



## Investigating the optimal amount of chlorine consumption in the disinfection of the effluent of the Arak sewage treatment plant

Ashraf Ahmadloo<sup>1</sup>, Zabihollah Khani Temeliyeh<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup> Graduated from Master's in environmental engineering, head of water treatment plant operation group, Arak Central Province Water and Wastewater Company, Arak.

<sup>2</sup> Ph.D. Graduated of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Expert in Watershed and Researcher, Organization of Agricultural Research and Natural Resources of Khuzestan Province, Khuzestan, Iran.

Received: 28.06.2023; Accepted: 02.09.2023

### Abstract

**Objective:** This research, has tried to find the optimal amount of chlorine consumption, which is effective in disinfection and production of trihalomethanes, by conducting tests on many parameters of the effluent samples in different seasons of the year, including (temperature, pH, COD, BOD, total coliform and human excreta coliform, etc.) should be investigated. Therefore, Arak Arak-activated sludge wastewater treatment plant was selected as a pilot.

**Methods:** This research was based on standard methods, in which approximately three samples were taken from the treatment plant effluent every month. The experiments that were conducted in this research include the measurement of COD, BOD, T(temperature), pH, TSS, and total coliform, for which a series of equipment and consumables were used. For the statistical analysis of the results obtained from the samples, Fisher's least significant difference (LSD) test was used in the SPSS software environment, and correlation analysis and graphs were used in the Excel program.

**Results:** The results of the MPN test indicated an acid reaction or gas production after 45-51 hours, indicating a positive response to the possible test. The absence of acid reaction or gas production at the same time indicated a negative result. The results showed that the average pH in the effluent of the treatment plant was 7.73, the average BOD was 10.4 mg/liter, the COD was 33.3 mg/liter, and the average temperature was 17.9 degrees Celsius, which is higher than ambient temperature. Also, the average consumption of chlorine in the weeks of different seasons of spring, summer, autumn, and winter was 420.46, 509.69, 476.21, and 260.26 kg, respectively, and the highest weekly and monthly consumption occurred in the summer season.

**Conclusions:** The results of the research using statistical methods (Pearson's correlation) showed that the amount of chlorine consumption in different seasons of the year changed with the change of weather conditions, microbial load, chlorine consumption increased in hot seasons and decreased in cold seasons, and the amount of chlorine consumption was correlated intense and had a significant relationship with the amount of coliform, and in this research, the optimal point of chlorine consumption was at the highest amount of coliform in the range between 15,000-20,000 kg.

**Keywords:** Treatment plant, chlorine, Disinfection, BOD, COD

\* Corresponding author, E-mail: [z.khani1060@yahoo.com](mailto:z.khani1060@yahoo.com)

Cite this article: Ashraf Ahmadloo, Zabihollah Khani Teeliyeh. (2024). Investigating the optimal amount of chlorine consumption in the disinfection of the effluent of the Arak sewage treatment plant. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 3(1), 1-22.  
<http://doi.org/10.22034/nawee.2023425409.1055>





## بررسی میزان بهینه مصرف کلر در گندزدایی پساب تصفیه خانه فاضلاب اراک

اشرف احمدلو<sup>۱</sup>، ذبیح الله خانی تملیه<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، رئیس گروه بهره برداری تصفیه خانه آب، شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، اراک، ایران.  
<sup>۲</sup> دانش آموخته دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، کارشناس آبخیزداری و پژوهشگر سازمان تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، خوزستان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۱

### چکیده:

هدف: در این تحقیق سعی بر آن شده به مقدار بهینه مصرف کلر را که در گندزدایی و تولید تری هالو متانها مؤثر می باشد دست پیدا کرده و با انجام آزمون هایی روی تعدادی از پارامترهای نمونه های پساب خروجی در فصول مختلف سال از جمله (دما، pH، COD، BOD، کلیفرم کل و کلیفرم فضولات انسانی و...) بررسی گردد. از اینرو تصفیه خانه فاضلاب لجن فعال اراک به عنوان پابلوت انتخاب گردید. روش پژوهش: این پژوهش براساس روش های استاندارد صورت گرفت، که در آن در هر ماه تقریباً سه نمونه از پساب خروجی تصفیه خانه گرفته شد. آزمایش هایی که در این پژوهش انجام گرفت عبارتند از اندازه گیری COD، BOD، دما، pH، TSS، کلیفرم کل، که برای انجام آنها یکسری تجهیزات و مواد مصرفی استفاده گردید. جهت تحلیل آماری نتایج حاصل از نمونه ها از آزمون حداقل اختلاف معنی دار فیشر (LSD) در محیط نرم افزار SPSS استفاده گردید، همچنین تحلیل همبستگی و ترسیم نمودارها از برنامه Excel استفاده گردید. یافته ها: نتایج حاصل از آزمون MPN حاکی از ایجاد واکنش اسیدی یا تولید گاز پس از ۴۵ تا ۵۱ ساعت، بیانگر پاسخ مثبت به آزمایش احتمالی بود. عدم واکنش اسیدی یا تولید گاز در همین زمان، بیانگر نتیجه منفی بود. نتایج حاصل نشان داد که متوسط pH در پساب خروجی تصفیه خانه ۷/۷۳، متوسط BOD، ۱۰/۴ میلی گرم در لیتر، COD، ۳۳/۳ میلی گرم در لیتر، متوسط دما ۱۷/۹ درجه سانتیگراد بوده است که این دما بالاتر از دمای محیط بوده است. همچنین متوسط مصرف کلر در هفته های فصول مختلف بهار، تابستان، پاییز و زمستان بترتیب ۴۲۰/۴۶، ۵۰۹/۶۹، ۴۷۶/۲۱ و ۲۶۰/۲۸ کیلوگرم بوده است که بیشترین میزان مصرف هفتگی و ماهانه در فصل تابستان رخ داده است.

نتیجه گیری: نتایج حاصل از تحقیق با استفاده از روش های آماری (همبستگی پیرسون) نشان داد که میزان مصرف کلر در فصول مختلف سال با تغییر شرایط آب و هوایی، بار میکروبی تغییر داشته، در فصول گرم مصرف کلر افزایش و در فصول سرد کاهش پیدا کرده و مقدار مصرف کلر همبستگی شدید و ارتباط معناداری با میزان کلیفرم داشته که در این تحقیق نقطه بهینه مصرف کلر در بالاترین مقدار کلیفرم در محدوده بین ۱۵۰۰۰-۲۰۰۰۰ کیلوگرم بوده است.

کلیدواژه ها: تصفیه خانه، کلر، گندزدایی، COD، BOD

\* نویسنده مسئول: Email: z.khani1060@yahoo.com

استناد: احمدلو، اشرف؛ خانی تملیه، ذبیح الله (۱۴۰۳). بررسی میزان بهینه مصرف کلر در گندزدایی پساب تصفیه خانه فاضلاب اراک. *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست*، ۳ (۱)، ۲۲-۱. <http://doi.org/10.22034/nawee.2023425409.1055>

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه گنبد کاووس.



## مقدمه

با گسترش روزافزون جمعیت و متعاقباً افزایش حجم فاضلاب تولیدی، نیاز به ارتقاء ظرفیت پذیرش تصفیه‌خانه فاضلاب‌های موجود می‌باشد. دستگاه‌های تصفیه فاضلاب به دو دسته عملیاتی و فرایندی تقسیم می‌شوند. در واحدهای عملیاتی برای حذف آلاینده‌ها از مکانیسم فیزیکی استفاده می‌شود. در واحدهای فرایندی برای حذف آلاینده‌ها از مکانیسم بیوشیمیایی یا شیمیایی استفاده می‌شود. یک مجموعه تصفیه فاضلاب شامل واحدهای عملیاتی و فرایندی است که به منظور کاهش آلاینده‌های فاضلاب و تقلیل آن به حد مجاز به کار گرفته می‌شود. روش‌های متداول تصفیه فاضلاب عبارتند از: تصفیه مقدماتی، تصفیه ثانویه، تصفیه پیشرفته (فلاح پور، ۱۳۸۷). فاضلاب را می‌توان ترکیبی از مایع یا فضولاتی دانست که توسط آب از مناطق مسکونی، اداری و تأسیسات تجاری و صنعتی حمل شده و بر حسب مورد با آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و سیلاب‌ها آمیخته است، همچنین تصفیه فاضلاب عبارت است از "انجام هرگونه عملیات فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی یا ترکیبی از آن‌ها بر روی فاضلاب خام جهت کاهش یا رفع هرگونه آلودگی از فاضلاب و رساندن کیفیت پساب حاصل جهت انطباق با استانداردهای موجود جهت دفع پساب به محیط‌زیست (متکالف و همکاران، ۲۰۱۴).

## پیشینه پژوهش

در زمینه تصفیه فاضلاب مطالعاتی در جنبه‌های مختلف صورت گرفته است که از جمله این مطالعات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ابراهیمی و عرفانی (۱۳۹۱)، در تحقیقی به بررسی کار آبی روش‌های حذف بیولوژیکی مواد مغذی BNR<sup>۱</sup> و مقایسه آن‌ها از نظر اقتصادی پرداختند، نتایج حاصل از تحقیقشان نشان داد که، وجود بیش از حد نیتروژن در پساب به‌عنوان نوعی آلودگی اشاره کرد و تأثیرات نامطلوب ترکیبات نیتروژن را در آب‌های پذیرنده برافزایش میزان اکسیژن موردنیاز آن‌ها و افزایش مصرف کلر در ضدعفونی نمودن پساب خروجی، رخ دادن اوتریفیکاسیون

در منابع آبی، از بین رفتن برخی از آبزیان، بروز بیماری‌هایی همچون سرطان، فشارخون و بیماری آبی در کودکان عنوان نموده‌اند. تابش، آزادی و روزبهرانی (۱۳۹۰)، میزان تزریق کلر در محل‌های تزریق را با استفاده از تلفیق یک مدل تحلیل هیدرولیکی و کیفی (EPANET<sup>۲</sup>) و یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی الگوریتم ژنتیک بهینه نمودند. آن‌ها این مدل را برای دو شبکه آبرسانی آبرسانی صحت سنجی نموده و نشان دادند که این مدل از کارایی مناسبی برای تعیین میزان بهینه تزریق کلر در شبکه برخوردار می‌باشد. سنندجی (۱۳۹۱)، در تحقیقی به بررسی عملکرد بازگشت مایع مخلوط<sup>۳</sup>، بر روی کاهش نیتروژن خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر شیراز در مقیاس آزمون (پایلو) به روش MLE<sup>۴</sup> عنوان نموده که روش MLE به‌عنوان یک روش به‌روز و قابل انطباق با تصفیه‌خانه موجود در شهر شیراز توانسته در عمل، تأثیر مناسبی در حذف مقدار نیتروژن در پساب خروجی و البته در جریان برگشتی چهار برابر دبی ورودی داشته باشد. میرزایی تختگاهی و قمرنیا (۱۳۹۶)، در تحقیقی تحت عنوان کیفیت خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر کرمانشاه برای تخلیه به آب‌های سطحی عنوان داشته‌اند که در تصفیه‌خانه کیهانشهر کرمانشاه، پساب با سیستم تصفیه لجن فعال در حال حاضر به‌طور مستقیم وارد رودخانه قره‌سو می‌شود. در این تحقیق نمونه‌برداری به‌صورت فصلی و طی یک سال از خروجی تصفیه‌خانه به عمل آمد. کیفیت خروجی تصفیه‌خانه برای تخلیه به آب‌های سطحی با توجه به استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که غیر از تعدادی از عناصر که در تمام فصول زیر حد مجاز بوده و مشکلی برای تخلیه به آب سطحی ندارند، سایر پارامترها با توجه به استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست بیشتر از حد مجاز بوده و قابل تخلیه به آب‌های سطحی نبوده و باعث آلودگی آن می‌شود. امینی و اوتادی (۱۳۹۵)، در تحقیقی تحت عنوان بررسی راکتور انوکسیک تصفیه‌خانه فاضلاب ساری به روش لجن فعال MLE و تعیین عوامل مؤثر بر آن پرداختند. نتایج حاصل از

1. Biological removal of nutrients  
2. Environmental Protection Agency Network Evaluation Tool  
3. Mixed Liquor  
4. Modified Ludzack- Ettinger

وو و همکاران ۲۰۱۵؛ کارادیرک و همکاران a,b ۲۰۱۶؛ کاپوداگلیو و همکاران ۲۰۱۶؛ گوستاو و لارا بوررو ۲۰۱۶؛ بورسیس و شاه ۲۰۱۷؛ اسلامی و همکاران ۲۰۱۹؛ راجمدی و همکاران ۲۰۲۰؛ گامیز و همکاران ۲۰۲۰؛ هوکو و همکاران ۲۰۲۱؛ عبدو و همکاران ۲۰۲۲؛ کسار و همکاران ۲۰۲۲؛ تیهه و همکاران ۲۰۲۲؛ لی و همکاران ۲۰۲۳) هدف از این تحقیق شناسایی بهترین روش گندزدایی در تصفیه خانه فاضلاب، تعیین میزان مصرف کلر در تصفیه خانه های فاضلاب در فصول مختلف در شهر اراک می باشد که با توجه به شرایط آب و هوایی و فرهنگ و بار میکروبی هر منطقه میزان مصرف آن متغیر می باشد.

