بررسی تأثیر افزودن نانوذره اکسید گرافن بر عملکرد غشای پلی‌اترسولفون برای تصفیه پساب نفتی

سهیلا نیازمند اقدم* [1]، فرامرز افشار طارمی [2]

[1] کارشناس مدیریت بازرگانی شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی، تهران، ایران

[2] استاد، دانشکده مهندسی پلیمر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

نوع مقاله: **ترویجی**

دریافت: 1398/05/05 پذیرش: 1398/11/16

چکیده

در این مطالعه هدف اصلی ساخت غشا پلیمری و افزودن اکسید گرافن (از 0/1 تا 0/75) درصد وزنی به غشا به‌منظور آب‌دوست کردن غشا و درنتیجه افزایش فلاکس عبوری از غشا و کاهش میزان گرفتگی آن بود. برای ساخت غشاها از پلیمر پلی‌اترسولفون از روش جدایی فازی استفاده شد و اکسید گرافن به محلول پلیمری افزوده شد. برای بررسی عملکرد جداسازی غشاها از آب مقطر و امولسیون روغن در آب به‌عنوان خوراک استفاده شد. بر اساس نتایج وقتی اکسید گرافن تا مقدار 0/5درصد وزنی به محلول پلیمری افزوده شد، فلاکس عبوری از $96Kg/m^2 h$ به $139Kg/m^2 h$ افزایش یافت و میزان پس‌زنی به 96/12 درصد رسید. همچنین اختلاف فلاکس اولیه و نهایی کمتر شد که نشان‌دهنده‌ی کاهش گرفتگی در این غشاها بود. اما با افزایش بیشتر از 0/5 درصد وزنی اکسید گرافن، خواص و عملکرد غشا به دلیل افزایش ویسکوزیته و پراکنش دشوار کاهش یافت.

کلمات کلیدی: پلی‌اترسولفون، اکسید گرافن، امولسیون روغن در آب، غشا، گرفتگی

* Soheila.niazmand.aghdam@gmail.com

مقدمه

یکی از عمده‌ترین مشکلات محیط‌زیست در قرن حاضر، پساب‌های نفتی تولید شده توسط مراکز صنعتی خصوصاً پالایشگاه‌ها و مراکز پخش مواد نفتی است. تحقیقات اخیر در حوزه تولید پساب روغنی صنعتی و روغن‌های موجود در آب، تخلیه این پساب‌ها به محیط‌زیست را به دلیل آلایندگی به مشکل مهمی در سراسر دنیا تبدیل کرده است. تولیدکنندگان این پساب‌ها عمدتاً شرکت‌های پالایش نفت، شرکت‌های پخش نفت، صنایع پتروشیمی، غذایی، نساجی و تولیدکنندگان فلزی هستند. به‌طور مثال تخلیه پساب روغنی صنایع مختلف در ایران (به‌عنوان‌مثال شرکت پالایش نفت تهران) به میزان $1000\ m^3/day$ است. پساب‌های نفتی شامل پسابی به همراه روغن در غلظت‌های متفاوت است.

تصفیه امولسیون‌های آب-روغن برای حذف روغن از پساب نفتی، روش‌های متعددی انجام می‌گیرد که ازجمله آن‌ها می‌توان به روش‌های الکتروشیمیایی، جذب (فیلتراسیون ماسه‌ای و فیلترهای کربن فعال و...)، بیولوژیکی، جداسازی گرانشی، تقطیر اجزای سبک نفت خام، امولسیون زدایی، انعقاد و روش‌های ترکیبی اشاره نمود که دارای مضرات قابل‌توجهی مانند بازده پایین، هزینه عملیاتی بالا، خوردگی و مشکلات آلودگی مجدد هستند [1]. فناوری غشا به علت ویژگی‌های خاص ازجمله انتخاب‌پذیری بالا، شرایط عملیاتی ساده‌تر مانند دمای پایین‌تر، انرژی مورد نیاز کمتر و درنتیجه بازده بالاتر در صنایع مختلفی می‌تواند کارآمد باشد. در حال حاضر از این فناوری در مقیاس صنعتی بیشتر برای تصفیه آب‌های آلوده از مواد آلی و معدنی استفاده می‌شود. تحقیقات و پژوهش‌های دهه‌های اخیر روش اولترافیلتراسیون و میکروفیلتراسیون را در زمینه‌ی تصفیه پساب نفتی و بالأخص حذف روغن از امولسیون روغن-آب گزارش کرده‌اند. کاراکولسکی[1] و همکاران میزان روغن پساب نفتی و COD را به کمک غشای اولترافیلتراسیون به ترتیب به ppm 10 و 96-92 درصد کاهش دادند. مارکز[2] و همکاران در پژوهشی میزان COD و مقادیر هیدروکربن پساب نفتی آزمایشگاهی را به 90 و 97 درصد کاهش دادند [2].

