



بررسی تاثیر میدان‌های الکترومغناطیسی بر روی رسوبات و فولینگ‌های ممبران‌های صنعتی در واحد اسمز معکوس پتروشیمی بوشهر

سید اسماعیل محمدی مهر

دکتری گروه مهندسی شیمی، بیوشیمی و بیوتکنولوژی، ایران

es.mohammadi1367@gmail.com

ارسال: شهریور ماه ۱۴۰۰ پذیرش: مهر ماه ۱۴۰۰

چکیده

در مطالعه حاضر، تاثیر میدان الکترومغناطیسی روی انتقال نمک و آب و کاهش رسوب کربنات در حین نمک زدایی با اسمز معکوس بررسی شد. میدان الکترومغناطیسی توسط جریان AC از طریق یک سیم پیچ سولنئید اطراف ماژول جداسازی غشایی تولید شد. شدت و فرکانس جریان به ترتیب ۲۵ آمپر و ۵۰ هرتز بود. آزمایشات با استفاده از محلول CaCO_3 با غلظت ۵/۵ میلی مول بر لیتر انجام شدند. برای مقایسه، نمک زدایی توسط غشا در حضور و فقدان میدان الکترومغناطیسی انجام شد. اگرچه دمای فرآیند نمک زدایی ثابت نگهداشته شد، دمای محصول به هنگام اعمال میدان الکترومغناطیسی کمتر از ۲ درجه سانتی گراد افزایش یافت. سیستم زمانی که در معرض میدان الکترومغناطیسی قرار گرفت به صورت پایدار عمل کرد. در طول آزمایشات، دفع نمک، سرعت جریان نفوذی (تصفیه شده)، و افت فشار غشایی در حضور و در غیاب میدان الکترومغناطیسی مقایسه شدند. علاوه بر این، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) برای بررسی مورفولوژی رسوبات استفاده شد. مشخص شد که دفع نمک و سرعت جریان نفوذی به هنگام اعمال میدان الکترومغناطیسی افزایش می یابد. علاوه بر این، آنالیز SEM ثابت کرد که رسوبات CaCO_3 تشکیل شده در حضور میدان الکترومغناطیسی به شکل پودری هستند و چگالی کمتر از رسوبات تشکیل شده در موارد عدم استفاده از میدان الکترومغناطیسی دارند.

کلمات کلیدی: ممبران، میدان الکترومغناطیسی، اسمز معکوس، رسوب.

۱- مقدمه

فرآیند اسمز معکوس (RO) فرآیندی معمول و مناسب برای نمک زدایی از آب های شور برای تولید آب خالص برای کاربردهای صنعتی و آشامیدن است. یکی از معایب این فرآیند تشکیل فولینگ های زیستی و ذره ای روی سطح غشای اسمز معکوس است که شدیداً بر عملکرد غشا تاثیر گذاشته و مصرف انرژی را افزایش می دهد. امروزه، روش های مختلفی برای جلوگیری از تشکیل رسوب روی سطح غشا یا کاهش اثرات نامطلوب آن استفاده می شوند. این روش ها شامل پیش تصفیه محلول خوراک، تنظیم یا طراحی ویژگی های غشا، پاکسازی هیدرولیک، شیمیایی و الکتریکی، و بهبود شرایط عملیاتی هستند [۱]. در این مقاله، میدان الکترومغناطیسی (EMF) به عنوان روشی جدید برای کاهش فولینگ روی سطح غشا استفاده شده است.

براساس جستجوهای صورت گرفته، تاریخچه تصفیه آب به سال ۱۸۰۳ باز می گردد [۲]، اگرچه تاریخچه ی استفاده از تصفیه مغناطیسی مشخص نیست. مطالعات انجام شده روی تصفیه مغناطیسی و الکترومغناطیسی آب دهه ها انجام شده اند و در آن زمان دانشمندان و محققان بسیاری تاثیر میدان های مغناطیسی و الکترومغناطیسی روی ویژگی های آب و کیفیت تصفیه آب را بررسی کرده اند اما نتایج گزارش شده هنوز متناقض هستند. دانشمندان روسی نشان داده اند که میدان مغناطیسی اعمال شده روی آب با کاهش تشکیل فولینگ باعث افزایش خلوص و تصفیه آب می شوند [۳]. علاوه بر این، محققان بسیاری اشاره کرده اند که به هنگام عبور آب از میدان مغناطیسی، فولینگ تشکیل شده روی دیواره تجهیزات کاهش یافته و به صورت لایه غیر چسبنده بسیار نازکی تشکیل می شود [۴-۹].