### روش شناسی پژوهش

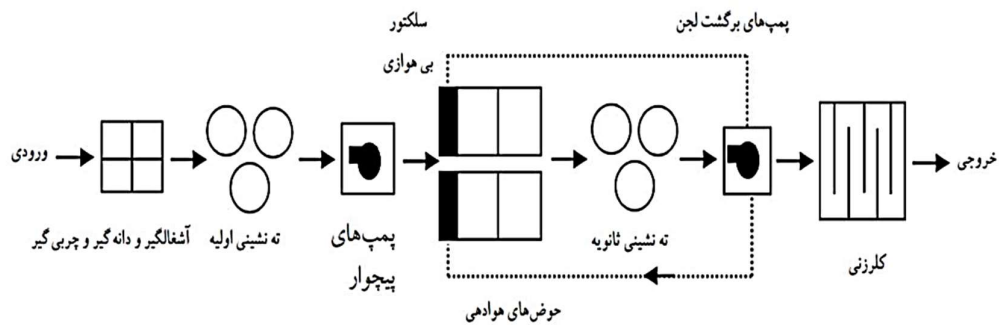
#### منطقه مورد مطالعه

متوسط دبی ورودی به تصفیه خانه اراک ۵۵۰۰۰ مترمکعب در روز می باشد. که این جریان ورودی به تصفیه خانه توسط دریچه های مقسم جریان و دبی سنج کنترل شده و مابقی فاضلاب از طریق کانال مقسم ورودی به تصفیه خانه برکه تشبیت هدایت می شود. بخشی از فاضلاب جمع آوری شده شهر اراک، شامل فاضلاب خانگی و صنعتی از صنایع گوناگون به تصفیه خانه لجن فعال می باشد. شکل (۱) و شماتیک تصفیه خانه لجن فعال اراک و شکل (۲) میزان دبی ورودی و خروجی را نشان می دهد (خلیلی و همکاران ۱۳۹۳). تمام آزمون های این تحقیق در سال ۱۳۹۷ در آزمایشگاه مرکزی شرکت آب و فاضلاب طبق روش های استاندارد متد انجام شده و در هرماه تقریباً سه نمونه از پساب خروجی تصفیه خانه گرفته شد و آزمایش های اندازه گیری COD، BOD، دما، pH، TSS، کلیفرم کل، انجام گرفت که در ادامه تحقیق به مراحل مختلف آن پرداخته شده است. تجهیزات و مواد مصرفی مورد نیاز: (۱) دستگاه ترمو راکتور (۲) دستگاه اسپکتروفوتومتر (۳) ویال COD (۰-۱۵۰ ppm، ۰-۴۰)، آب مقطر- محلول های استاندارد CRM یا RM (۵). پیپت حبابدار یا

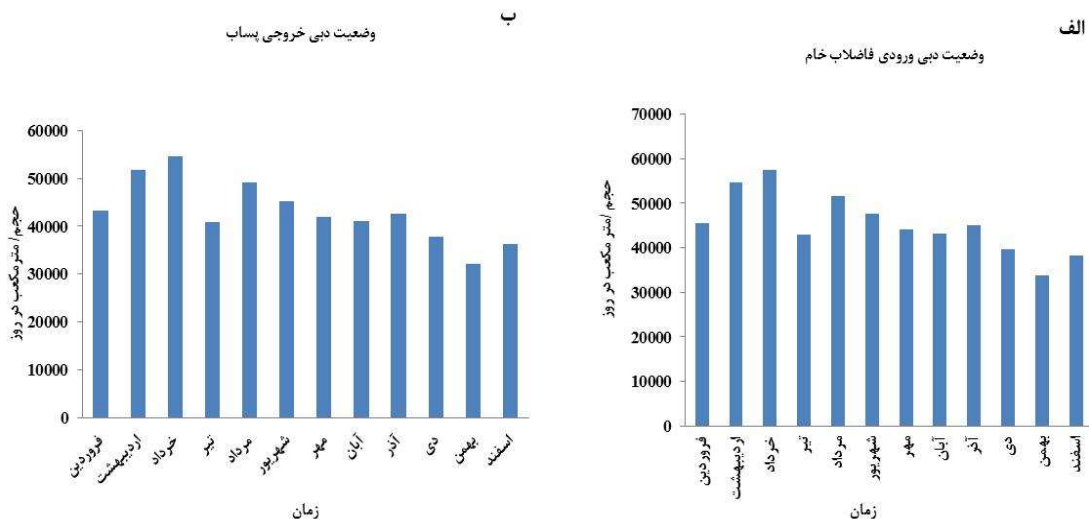
تحقیقشان نشان داد که، اخیراً توجه به حذف مواد مغذی خصوصاً ازت و فسفر در سیستم های تصفیه فاضلاب افزایش یافته است. آن ها در این تحقیق تعداد ۱۲۶ نمونه برداشت و پارامترهایی مانند نیتريت، نیترات، pH، دما، جامدات کل، جامدات فرار و BOD<sub>5</sub> اندازه گیری شده اند. نتایج حاصله نشان داد که ارتباط خوبی بین راندمان حذف نیتروژن کل با پارامترهای، BOD<sub>5</sub>، دما، TSS نسبت جریان برگشتی و زمان ماند هیدرولیکی و میکروبی وجود دارد. عمار و همکاران (۲۰۱۴)، به پیش بینی روند اضمحلال دی اکسید کلر در شبکه های آبرسانی با استفاده از یک شیوه نیمه تجربی پرداختند. نتایج حاصل از تحقیقشان حاکی از توانایی مناسب مدل نیمه تجربی در شبیه سازی روند اضمحلال دی اکسید کلر می باشد. بابایی، تابش و نظیف (۱۳۹۶)، برای تأمین توابع هدف کاهش هزینه کلر مصرفی و افزایش شاخص اطمینان کیفی شبکه آب، از الگوریتم جامعه مورچگان استفاده نمودند. آن ها در مطالعه خود حالات مختلف تزریق کلر (ثابت یا متغیر بودن میزان تزریق کلر و وضعیت دور پمپ) را با در نظر گرفتن انواع روش های موجود برای تحلیل هیدرولیکی شبکه) تحلیل مبتنی بر تقاضا (DDSM) و تحلیل مبتنی بر فشار (HDSM) را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج به دست آمده، استفاده از پمپ با دور متغیر و نرخ متغیر تزریق کلر، در مقایسه با حالت پمپ با دور ثابت و میزان ثابت تزریق کلر، نتایج بهتری را به دست می دهد. همچنین مقایسه نتایج تحلیل هیدرولیکی شبکه در روش های مختلف نشان داد که استفاده از روش تحلیل مبتنی بر فشار، نتایج بهتری را نسبت به روش تحلیل مبتنی بر تقاضا در بردارد. از جمله مطالعات دیگر در زمینه های مختلف می توان به مطالعات زیر اشاره کرد: (دیندارلو و دستورانی ۱۳۹۶؛ انبیر و نوری ۱۳۹۸؛ ذو نعمت کرمانی، جمالی زاده و رضانی چرمهینه ۱۳۹۷؛ اشجاری باسمنج و همکاران ۱۳۹۹؛ بنی مهدکیوانی و فکری ۱۴۰۰؛ قائد رحمتی، معاضد و تیشه زن ۱۳۹۹؛ نجاری و همکاران ۲۰۱۴؛ پرزو و استانسکو ۲۰۱۵؛

1. Biochemical Oxygen Demand
2. Total Suspended Solids
- 3 Demand Driven Simulation Method
4. Head Driven Simulation Method
5. Chemical Oxygen Demand

پیپت مدرج ۲ ml میلی‌لیتر و یا سمپلر ۲ ml.



شکل ۱- تصفیه‌خانه لجن فعال اراک (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۳)



شکل ۲- میزان دبی ورودی فاضلاب خام (الف)، میزان دبی خروجی پساب (ب)

طی مدت‌زمان مشخص ۵ روز اندازه‌گیری صحیح مقادیر BOD در فاضلاب‌های ارسالی از تصفیه‌خانه و شبکه شهر اراک بستگی به نمونه‌ها دارد. شرایط محیطی مورد نیاز در

**روش اندازه‌گیری BOD**  
تعیین مقدار اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)، برای تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها در فاضلاب

قادرند در مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۴/۳ تا ۴۴/۷ درجه سلسیوس نیز تولید اسید و گاز کنند.

#### مواد وسایل موردنیاز اندازه‌گیری کلیفرم‌ها

۱) اتوکلاو (۲) انکوباتور با دمای ثابت ۳۴/۵ الی ۳۵/۵ درجه سلسیوس. دما به وسیله دیتا لاگر به‌طور مرتب کنترل می‌گردد. ۳) بن ماری تنظیم‌شده در دمای ۴۴/۳ الی ۴۴/۷ درجه سلسیوس دما به وسیله دماسنج دیجیتال کنترل می‌گردد. ۴) لوله‌های آزمایش ۱۸×۱۸ میلی‌متر و درب پوش مناسب. ۵) بالن استریل (در صورت نیاز به رقیق‌سازی). ۶) هود لامینارفلو (۷) پیتون واتر (در صورت نیاز به رقیق‌سازی) ۸) آب مقطر.

#### مقدار موردنیاز کلر

اگر فاضلاب به‌منظور کنترل  $H_2S$  موجود در آن تصفیه‌شده باشد راه عملی برای تعیین مقدار کلر نهایی آزمایش کلر موردنیاز است و این روش در استاندارد متد آمده است و مدت‌زمان ۵ دقیقه برای تماس کلر مصرفی کافی است، مقدار باقیمانده‌ای که بعد از ۵ دقیقه بر جا می‌گذارد برای انجام تمام واکنش‌های کلر - سولفید تا مرحله تکمیل شدن کافی است. کمیت موادی که برای آن‌ها کلر لازم است در هر تصفیه‌خانه متفاوت است و در نتیجه مقدار کلر لازم برای ضدعفونی مناسب نیز فرق خواهد داشت. مقدار کلر باقیمانده از روی جمعیت میکروارگانیسم تعیین می‌شود که این جمعیت را از روی محتمل‌ترین تعداد کلیفرم موجود در آب MPN تخمین می‌زنند این آزمون در سه مرحله: ۱) تست پیش فرض (۲) تست تأییدیه (۳) تست تکمیلی<sup>۴</sup> انجام می‌شود. دستگاه کلر زن سیستم ضدعفونی آب توسط تزریق کلر به‌عنوان فرایند گندزدایی جهت حذف آلودگی‌های میکروبی و حذف میکروارگانیسم‌های موجود در آب از قبیل باکتری و جلبک می‌باشد. با توجه به حجم آب مورد گندزدایی وسعت پروژه روش کلر زنی تعیین می‌گردد و کلر ممکن

فاصله زمانی بین نمونه‌برداری و آغاز آزمایش نمونه‌ها را می‌بایست در دمای پایین ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری نمود. سپس نمونه را در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد حداکثر تا ۴۸ ساعت و حداقل تا ۶ ساعت می‌توان نگهداری نمود. نمونه موردنظر را بلافاصله بعد از نمونه‌برداری درون بالن حجمی ریخته شد سپس آن را به بطری‌های مخصوص BOD منتقل داده باشد و به نمونه Nutrient اضافه گردید. سپس درون پوشش پلاستیکی و سیاه‌رنگ سر بطری پودر LiOH که جاذب  $CO_2$  است قرار داده شد و بعد درب بطری را بسته شد سپس آن را روی شیکر دیجیتال در داخل انکوباتور با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از تنظیمات لازم به‌صورت روزانه BOD را گزارش گردید.

#### روش اندازه‌گیری COD

آماده‌سازی نمونه: ابتدا نمونه‌ها را در ظروف شیشه‌ای جمع‌آوری گردید، سپس برای آنالیز ۲۴ ساعت بعد از نمونه‌گیری، نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. یا نمونه را در دمای فوق و  $pH < 2$  با اضافه کردن اسیدسولفوریک غلیظ تا ۲۸ روز نگهداری گردید. و به ازای هر لیتر نمونه ۲ ml اسیدسولفوریک غلیظ اضافه شد. اگر نمونه‌ها دارای مواد معلق باشند، باهم زدن و یکنواخت سازی نمونه را جهت آزمایش آماده نموده و با اندازه‌گیری pH نمونه، با افزودن اسیدسولفوریک در بازه ۶/۵ تا ۷/۵ تنظیم گردید.

