



حذف همزمان یون های فلز مس و سرب از آب های آلوده با استفاده از غشاء پلیمری اصلاح شده با نانو ذرات سیلیس آمورف

گروه مهندسی شیمی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
دانشیار گروه مهندسی شیمی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

نادیا تمیمی
بهاره کامیاب مقدس*

چکیده مبسوط

مقدمه: فلزات سنگین یکی از مهمترین معضلات آلودگی آب در مشکلات زیست محیطی به شمار می آیند. روش های گوناگونی جهت حذف این آلودگی ها وجود دارد که یکی از بهترین روش ها در این زمینه فرآیندهای غشایی است. هدف از این پژوهش حذف فلزات سنگین به علت سمی بودن و داشتن مضرات فراوان بر سلامت موجودات زنده و محیط زیست می باشد. به این منظور از غشاءهای پلیمری اصلاح شده استفاده شد، که بتواند درصد زیادی از یون های دو فلز مس و سرب حل شده در آب را به طور همزمان حذف نماید.

مواد و روش ها: در این پژوهش از پلیمر پلی اتر سولفون، حلال ان-ان دی متیل استامید و نانو ذرات سیلیس آمورف به عنوان اصلاح گر استفاده شد. پارامترهای آزمایش، درصد وزنی پلیمر (۱۴-۱۸-۲۲ درصد)، درصد وزنی نانو ذرات (۰/۰-۱/۰-۲/۰ درصد وزنی پلیمر) و فشار (۲۲-۱۷ بار) انتخاب شد.

نتایج و بحث: از غشاءهای تهیه شده تست های طیف سنجی انتقال فوریه مادون قرمز (FTIR)، عکس الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز گرماسنجی (TGA)، انجام شد. در آنالیز FTIR پیک های مربوط به گروه های عاملی مشخص گردید. با بررسی تست SEM، حضور نانو ذرات سیلیس در غشاء پلیمری مشخص گردید و آنالیز TGA در غشاء اصلاح شده افزایش مقاومت گرمایی غشاءها را تایید کرد.

نتیجه گیری: فناوری غشایی به واسطه کم بودن اثر مخرب آن بر محیط زیست و نیز کم بودن هزینه های نگهداری و بهره برداری در مقیاس وسیع در صنایع تصفیه آب و پساب های مختلف و حذف آلودگی ها توجه محققین را به خود جلب کرده است. طبق نتایج حاصل شده از تست TGA مشخص شد که غشاء اصلاح شده با نانو ذرات سیلیس باعث تاخیر بیشتر در زمان تخریب می شود، همچنین مقاومت حرارتی غشاءهای اصلاح شده با نانو ذرات سیلیس بیشتر افزایش می یابد در نتیجه حضور نانو ذرات سیلیس پایداری غشاء را بیشتر می کند. طبق مقایسه و بررسی تست FT-IR مربوط به نانو ذرات خالص، غشاء پلیمری خالص و غشاءهای همراه با نانو ذرات، علاوه بر مشخص شدن پیک های گروه عاملی پلیمر پلی اتر سولفون، حضور پیک نانو ذرات سیلیس در غشاءهای اصلاح شده نیز مشخص شد که وجود نانو ذرات سیلیس درون غشاءهای پلیمری پلی اتر سولفون تثبیت شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۴

واژه های کلیدی: غشاء پلیمری،

پلی اترسولفون، نانو سیلیس، سرب، مس، آلودگی آب.

نویسنده مسئول: بهاره کامیاب مقدس

نشانی: گروه مهندسی شیمی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی **تلفن:** ۰۹۱۷۱۲۲۳۳۷ **پست الکترونیکی:** kamyab_bahareh@yahoo.com

DOR:

استناد: تمیمی نادیا، کامیاب مقدس بهاره. حذف همزمان یون های فلز مس و سرب از آب های آلوده با استفاده از غشاء پلیمری اصلاح شده با نانو ذرات سیلیس آمورف. پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۲؛ ۱ (۲): ۶۹-۸۰.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

که در این پژوهش از غشا پلی اتر سولفون به همراه کامپوزیت نانو ذرات پلی آنیلین اکسید آهن^۵ به عنوان اصلاح‌گر استفاده شد. میزان حذف فلز مس در پژوهش ۸۵٪ گزارش شد (دارایی ۲۰۱۲). همچنین محمود و همکاران میزان حذف مس و سرب را در پساب مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از سه نانو ذرات سیلیکا، کامپوزیت نانو ذرات سیلیکا-پلی آنیلین خطی^۶ و سیلیکا-پلی آنیلین شاخه‌ای^۷ استفاده شد. میزان حذف فلز مس برای نانو سیلیکا در نمونه‌های فاضلاب، آب دریا و آب شیر به ترتیب ۱٪/۰٫۷، ۲٪/۳۲، ۴٪/۵۳ و برای سرب به ترتیب ۷۵٪، ۳۶٪/۸، ۸۱٪ گزارش شد. برای کامپوزیت نانو ذرات، میزان حذف مس در آب‌های ذکر شده به ترتیب ۹۹٪/۳، ۹۱٪، ۹۸٪/۳، و برای سرب به ترتیب ۸۹٪/۹، ۵۶٪/۶، ۱۰۰٪ و همچنین برای کامپوزیت نانو ذرات Sil-Phy-CrossNPANI میزان حذف برای مس به ترتیب ۹۶٪/۲، ۸۳٪/۶، ۹۷٪ و برای سرب به ترتیب ۸۶٪/۹، ۷۵٪/۵، ۹۹٪/۲ گزارش شد (محمود ۲۰۱۶). به موازات تلاش‌های فوق پادمواتی و همکاران حذف مس از پساب‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از دو غشا پلیمر تبادل آنیونی پلی سولفون و پلی استایرن اتیلن بوتیلن پلی استایرن به عنوان جاذب استفاده شد. میزان حذف فلز مس در پساب‌های مربوط به صنایع کودسازی، فاضلاب شهری، دباغی و رنگ زنی برای جاذب QPSU به ترتیب ۹۷٪/۶۵، ۹۸٪/۷، ۹۰٪/۹۶، ۷۰٪/۵۱ و برای جاذب QPSEBS به ترتیب ۶۵٪/۸۸، ۵۳٪/۳۱، ۳۴٪/۲۶، ۸۹٪/۱۵ گزارش شد (پادمواتی ۲۰۱۴).

