



## بهبود خواص آبدوستی غشاء نانوکامپوزیتی PSF/SiO<sub>2</sub> با استفاده از افزودنی پلیمری

فتانه سعیدی و رامین ظفر مهربان\*

گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۴/۰۳/۱۸، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۴/۰۳/۳۱، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۴/۰۴/۲۰

### چکیده

یکی از موادی که برای تشکیل غشاء قابلیت زیادی دارد پلی سولفون می‌باشد اما به دلیل ذات آبگریزی که دارد کاربردش را در غشاهای اولترا فیلتراسیون دارای مشکل کرده است. راه‌حلی که برای برطرف کردن مشکل آبگریزی پلی سولفون پیشنهاد می‌شود، اضافه کردن مواد افزودنی مختلف معدنی و پلیمری به غشاهای پلی سولفونی می‌باشد. نانوذرات سیلیکون دی اکسید (SiO<sub>2</sub>) به دلیل اینکه منابع تولید فراوانی بر روی پوسته زمین (سیلیس) دارد و همچنین خواص شیمیایی خوب، واکنش‌پذیری کم و عملکرد مناسب دارد، یکی از معروف‌ترین نانوذرات استفاده شده به عنوان افزودنی معدنی می‌باشند. در این مقاله، نانوذرات سیلیکون دی اکسید به غشاهای پلی سولفون تهیه شدند. با اضافه کردن جداگانه افزودنی‌های پلیمری پلی اتیلن گلیکول یا کیتوزان به غشاهای تهیه شده، خواص و عملکرد آبدوستی غشاهای نانوکامپوزیتی بهبود یافته و بهبود نیافته با افزودنی‌های پلیمری که با روش وارونگی فاز تهیه شدند، مقایسه و بررسی شدند. غشاهای تهیه شده با دستگاه‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، پراکنش پرتو X (XRD)، اسپکتروسکوپی تفکیک انرژی X (EDS)، اسپکتروسکوپی تبدیل فوریه مادون قرمز (FT-IR)، شناسایی شدند. خواص آبدوستی غشاهای نانوکامپوزیتی بهبود یافته و بهبود نیافته با آزمایشات جذب آب و زاویه تماس قطره آب برای بررسی خواص آبدوستی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده علاوه بر توزیع مناسب نانوذرات SiO<sub>2</sub> در غشاهای بهبود یافته و بهبود نیافته PSF/SiO<sub>2</sub>، نشان دهنده عامل تشکیل دهنده منفذ بودن افزودنی‌های کیتوزان و پلی اتیلن گلیکول علاوه بر پلیمرهای بهبود دهنده بودن آنها بود. نتایج آبدوستی غشاهای تهیه شده نشان داد که اضافه کردن افزودنی پلیمری کیتوزان نسبت به افزودنی پلی اتیلن گلیکول خواص آبدوستی را بطور چشمگیری افزایش می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** پلی سولفون، کیتوزان، غشای نانوکامپوزیتی، نانوذرات SiO<sub>2</sub>.

### ۱- مقدمه

گرمایی (دمای انتقال شیشه‌ای بالا، در حدود ۱۹۴ °C)، پایداری در برابر هیدرولیز، خواص مکانیکی بسیار خوب و خواص تشکیل دهنده‌گی فیلم خوب آن، دلایلی برای اهمیت و پر استفاده بودن پلیمر پلی سولفون در صنعت غشاء می‌باشد [۳]. پلیمر پلی سولفون (PSF) مانند پلی وینیلیدن فلوراید (PVDF)، بطور ذاتی آبگریز می‌باشد و

در زندگی مدرن امروزی غشاهای نقش بسیار مهمی را در فرآیندهای جداسازی بازی می‌کنند [۱]. پلی سولفون یکی از معروف‌ترین مواد پلیمری می‌باشد که در تهیه غشاء استفاده می‌شود [۲]. خواص اکسیداسیون برجسته،

\* عهده‌دار مکاتبات: رامین ظفر مهربان

نشانی: گلستان، بلوار دانشجو، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان

تلفن: ۰۱۷-۳۲۱۵۱۴۳۱، دورنگار: ۰۱۷-۳۲۱۵۱۴۳۱، پست الکترونیکی: raminzafar@yahoo.com

نانوذرات سیلیکون دی اکسید ( $\text{SiO}_2$ ) به دلیل فراوانی بر روی پوسته زمین، خواص شیمیایی خوب، واکنش پذیری کم و عملکرد مناسب، یکی از معروفترین نانوذرات استفاده شده به عنوان افزودنی معدنی به شمار می آیند [۱۴].

از آنجایی که بیشتر پلیمرهای سنتزی از جمله پلی سولفون در طبیعت به کندی تجزیه و تخریب می شوند، افزودن موادی که زیست تخریب پذیری آنها را افزایش دهند امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. کیتوزان مشتق N- داستیله شده کیتین می باشد که ماده ای زیست تخریب پذیر و آبدوست می باشد که به صورت طبیعی برای تشکیل فیلم عالی می باشد. کیتوزان عامل ضد رسوب است که ثابت شده است می تواند فلزات سنگین، فسفر، کدورت و مواد آلی طبیعی را حذف کند [۶]. تحقیقات نشان داده اند که عوامل مختلفی بر تخلخل پذیری و ساختار غشاء تاثیر گذار می باشند که از جمله آن می توان به وزن مولکولی و میزان غلظت بعضی از افزودنی ها اشاره نمود [۱۵].

