

Journal of Water and Wastewater, Vol. 30, No.4, pp: 122-129

# Investigation of the Effect of Anionic and Cationic Surfactants on the Performance of Polyamide Membrane Nanofiltration

M. Sadeghi<sup>1</sup>, D. Emadzadeh<sup>2</sup>

1. MSc Student, Faculty of Chemical Engineering, Gachsaran Branch, Islamic Azad University, Gachsaran, Iran
2. Assist. Prof. Faculty of Chemical Engineering, Gachsaran Branch, Islamic Azad University, Gachsaran, Iran  
(Corresponding Author) d.emadzadeh@gmail.com

(Received Jan. 7, 2018 Accepted Sep. 13, 2018)

#### To cite this article :

Sadeghi, M., Emadzadeh, D., 2019, "Investigation of the effect of anionic and cationic surfactants on the performance of polyamide membrane nanofiltration." Journal of Water and Wastewater, 30(4), 122-129. Doi: 10.22093/wwj.2018.113868.2589. (In Persian)

#### Abstract

Over the past decades, the sharp increase in population growth and industrialization in developing countries has reduced the quality and quantity of water resources. Water Treatment and purification technologies are rapidly developing in membrane separation processes. In this study, the effect of anionic and cationic surfactants on the performance of polyamide membrane nanofiltration was investigated experimentally. Nanofiltration membranes were constructed by adding anionic surfactant Sodium Dodecyl Sulfate and Hexadecyltrimethyl ammonium bromide cationic with a filming machine. The highest percentage of salt excretion related to the polyamide nanofiltration membrane without adding surfactant with the amount of 16.19% at 180 minutes. Also, the greatest amount of water flowing from the polyamide nanofiltration membrane is related to the time of 30 minutes and the state where the anionic surfactant is added to the membrane by weight of 10%. In this case, the amount of water flowing through the membrane of polyamide nanofiltration was 37.76 L/m<sup>2</sup>. When anionic surfactant was added to the membrane at a rate of 10%, the membrane water flux was 41.48% higher than the pure membrane (no additive).

**Keywords:** Surfactant, Cationic, Anionic, Membrane, Polyamide, Nanofiltration.

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۰، شماره ۴، صفحه: ۱۲۹-۱۲۲

## بررسی اثر مواد سورفکتانت‌های آنیونی و کاتیونی بر عملکرد غشاء پلی آمیدی نانوفیلتراسیون

محمد صادقی<sup>۱</sup>، داریوش عمادزاده<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی شیمی، واحد گچساران،

دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی شیمی، واحد گچساران،

دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران

(نویسنده مسئول) d.emadzadeh@gmail.com

پذیرش ۹۷/۶/۲۲

(دریافت ۹۷/۱۰/۱۷)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

صادقی، م.، عمادزاده، د.، ۱۳۹۸، "بررسی اثر مواد سورفکتانت‌های آنیونی و کاتیونی بر عملکرد غشاء پلی آمیدی نانوفیلتراسیون"

مجله آب و فاضلاب، ۳۰(۴)، ۱۲۹-۱۲۲. Doi: 10.22093/wwj.2018.113868.2589

### چکیده

رشد جمعیت و صنعتی شدن کشورهای در حال توسعه باعث کاهش کیفیت و کمیت منابع آب شده است. تکنولوژی‌های تصفیه و خالص سازی آب معدنی در فرایندهای جداسازی غشایی به سرعت در حال پیشرفت هستند. در این پژوهش اثر مواد فعال سطحی آنیونی و کاتیونی بر عملکرد غشاء پلی آمیدی نانوفیلتراسیون به طور آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. غشاهای نانوفیلتراسیون با افزودن مواد فعال سطحی آنیونی سدیم دودسیل سولفات (SDS) و مواد فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم برماید (CTAB) و کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم بروماید ساخته شد و سپس آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیفسنجی تبدیل فوریه انجام شد. بیشترین درصد دفع نمک مربوط به غشاء نانوفیلتراسیون پلی آمید بدون افزودن مواد فعال سطحی با مقدار ۹۱/۱۶ درصد در زمان ۱۸۰ دقیقه به دست آمد. همچنین بیشترین مقدار شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون پلی آمید مربوط به زمان ۳۰ دقیقه و حالتی که ۱۰٪ درصد وزنی مواد فعال سطحی آنیونی به غشاء افزوده می شود که در این حالت مقدار شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون پلی آمید  $37/76 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr}$  حاصل شد. در حالتی که ۱۰٪ درصد وزنی مواد فعال سطحی آنیونی به غشاء افزوده شد، شار آب عبوری از غشاء ۴۱/۸۰ درصد نسبت به غشا خالص بدون افزودنی، افزایش پیدا کرد.

