Applied Chemistry Today **19** (2024) 269-282

Semnan University

Applied Chemistry Today

Journal homepage: https://chemistry.semnan.ac.ir/

ISSN: 2981-2437

Research Article

Wastewater Treatment Hybrid Process Using Coagulation-Membrane Filtration for Industrial Purposes

Ali Aghdami[a], Mahdi Elyasi Kojabad[b,*]

[a]Faculty of chemical engineering, Sahand university of technology, Tabriz, Iran

[b]Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

PAPER INFO

Article history:
Received: 24/Apr/2024
Revised: 18/Aug/2024
Accepted: 19/Aug/2024

Keywords:
Wastewater treatment, Membrane filtration, coagulation, pretreatment.

ABSTRACT

Urban wastewater is characterized by microbial contamination and a substantial quantity of suspended solids. Many existing municipal treatment facilities are unable to adequately process these wastewaters, resulting in only partial removal of pollutants. Implementing an effective method for the comprehensive treatment of wastewater from urban facilities for industrial applications is a viable solution to conserve water resources. This study employed a combination of coagulation and membrane filtration processes to treat the wastewater from Sahand town, with coagulation serving as a preliminary treatment and membrane filtration as the final treatment stage. Polyaluminum chloride and polyacrylamide were utilized as coagulants during the coagulation phase, while a microporous membrane was employed in the filtration phase. The findings indicated that the turbidity of the town's wastewater decreased from 129 NTU to 0.7 NTU following the hybrid treatment process, and the microbial load was entirely eliminated. Although there was a reduction in membrane flux, direct washing restored the performance, increasing the flux back to the initial value of 1500 $L.m^{-2}.h^{-1}$. The significant reduction in turbidity and microbial load to acceptable levels, coupled with the stability of membrane performance, suggests that the combined treatment approach is an effective method for treating urban wastewater for industrial use and for mitigating water wastage.

DOI: https://doi.org/10.22075/chem.2024.33906.2267

© 2024 Semnan University.
This is an open access article under the CC-BY-SA 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

[*] **.Corresponding author:** Associate Professor of Inorganic Chemistry. *E-mail address: m.elyasi@bkatu.ac.ir*

How to cite this article: Aghdami, A., & Elyasi Kojabad, M. (2024). Wastewater Treatment Hybrid Process Using Coagulation-Membrane Filtration for Industrial Purposes. *Applied Chemistry Today*, 19(72), 269-282. (in Persian)

مقاله علمی پژوهشی

تصفیه فاضلاب با روش ترکیبی انعقاد سازی-فیلتراسیون غشایی برای استفاده در مصارف صنعتی

تصفیه فاضلاب با روش ترکیبی انعقاد سازی-فیلتراسیون غشایی برای استفاده در مصارف صنعتی

علی اقدمی[۱]، مهدی الیاسی کجاباد[۲]*

[۱] دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز، ایران

[۲] استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۰۵

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۲۹

کلمات کلیدی: تصفیه پساب، فیلتراسیون غشایی، انعقاد سازی، پیش تصفیه.

چکیده

پساب‌های شهری حاوی بار میکروبی و مقدار زیادی ذرات معلق می‌باشند. در این میان بخش قابل‌توجهی از تصفیه‌خانه‌های شهری موجود قادر به تصفیه کامل این پساب‌ها نبوده و تنها بخشی از آلودگی‌ها در این تصفیه خانه‌ها از بین می‌رود. اتخاذ روش مناسب به‌منظور تصفیه کامل پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های شهری جهت استفاده مجدد در صنایع یکی از راهکارهای مناسب در راستای صرفه‌جویی در مصرف منابع آبی می‌باشد. در این تحقیق از دو فرایند انعقادسازی و فیلتراسیون غشایی به صورت ترکیبی به‌منظور تصفیه پساب شهرک سهند استفاده شد بطوریکه مرحله انعقاد سازی بعنوان پیش تصفیه عمل کرده و فیلتراسیون غشایی بعنوان مرحله نهایی تصفیه نقش ایفا می‌کند. در مرحله انعقادسازی پساب، پلی آلومینیوم کلراید و پلی آکریلامید بعنوان عوامل انعقاد ساز به‌کاربرده شده و در مرحله فیلتراسیون غشایی، از غشای میکرو متخلخل استفاده شد. نتایج نشان داد، کدورت پساب شهرک پس از طی فرایند ترکیبی از ۱۲۹ NTU به ۰/۷ NTU تقلیل یافته و بار میکروبی‌اش به‌طور کامل حذف شد. باوجود کاهش شار عبوری از غشا باگذشت زمان، شستشوی مستقیم منجر به بازگشت عملکرد و افزایش شار عبوری به مقدار اولیه ۱۵۰۰ $L.m^{-2}.h^{-1}$ شده است. کاهش کدورت و بار میکروبی به مقدار استاندارد به همراه پایداری عملکرد غشایی نشان می‌دهد فرایند ترکیبی استفاده‌شده می‌تواند روشی مناسب جهت تصفیه پساب شهرک‌ها به‌منظور استفاده در شهرک-های صنعتی و جلوگیری از هدر رفت آب باشد.

DOI: https://doi.org/10.22075/chem.2024.33906.2267

This is an open access article under the CC-BY-SA 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

۱- مقدمه

افزایش جمعیت و همچنین افزایش سکونت شهری موجب بالا رفتن حجم فا ضلاب تولید شده تو سط شهرها می شود [۱]. تصفیه فا ضلاب شهری علاوه بر تاثیرات مطلوبی که بر حفاظت از محیطزیست و سلامت انسان و سایر موجودات زنده ایجاد می‌کند، به شدت بر کاهش مصرف آب موثر خواهد بود [۲ و ۳]. در جوامع پیشرفته پساب‌های تولیدشده در بخش های مسکونی و شهری بهروش‌های مختلف در تصفیه‌خانه‌ها تصفیه شده و پساب تصفیه شده در صنایع مختلف استفاده می شود [۴]. بیشترین آلودگی موجود در پساب‌های شهری از نوع بیولوژیکی و فیزیکی بوده و مواد شیمیایی خطرناک در آن‌ها کمتر