در اینجا، هدف از انجام این تحقیق، تهیه و شناسایی غشاهای نانوکامپوزیتی پلی سولفون به همراه نانوذرات سیلیکون دی اکسید می باشد که با اضافه کردن افزودنی های پلیمری پلی اتیلن گلیکول یا کیتوزان بطور جداگانه برای بررسی بهبود خواص آبدوستی و افزایش کارایی غشاهای نانوکامپوزیتی، مورد مقایسه و بررسی قرار گرفتند.

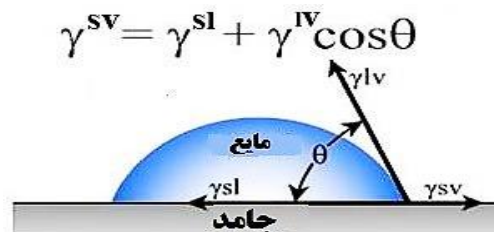
## ۲- فعالیت های تجربی

### ۲-۱- مواد

پلی سولفون (PSF) به شکل گرانولی به عنوان ماتریس پلیمری استفاده شد، از شرکت سیگما آلدریج آمریکا با خلوص ۹۹٪، شفاف با جرم مولکولی ۲۲/۰۰۰ g/mol خریداری شد. N,N- دی متیل استامید به عنوان حلال استفاده شد و با خلوص ۹۹/۸٪ از شرکت مرک آلمان تهیه شد. پلیمر کیتوزان (CS) با جرم مولکولی بالا و پلی اتیلن گلیکول با جرم مولکولی ۶/۰۰۰ g/mol، خلوص ۹۹/۹٪ تهیه شده از شرکت سیگما آلدریج آمریکا، که به عنوان افزودنی های پلیمری استفاده شدند. نانوذرات سیلیکون

ایراد اصلی این پلیمر نیز آبرگریزی آن می باشد. آبدوستی این پلیمرها می تواند با اضافه کردن ذرات اکسید فلزی نانویی که اندازه سطح به حجم بیشتری دارند و آبدوست می باشند، بطور قابل توجهی بهبود یابد [۴].

آبدوستی از کلمه یونانی Hydro به معنی آب و کلمه philicity به معنای دوستی تشکیل شده است که ویژگی فیزیکی ماده ای را نشان می دهد که می تواند بطور موقت با آب پیوند هیدروژنی ایجاد کند. همچنین اجازه نفوذ مایع را از سطح مرطوب خود خواهد داد. آبدوستی بر اساس معادله یانگ با محاسبه زاویه تماس قطره آب با سطح مایع محاسبه و اندازه گیری می شود (شکل ۱) [۵].



شکل ۱: معادله یانگ برای محاسبه میزان آبدوستی مواد.  
 $\theta$  زاویه تماس است  
 $\gamma^{sl}$  انرژی آزاد بین سطح مایع / جامد می باشد  
 $\gamma^{sv}$  انرژی آزاد سطح جامد است  
 $\gamma^{lv}$  انرژی آزاد سطح مایع است

از آنجائیکه تهیه غشای بدون گرفتگی کاری مهم است، روش های مختلفی برای تهیه آن به کار برده می شود که از آن جمله می توان به اختلاط با نانوذرات اشاره کرد [۶]. در تحقیقات بسیاری اثر افزودنی های مختلف بر روی غشاهای متفاوتی بررسی شده اند. به عنوان مثال، مخلوط کردن پلیمر پایه غشاها با نانومواد معدنی بهبود چشمگیری در خواص غشاها مانند بهبود خواص مکانیکی، خواص گرمایی، خواص مغناطیسی [۷] و خواص ساختاری [۸] آن نشان داده است. همچنین در خواص آبدوستی [۹] و ضد رسوب [۱۰] غشاء نیز مشاهده شد.

از جمله نانوذراتی که برای بهبود غشاهای پلی سولفونی به کار برده شده است می توان به نانوذرات زیرکونیم اکسید، نانوسیلیکا [۱۱]، نانوذرات کلسیم کربنات [۱۲] و همچنین اضافه کردن نانوتیوب های تیتانیوم دی اکسید به کامپوزیت پلی سولفون/کیتوزان و بهبود خواص آبدوستی و اندازه منافذ غشایی آن نیز اشاره نمود [۱۳].

مدت زمان ۵ ساعت هم زدن، حل شد. برای توزیع یکنواخت تر نانوذرات در ماتریس کامپوزیتی PSF/PEG، محلول نانوکامپوزیتی PSF/PEG/SiO<sub>2</sub> به مدت ۱ ساعت تحت امواج فراصوت قرار گرفت. محلول یکنواخت قالب ریزی نانوکامپوزیتی PSF/PEG/SiO<sub>2</sub> برای تشکیل غشاء تهیه شد.