در مطالعات انجام شده روی تاثیر میدان های مغناطیسی بر روی آب و محلول های آبی، کلسیم کربنات (CaCO_3) به دلیل کاربرد گسترده آن و همچنین این واقعیت که رسوبات (یا ته نشست های) سخت و زیان بار ایجاد می کند به شدت در نظر گرفته می شود. فولینگ کلسیم کربنات در سه شکل متفاوت کلسیت، آراگونیت، و واتریت یافت شده است. رسوبات آراگونیت چسبندگی کمتری دارند اما رسوبات کلسیت بسیار چگال و چسبنده هستند. دونالدسون ثابت کرد که بعد از اعمال میدان مغناطیسی، تشکیل رسوبات آراگونیت افزایش می یابد [۱۰]. مطالعات دیگر نیز اثر مشابهی را برای میدان مغناطیسی تایید کرده اند [۵، ۱۱-۱۳]. براساس مطالعات انجام شده توسط بانزاد و عبدالصالحی، در حضور میدان مغناطیسی اندازه بلورها کوچک تر شده و در عین حال افزایش در تعداد آن ها که به نفع هسته زایی است وجود دارد [۱۴]. سایر محققان نیز مشاهدات مشابهی را گزارش کرده اند [۱۵ و ۱۶]. مطالعات دیگری روی تاثیر تیمار مغناطیسی بر روی سیستم های جداسازی غشایی وجود دارد. ژیانکسین و همکاران از میدان الکترومغناطیسی به عنوان مرحله ی پیش تصفیه فرآیند نانوفیلتراسیون استفاده کردند. آن ها تاثیر میدان الکترومغناطیسی روی مقدار تشکیل رسوبات CaCO_3 را بررسی کردند. آن ها مشاهده کردند که در حضور میدان الکترومغناطیسی، ضخامت و چگالی رسوبات تشکیل شده روی سطح غشا کاهش یافته و درصد بلورهای آراگونیت افزایش می یابد [۱۷].

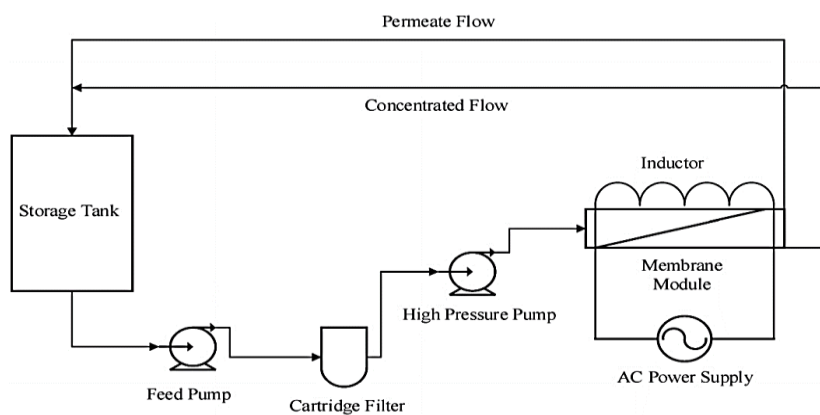
در سال ۲۰۱۱، مارک گریتا تاثیر میدان مغناطیسی ثابت را به عنوان مرحله پیش تصفیه فرآیند فیلتراسیون غشایی مطالعه کردند. او مشاهده کرد که اعمال میدان مغناطیسی رسوبات را ۱۰ تا ۲۵ درصد کاهش داده، اندازه ی بلورها را بیشتر کرده، و شار غشایی را افزایش می دهد [۱۸]. همچون فرآیندهای RO، مطالعه ی اول در سال ۱۹۹۶ توسط ال-قحطانی انجام شد. او مشاهده کرد که استفاده از میدان مغناطیسی ثابت به عنوان مرحله پیش تصفیه برای فرآیندهای RO به منظور خالص سازی آب دریا قادر به کاهش مقدار عبور نمک از غشا می باشد [۳]. با این حال، بیکر و همکاران نتایج متفاوتی را گزارش کردند. آن ها عبور محلول اشباع از کلسیم کربنات از میدان مغناطیسی و سپس فیلتراسیون غشایی را بررسی کردند. آن ها مشاهده کردند حضور میدان مغناطیسی کارآیی غشای RO را افزایش می دهد اما فولینگ روی سطح غشا را نیز بیشتر می کند. آن ها اشاره کردند که در حضور میدان مغناطیسی مقدار تشکیل رسوب در مرحله ی فیلتراسیون ابتدایی افزایش می یابد [۱۵]. دواویاسان تاثیر ترکیبی توربلانس (آشفتگی) ایجاد شده توسط توزیع کننده جریان و میدان الکترومغناطیسی روی فولینگ زیستی غشاهای RO را بررسی کرد. براساس مشاهدات او، میدان الکترومغناطیسی فولینگ زیستی روی سطح غشا را کاهش داده و افت فشار تراغشایی را کم تر می کند [۱۹]. ژانگ و همکاران تاثیر میدان الکترومغناطیسی روی شار بحرانی تشکیل رسوب روی غشاهای RO را بررسی کرده و مشاهده کردند که اعمال یک میدان الکترومغناطیسی باعث افزایش شار بحرانی تشکیل رسوب و کاهش فولینگ می شود [۲۰]. عملکرد موثر EMF باعث کاهش رسوب روی سطح غشا و کاهش افت فشار می شود. با اعمال EMF، برای جلوگیری از رسوب گذاری به میزان کمتری از عوامل ضد رسوب نیاز است. بنابراین، حذف استفاده از مواد شیمیایی تخریب کننده محیط زیست از مزایای این روش است. علاوه بر این، افزایش عملکرد غشا به دلیل کاهش فشار عملیاتی سیستم انتظار می رود.

