Applied Research in Chemical - Polymer Engineering

Vol. 6, No.3 page 61-73 ,fall 2022

key words

Nanocomposite

Ultrafiltration

Osmosis Membrane Bioreactor

Modified Titanium Oxide

Wastewater Treatment

Fabrication of nanocomposite membrane based on polysulfone and modified Titanium oxide nanoparticles and its performance in industrial wastewater treatment using osmotic membrane bioreactor process

Ahmadreza Zahedipoor ¹, Dryoush Emadzadeh ^{1*},Mehdi Faramarzi ¹, Amir Mansourizadeh ¹, Abdolmohammad Ghaedi ²

1-Department of Chemical Engineering ,Gachsaran Branch, Islamic Azad University, Gachsaran, Iran

2-Department of Chemistry,Gachsaran Branch, Islamic Azad University, Gachsaran, Iran

Abstract

Research subject: Osmosis membrane bioreactor is one of the best industrial wastewater treatment methods. The main advantage of using osmosis process is its operation at low hydraulic pressures which has a better performance in removing pollutants and low energy consumption than other methods.

Research approach: In this research, Nano porous Titanium dioxide powder with a specific surface area and anatase wall was synthesized through a thermal process using cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) as a surfactant directing agent and a pore-creating agent. Ultrafiltration nanocomposite membranes were made using modified titanium dioxide (TiO₂) (MT) and polysulfone (PSf) by phase the inversion method. The morphology and structure of the prepared membranes and nanoparticles were investigated using by atomic fourier transforms infrared spectroscopy (FESEM), X-ray diffraction (XRD) and transmission electron microscopy (TEM). In this research, bovine serum albumin (BSA) was used as simulated wastewater for the feed solution. The fabricated ultrafiltration membranes were tested in osmosis membrane bioreactor (OMBR) system due to lower energy and fouling. 0.6 % solution of poly (sodium 4-styrene sulfonate) was used as an osmotic solution. Comparative separation performance and antifouling properties of both nanocomposites in several analyzes such as water contact angle measurement, pure water flux and filtration of different concentrations of bovine serum albumin solution. BSA and fouling resistance have been investigated.

Main results: The results that Due to the addition of MT nanoparticles to the polymer matrix, the hydrophilicity and surface energy of the membrane increased, which led to the improvement of the membrane performance. The membrane containing 1% titanium oxide nanoparticles showed the best result. For example, for feeding with a concentration of 200 ppm, the water flux increased from 20 to 38.5 L/ m2 h, and the percentage of returning lethal solution decreased from 19.6 to 30 g/ m² h. The flux recovery in this membrane was 96%, which indicates the antifouling property of the modified nanocomposite membrane.

*To whom correspondence should be addressed: D.Emadzadeh322@gmail.com

ساخت غشای نانوکامپوزیتی بر پایه پلیسولفون و نانوذرات دیاکسیدتیتانیم اصلاحشده و بررسی عملکرد آن در تصفیه فاضلابهای صنعتی با استفاده از فرایند بیوراکتور غشایی اسمزی

احمدرضا زاهدی پور' ، داریوش عمادزاده[،] ، مهدی فرامرزی^ر، امیر منصوریزاده^ر ،عبدالمحمد قایدی^۲

۱- گروه مهندسی شیمی، واحد گچساران، ،دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران ، ایران.

۲- گروه شیمی کاربری، واحد گچساران، ،دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران ، ایران.

چکیــدہ

موضوع تحقيق : بيوراكتور غشايي اسمزي يكي از بهترين روش هاي تصفيه فاضلاب های صنعتی است. مزیت اصلی استفاده از فرایند اسمزی عمل کردن آن در فشارهای پایین هیدرولیکی است که عملکرد بهتری در حذف آلاینده ها و مصرف انرژی پایین نسبت به روش های دیگر دارد. روش تحقيق : در اين تحقيق نانوذرات حفر مدار دى كسيدتيتانيوم با سطح ويژه و دیـواره آناتـاز از طریـق فراینـد گرمایـی بـا اسـتفاده از سـتیلتریمتیلآمونیوم بروماید (CTAB) به عنوان عامل هدایت کننده سطح فعال و عامل ایجاد کننده منافذ، سنتز شد. غشاهای نانوکامپوزیت اولترافیلتراسیون با استفاده از دی اکسیدتیتانیوم (,TiO) اصلاحشده (MT) و پلیسولفون (PSf) به روش وارونگی فازی ساخته شدند. ریختشناسی و ساختار غشاهای بهدست آمده و نانوذره توسط ميكروسكوپ الكترون روبشي (FESEM)، پراش اشعه ايكس (XRD) و میکروسکوپ الکترون عبوری (TEM) مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از محلول خوراک آلبومین سرم گاوی (BSA) به عنوان فاضلاب شبیه سازی شده استفاده شد. غشاهای اولترافیلتراسیون ساخته شده بهترتیب در سامانه بیوراکتورغشایی اسمزی (OMBR) بهدلیل انرژی و رسوب کمتر مورد آزمایش قرار گرفتند. محلول ٪۱/۶ یلی (سدیم ۴- استایرن سولفونات) بهعنوان محلول اسـمزی مـورد اسـتفاده قـرار گرفـت. عملکـرد جداسـازی مقایسـهای و خـواص ضدرسوب هر دو جهت نانوکامپوزیتهای ساخته شده در تجزیه وتحلیل های متعـددی ماننـد اندازه گیـری زاویـه تمـاس بـا آب، شـار آب خالـص و تصفیـه غلظتهای متفاوتی از محلول آلبومین سرم گاوی (BSA) و مقاومت در برابر رسوب مورد بررسی قرار گرفته است. نتایے اصلے : نتایے نشان میدھد کے بعدلیے افزودن نانوذرات MT ہے بستر پلیمری، آبدوستی و انرژی سطح غشا افزایش یافت که منجر به بهبود عملکرد غشا شد. غشای حاوی ۱٪ نانوذره اکسید تیتانیوم بهترین نتیجه را نشان داد. به عنوان مثال برای خوراک با غلظت ۲۰۰ ppm فلاکس آب از h.L/ m^۲) ۲۰ تـا ۳۸/۵ (افزایـش یافـت و همچنیـن درصـد محلـول کشـنده بازگشــتی نیــز از (۳۰ تــا ۱۹/۶ h.g/m^۲) کاهــش یافــت. بازیابــی فلاکــس در ایــن غشا ۹۶ درصد بود که نشان دهنده ی خاصیت ضدرسوبی غشای نانو کامپوزیت اصلاح شده است.

