



بررسی و شناسایی اثر سیستم هیبریدی نانوفیلتراسیون در تصفیه محلول‌های سدیم، منیزیم و کلسیم کلرید

فاطمه بزرگری^۱ | زهرا پیراش فر^۲ | علی احمدی^۳ | نرجس عزیزی^۴ | زهرا شاهدی^{۵*}

- ۱- دانشگاه صنعتی شریف، مهندسی شیمی، تهران
- ۲- دانشگاه اراک، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک
- ۳- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، کرج، دانشگاه آزاد اسلامی
- ۴- آموزش و پرورش شهرستان نیمروز، زاهدان، زابل
- ۵- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، یزد، دانشگاه آزاد اسلامی

چکیده: در این پژوهش، از سیستم هیبریدی برای تصفیه سه محلول سدیم، منیزیم و کلسیم کلراید با TDS ۵۰۰۰ میلی گرم برلیتر استفاده شد. به این صورت که یک عمل پیش تصفیه پیش از عمل تصفیه انجام می‌شود. در عمل پیش تصفیه و همچنین، اصلاح سطح غشا از نانوکامپوزیت فریت مس- زئولیت- کیتوسان - مس اکساید به علت زیستی بودن، خاصیت مغناطیسی مناسب، غیرسمی بودن و داشتن گروه‌های عاملی بسیار زیاد استفاده شد. نانوذرات فریت مس به روش سل- ژل در دمای کلسینه ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد با ابعاد تقریبی ۲۰ نانومتر سنتز شد. سپس نانوچندسازه فریت مس- زئولیت - کیتوسان - گرافن اکساید به روش شیمیایی با استفاده از نانوذرات فریت مس ساخته شد. و در ادامه خصوصیات آن با آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM)، طیف‌سنجی فروسرخ (FT-IR)، پراش پرتو ایکس (XRD)، مغناطومتر نیروی گرادیان متناوب ارتعاشی (AGFM) و آنالیز اندازه‌گیری سطح ویژه BET مورد بررسی قرار گرفت. باتوجه به نتایج حاصل از نانوفیلتراسیون ساخته شده تمام نمونه‌هایی که حاوی نانوکامپوزیت بودند، درصد ریجکشن و شار آن‌ها بسیار بهتر از نمونه بدون نانوچندسازه فریت مس- زئولیت- کیتوسان- گرافن اکساید بود. در این سیستم هیبریدی نمک‌های منیزیم و کلسیم کلرید بیش از ۹۰ درصد و نمک سدیم کلرید ۶۹ درصد حذف شدند.

واژگان کلیدی: نانوفیلتراسیون، نانوچندسازه فریت مس- زئولیت- کیتوسان- گرافن اکساید، تصفیه نمک‌های کلراید

*z.shahedi_ms@yahoo.com

تعداد کسانی که دست‌یابی به آب تمیز را از دست می‌دهند رو به افزایش است. از این رو باید با استفاده از روش‌های مرسوم و به-روز کردن روش‌های قدیمی تصفیه‌ی آب و استفاده از تکنولوژی‌های جدید و فرایندهای غشایی گام‌هایی موثر در جهت افزایش کیفیت آب‌های آشامیدنی برداشت و به این وسیله از ابتلای انسان

۱- مقدمه

موضوع جهانی کمبود منابع آب تمیز و آشامیدنی به‌خاطر رشد آلودگی‌ها، نابودی محیط زیست و تغییرات در آب و هوا زندگی بشر را در سراسر جهان تهدید می‌کند. به‌همین خاطر هر روزه

۲- بخش تجربی

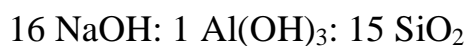
۲-۱- سنتز نانوذرات فریت مس

ابتدا مقدار معینی از نمک نیترات مس و آهن سه نیترات با نسبت ۲:۱ در ۲۰ میلی‌لیتر آب دو بار یونیزه به مدت ۵ دقیقه بر همزن مغناطیسی قرار داده شد. سپس مقدار ۱ گرم سیتریک اسید به محلول اولیه افزوده گردید. پس از گذشت ۲۰ دقیقه، ۲ میلی‌لیتر اتیلن گلیکول به محلول افزوده و همزمان استیرر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. پس از نیم ساعت سود ۱ مولار به محلول افزوده شد تا pH محلول به ۱۰ برسد و بین ۴۰ تا ۵۰ دقیقه دیگر بر همزن مغناطیسی قرار گرفت تا به ژل تبدیل شود. پس از تشکیل ژل، آن را گریزانه کرده و سپس با آب دوبار یونیزه شستشو داده شد. پس از آن رسوب تشکیل شده را در آن در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت قرار داده شد. و در نهایت ماده درون کوره به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت [۱۲ و ۱۳].

برای سنتز نانوچندسازه فریت مس- زئولیت- کیتوسان- گرافن اکساید مذکور ابتدا باید نانوچندسازه فریت مس- زئولیت را ساخت، سپس، نانوچندسازه فریت مس- زئولیت- کیتوسان و در نهایت، نانوچندسازه فریت مس- زئولیت- کیتوسان- گرافن اکساید ساخته شود.

۲-۲- سنتز نانوچندسازه فریت مس- زئولیت

برای تهیه نانو چندسازه ابتدا ژل زئولیت با نسبت مولی زیر تهیه شد:



در ابتدا به محلول سیلیکاژل در آب، قطره قطره محلول هیدروکسید سدیم در آب افزوده شد (محلول ۱). در یک بشر دیگر، مخلوطی از هیدروکسید آلومینیوم در آب را حرارت داده شد و به آرامی به آن هیدروکسید سدیم افزود تا محلول شفاف بدست آید (محلول ۲). محلول ۲ را به آرامی به محلول ۱ افزوده شد، تا این که ژل غلیظی حاصل شود. سپس مقدار ۰/۵ گرم فریت مس را به مدت ۱۰ دقیقه تحت امواج اولتراسونیک قرار داده و سپس به ژل افزوده شد. مخلوط حاصل پس از شستشو به مدت ۲۴ ساعت

به بیماری‌های که از طریق آب‌های آلوده به انسان سرایت می‌کنند، جلوگیری کرد [۵-۱]. نانو فناوری دانش و فنی است که به‌تازگی توجه زیادی را به خود معطوف کرده است. این فناوری که یک رویکرد جدید در تمامی رشته‌ها است، توانایی تولید مواد، ابزار و سیستم‌های نوین را با دست‌کاری در سطوح اتمی و مولکولی را دارد. گستره کاربرد این فناوری در علوم پزشکی، فناوری زیستی، مواد، فیزیک، مکانیک، برق، الکترونیک و شیمی به حدی است که می‌توان از آن به‌عنوان یکی از انقلاب‌های بزرگ علمی دنیا نام برد. این فناوری روشی نو برای حل مشکلات و پاسخ‌گویی به بسیاری از سوالات مطرح در علوم متفاوت را ارائه می‌کند که تاکنون بشر موفق به رفع یا پاسخ دادن به آن‌ها نشده است.

به‌همین دلیل، از این فناوری به‌عنوان انقلاب صنعتی و علمی قرن بیست و یکم یاد می‌کنند [۷۰]. توسعه تکنولوژی غشاها و افزایش نیاز به آب‌های با کیفیت، استفاده از غشاهای نانوفیلتراسیون را برای آب‌های شور و شیرین‌سازی آب دریا توسعه داده است. نانوفیلتراسیون با حد وزن مولکولی ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ دالتون دارای شرایط و ویژگی‌های جداسازی بین اولترافیلتراسیون و اسمز معکوس است. پارامتر مشخص‌کننده و ویژگی‌های مخصوص نانوفیلتراسیون، پس‌دهی کم یون‌های تک ظرفیتی و پس‌دهی بالای یون‌های دو ظرفیتی و شار بالاتر در فشار عملیاتی پایین تر و در نهایت، هزینه‌ی پایین از نظر عملیاتی و شرایط نگهداری در مقایسه با اسمز معکوس است. غشاهای نانوفیلتراسیون می‌توانند به‌عنوان یک فرایند توانا در حذف آلاینده‌هایی چون پساب محیط‌های صنعتی متفاوت از جمله صنایع نساجی مورد استفاده قرار گیرند [۸-۱۱]. در کار حاضر یک ساختار جدید از نانو چندسازه فریت مس- زئولیت- کیتوسان- گرافن اکساید سنتز شد و سپس، خصوصیات آن با آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی روبشی، طیف سنجی فروسرخ، پراش پرتو ایکس، مغناطوسنج نیروی گرادیان متناوب و اندازه‌گیری سطح ویژه مورد بررسی قرار گرفت.