مرور مقالات نشان داد که بیشتر محققان کاربرد موفق میدان مغناطیسی در پیش تصفیه خوراک را گزارش کرده اند. مطالعه حاضر نتایج به دست آمده با اعمال یک میدان الکترومغناطیسی (EMF) روی سطح غشای RO و مطالعه تاثیرات آن روی بهبود عملکرد غشا در فرآیند فیلتراسیون محلول CaCO_3 ، همچنین مقدار رسوبات تشکیل شده روی سطح غشا را نشان می دهد. پارامترهای بررسی شده در این مطالعه شامل تاثیر میدان الکترومغناطیسی روی دفع نمک غشا، افت فشار غشا، و رسوبات تشکیل شده روی غشا قبلا بررسی نشده اند.

۲- مواد و روش ها

در این مطالعه سیستم تصفیه آب اسمز معکوس سیستم WS1250FS Residential RO با ظرفیت عددی ۱۰۰ ~ ۵۰ GPD تولید Filmtec آمریکا بود. این سیستم سه مرحله پیش تصفیه شامل یک فیلتر الیافی ۵ میکرومتری، یک فیلتر کربنی و یک فیلتر کربن سیاه دارد که با حذف دومین و سومین مراحل پیش تصفیه و بای پس خوراک به مرحله نهایی تغییر داده شده است. خلاصه ای از ستاپ استفاده شده در شکل ۱ نشان داده شده است. این ستاپ شامل یک مخزن ذخیره خوراک ۵۰ لیتری، یک پمپ تغذیه، یک فیلتر کارتریج ۵ میکرومتری، یک پمپ با فشار زیاد، یک ماژول غشایی، یک دستگاه تولید کننده میدان الکترومغناطیسی، و مانومتر است. پمپ با فشار زیاد یک مدلل دیافراگم دار است که فشاری حدود ۸۰-۱۲۰ psig تولید می کند. همه ی اتصالات و مخزن نگهداری استفاده شده در این ستاپ از فولاد و PVC ساخته شده اند. غشای RO استفاده شده در آزمایشات DOW FILMTEC™ BW-30hr-440i تولید شده توسط DOW ایالات متحده آمریکا بود. مشخصات غشا در جدول ۱ داده شده است.

برای حفظ شباهت بین آزمایشات انجام شده، بعد از هر آزمایش یک غشای جدید قرار داده شد. میدان الکترومغناطیسی به صورتی طراحی شد که به صورت مداوم روی غشا اعمال شده باشد. براساس قانون فارادی، جریان الکتریکی متناوب عبوری از سولنوئید باعث ایجاد میدان الکتریکی و مغناطیسی متناوب می شود. بنابراین، برای ایجاد میدان مغناطیسی یک سولنوئید مسی با طول ۲۰ سانتی متر و ۴۰ دور در اطراف ماژول غشایی پیچانده شد. جریان یافتن جریان الکتریکی متناوب (۲۵ آمپر، ۵۰ هرتز) از داخل سولنوئید باعث ایجاد میدان الکترومغناطیسی در سولنوئید و در سطح غشای RO می شود. الگوی میدان الکترومغناطیسی طراحی شده در شکل ۲ نشان داده شده است. میدان الکتریکی بسته به جهت میدان مغناطیسی در جهت عقربه های ساعت یا خلاف جهت عقربه های ساعت به صورت دایره ای بود. شدت میدان الکتریکی همچون میدان مغناطیسی به صورت چرخه ای براساس فرکانس جریان AC عبوری از سولنوئید بود.



