Technical Strategies in Water Systems
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
ISSN (Online): 2981-1449
Spring 2024: Vol 1, Issue 4, 318-336
https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.783902

Research Article

Feasibility of treating the wastewater from herbs and rose water extraction factories and choosing the appropriate method (case study of Kashan Industrial Towns Company)

Farzaneh Qaderi Nasab[1]*, Mahsa Sahhafi pour[2], Mozhgan Mirzaee[3]

1 PhD in Water Science and Engineering, Water Resources Engineer, Kerman Regional Water Company, Kerman, Iran.
2 Master's Student in Environmental Engineering, Daneshpajoohan Pishro Higher Education Institute, Isfahan, Iran.
3 Faculty Member of Daneshpajoohan Pishro Higher Education Institute, Isfahan, Iran.

Corresponding Author: ghaderifarzane@gmail.com
© The Author(s)2024

Received: 12 Jan 2024 Accepted: 16 Jun 2024 Published: 14 Jul 2024

Abstract

Nowadays, with advances in technology and the use of industrial methods instead of traditional methods, the production of rose water and herbal distillates has significantly increased. In producing rose water and herbal distillates, a large amount of wastewater is generated. This is happening while drought, water crisis, and industrial growth have pushed Iran to purify and reuse this wastewater. In this research, the purifiability of wastewater from herbal distilleries and rose water factories in the large industrial townships of Kashan city, located in Isfahan province, was investigated. To this end, the available records and documents were reviewed, followed by field visits and the collection of wastewater samples. Necessary analyses were then conducted on the collected data. In the stage of suspended solids removal, the use of cloth filters, alum coagulant (Al_2 $(SO_4)_3$), ferric chloride ($FeCl_3$), and polyaluminum chloride (PAC) were studied. Furthermore, in the stage of organic matter removal, the use of potassium permanganate ($KMnO_4$) and the experiences of other researchers, as well as the use of ozone, was examined. Subsequently, ozone treatment and simultaneous use of ozone and UV were investigated and analyzed, and a corresponding pilot was constructed.
In the process of producing rose water and herbal distillates, a large amount of wastewater is generated. This is happening while drought, water crisis, industrial growth have pushed Iran to purify and reuse this wastewater. In this research, the profitability of wastewater from herbal distilleries and rose water factories in the large industrial townships of Kashan city, located in Isfahan province, was investigated. To this end, the available records and documents were reviewed, followed by field visits and collection of wastewater samples. Necessary analyses were then conducted on the collected data. In the stage of suspended solids removal, the use of cloth filters, alum coagulant (Al_2 $(SO_4)_3$), ferric chloride ($FeCl_3$), and polyaluminum chloride (PAC) were studied. Furthermore, in the stage of organic matter removal, the use of potassium permanganate (KMnO4) and the experiences of other researchers, as well as the use of ozone, was examined. Subsequently, ozone treatment and simultaneous use of ozone and UV were investigated and analyzed, and a corresponding pilot was constructed. The results showed that approximately 50% of the organic matter can be removed through coagulation and flocculation, and the remaining can be eliminated through an advanced oxidation process (ozone + UV) with sufficient retention time. As a result, in high capacities of wastewater it is recommended to use an anaerobic treatment method, ozonation of the outlet of the treatment plant and filtrating leads to achieve complete wastewater treatment in accordance with the discharge standards into the environment. Therefore, this method has been introduced as a suitable method for wastewater treatment in Kashan Industrial Towns Company.

***Keywords**:* Wastewater treatment, Rose water extraction, Coagulation, Anaerobic treatment, Ozonation, Advanced oxidation

مجله راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
شاپا الکترونیکی: ۱۴۴۹-۲۹۸۱
بهار ۱۴۰۳، دوره یک، شماره۴، ۳۳۶-۳۱۸
https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.783902

مقاله پژوهشی

امکان سنجی تصفیه فاضلاب کارخانه‌های عرقیجات و گلاب‌گیری و انتخاب روش مناسب (مطالعه موردی شرکت شهرک‌های صنعتی کاشان)

فرزانه قادری نسب [۱*]، مهسا صحافی پور [۲]، مژگان میرزایی [۳]

۱. دکتری علوم و مهندسی آب، کارشناس منابع آب، شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، کرمان، ایران.
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، موسسه آموزش عالی دانش‌پژوهان پیشرو، اصفهان، ایران.
۳. هیات علمی موسسه آموزش عالی دانش‌پژوهان پیشرو، اصفهان، ایران.

نویسنده مسئول: ghaderifarzane@gmail.com
© The Author(s) 2024

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۲ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷ چاپ: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴

چکیده

در فرایند گلاب‌گیری و تولید عرقیجات گیاهی، مقدار زیادی پساب تولید می‌شود. در این مطالعه تصفیه فاضلاب کارخانه‌های عرقیجات و گلاب‌گیری شرکت شهرک‌های صنعتی برزک، استان اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ضمن بازدید میدانی و جمع‌آوری نمونه‌های فاضلاب و تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آن آنالیزهای لازم انجام شد. در مرحله بررسی حذف مواد معلق با استفاده از صافی پارچه‌ای، منعقدکننده‌های آلوم ($Al_2(SO_4)_3$)، کلروفریک ($FeCl_3$) و پلی‌آلومینیوم کلراید (PAC) بررسی شدند. در مرحله بررسی حذف مواد آلی محلول، استفاده از فرات ۶ یا فرات پتاسیم (FeK_2O_4)، تجربیات سایر محققان و ازن مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه ازن‌زنی و استفاده هم‌زمان از ازن و UV، بررسی و آنالیز گردید و پایلوت مربوط ساخته شد. مشخصات کیفی فاضلاب عرقیجات مختلف و گلاب‌گیری نشان داد که COD فاضلاب‌های مختلف بین ۱۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰ متغیر می‌باشد. بیشترین حجم فاضلاب تولیدی در زمان گلاب‌گیری بوده و از لحاظ بار آلودگی نیز بیشترین COD را دارد. بررسی حذف مواد آلی با استفاده از صافی پارچه‌ای نشان داد گرچه استفاده از صافی پارچه‌ای مقدار COD فاضلاب از ۳۱۰۶۵ (نمونه خام) به ۲۸۰۱۰ رسانده است اما رضایت بخش نمی‌باشد. در نتیجه مطالعه مشخص شد منعقدکننده‌های آلوم ($Al_2(SO_4)_3$) و کلروفریک ($FeCl_3$) برای حذف ذرات معلق فاضلاب صنایع گلابگیری و عرقیجات (با توجه عدم تشکیل لخته بیولوژیکی در همه pHهای مورد بررسی) علمکرد نامناسبی دارند، اما استفاده از منعقدکننده پلی‌الکترولیت می‌تواند ذرات معلق موجود در فاضلاب گلاب‌گیری را به خوبی به لخته قابل ته‌نشین تبدیل نماید و COD را به مقدار بیش از ۷۰ درصد کاهش دهد. در این مطالعه بهترین ته‌نشینی در pH معادل ۱۱ و بیشترین درصد حذف COD در pH معادل ۹ رخ داد. همچنین نتایج سایر آنالیزها نشان داد در فرایند انعقاد و لخته‌سازی حدود ۵۰ درصد مواد آلی حذف می‌گردد و مابقی آن را می‌توان طی فرایند اکسیداسیون پیشرفته (ازن + UV) طی زمان ماند مناسب حذف نمود. در حجم‌های زیاد فاضلاب، با روش تصفیه بی‌هوازی، ازن‌زنی خروجی تصفیه‌خانه و فیلتراسیون، تصفیه فاضلاب در حد استاندارد می‌شود. لذا این روش به عنوان روش مناسب تصفیه فاضلاب کارخانه‌های عرقیجات و گلاب‌گیری برزک معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه فاضلاب، گلاب‌گیری، انعقاد، تصفیه بی‌هوازی، ازن‌زنی، اکسیداسیون پیشرفته

۱- مقدمه

مجموعه فعالیت‌هایی که به منظور بی‌خطر نمودن فاضلاب‌های مختلف برای تخلیه در محیط، آب‌های جاری یا استفاده مجدد انجام می‌شود، تصفیه نام دارد. به عبارتی متناسب سازی منابع آب برای استفاده خاص آن تصفیه نامیده می‌شود. تصفیه فاضلاب رایج شامل ترکیبی از فرآیندهای بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی و عملیات حذف مواد آلی، جامدات و گاهی اوقات مواد مغذی از فاضلاب است (Sonune & Ghate, 2004). فرآیندهای تصفیه فاضلاب، نقش اساسی در حفظ محیط زیست پایدار و سلامت بشر ایفا می‌کنند. به‌واسطه فعالیت‌های انسانی به ویژه در بخش صنعت، مقدار زیادی فاضلاب مملو از مواد شیمیایی و سمی تولید شده که نه تنها باعث مشکلات زیست‌محیطی شده، بلکه اثرات جبران ناپذیری بر سلامت عمومی بشر نیز بر جای خواهد گذاشت (Liu & Tay, 2004). از این رو ضروری است پساب فاضلاب صنعتی قبل از رهاسازی در محیط تصفیه شود. امروزه روش‌های تصفیه بیولوژیکی فاضلاب به دلیل مقرون‌به‌صرفه بودن در تصفیه و راندمان بالا در مقایسه با روش‌های متداول تصفیه فاضلاب، یک رویکرد عالی در فرآیند تصفیه فاضلاب صنعتی به شمار می‌روند(Meena et al., 2022).

