

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره چهار، تیر ماه ۱۴۰۲ (۲۳-۱۳)

افزایش کارایی غشا پلی پروپیلن فومارات (PPF) اصلاح شده توسط افزودنی اکسید گرافن / پلورونیک F68 به منظور تصفیه پساب کارخانجات سرامیک

احسان قربان نژاد^۱

علی آراسته نوده^{۲*}

Aliarastehnodeh@yahoo.com

سوسن خسرویاری^۲

محمودرضا خدنگی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۱۶

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به اینکه پساب کارخانجات سرامیک نسبت به سایر پسابهای مطالعه شده شهری میزان TDS و کدورت بالاتری دارند، غشا پلی پروپیلن فومارات (PPF) با توجه به عملکرد مکانیکی خوب، زیست تخریب پذیری قابل تنظیم و تولید آسان برای تصفیه این نوع پساب مناسب به نظر می رسد. اما ایراد اصلی PPF در فرایند جداسازی توسط غشا مربوط به خاصیت آبگریز بودن آن است که منجر به شار عبوری کم از غشا می شود و به راحتی مستعد رسوب می باشد. اکسید گرافن^۴ (GO) با وجود گروههای عاملی اکسیژن دار مانند هیدروکسیل، اپوکسی و کربوکسیل در GO به عنوان متداول ترین ذرات معدنی آب دوست برای اصلاح غشا مورد توجه قرار گرفته است. اما یکی از مشکلات اصلی این غشاها، پراکندگی نا همگن GO در شبکه پلیمری است. بنابراین افزایش کارایی غشا پلی پروپیلن فومارات (PPF) توسط افزودنی اکسید گرافن / پلورونیک F68 بررسی شده است.

روش بررسی: به منظور بهبود خواص آب دوستی و مورفولوژیکی غشا PF، اکسید گرافن که توسط پلورونیک F-68 اصلاح شده است به غشا اضافه شد و غشاها با روش VIPS تهیه شد. اثرات غلظت افزودنی و زمان قرار گرفتن در معرض بخار بر آب دوستی و شار نفوذی غشا PPF در تصفیه پساب ذکر شده بررسی شد. برای ارزیابی عملکرد غشای آماده شده، فیلتراسیون جریان متقاطع ناپیوسته انتخاب شد. واحد تست غشا در مقیاس آزمایشگاهی در اسفند ۱۴۰۰ مورد استفاده قرار گرفت.

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی شیمی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی شیمی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۳- استاد یار گروه مهندسی شیمی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.

یافته ها: با افزایش غلظت پلورونیک F-68 / اکسید گرافن تا ۴ درصد جرمی، سطح آب دوستی غشا بیشتر شده و با افزایش زمان ماندگاری تا ۳۰ دقیقه، زاویه تماس کاهش می یابد. غشاهای اصلاح شده توسط Pluronic F-68 / GO به دلیل تخلخل بالای غشا نسبت به سایر غشاها از نفوذ پذیری آب خالص بالاتری در مقایسه با غشا اصلاح نشده PPF برخوردار هستند.

بحث و نتیجه گیری: این غشاها در مقایسه با غشا خالص PPF از نفوذ پذیری آب خالص بالاتری برخوردار هستند. غشای اصلاح شده با ۴ درصد جرمی GO / Pluronic F-68 (زمان در معرض قرار گرفتن ۲۰ دقیقه) در مقایسه با سایر غشاها توانایی بالاتری در کاهش شاخص های آلودگی پساب دارد.

واژه های کلیدی: پساب سرامیک، غشا، پلی پروپیلن فومارات، اکسید گرافن، پلورونیک F-68.

Enhancing the efficiency of modified polypropylene fumarate (PPF) membrane by graphene oxide / pluronic F68 additive for wastewater treatment of ceramic factories

Ehsan ghorbannezhad¹

Ali Arastehnodeh^{2*}

aliarastehnodeh@yahoo.com

Susan Khosroyar²

Mahmood Reza Khadangi Mahrood³

Admission Date: June 28, 2023

Date Received: May 6, 2021

Abstract

Background and Objective: Due to the fact that the wastewater of ceramic factories have higher TDS and turbidity, Poly propylene fumarate (PPF) membranes seems to be suitable for the treatment of this type of wastewater due to their good mechanical performance, adjustable biodegradability and easy production. However, the main disadvantage of the PPF in membrane separation related to hydrophobicity property of it which leads to a low membrane flux and is easily susceptible for fouling. Presence of oxygenated functional groups such as hydroxyl, epoxy, and carboxyl in GO causes the modified membranes have high effective flux and better antifouling property. One of main problem associated with preparation of membranes containing GO is possibly related to the more homogenous dispersion of GO into the polymer matrix. The presence of Pluronic F-68 can solve this problem.