در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آن قرار گرفت [۱۴ و ۱۵].

۵-۲- سنتز نانو چندسازه فریت مس - زئولیت - کیتوسان - گرافن اکساید

۲-۳- سنتز نانو چندسازه فریت مس - زئولیت - کیتوسان

ابتدا ۰/۳ گرم گرافن اکساید سنتز شده با ۲۵۰ سی‌سی آب دوبار یونیزه در حمام التراسونیک تحت امواج فراصوت به مدت ۱ ساعت قرار گرفت. سپس در ظرفی دیگر ۰/۷ گرم نانو چندسازه فریت مس - زئولیت - کیتوسان در ۲۰ میلی‌لیتر آب دوبار یونیزه حل شده و آرام آرام به ظرف حاوی گرافن اکساید افزوده و به مدت ۲ ساعت هم‌زده شد. پس از این مدت ۱۵ میلی‌لیتر سدیم بوروهیدرید به محلول افزوده شد. سپس به مدت ۲ ساعت در دمایی بین ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد تحت حمام التراسونیک قرار گرفت. در نهایت پس از عمل گریزانه، رسوب حاصله را با استون و اتانول شسته و در آن در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت قرار گرفت [۲۸ - ۳۰].

ابتدا ۰/۵ گرم کیتوسان را با ۵۰ سی‌سی اسید استیک ۵٪ به مدت ۱۵ دقیقه بر استیرر قرار داده شد. سپس، نانو چندسازه فریت مس - زئولیت با ۷۰٪ وزنی به محلول بسپاری افزوده شد و به مدت ۳۰ دقیقه تحت حمام التراسونیک قرار گرفت. پس از این مدت ۴۵ سی‌سی سود یک مولار به محلول افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در التراسونیک قرار گرفت. سپس ۱/۵ سی‌سی گلو تار آل‌دئید به محلول افزوده و به مدت ۲ ساعت در همان دما تحت امواج فراصوت قرار گرفت. در نهایت رسوب حاصله جمع‌آوری و به ترتیب با استون و آب دوبار یونیزه شسته و در آن در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت قرار داده شد. در ساخت نانو چندسازه گرافنی، ابتدا گرافن اکساید با استفاده از روش هامر ساخته و پس از آن نانو چندسازه فریت مس - زئولیت - کیتوسان - گرافن اکساید تهیه شد. [۱۶ - ۲۲].

۲-۶- ساخت نانوفیلتراسیون

در ابتدا ۰/۹ گرم پلی‌اتر سولفون و ۰/۰۵ گرم پلی‌وینیل پیرولیدین طبق جدول ۱ با درصدهای متفاوت نانو چندسازه با حلال دی متیل استامید حل کرده، بعد از حل کردن کامل بسپار پایه و ادیتو درون حلال و اطمینان از یکنواخت شدن محلول‌ها، به مدت ۲ ساعت درون دستگاه التراسونیک قرار داده شد. سپس توسط یک فیلم‌کش دستی به ضخامت ۱۵۰ میکرون بر روی شیشه‌ای صاف و تمیز به صورت فیلمی نازک درآمده و پس از آن به داخل حمام‌های آب بدون یون غوطه‌ور شده تا فرایند تغییر فاز انجام شود و غشاها تشکیل شوند. پس از تکمیل این مرحله، غشاهای تهیه شده به داخل مخازن دارای آب بدون یون انتقال داده شدند تا طی ۲۴ ساعت حلال احتمالی باقی‌مانده در ساختار غشا، استخراج شود.

۲-۴- ساخت گرافن اکساید

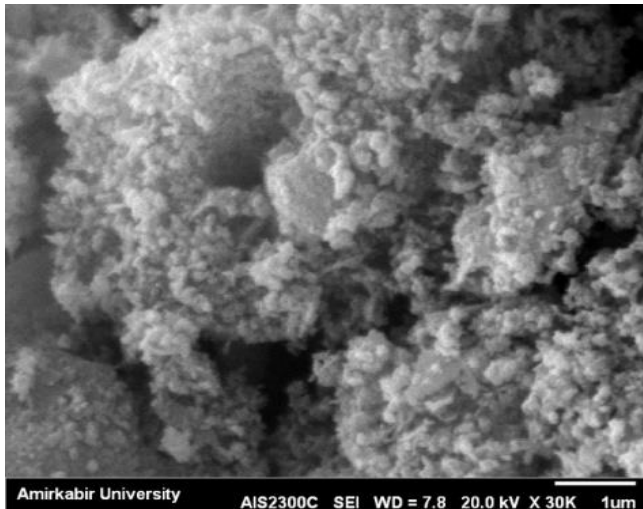
برای ساخت گرافن اکساید به ۳ گرم گرافیت، ۳۶۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک و ۴۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک افزوده شد. سپس ۱۸ گرم پتاسیم پرمنگنات به محول فوق به آرامی افزوده و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت روی هات پلیت قرار گرفت. پس از این مدت ۳۵ میلی‌لیتر آب اکسیژنه به محلول افزوده تا رنگ آن تغییر کند و سپس چند تکه آب مقطر یخ زده به ظرف واکنش افزوده شد. پس از ۳۰ دقیقه رسوب حاصله را با کاغذ صافی جمع‌آوری و به ترتیب با استون، اتانول و آب دوبار یونیزه شسته شد. در نهایت در آن در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت [۲۳ - ۲۷].

جدول ۱. درصدهای نانو چندسازه در غشا

نمونه	PES%	PVP%	Nanocomposite%
۱	۱۸	۱	۰
۲	۱۸	۱	۰/۰۵
۳	۱۸	۱	۰/۱
۴	۱۸	۱	۰/۵
۵	۱۸	۱	۱

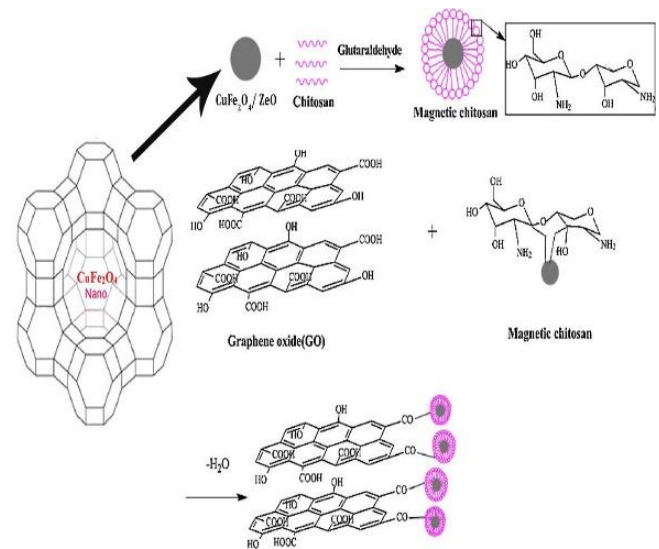
۷-۲- عمل پیش تصفیه

با توجه به بررسی مقالات متفاوت و تاثیر ویژه عمل پیش تصفیه در این پژوهش، از سیستم هیبریدی برای بازدهی بهتر استفاده شده است. به این صورت که در ابتدا پیش از عمل فیلتراسیون محلول‌های سدیم و منیزیم و کلسیم کلراید به مدت یک ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در ۰/۵ گرم سوپر جاذب مغناطیسی هم‌زده شود. پس از آن تمامی رسوبات با آهنربا جمع‌آوری شده و سپس، برای انجام عمل فیلتراسیون مورد استفاده قرار گیرند [۳۹-۳۱].



شکل ۲. تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوچندسازه

شکل ۳ و ۴ الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات فریت مس و نانوچندسازه را نشان می‌دهد. به دلیل اینکه گرافن اکساید و کیتوسان بی‌شکل هستند و دارای ساختار کریستالی ناست تشخیص آن از طریق پراش پرتو ایکس سخت است. در واقع هر کدام دارای یک پیک هستند. به همین علت است که طیف پراش پرتو ایکس این نانوچندسازه با طیف پراش ایکس نانوذرات فریت مس - زئولیت تا حدودی مشابه است. در این چندسازه پیک‌های فریت مس و زئولیت دچار کاهش شدت شده‌اند که به دلیل پوشیده شدن به وسیله چندسازه است. همچنین، جابجایی قابل توجه برای پیک‌های فریت مس در ساختار چندسازه دیده نمی‌شود که نشان می‌دهد ترکیب فریت مس در هسته چندسازه پایدار بوده و دچار تغییر فاز چندانی نشده است [۴۰]. همچنین، میانگین اندازه‌ی بلورک‌ها با به کار بردن معادله‌ی شرر برای این چندسازه برابر با ۷۶/۲۳ nm را نشان می‌دهد.