وجود دارند [۵ و ۶]. در این نوع پساب‌ها مقدار زیادی ذرات جامد با اندازه‌های بزرگ، مواد آلی، باکتری‌های بیماری‌زا وجود دارد که ورود این قبیل فاضلاب‌ها به صورت مستقیم به طبیعت یک تهدید بزرگ برای سلامتی محیط‌زیست خواهد بود [۷ و ۸]. تصفیه هوازی فاضلاب یکی از روش‌های تصفیه بیولوژیکی می‌باشد که اساس و پایه آن برقراری واکنش مواد آلی موجود در فاضلاب با میکروارگانیسم‌ها و باکتری‌های هوازی است [۹ و ۱۰]. به‌عبارت‌دیگر، در این روش تصفیه به‌جای استفاده از مواد شیمیایی برای حذف مواد آلی و مضر، شرایطی فراهم می‌گردد تا باکتری‌های هوازی مواد آلی را به‌عنوان غذا مصرف نموده و منجر به تصفیه بیولوژیکی فاضلاب گردند. اما عمده مشکل فرایندهای هوازی نرخ رشد محدود باکتری و تکثیر آن می‌باشد که امکان تصفیه کامل پساب و کاهش کدورت و بارمیکروبی را از این سیستم می‌گیرد [۱۱ و ۱۲]. از این رو یک روش تصفیه ثانویه دیگر برای رفع این مشکل نیاز است تا بتوان کدورت و بارمیکروبی را به حداقل رساند. روش فیلتراسیون غشایی یکی از روش‌های بهینه و مناسب در این راستا می‌باشد. اخیرا فناوری‌های مبتنی بر غشا به‌عنوان یک جایگزین مناسب و کم‌هزینه برای تصفیه فاضلاب مورد توجه قرارگرفته‌اند. این فرایندها در تصفیه پساب‌ها به دلیل مزایایی مانند کاهش مصرف انرژی، بهبود کیفیت آب تصفیه شده و امکان بازیابی منابع آب، به ویژه در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، این روش‌ها به کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی ناشی از تخلیه پساب‌ها کمک می‌کنند [۱۳ و ۱۴]. در میان غشاها، غشاهای سرامیکی می‌توانند در دماهای بالا عمل کنند، که برای فرآیندهای تصفیه پسابهای صنعتی دارای دمای بالا بسیار مفید است. غشای سرامیکی نسبت به سایر فناوری‌های تصفیه، نیاز به انرژی کمتری دارد که باعث کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود [۱۵]. این غشاها معمولاً دارای عمر طولانی‌تری هستند و می‌توانند به راحتی تمیز و دوباره استفاده شوند که به کاهش هزینه‌های نگهداری کمک می‌کند. استفاده از غشای سرامیکی می‌تواند خطر آلودگی ثانویه را کاهش دهد، زیرا این غشاها معمولاً از مواد غیرسمی و بی‌اثر ساخته می‌شوند [۱۶]. علاوه بر این، این غشاها را می‌توان با روش‌های مختلف تصفیه ترکیب کرد، که این امر انعطاف‌پذیری بیشتری به فرآیند تصفیه تعبیه شده می‌دهد [۱۷]. با توجه به مزایای فنی، عملی و زیست‌محیطی، در دهه گذشته مطالعات متعددی در زمینه استفاده از فرایندهای مبتنی بر غشا برای تصفیه فاضلاب صورت گرفته است [۱۸ و ۱۹]. فرایند غشایی توانایی دفع ناخالصی‌های اصلی موجود در پساب ازجمله بار میکروبی و مواد آلی را دارد، بااین‌حال عمده مشکل فرایندهای غشایی بحث گرفتگی آن‌ها می‌باشد به همین منظور نیازمند استفاده از مراحل پیش تصفیه قبل از فرایند غشایی می‌باشد [۲۰ و ۲۱]. تام چک[a] و همکاران [۲۲] کاربرد فرایند نیمه‌صنعتی غشای سرامیکی در جداسازی فاضلاب نفتی تولیدشده در طول حمل‌ونقل دریایی را مورد مطالعه قراردادند. نتایج نشان داد که نفت و مواد آلی در آن در جریان عبوری بدست آمده در غشا به میزان ۸۰٪ کاهش‌یافته است. ماتوس[b] و همکاران [۲۳] از

[a] Tomczak
[b] Matos

غشای لوله سرامیکی برای تصفیه امولسیون روغن/آب تولید شده فرایند فلزکاری استفاده کردند. نتایج تجربی نشان از کاهش ۹۵ درصدی میزان کاهش نیاز شیمیایی اکسیژن (COD[c]) داشت. با توجه به کاهش ذخایر آبی کشور ارائه راهکاری که بتواند پساب شهری را تصفیه کرده و آن را از نظر کیفی به سطحی برساند که بتوان از آن در مصارف صنعتی استفاده کرد لازم و ضروری است. یو[d] و همکاران [۲۴] یک غشای میکروفیلتراسیون ساختند که قادر به حذف مواد دارویی نسوز از طریق الکترواکسیداسیون[e] بود. عملکرد الکترواکسیداسیون با ترکیب گرافن و اکسید مولیبدن در نانوالیاف کربن فیلتر غشایی بهبود یافت. غشای میکرو فیلتراسیون با موفقیت سولفامتوکسازول[f] را با راندمان ۸۵ درصد حذف کرد. شار نفوذ فیلتر غشایی به‌صورت خطی از ۷۴ به ۲۱۶/۴ لیتر بر مترمربع برساعت با افزایش قدرت پمپ از ۱۰ به ۳۰ دور بر دقیقه افزایش یافت، که نشان می‌دهد منافذ غشاء به آب در طی یک واکنش سریع اجازه عبور می‌دهند. مطالعه توسط نور[g] و همکاران [۲۵] فیلتراسیون غشایی سرامیکی را بر اساس خاک رس توپی سایونگ[h] که از ناحیه سایونگ در ایالت پراک، مالزی برای حذف نیکل از فاضلاب صنعتی به دست آمده بود بررسی کردند. نتایج نشان داد حدود ۸۲ تا ۸۹ درصد از نیکل به طور موثر رد شده بود. ابراهیمی و همکاران [۲۶] مطالعه ای را انجام دادند که بر کاربردهای بالقوه غشاهای سرامیکی در صنعت خمیر و کاغذ برای تصفیه پساب کارخانه سفیدکننده متمرکز بود. در این مطالعه، فرآیندهای غشایی متشکل از غشاهای سرامیکی میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون و نانوفیلتراسیون برای حذف لیگنین[i] باقی مانده از پساب و کاهش COD در طول تولید خمیر سولفیت طراحی شدند. فرآیند دو مرحله‌ای تعبیه شده عملکرد خوبی در جداسازی و تصفیه پساب سفیدکننده قلیایی داشت. علاوه بر این، این فرآیندها همچنین لیگنین باقیمانده و غلظت COD را به ترتیب بیش از ۷۰٪ و ۳۵٪ کاهش دادند. آلماندوز[j] و همکاران [۲۷] از سیلیکات های آلومینیوم طبیعی نظیر رس، فلدسپات، کوارتز، بنتونیت و آلومینا به دلیل قیمت پایین به عنوان اجزای اصلی سازنده غشای سرامیکی استفاده کردند. عملکرد غشای ساخته شده با مواد مختلف نظیر پاستوریزاسیون شیر و تصفیه فاضلاب کشتارگاه مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج عالی با حدود ۹۹-۸۷ درصد حذف باکتری به دست آمد. نتایج مذکور، نشان از مناسب بودن غشاهای سرامیکی برای انواع کاربردهای صنعتی و فرآیندهای میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون می‌باشد.