گل محمدی گیاهی با ارزش اقتصادی بالا است که در صنعت تقطیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقادیر زیادی پساب از صنعت گلاب‌گیری ایجاد می‌شود. از تقطیر ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم گل محمدی، ٤۰۰۰ لیتر پساب تولید می‌شود که حاوی مواد پلی‌فنلی است که به سختی تجزیه می‌شوند و بنابراین باید به عنوان آلودگی‌های زیستی تصفیه شوند. تاکنون چندین تکنولوژی برای کاهش آلودگی‌های ناشی از فاضلاب صنایع تقطیری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تصفیه بیولوژیکی فاضلاب تقطیری به صورت هوازی یا بی‌هوازی یا ترکیب هر دو بخصوص زمانی که نسبت COD/BOD برابر ۱/۸ تا ۱/۹ باشد، مناسب است. تصفیه بی‌هوازی پساب‌هایی که بار آلی بالایی دارند برای جلوگیری از مشکلاتی مانند حجیم شدن لجن و عدم توانایی سیستم برای حذف BOD یا COD مناسب بوده و از هدر رفتن انرژی جلوگیری می‌کند (Jiménez et al., 2003). بعلاوه زمانی که نسبت BOD:N:P برابر با ۰/۳: ۲/٤: ۱۰۰ باشد روش‌های تصفیه بی‌هوازی در مرحله اول پیشنهاد می‌شود (Lata et al., 2002). تصفیه پساب صنعتی از طریق بیوراکتور نیز یکی از بهترین روش‌های تصفیه فاضلاب محسوب می‌شود. راکتورها بخش اصلی هر روش مبتنی بر بیوتکنولوژی برای تجزیه زیستی میکروبی یا آنزیمی، تبدیل زیستی و زیست پالایی هستند (Babuponnusami et al., 2023). هم در کشورهای صنعتی و هم در کشورهای در حال توسعه، راکتور پتانسیل قابل توجهی برای تولید بیوگاز دارد. در بسیاری از مطالعات، از ترکیب جریان ورودی و راکتور مخزن همزن پیوسته (CSTR[1]) استفاده شده است (Mao et al., 2015).

(Kuswandi & Yanqoritha, 2023) در مطالعه‌ای با هدف بررسی تعیین اثر افزودن فلز کمیاب $FeCl_3$ بر تولید بیوگاز و توانایی حذف آلاینده‌ها در تصفیه فاضلاب انجام دادند، نتیجه گرفتند فلز کمیاب $FeCl_3$ در فرآیند بی هوازی منبع تغذیه‌ای برای افزایش رشد میکروارگانیسم‌ها بوده و در نتیجه استفاده از آن تولید بیوگاز و حذف آلاینده‌ها افزایش می‌یابد.

(Kastali et al., 2021) در فرایند تصفیه فاضلاب به منظور حذف کدورت و تولید لجن از SIWW[2] (فاضلاب صنعتی فولاد غنی از $FeCl_3$ 30%)، به عنوان یک منعقد کننده مفید و سودآور استفاده کردند تا کارایی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی را با استفاده از کلریدآهن مورد ارزیابی قرار دهند. نتایج بدست‌آمده با استفاده از $FeCl_3$ 30% (SIWW) نشان داد که pH تأثیر بسیار مهمی در کاهش کدورت دارد.

(Phan et al., 2022) به منظور بررسی اثر ازن بر تجزیه‌پذیری زیستی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری، پساب ٤ تصفیه خانه فاضلاب شهری اتریش را مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه آن‌ها BOD_5 قبل از ازن‌زنی و پس از استفاده از دوزهای مختلف ازن (0.4, 0.6 and 0.8 g O_3/g DOC) اندازه‌گیری شد. همچنین سایر پارامترهای آلی مورد بررسی شامل اکسیژن مورد نیاز شیمیایی

[1] Continuous-Stirred Tank Reactor
[2] Industrial Steel Wastewater

(COD)، کربن آلی محلول (DOC)، جذب UV در ۲۵٤ نانومتر (UV254)، نیز اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد در فعالیت بیولوژیکی افزایش وابسته به دوز پس از ازن زنی رخ خواهد داد. این افزایش با افزایش زیست تخریب پذیری موادی که نسبت به تجزیه زیستی در تصفیه لجن فعال متداول مقاوم هستند مرتبط بود.

در مطالعه (Rahimi et al., 2018) کارایی فرآیند ازن‌زنی کاتالیزوری[3](COP) با نانوکامپوزیت کربنی مغناطیسی، به عنوان یک کاتالیزور جدید، بر تجزیه رنگ و کانی‌سازی ملاس مورد بررسی قرار گرفت و نتایج با نتایج حاصل از فرآیند ازن‌زنی منفرد[4](SOP) و گرانول فعال مقایسه شد. نانوکامپوزیت با روش هم رسوبی سنتز و با ازن‌زنی در COP اعمال شد. سپس پارامترهای تاثیرگذار مانندpH، دوز کاتالیزور و اثر هم‌افزایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. غلظت باقیمانده رنگ، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و کربن آلی کل (TOC) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که راندمان تخریب رنگ، COD و TOCدر COP به ترتیب ۹۵، ۵۱ و ۷٤ درصد است و بیشترین بازده نانوکامپوزیت در pH بهینه ۸ بدست آمد. اما نتایج حذف رنگ در COP (95%) بالاتر از SOP (71%) و GAC[5] ازن‌زنی (۸٦٪) بود.

سازمان محیط زیست ایران بر طبق استانداردهای تصفیه فاضلاب سازمان جهانی بهداشت، میزان تصفیه فاضلاب‌ها را بر اساس اقدامات بعد از آن (تخلیه به آب‌های جاری، تخلیه به چاه جاذب، تخلیه به تصفیه‌خانه شهرک صنعتی و مصارف کشاورزی) تعیین می‌کند که استاندارد آن مطابق جدول (۱) می باشد.

جدول (۱) میزان تصفیه پارامتر های پساب برای اقدامات بعدی

Table 1. The amount of treatment of wastewater parameters based on the next steps

پارامتر	واحد	تخلیه به آب‌های جاری	مصارف کشاورزی	تخلیه به چاه-های جاذب	تخلیه به تصفیه‌خانه شهرک صنعتی
pH	–	6.5-8.5	5-9	6-8.5	6.5-8.5
Color	PCU	Max75	Max75	Max75	–
Turbidity	NTU	Max50	–	Max50	–
TDS	mg/lit	–	–	–	–
TSS	mg/lit	Max40 Max60 لحظه‌ای	–	Max100	Max300
DO	mg/lit	min2	–	min2	–
COD	mg/lit	Max60 Max100 لحظه‌ای	Max60 Max100 لحظه‌ای	Max200	Max2000
BOD	mg/lit	Max30 Max50 لحظه‌ای	Max30 Max50 لحظه‌ای	Max100	Max1000
T.Coliforms	/100mL	Max1000	Max1000	Max1000	–
F.coliforms	/100mL	Max4000	Max4000	Max4000	–

از آنجایی‌که تصفیه فاضلاب یکی از چالش‌ها و اولویت‌های تحقیقاتی شرکت شهرک‌های صنعتی استان اصفهان به شمار می‌رود و از طرفی تصفیه فاضلاب، استفاده مجدد از آب و رساندن فاضلاب به حد استاندارد به منظور رهاسازی در محیط اهمیت قابل توجهی دارد. به منظور تصفیه فاضلاب گلاب‌گیری و عرقیجات کارخانه‌های شهرک صنعتی برزک در شهرستان کاشان چندین روش مورد بررسی قرار گرفت و درنهایت بهترین روش پیشنهاد شد.

[3] Catalytic Ozonation Process
[4] Single Ozonation Process
[5] Granular Activated Carbon

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

کارخانجات عرقیات و گلاب‌گیری مورد مطالعه در بخش برزک از شهرستان کاشان قرار گرفته است. این کارخانجات حدوداً در فاصله ۲ کیلومتری شمال غرب برزک و ۲۲ کیلومتری جنوب غرب کاشان واقع شده است. از لحاظ موقعیت جغرافیایی کارخانجات مذکور در "۱۵ '٤٨ '۳۳ تا "۳٦ ۳۸ '۳۳ شمالی و "۱۲ '۱۲ '۵۱ تا "۲۱ '۱۲ '۵۱ شرقی قرار گرفته است. در شکل(۱) موقعیت شهرستان کاشان در استان اصفهان، موقعیت بخش برزک در شهرستان کاشان و همچنین موقعیت کارخانجات عرقیات و گلاب‌گیری نشان داده شده است.