Material and Methodology: In this work, in order to improve the hydrophilic and morphological properties of PPF membrane, the graphene oxide that has been modified by Pluronic F-68 was added in to the membrane. These membranes were prepared with VIPS method. The effects of the modified additive concentrations and vapor exposure times on hydrophilicity and permeation flux of the PPF membranes in mentioned wastewater treatment were investigated.

Findings: Increasing GO/Pluronic F-68 loading from 0 wt. % to 4 wt. %, the hydrophilicity level is increased and the contact angle is decreased by increasing the exposure time up to 30 min due to the high porosity of membranes than others. The modified membranes by Pluronic F-68 /GO present higher pure water permeability in comparison with the neat PPF membrane.

Discussion and Conclusion: These membranes have higher pure water permeability in comparison with the neat PPF membrane. The membrane modified with 4wt. % of GO/Pluronic F-68 (Exposure time of 20 min) has high ability in reduction of wastewater pollution indices in comparison with others.

Key words: Ceramic wastewater, Membrane, Polypropylene fumarate, Graphene oxide, pluronic F-68.

1- Ph.D. student, Department of Chemical Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.

2- Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran. *(Corresponding Author)

3- Assistant Professor of Chemical Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.

مقدمه

امروزه تحقیقات بنیادی و کاربردی جدید و در حال ظهور در مورد تصفیه پساب های صنعتی با استفاده از فیلتراسیون غشایی در حال انجام است (۱). فرایند تصفیه پساب بر اساس نوع غشا، مواد فعال سطحی و شرایط اعمال شده در حین تصفیه مورد بررسی قرار می گیرد (۲). افزایش نانو ذره ها، تهیه غشاها به روشهای مختلف از جمله جداسازی فازی، فرآیند سل-ژل، کشش، واکنش سطحی، بمباران غشایی، میکرو ساختار و غیره

به منظور استفاده از فرایند غشایی در تصفیه این پساب بهتر است از غشاها با هدف بهبود در نفوذ پذیری مطالعه می گردند (۴). یکی از این مطالعات با استفاده از پلی پروپیلن فومرات (PPF) صورت گرفته است (۵). این غشا اصلاح شده دارای عملکرد مکانیکی خوب، زیست تخریب پذیری قابل تنظیم، تولید آسان می باشد که برای تصفیه این نوع پساب مناسب می باشد (۶). اما ایراد اصلی PPF در فرایند جداسازی توسط غشا مربوط به خاصیت آبریز بودن آن است که منجر به شار عبوری کم از غشا می شود و به راحتی مستعد رسوب می باشد. بنابراین، باید تلاش شود تا با اصلاحات شیمیایی یا فیزیکی این مشکل حل گردد. رویکردهای مختلفی که به طور گسترده برای اصلاح غشا مورد بررسی قرار گرفته شامل پوشش غشا با مواد آب دوست (۷، ۸)، پلیمریزاسیون پیوند سطحی (۹)، اضافه کردن مواد افزودنی (۱۰-۱۲)، پوشش با پلیمرهای آب دوست (۱۳-۱۵) و غیره می باشد. چندین ماده آب دوست کلیدی برای اصلاح غشا از جمله نانولوله های کربنی تک جداره (SWCNT)، نانولوله های کربنی چند جداره (MWCNT)، پلی اتیلن گلیکول،

امروزه تحقیقات بنیادی و کاربردی جدید و در حال ظهور در مورد تصفیه پساب های صنعتی با استفاده از فیلتراسیون غشایی در حال انجام است (۱). فرایند تصفیه پساب بر اساس نوع غشا، مواد فعال سطحی و شرایط اعمال شده در حین تصفیه مورد بررسی قرار می گیرد (۲). افزایش نانو ذره ها، تهیه غشاها به روشهای مختلف از جمله جداسازی فازی، فرآیند سل-ژل، کشش، واکنش سطحی، بمباران غشایی، میکرو ساختار و غیره

جدول ۱ - آنالیز شیمیایی رسوب مانده در پساب

Table 1. Chemical analysis of sediment left in the wastewater

Na ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ZnO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	نام اکسید
۰/۴۳۹	۰/۷۶۸	۱/۳۵۶	۱/۳۲۷	۲/۹۴۹	۳/۸۹۸	۱۱/۴۵۶	۳۴/۹۵۹	۴۲/۷۸۸	درصد جرمی

مواد بر پایه گرافن و غیره (۱۶) به کار برده شده است که در این میان، مواد بر پایه گرافن به دلیل ویژگی های منحصر به فرد خود از جمله خواص حرارتی عالی، پایداری مکانیکی و شیمیایی و هزینه کم تولید، مناسب تر به نظر می رسد (۱۷).