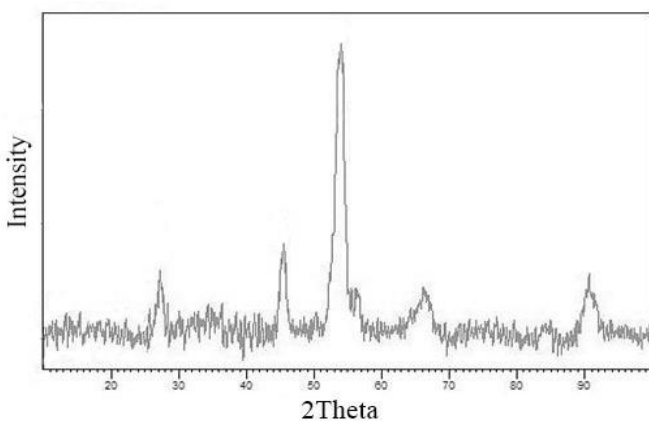


شکل ۱: طرح‌واره فرایند تشکیل نانوچندسازه فریت مس - زئولیت - کیتوسان - گرافن اکساید

۳- نتایج و بحث

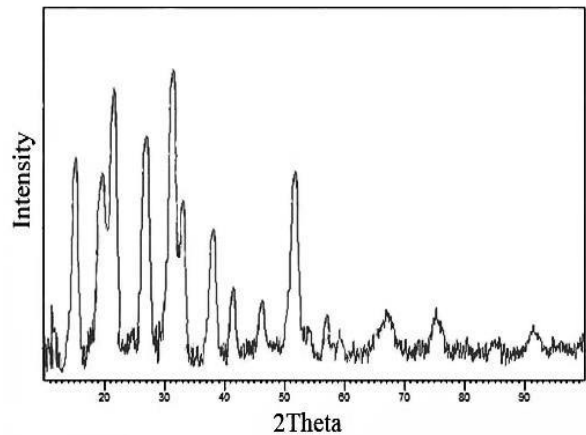
۳-۱- بررسی نانوچندسازه فریت مس - زئولیت - کیتوسان - گرافن اکساید:

با توجه به شکل ۲ نانوچندسازه مذکور دارای ابعادی کمتر از ۱۰۰ نانومتر و به صورت کروی هستند که ابعاد این نانوچندسازه در حدود ۹۰ نانومتر است. به دلیل چندسازه شدن چهار ماده باهم به سختی نوع ماده‌ها قابل تشخیص هستند.



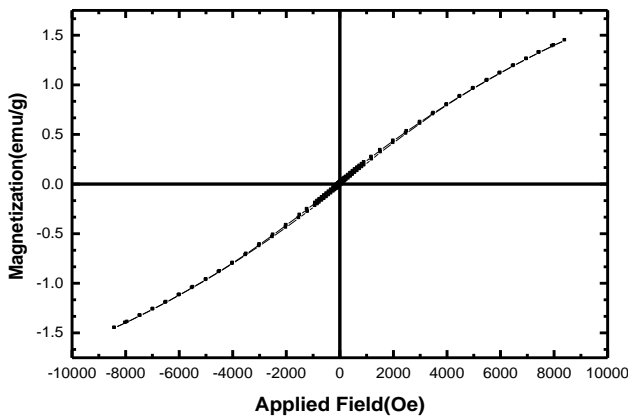
شکل ۳. الگوی پراش پرتو ایکس نانو ذرات فریت مس

شکل ۶ حلقه پسماند نانوچندسازه ساخته شده را نشان می‌دهد که دارای خاصیت سوپرپارامغناطیس است. همچنین، طبق انتظار مغناطش اشباع نانوچندسازه مذکور کم شده است و مقدار آن در حدود $1/49 \text{ emu/g}$ است. زیرا که بسیار کیتوسان و گرافن اکساید نقش پوشش را داشته و فریت مس را در خود قرار داده‌اند. (حالت هسته - پوسته) و باعث کاهش زیاد مغناطش اشباع شده است.



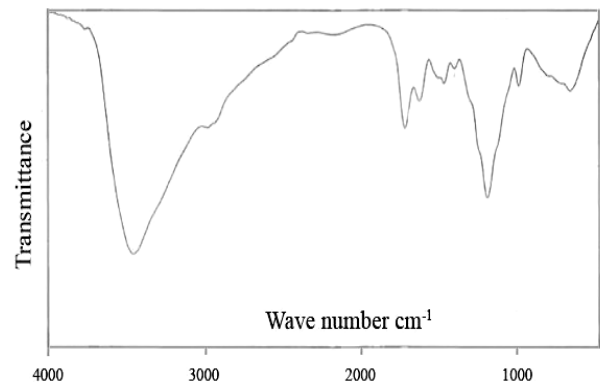
شکل ۴. الگوی پراش پرتو ایکس نانوچندسازه

با استفاده از آنالیز FT-IR پیوندهای تشکیل دهنده یک ماده مشخص می‌شود. شکل ۵ طیف فروسرخ نانوچندسازه فریت مس- زئولیت - کیتوسان - گرافن اکساید را نشان می‌دهد. دو طول موج 1084 و 1321 مربوط به پیوند تک‌گانه کربن-اکسیژن است. پیوند دوگانه کربن - کربن در طول موج 1630 و پیوند دوگانه کربن-اکسیژن در طول موج 1726 مشهود است. پیوند اکسیژن- هیدروژن در طول موج 3430 قرار دارد. و همچنین طول موج کربن - هیدروژن در دو موج 2849 و 2920 مشاهده می‌شود. طول موج 590 هم مربوط به پیوند مس - اکسیژن است. نوارهای محدوده $3200-3400$ ترکیبی از پیک‌های مربوط به گروه‌های کششی هیدروژن-اکسیژن و پیوندهای درون ملکولی هیدروژنی‌اند. نوار 1654 کیتوسان مربوط به گروه‌های $R-CO-NH_2$ است. در نواحی 490 پیوند مس-اکسیژن و در 1576 و 1411 مربوط به پیوند خمشی NH_4^+ است و این پیک‌ها نشان دهنده تشکیل میان کنش بین گروه‌های نانوذرات فریت مس و گروه‌های آمین کیتوسان‌اند [۴۱-۴۳].



شکل ۶ منحنی پسماند نانوچندسازه

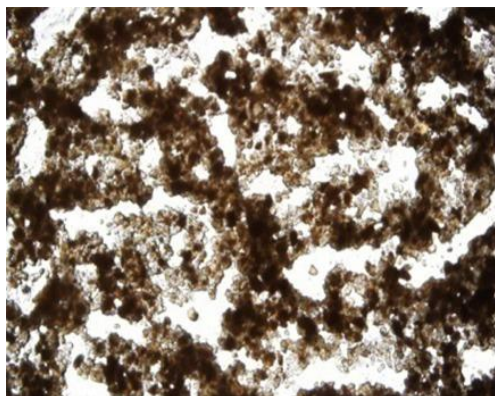
شکل ۷ هم‌دما جذب نیتروژن نانوچندسازه مغناطیسی فریت مس- زئولیت - کیتوسان - گرافن اکساید را نشان می‌دهد. براساس نتایج سطح جذب نیتروژن نانوچندسازه برابر با $78/6$ مترمربع بر گرم است و همچنین، اندازه متوسط حفرات این نانوچندسازه $28/6$ است. که نتایج حاصل گواهِ جذب بالای نانوچندسازه را دارد. به طور کلی هرچه چگالی و اندازه حفرات بزرگتر باشد، سطح ویژه کمتر می‌شود.



