296, 113175
- Rezaei, K., Javanshir, A., 2015. Reducing the amount of nitrate and phosphate in the effluent of fish breeding ponds by the Biodrof system. *International Conference on Environment and Natural Resources*. (In Persian)
- Salimzadeh, K.H., 2021. Studying the efficiency of the Biodrof system in purifying the incoming water from muddy rivers to fish breeding ponds. Master's thesis. University of Tehran. (In Persian)
- Saravanan, A., Kumar, P. S., Jeevanantham, S., Karishma, S., Tajsabreen, B., Yaashikaa, P.R., Reshma, B., 2021. Effective water/wastewater treatment methodologies for toxic pollutants removal: Processes and applications towards sustainable development. *Chemosphere* 280, 130595.
- Shahjahan, M., Taslima, K., Rahman, M.S., Al-Emran, M., Alam, S.I., Faggio, C., 2022. Effects of heavy metals on fish physiology—a review. *Chemosphere* 300, 134519.
- Sharma, M., Kant, R., Sharma, A.K., & Sharma, A.K., 2024. Exploring the impact of heavy metals toxicity in the aquatic ecosystem. *International Journal of Energy and Water Resources* pp. 1-14.
- Tariq, A., & Mushtaq, A. (2023). Untreated wastewater reasons and causes: A review of most affected areas and cities. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences* 23(1), 121-143.
- Wu, X., Jeong, C. B., Huang, W., Ip, J. C. H., Guo, J., Lai, K. P., Mo, J., 2024. Environmental occurrence, biological effects, and health implications of zinc pyrithione: A review. *Marine Pollution Bulletin* 203, 116466.
- Yi, Y., Yang, Z., Zhang, S., 2011. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution* 159(10), 2575-2585.
- Zeitoun, M.M., Mehana, E.E., 2014. Impact of water pollution with heavy metals on fish health: overview and updates. *Global Veterinaria* 12(2), 219-231.