#### ۴-۲- تهیه محلول قالب ریزی نانوکامپوزیت PSF/CS/SiO<sub>2</sub>

برای تهیه محلول کامپوزیتی PSF/CS مطابق با روش گفته شده توسط کومار و همکارانش عمل شد. بطور خلاصه، ۱ گرم کیتوزان (CS) در ۵۰ میلی لیتر محلول ۱٪ اسیدی استیک اسید حل شد. در ظرفی دیگر ۳/۸ گرم پلی سولفون در ۱۵/۲ میلی لیتر حلال دی متیل استامید تحت دمای ۶۰ °C به مدت ۴ ساعت حل شد تا محلول یکنواخت پلی سولفونی به دست آمد. ۱ میلی لیتر از محلول کیتوزان تهیه شده به محلول پلی سولفون تحت دمای ۸۰-۶۰ °C همراه با هم زدن با سرعت بالا اضافه شد. سپس با افزودن ۵ میلی لیتر دی متیل استامید اضافی به محلول، کیتوزان به صورت سفید رنگ رسوب کرد، هم زدن با حفظ دما تا حل شدن کامل کیتوزان در محلول پلی سولفونی ادامه یافت تا محلولی ویسکوز پلی سولفون/کیتوزان تهیه شد، محلول به صورت گرم صاف شد [۳].

به محلول ویسکوز یکنواخت پلی سولفون/کیتوزان، ۳ wt.% نانوذرات سیلیکون دی اکسید افزوده شد و هم زدن تحت دمای ۶۰-۵۰ °C تا حل شدن کامل نانوذرات ادامه یافت. بعد از ۱۲ ساعت هم زدن محلول برای اطمینان از پراکندگی کامل نانوذرات در محلول کامپوزیتی، تحت امواج فراصوت به مدت ۱ ساعت قرار داده شد. محلول قالب ریزی یکنواخت ترکیب نانوکامپوزیتی PSF/CS/SiO<sub>2</sub> تهیه شد. میزان درصد مواد استفاده شده در این تحقیق، برای تهیه غشای پلی سولفون صاف، با استناد به مراجع، به صورت ذکر شده در جدول شماره ۱ خواهد بود [۱۶، ۱۷].

دی اکسید (SiO<sub>2</sub>) با خلوص ۹۹/۹٪ به صورت نانوپودر با اندازه ذرات ۲۰-۱۵ نانومتر تهیه شده از شرکت تحقیقات نانومواد آمریکا، که به عنوان بهبود دهنده خواص آبدوستی و تشکیل دهنده حفرات ریز غشاء استفاده شدند.

#### ۲-۲- تهیه غشاهای PSF/CS/SiO<sub>2</sub>

همه غشاهای با روش جدایی فاز تهیه شدند. برای تهیه محلول های قالب ریزی غشاهای بهبود یافته و بهبود نیافته با افزودنی های پلیمری (PEG یا CS)، نسبت های وزنی ۲۳ wt.% پلی سولفون، ۷۲ wt.% دی متیل استامید، ۳ wt.% نانوذرات سیلیکون دی اکسید و ۵ wt.% افزودنی های پلیمری کیتوزان یا پلی اتیلن گلیکول برای غشاهای بهبود یافته با افزودنی پلیمری مختلف و به صورت گفته شده در جدول ۱ برای تهیه انواع غشاهای استفاده شدند.

محلول های قالب ریزی شده پس از تهیه بر روی سطح شیشه ای صاف ریخته شده و توسط فیلم کش به ضخامت ۱۵۰ میکرومتر قالب ریزی شدند و برای جدایی فاز و تشکیل غشاء در حمام آب مقطر با دمای ۲۵ °C فرو برده شدند. بعد از ۲۴ ساعت غشاهای از حمام آب مقطر خارج شدند و چندین بار با آب مقطر شسته شدند.

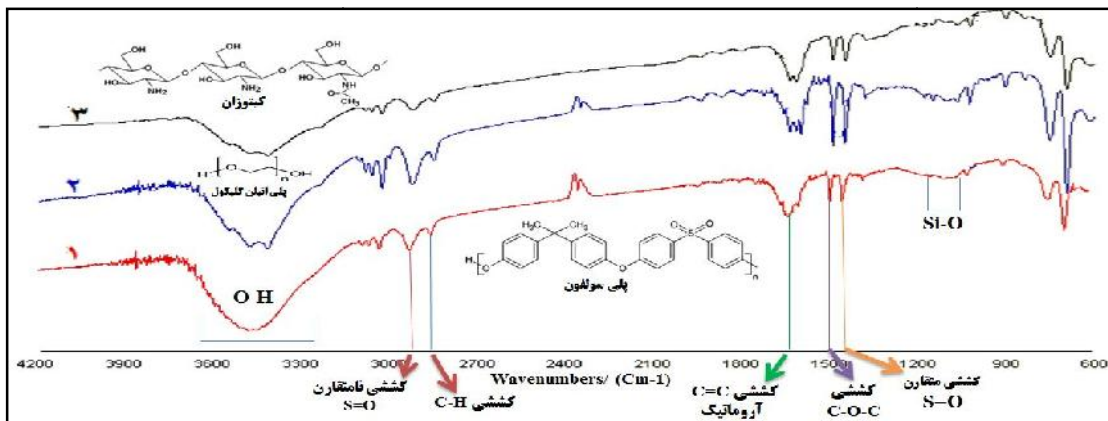
جدول ۱: ترکیب درصد های مختلف مواد استفاده شده.

