تکنولوژی غشایی حذف آلودگی های آب به عنوان یکی از استراتژی های تامین آب سالم

دکتراحمد عامری [۱] ، دکترمحمود شریعت [۲] ، دکترعلیرضاصدقی نیا [۲]

واژه های کلیدی : *آب ، آلودگی ، تکنولوژی غشایی*

چکیده

تکنولوژی جداسازی غشایی با تکیه به روش های میکروفیلتراسیون ، اولترافیلتراسیون و اسمز معکوس به مرور اهمیت خود را در بین مهندسین مشاور، طراحان سیستم های کنترل آلودگی محیط زیست و مهندسین کارخانجات صنعتی، بیش از پیش نمایان ساخته است. مزایای ویژه این نوع تکنولوژی به همراه تاکید بر روی بازگرداندن سیال به سیستم و استفاده دوباره از غشاها، باعث افزایش بکارگیری غشاها، در صنعت شده است.

این مقاله جزئیات تکنیکی سیستم های غشایی را توصیف می کند که برای کاربردهای تصفیه سازی مواد آلاینده، طراحی مهندسی شده اند. تعدادی مثال کاربردی نیز مورد بررسی قرار می گیرد. یکی از مهمترین مثال ها استفاده مجدد و تامین آب آشامیدنی در شرایط کمبود و یا اضطراری است.

سرآغاز

امروزه تکنولوژی های تصفیه سازی گوناگونی جهت جدا نمودن آلاینده ها از جریان های خروجی کارخانجات صنعتی و یا بی ضررنمودن آلاینده ها، وجود دارد. شترنگ ۱ تعدادی از فرآیندهای مورد استفاده برای جداسازی این آلاینده ها را از ذخایر آبی نشان می دهد.

روشهای جداسازی غشایی، مزایای زیر را در مقایسه با فرآیندهای مشابه ارائه می دهند:

- فـــرآیند، بصورت مداوم انجام گرفته که این خـــود منجر به سادگی در اتوماسیون تمامی عملیات می گردد.
- مصرف کم انرژی، که نتیجتاً این فرآیند نه مستلزم بکارگیری تغییر فاز سیال است و نه نیازی به تغییرات حرارتی دارد.
- طراحی مدلار، یعنی اینکه هیچ گونه محدودیت عملی در اندازه دستگاه وجود ندارد
- حداقل قسمت های متحرک در سیستم بکار گرفته می شود که خود باعث کاهش نیاز به تعمیر و نگهداری و هزینه های تعمیراتی می گردد.
- هیچگونه اثر شیمیایی بر روی آلاینده ها ایجاد نمی شود
- هیچگونه ماده شیمیایی به سیستم اضافه نمی گردد

شترنگ ۲ تکنولوژی های مختلف غشایی را درچند مورد کاربردی باهم مقایسه می کند.

۱- دانشکده بهداشت ، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران، تهران، ایران.
۲- گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی ، دانشگاه علوم پزشکی وخدمات بهداشتی درمانی تهران ، صندوق پستی ۶۴۴۶ - ۱۴۱۵۵ ، تهران، ایران .

یکی از مزایای مهم این نوع تکنولوژی در مقایسه با روشهای دیگر کنترل آلودگی ، عبارت قابلیت برگرداندن سیال در همان محل عملیات. آلاینده را می توان آب زدایی نمود و یا ... بدون اینکه عملیات فیزیکی یا شیمیایی بر روی آن انجام پذیرد. پس می توان آن را ... درون فرآیند بازگرداند. وقتی که نتوان یک آلاینده را بطور مستقیم به سیستم بازگرداند، ... غشایی را می توان جهت تغلیظ بکار گرفت. درهرصورت، آب تصفیه شده حاصله را می توان دوباره مورد استفاده قرار داد (۶).

یافته ها ، گفتگو و بهره گیری پایانی

امروزه اکثر فرآیندهای غشایی، از یک طراحی مهندسی بنام « جریان موازی » یا « جریان مماسی » استفاده می کنند. دراین مکانیزم ، سیالی که باید تصفیه شود، بطور موازی با سطح غشاء از روی آن عبور داده می شود و از آنجایی که سیستم تحت فشار است، آب یا حلال ، با نیروی زیادی به درون غشاء رانده می شود. جریان متلاطم سیال بر روی سطح غشاء باعث کاهش تجمع ذرات ماده بر روی غشاء شده و نهایتاً منجر به تسهیل در ادامه عملیات جداسازی بصورت پیوسته می گردد (۵).

