

Research Paper

مقاله پژوهشی

## Investigation of Nematode Removal by Units of Pardis Drinking Water Treatment Plant

## بررسی حذف نماتد توسط واحدها و یکان‌های تصفیه‌خانه آب شرب پردیس

Farzanreh Faridirad<sup>1\*</sup>, Masomeh Gholinazhad<sup>2</sup>,  
Fateme Tabrizi<sup>3</sup> and Noormohammad Salabarzi<sup>4</sup>

فرزانه فریدی‌راد<sup>۱\*</sup>، معصومه قلی‌نژاد<sup>۲</sup>، فاطمه تبریزی<sup>۳</sup> و نورمحمد  
سلابرزی<sup>۴</sup>

1- Ph.D. of Polymer Engineering, Quality Control Expert of Pardis Drinking Water Treatment Plant, East Tehran Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

۱- دکترای مهندسی پلیمر، کارشناس کنترل کیفی تصفیه‌خانه آب شرب پردیس، شرکت آب و فاضلاب شرق استان تهران، تهران، ایران.

2- M.Sc. of Biotechnology, Biological Lab Expert, East Tehran Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

۲- کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی، کارشناس آزمایشگاه بیولوژی، شرکت آب و فاضلاب شرق استان تهران، تهران، ایران.

3- M.Sc. in Environmental Engineering, Chemical Lab Expert, East Tehran Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

۳- کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست، کارشناس آزمایشگاه شیمی فیزیک، شرکت آب و فاضلاب شرق استان تهران، تهران، ایران.

4- B.Sc. in Chemical Engineering, Chemical Lab Expert, East Tehran Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

۴- کارشناسی مهندسی شیمی، کارشناس آزمایشگاه تصفیه‌خانه آب شرب پردیس، شرکت آب و فاضلاب شرق استان تهران، تهران، ایران.

\*Corresponding Author, Email: [faridyrad.f@gmail.com](mailto:faridyrad.f@gmail.com)

\* نویسنده مسئول، ایمیل: [faridyrad.f@gmail.com](mailto:faridyrad.f@gmail.com)

Received: 17/08/2020

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۷

Revised: 14/01/2021

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۱۰/۲۵

Accepted: 27/01/2021

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۸

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

### Abstract

### چکیده

Nematodes are biological creatures with different kinds of species. According to the sources, the main reason for their low removal efficiency against disinfection, is their high rotational movements. Sand filters are the best place for their growth and reproduction. Therefore the best way to increase the removal efficiency of nematodes, is to inactivate them before their entrance into the sand filters and appropriate washing. In Pardis water treatment plant by increasing the nematodes after passing through a critical duration and increasing the turbidity of entrance water up to 300 NTU, caused from Jajoroud flooding, some actions were taken place such as frequent back-washing of filters, Chlorine shock, washing by perchlorine in different concentrations from 35-200 ppm. For this research, samples were taken from different indicator points of plant during 9 days. Then biological and physical chemistry analysis were taken place in order to detect the presence or absence of zooplanktons, specially nematodes in the treated water, and investigating the effect of flooding on physical and chemical quality of the water. After taking the above-mentioned actions and resampling during 4 days, from indicator points, the results showed that there were not any nematodes in the treated water and also the removal efficiency of the filters was raised up to 99% which was more than the literatures. These works have been done in order to remove the nematodes or prevent them from entering to the reproductive phase. The experimental analysis have been discussed in this research.

نماتدها از جمله موجودات بیولوژیکی هستند که تنوع زیادی دارند. براساس مطالعات میکروسکوپی قدرت حرکت نماتدها عمده‌ترین علت پایین بودن کارایی حذف آن‌ها در مقابل گندزدایی است. صافی‌ها می‌تواند بستر مناسبی برای زاد و ولد آن‌ها باشند. بنابراین با غیرفعال‌سازی نماتدها قبل از ورود به صافی‌ها و شستشوی مناسب، متوسط کارایی حذف نماتدها به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. در تصفیه‌خانه آب پردیس با مشاهده افزایش نماتد پس از یک‌دوره بحران و ورود آب ناشی از سیلاب رودخانه جاجرود، با کدورت بالا (حدود ۳۰۰ NTU) در صدد رفع این مشکل، آزمون‌ها و اقداماتی شامل: شستشوی صافی‌ها، شوک کلر و شستشو با پرکلرین در غلظت‌های ۳۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ ppm انجام شد. به این منظور نمونه‌گیری از نقاط شاخص تصفیه‌خانه در یک دوره ۹ روزه انجام پذیرفت و آزمون‌های بیولوژیکی، به‌منظور شناسایی حضور زئوپلانکتون‌ها (به‌خصوص نماتد) و آزمون‌های فیزیکی شیمیایی، به‌منظور بررسی اثر این بحران بر خواص شیمی فیزیک آب، بر روی نمونه‌ها صورت گرفت. بعد از انجام اقدامات مذکور و نمونه‌گیری مجدد به مدت ۴ روز، نتایج حاکی از عدم حضور نماتد در خروجی صافی‌ها بود، درضمن درصد حذف و کارایی صافی‌ها به بیش از ۹۹ درصد رسید که بیشتر از مقادیر گزارش شده در منابع بود. این مطالعه به‌منظور متوقف کردن مراحل مختلف رشد نماتدها و جلوگیری از ورود آن‌ها به فاز تکثیر انجام شد. روش‌های مذکور با توجه به نتایج آزمایشگاهی مربوط به نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های مختلف تصفیه‌خانه برای حذف نماتد کارایی مشابه نداشتند.

**Keywords:** Nematode, Water treatment plant, Sand filters, Chlorine shock.

**کلمات کلیدی:** نماتد، تصفیه‌خانه آب، صافی‌های شنی، شوک کلر.

نماتدها تنها از طریق فیلترهای شنی به دام می‌افتند و می‌توان از ورود آن‌ها به آب پاک جلوگیری کرد (James, 2017). در خصوص روش‌هایی از جمله تخلیه الکتریکی (Dematte, 1993) و فیلتراسیون از طریق بهینه‌سازی سایز حفرات و تخلخل بستر و یا مقایسه صافی‌های شنی تند و کند در حذف نماتدها (Van Os, 1999) بررسی‌هایی صورت گرفته است. همچنین استفاده از هیدروژن پراکسید (Runia, 1996) و ازن‌زنی (Moenos, 1991) بعد از فیلتراسیون به منظور کنترل تعداد نماتدها در آب خروجی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. وجود بستر دو لایه صافی نسبت به بستر تک‌لایه به سبب زمان ماند بیشتر بار بیولوژی و به دلیل تخلخل بالاتر یک حسن محسوب می‌شود. بنابراین بهتر است در طراحی صافی‌ها از بستر حداقل دو لایه استفاده شود. افزایش تعداد لایه‌ها منجر به افزایش راندمان حذف می‌شود (رشیدی مهرآبادی، ۱۳۸۳؛ ۱۳۸۵).

در بسیاری از کشورها کلر به دلیل ارزان و موثر بودن، برای کاهش یا حذف میکروارگانیسم‌هایی که مسئول بیماری‌های منتقله از طریق آب هستند به آب اضافه می‌شود. کلر می‌تواند در مدت ۳ دقیقه و غلظت ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر اکثر ارگانیسم‌های بیماری‌زا برای انسان را به طور موثر غیرفعال کند (رشیدی مهرآبادی، ۱۳۸۳) در استاندارد آب آشامیدنی ایران مقدار مطلوب کلر آزاد باقی‌مانده در هر نقطه از شبکه بعد از نیم‌ساعت زمان تماس در شرایط عادی ۰/۲ تا ۰/۸ میلی‌گرم بر لیتر با توجه به pH و در شرایط اضطراری و همه‌گیری‌های بیماری‌های روده‌ای و بلایای طبیعی باید ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر باشد (میرانزاده، ۱۳۸۷) کدورت آب به عنوان یک فاکتور موثر روی کیفیت میکروبی آب آشامیدنی با حمایت از رشد و بقای میکروارگانیسم‌ها یا کاهش راندمان کلر در تصفیه آب مطرح است (Sadri, 2018). در پژوهشی با هدف ارزیابی فرایند فیلتراسیون و عملکرد فیلترهای شنی تصفیه‌خانه آب اصفهان، بررسی کدورت و شمارش زئوپلانکتون‌ها پس از شستشوی معکوس طی ۴ ماه انجام شد. میانگین تغییرات کدورت و شمارش زئوپلانکتون‌های نماتد و روتیفر در زمان‌های مختلف بعد از شستشوی معکوس مورد بررسی قرار گرفت. نقطه شکست کدورت و کاهش زئوپلانکتون‌ها بعد از زمان ۱۵ تا ۲۰ دقیقه شستشوی معکوس رخ داد. طبق نتایج این مطالعه برای محدود شدن تعداد ذرات معلق و ارگانیسم‌ها در آب خروجی بهتر است فیلتر ۲۰ دقیقه بعد از شستشوی معکوس در مدار قرار گیرد (عطابخش، ۱۳۹۶). Casas (2018) در مورد اثربخشی فیلتراسیون همراه با تابش UV-C در دماهای پایین به منظور حذف و غیرفعال‌سازی زئوپلانکتون‌ها