| شماره غشاء | PSF (wt.%) | DMAc (wt.%) | SiO <sub>2</sub> (PSF wt.%) | CS (wt.%) | PEG (wt.%) |
|------------|------------|-------------|-----------------------------|-----------|------------|
| ۱          | ۲۳         | ۷۲          | ۳                           | -         | -          |
| ۲          | ۲۳         | ۷۲          | ۳                           | -         | ۵          |
| ۳          | ۲۳         | ۷۲          | ۳                           | ۵         | -          |

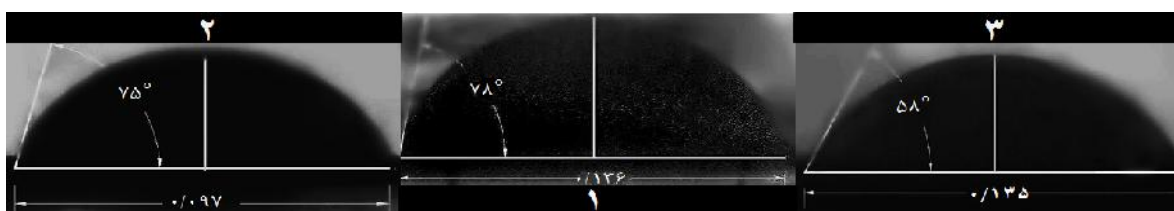
#### ۳-۲- تهیه محلول قالب ریزی PSF/PEG/SiO<sub>2</sub>

نانوذرات سیلیکون دی اکسید در حلال دی متیل استامید تحت دمای ۶۰-۵۰ °C همراه با هم زدن شدید در حلال حل شد، افزودنی پلیمری پلی اتیلن گلیکول به محلول نانوذرات در دمای ۵۰ °C افزوده شد و پس از ۸ ساعت هم زدن بطور یکنواختی حل شد، گرانول های پلی سولفون به محلول یکنواخت شده در دمای ۸۰ °C افزوده شد و پس از

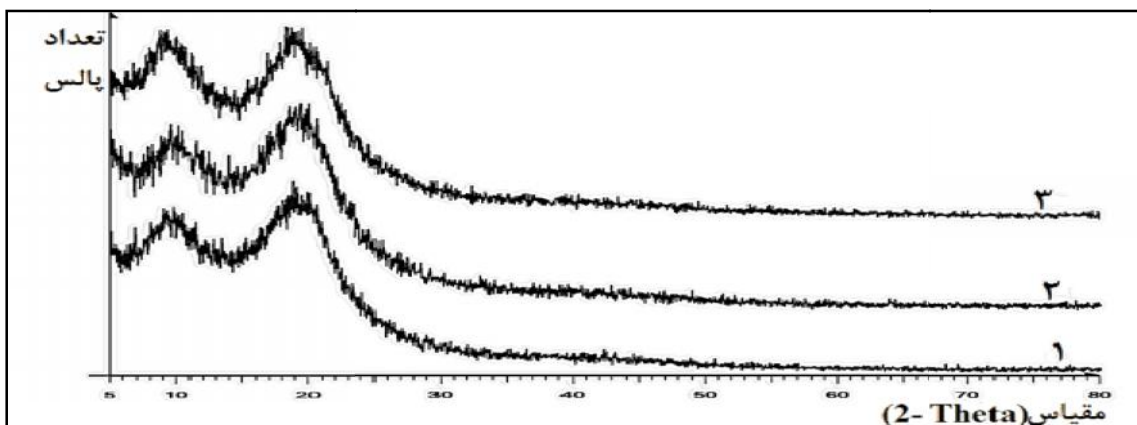




شکل ۱: طیف‌های FTIR: (۱) PSF/SiO<sub>2</sub>, (۲) PSF/PEG/SiO<sub>2</sub> و (۳) PSF/CS/SiO<sub>2</sub>.



شکل ۲: تصاویری از اندازه‌گیری‌های زاویه تماس قطره آب: (۱) PSF/SiO<sub>2</sub>, (۲) PSF/PEG/SiO<sub>2</sub> و (۳) PSF/CS/SiO<sub>2</sub>.



شکل ۳: الگوی XRD تمام غشاهای تهیه شده: (۱) PSF/SiO<sub>2</sub>, (۲) PSF/PEG/SiO<sub>2</sub> و (۳) PSF/CS/SiO<sub>2</sub>.

