

Changes in Water Quality Parameters in Different Processes of Surface Water Treatment Plant (Case study: Tehranpars Water Treatment Plant)

Yalda Hashempour¹,
Fatemeh Mortezaazadeh²

¹ Assistant Professor, Department of Environmental Health, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

² MSc Student in Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received March 1, 2020 ; Accepted August 2, 2020)

Abstract

Background and purpose: Water treatment is of great importance in human life, due to the contamination of water resources. Therefore, continuous evaluation of the performance of water treatment plants is necessary to minimize contamination within the treatment plant in order to create optimal conditions.

Materials and methods: A cross-sectional descriptive analytic study was performed in Tehranpars water treatment plant. Water samples were collected at different stages (Pre-chlorination, Pulsator, Filtration and Post-chlorination) during 30 months. The samples were randomly taken one day per week and pH, water temperature, turbidity, dissolved organic carbon (DOC), and chlorophyll a contents were measured.

Results: Average turbidity removal in pre-chlorination, pulsator, filtration, and final chlorination units were approximately (9%±1.74), (39%±0.77), (44% ±0.23), and (4%±0.1.74), respectively and the overall efficiency of the treatment plant was 96%. The mean concentrations of DOC in effluent of Tehranpars water treatment plant were 2.37±0.16, 2.94±0.32, 1.74±0.07, and 2.17±0.16 mg/L in spring, summer, fall, and winter, respectively. Mean DOC values were higher than limits (2 mg/L) in all seasons except fall. Chlorophyll a concentrations in water entering the treatment plant were higher in summer and spring than other two seasons.

Conclusion: Tehranpars water treatment plant showed considerable efficiency in reducing water turbidity. Pre-chlorination and final chlorination processes had the greatest effect on minimizing DOC concentration due to the high affinity of organic compounds with chlorine and formation of disinfectant by-products. Therefore, pre-ozonation is recommended as a solution to reduce the production of these hazardous organic compounds rather than pre-chlorination.

Keywords: DOC, turbidity, chlorophyll a, Tehranpars, water treatment plant

J Mazandaran Univ Med Sci 2020; 30 (189): 107-116 (Persian).

* Corresponding Author: **Fatemeh Mortezaazadeh** - Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran (E-mail: fmortezaazade0098@gmail.com)

ارزیابی تغییرات پارامترهای کیفی آب در فرایندهای مختلف تصفیه خانه آب سطحی (مطالعه موردی: تصفیه خانه آب تهران پارس)

یلدا هاشم پور¹فاطمه مرتضی زاده²

چکیده

سابقه و هدف: امروزه به دلیل آلودگی منابع آب، تصفیه آب جایگاه مهمی در زندگی انسان دارد. لذا ارزیابی مداوم عملکرد تصفیه خانه های آب ضروری بوده تا برای ایجاد شرایط بهینه بتوان این مواد را در داخل تصفیه خانه به حداقل رساند. **مواد و روش ها:** در این پژوهش مقطعی - توصیفی - تحلیلی طی مدت 30 ماه، نمونه گیری از آب واحدهای مختلف تصفیه خانه تهران پارس (پیش کلرزی، پولساتور، فیلتراسیون و کلرزی نهایی) انجام گرفت. به این ترتیب که در هر هفته یک روز را به صورت تصادفی انتخاب کرده، نمونه برداشت شد و pH، دمای آب، کدورت، DOC (کربن آلی محلول) و کلروفیل a نمونه ها اندازه گیری و ثبت شد.

یافته ها: میانگین درصد حذف کدورت توسط واحدهای پیش کلرزی، پولساتور، فیلتراسیون و کلرزی نهایی به ترتیب تقریباً برابر $(9 \pm 1/74)$ ، $(39 \pm 0/77)$ ، $(44 \pm 0/23)$ و $(4 \pm 1/74)$ درصد و راندمان کلی تصفیه خانه برابر 96 درصد بود. میانگین غلظت DOC در آب خروجی از تصفیه خانه آب تهران پارس در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر $(2/37 \pm 0/16)$ ، $(2/94 \pm 0/32)$ ، $(1/74 \pm 0/07)$ و $(2/17 \pm 0/16)$ mg/L بود که این مقادیر (به غیر از مقدار DOC در فصل پاییز) بالاتر از حد مجاز توصیه شده (2 mg/L) است. غلظت کلروفیل a در آب ورودی به تصفیه خانه در فصل تابستان و بهار نسبت به دو فصل دیگر بالاتر بود.

استنتاج: تصفیه خانه آب تهران پارس راندمان قابل ملاحظه ای در کاهش میزان کدورت آب دارد. فرآیندهای پیش کلرزی و کلرزی نهایی بیشترین اثر را بر کاهش غلظت DOC داشته که به دلیل میل ترکیبی بالای ترکیبات آلی با کلر و تشکیل ترکیبات جانبی حاصل از گندزدایی است. بنابراین، پیش از زنی به عنوان یک راهکار در جهت کاهش تولید این ترکیبات آلی خطرناک به جای پیش کلرزی توصیه می شود.

