POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

غشاهای کامپوزیت سرامیکی/ پلیمری برای تصفیه آب و فاضلاب: پل زدن شکاف بزرگ بین سرامیک و پلیمرها

چکیده

تامین آب تمیز عنصر ضروری برای کل جامعه انسانی پایدار و توسعه اقتصادی و فناوری است. فیلتراسیون غشایی برای تصفیه آب و فاضلاب به دلیل بهره‌وری انرژی و اثربخشی بالا، انتخابی برتر است، جایی که جداسازی با عبور مولکول‌های آب از منافذ تنظیم شده عمدی غشاها بدون تغییر فاز و مواد شیمیایی اضافی انجام می‌شود. سرامیک‌ها و پلیمرها دو ماده اصلی کاندید برای غشاها هستند، که اکثر آنها از مواد پلیمری ساخته شده اند، به دلیل هزینه کم، فرآوری آسان و قابلیت تنظیم در آرایشمندی منافذ. در مقابل، غشاهای سرامیکی عملکرد بسیار بهتر، عمر مفید فوق‌العاده، استحکام مکانیکی و پایداری حرارتی و شیمیایی بالایی دارند و همچنین در صنایع گاز، پتروشیمی، مواد غذایی و آشامیدنی و داروسازی کاربرد دارند، جایی که بیشتر غشاها پلیمری، نمی تواند به درستی عمل نمایند. با این حال، یکی از معایب اصلی غشاهای سرامیکی هزینه ساخت بالا است که حدود سه تا پنج برابر بیشتر از انواع پلیمری رایج است. برای پر نمودن شکاف بزرگ بین غشاهای سرامیکی و پلیمری رقیب، یک راه حل ظاهری ایجاد نوعی کامپوزیت سرامیکی-پلیمری است. در واقع، غشاهای کامپوزیت سرامیکی-پلیمری که به درستی مهندسی شده‌اند، می‌توانند مزایای مواد سرامیکی و پلیمری را با هم ادغام نمایند و عملکرد غشا را برای جداسازی کارآمد، افزایش طول عمر و قابلیت‌های اضافی بهبود بخشند. در این بررسی اجمالی، ابتدا سه نوع غشاهای کامپوزیت سرامیکی-پلیمری را به طور کامل بررسی می‌گردد، 1) سرامیک در غشاهای پلیمری (غشاهای نانوکامپوزیت)، 2) غشاهای نانوکامپوزیت لایه نازک[1] (TFN) و 3) غشاهای پلیمری با پشتیبانی از سرامیک. در دهه گذشته، پیشرفت زیادی در بهبود سازگاری بین سرامیک‌ها و پلیمرها حاصل شده است، در حالی که هم افزایی بین آنها یکی از اهداف اصلی بوده است، به ویژه در توسعه غشاهای نانوکامپوزیتی با کارایی بالا برای تصفیه آب و فاضلاب با هزینه تولید پایین تر. با بررسی استراتژی‌هایی برای بهبود سازگاری بین اجزای سرامیکی و پلیمری، با خلاصه‌ای از دیدگاه‌ها و چالش‌های توسعه آینده غشاهای کامپوزیتی این مطالعه به پایان می‌رسد.

کلمات کلیدی: غشای کامپوزیت، تصفیه فاضلاب، غشای پلیمری، غشای سرامیکی، نانوکامپوزیت.

