

## Experimental investigation of the sour-water treatment of Mozdouran layer wells using an ultrafiltration process

Mohammad Ali Dehghanzadeh<sup>1</sup>, Maryam Omidvar<sup>✉\*</sup>, Zahra Hejri<sup>3</sup>, Esmail Koohestanian<sup>4</sup>

1. Department of Chemical Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran, E-mail: [deghana33@gmail.com](mailto:deghana33@gmail.com)

2. Corresponding author, Department of Chemical Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran,

E-mail: [maryam.omidvar@iau.ac.ir](mailto:maryam.omidvar@iau.ac.ir)

3. Department of Chemical Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran, E-mail: [za.hejri@iau.ac.ir](mailto:za.hejri@iau.ac.ir)

4. Department of Chemical Engineering, Iranshahr Branch, Islamic Azad University, Iranshahr, Iran,

E-mail: [koohestanian@pgs.usb.ac.ir](mailto:koohestanian@pgs.usb.ac.ir)

---

### Article Info

### ABSTRACT

**Article type:** research paper

**Article history:**

Received 26 March 2024

Received in revised for 23  
May 2024

Accepted 13 August 2024

Published online 25 August  
2024

**Keywords:**

Wastewater treatment,

Ultrafiltration,

Membrane processes,

Oily wastewater,

Sour water.

While the petroleum industry plays a significant role in the global economy, it also produces a considerable amount of oily wastewater, posing environmental challenges. Petroleum wastewater contains diverse pollutants, including phenol, sulfide, ammonia, petroleum hydrocarbons, mercaptans, oil, and grease. Therefore, petroleum wastewater and oil-water emulsions are considered two of the main environmental pollutants. Various methods like gravity separation, sand filtration, chemical treatment, membrane filtration, biological treatment, advanced oxidation processes, and electrochemical treatment are employed to treat petroleum wastewater. Among the methods used to treat these contaminants, polymeric ultrafiltration membranes have attracted significant attention for reasons such as high separation efficiency, cost-effectiveness, and process simplicity. This research presents the results of experimental studies on treating petroleum wastewater using the ultrafiltration process. For the experiments, a handmade modified polysulfone membrane was used as the ultrafiltration membrane, and a sample of sour water produced from Mozdouran layer wells was used as the feed. The effect of operational conditions, including the applied pressure difference across the membrane and the feed temperature, on the permeate flux and pollutant removal efficiency, was investigated. The results indicate that increasing the effective pressure difference and temperature increases the permeate flux. At a constant temperature of 25 °C, increasing the pressure from 3 to 5 bar results in an increase in COD and turbidity removal by 29% to 40% and 55.31% to 74.41%, respectively, while the removal efficiency of electrical conductivity and TDS decreases from 29.45% to 21.3% and from 28.2% to 22.3%, respectively. Additionally, the removal efficiency of H<sub>2</sub>S decreases from 86% to 55%.

---

**Cite this article:** Dehghanzadeh, Omidvar, Hejri, Koohestanian (2024). Experimental investigation of the sour-water treatment of Mozdouran layer wells using an ultrafiltration process, *Journal of Separation Science and Engineering*, 16 (1), 50-61. <http://doi.org/10.22103/jsse.2024.4407>



© The Author(s).

**Publisher:** Shahid Bahonar University of Kerman

## مطالعه تجربی تصفیه آب ترش چاه‌های لایه مزدوران با استفاده از فرآیند اولترافیلتراسیون

محمدعلی دهقان‌زاده<sup>۱</sup>، مریم امیدوار<sup>۲</sup>، زهرا هجری<sup>۳</sup>، اسماعیل کوهستانیان<sup>۴</sup>

۱. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قوچان، گروه مهندسی شیمی، قوچان، ایران رایانامه: [dehghana33@gmail.com](mailto:dehghana33@gmail.com)

۲. نویسنده مسئول، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قوچان، گروه مهندسی شیمی، قوچان، ایران. رایانامه: [maryam.omidvar@iau.ac.ir](mailto:maryam.omidvar@iau.ac.ir)

۳. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قوچان، گروه مهندسی شیمی، قوچان، ایران. رایانامه: [za.hejri@iau.ac.ir](mailto:za.hejri@iau.ac.ir)

۴. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایرانشهر، گروه مهندسی شیمی، ایرانشهر، ایران. رایانامه: [koohestanian@pgs.usb.ac.ir](mailto:koohestanian@pgs.usb.ac.ir)

### چکیده

در حالیکه صنعت نفت نقش مهمی در اقتصاد جهانی ایفا می‌کند، همچنین مقدار قابل توجهی پساب نفتی تولید کرده که چالش‌های زیست محیطی را به همراه دارد. فاضلاب نفتی حاوی آلاینده‌های مختلفی از جمله فنل، سولفید، آمونیاک، هیدروکربن‌های نفتی، مرکاپتان‌ها، روغن و گریس است. از اینرو پساب‌های نفتی و امولسیون‌های نفت-آب، دو نمونه از اصلی‌ترین آلوده کننده‌های محیط زیست محسوب می‌شوند. روش‌های مختلفی مانند جداسازی ثقیلی، فیلتر شنی، تصفیه شیمیایی، فیلتراسیون غشایی، تصفیه بیولوژیکی، فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته و تصفیه الکتروشیمیایی برای تصفیه پساب‌های نفتی استفاده می‌شوند. در بین روش‌های بکارگرفته شده جهت تصفیه این آلاینده‌ها، استفاده از غشاهای پلیمری اولترافیلتراسیون به دلایلی همچون راندمان بالای جداسازی، مقرون به صرفه بودن از جهت اقتصادی و سادگی فرآیند، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. در این تحقیق نتایج حاصل از بررسی‌های تجربی تصفیه پساب نفتی به روش اولترافیلتراسیون ارائه شده است. برای انجام آزمایش‌ها از غشا پلی‌اتر سولفون دست ساز اصلاح شده به عنوان غشا اولترافیلتراسیون و نمونه‌ای از آب ترش تولیدی چاه‌های لایه مزدوران به عنوان خوراک استفاده شده است. تاثیر شرایط عملیاتی از جمله اختلاف فشار اعمال شده در دو طرف غشا و دمای خوراک بر روی فلاکس عبوری از غشا و میزان حذف آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد با افزایش اختلاف فشار مؤثر بر فرآیند و دما، شار تراوه افزایش می‌یابد و در دمای ثابت ۲۵ °C، افزایش فشار از ۳ تا ۵ bar، باعث افزایش میزان حذف COD و کدورت به ترتیب از ۲۹ درصد به ۴۰ درصد و از ۵۵/۳۱ درصد به ۷۴/۴۱ درصد، کاهش میزان حذف هدایت الکتریکی و TDS به ترتیب از ۲۹/۴۵ درصد به ۲۱/۳ درصد و از ۲۸/۲ درصد به ۲۲/۳ درصد و کاهش میزان حذف H<sub>2</sub>S از ۸۶ درصد به ۵۵ درصد می‌شود.

### اطلاعات مقاله

نوع مقاله: علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۳/۱/۷

دریافت پس از اصلاح: ۱۴۰۳/۳/۳

پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۵/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۶/۴

### کلمات کلیدی:

تصفیه پساب؛  
اولترافیلتراسیون؛  
فرآیند غشایی؛  
پساب نفتی؛  
آب ترش.