شکل ۱- موقعیت شهرستان کاشان در استان اصفهان، موقعیت بخش برزک در شهرستان کاشان و موقعیت کارخانجات عرقیات و گلاب‌گیری

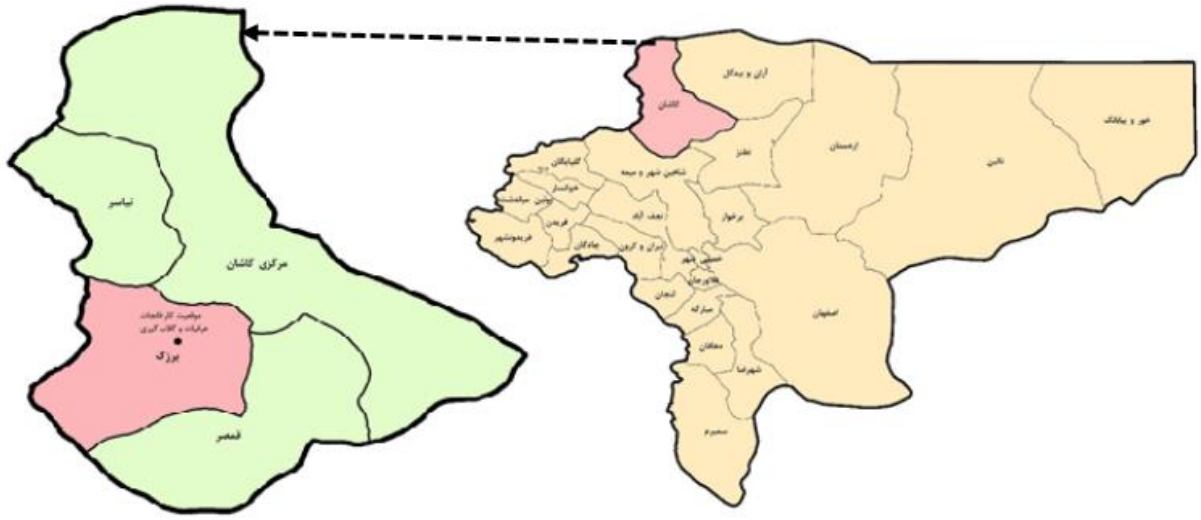

Fig 1. The location of Kashan city in Isfahan province, the location of Barzak district in Kashan city, and the location of herbs and rose water extraction factories

۲-۲- برآورد کل فاضلاب تولیدی درکارخانجات عرقیات و گلاب‌گیری برزک

مطابق بازدید میدانی مشخص شد در تولید گلاب و عرقیات به روش صنعتی از ماشین آلات پیشرفته با قطعات استیل زنگ‌نزن استفاده می‌شود. ابتدا گل محمدی (و یا گیاهان دارویی مورد نظر) به همراه آب در دیگ‌های استیل قرار گرفته و سپس بخار آب از لابلای مخلوط گل و آب عبور داده می‌شود. مراحل تقطیر انجام و بخارات حاصله در مبردها که دارای لوله آب با جریان آب سرد می‌باشند، خنک و به مایع تبدیل می‌گردند سپس گلاب و یا عرقیات تولیدی به مخازن استیل منتقل می‌شوند.

در حال حاضر در شهر برزک ٦ کارخانه عرقیات و گلاب‌گیری وجود دارد که ۵ کارخانه فعال می‌باشد. به طور متوسط هر کارخانه داری ۳ تا ٤ عدد دیگ یک تنی و یا ٦ دیگ ۵۰۰ کیلویی می‌باشد. در زمان گلاب‌گیری (اردیبهشت ماه) حدود ۱۵ روز، فرایند گلاب‌گیری طول می‌کشد. در این فرایند گلبرگ‌های گل محمدی به همراه کاسبرگ داخل دیگ ریخته می‌شود و حدود ۱۲۵۰ لیتر آب بر روی آن ریخته می‌شود. از هر دیگ یک تنی حدود ۵۰۰ لیتر گلاب برداشت می‌شود و مابقی آن که حدود ۷۵۰ لیتر می‌باشد به عنوان فاضلاب به همراه تفاله‌های آن به خارج از سالن هدایت می‌گردد. در خصوص بیدمشک نیز شرایط به همین منوال است و فاضلاب زیادی (بیش از نصف آب مصرفی) تولید می‌گردد. در خصوص سایر عرقیات که از گیاهان دارویی نظیر، کاسنی، شاطره، بومادران، نعناع، برگ گردو، زیتون و بابونه، استخراج می‌شود، میزان آب ته دیگ که به عنوان فاضلاب به بیرون از سالن هدایت

می‌شود بسیار کم‌تر از میزان فاضلاب تولیدی در فرایند گلاب‌گیری و عرق‌گیری از بیدمشک است. به طوری که از هر دیگ یک تنی حدودا ۱۰۰ تا ۲۰۰ لیتر (متوسط ۱۵۰ لیتر) فاضلاب تولید می‌شود. پس از هر پخت، دیگ‌ها، شسته شده و برای پخت بعدی آماده می‌گردد. در هر بار شست‌وشو حدود ۲۰۰ لیتر آب مصرف می‌شود که در حوضچه‌های خارج از سالن با فاضلابی که از ته دیگ خارج شده است مخلوط می‌شود. بر اساس اطلاعات فوق میزان تولید فاضلاب به شرح جدول (۲) برای هر کارخانه پیش بینی می‌شود.

جدول۲- برآورد کل فاضلاب تولیدی هرکارخانه عرقیات و گلاب‌گیری برزک (منبع: برآورد نویسندگان)

Table 2. Estimate of the total wastewater produced by each herbal distillates and rose water extraction factory in Barzak,(Source: Authors' estimate)

شرح	مقدار	واحد
متوسط تعداد دیگ ۱ تنی هر کارخانه	٤	–
تعداد روزهای گلاب‌گیری در سال	۱۵	–
تعداد روزهای بید مشک	۲۰	–
تعداد روزهای سایر عرقیات	۲۵۰	–
تعداد پخت گلاب در روز برای هر دیگ	٤	–
تعداد پخت بیدمشک در روز برای هر دیگ	۳	–
تعداد پخت سایر عرقیات به ازای هر دیگ	۲	–
تعداد کل پخت‌ها در سال	۲٤۸۰	–
آب مورد نیاز در هر شست‌وشو	۱۵۰	لیتر
میزان فاضلاب هر دیگ گلاب	۷۵۰	لیتر
میزان فاضلاب هر دیگ بید مشک	۷۵۰	لیتر
میزان فاضلاب هر دیگ سایر عرقیات	۱۵۰	لیتر
میزان فاضلاب شست‌وشو در سال	۳۷۲	متر مکعب در سال
میزان فاضلاب گلاب در سال	۱۸۰	متر مکعب در سال
میزان فاضلاب بیدمشک در سال	۱۸۰	متر مکعب در سال
میزان فاضلاب سایر عرقیات در سال	۳۰۰	متر مکعب در سال
کل فاضلاب تولیدی هر کارخانه در سال	۱۰۳۲	متر مکعب در سال
متوسط فاضلاب تولیدی روزانه هر کارخانه	۳ ~ ۲/۸	متر مکعب در روز

۲-۳- نمونه‌گیری و آنالیز کیفی فاضلاب صنایع گلاب‌گیری و عرقیات

فرایند نمونه‌گیری از فاضلاب صنایع عرقیات و گلاب‌گیری با همکاری تعدادی از کارخانه‌داران و کارگران آن‌ها انجام شد. نمونه‌ای از فاضلاب تولیدی گلابگیری در شکل (۲) نشان داده شده است.

شکل ۲- نمونه فاضلاب تولیدی در فرایند گلاب‌گیری

Fig 2. Sample of wastewater produced in the process of rose water extraction

پس از نمونه‌گیری در زمان‌های مختلف، آنالیزهای کیفی نمونه‌ها در آزمایشگاه مرکز تحقیقات زیست محیطی زنده‌رود انجام شد. نتایج مشخصات کیفی فاضلاب خام در مرحله اول نمونه‌گیری در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳- نتایج برخی از آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی انجام شده بر روی نمونه‌های مرحله اول

Table 3.The results of some physical and chemical tests on the samples of the first stage

پسماند	T (°C)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	TDS (mg/L)	EC (ms/cm)	pH
گل محمدی	۲۰/٦	۳٥٤۱٥	٦۰٦۰	۳۱٦۰	٦۳۲۰	٥/۰۷
کاسنی	۲۰/٦	۳۲۲٥۰	۱٥۲۰	۲۱۱۰۰	٤۲۱۰۰	٤/۹۱
بهار نارنج	۱۱/٥	۱۲۹۰۰	۷۲۲۰	۱٤۸۰	۲۹٤۰	٤/٥۱
خارشتر	۲۱/۱	۲٦٤۰۰	٤۳٤۰	٥٥٥۰	۱۱۱۰۰	٤/۰۱
برگ گردو	۲۰/٥	۲۸۸۰۰	۱٦٥۰	٤۸۲۰	۹٦۳۰	٥/۱۳

قابل ذکر است جهت حصول اطمینان از کارکرد صحیح دستگاه‌ها، و معتبر بودن نتایج، علاوه بر انجام آزمایش‌ها در داخل آزمایشگاه مرکز تحقیقات زیست‌محیطی زنده‌رود، دو نمونه به آزمایشگاه کنترل کیفیت سازمان مدیریت پسماند نیز ارسال گردید تا از صحت آنالیز صورت پذیرفته اطمینان حاصل شود. نتایج برخی از آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی انجام شده بر روی نمونه‌های مرحله اول در جدول (٤) نشان داده شده است.