نماتدها کرم‌های صاف با بدن لوله‌ای کشیده‌ای، بی‌رنگ، سیلندری شکل، نرم و بسیار کوچک هستند، به طوری که طول آن‌ها به ندرت بیشتر از ۱/۱۶ اینچ می‌شود. آن‌ها در حال حاضر در سراسر جهان در آب‌های شیرین، لب شور، شور و هم‌چنین در خاک زندگی می‌کنند. نماتد آب شیرین به عنوان هرگونه نماتد ساکن آب شیرین یا خاک باتلاقی غیر لب‌شور در زیر سطح آب تعریف شده‌اند. نماتدها در مقابل کلر زنی بسیار مقاومند. مقاومت آن‌ها چندین برابر باکتری‌ها و حتی بیشتر از کیست ژیا ردیا است. به طوری که غلظت و زمان تماس گندزدایی که طبق استانداردها و قوانین تصفیه آب‌های سطحی برای حذف ژیا ردیا به کار می‌رود برای حذف و جداسازی نماتدها موثر نیست (Kau, 1995). نماتدهای آب شیرین Bactivoros در فیلترهای شنی تکثیر می‌یابند و می‌توانند پاتوژن‌های روده‌ای انسان را بخورند که پس از کلریناسیون می‌توانند در بدن نماتد زنده بمانند. بسیاری از نماتدهای آبی یک ماده مترشحه چسبناک به وسیله یک اندام تارساز که در نوک دمشان وجود دارد، تولید می‌کند این ترشحات موقتاً نماتد را به یک بستر می‌چسباند که می‌تواند بدون دخالت جریان آب عمل نمایند. نماتدها می‌توانند در انتقال برخی قارچ‌ها و باکتری‌های بیماری‌زا نظیر سالمونلا و شیگلا دخالت نمایند ولی تنها در مورد برخی ویروس‌ها به عنوان ناقل واقعی شناخته شده‌اند (معمارزاده، ۱۳۸۹؛ بانژاد، ۱۳۸۷).

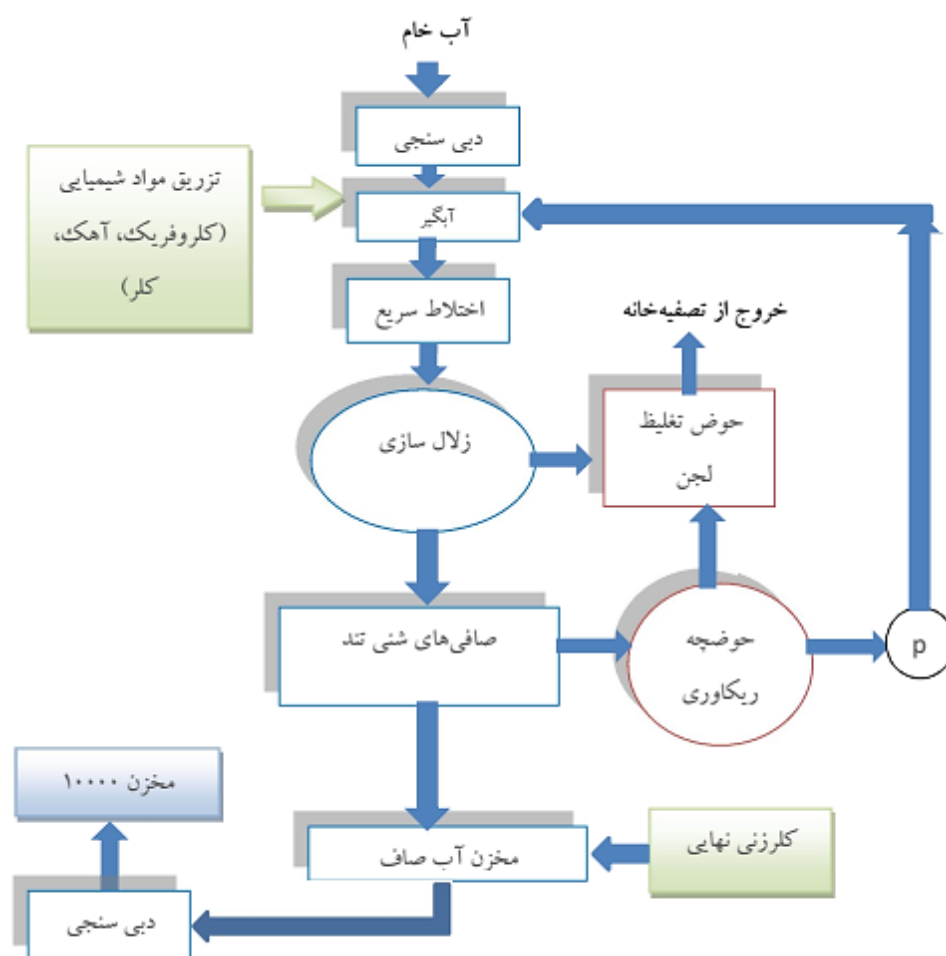
نماتدهای ماده از نرها بزرگتر هستند. قسمت انتهایی دم آن‌ها به صورت تیز و انتهای سر حالت گردشده‌گی دارد (شکل ۱). بدن در قسمت وسط پهن‌تر است، زنده‌زا بوده و نوزادان به سرعت زیاد می‌شوند. تخم‌ها در بدن ماده‌ها به راحتی در زیر میکروسکوپ دیده می‌شوند زیرا تخم‌های آن‌ها شفاف هستند. نرها اندام تولید مثلی داخلی ندارند و به این واسطه از ماده‌ها تشخیص داده می‌شوند. کلاً بیشتر حجم بدن این کرم توسط اندام تولید مثلی اشغال شده است. بدن این کرم از ۷۶٪ آب و ۲۴٪ ماده خشک تشکیل شده است. از ۲۴٪ ماده خشک، ۴۰٪ پروتئین و ۲۰٪ چربی است (مرتضایی، ۱۳۸۵).



شکل ۱- تصویری از نماتد آبی (مرتضایی، ۱۳۸۵)

۲ نشان داده شده است. این تصفیه‌خانه شامل واحدهای حوضچه آب خام، حوضچه اختلاط مواد شیمیایی و آب خام ورودی، زلال‌ساز از نوع پولساتور و فیلتراسیون به‌وسیله ۴ صافی تند شنی است. منابع تامین‌کننده آب خام ورودی تصفیه‌خانه آب شرب پردیس، آبگیر سد لتیان و ۵ حلقه چاه فلمن اطراف آن است که پس از عبور از سه ایستگاه پمپاژ و کلرزنی اولیه در ایستگاه پمپاژ ۱ وارد تصفیه‌خانه می‌شود. مواد منعقدکننده و تنظیم‌کننده pH در این تصفیه‌خانه کلروفریک و آهک هستند که مقادیر بهینه تزیقات از طریق آزمون جار تست تعیین می‌شود.