[c] Chemical Oxygen Demand
[d] Yu
[e] Electrooxidation
[f] Sulfamethoxazole
[g] Noor
[h] Sayong
[i] lignin
[j] Almandoz

در این تحقیق، تصفیه پساب شهرک سهند واقع در استان آذربایجان شرقی از طریق دو مرحله انعقاد سازی و فیلتراسیون غشایی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا به منظور حذف ذرات درشت و آلودگی‌های اولیه از فرایند انعقاد سازی استفاده شد. در ادامه، با استفاده از غشای سرامیکی تصفیه نهایی بر روی پساب پیش‌تصفیه شده صورت گرفت. هدف از این مرحله، حذف آلودگی‌های میکروبی و ذرات معلق ریز موجود در پساب است تا پساب خروجی به استانداردهای لازم برای استفاده مجدد در مصارف صنعتی برسد. در مرحله فیلتراسیون غشایی عملکرد غشای ساخته شده با گذشت زمان و نیز تاثیر شستشو بر این عملکرد نیز بررسی شد تا فرایند تعبیه شده از نظر پیاده‌سازی صنعتی نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ مواد

پودر آلومینا با خلوص ۹۶ درصد از شرکت نسوز خوزستان تهیه شده و سود با خلوص ۹۸ درصد از شرکت کلر پارس خریداری شد. آکریل امید[k]، پتاسیم متا بی سولفیت[l]، دی آمونیوم فسفات[m] با خلوص های ۹۹ درصد نیز از شرکت مرک تهیه شدند. پساب مورد تصفیه نیز متعلق به فاضلاب شهرک صنعتی سهند واقع در استان آذربایجان شرقی که مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است. به دلیل بالا بودن کدورت و بار میکروبی آن نمی‌توان از آن در صنایع استفاده کرد و نیاز به تصفیه دارد.

جدول ۱. مشخصات پساب خروجی از تصفیه‌خانه شهرک سهند در فصل پاییز

پارامتر	مقدار
pH	۶/۸
(mg/lit) COD	۳۵۰
(NTU) [n] Td	۶۷/۲
TC[o]	>۱۶۰۰
FC[p]	۱۵۰۰
TE.c[q]	>۱۶۰۰

۲-۲ ساخت غشای سرامیکی

بمنظور ساخت غشایی سرامیکی ابتدا آب مقطر در ظرفی ریخته شده و در ادامه آکریل امید به آب مقطر اضافه شد بعد از حل شدن کامل آن pH محلول توسط محلول سود روی ۹ تنظیم شد. بعد از تنظیم pH، پتاسیم متا بی سولفیت و در نهایت پودر آلومینا به تدریج به محلول اضافه شد. محلول تهیه شده به مدت ۴۸ ساعت همزده شد تا محلول یکنواختی به دست آید. بعد از

[k] Acrylamide
[l] Potassium metabisulfite
[m] Diammonium phosphate
[n] Turbidity
[o] Total Coliform
[p] Fecal Coliform
[q] Thermoduric E.coil

گذشت این مدت زمان دمای محلول به ۵۰ درجه سانتی گراد رسانده شد و ماده دی آمونیوم فسفات که به عنوان ماده آغازگر واکنش می باشد را به محلول اضافه شده و بعد از گذشت دو دقیقه شکل دهی غشا انجام گردید. غشای قالب ریزی شده در ادامه، تحت عملیات حرارتی ۱۰۰۰ درجه سانتگراد قرار گرفت تا فرایند تف جوشی[r] انجام شود [۲۸ و ۲۹]. مورفولوژی غشاهای تهیه شده با استفاده از آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی[s] (TESCAN BRNO-Mira3) مورد بررسی قرار گرفت.