جدول ٤- نتایج برخی از آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی انجام شده بر روی نمونه‌های مرحله اول

Table 4.The results of some physical and chemical tests on the samples of the first stage

پارامتر کیفی	COD (mg/L)		TDS (mg/L)		TSS (mg/L)	
انجام شده توسط	آزمایشگاه مرکز تحقیقات زیست محیط زنده‌رود	آزمایشگاه کنترل کیفیت سازمان مدیریت پسماند	آزمایشگاه مرکز تحقیقات زیست محیط زنده‌رود	آزمایشگاه کنترل کیفیت سازمان مدیریت پسماند	آزمایشگاه مرکز تحقیقات زیست محیط زنده‌رود	آزمایشگاه کنترل کیفیت سازمان مدیریت پسماند
کاسنی	۳۲۲٥۰	۳٥۱۰۰	۲۱۱۰۰	٥٦٤٤۸	۱٥۲۰	۱۳۹٤
بهار نارنج	۱۲۹۰۰	۱۲۲۰۰	۱٤۸۰	۱۸٥۰	۷۲۲۰	۷۰٤۸
گل محمدی	۳٥٤۱٥	۲۳٤٥۰	۳۱٦۰	۳۹۹۰	٦۰٦۰	٥۸۳۸

۲-٤- انجام مطالعات فرایندی

مطالعات فرایندی که بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی داخل آزمایشگاه مرکز تحقیقات زیست محیطی زنده‌رود انجام شد به شرح ذیل می‌باشد:

حذف جامدات

تجزیه و تحلیل نتایج نشان می‌دهد که کیفیت فاضلاب عرقیات مختلف متفاوت می‌باشد و تا حد زیادی به نوع عرقیاتی که تولید می‌شود بستگی دارد. با توجه به این‌که در صنایع گلاب‌گیری و عرقیات، از ریشه، برگ، گلبرگ، یا سایر اجزای گیاهان استفاده می‌شود و این مواد همراه با جریان فاضلاب به خارج از سالن تولید هدایت می‌گردد، بایستی قبل از تجزیه شدن آن‌ها، نسبت به حذف آن‌ها از جریان فاضلاب اقدام گردد. بنابراین اولین واحد جهت تصفیه فاضلاب صنایع عرقیات و گلاب‌گیری واحد آشغالگیری می‌باشد که شامل آشغالگیر دهانه درشت برای حذف جامدات درشت مانند شاخ ، برگ و ریشه گیاهان و آشغالگیر دهانه ریز برای حذف جامدات ریزتر مانند گلبرگ‌ها می‌باشد.

حذف مواد معلق

علاوه بر مواد جامد درشت، فاضلاب صنایع گلاب‌گیری و عرقیات حاوی مقادیر زیادی مواد معلق نیز می‌باشد که ناشی از ریشه، برگ، گلبرگ یا سایر اجزای گیاهان مختلف می‌باشد که در داخل دیگ‌ها قرار می‌گیرند. برخی از گیاهان مانند کاسنی، به طور مستقیم داخل آب در حال جوشیدن ریخته نمی‌شوند و داخل کیسه‌هایی بر روی بسکت قرار داده شده و به درون دیگ هدایت می‌گردند. در این گونه موارد، مقادیر کم‌تری از اجزای گیاه وارد فاضلاب شده و این گونه فاضلاب‌ها، دارای مقادیر TSS کم‌تری نسبت به فاضلاب صنایع گلاب‌گیری یا عرقیات بهار نارنج هستند.

با توجه به این‌که مواد معلق موجود در فاضلاب‌ها، از نوع آلی می‌باشند، وجود آن‌ها باعث تجزیه شدنشان و افزایش بار آلی فاضلاب می‌گردد. حذف مواد معلق قبل از هر گونه تصفیه بیولوژیکی یا شیمیایی، می‌تواند بار آلی ورودی به واحدهای بعدی تصفیه را به مقدار زیادی کاهش دهد. برای این منظور می‌توان از منعقدکننده‌های مختلف و همچنین کمک منعقدکننده استفاده نمود، تا ذرات معلق در کنار یکدیگر تشکیل یک لخته بیولوژیکی داده و از فاضلاب جدا گردد. بنابراین، پس از واحد آشغالگیری استفاده از واحدهای انعقاد، لخته‌سازی و واحد جدا کننده لخته‌ها می‌تواند باعث حذف بخش قابل توجهی از مواد آلی موجود در فاضلاب گردد. برای این منظور موارد زیر بر روی نمونه‌های فاضلاب انجام گرفت.

حذف مواد معلق شامل حذف مواد آلی با استفاده از صافی پارچه‌ای

در این روش از یک پارچه ضخیم با منافذ بسیار ریز استفاده گردید و به این طریق مواد معلق موجود در فاضلاب حذف گردید.

استفاده از منعقدکننده آلوم ($Al_2O_3H_2O$)

به منظور بررسی کارایی ماده منعقد کننده آلوم در حذف ذرات معلق، مقدار ٤ میلی‌گرم از آن در pH ۸ تا ۱۲ مورد آزمایش قرار گرفت. برای تنظیم pH قبل از فرایند انعقاد، از محلول سود استفاده شد.

استفاده از منعقدکننده کلروفریک ($FeCl_3$)

همانند آزمایش‌هایی که برای آلوم انجام گردید، برای بررسی کارایی ماده منقعد کننده کلروفریک جامد در حذف ذرات معلق نیز، مقدار ۲ میلی‌گرم از کلروفریک در pHهای ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ مورد آزمایش قرار گرفت. برای تنظیم pH قبل از فرایند انعقاد، از محلول سود استفاده شد.

استفاده از منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید (PAC)

برای این منظور ابتدا پلی‌آلومینیوم کلراید، با درصد خلوص ۵۰ درصد، مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا ۱۰۰ گرم از پودر PAC با یک لیتر آب مخلوط گردید و سپس در آزمایش‌های جار، به میزان لازم از محلول مذکور استفاده گردید. مطابق تجربیات کارشناس آزمایشگاه در خصوص استفاده از PAC، ابتدا به کمک محلول سود سوزآور، pH فاضلاب بر روی ۱۱ تنظیم گردید و سپس با استفاده از ۲۵ میلی‌لیتر محلول PAC، مقدار pH خنثی گردید. سپس به کمک ۵ میلی‌لیتر پلی‌الکترولیت، فرایند انعقاد تکمیل گردید. به منظور بهینه‌سازی مقدار پلی‌آلومینیوم کلراید آزمایش‌ها به شرح زیر ادامه یافت. با توجه به مثبت بودن نتایج آزمایش‌های انجام شده با استفاده از منعقدکننده PAC، تصمیم گرفته شد که به منظور واقعی کردن نتایج در صنعت، از PAC صنعتی با درصد خلوص ۲۸ درصد صنعتی استفاده گردد. پودر مذکور نیز به مقدار ۱۰۰ گرم در یک لیتر آب حل گردید و محلول حاصل به عنوان محلول منعقد کننده در آزمایش‌های جار مورد استفاده قرار گرفت.

جهت انجام آزمایش‌های جار، فاضلاب با pH های مختلف (٤/٤٧ مربوط به فاضلاب خام ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳) به حجم ۲ لیتر، آماده گردید و از محلول PAC به مقدار ۵۰ میلی‌لیتر به هرکدام اضافه گردید. مشاهده گردید که در pHهای کم فلوک‌های بسیار ریز تشکیل شد و با افزایش pH فلوک‌های درشت‌تر تشکیل شدند ولی قابلیت ته‌نشینی آن‌ها بسیار کم بود. بنابراین تصمیم گرفته شد مقدار PAC به دو برابر افزایش یابد. آزمایش‌ها مجددا با مقدار PAC معادل ۱۰۰ میلی‌لیتر تکرار گردید. نتایج حاصل در قسمت نتایج ارائه شده است. مکانیزم پک به گونه‌ای است که از طریق تولید یون‌های هیدروکسیل و پلیمرهای آنیونی چند ظرفیتی، باعث تشکیل فلاک‌های سنگین و ماکرو مولکول‌های غیرآلی بزرگ که همان لخته‌ها هستند، در آب می‌شود. این مکانیزم سرعت ناپایدارسازی ذره‌ای و سرعت ته‌نشینی کلوئیدها را افزایش می‌دهد. در نتیجه جداسازی و ته‌نشینی بهتر و سریع‌تر انجام می‌شود. محدوده‌ی pH آن بین ۵ الی ۹ می‌باشد. مصرف پک باعث کاهش ناخالصی‌های آلی آب می‌شود.

حذف مواد آلی محلول

حذف مواد آلی محلول با استفاده از فرات ٦ یا فرات پتاسیم (FeK_2O_4): فرات پتاسیم یک اکسید کننده بسیار قوی می‌باشد که برای اکسید کردن مواد آلی استفاده می‌شود. در این تحقیق از فرات ٦ در شرایط مختلفی استفاده گردید.

۱- بر روی پساب صاف شده از کاغذ صافی

۲-پساب آزمایش جار (منعقدکننده PAC) پس از انعقاد و ته‌نشینی

۳-پساب آزمایش جار (منعقدکننده آلوم) پس از انعقاد و ته‌نشینی

استفاده از گاز ازن

به منظور ازن‌زنی از یک دستگاه ازن‌ساز (۱۲ گرم در ساعت)، ساخت کمپانی آمریکا استفاده گردید. برای تغذیه دستگاه از گاز اکسیژن خالص استفاده شد. ازن‌زنی فاضلاب، به دو روش زیر انجام شد:

۱- فاضلاب خام از توری پارچه عبور داده شد تا مواد معلق درشت موجود در فاضلاب جدا گردد. سپس عملیات ازن‌زنی بر روی آن انجام گرفت.