**واژه‌های کلیدی:** مواد فعال سطحی، سورفکتانت کاتیونی، سورفکتانت آنیونی، غشا، پلی آمید، نانوفیلتراسیون

### ۱- مقدمه

پدیده لغزش در تقطیر غشایی برای هردو سیال مایع و گاز رخ می دهد. غشاهای به کار رفته در فرایند تصفیه آب و پساب، موادی هستند که به برخی از اجزای فیزیکی و شیمیایی اجازه می دهند سریع تر از سایر اجزا از آن عبور کنند، بنابراین غشاهای دارای خاصیت نفوذپذیری انتخابی هستند (Boo et al., 2013). خاصیت

مهم ترین بخش فرایندهای جداسازی ناخالصی ها از آب، غشاهای هستند. فرایندهایی که با سیستم غشایی انجام می شوند به دلیل دارا بودن مزایایی از جمله کاهش انرژی مصرفی، انتقال جرم، حذف مواد جامد، فضای مورد نیاز کم، راندمان بالا و سهولت کاربرد از اهمیت به سزایی برخوردار هستند (Ahsan and Fukuhara, 2010).

مختلف غشاء مورد نظر، عوامل مختلف از جمله افزودن مواد فعال سطحی آنیونی به غشاء پلی‌آمیدی نانوفیلتراسیون، افزودن مواد فعال سطحی کاتیونی به غشاء پلی‌آمیدی نانوفیلتراسیون و مقایسه عملکرد هر دو، به‌منظور نرم کردن آب سخت مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش‌ها

مواد به‌کار رفته در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مواد شیمیایی به‌کار رفته در این پژوهش

Table 1. Chemicals used in this research

Materials	Manufacturer
Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)	Merck
Hexadecyltrimethylammonium bromide (CTAB)	Merck
Piperazine (PIP)	Merck
Distilled water	Kimia
Sodium chloride (NaCl)	Merck
(TMC) 1, 3 and 5 carbon tetrachloride	Merck

ساخت غشاء نانوفیلتراسیون: محلول پپرازین (PIP) با غلظت ۲ درصد جرمی و مواد فعال سطحی (۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس با همزن مغناطیسی هم زده شده) روی سطح سوبسترا<sup>۲</sup> پلی‌سولفون که بر روی یک قاب شیشه‌ای چسبانده شده بود، ریخته شد و بعد از مدت زمان ۲ دقیقه تخلیه شد. سپس مقدار محلول باقیمانده روی سطح سوبسترا توسط دستگاه غلتک بر روی قاب شیشه‌ای پهن شد. بعد از آن محلول تری مزوئیل کلراید (TMC)<sup>۳</sup> که ۲۴ ساعت با همزن مغناطیسی هم زده شده بود، با غلظت ۰/۱۵ درصد بر روی سطح سوبسترا ریخته شد و بعد از گذشت ۱ دقیقه تخلیه شد و بعد غشا با آن -هگزان شستشو داده شد و به‌مدت ۵ دقیقه درون آن در دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. در آخر غشاء ساخته شده با آب مقطر شستشو داده شد (Ghanbari et al., 2015).

ترکیب غشاهای ساخته شده در جدول ۲ آورده شده است. ارزیابی عملکرد غشاء نانوفیلتراسیون: شکل ۱ سیستم نانوفیلتراسیون جریان متقابل را برای ارزیابی عملکرد غشاء

نفوذپذیری انتخابی با جلوگیری از عبور ناخالصی‌ها سبب خالص‌سازی آب می‌شود. برای رسیدن به این هدف، استفاده از یک نیروی جلوبرنده یا نیروی محرکه نیاز است. نیروی محرکه لازم شامل اختلاف غلظت، فشار، دما و پتانسیل الکتریکی است. ساده‌ترین نوع غشاها بر اساس اختلاف اندازه ذرات عمل می‌کنند که از این نظر مشابه فیلترها هستند، ولی غشاها از نظر اندازه منافذ و نیز نحوه جریان با فیلترها متفاوت هستند. دو پارامتر دبی عبوری از غشا و انتخاب‌پذیری، تعیین‌کننده بازدهی غشاها هستند (Tretheway and Meinhart, 2002).

در طول دهه‌های گذشته، افزایش شدید در رشد جمعیت و صنعتی شدن کشورهای در حال توسعه باعث کاهش کیفیت و کمیته منابع آب شده است. تکنولوژی‌های تصفیه و خالص‌سازی آب معدنی در فرایندهای جداسازی غشایی به سرعت در حال پیشرفت می‌باشد، به‌خصوص به‌دلیل عملکرد برجسته آن‌ها در حذف فلزات سنگین، آلاینده‌ها، ذرات گل و میکروارگانیسم‌های موجود از آب (Adibfar, 2012).