استناد: دهقان‌زاده، امیدوار، هجری، کوهستانیان (۱۴۰۳). مطالعه تجربی تصفیه آب ترش چاه‌های لایه مزدوران با استفاده از فرآیند اولترافیلتراسیون،

نشریه علوم و مهندسی جداسازی، (۱) ۱۶، ۵۰-۶۱.

<http://doi.org/10.22103/jsse.2024.4407>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه شهید باهنر کرمان

## ۱- مقدمه

اهمیت نفت و گاز طبیعی در زندگی مدرن امروز بر هیچ کس پوشیده نیست. با این حال فرآیندهای مربوط به نفت و گاز مانند بسیاری از فرآیندهای تولیدی دیگر، حجم زیادی از آلودگی‌های مایع ایجاد می‌کنند. تحقیقات نشان می‌دهد که حجم پساب تولید شده ۰/۴ تا ۱/۶ برابر نفت تصفیه شده است [۱]. پساب تولید شده<sup>۱</sup> میادین نفت و گاز، حاوی ترکیبات آلی و غیر آلی گوناگونی بوده که دفع آن می‌تواند موجب آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین خاک شود [۲]. از سوی دیگر به دلیل حجم بالای پساب تولید شده، بسیاری از کشورهای نفت خیزی که از مشکل کمبود آب نیز رنج می‌برند به دنبال یافتن راهی مؤثر و مقرون به صرفه برای تصفیه آب تولید شده و حذف آلودگی‌های آن هستند تا کمبود منابع آب خود را جبران کنند. بازیابی و استفاده مجدد از آب تولید شده برای مصارفی نظیر تزریق زیرزمینی جهت ازدیاد برداشت از مخازن نفتی، استفاده در آبیاری، تأمین آب موردنیاز زیست بوم‌های حیات وحش و بسیاری مصارف صنعتی دیگر نظیر کنترل گرد و خاک، شست و شوی ماشین آلات، استفاده در نیروگاه‌ها و مهار آتش به کار می‌رود [۳]. آب شور و آب همراه با نفت تولید شده می‌تواند با روش‌های متنوع فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و غشایی تصفیه شود. با اینحال غلظت آلاینده‌های نفتی در آب تصفیه شده، با استفاده از فرآیندهای متداول معمولاً بیشتر از حد مجاز است [۴]. همچنین در حفاری دریایی برای استخراج نفت به دلیل محدودیت فضا، فناوری‌های فشرده فیزیکی و شیمیایی تصفیه آب ترجیح داده می‌شوند. از اینرو تصفیه غشایی یک روش کارآمد و مقرون به صرفه برای حذف ترکیبات محلول و معلق موجود در آب تولید شده در استخراج نفت از میادین نفتی محسوب می‌شود [۵].

امروزه در حوزه تصفیه آب صنایع نفتی و گازی، استفاده از غشا نیز بسیار متداول بوده و میتوان به استفاده از غشاهای اولترافیلتراسیون<sup>۲</sup> (UF)، نانو فیلتراسیون<sup>۳</sup> (NF)، میکرو فیلتراسیون<sup>۴</sup> (MF)، اسمز معکوس<sup>۵</sup> (RO) و اسمز مستقیم<sup>۶</sup> (DO) اشاره کرد [۶]. از میان فرآیندهای غشایی، فرآیند اولترافیلتراسیون یکی از موثرترین روش‌های تصفیه پساب‌های

نفتی است. در مقایسه با روش‌های سنتی، فرآیند اولترافیلتراسیون دلیل عدم استفاده از مواد افزودنی، مصرف انرژی پایین‌تر و بازده بالای حذف ذرات نفت کاربرد بسیار گسترده‌ای دارند [۷]. غشاهای معمولاً از جنس پلیمر، فلز و سرامیک ساخته می‌شوند. مواد مورد استفاده در ساخت غشاهای پلیمری، محدوده وسیعی از هیدروکربن‌های ساده (مانند پلی پروپیلین) پلی فلور و پلیمرها، الاستومرها، پلی‌امیدها، پلی-سولفون‌ها و پلی اتر سولفون‌ها را شامل می‌شود [۸]. یکی از پلیمرهای کاربردی در زمینه تصفیه پساب‌های نفتی، پلی اتر-سولفون است. غشاهای پلی اترسولفون به خاطر پایداری خوب فیزیکی شیمیایی و مقاومت در برابر اکسیداسیون، کاربرد وسیعی در زمینه تصفیه پساب‌های نفتی دارند [۹]. از اینرو در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی بر روی این غشاهای صورت گرفته است.

حسینی و همکاران [۱۰] عملکرد پایلوت غشایی اولترا فیلتراسیون بر مبنای غشای پلی تترا فلورو اتیلن<sup>۷</sup> (PTFE) را در تصفیه پساب نفتی حاوی آلاینده‌های سبک و سنگین نفتی بررسی کردند. آنها اثرات سرعت هوادهی و فلاکس غشا را بر روی عملکرد غشا و راندمان حذف آلاینده‌های نفتی به منظور پیدا کردن شرایط بهینه آزمایش کردند. آنها توانستند به راندمان حذف آلاینده‌های نفتی بیش از ۹۱ درصد دست یابند. کیاو<sup>۸</sup> و همکارانش [۱۱] پساب حاصل از میدان نفتی داکینگ<sup>۹</sup> را با استفاده از یک دستگاه تصفیه شامل تانک هوادهی، فیلتر شنی و غشای اولترافیلتراسیون بر مبنای پلی وینیل کلراید تصفیه کردند. آنها ضمن کاهش نفت محلول در پساب به کمتر از ۰/۵ mg/L غلظت مقادیر سایر آلاینده‌های جامد معلق موجود در پساب خروجی را در حد مجاز گزارش کردند. جین و همکارانش [۱۲] مقاومت رسوب<sup>۱۰</sup> غشاهای تجاری پلی اتر سولفون را با استفاده از پوشش دهی سطح غشا با پلی اتر کتون سولفون<sup>۱۱</sup> بهبود دادند. کریشنر و همکارانش [۱۳] مقاومت رسوب غشای تجاری پلی سولفون را با پوشش دهی سطح آن با استفاده از پلی دوپامین<sup>۱۲</sup> و پلی (۲- متاکریلویلوکسی اتیل فسفریل کولین)<sup>۱۳</sup> بهبود دادند. رضوی و میری [۱۴] تصفیه‌ی پساب تصفیه خانه اراک با استفاده از بیوراکتور غشایی را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه

8. Qiao  
9. Daqing  
10. Fouling-resistant  
11. sulfonated polyether ether ketone  
12. polydopamine  
13. poly (2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine)

1. Produced Wate  
2. Ultra-Filtration  
3. Nano filtration  
4. Micro filtration  
5. Reverse osmosis  
6. Direct osmosis  
7. Polytetrafluoroethylene

## ۲- فعالیت های تجربی

### ۲-۱- نمونه گیری از آب ترش تولیدی

آب تولید شده همراه گاز، ابتدا توسط سپراتورهای عمودی<sup>۱۶</sup> با نیروی گریز از مرکز و در اثر نیروی ثقل ذرات آب جدا شده و پس از تجمع در انباره<sup>۱۷</sup> توسط جداکننده دو فازی<sup>۱۸</sup> نفت و آب از هم جدا می شوند. پساب مورد آزمایش از این قسمت گرفته شد. به منظور تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی آن مانند کدورت، هدایت الکتریکی، COD، TDS و میزان H<sub>2</sub>S مورد آنالیز قرار گرفت.