هدف از این پژوهش، مطالعه ساخت و انتخاب فرمول مناسب غشاء، جهت حذف دو فلز سنگین بصورت همزمان در یک محلول آبی و تعیین شرایط عملیاتی مطلوب بهینه برای حذف همزمان دو نوع فلز سنگین با جذب متفاوت، در یک عملیات حذف و در نهایت جلوگیری از آلودگی آب و محیط زیست می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده در این پژوهش پلیمر پلی اتر سولفون، حلال ان-ان-دی متیل استامید، مس کلرید با فرمول شیمیایی $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ به صورت جامد سبز رنگ، فلز سرب مورد استفاده خوراک از نمک نترات سرب با فرمول شیمیایی $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ به کار رفته شد و همچنین نانو ذرات سیلیس (SiO_2) بصورت ذرات خشک پودری سفید رنگ در این پژوهش مورد استفاده واقع گردید. شکل ۱ پلیمر پلی اتر سولفون مورد استفاده در پژوهش را

در سراسر جهان یکی از اصلی‌ترین عوامل ایجاد بیماری آلودگی های آب است. آب‌های آلوده طعم و بوی نامطبوعی دارند. این آب‌ها به سه دسته آلی، معدنی و فیزیکی تقسیم‌بندی می‌شوند (ویمونس ۲۰۰۹). روش‌های گوناگونی جهت حذف این آلودگی ها بررسی شد، که یکی از بهترین روش‌ها در این زمینه فرآیند های غشایی است (دانشور ۲۰۰۳، لو ۲۰۰۹) فلزات سنگین یکی از اصلی‌ترین آلودگی‌های آب به شمار می‌آیند (فو ۲۰۱۱). این فلزات به دلیل تجزیه نشدن در طبیعت برای سلامت موجودات زنده بسیار خطرناک هستند. فلزات سنگین با وارد شدن به زنجیره غذایی موجودات بر روی سیستم ایمنی، اعصاب، قلب و کلیه اثر گذاشته و باعث بروز انواع بیماری‌ها می‌شوند (فاروق ۲۰۰۱، طیبان ۱۳۹۱) صنایع مختلفی از جمله صنایع آهن و فولاد، آبکاری الکتریکی، تولید آفت‌کش‌ها، چرمکاری، صنایع هوا و فضا با وارد کردن پسماندهای خود به محیط زیست باعث آلودگی آب و خاک شدند (وانگ ۲۰۰۶). در بین فلزات سنگین، یون‌های فلزات سرب، جیوه، کادمیوم، آرسنیک و کروم سمی‌تر از باقی هستند (فاروق ۲۰۰۱). به عنوان مثال فلز سرب باعث بروز مشکل بر بروی کیه، مغز و خون می‌شود (احمد ۲۰۱۶). تقسیم‌بندی فلزات سنگین در سه گروه فلزات سمی مانند جیوه، مس، سرب، آرسنیک و ...، فلزات با ارزش مانند پلاتین، طلا، نقره و ...، فلزات رادیو نوکلیدی مانند توریم، اورانیوم، رادیوم و ... قرار دارند (وانگ ۲۰۰۹). در سال‌های بعد قائمی و همکاران به حذف سرب از آب پرداختند. در این پژوهش از غشا با پایه پلی اتر سولفون استفاده شد. غشا توسط کامپوزیت نانو ذرات پلی آنیلین و گرافن اکساید^۴ اصلاح شد. نتیجه کار حذف فلز سرب با مقدار ۹۸٪ بود (قائمی ۲۰۱۷). تقریباً همزمان با پژوهش فوق، بیلماز به بررسی حذف سرب از پساب پرداخت. در این پژوهش از غشا با پایه پلی سولفون^۱ استفاده شد. نانو ذرات ژئولیت به عنوان اصلاح‌گر به غشا اضافه شد. پس از انجام آزمایشات در غلظت‌های متفاوتی از محلول خوراک میزان حذف برای فلز سرب به مقدار ۹۱٪ گزارش شد (بیلماز ۲۰۱۶). همچنین قائمی و همکاران در تحقیقی مشابه به بررسی حذف مس از آب پرداختند. در این پژوهش از غشا پلیمری پلی اتر سولفون استفاده شد، همچنین نانو ذرات اکسید آهن / سیلیکا- متفورمین^۲ اضافه شد. میزان حذف مس برای این پژوهش به مقدار ۹۲٪ گزارش شد (قائمی ۲۰۱۵). پیش از آن نیز دارایی و همکاران حذف مس از آب را مورد بررسی قرار داده بودند

5. PANI/Fe3O4
6. Sil-Phy-NPANI
7. Sil-Phy-CrossNPANI

1. PES
2. GO
3. PSF
4. Fe3O4/Sio2-Met

نشان می‌دهد. نمونه پساب استفاده شده در این تحقیق بر پایه آب منطقه شیراز تهیه گردیده است.



شکل ۱- پلیمر پلی اتر سولفون مورد استفاده در پژوهش

توسط نرم‌افزار طراحی شد. نتایج حاصل از این طراحی در جدول ۱ گزارش شد. در این پژوهش فرض شد که غشاء ساخته شده دارای سطح یکنواخت، غلظت دو فلز در محلول‌های اولیه ثابت، دمای سیستم طی فرایند عملیات حذف ثابت و پراکندگی فشار و توزیع خوراک در سطح غشاء یکسان باشد.

طرح آزمایش

پارامترهای آزمایش و سطوح آن‌ها، درصد وزنی پلیمر (۱۴٪، ۱۸٪ و ۲۲٪)، درصد وزنی نانو ذره نسبت به وزن پلیمر (۰، ۱ و ۲ درصد) و فشار عملیاتی (۱۲، ۱۷ و ۲۲ بار)، انتخاب و آزمایشات

جدول ۱- نتایج طراحی آزمایش در برنامه تاگوچی

شماره آزمایش	درصد وزنی پلیمر در محلول	درصد وزنی نانو ذره در غشاء (نسبت به وزن پلیمر)	فشار عملیاتی (bar)
۱	۱۴	۰/۰	۱۲
۲	۱۴	۱/۰	۱۷
۳	۱۴	۲/۰	۲۲
۴	۱۸	۰/۰	۱۷
۵	۱۸	۱/۰	۲۲
۶	۱۸	۲/۰	۱۲
۷	۲۲	۰/۰	۲۲
۸	۲۲	۱/۰	۱۲
۹	۲۲	۲/۰	۱۷

سپس با استفاده از فرمول ۲، میزان گرم نانو ذرات در سه سطح (۰/۰ - ۱/۰ - ۲/۰ درصد وزنی پلیمر) برای هر درصد پلیمر مشخص شد. در جدول ۲ مشخصات ذکر شده آورده شده است.

$$\text{گرم افزودنی} = \frac{\text{گرم پلیمر}}{100\%} \quad (2)$$

تهیه غشاء پلیمری خالص و اصلاح شده

با انتخاب درصدهای پلیمری (۱۴، ۱۸ و ۲۲) و همچنین مقدار وزن پلیمر (۳ گرم)، ابتدا با استفاده از فرمول ۱ وزن حلال مورد نیاز برای هر درصد پلیمر بطور جداگانه محاسبه شد.

$$\text{گرم حلال}(x) = \frac{\text{گرم پلیمر}}{\text{پلیمر}\% - 100\%} \quad (1)$$