۲- ابتدا با استفاده از ماده منعقدکننده مواد معلق به خوبی ته‌نشین گردید، به طوری که پساب زلال (کدورت 5 NTU) حاصل شد. سپس پساب زلال با COD معادل ۱۸۵۰۰ mg/l وارد پایلوت گردید.

۲-۵- انتخاب روش تصفیه و بررسی انتخاب گزینه مناسب جهت ساخت پایلوت

با توجه به اینکه در مطالعات روش بیولوژیکی نتایج مطلوبی حاصل نشد (در زمان ماند معقول یعنی حدود ۳ تا ٤ روز، حداکثر ۷۰ درصد COD کاهش یافت). مطالعات بیشتری با زمان ماند طولانی‌تر صورت پذیرفت که در ادامه به صورت خلاصه معرفی می‌گردند:

مطالعه اول:

استفاده از لاگون بی‌هوازی با غلظت COD ورودی mg/l -۹۵۰۰۰-۶۵۰۰۰

مطالعه دوم:

استفاده از هاضم‌های مرسوم بی‌هوازی (CSTR[۶])

مطالعه سوم:

استفاده از راکتور بستر ثابت با غلظت COD ورودی معادلmg/l ۲۸۰۰۰

مطالعه چهارم:

استفاده از راکتور بستر ثابت با زمان ماند ۳ الی ٤ و COD ورودی mg/l ۹۸۰۰۰-۷۰۰۰۰

مطالعه پنجم:

استفاده از UASB[۷] در شرایط COD ورودی mg/l ۵۸۰۰۰-۱۷۰۰۰

قابل ذکر است با توجه به اینکه در کلیه مطالعاتی که به روش بیولوژیکی کار شده است نتیجه مطلوبی در مدت زمان مناسب حاصل نشده است. ضمن این بهره‌برداری از فرایندهای بیولوژیکی به دلیل حساس بودن نسبت به pH، دما و شوک بار آلی، معمولا با مشکل مواجه می‌گردد و نیاز به نیروی متخصص جهت بهره‌برداری می‌باشد. بنابراین تصمیم گرفته شد که ازن‌زنی و یکی از فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته مانند استفاده هم‌زمان ازن و UV، استفاده شود. مطالعه بر روی فاضلاب خام صاف شده و همچنین بر روی پساب فرایند انعقاد و لخته‌سازی انجام شد.

در خصوص استفاده از فاضلاب خام صاف شده، مقدار ۲ لیتر از فاضلاب صاف شده با COD معادل mg/l ۲۸۵۰۰ وارد پایلوت گردید و ازن‌زنی به مدت ٥٤ ساعت انجام گردید. به منظور مطالعه بر روی کارایی ازن + UV، تصمیم گرفته شد، به منظور کاهش میزان ازن مورد نیاز، ابتدا عمیات انعقاد و لخته‌سازی انجام و پساب حاصل وارد پایلوت گردد. بنابراین ابتدا با استفاده از ماده منعقدکننده مواد معلق به خوبی ته‌نشین گردید، به طوری که پساب زلال حاصل شد. سپس پساب زلال با COD معادل mg/l ۱۸۵۰۰ وارد پایلوت گردید. پایلوت تحقیق در شکل (۳) نشان داده شده است.

در این پایلوت فاضلاب ابتدا وارد راکتور UV شده و سپس وارد استوانه جهت ازن‌زنی می‌گردد، و پس از ازن‌زنی مجددا وارد راکتور UV می‌گردد. این سیکل بسته مرتب ادامه پیدا کرد. پس از شروع به کار پایلوت، نمونه‌گیری از فاضلاب در زمان‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ٤۰، ٦۰، ۱۲۰ دقیقه انجام شد.

[6] Continuously Stirred Tank Reactor
[7] Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor

شکل ۳- پایلوت ازن + UV بر روی پساب فرایند انعقاد

Fig 3. Ozone + UV pilot on the effluent of the coagulation process

مطالعه ششم

در تحقیق حاضر سعی بر کاهش میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) و تصفیه بیولوژیکی فاضلاب حاصل از گلاب‌گیری بود. بدین منظور آزمایش‌های متعددی به منظور کاهش COD و تصفیه بیولوژیکی فاضلاب انجام گرفت. علیرغم کاهش چشمگیر میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی (٦٦٠٠ppm به ۷۹۰ ppm)، با توجه به اینکه نتایج مورد انتظار حاصل نشد پس از تصفیه بیولوزیکی ازن‌زنی هم انجام شد. نتایج آزمایش‌ها در زمان‌های متفاوت در قسمت نتایج ارائه شده است.

فرایند ازن‌زنی

در این تحقیق جهت ازن‌زنی از دستگاه PROZONE ساخت امریکا با گنجایش ۱۲ گرم بر ساعت استفاده شد که نمونه پایلوت آماده شده جهت ازن زنی در شکل (٤) قابل مشاهده است.

شکل ٤- تجهیزات ازنی زنی مورد استفاده در تحقیق

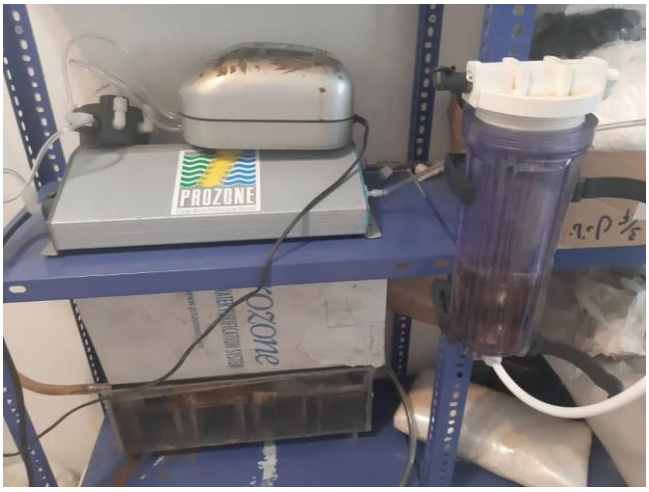

Fig 4 .Ozonization equipment used in the research

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حذف مواد آلی با استفاده از صافی پارچه‌ای

همانطور که گفته شد در این روش از یک پارچه ضخیم با منافذ بسیار ریز استفاده گردید و به این طریق مواد معلق موجود در فاضلاب حذف گردید. نتایج آزمایش COD نشان داد که مقدار COD فاضلاب از ۳۱۰۶۵ (نمونه خام) به ۲۸۰۱۰ پس از صاف کردن رسید. این مقدار حذف بسیار ناچیز می‌باشد و با توجه به کدورت بالای نمونه پس از صاف شدن مشخص گردید که مقدار زیادی از مواد آلی از توری پارچه‌ای عبور کرده‌اند.

۳-۲- نتایج استفاده از منعقدکننده آلوم ($Al_2(SO_4)_3$)

پس از تزریق ماده منعقدکننده و کمک منعقدکننده پلی‌الکترولیت به فاضلاب‌های مذکور، در هیچ یک از pHهای ذکر شده فلوک‌ها (لخته‌های بیولوژیکی) تشکیل نشد و رنگ فاضلاب به شدت تیره شد. نتایج نشان می‌دهد که ماده منعقدکننده آلوم، برای حذف ذرات معلق فاضلاب صنایع گلابگیری و عرقیات مناسب نمی‌باشد و بایستی ماده منعقدکننده دیگری مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۳- نتایج استفاده از منعقدکننده کلروفریک ($FeCl_3$)

پس از تزریق کلروفریک و کمک منعقدکننده پلی‌الکترولیت به فاضلاب‌های مذکور، در هیچ یک از pHهای ذکر شده، فلوک‌ها تشکیل نشد و رنگ فاضلاب در این مرحله نیز به شدت تیره شد. نتایج نشان می‌دهد که ماده منعقدکننده کلروفریک نیز، برای حذف ذرات معلق فاضلاب صنایع گلابگیری و عرقیات مناسب نمی‌باشد.

۳-٤- نتایج استفاده از منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید (PAC)

نتایج نشان داد که استفاده از منعقدکننده پلی‌الکترولیت می‌تواند ذرات معلق موجود در فاضلاب گلاب‌گیری را به خوبی به لخته قابل ته‌نشین تبدیل نماید و COD را به مقدار بیش از ۷۰ درصد کاهش دهد. با توجه به مثبت بودن نتایج آزمایش‌های انجام شده با استفاده از منعقدکننده PAC، تصمیم گرفته شد که به منظور واقعی کردن نتایج در صنعت، از PAC (PAC صنعتی با درصد خلوص ۲۸ درصد) صنعتی استفاده گردد. در نتیجه مطالعه مشاهده گردید که در pHهای کم فلوک‌های بسیار ریز تشکیل شد و با افزایش pH فلوک‌های درشت تر تشکیل شدند ولی قابلیت ته‌نشینی آن‌ها بسیار کم بود. در شکل (۵) نتایج نشان داده شده است.