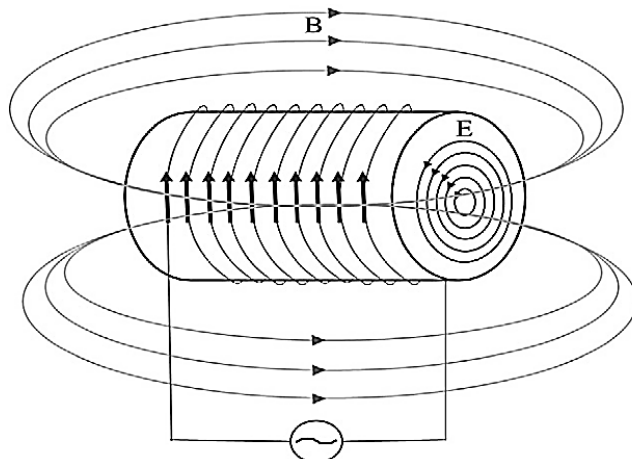
شکل ۱- دیاگرام شماتیک واحد اسمز معکوس و ژنراتور EMF.

جدول ۱- ویژگی های غشای RO DOW FILMTEC™ BW-30hr-440i

نوع غشا	کامپوزیت فیلم نازک پلی آمید
حداکثر دمای عملیاتی	۱۱۳ درجه فارنهایت (۴۵ درجه سانتی گراد)
حداکثر فشار عملیاتی	۴۵۰ Psig (۳۰ بار)
حداکثر سرعت جریان خوراک	۲.۰ Gmp (۷.۶ lpm)
دفع نمک (%)	۹۸ ~ ۹۶
محدوده ی pH، عملیات پیوسته	۲-۱۱
حداکثر شاخص تراکم سیلت (SDI) خوراک	۵
تحمل کلر آزاد	کمتر از ۰.۱ ppm

محلول خوراک استفاده شده در آزمایشات محلول کلسیم کربنات (CaCO_3) بود. به منظور جلوگیری از هر گونه عوارض جانبی ایجاد شده توسط یون های خارجی، محلول حاصل CaCO_3 که فقط حاوی یون های Ca^{2+} ، CO_3^{2-} ، و HCO_3^- بود استفاده شد. چون حلالیت کلسیم کربنات در آب بسیار کم است، باید آن را به آب اشباع از کربن دی اکسید اضافه کرد تا کلسیم بیکربنات محلول تشکیل

شود. بنابراین، محلول با حل کردن پودر CaCO_3 خالص با درجه معرف به آب دیونیزه تحت شرایط ایجاد حباب های کربن دی اکسید تهیه شد:



شکل ۲- پروفایل مقطع عرضی و کتورهای شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی تولید شده، تامین شده توسط منبع AC در یک سولنوئید

حجم خوراک استفاده شده در آزمایشات ۲۵ لیتر و غلظت CaCO_3 در محلول ۵۵۰ میلی گرم بر لیتر بود که در طول آزمایشات ثابت نگهداشته شد. این غلظت بیشترین غلظت CaCO_3 بود که تحت شرایط آزمایشگاهی ما در محلول به دست آمد. دو مجموعه آزمایش انجام شد: (i) در حضور میدان الکترومغناطیسی، و (ii) در غیاب میدان الکترومغناطیسی (به عنوان مرجع). هر دو آزمایش تحت شرایط یکسان انجام شدند و ۳۸ ساعت به طول انجامیدند. آزمایشات در حضور میدان الکترومغناطیسی در دو تکرار انجام شدند. برای اطمینان از جمع آوری اطلاعات تحت شرایط یکسان، هر سیستم برای رسیدن به وضعیت پایدار ۲ ساعت کار کرد. در هر آزمایش، خوراک به پمپ پرفشار منتقل شده و با ۸۶ psig و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد تحویل داده شد. جریان خروجی غشایی که شامل جریان نفوذی و تغلیظ شده است به مخزن تغذیه بازگردانده شد. هر ۲ ساعت، پارامترهای ارزیابی عملکرد غشاهای RO و فولینگ آن اندازه گیری شدند. این پارامترها هدایت (رسانایی) الکتریکی و دمای خوراک، جریان های نفوذی و تغلیظ شده، سرعت جریان حجمی نفوذی و تغلیظ شده، و افت فشار تراغشایی بودند. همچنین، برای مطالعه نوع و مقدار فولینگ CaCO_3 روی غشای RO، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. تغییرات دما در طول آزمایشات تقریباً یکسان بود اگرچه در حضور میدان الکترومغناطیسی دمای خروجی غشا اندکی (حدود ۱ تا ۲ درجه سانتی گراد) بیشتر از میزان مربوط به سیستم فاقد میدان الکترومغناطیسی بود، اگرچه این تفاوت ناچیز بود. تغییرات دما در شکل ۳ نشان داده شده اند. ارزیابی عملکرد غشایی براساس دفع نمک، شار نفوذی، و افت فشار تراغشایی انجام شد. برای بیان عملکرد غشایی از نظر حذف CaCO_3 ، پارامتر رد نمک براساس معادله زیر تعریف شد:



که Cp و Cf به ترتیب غلظت جریان خوراک و نفوذی هستند. این نسبت در بازه های ۲ ساعته اندازه گیری و ثبت شد.