#### اندازه‌گیری کلیفرم

کلیفرم‌های گرم‌پای در پساب را به‌وسیله کشت در محیط مایع به روش چند لوله‌ای و محاسبه بیشترین تعداد احتمالی آن‌ها در نمونه انجام گرفت. منظور از کلیفرم‌ها، میکروارگانیسم‌هایی هستند که می‌توانند در شرایط هوایی در دمای ۳۴/۵ تا ۳۵/۵ درجه سلسیوس در محیط مایع حاوی لاکتوز رشد کرده و در مدت ۴۸ ساعت تولید اسید و گاز کنند. کلیفرم‌های گرم‌پای، کلیفرم‌هایی هستند که

2 Presumptive test

3. Confirmatory test

4. Completed test

1. Most Probable Number

(MPN/100ml). مقادیر MPN برای انواع روش‌ها، با ترکیبی از لوله‌های مثبت و منفی، در ادامه در بحث و نتایج نشان داده شده است. این ارقام با در نظر گرفتن محدوده اطمینان ۹۵٪ برای هر MPN، محاسبه شده است. اگر حجم نمونه‌های تهیه شده در یک آزمایش همان مقادیری باشد که در جدول وجود دارند، می‌توان MPN مربوط به آن آزمایش را برحسب MPN/100ml و یا به صورت حضور یا عدم حضور کلیفرم‌ها، از جدول یافته و گزارش نمود. در حالی که جدول (۱) نتایج MPN برای ترکیبی از پاسخ‌های مثبت و منفی آزمایش ۱۵ لوله‌ای است که ۵ عدد آن حاوی ۱۰ میلی‌لیتر، ۵ عدد یک میلی‌لیتر و ۵ عدد آخر دارای ۰/۱ میلی‌لیتر از نمونه مورد بررسی است. زمانی که رقت‌های ده‌دهی، متفاوت از رقت‌های ارائه شده در جدول باشد، برای انتخاب این سه گروه، بالاترین میزان رقت (یا رقیق‌ترین نمونه) که هر ۵ لوله آن پاسخ مثبت به آزمایش داده است به همراه دو گروه بعدی از لوله‌ها که به ترتیب رقیق‌تر هستند در نظر گرفته می‌شود. میزان MPN را برای ترکیبی از نتایج مثبت، انتخاب شده و محاسبه بر اساس رابطه (۱) صورت می‌گیرد.

$$\frac{MPN}{100mL} = (Table\ MPN / 100mL) \times 10/V \quad (1)$$

$V$  = حجمی از یک نمونه در کمترین رقت انتخاب شده، همچنین در مواردی که ترکیب لوله‌های مثبت، موجود نباشد، برای محاسبه MPN می‌توان از فرمول ساده توماس (Thomas) به شرح ذیل استفاده نمود رابطه (۲):

$$\frac{MPN}{100\ mL\ (approx.)} = 100 \times P / (N \times T)^{1/2} \quad (2)$$

$P$  = تعداد لوله‌های مثبت،  $N$  = حجم کل نمونه‌های منفی،  $T$  = حجم کل نمونه‌ها. اگرچه جداول MPN و محاسبات مرتبط با آن‌ها برای آزمایش کلیفرم‌ها شرح داده شده است، لیکن تعیین MPN هر ارگانیزم دیگری که محیط کشت مناسب برای آن تعریف شده باشد، با این روش مقدور است. چنانچه موارد دیگری به غیر از احتمالات اشاره شده به

است به اشکال زیر در دسترس باشد: گاز کلر، از نظر اقتصادی به صرفه‌تر می‌باشد ولی از نظر خطرات ایمنی و بهداشتی پرخطر می‌باشد ولی پرکلرین، آب ژاول، هر دو روش مقرون به صرفه نمی‌باشد ولی خطرات کمتر می‌باشد. و چون روش‌های ذکر شده مقرون به صرفه نمی‌باشد، در تصفیه‌خانه فاضلاب لجن فعال اراک به روش کلرزی گازی گندزدایی صورت گرفت. مرحله کلرزی بعد از اینکه فرایند بیولوژیکی در حوض هوادهی صورت گیرد و آلودگی‌ها حذف شوند، پساب در حوض ته‌نشینی ثانویه به حد استاندارد تصفیه گردد، وارد حوض کلرزی شده و کلر توسط دستگاه کلر زن به صورت گازی تزریق می‌گردد و به مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه زمان ماند کلر در حوض کلرزی می‌باشد تا حذف کامل میکروبی صورت بگیرد و در نهایت از خروجی نهایی نمونه گرفته شده و میزان کلر باقیمانده نیز اندازه‌گیری می‌شود.

### آزمون MPN

یک گروه از لوله‌ها با رقت‌های اعشاری از نمونه پساب (مضاربی از ۱۰ و زیر ۱۰ میلی‌لیتر) بر اساس تراکم احتمالی کلیفرم تهیه و طی مراحل احتمالی و تأییدی در روش چند لوله‌ای استفاده گردید. به‌طور کلی هدف از آزمایش پساب، برآورد شدت آلودگی باکتریایی، تعیین منبع آلودگی، اجرای استانداردهای کیفی پساب و یا ردیابی نحوه بقای میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. با روش تخمیر چند لوله‌ای، می‌توان برآوردهای معتبری بر اساس MPN<sup>۵</sup> برای تراکم کلیفرم‌ها به دست آورد. برای این کار تعداد کافی نمونه باید آزمایش شوند تا نتایج آن‌ها، نماینده واقعی وضعیت منبع مورد بررسی باشد. به طور کلی میانگین هندسی یا عدد میانه از نتایج آزمایش تعدادی نمونه، رقمی را ارائه می‌کند که در آن تأثیر تغییرات، در شرایط نمونه‌های برداشته شده، به حداقل رسیده بودند.

### جدول محاسبه و ثبت M

غلظت یا تراکم کلیفرم‌ها، به‌عنوان محتمل‌ترین تعداد (MPN) در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه ثبت می‌شود

معادل  $10^{-14}$  mol/l است. pH نقطه خنثی وابسته به دماست و در صفر درجه برابر ۷٫۵ و در  $60^{\circ}\text{C}$  مساوی ۶٫۵ است. pH آب‌های طبیعی در محدوده ۴ تا ۹ قرار می‌گیرد و این آب‌ها به علت حضور بی‌کربنات‌ها و کربنات‌ها و فلزات قلیایی و قلیایی خاکی کمی قلیایی هستند.

### روش اندازه‌گیری TDS (کل جامدات معلق)

تجهیزات: (۱) آون برای ایجاد دمای  $105$  تا  $103$  درجه سانتی‌گراد (۲) دسیکاتور حاوی ماده نمگیر (۳) ترازو دقیق (۰/۰۰۱ میلی‌گرم (۴) همزن مغناطیسی باروکش (۵) پیپت‌های ژوزه و مدرج. دستگاه صاف کننده (صافی با فیلتر غشایی)، (۶) ارلن خلاء (۷) پمپ خلأ الکتریکی (۸) گیره فلزی (۹) کاغذ صافی ۲ میکرون یا کوچکتر. واکنش‌گرها و مواد مصرفی: (۱) سیلیکاژل. آب مقطر نمونه‌برداری و نگهداری: از ظروف شیشه‌ای مقاوم یا پلاستیکی تمیز استفاده شود که مواد معلق به دیواره آن نچسبند. آزمایش باید سریعاً انجام شود چون تثبیت نمونه امکانپذیر نیست. نمونه‌ها را تا زمان آزمایش در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  در سانتیگراد نگهداری شوند تا تجزیه میکروبی میکروبیولوژیکی جامدات به حداقل برسد. باید سعی گردد که نمونه‌ها تا ۲۴ ساعت پس از نمونه‌برداری آزمایش شوند. در هیچ شرایطی نباید نمونه را بیش از ۷ روز نگه داشت. نمونه‌ها می‌بایست پیش از آزمایش به دمای اتاق برسند. حجم موردنیاز نمونه ۲۰۰ سی‌سی نوع نمونه مرکب و لحظه‌ای می‌تواند باشد.

(۹)

$$TDS = \frac{1000 * (WEFP)(mg) - ((WFP)(mg) + WDR)(mg)}{\text{Sample size taken}}$$

WEFP: وزن کاغذ صافی خالی برحسب میلی‌گرم، WFP: وزن کاغذ صافی خالی برحسب میلی‌گرم، Sample size taken: حجم نمونه برداشتی. دستورالعمل تجهیزات: (۱) آون (۲) ترازو (۳) پمپ الکتریکی.

### نتایج و بحث

#### تفسیر نتایج آزمون MPN:

خلاصه مراحل آزمایش احتمالی، تأییدی و تکمیلی

دفعات زیاد (بیش از یک درصد موارد) تکرار شد نشانگر خطا است. زمانی که ترکیبی از لوله‌های مثبت یافت شود MPN روش یا فرضیات آماری مرتبط با را از فرمول ساده توماس به صورت رابطه (۳) محاسبه نمود:

(۳)

$$MPN = \frac{\text{Number of positive tubes} * 100}{100ml \sqrt{\text{Volume in negative tubes}(ml) * \text{Sample volume in all tubes}(ml)}}$$

### روش اندازه‌گیری pH

آزمایش pH یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین آزمون‌های آزمایش در شیمی آب است. در اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن، قلیائیت و دیگر تعادل‌های اسید و باز نیز کاربرد دارد. در یک دمای معین شدت اسیدی یا قلیائی بودن یک محلول از راه تعیین pH یا فعالیت یون هیدروژن موجود در نمونه مشخص می‌شود. قلیائیت و اسیدیته یک نمونه آب عبارت از ظرفیت آن برای خنثی‌سازی اسید و باز بوده و بر حسب mg/l کربنات کلسیم بیان می‌شود. ظرفیت بافری یک سیستم آبی مقدار اسید یا باز قوی (برحسب mol/l) است که بتواند pH یک لیتر از نمونه را به اندازه یک واحد تغییر دهد. رابطه pH به وسیله Sorenson تعریف شده و برابر است با  $-\text{Log}[H^+]$  بیانگر قدرت عامل اسیدی است. آب خالص خیلی کم یونیزه می‌شود و در حالت تعادل یون‌های تولیدشده آن عبارتند از:

$$[OH^-] = kw = 10^{-14} \text{ at } 25^{\circ}\text{C} [H^+] \quad (4)$$

$$[H^+] = [OH^-] = 1.005 \times 10^{-7} \quad (5)$$

$[H^+]$ : غلظت یون‌های هیدروژن mol/l،  $[OH^-]$ : غلظت یون‌های هیدروکسیل mol/l، Kw: ثابت یونیزاسیون به علت برهم‌کنش‌های یونی در همه محلول‌ها به جز محلول‌های رقیق به جای استفاده از غلظت از فعالیت یونی استفاده می‌شود.

$$PH + POH = PKw \quad (6)$$

$$PH = -\text{Log } a H^+ \quad (7)$$

$$POH = -\text{Log } a OH^- \quad (8)$$

در  $25^{\circ}\text{C}$  و pH برابر ۷ محلول خنثی است یعنی فعالیت یون‌های هیدروکسیل و هیدروژن باهم برابر بوده و هر کدام



نشریه رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست / دوره دوم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۲

برای شناسایی کلیفرم کل: ایجاد واکنش اسیدی یا تولید گاز پس از  $48 \pm 3$  ساعت، بیانگر پاسخ مثبت به آزمایش احتمالی بود. عدم واکنش اسیدی یا تولید گاز پس از  $48 \pm 3$  ساعت، بیانگر نتیجه منفی بود. اعداد جدول (۵) مربوط به نتایج مثبت آزمایش ۳ گروه لوله ۱/۱۰ و ۱۰ میلی لیتری برای پاسخ ترکیبی از پاسخ‌های مثبت MPN مثبت به تعداد زیادی از لوله ۱۰ میلی لیتری است.

جدول ۱- شاخص MPN و دامنه اطمینان ۹۵٪ برای ترکیب انواع گوناگون لوله‌های مثبت، زمانی که سه گروه لوله ۵ تایی در هر رقت استفاده شده باشد. (10 ML, 1.0 ML, 0.1 ML)

دامنه اطمینان ۹۵٪		MPN/100ml	ترکیب لوله‌های مثبت	دامنه اطمینان ۹۵٪		MPN/100ml	ترکیب لوله‌های مثبت
حداقل	حداکثر			حداقل	حداکثر		
۷۰	۹/۸	۲۵	۴-۰-۳	۶/۸	-	کمتر از ۱/۸	۰-۰-۰
۴۰	۶/۰	۱۷	۴-۱-۰	۶/۸	۰/۰۹۰	۱/۸	۰-۰-۱
۴۲	۶/۸	۲۱	۴-۱-۱	۶/۹	۰/۰۹۰	۱/۸	۰-۱-۰
۷۰	۹/۸	۲۶	۴-۱-۲	۱۰	۰/۷۰	۳/۶	۰-۱-۱
۷۰	۱۰	۳۱	۴-۱-۳	۱۰	۰/۷۰	۳/۷	۰-۲-۰
۵۰	۶/۸	۲۲	۴-۲-۰	۱۵	۱/۸	۵/۵	۰-۲-۱
۷۰	۹/۸	۲۶	۴-۲-۱	۱۵	۱/۸	۵/۶	۰-۳-۰
۷۰	۱۰	۳۲	۴-۲-۲	۱۰	۰/۱۰	۲	۱-۰-۰
۱۰۰	۱۴	۳۸	۴-۲-۳	۱۰	۰/۷۰	۴	۱-۰-۱
۷۰	۹/۹	۲۷	۴-۳-۰	۱۵	۱/۸	۶	۱-۰-۲
۷۰	۱۰	۳۳	۴-۳-۱	۱۲	۰/۷۱	۴	۱-۱-۰
۱۰۰	۱۴	۳۹	۴-۳-۲	۱۵	۱/۸	۶/۱	۱-۱-۱
۱۰۰	۱۴	۳۴	۴-۴-۰	۲۲	۳/۴	۸/۱	۱-۱-۲
۱۰۰	۱۴	۴۰	۴-۴-۱	۲۲	۱/۸	۸/۱	۱-۲-۰
۱۲۰	۱۵	۴۷	۴-۴-۲	۲۲	۳/۴	۸/۲	۱-۲-۱
۱۰۰	۱۴	۴۱	۴-۵-۰	۲۲	۳/۴	۸/۳	۱-۳-۰
۱۲۰	۱۵	۴۸	۴-۵-۱	۱۵	۳/۵	۱۰	۱-۳-۱
۷۰	۶/۸	۲۳	۵-۰-۰	۱۵	۳/۵	۱۰	۱-۴-۰
۷۰	۱۰	۳۱	۵-۰-۱	۲۲	۰/۷۹	۴/۵	۲-۰-۰
۱۰۰	۱۴	۴۳	۵-۰-۲	۱۷	۱/۸	۶/۸	۲-۰-۱
۱۵۰	۲۲	۵۸	۵-۰-۳	۲۲	۳/۴	۹/۱	۲-۰-۲
۱۰۰	۱۰	۳۳	۵-۱-۰	۲۶	۱/۸	۶/۸	۲-۱-۰
۱۲۰	۱۴	۴۶	۵-۱-۱	۲۲	۳/۴	۹/۲	۲-۱-۱
۱۵۰	۲۲	۶۳	۵-۱-۲	۲۶	۴/۱	۱۲	۲-۱-۲
۲۲۰	۳۴	۸۴	۵-۱-۳	۳۶	۳/۴	۹/۳	۲-۲-۰
۱۵۰	۱۵	۴۹	۵-۲-۰	۲۶	۴/۱	۱۲	۲-۲-۱
۱۷۰	۲۲	۷۰	۵-۲-۱	۳۶	۵/۹	۱۴	۲-۲-۲
۲۳۰	۳۴	۹۴	۵-۲-۲	۲۶	۴/۱	۱۲	۲-۳-۰
۲۵۰	۳۶	۱۲۰	۵-۲-۳	۳۶	۵/۹	۱۴	۲-۳-۱
۴۰۰	۵۸	۱۵۰	۵-۲-۴	۳۶	۵/۹	۱۵	۲-۴-۰
۲۲۰	۲۲	۷۹	۵-۳-۰	۲۲	۲/۱	۷/۸	۳-۰-۰
۲۵۰	۳۴	۱۱۰	۵-۳-۱	۲۳	۳/۵	۱۱	۳-۰-۱
۴۰۰	۵۲	۱۴۰	۵-۳-۲	۳۵	۵/۶	۱۳	۳-۰-۲