اکسید گرافن (GO) با وجود گروههای عاملی اکسیژن دار مانند هیدروکسیل، اپوکسی و کربوکسیل در GO به عنوان متداول ترین ذرات معدنی آب دوست برای اصلاح غشا مورد توجه قرار گرفته است. غشاها اصلاح شده با این ماده معمولادارای شار عبوری بالا و خاصیت ضد رسوب بهتری می باشند (۱۸). اما یکی از مشکلات اصلی این غشاها، پراکندگی نا همگن GO در شبکه پلیمری است. اکسید گرافن با داشتن گروههای عاملی حاوی اکسیژن قادر به حل در حلالهای قطبی می باشد. بنابراین برای بهبود پراکندگی آن در حلالهای آلی و سازگاری بهتر با شبکه های پلیمری، GO باید توسط عوامل مناسب اصلاح گردد (۱۹).

یکی از عوامل اصلاح کننده ای که می تواند برای پراکندگی GO در محیط های غیر قطبی استفاده شود، پلورونیک F68 است. پلورونیک F68 یک کوپلیمر غیر یونی سه بلوکی است

به منظور استفاده از فرایند غشایی در تصفیه این پساب بهتر است از غشاها با هدف بهبود در نفوذ پذیری مطالعه می گردند (۴). یکی از این مطالعات با استفاده از پلی پروپیلن فومرات (PPF) صورت گرفته است (۵). این غشا اصلاح شده دارای عملکرد مکانیکی خوب، زیست تخریب پذیری قابل تنظیم، تولید آسان می باشد که برای تصفیه این نوع پساب مناسب می باشد (۶). اما ایراد اصلی PPF در فرایند جداسازی توسط غشا مربوط به خاصیت آبریز بودن آن است که منجر به شار عبوری کم از غشا می شود و به راحتی مستعد رسوب می باشد. بنابراین، باید تلاش شود تا با اصلاحات شیمیایی یا فیزیکی این مشکل حل گردد. رویکردهای مختلفی که به طور گسترده برای اصلاح غشا مورد بررسی قرار گرفته شامل پوشش غشا با مواد آب دوست (۷، ۸)، پلیمریزاسیون پیوند سطحی (۹)، اضافه کردن مواد افزودنی (۱۰-۱۲)، پوشش با پلیمرهای آب دوست (۱۳-۱۵) و غیره می باشد. چندین ماده آب دوست کلیدی برای اصلاح غشا از جمله نانولوله های کربنی تک جداره (SWCNT)، نانولوله های کربنی چند جداره (MWCNT)، پلی اتیلن گلیکول،

3- Multi-walled carbon nanotubes

4- Graphene oxide

1- Track etching

2- Single-walled carbon nanotubes

همگن شد. پس از آن سوسپانسیون GO با فیلتراسیون از طریق فیلتر نایلونی $0.22 \mu\text{m}$ فیلتر شد. محلول فیلتر شده با استفاده از اولترا سانتریفیوژ (Sorvall Discovery M150 SE) به مدت ۶ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس و سرعت چرخش ۲۳۰۰۰ چرخش در دقیقه سانتریفیوژ شد تا پلورونیک F-68 باند نشده حذف شود. سپس محلول پلورونیک F68/کسید گرافن لیوفیلیزه شد، وزن گردید، خشک شد و در دمای ۸۰ - درجه سلسیوس نگهداری گردید (۲۱).

روش تهیه غشا

برای تهیه غشا، ابتدا PPF (پلی پروپیلن فومارات) در حلال 2P (۲-پیرولیدون) با غلظت ۱۸٪ جرمی حل شد. محلول به مدت ۱ هفته هم زده شد تا یک محلول شفاف و همگن به دست آمد. پس از آن افزودنی پلورونیک F68/کسید گرافن در در صد های جرمی ۰، ۲، ۴ و ۶ اضافه شد و محلول به مدت ۳۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار گرفت تا انحلال کامل صورت گیرد و حباب های هوا از بین برود تا از نقص غشا جلوگیری شود. پس از، از بین بردن حباب های هوا و تشکیل محلول همگن، محلول تبدیل به فیلم گردد. برای این منظور، ارتفاع استوانه فیلم کش بر روی عدد ۲۵۰ میکرو متر تنظیم شده و فیلم کش روی شیشه قرار داده می شود. سپس مقدار مناسبی از محلول پلیمری به آرامی روی شیشه و حد فاصل بین ریل های فیلم کش، ریخته گری شده و فیلم کش بر روی محلول حرکت داده می شود تا فیلمی نازک بر روی سطح شیشه به وجود آید (سرعت ریخته گری ۲/۵ متر در دقیقه). ریخته گری در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و رطوبت ۲۰ درصد انجام شد. برای تبخیر غشا تازه تشکیل شده، فیلم ریخته گری در یک کابین بسته با رطوبت ثابت ۸۰٪ در زمان مختلف (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دقیقه) قرار گرفت. برای شکل گیری غشاء، صفحه ی شیشه ای حامل فیلم پس از ریخته گری به درون حمام انعقاد فرو برده شد. پس از اتمام انعقاد، غشا با آب دیونیزه شستشو و سپس به مدت ۱۲ ساعت به داخل آب مقطر منتقل شد تا بقیه حلال حذف شود (۲۲).