## ۲-۵- مشخصات غشاهای تهیه شده

به منظور بررسی میزان برهمکنش نانوذرات و مواد پلیمری از دستگاه طیف سنج مادون قرمز Rayleigh مدل WQF-510 ساخت شرکت چین واقع در آزمایشگاه آنالیز دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان در محدوده  $1600-1400\text{ cm}^{-1}$  با بزرگنمایی  $1/10\text{ cm}^{-1}$  استفاده شد. شکل و ساختار سطح و سطح مقطع‌های غشاهای تهیه شده و همچنین اندازه منافذ غشاها، زیر میکروسکوپ الکترونی روبشی LEO مدل 1430VP دانشگاه محقق اردبیلی، ساخت مشترک کشور

انگلستان و آلمان مورد بررسی قرار گرفتند. تست پراکنش پرتو X توسط دستگاه بروکر مدل D8 Advanced دانشگاه دامغان ساخت کشور آلمان به منظور بررسی ساختار کریستالی یا آمورف بودن غشاهای تهیه شده انجام شد. اسپکتروسکوپی تفکیک انرژی پرتو X برای شناسایی و اثبات وجود عناصر به خصوص نانوذرات SiO<sub>2</sub> با بکارگیری میکرو آنالیزر EDS دستگاه میکروسکوپ FESEM با دتکتور Simaging Detector مدل Mira 3-XMU مرکز پژوهش متالورژی رازی، ساخت کشور آلمان انجام شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی نتایج FT-IR

طیف های FTIR غشاهای PSF/SiO<sub>2</sub> بهبود یافته و بهبود نیافته با افزودنی های پلیمری پلی اتیلن گلیکول و کیتوزان در شکل ۱ نشان داده شده است. پیوند کششی Si-O نانوذرات SiO<sub>2</sub> با وجود پیک ظاهر شده در ناحیه  $1100-1000\text{ cm}^{-1}$  اثبات شد. پیک های ظاهر شده در نواحی  $1105\text{ cm}^{-1}$  و  $1150\text{ cm}^{-1}$  نشان دهنده وجود گروه های سولفونی پلیمر پلی سولفونی بود. پیوندهای هیدروژنی ایجاد شده توسط افزودنی های پلیمری پلی اتیلن گلیکول و کیتوزان در نتایج FTIR غشاهای PSF/PEG/SiO<sub>2</sub> و PSF/CS/SiO<sub>2</sub> در ناحیه پیک  $3400-3000\text{ cm}^{-1}$  دیده شدند.

#### ۳-۲- بررسی نتایج XRD

به منظور بررسی نواحی کریستالی موجود در غشاهای تهیه شده و تاثیر وجود نانوذرات بر کریستالیت یا آمورف بودن غشاهای، از آنالیز پراکنش پرتو X (XRD) استفاده شد که پیک های XRD آنها در شکل ۳ نشان داده شده اند. با توجه به نتایج XRD نشان داده شده در شکل ۳، طبیعت آمورف بودن نانوذرات سیلیکون دی اکسید اثبات شدند و نتایج نشان دادند که نانوذرات تاثیری بر تشکیل نواحی کریستالی در غشاهای تهیه شده نداشتند.

#### ۳-۳- بررسی تصاویر SEM

بررسی نتایج تصاویر SEM سطح و سطح مقطع غشاهای تهیه شده، سطحی صاف و بدون نقص با ساختاری اسفنجی ناهمگن با منافذ یکنواخت بدون تجمع نانوذرات سیلیکون دی اکسید را نشان دادند. نتایج تصاویر SEM غشاهای بهبود یافته نشان دادند که افزودنی های پلیمری پلی اتیلن گلیکول و کیتوزان نه تنها می توانند به عنوان بهبود دهنده عملکرد غشاها عمل کنند بلکه به عنوان تشکیل دهنده منفذ نیز می توانند عمل کنند. نتایج نشان دادند که با اضافه کردن افزودنی پلیمری کیتوزان اندازه منافذ ساختار اسفنجی ناهمگن غشاء PSF/SiO<sub>2</sub> بطور چشمگیری افزایش یافت. بررسی اندازه منافذ غشاهای تهیه شده نیز افزایش اندازه منافذ غشاء PSF/SiO<sub>2</sub> با

افزودن کیتوزان را اثبات کرد (شکل ۴). همچنین تصاویر سطح مقطع نمونه های نانوکامپوزیتی تهیه شده، هیچ گونه تجمع و کلوخه شدن نانوذرات را نشان ندادند که می تواند شاهدی بر توزیع مناسب نانوذرات در غشاء نانوکامپوزیتی تهیه شده باشد.

