

*Research Article***Reducing the pollution load of BOD and COD wastewater of defense and military industries using the Bit Trap Filter system***Sayyed Mostafa Mir Tabaei<sup>1</sup>, Sayyed Ali Moezzi<sup>2\*</sup>, Arash Javanshir Khoei<sup>2</sup>, Ali Asghar Zomorodkia<sup>3</sup>*<sup>1</sup>Department of Engineering Sciences, Imam Ali Afsari University, Tehran, Iran<sup>2</sup>Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran<sup>3</sup>Department of Chemical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran**Key Words**Purification  
Military effluent  
Dissolved solid  
Oxidation  
Nano-bubbling**Abstract**

**Introduction:** As a result of the expansion of the human population and the acceleration of industrialization, the amount of wastewater produced is steadily increasing. Military wastewaters are mainly caused by repair and maintenance operations, construction and loading, assembly and packaging in industrial units, and often contain large amounts of inorganic anions, suspended solids, etc. Considering the need to restore and recycle the used water, this research deals with the purification and reduction of the pollution load of military industries' wastewater using the Bit Trap Filter combined with the advanced oxidation method of nano-bubbling.

**Materials & Methods:** In this research, the possibility of the wastewater treatment of Zarrin Shahr, Isfahan defense and military industry complex was studied. TDS, BOD, and COD factors were measured in wastewater samples. Then, they were affected by the pure oxygen nano-bubbling process in a tank and after that, they entered the Bit Trap Filter, and at the outlet, within ten days, a random sample was taken every 24 hours and evaluated.

**Results:** TDS, BOD, and COD factors were obtained as  $4669.67 \pm 209.62$ ,  $91.5 \pm 75.61$ , and  $285.92 \pm 18.89$  mg/liter respectively in the original wastewater sample. During the testing process and after ten days, the amount of these factors in treated wastewater was reported as  $493.27 \pm 41.50$ ,  $3.1 \pm 26.09$ , and  $4.10 \pm 1.04$  mg/liter respectively.

**Conclusion:** In this study, relying on the performance of nano-bubbling and increasing the oxygen capacity of wastewater, as well as the performance of the Bit Trap Filter in removing particles and oxidized and coagulated materials, a clear reduction of TDS, BOD, and COD factors was observed and they decreased by 89.44%, 96.45%, and 98.57% respectively. Based on the obtained results, the effectiveness of the Bit Trap Filter in defense and military industries wastewater treatment is confirmed, and due to the appropriate efficiency and low cost of construction, it is suggested as an efficient and cost-effective system in the field of defense and military industries wastewater treatment.

**Article info**\* Corresponding Author's email:  
[moezzi.sayyed.ali@ut.ac.ir](mailto:moezzi.sayyed.ali@ut.ac.ir)

Received: 23 October 2024

Reviewed: 21 November 2024

Revised: 21 January 2025

Accepted: 19 February 2025

## مقاله علمی - پژوهشی

## کاهش بار آلودگی BOD و COD فاضلاب صنایع دفاعی و نظامی با استفاده از سیستم تله ذره‌گیر

سیدمصطفی میرطبابی<sup>۱</sup>، سیدعلی معزی<sup>۲\*</sup>، آرش جوانشیرخوئی<sup>۱</sup>، علی اصغر زمردکیا<sup>۲</sup><sup>۱</sup> گروه مطالعات علوم مهندسی، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران<sup>۲</sup> گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران<sup>۳</sup> گروه مهندسی شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

## کلمات کلیدی

## چکیده

تصفیه فاضلاب  
پساب نظامی  
ذرات محول  
اکسیداسیون  
نانوبابلینگ

**مقدمه:** در نتیجه گسترش جمعیت انسانی و شتاب صنعتی شدن، مقدار فاضلاب تولید شده به طور پیوسته در حال افزایش است. فاضلاب‌های نظامی عمدتاً ناشی از عملیات تعمیر و نگهداری، ساخت و بارگیری، مونتاژ و بسته‌بندی در واحد صنعتی و غالباً دارای مقادیر زیادی آنیون‌های معدنی، جامدات معلق و غیره می‌باشند. این تحقیق به تصفیه و کاهش بار آلودگی فاضلاب صنایع نظامی با استفاده از سیستم تله ذره‌گیر به صورت تلفیقی با روش اکسیداسیون پیشرفته نانوبابلینگ می‌پردازد.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق امکان تصفیه پساب مجتمع صنایع دفاعی و نظامی زرین‌شهر اصفهان مورد مطالعه قرار گرفت. فاکتورهای TDS، BOD و COD در نمونه‌های فاضلاب، سنجیده شدند. سپس در مخزنی تحت تأثیر فرآیند نانوبابلینگ اکسیژن خالص قرار گرفته و پس از آن وارد سیستم تصفیه تله ذره‌گیر شدند و در خروجی طی ده روز، هر ۲۴ ساعت به صورت تصادفی یک نمونه گرفته شده و مورد ارزیابی قرار گرفتند.

**نتایج:** فاکتورهای TDS، BOD و COD به ترتیب در نمونه اولیه فاضلاب به میزان  $۶۲/۶۲ \pm ۲۰۹/۶۷$ ،  $۶۱/۶۱ \pm ۷۵/۹۱$  و  $۸۹/۸۹ \pm ۹۲/۲۸۵$  میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. طی مراحل آزمایش و پس از ده روز میزان این فاکتورها در پساب تصفیه شده به ترتیب  $۵۰/۵۰ \pm ۴۱/۲۷$ ،  $۰۹/۰۹ \pm ۲۶/۳$  و  $۰۴/۰۴ \pm ۱۰/۴$  میلی‌گرم بر لیتر گزارش شد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** در این مطالعه با تکیه بر عملکرد نانوبابلینگ و افزایش ظرفیت اکسیژنی فاضلاب و هم‌چنین عملکرد سیستم تله ذره‌گیر، کاهش مشخص فاکتورهای TDS، BOD و COD مشاهده شد و به ترتیب  $۴۴/۸۹\%$ ،  $۴۵/۹۶\%$  و  $۵۷/۹۸\%$  کاهش داشتند. بر اساس نتایج به دست آمده، کارایی سیستم تله ذره‌گیر در فاضلاب صنایع دفاعی و نظامی مورد تأیید است و با توجه به کارایی مناسب و ارزان قیمت بودن ساخت، به عنوان سیستمی کارآمد و مقرون به صرفه در زمینه تصفیه فاضلاب صنایع دفاعی و نظامی پیشنهاد می‌شود.

\* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

moezzi.sayyed.ali@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲ آبان ۱۴۰۳

تاریخ داوری: ۱ آذر ۱۴۰۳

تاریخ اصلاح: ۲ بهمن ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۱ اسفند ۱۴۰۳

## مقدمه

خاصی هستند (۴۲). امروزه با عنوان فرآیند اکسیداسیون پیشرفته (Advanced Oxidation Process) از روش‌های نانوبالینگ (Nano-bubbling) شامل تزریق مولکول‌های اکسیژن و ازن و روش‌های فوتونی مانند تابش UV که با تولید رادیکال هیدروکسیل غیرانتخابی، ترکیبات آلی سخت را اکسید و تجزیه می‌کند، استفاده می‌شود (۲، ۱۹، ۳۶، ۵۳). هم‌چنین سیستم تله ذره‌گیر نیز در فرآیند تصفیه چند نوع فاضلاب از جمله فاضلاب دامداری صنعتی و فاضلاب شهری (۳۰)، فاضلاب پرورش ماهی متراکم (۴۱)، فاضلاب کشاورزی حاوی سموم ارگانوفسفره (۲۱، ۳۱)، فاضلاب صنعت کاغذسازی (۱۲)، فاضلاب کارخانه تولید آردماهی و کنسروسازی (۵) و فاضلاب کارخانه الکل‌سازی (۱۰، ۳۸) با گزارش عملکرد مناسب و رسیدن به پساب قابل استفاده مجدد، صورت گرفته است. در کشورمان ایران، تصفیه فاضلاب از یک طرف به دلیل مقابله با بحران جهانی آب و از طرف دیگر به دلیل هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری و نگهداری، مسئله‌ای مهم است (۴۱). لازم است در تعیین روش‌های تصفیه فاضلاب به مواردی مانند به حداکثر رساندن بهره‌وری انرژی از نظر طراحی و تجهیزات، فرآیندهای بازیافت انرژی، روش‌های فنی و مدیریت قیمت‌گذاری که می‌توانند به کاهش هزینه‌های تحمیل‌شده کمک کنند، توجه شود (۱۸). در این میان ایران مانند بسیاری از نقاط جهان با توجه به افزایش جمعیت و تغییرات اقلیمی با کاهش منابع تجدیدشونده مواجه شده است، لذا یکی از چشم‌اندازهای سیاست دولت‌مردان، احیای این منابع و بهره‌برداری مجدد در فرآیند بازگردانی آن‌ها، بر اساس استانداردهای جهانی (جدول ۱) است (۴۰). در این تحقیق با توجه به نیاز به احیا و بازگردش آب مصرفی، به تصفیه و کاهش بار آلودگی فاضلاب صنایع نظامی با استفاده از سیستم تله ذره‌گیر به صورت تلفیقی با روش اکسیداسیون پیشرفته نانوبالینگ پرداخته شده است.

جدول ۱: استاندارد مورد تأیید برای استفاده از پساب‌های برگشتی در محیط زیست

Table 1: Approved standard for the use of recycled wastewater in the environment

Parameter	Maximum allowable value
pH	6.5 - 9
Total dissolved solids (TDS)	750 (mg/L)
Dissolved oxygen (DO)	5 (mg/L)*
5-day chemical oxygen demand (COD5)	5 (mg/L)
Ammonia	0.02 (mg/L)
Nitrate	45 (mg/L)
Fecal coliform	400 (number per 100 ml)

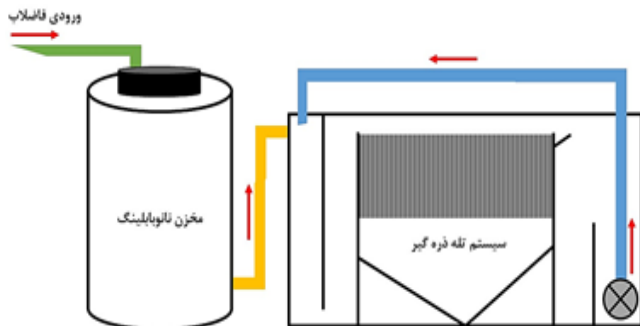
\*The dissolved oxygen concentration should not be less than this amount

## مواد و روش‌ها

تهیه فاضلاب: نمونه فاضلاب مورد نیاز از مجتمع صنایع دفاعی و نظامی زرین‌شهر اصفهان، دریافت شد. مقدار ۲۲۰ لیتر فاضلاب،