واژه های کلیدی: DOC، کدورت، کلروفیل a، تهران پارس، تصفیه خانه آب

مقدمه

از پارامترهای مهم تعیین کیفیت آب در تصفیه خانه های آب سطحی، کدورت (1) و میزان مواد آلی ورودی به تصفیه خانه ها با تکیه بر شاخص بار آلی (TOC) (2) و همچنین pH (1) می باشد که در سال های اخیر اهمیت بیش تری یافته است. به طور کلی، کدورت از سه جنبه مطلوب بودن،

مؤلف مسئول: فاطمه مرتضی زاده: ساری: کیلومتر 18 جاده خزرآباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت E-mail: fmortezazade0098@gmail.com

1. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

2. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت: 1398/12/11 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: 1398/12/13 تاریخ تصویب: 1399/5/12

با تشکیل $THMs$ چیزی حدود 850 ترکیب کارسینوژن (سرطانزا) پدید می‌آورد (8). صفری و همکاران در تحقیق خود نشان دادند که کارایی واحد فیلتراسیون در حذف مواد آلی محلول در اکثر فصول سال بیش‌تر از واحد زلال‌ساز است. البته آزمون آماری فردمن این اختلاف را معنی‌دار نشان نداد. این نتیجه در مورد کدورت نیز، با درصد بیش‌تری، صادق می‌باشد (9).

ززولی و همکاران (1388)، بیان نمودند غلظت کربن آلی محلول (DOC) در چهار نقطه از شبکه توزیع آب شرب تهران در تمام نمونه‌ها کم‌تر از $0/7 \text{ mg/L}$ بوده است و استنباط نمودند که تصفیه‌خانه‌های آب تهران قادر به حذف کامل مواد آلی نمی‌باشند (10).

عبدالله زاده و همکاران (1389)، به ترتیب متوسط و ماکزیمم سالانه TOC رودخانه کرج (آب خام ورودی به تصفیه‌خانه کن) را 3 mg/L و 10 mg/L DOC، $2/5 \text{ mg/L}$ و 6 mg/L و کدورت را 6 mg/L و 1000 mg/L بیان نمودند (11).

سلیمی و همکاران (1393) در مطالعه‌ای مقدار کلروفیل‌های a و b از سدهای کرج، طالقان و لیتان را با استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا شناسایی و اندازه‌گیری نمودند. میانگین مقدار کلروفیل a و b طی چهار فصل سال در سد کرج به ترتیب $4/5 \text{ ppb}$ و $0/028 \text{ ppb}$ ، طالقان $2/4 \text{ ppb}$ و $0/04 \text{ ppb}$ و لیتان 3 ppb و $0/03 \text{ ppb}$ به‌دست آمد، که نشان می‌دهد وضعیت تغذیه‌ای این سدها در فصل بهار و تابستان در حالت مزوتروپیک و در فصل‌های پاییز و زمستان در حالت الیگوتروپیک است (12).

به دلیل اهمیت بسیار زیاد تصفیه‌خانه‌ها در تأمین آب آشامیدنی، مدیریت و کنترل کیفیت آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین آگاهی از وضعیت موجود تصفیه‌خانه و بررسی تأثیر تغییرات پارامترهای کیفی بر راندمان تصفیه‌خانه آب ضروری به نظر می‌رسد. از این‌رو هدف از این مطالعه بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب (pH، دمای آب، کدورت، DOC

قابلیت صاف شدن و گندزدایی دارای اهمیت است و از کدورت می‌توان به عنوان شاخصی غیرمستقیم در تعیین بازده حذف و یا میزان حضور این عوامل استفاده کرد (3). برای حذف کدورت از آب از فرایندهای متداول تصفیه آب چون انعقاد و لخته‌سازی و روش‌های نوینی چون اسمز معکوس استفاده می‌شود که کارایی همه آن‌ها اثبات شده است (4). همچنین بهینه کردن فرایند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از پودر کربن فعال می‌تواند تا حدود زیادی راندمان حذف مواد آلی را افزایش دهد (2). کاهش کیفیت منابع آبی و وقوع پدیده اتروفیکاسیون در منابع آبی منجر به افزایش بار آلی (TOC) ورودی به تصفیه‌خانه‌های آب و در نتیجه مشکلات تصفیه می‌شود. این ترکیبات در حین گندزدایی آب (کلرزی و ازن‌زی) می‌توانند محصولات جانبی حاصل از گندزدایی (DBPs) از جمله تری‌هالومتان‌ها (THMs) و هالواستیک‌اسیدها (HAA) را ایجاد کنند (3) که هر دو به عنوان ترکیبات سرطانزا شناخته شده‌اند (5). از دیگر پارامترهای تعیین کیفیت آب، غلظت کلروفیل a است که نشان‌دهنده سطح تروفیکی (Trophic level) منابع آبی می‌باشد (6). در اکوسیستم‌های آبی مواد مغذی (یون‌هایی چون فسفات و نیترات و آمونیوم و ...) وجود دارد که در محیط آب‌های طبیعی متحمل تغییراتی شده و طی عمل فتوسنتز به مواد معدنی تبدیل می‌شوند که این مواد منشا تغذیه و زندگی سایر موجودات هستند. بنابراین تعبیه سیستم پالایش آب در تصفیه‌خانه جهت حفظ تعادل بیولوژیک ارگانیسم‌های زنده ضروری است (6). با توجه به این‌که کلر در بین گندزدهای دیگر آب ارزان‌تر و استفاده از آن آسان‌تر و همچنین به علت این‌که به عنوان یک گندزدای مناسب برای حذف بیماری‌های انسانی قابل انتقال از آب مانند وبا و تیفوئید مؤثر عمل می‌کند، در اکثر شهرهای ایران از کلر به عنوان گندزدا برای تصفیه آب استفاده می‌کنند (7). امروزه مشخص شده که کلر با مواد آلی درون آب ترکیب می‌شود، واکنش نشان داده و

و کلروفیل (a) و تأثیر آن‌ها بر راندمان تصفیه‌خانه آب تهران پارس در سال 1398 بوده است.