مطالعه کردند. پاسخ‌دهی این روش در دو محدوده اندازه میکروارگانیسم‌ها در رنج دماهای مختلف به اثبات رسید و نتایج نشان داد فرایند فیلتراسیون همراه با تابش UV-C در دماهای پایین موثر تر واقع شد. در مطالعه‌ای دیگر توسط (Peng 2019) اثر حذف زئوپلانکتون‌ها با استفاده از لخته‌سازی از طریق خاک رس بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد لخته‌های خاک رس به‌طور قابل توجهی سیانوباکتر بایومس را حذف کرده و غلظت مواد مغذی شامل نیتروژن، نیترات، آمونیاک، فسفر کل را کاهش داد و از طرفی منجر به غیرفعال شدن و حذف زئوپلانکتون‌ها شد. شمایی از فلودیاگرام تصفیه‌خانه آب شرب پردیس در شکل



شکل ۲- فلودیاگرام فرایند تصفیه در تصفیه‌خانه آب شرب پردیس

## ۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق با توجه به اهمیت صافی‌ها در تصفیه آب‌های سطحی، کارایی صافی‌ها تحت شرایط سیلابی شدن آب ورودی با کدورت بالا برای کاهش و حذف نماتدها مورد ارزیابی قرار گرفته

در تصفیه‌خانه آب پردیس با مشاهده افزایش نماتد پس از یک دوره بحران و ورود آب با کدورت بالا در صدد رفع این مشکل، آزمون‌ها و اقداماتی شامل: شستشوی صافی‌ها، شوک کلر و شستشو با پرکلرین در غلظت‌های مختلف انجام شد. این کار به‌منظور متوقف کردن مراحل مختلف رشد نماتدها و جلوگیری از ورود آن‌ها به فاز تکثیر انجام شد.

قبل از اضافه کردن محلول‌ها به بستر صافی عملیات بک‌واش (شستشوی معکوس صافی) صورت‌گرفت. سپس محلول‌های ساخته شده به‌طور جداگانه به صافی‌ها که تا محل سرریز از آب پر شده‌اند اضافه شد. زمان ماند بستر صافی در هر یک از محلول‌های ساخته شده به‌مدت ۲۴ ساعت در نظر گرفته‌شد. در طی این مدت به‌دلیل نفوذ آسان‌تر محلول پرکلرین ساخته شده در میان خلل و فرج دانه‌بندی و مصالح صافی‌ها عملیات هوادهی دو مرتبه به فاصله هر ۱۰ ساعت یک‌بار انجام شد. بعد از ۲۴ ساعت عملیات بک‌واش مجدد انجام گرفت، تا حدی که میزان کلر خروجی به حد مجاز ۱ ppm برسد. در این شرایط صافی وارد مدار شد و قابل بهره‌برداری بود.

در روش شوک کلر یا کلرزنی در حد اشباع مقدار زیادی کلر به‌صورت ناگهانی به صافی‌ها اضافه شد تا جلبک‌ها، باکتری‌ها و کدورت آب را از بین ببرند. در این روش کلر پسماند موجود در آب به ۲ تا ۴ برابر مقدار متداول آن افزایش یافت. علت کلرزنی در حد اشباع آن است که حتی زمانی که کلر باقی‌مانده در محدوده مناسب نگهداری می‌شود، به‌دلیل وجود اجزای دیگری مثل آمونیاک، مقدار کلر آزادی که باعث از بین بردن عوامل بیولوژیکی می‌شود، کاهش می‌یابد که یعنی در این شرایط حتی پس از آزمایش آب خروجی و مشخص شدن بالا بودن مقدار کلر موجود در آب، باز هم مشکلاتی مثل رشد نماتدها در آب وجود دارد.

لازم به توضیح است محدوده غلظت کلر آب ورودی به تصفیه‌خانه به‌صورت معمول و در طول تمامی مراحل تحقیق در حدود ۰/۲-۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. در ضمن نمونه‌برداری از آب خام ورودی، خروجی هر صافی و خروجی کل صافی‌ها و پولساتور در یک بازه زمانی ۹ روزه به فاصله زمانی یک‌ساعت یک‌بار، انجام شد.

روش‌های ذکر شده با توجه به نتایج آزمایشگاهی مربوط به نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های مختلف تصفیه‌خانه برای حذف نماتد کارایی مشابه نداشتند. از این بین با توجه به رفتار صافی‌ها شستشوی مکرر توانست مطلوب‌ترین نتیجه را ارائه دهد. روش‌های شوک کلر و شستشو با پرکلرین تا حدودی تنها منجر به غیرفعال شدن نماتدها شد که این اثر در مشاهدات مربوط به آزمون بیولوژی نمونه‌ها بارز است که نماتدهای غیرزنده در زیر میکروسکوپ مشاهده شده است. در ادامه با کاهش زمان شستشو تعداد نماتدهای بی جان نیز کاهش و تقریباً حذف شد. بعد از غیرفعال‌سازی و حذف نماتدها نمونه‌گیری به‌مدت ۴ روز از خروجی آب پولساتور (قبل از صافی‌ها) و خروجی از صافی‌ها

است. در فرودین ماه سال ۱۳۹۸ در اثر بارش‌های سیل‌آسا و فراگیر در کل کشور اغلب تصفیه‌خانه‌ها از جمله تصفیه‌خانه آب شرب پردیس با مشکل افزایش ناگهانی کدورت و تغییرات شدید سایر پارامترهای کیفی در آب خام ورودی مواجه شد. با ورود آب خام با کدورت بالای ۳۰۰ NTU، حجم بار بیولوژیکی ورودی به تصفیه‌خانه آب شرب پردیس افزایش یافت و همچنین میزان مواد منعقدکننده مورد استفاده برای انعقاد و ته‌نشینی مواد معلق با توجه به آزمون جار افزایش قابل‌توجهی یافت. میزان کدورت آب ورودی به صافی‌ها حدود ۶-۷ برابر شرایط عادی گزارش شد که منجر به تحمیل بار بیولوژیکی سنگین به صافی‌ها شد. همین امر منجر به ایجاد بستر مناسبی در صافی‌ها به‌منظور رشد و تکثیر نماتدها و افزایش شمار آن‌ها در آب خروجی از صافی‌ها شد. بنابراین در چنین شرایطی، به‌منظور غیرفعال‌سازی و حذف نماتدها اصلی‌ترین و موثرترین روش ایجاد تغییرات بهینه در بستر صافی‌ها است که عمل فیلتراسیون را انجام می‌دهند. به‌همین دلیل هدف اصلی این تحقیق بر روی بخش فیلتراسیون و فرایندی که در بستر صافی‌ها رخ می‌دهد متمرکز بوده و بر روی سایر واحدهای فرایندی از جمله پولساتور و یا حوضچه اختلاط مطالعاتی انجام نگرفت (با توجه به اینکه تعداد نماتدها در آب خام ورودی و خروجی پولساتور قابل توجه نبودند).

در ادامه این تحقیق با استفاده از روش‌ها و اقداماتی از جمله افزایش کنترل شده میزان غلظت کلر در آب ورودی، شستشوی صافی‌ها با استفاده از پرکلرین و کاهش زمان شستشوی صافی‌ها و پایش مستمر آزمون‌های بیولوژی و ... در خصوص بازگشت به شرایط عادی اقدام شد. در روش شستشو با پرکلرین ابتدا صافی موردنظر به‌طور کامل از مدار خارج شد. با توجه به حجم محاسبه شده آب داخل هر صافی، غلظت‌های مختلف از محلول پرکلرین، از طریق انحلال مقدار تعیین شده برحسب میلی‌گرم در لیتر پرکلرین در آب گرم آماده شد. پرکلرین به صورت جامد بوده و به‌راحتی در آب گرم حل می‌شود. از رابطه (۱) به‌منظور محاسبه مقدار جرم پرکلرین برای ساخت محلول‌های با غلظت‌های مختلف استفاده شد.

$$\frac{C \times V}{purity\%} = m \quad (1)$$

که  $C$ : غلظت برحسب  $(g/m^3)$ ،  $V$ : حجم کل بستر همراه با آب درون آن  $(m^3)$  و  $purity$ : درصد خلوص پرکلرین هستند. با توجه به سازه مربوط به صافی (ابعاد بستر و هم‌چنین حجم آب روی صافی‌ها و پایین صافی‌ها) حجم در این رابطه محاسبه شده و سپس برحسب حجم غلظت‌های موردنظر به‌دست آمدند.

کدورت‌سنج 2100Q از شرکت سازنده HACH اندازه گرفته شد.

- اندازه‌گیری میزان کلر آزاد باقی‌مانده: میزان کلر آزاد باقی‌مانده در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کلرسنج پرتابل EXACT اندازه‌گیری شد.