آب‌دوستی و زبری سطح به‌طور مؤثر مشخص کننده خواص فولینگ غشا می‌باشند و پایداری شیمیایی، مکانیکی و گرمایی تعیین کننده دوام غشا در دامنه کاربرد غشا است. در سال‌های اخیر یکی از موادی که توجه سازندگان غشاها مخصوصاً سازندگان غشاهای اولترافیلتراسیون و میکروفیلتراسیون تجاری و آزمایشگاهی را به خود جلب کرده است، پلیمرهای پایه پلی‌سولفون و پلی‌اترسولفون است. ضرورت انتخاب مواد مناسب برای تهیه غشاها به‌منظور کاهش روغن امولسیونی و COD موجود در پساب نفتی امری ست که توجه محققان را به پلی‌اترسولفون جلب نموده است. پلی‌اترسولفون دارای واحدهای تکرار شونده اتری و پیوندهای سولفونی متناوبی بین حلقه‌های آروماتیکی است که باعث درجه بالای بی‌حرکتی مولکولی، مقاومت خزش بالا، سختی بسیار، پایداری ابعاد و استحکام فوق‌العاده آن می‌شود. علاوه بر تمام خواص مناسب پلی‌سولفون شامل استحکام و پایداری حرارتی، قابلیت شکل‌دهی مناسب، مقاومت شیمیایی مناسب، مقاومت در برابر شعله، مقاومت به اسیدها، بازها و هیدروکربن‌های آلیفاتیک، سمیت کم، مقاومت به هیدرولیز، عدم انتشار بو و مزه، دارای ساختاری آب‌دوست‌تر، مقاومت حرارتی و شیمیایی و پایداری ابعادی

1- Karakuleski
2- Marchese

بالاتر است [3]. استفاده از پلی‌اترسولفون به دلیل آب‌گریز بودن آن در محیط‌های آلی محدود است زیرا همان مشکلات سایر غشاهای پلیمری را که به دلیل آب‌گریزی، مستعد فولینگ و گرفتگی است داراست.

مشخصات محلول پلیمری

یکی از مهم‌ترین متغیرها در فرآیند تغییر فاز با استفاده از غوطه‌وری، انتخاب سیستم حلال-غیر حلال است. برای اینکه بتوان از پلیمری توسط روش تغییر فاز غشا تهیه کرد، باید حلال مناسب برای آن برگزید. اگرچه ممکن است یک یا چند حلال برای پلیمری وجود داشته باشد ولی باید حلال و غیر حلال با یکدیگر امتزاج‌پذیری کامل داشته باشند. اگر اختلاف حلالیت بین حلال و غیر حلال بالا باشد (امتزاج‌پذیری کم)، رسوب دادن تأخیری روی می‌دهد که ایجاد غشا متراکم می‌کند. معمولاً از آب به‌عنوان غیرحلال استفاده می‌گردد. به‌طورمعمول بهترین حلال‌های مورداستفاده برای تهیه محلول، حلال‌های غیرقطبی همچون دی‌متیل فرم آمید، N-2-پیرولیدین و دی‌متیل استامید هستند. این حلال‌ها محدوده وسیعی از پلیمرها را در خود حل می‌نماید. محلول‌های پلیمری تهیه شده با این حلال‌ها با غوطه‌ور شدن در آب، به سرعت منعقد شده و تولید غشاهای متخلخل نامتقارن می‌کند. در این مطالعه از حلال N-متیل پیرولیدین استفاده شده است.

دلایل استفاده از اکسید گرافن

در مطالعات گذشته در مورد استفاده از مواد افزودنی و تهیه غشا کامپوزیتی مانند کامپوزیت پلی‌اترسولفون/نانولوله‌های کربنی و پلی‌سولفون/ نانولوله‌های کربنی بررسی‌هایی شده است که به خواص مطلوبی مانند خواص فیزیکی، مکانیکی و بهبود کارایی غشا دست یافته‌اند. خالص‌سازی نانولوله‌های کربنی به علت اینکه ناخالصی‌های فلزی درون آن‌ها به دام افتاده‌اند، بسیار وقت‌گیر و انرژی‌بر است. بنابراین گرافن انتخاب بهتری برای استفاده در نانو کامپوزیت‌های پلیمری است.