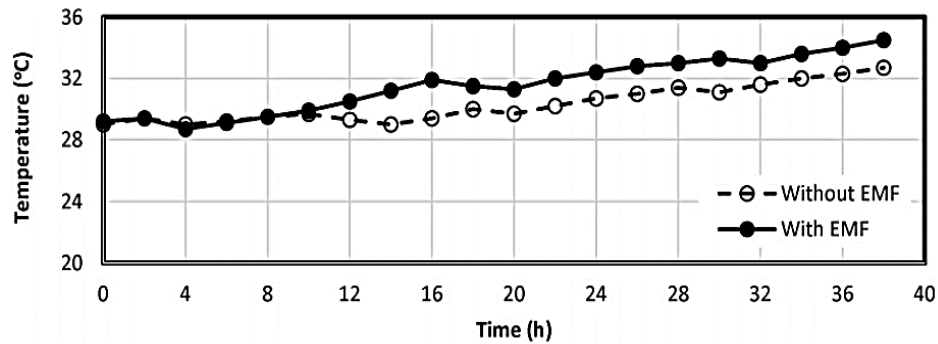
۳- نتایج و بحث

پارامترهای اندازه گیری شده در طول ۳۸ ساعت عملیات برای غشاهایی که در حضور و در غیاب میدان الکترومغناطیسی عمل کرده بودند مقایسه شدند. همه ی شرایط آزمایشگاهی در هر دو مورد یکسان بودند. شکل ۴ تغییرات دفع نمک CaCO_3 توسط غشاهای RO را در برابر زمان در حضور و در غیاب میدان الکترومغناطیسی نشان می دهد.

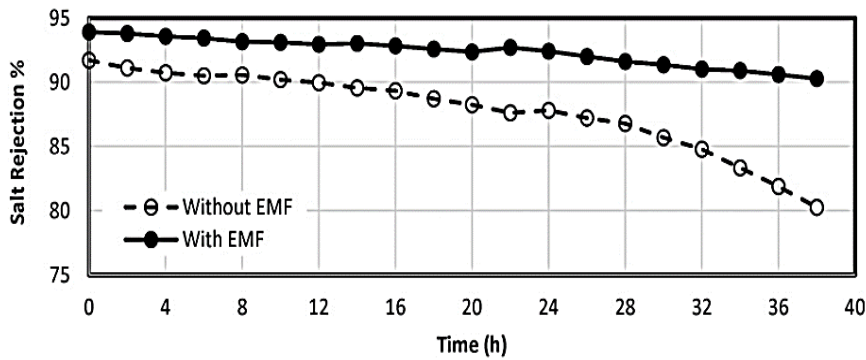
شکل ۴ نشان می دهد که در غیاب میدان الکترومغناطیسی، دفع نمک به تدریج کاهش می یابد. در نتیجه، عبور نمک از غشا افزایش می یابد که نشان دهنده کاهش خلوص جریان تصفیه شده در طول زمان است. با استفاده از میدان الکترومغناطیسی، دفع نمک افزایش می یابد که نشان دهنده کاهش عبور نمک از خلال غشا و به دست آمدن محصول خالص تر است. مقدار متوسط دفع نمک در حضور EMF حدود ۵.۳٪ بیشتر از مقدار آن در غیاب EMF است. یک پارامتر مهم دیگر برای ارزیابی عملکرد غشاهای RO جریان خالص نفوذی (تصفیه

شده) از غشا است. تغییر سرعت جریان نفوذی از خلال غشا در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل، سرعت جریان حجمی نفوذی (میلی لیتر بر ثانیه) در برابر زمان رسم شده است.

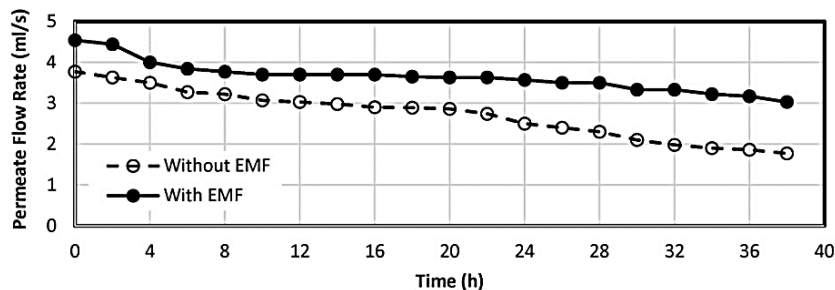
$$SR = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100 \quad (2)$$