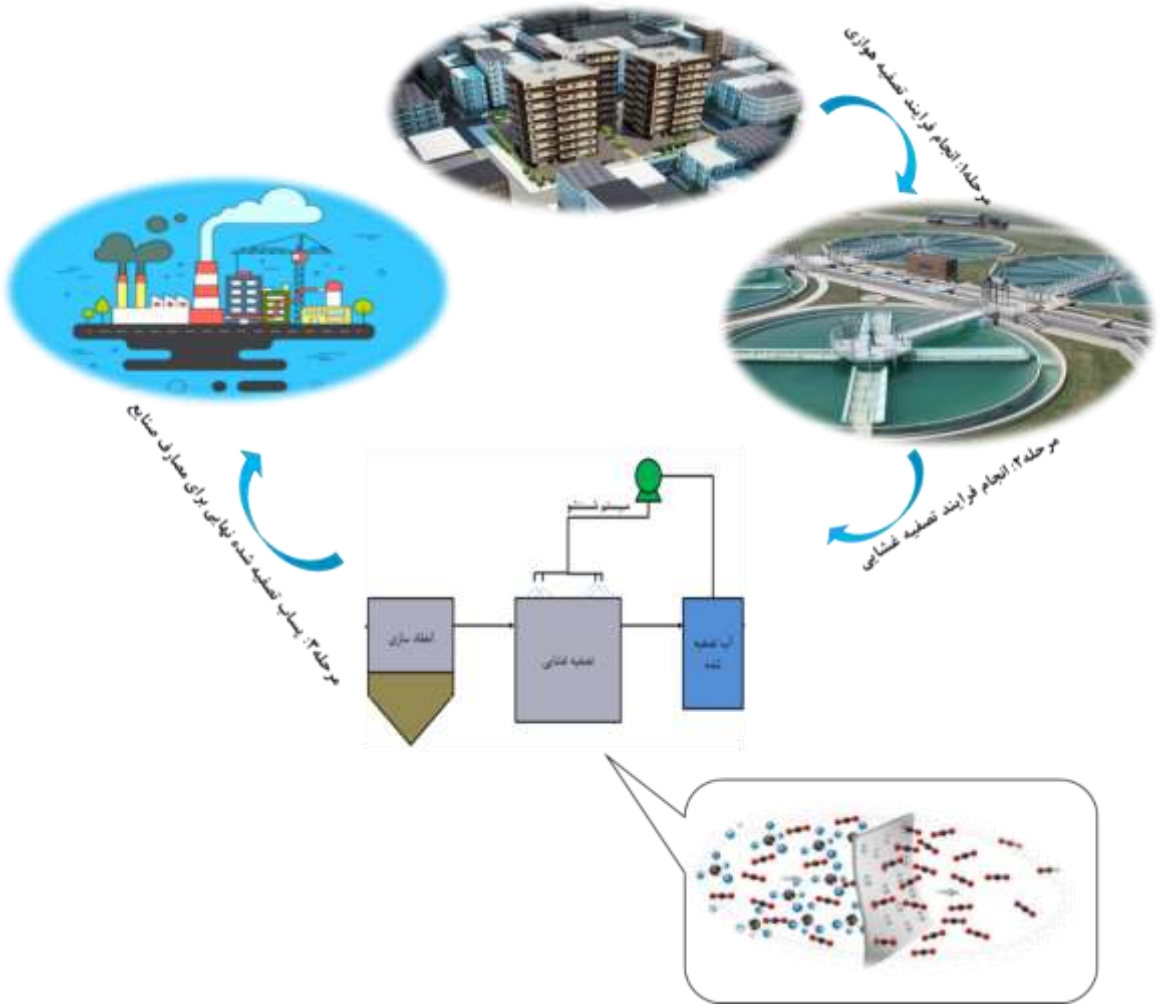
۳-۲ فرایند تصفیه

شماتیک فرایند پیش‌تصفیه و تصفیه غشایی در شکل ۱ آورده شده است. مراحل اصلی فرایند به شرح زیر است: ابتدا پساب خروجی از تصفیه‌خانه شهرک در دمای محیط در یک مخزن جمع‌آوری‌شده و دو نوع ماده منعقدکننده به‌نام‌های پلی آلومینیوم کلراید و پلی آکریلامید به پساب مورد نظر اضافه شد. بعد از انعقاد و ته نشینی ذرات سنگین (۱۵ دقیقه)، پساب پیش‌تصفیه شده با استفاده از پمپ به یک مخزن دیگر انتقال داده شده و در ادامه، تصفیه نهایی با استفاده از غشای سرامیکی صورت گرفت. سازوکار عملکرد غشای سرامیکی به این شکل است که به دلیل داشتن ساختار متخلخل ذرات معلق و برخی آلاینده‌های میکروبی پشت حفرات مانده و پساب تصفیه شده از داخل حفرات رد شده و بعنوان جریان عبور کرده جمع آوری می‌شود. عامل اصلی عبور آب از داخل حفرات غشا، اختلاف فشاری (۰/۵ اتمسفر) است که در دمای محیط توسط پمپ اعمال می‌شود. علاوه بر این در فرایند مورد نظر یک سیستم شستشو تعبیه‌شده که در صورت کاهش شار عبوری از غشا و تجمع ذرات بر روی سطح حفرات، شستشوی سطح غشا توسط این سیستم صورت گیرد تا عبوردهی غشا بهبود یابد. شار جریان خروجی از غشا برحسب لیتر بر سطح مربع ساعت ($L.m^{-2}.h^{-1}$) با استفاده از رابطه ۱ بدست می‌آید [۳۰].

$$J = \frac{V}{A.\Delta t} \qquad (۱)$$

که در آن V حجم جریان عبور کرده برحسب لیتر، A سطح موثر غشا برحسب مترمربع و Δt نشان‌دهنده بازه زمانی برحسب ساعت می‌باشد.

[r] Sintering
[s] scanning electron microscope



شکل ۱. شماتیک طرح تصفیه پساب شهرک سهند بمنظور استفاده از آن در مصارف صنعتی

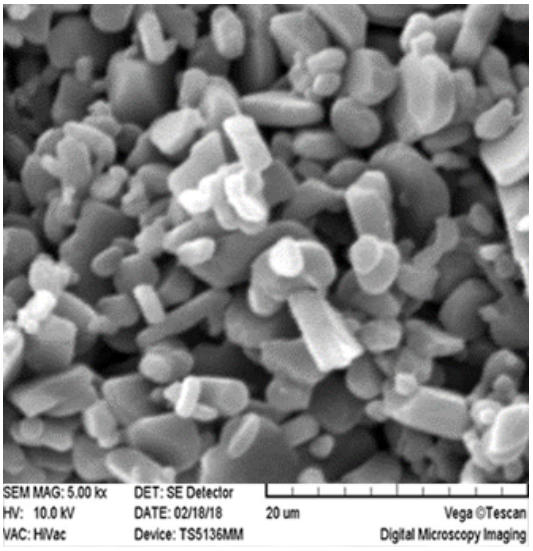
۲-۴ روش اندازه گیری COD، کدورت و بارمیکروبی

اندازه گیری COD به روش کالری‌متری مطابق روش های استاندارد آزمایش آب و پساب صورت گرفت. طبق این روش، واکنشگرهای COD به ۲/۲ میلی لیتر از نمونه در یک ظرف مخصوص اضافه شده و برای هضم به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد در دستگاه ترموراکتور قرار گرفت. بعد از خنک شدن ظرف، جذب محلول در طول موج ۶۱۱ نانومتر توسط فتومتر خوانده شده و از روی منحنی کالیبراسیون، میزان COD تعیین گردید. میزان کدورت با استفاده از دستگاه کدورت سنج TUB-430 ساخت شرکت GONDO تایوان اندازه‌گیری شد [۳۱]. همچنین درنهایت آزمون شمارش میکروبی برای اندازه گیری بارمیکروبی در نمونه ها مطابق با استاندارد ISO11737-1 انجام شد. بطوریکه پس از نمونه برداری از محصول، کلنی ها شمارش شدند تا بار میکروبی محصول مشخص شود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ مشخصات غشای سرامیکی