### ۲-۲- مواد و تجهیزات

مواد مورد نیاز: آب مقطر، پساب نفتی، غشا اولترافیلتراسیون دست ساز پلی اتر سولفون اصلاح شده [۱۶] تجهیزات مورد نیاز برای تهیه و آنالیز نمونه ها به همراه مشخصات و علت به کارگیری آنها در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱: تجهیزات مورد نیاز.

Table 1. Required equipment.

کاربرد	مشخصات	وسایل و تجهیزات
حذف آلودگی های موجود در پساب	شکل ۱	دستگاه جداسازی غشایی
تعیین میزان یون	Inolab Cond 7110 WTW	دستگاه اندازه گیری هدایت الکتریکی
اندازه گیری کل ذرات جامد محلول	Inolab Cond 7110 WTW	دستگاه اندازه گیری TDS
اندازه گیری میزان کدورت برحسب FAU	DR2010	کدورت سنج
اندازه گیری میزان COD	DR2010	دستگاه اندازه گیری COD
اندازه گیری میزان H <sub>2</sub> S	Metrohm	دستگاه اندازه گیری H <sub>2</sub> S
بدست آوردن مقدار COD	HACH	ویال ۱۵۰۰۰ mg/l
سنجش و کنترل دما	SAMWON ENG (SU - 105PRR)	ترموستات دیجیتال (TIC) <sup>۱۹</sup>
جهت گرم کردن پساب		المنت گرمایی
جهت اندازه گیری دمای پساب		دماسنج
جهت یکنواخت شدن دمای پساب		همزن

ظرفیت غشای فیبر توخالی بیوراکتور غشایی طراحی شده و تصفیه پذیری در زمان ماند، شار، دما و شرایط عملیاتی متفاوت بررسی شده است. بیوراکتور حاوی یک غشا اولترافیلتراسیون بوده و پساب پالایشگاه اراک به عنوان یک جریان نافذ مورد استفاده قرار گرفته است. این بیوراکتور در سراسر ۱۶۰ روز در حال اجرا بود. نتایج نشان داد که بازده حذف اکسیژن شیمیایی مورد نیاز<sup>۱۴</sup> (COD) و کدورت فراورده به ترتیب ۹۸ و ۸۲ درصد بوده است. داداری و همکارانش [۱۵] پژوهشی درباره تصفیه پساب نمک زدایی نفت خام با استفاده از سنتز نانو کامپوزیت با شار بالا و بهینه سازی غشای نانوفیلتراسیون با روش پاسخ سطح<sup>۱۵</sup> انجام دادند. آنها گزارش کردند که غلظت نانوذرات ۵ درصد وزنی بهترین تأثیر را در عملکرد غشای نانوفیلتراسیون برای پساب نمک زدایی داشته است. نتایج طراحی آزمایش های نرم افزاری برای نانوذرات ۰/۵ درصد وزنی جاسازی شده در غشا نانوفیلتر نشان داد عملکرد آن شبیه به اسمز معکوس بوده اما در فشار عملیاتی کمتر نیز این فرآیند انجام پذیر خواهد بود. مهمترین ایراد غشاهای پلی اتر سولفون، آبدوستی کم آنها است که باعث ایجاد رسوب شدید می شود. از این رو اصلاح غشاهای پلی اتر سولفون برای کاهش رسوب ضروری است. روش های مختلفی برای ارتقا آبدوستی غشاها وجود دارد که یکی از این روش ها استفاده از عوامل فعال سطحی در محلول ریخته گری ساخت غشا است [۱۶]. غشا دست ساز استفاده شده در این تحقیق بوسیله عامل فعال سطح Brij S100 اصلاح شده و خصوصیات آبدوستی آن ارتقا یافته است [۱۶]. هدف از انجام این پژوهش بررسی تجربی تصفیه پساب نفتی با استفاده از این غشا پلی اتر سولفون اصلاح یافته بوسیله عامل فعال سطح Brij S100 می باشد که تا کنون تحقیقی در این رابطه صورت نگرفته است. برای انجام آزمایش ها از غشا پلی اتر سولفون اصلاح شده به عنوان غشا اولترافیلتراسیون و نمونه ای از آب ترش تولیدی چاه های مزدوران به عنوان خوراک استفاده شده است. تاثیر شرایط عملیاتی از جمله اختلاف فشار اعمال شده در دو طرف غشا و دمای خوراک بر روی شار پساب و میزان حذف آلاینده ها مورد بررسی قرار گرفت.

17. Accumulator  
18. Two-phase separator  
19. Temperature indicator controller

14. Chemical oxygen demand  
15. Response surface method  
16. Separator vertical

جدول ۲: شرایط آزمایش‌های انجام شده

Table 2. Experimental conditions.

شماره آزمایش	دما (°C)	فشار (bar)
۱	۲۵	۳
۲	۲۵	۴
۳	۲۵	۵
۴	۴۵	۵
۵	۵۵	۵
۶	۶۵	۵

در انتها پس از انجام هر آزمایش توانایی جداسازی غشاها بر حسب درصد حذف کدورت، TDS و COD با استفاده از رابطه (۲) مورد بررسی قرار گرفت.

$$\%R = (1 - C_p/C_f) \times 100 \quad (2)$$

$C_p$ : غلظت شاخص آلودگی در جریان تراوه

$C_f$ : غلظت شاخص آلودگی در جریان خوراک

$\%R$ : درصد حذف

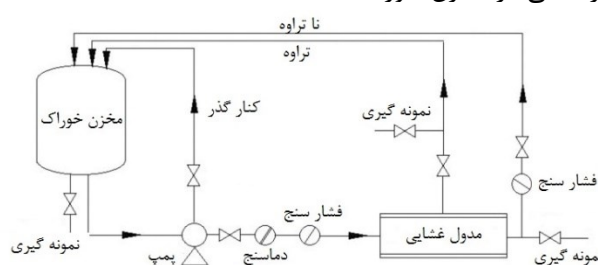
#### ۲-۴- آنالیز SEM از سطح مقطع عرضی غشای مورد استفاده

به منظور اطمینان از کیفیت غشای مورد استفاده، پیش از بکارگیری آن در مدول غشایی، سطح مقطع عرضی غشا پلی اتر سولفون، به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۲۲</sup> (SEM) آنالیز شد. تصاویر SEM سطح مقطع عرضی غشا پلی اتر سولفون خالص و اصلاح شده با دو بزرگنمایی متفاوت در شکل ۲ ارائه شده است. همانطور که در این تصاویر مشاهده می‌شود، غشا اصلاح شده از ساختار حفره‌دارتر در لایه رویین و حفرات درشت‌تر در لایه زیرین برخوردار است. همچنین ضخامت لایه رویین در غشا اصلاح شده کمتر می‌باشد که این امر موجب شار عبوری بیشتر این غشا می‌شود، زیرا نفوذ پذیری غشا به شدت به تخلخل و به خصوص به ضخامت و تخلخل لایه رویین غشا بستگی دارد [۱۷].