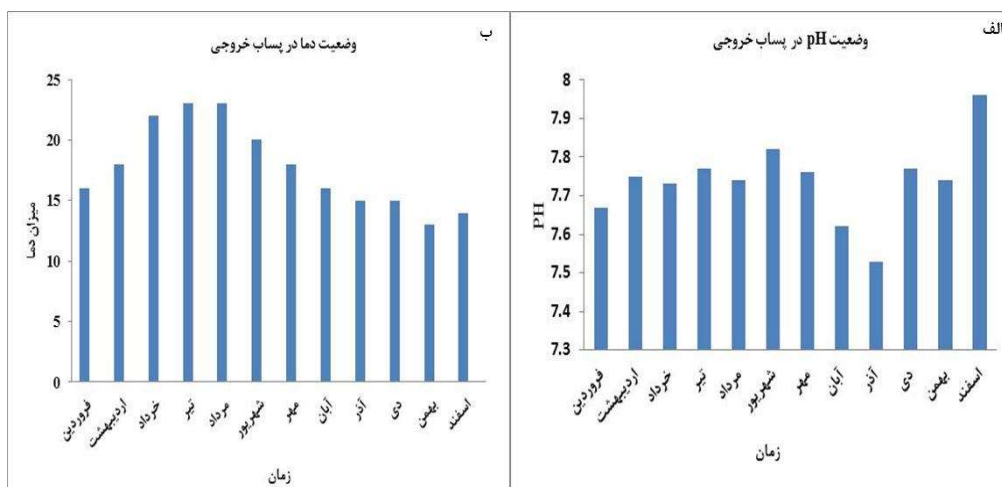
۴۰۰	۷۰	۱۷۰	۵-۳-۳	۲۶	۳/۵	۱۱	۳-۱-۰
۴۰۰	۷۰	۲۱۰	۵-۳-۴	۳۶	۵/۶	۱۴	۳-۱-۱
۴۰۰	۳۶	۱۳۰	۵-۴-۰	۳۶	۶/۰	۱۷	۳-۱-۲
۴۰۰	۵۸	۱۷۰	۵-۴-۱	۳۶	۵/۷	۱۴	۳-۲-۰
۴۴۰	۷۰	۲۲۰	۵-۴-۲	۴۰	۶/۸	۱۷	۳-۲-۱
۷۱۰	۱۰۰	۲۸۰	۵-۴-۳	۴۰	۶/۸	۲۰	۳-۲-۲
۷۱۰	۱۰۰	۳۵۰	۵-۴-۴	۴۰	۶/۸	۱۷	۳-۳-۰
۱۱۰۰	۱۵۰	۴۳۰	۵-۴-۵	۴۰	۶/۸	۲۱	۳-۳-۱
۷۱۰	۷۰	۲۴۰	۵-۵-۰	۷۰	۹/۸	۲۴	۳-۳-۲
۱۱۰۰	۱۰۰	۳۵۰	۵-۵-۱	۴۰	۶/۸	۲۱	۳-۴-۰
۱۷۰۰	۱۵۰	۵۴۰	۵-۵-۲	۷۰	۹/۸	۲۴	۳-۴-۱
۲۶۰۰	۲۲۰	۹۲۰	۵-۵-۳	۷۰	۹/۸	۲۵	۳-۵-۰
۴۶۰۰	۴۰۰	۱۶۰۰	۵-۵-۴	۳۵	۴/۱	۱۳	۴-۰-۰
-	۷۰۰	بیشتر از ۱۶۰۰	۵-۵-۵	۳۶	۵/۹	۱۷	۴-۰-۱
				۴۰	۶/۸	۲۱	۴-۰-۲

### نتایج تحلیل آماری پارامترهای

طرفی افزایش دما منجر با کاهش اکسیژن آب شده است که این موضوع به نوبه خود باعث ایجاد آلودگی حرارتی و کاهش کیفیت آب خروجی شده که در نتیجه این موضوع تصفیه فاضلاب با توجه به مقرون به صرفه‌ترین و بهینه‌ترین روش امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. لذا تأثیر دما بر فرایند لجن فعال بسیار عمده بوده و بر فرایند ته نشینی و بهبود لخته شدن بسیار مؤثر می‌باشد. این تأثیر باعث ایجاد تغییرات فیزیکی و میکروبی در ساختار و ذره ی لخته و میزان ته نشینی جامدات ثانویه می‌شود. که این تغییرات دمایی در بازه‌های مختلف بر فرایندهای باکتریایی، لخته شدن یا کواگولاسیون و حذف میزان قابل توجهی از BOD اثرات خود را نشان می‌دهد. از طرفی هرچه دمای فاضلاب کاهش و بسمت سردی میل کند، فاضلاب چگالتر شد و مراحل انعقاد یا همان لخته شدگی به‌کندی صورت می‌پذیرد.

نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها برای پارامترهای pH, Cl, COD, BOD, دما و کلیفرم کل و گوآرشی در شکل‌های (۳) تا (۵) نشان داده شده است. همچنین نتایج حاصل از آزمون چندگانه در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج حاصل نشان داد که متوسط pH در پساب خروجی تصفیه خانه ۷/۷۳ بوده است و بیشترین مقدار آن در ماه اسفند که این مقدار ۸ و کمترین آن در ماه آذر ۷/۵ بوده است که در این ماه pH در وضعیت نرمال قرار داشته و در سایر ماه‌ها به سمت قلیائی بودن گرایش پیدا کرده است. طبق استاندارد سازمان محیط زیست ایران، مقدار مجاز پارامتر pH در پساب خروجی از قرار ۶/۵ تا ۸/۵ می‌باشد.

متوسط دما در پساب خروجی ۱۷/۹ و مینیمم آن ۱۰/۵ و ماکزیمم آن ۲۵/۷ درجه سانتیگراد بوده است. نتایج حاصل از دمای فاضلاب با دمای محیط نشان می‌دهد که دما فاضلاب همواره بالاتر از دمای محیط بوده است. از



شکل ۳- وضعیت pH (الف) و دما (ب) در پساب خروجی تصفیه خانه

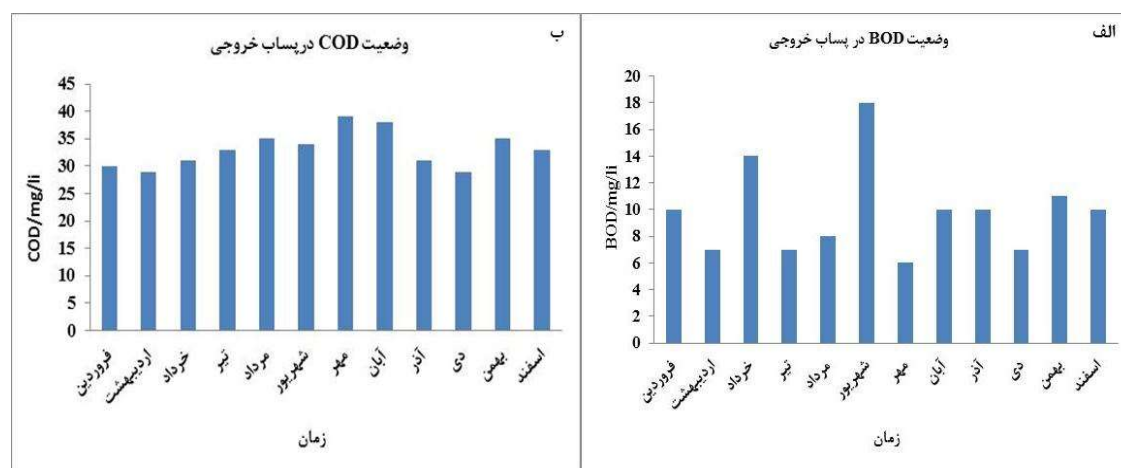
است. همچنین نتایج حاصل از کل مواد جامد معلق TSS و کل جامدات محلول TDS نشان داد که این شاخص‌ها دارای استاندارد کیفی لازم جهت شرب بوده‌اند.

آنالیز تعیین COD یا میزان اکسیژن خواهی شیمیایی از مهمترین پارامترهای نشان دهنده کیفیت آب است. در حقیقت میزان اکسیژن خواهی شیمیایی روشی غیر مستقیم برای تخمین میزان آلودگر و آلاینده ای آب است. هر چه میزان COD بیشتر باشد، به این معنی است که میزان آلاینده نیز بیشتر است. نتایج حاصل از وضعیت COD نشان می‌دهد که متوسط COD برابر با ۳۳/۳ میلی گرم در لیتر، بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب ۴۸ و ۱۹/۲ میلی گرم در لیتر می‌باشد، در خصوص متوسط ماه‌ها بیشترین میزان COD در پساب خروجی فاضلاب در ماه مهر یعنی ۴۰ میلی گرم در لیتر و کمترین آن در دی ماه یعنی ۲۵ میلی گرم در لیتر می‌باشد. در نتیجه هر چه میزان آلاینده‌ها بیشتر باشد مقدار اکسیژن لازم نیز بیشتر است به عبارتی می‌توان گفت که بیشترین میزان آلودگی در ماه مهر و کمترین در دی ماه می‌باشد شکل (۴-ب). در خصوص میزان اکسیژن خواهی شیمیایی فاضلاب یعنی COD مقدار آن در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۲۲/۶۷، ۲۲/۶۹، ۲۷/۲ و ۲۴/۴۳ درصد بوده است. که بیشترین میزان COD در فصل زمستان بوده و بیشترین مقدار آن در ماه مهر ۳۹mg/lit و کمترین آن در ماه اردیبهشت ۲۹mg/lit بوده است. نتایج حاصل نشان داد که وضعیت میزان COD

براساس نتایج حاصل از BOD متوسط BOD در پساب خروجی فاضلاب ۱۰/۴، مینیمم و ماکزیمم مقدار آن به ترتیب ۴ و ۳۰ میلی گرم در لیتر بوده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که متوسط BOD در شهرپورماه در بالاترین مقدار یعنی ۱۸ میلی گرم در لیتر و در مهرماه در کمترین مقدار یعنی ۶ میلی گرم در لیتر می‌باشد. در نتیجه این تست می‌توان مقدار اکسیژن مورد نیاز تصفیه خانه‌ها اندازه‌گیری و از طریق هوادهی وارد آب نمود. تغییرات مقدار BOD اندازه‌گیری شده در پساب خروجی تصفیه‌خانه‌ی لجن فعال فاضلاب اراک بیانگر تغییر در اکسیداسیون توسط این پارامتر می‌باشد، در نتیجه این تجزیه و اکسیده شدن، اکسیژن موجود در آب تغییر می‌کند که به تبع آن میزان خودپالایی توسط این پارامتر تغییر می‌کند. بیشترین حذف BOD در زمستان و کمترین آن در تابستان صورت می‌گیرد شکل (۴-الف). در خصوص اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی یا BOD مقدار آن در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۲۶/۲۷، ۲۷/۹۶، ۲۲/۰۳ و ۲۳/۷۲ درصد بوده است. که بیشترین میزان آن در فصل پاییز و بیشترین مقدار ماهانه آن در شهرپورماه و مقدار آن ۱۸mg/lit بوده است. نتایج حاصل داد که وضعیت میزان BOD در پساب خروجی فاضلاب برای آبهای سطحی، چاه‌های جذبی و مزارع کشاورزی همانند میزان COD در محدوده مجاز قرار داشته است. نتایج حاصل از پارامترهای مذکور نشان داد که تصفیه خانه جهت حذف پارامترها با روش MLE موفق عمل نموده

مطلوبی از این حیث را دارا بوده است.

