

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۶۲

تصفیه آب با استفاده از غشاء سرامیکی نانوفیلتراسیون

سال انتشار: ۱۳۹۴

ویرایش نخست



ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

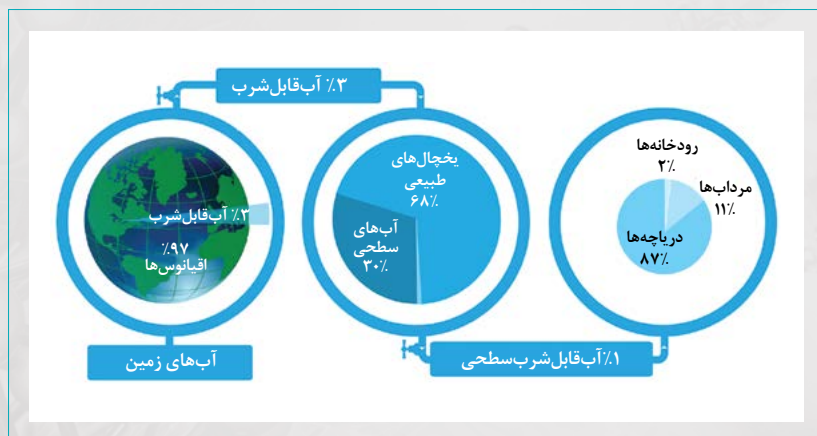
طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهر و نژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قرایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
تهیه کنندگان:	report@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
	صابر زارع، احسان فریدی، محسن سروری	صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴
	water@nano.ir		

فناوری نانو	۳
محدودیت در منابع و بحران آب	۳
استفاده مجدد از آب	۴
فرآیندهای غشایی	۵
غشاء سرامیکی نانوفیلتراسیون	۵
مقایسه غشاء سرامیکی با غشاء پلیمری	۸
کاربرد فناوری نانو در غشاهای سرامیکی	۸
طرح پایلوت برای نانوفیلتراسیون به وسیله غشاهای سرامیکی	۹
تخمین هزینه‌ها	۱۰
بازار غشاهای سرامیکی	۱۰
شرکت‌های داخلی فعال در زمینه تولید غشاهای سرامیکی	۱۳
جمع‌بندی	۱۴

وقتی از فناوری نانو صحبت می‌شود، منظور ترکیبات و ساختارهایی در ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر (یک میلیاردیم متر) و علوم و فناوری‌های مربوط به تولید، شناسایی و کنترل خواص آن‌ها می‌باشد. این ابعاد در مقیاس اتم‌ها و مولکول‌ها می‌باشد و بنابراین دانشمندان در این مقیاس می‌توانند خواص ترکیبات را به صورت مستقیم تحت تاثیر قرار داده و به مطالعه و بررسی آنها بپردازند. فناوری نانو امروزه کاربردهای بسیار زیادی در زمینه‌های مختلف پیدا کرده و تحقیقات و سرمایه‌گذاری زیادی بر روی آن صورت می‌گیرد که نشان از اهمیت روز افزون آن دارد.

محدودیت در منابع و بحران آب

هنگامی که به نقشه زمین یا عکس‌های زمین از فضا نگاه می‌کنیم، عمده‌ترین چیزی که در چشم ما خودنمایی می‌کند رنگ آبی زمین است و این تصور را به وجود می‌آورد که ما تا سالیان سال از آب بهره‌مند خواهیم بود و حیات در زمین ادامه خواهد یافت. اما واقعیت چنین نیست! باوجود حجم وسیعی آب بر روی کره زمین، منابع آب قابل آشامیدن بسیار محدود است و تنها ۳ درصد از این منابع عظیم قابل آشامیدن می‌باشد. حال اینکه بخش عمده‌ای از این ۳ درصد را یخچال‌های طبیعی تشکیل می‌دهند و عملاً غیر قابل دسترس هستند به نحوی که می‌توان گفت فقط یک درصد (و حتی کمتر) از آب‌های موجود در کره زمین برای آشامیدن در دسترس قرار دارد [۱].



شکل ۱. نحوه توزیع آب‌های موجود بر روی زمین؛ تنها ۱ درصد از آب‌های موجود بر روی زمین برای آشامیدن در دسترس انسان‌ها قرار دارد و مابقی آب‌های قابل شرب در یخچال‌های طبیعی به دام افتاده‌اند [۱]

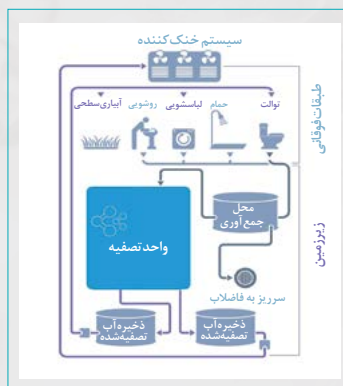
این در حالی است که هر ساله جمعیت جهان و در نتیجه تقاضا جهت آب آشامیدنی رو به افزایش است. پیش‌بینی‌های جهانی نشان می‌دهند که تا سال ۲۰۲۵ جمعیت جهان از مرز ۸ میلیارد نفر می‌گذرد و انتظار می‌رود که حدود ۶۰ درصد از مردم جهان (از جمله ایران) در مناطق دچار بحران آب زندگی کنند.