همان‌گونه که گفته شد، در چند دهه‌ی اخیر اکسید گرافن به دلیل بهبود فراوان خواص مکانیکی، گرمایی و الکتریکی نانو کامپوزیت‌های پلیمری توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. برای مثال در زمینه فیلتراسیون آب به دلیل نقش مهم آن در بهبود خواص آب‌دوستی و ضدگرفتگی[3] غشاهای پلیمری مورد توجه قرار گرفته است. بهبود گرفتگی درنتیجه افزایش نرمی سطح بوده که این نرم شدن نانو کامپوزیت‌های بهبود یافته در نتیجه افزایش آب‌دوستی غشا به دلیل حضور اکسید گرافن خواهد بود.

خواص ضدگرفتگی و شار آب غشاهای اصلاح شده با گرافن خالص تحت تأثیر تمایل شدید گرافن به کلوخه شدن است. به دلیل عدم سازگاری بین پلیمر و گرافن خالص خواص مکانیکی غشا افت شدیدی می‌یابد. به همین منظور گرافن را به‌صورت عامل‌دار شده استفاده می‌کنند. اکسید گرافن دارای گروه‌های عاملی متفاوتی (اپوکسی، هیدروکسیلی و کربوکسیلی) می‌باشد که منجر به حضور مکان‌ها و سایت‌های فعال برای عامل‌دار کردن گرافن شده است.

در سال 2015 پارک و همکاران از نانو کامپوزیت اکسید گرافن و پلی‌سولفون به روش وارونگی فازی در مقادیر (0/1، 0/25، 0/5 و 1) درصد وزنی در حلال دی‌متیل‌استات، غشای اسمز معکوس تهیه نمودند. با بررسی خواص مکانیکی و آب‌دوستی غشاها دریافتند که با افزایش درصد اکسید گرافن به بیش از 0/5 درصد وزنی، پخش ضعیف نانوذره در

[3] Anti Fouling

ماتریس پلیمری و افزایش ویسکوزیته محلول پلیمری، منجر به ایجاد ساختار نامطلوب غشا و کاهش خواص مکانیکی و آب‌دوستی غشاها گردید. این امر بر شار عبوری از غشا نیز اثرگذار بود [4].

زینادینی و همکاران در پژوهشی با استفاده از مقادیر مختلف اکسید گرافن و پلی‌وینیل‌پیرولیدون و پلی‌اترسولفون غشاهایی تهیه نمودند. با بررسی میزان آب‌دوستی، تخلخل و نیز فلاکس آب مقطر دریافتند که با افزایش غلظت پلی‌اترسولفون از 13 تا 17 درصد وزنی، همگی این خواص کاهش یافت. درحالی‌که با افزودن 0/5 درصد وزنی اکسید گرافن این خواص بهبود یافت. اما با افزودن 1 درصد وزنی کاهشی ملموس در خواص و عملکرد غشا مشاهده شد [5].

مواد و روش‌های تحقیق

درصدهای مختلف اکسید گرافن شامل (درصد وزنی 0/75، 0/5، 0/25، 0/1، 0) در حلال (N-متیل پیرولیدون) پراکنده شد. برای مقایسه یک نمونه بدون افزودنی (اکسید گرافن) نیز تهیه شد. ذرات توسط اولتراسونیک پروب‌دار کاملاً دیسپرس شدند. پلی‌اترسولفون به‌صورت تدریجی در دمای 60 درجه سانتی‌گراد درحالی‌که به هم می‌خورد به محلول اضافه شد. پس از اختلاط اولیه مواد، با استفاده از همزن مکانیکی با دور ثابت و در طول زمان بیش از 4 ساعت، محلولی شفاف، همگن و بدون حباب از پلیمر درصدهای مختلف از اکسید گرافن در ظروف دربسته تهیه شد. برای این‌که به یک محلول عاری از حباب دست یابیم، محلول به‌دست‌آمده برای مدتی بدون حرکت نگه داشته شد تا حباب‌های موجود احتمالی از آن خارج شود. جهت شکل‌دهی محلول پلیمری از یک فیلم‌کش فلزی استفاده شد. همچنین از صفحات شیشه‌ای کاملاً مسطح با ابعاد 1x15x15 سانتی‌متر مکعب به‌عنوان بستر غشا استفاده شد. پس از تهیه محلولی همگن و بدون حباب پلیمر لایه‌ای یکنواخت و نازک از فیلم پلیمری بر روی صفحه شیشه‌ای به‌وسیله فیلم‌کش تهیه گردید. این کار با سرعت یکنواخت و ثابت انجام پذیرفت. فیلم در یک حمام حاوی ضد حلال (آب) با دمای قابل‌کنترل که به‌عنوان بستر ضد حلال و عامل ایجاد پدیده جدایش فازی جهت تشکیل غشاها بود، قرار داده شد. با انتقال صفحه شیشه‌ای به حمام انعقاد، توسط پدیده جدایش فازی فیلم متخلخل تهیه و حمام آب معلق گردید. فیلم متخلخل به مدت 24 ساعت در آب مقطر قرار گرفت تا به‌طور کامل تثبیت شود و درنهایت خشک شد.