شکل ۵- نتایج حذف COD در آزمایش جار با استفاده از منعقدکننده PAC با درجه خلوص ۲۸ درصد به میزان ۵۰ میلی‌لیتر

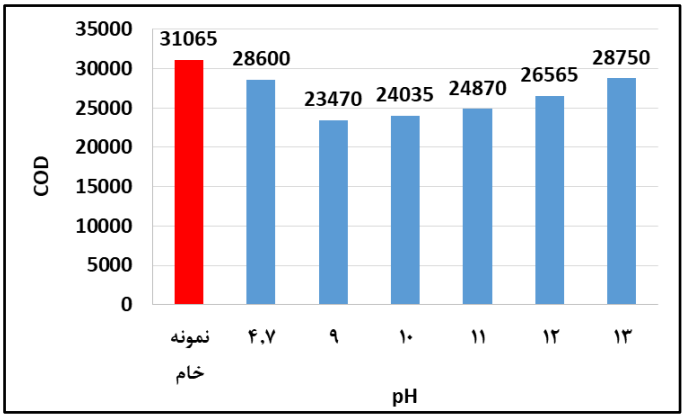

Fig 5. COD removal results in the jar test using PAC coagulant with 28% purity in 50 ml

پس از دو برابر کردن مقدار PAC آزمایش‌ها مجددا با مقدار PAC معادل ۱۰۰ میلی‌لیتر تکرار شد. در همه نمونه‌ها فلوک تشکیل شده و با افزایش pH فلوک‌ها درشت شدند. بهترین ته‌نشینی در pH معادل ۱۱ و بیشترین درصد حذف COD در pH معادل ۹ اتفاق افتاد. این نتایج در شکل (٦) نشان داده شده است.

شکل ٦ – نتایج حذف COD در آزمایش جار با استفاده از منعقدکننده PAC با درجه خلوص ۲۸ درصد به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر

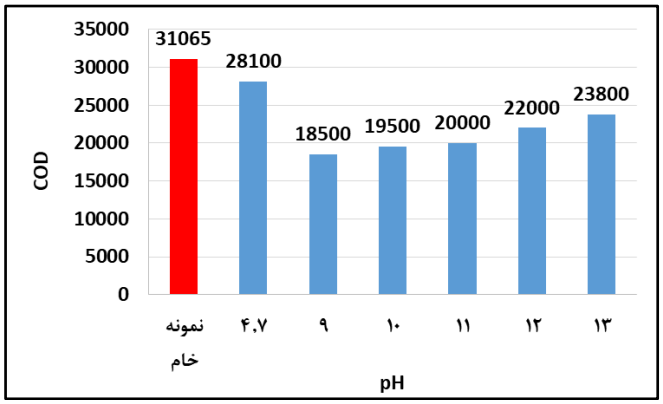

Fig 6. COD removal results in jar test using PAC coagulant with 28% purity in 100 ml

در آزمایش‌های فوق، میزان ماده منعقدکننده ثابت بود. در آزمایش‌های دیگر، به این صورت عمل شد که ابتدا نمونه‌ها در pHهای مختلف تهیه گردید و سپس به هر کدام از نمونه‌ها به قدری ماده منعقدکننده اضافه گردید که pH کلیه نمونه‌ها خنثی گردد. نمونه‌ای که pH بالاتری داشت نیاز به ماده منعقدکننده بیشتری دارد. نتایج نشان داد که با افزایش ماده منعقدکننده درصد حذف COD نیز افزایش می‌یابد ولی ته‌نشینی فلوک‌ها با مشکل مواجه خواهد شد و به عبارتی حجم لجن به مقدار بسیار زیادی افزایش می‌یابد، به طوری که در نمونه‌ای که بیشترین مصرف PAC را داشت تنها یک لایه دو– سه میلی‌متری پساب زلال بر روی بشر یک لیتری تشکیل شده بود. نتایج بدست آمده از این قسمت از آزمایش‌ها در شکل(۷) نشان داده شده است.

شکل ۷ – نتایج حذف COD در آزمایش جار با استفاده از منعقدکننده PAC با درجه خلوص ۲۸ درصد تا رسیدن به pH خنثی

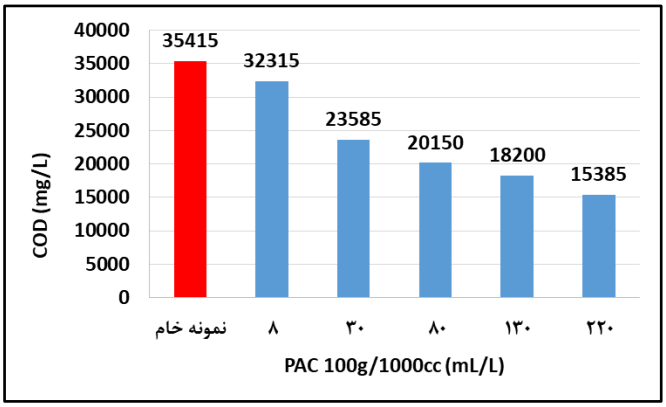

Fig 7. COD removal results in jar test using PAC coagulant with 28% purity until neutral pH is reached

۳-۵- نتایج استفاده از فرات ٦ یا فرات پتاسیم (FeK_2O_4)

بر اساس آزمایش‌های انجام شده در آزمایشگاه مشخص شد، فرات پتاسیم قابلیت اکسید کردن این نوع فاضلاب را ندارد و حداکثر میزان اکسیدکنندگی ناشی از فرات ۱۰/۹ درصد و مربوط به زمانی است که ۵۰cc فرات رقیق شده (۱ به ۵۰) بر روی فاضلابی که از کاغذ صافی عبور کرده است، می‌باشد. بنابراین فرات پتاسیم برای تصفیه این نوع فاضلاب مناسب نمی‌باشد.

۳-٦- نتایج انتخاب روش تصفیه و بررسی انتخاب گزینه مناسب جهت ساخت پایلوت

نتایج بررسی روش بیولوژیکی نشان داد که در زمان ماند معقول یعنی حدود ۳ تا ٤ روز، حداکثر ۷۰ درصد COD کاهش می‌یابد که نتیجه مطلوبی نمی‌باشد. نتایج سایر مطالعات که زمان ماند بسیار بیشتری در نظر گرفته شده بود به شرح ذیل می باشد.

مطالعه اول:

در این مطالعه از لاگون بی‌هوازی استفاده شد و غلظت COD ورودی بین ٦٥۰۰۰ تا ۹٥۰۰۰ متغیر در نظر گرفته شد. در نتیجه این بررسی حداکثر درصد حذف هنگامی که بار آلی ۰/٦ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب بوده بین ۹۰ تا ۹٥ درصد حاصل شد. بر اساس بار آلی و دبی بررسی شده در آزمایشگاه، زمان ماند معادل ۷۲ روز حاصل شد، که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد.

مطالعه دوم:

در این مطالعه از هاضم‌های مرسوم بی‌هوازی (CSTR) استفاده شد و در زمان ماند ۱٥ روز حداکثر میزان حذف معادل ۹۰ درصد بدست آمد.

مطالعه سوم:

در این مطالعه COD فاضلاب معادل۲۸۰۰۰ بوده و از راکتور بستر ثابت استفاده شد. راندمان حذف COD حدود ۷۰ درصد بوده که نتیجه مطلوبی نبود.

مطالعه چهارم:

در این مطالعه نیز از راکتور بستر ثابت با زمان ماند سه الی چهار روز استفاده شد و برای COD ورودی معادل ۷۰۰۰۰ تا ۹۸۰۰۰ راندمان حذف بین ٦۷ تا ۷۲ درصد متغیر بود.

مطالعه پنجم:

در این مطالعه از UASB استفاده شد. COD ورودی بین ۱۷۰۰۰ تا ٥۸۰۰۰ متغیر بود و فاضلاب تا رسیدن به COD ۹۲۰۰ رقیق‌سازی شد. COD فاضلاب رقیق شده پس از زمان ماند ۱۰ روز به ۱۲۷٦ میلی‌گرم بر لیتر رسید.

همان‌طور که تشریح شد در کلیه مطالعاتی که به روش بیولوژیکی کار شده است نتیجه مطلوبی در مدت زمان مناسب حاصل نشده است. بنابراین تصمیم گرفته شد که ازن‌زنی و یکی از فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته مانند استفاده هم‌زمان از ازن و UV، مورد مطالعه قرار گیرد. مطالعه هم بر روی فاضلاب خام صاف شده هم بر روی پساب فرایند انعقاد و لخته‌سازی انجام شد.

نتایج بررسی پایلوت استفاده از فاضلاب خام صاف شده (مقدار ۲ لیتر از فاضلاب صاف شده با COD معادل ۲۸٥۰۰mg/l و مدت زمان ازن‌زنی ٥٤ ساعته) مطابق شکل (۸) می باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود پس از ۲٤ ساعت ازن‌زنی مقدار COD تنها به میزان ۱۸ درصد کاهش داشته و پس از آن تغییر چندانی ایجاد نشده است. این مطالعه نشان داد که ازن به تنهایی قادر به اکسید کردن مواد آلی نمی‌باشد و لذا استفاده هم‌زمان ازن و UV مورد بررسی قرار گرفت.