جدول ۲- مشخصات وزنی غشاهای پلیمری

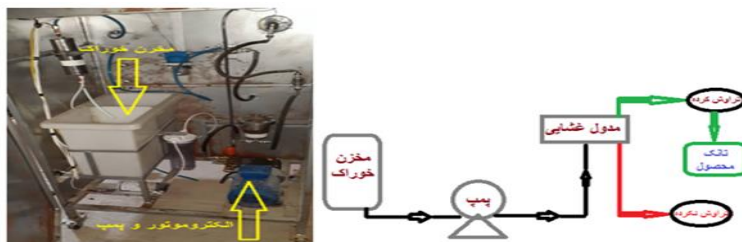
شماره محلول	درصد پلی اتر سولفون (بر اساس محلول پلیمری)	درصد نانو ذره (بر اساس وزن پلیمر)	وزن پلی اتر سولفون (gr)	وزن نانو ذره (gr)	وزن حلال (gr)
۱	۱۴	۰ (غشاء خالص)	۳/۰۰	۰/۰۰	۱۸/۴۳
۲	۱۴	۱	۳/۰۰	۰/۰۳	۱۸/۴۳
۳	۱۴	۲	۳/۰۰	۰/۰۶	۱۸/۴۳
۴	۱۸	۰ (غشاء خالص)	۳/۰۰	۰/۰۰	۱۳/۶۷
۵	۱۸	۱	۳/۰۰	۰/۰۳	۱۳/۶۷
۶	۱۸	۲	۳/۰۰	۰/۰۶	۱۳/۶۷
۷	۲۲	۰ (غشاء خالص)	۳/۰۰	۰/۰۰	۱۰/۶۴
۸	۲۲	۱	۳/۰۰	۰/۰۳	۱۰/۶۴
۹	۲۲	۲	۳/۰۰	۰/۰۶	۱۰/۶۴

را به حالت جامد (غشاء) تبدیل کرد. جهت تثبیت و شکل‌گیری کامل حفره‌ها و خارج شدن تمامی حلال، غشاء تهیه شده به درون ظروف درب دار پر از آب مقطر انتقال داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در این ظرف درب دار نگهداری شد. جهت تهیه محلول خوراک حاوی ۱۵۰ ppm از هر نوع فلز سنگین، ابتدا میزان ۱/۲ گرم از هر فلز را بطور جداگانه وزن کرده، سپس در هشت لیتر آب مقطر حل شد. بدین ترتیب غلظت هر فلز در محلول ۱۵۰ ppm تهیه شد.

روش جداسازی

یک سیستم پایلوت غشایی جریان عرضی اسمز معکوس، جهت جداسازی و حذف مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۲ و نمایی از شماتیک آن قابل مشاهده است. برای شروع ابتدا غشاء در مدول غشایی دستگاه اسمز معکوس قرار گرفت، سپس از محلول نمکی مخزن یک نمونه به عنوان نمونه اولیه برداشته شد، شیر برگشت باز شد تا با روشن شدن پمپ دستگاه فشار به سطح غشاء وارد نشود، دستگاه روشن گردید، از محل خروجی محصول تراوش کرده از مدول غشایی نمونه‌برداری شد.

طبق جدول فوق ۹ محلول پلیمری، شامل ۳ محلول خالص و ۶ محلول نانو ذرات بدست آمد. پلیمر مورد نظر جهت خشک شدن به مدت ۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آن نگهداری، و بعد از این مدت به میزان‌های ۳ گرم وزن شد. جهت تهیه هر غشاء حلال مورد نظر وزن و به ظروف درب دار انتقال داده شد. در صورتی که محلول همراه با افزودنی بود، ابتدا میزان افزودنی وزن و به حلال اضافه شد، سپس به مدت ۱۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار گرفت و پس از آن پلیمر به حلال همراه با افزودنی اضافه گردید. در پایان درون هر ظرف مگنت اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت بر روی هم زن مغناطیسی قرار گرفت. پس از تهیه محلول پلیمری، محلول آماده قالب‌گیری و فیلم کشی شد. از کاغذ پلی استر نبافته به عنوان نگه دارنده در سطح زیرین غشاء استفاده گردید. ابتدا کاغذ پلی استر را بر روی شیشه‌ای چسبانده، سپس ۴ لایه چسب جهت تعیین میزان ضخامت مورد نظر چسبانده شد. سپس محلول پلیمری بر روی کاغذ نگه دارنده، ریخته و با میله فیلم کش از محلول پلیمری فیلم کشی شد. بلا فاصله پس از اتمام فیلم کشی، قالب پلیمری را همراه با کاغذ نگه دارنده و شیشه به درون حمام انعقاد (تشت آب مقطر) منتقل شد. در این مرحله آب مقطر موجود در حمام انعقاد، قالب پلیمری مایع



شکل ۲- شماتیک و تصویر دستگاه مورد استفاده شده در پژوهش

(۳) حذف درصد = $\frac{\text{غلظت محصول تراوش کرده - غلظت ورودی خوراک}}{\text{غلظت ورودی خوراک}} \times 100$

تصویر شکل گرفتن غشاء اصلاح شده در حمام انعقاد و ظروف نگهداری غشاء حاوی آب مقطر در شکل ۳ مشاهده می شود.

همچنین جهت شناسایی و بدست آوردن میزان و درصد حذف فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی استفاده شد. میزان درصد حذف هر فلز با استفاده از فرمول ۳ محاسبه شد.

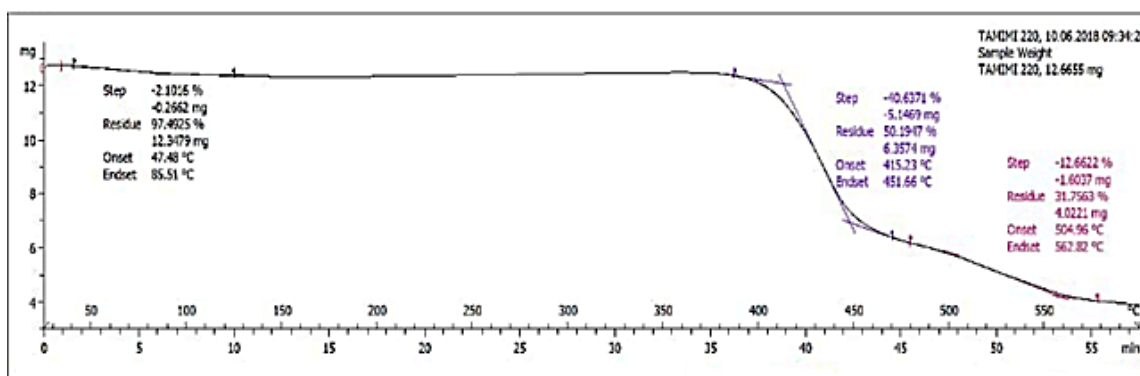


شکل ۳- مرحله شکل گرفتن غشاء در حمام انعقاد و ظروف نگهداری غشاء حاوی آب مقطر

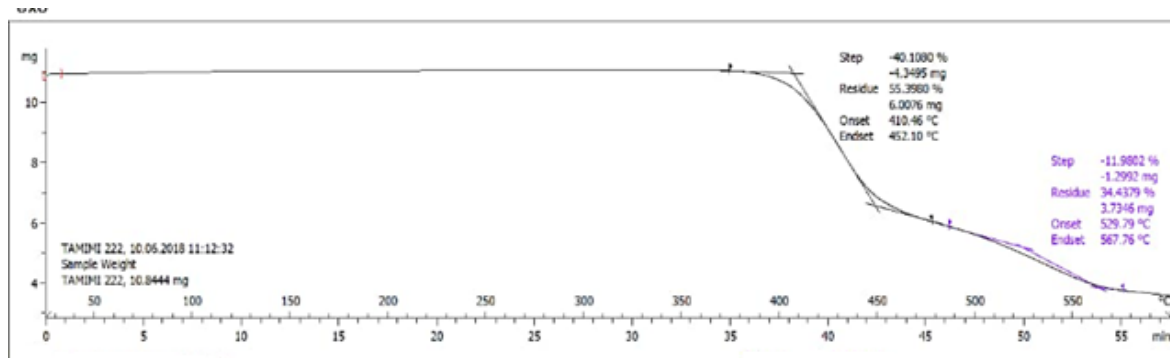
همانطور که در اشکال ۴ و ۵ مشاهده می شود منحنی های رسم شده در بالای هر نمودار، منحنی مربوط به TGA می باشد. منحنی های TGA، بر اساس وزن ماده نسبت به دما (۲۵°C تا ۶۰۰°C) رسم شده است.