شکل ۲. شرایط پیش‌بینی شده برای وضعیت بحران آب در مناطق مختلف زمین تا سال ۲۰۲۵؛ بدترین شرایط پیش‌بینی شده برای قاره آسیا و مخصوصا منطقه خاورمیانه می‌باشد [۱]

استفاده مجدد از آب^۱

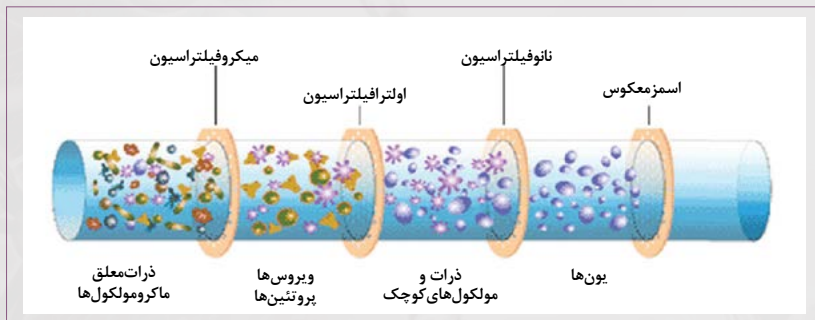
یکی از مهمترین اقدامات انجام شده برای بهبود وضعیت بحران آب، استفاده مجدد از آب می‌باشد. اگر آب مصرفی در بخش‌های مختلف که عموما به صورت فاضلاب در می‌آید، دوباره مورد تصفیه قرار گرفته و مجدداً برای اهداف مختلف استفاده شود، فرایند را استفاده مجدد از آب می‌نامند. استفاده مجدد از آب دو نوع است. یکی برای مصارف غیر آشامیدنی^۲ و دیگری برای مصارف آشامیدنی^۳. استفاده مجدد برای مصارف غیر آشامیدنی عموماً جهت مصارفی مانند صنایع، کشاورزی یا آبیاری مزارع و یا حتی ایجاد دریاچه‌های تفریحی و پرکردن تالاب‌های طبیعی به کار می‌رود. در حالیکه استفاده مجدد برای مصارف آشامیدنی صرفاً برای استفاده خوارکی بوده و لذا نیازمند مراحل بیشتری نسبت به نوع اول است. در راستای توجه روزافزون دنیا به فرایند استفاده مجدد از آب، سیستم‌های گوناگونی توسعه یافته‌اند که یکی از مهمترین آنها استفاده از سیستم‌های نانوفیلتراسیون بر اساس فیلترها و غشاهای سرامیکی می‌باشد.



شکل ۳. شمای کلی یک سیستم خانگی جهت استفاده مجدد از آب برای مصارف غیر آشامیدنی [۲]

فرآیندهای غشایی

روش های فیلتراسیون غشایی را می توان به ۴ دسته کلی میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس تقسیم بندی نمود. آن گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، غشاهای میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون قادرند ذرات درشت و معلق و همچنین مولکول های بزرگ را حذف کنند و به مولکول های کوچک و یون ها اجازه عبور می دهند. از طرف دیگر غشاهای اسمز معکوس تقریباً آب خالص ایجاد می نمایند که چیزی فراتر از استانداردهای مورد نیاز برای آب آشامیدنی است. بر خلاف بقیه انواع غشاهای غشاهای نانوفیلتراسیون ظرفیت متوسطی برای حذف نمک های تک ظرفیتی داشته و همچنین قابلیت حذف موثر نمک ها، فلزات سنگین، رنگ، ویروس ها و باکتری ها را از آب و فاضلاب دارا می باشند و می توانند با حفظ خاصیت بافری آب یون های Mg^{2+} و Ca^{2+} را نیز از آب حذف نمایند [۳].



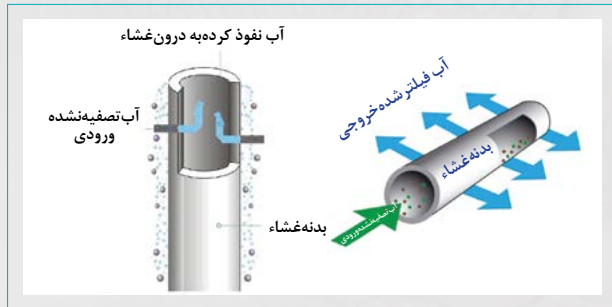
▲ شکل ۴. روش های مختلف فیلتراسیون غشایی و توانایی آنها در حذف آلاینده های مختلف [۴]