نگاره ۱ ، هر دو مکانیزم جریان موازی و روش متعارف فیلتراسیون را نشان می دهد.
نگاره ۲ ، مکانیزم میکروفیلتراسیون جریان موازی را نشان می دهد. در فرآیند میکروفیلتراسیون، جداسازی مواد جریان موازی را نشان می دهد. در این فرآیند جداسازی مواد ذره ای غیرقابل حل، در حدود اندازه ۰/۱ تا ۱۰ میکرون (یعنی ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ آنکستروم) صورت می گیرد. جنس بس پارش های غشایی میکروفیلتراسیون دربرگیرنده مواد زیر است : پلی کربنات، پلی استر، مخلوطی از استرهای سلولزی، تری استات سلولز (CTA)، پلی تترافلوروانیلن (PTFE)، پلی ونیل کلراید (PVC) ، کمپوزیت فیلمی نازک (TFC) و نایلون (۴).

نگاره ۳ ، فرآیند اولترافیلتراسیون را بصورت شماتیک ارائه می دهد. از این فرآیند جهت جداسازی مواد در محدوده ۰/۰۰۱ تا ۰/۱ میکرون (یعنی ۱۰ تا ۱۰۰۰ آنکستروم) استفاده می شود. اصولاً ، اولترافیلتراسیون برای خارج نمودن مواد محلول بکار گرفته می شود. در حالی که مواد معلق توسط میکروفیلتراسیون جدا می گردند. بس پارش هایی که معمولاً برای فرآیند میکروفیلتراسیون بکار می روند به گروه های پلی سولفون ، استات سلولز و پلی آمیدها تعلق دارند.

نگاره ۴ ، نشانگر انجام فرآیند اسمز معکوس است که برای جداکردن موادی با اندازه های کمتر از ۰/۰۰۱ میکرون (یعنی کمتر از ۱۰ آنکسترم) بکار گرفته می شود. اسمز معکوس ارائه دهنده مزیت افزوده ای است که در آن مواد یونی را که معمولاً آنقدر کوچکند که از حفره های غشاء عبور می کنند را دفع کرده و اجازه عبور به آنهـــا نمی دهد. اولترافیلتراسیون نیز همانند اسمزمعکوس، جهت جداسازی مواد محلول بکارگرفته می شود.

بس پارش های پلی امید، کمپوزیت فیلمی نازک (TFC)، استات سلولز، تری استات سلولز در فرآیند اسمز معکوس استفاده می شود.

غشاءها را می توان به شکل های گوناگون در سیستم قرار داد که هرکدام از این اشکال بسته به نوع کاربرد آن سیستم، مزایای ویژه خود را ارائه می دهد (۳).

نگاره ۵ ، نمایانگر چهار نوع هندسه اساسی است که امروزه بطور تجارتی در دسترس می باشد.

هندسه لوله ای : این نوع المان از جنس سرامیک، کربن و یا هرگونه پلاستیک حفره دار ساخته می شود. عموماً این گونه المان ها، ازقطر داخلی ۳ میلی متر تا حدوداً ۲۵ میلی متر تغییر می کنند. در بسیاری از موارد، غشاء در واقع سطح داخلی لوله بوده و محلول خوراک در درون لوله جریان می یابد. بدین ترتیب، خوراک ورودی از یک انتها وارد لوله شده و از انتهای دیگر خارج می گردد و فیلتریت (جریان فیلترشده) از درون دیواره های غشاء عبور کرده و در خارج از لوله ، جمع آوری می شود.

هندسه فیبرتوخالی : همانند طراحی المان های لوله ای، فیبرهای توخالی اکثراً از نظر اندازه قطر به مراتب کوچکتر بوده و نیازمند یک ماتریس حمایتی صلب هستند. این کار با پاتینگ[1] دسته لوله در درون یک استوانه، صورت می پذیرد. خوراک ورودی یا از درون فیبر توخالی عبور می کند و یا اینکه از روی سطح خارجی آن گذرانده می شود.

هنـــدســه حـــلزونی : این المان با یک صفحه غشایی مستطیل شکل، به دور یک لوله حفره دار (برای جمع آوری فیلتریت) تولید می شود. حفره های ایجاد شده بر روی لوله مرکزی، عملاً به فیلتریت اجازه می دهند که از المان خارج شده و سپس جمع آوری می شوند (۴).