نتایج و بحث

آنالیز گرما سنجی



شکل ۴ - نمودار TGA غشا ۲۲٪ پلیمر بدون نانو ذره

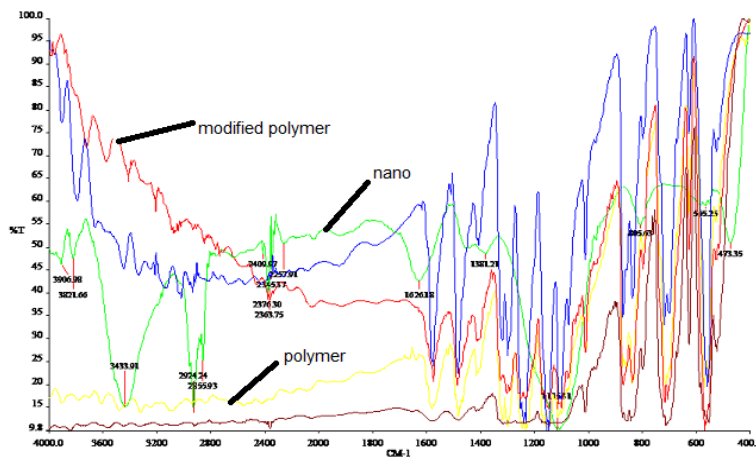


شکل ۵ - نمودار TGA غشا ۲۲٪ پلیمر با ۲٪ نانو ذره

مطالعه طیف سنجی انتقال فوریه مادون قرمز

نتیجه مطالعه طیف سنجی انتقال فوریه مادون قرمز از نمونه‌های نانو ذرات بصورت خالص، غشاء پلیمری خالص و غشاء پلیمری اصلاح شده با نانو ذرات در نمودارهای شکل ۶ گزارش شد. به ترتیب پیک‌های مربوط به نانو ذره سیلیکا با گروه‌های عاملی O-Si-O (1115 cm^{-1})، Si-O (805 cm^{-1})، C-O (1626 cm^{-1})، Si-C (2924 cm^{-1}) و OH (3433 cm^{-1})، پیک‌های مربوط به پلیمر خالص پلیاتر سولفون شامل کشش متقارن (1152 cm^{-1})، کشش نامتقارن (1322 cm^{-1})، ارتعاشات کششی گروه سولفون (1322 cm^{-1} - 1132 cm^{-1})، گروه آمید (1600 cm^{-1})، ارتعاش کششی اسکلتی گروه COO (1710 cm^{-1} و 1710 cm^{-1}) و پیک‌های مربوط به گروه آمین (3500 cm^{-1}) N-H (3500 cm^{-1}) و همچنین پیک‌های مربوط به پلیمر اصلاح شده با نانو ذرات خوبی مشاهده شد و وجود نانو ذرات در غشاء‌های اصلاح شده تثبیت شد. گروه‌های عاملی مربوط به پلیمر پلی اتر سولفون و نانو ذرات سیلیکا که رنج طول موج‌هایشان شبیه یا نزدیک به هم بودند بر هم منطبق شده و باعث ایجاد پیک‌های بلندتری شدند که این امر حضور نانو ذرات در غشاء پلیمری را اثبات کرد.

با بررسی منحنی TGA در نمودار ۱ در غشاهای ۲۲٪ پلیمر خالص، دو تخریب صورت گرفته اولین تخریب از دمای ۴۱۵/۲۳ تا ۴۵۱/۶۶ درجه سانتی‌گراد و دومین تخریب از دمای ۵۰۴/۹۶ تا ۵۶۲/۸۲ درجه سانتی‌گراد رخ داده است. در بررسی نمودار ۲ که مربوط به غشاء ۲۲٪ پلیمر اصلاح شده با ۲٪ نانو ذرات سیلیس بود، دو تخریب صورت گرفته بود که تخریب اول در دمای ۴۱۰/۴۶ تا ۴۵۲/۱۰ درجه سانتی‌گراد و تخریب دوم از دمای ۵۲۹/۷۹ تا ۵۶۷/۷۶ درجه سانتی‌گراد رخ داده بود، نتیجه حاصل از بررسی TGA بین دو غشاء خالص و غشاء اصلاح شده نشان می‌دهد که غشاء اصلاح شده با ۲٪ نانو ذرات سیلیس در تخریب اول هرچند زودتر دچار تخریب می‌شود که ناشی از وزن کمتر نمونه نسبت به بدون نانو ذره می‌باشد، حدود ۵/۲۱ درجه سانتی‌گراد بازه تخریب بیشتر طول کشید، و در تخریب دوم که مربوط به بافت‌های داخلی تر می‌باشد، ۲۴/۸۳ درجه سانتی‌گراد دیرتر تخریب صورت گرفته بود. این نشان‌دهنده آن بود که غشاء اصلاح شده با نانو ذرات سیلیس مقاومت گرمایی غشاء را ۲۴/۸۳ درجه سانتی‌گراد افزایش داده است.

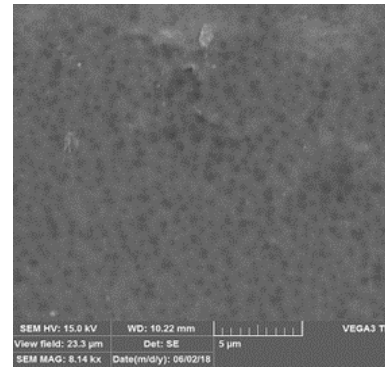
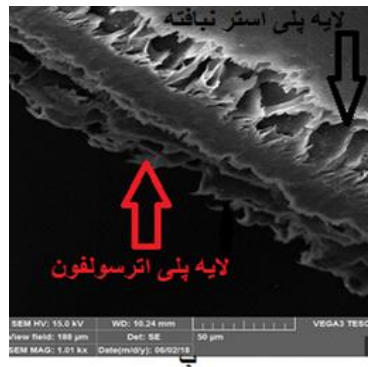
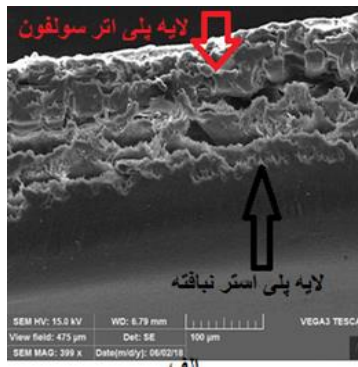


شکل ۶ - نمودار FTIR نانو ذره خالص، پلیمر و پلیمر اصلاح شده

مقیاس ۵ میکرومتر نشان داد. همانگونه که مشاهده شد سطح رویی این غشا کاملاً متراکم بود. این امر به دلیل قالب‌گیری غشا بود که سطح رویی را فشرده، یکنواخت و صاف کرد.

آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی جهت بررسی مورفولوژی غشاهای

شکل ۷ نمایی از سطح رویی غشاء ۱۸٪ پلیمر خالص را در

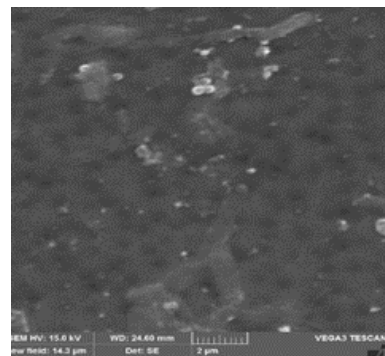
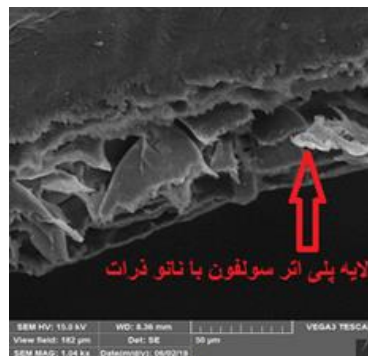
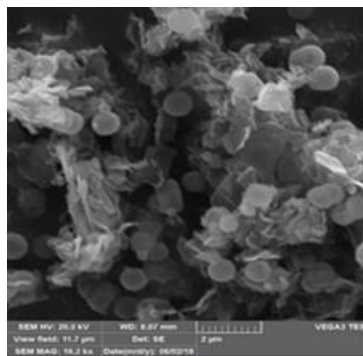


شکل ۸- عکس SEM سطح مقطع غشاء ۱۸٪ پلیمر خالص در مقیاس ۱۰۰ میکرومتر (الف) و ۵۰ میکرومتر (ب)

شکل ۷- عکس SEM کر رویی غشاء ۱۸٪ پلیمر خالص

با توجه به شکل ۹، عکس حاصل از سطح رویی غشاء ۱۸٪ پلیمر با ۲٪ افزودنی نانو ذرات نشان داده شد. منافذ سطح غشاء با نانو ذرات پر شده، که این امر به تنگتر شدن منافذ کمک کرد و باعث جداسازی بیشتر فلز از محلول فلزی شد.

شکل ۸ عکس‌های بدست آمده از سطح مقطع غشاء ۱۸٪ پلیمر خالص را نشان داد. لایه‌ها و منافذ پلیمر پلی اتر سولفون نشان داد که محلول حاوی فلزات سنگین وارد این منافذ با اندازه‌های کوچک شده و در آنجا به دام افتاده و اجازه عبور از غشا به آن‌ها داده نمی‌شود.



شکل ۱۰- عکس SEM سطح مقطع غشاء ۱۸٪ پلیمر با ۲٪ نانو ذره (الف) و نانو ذرات در لایه پلی اتر سولفون (ب)

شکل ۹- عکس SEM سطح رویی غشاء ۱۸٪ پلیمر به همراه ۲٪ نانو ذره

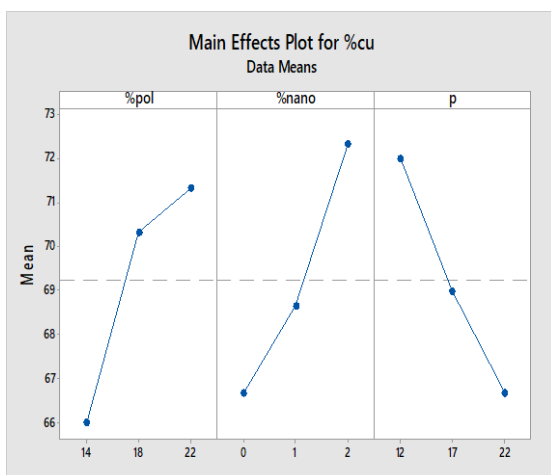
نتایج بدست آمده از حذف دو فلز مس و سرب
با توجه به طراحی انجام شده توسط نرم‌افزار مینی تب ۱۷ در قسمت تاگوچی، و با انتخاب آرایه L9، و انجام آزمایشات درصد حذف هر فلز با توجه به غلظت اولیه ورودی و غلظت محصول تراوش کرده از سطح غشاء توسط جذب هر فلز با دستگاه جذب اتمی طبق جدول ۳ بدست آمد.

در شکل ۱۰ عکس‌هایی از سطح مقطع غشاء ۱۸٪ پلیمر به همراه ۲٪ نانو ذره آورده شده است. در عکس الف وجود لایه‌های پلی اتر سولفون به همراه نانو ذرات موجود در بافت و منافذ غشاء پلیمری مشخص شد. در عکس ب نیز حضور نانو ذرات در لایه پلی اتر سولفون به طور مشخص مشاهده شد.

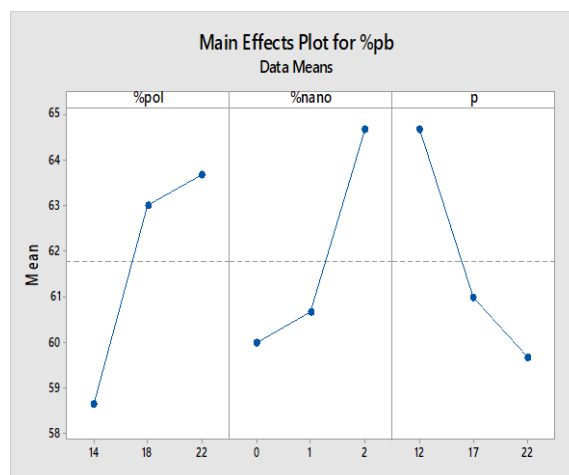
جدول ۳- درصد حذف فلز مس و فلز سرب در شرایط طراحی شده

شماره آزمایش	درصد پلیمر	درصد نانو ذره	فشار (bar)	درصد حذف مس	درصد حذف سرب
۱	۱۴	۰	۱۲	۶۵	۵۹
۲	۱۴	۱	۱۷	۶۶	۵۷
۳	۱۴	۲	۲۲	۶۷	۶۰
۴	۱۸	۰	۱۷	۶۸	۶۱
۵	۱۸	۱	۲۲	۶۶	۵۹
۶	۱۸	۲	۱۲	۷۷	۶۹
۷	۲۲	۰	۲۲	۶۷	۶۰
۸	۲۲	۱	۱۲	۷۴	۶۶
۹	۲۲	۲	۱۷	۷۳	۶۵