که از یک زنجیره مرکزی پلی اکسید پروپیلن تشکیل شده و در کنار آن دو زنجیره آب دوست پلی اکسید اتیلن وجود دارد. وجود زنجیره آبگریز مرکزی پلی اکسید پروپیلن در ساختار پلورونیک F-68 می تواند باعث بهبود پراکندگی گرافن در محلول های غیر قطبی شود (۲۰). بنابراین وجود پلورونیک F-68 در ماتریس غشا در افزایش نفوذپذیری و مقاومت در برابر رسوب و خواص ضد باکتریایی برای کاربردهای غشایی نقش مهمی را ایفا می نماید. به منظور بهبود کارایی غشا از طریق افزایش خواص آب دوستی و مورفولوژیکی غشا PF، اکسید گرافن که توسط پلورونیک F-68 اصلاح شده است به غشا اضافه شد و غشاها با روش VIPS تهیه شد. اثرات غلظت افزودنی اصلاح شده و زمان قرار گرفتن در معرض بخار بر آب دوستی و شار نفوذی غشا PPF در تصفیه پساب کارخانجات سرامیک بررسی شد.

مواد و روشها

مواد

پلی پروپیلن (MW = 3600 g/mol) از Merck (آلمان)، حلال ۲-پیرولیدون (P2) با خلوص ۹۹٪ از Alfa Aesar (آلمان)، پلورونیک F-68 از BASF، اکسید گرافن (GO) از ACS Material LLC (Medford, MA) تهیه گردید. آب دیونیزه توسط سیستم تصفیه (Millipore) تهیه شد. پساب صنعتی خارج شده از یک شرکت تولید چینی استخوانی محلی در مشهد، پس از استفاده از منعقد کننده AKTALOC-A26 و عمل رسوب زدایی دارای سه شاخص آلودگی کدورت، COD و TDS به ترتیب در محدوده NTU ۲۳۱، ۲۳۱ mg/l و ۹۵۴ mg/l اندازه گیری شد.

روش اصلاح غیر کووالانسی GO

در ابتدا، پلورونیک F-68 و کسید گرافن در یک ویال شیشه ای ۴۰ میلی لیتری به نسبت ۱:۳ مخلوط شده و سپس ۱۰ میلی لیتر آب خالص به محلول پلورونیک F-68 اضافه شد. این مخلوط با استفاده از حمام اولتراسونیک به مدت ۱ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس با چرخاندن محلول در هر ۱۵ دقیقه

ارزیابی عملکرد غشا

برای ارزیابی عملکرد غشای آماده شده، فیلتراسیون جریان متقاطع ناپیوسته انتخاب شد. واحد تست غشا در مقیاس آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق، شامل مخزن خوراک، پمپ و مازول غشا بود. شار آب خالص عبوری از غشا در فشار ۷ بار و دمای محیط اندازه گیری شد. ماده باقیمانده و نفوذ کننده هر دو به منظور حفظ غلظت ثابت به مخزن خوراک برگشت داده شد. شار نفوذی با در نظر گرفتن حجم نفوذ جمع شده در فواصل زمانی مشخص با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (۲۳):

$$J = \frac{M}{A \cdot \Delta t}$$

که در آن J (L m⁻².min) شار نفوذی، m (Kg) وزن کل نفوذ کننده در مدت زمانی Δt (دقیقه) و A (m²) سطح غشا است. میزان ماده عبوری از غشا (R) با استفاده از معادله زیر در ۷ بار محاسبه شد (۲۳):