شکل ۳- تغییرات دمای جریان نفوذی در برابر زمان با و بدون EMF

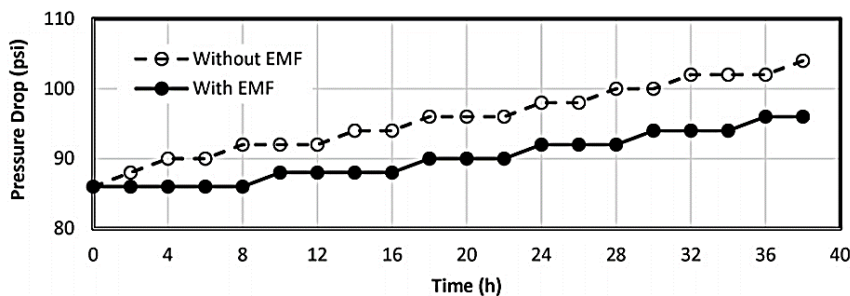


شکل ۴- دوره زمانی دفع نمک با و بدون EMF

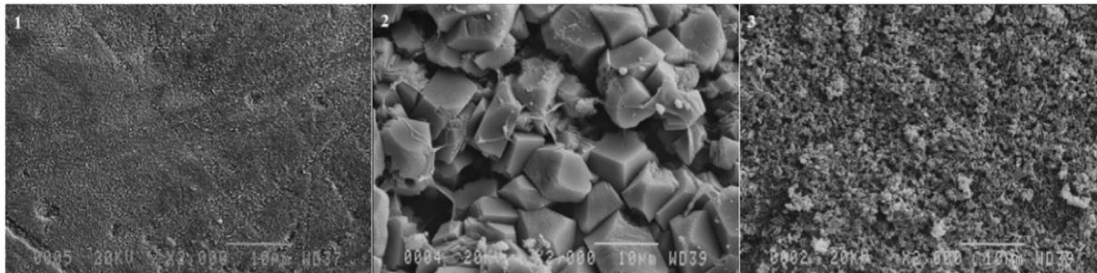


شکل ۵- دوره زمانی تغییرات سرعت جریان نفوذی با و بدون EMF

براساس شکل ۵، در هر دو مورد سرعت جریان حجمی تصفیه شده کاهش یافته است. با این حال، در مورد عدم اعمال EMF میزان کاهش بیشتری وجود دارد. در حضور EMF، سرعت جریان تصفیه شده در مقایسه با مورد عدم اعمال EMF حدود ۳۰٪ افزایش دارد. شار نفوذی از غشا به طور معکوس با فولینگ سطح غشای RO مرتبط است. به همین دلیل است که در مورد اعمال EMF فولینگ کمتری رخ می دهد. این نتیجه با ارزیابی افت فشار غشا حین فرآیند فیلتراسیون تحقیق شد. تغییر افت فشار غشای RO در برابر زمان در شکل ۶ نشان داده شده است. شکل ۶ به وضوح نشان می دهد که افت فشار غشا در طول زمان به طور معنی داری به هنگام اعمال EMF کمتر است. فولینگ غشا دلیل افزایش افت فشار می باشد. بنابراین، فولینگ غشا به هنگام اعمال EMF کمتر است. این استدلال با بررسی تصاویر SEM گرفته شده از سطح غشا که در شکل ۷ نشان داده شده است تقویت شد.



شکل ۶- تغییرات افت فشار غشایی در برابر زمان با و بدون EMF



شکل ۷- تصویر SEM (ولتاژ ۲۰ کیلوولت و بزرگنمایی *۲۰۰۰) رسوبات تشکیل شده روی سطح غشا در طول فیلتراسیون: (۱) غشای خام، (۲) بعد از