در این پروژه برای انجام تست فلاکس از آب مقطر دو بار تقطیر و امولسیون آب روغن با غلظت 3000 ppm به‌عنوان خوراک استفاده شد. برای پایدار کردن امولسیون از امولسی فایر تویین 80 استفاده شد. برای به‌دست آوردن خوراک، پس از اضافه کردن گازوئیل و امولسی فایر به آب مقطر، محلول به مدت 30 دقیقه و با دور 450 rpm با دستگاه هموژنایزر هم زده شد.

بررسی شار عبوری از غشا

برای اندازه‌گیری شار عبوری از غشاها از یک سیستم فیلتراسیون جریان متقاطع استفاده شد. فیلتراسیون در شرایط عملیاتی دمای محیط و فشار 1/5 بار انجام گرفت و برای کاهش خطاهای مربوط به اندازه‌گیری، برای همه غشاها تکرارهایی در نظر گرفته شد. سطح مؤثر تمام غشاها به اندازه 41/25 سانتی‌متر مربع بوده و تحت فشار 1/5 بار قرار گرفتند. شار آب از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$j = \frac{V}{A\Delta t} \qquad (1)$$

در این معادله، V، A و t به ترتیب حجم آب عبوری (L)، سطح مؤثر غشاهای صفحه‌ای (m^2) و زمان عبور آب (h) است. از این فرمول برای شار عبوری امولسیون آب روغن نیز استفاده می‌شود.

آزمون زاویه تماس

آب‌دوستی و آب‌گریزی غشاهای تهیه شده در مقادیر مختلف اکسید گرافن با روش اندازه‌گیری زاویه تماس قطره آب با سطح نمونه‌ها بررسی شد.

آزمون COD[4]

برای اندازه‌گیری میزان روغن باقیمانده در پساب خروجی غشا از روش COD استفاده شد. فرمول ذیل برای محاسبه میزان اندازه جدایش ذرات آورده شده است:

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

C_p: غلظت روغن پس از عبور از غشا (COD پس از عبور از غشا)

C_f: غلظت روغن در محلول خوراک (COD خوراک)