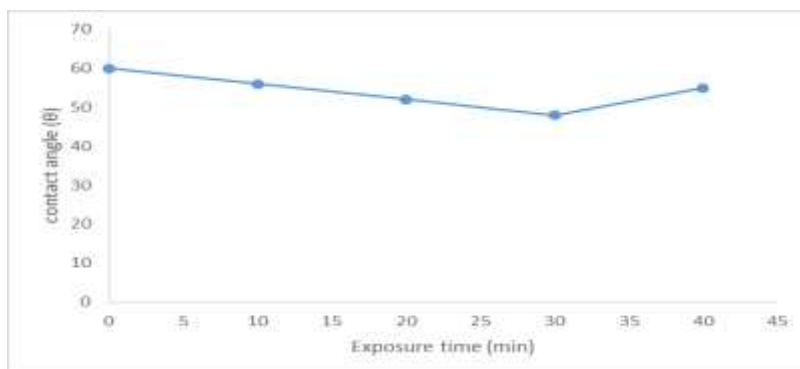
$$R (\%) = (1 - C_p / C_f) * 100$$

که در آن C_p و C_f به ترتیب غلظت نفوذ کننده و خوراک هستند.

یافته ها و بحث

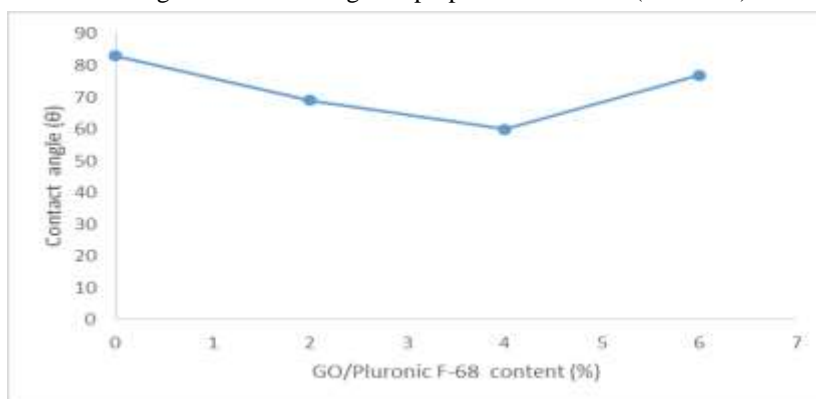
اندازه گیری زاویه تماس

با افزایش غلظت پلورونیک F-68 / اکسید گرافن از ۰ تا ۴ درصد جرمی، سطح آب دوستی بیشتری شده (شکل ۱) و زاویه تماس با افزایش زمان ماندگاری تا ۳۰ دقیقه به دلیل تخلخل بالای غشا نسبت به سایر غشاها کاهش می یابد در غلظت های بالاتر از ۴ درصد جرمی در نتیجه دانسیته بالا، به هم چسبیدگی اکسید گرافن اصلاح شده درون ماتریس پلیمری و قرار گرفتن نامنظم آن درون ساختار غشا و در نهایت کاهش گروههای عاملی آبدوست در غشا، زاویه تماس افزایش می یابد (شکل ۲).



شکل ۱- زاویه تماس غشاهای آماده شده (زمان در معرض قرار گرفتن: ۰ دقیقه)

Figure 1. contact angle of prepared membrane (t = 0 min)



شکل ۲- زاویه تماس غشاهای آماده شده (غلظت پلورونیک F68/GO: ۴ درصد جرمی)

Figure 2. contact angle of prepared membrane (F68/GO= 4%)

عملکرد غشایی

غشاهای اصلاح شده توسط Pluronic F-68 / GO از نفوذ پذیری آب خالص بالاتری در مقایسه با غشا اصلاح نشده PPF برخوردار هستند (شکل ۳). این مقدار با در نظر گرفتن Pluronic F-68 / GO تا ۴ درصد جرمی افزایش می یابد. نتایج دفع TDS، COD و کدورت برای غشاهای PPF اصلاح نشده و اصلاح شده در جدول ۲ نشان داده شده است. این نتایج افزایش قابل توجهی در دفع TDS، COD و کدورت با غشای اصلاح شده با ۴ درصد جرمی Pluronic F-68 / GO و زمان ۳۰ دقیقه ماندگاری را نشان می دهد.