مواد و روش‌ها

1-2- معرفی محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش، راندمان تصفیه‌خانه آب تهران پارس از لحاظ پارامترهای کدورت، دمای آب، pH، DOC و کلروفیل a مورد مطالعه قرار گرفت. علت انتخاب این تصفیه‌خانه، وجود مشکلات فراوان از نقطه نظر وقوع پدیده اتروفیکاسیون در منابع آب خام ورودی و مشکل این تصفیه‌خانه در حذف آلاینده‌های مرتبط با این پدیده و مشکلات طعم و بو در آب تصفیه شده بود. تصفیه‌خانه تهران پارس (تصفیه‌خانه‌های شماره 3 و 4) در شمال شرقی تهران واقع شده است. ظرفیت این تصفیه‌خانه $4 \text{ m}^3/\text{s}$ است. واحدهای مختلف تصفیه‌خانه شامل پیش‌کلرزی، حوضچه پولساتور، فیلتراسیون و کلرزی نهایی می‌باشد.

2-2- نمونه‌برداری، آنالیز نمونه‌ها، کنترل کیفیت (QC)

و تضمین کیفیت (QA) آزمایشات

پژوهش حاضر از نوع مطالعات مقطعی - توصیفی - تحلیلی است. عمل نمونه‌برداری به صورت هفتگی و به صورت لحظه‌ای از واحدهای مختلف تصفیه‌خانه (مطابق شکل شماره 1 شامل ورودی آب خام، خروجی از واحد پیش‌کلرزی، خروجی از واحد پولساتور، خروجی از واحد صافی‌ها و خروجی از واحد کلرزی نهایی) انجام شد. نمونه‌ها از ماه فروردین سال 1396 تا شهریور سال 1398 (در مجموع 30 ماه) انجام شد و مجموعاً تعداد 120 نمونه از هر کدام از واحدهای این تصفیه‌خانه برداشت شد. نمونه‌ها در ظروف شیشه‌ای استریل تیره جمع‌آوری و در دمای 4 درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل و به دور از نور در یخچال نگهداری شد و در کم‌تر از یک هفته مورد آنالیز قرار

گرفتند. کلر موجود در نمونه با تیوسولفات سدیم (80 mg/L) خنثی شد (13). دمای آب و pH بلافاصله پس از نمونه‌برداری و در محل با دستگاه پرتابل (pH meter, WTW, inolab 720) و کدورت با دستگاه (Turbidimeter, HACH, 2100 AN) اندازه‌گیری و ثبت شد. برای اندازه‌گیری DOC، نمونه‌ها از فیلتر سلولزی 0/45 میکرون عبور داده شدند و سپس به روش احتراق توسط دستگاه سنجش DOC (مدل Multi N/C, 3100 ساخت کشور آلمان) مستقر در محل دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی ایران اندازه‌گیری شدند. حد تشخیص این دستگاه $0/5 \mu\text{g/L}$ بود. کلروفیل a با روش EPA-447 (14) و با دستگاه HPLC مدل Cecil CE4200 ساخت کشور انگلیس مجهز به دکتور UV مستقر در محل دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی ایران اندازه‌گیری شد. میزان جریان این دستگاه 2 mL/m بوده که دارای تزریق کننده با فشار بالا و مجهز اتوسمپلر و لوپ تزریق نمونه به میزان $100 \mu\text{L}$ است. ستون HPLC از نوع C18 با سایز $4 \times 0/5 \text{ cm}$ و اندازه ذرات 3 میکرومتر مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌ها توسط آشکارساز از نوع UV-Vis (با سل به طول 6 میلی‌متر و حجم 9 میلی‌لیتر) در طول موج 440 نانومتر شناسایی و اندازه‌گیری شدند. فاز متحرک شامل متانول/آمونوم استات به نسبت 20 به 80، استونیتریل/آب به نسبت 10 به 90 و اتیل استات 100 درصد بود. حداقل غلظت قابل سنجش با دستگاه HPLC (IDL) 1^1 که برابر است با سه برابر انحراف استاندارد یک سیگنال پس زمینه در طول موج، جرم، زمان ماند و خط جذب انتخابی. حد تشخیص روش (MDL) برابر با حداقل غلظت بالای صفر آنالیت که با اطمینان 99 درصد توسط دستگاه شناسایی، اندازه‌گیری و گزارش شد.

برای تهیه منحنی کالیبراسیون از مواد استاندارد استفاده شد و ضریب کالیبراسیون در $\leq 0/99$ حفظ شد.

1. Instrument Detection Limit (IDL)

پارامترها در نمونه‌های تصفیه‌خانه آب تهران پارس در جدول شماره 1 آورده شده است.