در نتیجه گسترش جمعیت انسانی و شتاب صنعتی شدن، مقدار فاضلاب تولیدشده به‌طور پیوسته در حال افزایش است (۸). در حال حاضر تولید جهانی فاضلاب ۳۸۰ میلیارد مترمکعب است. پیش‌بینی می‌شود که حجم فاضلاب تولیدی تا سال ۲۰۵۰ به ۵۷۴ میلیارد مترمکعب افزایش یابد (۳۹). در چند دهه گذشته، برای دستیابی به کیفیت پساب بالاتر، به‌طور فزاینده‌ای از تجهیزات و فن‌آوری‌های جدید که نیاز به راندمان حذف آلاینده‌های بالاتری دارند، استفاده شده است که گاه‌ما گاه منجر به افزایش مصرف انرژی در واحد فرآیند می‌شود (۹، ۱۴، ۴۹). تصفیه فاضلاب یک فرآیند پیچیده است که از چندین مرحله تشکیل شده و هدف آن حذف آلاینده‌ها از آب است تا آن را برای استفاده مجدد یا رهاسازی به محیط زیست ایمن کند. این مراحل به‌طور کلی شامل فرآیندهای زیستی، شیمیایی و فیزیکی می‌شوند. روش‌های شیمیایی شامل مراحل مانند تنظیم pH، انعقاد و لخته‌سازی، ترسیب شیمیایی، اکسیداسیون و خنثی‌سازی است (۳، ۴۵). روش‌های زیستی غالباً توسط بیوم‌جلبکی و باکتریایی صورت می‌گیرند (۳۶، ۴۲). روش‌های فیزیکی شامل مراحل مانند آشغال‌گیری، شناورسازی و ته‌نشینی است (۳۰، ۴۰). بسته به نوع و ماهیت آلاینده‌های موجود در فاضلاب، روش‌های تصفیه ترکیبی و گوناگونی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۳، ۱۱، ۴۳). در این مطالعه فاضلاب صنعت دفاعی به منظور بازیافت و اصلاح در نظر گرفته شده است. منبع اصلی آلودگی در این صنعت وابسته به نوع فعالیت واحد مربوطه است. فاضلاب‌های نظامی عمدتاً ناشی از عملیات تعمیر و نگهداری، ساخت و بارگیری، مونتاژ و بسته‌بندی در واحد صنعتی و فاضلاب‌های حاصل از بخش اداری و عملیاتی است (۲۷). آلاینده‌ها به‌طور گسترده‌ای از مواد منفجره و پیش‌رانه تا حلال‌ها و اسیدها را شامل می‌شود. فاضلاب‌های نظامی به‌طور کلی چیزی بیش از محلول‌های آبی ساده از ترکیبات خاص هستند و غالباً دارای مقادیر زیادی آنیون‌های معدنی، جامدات معلق و غیره می‌باشند (۳۷). بنابراین این نوع فاضلاب دارای مقادیر بالایی از BOD، COD، TN، TP و برخی فلزات سنگین است که در صورت عدم تصفیه، مخاطرات زیستی را به همراه دارد (۱). روش تصفیه اکسیداسیون شیمیایی، از جمله روش‌هایی است که کارایی خود را در تصفیه انواع فاضلاب صنعتی نشان داده است (۴۶، ۵۲). هم‌چنین در بسیاری از مطالعات جهت کاهش آلاینده‌های موجود در فاضلاب نظامی از روش‌های مختلف اکسیداسیون شیمیایی استفاده شده است (۲۷). از انواع مواد مورد استفاده در اکسیداسیون شیمیایی می‌توان پراکسید هیدروژن، کلر، دی‌اکسید کلر، پرمنگنات را نام برد. هر یک از این مواد دارای پتانسیل الکتروشیمیایی، شکل کاربرد و روش به‌کارگیری

معدنی ایران انتقال داده شدند. در نهایت براساس نتایج به دست آمده میزان عملکرد روش تصفیه به کار گرفته شده محاسبه شد.



شکل ۲: مراحل فرآیند اعمال شده در تصفیه فاضلاب صنایع دفاعی و نظامی

Figure 2: Process steps applied in wastewater treatment of defense and military industries

**بررسی‌های آماری:** نمودارهای مربوط به داده‌های به دست آمده و روند تغییرات در طی انجام آزمایش، توسط نرم‌افزار EXCEL ترسیم شد. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. با استفاده از آزمون ANOVA معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌های به دست آمده از تصفیه فاضلاب در ابتدا و انتهای آزمایش، هم‌چنین در روزهای مختلف نمونه‌برداری مقایسه شدند. هم‌چنین نتایج به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار گزارش شدند.

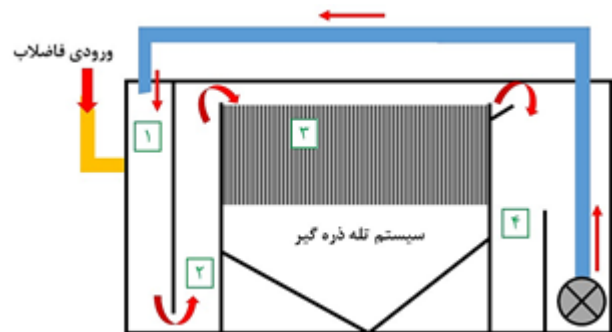
## نتایج

**TDS:** آن چنان که پیش‌تر گفته شد پساب صنایع دفاعی غالباً بار ذرات بالایی دارند و با ورود مستقیم به محیط زیست می‌تواند موجب آلودگی و افزایش کدورت و اختلال در اکوسیستم گردد. در فرآیند تصفیه فاضلاب صنایع دفاعی و نظامی، بیشینه TDS فاضلاب  $467/62 \pm 4669/209$  میلی‌گرم بر لیتر در نمونه اولیه آزمایش و کمینه TDS فاضلاب  $41/50 \pm 493/27$  میلی‌گرم بر لیتر در نمونه دهم ثبت شد ( $F=556/80$  و  $P=0/00$ ). روند تغییرات TDS در شکل ۳ نمایش داده شده است.

**BOD:** در پساب صنایع دفاعی و نظامی کمی بالا است و در شرایط بی‌هوازی بوی نامطبوعی ایجاد می‌نماید و یکی از فاکتورهایی است که پیش از رهاسازی به محیط لازم است اصلاح گردد. در فرآیند تصفیه فاضلاب صنایع دفاعی و نظامی، بیشینه BOD فاضلاب  $91/575/61$  میلی‌گرم بر لیتر در نمونه اول آزمایش و کمینه BOD فاضلاب  $3/26 \pm 1/09$  میلی‌گرم بر لیتر در نمونه دهم آزمایش ثبت شد ( $F=414/14$  و  $P=0/00$ ). روند تغییرات BOD در طول دوره آزمایش در شکل ۴ نمایش داده شده است.

توسط گالن‌های پلی‌اتیلنی ۲۰ لیتری به آزمایشگاه لیمنولوژی و هیدروبیولوژی دانشگاه تهران انتقال یافت.

**سیستم تصفیه تله ذره‌گیر:** سیستم تصفیه تله ذره‌گیر با ابعاد  $20 \times 15 \times 25$  سانتی‌متر از جنس شیشه مطابق با شکل ۱ ساخته شد. این سیستم دارای سه بخش شامل: بخش جداسازی مواد سطحی با چگالی کم، بخش جداسازی ذرات درشت با چگالی بالا و بخش جداسازی ذرات ریز و معلق است.