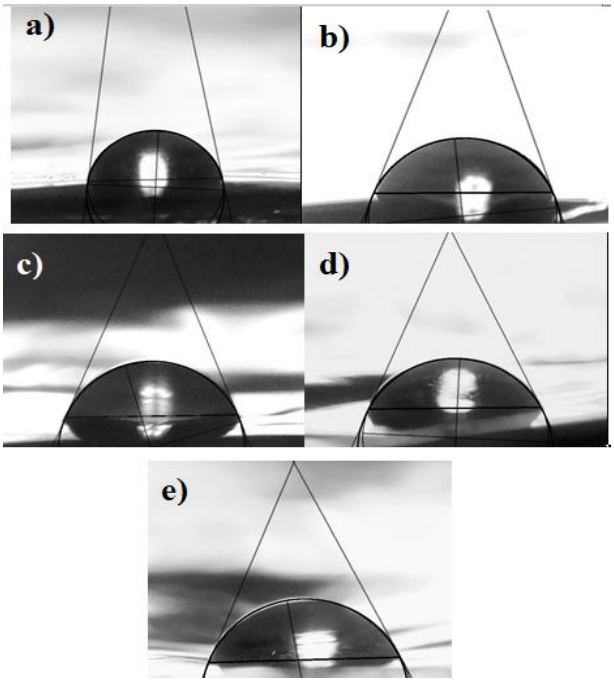
R: میزان پس‌زنی

بحث و نتایج

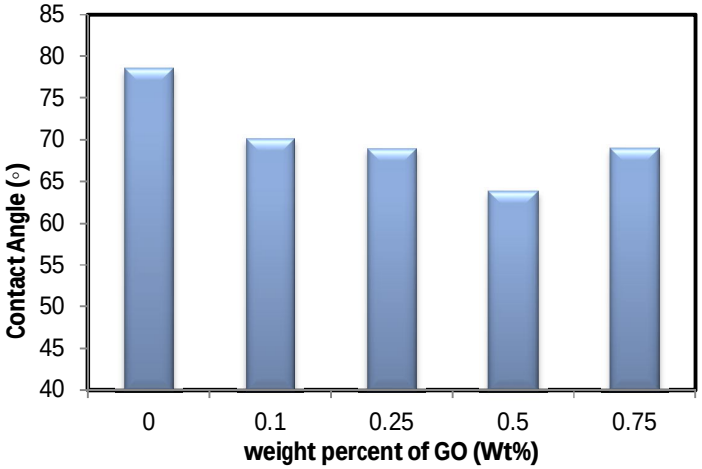
بررسی آب‌دوستی غشا

برای بررسی اثر افزودنی به آب‌دوستی غشا، با درصدهای مختلف (0/1، 0/25، 0/5 و 0/75) اکسید گرافن به همراه 20% پلی‌اترسولوفون غشا تهیه شد. همان‌طور که در شکل 1 و نمودار 2 مشخص است، بالاترین زاویه تماس مربوط به پلی‌اترسولفون خالص با ∘78/56 و کمترین زاویه تماس مربوط به نانو کامپوزیت پلی‌اترسولفون و 0/5 درصد وزنی اکسید گرافن با زاویه تماس ∘63/84 است. مشخصاً با افزایش میزان درصد اکسید گرافن تا 0/5 درصد وزنی زاویه تماس آب کمتر شده و درنتیجه آب‌دوستی غشا بیشتر شده است. این نتیجه می‌تواند به علت وجود گروه‌های کربوکسیلی و مهاجرت آن‌ها به سطح به هنگام پدیده وارونگی فازی در فرآیند تهیه غشا باشد [6]. ولی با افزایش اکسید گرافن به درصدهای بالاتر از 0/5 درصد وزنی در اثر افزایش نسبت اختلاط، به دلیل کلوخه شدن و کاهش سطح ویژه مؤثر نانوذرات که منجر به کاهش گروه‌های عاملی سطح می‌شود، میزان آب‌دوستی غشا کاهش می‌یابد [7].

4- Chemical Oxygen Demand



شکل1. تصاویر زاویه‌ی تماس نمونه‌ها در ترکیب درصدهای مختلف اکسید گرافن: a) 0%، b) 0/1%، c) 0/25%، d) 0/5%، e) 0/75%

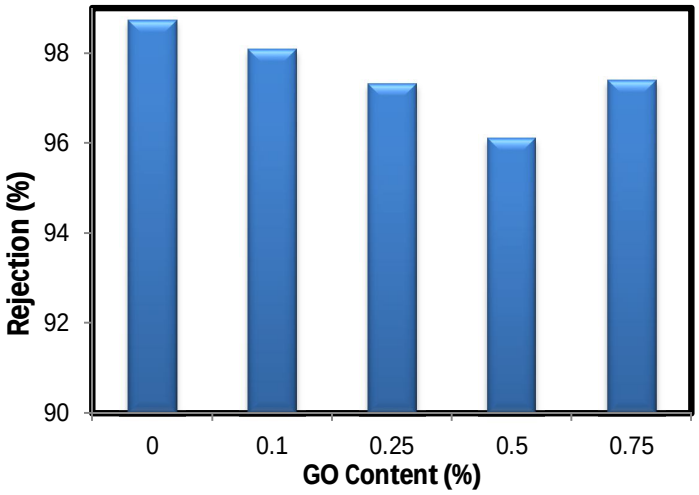


شکل 2. نمودار زاویه تماس غشاها برحسب ترکیب درصدهای مختلف اکسید گرافن

میزان جداسازی روغن خروجی از غشا

همان‌طور که در شکل 3 نشان داده شده است، برای همه غشاها میزان جداسازی و پس‌زنی مناسبی به‌دست آمده است. میزان پس‌زنی غشای کامپوزیتی بیشتر از پلی‌اترسولفون خالص است و چون سطح پلی‌اترسولفون خالص از آب‌دوستی کمتری برخوردار است در مدت‌زمان اندکی روغن بر سطح غشا رسوب می‌کند و سطح غشا قادر نخواهد بود پس از برخورد با روغن آن را به عقب براند، بلکه با رسوب بر روی غشا ایجاد کیک می‌کند ولی در مورد غشاهای اصلاح شده به دلیل تغییر ساختار و ایجاد حفرات بزرگ‌تر در 0/5 درصد وزنی میزان پس‌زنی از 98/73 تا 96/12 کاهش می‌یابد. اما همان‌گونه که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی مشاهده شد با افزایش اکسید گرافن تا 0/75 درصد

وزنی میزان اسفنجی شدن ساختار غشا و نیز به دلیل کاهش سطح مؤثر نانو لایه‌ها و افزایش زبری غشا، پس‌زنی اندکی افزایش می‌یابد. این نتایج از آزمون فلاکس و با توجه به اختلاف فلاکس اولیه و نهایی قابل‌انتظار بود. در مجموع با توجه به نتایج آزمون فلاکس، در 0/5 درصد وزنی شار بالا و پس‌زنی مناسبی نیز مشاهده شد که نمونه بهینه همین مقدار به دست آمد.