عملکرد غشا وابسته به خواص آن از قبیل خاصیت آب‌دوستی، مقاومت مکانیکی، مقاومت اکسایشی و شیمیایی و اثر ضد رسوب بیولوژیکی است. از میان روش‌های تصفیه موجود، تکنولوژی غشا و به‌خصوص نانوفیلتراسیون از توجه ویژه‌ای برای تولید آب آشامیدنی برخوردار است (Artug, 2007).

محبوبیت غشاء نانوفیلتراسیون را می‌توان به کم بودن هزینه، مصرف پایین انرژی، سیکل ساخت کوتاه، تجهیزات و عملکرد ساده و همچنین سادگی کنترل نسبت داد. نانوفیلتراسیون یکی از مکانیسم‌های فرایند تصفیه غشایی است که خیلی از ترکیبات با جرم مولکولی بالا که در آب قابل حل شدن می‌باشند را حذف می‌کند. غشاهای نانوفیلتراسیون اغلب بجز یون‌های با جرم مولکولی پایین که برای بدن انسان مفید می‌باشند، سختی آب را حذف می‌کنند. این غشاها همچنین مولکول‌های آلی بزرگ مثل رنگ آب، ویروس‌ها، مواد آلی طبیعی و بعضی از نمک‌ها را حذف می‌کنند. اندازه حفره‌های غشاهای نانوفیلتراسیون تقریباً  $10^{-3}$  میکرون می‌باشد (Artug, 2007).

در این پژوهش ابتدا غشاء فیلم نازک کامپوزیتی با استفاده از روش پلیمریزاسیون بین سطحی بر روی زیرلایه پلی‌سولفونی سنتز شد. سپس با توجه به داده‌های به‌دست آمده از آزمایش نمونه‌های

<sup>1</sup> Piperazine

<sup>2</sup> Substrate

<sup>3</sup> Tri mesyl chloride

همچنین برای میزان دفع نمک<sup>۱</sup> از معادله ۳ استفاده شد (Rahimpour et.al, 2012)

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100 \quad (3)$$

که در این معادله

$C_f$  و  $C_p$  به ترتیب غلظت نمک نفوذ کرده و غلظت نمک در خوراک است.

### ۳- نتایج و بحث

ساختار غشاهای نانوفیلتراسیون ساخته شده (غشاهای نانوفیلتراسیون با افزودن مواد فعال سطحی آنیونی سدیم دودسیل سولفات (SDS)<sup>۲</sup> و مواد فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم بروماید (CTAB)<sup>۳</sup>) توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Shimadzu، هیتاچی محصول کشور ژاپن آنالیز شد. مورفولوژی غشاها از طریق SEM<sup>۴</sup> مورد مطالعه قرار گرفت. در شکل ۲ تصاویر SEM ساختار مقطع عرضی و سطح غشاهای ساخته شده نشان داده شده است. شکل ۲ نشان داد که با افزودن مواد فعال سطحی به غشاء نانوفیلتراسیون، با توجه به خاصیت آب دوست بودن مواد فعال سطحی، حفره‌های درشت در سطح غشا تشکیل شده است. همان گونه که به وضوح در عکس‌های میکروسکوپ الکترونی دیده می‌شود، هر دو غشای دارای مواد فعال سطحی، ساختاری نامتقارن با لایه جداساز متراکم و حفره‌های لوله‌ای مانند در زیر لایه دارند. لذا می‌توان نتیجه گرفت که افزودن مواد فعال سطحی به غشاء خالص، باعث به وجود آمدن لایه جداساز متراکم تر در مقایسه با غشای خالص شده است. این در حالی است که ظاهراً مقدار تخلخل در زیر لایه که از آن به عنوان لایه نگهدارنده و تأمین کننده مقاوت مکانیکی غشا تعبیر می‌شود، افزایش یافته است (Bagheripour et al., 2014).

شکل ۳ آنالیز مربوط به تجزیه ATR-FTIR<sup>۵</sup> غشاها را نشان می‌دهد. طیف سنج ATR-FTIR مدل Perkin-Elmer UATR، به منظور نظارت بر تغییرات گروه‌های عاملی و عناصر در غشای تخت استفاده شد.

جدول ۲- ترکیب غشاهای ساخته شده

Table 2. Combined membranes made

No.	PIP (%W <sub>i</sub> )	TMC (%W <sub>i</sub> )	SDS (%W <sub>i</sub> )	CTAB (%W <sub>i</sub> )
1	2	0.15	0	0
2	2	0.15	0.05	0
3	2	0.15	0.10	0
4	2	0.15	0.20	0
5	2	0.15	0	0.30
6	2	0.15	0	0.50
7	2	0.15	0	0.70