- اندازه‌گیری میزان pH: توسط دستگاه Metrohm744 اندازه‌گیری شده است.

- اندازه‌گیری میزان قلیاییت: ۲۵ سی‌سی از نمونه صاف شده را داخل ارلن ۲۵۰ سی‌سی ریخته و به آن ۲-۵ قطره بروموکروزول اضافه شد تا رنگ نمونه آبی شود. سپس نمونه با اسید کلریدریک N/50 تیترا شد تا رنگ سبز ایجاد شود. آخرین قطره‌ای که باعث می‌شود رنگ نمونه تغییر کند در دقت آزمایش بسیار مهم است. سپس حجم اسید مصرف شده یادداشت و از روی این عدد مقدار  $\text{CaCO}_3 \text{ mg/l}$  به دست آمد.

- اندازه‌گیری میزان کلسیم: ۲۵ سی‌سی از نمونه صاف شده داخل ارلن ۲۵۰ سی‌سی ریخته و به اندازه نوک اسپاتول به آن معرف موراکساید و ۲ سی‌سی سود نرمال اضافه شد. سپس نمونه با EDTA ۰/۰۱ نرمال تیترا شد تا رنگ ارغوانی ایجاد شود. آخرین قطره‌ای که باعث می‌شود رنگ نمونه تغییر کند در دقت آزمایش بسیار مهم است. سپس حجم EDTA مصرف شده، یادداشت و از روی این عدد مقدار  $\text{mg/l}$  کلسیم با توجه به بند Ca-۳۵۰۰ استاندارد متد ۲۰۱۷ (Baird, 2017; AWWA, 2002) به دست می‌آید.

- اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی: اندازه‌گیری هدایت الکتریکی توسط دستگاه HQ14d از شرکت HACH انجام شده است.

### ۳- نتایج و بحث

در تصفیه‌خانه آب شرب پردیس به منظور حذف بیولوژیکی از صافی‌های دولایه استفاده می‌شود. این صافی‌ها دارای دو نوع دانه‌بندی بوده که شامل آنتراسیت و سیلیس است. مشخصات کلی مواد محیط بستر صافی‌های تصفیه‌خانه آب شرب پردیس در جدول ۱ ارائه شده است

جدول ۱- مشخصات کلی مواد محیط بستر صافی‌ها

ردیف	جنس لایه	دامنه اندازه ذرات (mm)	ارتفاع گرانول کف صافی (سانتیمتر)
۱	آنتراسیت	۱/۸-۰/۸	۴۰
۲	سیلیس دانه ریز	۰/۸-۰/۳۵	۶۰
۳	سیلیس دانه درشت	۴-۲	۱۰

صورت پذیرفت و کیفیت نمونه‌ها از لحاظ عوامل بیولوژیکی به منظور بررسی کارایی صافی‌ها مورد پایش قرار گرفت.

### ۱-۲- بخش آزمایشگاهی

مواد و تجهیزات به کار گرفته شده در این تحقیق به منظور انجام آزمایشات بیولوژی و شیمی فیزیک عبارتند از: لام و لامل برای قراردادن نمونه تهیه شده و بررسی آن، سمپلر ۱ میلی‌لیتر، بشر ۵۰ سی‌سی، دستگاه پمپ خلاء به همراه ارلن خلاء، کاغذ صافی ۰/۸ میکرون، میکروسکوپ، کدورت‌سنج، کلرسنج، pH متر، دستگاه هدایت‌سنج، دستگاه DO سنج، دستگاه سنجش آهن، بورت، معرف فنول فتالئین، معرف بروموکروزول، معرف موراکساید، معرف آهن، اسید کلریدریک ۰/۰۱ نرمال، EDTA، NaOH.

### ۲-۲- آزمون بیولوژی

نمونه برداری مطابق با دستورالعمل نمونه برداری آب در آزمایشگاه بیولوژی به شماره سند WI-BI-08 و بند 10200B استاندارد متد ۲۰۱۷ (Baird, 2017; AWWA, 2002) از ورودی، پولساتور، صافی‌ها و خروجی کل تصفیه‌خانه توسط کارشناسان آزمایشگاه انجام شد. به منظور تعیین تعداد نماتدها در نمونه‌های آب جمع‌آوری شده، برای نمونه‌های خروجی و صافی‌ها ۳ لیتر از نمونه و برای نمونه مربوط به ورودی و پولساتور یک لیتر از نمونه جمع‌آوری شده توسط فیلتر کاغذی با اندازه حفره ۳ میکرون از طریق ست فیلتراسیون و پمپ خلاء صاف شد. نمونه باقی‌مانده بر روی صافی با یک سی‌سی آب مقطر به وسیله سمپلر شستشو داده شد و آماده‌سازی آن بر روی لام بیولوژی مخصوص آزمون آب (سدویک رفته) به منظور مشاهده از طریق میکروسکوپ صورت گرفت. از طریق شمارش نماتدهای موجود در کل لام، در نهایت تعداد نماتد برحسب تعداد در یک لیتر گزارش شد.

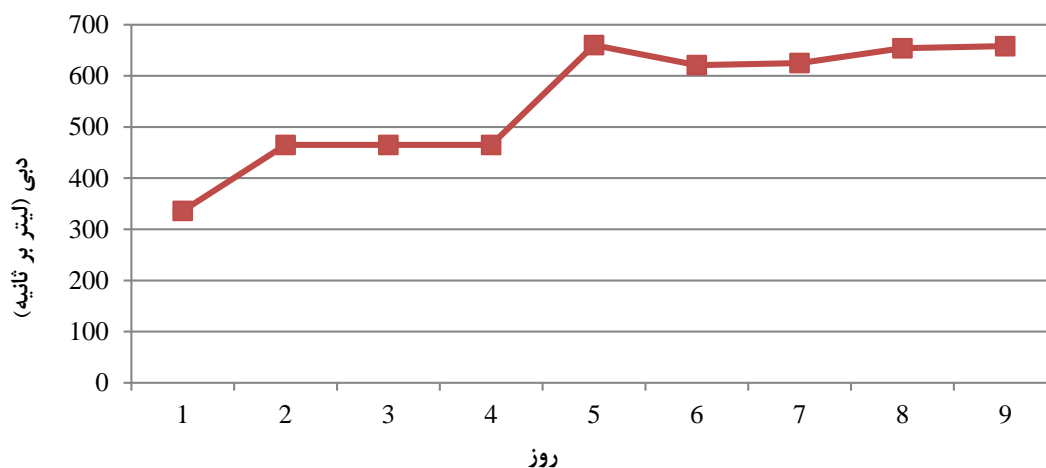
در خصوص اندازه‌گیری تعداد فیتوپلانکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها (به جز نماتد) روش کار به همین صورت بود، با این تفاوت که برای نمونه‌های خروجی و صافی‌ها یک لیتر و برای نمونه‌های ورودی و پولساتور ۲۵۰ سی‌سی از نمونه جمع‌آوری شده با فیلتر کاغذی ۰/۸ میکرون توسط دستگاه ست فیلتراسیون و پمپ خلاء صاف شد. با شمارش عوامل بیولوژیکی به صورت خطی و یا کل لام، در نهایت تعداد فیتوپلانکتون‌ها برحسب تعداد در ۱۰۰ میلی‌لیتر و زئوپلانکتون‌ها برحسب تعداد در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر گزارش شد.

### ۳-۲- آزمایش‌های مربوط به شیمی فیزیک

- اندازه‌گیری میزان کدورت: میزان کدورت با استفاده از دستگاه



افتاده می‌شود. اثرات این پدیده در روزهای بعد با اندازه‌گیری تعداد نمادهای موجود در خروجی و صافی‌ها مشاهده شد. از آنجایی که در تعداد نماد آب خام ورودی تغییر محسوسی مشاهده نشد، علت این افزایش نماد را صافی‌ها دانسته و برای رفع این مشکل اقدام شد (Elmelko, 2003). شکل ۳ دبی آب ورودی به تصفیه‌خانه در روزهای مختلف نشان داده شده است.