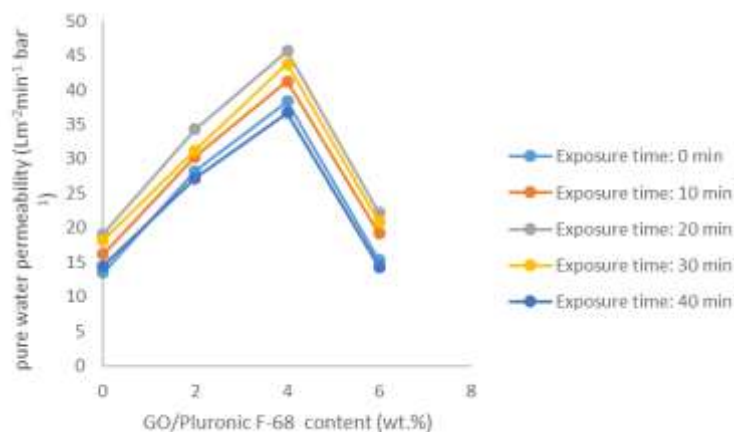
پس از افزودن Pluronic F-68 / GO تا ۴ درصد جرمی در محلول، گروههای عاملی اکسیژن دار در سطح غشا افزایش می یابد که ممکن است منجر به پیوندهای هیدروژنی بیشتری بین مولکولهای آب و سطح غشا شود. بنابراین تمایل به جذب آب افزایش می یابد (۲۴).

از آنجا که سطح غشای PPF خالص آبریز است، مقدار نسبتاً زیادی از آلاینده ها به طور غیرقابل برگشت روی سطح جذب شده و منجر به تشکیل لایه کیک می شود. بنابراین باعث کاهش تخلخل و اندازه منافذ سطح غشا می گردد. پس از افزودن پلورونیک F-68 / اکسید گرافن بر روی سطح غشا، آب دوستی سطح غشا بهبود یافته و عبور آب آزاد افزایش می یابد. در نتیجه، جذب غیرقابل برگشت آلاینده در سطح غشا کاهش می یابد. در نتیجه، میزان دفع COD غشای اصلاح شده بالاتر از غشای PPF خالص مربوطه است و این نسبت به ۹۴٪ می رسد. روند دفع TDS نیز شبیه دفع COD است. این بدان

معنی است که با اضافه کردن افزودنی پلورونیک F-68 / اکسید گرافن به ماتریس پلیمر، دفع TDS افزایش می یابد. همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، نسبت دفع کدورت در حضور یا عدم حضور افزودنی پلورونیک F-68 / گرافن اکساید، بیش از ۹۰٪ است. نتایج نشان می دهد که این غشاهای می توانند صرفاً برای کاهش کدورت پساب باشند. بنابراین، افزودن مواد افزودنی تأثیر قابل توجهی در دفع کدورت ندارد.

هنگامی که زمان ماندگاری تا ۳۰ دقیقه افزایش می یابد، ساختار غشایی، در اواخر وارونگی فاز با ضخیم شدن فاز باریک پلیمر، از ساختار نامتقارن به ساختار متقارن و سلولی تغییر می کند. بنابراین، اندازه سلول افزایش یافته و منجر به بزرگ شدن اندازه منافذ می شود. بنابراین، نفوذ پذیری بالاتر غشا می تواند ثبت شود. پس از آن با افزایش بیشتر زمان، انسجام فاز غنی از پلیمر منجر به کاهش اتصال منافذ می شود. بنابراین هیچ ارتباط متقابل بین منافذ وجود ندارد.

در نتیجه، کاهش نفوذ پذیری غشا رخ می دهد. در زمان در معرض قرار گرفتن بالاتر که ساختارهای متخلخل کمتری ایجاد می کند (ساختار دانه ای) مقاومت در برابر عبور فاضلاب افزایش می یابد. بدیهی است که با افزایش عبور در برابر انتقال، انتخاب پذیری غشاهای افزایش می یابد. در مقایسه با سایر کارهای صورت گرفته در زمینه تصفیه ی پساب کارخانجات سرامیک، می توان ادغان داشت غشا ساخته شده در تحقیق حاضر از عملکرد بسیار بالایی برخوردار است (۲۶).



شکل ۳- مقایسه نفوذپذیری آب خالص در غشاهای بر اساس زمان ماندگاری متفاوت

Figure 3. Comparison of pure water permeability in membranes based on different shelf life

جدول ۲- عملکرد غشاهای خالص و بهبود یافته پلی پروپیلن فومارات در حذف شاخص‌های آلودگی

Table 2. Performance of pure and improved polypropylene fumarate membranes in removing pollution indicators