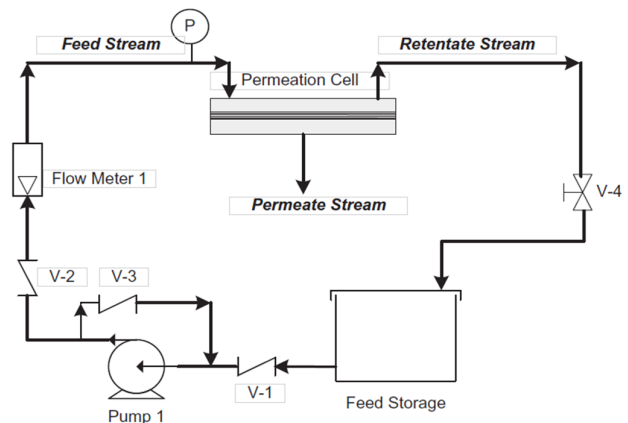


Fig. 1. Nanofiltration system for evaluation of membrane performance

شکل ۱- سیستم نانوفیلتراسیون برای ارزیابی عملکرد غشا

نانوفیلتراسیون پلی‌آمید نشان می‌دهد. فرایند نانوفیلتراسیون در شرایط عملیاتی غلظت نمک محلول در آب ۳۰۰۰ ppm، فشار ۶ بار، دبی ۱/۵ لیتر بر دقیقه و دمای ۳۲ درجه سلسیوس انجام شد. برای تهیه محلول خوراک از محلول نمک سدیم سولفات در آب مقطر استفاده شد. برای به دست آوردن شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون از معادلات ۱ و ۲ استفاده شد (Rahimpour et.al, 2012)

$$J = \frac{\Delta V}{A_m \cdot \Delta t} \quad (1)$$

$$A = \frac{J}{\Delta P} \quad (2)$$

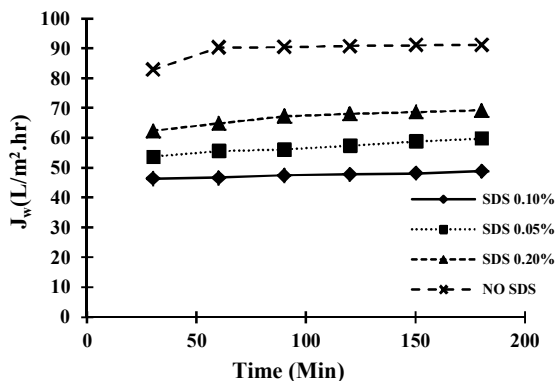
که در این معادلات

$A_m$  مساحت مؤثر غشا،  $\Delta V$  حجم آب نفوذ کرده در غشا،  $\Delta t$  زمان و  $\Delta P$  اختلاف فشار است.

<sup>1</sup> Rejection  
<sup>2</sup> Sodium Dodecyl Sulfate  
<sup>3</sup> Hexadecyltrimethylammonium bromide  
<sup>4</sup> Scanning Electron Microscope  
<sup>5</sup> Fourier Transform Infrared

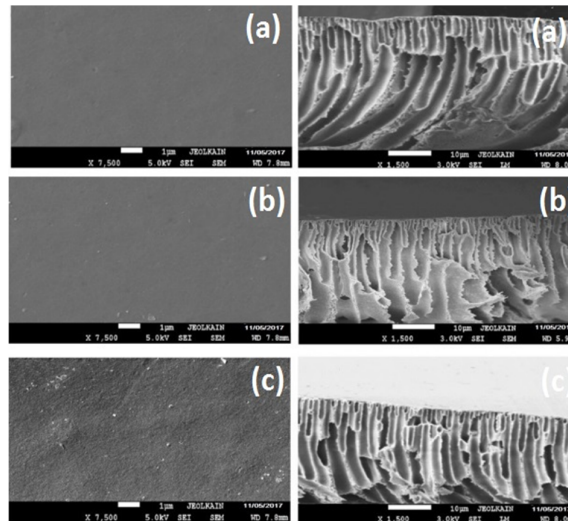
عاملی Br-O است و نشان دهنده مواد فعال سطحی کاتیونی CTAB است. پیک  $1530 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه عاملی O=S=O مربوط به پلی سولفون است.

شکل‌های ۴ و ۵ درصد دفع نمک و شار آب عبوری از غشاهای نانوفیلتراسیون پلی آمید با غلظت‌های مختلف مواد فعال سطحی آنیونی بر حسب زمان‌های متفاوت در شرایط عملیاتی، غلظت نمک محلول در آب  $3000 \text{ ppm}$ ، فشار ۶ بار، دبی حجمی  $1/5$  لیتر بر دقیقه و دمای  $32$  درجه سلسیوس، را نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده شود با افزودن مواد فعال سطحی آنیونی سدیم دودسیل سولفات با نسبت‌های متفاوت به غشاء پلی آمید نانوفیلتراسیون و گذشت زمان، درصد دفع نمک با غشاء نانوفیلتراسیون افزایش یافته است. این روند افزایشی در  $30$  دقیقه ابتدایی فرایند نانوفیلتراسیون دارای شیب تندتری است. برای این پدیده می‌توان این توجیه را ارائه داد که مواد فعال سطحی آنیونی سدیم دودسیل سولفات، حالتی آبدوست با خواصی مشابه خواص غیرحلال در محلول پلیمری دارند؛ تشکیل پیوندهای سدیم دودسیل سولفات پلیمر، باعث ناپایداری بیشتر محلول پلیمری و کاهش اثر متقابل زنجیره‌های پلیمری بر یکدیگر می‌شود. این نوع