پژو،ش می کاربردی پر مهندسی شیمی - پلیمر

فصلنامه علمی - پژوهشی بین رشته ای سال ششم، شماره ۳، نسخه ۱ پاییز ۱۴۰۱ ، صفحه ۷۳–۶۱

کلمـات کلیـدی

نانوكامپوزيت

اولترافيلتراسيون

بيوراكتورغشايي اسمزى

اكسيدتيتانيوم اصلاحشده

تصفيه فاضلاب

«مسئول مكاتبات: D.Emadzadeh322@gmail.com

۱ مقدمه

تقاضا برای آب شیرین روزبهروز در سطح جهان بهسرعت در حال افزایش است. بااین حال، منابع آب شیرین بسیار محدود است و تخمینزده می شود که شدید آب قرار دارند. بنابراین، ضروری است که آب تا حد امکان با هر روشی از فناوریهای پیشرفته تصفیه آب مانند جدب، انعقاد و لختهسازی، فرایند جداسازی غشایی و غیره بازیافت شود [۱]. رشد سریع صنایع آلاینده مانند داروسازی، تقطیر، نساجی و صنایع معدنی و همچنین افزایش استانداردهای زندگی، جمعیت انسانی و شهرنشینی منجر به تولید فاضلابهای سمی و حاوی آلایندههای خطرناک شده است [۲].

فاضلاب مملو از مواد آلی سمی و پیچیده برای محیطزیست مضر است. حذف ترکیبات سمی و خطرناک از فاضلابهای صنعتی جهت حفاظت از منابع طبیعی موضوع حائز اهمیتی بوده و امکان استفادهی مجدد از این فاضلاب و همچنین امکان صرفهجویی در مصرف آب شیرین و طبیعی را در راستای اولویت توسعهی پایدار و حفاظت از محیطزیست فراهم میسازد [۳].

فرایند اسمزی توسط اختلاف فشار اسمزی در غشای نیمهتراوا هدایت می شود، نیازی به فشار هیدرولیکی ندارد یا فشار هیدرولیکی پایینی دارد، و بنابراین نسبت به فرایندهای غشایی تحتفشار، انرژی کمتری نیاز دارد. علاوه بر این، اسمزی توانایی مطلوبی برای حذف انواع مختلف آلودگی، مانند آلودگی فلزات سنگین [۴]، آلایندهای جدید [۵] و رنگ [۶] را دارد.

فرایند اسمزی به عنوان مرحله پیش تصفیه ایده آل در بسیاری از فرایندهای غشایی برای شیرینساز آب و تصفيه فاضلاب استفاده مي شود [٧]. بااين حال، باتوجـه بـه ظرفيـت بالايـی كـه فراينـد اسـمزی از خـود نشان داده است میتواند برای کمک به حل کمبود آب موثر باشد. و برای دستیابی به اجرای موفق این فناوری باید بر چالشهای زیادی ازجمله شار محلول کشنده یا برگشتی (j_s)، پلاریزاسیون غلظتی داخلی(ICP) ، پلاریزاسیون غلظتی خارجی (ECP)، رسوبزدایی، مقاومت مکانیکی غشای ضعیف، شار پایین (jw) و هزینه زیاد برای بازیابی آب از محلول کشنده غلبه کرد [۸]. این عوامل باعث شد تحقیقات بیشتری در زمینه توسعه و پیادهسازی فرایند جداسازی غشای اسمزی صورت بگیرد. تلاشهای مختلفی برای پیشرفت بیشتر فناوری اسمزی بهمنظور بهدست آوردن جایگاه اصلی در صنعت آب و فاضلاب صورت گرفته است [۹].

دراستفاده از بیوراکتور و غشای اسمزی، بیوراکتور اسمزی مزایای بیشتری نسبت به بیوراکتور معمولی دارد [۱۰]. بیوراکتور اسمزی میتواند با حداقل انرژی نسبت به بیوراکتور معمولی برای تولید آب خروجی با

کیفیت بالا بهتر عمل کند. که این را میتوان به دو عامل تقسیم کرد: مصرف انرژی پایین و کاهش گرفتگی. فرایند OMBR نیاز به انرژی کمتری از سایر فرایندهای MBR دارند؛ علاوه بر این، کاهش گرفتگی غشایی سهم قابل توجهی در صرفهجویی انرژی دارد. درنهایت، OMBR میتواند میزان فرایند پس تصفیه بیوراکتورها را با تولید پسابهای باکیفیت بالاتر کاهش دهد. از آنجایی که غشای اسمزی در فرایند کاهش دهد. میشود میتواند همه ذرات و مواد کلوئیدی و ترکیبات آلی و یونهها را دفع کند [۱۱]. بنابراین فرایند اسمزی، برای آلای بیاری میتنی بر غشا، برای کاربردهای مانند نمکزدایی [۱۲]، تولید برق [۱۳]و تصفیه فاضلاب [۱۴] موردتوجه قرارگرفته است.

در میان غشاهای پلیمری، غشاهای پلیسولفون (PSF) به علت پایداری فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و هیدرولیکی به طور گستردهای برای تصفیه فاضلابهای صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند. اصلاح غشاهای PSF فرصتی مناسب برای بهبود عملکرد آنها در تصفیه فاضلاب است[۱۵].

یکی از عاملهای مهم در سامانه OMBR ، انتخاب محلول کشنده DS مناسب است. محلول کشنده باید فشار اسمزی بالاتری نسبت به محلول خوراک داشته باشد. عامل دیگر قابلیت دسترسی به فرایند مناسب جهت تغلیظ مجدد محلول کشنده پس از رقیق شدن آن در فرایند اسمزی است. در این مطالعه، محلول پلی (سدیم ۴ – استایرن سولفونات) به دلیل حلالیت بالای خود و امکان تغلیظ مجدد نسبتاً آسان تا رسیدن به غلظتهای بالا با استفاده از فرایند اولترافیلتراسیون انتخاب شده است[۱۶].

سیرین پونـگ و همکاران سنتز و ساختار غشاهای کامپوزیتـی نـازک ساختهشـده از بسـتر نانوکامپوزیـت / PSF GO TiO₇ برای فراینـد اسـمزی مـورد بررسـی قـرار دادهانـد کـه نتایـج نشـان داد آبدوسـتی سطحی و زبـری زیـر لایـه PSF پـس از اضافـه کـردن نانـوذرات افزایـش پیـدا کـرده اسـت. و شـار آب عبـوری از غشـای اسـمزی پیـدا کـرده اسـت. و شـار آب عبـوری از غشـای اسـمزی بیا اسـتفاده از غشـای TFC افزایـش یافـت [۱۷]. کائـو و بـا اسـتفاده از غشـای TFC افزایـش یافـت [۱۷]. کائـو و بـا نانـوذرات TOT در اندازههـای مختلـف انجـام دادهانـد. آنهـا دریافتنـد نانـوذرات کوچکتـر میتواننـد خاصیـت مقاومـت در مقابـل رسـوب را در غشـای PVDF بـه میـزان