#### ۳-۴- بررسی نتایج EDS

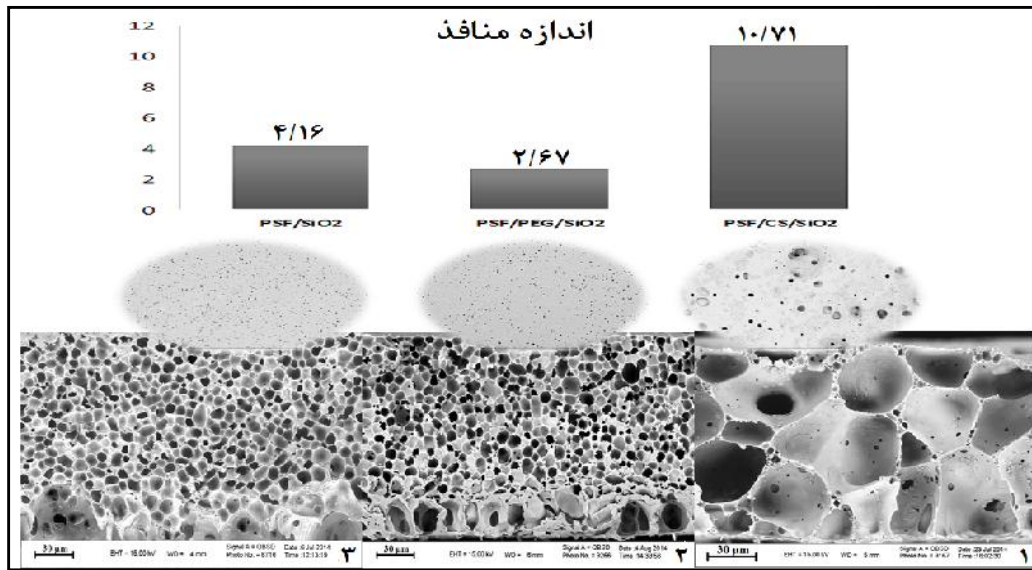
آنالیز EDS به منظور اثبات وجود عناصر موجود در نانوکامپوزیت های غشایی، به ویژه نانوذرات سیلیکون دی اکسید در غشاهای تهیه شده استفاده شد. با توجه به تصاویر آنالیز EDS موجود در شکل ۳، پیک Si، نشان دهنده اثبات وجود عنصر سیلیسیم نانوذرات SiO<sub>2</sub> می باشد و وجود پیک N مربوط عنصر نیتروژن کیتوزان می باشد. با این آنالیز حضور نانوذرات در غشاهای نانوکامپوزیتی تهیه شده اثبات شدند. آنالیز EDS انجام شده، توسط دستگاه FESEM بوده و فقط توانایی شناسایی عناصر بر اساس جداسازی آنها به ترتیب از چپ به راست بر اساس افزایش عدد اتمی عناصر بوده است.

#### ۳-۵- بررسی خواص آبدوستی غشاهای تهیه شده

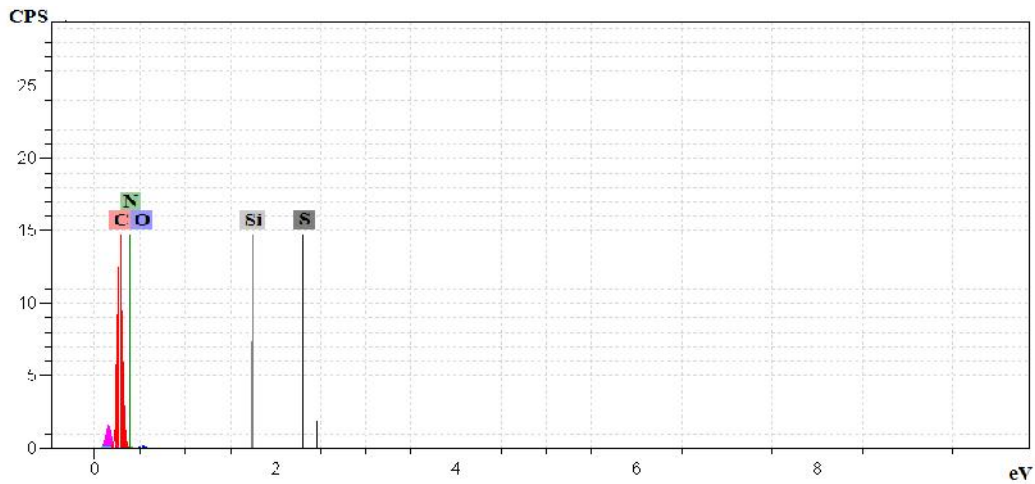
##### ۳-۵-۱- اندازه گیری زاویه تماس قطره آب

میزان زاویه تماس قطره آب توسط روش انجام شده توسط کومار و همکارانش انجام پذیرفت. بطور خلاصه، آنالیز زاویه تماس دینامیکی FTA-200 بر اساس روش قطره گذاری چسبیده، قطره ها بر روی سطح غشاهای تهیه شده به مساحت  $2\text{ cm}^2$  با قطر یکسان  $150\text{ }\mu\text{m}$  میکرومتر قرار داده شدند. اندازه گیری زاویه تماس سه بار انجام شد و میانگین زاویه تماس های اندازه گیری شده گزارش شدند [۱۵].