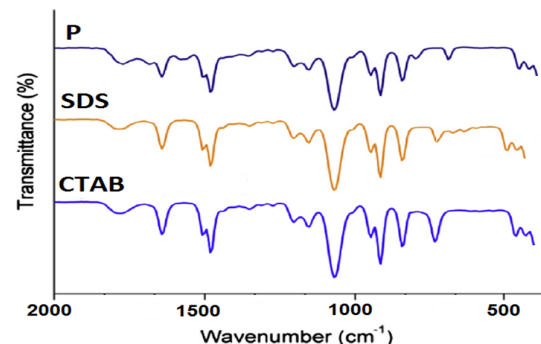
**Fig. 4.** Salt loss percentage using a polyamide nanofiltration membrane with different concentrations of SDS anion surfactants in different operating times (soluble salt concentration in water  $3000 \text{ ppm}$ , pressure  $6 \text{ bar}$ , volumetric flow rate of  $1.5 \text{ liters per minute}$ , and temperature  $32^\circ \text{ C}$ )

شکل ۴- درصد دفع نمک با استفاده از غشاء نانوفیلتراسیون پلی آمید با غلظت‌های مختلف مواد فعال سطحی آنیونی SDS بر حسب زمان‌های متفاوت در شرایط عملیاتی (غلظت نمک محلول در آب  $3000 \text{ ppm}$ ، فشار ۶ بار، دبی حجمی  $1/5$  لیتر بر دقیقه و دمای  $32$  درجه سلسیوس)



**Fig. 2.** SEM images of upper surface and cross-section of membranes of nanofiltration, a) polyamide, b) polyamide with cationic surfactants CTAB and c) polyamide with anionic surfactant SDS

شکل ۲- تصاویر SEM سطح فوقانی و سطح مقطع غشاهای نانوفیلتراسیون. (a) پلی آمید، (b) پلی آمید همراه با مواد فعال سطحی کاتیونی CTAB با غلظت  $0.70\%$  درصد جرمی و (c) پلی آمید همراه با مواد فعال سطحی آنیونی SDS با غلظت  $0.20\%$  درصد جرمی

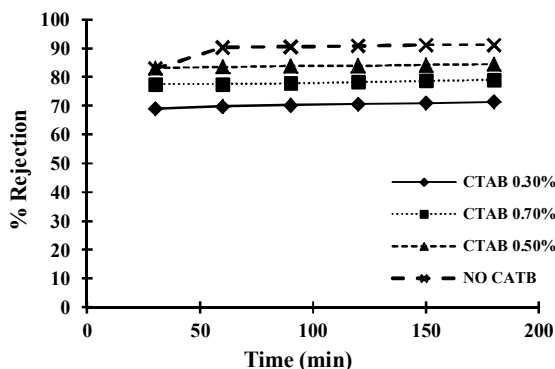


**Fig. 3.** ATR-FTIR decomposition spectra of membranes شکل ۳- طیف مربوط به تجزیه ATR-FTIR غشاهای

پیک‌های  $1730 \text{ cm}^{-1}$  و  $591 \text{ cm}^{-1}$  به ترتیب به گروه‌های عاملی OH و Na-O مربوط است که به واسطه مواد فعال سطحی آنیونی SDS ظاهر شده است. پیک  $1501 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه H-O است که به واسطه آب روی سطح غشا جذب شده است. همچنین پیک  $1634 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه  $\text{CH}_2$  بواسطه حلال به دام افتاده روی سطح غشاء است. پیک  $730 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه

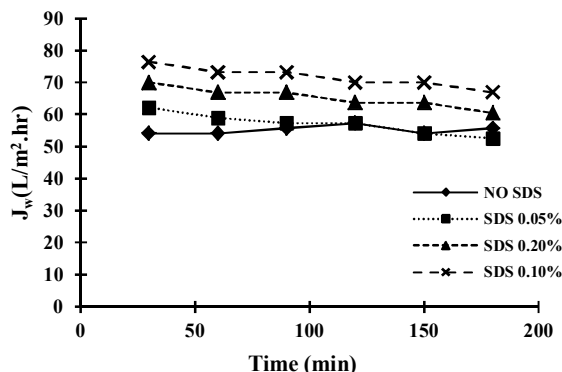
نمک محلول در آب ۳۰۰۰ ppm، فشار ۶ بار، دبی حجمی ۱/۵ لیتر بر دقیقه و دمای ۳۲ درجه سلسیوس) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، با افزودن مواد فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم بروماید با نسبت‌های متفاوت به غشاء نانوفیلتراسیون پلی‌آمید و گذشت زمان از شروع فرایند نانوفیلتراسیون، درصد دفع نمک با غشاهای نانوفیلتراسیون افزایش یافته است. این روند افزایشی در ۳۰ دقیقه ابتدایی فرایند نانوفیلتراسیون نسبت به زمان‌های دیگر شیب تندتری داشت.