#### ۲-۳- انجام آزمایش‌ها با دستگاه جداسازی غشایی

عملکرد غشاهای ساخته شده، بوسیله دستگاه آزمایشگاهی غشایی به روش ناپیوسته بررسی شد. این دستگاه شامل تانک خوراک به حجم ۳ لیتر، پمپ، فشارسنج عقبه‌ای، مدول غشایی با قطر ۳/۴ cm و نیز لوله و اتصالات جانبی است که طرح شماتیک آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

پیش از انجام تحقیق تصفیه پساب، یک سری آزمایش‌های اولیه با آب مقطر برای آشنایی با مشکلات احتمالی سیستم، طرز کار دستگاه جداسازی غشایی، آب بندی مدول و نیز جلوگیری از وقوع خطاها در هنگام آزمایش‌های اصلی انجام پذیرفت. از آنجا که دما یکی از پارامترهای کنترلی می‌باشد، لذا، یک سیستم گرمایشی در مخزن خوراک تعبیه شده است.



شکل ۱: شماتیک سیستم آزمایشگاهی اولترافیلتراسیون.

Figure 1: Schematic of the laboratory ultrafiltration system.

به دلیل وجود مواد جامد نامحلول، ابتدا پساب مورد آزمایش به کمک کاغذ صافی، صاف گردید تا باعث ایجاد گرفتگی<sup>۲۰</sup> در غشا نگردد. برای انجام هر بار عملیات تصفیه پساب با استفاده از دستگاه غشایی، ابتدا ۲ لیتر پساب داخل مخزن خوراک ریخته شد و به مدول غشایی پمپ شد. فشار مورد نیاز با شیر خروجی از مدول در مسیر جریان تنظیم گردید. به منظور ثابت ماندن غلظت خوراک در هر آزمایش، تراوه و ناتراوه هر دو به تانک خوراک برگردانده شد. پس از اطمینان از برقراری حالت ثابت و یکنواخت در شار تراوه، شار پساب ( $WWF^{21}$ ) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$WWF^2 = \frac{Q}{A \cdot \Delta t} \quad (1)$$

که در این رابطه،  $Q$  مقدار جریان تراوه (Lit)،  $A$  سطح موثر غشا ( $m^2$ ) و  $\Delta t$  زمان نمونه گیری (hr) است. شرایط آزمایش‌های انجام شده در جدول ۲ گزارش شده است.

22. Scanning electron microscope

20. Fouling

21. Waste Water Flux



میکرون بوده که با کاغذ صافی جدا نمی‌شوند و دائماً به صورت معلق هستند. این ذرات نوری که به آنها تابیده می‌شوند را متفرق کرده که سبب جذب یا پراکنده کردن نور در مقایسه با انتشار آن می‌شود. در این تحقیق از کدورت سنج DR2010 استفاده شد که پس از کالیبره کردن دستگاه با آب مقطر به عنوان شاهد، مقدار کدورت نمونه‌ها توسط دستگاه کدورت سنج اندازه‌گیری و بر حسب واحد FAU گزارش گردید.

### ۲-۵-۳ تعیین اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)

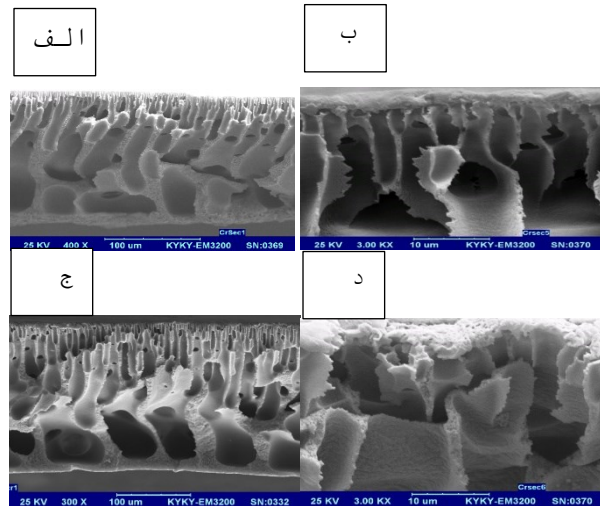
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) عبارتست از مقدار اکسیژن مورد نیاز برای تجزیه شیمیایی کلیه مواد آلی موجود در پساب. با کمک این شاخص می‌توان مقدار مواد آلی موجود در پساب را اندازه‌گیری نمود.

شرح آزمایش: ابتدا دستگاه هاضم راکتور تا دمای  $150^{\circ}\text{C}$  پیش‌گرم گردید. مقدار ۲ میلی لیتر آب مقطر به داخل ویال اضافه و بعد از بستن محکم درب آن، هم زده و به مدت دو ساعت در دمای  $150^{\circ}\text{C}$  قرار گرفت. سپس، ویال‌ها وارونه شده و اجازه داده شد که به دمای محیط برسند. پس از صفر کردن دستگاه توسط نمونه شاهد، با جایگزین کردن ویال نمونه به جای ویال شاهد مقدار COD نمونه توسط دستگاه اندازه‌گیری COD تعیین گردید.

### ۲-۵-۴ اندازه‌گیری میزان $\text{H}_2\text{S}$ موجود در پساب

شرح آزمایش: ابتدا نیمی از گاز شوی  $250$  میلی لیتری با سولفات کادمیم یک درصد پر شد و  $100$  میلی لیتر آب مقطر نیز به آن اضافه گردید. گاز شوی در مسیر جریان گاز با جریان یک فوت مکعب در ساعت قرار داده و خروجی آن به گازومتر متصل شد. پس از عبور مقدار مناسبی از گاز (حدود هشت ساعت) جریان گاز قطع و مقدار عبور گاز از روی گازومتر یادداشت گردید. به گاز شوی مقدار  $10$  میلی لیتر  $0.2\%$  نرمال اضافه و کاملاً هم زده شد. مقدار  $10$  میلی لیتر اسید کلریدریک به گاز شوی افزوده و مجدداً هم زده شد. محتوی گاز شوی در ارلن ریخته و توسط تیوسولفات سدیم  $0.2\%$  نرمال در مجاورت استارچ تیترا گردید. مقدار تیوسولفات مصرفی از  $10$  کم شد که مساوی ید مصرفی می‌باشد. مقدار گاز  $\text{H}_2\text{S}$  (بر حسب ppm) از رابطه (۳) محاسبه گردید:

$$\text{مصرفی ید} \times \frac{8}{28} = \text{مقدار گاز } \text{H}_2\text{S} \times \text{مقدار عبور گاز فوت مکعب} \quad (3)$$



شکل ۲: تصاویر سطح مقطع عرضی غشا، پلی اتر سولفون (الف) پلی اتر سولفون خالص، (ب) پلی اتر سولفون خالص با بزرگنمایی بالا، (ج) غشا پلی اتر سولفون اصلاح شده، (د) غشا پلی اتر سولفون اصلاح شده با بزرگنمایی بالا.