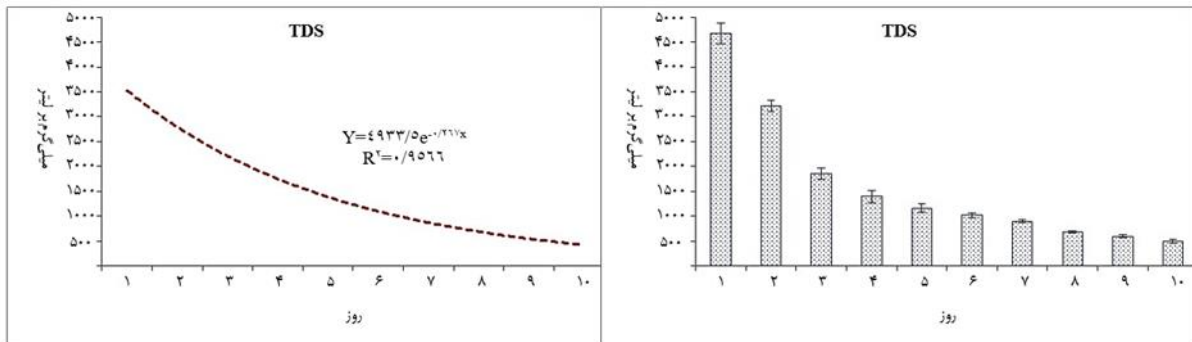


شکل ۱: سیستم تصفیه تله ذره‌گیر با نمایش مسیر جریان آب (فلش‌های قرمز) و سه بخش شامل جداسازی ذرات سطحی با چگالی کم (۱)، جداسازی ذرات درشت با چگالی بالا (۲) و جداسازی ذرات ریز معلق (۳)

Figure 1: Particle trap purification system showing the water flow path (red arrows) and three sections including low density surface particle separation (1), high density coarse particle separation (2), and fine suspended particle separation (3)

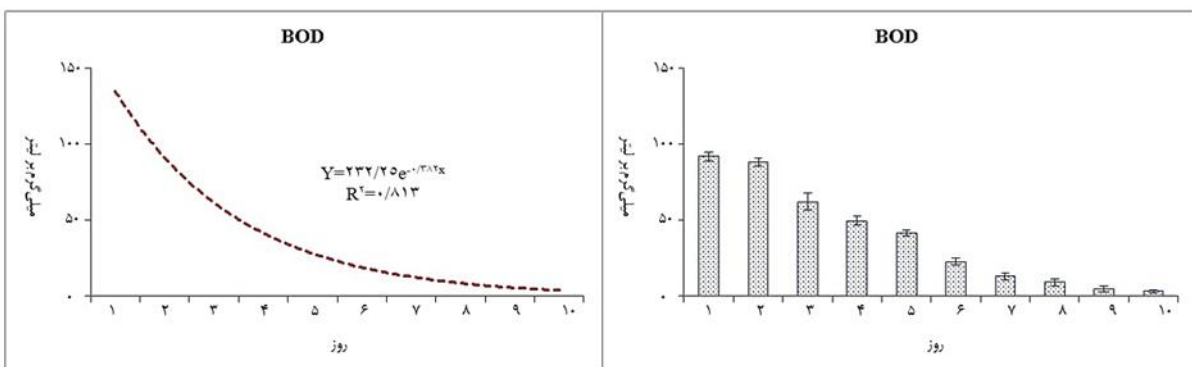
در بخش جداسازی مواد سطحی و سرنشین‌ها، مواد سبک مانند کف و مواد روغنی جدا می‌شوند. مواد سنگین در مرحله بعدی جداسازی شده و بعضاً مواد معلق که در اثر آلودگی به سنگین تبدیل شده‌اند. بخش بعدی جداشونده، مواد معلق هستند که هم‌زمان با تبدیل جریان متلاطم به تیغه‌ای توسط تله ذره‌گیر جدا می‌شوند. نتیجه کلی آبی با حداقل آلودگی‌ها است.

**روش کار و نمونه‌برداری:** در ابتدای کار پیش از انتقال فاضلاب به سیستم تصفیه، از فاضلاب سه نمونه تصادفی در شیشه‌های ۱۵۰ میلی‌لیتری تیره‌رنگ برداشت شد. سپس فاضلاب در مخزن پلی‌اتیلنی طی سه ساعت تحت تأثیر فرآیند نانوبالینگ اکسیژن خالص قرار گرفت. پس از آن وارد سیستم تصفیه تله ذره‌گیر شد. هر ۲۴ ساعت یک نمونه از پساب تصفیه‌شده (مرحله‌نهایی تصفیه) گرفته شد (شکل ۲). نمونه‌برداری‌ها به صورت تصادفی طی بازه ده روز صورت گرفت و هر آزمایش با سه تکرار انجام شد. نمونه‌ها جهت سنجش فاکتورهای TDS (کل جامدات محلول)، BOD (اکسیژن‌خواهی زیستی) و COD (اکسیژن‌خواهی شیمیایی) به آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد



شکل ۳: راست) تغییرات TDS طی ۱۰ روز، چپ) خط روند و معادله تغییرات TDS در سیستم تصفیه تله ذره گیر

Figure 3: Right) TDS changes over 10 days, left) trend line and equation for TDS changes in the particle trap treatment system

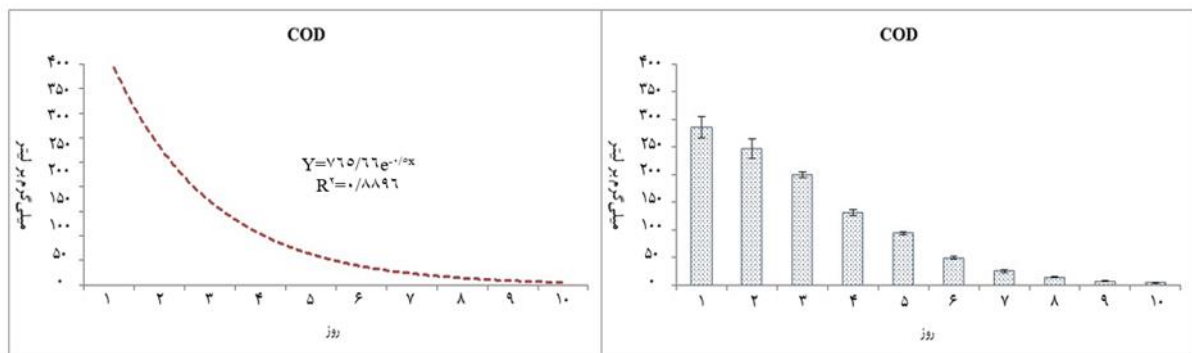


شکل ۴: راست) تغییرات BOD طی ۱۰ روز، چپ) خط روند و معادله تغییرات BOD در سیستم تصفیه تله ذره گیر

Figure 4: Right) BOD changes over 10 days, left) trend line and equation for BOD changes in the particle trap treatment system

کمینه COD فاضلاب  $4/10 \pm 1/04$  میلی گرم بر لیتر در نمونه دهم آزمایش ثبت شد ( $F=442/54$  و  $P=0/00$ ). روند تغییرات COD در طول دوره آزمایش در شکل ۵ نمایش داده شده است.