با افزودن مواد فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم بروماید با نسبت‌های متفاوت به غشاء نانوفیلتراسیون پلی‌آمید و گذشت زمان از شروع فرایند نانوفیلتراسیون، درصد دفع نمک با غشاهای نانوفیلتراسیون افزایش یافت. این روند افزایشی در ۳۰ دقیقه ابتدایی فرایند نانوفیلتراسیون نسبت به زمان‌های دیگر شیب تندتری داشت. افزودن مواد فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم بروماید که حالتی آبدوست با خواصی مشابه خواص غیرحلال در محلول پلیمری دارد، به دلیل تشکیل پیوندهای هگزا دسیل تری متیل آمونیوم



**Fig. 6.** The percentage of salt excretion using a polyamide nanofiltration membrane with various concentrations of CTAB cationic surfactants in different operating conditions (soluble salt concentration in water, 3000 ppm, 6 bar pressure, volumetric flow rate of 1.5 liters per minute, and Temperature 32 ° C)

شکل ۶- درصد دفع نمک با استفاده از غشاء نانوفیلتراسیون پلی‌آمید با غلظت‌های مختلف مواد فعال سطحی کاتیونی CTAB بر حسب زمان‌های متفاوت در شرایط عملیاتی (غلظت نمک محلول در آب ۳۰۰۰ ppm، فشار ۶ بار، دبی حجمی ۱/۵ لیتر بر دقیقه و دمای ۳۲ درجه سلسیوس)



**Fig. 5.** Flow rate of water passing from the polyamide nanofiltration membrane with various concentrations of anionic surfactant SDS at different operating times (concentration of water soluble salt in 3000 ppm, pressure 6 bar, volumetric flow rate of 1.5 liters per minute and temperature 32 ° C)

شکل ۵- میزان شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون پلی‌آمید با غلظت‌های مختلف مواد فعال سطحی آنیونی SDS بر حسب زمان‌های متفاوت در شرایط عملیاتی (غلظت نمک محلول در آب ۳۰۰۰ ppm، فشار ۶ بار، دبی حجمی ۱/۵ لیتر بر دقیقه و دمای ۳۲ درجه سلسیوس)

رفتار باعث شکل‌گیری حفره‌های بزرگ در ساختار غشا و کاهش درصد دفع نمک با افزودن مواد فعال سطحی آنیونی نسبت به غشاء خالص می‌شود. همچنین در شرایط مذکور با گذشت زمان، شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون در ۳۰ دقیقه ابتدایی دارای روند افزایشی است و سپس روندی نوسانی و نزولی پیدا کرده است که می‌توان برای این پدیده این توجیه را ارائه کرد که با گذشت زمان پدیده گرفتگی غشا اتفاق افتاده و باعث کاهش شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون پلی‌آمید شده است.

بیشترین درصد دفع نمک مربوط به غشاء نانوفیلتراسیون پلی‌آمید بدون افزودن مواد فعال سطحی آنیونی با مقدار ۹۱/۱۶ درصد در زمان ۱۸۰ دقیقه بود. بیشترین مقدار شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون پلی‌آمید مربوط به زمان ۳۰ دقیقه و حالتی بود که ۱۰/۰ درصد وزنی مواد فعال سطحی آنیونی به غشا افزوده شده بود که در این حالت مقدار شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون پلی‌آمید ۷۶/۳۷ L/m².hr تعیین شد.

شکل‌های ۶ و ۷ درصد دفع نمک و شار آب عبوری از غشاهای نانوفیلتراسیون پلی‌آمید با غلظت‌های مختلف مواد فعال سطحی کاتیونی بر حسب زمان‌های متفاوت در شرایط عملیاتی (غلظت



در سال ۲۰۰۷ در پژوهشی اثر مواد فعال سطحی سدیم دودسیل سولفات به‌عنوان مواد فعال سطحی آنیونی، ستیل تری متیل آمونیوم برمید به‌عنوان مواد فعال سطحی کاتیونی و Triton X-100 به‌عنوان مواد فعال سطحی غیر یونی بر ساختار و عملکرد غشاهای پلی اترسولفون ساخته شده از سیستم PES/PVP/DMAC از طریق غوطه‌وری بارندگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که افزودن مقدار کمی از مواد فعال سطحی، تخلخل لایه غشا و شار آب عبوری را افزایش می‌دهد (Rahimpour et al., 2007)