پساب خروجی فاضلاب برای آبهای سطحی، چاه‌های جذبی و مزارع کشاورزی در محدوده مجاز قرار داشته و شرایط



شکل ۴- وضعیت BOD (الف) و COD (ب) در پساب خروجی تصفیه خانه

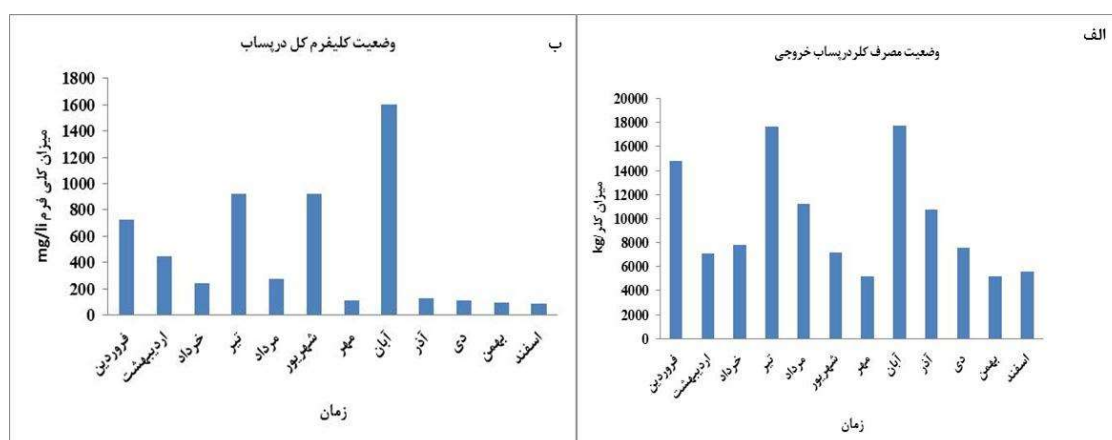
میزان ۱۴/۹۷ بوده است. یعنی از کل کلر مصرفی ۶۱۱۶/۳۹ کیلوگرم آن در فصل تابستان مصرف شده است که از این میزان ۲۹۹۳/۰۱ کیلوگرم مربوط به تیرماه بوده است و متوسط مصرف کلر در هر هفته از فصل تابستان ۵۰۹/۶۹ کیلوگرم بوده است. در فصل پاییز میزان کلر مصرفی نسبت به فصل بهار بصورت افزایشی بود و نسبت به فصل تابستان کاهش یافته است بطوریکه این میزان در فصل پاییز ۲۸/۵۷ درصد بوده است که از این میزان ۱۵/۰۵ درصد مربوط به ماه آبان بوده است یعنی میزان کلر مصرفی در فصل پاییز ۵۷۱۴/۶۰ کیلوگرم بوده است بطوریکه متوسط هفتگی مصرف کلر در فصل پاییز ۴۷۶/۲۱ کیلوگرم بوده است. کمترین میزان مصرف کلر نسبت به سایر فصول مربوط به فصل زمستان بوده است که این میزان ۱۵/۶۲ درصد بوده است بطوریکه بیشترین میزان در این فصل مربوط به دی ماه بوده است که این میزان در فصل زمستان ۳۱۲۳/۳۸ کیلوگرم بوده است و متوسط مصرف هفتگی در این فصل ۲۶۰/۲۸ کیلوگرم بوده است. همانطور که از نتایج میزان کلر مصرفی در ماه‌های مختلف استنباط می‌شود، میزان مصرف کلر در فصول گرم سال بیشتر از فصول سرد بوده است که این میزان افزایش تغییرات ناشی از افزایش نسبی دما بوده است. همچنین نتایج حاصل از مصرف بهینه کلر نشان داد

با اندازه‌گیری از طریق کلر سنجی، میزان کلر باقیمانده و آزمون میکروبی، میزان کیسول کلر یا اینکه بر اساس دبی خروجی پساب، دما، pH، COD، BOD و... در ماه‌های مختلف سال به مقدار کلرخواهی پساب دست پیدا کرد. در شکل (۵-الف) وضعیت مصرف کلر در پساب خروجی نشان داده شده است، بیشترین میزان مصرف در ماه‌های تیر و آبان و کمترین آن در ماه مهر بوده است. با توجه به نوسانات مصرف در طول شبانه روز، میزان تزریق کلر به صورت متغیر در مخزن در ساعات مختلف شبانه روز به عنوان یکی از گزینه‌های عملیاتی در نظر گرفته شده است. که این میزان مصرف در روزهای مختلف با توجه به شرایط آب و هوایی باعث شده است که میزان کلر مصرفی در برخی ماه‌ها بیشتر از ماه‌های دیگر باشد. از میزان کلر مصرفی کل، ۲۵/۲۳ درصد آن مربوط به فصل بهار بوده است که از این میزان ۱۲/۵۶ درصد مربوط به ماه فروردین بوده است. یعنی میزان کلر مصرفی در فصل بهار ۵۰۴۵/۶۲ کیلوگرم بوده است که از این میزان ۲۵۱۲/۳ کیلوگرم آن مربوط به ماه فروردین بوده است. که بطوریکه در فصل بهار بطور متوسط هر هفته ۴۲۰/۴۶ کیلوگرم کلر جهت کلر زنی استفاده شده است. در فصل تابستان این میزان مصرف ۳۰/۵۸ درصد از مصرف کل کلر افزایش یافته بطوریکه بیشترین میزان مصرف آن در تیرماه و به

داد که متوسط کلیفرم کل ۵۱۳ و بیشترین و کمترین مقدار آن ۱۶۰۰ و ۱۰۰ می‌باشد. شکل (۵-ب) وضعیت کلیفرم کل در پساب خروجی را نشان می‌دهد. تولید رادیکال‌های آزاد آب با افزایش زمان واکنش افزایش یافته از اینرو در فراین تصفیه فاضلاب با زمان اثر پرتو فرابنفش جهت از بین بردن اشیریشیا (کلیفرم) افزایش می‌یابد اما حذف فتوکاتالیستی آن با افزایش تعداد اولیه کلیفرم‌ها کاهش می‌یابد. طبق مطالعات صورت گرفته فرایند حذف کلیفرم‌ها در محیط‌های آبی با استفاده از پرتو فرابنفش یک روش مؤثر در حذف آنها در محیط‌های آبی می‌باشد.

که با استفاده از سعی و خطا در هفته‌های مختلف به مقدار بهینه مصرف کلر در تصفیه خانه دست یافت. که این میزان ۲۰۰۰۰-۱۵۰۰۰ کیلوگرم در سال بوده است. بطوریکه هم جنبه‌های کیفی آب شرب را لحاظ بهداشتی و زیست محیطی که خطراتی برای استفاده کنندگان را نداشته باشد و هم جنبه‌های مدیریتی و اقتصادی مصرف بهینه کلر لحاظ شده است.

تشخیص کلیفرم به عنوان شاخص کیفیت بهداشتی آب یا به عنوان شاخص کلی وضعیت بهداشتی در محیط فرآوری مواد غذایی استفاده می‌شود. نتایج حاصل از اندازه گیری کلیفرم در پساب خروجی فاضلاب تصفیه‌خانه نشان



شکل ۵- وضعیت مصرف کلر (الف) و کلیفرم کل (ب) در پساب خروجی تصفیه خانه

نژاد (۱۳۹۸) ، مطابقت دارد، نتایج حاصل از تحقیق آنها نشان داد که آنالیز واریانس، نشان داد که بین میزان کارایی در فصول مختلف سال تفاوت معنی داری در بین تالابهای مختلف وجود دارد به نحوی که بیشترین کارایی در فصل تابستان و در تالاب لوئی دیده می‌شود. که نتایج حاصل در این تحقیق از لحاظ آماری بین متغیرهای کیفی مختلف صورت گرفته است. همچنین در بخش کلر زنی نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج ذو نعمت کرمانی، جمالی زاده و چرمهینه (۱۳۹۷) ، مطابقت دارد، آنها در تحقیقشان مدیریت مناسب غلظت کلر را با توجه به غلظت کلر باقیمانده، در شبکه آبرسانی اعمال نمودند و در این تحقیق نیز میزان مصرف بهینه کلر در تصفیه خانه فاضلاب اراک

در ادامه تحلیل نتایج از طریق روش آماری (ضرایب همبستگی، پیرسون، و نمودار رگرسیون) مورد بررسی قرار خواهد گرفت. جدول (۲) تحلیل آماری پارامترهای مختلف فرایند تصفیه فاضلاب در مراحل تصفیه کلر زنی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تحلیل آماری برای متغیرهای مستقل براساس آزمون<sup>۱</sup> LSD (حداقل اختلاف معنی دار)، مطابق آنچه که در جدول (۲) ارائه شده است اختلاف میانگین برای پارامتر دما در سطوح مختلف بررسی شده معنی دار بوده و نتایج مربوط به سایر پارامترها، (pH, COD, BOD, TSS, Tcol, Fcol, Color) در جدول ارائه گردیده است (بررسی معنی داری در سطح اطمینان ۰/۹۵). نتایج حاصل از این بخش از تحقیق با نتایج لطفی و مامقانی

1 .LSD (Least Significant Difference)

بخش با نتایج انوری (۱۳۹۷)، مطابقت دارد. ایشان در تحقیق خود با استفاده از روش‌های مختلف بهینه سازی مصرف کلر به این نتیجه رسیدند که با استفاده از مدل بهینه سازی چند هدفه می‌توان با مصرف کلر کمتر در شبانه روز به شاخص اطمینان کیفی بیشتری دست یافت در حالیکه در این تحقیق با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و تجربی به میزان مصرف بهینه کلر رسیده شد. همچنین نتایج آزمایشات صورت گرفته در این پژوهش با نتایج آزمایشگاهی تحقیق صورت گرفته توسط پارسامنش (۱۳۹۱)، در تصفیه-خانه فاضلاب شهر اراک به روش برک‌هی تثبیت و از حیث راندمان حذف آنها در پساب خروجی مطابقت دارد.

بررسی گردید. در خصوص حذف  $BOD_5$ ، COD و TSS نتایج این بخش از تحقیق مشابه نتایج حاصل از تحقیقات خلیلی و همکاران (۱۳۹۳)، بوده است که آنها در نتایج خود به افزایش حذف  $BOD_5$  و COD از ۴۰ درصد به ۶۰ درصد و حذف TSS از ۷۰ درصد به ۹۶ درصد دست یافتند. در خصوص نتایج حاصل از MLE نتایج حاصل از این بخش با نتایج ترکان ترکان (۱۳۹۷)، مطابقت دارد که نتایج تحقیقا آنها نیز نشان داد که فرایند MLE در فصل پاییز ۱۳۹۶ توانسته مقدار  $BOD_5$  در پساب خروجی تا ۹۱/۹۸، COD را تا ۹۱/۲ درصد و TSS را تا ۸۹/۹۲ درصد حذف نماید مطابقت دارد. در بخش بهینه سازی نتایج حاصل از این

جدول ۲- مقایسه چندگانه پارامترهای بررسی شده در تصفیه فاضلاب با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)

Dependent Variable	(I) تیمار VAR 00010	(J) تیمار VAR 00010	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
T	۱	۲	-۳/۳۶۱۵۴*	۰/۸۶۴۷۶	۰/۰۰۰	-۵/۱۰۸۰	-۱/۶۱۵۱
		۳	۲/۳۷۵۵۲*	۰/۹۰۳۲۲	۰/۰۱۲	۰/۵۵۱۴	۴/۱۹۹۶
		۴	۳/۷۰۹۶۲*	۰/۹۹۰۷۱	۰/۰۰۱	۱/۷۰۸۸	۵/۷۱۰۴
	۲	۱	۳/۳۶۱۵۴*	۰/۸۶۴۷۶	۰/۰۰۰	۱/۶۱۵۱	۵/۱۰۸۰
		۳	۵/۷۳۷۰۶*	۰/۹۰۳۲۲	۰/۰۰۰	۳/۹۱۳۰	۷/۵۶۱۱
		۴	۷/۰۷۱۱۵*	۰/۹۹۰۷۱	۰/۰۰۰	۵/۰۷۰۴	۹/۰۷۱۹
	۳	۱	-۲/۳۷۵۵۲*	۰/۹۰۳۲۲	۰/۰۱۲	-۴/۱۹۹۶	-۰/۵۵۱۴
		۲	-۵/۷۳۷۰۶*	۰/۹۰۳۲۲	۰/۰۰۰	-۷/۵۶۱۱	-۳/۹۱۳۰
		۴	۱/۳۳۴۰۹	۱/۰۲۴۴۵	۰/۲۰۰	-۰/۷۳۴۸	۳/۴۰۳۰
	۴	۱	-۳/۷۰۹۶۲*	۰/۹۹۰۷۱	۰/۰۰۱	-۵/۷۱۰۴	-۱/۷۰۸۸
		۲	۷/۰۷۱۱۵*	۰/۹۹۰۷۱	۰/۰۰۰	-۹/۰۷۱۹	-۵/۰۷۰۴
		۳	-۱/۳۳۴۰۹	۱/۰۲۴۴۵	۰/۲۰۰	-۳/۴۰۳۰	۰/۷۳۴۸
pH	۱	۲	-۰/۰۷۱۵۴	۰/۰۶۴۵۱	۰/۲۷۴	-۰/۲۰۱۸	۰/۰۵۸۷
		۳	-۰/۷۴۶۲	۰/۰۶۷۳۸	۰/۲۷۵	-۰/۰۶۱۵	۰/۲۱۰۷
		۴	-۰/۱۹۷۸۸*	۰/۰۷۳۹۱	۰/۰۱۱	-۰/۳۴۷۱	-۰/۰۴۸۶
	۲	۱	۰/۰۷۱۵۴	۰/۰۶۴۵۱	۰/۲۷۴	-۰/۰۸۵۷	۰/۲۰۱۸
		۳	۰/۱۴۶۱۵*	۰/۰۶۷۳۸	۰/۰۳۶	-۰/۰۱۰۱	۰/۲۸۲۲
		۴	-۰/۱۲۶۳۵	۰/۰۷۳۹۱	۰/۰۹۵	-۰/۲۷۵۶	۰/۰۲۲۹
	۳	۱	-۰/۰۷۴۶۲	۰/۰۶۷۳۸	۰/۲۷۵	-۰/۲۱۰۷	۰/۰۶۱۵
		۲	-۰/۱۴۶۱۵*	۰/۰۶۷۳۸	۰/۰۳۶	-۰/۲۸۲۲	-۰/۰۱۰۱
		۴	-۰/۲۷۲۵۰*	۰/۰۷۶۴۳	۰/۰۰۱	-۰/۴۲۶۸	-۰/۱۱۸۲
	۴	۱	۰/۱۹۷۸۸*	۰/۰۷۳۹۱	۰/۰۱۱	۰/۰۴۸۶	۰/۳۴۷۱
		۲	۰/۱۲۶۳۵	۰/۰۷۳۹۱	۰/۰۹۵	-۰/۰۲۲۹	۰/۲۷۵۶
		۳	۰/۲۷۲۵۰*	۰/۰۷۶۴۳	۰/۰۰۱	-۰/۱۱۸۲	۰/۴۲۶۸
	۲	-۵۵۹۸/۳۰۷۶۹*	۱/۵۹۴۲۱E۳	۰/۰۰۴	-۹۲۸۶/۷۹۳۴	-۱۹۰۹/۸۲۲۰	
	۴	-۵۴۲۱/۰۹۰۹۱*	۱/۸۸۸۵۹E۳	۰/۰۰۶	-۹۲۳۵/۱۷۷۹	-۱۶۰۷/۰۰۳۹	