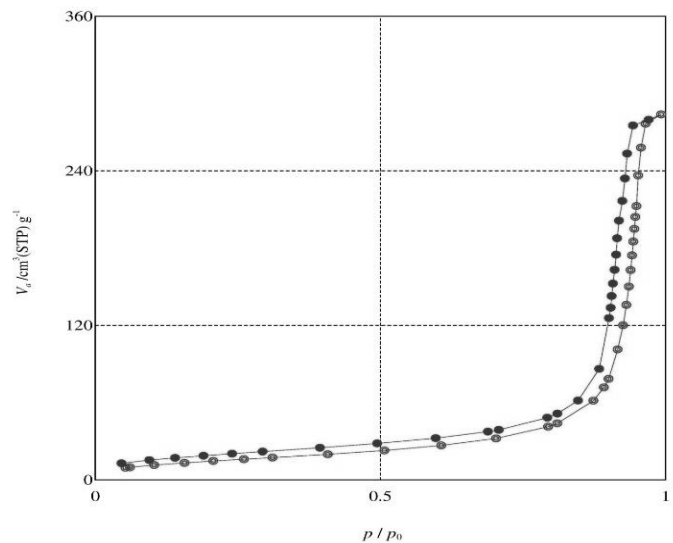
شکل ۵. طیف فروسرخ نانوچندسازه

در شکل ۸، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی غشا بدون نانوچندسازه است که نشان می‌دهند سطح غشا یکنواخت است و سنتز آن به خوبی انجام شده است. شکل ۹ غشای ساخته شده با نانوچندسازه مذکور (نمونه ۴) را نشان می‌دهد. از مقایسه شکل ۸ و شکل ۹ مشاهده می‌شود که نانوچندسازه فریت مس-زئولیت - کیتوسان - گرافن اکساید روی سطح غشا قرار گرفته است که در بعضی از جاها کلوخه شده است و به خوبی در تمام سطح غشا پخش شده است.

رفتار و عملکرد غشاهای تهیه شده به ریخت‌شناسی سطح و ساختار آن‌ها وابسته است. از این رو ریخت‌شناسی غشا (شکل و ساختار غشا)، شرایط و توزیع فضایی سایت‌های یونی و نانوچندسازه توسط آنالیز میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در تصاویر میکروسکوپ نوری مشاهده شد، بدنه بسیاری غشا و ذرات افزودنی به وضوح در تصاویر قابل مشاهده است. در این تصاویر مناطق روشن بدنه بسیاری غشا و مناطق تیره نشان دهنده نانوچندسازه افزوده شده است. همچنین، در تصویر مشهود است نقاط سیاه با افزایش غلظت نانو چندسازه افزایش یافته است.

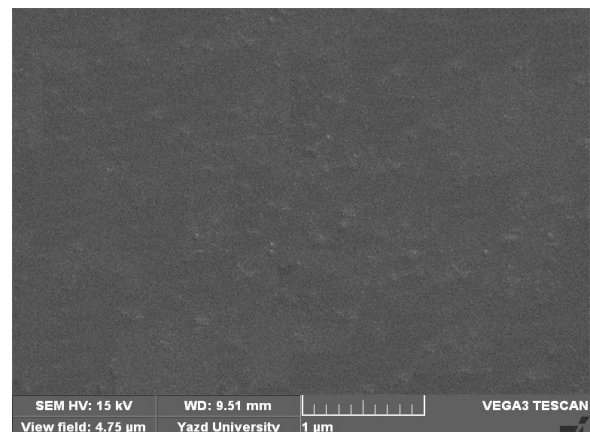


شکل ۱۰: تصویر میکروسکوپ نوری غشای نمونه ۱

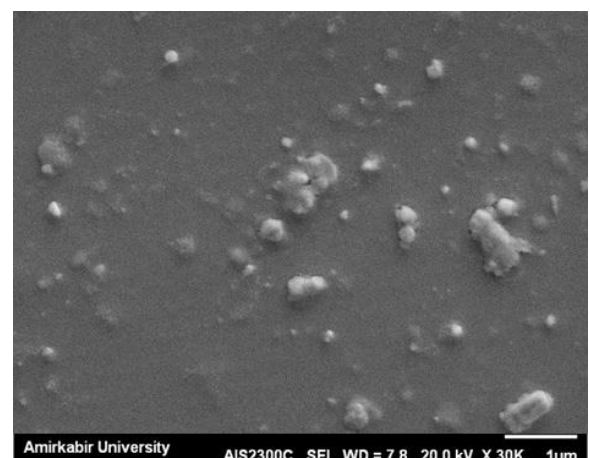


شکل ۷. همدم جذب نیتروژن نانوچندسازه

۲-۳- بررسی غشای ساخته شده



شکل ۸: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی غشای اصلاح نشده



شکل ۹: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی غشای نمونه ۴

در شکل ۱۴ مربوط به نمونه ۵ نقاط سیاه نسبت به بقیه تصاویر بیشتر است که نشان از افزایش نانوچندسازه است. نسبت به غشاهای تهیه شده دارای توزیع نسبتاً یکنواختی از نانوچندسازه و ماده افزودنی در ساختار بسپاری است، که نشان‌دهنده این است استفاده از امواج التراسونیک امری مهم در دست یابی به پراکندگی بهتر و توزیع یکنواخت‌تر ذرات افزودنی در محلول بسپاری است. توزیع همگن و یکنواخت گروه‌های عاملی و نانوچندسازه در سطح غشا کانال‌های عبور مناسبی را برای عبور یون‌ها فراهم می‌کند. که موجب سازگاری بیشتر نانوذرات و بسپار می‌شود و در نتیجه انتخاب‌پذیری بهبود می‌یابد [۴۴-۴۶].

۳-۲- آزمون شار و دفع

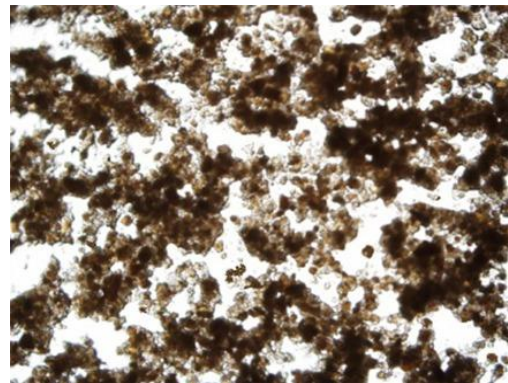
برای اندازه‌گیری و محاسبه‌ی شار آب عبوری از غشاها، از طریق فرمول زیر مقدار آن محاسبه شده است.

$$\text{Flux} = V/A (\Delta t) = Q/A$$

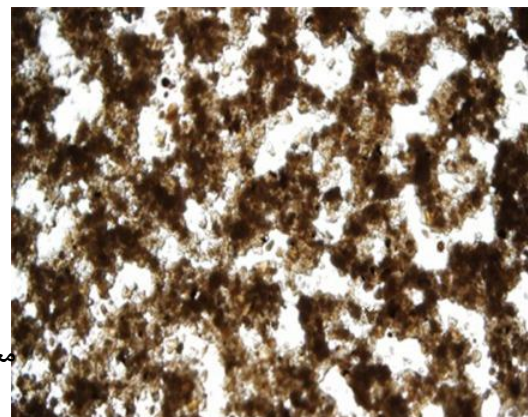
که در رابطه‌ی بالا V حجم آب عبوری از غشا در مدت زمان مشخص، Q مقدار دبی آب عبوری از غشا بر حسب l/h سطح مقطع غشا بر حسب متر مربع (m^2)، Δt زمان عبور آب از غشا بر حسب ساعت و در کل مقدار شار بر حسب l/m^2h است [۴۷]. برای محاسبه‌ی مقدار درصد جداسازی نمک با غشاهای تهیه شده از رابطه‌ی زیر استفاده شده است:

$$\text{Rejection \%} = 1 - \left(\frac{C_p}{C_f} \right) \quad \text{معادله (۲)}$$

در رابطه‌ی بالا C_p و C_f به ترتیب غلظت نمک در فاز تراوش شده و خوراک ورودی است [۴۸]. هدف این است با استفاده از این غشا نمک‌های منیزیم سولفات و سدیم سولفات، سدیم کلرید با غلظت ۵۰۰۰ میلی گرم بر لیتر حذف شود.