غشاء سرامیکی نانوفیلتراسیون

این نوع غشاء دسته ای از انواع غشاهای مصنوعی هستند که از ترکیبات معدنی مانند آلومینا (Al_2O_3)، تیتانیا (TiO_2)، اکسیدهای زیرکونیوم (ZrO_2)، سیلیکا (SiO_2)، کربید سیلیکون (SiC) و غیره ساخته می شوند. با توجه به اینکه در هنگام ساخت غشاهای سرامیکی، با کنترل شرایطی (همچون غلظت مواد اولیه و نسبت مولی آنها، pH و دما) می توان اندازه حفرات غشاء را کنترل نمود، می توان طیف گسترده ای از غشاهای سرامیکی با اندازه حفرات مختلف را تولید نمود. این موضوع باعث شده است که غشاهای سرامیکی در زمینه های مختلفی مانند فرآیندهای نانوفیلتراسیون، میکروفیلتراسیون و همچنین جداسازی برخی گازها کاربرد گسترده ای داشته باشند. لازم به ذکر است که در ساخت غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون می توان از مخلوطی از ترکیبات نام برده (با نسبت های مختلف) نیز استفاده نمود. همچنین از میان این ترکیبات سیلیکا و تیتانیا کوچکترین اندازه حفرات و در نتیجه بیشترین کاربرد در نانوفیلتراسیون را دارا هستند [۵].

بسته به نوع جریان، غشاهای سرامیکی را به دو دسته تقسیم بندی می نمایند: اولی از داخل به خارج 4 که در آن جریان ورودی از درون غشاء عبور کرده و فرایند فیلتراسیون به سمت بیرون از غشاء صورت می گیرد (شکل ۵ سمت چپ) و دیگری جریان فیلتراسیون از خارج به سمت داخل 5 می باشد (شکل ۵ سمت راست).

« شکل ۵. نحوه انجام عمل فیلتراسیون در غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون: سمت راست از داخل به خارج و سمت چپ از خارج به سمت داخل [۶]



برای سیستم با جریان از داخل به بیرون دو نوع طراحی وجود دارد. نوع اول که تحت عنوان واحد ماژول شناخته می‌شود، از تعداد بسیار زیادی واحدهای غشاء سرامیکی نانوفیلتراسیون تشکیل می‌شود که به صورت منظم و جدا از هم در محفظه‌های فولادی قرار گرفته‌اند (شکل ۶). همچنین باید توجه داشت که خود واحدهای غشاء سرامیکی نانوفیلتراسیون هم طراحی‌های مختلفی با اشکال هندسی متفاوت و تعداد و سایز کانال‌های مختلف برخوردار هستند که نمونه‌ای از آنها به همراه تصویر میکروسکوپی با بزرگمایی بالا (SEM) از یک نمونه غشاء سرامیکی نانوفیلتراسیون در شکل ۷ قابل مشاهده هستند [۷].



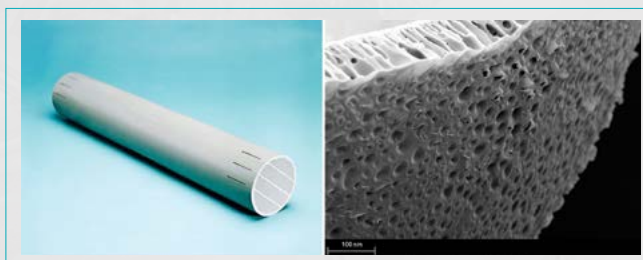
« شکل ۶. نمونه‌ای از غشاء سرامیکی نانوفیلتراسیون از نوع واحد ماژول متشکل از واحدهای غشاء سرامیکی نانوفیلتراسیون [۷]



« شکل ۷. انواع و اشکال مختلف از واحدهای غشاء سرامیکی نانوفیلتراسیون و تصویر میکروسکوپی با بزرگمایی بالا (SEM) یک نمونه غشاء سرامیکی نانوفیلتراسیون ساخته شده از تیتانیا و آلومینا با نسبت ۳۰ به ۷۰ از تیتانیا به آلومینا [۷]

نوع دوم از غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون با جریان از داخل به سمت خارج، نوع یکپارچه^۷ می باشد که از یک بدنه سرامیکی تشکیل شده که درون آن کانال های جریان بسیار زیادی قرار دارد که آب به صورت جداگانه از درون منافذ هر یک از آنها عبور می کند و آلودگی های آن حذف می شود. بنابراین غشاها از این نوع از سطح نسبی بسیار بالایی برخوردار هستند و کارایی مناسبی ارائه می دهند. نمونه ای از این نوع غشاء به همراه تصویر میکروسکوپ الکترونی غشا (تصویر با بزرگ نمایی بسیار بالا) در شکل ۸ قابل مشاهده است. همچنین شکل ۵ در این گزارش بیانگر عملکرد متفاوت فیلتراسیون از داخل به خارج است.

» شکل ۸.
نمونه ای از یک غشاء
سرامیکی با جریان
از داخل به بیرون از
نوع یکپارچه و تصویر
SEM مربوط به یکی
از منافذ آن [۸]



غشاهای نانوفیلتراسیون از نوع یکپارچه، سطح غشایی زیادی را در حجمی فشرده و با قیمتی مقرون به صرفه در اختیار می گذارند؛ با این وجود، نوع ماژولی دارای مقاومت بیشتری بوده و از مشکلات کمتری در زمان های طولانی تر (مثل گرفتگی و مسدود شدن کانال ها) رنج می برند. برخلاف سیستم ها با جریان از داخل به بیرون که معمولاً شکل استوانه ای دارند، سیستم های با جریان از خارج به داخل به صورت غشاء سرامیکی صفحه ای چندمجرای^۸ هستند که در برخی سیستم های تصفیه فاضلاب کوچک به کار برده می شود و نمونه ای از آن در شکل ۹ قابل مشاهده است. ذکر این نکته لازم است که در حال حاضر شرکت های آمریکایی و ژاپنی فعال در ساخت غشاهای سرامیکی برای تصفیه آب تمایل بیشتری به ساخت سیستم های یکپارچه دارند. در حالیکه سازندگان اروپایی به ساخت سیستم های با جریان از خارج به داخل تمایل بیشتری دارند [۷].