تأثیر پارامترهای مختلف بر حذف فلز مس و سرب



شکل ۱۲- نمودار بررسی تأثیر درصد پلیمر، درصد نانو ذره و فشار در حذف فلز مس



شکل ۱۱- نمودار بررسی تأثیر درصد پلیمر، درصد نانو ذره و فشار در حذف فلز سرب

۲٪ وزنی بدست آمد با توجه به نمودارها از صفر تا ۱٪ نانو ذره روند حذف فلزات با شیب کمتر نسبت به ۱٪ تا ۲٪ وزنی نانو ذره مشاهده شد که می‌تواند به این دلیل باشد که با اضافه کردن ۱٪ نانو ذره هنوز غشاء قابلیت و ظرفیت مقدار بیشتر نانو ذره را دارد. با افزایش نانو ذره از ۱٪ به ۲٪ غشاء به اندازه تمام ظرفیت خود دارای نانو ذره می‌باشد چرا که تأثیر آن حذف بیشتر فلز مس بصورت مشهود است. در مورد فشار نتیجه شد که افزایش فشار عملیاتی باعث کاهش درصد حذف فلز مس و سرب شد که این امر نشان‌دهنده آن بود که افزایش فشار به مولکول‌های فلزات مس و سرب کمک می‌کرد که بتوانند از منافذ غشاء عبور کنند و همچنین با توجه به میزان عبور آب (محلول) از سطح غشاء، میزان عبور فلزات از سطح غشاء نیز افزایش یافته بود در نتیجه بهترین

در دو نمودار مندرج در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ تأثیر سه پارامتر درصد پلیمر، درصد نانو ذره و فشار در مورد فلز مس و سرب مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی درصد پلیمر نتیجه شد که افزایش میزان پلیمر از ۱۴٪ به ۱۸٪ باعث افزایش حذف فلز مس و سرب به مقدار قابل توجه بود. در بررسی افزایش پلیمر از ۱۸٪ به ۲۲٪ برای هر دو فلز، افزایش حذف فلز با شیب کمتری همراه بود، که دلیل این کاهش شیب، می‌تواند به دلیل تراکم بالای غشاء باشد. بافت متراکم غشاء سبب عبور کمتر محلول از سطح غشاء بوده باشد. در بررسی درصد نانو ذره نتیجه شد که با افزایش میزان نانو ذره، درصد حذف مس و سرب در بازه تعریف شده افزایش یافت. که این نشان‌دهنده آن بود که حضور نانو ذرات در غشاء باعث بهبود در حذف فلز بود. بیشترین تأثیر میزان افزودنی، مقدار

فرآیند فیلتراسیون توسط Dead-end cell انجام شد. غلظت یون مس توسط دستگاه جذب اتمی مشخص شد و میزان درصد حذف برای فلز مس در این پژوهش مقدار ۹۲٪ گزارش شد (قائمی ۲۰۱۵). در پژوهشی دیگر، دارایی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی حذف مس از محلول آبی پرداختند. آن‌ها از یک غشا پلیمری نانو کامپوزیتی به نام PES/PANI/Fe₃O₄ استفاده کردند. پایه غشا، پلیمر پلی اتر سولفون بود و از کامپوزیت نانو ذرات PANI/Fe₃O₄ به عنوان اصلاح‌گر استفاده شد. پارامترهای مورد نظر در این پژوهش درصد وزنی نانو ذره و غلظت‌های اولیه محلول خوراک بود. بهینه مقدار این پارامترها برای درصد وزنی نانو ذره میزان ۰/۱ درصد وزنی، و برای غلظت اولیه محلول خوراک میزان ۲۰ میلیگرم بر لیتر گزارش شد. در این پژوهش از سه ایزوترم جذب به نام‌های lungmuir، frendlich و Redlich-Peterson استفاده شد که بهترین نتیجه در جذب یون‌های فلز مس توسط ایزوترم Redlich-Peterson بدست آمد و میزان فلز حذف شده برای مس مقدار ۸۵٪ گزارش شد.

محمود و همکاران (۲۰۱۴) حذف فلز مس و سرب را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از Sil-Phy-NPANI و Sil-Phy-CrossNPANI ساختند. پارامترهای مورد آزمایش آن‌ها مقدار pH، زمان تماس، دوز جاذب‌ها و غلظت اولیه فلزات سنگین بود. برای بررسی مشخصات جذب بین نانو سیلیکا، Sil-Phy-NPANI و Sil-Phy-CrossNPANI از روش Batch equilibrium Technique استفاده شد. مقدار بهینه برای pH برابر ۶ و ۷، برای زمان تماس ۱۵ و ۲۰ دقیقه، برای جاذب‌ها ۰/۰۰۵ گرم و برای غلظت اولیه فلزات ۰/۲ گرم بر مول بود. برای بررسی رفتار جذب دو جاذب از دو ایزوترم جذب lungmuir و frendlich استفاده شد. بعد از انجام آزمایشات میزان نتایج حذف برای هر کدام از جاذب‌ها گزارش شد. میزان حذف فلز مس توسط نانو سیلیکا از نمونه فاضلاب برابر ۷۰٪/۱، برای نمونه آب دریا برابر ۳۲٪/۲، برای نمونه آب شیر ۵۳٪/۴ و برای فلز سرب برای نمونه‌ها به ترتیب ۷۵٪/۸، ۳۶٪/۸، ۸۱٪ گزارش شد. برای جذب Sil-Phy-NPANI میزان حذف فلز مس برای نمونه‌های مختلف به ترتیب ۹۹٪/۳، ۹۱٪/۳، ۹۸٪/۳ و برای فلز سرب به ترتیب ۸۹٪/۶، ۵۶٪/۶، ۱۰۰٪. برای جذب Sil-Phy-CrossNPANI میزان حذف فلز مس به ترتیب ۹۶٪/۲، ۸۳٪/۶، ۹۷٪ و مقدار حذف برای فلز سرب به ترتیب ۸۶٪/۹، ۷۵٪/۵، ۹۹٪/۲ گزارش شد. در همان سال پادمواتی و همکاران (۲۰۱۴) حذف فلز مس از چهار پساب را مورد بررسی قرار دادند. پساب‌ها مربوط به صنایع کودسازی، فاضلاب صنعتی، دباغی و رنگ‌سازی بود. آن‌ها از دو غشا تبادل آنیونی مختلف به نام QPSU و QPSEB استفاده کردند. این دو غشا پلیمری به عنوان جاذب مورد بررسی قرار

فشار عملیاتی در فشار ۱۲ بار در کمترین فشار بدست آمد که از لحاظ هزینه انرژی به صرفه اقتصادی است که روند حذف در فشار عملیاتی پایین با بیشترین مقدار حذف انجام شود. با توجه به نتایج حاصل از انجام آزمایشات، بیشترین درصد حذف فلز مس و سرب، در شرایط غشاء ۱۸ درصد پلیمر با میزان ۲ درصد افزودنی در فشار ۱۲ بار به ترتیب ۷۷٪ و ۶۹٪ حذف برای فلز مس و سرب بدست آمد. شرایط بهینه بدست آمده توسط نرم‌افزار، غشاء ۲۲ درصد پلیمر با میزان افزودنی ۲ درصد در فشار عملیاتی ۱۲ بار گزارش شد، که پس از انجام آزمایش در این شرایط میزان حذف فلز مس و سرب به ترتیب ۸۲٪ و ۷۴٪ بدست آمد.