نتیجه‌گیری

[1] Thin film nanocomposite

غشاهای کامپوزیت سرامیکی - پلیمری در سال های اخیر به شدت مورد تحقیق قرار گرفته‌اند. برای توسعه موفقیت آمیز انواع طراحی شده غشاهای کامپوزیتی، روش‌های مختلف ساخت، به ویژه برای بهبود سازگاری بین اجزای سرامیکی و پلیمری ایجاد شده است. تنظیم ساختار کلی غشا می تواند به طور چشمگیری خواص فیزیکوشیمیایی، مانند نوع و سطح تخلخل، آب دوستی سطح، پایداری‌های شیمیایی و مکانیکی را تغییر دهد که بر عملکرد کلی فیلتراسیون/جداسازی تأثیر می‌گذارد. عملکردهای اضافی مانند خواص ضدباکتریایی، فوتوکاتالیستی و ضد رسوب را می توان در غشاهای کامپوزیت سرامیکی-پلیمر ثابت نمود. غشاهای کامپوزیتی سرامیکی-پلیمری با طراحی خوب می توانند مشکلات فعلی غشاهای پلیمری و سرامیکی را حل نمایند و کاندید خوبی برای فناوری غشایی نسل بعدی باشند.

برای توسعه بیشتر در کاربردهای عملی غشاهای کامپوزیتی، چندین دیدگاه و چالش وجود دارد که به شرح زیر خلاصه می شود:

1- **مطالعه بنیادی**: درک اساسی برای تأثیر نانوذرات سرامیکی خاص بر ساختارهای غشایی و عملکرد غشا هنوز در چندین مورد نامشخص است. مطالعات متعددی در مورد تاثیر نانوذرات سرامیکی بر روی ماتریس های پلیمری گزارش شده است. با این حال، منشا نفوذ به طور دقیق مورد تحقیق قرار نگرفته است. همانطور که در جدول زیر نشان داده شده است، تاثیر TiO_2، Al_2O_3 و ZrO_2 بر سطح تخلخل و زاویه تماس ماتریس پلیمری متفاوت بود. با این حال، هنوز مشخص نیست که چگونه و چه خواص نانوذرات

Membrane	Porosity (%)	Pore Size (nm)	Water Flux (L m^{-2} h^{-1} at 200 kPa)
PES	17	89.3	5
1wt% Fe_3O_4-PES	33	40.1	6
5wt% Fe_3O_4-PES	44	3.9	12
10wt% Fe_3O_4-PES	59	5.8	21

سرامیکی بر ماتریس پلیمری تاثیر می‌گذارد. مطالعات دقیق در مورد رابطه بین خواص سطحی نانوذرات سرامیکی، ساختارها و عملکرد غشا مورد نیاز است. این به طراحی غشاهای کامپوزیت جدید کمک می-نماید.

2- **مطالعه ساختاری**: مطالعات ساختاری غشاهای کامپوزیتی بیشتر با مشاهده مورفولوژی با استفاده از SEM[1] و گاهی اوقات توسط EDS[2]، FTIR[3] و XPS[4] انجام شده است. این تحلیل‌های ساختاری نسبتاً ساده می‌تواند منجر به نتیجه‌گیری اشتباه شود. به عنوان مثال، غشای Fe-Boemite-PVB/PVDF[5] با (1) ریخته‌گری محلول Boehmite-PVDF-PVB، (2) غوطه‌ور نمودن غشا Boehmite-PVB-PVDF در محلول سولفات‌آهن[6] ($FeSO_4$)، و (3) کاهش Fe^{2+} روی غشای Boehmite-PVB-PVDF توسط تتراهیدروبورات‌پتاسیم[7] (KBH_4) تهیه شد. در تجزیه و تحلیل ساختاری غشا ساخته شده با استفاده از SEM و FTIR، ساختار غشایی از نوع TFN پیش‌بینی شد. در ریخته‌گری محلول، ذرات بوهمیت می توانند نه تنها سطح غشای PVDF-PVB، بلکه در داخل غشای PVDF-PVB نیز وجود داشته باشند. یون Fe^{2+} توسط گروه های OH بوهمیت در داخل ماتریس پلیمری به دام می‌افتد. بنابراین، غشا به عنوان غشای نوع نانوکامپوزیت و نه به عنوان TFN نتیجه گیری می‌شود. عدم تجزیه و تحلیل ساختاری غشا می تواند باعث درک نادرست ساختار غشا شود و منجر به نتیجه‌گیری اشتباه شود.