در سال ۲۰۱۵ در پژوهشی ساخت و اصلاح خواص غشاء نانوفیلتراسیون بر پایه پلی وینیل کلراید با استفاده از ماده فعال‌کننده سطحی آنیونی سدیم دودسیل سولفات به‌منظور تصفیه آب مورد بررسی قرار گرفت. اثر غلظت‌های مختلف ماده فعال‌کننده سطحی آنیونی و آب‌دوست سدیم دودسیل بر عملکرد غشاها مورد بررسی قرار گرفت. میزان غلظت بهینه سدیم دودسیل سولفات برابر با ۰/۴۵ درصد وزنی تعیین شد که باعث بهبود انتخاب‌پذیری نمک به میزان ۲۱/۶۷ درصد در مقایسه با غشاء خالص شد (Moghaddasi et al., 2015).

در پژوهشی در سال ۲۰۱۶ ساخت غشاء نانوفیلتراسیون حاوی نانولوله‌های کربنی با هدف تصفیه آب مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش غلظت نانولوله‌های کربنی، ضمن کاهش اندازه حفرات غشا در حد غشاهای نانوفیلتراسیون، درصد دفع نمک افزایش یافت (Mesvare et al., 2016)

در سال ۲۰۱۷ در پژوهشی تهیه غشاهای نانوفیلتراسیون جدید با استفاده از نانولوله‌های کربنی عامل‌دار به منظور جداسازی پنی‌سیلین از پساب دارویی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج، غشای نانوفیلتراسیون با ۰/۲۵ درصد وزنی نانولوله کربنی سولفون‌شده، به‌عنوان بهترین غشا در میان غشاهای اصلاح سطحی شده انتخاب شد؛ که بالاترین فلاکس در کنار بیشترین میزان دفع یون‌ها را در جداسازی پنی‌سیلین نشان داد (Dolatabadi et al., 2017)

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر مواد فعال سطحی آنیونی و کاتیونی بر عملکرد

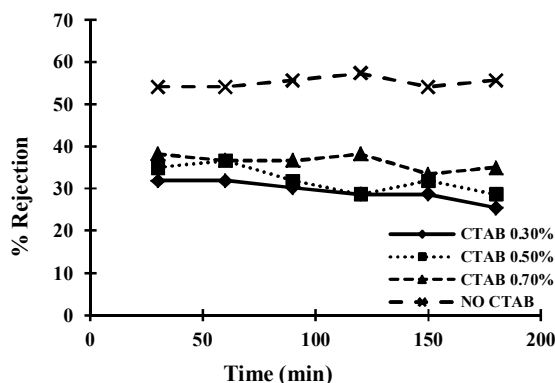


Fig. 7. Flow rate of water passing through a polyamide nanofiltration membrane with various concentrations of CTAB cationic surfactants in different operating conditions (concentration of water soluble salt in 3000 ppm, pressure 6 bar, volumetric flow rate of 1.5 liters per minute, and temperature 32 ° C)

شکل ۷- میزان شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون پلی آمید

با غلظت‌های مختلف مواد فعال سطحی کاتیونی CTAB بر حسب زمان‌های متفاوت در شرایط عملیاتی (غلظت نمک محلول در آب ppm ۳۰۰۰، فشار ۶ بار، دبی حجمی ۱/۵ لیتر بر دقیقه و دمای ۳۲ درجه سلسیوس)

بروماید- پلیمر، موجب ناپایداری بیشتر محلول پلیمری و کاهش اثر متقابل زنجیره‌های پلیمری بر یکدیگر می‌شود. این نوع رفتار باعث شکل‌گیری حفره‌های بزرگ در ساختار غشا و کاهش درصد دفع نمک با افزودن مواد فعال سطحی کاتیونی نسبت به غشا خالص می‌شود.

همچنین در شرایط عملیاتی مذکور شار آب عبوری از غشا نانوفیلتراسیون در ۳۰ دقیقه ابتدایی روند افزایشی داشت و سپس با گذشت زمان یک روند نوسانی و نزولی پیدا کرد زیرا گرفتگی غشا و پلاریزاسیون غلظتی سطح غشا، شار آب عبوری از غشا نانوفیلتراسیون پلی آمید را کاهش می‌دهد.

بیشترین درصد دفع نمک مربوط به غشاء نانوفیلتراسیون پلی آمید بدون افزودن مواد فعال سطحی کاتیونی با مقدار ۹۱/۱۶ درصد در زمان ۱۸۰ دقیقه بود و بیشترین مقدار شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون پلی آمید مربوط به زمان ۱۲۰ دقیقه و بدون حضور مواد فعال سطحی کاتیونی در غشا بود که در این حالت مقدار شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون پلی آمید  $57/28 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr}$  حاصل شد.



غلظتی سطح غشا موجب کاهش شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون پلی آمید می شود.