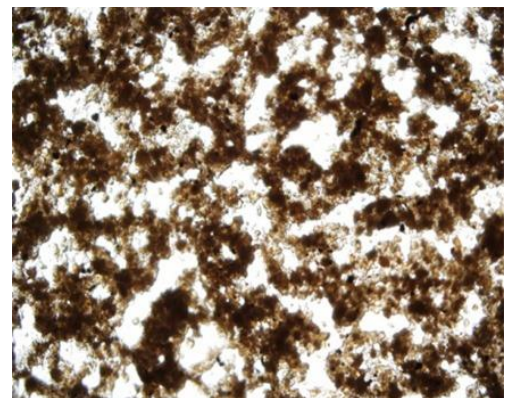


شکل ۱۱: تصویر میکروسکوپ نوری غشای نمونه ۲

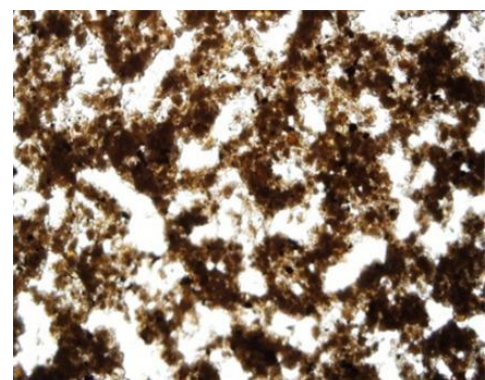


معادله (۱)

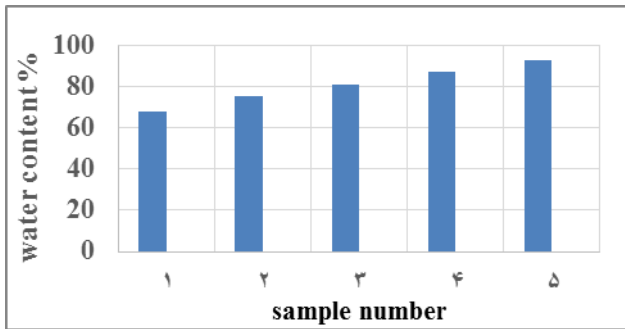
شکل ۱۲: تصویر میکروسکوپ نوری غشای نمونه ۳



شکل ۱۳: تصویر میکروسکوپ نوری غشای نمونه ۴



شکل ۱۴: تصویر میکروسکوپ نوری غشای نمونه ۵



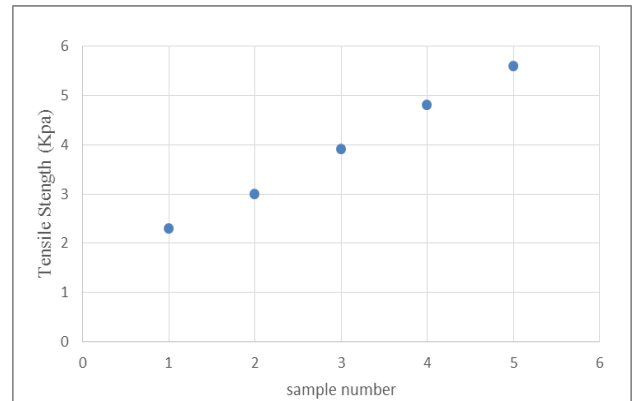
شکل ۱۶: تست مقدار آب جذب شده با غشا

۳-۳- زاویه تماس

اندازه گیری زاویه تماس به منظور بررسی تغییرات آب دوستی، آب‌گریزی سطحی غشا و خواص خود تمیز شوندگی سطح است. در این پژوهش تغییر در میزان آب دوستی سطح غشاهای تهیه شده در حضور نانوچندسازه به کار رفته از طریق این تکنیک بررسی شد. تمامی اندازه گیری ها در دمای محیط و با استفاده از آب دیونیزه انجام شد. به منظور به حداقل رساندن خطای آزمایش، زاویه تماس در پنج مکان متفاوت از نمونه اندازه گیری و میانگین آن ها به عنوان زاویه تماس نهایی گزارش شد. تاثیر نانوذرات فریت مس بر آب دوستی سطحی غشاهای تهیه شده با استفاده آنالیز زاویه تماس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده در جدول نشان دهنده افزایش درصد نانوچندسازه در غشاهای تهیه شده منجر به کاهش زاویه تماس در این غشاها شده است. درحقیقت نتایج حاکی از آن است که وجود نانوچندسازه در سطح غشا منجر به کاهش زبری سطح و در نتیجه افزایش آب دوستی سطح غشا شده است [۵۲ و ۵۳].

جدول ۲: تاثیر درصدهای متفاوت نانوچندسازه بر غشاهای تولید شده

زاویه تماس	غشاهای تهیه شده
۱۲۷°	نمونه ۱ (غشای اصلاح نشده)
۱۱۲°	نمونه ۲ (۰/۰۵٪)
۹۶°	نمونه ۳ (۰/۵٪)
۸۳°	نمونه ۴ (۰/۱٪)
۷۴°	نمونه ۵ (۱٪)



شکل ۱۵: تست مقاومت کششی غشا

برای اندازه‌گیری تغییر مقاومت غشاهای تهیه شده از دو گیره مکانیکی و تعدادی وزنه با وزنهای متفاوت استفاده شد. به این صورت که یک گیره را به یک طرف از غشا متصل کرده و طرف دیگر غشا را به گیره دیگر که قابلیت افزودن وزنه‌ها را دارد متصل کرده و وزنه‌ها را به صورت تک تک در آن قرار داده می‌شود تا جایی که غشا در اثر کشش پاره شود. با این روش مقدار مقاومت کششی هر غشای نانوچندسازه بدست می‌آید [۴۹ و ۵۰]. در شکل ۱۵ مقاومت کششی غشاها بررسی شده است و هرچه درصد نانوچندسازه بیشتر شده مقاومت کششی بیشتر شده است. در نمونه ۵ غشا توانایی تحمل فشار ۵/۶ پاسکال را دارا است.

شکل ۱۶ مقدار آب جذب شده یا آب همراه غشا نشان داده شده است. باتوجه به نمودار هرچه مقدار نانوچندسازه بیشتر شده است میزان آبدوستی غشا بیشتر شده و باعث می‌شود آب بیشتری را جذب کند [۵۱]. برای اندازه‌گیری درصد آب همراه، نمونه‌های غشا را ابتدا به مدت ۲۴ ساعت در آب قرار داده، سپس با یک ترازوی دیجیتال (مدل اوهایوس) وزن خیس آن‌ها به دست آمد. پس از آن به داخل آون حرارتی قرار داده و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگه داشته شدند. بعد با ترازو وزن آن‌ها در حالت خشک نیز به دست آمد. با داشتن وزن خیس و خشک غشاها و استفاده از فرمول زیر مقدار درصد آب همراه برای آن‌ها به دست آمد:

$$\% \text{Water content} = \frac{w_w - w_d}{w_w} \times 100 \quad (3) \text{ معادله}$$

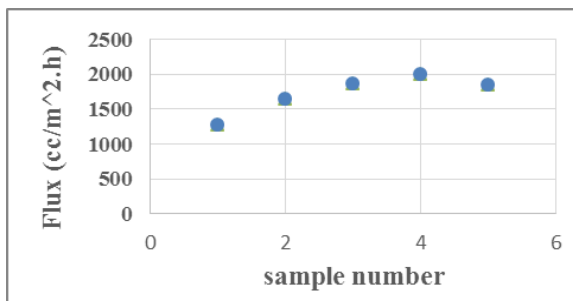
۳-۴- حذف نمک منیزیم کلرید

باتوجه به شکل‌های ۱۷ و ۱۸، نمونه ۴ بهترین شار و نمونه ۳ بهترین پس دهی با ۹۶ درصد را داشته است که این نشان‌دهنده نقش موثر نانو چندسازه ساخته شده در اصلاح سطح غشا و سیستم هیبریدی است. همچنین، نانو چندسازه به خوبی در سطح غشا پخش شده و با یون‌های نمک واکنش داده و آن‌ها را جذب کرده و مانع از عبور آن‌ها از غشا شده است. لازم بذکر است نانو چندسازه فریت مس- زئولیت- کیتوسان- گرافن اکساید به دلیل داشتن گروه‌های عاملی بالا مانند هیدروکسیل و آمینی و کربوکسیل هم در عمل پیش تصفیه تاثیر زیادی دارند و هم در اصلاح سطح غشا که موجب جذب و حذف یون‌ها می‌شوند. همچنین از طرفی دیگر به دلیل اینکه نانو چندسازه در غشای نمونه ۴ با ۰/۱ درصد به خوبی پخش شده و حفرات غشا را مسدود نکرده دارای بیشترین شار است و نمونه ۳ به علت مسدود شدن بعضی حفراتش دارای شار کمتری است. به طور معمول یک غشا خیلی کم پیش می‌آید که همزمان هم شار و هم دفع بالایی داشته باشد.