زمان دقیق	درصد جرمی Pluronic-F-68 /GO	COD متوسط حذف	TDS متوسط حذف	متوسط حذف کدورت	زمان دقیق	درصد جرمی Pluronic-F-68 /GO	COD متوسط حذف	TDS متوسط حذف	متوسط حذف کدورت
۰	۰	۵۰	۴۲	۹۲/۷	۲۰	۰	۴۶	۴۰	۹۲
	۲	۷۷	۵۹	۹۲		۲	۷۴	۵۷	۹۲/۴
	۴	۸۷	۸۰	۹۲/۲		۴	۸۳	۷۷	۹۳
	۶	۹۲	۸۸	۹۲/۴		۶	۸۹	۸۵	۹۲/۵
۱۰	۰	۵۳	۴۶	۹۲/۸	۴۰	۰	۴۵	۳۵	۹۱/۹
	۲	۸۰	۶۹	۹۳		۲	۷۱	۵۱	۹۲/۱
	۴	۹۱	۸۰	۹۲/۵		۴	۸۰	۷۱	۹۳
	۶	۹۵	۹۰	۹۴		۶	۸۷	۸۱	۹۲/۲

3. Khosroyar S., Arastehnodeh A., improving hydrophilic and antimicrobial properties of membrane by adding nanoparticles of titanium dioxide and copper oxide, Membrane water treatment, 9(6) 2018 481-487.
4. Mohammad Khajouei, Mahsa Najafi, Seyed Ahmad Jafari, Development of ultrafiltration membrane via in-situ grafting of nano-GO/PSF with anti-biofouling properties, Chemical Engineering Research and Design, 2019, 142, 34-43
5. Ana M. Diez-Pascual, Tissue Engineering Bionanocomposites Based on Poly (propylene fumarate), Polymers 2017, 9, 260.
6. [A. Pascual](#), [A. Díez-Vicente](#), Poly(propylene fumarate)/Polyethylene Glycol-Modified Graphene Oxide Nanocomposites for Tissue Engineering, ACS Appl. Mater. Interfaces, 2016, 8, 28.
7. Bano, S., Mahmood, A., Kim, S.J., Lee, K.H., Graphene oxidemodified polyamide nanofiltration membrane with improved flux and antifouling properties. J. Mater. Chem. A 3, 2015, 2065-2071.
8. Antoine Venault, Alith Jean Jumao-as-Leyba, Zhong-Ru Yang, Séverine Carretier, Yung Chang, Formation mechanisms of low-biofouling PVDF/F127 membranes prepared by VIPS process, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2016, 34, 1-10.
9. Q. Shi, Y. Su, X. Ning, W. Chen, J. Peng, Z. Jiang, Graft polymerization of methacrylic acid onto polyethersulfone for potential pH-responsive membrane

نتیجه گیری

آب دو ستی غشای PPF با افزودن پلورونیک F-68 / GO به محلول ریخته گری تغییر یافت (تا ۴ درصد جرمی) و تعامل آبگریزی بین سطح غشا و رسوب در حال کاهش است. طبیعت آبدوست هر دو افزودنی پلورونیک F68 / کسید گرافن ترکیبی موجب افزایش سرعت نفوذ آب به غشای در حال شکل گیری در طی وارونگی فاز می شود (۲۵). بنابراین حفرات درشت در سراسر غشا رشد می کنند. پلورونیک F68 موجب توزیع یکنواخت کسید گرافن در ماتریس پلیمر و جلوگیری از تجمع آن می شود، در نتیجه منجر به شکل گیری منظم تر حفرات درشت در غشا می شود. ساختار مایسل ها در محلول ریخته گری بسیار وابسته به حضور پلورونیک F68 در آن است و دانسیته مایسل ها بر ساختار غشا تاثیر گذار است.

این غشاها در مقایسه با غشا خالص PPF از نفوذ پذیری آب خالص بالاتری برخوردار هستند. توجه به این نکته مهم است که غشای اصلاح شده با ۴ درصد جرمی GO / Pluronic F-68 (زمان در معرض قرار گرفتن ۲۰ دقیقه) در مقایسه با سایر غشاها توانایی بالاتری در کاهش شاخص های آلودگی پساب دارد.

References

1. Khosroyar S., Arastehnodeh A., Using response surface methodology and Box-Behnken design in the study affecting factors on dairy wastewater treatment by MEUF, Membrane water treatment 9(5), 2018, 335-342.
2. Arastehnodeh A., Susan Khosroyar, Vahid Hakimzadeh, Studying Transmembrane Pressure, pH and Anionic Surfactant (SDS) Concentration Effects on MEUF Process Performance in Dairy Waste Water Treatment Using Response Surface Methodology Design, Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology, 8(1) 98.