جدول شماره 1: میانگین و انحراف معیار پارامترهای بررسی شده در نمونه‌های تصفیه‌خانه آب تهران پارس

| ردیف | واحد تصفیه‌خانه | pH | کدورت (NTU) | DOC (mg/L) | کلروفیل a (µg/L) |
|------|-----------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| 1 | آب خام | 7.95 ± 0.07 | 8/29 ± 2/13 | 8/87 ± 2/11 | 3/22 ± 1/48 |
| 2 | پیش‌کلرزی | 7/77 ± 0/09 | 7/49 ± 1/78 | 6/05 ± 1/63 | 1/64 ± 0/72 |
| 3 | پولساتور | 7.5 ± 0/07 | 4/23 ± 0/81 | 5/33 ± 1/22 | 0/78 ± 0/34 |
| 4 | فیلتراسیون | 8/06 ± 0/06 | 0/6 ± 0/23 | 4/22 ± 0/91 | 0/75 ± 0/31 |
| 5 | کلرزی نهایی | 7/4 ± 0/07 | 0/29 ± 0/15 | 2/92 ± 0/38 | 0/41 ± 0/17 |

3-1- تغییرات کدورت در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه همان‌طور که در نمودار شماره 1 مشاهده می‌شود، میزان کدورت آب ورودی به تصفیه‌خانه در فصل تابستان و زمستان بالاتر بود. از طرف دیگر، واحدهای مختلف تصفیه‌خانه قادر به حذف مؤثر کدورت بودند. میانگین درصد حذف کدورت توسط واحدهای پیش‌کلرزی، پولساتور، فیلتراسیون و کلرزی نهایی به ترتیب تقریباً برابر (9 ± 1/74) درصد، (39 ± 0/77) درصد، (44 ± 0/23) درصد و (4 ± 1/74) درصد و راندمان کلی تصفیه‌خانه در حذف کدورت برابر 96 درصد بود.

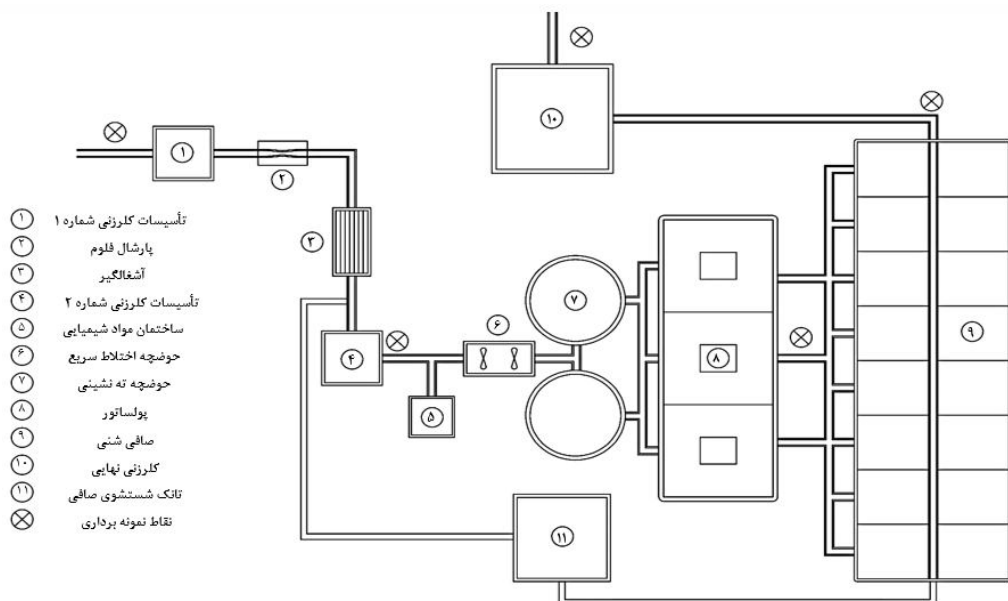
صحت روش‌های آنالیز در برابر ماده استاندارد مرجع NIST SRM1640 (آب طبیعی) تأیید و دقت آنالیز در CV کم‌تر از 5 درصد مشاهده شد. نمونه‌های شاهد و استاندارد پس از سه بار قرائت برای کالیبراسیون مورد استفاده قرار گرفت. صحت نتایج از طریق تکرار آنالیز نمونه در برابر یک استاندارد مرجع تأمین شد (تصویر شماره 1).

3-2- آنالیزهای آماری

از آنالیز Repeated measure ANOVA برای تعیین میزان حذف پارامترها در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه آب تهران پارس استفاده شد. این آنالیزها با استفاده از نرم‌افزار SPSS مدل 23 انجام شد.