نشریه رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست / دوره دوم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۲

ادامه جدول ۲- مقایسه چندگانه پارامترهای بررسی شده در تصفیه فاضلاب با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
	تیمار VAR 00010	تیمار VAR 00010				Lower Bound	Upper Bound
COD		۲	-۴/۵۳۸۴۶	۲/۵۳۲۲۷	۰/۰۹۲	۹/۸۵۴۴-	۰/۷۷۷۵
	۱	۳	*۶/۱۴۸۲۵-	۲/۷۴۹۳۱	۰/۰۳۱	۱۱/۷۰۰۶-	۰/۵۹۵۹-
		۴	۱/۳۴۷۱۲-	۳/۰۱۵۶۴	۰/۶۵۷	۷/۴۳۷۳-	۴/۷۴۳۱
		۱	۴/۵۳۸۴۶	۲/۵۳۲۲۷	۰/۰۹۲	۰/۷۷۷۵-	۹/۸۵۴۴
	۲	۳	۱/۶۰۹۷۹-	۲/۷۴۹۳۱	۰/۵۶۱	-۷/۱۶۲۱-	۳/۹۴۲۶
		۴	۳/۱۹۱۳۵	۳/۰۱۵۶۴	۰/۲۹۶	۲/۸۹۸۹-	۹/۲۸۱۶
		۱	*۶/۱۴۸۲۵	۲/۷۴۹۳۱	۰/۰۳۱	۰/۵۹۵۹	۱۱/۷۰۰۶
	۳	۲	۱/۶۰۹۷۹	۲/۷۴۹۳۱	۰/۵۶۱	۳/۹۴۲۶-	۷/۱۶۲۱
		۴	۴/۸۰۱۱۴	۳/۱۱۸۳۳	۰/۱۳۱	۱/۴۹۶۵-	۱۱/۰۹۸۷
		۳	۱/۳۴۷۱۲	۳/۰۱۵۶۴	۰/۶۵۷	۴/۷۴۳۱-	۷/۴۳۷۳
	۴	۴	۳/۱۹۱۳۵-	۳/۰۱۵۶۴	۰/۲۹۶	۹/۲۸۱۶-	۲/۸۹۸۹
		۳	۴/۸۰۱۱۴-	۳/۱۱۸۳۳	۰/۱۳۱	۱۱/۰۹۸۷-	۱/۴۹۶۵
BOD		۲	۰/۷۶۹۲۳	۱/۵۳۵۴۱	۰/۶۱۹	۲/۳۳۱۶-	۳/۸۷۰۰
	۱	۳	۱/۹۹۳۰۱	۱/۶۰۳۶۸	۰/۲۲۱	۱/۲۴۵۷-	۵/۲۳۱۷
		۴	۱/۰۳۸۴۶	۱/۷۵۹۰۳	۰/۵۵۸	۲/۵۱۴۰-	۴/۵۹۰۹
		۱	۰/۷۶۹۲۳-	۱/۵۳۵۴۱	۰/۶۱۹	۳/۸۷۰۰-	۲/۳۳۱۶
	۲	۳	۱/۲۲۳۷۸	۱/۶۰۳۶۸	۰/۴۵۰	۲/۰۱۴۹-	۴/۴۶۲۵
		۴	۰/۲۶۹۲۳	۱/۷۵۹۰۳	۰/۸۷۹	۳/۲۸۳۲-	۳/۸۲۱۷
		۱	۱/۹۹۳۰۱-	۱/۶۰۳۶۸	۰/۲۲۱	۵/۲۳۱۷-	۱/۲۴۵۷
	۳	۲	۱/۲۲۳۷۸-	۱/۶۰۳۶۸	۰/۴۵۰	۴/۴۶۲۵-	۲/۰۱۴۹
		۴	۰/۹۵۴۵۵-	۱/۸۱۸۹۳	۰/۶۰۳	۴/۶۲۷۹-	۲/۷۱۸۹
		۱	۱/۰۳۸۴۶-	۱/۷۵۹۰۳	۰/۵۵۸	۴/۵۹۰۹-	۲/۵۱۴۰
	۴	۲	۰/۲۶۹۲۳-	۱/۷۵۹۰۳	۰/۸۷۹	۳/۸۲۱۷-	۳/۲۸۳۲
		۳	۰/۹۵۴۵۵	۱/۸۱۸۹۳	۰/۶۰۳	۲/۷۱۸۹-	۴/۶۲۷۹
TSS		۲	*۴/۳۰۷۶۹-	۱/۳۵۲۴۶	۰/۰۰۳	۷/۰۳۹۰-	۱/۵۷۶۳-
	۱	۳	۲/۲۹۷۹۰-	۱/۴۱۲۶۰	۰/۱۱۱	۵/۱۵۰۷-	۰/۵۵۴۹
		۴	۰/۲۱۱۵۴-	۱/۵۴۹۴۴	۰/۸۹۲	۳/۳۴۰۷-	۲/۹۱۷۶
		۱	*۴/۳۰۷۶۹	۱/۳۵۲۴۶	۱/۳۵۲۴۶	۱/۵۷۶۳	۷/۰۳۹۰
	۲	۳	۲/۰۰۹۷۹	۱/۴۱۲۶۰	۰/۱۶۲	۰/۸۴۳۰-	۴/۸۶۲۶
		۴	*۴/۰۹۶۱۵	۱/۵۴۹۴۴	۰/۰۱۲	۰/۹۶۷۰	۷/۲۲۵۳
		۱	۲/۲۹۷۹۰	۱/۴۱۲۶۰	۰/۱۱۱	۰/۵۵۴۹-	۵/۱۵۰۷
	۳	۲	۲/۰۰۹۷۹-	۱/۴۱۲۶۰	۰/۱۶۲	۴/۸۶۲۶-	۰/۸۴۳۰
		۴	۲/۰۸۶۳۶	۱/۶۰۲۲۰	۰/۲۰۰	۱/۱۴۹۳-	۵/۳۲۲۱
		۱	۰/۲۱۱۵۴	۱/۵۴۹۴۴	۰/۸۹۲	۲/۹۱۷۶-	۳/۳۴۰۷
	۴	۲	*-۴/۰۹۶۱۵	۱/۵۴۹۴۴	۰/۰۱۲	۷/۲۲۵۳-	۰/۹۶۷۰-
		۳	۲/۰۸۶۳۶-	۱/۶۰۲۲۰	۰/۲۰۰	۵/۳۲۲۱-	۱/۱۴۹۳

ادامه جدول ۲- مقایسه چندگانه پارامترهای بررسی شده در تصفیه فاضلاب با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)

Dependent Variable	(I) تیمار VAR 00010	(J) تیمار VAR 00010	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tcol	۲	۳	۳۲۶/۵۳۸۴۶-	۲E۱/۹۰۹۴۱	۰/۰۹۵	۷۱۲/۱۵۱۸-	۵۹/۰۷۴۹
	۱	۳	۴۹/۷۵۵۲۴-	۲E۱/۹۹۴۳۱	۰/۸۰۴	۴۵۲/۵۱۵۳-	۳۵۳/۰۰۴۸
		۴	*۴۴۷/۵۲۸۸۵	۲E۲/۱۸۷۵۱	۰/۰۴۷	۵/۷۵۳۲	۸۸۹/۳۰۴۴
		۱	۳۲۶/۵۳۸۴۶	۲E۱/۹۰۹۴۱	۰/۰۹۵	۵۹/۰۷۴۹-	۷۱۲/۱۵۱۸
	۲	۳	۲۷۶/۷۸۳۲۲	۲E۱/۹۹۴۳۱	۰/۱۷۳	۱۲۵/۹۷۶۸-	۶۷۹/۵۴۲۳
		۴	*۷۴۴/۰۶۷۳۱	۲E۲/۱۸۷۵۱	۰/۰۰۱	۳۳۲/۲۹۱۷	۱۲۱۵/۸۴۲۹
		۱	۴۹/۷۵۵۲۴	۲E۱/۹۹۴۳۱	۰/۸۰۴	۳۵۳/۰۰۴۸-	۴۵۲/۵۱۵۳
	۳	۲	-۲۷۶/۷۸۳۲۲	۲E۱/۹۹۴۳۱	۰/۱۷۳	۶۷۹/۵۴۲۳-	۹۷۶۸۱۲۵
		۴	*۴۹۷/۲۸۴۰۹	۲E۲/۲۶۱۹۹	۰/۰۳۴	۴۰/۴۶۵۰	۹۵۴/۱۰۳۱
		۱	*۴۴۷/۵۲۸۸۵-	۲E۲/۱۸۷۵۱	۰/۰۴۷	-۸۸۹/۳۰۴۴	-۵/۷۵۳۲
		۲	*۷۴۴/۰۶۷۳۱-	۲E۲/۱۸۷۵۱	۰/۰۰۱	-۱۲۱۵/۸۴۲۹	-۳۳۲/۲۹۱۷
		۳	*۴۹۷/۲۸۴۰۹-	۲E۲/۲۶۱۹۹	۰/۰۳۴	-۹۵۴/۱۰۳۱	-۴۰/۴۶۵۰
Fcol		۲	۲۳/۰۷۶۹۲	۱۱/۷۲۷۵۴	۰/۰۵۶	-۰/۶۰۷۳	۴۶/۷۶۱۲
	۱	۳	*۲۴/۹۶۵۰۳	۱۲/۲۴۹۰۱	۰/۰۴۸	-۰/۲۲۷۷	۴۹/۷۰۲۴
		۴	*۹۹/۰۶۷۳	۱۳/۴۳۵۵۸	۰/۰۰۰	۷۱/۹۳۹۶	۱۲۶/۲۰۱۰
		۱	۲۳/۰۷۶۹۲-	۱۱/۷۲۷۵۴	۰/۰۵۶	-۴۶/۷۶۱۲	-۰/۶۰۷۳
	۲	۳	۱/۸۸۸۱۱	۱۲/۲۴۹۰۱	۰/۸۷۸	-۲۲/۴۸۹۳	۲۶/۶۲۵۵
		۴	*۷۵/۹۹۰۳۸	۱۳/۴۳۵۵۸	۰/۰۰۰	۴۸/۸۵۶۷	۱۰۳/۱۲۴
		۱	*۲۴/۹۶۵۰۳-	۱۲/۲۴۹۰۱	۰/۰۴۸	-۴۹/۷۰۲۴	-۰/۲۲۷۷
	۳	۲	۱/۸۸۸۱۱-	۱۲/۲۴۹۰۱	۰/۸۷۸	۲۶/۶۲۵۵	۲۲/۸۴۹۳
		۴	*۷۴/۱۰۲۲۷	۱۳/۸۹۳۰۹	۰/۰۰۰	۴۶/۰۴۴۶	۱۰۲/۱۵۹۹
		۱	*۹۹/۰۶۷۳۱-	۱۳/۴۳۵۵۸	۰/۰۰۰	۱۲۶/۲۰۱۰-	۷۱/۹۳۳۶-
		۲	*۷۵/۹۹۰۳۸-	۱۳/۴۳۵۵۸	۰/۰۰۰	۱۰۳/۱۲۴۱-	۴۸/۸۵۶۷-
		۳	*۷۴/۱۰۲۲۷-	۱۳/۸۹۳۰۹	۰/۰۰۰	۱۰۲/۱۵۹۹-	۴۶/۰۴۴۶-
Color		۲	-۱۷۱۹/۶۹۲۳۱	۳E۱/۵۹۴۲۱	۰/۲۸۷	۴۹۳۹/۲۶۶۶-	۱۴۹۹/۸۸۲۰
	۱	۳	۱۵۴۲/۴۷۵۵۲-	۳OE۱/۶۶۵۱	۰/۳۶۰	۴۹۰۵/۲۱۱۲-	۱۸۲۰/۲۶۰۲
		۴	*۲۸۷۸/۶۱۵۳۸	۳E۱/۸۲۶۴۰	۰/۰۴۰	۱۹۰/۱۲۹۷	۷۵۶۷/۱۰۱۱
		۱	۱۷۱۹/۶۹۲۳۱	۳E۱/۵۹۴۲۱	۰/۲۸۷	۱۴۹۹/۸۸۲۰-	۴۹۳۹/۲۶۶۶
	۲	۳	۱۷۷/۲۱۶۷۸	۳E۱/۶۶۵۱۰	۰/۹۱۶	۳۱۸۵/۵۱۸۹-	۳۵۳۹/۹۵۲۵
		۴	*۵۵۹۸/۳۰۷۶۹	۳E۱/۵۹۴۲۱	۰/۰۰۴	۱۹۰۹/۸۲۲۰	۹۲۸۶/۷۹۳۴
		۱	۵۴۲/۴۷۵۵۲	۳OE۱/۶۶۵۱	۰/۳۶۰	۱۸۲۰/۲۶۰۲-	۴۹۰۵/۲۱۱۲
	۳	۲	۱۷۷/۲۱۶۸۷-	۳OE۱/۶۶۵۱	۰/۹۱۶	-۳۵۳۹/۹۵۲۵	۳۱۸۵/۵۱۸۹
		۴	*۵۴۲۱/۰۹۰۹۱	۳E۱/۸۸۸۵۹	۰/۰۰۶	۱۶۰۷/۰۰۳۹	۹۲۳۵/۱۷۷۹
		۱	*۳۸۷۸/۶۱۵۳۸-	۳E۱/۵۹۴۲۱	۰/۰۴۰	۷۵۶۷/۱۰۱۱-	۱۹۰/۱۲۹۷-
		۲	*۵۵۹۸/۳۰۷۶۹-	۳E۱/۵۹۴۲۱	۰/۰۰۴	۹۲۸۶/۷۹۳۴-	۱۹۰۹/۸۲۲۰-
		۴	*۵۴۲۱/۰۹۰۹۱-	۳E۱/۸۸۸۵۹	۰/۰۰۶	۹۲۳۵/۱۷۷۹-	۱۶۰۷/۰۰۳۹-

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.