شکل 3. نمودار نتایج میزان پس‌زنی غشاها برحسب مقادیر مختلف اکسید گرافن

فلاکس غشاها

در این پروژه تأثیر نانو صفحات اکسید گرافن بر تراوایی غشا، از طریق آزمایش‌های فلاکس آب و امولسیون روغن در آب مورد بررسی قرار گرفت. در تعیین میزان تراوایی غشاها عوامل مختلفی ازجمله آب‌دوستی غشا نقش دارد و مشخص شده است که افزودن نانوذرات این خاصیت را تغییر می‌دهد. برای بررسی تأثیر اکسید گرافن بر کارایی غشا یک بار میزان فلاکس آب و بار دیگر فلاکس امولسیون آب-روغن اندازه‌گیری شد. توجه به این نکته در این ارزیابی امری ضروری است: ما می‌دانیم که نانو صفحات اکسید گرافن به دلیل حضور گروه‌های عاملی کربوکسیلیک، هیدروکسیل و اپوکسی آب‌دوست هستند و بنابراین وجود آن‌ها منجر به افزایش آب‌دوستی غشا و درنتیجه افزایش شار غشا در برابر عبور ذرات آب‌گریز روغن می‌شود.

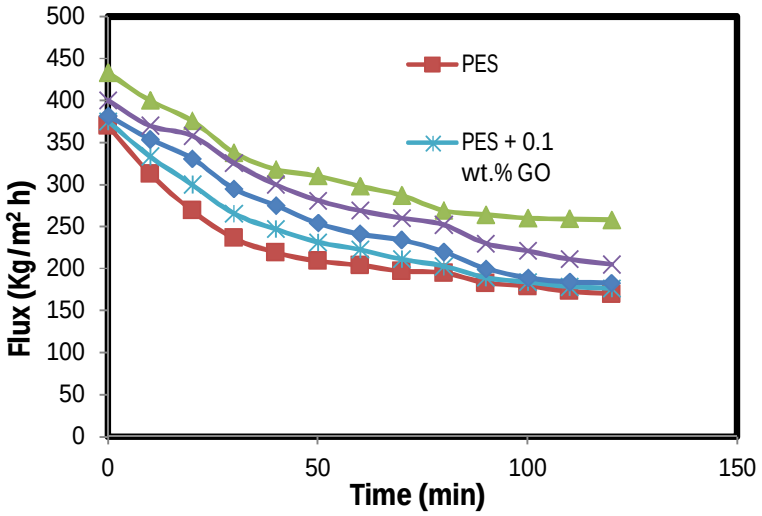
تأثیر افزودن اکسید گرافن بر فلاکس آب مقطر در شکل 4 آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید کاهش فلاکس در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله اول پس از گذشت دقایقی کاهش ناگهانی مشاهده شده که دلیل آن تشکیل لایه کیک و انسداد حفره‌ها بوده و پس از آن کاهش فلاکس به‌صورت تدریجی خواهد بود تابه‌حال پایدار برسد.

با توجه به نمودار، فلاکس اولیه غشا پلی‌اترسولفون خالص از بقیه غشاها کمتر است. به تدریج با گذشت زمان، فلاکس این غشا در مقایسه با فلاکس غشاهای حاوی 0/25 و 0/5 درصد وزنی اکسید گرافن کاهش بیشتری می‌یابد و فلاکس نهایی آن کمتر می‌شود. در این شکل تأثیر افزودن اکسید گرافن بر بهبود گرفتگی غشا مشخص است و همان‌گونه که دیده می‌شود با افزودن نانو صفحات اکسید گرافن تفاوت فلاکس اولیه و نهایی کم‌تر می‌شود که کمترین مقدار آن در 0/5 درصد وزنی اکسید گرافن و بیشترین مقدار آن مربوط به پلی‌اترسولفون خالص است. این مشاهده بیان‌گر کاهش

فولینگ در اثر افزایش آب‌دوستی اکسید گرافن خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نانو صفحات اکسید گرافن تا 0/5 درصد وزنی فلاکس میانگین افزایش می‌یابد و بیشینه فلاکس در این درصد به دست می‌آید که برابر با 307 $Kg/m^2 h$ بود. افزایش شار غشای پلی‌اترسولفون حاوی 0/5 درصد وزنی اکسید گرافن به دلیل تغییر مورفولوژی و افزایش تخلخل و نیز آب‌دوستی بیشتر است. با افزایش اکسید گرافن تا 0/75 درصد وزنی، میزان شار غشا به دلیل انسداد حفره‌ها کاهش می‌یابد. نتایج فلاکس میانگین غشاها در جدول 1 آورده شده است.