Figure 2: Cross-sectional images of the membrane: a) Pure polyethersulfone, b) Pure polyethersulfone at high magnification, c) Modified polyethersulfone membrane, d) Modified polyethersulfone membrane at high magnification.

### ۲-۵-۲ آنالیز نمونه‌ها

واحد اعداد یا کمیت‌هایی که در متن، جدول‌ها و شکل‌ها می‌آیند، یا عنوان محورهای یک نمودار را بیان می‌کنند، باید به صورت‌های استاندارد و در سیستم SI ذکر شوند.

### ۲-۵-۱ تعیین مقدار یون‌ها در نمونه‌های پساب با

#### استفاده از هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی (EC) قابلیت یک محیط مایع در انتقال جریان الکتریسیته است که در اثر وجود یون‌های مختلف در پساب حاصل می‌شود. آب مقطر در واقع یک عایق است و هر چه املاح هادی موجود در آب بیشتر باشد، هدایت الکتریکی بیشتر خواهد بود. کندانکتیومترها دارای یک الکتروود برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب می‌باشند. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ابتدا با محلول استاندارد دستگاه کالیبره شد و پس از تخلیه نمونه داخل بشر، الکتروود دستگاه کندانکتیومتر داخل آن قرار گرفت و پس از ۳ دقیقه مقدار هدایت الکتریکی خوانده شد.

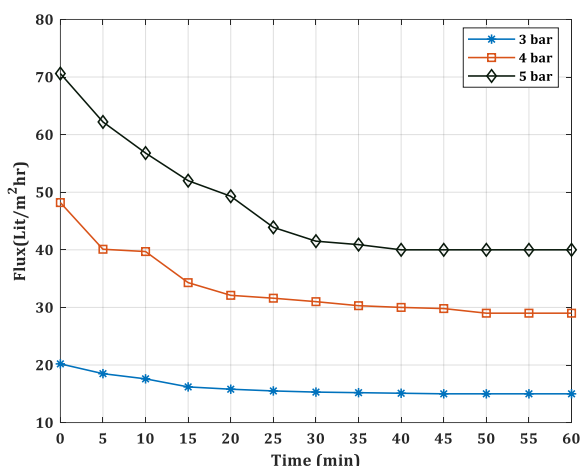
### ۲-۵-۲ اندازه‌گیری مقدار کدورت

کدورت نتیجه وجود ذرات معلق و کلوئیدی مانند شن و گل و لای می‌باشد. ذرات کلوئیدی دارای ابعاد بسیار کوچکتر از

کم باشد [۲۵]. با توجه به شکل ۳، شار نفوذی با گذشت زمان کاهش یافته و پس از مدت زمان مشخصی برای تمام فشارها به حالت پایدار در می آید. مطابق شکل فشار بهینه ۵ بار می باشد.

### ۳- نتایج و بحث:

در این بخش نتایج حاصل از انجام آزمایشها گزارش و مورد بحث و بررسی قرار گرفته شده است. نتایج آزمایشها به صورت بررسی تاثیر فشار و دما بر شار عبوری از غشا و شاخصهای تصفیه پساب فرآیند UF یعنی میزان حذف COD، کدورت، TDS و هدایت الکتریکی ارائه شده است.

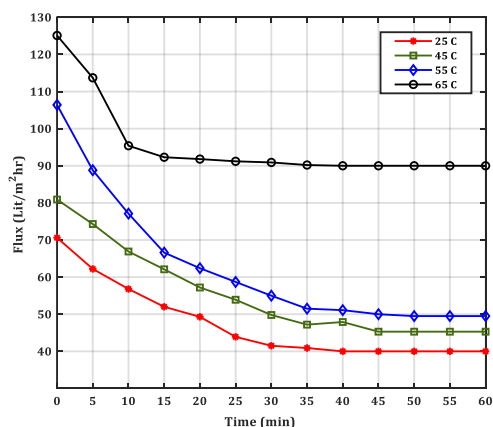


شکل ۳: تغییرات شار در فشارهای مختلف دردمای استاندارد محیط (۲۵°C).

Figure 3: Flux changes at different pressures at standard ambient temperature (25°C)

### ۳-۲ تاثیر دمای خوراک بر شار عبوری از غشا

میزان شار تراوه فرآیند در ۴ دمای مختلف ۲۵، ۴۵، ۵۵ °C و فشار بهینه ۵ bar در شکل ۴ ارائه شده است. مطابق شکل، با افزایش دما میزان شار افزایش می یابد. این افزایش فلاکس معمولاً با ویسکوزیته حلال، ضریب نفوذ حلال در غشا و میزان انبساط حرارتی ماده تشکیل دهنده غشا توضیح داده می شود. افزایش دما باعث کاهش ویسکوزیته حلال و در نتیجه سبب افزایش ضریب نفوذ حلال می شود. همچنین، به دلیل دمای بالا ممکن است ساختار غشا منبسط شده و حل شونده ها بتوانند به آسانی از میان غشا عبور کنند [۲۶].



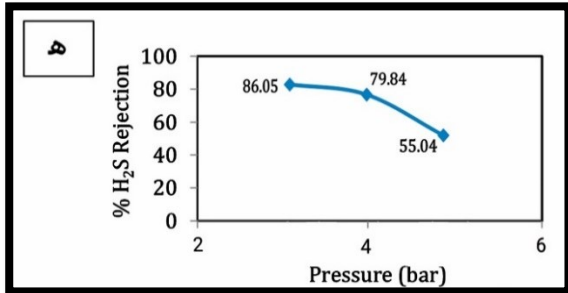
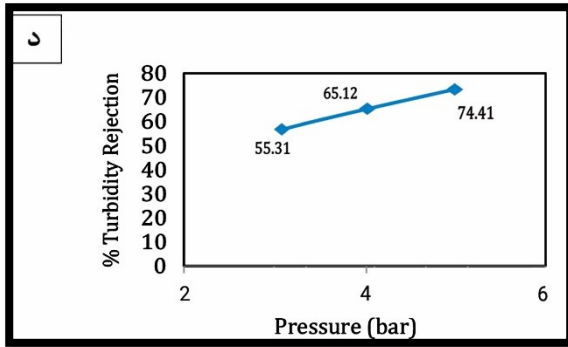
شکل ۴: تغییرات شار در دماهای مختلف و فشار بهینه ۵ bar.

Figure 4: Flux changes at different temperatures and optimal pressure of 5 bar.

### ۳-۱ تاثیر فشار عملیاتی بر شار عبوری از غشا

پارامتر کنترلی فشار یکی از مهمترین فاکتورها برای بررسی وجود پدیده گرفتگی و نوع گرفتگی سیستم در عملیات فرآیند غشایی می باشد [۱۸]. تاثیر فشار عملیاتی بر شار عبوری از غشا در دمای استاندارد محیط (۲۵°C)، در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس این شکل، با افزایش فشار عملیاتی میزان شار عبوری از غشا افزایش می یابد که این نتایج با قانون داری منطبق است [۱۹]. با افزایش فشار، پدیده شناخته شده پلاریزاسیون غلظتی بر روی سطح غشا رخ می دهد و اختلاف غلظت بین دو طرف غشا افزایش می یابد [۲۰]. بنابراین، نیرو محرکه ی نفوذ افزایش یافته و ذرات بیشتری از درون غشا عبور می کنند. از طرفی با مقایسه ی شیب این نمودار در بخش های مختلف می توان نتیجه گرفت که تاثیر افزایش فشار بر شار عبوری، در فشارهای عملیاتی بالاتر، بیشتر است. این امر را می توان به این صورت توجیه نمود که در فشارهای عملیاتی بالا میزان جریان عبوری از غشا و به تبع آن میزان آلاینده های پس زده شده توسط غشا بیشتر بوده و در نتیجه غلظت آلاینده بر روی سطح غشا افزایش یافته که منجر به گرفتگی سریعتر حفره ها و فشردن رسوبات روی سطح غشا می گردد [۲۱].