جدول مقایسه نتایج پژوهش‌های پیشین با این پژوهش

در جدول ۴، مقایسه‌ای از نتایج بدست آمده از پژوهش‌های پیشین با این پژوهش گزارش شده است. در سال ۲۰۱۷ قائمی و همکاران حذف سرب از آب رامورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این پژوهش از پلیمر پلی اتر سولفون به عنوان پایه غشا و از کامپوزیت نانو ذرات گرافن اکساید و پلی آنیلین به عنوان اصلاح‌گر استفاده کردند. پارامترهای مورد بررسی آن‌ها در این پژوهش مقدار نانوذرات اضافه شده به غشا، Ph و غلظت خوراک بود، که مقدار بهینه برای هر کدام از پارامترها به ترتیب ۰/۲۵٪ وزنی، ۶ و ۵ میلیگرم بر لیتر بدست آمد. به منظور بررسی مکانیسم‌های جذب، مدل‌های ایزوترم و مدل سینتیک جذب مورد بررسی قرار گرفتند و با توجه به نتایج بدست آمده مدل ایزوترم لانگمویر و مدل سینتیک جذب Pseudo-first order مناسب‌ترین مدل‌ها برای جذب یون‌های سرب روی غشا انتخاب شدند. آزمایشات انجام شد و یون سرب به میزان ۹۸٪ از آب حذف شد (قائمی ۲۰۱۷). بیلماز و همکاران (۲۰۱۶) حذف سرب از محلول‌های آبی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از غشا پلیمری پلی سولفون به همراه نانو ذرات زئولیت که به عنوان اصلاح‌گر به غشا اضافه شد استفاده کردند. پارامترهای مورد بررسی آن‌ها درصد وزنی زئولیت و غلظت اولیه محلول خوراک بود. که میزان بهینه هر کدام از پارامترها به ترتیب ۱۰٪ وزنی و ۱۰۰ میلیگرم بر لیتر گزارش شد. فرآیند جداسازی با استفاده از روش Dead-end stirred cell انجام، و میزان حذف سرب به مقدار ۹۱٪ گزارش شد (بیلماز ۲۰۱۶). قائمی و همکاران (۲۰۱۴) حذف فلز مس از آب را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این پژوهش از غشا پلیمری PES/FeSiMet0.1 استفاده کردند. این غشا پایه‌ای از جنس پلیمر پلی اتر سولفون داشت و در آن از نانو ذرات Fe₃O₄/SiO₂-Met به عنوان اصلاح‌گر استفاده شد. پارامتر مورد بررسی در این پژوهش میزان درصد وزنی نانو ذرات بود که بهینه مقدار این پارامتر میزان ۰/۱٪ وزنی گزارش شد.

های آبی توسط غشا پلیمری اصلاح شده انجام شد. لذا از پلیمر پلی اتر سولفون به عنوان پایه غشا و از نانو ذرات سیلیس آمورف به عنوان اصلاح‌گر استفاده شد. نانو ذرات سیلیس آمورف ساختار نرم و انعطاف‌پذیری دارند، در آمورف تاثیر فضایی مکان اتم‌ها تغییر می‌کند و به همین دلیل ترکیب شدن آن‌ها با پلیمر بهتر اتفاق می‌افتد، پس از سیلیس آمورف راحت‌تر می‌توان به عنوان اصلاح‌کننده در حفرات غشا استفاده کرد و در نتیجه حذف بهتری نسبت به ساختار کریستالی سیلیس خواهیم داشت. پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش درصد پلیمر، درصد وزنی نانو ذره و فشار در نظر گرفته شد. که مقدار بهینه هر کدام به ترتیب ۲۲٪، ۲٪ درصد وزنی و ۱۲ بار گزارش شد. فرآیند جداسازی توسط اسمز معکوس انجام شد. دستگاه اسمز معکوس، دستگاهی بسیار کارآمد در حذف فلزات سنگین است، به همین دلیل برای حذف دو فلز مس و سرب از این دستگاه استفاده شد. آزمایشات انجام و میزان حذف برای دو فلز مس و سرب به ترتیب ۸۲٪ و ۷۴٪ گزارش شد.

گرفتند. فرآیند جداسازی توسط Batch adsorption انجام شد. پارامتر مورد بررسی آن‌ها در این پژوهش زمان تماس بود. بهینه زمان تماس برای انجام فرایند، ۵ روز گزارش شد. نتایج حذف فلز مس برای چهار پساب صنایع کودسازی، فاضلاب شهری، دباغی و رنگ زنی برای جاذب QPSU به ترتیب مقادیر ۹۷/۶۵٪، ۹۸٪/۷، ۹۰/۹۶، ۷۰٪/۵۱ و برای جاذب QPSEBS به ترتیب مقادیر ۶۵/۸۸٪، ۵۳/۳۱٪، ۳۴/۲۶٪، ۸۹/۱۵٪ گزارش شد اخیراً نیز، داداری و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از غشاء نانوفیلتراسیون پلی اترسولفون همراه با نانوذرات نیکل بنتونیت سنتز شده به حذف نانو ذرات آهن پرداختند. گزارش نتایج حاصل از تحقیق این پژوهشگران حاکی از عملکرد مناسب و قابل قبول غشاء پلیمری اصلاح شده می‌باشد. همچنین عزیزی و همکاران (۲۰۲۳) به حذف فلزات سنگین و رنگ‌ها از آب با استفاده از غشاء نانوفیلتراسیون پلی اترسولفون اصلاح شده با آهن - سیلیکا پرداختند که نتایج قابل قبولی از حذف فلزات سنگین در برداشت. در این مقاله حذف فلز مس و سرب به صورت همزمان از محلول

جدول ۴- مقایسه نتایج پژوهش‌های گذشته با این پژوهش

رفرنس	درصد حذف سرب	درصد حذف مس	جاذب	نانو ذرات	پایه پلیمر	غشا
۱۰	۹۸٪	-	-	GO + PANI	PES	PES/ PANI@GO
۱۱	۹۱٪	-	-	Zeolit	Psf	Psf10-0
۱۲	-	۹۲٪	-	Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ -Met	PES	PES/FeSiMet _{0.1}
۱۳	-	۸۵٪	-	PANI/Fe ₃ O ₄	PES	PES/PANI/Fe ₃ O ₄
۱۴	۷۵٪	۷۰٪/۱	-	Silica	-	-
۱۴	۸۹٪/۹	۹۹٪/۳	-	Sil-Phy-NPANI	-	-
۱۴	۸۶٪/۹	۹۶٪/۲	-	Sil-Phy-CrossNPANI	-	-
۱۵	-	۹۷٪	QPSU	-	-	-
۱۵	-	۹۷٪/۶۵	QPSU	-	-	-
		۹۸٪/۷				
		۹۰٪/۹۶				
		۷۰٪/۵۱				
		۶۵٪/۸۸	QPSEBS	-	-	-
		۵۳٪/۳۱				
		۳۴٪/۲۶				
		۸۹٪/۱۵				
This study	۷۴٪	۸۲٪	-	Amorphous Silica	PES	PES

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

سیلیس باعث تاخیر بیشتر در زمان تخریب شد، همچنین مقاومت حرارتی غشاءهای اصلاح شده با نانو ذرات سیلیس بیشتر شده بود، در نتیجه حضور نانو ذرات سیلیس پایداری غشاء را بیشتر کرده بود. طبق بررسی عکس‌های SEM، مشخص بودن بافت و ساختار غشاء پلیمری و نیز حضور نانو ذرات سیلیس در حفره های غشاء به همراه نانو ذرات، تثبیت شد و به سبب آن عملیات حذف همزمان دو فلز سنگین مس و سرب بهتر انجام شد. طبق مقایسه و بررسی تست FT-IR مربوط به نانو ذرات خالص، غشاء پلیمری خالص و غشاءهای همراه با نانو ذرات، علاوه بر مشخص شدن پیک‌های گروه عاملی پلیمر پلی اتر سولفون، حضور پیک نانو ذرات سیلیس در غشاءهای اصلاح شده نیز مشخص شد که وجود نانو ذرات سیلیس درون غشاءهای پلیمری پلی اتر سولفون را به اثبات می‌رساند و همه بیانگر جداسازی دقیق این دو فلز توسط این غشاء اصلاح شده است.