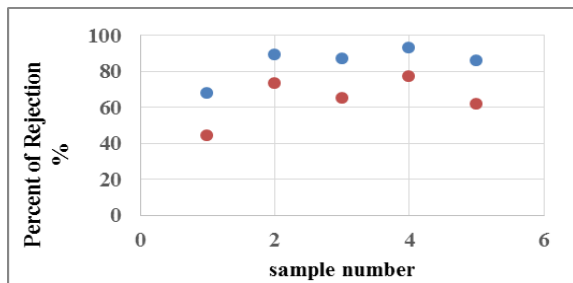
در شکل ۱۸ مقایسه دفع بین عمل پیش تصفیه و بدون عمل پیش تصفیه در سیستم هیبریدی است که در تمام موارد دفع با عمل پیش تصفیه درصد بالاتری دارد که نشان از کارایی بالا نانو چندسازه در حذف نمک‌ها دارد. علت انتخاب این نانو چندسازه گروه‌های عاملی زیاد آن می‌باشد که موجب حذف و جذب نمک‌ها می‌شود. در این شکل نقاط آبی نشان دهنده دفع با عمل پیش تصفیه و نقاط قرمز نشان دهنده دفع بدون استفاده از عمل پیش تصفیه می‌باشد.

۳-۵- حذف نمک کلسیم کلرید

در تست شار و دفع مربوط به خوراک کلسیم کلرید در شکل ۱۹ و ۲۰، نمونه ۴ بیشترین شار و از طرفی نمونه ۴ در بین دو نمونه ۵ و ۳ دفع کمتری را دارد. علت این است که نانو چندسازه‌ها در نمونه ۴ کمتر حفرات غشا را مسدود کرده‌اند که باعث شار بیشتری شده است. از طرفی در نمونه ۵ به دلیل درصد بیشتر نانو چندسازه و جذب سطحی بیشتر به خاطر تعدد گروه‌های عاملی هیدروکسیل و آمین‌ها باعث دفع ۹۴ درصدی شده است [۵۴-۵۶].

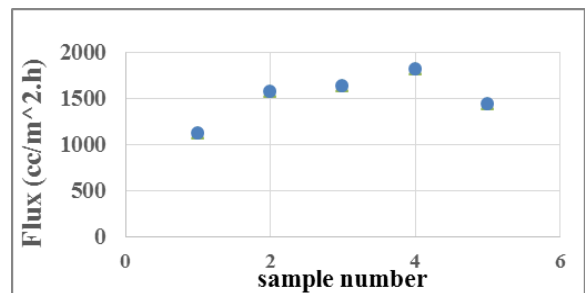


شکل ۱۹: تست شار غشا جهت حذف کلسیم کلرید

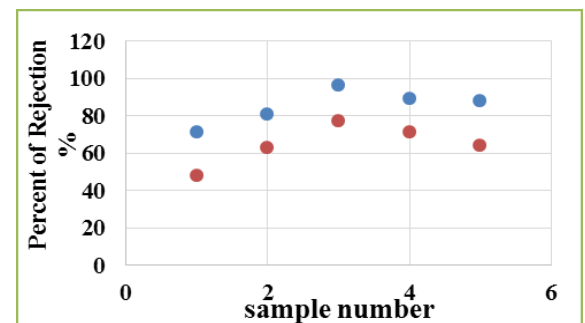


شکل ۲۰: تست پس‌دهی غشا جهت حذف کلسیم کلرید

در شکل ۲۰ به مانند شکل ۱۸ مقایسه ای بین عمل پیش تصفیه و بدون پیش تصفیه انجام شده است که عملکرد بهتر عمل پیش تصفیه و استفاده از سیستم هیبریدی کاملاً مشهود است. در این



شکل ۱۷: تست شار غشا جهت حذف منیزیم کلرید



شکل ۱۸: تست پس‌دهی غشا جهت حذف منیزیم کلرید بعد و قبل عمل پیش تصفیه

در شکل ۲۲ نقاط آبی نشان دهنده دفع با عمل پیش تصفیه و نقاط قرمز نشان دهنده دفع بدون استفاده از عمل پیش تصفیه می باشد. این شکل هم به مانند شکل های ۱۸ و ۲۰ گواه بر تاثیر مثبت عملکرد عمل پیش تصفیه را دارد.

۴- نتیجه گیری

با توجه به مشکلات کم آبی و استفاده از آبی های با TDS بالا برای شرب در مناطق کم آب و کویری، نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می دهد که استفاده از سیستم هیبریدی در حذف نمک های کلراید با TDS خیلی بالا بسیار موثر است. و از این سیستم می توان به علت هزینه کمتر نسبت به سیستم هایی چون اسمز معکوس در مقیاس صنعتی استفاده کرد. از طرفی نانوفیلتراسیون اصلاح شده با نانوچندسازه مغناطیسی فریت مس- زئولیت- کیتوسان - گرافن اکساید، به دلیل داشتن مساحت سطح بالا و داشتن گروه های آمینی، هیدروکسیل و کربوکسیل، غشایی مؤثر و کارا برای حذف نمک ها است. با توجه به نتایج حاصل شده از نانوفیلتراسیون ساخته شده تمام نمونه هایی که حاوی نانوچندسازه بودند درصد دفع و شار آن ها بسیار بهتر از نمونه بدون نانوچندسازه فریت مس- زئولیت- کیتوسان- گرافن اکساید بود. همچنین، دو نمک منیزیم و کلسیم کلراید بالای ۹۰ درصد با سیستم هیبریدی حذف شدند. و نمک تک ظرفیتی سدیم کلراید ۶۹ درصد حذف شد که نشان از عملکرد بالای سیستم هیبریدی است. به طور کلی در این پژوهش با استفاده از نانو چندسازه فریت مس - زئولیت- کیتوسان- گرافن اکساید موفق به اصلاح سطح غشای نانوفیلتراسیون و استفاده در عمل پیش تصفیه شدیم که نتایج قابل قبول گرفته شده گواه این را دارد که نانوچندسازه انتخاب و ساخته شده یک نانوچندسازه موثر است. همچنین، با استفاده از این سیستم هیبریدی و فرایند فیلتراسیون می توان بسیاری از نمک های آب های کویری و فاضلاب های صنعتی را تصفیه کرد.

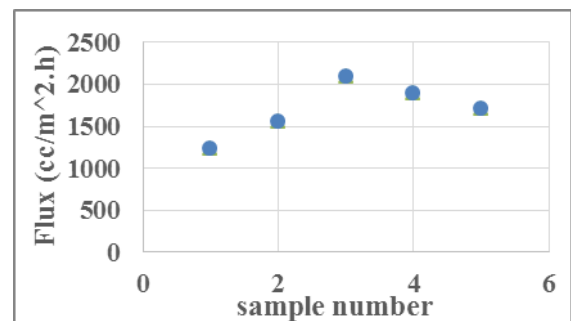
مراجع

[1] A. Butarewicz and J. Szczykowska, "6th International Scientific and Technical Conference", Water Supply and Water Quality, Poznan, 2004

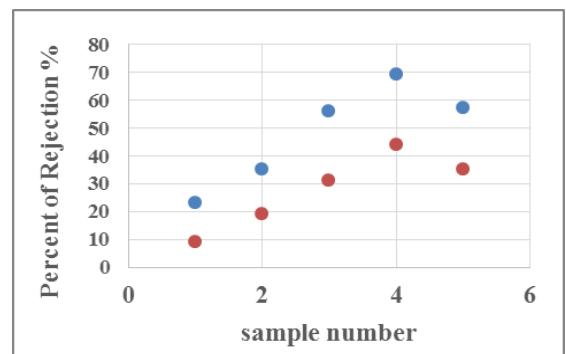
شکل نقاط آبی نشان دهنده دفع با عمل پیش تصفیه و نقاط قرمز نشان دهنده دفع بدون استفاده از عمل پیش تصفیه می باشد.