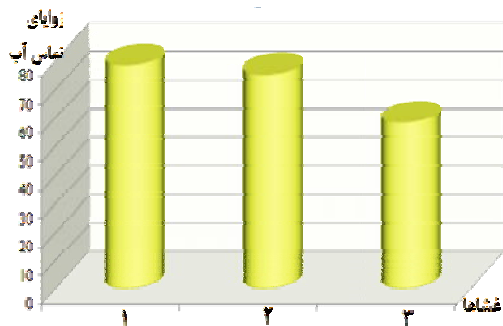
نتایج اندازه گیری های زاویه تماس قطره آب غشاهای تهیه شده در شکل ۶ نشان داده شده است. بررسی نتایج حاصل از اندازه گیری زاویه تماس قطره آب غشاهای تهیه شده نشان داد که با اضافه کردن افزودنی پلیمری کیتوزان به غشای PSF/SiO<sub>2</sub>، کاهش چشمگیر زاویه تماس قطره آب را از  $58^\circ$  به  $78^\circ$  نشان داد. کیتوزان بطور ذاتی پلیمری آبدوست می باشد که نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که با افزودن آن به پلیمر پلی سولفون آبگریز، به همراه نانوذرات سیلیکون دی اکسید، سطح غشای نانوکامپوزیتی تهیه شده را خاصیت آبدوستی بخشیده و



شکل ۴: تصاویر سطح و سطح مقطع SEM و اندازه منافذ غشاهای: (۱) PSF/CS/SiO<sub>2</sub>، (۲) PSF/PEG/SiO<sub>2</sub> و (۳) PSF/SiO<sub>2</sub>.



شکل ۵: نتایج EDS نانوذرات SiO<sub>2</sub> در سطح غشای بهبود یافته با کیتوزان.



شکل ۶: زاویه تماس قطره آب غشاهای: (۱) PSF/SiO<sub>2</sub>.

(۲) PSF/PEG/SiO<sub>2</sub> و (۳) PSF/CS/SiO<sub>2</sub>.

میزان جذب آب غشاهای تهیه شده، با استفاده از رابطه ۱ اندازه‌گیری شد:

$$\% \text{ جذب آب} = \frac{(w_w - w_d)}{w_d} \times 100 \quad (1)$$

باعث اتصال بیشتر پیوند هیدروژنی بین آب و سطح نانوکامپوزیت غشایی تهیه شده و در نتیجه کاهش زاویه تماس قطره آب که نشان دهنده افزایش آبدوستی می‌باشد، شده است.

### ۳-۵-۲- اندازه‌گیری میزان جذب آب

غشاهای تهیه شده به مساحت ۱ cm<sup>2</sup> در آون خشک شدند و وزن خشک آنها با ترازو اندازه‌گیری شدند. غشاهای خشک شده در محلول‌های بافری با مقادیر pH ۴، ۷ و ۱۱ از قبل تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. بعد از ۲۴ ساعت غشاهای بافری بیرون آورده، آب اضافی سطح غشاهای با کاغذ صافی گرفته و سپس دوباره وزن شدند [۱۸].

آبدوستی غشاء افزایش چشمگیری خواهد داشت که این مورد با توجه به تصاویر SEM که نشان دهنده بزرگتر شدن منافذ اسفنجی غشاء PSF/CS/SiO<sub>2</sub> قابل توجه می‌باشد که با کاهش زاویه تماس قطره آب و افزایش جذب آب، تایید شدند. در غشای نانوکامپوزیتی PSF/CS/SiO<sub>2</sub>، افزایش جذب آب در pH ۴، به دلیل تشکیل پیوند هیدروژنی گروه NH<sub>2</sub> کیتوزان با محلول اسیدی بود و کاهش ناچیز جذب آب در pH ۱۱ نسبت به pH ۷ به دلیل تشکیل نمک گروه‌های عاملی کیتوزان با محلول‌های بافری می‌باشد [۳].

در نتیجه با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، کیتوزان نه تنها می‌تواند به عنوان افزودنی آبدوست مناسب به دلیل پلیمر طبیعی، در دسترس، ارزان و زیست تخریب پذیر باشد، بلکه می‌تواند به عنوان عامل تشکیل دهنده منفذ بسیار خوبی برای تهیه غشاهای نانوکامپوزیتی با هدف استفاده در فرایندهای جداسازی آب عمل کند.

### سپاسگزاری

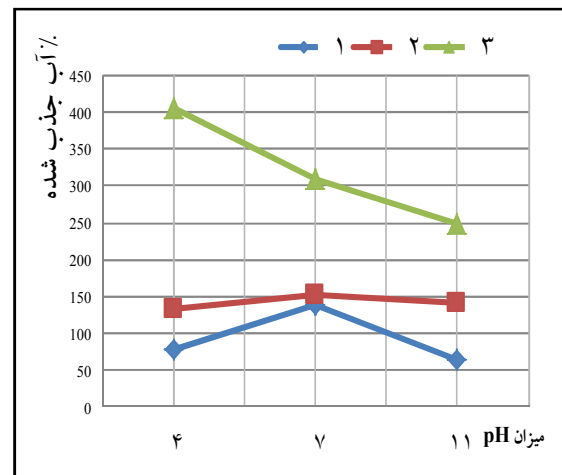
نویسندگان تمایل دارند از کارکنان آزمایشگاه تحقیقات شیمی دانشگاه آزاد واحد گرگان، آزمایشگاه SEM دانشگاه محقق اردبیلی، آزمایشگاه XRD دانشگاه دامغان به خاطر راهنمایی‌ها و کمک‌های بی‌دریغ آنها، کمال تشکر خود را اظهار نمایند.