شکل ۸ – تغییرات میزان COD طی فرایند ازن‌زنی فاضلاب خام صاف شده

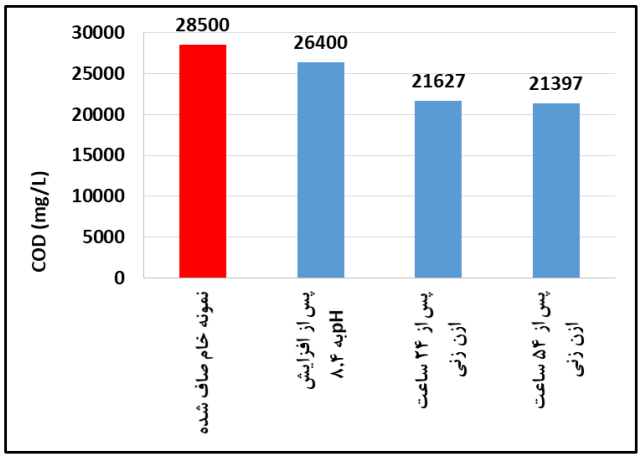

Fig 8. Changes for COD during the process of ozonation of filtered raw wastewater

نتایج بررسی کارایی ازن +UV در شکل (۹) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است COD در ۲۰ دقیقه اول از ۱۸۵۰۰mg/l به ۱۲۲۵۵ mg/l (معادل ۳٤ درصد حذف COD ناشی از اکسیداسیون پیشرفته و بیش از ٦۰ درصد از COD کل) رسیده است و بعد از زمان ۲۰ دقیقه میزان کاهش COD به کندی پیش می‌رود. پس از ازن‌زنی فاضلاب کاملا شفاف و بدون رنگ بود.

شکل ۹– تغییرات میزان COD طی فرایند ازن‌زنی+ UV بر روی پساب انعقاد و لخته‌سازی

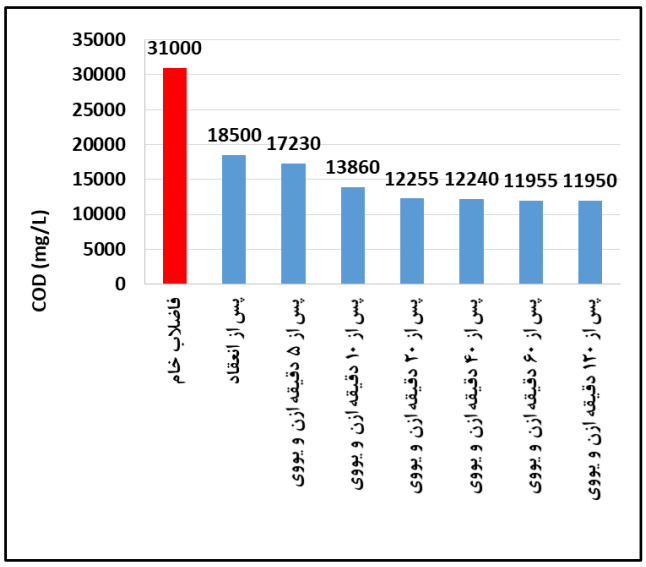

Fig 9. Changes for COD during the ozonation + UV process on the coagulation and flocculation effluent

مطالعه ششم:

علیرغم کاهش چشمگیر میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی (٦٦۰۰ppm به ۷۹۰ ppm)، با توجه به اینکه این مقدار در مقایسه با محدوده مجاز COD برای تخلیه به چاه‌های جاذب و آب‌های سطحی، مصارف کشاورزی و آبیاری فضای سبز رضایت بخش نبود پس از تصفیه بیولوژیکی ازن‌زنی هم انجام شد که نتایج مربوط در قسمت‌های بعدی بیان می‌شود.

۳-۷- نتایج حاصل از تصفیه بیولوژیکی

با توجه به مقادیر موجود در جدول (۵) مقدار کدورت در پساب تیره که در واقع پساب قبل از تصفیه بیولوژیکی است، ۱٦۸ppm بود که پس از فرایند تصفیه بیولوژیکی به شدت کاهش یافته و به مقدار ۱۵/۵ ppm رسید. در نهایت با استفاده از فرایند ازن‌زنی به

ppm ۵ رسید. مقدار کل مواد معلق محلول (TSS) نیز در فرایندهای تصفیه روند کاهشی داشتند به طوری که قبل از تصفیه بیولوژیکی مقدار کل مواد معلق محلول ppm ۸٤٤ بود که پس از تصفیه بیولوژیکی به ppm ۱۲ تقلیل یافت و بعد از فرایند ازن‌زنی به ppm ٦ رسید. مقدار کل اکسیژن خواهی قبل از تصفیه بیولوژیکی ppm ٦٦۰۰ بود که بسیار بالا است و این نشان‌دهنده آلودگی بالای این پساب است. مقدار اکسیژن خواهی پس از تصفیه به ppm ۷۹۰ کاهش یافت و در نهایت با استفاده از ازن به ppm ۱۳۰ رسید.

جدول ۵- مشخصات فاضلاب ارسال شده به آزمایشگاه

Table 5. Characteristics of wastewater sent to the laboratory

نمونه	T	کدورت NTU	TSS ppm	COD ppm
پساب تیره قبل از تصفیه بیولوژیکی	31	168	844	6600
پساب زرد شفاف بعد از تصفیه بیولوژیکی	31	15.5	12	790
پساب پس از ۲ ساعت ازن ازنی	22.7	5	6	130

۳-۸- بررسی تاثیر ازن‌زنی برکاهش آلودگی

برای بررسی اثر ازن‌زنی، از نمونه‌ها قبل و بعد از ازن‌زنی عکسبرداری شد. شکل (۱۰) دو نمونه از پساب را نشان می‌دهد که نمونه زرد رنگ مربوط به پساب بعد از تصفیه بیولوژیکی و قبل از ازن‌زنی می‌باشد و پساب رنگ روشن مربوط به پساب پس از استفاده از ازن است.

شکل ۱۰- نمونه‌های پساب بعد از تصفیه بیولوژیکی و قبل و بعد از ازن‌زنی

Fig 10. Effluent samples after biological treatment, before, and after ozonation

لازم به ذکر است که مقدار COD در نمونه فاضلاب پس از تصفیه بیولوژیکی (نمونه زرد) ppm ۷۹۰ بود که به تدریج کاهش یافته و در نهایت پس از گذشت ۱۲۰ دقیقه به ۱۳۰ میلی‌گرم بر لیتر تقلیل یافت. طبق راهنمای دستگاه ازن زنی PEROZONE مقدار ازن وارد شده ۱۲ گرم در ساعت می باشد. در این پایلوت 500cc از محلول ریخته شد و بهترین جواب پس از دو ساعت ۱۳۰ میلی-گرم بر لیتر COD بدست آمد.

با توجه به مقادیر گزارش شده در جدول (٦) با گذشت زمان از مقدار COD کم شد. به طوری که پس از گذشت ۲۵ دقیقه مقدار COD به ppm ۱۷۹ با کاهش۷۷/۳٤ درصد رسید. پس از از گذشت ٦۰ دقیقه مقدار COD ۷٤/۷٤ درصد کاهش یافت و به ppm ۱٦۰ رسید. در دقیقه ۹۰ مقدار COD ۸۱/۸ درصد کاهش داشت و در نهایت در دقیقه ۱۲۰ مقدار آن بهppm ۱۳۰ با ۸۳/۵ درصد

کاهش بود. این مقدار به ۸۳/۲۹ درصد کاهش در دقیقه ۱۵۰ رسید. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده بهترین زمان ۱۲۰ دقیقه با ۸۳/۵ درصد کاهش در مقدار COD است. اما با توجه به مسائل اقتصادی و با توجه به اینکه تفاوت درصد کاهش مقدار COD در ۲۵ دقیقه و ۱۲۰ دقیقه فقط ۳/۷٦ درصد است لذا زمان ازن‌زنی ۲۵ دقیقه بهینه‌تر است. زیرا علاوه برکاهش زیاد مقدار COD مدت ازن‌زنی و به تبع آن مقدار ازن مصرفی کمتر است.

جدول ٦- مقادیر COD پساب در زمان‌های مختلف پس از ازن‌زنی و درصد کاهش آن

Table 6. Wastewater COD values at different times after ozonation and its reduction percentage

زمان ازن زنی	COD	درصد کاهش COD	اختلاف درصد کاهش
۲۵ دقیقه	179 ppm	77.34%	-
٦۰ دقیقه	160 ppm	79.74%	2.4
۹۰ دقیقه	143 ppm	81.8%	2.06
۱۲۰ دقیقه	130 ppm	83.5%	3.76
۱۵۰ دقیقه	130 ppm	83.29%	3.55

به طور کلی پس از تصفیه بیولوژیکی می‌توان به کمک ازن‌زنی مقدار COD را تا ۸۳/۵ درصد کاهش داد. مطابق با آنالیز انجام شده برآورد می‌گردد که مقدار ازن مورد نیاز برای کاهش ۷۷ درصدی COD در زمان ۲۵ دقیقه، برابر با ۱ گرم در لیتر است. بنابراین برای یک پساب ۵۰۰۰ لیتر در روز نیاز به یک دستگاه با ظرفیت ۱۰ کیلوگرم در روز یا ۲۵۰ گرم در ساعت است.