۳-۶- حذف نمک سدیم کلراید

بزرگترین عیب نانوفیلتراسیون ها در این است که نمی توانند یون های تک ظرفیتی را تصفیه و حذف کنند و باید از غشا اسمز معکوس استفاده کرد. معمولا غشاهای نانوفیلتراسیون زیر ۵۰ درصد قادر به حذف نمک های تک ظرفیتی مانند سدیم کلراید یا یون تک ظرفیتی مثل کلر و سدیم و پتاسیم و... هستند. با توجه به شکل های ۲۱ و ۲۲ غشای نمونه ۴ بهترین دفع با مقدار ۶۹ درصد را دارد که با توجه به توضیحات بالا، یک درصد بسیار عالی است. علت این است که غشای ساخته شده گروه های عاملی و سطح فعالی در سطح خود دارد و باعث می شود یون های نمک سدیم کلراید در سطح غشا جذب شوند و مانع از عبور آن ها از غشا شوند [۵۷]. همچنین، غشای شماره ۳ دارای شار نسبتا خوب $2100 \text{ cc/m}^2\text{h}$ است.



شکل ۲۱: تست شار غشا برای حذف سدیم کلراید



شکل ۲۲: تست پس دهی غشا برای حذف سدیم کلراید

- [11] L. F. Greenlee, D. F. Lawler, B. D. Freeman, B. Marrot, P. Moulin, "Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges", *Water Research* 43(9):2317-48, 2009.
- [12] H. Guo, H. Zhang, F. Peng, H. Yang, L. Xiong, C. Wang, Ch. Huang, X. Chen, L. Ma, "Effects of Cu/Fe ratio on structure and performance of attapulgite supported CuFeCo-based catalyst for mixed alcohols synthesis from syngas", *Applied Catalysis A: General*, 503, 51–61, 2015.
- [13] Y. Ren, L. Lin, J. Ma, J. Yang, J. Feng, Z. Fan, "Sulfate radicals induced from peroxy mono sulfate by magnetic ferrosinell MFe_2O_4 ($M=Co, Cu, Mn, \text{ and } Zn$) as heterogeneous catalysts in the water", *Applied Catalysis B, Environmental*, 2014, 10, 051
- [14] N. Shimoda, K. Faungnawakij, R. Kikuchi, K. Eguchi, "A study of various zeolites and $CuFe_2O_4$ spinel composite catalysts in steam reforming and hydrolysis of dimethyl ether", *international journal of hydrogen energy*, 36, 1431-1441, 2011.
- [15] F. Zhao, Y. Zou, X. Lv, H. Liang, Q. Jia, W. Ning, "Synthesis of $CoFe_2O_4$ -Zeolite Materials and Application to the Adsorption of Gallium and Indium", *J. Chem. Eng. Data*, 60, 5, 1338-1344, 2015.
- [16] F.S. Yardimic, M. Şenel, A. Baykal, "Amperometric hydrogen peroxide biosensor based on cobalt ferrite–chitosan nanocomposite", *Materials Science and Engineering*, 36, 269–275, 2012.
- [17] D. Harikishore Kumar Reddy, Seung-Mok Lee, "Application of magnetic chitosan composites
- [2] J. Jeó-Walkowiak and M. Sozanski, "6th International Scientific and Technical Conference", *Water Supply and Water Quality*, Poznan, 2004.
- [3] A. Puzzkarewicz and J. Kaleta, "6th International Scientific and Technical Conference", *Water Supply and Water Quality*, Poznan, 2004.
- [4] Dz.U, "App. 1. Microbiological requirements, App. 2, physicochemical requirements", *Regulations of the Polish Minister of Health*, S3375-S3380, 2002.
- [5] M. Mulder, "Basic Principles of Membrane Technology", 2nd ed., Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, 1996.
- [6] G. Schmid, "Nanoparticles", Wiley- VCH, Weinheim, 2004.
- [7] A. H. Shirdel-Havar, R. Masoudian Saadabad, "Ballistic-diffusive approximation for the thermal dynamics of metallic nanoparticles in nanocomposite materials", *Journal of Applied Physics* 117, 114304, 2015.
- [8] Y. Song, J. Xu, Y. Xu, X. Gao, C. Gao, "Performance of UF–NF integrated membrane process for seawater softening," *Desalination*, 276, 109-116, 2011.
- [9] M. Marcucci, G. Ciardelli, A. Matteucci, L. Ranieri and M. Russo, "Experimental campaigns on textile wastewater for reuse by means of different membraneprocesses *Desalination*, 149, 137-143, 2002.
- [10] J. G. Jacangelo, R. R. Trussell, M. Watson, "Role of membrane technology in drinking water treatment in the United States", *Desalination*, 1997.

- [24] Z. Shahnava, P. M. Woi, Y. Alias, "A hydrothermally prepared reduced graphene oxide-supported copper ferrite hybrid for glucose sensing", *Ceramics International*, 41, 12710-12716, 2015.
- [25] Y. Li, Z. Zhang, L. Pei, X. Li, T. Fan, J. Ji, J. Shen, M. Ye, "Multifunctional photocatalytic performances of recyclable Pd-NiFe₂O₄/reduced graphene oxide nanocomposites via different co-catalyst strategy", *Applied Catalysis B: Environmental*, 190, 1-11, 2016,
- [26] Y. Ju, X. Li, J. Feng, Y. Ma, J. Hu, X. Chen, "One pot in situ growth of gold nanoparticles on amine-modified graphene oxide and their high catalytic properties", *Applied Surface Science*, 316, 132-140, 2016.
- [27] M. Zhang, M. Jia, Y. Jin, Q. Wen, Ch. Chen, "Reduced graphene oxide/CoFe₂O₄-Co nanocomposite as high performance anode for lithium ion batteries", *Journal of Alloys and Compounds*, 566, 131-136, 2013.
- [28] L. Fan, Ch. Luo, X. Li, F. Lu, H. Qiu, M. Sun, "Fabrication of novel magnetic chitosan grafted with graphene oxide to enhance adsorption properties for methyl blue", *Journal of Hazardous Materials*, 215- 216, 272- 279, 2012.
- [29] T. Jiao, H. Zhao, J. Zhou, Q. Zhang, X. Luo, J. Hu, Q. Peng, X. Yan, "Self-Assembly Reduced Graphene Oxide Nanosheet Hydrogel Fabrication by Anchorage of Chitosan/Silver and Its Potential Efficient Application toward Dye Degradation for Wastewater Treatments", *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 312, 3130-3139, 2015.
- [30] H. Devnani, S. P. Satsangee, R. Jain, "A novel graphene-chitosan-Bi₂O₃ nanocomposite modified sensor for sensitive and selective electrochemical for the removal of toxic metal and dyes from aqueous solutions", *Advances in Colloid and Interface Science*, 201-202, 68-93, 2013.
- [18] R. Qin, F. Li, W. Jiang, M. Chen, "Synthesis and characterization of diethylene triamine pentaacetic acid-chitosan-coated cobalt ferrite core/shell nanostructures", *Materials Chemistry and Physics*, 122, 498-501, 2010.
- [19] V.C. Nguyen, T. K. N. Huynh, "Reusable nanocomposite of CoFe₂O₄/chitosan-graft-poly(acrylic acid) for removal of Ni(II) from aqueous solution", *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol*, 5, 025007-025017, 2014.
- [20] L. Li, Z. Zhang, Y. Xie, J. Zhao, "Preparation, characterization and magnetic properties of the BaFe₁₂O₁₉ @ chitosan composites", *Solid State Sciences*, 57, 44- 48, 2016.
- [21] J. Zhao, Y. Xie, D. Guan, H. Hua, R. Zhong, Y. Qin, J. Fang, H. Liu, J. Chen, "BaFe₁₂O₁₉-chitosan Schiff-base Ag (I) complexes embedded in carbon nanotube networks for high-performance electromagnetic materials", *Scientific Reports, Article*, 5, 12544, 2015.
- [22] F. Manal, Abou Taleb, "Adsorption and photocatalytic degradation of 2-CP in wastewater onto CS/CoFe₂O₄nanocomposite synthesized using gamma radiation", *Carbohydrate Polymers*, 2014, 114, 65-72
- [23] D.C. Marcano, D.V. Kosynkin, J. M. Berlin, A. Sinitskii, Z. Sun, A. Slesarev, L. B. Alemany, W. L. James, M. Tour, "Improved Synthesis of Graphene Oxide", *ACS Nano*, 48, 4806-4814, 2010..

aqueous solutions: Adsorption isotherm study", *Arabian Journal of Chemistry*, 5, 439 – 446, 2012.

[40] Hu Y, Zhang Z, Zhang H, Luo L, Yao S, "Imprinted sol-gel electrochemical sensor for the determination of benzylpenicillin based on Fe₃O₄@SiO₂/multi-walled carbon nanotubes-chitosans nanocomposite film modified carbon electrode" ,*Analytica Chimica Acta*, 11, 61-70, 2011.