شکل ۳- دبی آب ورودی به تصفیه‌خانه

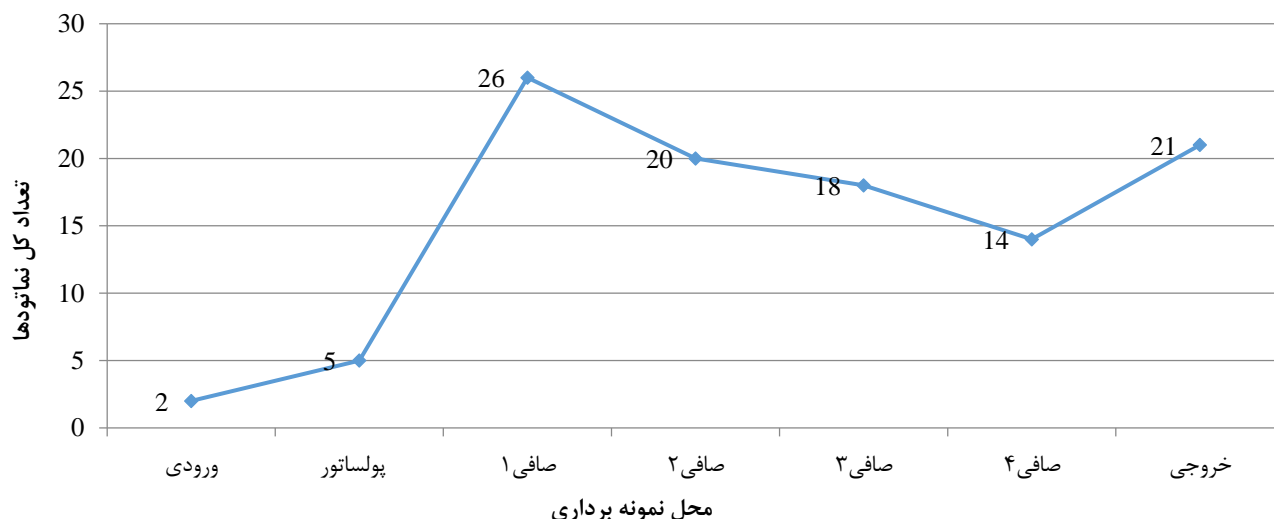
به‌طرز چشم‌گیری افزایش یافته است. این نتایج حاکی از آن است که با توجه به شرایط بحرانی پیش‌آمده و ورود آب خام با کدورت بیش از ۳۰۰ NTU به تصفیه‌خانه که حامل حجم بالای آلودگی و مواد مغذی برای تکثیر نماتدها است، این مواد مغذی در بسترسافی‌ها به‌ویژه در محیط متخلخل آنتراسیت به‌دام افتاده و بستر رشد مناسبی را به‌منظور تولید مثل و تکثیر نماتدها فراهم آورده‌اند.

با توجه به دانسیته متفاوت ذرات تشکیل‌دهنده صافی‌ها، ذرات لایه‌بندی می‌شوند و توده چندلایه‌ای در محیط صافی به‌وجود می‌آید که منجر به افزایش عمق و کارایی و به حداقل رساندن عمل شستشوی معکوس می‌شود (رشیدی مهرآبادی، ۱۳۸۵). این نوع دانه‌بندی با توجه به تخلخل موجود سبب به‌دام انداختن نماتدها می‌شود. کدورت ورودی بالا منجر به ایجاد بستر مغذی مناسب برای رشد و تکثیر نماتدهای به‌دام

آزمون‌های بیولوژیکی به‌روش استاندارد شمارش تعداد در لیتر نماد در آب ورودی، خروجی، خروجی هر صافی و پولساتور انجام شد که نتایج حاصل از شمارش نماتدها در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نمودار شکل ۴، طی ۹ روز تحت مطالعه بیشترین تعداد کل نماتدها در صافی شماره ۱ و کمترین تعداد کل نماتدها در آب خام ورودی مشاهده شد. با مقایسه نتایج آب خام ورودی و خروجی صافی‌ها مشخص شد که تعداد نماتدها در آب خام ورودی در حداقل مقدار خود است و در بستر صافی‌ها

جدول ۲- نتایج تعداد نماتدها

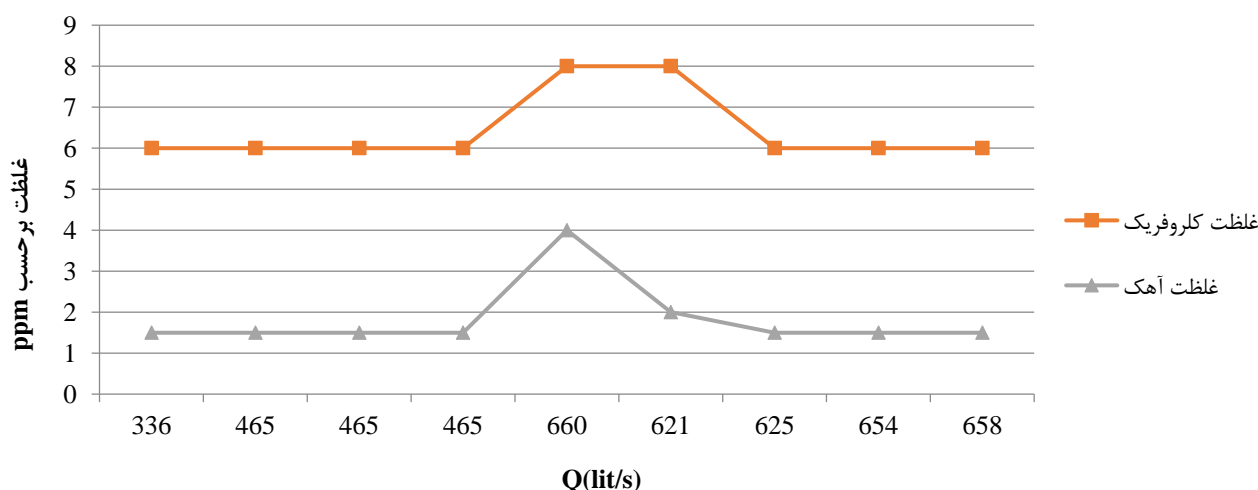
روز	میانگین غلظت کلر ورودی (ppm)	میانگین کدورت ورودی (NTU)	ورودی	پولساتور	صافی ۱	صافی ۲	صافی ۳	صافی ۴	خروجی
۱	۰/۲۱	۲۵/۲	۰	۰	۱	۲	۰	۱	۰
۲	۰/۲۹	۱۶۱/۷۸	۰	۱	۳	۳	۳	۴	۰
۳	۰/۴۵	۸۵/۹۵	۰	۰	۴	۳	۵	۴	۲ مرده
۴	۰/۴۷	۳۷/۲۹	۰	۱	۵	۴	۲	۳	۱ مرده
۵	۰/۵۶	۱۶/۹۲	۰	۲	۴	۵	۴	۴	۱ مرده
۶	۰/۵۴	۱۵/۸۳	۰	۰	۶	۲	۱	۱	۰
۷	۰/۳۴	۱۶/۴	۰	۱	۲	۱	۱	۰	۰
۸	۰/۳۶	۱۷/۵	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰
۹	۰/۴۶	۱۴/۳	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰



شکل ۴- روند تغییرات تعداد نماتد در محل‌های مختلف نمونه‌برداری

کلروفریک در روز پنجم با حداکثر دبی ۶۶۰ لیتر بر ثانیه گزارش شده است. با توجه به کم بودن قطر بدن نماتدها و انعطاف‌پذیری آن‌ها در بین روزنه صافی‌ها، صافی‌ها می‌توانند بستر مناسبی برای زاد و ولد آن‌ها باشند. از این رو از شوک کلر و شستشو با پرکلرین برای غیرفعال شدن نماتدها در صافی‌ها استفاده شده است. طبق جدول شماره ۳ تمامی صافی‌ها دوبار در روز با غلظت‌های ۳۵، ۱۰۰، ۵۰، ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پرکلرین شستشو داده شده‌اند و مشاهده شد که در روز پنجم میزان غلظت کلر مصرف شده نسبت به روزهای گذشته ۱۸۵/۷ درصد و ۳۰۰ درصد افزایش داشته است.