٤- نتیجه‌گیری

در این مطالعه امکان سنجی تصفیه فاضلاب صنایع گلاب‌گیری و عرقیات مورد بررسی قرار گرفت. مشخصات کیفی فاضلاب عرقیات مختلف و گلاب‌گیری نشان داد که COD فاضلاب‌های مختلف بین ۱۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰ mg/l متغیر می‌باشد. بیشترین حجم فاضلاب تولیدی در زمان گلاب‌گیری بوده و از لحاظ بار آلودگی نیز بیشترین COD را دارد. بررسی حذف مواد آلی با استفاده از صافی پارچه‌ای نشان داد گرچه استفاده از صافی پارچه‌ای مقدار COD فاضلاب از ۳۱۰٦۵ mg/l (نمونه خام) به ۲۸۰۱۰ رسانده است اما رضایت بخش نمی‌باشد. با توجه به اینکه با استفاده از منعقدکننده آلوم ($Al_2(SO_4)_3$) و همچنین منعقد کننده کلروفریک ($FeCl_3$)در همه pHهای مورد بررسی لخته بیلولوژیکی تشکیل نشد. لذا این منعقد کننده‌ها برای حذف ذرات معلق فاضلاب صنایع گلاب‌گیری و عرقیات مناسب نمی‌باشند. نتایج نشان داد که استفاده از منعقدکننده پلی‌الکترولیت می‌تواند ذرات معلق موجود در فاضلاب گلاب‌گیری را به خوبی به لخته قابل ته‌نشین تبدیل نماید و COD را به مقدار بیش از ۷۰ درصد کاهش دهد. در نتیجه این مطالعه مشخص شد بهترین ته‌نشینی در pH معادل ۱۱ و بیشترین درصد حذف COD در pH معادل ۹ اتفاق افتاده است. بر اساس آزمایش‌های انجام شده در آزمایشگاه مشخص شد، فرات پتاسیم (FeK_2O_4) قابلیت اکسید کردن این نوع فاضلاب را ندارد. همچنین با توجه به شش مطالعه‌ای که به روش بیولوژیکی انجام شده بود نتیجه مطلوبی در زمان مناسب حاصل نشد. همچنین مشخص شد که ازن به تنهایی قادر به اکسید کردن مواد آلی نمی‌باشد. مطالعه روش‌های مختلف نشان داد که فاضلاب صنایع گلاب‌گیری و عرقیات جزء فاضلاب‌های سخت تجزیه‌پذیر می‌باشد و نه تنها روش‌های معمول تصفیه قادر به حذف کامل COD نمی‌باشند بلکه روش‌های اکسیداسیون پیشرفته نیز با کندی پیش می‌رود و نیازمند انرژی بسیار زیاد تا رسیدن به حد مجاز تخلیه به محیط می‌باشد. بنابراین راه‌کار مناسب جهت کنترل فاضلاب صنایع عرقیات و گلاب‌گیری به پنج گزینه به شرح زیر خلاصه گردد:

۱-انعقاد و لخته‌سازی و سپس استفاده از روش اکسیداسیون پیشرفته (ازن + UV): در فرایند انعقاد و لخته‌سازی حدود ۵۰ درصد مواد آلی حذف می‌گردد و مابقی آن را می‌توان طی فرایند اکسیداسیون پیشرفته (ازن + UV) طی زمان ماند مناسب حذف نمود. بر اساس توصیه منابع مختلف میزان ازن مورد نیاز برای حذف COD بایستی بین ٦ تا ۱۰ برابر مقدار COD موجود در فاضلاب باشد. این بدین معناست که به عنوان مثال چنانچه COD فاضلاب ۱۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد بایستی بین ۹۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰۰ گرم ازن به ازای هر لیتر فاضلاب، تولید کرد. در خصوص کارخانجات مورد مطالعه با توجه به این‌که میزان فاضلاب تولیدی حدودا ۳ متر مکعب در روز می‌باشد بایستی روزانه به طور متوسط ۳٦ کیلوگرم ازن تولید کرد. با توجه به این‌که دستگاه تولید ازن با چنین ظرفیتی هزینه‌های هنگفتی را شامل می‌شود و علاوه بر آن هزینه‌های مربوط به تهیه مواد منعقدکننده نیز وجود دارد، بنابراین فرایند تصفیه به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود و کارخانجات زیر بار مخارج سنگین سرمایه گذاری اولیه و هزینه‌های بالای بهره‌برداری نخواهند رفت.

۲-گزینه دوم استفاده از فرایند انعقاد و لخته‌سازی، کاهش ۵۰ درصدی COD و تولید پسابی با زلالیت بالا (کدورت NTU 5): این روش قابلیت استفاده به عنوان یک محصول را دارد. در زمان گلاب‌گیری روزانه فاضلاب زیادی تولید می‌گردد که می‌تواند با فرایند ساده انعقاد و لخته‌سازی، کلیه مواد معلق موجود در فاضلاب را جدا کرد و مابقی آن را به عنوان ماده معطر، در اماکن مختلف استفاده نمود. در نتایج مطالعه مشخص شد که پساب خروجی از فرایند انعقاد و لخته‌سازی که از فاضلاب گلاب‌گیری تولید می‌گردد، تا مدت‌ها، بوی مطبوع خود را بدون آنکه تغییری در رنگ، ظاهر یا بوی آن ایجاد شود حفظ می‌کند.

۳- استفاده از حوضچه‌های تبخیری: راهکار حوضچه‌های تبخیری بسیار ساده بوده و هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری بسیار کمی را شامل می‌شود. در صورتی که منطقه با مشکل کمبود آب مواجه نباشد، استفاده از حوضچه‌های تبخیری می‌تواند به عنوان یکی از گزینه‌های جدی تلقی گردد.

٤-جداسازی فاضلاب‌های صنعتی از فاضلاب‌های بهداشتی و آب مصرفی جهت شست‌وشوی محوطه و دیگ‌ها: این کار باعث می‌گردد که بتوان فاضلاب بهداشتی و شست‌وشو را با روش‌های معمول بیولوژیک تصفیه نمود و حجم فاضلاب صنعتی را تا حدی کاهش داد.

۵- استفاده از روش تصفیه بی‌هوازی و ازن‌زنی خروجی تصفیه خانه و فیلتراسیون آن: گزینه‌ای مناسب برای ظرفیت‌های بالا است که منجر به تصفیه کامل فاضلاب در حد استاندارد تخلیه به محیط می‌گردد.

۵-تشکر و قدردانی

این مطالعه با حمایت مالی شرکت شهرک‌های صنعتی استان اصفهان انجام شده است. نویسندگان مقاله مراتب قدردانی وسپاس را ابراز می‌دارند.

٦- تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

۷-مراجع

Babuponnusami, A., Sinha, S., Ashokan, H., Paul, M. V., Hariharan, S. P., Arun, J., & Pugazhendhi, A. (2023). Advanced oxidation process (AOP) combined biological process for wastewater treatment: A review on advancements, feasibility and practicability of combined techniques. *Environmental Research*, 116944 https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116944

Jiménez, A. M., Borja, R., & Martın, A. (2003). Aerobic-anaerobic biodegradation of beet molasses alcoholic fermentation wastewater. *Process Biochemistry*, 38(9), 1275-1284. https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00325-4

Kastali, M., Mouhir, L., Chatoui, M., Souabi, S., & Anouzla, A. (2021). Removal of turbidity and sludge production from industrial process wastewater treatment by a rejection of steel rich in $FeCl_3$ (SIWW). *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(5), 13359-13376. https://doi.org/10.33263/BRIAC115.1335913376

Lata, K., Kansal, A., Balakrishnan, M., Rajeshwari, K. V., & Kishore, V. V. N. (2002). Assessment of biomethanation potential of selected industrial organic effluents in India. *Resources, Conservation and Recycling*, 35(3), 147-161. https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00112-4

Liu, Y., & Tay, J. H. (2004). State of the art of bio granulation technology for wastewater treatment. *Biotechnology Advances*, 22(7), 533-563. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2004.05.001

Mao, C., Feng, Y., Wang, X., & Ren, G. (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540-555. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032

Meena, M., Yadav, G., Sonigra, P., & Shah, M. P. (2022). A comprehensive review on application of bioreactor for industrial wastewater treatment. *Letters in Applied Microbiology*, 74(2), 131-158. https://doi.org/10.1111/lam.13557

Phan, L. T., Schaar, H., Saracevic, E., Krampe, J., & Kreuzinger, N. (2022). Effect of ozonation on the biodegradability of urban wastewater treatment plant effluent. *Science of the Total Environment*, 812, 152466. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152466

Rahimi, E., Shahamat, Y. D., Kamarehei, B., Zafarzadeh, A., & Khani, M. R. (2018). Rapid decolorization and mineralization of molasses by catalytic ozonation process with a nanocomposite from fermentation industry wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15, 1941-1948. https://doi.org/10.1007/s13762-017-1515-8

Sonune, A., & Ghate, R. (2004). Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 167, 55-63. https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.06.113

Yanqoritha, N., & Kuswandi, K. (2023). Effect of trace metal $Fecl_3$ on biogas production in industrial wastewater treatment with high organic load. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, 4(1), 22-30. https://doi.org/10.21776/MECHTA.2023.004.01.3