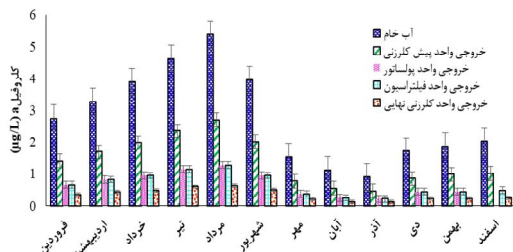
یافته‌ها

پارامترهای بررسی شده در تصفیه‌خانه آب تهران پارس شامل دمای آب، pH، کدورت، DOC و کلروفیل a بود. پارامترهای دما و pH به عنوان پارامترهای زمینه‌ای در نظر گرفته شدند. میانگین و انحراف معیار این



تصویر شماره 1: شماتیک کلی از تصفیه‌خانه آب تهران پارس و محل‌های نمونه‌برداری

برابر (49±0/71) درصد، (27±0/34) درصد، (1±0/34) درصد و (12±0/17) درصد و راندمان کلی تصفیه‌خانه در حذف کلروفیل a برابر 89 درصد بود.

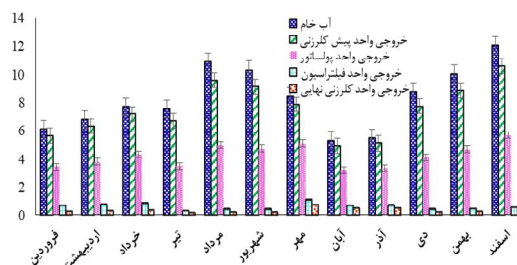


نمودار شماره 3: میانگین غلظت کلروفیل a در ماه‌های مختلف و در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه آب تهران پارس

3-4- نتایج آنالیز ANOVA جهت مقایسه عملکرد واحدهای مختلف تصفیه‌خانه آب تهران پارس

نتایج آنالیز ANOVA برای تعیین عملکرد واحدهای مختلف تصفیه‌خانه در کاهش کدورت، DOC و کلروفیل a پس از تعدیل پارامترهای زمینه‌ای در جدول شماره 2 نشان داده شده است. در این آنالیز ابتدا اثر پارامترهای زمینه‌ای (دمای آب و pH) تعدیل شده و به عنوان متغیر کووریت (Covariate) در نظر گرفته شدند.

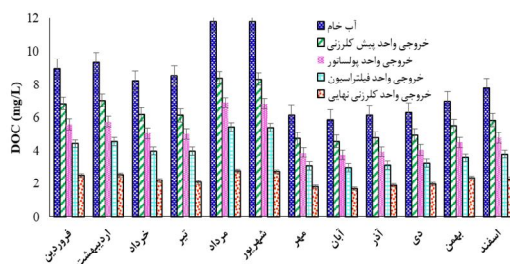
همان‌طور که در جدول شماره 2 مشاهده می‌شود، تمام واحدهای مختلف تصفیه‌خانه در کاهش کدورت، DOC و کلروفیل a اختلاف معنی‌داری را نشان دادند ($P < 0/001$). با توجه به این‌که در تحلیل تک‌متغیره (univariate) بین تغییرات دمایی آب و pH با پارامترهای کدورت، DOC و کلروفیل a ارتباط مشاهده شد، برای تعیین اثر تعاملی دمای آب و pH در عملکرد تصفیه‌خانه در کاهش این 3 پارامتر از آنالیز repeated measure ANOVA استفاده شد. P-value در کدورت، برای پارامتر دما و pH به ترتیب برابر 0/612 و 0/122 به دست آمد که معنی‌دار نبود. از طرف دیگر، مقدار اتا که اثر دو متغیر بر عملکرد تصفیه‌خانه را نشان می‌دهد، برای هر دو پارامتر دما و pH بسیار ناچیز بود. بنابراین کاهش کدورت تنها تابع واحدهای مختلف تصفیه‌خانه بود. در پارامتر DOC، P-value برای هر دو



نمودار شماره 1: میانگین غلظت کدورت در ماه‌های مختلف و در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه آب تهران پارس

3-2- تغییرات TOC در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه

همان‌طور که در نمودار شماره 2 دیده می‌شود، غلظت DOC در آب ورودی به تصفیه‌خانه در فصل تابستان بالاتر و واحدهای مختلف تصفیه‌خانه قادر به حذف مؤثر DOC بودند. میانگین درصد کاهش غلظت DOC توسط واحدهای پیش‌کلرزنی، پالساتور، فیلتراسیون و کلرزنی نهایی به ترتیب تقریباً برابر (25±1/27) درصد، (13±1/04) درصد، (12±0/82) درصد و (22±0/34) درصد و راندمان کلی تصفیه‌خانه در حذف DOC برابر 72 درصد بود.



نمودار شماره 2: میانگین غلظت DOC در ماه‌های مختلف و در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه آب تهران پارس

3-3- تغییرات کلروفیل a در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه

همان‌طور که در نمودار شماره 3 دیده می‌شود، غلظت کلروفیل a در آب ورودی به تصفیه‌خانه در فصل تابستان و بهار بالاتر بود. همچنین، واحدهای مختلف تصفیه‌خانه قادر به حذف مؤثر کلروفیل a بودند. میانگین درصد حذف کلروفیل a توسط واحدهای پیش‌کلرزنی، پالساتور، فیلتراسیون و کلرزنی نهایی به ترتیب تقریباً