» شکل ۹. نمونه ای از
یک غشاء سرامیکی با
جریان از خارج به داخل که
معمولاً در آنها از صفحات
مسطح غشاء سرامیکی
استفاده می شود [۹]



مقایسه غشاهای سرامیکی با غشاهای پلیمری

امروزه هر دوی این غشاها در سیستم‌های استفاده مجدد از آب، تصفیه آب و تصفیه فاضلاب در صنایع و بخش‌های مختلف کاربرد فراوانی پیدا کرده‌اند. تقریباً تا اواخر سال ۲۰۰۸ غشاهای پلیمری (شکل ۱۰) سهم بیشتری از بازار را در اختیار خود داشتند و حدود ۷۵ درصد از بازار فیلتراسیون غشایی را به خود اختصاص داده بودند و ۲۵ درصد مابقی بازار مربوط به بقیه انواع غشاها، مخصوصاً غشاهای سرامیکی بوده است [۱۰]. امروزه این آمار تغییر بسیار زیادی کرده است و سهم غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون به شدت افزایش یافته است، به نحوی که در سال ۲۰۱۴ غشاهای سرامیکی ۳۵ درصد از کل بازار محصولات غشایی را در اختیار خود در آورده است، که این امر نشان دهنده افزایش سالانه استفاده از غشاهای سرامیکی در سیستم‌های فیلتراسیون می‌باشد. همچنین پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۰ غشاهای سرامیکی سهمی در حدود ۵/۱ میلیارد دلار از بازار محصولات غشایی را به خود اختصاص دهند [۱۱].



شکل ۱۰. شمای کلی و نحوه عملکرد یک غشای پلیمری نوعی [۱۲]

از نظر قیمت، غشاهای پلیمری ارزانتر از غشاهای سرامیکی هستند؛ ولی در عوض عمر بسیار کمتری دارند و نیاز به تعویض‌های متناوب زیاده‌تری دارند. غشاهای سرامیکی بخاطر خواص مقاومتی (در برابر عوامل محیطی مثل فشار و دما و همچنین عوامل شیمیایی و غیره) که دارند از طول عمر بیشتری برخوردار بوده و عملاً مقرون به صرفه‌تر هستند. علاوه بر این، غشاهای سرامیکی دارای سرعت جریان بسیار بالاتری نسبت به نوع پلیمری هستند و همچنین می‌توان آنها را بوسیله حرارت دادن یا بوسیله جریان بخار تمیز و نیز استرولیزه کرد؛ در حالیکه غشاهای پلیمری از این مزیت بی‌بهره‌اند. دیگر تفاوت مهم میان این دو سیستم، این است که غشاهای پلیمری نیازمند فشارهای بالاتری هستند که باعث افزایش میزان انرژی مصرف شده توسط آنها می‌شود. پس به طور کلی، غشاهای سرامیکی مقرون به صرفه‌تر از غشاهای پلیمری هستند که این موضوع باعث افزایش استفاده از آنها در سیستم‌های استفاده مجدد از آب می‌باشد.

کاربرد فناوری نانو در غشاهای سرامیکی

فناوری نانو می‌تواند به صورت چشمگیری بسیاری از فناوری‌های تصفیه آب مانند جذب سطحی، جابجایی یون و از همه مهمتر فیلتراسیون و غشاها را تحت تاثیر قرار داده و موجب پیشرفت آنها شود. می‌توان مهمترین مساله در استفاده از فناوری نانو را در این دانست که چگونه آن را به بهترین شکل ممکن به کار ببریم. این موضوع می‌تواند به صورت بسیار موثری بازده جداسازی، پایداری شیمیایی، گرمایی و مکانیکی غشاء و خواص سطح غشاء را افزایش داده و یا بسته به نوع نانو ذرات استفاده شده، خواص پیشرفته دیگری در غشاء ایجاد نماید [۱۳].

از جمله روش‌های مناسب برای استفاده از فناوری نانو در غشاهای سرامیکی می‌توان به مواردی همچون به دام انداختن^{۱۱} نانوذرات درون یا روی ساختار غشاء سرامیکی (شکل ۱۱) و ایجاد یک لایه نازک از نانوذرات بر روی سطح غشاء اشاره نمود. نانوذرات فلزی بیشترین کاربرد را در این زمینه به خود اختصاص داده‌اند که این امر، به خاطر خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد آنهاست. به دام اندازی نانوذرات بر روی غشاهای سرامیکی عموماً توسط لیگندهای جابجایی یون^{۱۲} صورت می‌گیرد و بیشتر برای حذف فلزات سنگین، اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون به کار برده می‌شود و می‌تواند تقریباً جدید به شمار می‌آید. به عنوان مثال در سال ۲۰۱۴ یک گروه چینی نانو ذرات پالادیوم را بر روی سطح یک غشای سرامیکی از جنس آلومینا به دام انداخته و فعالیت کاتالیستی پالادیوم برای حذف آلانینده پارا-نیترو فنول را بررسی کرده‌اند، که نتایج آنها نشان از افزایش فعالیت کاتالیستی پالادیوم و حذف مقدار بیشتری از آلانینده داشته است [۱۴].