فیلتراسیون بدون EMF، (۳) بعد از فیلتراسیون با EMF

همانطور که می توان دید، شدت فولینگ روی غشای RO در غیاب میدان الکترومغناطیسی بسیار بیشتر است. فولینگ CaCO_3 تشکیل شده روی سطح غشا بدون اعمال EMF به صورت بلورهای کامل مشاهده شد و بسیار چگال بود. در مقابل، فولینگ تشکیل شده در حضور EMF پودری و با چگالی کمتر بود. این مساله می تواند دلیل کاهش افت فشار حین فرآیند فیلتراسیون و شار نفوذی بیشتر از غشا در حضور EMF باشد که منجر به افزایش عملکرد غشا می گردد. مقایسه ی فولینگ تشکیل شده روی سطح غشاها نشان می دهد که پدیده ی پلاریزاسیون غلظتی احتمالاً به هنگام عدم اعمال EMF غالب تر است. این مساله باعث ایجاد یون های بارداری می شود در مجاورت سطح غشا تجمع پیدا می کنند تا زمان کافی برای هسته زایی و کریستالیزاسیون روی سطح غشا داشته باشند. تشکیل بلورهای چگال روی سطح غشا که در شکل ۶ نشان داده شده است (۲) این استدلال را تایید می کند. در مقابل، در حضور میدان الکترومغناطیسی، به دلیل ضعیف شدن پلاریزاسیون غلظتی، یون های باردار زمان کافی برای تجمع در مجاورت غشا برای تشکیل بلور را ندارند. از طرف دیگر، تشکیل ذره ای فولینگ CaCO_3 نشان می دهد که میدان الکترومغناطیسی هسته زایی در کل مایع را افزایش داده و رشد بلور روی سطح غشا را کاهش می دهد. مشاهدات دیگر نشان می دهند که فولینگ تشکیل شده روی سطح غشاهای RO در حضور میدان الکترومغناطیسی در مقایسه با سایر موقعیت ها بسیار نرم تر بوده و کمتر به سطح غشای خود می چسبند. این ویژگی امکان حذف فولینگ و شستن غشا را ساده تر می کند. میدان الکترومغناطیسی با ترکیب جریان متناوب و میدان مغناطیسی تولید می شود. در آزمایشات ما، میدان الکتریکی تولید شده موازی با سطح غشا است و بنابراین یون های موجود در کل مایع و ذرات موجود تجمع یافته در لایه ی پلاریزاسیون غلظتی نیروهایی در دو جهت مخالف دریافت می کنند. این نیروهای مخالف باعث افزایش احتمال برخورد یون های با بار مخالف را افزایش داده و هسته زایی در مایع کل و در لایه ی پلاریزاسیون غلظتی را افزایش می دهد. بنابراین، با افزایش هسته زایی در مایع کل، بلورهای تشکیل شده کوچک تر بوده و چسبندگی کمتری به سطح غشا دارند. همچنین، این امکان وجود دارد که مقادیر بیشتری از رسوب توسط جریان تغلیظ شده ماژول غشایی را ترک کنند. عوامل دیگری که ممکن است بر این پدیده تاثیر بگذارند اثر دی الکتریک ناشی از گرادیان میدان الکتریکی، نیروی لورنتز ناشی از حرکت ذرات باردار در میدان مغناطیسی، و اثر گرادیان مغناطیسی هستند. هر کدام از این فاکتورها به دلیل تاثیر روی ذرات باردار و به تاخیر انداختن تشکیل لایه ی پلاریزاسیون غلظتی قادر به افزایش تحرک آنیون ها و کاتیون ها در محلول هستند.

۴- نتیجه گیری

نتایج نشان می دهند که اعمال میدان الکترومغناطیسی روی سطح غشاهای RO قادر به افزایش قابل توجه عملکرد غشا است. حضور میدان الکترومغناطیسی دفع نمک را افزایش داده و عبور نمک از غشا را کاهش می دهد و همچنین شار نفوذی از غشا را بیشتر کرده و فولینگ

روی سطح غشا را کمتر می کند. فولینگ تشکیل شده روی سطح غشا نشان می دهد که اعمال میدان الکترومغناطیسی باعث تاخیر در تشکیل لایه پلاریزاسیون غلظتی روی سطح غشا می شود. همچنین هسته زایی کاتیون ها و آنیون ها در مایع کل را افزایش داده و بلورهای نرم و پودری ایجاد می کند که بسیار کاهش یافته اند. استفاده از میدان الکترومغناطیسی روشی جدید و عملی برای مقابله با پدیده پلاریزاسیون غلظتی در همه فرآیندهای غشایی است. مشخصات این روش باعث عدم افت گسترده ی فشار در فرآیند، کاهش مصرف انرژی، مصرف کمتر مواد ضد رسوب در فرآیند و همچنین کاهش هزینه های عملیاتی می شود.

۵- تشکر و قدردانی

از تمامی کارکنان مجموعه پتروشیمی بوشهر و مدیریت محترم عامل جناب آقای مهندس جوکار که در امر تحقیقاتی توجه شایانی به مجموعه پتروشیمی بوشهر داشته اند تقدیر و تشکر می کنم .