جدول1: نتایج فلاکس آب مقطر غشاها برحسب مقادیر مختلف اکسید گرافن

نوع غشا	خالص	0/1 %	0/25 %	0/5 %	0/75 %
فلاکس میانگین آب ($Kg/m^2 h$)	220	236	254	307	279
فلاکس اولیه آب	370	375	382	410	400
فلاکس نهایی آب	170	176	183	258	205



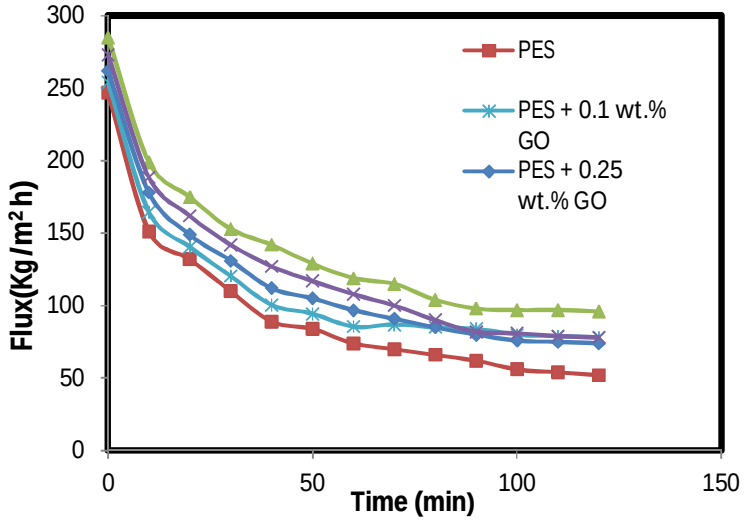
شکل 4. نمودار فلاکس آب مقطر غشاها برحسب مقادیر مختلف اکسید گرافن

همان‌طور که در شکل 5 نمایان است شار عبوری امولسیون روغن-آب نسبت به آب خالص به‌مراتب کمتر است که دلیل آن به جداسازی ذرات روغن از خوراک و تشکیل لایه روغنی بر سطح غشا و فولینگ غشا مربوط می‌شود. شار عبوری از غشا با گذشت زمان از ابتدای اندازه‌گیری کاهش می‌یابد ولی حتی شار کاهش یافته غشای پلی‌اترسولفون/اکسید گرافن به مراتب بیشتر از غشای پلی‌اترسولفون خالص است. همچنین روندی که برای فلاکس حاصل از عبور خوراک آب روغن مشاهده شد مانند روند به‌دست‌آمده برای فلاکس آب بود، یعنی ماکزیمم فلاکس و نیز مینیمم تفاوت فلاکس اولیه و نهایی برای غشا حاوی 0/5 درصد وزنی اکسید گرافن مشاهده شد. نتیجه‌گیری می‌شود که با افزایش آب‌دوستی غشاها میزان گرفتگی غشاها کاهش می‌یابد و از اختلاف شار اولیه و نهایی کاسته

می‌شود. اما در 0/75 درصد وزنی اختلاف فلاکس اولیه و نهایی بیشتر می‌شود. نتایج فلاکس حاصل از عبور خوراک امولسیون روغن آب در جدول 2 آورده شده است.

جدول2. نتایج فلاکس حاصل از عبور خوراک امولسیون آب-روغن برحسب مقادیر مختلف اکسید گرافن

نوع غشا	خالص	0/1 %	0/25 %	0/5 %	0/75 %
فلاکس میانگین آب-روغن ($Kg/m^2 h$)	96	112	116	139	125
فلاکس اولیه آب- روغن	247	254	262	285	273
فلاکس نهایی آب-روغن	52	78	74	96	78



شکل 5. نمودار فلاکس آب-روغن از غشاها برحسب مقادیر مختلف اکسید گرافن در فشار 1/5 بار و دمای 27 درجه سانتی‌گراد