COD: در پساب صنایع دفاعی مقدار COD نیز بالا بوده و در صورت رهاسازی به محیط زیست، مخاطراتی در پیش خواهد داشت. در فرآیند تصفیه فاضلاب صنایع دفاعی و نظامی، بیشینه COD فاضلاب  $285/92 \pm 18/89$  میلی گرم بر لیتر در نمونه اول آزمایش و



شکل ۵: راست) تغییرات COD طی ۱۰ روز، چپ) خط روند و معادله تغییرات COD در سیستم تصفیه تله ذره گیر

Figure 5: Right) COD changes over 10 days, left) Trend line and equation for COD changes in the particle trap treatment system

در نتیجه می توان عنوان نمود کاهش TDS در مراحل ابتدایی فرآیند تصفیه به صورت مشخص تر و با شیب بیش تر در نمودار صورت گرفته است (شکل ۳). با در نظر گرفتن راندمان روزانه سیستم تصفیه تله

با در نظر گرفتن راندمان روزانه سیستم تصفیه تله ذره گیر در ارتباط با فاکتور TDS، بیش ترین بازده با  $42/37\%$  در روز سوم و کم ترین بازده با  $11/53\%$  در روز هفتم مشاهده می گردد (جدول ۱).

می‌گیرد (۸۹/۴۴٪). آن چنان که در مطالعات پیشین عنوان شده است کاهش TDS بر عملکرد تصفیه اثر مثبت داشته و روند کاهش آلاینده‌های موجود در فاضلاب را بهبود می‌بخشد (۵۴). در مطالعات دیگر این روند کاهش با روش‌های مختلف از ۷۶/۲۰٪ تا ۸۴/۱۰٪ گزارش شده‌اند (۴۴). در سیستم طراحی شده، ذرات اکسیژن آزاد به بخشی خاصی از ترکیبات حمله نموده و با تغییر در ساختار شیمیایی، آن‌ها را به ذرات قابل ته‌نشینی تبدیل می‌کنند (۳۸، ۴۶، ۴۸) از طرف دیگر، حضور پررنگ‌تر مولکول‌های اکسیژن آزاد باعث افزایش غلظت OH و در نتیجه ایجاد اکسیدکننده‌های ثانویه که قوی‌تر و فعال‌تر هستند، می‌شود (۶، ۴۴، ۴۸). یکی از معضلات تصفیه فاضلاب و رهاسازی آن به محیط زیست، وجود BOD بالا است که بوی نامطبوعی نیز با خود به همراه دارد. در مطالعات پیشین با انواع روش‌ها از جمله تصفیه زیستی (۲۲، ۳۴)، لجن فعال و تصفیه بی‌هوازی (۱۵، ۱۷، ۲۵، ۵۰)، اسمز معکوس (۲۶، ۵۶)، کربن فعال (۷، ۵۱)، استفاده از اکسیدکننده‌ها (۳۵، ۳۸، ۴۶)، پیش‌تصفیه کاتالیزوری (۱۰)، ته‌نشینی و تقطیر (۱۶، ۲۹) مبادرت به کاهش BOD شده است. هم‌چنین کارایی مؤثر سیستم تله ذره‌گیر در کاهش BOD بر اساس تحقیقات پیشین در فاضلاب‌های صنایع لبنی، انسانی و دامداری (۹۴/۰۰٪) (۳۰) و هم‌چنین فاضلاب صنعت الکل‌سازی (۹۷/۰۰٪) (۳۳، ۳۲) گزارش شده است. از طرف دیگر، در ارتباط با پساب نظامی Almedia و همکاران، در سه مرحله تصفیه ترکیبی فیزیکی، زیستی و شیمیایی، به کاهش ۸۶٪ دست یافتند (۱). در این تحقیق نیز با تکیه بر عملکرد نانوبالینگ و افزایش ظرفیت اکسیژنی فاضلاب و هم‌چنین عملکرد سیستم تله ذره‌گیر در حذف ذرات و مواد اکسیدشده و کواگوله‌شده، کاهش مشخص BOD (۹۶/۴۵٪) مشاهده شد. هم‌چنین وجود COD بالا در فاضلاب، علاوه بر داشتن خطرات زیست محیطی حاد، مانع پیشروی روند تصفیه فاضلاب با روش‌های معمول است. در مطالعات پیشین نیز با انواع روش‌ها از جمله تصفیه زیستی (۲۲، ۳۴)، تجزیه هوازی (۴۵، ۵۵)، لجن فعال و تصفیه بی‌هوازی (۱۳، ۱۷، ۵۰)، اسمز معکوس (۲۶، ۵۶)، کربن فعال (۱۹، ۲۰، ۲۳، ۵۱)، پیش‌تصفیه حرارتی - کاتالیزوری (۱۰، ۲۴)، بستر غوطه‌ور (۴۰)، ته‌نشینی و تقطیر (۴، ۱۶، ۲۹) و استفاده از اکسیدکننده‌ها (۲۸، ۳۵، ۴۷، ۵۳)، مبادرت به کاهش COD شده است. هم‌چنین کارایی مؤثر سیستم تله ذره‌گیر در کاهش COD بر اساس تحقیقات پیشین در فاضلاب‌های صنایع لبنی، انسانی و دامداری با کاهش ۹۴/۲۰٪ (۳۰) و هم‌چنین فاضلاب صنعت الکل‌سازی با کاهش ۹۵/۵۰٪ (۳۳، ۳۲) گزارش شده است. در این مطالعه نیز با تکیه بر عملکرد نانوبالینگ و افزایش ظرفیت اکسیژنی فاضلاب و هم‌چنین عملکرد سیستم تله ذره‌گیر در حذف ذرات و مواد اکسید

ذره‌گیر در ارتباط با فاکتور BOD، بیش‌ترین بازده با ۴۷/۷۵٪ در روز نهم و کم‌ترین بازده با ۴/۱۴٪ در روز دوم مشاهده می‌شود (جدول ۱). در نتیجه می‌توان عنوان نمود کاهش BOD در مراحل انتهایی فرآیند تصفیه به صورت مشخص‌تر و با شیب بیش‌تر در نمودار صورت گرفته است (شکل ۴). با در نظر گرفتن راندمان روزانه سیستم تصفیه تله ذره‌گیر در ارتباط با فاکتور COD، بیش‌ترین بازده با ۵۱/۹۵٪ در روز نهم و کم‌ترین بازده با ۱۳/۶۳٪ در روز دوم مشاهده می‌گردد (جدول ۱). در نتیجه می‌توان عنوان نمود حذف COD در انتهای فرآیند تصفیه به صورت مشخص‌تر و با شیب بیش‌تر در نمودار صورت گرفته است (شکل ۵). به صورت کلی و بر اساس نتایج به دست آمده میزان فاکتورهای TDS، BOD و COD در فاضلاب صنایع دفاعی به ترتیب ۸۹/۴۴٪، ۹۶/۴۵٪ و ۹۸/۵۷٪ کاهش داشته‌اند که نشان از کارایی مؤثر سیستم تصفیه تله ذره‌گیر دارند.