» شکل ۱۱. استفاده از نانوذرات برای بهبود کارایی غشاء سرامیکی بوسیله به دام انداختن نانوذره بر روی سطح [۱۵]

طرح پایلوت برای نانوفیلتراسیون به وسیله غشاهای سرامیکی

در زمینه نانوفیلتراسیون به وسیله غشاهای سرامیکی، پایلوت‌های اجرا شده زیادی وجود دارد و برخی شرکت‌ها نیز در این زمینه اقدام به طراحی پایلوت برای فیلتراسیون غشایی می‌کنند. یکی از بزرگترین شرکت‌هایی که در این زمینه فعالیت دارد، شرکت GEA می‌باشد که چندین طرح پایلوت برای نانوفیلتراسیون به وسیله غشاهای سرامیکی ارائه داده است. در شکل ۱۲ دو نمونه از سیستم‌های پایلوت نانوفیلتراسیون به وسیله غشاهای سرامیکی که توسط این شرکت طراحی شده‌اند قابل مشاهده می‌باشد [۱۶].



» شکل ۱۲. دو طرح پایلوت شرکت GEA برای نانوفیلتراسیون با غشاهای سرامیکی؛ سمت چپ: طرح پایلوت مدل R و سمت راست: طرح پایلوت مدل C [۱۶]

این شرکت علاوه بر این دو طرح پایلوت که به صورت استاندارد طراحی شده‌اند و آزمایش‌های لازم را پشت سر گذاشته‌اند، طرح‌های دیگری هم در اختیار مشتریان خود می‌گذارد. هر کدام از این طرح‌ها، ویژگی‌های

- منحصربه‌فردی دارند. به عنوان نمونه مشخصات طرح پیلوت مدل C این شرکت در ادامه آمده است [۱۷]:
- قابلیت استفاده برای کاربردهای نانوفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون (با توجه به سایز حفرات غشاء سرامیکی به کار گرفته شده)
- توانایی استفاده از یک واحد غشاء سرامیکی استوانه‌ای شکل
- مخزن خوراک با حجم ۵۰ گالن
- توانایی کنترل دما، فشار و جریان‌های ورودی و خروجی
- استفاده از دو پمپ جداگانه برای خوراک ورودی و همچنین جریان گردش مجدد
- تمامی تجهیزات از جنس استیل
- مساحت سطح غشاء بین ۳/۶ تا ۶/۷ متر مربع
- قابلیت استفاده تا فشار ۱۰۰ psig
- تنظیم دما تا ۲۰۰ درجه فارنهایت
- توانایی استفاده از جریان خنک کننده
- دیگر طرح‌های پیلوت این شرکت برای نانوفیلتراسیون با استفاده از غشاهای مختلف به خصوص غشاهای سرامیکی در مرجع شماره ۱۶ قابل دسترسی هستند.

تخمین هزینه‌ها

با توجه به محصولات موجود در بازار، در حال حاضر برای خرید و راه‌اندازی یک واحد استفاده مجدد از آب جهت مصارف آشامیدنی هزینه‌ای بین ۸ تا ۳۲ هزار دلار (بسته به کارایی مورد نظر و کیفیت دستگاه) مورد نیاز است. سیستم‌های مورد نیاز صنایع نیز با توجه به نیاز هر صنعت و فناوری‌های استفاده شده قیمتی معادل ۱۰ تا ۷۰ هزار دلار دارند که بیشترین هزینه‌های مربوط به صنایع دارویی و زیست‌فناوری می‌باشد. باید توجه داشت که واحدهای استفاده مجدد از آب برای صنایع نسبت به سیستم‌های مربوط به مصارف آشامیدنی، نیاز به سیستم‌های غشایی با پایداری و مقاومت بالاتر در برابر عوامل مختلف مانند عوامل شیمیایی دارند و در نتیجه حساسیت و فناوری پیشرفته‌تری برای ساخت غشاها مورد نیاز خواهد بود، که این امر باعث افزایش هزینه‌های مربوط به این بخش می‌شود.

همچنین غشاهای سرامیکی مسطح نیز دارای قیمتی بین ۱ تا ۸۰ دلار به ازای هر مترمربع و برای غشاهای لوله‌ای بسته به تعداد کانال‌ها، نوع ماده اولیه مصرفی برای ساخت غشاء سرامیکی و همچنین فناوری‌های به کار رفته در ساخت غشاء، به ازای هر متر از غشاء، هزینه‌ای معادل ۱۵ تا ۵۰۰ دلار مورد نیاز خواهد بود. البته لازم به ذکر است که تولیدکننده‌های چینی فعال در این زمینه، محصولاتی با قیمت رقابتی و بعضاً بسیار کمتر از قیمت محصولات اروپایی و آمریکایی ارائه می‌کنند که می‌تواند هزینه‌های راه‌اندازی را تا حد زیادی کاهش دهد.