## تفسیر نتایج همبستگی

در همبستگی‌ها، سطح معناداری عبارت است، احتمال به دست آوردن نتایج تحقیق تا حد و درجه‌ای که محقق مشاهده کرده است. اگر سطح معناداری کوچک‌تر از ۰/۰۵ باشد، نتیجه می‌گیریم که بین دو متغیر همبستگی معنی‌دار وجود دارد؛ اما اگر سطح معناداری بزرگ‌تر از ۰/۰۵ باشد در آن صورت، همبستگی بین دو متغیر معنی‌دار نبوده و این دو متغیر ارتباط خطی با یکدیگر ندارند. در این پژوهش ماتریس همبستگی پارامترهای کیفی فاضلاب، یعنی: T, pH, COD, BOD, TSS, Tcol, Fcol, Parazit, Color بررسی گردید. همانطور که از نتایج جدول (۲) استنباط می‌شود، همبستگی بین T و Fcol در سطح اطمینان ۰/۰۱ معنی‌داری ۰/۴۰ بوده، در اینجا ضریب همبستگی بین پارامترهای مذکور مثبت بوده یعنی با افزایش دما (T) میزان انگل کل (Fcol) افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به میزان Sig یا همان معناداری، مشاهده می‌شود که رابطه این دو متغیر معنادار می‌باشد. از لحاظ کیفی در مخازن سدها، برکه‌ها، تالاب‌ها و رودخانه در مناطق معتدل و سردسیر در اواخر تابستان به علت گرمای هوا و افزایش دما میزان الودگی و کیفیت آب آنها به پایین‌ترین سطح ممکن رسیده است که نتایج حاصل از این پژوهش برای تصفیه خانه لجن فعال فاضلاب اراک نیز از این واقعیت حکایت دارد. در خصوص همبستگی بین pH و Fcol این همبستگی در سطح

اطمینان ۰/۰۵ معنی‌دار و بصورت معکوس می‌باشد یا عبارتی با افزایش pH یا همان قلیائیت میزان Fcol کاهش یافته و بالعکس. در خصوص میزان همبستگی COD با سایر پارامترهای کیفی فاضلاب میزان همبستگی بین این پارامتر با کل مواد جامد معلق یا TSS بصورت مثبت بوده که این یعنی آلودگی فاضلاب ناشی از مواد خارجی بوده که وارد آب شده و بصورت معلق یا محلول باعث آلودگی آن و تولید فاضلاب شده اند. بدیهی است هرچه مقدار این مواد در فاضلاب بیشتر باشد، بارآلودگی آن نیز بیشتر خواهد بود. بنابراین اندازه‌گیری مقدار مواد خارجی فاضلاب کلید اصلی در تعیین مقدار آلودگی و آلاینده‌ها فاضلاب است. بدیهی است که هرچه مقدار COD یک فاضلاب بیشتر باشد مقدار مواد خارجی موجود در آن که باعث آلودگی آن می‌شود نیز بیشتر خواهد بود. نتایج تحلیل آماری حاصل از این پژوهش نیز مؤید این موضوع می‌باشد. رابطه بین COD و BOD که نسبت COD به BOD باشد معمولاً برای فاضلاب ورودی ۱ به ۰/۵ خواهد بود. در مورد پساب ثانویه که خوب تثبیت شده است این میزان به ۱ به ۰/۱ کاهش می‌یابد. رقم COD معمولاً در فاضلاب‌ها بین ۲۰۰ تا ۶۰۰ میلی گرم در هر لیتر متغیر است. آزمایش برای تخمین سریع یک نمونه فاضلاب است. میزان همبستگی پیرسون بین BOD و COD، ۰/۸ بدست آمد و این میزان همبستگی بین BOD و T، ۰/۵۵ بدست آمد. نتایج حاصل از سایر پارامترهای آماری در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- ماتریس نتایج همبستگی بین پارمترهای مختلف تصفیه فاضلاب لجن فعال اراک

		T	pH	COD	BOD	TSS	Tcol	Fcol	Parazit	Color
T	Pearson Correlation	۱	۰/۰۰۹	۰/۰۸۶	۰/۰۵۵	۰/۱۹۷	۰/۲۷۶	۰/۴۰**	A	۰/۱۷
	Sig. (2-tailed)		۰/۹۵۵	۰/۵۷۳	۰/۷۲۰	۰/۱۹۵	۰/۰۶۷	۰/۰۶	.	۰/۲۶۴
	Sum of Squares and Cross-products	۵۱۵/۰۰۹	۰/۲۳۹	۹۰/۳۵۲	۳۱/۴۸۹	۱۱۲/۴۲۲	۲/۲۲۹E۴	۲/۶۸۷E۳	۰/۰۰۰	۱/۱۳۴E۵
	Covariance	۱۱۷/۰۷	۰/۰۰۵	۲/۰۵۳	۰/۷۲۴	۲/۵۵۵	۵۰۶/۵۸۰	۶۱/۰۷۰	۰/۰۰۰	۲/۵۷۶E۳
pH	Pearson Correlation	۰/۰۰۹	۱	-۰/۰۰۴	۰/۲۰۸	-۰/۰۱۱	-۰/۰۵۳	-۰/۳۶۳*	A	-۰/۳۴۲*
	Sig. (2-tailed)	۰/۹۵۵		۰/۹۸۱	۰/۱۷۰	۰/۹۴۳	۰/۷۳۰	۰/۰۱۴	.	۰/۰۲۲
	Sum of Squares and Cross-products	۰/۲۳۹	۱/۴۸۷	-۰/۲۰۲	۶/۴۷۶	-۰/۳۳۴	-۲۲۹/۴۵۹	-۱۳۰/۸۸۱	۰/۰۰۰	-۱/۲۲۳E۴
	Covariance	۰/۰۰۵	۰/۳۴	-۰/۰۰۵	۰/۱۴۷	-۰/۰۰۸	-۵/۲۱۵	-۲/۹۷۵	۰/۰۰۰	-۲۲۷/۹۱۹
COD	Pearson Correlation	۰/۰۸۶	-۰/۰۰۴	۱	۰/۰۸۰	۰/۳۶۵*	-۰/۰۰۲	-۰/۲۰۲	A	۰/۰۸۳
	Sig. (2-tailed)	۰/۵۷۳	۰/۹۸۱		۰/۶۰۰	۰/۰۱۴	۰/۹۸۸	۰/۱۸۴	.	۰/۵۸۷
	Sum of Squares and Cross-products	۹۰/۳۶۲	-۰/۲۰۲	۲/۱۲۵E۳	۹۴/۵۰۲	۴۲۳/۳۱۵	۳۸۸/۸۷۶	-۲/۷۵۱ E۳	۰/۰۰۰	۱/۱۲۶E۵
	Covariance	۲/۰۵۳	-۰/۰۰۵	۴۸/۲۹۷	۲/۱۴۸	۹/۶۲۱	-۸/۸۳۸	-۶۲/۵۲۲	۰/۰۰۰	۲/۵۵۵۹E۳
BOD	Pearson Correlation	۰/۵۵۵	۰/۲۰۸	۰/۸۰	۱	۰/۱۶۴	-۰/۳۷	-۰/۱۱۹	A	-۰/۱۵۳
	Sig. (2-tailed)	۰/۷۲۰	۰/۱۷	۰/۶۰		۰/۲۸۱	۰/۸۰۸	۰/۴۳۶		۰/۳۱۷
	Sum of Squares and Cross-products	۳۱/۴۸۹	۶/۴۷۶	۹۴/۵۰۲	۶۵۲/۳۱۱	۱۰۵/۷۱۶	-۳/۳۹۲E۳	-۸۹۹/۴۲۲	۰/۰۰۰	-۱/۱۴۴E۵
	Covariance	۰/۷۲۴	-۱/۱۴۷	۲/۱۴۸	۱۴/۸۲۵	۲/۴۰۳	-۷۷/۰۹۰	-۲۰/۴۴۱	۰/۰۰۰	-۲/۶۰۰ E۳

ادامه جدول ۳- مانرئس نتائج همبستگی بین پارمترهای مختلف تصفیه فاضلاب لجن فعال اراک

		T	pH	COD	BOD	TSS	Tcol	Fcol	Parazit	Color
TSS	Pearson Correlation	۰/۱۹۷	-۰/۰۱۱	۰/۳۶۵*	۰/۱۶۴	۱	۰/۰۳۷	۰/۰۴۵	A	۰/۰۱۵
	Sig. (2-tailed)	۰/۱۹۵	۰/۹۴۳	۰/۰۱۴	۰/۲۸۱		۰/۸۰۹	۰/۷۷۱	.	۰/۹۲۲
	Sum of Squares and Cross-products	۱۱۲/۴۲۲	-۰/۳۳۴	۴۲۳/۳۱۵	۱۰۵/۷۱۶	۶۳۴/۱۶۶	۳/۳۲۶E۳	۳۳۱/۹۴۹	۰/۰۰۰	۱/۱۱۴E۴
	Covariance	۲/۵۵۵	-۰/۰۰۸	۹/۶۲۱	۲/۴۰۳	۱۴/۴۱۳	۷۵/۵۸۱	۷/۵۴۴	۰/۰۰۰	۲۵۳/۲۰۶
Tcol	Pearson Correlation	۰/۲۷۶	-۰/۰۵۳	-۰/۰۰۲	-۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۱	۰/۲۶۱	A	۰/۵۱۳**
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۶۷	۰/۷۳۰	۰/۹۸۸	۰/۸۰۸	۰/۸۰۹		۰/۰۸۴		۰/۰۰۰
	Sum of Squares and Cross-products	۲/۲۲۹ E ۴	-۲۲۹/۴۵۹	-۳۸۸/۸۷۶	-۳/۳۹۲E۲	۳/۳۲۶ E ۳	۱/۲۷۰ E ۷	۲/۷۴۶ E ۵	۰/۰۰۰	۵/۳۶۵ E ۷
	Covariance	۵۰۶/۵۸۰	-۵/۲۱۵	-۸/۸۳۸	-۷۷/۰۹۰	۷۵/۵۸۱	۲/۸۸۶ E ۵	۶/۲۴۱E۳	۰/۰۰۰	۱/۲۱۹ E ۶
Fcol	Pearson Correlation	۰/۴۰۰**	۰/۳۶۳*	-۰/۲۰۲	-۰/۱۱۹	۰/۰۴۵	۰/۲۶۱	۱	A	۰/۳۶۴*
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۶	۰/۰۱۴	۰/۱۸۴	۰/۴۳۶	۰/۷۷۱	۰/۰۸۴		.	۰/۰۱۴
	Sum of Squares and Cross-products	۲/۶۸۷ E ۳	-۱۳۰/۸۸۱	-۲/۷۵۱ E	-۸۹۹/۴۲۲	۳۳۱/۹۴۹	۲/۷۴۶ E ۵	۸/۷۴۱ E ۴	۰/۰۰۰	۳/۱۶۱ E ۶
	Covariance	۶۱/۷۰	-۲/۹۷۵	-۶۲/۵۲۲	-۲۰/۴۴۱	۷/۵۴۴	۶/۲۴۱ E ۳	۱/۹۸۷ E ۳	۰/۰۰۰	۷/۱۸۳ E ۴
parazit	Pearson Correlation	A	a	A	A	a	A	a	A	a
	Sig. (2-tailed)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Sum of Squares and Cross-products	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	Covariance	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Color	Pearson Correlation	۰/۱۷۰	-۰/۳۴۳*	۰/۰۸۳	-۰/۱۵۳	۰/۰۱۵	۰/۵۱۳**	۰/۳۶۴*	A	۱
	Sig. (2-tailed)	۰/۲۶۴	۰/۲۲	۰/۵۸۷	۰/۳۱۷	۰/۹۲۲	۰/۰۰۰	۰/۰۱۴	.	
	Sum of Squares and Cross-products	۱/۱۳۴ E ۵	-۱/۲۲۳ E ۴	۱/۱۲۶ E ۵	-۱/۱۴۴ E ۵	۱/۱۱۴ E ۴	۵/۳۶۵ E ۷	۳/۱۶۱ E ۶	۰/۰۰۰	۸/۶۰۷ E ۸
	Covariance	۲/۵۷۶ E ۳	-۲۲۷/۹۱۹	۲/۵۵۹ E ۳	-۲/۶۰۰ E ۳	۲۵۳/۲۰۶	۱/۲۱۹ E ۶	۷/۱۸۳ E ۴	۰/۰۰۰	۱/۹۵۶ E ۷