۶- منابع

1. R.D. Noble, S.A. Stern, Membrane Separations Technology - Principles and Applications, 21995.
2. J. Brower, Magnetic water treatment, Pollut. Eng. 37 (2) (2005) 26–28.
3. H. Al-Qahtani, Effect of magnetic treatment on gulf seawater, Desalination 107 (1) (Sep. 1996) 75–81.
4. K.W. Busch, M.A. Busch, Laboratory Studies on Magnetic Water Treatment and Their Relationship to a Possible Mechanism for Scale Reduction, 1091997 131–148.
5. L.C. Lipus, D. Dobersek, Influence of magnetic field on the aragonite precipitation, Chem. Eng. Sci. 62 (7) (Apr. 2007) 2089–2095.
6. S. Parsons, B. Wang, S. Judd, T. Stephenson, Magnetic treatment of calcium carbonate scale—effect of pH control, Water Res. 31 (2) (1997) 339–342.
7. C. Smith, P.P. Coetzee, J.P. Meyer, The effectiveness of a magnetic physical water treatment device on scaling in domestic hot-water storage tanks, Water SA 29 (3) (2004) 231–236.
8. C.Y. Tai, C.-K. Wu, M.-C. Chang, Effects of magnetic field on the crystallization of CaCO₃ using permanent magnets, Chem. Eng. Sci. 63 (23) (Dec. 2008) 5606–5612.
9. L.D. Tijjing, H.Y. Kim, D.H. Lee, C.S. Kim, Y.I. Cho, Physical water treatment using RF electric fields for the mitigation of CaCO₃ fouling in cooling water, Int. J. Heat Mass Transf. 53 (7–8) (Mar. 2010) 1426–1437.
10. J.D. Donaldson, Scale prevention and descaling, Tube Int. 7 (1) (1988) 39–42.
11. M.-C. Chang, C.Y. Tai, Effect of the magnetic field on the growth rate of aragonite and the precipitation of CaCO₃, Chem. Eng. J. 164 (1) (Oct. 2010) 1–9.
12. C.Y. Tai, M.-C. Chang, S.-W. Yeh, Synergetic effects of temperature and magnetic field on the aragonite and calcite growth, Chem. Eng. Sci. 66 (6) (Mar. 2011) 1246–1253.
13. S. Kobe, G. Dražić, A.C. Cefalas, E. Sarantopoulou, J. Stražišar, Nucleation and crystallization of CaCO₃ in applied magnetism fields, Cryst. Eng. 5 (3–4) (Sep. 2002) 243–253.
14. H. Banejad, E. Abdosalehi, The effect of magnetic field on water hardness reducing, Water Technol. Conf. IWTC (2009) 117–128.
15. J. Baker, S. Judd, Magnetic amelioration of scale formation, Water Res. 30 (2) (1996) 247–260.
16. Y. Wang, J. Babchin, L.T. Chernyi, R.S. Chow, R.P. Sawatzky, Rapid onset of calcium carbonate crystallization under the influence of a magnetic field, Water Res. 31 (2) (1997) 346–350.
17. J. Li, J. Liu, T. Yang, C. Xiao, Quantitative study of the effect of electromagnetic field on scale deposition on nanofiltration membranes via UTDR, Water Res. 41 (20) (Dec. 2007) 4595–4610.
18. M. Gryta, The influence of magnetic water treatment on CaCO₃ scale formation in membrane distillation process, Sep. Purif. Technol. 80 (2) (Jul. 2011) 293–299.
19. C.V. Vedavyasan, Potential use of magnetic fields—a perspective, Desalination 134 (1) (2001) 105–108.
20. Y. Zhang, T. Chong, A. Fane, A. Law, Implications of enhancing critical flux of particulates by AC fields in RO desalination and reclamation, Desalination 220 (2008) 371–379.

Investigation of Electromagnetic Fields on Sediments and Fouling of Industrial Membranes in Bushehr Petrochemical Reverse Osmosis Unit

Sayed Esmaeil Mohammadimehr

Department of Chemical Engineering, Biochemistry and Biotechnology ,Iran

es.mohammadi1367@gmail.com

Abstract

In the present study, the effect of electromagnetic field on the salt and water transport and reduction of carbonate deposit during reverse osmosis desalination was investigated. The electromagnetic field was generated by AC current through a solenoid wound around the membrane separation module. The current intensity and frequency was 25 A and 50 Hz, respectively. Experiments were conducted using CaCO₃ solution at the concentration of 0.0 mmol/L. For comparison purposes, desalination by the membrane, in the presence and absence of an electromagnetic field was conducted. While the desalination process temperature was kept constant, the product temperature increased by less than 2 °C when the electromagnetic field was applied. The system performed sustainably when it was exposed to the electromagnetic field. During the experiments, salt rejection, permeate flow rate and membrane pressure drop were compared in the presence and absence of an electromagnetic field. Moreover, scanning electron microscopy (SEM) was used to investigate the morphology of the precipitates. It was found that the salt rejection and permeate flow rate increased when the electromagnetic field was applied. Furthermore, SEM analysis proved that CaCO₃ precipitations formed in the presence of an electromagnetic field were in a powdery form with a lower density than the precipitation formed in case of not using electromagnetic field.

Keywords: Membrane, Electromagnetic field, Reverse osmosis, fouling.