رحیم پور و همکاران غشای جدید PVDF با خاصیت ضدرسوب و ضدباکتریایی را با استفاده از سولفوردار کردن پلی سولفون (SPES) و نانوذرات TiO, با حضور پلی وینیل پیرولیدین (PVP) به عنوان تشکیل دهنده حفره در محلول ریخته گری به روش وارونگی فازی ساختند که نتایج نشان داده است که خواص ضدر سوب غشاها با تغییر سطح غشا از آب گریز به آب دوست پس از افزودن TiO در محلول ریخته گری بهبود یافت[19]. است. پس از در این کار تحقیقاتی هدف ساخت غشا نانوکامپوزیتی مدت ۱۲ سا اولترافیلتراسیون با افزودن اکسیدتیتانیم اصلاح شده و برای تصفیه ه پلیسولفون (PSf) جهت تصفیه فاضلاب های صنعتی سانتی گراد من با استفاده از بیوراکتورغشایی اسمزی است. دلیل اصلی حاصل در دم استفاده از نانوزه، افزایش آبدوستی سطح غشا و بازیابی شدند

کاهـش رسـوب غشـاها در بیوراکتورغشـایی اسـمزی است. آنالیزهـای میکروسـکوپ الکتـرون روبشـی (FESEM)، پـراش اشـعه ایکـس (XRD) و میکروسـکوپ الکترون عبـوری(TEM) بهمنظـور شناسـائی اکسـیدتیتانیم اصلاحشـده و غشـای ساختهشـده و همچنیـن عملکـرد غشـاها از نظـر شـار آب خالـص، نسـبت بازیابـی شـار و حـذف محلـول حـاوی آلبومیـن سـرم گاوی (BSA) مـورد بررسـی قـرار گرفتهانـد.

۲ مواد و روشها ۲-۱ مواد

در این پژوهش، از پلیسولفون (PSF, Udel P-1700) قرم بر مول شرکت Solvay جرم مولکولی ۳۵۰۰ گرم بر مول بهعنوان پلیمر و از پلیوینیل پیرولیدون (PVP , K۳۰) بهترتیب و ان- متیل-۲-پیرولیدون (Purity ۵۸۸۹) بهترتیب بهعنوان حلال و افزودنی از شرکت سیگما آلدریچ، برای تهیه غشا استفاده شد. از سولفات تیتانیوم ۲(۵۰٫۰ و مریک الدریچ برای سنتز نانوزرات اکسیدتیتانیوم سیگما آلدریچ برای سنتز نانوزرات اکسیدتیتانیوم استفاده شد. همچنین آلبومین سرم گاوی (RSA) شرکت لاDa ۷۰, PSS) شرکت پلیسدیم ۴- استایرنسولفونات (kDa ۷۰, PSS) شرکت سیگما آلدریچ به عنوان محلول اسمزی استفاده شد.

ساخت غشای نانوکامپوزیتی بر پایه پلیسولفون ...

است. پس از ۳۰ دقیقه هم زدن، مخلوط حاصل به مدت ۱۲ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد، سپس برای تصفیه هیدروترمال به اتوکلاو با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد منتقل شد. پس از ۲۲ ساعت، پودرهای حاصل در دمای اتاق خنک شده سپس با سانتریفوژ بازیابی شدند، با آب و اتانول شسته و سپس در دمای آلی و بهبود تبادل یونی با مخلوط کردن پودرهای سنتزشده با محلول آب و اتانول (نسبت مولی ۱: ۱) مواد جامد حاصل با آب و اتانول شسته و سپس در مواد جامد حاصل با آب و اتانول شسته و سپس در آمادهشده بهترتیب در دمای مختلف به مدت ۶ ساعت آمادهشده بهترتیب در دمای مختلف به مدت ۶ ساعت کلسیون شدند تا به ترتیب تبلور را با سرعت حرارت ۲ درجه سانتی گراد بهبود بخشاند[۲۰].

۲-۳ تهیه غشای نانوکامپوزیتی

در این پژوهش، برای تهیه غشا از روش وارونگی فازی استفاده شد. با استفاده از مقادیر ثابت، PVP و غلظتهای مختلف حلال NMP چهار نوع غشا ساخته شدند که در جدول ۱ نشان داده شده است. غشای اول بدون اضافه کردن نانوذرات آماده شد. ابتدا غلظت مشخصشده از حلال NMP در ظرفی ریخته شد و سپس مقدار تعیینشده ثابت PVP به آن افزوده شد و به مدت ۳۰ دقیقه برای حل شدن مخلوط شد و به محلول مقدار مورد نظر از نانوذره اکسیدتیتانیوم اضافه شد پس از آن مقدار از پیش تعیینشده شد، و محلول همزن مکانیکی شدید به محلول اضافه شد، و محلول در زمان ۱۲ ساعت و دمای ۲۵ درجه ی سانتی گراد در

Table 1: The composition of embedded membranes with the amount of different loadings				
PSF Membrane	PSf (wt.%)	PVP (wt.%)	NMP (wt.%)	TiO ₂
MT0(control)	17.5	0.5	82.0	0.0
MT-0.5	17.5	0.5	81.5	0.5
MT-1	17.5	0.5	81	1
MT-2	17.5	0.5	80.0	2

جدول ۱ ترکیب غشاهای تعبیهشده با مقدار بارگیریهای مختلف Table 1:The composition of embedded membranes with the amount of different loadings

۲-۲روش تهیه نانوذرات اکسیدتیتانیوم

فرایند سنتز برای تهیه نانوذرات اکسیدتیتانیوم به روش هیدروترمال انجام شد. ابتدا ۱/۱۴۰۲ گرم سولفاتتیتانیوم ۲(SO، انجام شد. ابترا ب مقطر حل شد. محلول بهدست آمده تحت هم زدن به محلول ستیل تریمتیل آمونیوم برومید (CTAB) اضافه شد. جرم مولی ۲۰۰ : ۰/۱۲: ۱۰۰ یا CTAB: ۲۰

و حبابهای هوای به دام افتاده حذف شوند. سپس محلول با استفاده از میله شیشهای بر روی صفحه شیشهای ریخته گری شد و غشای ساخته شده در دمای محیط درون حمام انعقاد آبی قرار گرفت تا وارونگی فازی رخ دهد و غشا را از صفحه شیشهای جدا کند و آن را به حمام آب دیگر انتقال دهد. تا هر گونه ذرات باقی ماده حذف و جداسازی شوند. غشاهای PSF بر اساس بارگزاری NC به نامهای MTo. ۲۰/۵

۲- MT مشـخص شـدند.