اتصال حفره ها با سطح غشا توسط توده های نفتی، رسوبات فشردن شده و غلظت بالا در سطح غشا همچون یک مقاومت در برابر پدیده ی نفوذ در غشا عمل کرده و سبب کاهش بیشتر شیب نمودار شار عبوری از غشا می گردد که با نتایج تحقیقات پیشین منطبق است [۲۲، ۲۳]. علاوه بر این، اختلاف فشار بالا مستلزم هزینه سرمایه گذاری و عملیاتی بیشتر بوده و طول عمر غشا نیز کاهش خواهد یافت. با افزایش فشار، گرفتگی غشاها افزایش می یابد؛ به طوری که فشار بالا منجر به گرفتگی شدید و برگشت ناپذیر غشاها خواهد شد [۲۴]. بنابراین فشار بهینه، فشاری است که فلاکس تراوشی تا حد قابل قبولی بالا بوده و تمایل به تشکیل کیک روی سطح غشا در آن فشار حتی الامکان



شکل ۵: تاثیر فشار بر میزان دفع آلودگی‌های پساب ترش؛ الف) دفع COD، ب) دفع هدایت الکتریکی (EC)، ج) دفع TDS، د) دفع کدورت، ه) دفع H<sub>2</sub>S.

Figure 5: Effect of pressure on the rejection of sour wastewater pollutants; a) COD rejection, b) Electrical conductivity (EC) rejection, c) TDS rejection, d) Turbidity rejection, e) H<sub>2</sub>S rejection.

اثر فشار بر میزان دفع COD در شکل ۵-الف نشان داده شده است. مطابق شکل، با افزایش فشار، میزان دفع COD افزایش می‌یابد. با افزایش فشار، به دلیل تجمع آلاینده‌ها و قطبی شدن در فرآیند فیلتراسیون غشایی، لایه‌ی ژلاتینی بر روی سطح غشا تشکیل می‌شود که مانع از ورود ذرات آلاینده و مواد آلی به درون حفره‌های غشا شده و درصد دفع COD افزایش می‌یابد [۲۷].

میزان دفع هدایت الکتریکی در فشارهای مختلف در شکل ۵-ب نشان داده شده است. با توجه به شکل با افزایش فشار، میزان دفع هدایت الکتریکی کاهش یافته است. زیرا با افزایش فشار، میزان عبور یون‌ها از غشا افزایش یافته که این امر سبب کاهش میزان دفع هدایت الکتریکی می‌گردد [۲۸].

اثر فشارهای مختلف بر میزان دفع TDS در شکل ۵-ج نشان داده شده است. به دلیل عبور یون‌ها و املاح موجود در پساب و عدم توانایی لازم غشا جهت جداسازی، با افزایش فشار میزان دفع TDS کاهش می‌یابد.

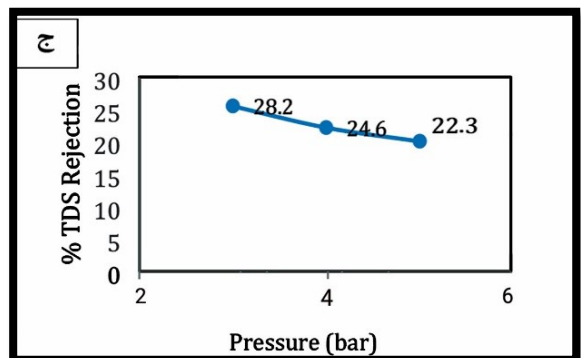
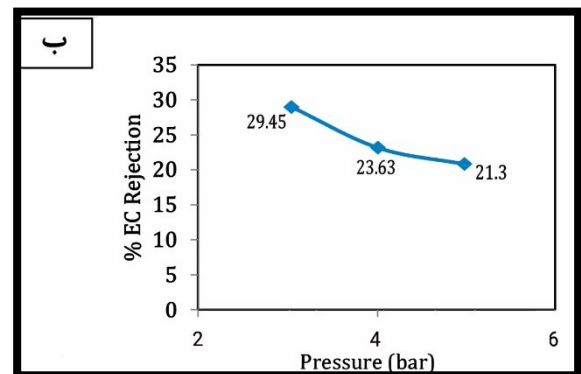
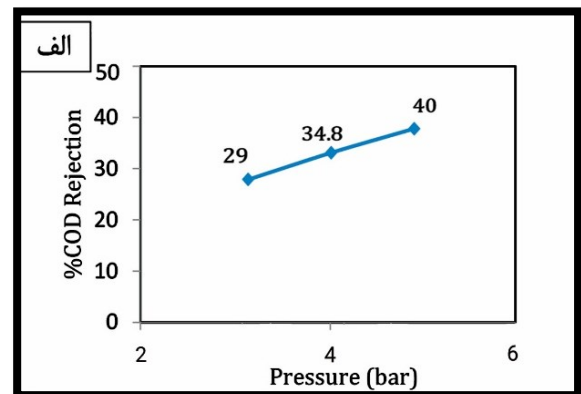
در شکل ۵-د میزان دفع کدورت در فشارهای مختلف نشان داده شده است. با افزایش فشار، درصد دفع کدورت افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش فشار، در راستای پلاریزاسیون

### ۳-۳ درصد دفع شاخص‌های آلودگی پساب

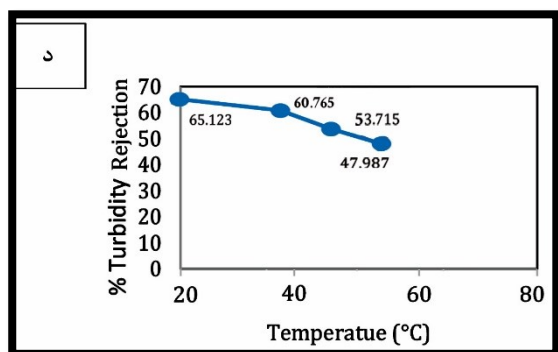
در این قسمت تأثیر فشار و دما بر میزان دفع آلودگی‌های COD، کدورت، TDS، هدایت الکتریکی و حذف H<sub>2</sub>S گزارش و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

### ۱-۳-۳ اثر فشار بر میزان دفع آلودگی پساب

یکی از عوامل موثر بر کارایی فرآیند غشایی UF اختلاف فشار در عرض غشا می‌باشد. هدف از انجام آزمایش‌های این بخش، بررسی اثر اختلاف فشار بر میزان دفع شاخص‌های آلودگی پساب توسط غشا است که در دمای محیط (۲۵ °C) انجام شد.