جدول ۲: درصد راندمان روزانه سیستم تصفیه تله ذره‌گیر در

کاهش فاکتورهای مورد سنجش

Table 2: Percentage of daily efficiency of the particle trap purification system in reducing the measured factors

Day	BOD	COD	TDS
2	4.14	13.63	31.12
3	29.60	18.91	42.37
4	19.79	34.85	24.92
5	16.51	28.13	16.67
6	45.04	47.47	12.50
7	42.78	49.28	11.53
8	30.14	44.43	24.78
9	47.75	51.95	11.92
10	31.51	38.53	17.07

## بحث

با توجه به افزایش فعالیت‌های انسانی و متعاقباً افزایش ورود آلاینده‌های انسان‌ساز به منابع آبی، مشکلات بسیاری در تأمین آب جوامع بشری ایجاد شده است. لذا یکی از موارد ضروری در حفظ و احیای منابع آبی، استفاده مجدد از فاضلاب‌ها و بهره‌بردن از آب‌های حاصل از تصفیه پساب‌ها و فاضلاب‌ها می‌باشد. در ایران نیز به‌عنوان کشوری در حال توسعه، استفاده مجدد از پساب‌ها و فاضلاب‌ها مورد چالش است. در این تحقیق، تصفیه فاضلاب صنایع دفاعی با استفاده از سیستم تله ذره‌گیر مورد مطالعه قرار گرفت. یکی از مشخصه‌های فیزیکی فاضلاب، کل مواد جامد محلول است که در برگزیده مواد معدنی، نمک‌ها، فلزات محلول و سایر مواد آلی موجود در فاضلاب می‌باشد. حضور این مواد خصوصاً در غلظت‌های بالا شرایط نامطبوع، در ارتباط با سلامت موجودات زنده را، ایجاد می‌نمایند (۴۱). در این تحقیق، کاهش TDS در اثر اکسید شدن مواد و کمک به تشکیل ذرات معلق که توسط تله ذره‌گیر از بدنه آبی جدا می‌شوند، صورت

11. David, M.K., 2017. A Review Paper on Industrial Waste Water Treatment Processes. In: University of Nigeria, Nsukka.
12. Dehghani, F., 2016. Separation of lead heavy metal from paper pulp wastewater using biodraft purification method with particle trap and its effect on *Anodonta signea* and *Derisinidae* polymorpha. Master's Thesis, University of Tehran. 49-58. (In Persian)
13. Fitzgibbon, F., Nigam, P., Singh, D. and Marchant, R., 1995. Biological treatment of distillery waste for pollution-remediation. *Journal of Basic Microbiology*. 35(5): 293-301. doi: 10.1002/jobm.3620350504
14. Fraia, S.D., Massarotti, N. and Vanoli, L., 2018. A novel energy assessment of urban wastewater treatment plants. *Energy Conversion and Management*. 163: 304-313. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.02.058>
15. Garcia-Calderon, D., Buffiere, P., Moletta, R. and Elmaleh, S., 1998. Anaerobic digestion of wine distillery wastewater in down-flow fluidized bed. *Water Research*. 32(12): 3593-3600. doi: 10.1016/S0043-1354(98)00134-1
16. Gebreyessus, G.D., Mekonnen, A. and Alemayehu, E., 2019. A review on progresses and performances in distillery stillage management. *Journal of Cleaner Production*. 232: 295-307. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.383
17. Ghosh, S., Ombregt, J.P. and Pipyn, P., 1985. Methane production from industrial wastes by two-phase anaerobic digestion. *Water research*. 19(9): 1083-1088. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(85\)90343-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(85)90343-4)
18. Gu, Y., Li, Y., Yuan, F. and Yang, Q., 2023. Optimization and control strategies of aeration in WWTPs: A review. *Journal of Cleaner Production*. 418(2): 138008. doi: 10.1016/j.jclepro.2023.138008
19. Hadavifar, M., Younesi, H. and Zinatizadeh, A., 2010. Application of Ozone and Granular Activated Carbon for Distillery Effluent Treatment. *Journal of Water and Wastewater*. 21(2): 10-18. (In Persian)
20. Ruixiong, H., Yu, L., Gaojun, Z., Cheng, Ch., Dwi, H. and Yan, M., 2022. COD removal of wastewater from hydrothermal carbonization of food waste: using coagulation combined activated carbon adsorption. *Journal of Water Process Engineering*. 45: 102462. doi: 10.1016/j.jwpe.2021.102462
21. Javanshir Khoei, A., Jafarzadeh Joogh, N., Darvishi, P. and Rezaei, K. 2018. Application of physical and biological methods to remove heavy metal, arsenic and pesticides, malathion and diazinon from water. *Turkish journal of fisheries and aquatic sciences*. 19(1): 21-28. doi: 10.4194/1303-2712-v19\_1\_03
22. Kida, K., Morimura, S., Abe, N. and Sonoda, Y., 1995. Biological treatment of schochu distillery wastewater. *Process biochemistry*. 30(2): 125-132. [https://doi.org/10.1016/0032-9592\(95\)80002-6](https://doi.org/10.1016/0032-9592(95)80002-6)
23. Lei, L., Gu, L., Zhang, X. and Su, Y., 2007. Catalytic oxidation of highly concentrated real industrial wastewater by integrated ozone and activated carbon. *Applied Catalysis A: General*. 327(2): 287-294. doi: 10.1016/j.apcata.2007.05.027
24. Lele, S., Rajadhyaksha, P. and Joshi, J., 1989. Effluent treatment for alcohol distillery: thermal pretreatment with energy recovery. *Environmental progress*. 8(4): 245-252. <http://dx.doi.org/10.1002/ep.3300080418>
25. Lovato, G., Batista, L.P.P., Preite, M.B., Yamashiro, J.N., Becker, A.L.S., Vidal, M.F.G., Pezini, N., Albanez, R., Ratusznei, S.M. and Rodrigues, J.A.D., شده و کواگوله شده، کاهش مشخص COD (۹۸/۵۷٪) مشاهده شد. بر اساس نتایج گزارش شده، کارایی سیستم تله ذره گیر در فاضلاب صنایع دفاعی و نظامی مشخص و مورد تأیید است و با توجه به کارایی مناسب و ارزان قیمت بودن ساخت، سیستم تله ذره گیر به عنوان سیستمی کارآمد و مقرون به صرفه در زمینه تصفیه فاضلاب صنایع دفاعی و نظامی پیشنهاد می شود.