3- **پایداری طولانی مدت**: همانطور که توضیح داده شد، کارهای تحقیقاتی متعددی برای بهبود سازگاری بین نانوذرات سرامیکی و ماتریس پلیمری انجام شده است. با این حال، دانش سازگاری طولانی مدت هنوز کافی نیست. در مطالعات کوتاه مدت، پیشنهاداتی برای غلبه‌بر تجمع نانوذرات در غشاهای کامپوزیتی و نشت نانوذرات ارائه شده است. مطالعات در مورد سازگاری طولانی مدت بین نانوذرات سرامیکی و ماتریس پلیمری، تغییر خواص غشا و اثرات زیست محیطی ناشی از نشت نانوذرات مورد نیاز است. به ویژه، علاوه بر خواص فوتوکاتالیستی توسط(TiO_2)، جریان نوری باعث اکسید شدن و آسیب[8] / تغییر ماتریس پلیمری می‌شود. این باید پس از هر استفاده طولانی مدت برجسته‌تر شود. با این حال، مطالعات در مورد پایداری طولانی مدت غشاهای فوتوکاتالیستی انجام نشده است. برای درک پایداری غشاها و سرنوشت نانوذرات، چندین مشخصه، به عنوان مثال، آزمایش‌های حکاکی[9]، ریزعکس‌های الکترونی روبشی

[1] Scanning electron microscopy
[2] Energy-dispersive x-ray spectroscopy
[3] Fourier transform infrared spectroscopy
[4] X Ray diffraction
[5] Iron- boemite- polyvinyl butyral/ polyvinylidene difluoride membrane
[6] Ferrous sulfate
[7] Potassium tetrahydroborate
[8] Damage
[9] Leaching

از سطح و مقطع غشا، زبری و FTIR با اسکن بازتاب کلی ضعیف شده[1] (ATR) غشاهای استفاده شده باید انجام شود. .

4- **هزینه تولید**: کاربرد مورد انتظار غشاهای کامپوزیت سرامیکی-پلیمری برای تصفیه آب هنوز در مراحل اولیه است. کارهای آزمایشگاهی متعددی وجود دارد، اما مطالعات بر روی تولید در مقیاس بزرگ و کاربرد صنعتی به درستی انجام نشده است. باید تلاش‌های بیشتری برای ارزیابی دوام طولانی‌مدت تحت شرایط کاربرد و مقرون‌به‌صرفه بودن از جمله عرضه نانوذرات و روش‌های ترکیب نانوذرات انجام شود. در مقایسه با غشاهای پلیمری فعلی، غشاهای کامپوزیتی به فرآیندهای تولید اضافی نیاز دارند که منجر به هزینه‌های تولید بالاتر می‌شود. اخیرا، روش‌های ساخت جدیدی مانند پرینت سه بعدی[2] (3DP)، برای ساخت غشا در حال ظهور هستند. برخی از تکنیک های جدید تا کنون برای غشاهای سرامیکی و پلیمری استفاده شده است. با این حال، غشاهای کامپوزیت سرامیکی-پلیمر کمتری وجود داشت. 3DP می تواند هزینه تولید غشاهای کامپوزیتی را در صورت توسعه مناسب کاهش دهد. با توجه به اینکه غشای Al2O3 چندین برابر غشای پلیمری پلی‌اترسولفون[3] PES گران‌تر است، توسعه نانوذرات سرامیکی جدید مقرون‌به‌صرفه و فرآیند آماده‌سازی مربوط به غشاهای کامپوزیتی مورد نیاز است. پلیمرهای طبیعی، مانند استات سلولز و پلی ساکارید، معمولاً دارای گروه‌های قطبی در ساختار خود هستند که می‌توانند مکان‌های تعاملی برای ذرات سرامیکی فراهم کنند. علاوه بر این، هزینه مواد معدنی طبیعی مانند کائولن، خاک رس طبیعی و غیره بسیار کمتر از Al_2O_3 است. همچنین، این کانی‌های طبیعی دارای آب دوستی بالایی هستند که انتظار می‌رود آب دوستی غشاهای کامپوزیت را بهبود بخشد، اگر در ماتریس پلیمری گنجانده شوند. استفاده از پلیمرهای طبیعی و مواد معدنی طبیعی استراتژی برای کاهش هزینه تولید غشاهای کامپوزیتی خواهد بود. مطالعات بیشتری برای کاهش هزینه تولید غشاهای نانوکامپوزیت باید انجام شود.