### مراجع

- [1] H.S.M. Suhaimi, C.P. Leo, A.L. Ahmad, *Chemical Engineer Process*, **01**, 2014, 004.
- [2] R. Kumar, A.M. Isloor, A.F. Ismail, *Desalination*, **316**, 2013, 76.
- [3] M. Padaki, A.M. Isloor, A.F. Ismail, M.S. Abdullah, *Desalination*, **295**, 2012, 35
- [4] M. Padaki, D. Emadzadeh, T. Masturra, A.F. Ismail, *Desalination*, **362**, 2015, 141.
- [5] S.J. Oh, N. Kimb, Y.T. Lee, *Journal of Membrane Science*, **345**, 2009, 13.
- [6] E. Salehi, S.S. Madaeni, L. Rajabi, V. Vatanpour, A.A. Derakhshan, S. Zinadini, H.A. Monfared, *Separation Purification Technology*, **89**, 2012, 309.
- [7] S.S. Madaeni, E. Enayati, V. Vatanpour, *Polymer Advanced Technology*, **22**, 2011, 2556.
- [8] Y. Mansourpanah, S.S. Madaeni, A. Rahimpour, M. Adeli, M.Y. Hashemi, *Desalination*, **277**, 2011, 171.
- [9] X.M. Wang, X.Y. Li, K. Shih, *Journal of Membrane Science*, **368**, 2011, 134.
- [10] M. Zhang, R.W. Field, K. Zhang, *Journal of Membrane Science*, **471**, 2014, 274.
- [11] Y. Zhang, X. Shan, Z. Jin, Y. Wang, *Journal of Hazardous Material*, **192**, 2011, 559.

در این رابطه  $W_w$  وزن غشاهای متورم شده در آب بعد از ۲۴ ساعت قرارگیری در محلول‌های بافر و  $W_d$  وزن خشک غشاها می‌باشد. برای دقت در اندازه‌گیری، ۳ بار اندازه‌گیری نمونه‌ها انجام شد و میانگین اوزان گزارش شد. بررسی نتایج به دست آمده از آزمون جذب آب غشاهای تهیه شده در pH های مختلف ۴، ۷ و ۱۱ در شکل ۷ نشان داده شده‌اند.

با توجه به نتایج، دیده شد که با اضافه کردن افزودنی پلیمری کیتوزان به غشای نانوکامپوزیتی PSF/SiO<sub>2</sub>، افزایش چشمگیر جذب آب در حدود ۱/۵ برابر در انواع pH ها نسبت به غشای بهبود نیافته با افزودنی پلیمری و غشای بهبود یافته با افزودنی پلیمری پلی اتیلن گلیکول را داشتیم (شکل ۷).



شکل ۷: جذب آب در pH های مختلف غشاهای (۱) PSF/SiO<sub>2</sub>، (۲) PSF/PEG/SiO<sub>2</sub> و (۳) PSF/CS/SiO<sub>2</sub>.

### ۴- نتیجه‌گیری

بررسی تصاویر SEM، توزیع مناسب نانوذرات سیلیکون دی اکسید را در غشاهای تهیه شده نشان داد که به خصوص در ساختار اسفنجی نامتقارن غشای نانوکامپوزیتی PSF/CS/SiO<sub>2</sub> به خوبی پراکنده و یکنواخت شده بود. نانوذرات SiO<sub>2</sub> با توجه به آنالیز FTIR برهمکنش خوبی را با غشاهای نانوکامپوزیتی بهبود یافته و بهبود نیافته با افزودنی پلیمری نشان دادند.

بررسی خواص آبدوستی غشاهای تهیه شده، نشان دادند که با افزودن کیتوزان به عنوان افزودنی پلیمری، خواص



- [16] Y.Q. Zhang, Z.H. Jin, Y.L. Wang, P. Cui, *Journal of Membrane Science*, **361**, 2010, 113.
- [17] Y.Q. Zhang, Z.H. Jin, X. Shan, J. Sunarso, P. Cui, *Journal of Hazardous Material*, **186**, 2011, 390.
- [18] M. Padaki, A.M. Isloor, J. Fernandes, K.N. Prabhu, *Desalination*, **280**, 2011, 419.
- [12] A.K. Nair, A.M. Isloor, R. Kumar, A.F. Ismail, *Desalination*, **322**, 2013, 69.
- [13] R. Kumar, A.M. Isloor, *Desalination*, **316**, 2013, 76.
- [14] M. Kebria, M. Jahanshahi, *Desalination*, **367**, 2015, 255.
- [15] D. Emadzadeh, W.J. Lau, T. Matsuura, M. Rahbari-Sisakht, A.F. Ismail, *Chemical Engineer Journal*, **237**, 2014, 70.