شکل ۲ تصویر SEM غشای سرامیکی را نشان می‌دهد. مطابق شکل، ذرات آلومینا در کنار یکدیگر قرارگرفته و ساختار متخلخل غشایی را تشکیل داده‌اند. جدول ۲ مشخصات غشای ساخته‌شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲. SEM غشای سرامیکی ساخته‌شده

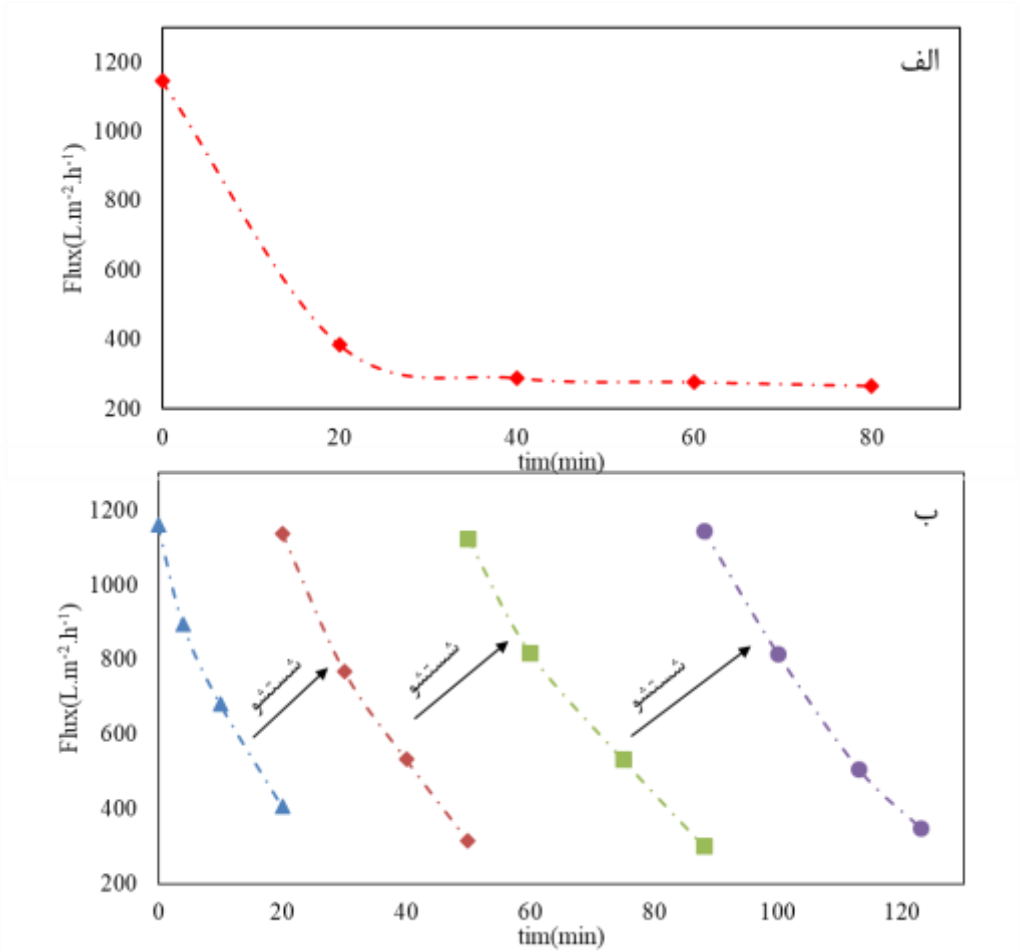
جدول ۲. مشخصات غشای سرامیکی ساخته‌شده

مقدار	پارامتر
متوسط اندازه حفرات	۵۰۰ نانومتر
تخلخل	۳۰ درصد
فلاکس آب خالص	۱۵۰۰ $L.m^{-2}.h^{-1}$

۳-۲ ارزیابی عملکرد غشای سرامیکی

عبوردهی پساب از غشای سرامیکی مورد بررسی قرارگرفته و نتایج آن در شکل ۳ آورده شده است. شکل ۳ الف مربوط به عبوردهی غشا بدون شستشو بوده و شکل ۳ ب مربوط به عبوردهی غشا همراه با شستشو در بازه‌های زمانی معین می‌باشد. از شکل ۳ الف مشخص است که عبوردهی غشا باگذشت زمان کاهش پیداکرده است. دلیل این رفتار می‌تواند انباشت مواد معلق بر روی سطح حفرات غشا باشد. ازآنجایی‌که مواد معلق بعد از انعقاد سازی (مرحله اولیه تصفیه) به‌طور کامل حذف نمی‌شوند ازاین‌رو بخشی از آن‌ها در مرحله دوم و توسط غشای سرامیکی حذف می‌شوند که خود باعث گرفتگی غشایی می‌شود. به‌منظور حفظ عبوردهی و جلوگیری از افت بیش‌ازحد آن از شستشوی مستقیم استفاده شد. به این صورت که در بازه‌های زمانی معین سطح غشا با استفاده از کارواش به‌صورت مستقیم شستشو شد. همان‌طور که از شکل ۴ ب واضح است عبوردهی غشا بعد از شستشوی مستقیم به مقدار اولیه خود بازگشته است به عبارتی شستشوی مستقیم توانسته ذرات معلق را به‌آسانی از سطح غشا

جدا کند. این رفتار می‌تواند نشانگر دو پدیده باشد. اول اینکه گرفتگی غشاها از نوع سطحی بوده و نیازی به روش‌های شیمیایی برای احیا عملکرد غشا وجود ندارد. علاوه بر این، رفتار مذکور نشان می‌دهد منعقد کننده‌های استفاده‌شده به درستی عمل کرده و ذرات معلق به حدی به هم چسبیده‌اند که در سطح حفرات غشا مانده و توانایی نفوذ به داخل این حفرات را نداشته‌اند. این رفتار باعث شده گرفتگی غشا از نوع برگشت‌پذیر بوده و با استفاده از شستشوی سطحی رفع شود. برگشت‌پذیر بودن گرفتگی غشا تاثیر قابل‌توجهی در صنعتی شدن این فرایند دارد چراکه در صورت بروز گرفتگی در مقیاس بزرگ صنعتی، از طریق شستشوی سطحی می‌توان این گرفتگی را رفع کرد. این در حالی است که درصورتی‌که مواد معلق به داخل حفرات غشا نفوذ می‌کردند این گرفتگی با شستشوی سطحی ممکن نبود و نیاز به جریان برگشتی و یا شستشوی شیمیایی داشت که هردو این‌ها می‌توانند کاربری غشا را سخت‌تر کرده و طول عمر آن را کاهش دهند.