میزان مواد منعقدکننده با توجه به کدورت وارد شده به تصفیه‌خانه افزایش چشمگیری داشته است، به نحوی که میزان غلظت کلروفریک مصرف شده در بالاترین دبی ورودی تصفیه‌خانه ۳۳/۳۳ درصد و میزان غلظت آهک مصرف شده در همان دبی ۱۶۶/۶۶ درصد افزایش داشته است. با انتخاب درست و تزریق بهینه مقدار غلظت مواد منعقدکننده به منظور بی‌بار کردن ذرات شناور (Flocculation) و درهم رفتن مواد بی‌بار و به وجود آمدن ذرات درشت‌تر (Coagulation) میزان حذف و راندمان پولساتور به حدود ۹۰-۹۵ درصد رسید که منجر به ورود آب با کدورت حدود ۱۴ NTU به صافی‌ها شد. با توجه به نمودار شکل ۵ بیشترین میزان غلظت آهک و



شکل ۵- تغییرات میزان غلظت آهک و کلروفریک با میزان دبی آب ورودی به صافی‌ها

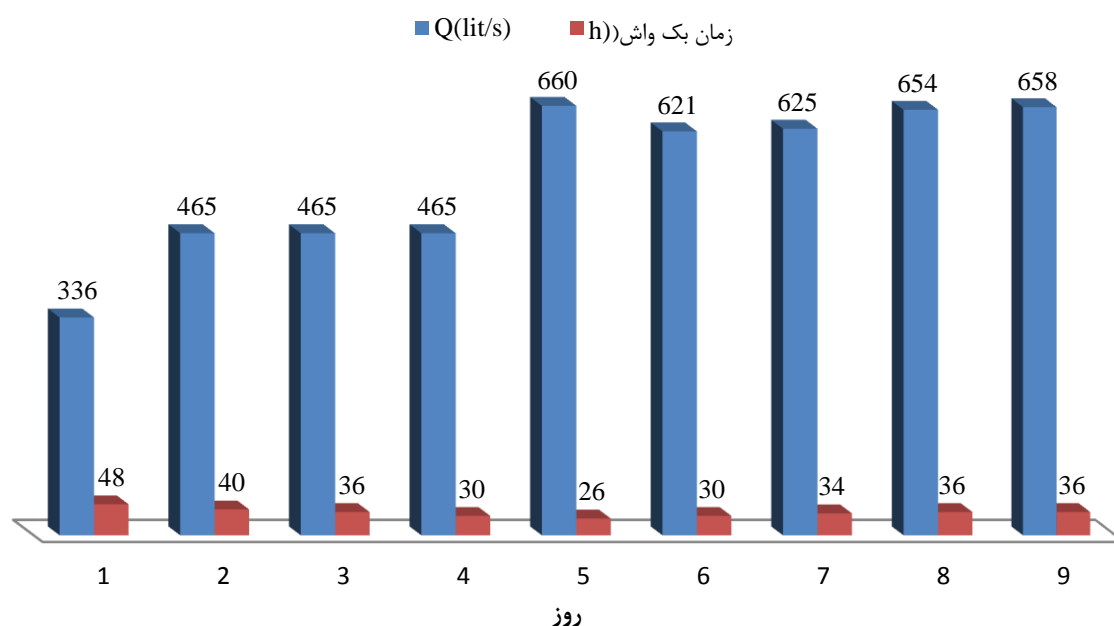
دبی ورودی ۳۳۶ لیتر بر ثانیه و کمترین زمان دوره تناوب شستشوی معکوس صافی‌ها در روز پنجم با ۲۶ ساعت و با دبی

با توجه به نمودار شکل ۶ بیشترین زمان دوره تناوب (ساعت کارکرد) شستشوی معکوس صافی‌ها در روز اول با ۴۸ ساعت و با

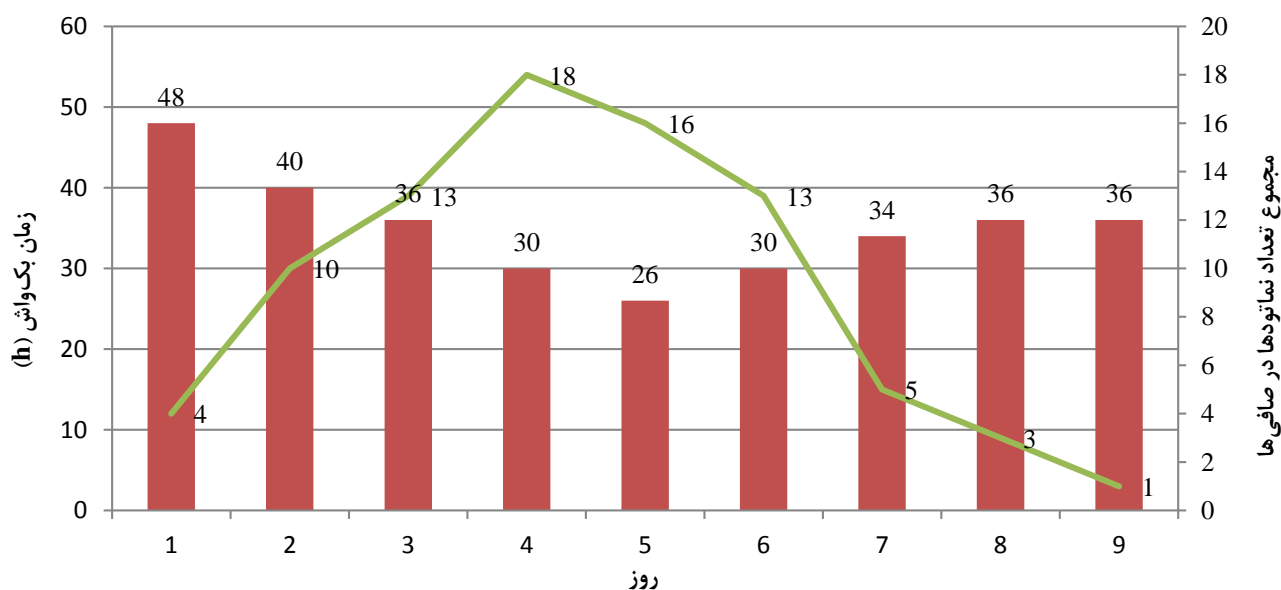
جدول ۳- میزان غلظت پرکلرین برای شستشوی صافی‌ها

غلظت کلر (ppm)		روز
۵۰	۳۵	۱
۵۰	۳۵	۲
۵۰	۳۵	۳
۵۰	۳۵	۴
۲۰۰	۱۰۰	۵
۲۰۰	۱۰۰	۶
۲۰۰	۱۰۰	۷
۲۰۰	۱۰۰	۸

ورودی ۶۶۰ لیتر بر ثانیه گزارش شده است. لازم به توضیح است در روز پنجم نیز بیشترین مقدار مصرف مواد منعقدکننده گزارش شده است. در اثر شستشوی مداوم و مستمر صافی‌ها میزان بار بیولوژی خروجی و صافی‌ها با توجه به نتایج آزمون بیولوژی به تدریج کاهش یافت. مطابق با نمودارهای شکل‌های ۷ و ۸ شستشوی صافی‌ها در بازه‌های زمانی کوتاه مدت سبب حذف بیشتر نماتدها و همچنین خروجشان از بستر صافی‌ها شد.