۲-۴ سامانه بیوراکتور غشایی اسمزی

شکل ۱ مختصری از تنظیمات سامانه بیوراکتورغشایی اسمزی را نشان میدهد، در سامانه بیوراکتور اسمزی، سل با جریان متقاطع طراحی شده و سطح موثر غشا در سل ۱۴ سانتیمترمربع است. دمای محلولها ۲۵ درجـه سانتیگراد و محلـول خـوراک و محلـول اسمزی با استفاده از دو پمپ در سامانه گردش داده شده است. برای بهدست آوردن شار از دو تـرازوی دیجیتال در زیر مخزنها استفاده از رابطـه زیر محاسبه شد:

$$j_{v} = \frac{\Delta V}{A_{m}\Delta t} = \frac{\frac{\Delta m}{\rho}}{A_{m}\Delta t}$$
(1)

 A_m من این رابط ه ΔV تغییر حجم خوراک، A_m من در این رابط ه ک تغییر حجم خوراک، منفوذ سطح موثر غشا (برحسب مترمربع) و Δt زمان نفوذ (برحسب ساعت)، Δm تغییرات وزن محلول اسمزی و ρ چگالی خوراک است. شار محلول کشندهی برگشتی ($h j_s$ (L/m^r) از رابط و زیر محاسبه شد:

$$J_{s} = \frac{\Delta(C_{t}, V_{t})}{A_{m} \cdot \Delta t}$$
^(Y)

که در این رابط ه ΔV تغییر حجم خوراک، A_m سطح موثر غشا (برحسب مترمربع) و Δ زمان نفوذ (برحسب میاعت)، ΔC تغییرات غلظت است. پلاریزاسیون غلظت داخلی (ICP) به مقدار S بستگی دارد با توجه به معادلات doel و همکاران برای فرایند اسمزی می توان نوشت:



شکل ۱ طرحواره جریان در دستگاه بیوراکتور غشایی اسمزی Fig 1: Flow schematic in osmosis membrane bioreactor

فصلنامه علمی پژوهشی بین رشته ای پژوهش های کاربردی مهندسی شیمی – پلیمر 👌

که در این رابطه D ضریب پخش آب، S مقداری تجربی، π_{freed} فشار اسمزی محلول غلیظ، π_{freed} فشار اسمزی محلول خوراک است. A و B بهترتیب میزان نفوذپذیری آب و محلول کشنده است[۲۱].

آزمایش ها با استفاده از واحد بیوراکتورغشایی اسمزی با جریان متقاطع در سل تهیه شده است. در این آزمایش چون ماهیت مواد فاضلاب و لجن مواد آلی رسوب پذیر هستند و باعث از بین رفتن غشا می شود بر اساس تاریخچه ی این کار و مقالات چاپ شده، از آلوبین سرم گاوی (BSA) به عنوان فاضلاب شبیه سازی شده، جایگزین لجن و فاضلاب (محلول خوراک) استفاده شد و از styrene-sulfonate-۴ poly(sodium) /۶/۰ به عنوان محلول اسمزی استفاده شد. زیرا ذرات آن بزرگ هستند و از غشای اولترافیلتراسیون عبور نمی کنند.

۲-۵ آزمایشهای رسوبی غشاها

آزمایش های رسوبی با استفاده از واحد تصفیه با جریان متقاطع تهیه شد در آزمایشگاه با استفاده از سامانه بیوراکتور اسمزی انجام شد. پس از اینکه تصفیه آب خالص برای مدت ۶۰ دقیقه انجام شد، جریان خوراک به سمت محلول پساب (BSA) عوض می شود و ۱۰ دقیقه بعد از تعویض جریان، اندازه گیری می سود و ۱۰ دقیقه بعد از تعویض جریان، اندازه گیری محلول نفوذکرده از غشا (kg/m^Th) آغاز می شود. پس از تصفیه محلول پساب برای مدت ۲۱۰ دقیقه، غشا با جریان یافتن آب مقطر بدون وارد کردن هیچ فشاری برای مدت ۳۰ دقیقه شسته می شود. سپس آزمایش تصفیه آب خالص به مدت ۶۰ دقیقه دیگر انجام می شود. بنابراین زمان کل تصفیه برابر ۳۷۰ دقیقه در نظر گرفته می شود. نسبت بازیابی جریان دقیقه در نظر گرفته می شود. نسبت بازیابی جریان (FRR) را می توان بدین ترتیب تعریف کرد [۲۲].



شکل ۲ XRD ساختار بلوری نانوذرات MT، غشای کنترل و نانوکامپوزیت Fig 2: XRD diagram of crystal structure of MT nanoparticles, control membrane and nanocomposite

$$FRR(\%) = \int_{1}^{1} \times 1 \cdots$$

$$J_{w1} \times 1 \cdots$$

$$Frn(\%) = J_{w1} \times 1 \cdots$$

$$Frn(\%) = J_{w1} \times 1 \cdots$$

$$Frn(5) = 0$$

$$Frr(5) = 0$$

$$Frr$$

$$R_{t} = \left(1 - \frac{J_{p}}{J_{w1}}\right) \times 1 \cdots$$
 (Δ)

$$\mathbf{R}_{\mathrm{r}} = \left(\frac{J_{\mathrm{W2}} - J_{\mathrm{p}}}{J_{\mathrm{W1}}}\right) \times \mathbf{V} \cdot \mathbf{v} \tag{8}$$

$$R_{ir} = \left(\frac{J_{w1} - J_{w2}}{J_{w1}}\right) \times \cdots$$
^(Y)

که در این رابطه _p جریان نفوذی در زمان ۲۱۰ دقیقه تصفیه با خوراک محلول لجن شبیهسازیشده (BSA) است.

تخلخل غشا که با گذاشتن غشا در درون آب یونزدایی شده در زمان ۲ ساعت اندازه گیری شد بعد از خشکشدن سطح غشا تفاوت وزن غشا قبل و بعد از جذب آب اندازه گیری شد و تخلخل توسط معادله زیر بهدست آمد[۲۳].

$$\epsilon(\%) = \left[\frac{W_{w} - W_{d}}{\rho \times A \times L}\right] \times \cdots \qquad (A)$$

۳ نتایج و بحث ۲-۱ شناسایی غشا

غشای خشک است.

ریختشناسی و ساختار غشا و اثر نانوذرات اکسیدتیتانیوم بر روی غشا و خصوصیات سطح غشاهای سنتزشده توسط دستگاههای(XRD) ، (FESEM) و (TEM) مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفتند.