[41] D. Harikishore Kumar Reddy, Seung-Mok Lee, Application of magnetic chitosan composites for the removal of toxic metal and dyes from aqueous solutions, *Advances in Colloid and Interface Science*, 61, 68–93, 2013.

[42] Rahmatollah Rahimi, Mahboubeh Rabbani, Hamed Kerdari, and Majid Shafiee, Adsorption and Magnetic Removal of Crystal Violet from Aqueous Solution using Hollow Cu-Fe₂O₄ Nanospheres and Cu-Fe₂O₄ Nanosheets, 21, 87-91, 2011.

[43] Yongsheng Fu, Qun Chen, Mingyang He, Yunhai Wan, Xiaoqiang Sun, Hui Xia, Xin Wang, Copper Ferrite-Graphene Hybrid: A Multifunctional Heteroarchitecture for Photocatalysis and Energy Storage, *Ind. Eng. Chem*, 12, 314-321, 2012.

[44] M. S. Kang, Y. J. Choi, I. J. Choi, T. H. Yoon, S. H. Moon, "Electrochemical characterization of sulfonated poly (arylene ether sulphone) (S-PES) cation-exchange membranes", *Journal of Membrane Science*, 216, 39–53, 2003.

[45] S. M. Hosseini, A. R. Hamidi, A. R. Moghadassi, P. Koranian, S. S. Madaeni, "Fabrication of novel mixed matrix electro dialysis heterogeneous ion exchange membranes modified by ilmenite (FeTiO₃): Electrochemical and ionic

determination of a monoamine neurotransmitter epinephrine", *Ionics*, 22, 943–956, 2016.

[31] Parida ku, Mishra k, "Adsorption of Copper(II) on NH₂-MCM-41 and Its Application for Epoxidation of Styrene", *Ind. Eng. Chem. Res.* 51, 2235–2246, 2012.

[32] Cooper T. J. M , Neufeld R. J, " Uptake of Metal Ions by Rhizopus arrhizus Biomass" , *J. Appl. Environ. Microbiol.*, 47, 821-839, 1984.

[33] Ralph G," Hard and Soft Acids and Bases", *Journal OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY*, 85, 3533-3539, 1963.

[34] Zhu R, Yu R, Yao J, Mao D, Xing Ch, Wang D," Removal of Cd²⁺ from aqueous solutions by hydroxyapatite", *Catalysis Today* ,139, 94–99, 2009.

[35] Siva Rao T, Prasada Rao A.V, Singanan M," Removal of lead (II)Ions from Aqueous Solution Using Activated carbon from militia ferruginea plant leaves ",*Bull. Chem. Soc. Ethiop.* 22, 349-360, 2008.

[36] Burstein E.A, "Nanoscale material Science" ,*J. Colloid and Interface Science.* 347, 221-340, 2003.

[37] Ramesh S.T.N, Rameshababu R, Gandhimathi M, Srikanth K , Nidheesh P. V", Adsorptive removal of Pb(II) from aqueous solution using nano-sized hydroxyapatite" , *Appl Water Sci* , 3, 105–113, 2013.

[38] Essomba J.S, Ndi J, Bllebi Blebi P.D," Adsorption of Cadmium(II) Ions from Aqueous Solution onto Kaolinite and Metakaolinite ",*Pure and Applied Chemical Sciences*, 2, 11 – 30, 2014.

[39] Mobasherpour I , Salah E, Pazouki M.,"Comparative of the removal of Pb²⁺, Cd²⁺ and Ni²⁺by nano crystallite hydroxyapatite from

and performance of polyethersulfone/organically modified montmorillonite nanocomposite membranes in removal of pesticides", *Journal of Membrane Science*, 382, 135–147, 2011.

[53] V. Vatanpour, S. S. Madaeni, R. Moradian, S. Zinadini, B. Astinchap, "Fabrication and characterization of novel antifouling nanofiltration membrane prepared from oxidized multiwalled carbon nanotube/polyethersulfone nanocomposite", *Journal of Membrane Science*, 375, 284–294, 2011.

[54] Mohsen Jahanshahi, Ahmad Rahimpour, Majid Peyravi, Developing thin film composite poly(piperazine-amide) and poly(vinyl-alcohol) nanofiltration membranes, *Desalination*, 2010, 129–136.

[55] Alisa Mehrparvar, Ahmad Rahimpour, Mohsen Jahanshahi, Modified ultrafiltration membranes for humic acid removal, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 31, 275–282, 2004.

[56] Ahmad Rahimpour, Mohsen Jahanshahi, Soodabeh Khalili, Arash Mollahosseini, Novel functionalized carbon nanotubes for improving the surface properties and performance of polyethersulfone (PES) membrane, *Desalination*, 99–107, 2012.

[57] Alisa Mehrparvar, Ahmad Rahimpour, Mohsen Jahanshahi, Modified ultrafiltration membranes for humic acid removal, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 275–282, 2014.

transport characteristics", *Ionics*, 21 (2015) 437–447.

[46] D. R. Lide, *CRC Handbook of chemistry and physics*, 87th ed., CRC press, 2006- 2007.

[47] Runlin Han, Shouhai Zhang, Cheng Liu, Yutian Wang, XigaoJian, "Effect of NaA zeolite particle addition on poly(phthalazinone ether sulfone ketone) composite ultrafiltration (UF) membrane performance", *J. Membr. Sci*, 31, 5–12, 2009.

[48] Hyun Soo Lee, Se JoonIm, Jong Hak Kim, Hee Jin Kim, Jong Pyo Kim, ByoungRyul Min, "Polyamide thin-film nanofiltration membranes containing TiO₂ nanoparticles", *Desalination*, 54, 48–56, 2008.

[49] S. S. Madaeni and A. Rahimpour, "Effect of type of solvent and non-solvents on morphology and performance of polysulfone and polyethersulfone ultrafiltration membranes for milk concentration", *Polymers for advanced technologies*, 32, 717–724, 2002.

[50] N. Leblanc, D. Le Cerf, C. Chappey, D. Langevin, M. Meyer, G. Muller, "Influence of solvent and non-solvent on polyimide asymmetric membranes formation in relation to gas permeation", *Sep. Purif. Technol*, 12, 277–285, 2001.

[51] I.F.J. Vankelecom, K. De Smet, L.E.M. Gevers, P.A. Jacobs, "Nanofiltration membrane materials and preparation, in: A.G. Sch" afer, A.G. Fane, T.D. White (Eds.)", *Nanofiltration, Principles and Applications*, Elsevier, Oxford, 33–65, 2005.

[52] N. Ghaemi, S.S. Madaeni, A. Alizadeh, H. Rajabi, P. Daraei, "Preparation, characterization



Investigation and characterization of the effect of hybrid system nanofiltration in solutions purification containing sodium, magnesium and calcium chloride solutions

F. Barzegary¹, Z. Pirayshfar², A. Ahamdi³, N. Azizi⁴, Z. Shahedi^{5, *}

¹Sharif university of technology, Chemical engineering, Tehran, Iran

²Physics Department, Arak University, Arak, Iran

³Young Researchers and Elite Club, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

⁴ Education Department of Nimruz County, Zabol, Iran

⁵Young Researchers and Elite Club, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Ira

Abstract: In this research, a hybrid system was used to treatment three solutions of sodium, magnesium and calcium chloride with TDS of 5000 mg / l. In this way, a pretreatment action is performed prior to the treatment action. In practice, pretreatment and membrane surface modification of copper ferrite -zeolite – chitosan- graphene oxide nanocomposite was used due to their biological and good magnetic properties, non-toxicity, and much functional groups. copper ferrite nanoparticles synthesized by sol-gel method in the sintering temperature of 600°C with a size of approximately 20 nm. Then copper ferrite -zeolite – chitosan- graphene oxide nanocomposites were made by chemically method. Then its features were characterized using Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), X-ray diffraction (XRD), alternating gradient force magnetometer (AGFM) and BET analyses. According to the results of all samples, samples containing nanocomposites were percent rejection and the flux is much better than samples without copper-zeolite – chitosan-graphene oxide ferrite nanocomposites membrane. In hybrid system have been removed magnesium and calcium chloride salts over 90 percent and sodium chloride 69 percent.

Keywords: nanofiltration, copper ferrite -zeolite – chitosan-graphene oxide nanocomposites, purification chloride salts