جدول شماره 2: نتایج آنالیز ANOVA برای مقایسه عملکرد واحدهای مختلف تصفیه‌خانه آب تهران پارس در کاهش کدورت، DOC و کلروفیل a

| واحد تصفیه‌خانه | کدورت | | DOC | | | | کلروفیل a | |
|-----------------|---------------|---------|----------------------|---------|---------------|---------|------------------|----------|
| | سطح معنی داری | | حدود اطمینان 95 درصد | | سطح معنی داری | | حدود اطمینان 95% | |
| | حد پایین | حد بالا | حد پایین | حد بالا | حد پایین | حد بالا | حد پایین | حد بالا |
| 2 | <0/001 | 0/726 | 2/166 | 2/390 | <0/001 | 1/474 | 697/1 | حد بالا |
| 3 | <0/001 | 3/765 | 3/259 | 3/637 | <0/001 | 2/296 | 2/585 | حد پایین |
| 4 | <0/001 | 7/212 | 4/388 | 4/729 | <0/001 | 2/291 | 2/580 | حد پایین |
| 5 | <0/001 | 7/531 | 6/259 | 6/712 | <0/001 | 2/656 | 2/981 | حد پایین |
| 3 | <0/001 | 3/037 | 1/057 | 1/282 | <0/001 | 0/815 | 0/899 | حد پایین |
| 4 | <0/001 | 6/482 | 2/188 | 2/372 | <0/001 | 0/812 | 0/889 | حد پایین |
| 5 | <0/001 | 6/800 | 4/067 | 4/347 | <0/001 | 1/171 | 1/294 | حد پایین |
| 4 | <0/001 | 3/438 | 0/988 | 1/233 | <0/001 | - | - | حد پایین |
| 5 | <0/001 | 3/751 | 2/888 | 3/187 | <0/001 | 0/355 | 0/400 | حد پایین |
| 5 | <0/001 | 0/729 | 1/841 | 2/013 | <0/001 | 0/346 | 0/389 | حد پایین |

* اختلاف میانگین بر اساس سطح معنی داری 0/05 است.

1= آب خام ورودی به تصفیه‌خانه؛ 2= پیش کلرزی؛ 3= حوضچه پولساتور؛ 4= فیلتراسیون؛ 5= کلرزی نهایی

دوز ازن 3 kg/hr و مدت زمان تماس 18 دقیقه 20/52 درصد می‌باشد (15). به طوری که در مطالعه حاضر، بیشترین راندمان حذف DOC در بهمن ماه (35/7±1/59) درصد و کمترین راندمان حذف (14/08±2/3) درصد در اردیبهشت بود. میانگین راندمان حذف کدورت نیز 61 درصد بود، که بیشترین و کمترین درصد حذف به ترتیب در بهمن ماه با (85/2±4/09) درصد و در تیرماه با (30±1/30) درصد بوده است. علاوه بر این، آنالیز آماری ANOVA نیز معنی دار بودن کاهش میزان کدورت در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه آب تهران پارس را تأیید کرده است. از بین واحدهای مختلف تصفیه‌خانه، واحد پولساتور و فیلتراسیون در مقایسه با سایر واحدها راندمان قابل ملاحظه در کاهش میزان کدورت داشت. بر اساس استاندارد ملی، کدورت آب خروجی از صافی‌ها در تصفیه‌خانه‌های آب سطحی به منظور تضمین سلامت مصرف کنندگان می‌باید کم‌تر از 1 NTU باشد (1). در صورتی که این غلظت از این حد اضافه‌تر شود، باید تمهیدات مدیریتی ویژه‌ای اجرا شود. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، میزان کدورت در آب خروجی از تصفیه‌خانه تهران پارس در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر (0/3±0/03)، (0/17±0/02)، (0/59±0/12) و (0/24±0/03) mg/L بود که در تمامی موارد زیر حد استاندارد بوده است.

پارامتر دما و pH به ترتیب برابر > 0/0001 و 0/004 به دست آمد. مقدار اتا نیز برای دما 31/6 درصد و برای pH برابر 10/7 درصد بود. برای کلروفیل a نیز P-value برای هر دو پارامتر دما و pH برابر > 0/0001 به دست آمد و مقدار اتا برای دما 54/2 درصد و برای pH برابر 16/8 درصد بود، که این نتایج نقش مهم‌تر دما را در دو پارامتر DOC و کلروفیل a نشان داد.

بحث

با توجه به نمودار شماره 1، میزان کدورت آب ورودی به تصفیه‌خانه در فصل تابستان و زمستان نسبت به دو فصل دیگر بالاتر بود. همان‌طور که از این اعداد مشخص شد، بالاترین میزان کدورت در فصل زمستان و کمترین آن در فصل بهار مشاهده شده بود. با توجه به این که راندمان کلی تصفیه‌خانه در حذف کدورت برابر 96 درصد بود، بنابراین برای افزایش راندمان تصفیه‌خانه در ماه‌هایی با بارندگی بالا باید از روش‌هایی مانند انعقاد تشدید یافته، اکسیداسیون شیمیایی، جذب سطحی، روش‌های غشایی و ... استفاده نمود که از بین این روش‌ها، انعقاد تشدید یافته متداول‌تر و اقتصادی‌تر است که سازمان محیط زیست آمریکا نیز این روش را مناسب‌تر از بقیه روش‌ها معرفی کرده است (2). در مطالعه‌ای معصومی و همکاران در سال 96 بیان نمودند که میانگین راندمان واحد پیش‌ازن‌زنی در حذف کربن آلی کل با میانگین

و کلرزنی نهایی بیشترین اثر را بر کاهش غلظت DOC داشت. علت کاهش غلظت DOC در این واحد را می‌توان به خاصیت اکسیدکنندگی ترکیبات آلی توسط کلر نسبت داد. بنابراین احتمال تشکیل ترکیبات جانبی حاصل از گندزدایی در این واحدها بالاست (18).