شکل ۵: تاثیر دما بر میزان دفع آلودگی‌های پساب ترش؛

الف) دفع COD، ب) دفع هدایت الکتریکی (EC)، ج) دفع TDS، د) دفع کدورت.

Figure 6: Effect of temperature on the rejection of sour wastewater pollutants; a) COD rejection, b) Electrical conductivity (EC) rejection, c) TDS rejection, d) Turbidity rejection.

در شکل ۶-الف) روند میزان حذف COD با دما نشان داده شده است. مطابق شکل با افزایش دما، میزان حذف COD کاهش می‌یابد. زیرا افزایش دما باعث انبساط ساختار غشا و عبور حل شونده‌ها، مواد آلی و افزایش نفوذپذیری حلال و ماده حل شونده می‌شود [۳۰].

شکل‌های ۶-ب) و ۶-ج) میزان دفع هدایت الکتریکی و TDS را در دماهای مختلف نشان می‌دهد که با توجه به این شکل‌ها با افزایش دما میزان دفع هدایت الکتریکی و TDS کاهش می‌یابد. زیرا افزایش دما باعث کاهش ویسکوزیته خوراک و افزایش نفوذپذیری حلال و ماده حل شونده شده که این سبب می‌شود یون‌ها جایگاه مناسبی برای پیوند پیدا نکرده و از غشا عبور کنند [۳۱].

شکل ۶-د) میزان دفع کدورت را در دماهای مختلف نشان می‌دهد. مطابق شکل، با افزایش دما میزان دفع کدورت کاهش می‌یابد. با افزایش دما به دلیل افزایش قطر روزه‌های غشا، مواد معلق کلونیدی و مواد رنگی که اندازه آن‌ها از قطر غشا بزرگتر است، به راحتی از غشا عبور کرده و میزان دفع کدورت کاهش می‌یابد [۳۲].

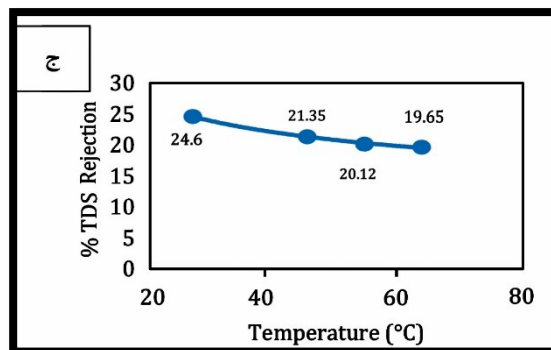
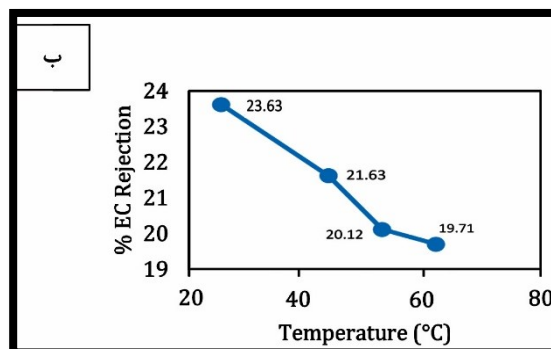
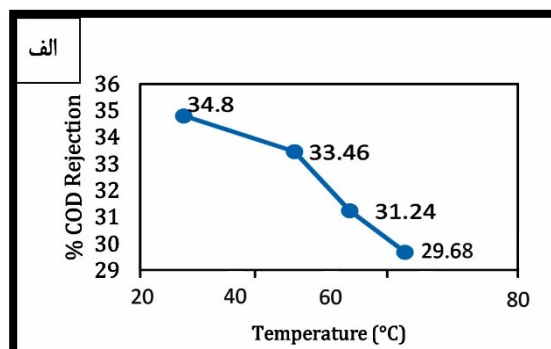
شایان ذکر است با افزایش دما، بخش عمده گاز  $H_2S$  محلول در خوراک تبخیر شده، بطوریکه مقدار باقیمانده‌ی آن بسیار ناچیز بوده و دستگاه متروم ۲۳ مورد استفاده در این تحقیق، قادر به اندازه‌گیری آن نبود.

غلظتی مقاومت غشا افزایش می‌یابد و با تشکیل لایه کیک مجدداً دفع تحت تاثیر قرار می‌گیرد لذا تشکیل این لایه درصد دفع میکروارگانیسم‌ها و مواد معلق که باعث کدورت می‌شوند را افزایش می‌دهد [۲۹،۲۷].

در شکل ۵-ه) تغییرات دفع  $H_2S$  در فشارهای مختلف نشان داده شده است. با افزایش فشار میزان تبخیر گاز کاهش و عبور گازهای محلول در پساب از غشا راحتتر است. از اینرو میزان حذف  $H_2S$  در فشارهای پایین بیشتر است که در شکل نیز مشهود است.

### ۳-۳-۲ اثر دما بر میزان دفع آلودگی پساب

در این تحقیق میزان تاثیر دفع آلودگی‌ها در فشار ثابت ۵ bar و دماهای مختلف بررسی شد که نتایج در شکل ۶ گزارش شده است.



## ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق نتایج حاصل از بررسی‌های تجربی تصفیه پساب نفتی به روش اولترافیلتراسیون ارائه شد. برای انجام آزمایش‌ها از غشا پلی‌اتر سولفون دست‌ساز اصلاح شده به عنوان غشا اولترافیلتراسیون و نمونه‌ای از آب ترش تولیدی چاه‌های لایه مزدوران به عنوان خوراک استفاده گردید. تاثیر شرایط عملیاتی از جمله اختلاف فشار اعمال شده در دو طرف غشا و دمای خوراک بر روی فلاکس عبوری از غشا و میزان حذف آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش اختلاف فشار مؤثر بر فرآیند نیروی محرکه فرآیند افزایش یافته و در نتیجه شار تراوه افزایش می‌یابد. به طوریکه افزایش فشار از ۳ تا ۵ bar در دمای ثابت ۲۵ °C، باعث افزایش میزان حذف COD از ۲۹ درصد به ۴۰ درصد، کاهش میزان حذف هدایت الکتریکی از ۲۹/۴۵ درصد به ۲۱/۳ درصد، کاهش میزان حذف TDS از ۲۸/۲ درصد به ۲۲/۳ درصد، افزایش میزان حذف کدورت از ۵۵/۳۱ به ۷۴/۴۱ درصد و کاهش میزان حذف H<sub>2</sub>S از ۸۶ درصد به ۵۵ درصد می‌شود.

همچنین در این تحقیق دما نیز بعنوان یکی دیگر از پارامترهای تاثیر گذار در فرایند مورد بررسی قرار گرفت. افزایش دما باعث افزایش نفوذپذیری، منبسط شدن منافذ غشا و عبور راحت‌تر آلاینده‌ها شده که از اینرو با افزایش دما، شار تراوه افزایش می‌یابد. از طرفی افزایش دما سبب کاهش ویسکوزیته خوراک و افزایش ضریب نفوذ حلال و اجزاء محلول شده، که هر دو روی شار مؤثرند. همچنین افزایش دما از ۲۵ تا ۶۵ °C در فشار ثابت ۵ bar، باعث کاهش دفع میزان آلاینده‌ها شد. با افزایش دما میزان حذف COD از ۳۴/۸ درصد به ۲۴/۶۸ درصد، میزان حذف هدایت الکتریکی از ۲۳/۶۳ درصد به ۱۹/۷۱ درصد، میزان حذف TDS از ۲۴/۶ درصد به ۱۹/۶۵ درصد، میزان حذف کدورت از ۶۵/۱۲ درصد به ۴۷/۹۹ درصد رسید. شایان ذکر است با افزایش دما بخشی از گاز H<sub>2</sub>S موجود در خوراک تبخیر شد که میزان آن در پساب بسیار ناچیز بوده و قابل اندازه‌گیری توسط دستگاه نبود.