وزن فشای آب، W_{w} وزن و W_{w} وزن Φ

شـکل (۲) نشـاندهندهی الگـوی XRD مربـوط بـه TNP (نانوذرات دی اکسیدتیتانیم)، غشای خالص و غشای اصلاحشده با نانوذرات دى كسيدتيتانيم و پلى سولفون است. برای TNP مقادیر زوایایی پراش برجسته در مقادیر °۲۵، ۳۸°، ۴۷°، ۵۵° و ۶۳° مربوط به فاز بلوری آناتاز دیاکسیدتیتانیم است. برای غشای خالص مقادیر زوایایی پراش برجسته شامل مقادیر ۲۵°، ۳۱۰، ۲۵°، ۳۵°، ۴۱° و ۴۵° است. برای غشای اصلاح شده با نانوذرات دىاكسيدتيتانيم و پلىسولفون مقادير زوايايى پراش برجسته در مقادیر °۲۵ (تضعیفشده)، °۳۰، ۳۵°، ۴۱°، ۴۵° و ۵۱° ظاهر شده است. پیک اصلی و شاخص (بلندترین ییک) کے نشان دھندہ فاز آناتاز دیاکسیدتیتانیم است در زاویـه ۲۵ ظاهـر شـده اسـت کـه در غشـای نانوکامپوزیـت به شدت تضعیف شده است که نشان از برهم کنش بین نانوذرات دی اکسیدتیتانیم با مکان های فعال سطح در غشا است. همچنین وجود تشابه بین مقادیر زوایای یـراش در غشـای اصلاحشـده بـا نانوکامپوزیـت نسـبت بـه غشای خالص و نانوذرات دی کسیدتیتانیم، نشان دهنده اصلاح سطح آن است. در اصلاح سطوح مواد مختلف، بهمنظور بررسی ایجاد تغییرات یا اصلاح در سطح خاص، همیشه به مقایسه بین ویژگیهای سطح قبل از اصلاح، مواد اصلاح كننده و سطح بعد از اصلاح در قالب

ساخت غشای نانوکامپوزیتی بر پایه پلیسولفون ...

نمودار واحد پرداخته می شود. بررسی تغییرات در میزان زوایای پراش بین سطح غشا قبل و بعد از اصلاح مؤید تغییرات در سطح آن است که بیشترین تغییرات در زاویه ۲۵ درجه مشاهده می شود. با توجه به یکسان بودن مقایس زاویه پراش در محور افقی نمودار XRD مقایسه بهراحتی قابل انجام است و محو شدن پیک شاخص در ناحیه ذکر شده مؤید تغییرات ایجاد شده در سطح، یعنی قرار گیری نانوذرات دی اکسیدتیتانیم و پلی سولفون بر روی سطح است. علاوه بر تغییرات

ایجادشده در پیک شاخص غشا، مقداری جابهجایی (Shift) برای سایر درجات پراشیده نیز دیده می شود که مقادیر زوایای پراش در غشای نانوکامپوزیت اصلاحشده نسبت به غشای خالص به سمت مقادیر بالاتر جابهجا شده است.

شـکل (۳) تصویـر میکروسـکوپی TEM گرفتهشـده از نانـوذرات دیاکسـیدتیتانیم را در مقیاسهـای ۱۰۰ و ۲۰۰ نانومتـر نشـان میدهـد کـه سـاختار و حفـرهدار بـودن نانـوذرات بهخوبـی مشـخص شـده اسـت. نتایـج حاصـل از تصویـر آنالیزشـده بـرای ۸۵ ذره نشـان میدهـد کـه



Percentage

60

50

40

30

20

10

7-14

کوچکترین ذره تشکیلدهنده نمونه ۷/۶۴ نانومتر،

بزرگترین ذره ۴۱/۴۸ نانومتر و میانگین اندازه ذرات

۱۸/۹۹ نانومتـر اسـت. نمـودار سـتونی حاصـل از تصویـر

آنالیزشده TEM نشان میدهد که بیشترین تعداد ذرات

یعنے حدود ۵۱٪ ذرات نمونے دارای اندازہ بین ۱۴ تا ۲۱

نانومت ر هستند و حدود ۲۲٪ از ذرات دارای اندازه بین ۲ تا ۱۴ نانومت ر، حدود ۱۸٪ ذرات دارای اندازه بین ۲۱ تا

۲۸ نانومتر و کمتر از ۱۰٪ ذرات دارای اندازه بزرگتر

از ۲۸ نانومتر دارد. از نظر مورفولوژی (شکل ذرات) نیز

تصاویر به وضوح شکل چندوجهی متمایل به کروی

را نشان میدهد. چندوجهی بودن ذرات نشان از

ساختمان بلورى نمونه دارد. از نظر ميزان تخلخل





Fig 3: TEM images of titanium oxide nanoparticles, right side: 100 nm scale and left side: 20 nm scale, lower left image, 100 nm analyzed image using Enix software to estimate particle size and lower right diagram, the column graph of the particle size distribution of the analyzed image output.

21-28

28-35

14-21

را نشان میدهد. با افزایش نانوذرات اندازه حفرههای سطح غشا اندکی کوچکتر می شوند. از طرفی تعداد آن ها بیشتر می شود که این خاصیت موجب کاهش فلاكـس محلـول برگشـتى و بهطـور همزمـان باعـث افزايــش فلاكــس آب مـىشــود. ايــن تغييــر مرفولــوژى می تواند به دلیل حضور نانوذرات در هنگام وارونگی فاز باشد به طوری که افزایش آب دوستی محلول پلیمری، جــذب آب و خــروج محلــول آلــي از محلــول پليمــري را افزایش میدهد و موجب تشکیل این ساختار می شود. خاصیت آبدوستی بالاتر باعث افزایش شار ورودی غير حـ لال (آب) در تبادل حـ لال/غير حـ لال مي شـ ود و بنابراین باعث افزایش تخلخل در غشای نامتقارن ایجاد شده، می شود. از جدول ۲ می توان فهمید که افزايـش مقـدار نانوذرهها در غشا باعـث افزايـش تخلخـل ویژگی آبدوستی (کیه بهوسیلهی زاویه تماس نشان داده شده است) می شود. در حالی که گرانروی نیز افزایے می می باید و نشان می دھے کے ویژگے آب دوستی بسیار قویتری از گرانروی در تشکیل ساختار متخلخل غشای PSF نانوذره عمل می کند. همه غشاهای نانوکامیوزیت تخلخل بهتری را در درون محدوده ۷۶-۷۹٪ از خود نشان میدهند که میتواند به دلیل غلظت پلیمر کرم و افزایش PVP باشد. زاویه تماس

ذره دی اکسیدتیتانیم موجود در پس زمینه غشا نشان میدهد که کوچکترین ذره تشکیلدهنده نمونه ۳۹/۱۴ نانومتر، بزرگترین ذره ۱۰۱/۴۷ نانومتر و میانگین اندازه ذرات ۶۴/۰۳ نانومتر است. نمودار ستونی حاصل از تصویر آنالیزشده TEM نشان میدهد که بیشترین تعـداد ذرات يعنيى حـدود ٣۶٪ ذرات نمونه داراى انهدازه بین ۵۲ تا ۶۵ نانومتر هستند و حدود ۳۳٪ از ذرات دارای اندازه بین ۶۵ تا ۷۸ نانومتر، حدود ۱۸٪ ذرات دارای اندازه بین ۳۹ تا ۵۲ نانومتر و حدود ۱۱٪ ذرات دارای اندازه بزرگتر از ۷۸ نانومتر را دارند. از نظر مورفولوژی (شکل ذرات) دیاکسیدتیتانیم موجود بر روی سطح غشا، تقریباً کـروی شــکل اسـت. همچنیــن وجـود تـرک در غشـا نیـز نشاندهنده تخلخل آن است که در این مقیاس دیده می شـود. بـا توجـه بـه تصویـر FESEM در مقیـاس ۲۰۰ نانومتـرى از سـطح غشـا، تعـداد ۹۳ حفـره از سـطح غشـا بهمنظور تخمين اندازه منافذ يا تخلخل آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان میدهد که کوچکترین حفره ۲۷/۲ نانومتر، بزرگترین حفره ۱۴۰/۸ نانومتر و میانگین انـدازه حفـرات سـطح غشـا برابـر بـا ۵۹/۹ نانومتـر اسـت. از طرفی دیگر، وجود تخلخلات فراوان و تقریباً هماندازه در سطح غشا نشاندهنده یکنواختی توزیع حفرات در سطح آن بوده و كارايي يكسان غشا در تمامي قسمتها