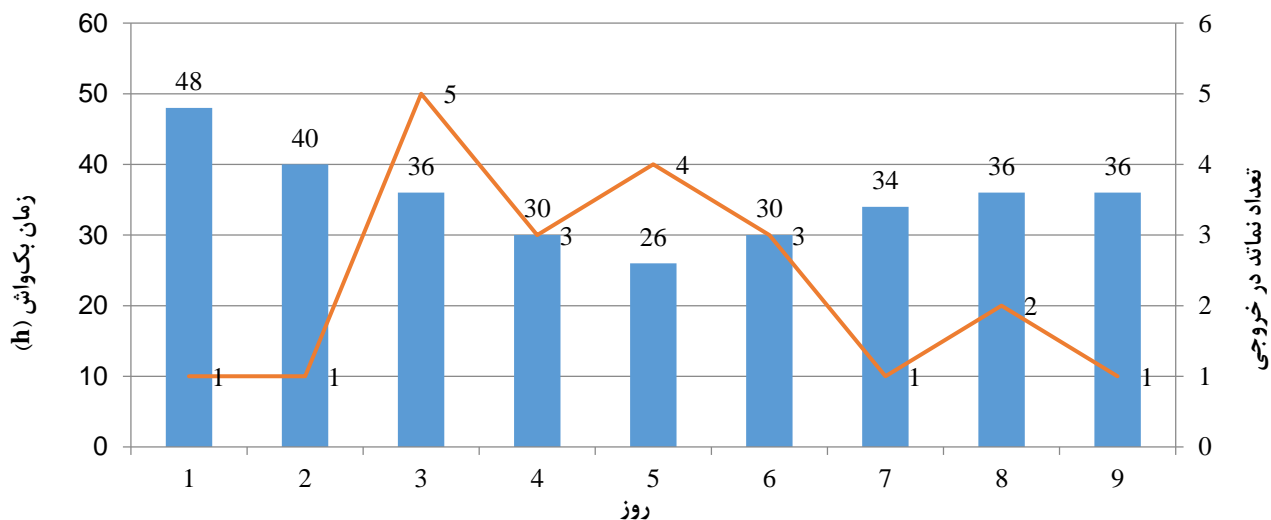


شکل ۶- تغییرات دبی آب ورودی به صافی‌ها و زمان تناوب شستشوی معکوس صافی‌ها



شکل ۷- تغییرات تعداد نماتد در صافی‌ها با دوره تناوب شستشوی معکوس صافی‌ها





شکل ۸- تغییرات تعداد نماتد خروجی با دوره تناوب شستشوی معکوس صافی‌ها

شستشوی مناسب و به‌موقع بستر صافی‌ها امکان تغییرات قابل‌توجه در کیفیت آب تولیدی وجود نداشت و از این‌رو تصفیه‌خانه با افت کیفیت و کاهش راندمان در عملکرد خود مواجه نشد.

همان‌طور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود، کلیه پارامترهای شیمی-فیزیکی در ورودی و خروجی تصفیه‌خانه با توجه به سیلابی شدن آب ورودی به تصفیه‌خانه تغییر محسوسی از خود نشان ندادند. در واقع می‌توان گفت با تنظیمات مناسب درصد تزریقات و

جدول ۵- نتایج پارامترهای شیمی فیزیکی ورودی و خروجی تصفیه‌خانه

محل نمونه‌برداری	روز	دما (°C)	کلر باقیمانده (ppm)	کدورت (NTU)	pH	pHs	EC (μS/cm <sup>2</sup> )	Fe (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	DO (ppm)
خروجی	۱	۹	۰/۹۴	۰/۲	۷/۸۹	۷/۹۱	۵۰۰	۰/۰۳	۲	۹/۴۵
	۲	۹	۰/۹۹	۰/۲۶	۷/۸۵	۷/۹	۵۰۰	۰/۰۲	۲/۵	۹/۶
	۳	۱۰	۱/۰۲	۰/۱۷	۷/۷۹	۷/۹۱	۴۹۰	۰/۰۲	۲/۵	۹/۴
	۴	۱۰	۰/۹۷	۰/۱۸	۷/۹	۷/۹۲	۴۸۰	۰/۰۳	۲	۹/۵۵
	۵	۹	۱	۰/۱۴	۷/۷۵	۷/۸۵	۴۹۰	۰/۰۳	۲	۹/۵۵
	۶	۹	۰/۹۴	۰/۲۶	۷/۸۱	۷/۹۳	۴۸۰	۰/۰۳	۲/۵	۱۰
	۷	۹	۱/۰۱	۰/۲۲	۷/۸۲	۷/۹	۴۹۰	۰/۰۲	۲/۸	۹/۵
	۸	۹	۰/۹۴	۰/۱۴	۷/۹۳	۷/۹۸	۵۰۰	۰/۰۳	۲/۷	۹/۳۵
	۹	۱۰	۱/۰۲	۰/۲۵	۷/۸۵	۷/۹۳	۴۶۰	۰/۰۳	۲/۵	۹/۸
ورودی	۱	۹	۰/۲۴	۲۵/۱۴	۸/۰۹	۸/۰۲	۵۱۰	۰/۰۳	۲/۲	۹/۱
	۲	۹	۰/۴	۱۶۱/۷۸	۸/۱۳	۸/۰۱	۵۱۰	۰/۰۳	۲/۴	۹/۳۳
	۳	۱۰	۰/۳۴	۱۰۵	۸/۰۴	۸/۰۲	۴۹۰	۰/۰۴	۲/۸	۹/۴
	۴	۱۰	۰/۳۳	۶۷	۸/۱	۸/۰۳	۵۰۰	۰/۰۲	۲/۵	۹/۶
	۵	۹	۰/۳۱	۱۹/۳	۷/۹۲	۸/۰۲	۵۰۰	۰/۰۲	۲/۴	۹/۶
	۶	۹	۰/۳۹	۱۶/۵	۷/۹۲	۸/۰۴	۵۴۰	۰/۰۳	۲/۴	۹/۶
	۷	۹	۰/۲۲	۱۳/۹	۷/۹۴	۸/۰۲	۵۲۰	۰/۰۲	۲/۳	۱۰
	۸	۹	۰/۲	۱۸/۲	۸/۰۵	۸/۰۲	۵۱۰	۰/۰۴	۲/۶	۹/۴
	۹	۱۰	۰/۲۱	۱۷	۷/۸۸	۸/۰۱	۴۵۰	۰/۰۳	۲/۴	۹/۸

غیرفعال‌سازی نماتدها قبل از ورود به صافی متوسط کارایی حذف در صافی‌های تک لایه به ۹۳/۷ درصد و سه لایه به ۹۵/۸ درصد

طبق یافته‌های رشیدی مهرآبادی (۱۳۸۳؛ ۱۳۸۵) قدرت حرکت نماتدها عمده‌ترین علت پایین‌بودن کارایی است با

انجام شد و از مقایسه کارایی صافی‌ها در حذف فیتوپلانکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها ملاحظه شد که درصد حذف و کارایی صافی‌ها بیش از ۹۹ درصد به دست آمده که بیشتر از نتایج کارهای دیگران (رشیدی مهرآبادی، ۱۳۸۳؛ ۱۳۸۵) بود.

افزایش می‌یابد. در این تحقیق کارایی صافی‌های تصفیه‌خانه آب شرب پردیس که از نوع سه لایه است از طریق مقایسه کیفیت آب پولساتور (قبل از صافی‌ها) و خروجی از صافی‌ها، بعد از غیرفعال‌سازی و حذف نماتدها صورت پذیرفت. همان‌طور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود نتایج طی ۴ روز

جدول ۵- نتایج آزمون بیولوژی نمونه‌های ورودی به پولساتور و خروجی از صافی‌ها بعد از عملیات غیر فعال‌سازی و حذف نماتد

درصد حذف زئوپلانکتون‌ها	درصد حذف فیتوپلانکتون‌ها	نمونه‌های آب خروجی پولساتور											
		زئوپلانکتون‌ها (تعداد در ۱۰۰۰ میلی لیتر)				فیتوپلانکتون‌ها (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر)				pH	کدورت (NTU)	کلر (ppm)	روز
		نماتد	سپتر	کراستسه	روتیفر	پروتوزآ	سیانوفیسه	کلروفیسه	دیاتومه				
۱۰۰	۸۵/۹۹	۰	۴۰	۰	۲۰	۰	۴	۴	۱۵۲۰۰	۹۲/۷	۸/۲	۹۴/۰	۱
۱۰۰	۷/۹۹	۰	۰	۸۰	۰	۸۰	۴۰	۴	۶۸۰۰	۹۶/۷	۴۶/۲	۸۶/۰	۲
۱۰۰	۷۱/۹۹	۰	۰	۴۰	۴۰	۲۰	۲	۶	۱۴۸۰۰	۸	۱۸/۲	۰۷/۱	۳
۱۰۰	۷/۹۹	۰	۱	۰	۲۰	۴۰	۴	۱۰	۲۲۶۰۰	۹۸/۷	۰۵/۳	۱۹/۱	۴
		نمونه‌های آب خروجی صافی‌ها											
		۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۲۲	۹۶/۷	۱۲/۰	۹۴/۰	۱
		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰	۹۶/۷	۲/۰	۸۵/۰	۲
		۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۴۲	۹۴/۷	۲/۰	۸۷/۰	۳
		۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۶۶	۸۵/۷	۲/۰	۱۴/۱	۴