کلروفیل a به عنوان یک ماده رنگی مهم فتوسنتزی در جلبک‌ها و سایر گیاهان مطرح است و به عنوان یکی از متغیرهای مهم در زمان تخمین ظرفیت فتوسنتز یک اکوسیستم مطرح می‌شود که می‌تواند روی کربن آلی آب اثر گذارد (14). نمودار شماره 3 غلظت کلروفیل a در تصفیه‌خانه آب تهران پارس را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این اعداد مشخص شده است، بالاترین میزان کلروفیل ورودی به تصفیه‌خانه در فصل تابستان و کمترین آن در فصل پاییز مشاهده شده بود. راندمان کلی تصفیه‌خانه در حذف کلروفیل a برابر $(89 \pm 2/16)$ درصد بود. نتایج این پژوهش نشان داد که واحد پیش‌کلرزنی در مقایسه با سایر واحدها راندمان قابل ملاحظه‌ای در کاهش میزان کلروفیل a دارد. علاوه بر این، آنالیز آماری ANOVA نیز معنی‌دار بودن کاهش میزان کلروفیل a در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه آب تهران پارس را تأیید کرد. همان‌طور که در جدول شماره 2 مشاهده می‌شود، واحدهای مختلف تصفیه‌خانه دو به دو با یکدیگر مقایسه شدند. در تمامی موارد بین واحدهای مختلف، اختلاف آماری معنی‌داری در کاهش میزان کلروفیل a مشاهده شده است ($P < 0/001$).

در این پژوهش، ارزیابی کارایی فرایندهای مختلف تصفیه‌خانه آب تهران پارس در حذف کدورت، DOC و کلروفیل a مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها نشان دادند که میزان کدورت در آب خروجی از تصفیه‌خانه تهران پارس در تمامی فصول زیر حد استاندارد بود. غلظت DOC در آب ورودی به تصفیه‌خانه در فصل تابستان بالاتر بود و واحدهای مختلف تصفیه‌خانه قادر به حذف مؤثر DOC بودند. میانگین غلظت DOC در آب خروجی از تصفیه‌خانه آب تهران پارس در فصول سال

همان‌طور که در نمودار شماره 2 دیده می‌شود، غلظت DOC ورودی به تصفیه‌خانه در فصل‌های مختلف یکسان نبوده است. به طوری که میانگین غلظت DOC در آب ورودی به تصفیه‌خانه در فصل تابستان بالاتر و برابر $(10/7 \pm 2/07)$ mg/L و در فصل پاییز کمترین و برابر $(6/03 \pm 1/44)$ mg/L بود. این اعداد بیانگر این موضوع است که منابع آب تأمین‌کننده این تصفیه‌خانه در معرض آلودگی آلی است که این آلودگی عمدتاً ناشی از مواد آلی طبیعی و تخلیه فاضلاب‌های شهری، خانگی، صنعتی به دلیل عدم وجود سیستم شبکه جمع‌آوری و دفع بهداشتی فاضلاب مسکونی حاشیه رودخانه جاجرود است. راندمان کلی تصفیه‌خانه در حذف DOC برابر $(72 \pm 2/07)$ درصد بود. در مطالعه‌ای مشابه نجف پور در سال 92 به این نتیجه دست یافت، زمانی که میزان TOC ورودی بیشترین مقدار خود را دارد، راندمان تصفیه‌خانه برابر با 80 درصد می‌باشد که با افزایش میزان مواد منعقدکننده و یا استفاده از مواد کمک منعقدکننده می‌توان میزان TOC خروجی را کاهش و راندمان را افزایش داد (16). همچنین در مطالعه‌ای دیگر سلمانی‌خاص و نبی‌بیدهندی نیز بیان نمودند که درصد حذف TOC در واحد زلال‌ساز نسبت به سایر واحدها بیش‌تر است که به معنی جدا شدن بخش عمده مواد مولد TOC به صورت معلق و یا وابسته به مواد معلق است که در واحد زلال‌ساز توانسته‌اند از آب جدا شوند (17). در صورتی که در مطالعه حاضر، درصد حذف DOC در واحد کلرزنی نهایی نسبت به سایر واحدها بیش‌تر بوده است. میانگین غلظت DOC در آب خروجی از تصفیه‌خانه آب تهران پارس در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر $(2/37 \pm 0/16)$ ، $(2/94 \pm 0/32)$ ، $(1/74 \pm 0/07)$ و $(2/17 \pm 0/16)$ mg/L بود که این مقادیر (به غیر از مقدار DOC در فصل پاییز) بالاتر از حد مجاز توصیه شده در برخی از منابع (که مقدار 2 mg/L را توصیه می‌کنند) بود. علاوه بر این، در این پژوهش مشخص شده است که فرآیند پیش‌کلرزنی