شکل ۴ تصاویر FESEM غشاها در دو مقیاس ۱۰۰ و ۲۰۰ نانومتر Fig 4: FESEM images of membranes at two scale of 100nm and 200nm

بەوسىيلەي تكنيك قطرہ چسبيدە تعيين شد. جدول

۲ نشاندهندهی مقایسهی زاویه تماس آببرای PSF

تمیز و غشاهای بستر مخلوط ساخته شده به وسیلهی تغییر مشار کت MT است. مشاهده شد که زوایهی

تماس با افزایش مقدار MT در غشاها کاهش مییابد. ایس موضوع تأییدکنندهی بهبود خاصیت آبدوستی

سطح غشاً با بارگیری پرکنندههای MT آبدوستی

است. غشای PSF کنترل، بالاترین زاویهی تماس ۶۸

	flux	attach angle	porosity
nanoparticle(control)	6	68	68
nanoparticle 0.5	7	64	71
nanoparticle 1	9	61	73
nanoparticle 2	12	57	78

جدول ۲ تأثیر افزودن MT بر خواص غشای PSf Table 2: Effect of adding MT on PSf substrate properties

را از خـود نشـان میدهـد. بـر عکـس غشـاهایی کـه بـا نانـوذرات بیشـتر wt ،۰/۵ xwt و wx۲ از MT بارگیـری شـده بهترتیـب زاویـهی تمـاس ۶۴، ۶۱ و ۵۷ را از خـود نشـان دادنـد. کاهـش در زاویـهی تمـاس مربـوط بـه وجـود گروههـای عاملـی در MT اسـت.

۳-۲ شار آب

خاصیت آبدوستی یکی از مهم ترین عامل هایی است که بسر روی شار آب تاثیس می گذارد. شکل (۶)



شكل ۵ فلاكس آب غشاهاى نانوكامپوزيت و غشا PSF بر حسب زمان با غلظتهاى مختلف خوراك: (الف) غلظت محلول خوراك (Dpm ۴۰۰ (اب) غلظت محلول خوراك ۲۰۰ ppm (ج) غلظت محلول خوراك (و) ppm ۴۰۰ (د) غلظت محلول خوراك (Ppm ۴۰۰ (د) غلظت محلول خوراك ۴۰۶ Fig 5: Water flux of nanocomposite membranes and PSF membrane in terms of time with different feed concentrations (a) feed solution concentration 50ppm (b) feed solution concentration 100ppm (c) feed solution concentration 200ppm (d) feed solution concentration 400ppm

علت كاهش شار هستند. رفتار سطح غشا نقش مهمي نشاندهندهی شار آب غشاهای MT/PSF و PSF تمیز در فراینــد رســوب دارد کــه خاصیــت ضدرســوب ضعیــف در زمانهای مختلف است. و هرکدام از نمودارها عمدتا ناشی از رفتار آبگریز سطوح غشایی است[۲۴]. غلظتهای متفاوتی از خوراک BSA (۱۰۰ ppm،۵۰ ppm، ۴۰۰ ppm ،۲۰۰ ppm) را نشان میدهد. همان طور که چندین آزمایش بهمنظور بهبود نفوذپذیری غشا در ایـن شـکل نشـان داده شـده اسـت شـار آب بـا توجـه بـه و خاصیت ضدرسوب، مانند آبگریزی غشا، ازجمله خاصيت آبدوستى افزايش مىيابد. تمايل به افزايش اصلاح مواد، تركيب پليمر و اصلاح سطح، پيشنهاد شد در شار آب بهخوبی مطابق با بهبود خاصیت آبدوستی کـه از همـه روشها، تركيب با افزودنیهای آبدوست با توجه به غلظت نانوذره اکسیدتیتانیوم است. شار بهعنوان روش برجسته و مناسب برای بهبود خاصیت غشا با غلظت MT بالاتر، افزایش می یابد. نتایج در ضدرسوب در نظر گرفته شد [۲۵]. عملکرد ضدرسوب هر چهار نمودار با غلظتهای متفاوت خوراک نشان غشاهای کامپوزیتی با استفاده از چهار غلطت متفاوت میدهند که شار آب در زمانی که مقدار MT،wt میدهند (ppm ۴۰۰, ۲۰۰, ۱۰۰, ۵۰) از محلول BSA با غشا است به بالاترین مقدار خود می سد. افزایش شار آب حاوی ۱ درصد نانواکسیدتیتانیوم نصبشده در سلول مجـدداً وابسـته بـه اثـر آبدوسـتی MT اسـت کـه تبـادل نفوذپذیـری عمـود بـر جهـت جریـان آن مـورد بررسـی قـرار حلال و غیرحلال را در طی فرایند تبدیل فاز افزایش گرفت FRRها در شکل (۶) نشان داده شده است FRR میدهد. این کار منجر به تخلخل بالاتر در سطح بالاتر نشان دهنده خاصيت ضدرسوب بهتر براى غشا غشا و بهبود نفوذپذیری آب می شود و همان طور که است FRR برای غشای تمیز PSF درصد کمتر از





FRR برای غشاهای تهیه شده با تعبیه نانوذره ها بود. نمودار FRR نشان میدهد که مقاومت رسوب با ترکیب نانوذره ها افزایش یافته است. روند مشاهده شده FRR با آبدوستی غشاها مطابقت دارد سطح آبدوست میتواند مولکول های آب را جذب کرده و یک لایه آب تشکیل دهد که جذب پروتئین و سایر عوامل رسوب را به تأخیر میاندازد FRR مشاهده شده عوامل رسایر نانوپرکننده های کربنی مانند نانولوله های کربنی چندجداره [۲۶]، اکسیدگرافن [۲۷]، سیلیس [۲۸]