## نتیجه‌گیری

معمولاً در کلر زنی فاضلاب باید غلظت کلر در فاضلاب ۸ میلی‌گرم بر لیتر (ppm) و زمان ماند کلر حدود نیم ساعت باشد. برای اینکه غلظت کلر به حد مورد نظر برسد در مخزنی محلول کلر را به غلظت مورد نیاز رسانده و پس از آماده‌سازی به‌وسیله پمپ‌های تزریق (دوزینگ پمپ‌ها) در زمان مشخص به فاضلاب تزریق می‌کنیم تا عمل گندزدایی به‌خوبی انجام شود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد: (۱) نسبت ۳/۶ تا برابری COD به BOD در فاضلاب خام ورودی نشان از ماهیت بهداشتی و معمول فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانهٔ لجن فعال شهر اراک داشته و این موضوع بیانگر عدم ورود و تأثیر فاضلاب‌های صنعتی بر فرآیند تصفیه فاضلاب در این تصفیه‌خانه دارد نتایج حاصل نشان داد که وضعیت میزان COD و BOD در پساب خروجی فاضلاب برای آبهای سطحی، چاه‌های جذبی و مزارع کشاورزی در محدوده مجاز قرار داشته و شرایط مطلوبی از این حیث را دارا بوده است. (۲) نتایج حاصل از آزمون MPN نشان داد که، ایجاد واکنش‌های اسیدی با تولید گاز در بازه زمانی ۴۵ تا ۵۱ ساعت مبین پاسخ مثبت آزمایش جهت شناسی کلیفرم کل و عدم واکنش اسیدی طی این بازه زمانی بیانگر واکنش منفی نتایج احتمالی بوده است. همچنین نتایج حاصل از جدول محاسبات آماری MPN حاکی از دقت این روش در تحلیل آزمایشگاه میکروبی آب و مناسب بودن آن است. (۳) نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها برای پارامترهای pH، TSS، COD، BOD، دما و کلیفرم کل نشان داد که، متوسط pH در پساب خروجی تصفیه‌خانه ۷/۷۳، که این مقدار در محدوده مجاز قرار داشته است و متوسط دما ۱۷/۳ درجه سانتیگراد بوده است. متوسط BOD برابر ۱۰/۴ و برای COD این مقدار ۳۳/۳ میلی‌گرم در لیتر بوده است که نتایج آنها مبین ماهیت بهداشتی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه بوده است. (۴) میزان مصرف کلر در روزها و ماه‌های مختلف متفاوت بوده که این تغییر در میزان کلر مصرفی بدلیل تغییر در شرایط آب و هوایی یا عبارتی نوسانات دمایی در تصفیه‌خانه بوده است و میزان استفاده از کلر ارتباط تنگاتنگی با مقدار کلیفرم موجود در تصفیه‌خانه داشته از اینرو کلر زنی بعنوان روشی بهینه برای گندزدایی بکار گرفته شده است.

متوسط هفتگی مصرف کلر در فصل پاییز ۴۷۶/۲۱ کیلوگرم بوده است. کمترین میزان مصرف کلر نسبت به سایر فصول مربوط به فصل زمستان بوده است که این میزان ۱۵/۶۲ درصد بوده است بطوریکه بیشترین میزان در این فصل مربوط به دی ماه بوده است که این میزان در فصل زمستان ۳۱۲۳/۳۸ کیلوگرم بوده است و متوسط مصرف هفتگی در این فصل ۲۶۰/۲۸ کیلوگرم بوده است. نتایج حاصل از مقدار کلر زنی بهینه در این پژوهش براساس سعی و خطا صورت گرفته است. (۵) ذرات حاوی ارگانیک‌های کلیفرمی عامل دیگری است که بر عملکرد گندزدایی کلر برای گندزدایی جریان خروجی صاف سازی نشده تأثیر گذار است. (۶) کلر زنی در گندزدایی فاضلاب موجب گندزدایی موثر شده و کلر باقی مانده قابل پایش و حفاظت است. (۷) کلر باقی مانده میکروب کش را می‌توان در خطوط طولانی انتقال حفظ کرد. (۸) کلر ماده شیمیایی زیان آور که ممکن است برای کارگران تصفیه‌خانه و مردم عادی خطرناک باشد، بنابراین اقدامات ایمنی سختگیرانه‌ای باید اتخاذ شود. (۷) کلر در مقایسه با دیگر گندزداها به زمان ماند نسبتاً طولانی تری نیاز است. (۸) کلر باعث تشکیل تری هالومتان‌ها و آزاد سازی ترکیبات آلی فرار از حوضچه‌های تماس کلر می‌گردد. (۹) کلر، آهن و منیزیم و دیگر ترکیبات غیر آلی را اکسید می‌نماید. (با مصرف گندزدا) و همچنین انواع مختلفی از ترکیبات آلی را اکسید می‌نماید. (۱۰) هدف از کلر زنی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، کنترل و پیشگیری از تولید عواملی مانند بو، خوردگی، حجیم شدن لجن، کف در حوضچه‌ها، ویا عامل کمکی در تغلیظ لجن است. اپراتور بایستی به این نکته مهم توجه کند که کلر می‌تواند در فرایندهای تصفیه زیستی اختلال ایجاد نماید ویا آنها را به کلی متوقف سازد. لذا کلر زنی باید یک اقدام اضطراری باشد. در بعضی از تصفیه‌خانه‌ها ممکن است عمل پیش کلر زنی نیز قبل از واحدهای ته‌نشینی جهت کاهش بار آلی و کنترل بو استفاده شود ولی کلر زنی نهایی بعد از واحد ته‌نشینی در تصفیه‌خانه، موثرترین محل برای کلر زنی به منظور ضد عفونی پساب است. کاربرد کلر به جز گندزدایی موجب کاهش بوی فاضلاب سبب کاهش مواد روغنی و درجه کدری فاضلاب می‌شود. همچنین بوی کلر حشرات را از فاضلاب دور می‌کند.

منابع

- Ebrahimi A., and Erfani M. 2012. Investigating the effectiveness of biological removal methods of BNR nutrients and comparing them from an economic point of view, the second national conference on structures, earthquakes and geotechnics.
- Basmanj A., Siddaraji H., Rasouli Fard M.S., Moghadam M.H., Sheikh Mohammadi S. 2019. Synthesis and evaluation of the efficiency of open-cell polyurethane sponge-silver oxide nanocomposite in water disinfection. *Environmental Science and Technology*, 22(4), pp 29-40.
- Sanandji Z. 1391. Investigating the return performance of Mixed Liquor on reducing the output nitrogen of Shiraz sewage treatment plant in the pilot scale, Master's Thesis, Shiraz University.
- Anbir L., and Noori Z .2017. Investigating the quality of Ekbatan urban wastewater treatment plant effluent for use in agricultural lands and green spaces. *Land Management*, 6(1), pp95-102.
- Babaei N., Tabesh M., Nazif S.2016. Optimizing water quality in distribution networks based on pump cycle status, chlorine injection method and type of analysis method. *Water and sewage*, 28(2),pp 55-64.
- Bani Mahdkivani, M., Fekri M.H. 1400. Preparation of silver nanoparticles/polyamide (Nylon 6) composites by chemical reduction method for water disinfection. *Nanoscale*, 8(3), pp102-110.
- Fallahpour, M. 2017. Determining the optimal method for removing nitrate and carbon of organic matter by A2/O method in activated sludge process, Thesis, Shahid Abbaspour University of Water and Electrical Engineering
- Lotfi Ali and Mamqani-nejad M.2018 . Application of artificial wetland system with subsurface flow in urban wastewater treatment in cold and dry climate (case study of Arak sewage treatment plant). *Water and soil sciences*, 23 (4), 265-253.
- Mirzaei Takhtgahi H., and Qamarnia H. 2016, Quality of Kermanshah water treatment plant effluent for discharge to surface water, 4th International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran.
- Parsamanesh, M. R. 2011. Investigating the performance of sewage stabilization ponds in Arak city and providing solutions to increase its efficiency, Thesis, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Unit.
- Amini M., Otadi M .2016. Investigating the anoxic reactor of Sari wastewater treatment plant using the MLE activated sludge method and determining the factors affecting it, the third international conference on new research achievements in chemistry and chemical engineering, Tehran.
- Tabesh, Massoud; Azadi, Behrad, and Rozbahani, Abbas. 2018. Optimizing the amount of chlorine injection in water supply networks by genetic algorithm. *Water and Sewage*, 22(1) 11-2.
- Quaid Rahmati, Mojtaba; Moadad, Hadi and Tisheh-Zan, Parvaneh. 2019. Estimation of TSS output of Ahvaz wastewater treatment plant using intelligent models. *Environmental Science and Technology*, 22(9), 267-250.
- Khalili A., Mohabi M.R., Mohebi M. and Ashuri F. 2014. A new method for the biological start-up of Arak activated sludge wastewater treatment plant. *Journal of Water and Wastewater*, 25(6), pp105-100.
- Dindarlou, A., and Dasturani, M. 2016. Investigating the efficiency of wastewater treatment by activated sludge method in ensuring the quality of effluent for irrigation purposes (case study: Kermanshah Wastewater Treatment Plant), *Water and Sustainable Development*, 4(2), pp40-31.
- Zunemat Kermani M., Jamalizadeh M., and Ramezani Charmahina A. 2017. Non-linear management and analysis of water distribution network disinfection system using data-driven methods. *Water and Wastewater*, 29(1), pp49-59.
- Abdo S. M., El-Liethy M. A., Doma H. S., El Taweel G. E. & Ali G. H. 2022. Chlorine as an integrated approach for environmental health and hygiene: A case study on evaluation of the performance of waste stabilization ponds located at 11 governorates in Egypt. *Emerging Contaminants*,(8),pp 243-253.
- Ammar, T.A. Abid, K.Y. El-Bindary, A.A. & El-Sonbati, A.Z. 2014 . Chlorine dioxide bulk decay prediction in desalinated drinking water, *Journal of Desalination*, 352, pp 45-51.
- Burasiys, H.P.&Shah, M. 2017 .Waste Water Treatment by Environmental Microbiology, *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 8(2),pp1-8.
- Capodaglio, A. Hlavinec, P. & Raboni, M. 2016 . Advanced in wastewater nitrogen removal by biological processes, *An interdisciplinary Journal of*

- Applied Science*, 11(2), pp250-267.
- Gamiz J. Grau A. Martinez H. & Bolea Y. 2020 . Automated chlorine dosage in a simulated drinking water treatment plant: A real case study, *Applied Sciences*, 10(11), 4035.
- Gustave, A.& Lara-Borrero, J. 2016 . Tools to support the decision-making in the design and operation of activated sludge process for municipal wastewater treatment in developing countries, *International Journal of Applied Engineering Research*, ISSN 0973-4562 , 11(13), pp7967-7973.
- Hoko, Z. Toto, T. N. Mapenzauswa, C. F. Nhiwatiwa, T. Chipfunde, L. & Hunguru S. 2021. Investigating use of chlorine dioxide for pre-treatment of raw water from polluted sources at Morton Jaffray Water Treatment Works, Harare, Zimbabwe, *Water Practice & Technology*, 16(4), pp 1290-1306.
- Islami, B. B. Priadi, C. R. Adityosulindro, S. & Abdillah, A. 2019 . Wastewater disinfection efficiency using one-step and two-step chlorination. *In MATEC Web of Conferences (Vol. 280, p. 05015). EDP Sciences*.
- Karadirek I.E., Kara S., Muhammetoglu A., Muhammetoglu H. Soyupak S. 2016 . Managemen of chlorine dosing rates in urban water distribution networks using online continuous monitoring and modeling, *Urban Water Journal*, 13(4), pp345-359.
- Karadirek I.E. Soyupak S. Muhammetoglu H. 2016 . Chlorine modeling in water distribution networks using ARX and ARMAX model structures, *Desalination and Water Treatment*, 57(25), pp11592-11598.
- Kesar S., Bhatti M. S. 2022 . Chlorination of secondary treated wastewater with sodium hypochlorite (NaOCl): An effective single alternate to other disinfectants, *Heliyon*, 8(11).
- Lee, J. H. Qiao, Q. S. Chan, S. N. Choi, K. W. & Chau H. K. 2023 . Reduction of Chlorine Disinfection Dosage through Optimal Jet Design in the Hong Kong Harbor Area Treatment Scheme. *Journal of Environmental Engineering*, 149(2), pp1-12.
- Metcalf & Eddy A, Bowden M., Burton G., Pfrang F. L., Stensel W., AECOM H, D. 2014. *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*, McGraw Hill Education.
- Nejjari, F. Puig, V. Perez, R. Quevedo, M.A. Cuguero, M.A. Sanz, G. & Mirats, J.M. (2014). Chlorine decay model calibration and comparison: Application to a real water network, *Journal of Procedia Engineering*, 70, pp1221-1230.
- Perju, S. & Stanescu, I. 2015 .Numeric modelling of the residual chlorine concentration evolution in a water distribution network, *Revista de Chimie*, 66(6), pp 886-890.
- Rachmadi, A. T. Kitajima, M. Kato, T. Kato, H. Okabe, S. & Sano, D. 2020 . Required chlorination doses to fulfill the credit value for disinfection of enteric viruses in water: a critical review. *Environmental Science & Technology*, 54(4), pp 2068-2077.
- Tibebe, D., Negash, A., Mulugeta, M., Kassa, Y., Moges, Z. & Yenealem D. 2022 . Investigation of selected physico-chemical quality parameters in industrial wastewater by electrocoagulation process, *Ethiopia. BMC chemistry*, 16(1), pp1-9.
- Wu W. Dandy G.C. and Maier H.R. 2015 .Optimal control of total chlorine and free ammonia levels in a water transmission pipeline using artificial neural networks and genetic algorithms, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(7), pp 123-135.