16. Ahmed O. Rashed, Amal M. K. Esawi, Adham R. Ramadan, Novel Polysulfone/Carbon Nanotube-Polyamide Thin Film Nanocomposite Membranes with Improved Water Flux for Forward Osmosis Desalination, *ACS Omega*, 2020, 5, 14427–14436.
17. E. Igbiginun, Y. Fennell, R. Malaisamy, K.L. Jones, V. Morris, Graphene oxide functionalized polyethersulfone membrane to reduce organic fouling, *J. Membr. Sci.*, 514 (2016) 518–526.
18. R.K.Joshi, S. Alwarappan, M.Yoshimura, V.Sahajwalla, Y.Nishina, Graphene oxide: the new membrane material, *Applied material today*, 2015, 1, 1-12.
19. X. Tang, W. Li, Z. Yu, enhanced thermal stability in graphene oxide covalently functionalized with 2-amino-4,6-didodecylamino-1,3,5-triazine. *Carbon.*, 49 (2011), 1258–1265.
20. Ana Rey- Rico, Magali Cucchiarini, PEO-PPO-PEO Tri-Block Copolymers for Gene Delivery Applications in Human Regenerative Medicine- An Overview, *Int. J. Mol. Sci.* 2018, 19, 775.
21. A.Madalina Pandele, C. Andronescu, E. Vasile, I.C. Radu, P.Stanescu, H. Iovu, Non-covalent functionalization of GO for improved mechanical performances of pectin composite films, [Composites Part A: Applied Science and Manufacturing](#), 2017, 103, 188-195.
22. Wang JH, Zhang YH, Xu YY, et al. Fabrication of hydrophilic and sponge-like PVDF/brush-like copolymer blend membranes using triethylphosphate as materials. *J Membr Sci.*, 2010, 347, 62–8.
10. Liu B, Chen C, Zhang W, Crittenden J, Chen Y. Low-cost antifouling PVC ultrafiltration membrane fabrication with Pluronic F127: Effect of additives on properties and performances. *Desalination* 2012, 307, 22–33.
11. Mansourpanah, Y., Shahebrahimi, H., Kolvari, E., PEG-modified GO nanosheets, a desired additive to increase the rejection and antifouling characteristics of polyamide thin layer membranes. *Chem. Eng. Res. Des.*, 2015, 104, 530–540.
12. [T. Berg](#), [M. Ulbricht](#), Polymer Nanocomposite Ultrafiltration Membranes: The Influence of Polymeric Additive, Dispersion Quality and Particle Modification on the Integration of Zinc Oxide Nanoparticles into Polyvinylidene Difluoride Membranes, [Membranes \(Basl\)](#), 2020, 10(9): 197.
13. Louie, J.S.; Pinnau, I.; Ciobanu, I.; Ishida, K.P.; Ng, A.; Reinhard, M. Effects of polyether–polyamide block copolymer coating on performance and fouling of reverse osmosis membranes. *J. Membr. Sci.* 2006, 280, 762–770.
14. Xi. Jiang, P. Wang, R. Liang, W. Qin, Improving the Biocompatibility of Polymeric Membrane Potentiometric Ion Sensors by Using a Mussel-Inspired Polydopamine Coating. *Anal. Chem.* 2019, 91, 10, 6424–6429.
15. Yu S., Yao G., Dong B., Zhu H., Peng X., Liu J., Liu M., Gao C. Improving fouling resistance of thin-film composite polyamide reverse osmosis membrane by coating natural hydrophilic polymer sericin. *Sep. Purif. Technol.* 2013, 118, 285–293.

- filtration assessment, [Desalination and Water Treatment](#), 2019 171 , 44-56.
25. Melika Ebrahimpour, Ali Akbar Safekordi, Seyed Mahmoud Mousavi, Amir Heydarinasab, Modification strategy of biodegradable poly (butylene succinate) (PBS) membrane by introducing Al₂O₃ nanoparticles: preparation, characterization and wastewater treatment, *Desalination and water treatment*, 2017, 79, 19–29.
26. [M. Shurygin](#), [C. Guenther](#), [S. Fuchs](#), [V. Prehn](#), Effective treatment of the wastewater from ceramic industry using ceramic membranes, *Water Sci Technol*, 2021, 83 (5): 1055–1071.
- solvent. *Chin J Polym Sci*, 2014; 32: 143–150.
23. M. Yang, C. Zhao, S. Zhang, P. Li, D. Hou, Preparation of graphene oxide modified poly (m-phenylene isophthalamide) nanofiltration membrane with improved water flux and antifouling property, *Appl. Surf. Sci.*, 394 (2017) 149–159.
24. F. Kouhestani, M. A. Torangi, A. [Motavalizadehkakhky](#), R. [Karazhyan](#), R. [Zhiani](#), Enhancement strategy of polyethersulfone (PES) membrane by introducing pluronic F127/graphene oxide and phytic acid/graphene oxide blended additives: preparation, characterization and wastewater