## منابع

- Almeida, J., Monahan, A., Dionisio, J., Delgado, F. and Magro, C., 2022. Sustainability assessment of wastewater reuse in a Portuguese military airbase. *Science of the Total Environment*. 851(2): 158329. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158329
- Asaithambi, P., Susree, M., Saravanathamizhan, R. and Matheswaran, M., 2012. Ozone assisted electro coagulation for the treatment of distillery effluent. *Desalination*. 297: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.04.011>
- Azarm, L., Javadzadeh, N. and Jalilzadeh, R., 2020. Investigation of *Chlorella vulgaris* capacity in absorption of Nitrate and Phosphate from wastewater of fish farming pool in Khuzestan Province. *Journal of Animal Environment*. 12(2): 291-298. doi: 10.22034/aej.2020.107264 (In Persian)
- Balbuena, O.B.F., 2021. Sugarcane stillage treatment by membrane distillation. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE. 156 p.
- Bayat Ghiasi, L., 2019. Studying the efficiency of the BioDrOf system in reducing nitrogenous pollutants from the waste water of fishing industries. Master's Thesis, University of Tehran. 40-50. (In Persian)
- Beltrán, F.J., Garcí ía-Araya, J.F. and Álvarez, P.M., 2001. pH sequential ozonation of domestic and wine distillery wastewaters. *Water Research*. 35(4): 929-936. doi: 10.1016/s0043-1354(00)00358-4
- Bernardo, E.C., Egashira, R. and Kawasaki, J., 1997. Decolorization of molasses' wastewater using on the other hand, due to drought and water shortage in the current century, the reuse of wastewater has become an effective way to reduce problems activated carbon prepared from cane bagasse. *Carbon*, 35(9): 1217-1221. [https://doi.org/10.1016/s0008-6223\(97\)00105-x](https://doi.org/10.1016/s0008-6223(97)00105-x)
- Bruno, J.C., Eug'enio, R., Ad'elio, R.G. and 'Alvaro, G., 2021. Energy performance factors in wastewater treatment plants: a review. *Journal of Cleaner Production*. 322: 129107 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129107>
- Castellet-Viciano, L., Hern'andez-Chover, V., Hern'andez-Sancho, F., 2018. Modelling the energy costs of the wastewater treatment process: the influence of the aging factor. *Science of the Total Environment*. 625: 363-372. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.304>
- Chaudhari, P.K., Mishra, I. and Chand, S., 2008. Effluent treatment for alcohol distillery: catalytic thermal pretreatment (catalytic thermolysis) with energy recovery. *Chemical Engineering Journal*. 136(1): 14-24. doi: 10.1016/j.cej.2007.03.006