هندسه صفحه و قاب : تفاوت این سیستم با سیستم حلزونی در دو نکته است. اولاً در هندسه صفحه و قاب از صفحات موازی غشایی استفاده می شود و ثانیاً دسته های صفحه و قاب از لایه های مجزایی تشکیل شده که در هر لایه عمل جداسازی بطور جدا از قسمت همجوار آن صورت می گیرد. شترنگ ۳ مشخصات مهم فیزیکی برخی از المان های غشایی ، که امروزه کاربرد صنعتی دارند، را بطور خلاصه بیان می کند.

از فاکتورهای مهم در طراحی و عملکرد نهایی یک المان غشایی ، می توان به شیمی جریان خوراک ، طراحی عمومی المان های غشایی، سطح غشاء، جنس بس پارش غشایی، دما ، فشار اغمالی ، بازیابی، شرایط الگوی جریان و چگونگی اتصال المان های مختلف به یکدیگر اشاره داشت.

اگر چه تکنولوژی جداسازی غشایی مدتی است که موارد کاربردی زیاد در صنعت جداکردن آلاینده ها و آزمایشات تشخیص پزشکی یافته است، ولی قابلیت و بازدهی این نوع سیستم، هنوز آنچنان باید و شاید مورد بررسی قرار نگرفته است. در ذیل ، توصیف تعدادی از کاربردهای ویژه جداسازی غشایی آمده است (۱).

تصفیه در صنایع فلزی : در برخی موارد، از فرآیند اسمزمعکوس برای سیستم بازیابی آب شستشو دهنده در آبکاری استفاده می شود. آب شستشو دهنده از اولین واحد شستشو دهنده به درون سیستم اسمزمعکوس هدایت می شود و در آنجا، نمک ها، تغلیظ شده و بدنبال آن به مخزن آبکاری برگردانده می شوند. سپس فیلتریت (که همان آب شستشودهنده تصفیه شده است) به آخرین واحد شستشو دهنده هدایت می شود. بدین ترتیب نه حلال و نه جسم حل شده، به هدر نمی روند.

1- Potting

تصفیه آب آلوده شده با روغن: خروجی های امولسیونی آب - روغن عموماً در نتیجه یکی فعالیت های صنعتی زیر تولید می شوند.

عملیات برشی فلزات، مثلاً در تراشکاری که از امولسیون های آب - روغن برای روغن کاری و سردکردن استفاده می کند.

عملیات شکل دادن به فلزات که در آن از امولسیون های آب - روغن برای روغن کاری استفاده می شود.

فرآیندهای حرارتی یا سردکردن سریع فلزات که در آن امولسیون های آب - روغن حین فرآیند جداسازی آلاینده های نفتی از قسمت های فلزی، تولید می شود.

معمولاً ازاولترافیلتراسیون برای جداسازی ذرات روغن معلق در آب استفاده می کنند. نوع پس پارش غشایی و اندازه حفره غشاء تماماً به وسیله شیمی روغن تعیین می شود. روغن جداشده به این طریق را می توان تا حدود ۸۰٪ - ۶۰٪ تغلیظ نمود و در بعضی از موارد، روغن تغلیظ شده را می توان برای تولید انرژی حرارتی ، سوزاند.

جریان فیلتریت ، گاهی آنقدر خالص می گردد که می توان دوباره از آن استفاده کرد در غیراین صورت ، انجام یک مرحله اسمز معکوس بعد از اولترافیلتراسیون ضروری می باشد.

تهیه آب مورد نیاز برای مدارات چاپی در صنعت الکترونیک ؛ از آنجایی که محصولات مدارات چاپی نیازمند به آب شستشو دهنده با کیفیت بالاست (حتی آبی با کیفیتی به مراتب بالاتر از محصولات پروسه آبکاری) ، لذا ، آب عاری از مواد معدنی جهت این کار، استفاده می شود. با بررسی مسایل اقتصادی، بازیابی این آب گران قیمت را کاملاً توجیه می کند.

تصفیه آب خروجی از کارخانجات تهیه نیمه هادی ها : آب خروجی از کارخانجات تولید نیمه هادی ها، عموماً حاوی مقادیر متنابهی از مواد گوناگون است. بنابراین باید در تصفیه آب این کارخانجات، از تکنیک های دیگر همچون ، تبادل یونی ، جذب توسط کربن فعال و هضم بیولوژیکی استفاده کرد.