بازار غشاهای سرامیکی

تا چند سال قبل، غشاهای پلیمری بیشترین سهم بازار غشاها را به خود اختصاص داده بودند و رشد روزافزونی را تجربه می‌کردند. اما این روند با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در ساخت غشاهای سرامیکی و مزایای

بسیار زیاد آن در مقابل غشاهای پلیمری رشد منفی به خود گرفت و امروزه میزان استفاده از غشاهای سرامیکی در فرایندهای غشایی هر ساله رو به افزایش است. شرکت‌های فراوانی بر روی ساخت این نوع غشاء در حال فعالیت هستند که از آن میان می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

شرکت Lenntech یکی از شرکت‌های فعال در زمینه آلودگی زدایی از آب و استفاده مجدد از آب در مقیاس صنعتی می‌باشد که در کشور هلند واقع است. این شرکت محصولات زیادی ارائه می‌دهد که یکی از مهمترین آنها غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون می‌باشد (شکل ۱۳). همچنین این شرکت طرح‌های پایلوت برخی از سیستم‌های خود را هم به مشتریان ارائه می‌دهد.



» شکل ۱۳. یک نمونه از غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون شرکت Lenntech که به صورت تجاری در دسترس می‌باشد [۱۸]

شرکت Tami Industries دیگر شرکت فعال در زمینه تولید غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون می‌باشد. این شرکت آلمانی محصولاتی را در مقیاس آزمایشگاهی و صنعتی تولید می‌کند که بر طبق فناوری‌های نوین می‌باشند [۱۹].

یکی دیگر از شرکت‌های بزرگ و بسیار موفق در تولید غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون و سیستم‌های صنعتی مبتنی بر غشاهای سرامیکی، شرکت آمریکایی Veolia می‌باشد که پروژه‌های بسیاری را در کشورهای مختلف انجام داده است. این شرکت محصولات متنوعی برای کاربردهای مختلف دارد که از آن میان می‌توان به مواردی همچون: صنایع نفت، صنایع غذایی، صنایع بهداشتی و دارویی، معادن، صنایع زیست فناوری^{۱۱} و غیره اشاره نمود. یک نمونه از محصولات این شرکت در شکل زیر قابل مشاهده است [۲۰].



» شکل ۱۴. نمونه‌ای از دستگاه‌های مبتنی بر غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون شرکت Veolia برای استفاده در صنایع دارویی و زیست فناوری [۲۰]

از دیگر شرکت‌های فعال در زمینه ساخت غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون می‌توان به شرکت Burkert آلمان اشاره کرد که محصولات مختلفی در زمینه اولترا و نانوفیلتراسیون برای زمینه‌های مختلف صنعتی و علمی ارائه می‌دهد [۲۱]. شرکت اسپانیایی Biotrit نیز در زمینه فیلتراسیون غشایی فعالیت دارد و سیستم‌های صنعتی و آزمایشگاهی مختلفی را ارائه می‌دهد. این شرکت همچنین در زمینه تولید غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون نیز فعالیت دارد [۲۲].

شرکت دیگری که در زمینه تولید غشاهای سرامیکی و نصب و راه‌اندازی سیستم‌های مبتنی بر این نوع غشاء برای کاربردهای فیلتراسیون مایعات و گازها فعالیت دارد، شرکت Mantec Technical Ceramics می‌باشد. تمرکز محصولات این شرکت انگلیسی بر روی صنایع شیمیایی و دارویی مختلف می‌باشد و در این راستا چندین پروژه را به انجام رسانده است [۲۳].



» شکل ۱۵. تجهیزات نانوفیلتراسیون بر مبنای غشاهای سرامیکی که توسط شرکت Mantec Technical Ceramics در یک کارخانه داروسازی نصب گردیده است [۲۳]

شرکت مطرح Atech Innovations که در کشور آلمان قرار دارد نیز یکی دیگر از تولیدکننده‌های مطرح غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون در بازار می‌باشد. این شرکت انواع مختلفی از غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون را در اندازه‌ها و حفرات مختلف با استفاده از فناوری‌های روز تولید می‌کند که در فرایند تصفیه آب قادر به جداسازی آلاینده‌های مختلف مانند رنگ‌ها و پاک‌کننده‌های شیمیایی می‌باشد [۲۴].



» شکل ۱۶. نمونه‌ای از غشای سرامیکی نانوفیلتراسیون تولید شده توسط شرکت QUA برای سیستم استفاده مجدد از آب [۲۵]

شرکت دیگری که در زمینه ساخت غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون به منظور حذف آلودگی آب در فرایند تصفیه آب و فاضلاب فعالیت گسترده‌ای دارد، شرکت QUA می‌باشد که غشاهای مختلفی برای استفاده در دماهای بالا تولید می‌کند. یک نمونه از غشاهای تولیدی این شرکت در شکل ۱۶ قابل مشاهده است [۲۶].