نتیجه‌گیری

هدف از این پروژه ساخت و بررسی خواص غشای نانوکامپوزیت پلی‌اترسولفون بر پایه گرافن و استفاده از آن برای حذف روغن از امولسیون روغن آب است. ازآنجایی‌که پخش گرافن به سختی میسر می‌شود، از طریق اکسیداسیون و نشاندن گروه‌های عاملی آب‌دوست از قبیل کربوکسیلی و هیدروکسیلی، امکان پراکنش مناسب آن‌ها در حلال N-متیل پیرولیدین فراهم شده است. بنابراین اکسید گرافن و پلی‌اترسولفون هر رو در حلال NMP به خوبی حل می‌شوند. در این پروژه، ابتدا محلول‌های پلی‌اترسولفون و اکسید گرافن با نسبت‌های مختلف تهیه شده و تحت فرآیند وارونگی فازی در حمام انعقاد، غشای نامتقارن متخلخل به دست آمد. نمونه‌هایی یکنواخت و بی‌نقص از محلول حاصل آمد. در ادامه غشاهای تهیه شده جهت دست‌یابی به بیشینه آب‌دوستی و درنتیجه شار و کارایی بالا با

استفاده از روش Contact Angle مشخصه‌یابی شدند و نمونه‌ی بهینه به دست آمد. درنهایت غشاهای بهینه به‌دست‌آمده در آزمون اولترافیلتراسیون برای درنهایت غشای تولید شده به منظور جداسازی آب از روغن و همچنین به دلیل در دسترس بودن و ارزان بودن گرافن درمجموع جهت کاهش هزینه‌های حاصله از تصفیه آب به کار خواهد رفت.

با افزایش اکسید گرافن به دلیل افزایش ماکروحفرات در زیرلایه و افزایش تخلخل و آب‌دوستی غشا میزان فلاکس عبوری از غشا در مقایسه با پلی‌اترسولفون خالص افزایش یافته و از 96 $Kg/m^2 h$ به 139 $Kg/m^2 h$ افزایش یافت و اختلاف فلاکس اولیه و نهایی نیز به دلیل حضور اکسید گرافن کاهش یافته درنتیجه بهبود گرفتگی را شاهد بودیم. اما در مقادیر بالاتر از 0/5 درصد وزنی شار کاهش یافت. میزان پس‌زنی و مقادیر COD به دلیل افزایش شار با افزودن اکسید گرافن کاهش یافت و در 0/5 درصد وزنی از 98/73 تا 96/12 کاهش می‌یابد و در 0/75 درصد وزنی به دلیل افزایش گرفتگی و انسداد حفرات و تشکیل لایه کیک از روغن بر سطح غشا پس‌زنی افزایش یافت.

با استفاده از اکسید گرافن در غشاهای پلی‌اترسولفون به میزان 0/5 درصد وزنی، با توجه به جمیع جهات افزایش خواص مکانیکی، آب‌دوستی افزایش خواص و نیز شار بالا و پس‌زنی مناسب و درنتیجه عملکرد مطلوبی مشاهده شد.

منابع

[1] R. Alaghehbandan, A. M. Rossignol, and A. R. Lari, “Pediatric burn injuries in Tehran, Iran,” *Burns*, vol. 27, no. 2, pp. 115–118, 2001.

[2] A. Reyhani and M. Hemmati, “Wastewater treatment by ultrafiltration system, considering the effects of operating conditions: experimental and modeling,” *Desalin. Water Treat.*, vol. 52, no. 34–36, pp. 6282–6294, 2014.

[3] A. L. Ahmad, A. A. Abdulkarim, B. S. Ooi, and S. Ismail, “Recent development in additives modifications of polyethersulfone membrane for flux enhancement,” *Chem. Eng. J.*, vol. 223, pp. 246–267, 2013.

[4] M. J. Park, S. Phuntsho, T. He, G. M. Nisola, L. D. Tijing, X.-M. Li, G. Chen, W.-J. Chung, and H. K. Shon, “Graphene oxide incorporated polysulfone substrate for the fabrication of flat-sheet thin-film composite forward osmosis membranes,” *J. Memb. Sci.*, vol. 493, pp. 496–507, 2015.

[5] S. Zinadini, V. Vatanpour, A. A. Zinatizadeh, M. Rahimi, Z. Rahimi, and M. Kian, “Preparation and characterization of antifouling graphene oxide/polyethersulfone ultrafiltration membrane: Application in MBR for dairy wastewater treatment,” *J. Water Process Eng.*, vol. 7, pp. 280–294, 2015.

[6] S. Zinadini, A. A. Zinatizadeh, M. Rahimi, V. Vatanpour, and H. Zangeneh, “Preparation of a novel antifouling mixed matrix PES membrane by embedding graphene oxide nanoplates,” *J. Memb. Sci.*, vol. 453, pp. 292–301, 2014.

[7] B. M. Ganesh, A. M. Isloor, and A. F. Ismail, “Enhanced hydrophilicity and salt rejection study of graphene oxide-polysulfone mixed matrix membrane,” *Desalination*, vol. 313, pp. 199–207, 2013.