درواقع رسوبگذاری غشایی را میتوان از نظر هیدرولیکی به دو نوع طبقهبندی کرد: برگشتپذیر و برگشتناپذیر مواد رسوبی بهراحتی روی سطح غشا میچسبند و میتوان آنها را بهراحتی توسط آب در رسوب برگشتپذیر هیدرولیکی شستشو داد، درحالی که در رسوب برگشتناپذیر، مواد رسوبی به سطح غشا چسبیدهاند، که با شستشو قابل برداشتن نیستند. در رسوب برگشتپذیر، فرایند شستشوی معکوس بهرموری از مقایسه نمودارها مشخص است شار آب با گذشت زمان و همین طور با افزایش غلظت خوراک از (۵۰ ppm تا main و همین طور با افزایش غلظت خوراک از (۹۰۰ ppm آن می توان اینگونه توجیه کرد که هر چه خوراک غلیظتر باشد باعث رسوب بیشتر شده و از طرفی با گذشت زمان نیروی محرک اسمزی جریان آب بهدلیل رقیق شدن محلول کشش همچنان کاهش می یابد. بنابراین، کاهش شار در طول آزمایش اسمزی نه تنها با رسوب غشا بلکه با کاهش نیروی محرک اسمزی نیز ایجاد شد. بر اساس نتایج به دست آمده، MT به عنوان اصلاح کننده برای بستر غشای کامپوزیت موثر است.

۳-۳ مطالعه ضدرسوب

بهر موری غشا در تصفیه مایع بستگی زیادی به رسوب غشا دارد. شار زیاد، گرایش رسوب کم و انتخاب پذیری زیاد در زمان طولانی از ویژگی های غشای با کیفیت خوب است. رسوب غشایی مسئلهای پیچیده است. گرفتگی منافذ، پلاریزاسیون غلظتی و تشکیل لایه کیک



شکل ۷ نسبت مقاومت رسوب گذاری غشاهای PSFوغشاهای نانو کامپوزیتی اکسیدتیتانیوم

Fig 7: The ratio of deposition resistance of PSf membranes and titanium oxide nanocomposite membranes خالص، حذف چهار غلظت مختلف (۵۰ ppm، ۵۰ مختلف (۱۰۰ ۴۰۰ ppm ،۲۰۰ ppm) از محلول BSA بهعنوان خوراک و غلظت محلول پلی(سدیم ۴-استیرن سولفونات) مورد آزمایـش قـرار گرفتنـد. تصاویـر SEM وجـود نانوذرههـا بـر روی سطح را تأیید میکند و همچنین توزیع مناسب نانوذرهها بر روی سطح غشا را نشان میدهد. اختلاف جزیلی در حفرههای جانبی و پهنا و طول بیشــتر کانالهـای انگشــت ماننــد منجـر بـه تخلخــل بالاتر می شود. رسوب غشاهای حاصل از تصفیه BSA با افزودن نانوذرات TiO, کاهش یافت. مقاومت برگشتناپذیر (R_{ir}) غشاها به طور قابل ملاحظهای از ۴۴ درصد برای غشای اصلاحنشده به ۴، ۲۰و ۵ درصد بهترتیب برای غشاهای کامپوزیت ۱٬۰۸۵ و ۲ درصد وزني MT كاهـش يافـت. ايـن نتايـج نشـان مىدهـد کے غشاهای نانوکامپوزیت دارای خواص ضدرسوب قابل توجهيى هسيتند.

۵ قدر دانی

نویسندگان این مقاله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد گچساران بهخاطر حمایت های خود از این پژوهش قدردانی مینمایند.

غشارا کاهش داده و هزینههای عملیاتی را افزایش میدهـد [۳۰]. درحالیکـه در رسـوب برگشـتناپذیر، رسوبات با پاکسازی شیمیایی برداشته می شوند که باعث كاهش عمر غشا مي شود [٣١]. نسبت رسوب کل (R_t) و نسبت مقاومت رسوب گذاری غشاهای PSF وغشاهای نانوکامپوزیتی اکسیدتیتانیوم و نسبت هيدروليكي برگشـتپذير (R) و مقاديـر نسـبت هيدروليكي برگشتناپذیر (R_i) برای غشاهای بستر مخلوط ساخته شـده در شـکل ۷ ارائـه شـده اسـت.

نتایے نشان میدھد کے ضریب مقاومت در غشاهای اصلاحشده کمتر است و نسبت بازیابی شار این غشا بیشتر است. شکل ۷ نشان میدهد که مقاومت رسوب گذاری کل غشاهای اولترافیلتراسیون با نانوذرههای MT (اکسیدتیتانیوم اصلاحشده) تهیه شدند که مجموع R_r و R_i است. مقاومت بر گشتناپذیر (R_{ir}) غشاها به طور قابل ملاحظهای از ۴۴٪ برای غشای اصلاحنشده به ۲۰٪، ۴٪ و ۵٪ درصد بهترتیب برای غشاهای کامپوزیت ۸/۵٬۰ ٪۱ و ۲٪ درصد وزنی MT کاهـش یافـت. ایـن نتایـج نشـان میدهـد کـه غشـاهای نانوكامپوزيت داراى خواص ضدرسوب قابل توجهي هستند. خلاصه، نسبتهای بازیافت (FRR)، مقاومتهای برگشتپذیر (R_ir) و مقاومتهای برگشتناپذیر (R) مربوط به غشاهای جاگیری شدهی MTبهبود یافتند کے نشان دھندہ ی اصلاح ویژگی ہے ای سطحی غشا هســـتند.

۴ نتیجهگیری

غشاهای پلیسولفون دارای نانوذرههای MT (اكسيدتيتانيوم اصلاحشده) با افزودن مستقيم نانوذرات در محلول ریخته گری به روش وارونگی فازی آماده شد. تأثیر نانوذرات اصلاحشده MT بر روی شکل و عملکرد غشاهای نانوکامپوزیت ساخته شده به وسیله ی شار آب [1] Sarkar S.,Chakraborty S.,Nanocomposite polymeric membrane a new trend of water and wastewater treatment: A short review, Groundwater for Sustainable Development 12,100533 , 2021

[2] Bapu S., Yogesh D., Yadav J.,Lakshaman N., Industrial wastewater treatment using oxidative integrated approach, South African Journal of Chemical Engineering,40, 100-106, 2022

[3] Gricic I., Vujevic D., Sepcic J and Koprivanac N.,.Minimization of Organic Content in Simulated lindustrial Wastewater by Fenton type Processes: a case study. J Hazard Mater 170: 954-961, 2009

[4] Abdullah N., Tajuddin M.H. and Yusof., Nanotechnology in Water and

Wastewater Treatment. Ahsan, A. and Ismail, A.F. (eds), pp. 177-204, 2019

[5] Kim S., Chu .K.H., Y.A.J. Al-Hamadani , Park. C.M, Jang M, Kim .D.H., M. Yu, Heo.