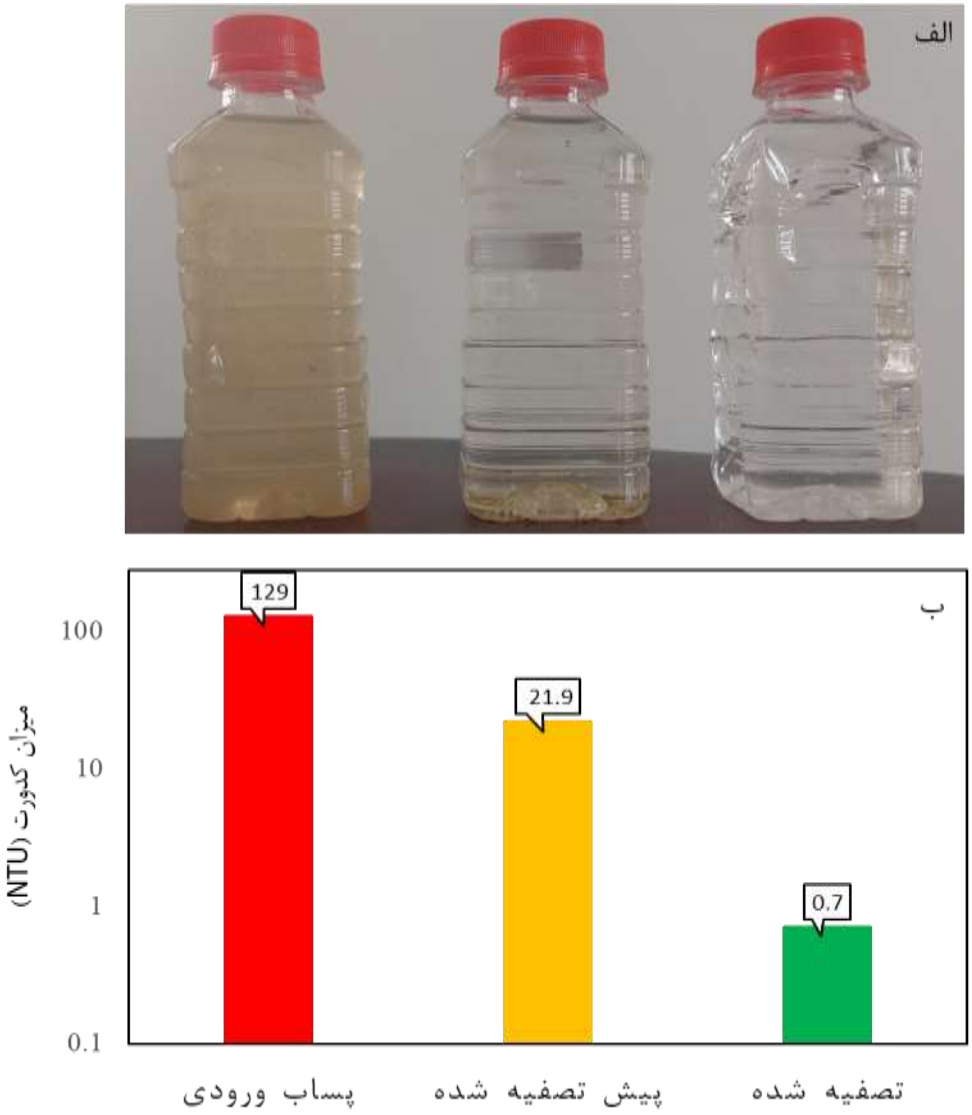


شکل ۳. عملکرد غشای سرامیکی به‌منظور جداسازی ذرات معلق باگذشت زمان بدون شستشوی غشایی (الف) و نیز همراه با شستشو در بازه‌های زمانی (ب)

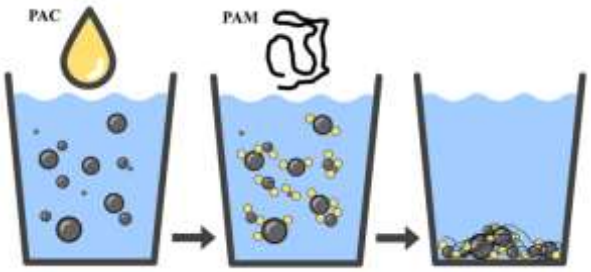
۳-۳ کیفیت پساب تصفیه‌شده

شکل ۴ الف تصویر ظاهری پساب شهرک، پساب پس از انعقاد سازی و پساب خروجی از فیلتراسیون غشایی را که پساب تصفیه شده نهایی است را به ترتیب نشان می‌دهد. مطابق شکل، در مرحله اولیه تصفیه (مرحله انعقاد سازی) بخش زیادی از مواد معلق

داخل پساب جدا شده ولی بخش معینی از آن داخل پساب باقی‌مانده است. در این فرایند منعقد کننده‌های پلی آلومینیوم کلراید و پلی آکریلامید استفاده شد که پلی آلومینیوم کلراید (PAC) انعقاد سازی اولیه را انجام داده و پلی آکریلامید (PAM) بدلیل ساختار زنجیری، منجر به اتصال مواد منعقدشده به هم و ته‌نشینی آن‌ها شد. شماتیکی از مرحله انعقاد سازی در شکل ۵ آورده شده است. پس از مرحله انعقاد سازی از فیلتراسیون غشایی استفاده‌شده و مواد معلق باقی‌مانده نیز با استفاده از این مرحله حذف شد. همانطور که از شکل ۴ الف واضح است، پساب تصفیه‌شده نهایی که همان پساب خروجی از غشا می‌باشد کاملا شفاف شده است. این رفتار، با نتایج حاصل از ارزیابی کدورت پساب در هر مرحله که در شکل ۴ ب نشان داده‌شده است همخوانی داشته است. مطابق این شکل کدورت پساب بعد از تصفیه نهایی به مقدار زیر یک رسیده که کمتر از کدورت استاندارد آب مصرفی شهرک‌های صنعتی بوده و از این نظر در این شهرک‌ها قابل‌استفاده می‌باشد.