## References

- [1] Singh, S., Treatment and Recycling of Wastewater from Oil Refinery/Petroleum Industry, in *Advances in biological treatment of industrial waste water and their recycling for a sustainable future*. 2019, Springer. p. 303-332
- [2] Iskandar, M.J., et al., Palm oil industry in South East Asia and the effluent treatment technology—A review. *Environmental technology & innovation*, 2018. 9: p. 169-185.
- [3] Ahmad, T., et al., Utilization of wastewater from edible oil industry, turning waste into valuable products :A review. *Trends in Food Science & Technology*, 2020. 99: p. 21-33.
- [4] Varjani, S., et al., Treatment of wastewater from petroleum industry: current practices and perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020. 27(22): p. 27172-27180.
- [5] Ibrahim, M., et al., Advances in produced water treatment technologies: an in-depth exploration with an emphasis on membrane-based systems and future perspectives. *Water*, 2023. 15(16): p. 2980.
- [6] Obotey Ezugbe, E. and S. Rathilal, Membrane technologies in wastewater treatment: a review. *Membranes*, 2020. 10(5): p. 89.
- [7] Rezakazemi, M., A. Khajeh, and M. Mesbah, Membrane filtration of wastewater from gas and oil production. *Environmental Chemistry Letters*, 2018. 16(2): p. 367-388.
- [8] Vatanpour, V., et al. „Cellulose acetate in fabrication of polymeric membranes: A review. *Chemosphere*, 2022: p. 133914.
- [9] Arefi-Oskoui, S., et al., Modification of polyethersulfone ultrafiltration membrane using ultrasonic-assisted functionalized MoS<sub>2</sub> for treatment of oil refinery wastewater. *Separation and Purification Technology*, 2020. 238: p. 116495.
- [10] Hosseini, P.K., et al., Treatment of a synthetic decanted oily seawater in a pilot-scale hollow fiber membrane filtration process: Experimental investigation. *Journal of Hazardous Materials*, 2023. 441: p. 129928.
- [11] Qiao, X., et al., Performance characteristics of a hybrid membrane pilot-scale plant for oilfield-produced wastewater. *Desalination*, 2008. 225(1-3): p. 113-122.
- [12] Jin, T., et al., The role of the surfactant sodium dodecyl sulfate to dynamically reduce mass transfer resistance of SPEEK coated membrane for oil-in-water emulsion treatment. *Journal of Membrane Science*, 2017. 541: p. 9-18.
- [13] Kirschner, A.Y., et al., Fouling-resistant ultrafiltration membranes prepared via co-deposition of dopamine/zwitterion composite coatings. *Journal of Membrane Science*, 2017. 541: p. 300-311.
- [14] Razavi, S.M.R. and T. Miri, A real petroleum refinery wastewater treatment using hollow fiber membrane bioreactor (HF-MBR). *Journal of Water Process Engineering*, 2015. 8: p. 136-141.
- [15] Dadari, S., M. Rahimi, and S. Zinadini, Crude oil desalter effluent treatment using high flux synthetic nanocomposite NF membrane-optimization by response surface methodology. *Desalination*, 2016. 377 p. 34-46.
- [16] Omidvar, M., M. Soltanieh, and A.A. Safekordi, Preparation and characterization of poly (ethersulfone) nanofiltration membranes for amoxicillin removal from contaminated water. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2014. p. 1-10.
- [17] Amirilargani, M., et al., Effects of coagulation bath temperature and polyvinylpyrrolidone content on flat sheet asymmetric polyethersulfone membranes. *Polymer Engineering & Science*, 2010. 50(5): p. 885-893.
- [18] Hejase, C.A. and V.V. Tarabara, Nanofiltration of saline oil-water emulsions: Combined and individual effects of salt concentration polarization and fouling by oil. *Journal of Membrane Science*, 2021. 617: p. 118607.
- [19] Taghavijeloudar, M., et al., A new approach for modeling flux variation in membrane filtration and experimental verification. *Water Research*, 2019. 166: p. 115027.
- [20] Shi, L., et al., Role of concentration polarization in cross flow micellar enhanced ultrafiltration of cadmium with low surfactant concentration. *Chemosphere*, 2019. 237: p. 124859.
- [21] Yunos, K.F.M., et al., Ultrafiltration of palm oil mill effluent: Effects of operational pressure and stirring speed on performance and membranes fouling. *Environmental Engineering Research*, 2019. 24(2): p. 263-270.
- [22] Chakrabarty, B., A. Ghoshal, and M. Purkait, Cross-flow ultrafiltration of stable oil-in-water emulsion using polysulfone membranes. *Chemical Engineering Journal*, 2010. 165(2): p. 447-456.
- [23] Gönder, Z.B., et al., Optimization of filtration conditions for CIP wastewater treatment by nanofiltration process using Taguchi approach. *Separation and purification technology*, 2010. 70(3): p. 265-273.
- [24] Alresheedi, M.T. and O.D. Basu, Effects of feed water temperature on irreversible fouling of ceramic ultrafiltration membranes. *Journal of Water Process Engineering*, 2019. 31: p. 100883.
- [25] Yue, C., et al., Direct purification of digestate using ultrafiltration membranes: Influence of pore size on filtration behavior and fouling characteristics. *Membranes*, 2021. 11(3): p. 179.
- [26] Zou, D., et al., Flux-enhanced  $\alpha$ -alumina tight ultrafiltration membranes for effective treatment of dye/salt wastewater at high temperatures. *Separation and Purification Technology*, 2019. 215: p. 143-154.
- [27] Wu, T., et al., Palm oil mill effluent (POME) treatment and bioresources recovery using ultrafiltration membrane: effect of pressure on membrane fouling. *Biochemical engineering journal*, 2007. 35(3): p. 309-317.
- [28] Ulbricht, M., Advanced functional polymer membranes. *Polymer*, 2006. 47(7): p. 2217-2262.

- [29] Van der Bruggen, B., et al., A review of pressure-driven membrane processes in wastewater treatment and drinking water production. *Environmental progress*, 2003. 22(1): p. 46-56.
- [30] Abbasi, M., M. Reza Sebzari, and T. Mohammadi, Enhancement of oily wastewater treatment by ceramic microfiltration membranes using powder activated carbon. *Chemical engineering & technology*, 2011. 34(8): p. 1252-1258.
- [31] Marchese, J., et al., Pilot-scale ultrafiltration of an emulsified oil wastewater. *Environmental science & technology*, 2000. 34(14): p. 2990-2996.
- [32] Abadi, S.R.H., et al., Ceramic membrane performance in microfiltration of oily wastewater. *Desalination*, 2011. 265(1-3): p. 222-228.