صنعت های بسیار جالب و امیدبخشی در مقابل صنعت کنترل آلودگی محیط زیست قرار دارند. مهمترین مسئله در این صنعت، بازگرداندن مواد و دوباره استفاده نمودن از آب های مصرفی است. تکنولوژی های جداسازی غشایی، همچون میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون و اسمزمعکوس، مزایای بسیاری را در تصفیه سازی جریان های خروجی از کارخانجات و مراکز صنعتی ارائه می دهند (۲).

موقعی این ویژگی خود را بیش از پیش نمایان می سازد که از آنها در یک فرآیند کلی بازیافت و باز سازی سود برده شود. باید گفت که تحقیق و بررسی در مورد غشاها، همچنان ادامه دارد و تنها با صرف هزینه کافی دراین بخش است که می توان از این تکنیک برتر در جلوگیری از آلودگی محیط زیست استفاده مؤثرتری نمود.

شترنگ ۱ - فرآیندهای جداسازی آلاینده ها از ذخایر آبی

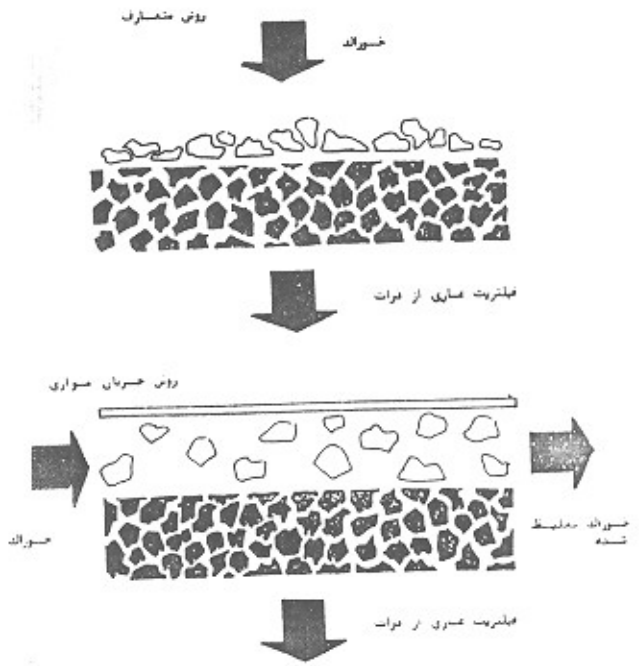
نوع فرآیند	حذف BOD محلول	حذف جامدات کلوئیدی معلق	حذف مواد غیرآلی محلول	حذف میکروارگانیسم ها
الف) فرآیندهای بیولوژیکی				
۱- فرآیندهای زیستی	•	-	-	-
۲- هضم غیرهوازی	•	•	-	-
ب) فرآیندهای شیمیایی				
۱- اکسیداسیون کاتالیزوری	•	•	-	•
۲- کلریناسیون	•	•	-	•
ج) فرآیندهای فیزیکی				
۱- جذب کردن فعال دانه ای	•	•	-	-
۲- فیلتراسیون شنی	-	•	-	•
د) فرآیندهای غشایی				
۱- میکروفیلتراسیون	-	•	-	•
۲- اولترافیلتراسیون	•	•	-	•
۳- اسمزمعکوس	•	•	•	•

شترنگ ۲ - تکنولوژی های گوناگون غشایی

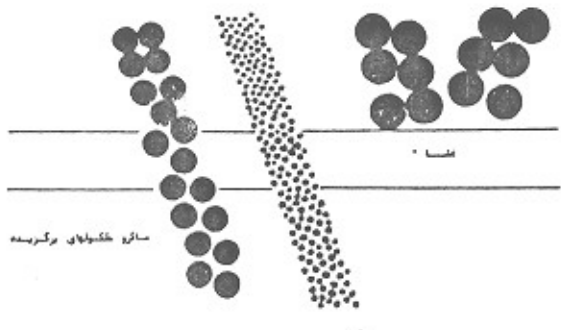
مشخصه	میکروفیلتراسیون	اولترافیلتراسیون	اسمزمعکوس
جداسازی جامدات معلق	بله	بله	خیر
جداسازی مواد آلی محلول	خیر	بله	بله
جداسازی مواد غیرآلی محلول	خیر	خیر	بله
قابلیت تغلیظ سازی	زیاد	زیاد	متوسط
خلوص محلول از فیلترعبورکرده	زیاد	زیاد	زیاد
مصرف انرژی	کم	کم	متوسط
پایداری غشاء	زیاد	زیاد	متوسط