شرکت‌های داخلی فعال در زمینه تولید غشاهای سرامیکی

با توجه به رشد بسیار زیاد استفاده از غشاهای سرامیکی در دنیا، در سال‌های اخیر در کشور ما هم استفاده از این غشاها برای تصفیه آب و پساب در حال گسترش است. در همین راستا و در سال ۱۳۹۱ شرکت نانویی فناوران با رویکرد ساخت محصولات با کیفیت و قابل رقابت با محصولات مشابه خارجی شروع به فعالیت نمود. این شرکت که به ادعای خود اولین تولید کننده غشاهای سرامیکی در کشور می‌باشد، در زمینه فناوری‌های غشایی به ارائه خدمات مشاوره، راه‌حل‌های جامع، طراحی، اجرا و پشتیبانی، تامین تجهیزات، تامین و راه‌اندازی سیستم‌های تصفیه آب و پساب فعالیت دارد. محصولات این شرکت به دو دسته آزمایشگاهی و صنعتی تقسیم می‌شوند و نمونه‌ای از آنها در شکل زیر قابل مشاهده است [۲۷].



» شکل ۱۷. نمونه‌ای از محصولات شرکت نانویی فناوران؛ شکل سمت راست برای مقیاس آزمایشگاهی و شکل سمت چپ برای مقیاس صنعتی می‌باشد [۲۷]

همچنین طراحی تجهیزات مورد نیاز تولید نانو غشاء سرامیکی لوله‌ای شکل با حمایت ستاد توسعه فناوری نانو در مرکز تحقیقات مواد نانو ساختار دانشگاه صنعتی سهند به اجرا درآمده است (شکل ۱۸). از جمله دستاوردهای اصلی این طرح می‌توان به طراحی تجهیزات مورد نیاز تولید ممبران سرامیکی اعم از سامانه شکل‌دهی، قالب، کوره سینترینگ، سامانه ماشین‌کاری؛ ساخت سامانه‌های شکل‌دهی، قالب، سینترینگ، ماشین‌کاری و آماده‌سازی خط تولید؛ طراحی و ساخت دستگاه جداسازی هیدروژن بر اساس ممبران سرامیکی جهت ساخت پیل سوختی بر اساس قرارداد با سازمان انرژی‌های نو؛ طراحی سامانه پالایشگاهی بر اساس ممبران سرامیکی به سفارش پالایشگاه تبریز؛ تولید ممبران سرامیکی لوله‌ای شکل با قابلیت استفاده در تصفیه آب در مقیاس آزمایشگاهی اشاره کرد [۲۸].



» شکل ۱۸. نانو غشای سرامیکی تولید شده در دانشگاه صنعتی سهند تبریز

جمع بندی

یکی از انواع غشاها که در فرایند نانوفیلتراسیون کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیون می‌باشند، که با توجه به خواصی همچون طول عمر بالا، عدم گرفتگی منافذ در بلندمدت، پایداری حرارتی و مکانیکی بسیار خوب و همچنین مقرون به صرفه بودن، سهم عمده‌ای از بازار غشاهای نانوفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون را به خود اختصاص داده است و در سال‌های اخیر توجه به استفاده از این نوع غشاء در فرایند تصفیه آب رو به افزایش بوده است.

پی‌نوشت‌ها

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| ۱ Water Reuse | ۷ Monolith |
| ۲ Non-potable reuse | ۸ Flat multi-duct plate |
| ۳ Potable reuse | ۹ Immobilization |
| ۴ Inside-Out | ۱۰ Ion-exchange ligands |
| ۵ Outside-In | ۱۱ Biotechnology |
| ۶ Element module | |

مراجع

- ۱ <http://www.acquainnovations.com/water-a-limited-resource/>.
- ۲ www.dewater.com.
- ۳ احمد میرباقری؛ مجید قلهکی؛ بیژن یگانه و خسرو حسینی؛ مقایسه فرآیندهای غشایی در تصفیه و شیرین سازی آب با تکیه بر نانوفیلتراسیون. اسفندماه ۱۳۸۷. اولین کنفرانس بین المللی بحران آب؛ دانشگاه زابل.
- ۴ <http://wikiminiforchem.blogspot.com/2014/10/ultrafiltration-nanofiltration-and.html>.
- ۵ <http://www.inopor.com/en/products/membranes.html>.
- ۶ <http://www.aquasource-membrane.com/-membranes-traitement-.html>.
- ۷ Mueller, U. and M. Witte, Ceramic membranes–Case related protocol for optimal operational conditions to treat filter backwash water. DWTC (TZW), Technau, 2007.
- ۸ Boysen, R.E., Membrane Filtration: An Emerging Tool for Produced Water Management. 2007.
- ۹ www.thembrsite.com.
- ۱۰ <http://www.ceramicindustry.com/articles/93500-sustainable-ceramic-membranes-for-wastewater-applications>.
- ۱۱ <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/ceramic-membranes.asp>.
- ۱۲ alyaexpress-news.com.