J, Yoon Y, Removal of contaminants of emerging concern by membranes in

water and wastewater: a review, Chem. Eng. J. 335, 896–914, 2018

[6] Korenak, J., Hélix-Nielsen, C., Bukšek, H. and Petrinić, I. Efficiency and economic

feasibility of forward osmosis in textile wastewater treatment. Journal of Cleaner

Production 210, 1483-1495, 2019

[7]. Pal P., Sardar M., Pal M., Chakrabortty S., Nayak J., Modelling forward osmosis-nanofiltration integrated process for treatment and recirculation of leather industry wastewater. Comput. Chem. Eng, 127, 99–110,2019

[8] Sreedhar I., Khaitan S., Gupta R., Reddy B.M., and Venugopal A., An odyssey of Process and Engineering Trends in Forward Osmosis. Environ. Sci. Water Res. Technol. 4, 129–168, 2018

[9] Zhang, Y. Mu, T. Huang, M. Chen, G.; Cai, T.; Chen, H.; Meng, L. and Luo, X.Nanofiber Composite Forward Osmosis (NCFO) Membranes for Enhanced Antibiotics Rrejection: Fabrication, performance, mechanism, and simulation. J. Membr. Sci., 595, 117425, 2020

[10] Lay W. C., Zhang Q., Zhang J., McDougald D., Tang, C., Wang, R., Liu, Y., and Fane, A. G. Study of Integration of Forward Osmosis and Biological process: Membrane performance

under elevated salt environment. Desalination, 283, 123–130, 2011

[11] Alturki A., McDonald J., Khan S. J., Hai, F. I., Price, W. E., and Nghiem, L. D. Performance of a Novel Osmotic Membrane Bioreactor (OMBR) system: Flux stability and removal of trace organics. Bioresource Technology, 113, 201–206, 2012

[12]Syed Ibrahim, G.P., Isloor, A.M. and Yuliwati, E. Current Trends and Future

Developments on (Bio-) Membranes. Basile, A., Curcio, E. and Inamuddin (eds), pp.

199-214, 2019

[13] Altaee, A., Millar, G.J. and Zaragoza, G. Integration and optimization of pressure

retarded osmosis with reverse osmosis for power generation and high efficiency

desalination. Energy 103, 110-118, 2019

[14] Ang, W.L., Wahab Mohammad, A., Johnson, D. and Hilal, N. Forward osmosis

research trends in desalination and wastewater treatment: A review of research trends

over the past decade. Journal of Water Process Engineering 31, 100886, 2019

[15] Saja H. Salim, 2Riyad H. Al-Anbari^{*}, 3Adawiya J. Haider, Polysulfone/TiO2 Thin Film Nanocomposite for Commercial Ultrafiltration Membranes: Journal of Applied Sciences and Nanotechnology, Vol 2, 80-89, 2022

[16] T.Y. Cath, A.E. Childress and M. Elimelech, Forward osmosis: Principles, applications, and recent developments, J. Membr. Sci., 281 70–87, 2006

[17] Sirinupong, T., Youravong H., W., Tirawat, D., Lau, W.J., Lai, G.S. and Ismail, A.F, Synthesis and Characterization of thin film Composite Membranes made of PSF-TiO2/GO Nanocomposite Substrate for Forward Osmosis Applications, Arabian Journal of Chemistry, 32 (6), 1-10, 2017

[18] Cao .X.H, J. Ma, X.H. and Shi, Z.J. Ren. Effect of TiO2 Nanoparticle size on the Performance of PVDF Membrane, Appl. Surf. Sci. 253, 2003– 2010,2006

[19] Rahimpour .A, Jahanshahi .M, Rajaeian .B, and Rahimnejad .M..TiO2 Entrapped Nano-Composite PVDF/SPES Membranes: Preparation, Characterization, Antifouling and Antibacterial Properties, Journal of Membrane Science, 278, 343–353, 2011

[20] Rafique, M. S., Rafique, M., Tahir, M. B., Hajra, S., Nawaz, T., & Shafiq, F., Synthesis methods of nanostructures. In Nanotechnology and Photocatalysis for Environmental Applications, 45-56,2020.

[21] D Emadzadeh, WJ Lau, T Matsuura, M Rahbari-Sisakht, AF Ismail, A novel thin film composite forward osmosis membrane prepared from PSf–TiO2 nanocomposite substrate for water desalination, Chemical Engineering Journal 237, 70-80,2014

[22] Ghalamchia.L, Abera.S, Vatanpour.V, Mohsen.b. Kianca Environment Protection Research Laboratory, Department of Applied Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Tabriz, Tabriz 5166616471, Iran Chemical Engineering Research and Design 1 4 7, 443–457, 2019

[23] Li .J.-F, Xu. Z.-L, Yang .H, Yu. L.-Y and Liu. M. Effect of TiO2 nanoparticles on the surface morphology and performance of microporous PES membrane, Applied Surface Science 255, 4725–4732, 2009

[24] Koo.C.H, Mohammad.Suja.A.W, Zainal.F,M and Talib M, Review of the Effect of Selected Physicochemical Factors on Membrane Fouling propensity Based on Fouling indices,Desalination 287,167–177, 2012

[25] Ng L., Mohammad Y. Leo A.W., and Hilal N. Polymeric Membranes Incorporated with metal/metal oxide Nanoparticles: a Comprehensive review, Desalination 308, 15–33, 2013

[26] Vatanpour V, and Madeni. S. Novel antifouling nanofiltration polyethersulfone membrane fabricated from embedding TiO2 coated multiwalled carbon nanotubes, Separation and Purification Technology 90, 69–82, 2012

[27] Zinadini. S, Zinatizadeh A.A., Rahimi M., Vatanpour V., and Zangeneh H.Preparation of a NovelAntifouling Mixed Matrix Pes Membrane by Embedding Graphene Oxide Nanoplates, Journal of Membrane Science, 453. 292-301, 2014

[28] Sun .M, Su .Y, Mu .C and Jaing .Z. Improved Antifouling Property of PES Ultrafiltration Membranes Using Additive of silica-PVP Nanocomposite, Ind. Eng. Chem. Res. 49 ,790–796, 2009 [29] Daraei .P, Madaeni .S.S, Ghaemi. N, Khadivi. M.A, B, Astinchap and Moradian. R. Fouling Resistant Mixed Matrix Polyethersulfone Membranes Blended with Magnetic Nanoparticles: Study of Magnetic Field Induced Casting, Sep. Purif. Technol. 109,111–121, 2013

[30] Tian J., Ernst M., Cui F and Jekel ,M. Correlations of Relevant Membrane Foulants with UF Membrane Fouling in Different Waters, Water Res. 47 , 1218–1228, 2013

[31] Peldszus S, Hallé C, Peiris .R.H, Hamouda .M, Jin .X, Legge .R.L, Budman. H, Moresoli .C and Huck .P.M.Reversible and Irreversible low-Pressure Membrane Foulants in Drinking Water Treatment: Identification by Principal Component Analysis of Fluorescence EEM and Mitigation by Biofiltration Pretreatment, Water Res. 45 , 5161–5170, 2011