جدول ۳- مشخصات مهم فیزیکی المان های غشایی

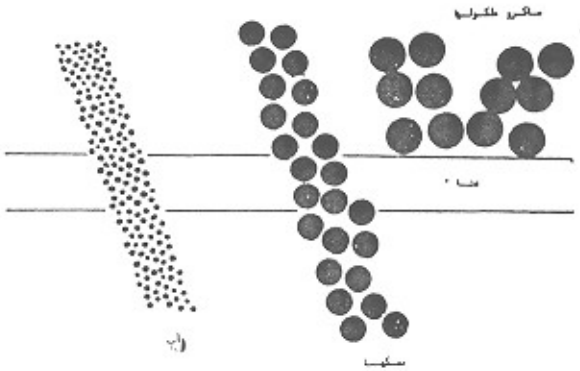
هندسه المان	فاکتوردانسیته (سطح غشا / حجم فضای اشغال شده =) پرشدگی	قابلیت جداسازی جامدات معلق
لوله ای	کم	زیاد
فیبرتوخالی	بسیارزیاد	کم
حلزونی	زیاد	متوسط
صفحه و قاب	کم	زیاد



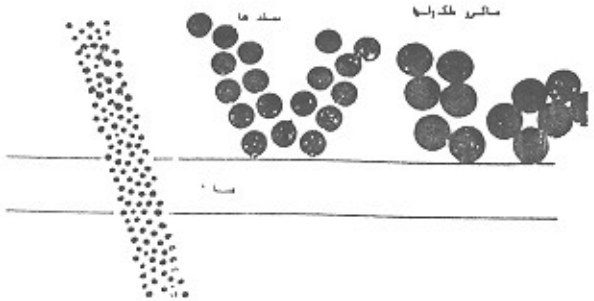
نگاره ۱ - روش های فیلتراسیون (۴)



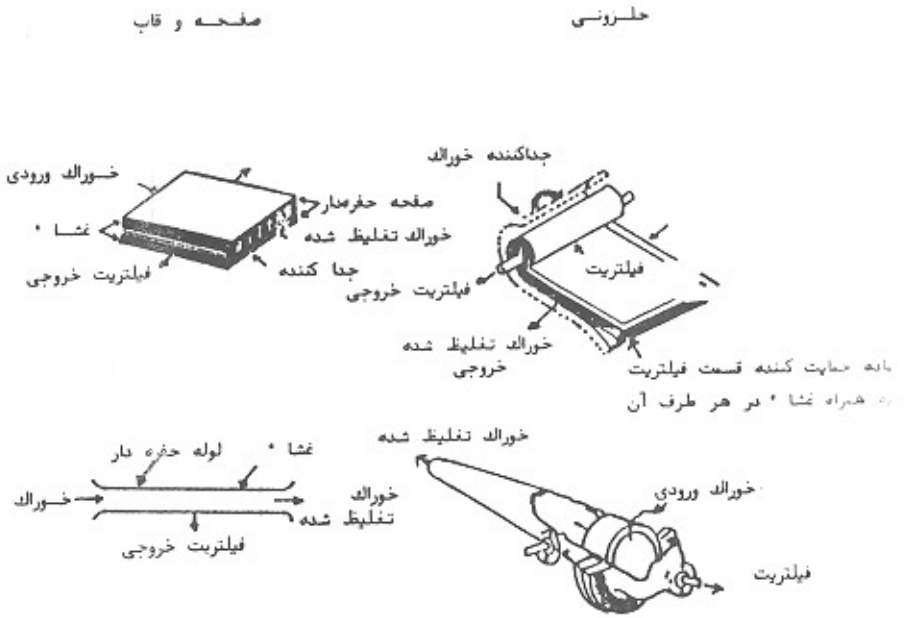
نگاره ۲ - میکروفیلتراسیون (۴)



نگاره ۳ - اولترافیلتراسیون (۴)



نگاره ۴ - اسمزمعکوس (۴)



نگاره ۵ - فرم های گوناگون المان های غشایی (۶)

کتابنامه

1- Applegate, L.E. (1984): Chem. Eng., 91 (21).
2- Dickson, M. (1994): J. of Desalination, **99:** 1 - 18.
3- Ebrahim , S. and Abdel, M. (1994): Jawad, J. of Desalination, 99.
4- Fitration and Separation (1995): **32**(10): 939 - 945.
5- Gesan, G. (1995): J. of Membrane Science, 104.
6- Strathmann, H. (1981): J. of Membrane Science, 9.
7- Lonsdale, H.K. (1982): J. of Membrane Science, 10.