پیش‌از‌زنی به عنوان یک راهکار در جهت کاهش تولید ترکیبات آلی خطرناک به جای پیش‌کلرزنی و یا تغییر نقطه کلرزنی به انتهای تصفیه‌خانه توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی که حمایت مالی تحقیق طی طرح شماره 8656 و کد اخلاق IR.SBMU.PHNS.REC.1395.6 را بر عهده داشتند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

نیز (به غیر از مقدار DOC در فصل پاییز) بالاتر از حد مجاز توصیه شده (2 mg/L) بود. غلظت کلروفیل a در آب ورودی به تصفیه‌خانه در فصل تابستان و بهار بالاتر بود. به‌طور کلی، تصفیه‌خانه آب تهران پارس راندمان قابل ملاحظه‌ای در کاهش میزان کدورت آب داشته، زیرا تصفیه‌خانه‌های متعارف بر پایه حذف کدورت طراحی و بهره‌برداری می‌شوند. فرآیند پیش‌کلرزنی و کلرزنی نهایی بیش‌ترین اثر را بر کاهش غلظت DOC داشته که به دلیل میل ترکیبی بالای ترکیبات آلی با کلر و تشکیل ترکیبات جانبی حاصل از گندزدایی است. بنابراین،

References

1. Isanloo H, Mohseni SM, Nazari S, Sarkhosh M, Alizadeh Matboo S. Efficiency of electrical coagulation process in reduction of water turbidity. *J Health* 2014; 5(1): 67-74 (Persian).
2. Akoto O, Gyamfi O, Darko G, Barnes VR. Changes in water quality in the Owabi water treatment plant in Ghana. *Applied Water Science* 2017; 7(1): 175-186.
3. Fang J, Yang X, Ma J, Shang C, Zhao Q. Characterization of algal organic matter and formation of DBPs from chlor (am) ination. *Water Research* 2010; 44(20): 5897-5906.
4. Beltrán FJ, Pocostales JP, Alvarez PM, Jaramillo J. Mechanism and kinetic considerations of TOC removal from the powdered activated carbon ozonation of diclofenac aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials* 2009; 169(1-3): 532-538.
5. Zazouli MA, Nasser S, Mahvi AH, Mesdaghinia AR, Younecian M, Gholami M. Determination of hydrophobic and hydrophilic fractions of natural organic matter in raw water of Jalalieh and Tehranspars water treatment plants (Tehran). *J Appl Sci* 2007; 7(18): 2651-2655 (Persian).
6. Abedini A, Bagheri S, Moradi M, Khodaparast H, Imani O. Water quality and fish status in chitgar lake. *Journal of Breeding and Aquacul Sciences Quarterly* 2017; 4(13): 61-74 (Persian).
7. Jafari MA, Taghavi K, Hasani H. Survey the THMs value in drinking water in lahijan and suggestions in order to product control after disinfection. *Guilan Uni Med Sci* 2009; 17(68): 1-6 (Persian).
8. Hua LC, Chao SJ, Huang C. Fluorescent and molecular weight dependence of THM and HAA formation from intracellular algogenic organic matter (IOM). *Water Research* 2019; 148: 231-238.
9. Amin MM, Safari M, Maleki A, Ghasemian M, Rezaee R, Hashemi H. Feasibility of humic substances removal by enhanced coagulation process in surface water. *International Journal of Environmental Health Engineering* 2012; 1(1): 29.
10. Zazouli M, Nasser S, Mahvi A, Mesdaghinia A. Organic carbon concentration and formation potential of disinfection by-products in drinking water of Tehran water distribution network at

- some times of the year. Scientific Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research 2009; 7(3): 51-59 (Persian).
11. Hasani A, Torabian A, Abdollahzadeh M. Comparison of coagulant performance with advanced coagulation conditions in turbidity and organic matter removal in Karaj River. Environmental Science 2010; 36(55): 111-118 (Persian).
 12. Jalilzadeh E, Salimi M, Roozbehnia P. Detection and Determination of Chlorophylls a and b in Karaj, Taleghan and Latian Reservoirs by High Performance Liquid Chromatography (HPLC/UV-VIS). Journal of Water and Wastewater 2013; 25(4): 21-26 (Persian).
 13. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater: American Public Health Association Washington, DC; 2012.
 14. Bidigare RR, Van Heukelem L, Trees CC. Analysis of algal pigments by high-performance liquid chromatography. Algal Culturing Techniques 2005: 327-345.
 15. Masoumi B, Jafarzade N, Tabatabaei T, Kohgardi E, Jorfi S. Evaluation of pre-ozonation efficiency in turbidity removal and TOC (Case Study: Green Mountain Water Treatment Plant). Quarterly Journal on Water Engineering 2017; 5(2): 91-100 (Persian).
 16. Najafpour A, mahvi A, Kiashemshaki H. Performance evaluation of various water treatment processes for the removal of TOC and NOM Jlalyh. Journal of North Khorasan University of Medical Sciences 2015; 7(1): 189-198 (Persian).
 17. Salmanikhas N, Nabibidhendi G. Performance evaluation of various water treatment Tehranpars remove TOC. Journal of Enviromental Ecology 2006; 33(41): 1-4 (Persian).
 18. He J, Wang F, Zhao T, Liu S, Chu W. Characterization of dissolved organic matter derived from atmospheric dry deposition and its DBP formation. Water Research 2019; 171: 115368.