شکل ۴. تصویر ظاهری (الف) و کدورت (ب) پساب خام و پساب تصفیه‌شده در هر یک از مراحل تصفیه



شکل ۵. شماتیکی از مرحله انعقاد سازی با PAC و PAM

۳-۴ بار میکروبی

وجود بار میکروبی در آب مانع از استفاده آن برای مصارف مختلف شده و حذف آن اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. ازاین‌رو استفاده از مرحله‌ای برای حذف بار میکروبی به‌عنوان یکی از مراحل تصفیه لازم و ضروری است که در این تحقیق از غشای سرامیکی به‌عنوان این مرحله بهره گرفته شد. بار میکروبی پساب خام و تصفیه‌شده توسط آبفای آذربایجان شرقی موردانداز‌ه‌گیری قرارگرفته و در جدول ۳ گزارش‌شده است. بر اساس این جدول بار میکروبی پساب تصفیه‌شده کاملا استاندارد بوده و آب تصفیه‌شده عاری از میکروب می‌باشد. این رفتار توانایی مرحله فیلتراسیون غشایی را در حذف بار میکروبی نشان داده و ضرورت مرحله فیلتراسیون غشایی را در انجام فرایند تصفیه به خوبی نشان می‌دهد. با حذف بار میکروبی پساب تصفیه‌شده قابلیت کاربرد در مصارف صنعتی را به‌آسانی خواهد داشت.

جدول ۳. گزارش آزمون باکتریولوژی پساب توسط آبفای آذربایجان شرقی

نمونه	توتال کلیفرم[t]	فکال کلیفرم[u]	اشرشیاکلی[v]	نتیجه
پساب خام	>۱۶۰۰	۱۵۰۰	>۱۶۰۰	آلوده
پساب تصفیه شده	<۱/۸	<۱/۸	<۱/۸	پاک

۳-۵ مقایسه با روش های دیگر

در این پژوهش با استفاده از فرایند تعبیه شده، کدورت پساب بعد از پیش تصفیه اولیه به ۲۱/۹ NTU رسیده و بعد از مرحله فیلتراسیون غشایی به زیر یک رسید این در حالی است که بر اساس پژوهشی که برایی و همکاران [۳۲] بمنظور تصفیه آب شهر آبادان انجام داده بودند صافی دو مرحله ای تعبیه شده توانست کدورت را تا نزدیک ۸۶ NTU کاهش دهد. این نتیجه به خوبی کارایی هر دو مرحله استفاده شده در پژوهش حاضر را بمنظور حذف کدورت نشان می‌دهد. بر اساس پژوهشی که نور[w] و همکاران [۳۳] انجام دادند از روش ازن زنی برای حذف بار میکروبی آبهای خاکستری استفاده کردند. روش ازن زنی استفاده

[t] Total coliform
[u] Fecal coliform
[v] Thermoduric ecoli
[w] Nur

شده توانست مقدار توتال کلیفرم را تا ۷۸ کاهش دهد در حالی که با عبور پساب از فرایند استفاده شده در پژوهش حاضر، توتال کلیفرم تا زیر ۱/۸ کاهش یافت. این نتیجه نشان از قابلیت بالای فیلتراسیون غشایی در حذف بارمیکروبی پساب می‌باشد.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق از فرایند ترکیبی انعقاد سازی-فیلتراسیون غشایی برای تصفیه پساب شهرک سهند استفاده شد. پلی آلومینیوم کلراید و پلی آکریلامید به‌عنوان منعقد کننده استفاده‌شده و توانستند حجم زیادی از مواد معلق را حذف کرده و منجر به کاهش قابل‌توجه کدورت پساب شوند. در ادامه از فیلتراسیون غشایی به‌عنوان مرحله نهایی تصفیه استفاده شد. بررسی عملکرد غشای استفاده‌شده نشان داد که عبوردهی غشا بدلیل تجمع ذرات معلق در سطح حفرات بازمان کاهش یافت اما این گرفتگی غشایی با یک شستشوی سطحی از بین رفته و عبوردهی به حالت اولیه خود بازگشت. برگشت‌پذیر بودن گرفتگی با یک شستشوی سطحی نشان از قابلیت بالای این فرایند برای صنعتی شدن داشت. نتایج حاصل از بررسی کدورت و بار میکروبی بعد از فیلتراسیون غشایی نشان داد این مرحله کدورت را به زیر یک رسانده و بار میکروبی آن را حذف کرده است که دلیلی بر اهمیت استفاده از فیلتراسیون غشایی در فرایند تصفیه بود. ترکیب فرایند انعقاد سازی با فیلتراسیون غشایی توانست پساب حاصل از شهرک سهند که حاوی کدورت بالا و بار میکروبی بوده است را به پسابی با کدورت زیر یک و بدون بار میکروبی تبدیل کند که می‌تواند به‌عنوان آب مصرفی صنایع استفاده‌شده و نقش قابل‌توجهی در صرفه‌جویی و حفظ ذخایر آبی داشته باشد.

۵- فهرست منابع و ماخذ

[1] Tariq, A., & Mushtaq, A. (2023). Untreated wastewater reasons and causes: a review of most affected areas and cities. *Int. J. Chem. Biochem. Sci*, 23, 121–143.

[2] Teh,C. Y., Budiman, P. M. K., Shak,P. Y., & T. Y. Wu. (2016). Recent advancement of coagulation–flocculation and its application in wastewater treatment. *Ind. Eng. Chem. Res*, 55 (16), 4363–4389.

[3] Khan, A. A.,& Boddu, S. (2021). Hybrid membrane process: an emerging and promising technique toward industrial wastewater treatment. *Membrane-based hybrid processes for wastewater treatment*, Elsevier, 257–277.

[4] Asano, T., & Cotruvo, J. A. (2004). Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations. *Water Res.*, 38 (8), 1941–1951.

[5] Matilainen, A., Lindqvist, N., Korhonen,S., & Tuhkanen, T. (2002). Removal of NOM in the different stages of the water treatment process. *Environ. Int.*, 28 (6), 457–465.

[6] Sonune, A., & Ghate, R. (2004). Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 167, 55–63.