- ۱۳ Street, A., et al., Nanotechnology Applications for Clean Water: Solutions for Improving Water Quality. 2014: William Andrew.
- ۱۴ Jiang, H., et al., Catalytic activity of palladium nanoparticles immobilized on an amino-functionalized ceramic membrane support. Chinese Journal of Catalysis, 2014. 35(12): p. 1990-1996.
- ۱۵ <http://pubs.rsc.org/services/images/RSCpubs.ePlatform.Service.FreeContent.ImageService.svc/ImageService/Articleimage/2007>.
- ۱۶ <http://www.gea.com/global/en/productgroups/membrane-filtration-systems/membrane-pilot-plants/index.jsp>.
- ۱۷ <http://www.gea.com/global/en/products/membrane-filtration-pilot-plant-c.jsp>.
- ۱۸ <http://www.lenntech.com/products/membrane/ropur.htm>.
- ۱۹ <http://www.tami-industries.com/INDUSTRIAL-PRODUCTS.2.0.html>.
- ۲۰ <http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/ceramem/en/ceramem-markets-applications.htm>.
- ۲۱ <http://www.burkert.com/en/>.
- ۲۲ <http://www.biotrit.com/index.php?biomnu=100>.
- ۲۳ <http://www.mantectechnicalceramics.com/products-services/porous-ceramics/filtration/ceramic-filters>.
- ۲۴ <http://www.atech-innovations.com/en/products/membranes.html>.
- ۲۵ <http://quagroup.com/ceraq-ceramic-filter/>.
- ۲۶ <http://quagroup.com/>.
- ۲۷ <http://www.nanobtech.com/>.
- ۲۸ <http://www.sut.ac.ir/main/>

مجموعه نرم‌افزارهای «نانو و صنعت»



مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با هدف معرفی کاربردهای فناوری نانو در بخش‌ها و صنایع مختلف طراحی و منتشر شده است. در این نرم‌افزار اطلاعاتی مفید و کاربردی در قالب فیلم مستند، مقاله، کتاب الکترونیکی و مصاحبه با کارشناسان، در اختیار فعالان صنعتی کشور و علاقمندان به فناوری نانو قرار داده شده است.

تاکنون شش عنوان از مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با موضوع کاربردهای فناوری نانو در صنایع «نفت»، «خودرو»، «نساجی»، «ساخت‌وساز»، «بهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است.

مرکز پخش: ۶۶۸۷۱۲۵۹ - www.nanosun.ir

از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



- کاربرد فناوری نانو در عایق‌های حرارتی
- کاربرد فناوری نانو در عایق‌های صوتی
- افزایش تولید و کیفیت محصولات کشاورزی با استفاده از نانو کودهای بیولوژیک
- کاربرد فناوری نانو در صنعت چوب
- کاربرد فناوری نانو در تصفیه آب
- کاربرد فناوری نانو در تصفیه هوا
- کاربرد فناوری نانو در بتن‌های سبک
- کاربرد فناوری نانو در بتن
- نانولیپوزوم‌ها و نقش آن‌ها در رهایش دارو
- کاربرد فناوری نانو در محیط‌های بیمارستانی
- کاربرد فناوری نانو در حسگرهای ساختمانی
- کاربرد فناوری نانو در عایق‌های رطوبت
- کاربرد فناوری نانو در لوله‌های بی‌صدای فاضلاب
- حذف آلاینده‌های آب با استفاده از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی
- کاربرد فناوری نانو در صنعت ساختمان
- استفاده از غشاء نانولوله کربنی جهت نمک‌زدایی و تصفیه آب
- کاربرد فناوری نانو در کاشی و سرامیک
- غنی‌سازی محصولات کشاورزی با نانوکودهای کلاته آهن و روی
- کاربرد فناوری نانو در فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت خام
- خشک کردن انجمادی پاششی
- کیتوسان پلیمری زیست تخریب پذیر در سامانه‌های دارورسانی
- فناوری نانو و بتن‌های ویژه
- کاربرد فناوری نانو در آنالیزگرهای جدید صنایع بالادستی نفت
- کاربردهای فناوری نانو در بخش انتقال شبکه برق‌رسانی
- نقش فناوری نانو در ارتقای کیفی سیمان و مصالح پایه سیمانی
- روش تغییر شکل پلاستیک شدید (SPD) در تولید فلزات نانوساختار
- آلیاژسازی و فعال‌سازی مکانیکی، فناوری تهیه نانومواد
- منسوجات ضد میکروب
- کاربرد فناوری نانو در سازه‌های بتنی هوشمند با قابلیت خود ترمیم‌شوندگی
- لوله‌های حرارتی و کاربردهای آن در انتقال انرژی حرارتی
- کاربرد فناوری نانو در بهبود عملکرد سلول‌های خورشیدی
- نانو حسگرها جهت پایش شاخص‌های حیاتی بدن
- سیستم یون‌زدایی خازنی (CDI)
- کاربرد فناوری نانو در متالورژی پودر فلزات
- کاربرد فناوری نانو در پوشش‌های ضدنقش و ضدنشتار
- میکرو/نانو حباب در صنعت آب و فاضلاب
- نانو حسگرهای تشخیص دهنده مواد منفجره
- استفاده از نانوذرات پلیمری بر پایه PLGA برای دارورسانی هدفمند
- کاربرد فناوری نانو جهت گندزدایی از آب به‌روش ازوناسیون