- Environmental science and technology*. 22(7): 761-767. doi: 10.1021/es00172a003
38. Pistocchi, A., Alygizakis, N.A., Brack, W., Boxall, A., Cousins, I.T., Drewes, J.E., Finckh, S., Gallé, T., Launay, M.A., McLachlan, M.S., Petrovic, M., Schulze, T., Slobodnik, J., Ternes, T., van Wezel, A., Verlicchi, P. and Whalley, C., 2022. European scale assessment of the potential of ozonation and activated carbon treatment to reduce micropollutant emissions with wastewater. *Science of the Total Environment*. 848: 157124. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.157124>
39. Qadir, M., Drechsel, P., Jimenez Cisneros, B., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P. and Olaniyan, O., 2020. Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Natural Resources Forum*. 44(1): 40-51. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12187>
40. Reis, L.C. and Sant'Anna Jr, G.L., 1985. Aerobic treatment of concentrated wastewater in a submerged bed reactor. *Water Research*. 19(11): 1341-1345. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(85\)90298-2](https://doi.org/10.1016/0043-1354(85)90298-2)
41. Rezaei, K., 2015. Investigating the efficiency of the biodraft system in the treatment of wastewater from the cultivation of some aquatic animals. Master's Thesis, University of Tehran. 86-98. (In Persian)
42. Satyawali, Y. and Balakrishnan, M., 2008. Wastewater treatment in molasses-based alcohol distilleries for COD and color removal: a review. *Journal of Environmental Management*. 86(3): 481-497. doi: 10.1016/j.jenvman.2006.12.024
43. Sheybani, S., Sedaghatpour, A. and Mehrabani, M.M., 2013. An overview of different industrial wastewater treatment methods. The first national conference and specialized exhibition of environment, energy and clean industry, Tehran. <https://civilica.com/doc/230728> (In Persian)
44. Taherizadeh, H., Hashemifard, S.A., Izadpanah, A.A. and Ismail, A.F., 2021. Investigation of fouling of surface modified Polyvinyl chloride hollow fiber membrane bioreactor via Zinc oxide-nanoparticles under coagulant for municipal wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9(1-2): 105835. doi: 10.1016/j.jece.2021.105835
45. Thakur, C., Srivastava, V.C. and Mall, I.D., 2014. Aerobic degradation of petroleum refinery wastewater in sequential batch reactor. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. 49(12): 1436-1444. doi: 10.1080/10934529.2014.928557
46. Van Gijn, K., Zhao, Y., Balasubramaniam, A., de Wilt, H.A., Carlucci, L., Langenhoff, A.A.M. and Rijnaarts, H.H.M., 2022. The effect of organic matter fractions on micropollutant ozonation in wastewater effluents. *Water Research*. 222: 118933. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2022.118933>
47. Vijayaraghavan, K., Ramanujam, T. and Balasubramanian, N., 1999. In situ hypochlorous acid generation for the treatment of distillery spentwash. *Industrial and engineering chemistry research*. 38(6): 2264-2267. <https://doi.org/10.1021/ie980166x>
48. Walpen, N., Joss, A. and Von Gunten, U., 2022. Application of UV absorbance and electron donating capacity as surrogates for micropollutant abatement during full-scale ozonation of secondary-treated wastewater. *Water Research*. 209: 117858. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2021.117858>
2019. Viability of Using Glycerin as a Co-substrate in Anaerobic Digestion of Sugarcane Stillage (Vinasse): Effect of Diversified Operational Strategies. *Applied Biochemistry Biotechnology*. 188(3): 720-740. doi: 10.1007/s12010-019-02950-1
26. Maiorella, B., Blanch, H.W. and Wilke, C.R., 1983. By-product inhibition effects on ethanolic fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnology and bioengineering*. 25(1): 103-121. doi: 10.1002/bit.260250109
27. Maloney, S.W., Boddu, V.M. and Peyton, G.R., 1997. Advanced Oxidation Treatment of Army Industrial Wastewaters: Propellant Wastewater. US Army Corps of Engineers, Construction Engineering Research Laboratories.
28. Mandal, A., Ojha, K. and Ghosh, D., 2003. Removal of colour from distillery wastewater by different processes. *Indian Chemical Engineer*. 45(4): 264-267.
29. Maraghe Zovik, R. and Abdollahzadeh, S., 2008. New method of wastewater treatment of alcohol factory. The first international conference on the place of safety, health and environment in organizations 'Isfahan' <https://civilica.com/doc/43057>. (In Persian)
30. Mani Varnosefadarani, A., 2015. Investigating the performance of biodraft system based on algal biofilm in removing nitrogen, phosphorus and total carbon from urban raw sewage, animal husbandry and dairy industries. Master's Thesis, University of Tehran. 79-93. (In Persian)
31. Mirzaei, M., Javanshir Khoei, A. and Rezaei, K., 2023. Purification of chlorpyrifos organophosphate pesticide from Aquatic environment by using carbon nanoparticles media in a Bit Trap Filter equipped with a Bio Dr OF. *Journal of Animal Environment*. 15(1): 245-252. doi: 10.22034/aej.2022.338586.2792 (In Persian)
32. Moezzi, S.A. and Javanshir Khoei, A., 2023. Treatment of industrial wastewater of alcohol factories using a particle trap system and their potentials for aquaculture using *Daphnia (Daphnia pulex)* and Zebrafish (*Danio rerio*) as model bioindicators. *International Journal of Aquatic Biology*. 11(4): 338-353. <https://doi.org/10.22034/ijab.v11i4.1936>
33. Moezzi, S.A., Javanshir Khoei, A. and Rezaei, K., 2023. Efficiency of Bit Trap Filter in industrial wastewater treatment of alcohol factory discharge to Manjil Dam in Alborz province. *Journal of Animal Environment*. 15(2): 265-272. doi: 10.22034/aej.2022.337903.2788. (In Persian)
34. Mohamed, A.Y.A., Siggins, A., Healy, M.G., Ó hUallacháin, D., Fenton, O. and Tuohy, P., 2022. A novel hybrid coagulation-constructed wetland system for the treatment of dairy wastewater. *Science of the Total Environment*. 847: 157567. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.157567>
35. Patton, S.D., Dodd, M.C. and Liu, H., 2022. Degradation of 1,4-dioxane by reactive species generated during breakpoint chlorination: proposed mechanisms and implications for water treatment and reuse. *Journal of Hazardous Materials Letters*. 3: 100054. <https://doi.org/10.1016/J.HAZL.2022.100054>
36. Pazoki, M., Shayegan, J. and Afshari, A., 2006. Investigating the wastewater treatment methods of alcohol production units. *Journal of Environmental Studies*. 32(39): 19-32. (In Persian)
37. Peyton, G.R. and Glaze, W.H., 1988. Destruction of pollutants in water with ozone in combination with ultraviolet radiation. 3. Photolysis of aqueous ozone.

49. **Wen, J., LeChevallier, M.W. and Tao, W., 2020.** Nitrification kinetics and microbial communities of activated sludge as a full-scale membrane bioreactor plant transitioned to low dissolved oxygen operation. *Journal of Cleaner Production*. 252: 119872 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119872>.
50. **Xu, Q., Wan, Y., Wu, Q., Xiao, K., Yu, W., Liang, S., Zhu, Y., Hou, H., Liu, B., Hu, J., Yang, Y. and Yang, J., 2021.** An efficient hydrodynamic-biokinetic model for the optimization of operational strategy applied in a full scale oxidation ditch by CFD integrated with ASM2. *Water Research*. 193: 116888 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116888>
51. **Yang, K., Jinhui, P., Chandrasekar, S., Libo, Z., Hongying, X. and Xinhui, D., 2010.** Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating. *Bioresource Technology*. 101(15): 6163-6169. doi: 10.1016/j.biortech.2010.03.001
52. **Yasar, A., Ahmad, N., Chaudhry, M.N., Rehman, M.S.U. and Khan, A.A.A., 2007.** Ozone for Color and COD Removal of Raw and Anaerobically Biotreated Combined Industrial Wastewater. *Polish Journal of Environmental Studies*. 16(2): 289-294.
53. **Yavuz, Y., 2007.** EC and EF processes for the treatment of alcohol distillery wastewater. *Separation and purification technology*. 53(1): 135-140. doi: 10.1016/j.seppur.2006.08.022
54. **Yazdanbakhsh, A., Eslami, A., Abtahi, M. and Danandeh Oskouie, M., 2020.** COD removal and decolorization efficacy of ozonation process in spiral high pressure super mixing reactor for treatment of alcohol distilleries wastewater. *Journal Health in the Field*. 7(3): 29-39. doi: 10.22037/jhf.v7i3.2774 (In Persian)
55. **Zhang, Q., Wang, C., Jiang, L., Qi, J., Wang, J. and He, X., 2018.** Impact of dissolved oxygen on the microbial community structure of an intermittent biological aerated filter (IBAF) and the removal efficiency of gasification wastewater. *Bioresource Technology*. 255: 198-204. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.115>.
56. **Zhang, Z., Wu, Y., Luo, L., Li, G., Li, Y. and Hu, H., 2021.** Application of disk tube reverse osmosis in wastewater treatment: a review. *Science of the Total Environment*. 792: 148291. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.148291>.