Reference:

Kotobuki M, Gu Q, Zhang L, Wang J. Ceramic-polymer composite membranes for water and wastewater treatment: Bridging the big gap between ceramics and polymers. Molecules. 2021 Jun 1;26(11):3331.

[1] Attenuated total reflectance
[2] 3D printing
[3] Poly ether Sulfone

POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

DOI: 10.3390/molecules26113331

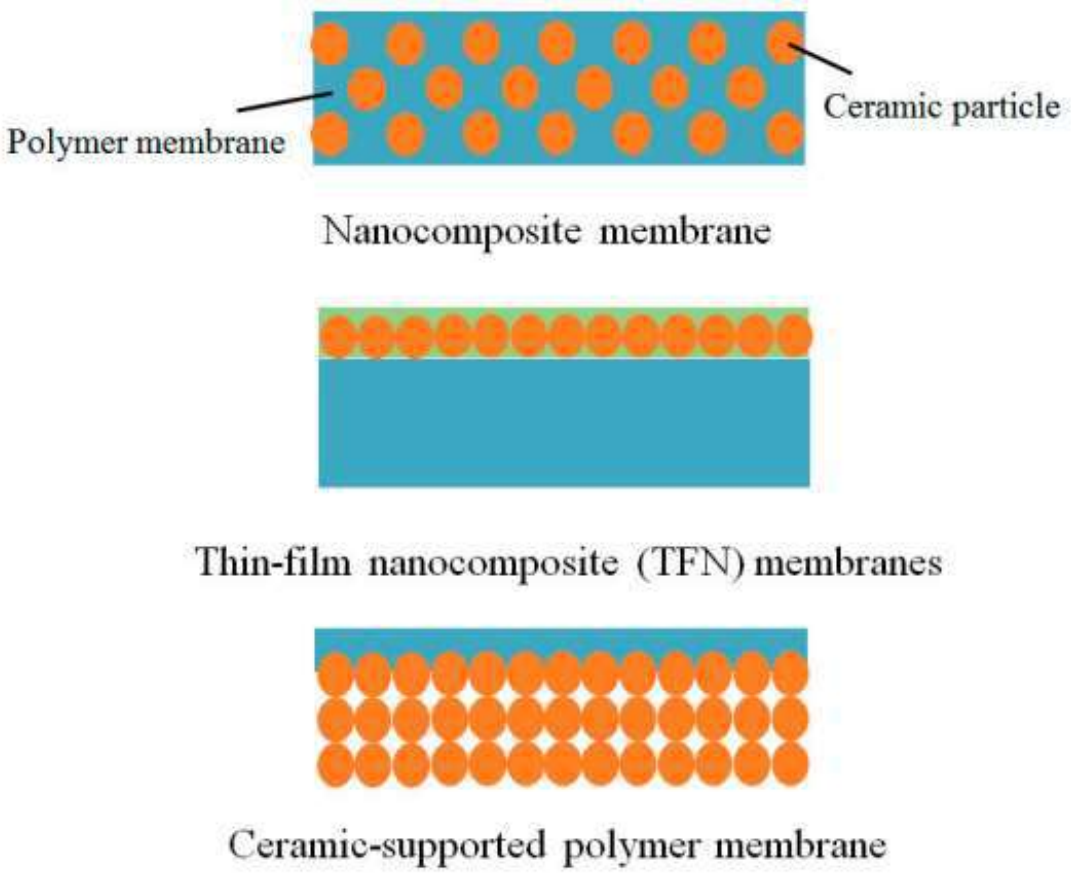

Figure 2. Structures of ceramic-polymer composite membranes.