- بیشترین مقدار شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون پلی آمید مربوط به زمان ۳۰ دقیقه و حالتی بود که ۰/۱۰ درصد وزنی مواد فعال سطحی آنیونی سدیم دودسیل سولفات به غشا افزوده شده بود، که در این حالت مقدار شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون پلی آمید  $76/37 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr}$  به دست آمد.

### ۵- قدردانی

نویسندگان از حمایت های همه جانبه مرکز تحقیقات و فناوری غشا دانشگاه آزاد اسلامی واحد گچساران تشکر و قدردانی می کنند. این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد با کد ۱۴۹۰۲۰۱۹۵۲۰۱۰ است.

غشاء پلی آمیدی نانوفیلتراسیون به طور آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد

- درصد دفع نمک با غشاهای نانوفیلتراسیون پلی آمید با غلظت های مختلف مواد فعال سطحی آنیونی و کاتیونی بر حسب زمان های متفاوت در شرایط عملیاتی غلظت نمک محلول در آب  $3000 \text{ ppm}$ ، فشار ۶ بار، دبی حجمی  $1/5$  لیتر بر دقیقه و دمای  $32$  درجه سلسیوس، روند افزایشی داشت.

- بیشترین درصد دفع نمک مربوط به غشاء نانوفیلتراسیون پلی آمید بدون افزودن مواد فعال سطحی با مقدار  $91/16$  درصد در زمان ۸۰ دقیقه بود.

- در شرایط عملیاتی با گذشت زمان، شار آب عبوری از غشاء نانوفیلتراسیون در ۳۰ دقیقه ابتدایی روند افزایشی، سپس کاهش و در نهایت حالت نوسانی پیدا کرد زیرا با گذشت زمان از انجام فرایند نانوفیلتراسیون، پدیده گرفتگی غشا و حالت پلاریزاسیون

### References

- Adibfar, A. 2012. Technical economic comparison of MED, MSF & RO, and select the optimized desalination technologies. *Solar Energy*, 4(61), 44-91.
- Ahsan, A. & Fukuhara, T. 2010. Modelling and simulation of nanofiltration membranes. *Cuvillier Verlag*, 21, 37-32.
- Artug, G. 2007. Modelling and simulation of nanofiltration membranes. *Cuvillier Verlag*, 21, 32-37.
- Bagheripour, E., Moghadassi, A. R. & Hosseini, S. M. 2014. Novel nanofiltration membrane with low concentration of polyvinylchloride: investigation of solvents' mixing ratio effect (Dimethyl acetamide/Tetrahydrofuran). *Arabian Journal of Chemistry*, 12, 32-34.
- Boo, B., Elimelech, M. & Hong, S. 2013. Fouling control in a forward osmosis process integrating seawater desalination and wastewater reclamation. *Journal of Membrane Science*, 444, 148-156.
- Dolatbadi, M., Ahmad Akbari, M. Karampour, F. & Younes Nia Lehi, A. 2017. Preparation of new nanofiltration membranes using functional carbon nanotubes to separate penicillin from medicinal waste. *First International Conference on Modern Technologies in Science*, Amol, Amol University of Technology, 1-7. (In persain).
- Ghanbari, M., Emadzadeh, D., Lau, W.J., Matsuura, T., Davoody, M. & Ismail, A.F. 2015. Super hydrophilic TiO<sub>2</sub>/HNT nanocomposites as a new approach for abrication of high performance thin film nanocomposite membranes for FO application. *Desalination*, 371, 104-114.
- Mesvare, S., Arojalian Mashhadi, A. & Reyesi, A. R. 2016. Nanofiltration membrane containing carbon nanotubes for water purification. *Iran Water and Wastewater Science and Engineering Congress*, Tehran, Iran Water and Wastewater Association (affiliated with the Commission of Scientific Society of Iran) - Tehran University - Water and Sewage Engineering Company of Iran, 1-6. (In persain).
- Moghaddasi, A., Bagheripoor, E. & Hosseini, S.M. 2015. Construction and modification of polyvinyl chloride-based nano-filtration membrane properties using a sodium iodide-sulfate anionic surfactant for water purification. *Petroleum Research*, 25, 61-71.
- Rahimpour, A., Madaeni, S.S. & Mansourpanah, Y. 2007. The effect of anionic, non-ionic and cationic surfactants on morphology and performance of polyethersulfone ultrafiltration membranes for milk concentration. *Journal of Membrane Science*, 296, 110-121.
- Rahimpour, M., Jahanshahi, A. & Mollahosseini Rajaieian, B. 2012. Structural and performance properties of UV-assisted TiO<sub>2</sub> deposited nano-composite PVDF/ SPES membranes. *Desalination*, 285, 31-38.
- Tretheway, D.C. & Meinhart, C.D. 2002. Apparent fluid slip at hydrophobic microchannel walls. *Physics of Fluids*, doi: 10.1063/1.1432696.