مشاهده شد. لذا برای حل این مشکل تصمیم گرفته شد به منظور کنترل و حذف نماتدها، شستشو و گندزدایی صافی‌ها انجام شود. از جمله اقدامات صورت گرفته شوک کلر، شستشو با ماده گندزدای پرکلرین با غلظت‌های ۰.۳۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ ppm و هم‌چنین کاهش زمان شستشوی معکوس بود. به تدریج و با گذشت حدود ۱۰ روز نتایج نمونه‌های صافی‌ها و خروجی به حالت عادی برگشت. برای ادامه کار پیشنهادات زیر ارائه می‌شود:

- استفاده از صافی‌های با تعداد لایه‌های بیشتر از دو لایه شرایط را برای حذف بهتر و راندمان بالاتر مهیا می‌نماید. بنابراین بهتر است شرکت‌های مربوط به تصفیه آب این مهم را مدنظر قرار دهند؛

- گندزدایی به تنهایی روش موثری برای حذف نماتد نیست و لازم است همراه با شستشوی مکرر صافی‌ها به کار گرفته شود؛  
- استفاده از روش‌های نوین در خصوص کاهش بار بیولوژیکی قبل از ورود آب به صافی‌ها از جمله به کارگیری کربن فعال و سایر موارد؛

- بررسی روش‌های موثر در زمینه غیرفعال کردن نماتدها مانند استفاده از امواج اولتراسونیک.

طبق دستورالعمل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور به منظور بهره‌برداری از تصفیه‌خانه آب شرب پردیس، حد مجاز تعداد فیتوپلانکتون‌ها در آب خروجی تصفیه‌خانه (دیاتومه و کلروفیسه) کمتر از ۱۰۰۰ است و باید فاقد هرگونه زئوپلانکتون و یا نماتد باشد. در مورد نمونه‌های گرفته شده بعد از حذف و غیرفعال‌سازی نماتدها ملاحظه می‌شود شمار عوامل بیولوژیکی در محدوده مجاز آب آشامیدنی است (دستورالعمل بهره‌برداری از تصفیه‌خانه آب شرب پردیس، ۱۳۹۷).

#### ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به بحران پیش آمده در اثر افزایش کدورت به دلیل بارش‌های شدید فروردین ماه در کل کشور و مشکلات به وجود آمده از آن، تصفیه‌خانه آب شرب پردیس نیز با بحران افزایش کدورت و به تبع آن افزایش بار بیولوژیکی ورودی مواجه شد. انتقال این بار بیولوژیکی به صافی‌ها یک بستر مغذی برای رشد و تکثیر نماتد ایجاد نمود. اثرات منفی این پدیده حدود ۱۰ روز بعد در تعداد نماتدهای اندازه‌گیری شده در صافی‌ها و آب خروجی

- M.E.S.P., and Perecin, D., (1993). "Quality of water for nursery plant irrigation: Use of electrical discharges without thermis effect and of electric fields for Meloidogyne incognita race 1", *Agropecuaria Brasileira*, 28(3), 329-355.
- Elmelko, M.B., (2003), "Removal of viable and inactivated Cryptosporidium by dual-and tri-media filtration", *Water Research*, 37(1-2), 2998-3008.
- James A., (2017), *Biology, detection, and management of plant pathogens in irrigation water, Chapter 9: Plant-parasitic nematodes in irrigation water*, The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota.
- Kau, S.M., and Lawler, D.F. (1995), "Dynamics of deep bed filtration: velocity, depth, and media", *Journal of Environmental Engineering*, 121(12), 850-859.
- Moens, M., Moermans, R. and Hendrickx, G., (1991), "Sensitivity of Meloidogyne incognita second stage juveniles to ozone treatment", *South African Journal of Plant and Soil*, 56(3b), 1313- 1319.
- Peng, L., Lei, L., Xiao, L., and Han, B., (2019), "Cyanobacterial removal by a red soil-based flocculant and its effect on zooplankton: an experiment with deep enclosures in a tropical reservoir in China", *Water Environment Protection and Contamination Treatment*, 26(1), 30663-30674.
- Rice, E.W., and Baird, R.B., and Eaton, A.D., (2017), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 23<sup>rd</sup> Edition, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Runia, W.T., and Amsing, J.J., (1996), "Disinfestation of nematode-infested recirculation water by ozone and activated hydrogen peroxide", *Proceedings of the 9th International Congress on Soilless Culture St. Helier, Jersey, Channel Islands*, 381-393.
- Sardari, R.A., and Osouledini, N., (2018), "The data on the removal of turbidity and biological agents in spent filter backwash by bed ceramic in water treatment process", *Data in Brief*, 19(1), 1794-1798.
- Van Os, E.A., Amsing, J.J., van Kuik, A.J., and Willers, H., (1999), "Slow sand filtration: a potential method for the elimination of pathogens and nematodes in recirculating nutrient solutions from glasshouse-grown crops", *Acta Horticulturae*, 481(11), 519-525.
- بانزاد، ح.، مکاری، م.، مصدقی، م.، و دعایی، ی.، (۱۳۸۷)، "ارزیابی کارایی حذف ذرات معلق آب توسط صافی تند شنی با تغییر غلظت ذرات و اندازه دانه‌های محیط بستر صافی"، *مجله آب و فاضلاب*، ۱۹(۴)، ۴۰-۴۷.
- رشیدی مهرآبادی، ع.، رازقی، ن.، عظیمی، ع.، موبدی، ا.، و ترابیان، ع.، (۱۳۸۳)، "اثر بلوغ اولیه صافی روی بازده حذف کیست ژیاودیبا و ارایه روشی برای بهبود"، *محیط شناسی*، ۳۰(۳۱)، ۲۱-۲۸.
- رشیدی مهرآبادی، ع.، و ترابیان، ع.، (۱۳۸۵)، "بررسی کارایی فرایند فیلتراسیون مستقیم در حذف نماتدهای آزادزی از آب"، *محیط شناسی*، ۳۲(۳۹)، ۷۵-۸۲.
- عطابخش، پ.، امین، م.، هاشمی، م.، و گرجی‌زاده، ا.، (۱۳۹۶)، "عملکرد فیلترها پس از شستشوی معکوس با بررسی میزان کاهش کدورت و شمارش زئوپلانکتون‌ها در تصفیه‌خانه آب اصفهان"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۸(۶)، ۵۵-۶۱.
- گروه بهره‌برداری تصفیه‌خانه آب شرب پردیس، (۱۳۹۷)، *دستورالعمل بهره‌برداری از تصفیه‌خانه آب شرب پردیس*، شرکت آب و فاضلاب شرق استان تهران، پردیس، ایران.
- مرتضایی، ر.، پازوکی، ج.، و معصومیان، م.، (۱۳۸۶)، "انگل‌های نماتد جداشده از چند گونه ماهیان آب شیرین استان خوزستان"، *پژوهش و سازندگی در امور دام و آبزیان*، ۳(۷۷)، ۸-۱.
- میران‌زاده، م.، حسن‌زاده، م.، دهقان، س.، و صباحی، ب.، (۱۳۹۰)، "بررسی رابطه بین میزان کدورت، کیفیت میکروبی و غلظت کلر باقی‌مانده در آب آشامیدنی روستاهای شهرستان کاشان در سال ۱۳۸۷"، *نشریه فیض*، ۱۵(۲)، ۱۲۷-۱۳۱.
- معمارزاده، م.، نجفی، پ.، و افیونی، م.، (۱۳۸۹)، "بررسی راندمان کانی گارنت در صافی سه لایه‌ای در حذف کدورت و موجودات بیولوژیکی در تصفیه‌خانه آب اصفهان"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۱(۱)، ۷۳-۸۳.
- American Water Works Association, (2002), *AWWA Standard B100-01, NSF Standard 61, Standard 61 approved for drinking water and NSF Standard 50 approved for swimming pools*, Approved by American National Standards Institute, USA.
- Casas-Monroy, O., Linley, R.D., Chan, P.Sh., Kydd, J., Byllaardt, J.V., and Bailey, S., (2018), "Evaluating efficacy of filtration + UV-C radiation for ballast water treatment at different temperatures", *Journal of Sea Research*, 133(2), 20-28
- Dematte, J.B.I., Tihodod, D., De Almeida, A., Dematte,

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