[7] Valinia, F., Rasouli, N., Yousefifard, M. (2018). Investigation of the Absorbent Properties of Magnetically Modified Sepiolite (Ni0.5Zn0.5Fe2O4/Sepiolite) in removing Methylene Blue cationic dye from aqueous solution, *J. Appl. Chem.*, 13 (47), 287-300. (in persian)

[8] Amuda, O. S., & Amoo, I. A. (2007). Coagulation/flocculation process and sludge conditioning in beverage industrial wastewater treatment. *J. Hazard. Mater.*, 141 (3), 778–783.

[9] Karimi, M., Benvidi, A., Mansour, S., Karimi, M. A., Dalirnasab,S., & Tezerjani, M. D. (2021). A simple electrochemical method for ozone generation and using for removal of C . I . Reactive blue 203 (RB 203) from textile wastewater. *J. Appl. Chem*., 15 (57), 45-54. (in persian)

[10] Droste, R. L., & Gehr, R. L. (2018). *Theory and practice of water and wastewater treatment*. John Wiley & Sons.

[11] Yang, G., Fan, M., & Zhang, G. (2014). Emerging contaminants in surface waters in China—a short review. *Environ. Res. Lett.*, 9 (7), 74018.

[12] Syariah, K. B., & Ilmu, G. (2016). Covariance Structure Analysis of Health-Related Indicators in Elderly People Living at Home with a Focus on Subjective Health Perception. September, 1–6.

[13] Peyvandi, M., Haghighi, A., Nasiri, M. (2012). Removal of Copper Ions from Wastewater through Membrane Filtration Methods. *J. Appl. Chem.*, 7 (24), 99-109. (in persian)

[14] Hasani, A., Jafari, M., Hejri, Z., Omidvar, M. (2019). Magnetic activated carbon synthesis to reduce COD from the wastewater of Parsian Khavaran fibers factory using hybrid system of adsorption and membrane. *J. Appl. Chem.*, 14 (51), 89-102. (in persian)

[15] Foroughi, M., Khiadani, M., Kakhki, S., Kholghi, V., Naderi, K. Yektay, S. (2022). Effect of ozonation-based disinfection methods on the removal of antibiotic resistant bacteria and resistance genes (ARB/ARGs) in water and wastewater treatment: a systematic review. *Sci. Total Environ.*, 811, 151404.

[16] Chen, X., Ma, J., Chen, J., Wang, Z. (2023). Ceramic membrane filtration coupled with ozonation for water purification: Principles, applications and perspectives. *J. Water Process Eng.*, 55, 104127.

[17] Fu, W., Tang, T., Chen, X., Yang, Y., Mi, B., Yang, K., Xu, X., Zhang, X. (2023). Nano-ceramic membranes combined with ozonation for water treatment: Fundamentals and engineering applications," *J. Hazard. Mater. Adv*, 10, 100279.

[18] Tomaszewska, M. (2007). Industrial wastewater treatment by means of membrane techniques. *Polish J. Chem. Technol.*, 9 (3), 138–142.

[19] Judd, S., & Jefferson, B. (2003). *Membranes for industrial wastewater recovery and re-use*. Elsevier.

[20] Kianfar, M., Mohammadi, A. (2020). Synthesis, characterization and application of epoxy-triazine-modified cellulose nano-adsorbent for removal of toxic malachite green dye from aqueous media. *J. Appl. Chem.*, 15 (56), 163–178. (in persian)

[21] Zheng Xiang, Z. X., & *et al.* (2015) .Overview of membrane technology applications for industrial wastewater treatment in China to increase water supply. *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 1-10.

[22] Tomczak, W., Gryta, M. (2021). Application of ultrafiltration ceramic membrane for separation of

oily wastewater generated by maritime transportation. *Sep. Purif. Technol.*, 261, 118259.

[23] Matos,M., Díaz-Ruiz, R., Marefati, A., Rayner, M., & Gutiérrez, G. (2020). *Encapsulation of antioxidants using double emulsions*. Emuls. Encapsulation Antioxidants Des. Perform., 249–286.

[24] Yu, Z., Zhang, X., Ngo, H., Guo, W., Wen, H., Deng, L., Li, Y., Guo, J. (2018). Removal and degradation mechanisms of sulfonamide antibiotics in a new integrated aerobic submerged membrane bioreactor system. *Bioresour. Technol.*, 268, 599–607.

[25] Noor, S.F., Ahmad, N., Khattak, M.A., Khan, M.S., Mukhtar, A., Kazi, S., Badshah, S., Khan, R. (2017). Application of Sayong ball clay membrane filtration for Ni (ii) removal from industrial wastewater. *J. Taibah Univ. Sci.*, 11 (6), 949–954.

[26] Ebrahimi, M., Busse, N., Kerker, S., Schmitz, O., Hilpert, M., Czermak, P. (2015). Treatment of the bleaching effluent from sulfite pulp production by ceramic membrane filtration. *Membranes*, 6 (1), 7.

[27] Almandoz, M. C., Pagliero, C. L., Ochoa, N. A., Marchese, J. (2015). Composite ceramic membranes from natural aluminosilicates for microfiltration applications. *Ceram. Int.*, 41 (4), 5621–5633.

[28] Ajiboye, T. O., Sawunyama, L., Ravele, M., Adeleke, A., Seheri, N., Onwudiwe, D., Mhlanga, S. (2023). Synthesis approaches to ceramic membranes , their composites , and application in the removal of tetracycline from water. *Environ. Adv.*, 12, 100371.

[29] Zhou, J., Zhang, X., Wang, Y., larbot, A., Hu, X. (2010). Elaboration and characterization of tubular macroporous ceramic support for membranes from kaolin and dolomite. *J Porous Mater*., 17, 1–9.

[30] Parsons, D. S., Jefferson,B. (2006). *Introduction to potable water treatment processes* (Vol. 5). Wiley Online Library.

[31] Association, A. P. H. (1926). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 6). American Public Health Association.

[32] Baraee, I., Borghei, M., Takdastan, A., Hasani, A., Hasani, A., Javid, A. (2016). The Performance Assessment of Dual Media Filters in Different Loading Rate in" Abadan "Water Treatment Plant. *J. Environ. Sci. Technol*, 21 (6),271-285. (in persian)

[33] Nur, B., Akdag, Y., Fakioglu, M., Korkut, S., Guven, H. Ersahin, M., Ozgun, H. (2023). Coupling ozonation with hydrogen peroxide and chemically enhanced primary treatment for advanced treatment of grey water. *J. Environ. Chem. Eng.*, 11 (3), 110116.