امروزه فناوری غشایی به واسطه کم بودن اثر مخرب آن بر محیط زیست و نیز کم بودن هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در مقیاس وسیع در صنایع تصفیه آب، پساب‌های مختلف و حذف آلودگی‌ها توجه محققین را به خود جلب کرده است. در این پژوهش سعی بر آن شده که با استفاده از فرایند غشایی یون فلز های مس و سرب موجود در محلول آبی را بصورت همزمان حذف و به حداقل رساند. نتایج حاصل از انجام آزمایشات جهت حذف این دو فلز به صورت همزمان، در شرایط ۱۸ درصد از پلیمر به همراه ۲٪ نانو ذرات در فشار ۱۲ بار، با میزان حذف ۷۷٪ برای فلز مس و میزان ۶۹٪ حذف برای فلز سرب بدست آمد. در صورتی که نتیجه شرایط بهینه بدست آمده توسط نرم‌افزار در غشاء ۲۲٪ پلیمر همراه با ۲٪ افزودنی در فشار ۱۲ بار جهت حذف فلز مس و سرب بود که میزان حذف ۸۲٪ و ۷۴٪ بدست آمد. طبق بررسی تست TGA مشخص شد که غشاء اصلاح شده با نانو ذرات

References

- Ahmad S, Ali A, Ashfaq A. 2016. "Heavy metal Pollution, Sources, Toxic Effects and Techniques Adopted for Control". *Int J of Current Research and Academic Rev*, 4(6), pp. 39-58.
- Azizi, S., Jafarbeigi, E., & Salimi, F. (2023). Removal of heavy metals and dye from water and wastewater using nanofiltration membranes of polyethersulfone modified with functionalized iron-silica nanoparticles. *Energy Sources, Part A: Rec, Util, Env Eff*, 45(3), 6856-6868. <https://doi.org/10.1080/15567036.2023.2219222>
- Dadari, S., Rahimi, M., & Zinadini, S. (2022). Novel antibacterial and antifouling PES nanofiltration membrane incorporated with green synthesized nickel-bentonite nanoparticles for heavy metal ions removal. *Chem Eng J*, 431, 134116. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.134116>
- Daneshvar N, Salari D, Khataee A. 2003. Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water: investigation of the effect of operational parameters. *J Photochem Photobiol A Chem*. 157(1): 111-6. [https://doi.org/10.1016/S1010-6030\(03\)00378-](https://doi.org/10.1016/S1010-6030(03)00378-)
- Daraei, P., Madaeni, S. S., Ghaemi, N., Salehi, E., Khadivi, M. A., Moradian, R., & Astinchap, B. (2012). Novel polyethersulfone nanocomposite membrane prepared by PANI/Fe₃O₄ nanoparticles with enhanced performance for Cu (II) removal from water. *J of Mem Sci*, 415, 250-259. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.05.007>
- Farooq U, Kozinski J A, Khan M A, Athar M. 2001. "Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents A review". *Bio-res. Tech.*, 101, pp. 5043-5053. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.030>
- Fu F, Wang Q. 2011. "Removal of heavy metal ions from wastewaters A review". *Env. Manag.*, 92(3), March, pp. 407-418. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>
- Ghaemi, N., Madaeni, S. S., Daraei, P., Rajabi, H., Zinadini, S., Alizadeh, A., ... & Ghousivand, S. (2015). Polyethersulfone membrane enhanced with iron oxide nanoparticles for copper removal from water: application of new functionalized Fe₃O₄ nanoparticles. *Chem Eng J*, 263, 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.10.103>
- Ghaemi, N., Zereskhi, S., & Heidari, S. (2017). Removal of lead ions from water using PES-based nanocomposite membrane incorporated with polyaniline modified GO nanoparticles: Performance optimization by central composite design. *Process Safety and Env Prot*, 111, 475-490. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.08.011>
- Lu CS, Chen CC, Mai FD, Li HK. 2009. Identification of the degradation pathways of alkanolamines with TiO₂ photocatalysis. *J Hazard Mat*. 165(1-3): 306-16. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.09.127>
- Mahmoud, M. E., Fekry, N. A., & El-Latif, M. M. (2016). Nanocomposites of nanosilica-

- immobilized-nanopolyaniline and crosslinked nanopolyaniline for removal of heavy metals. *Chem Eng J*, 304, 679-691. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.06.110>
12. Padmavathi, R., Minnoli, M., & Sangeetha, D. (2014). Removal of heavy metal ions from waste water using anion exchange polymer membranes. *International J of Plastics Tech*, 18(1), 88-99. <https://doi.org/10.1007/s12588-014-9067-y>
13. Vimonses V. Lei S. Jin Bo. Chris W. Chow K. 2009. Adsorption of congo red by three Australian kaolins. *Chris Saint, App Clay Sci*. 43: 465. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.11.008>
14. Wang J L. Chen C. 2006. "Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: a review". *Biotech Ad*, 24(5), September-October, pp. 427-451. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.03.001>
15. Wang, J., & Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotech Ad*, 27(2), 195-226. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.002>
16. Yurekli, Y., 2016. Removal of heavy metals in wastewater by using zeolite nano-particles impregnated polysulfone membranes. *J of haz mat*, 309, pp.53-64. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.01.064>
17. Tayeban.S.M., Najafpour. A & Alidadi H., (2012), Investigating methods of bioabsorption of heavy metals chromium and cadmium from industrial effluents using agricultural residues (case study), *J of Navid No*, 58.



Simultaneous Removal Of Copper And Lead Metal Ions From Polluted Water Using Polymer Membrane Modified With Amorphous Silica Nanoparticles

Nadia Tamimi

Department of Chemical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Bahareh Kamyab Moghadas*

Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Received: 6 June 2023

Accepted: 15 Aug 2023

Keywords: Polymer Membrane, Polyethersulfone, Nano Silica, Lead, Copper, Water pollution.

Extended Abstract

Introduction: Heavy metals are one of the main water pollution in environmental problems. There are various methods to remove these pollutions, one of the best methods in this field is membrane processes. The purpose of this research is to remove heavy metals because they are toxic and have many harmful effects on the health of living organisms and the environment. For this purpose, modified polymer membranes were used, which can remove a large percentage of copper and lead ions dissolved in water at the same time.

Materials and Methods: In this research, polyether sulfone polymer, N-dimethylacetamide solvent and amorphous silica nanoparticles were used as modifiers. The parameters of the experiment were polymer weight percentage (22-18-14%), nanoparticles weight percentage (0.0-0.1-0.2 weight percent of polymer) and pressure (12-17-22 bar).

Results and Discussion: The optimal conditions obtained were 22% polymer membrane, 2% additives at 12 bar pressure, and the result of the test in these conditions was the removal of 74% and 82% of lead and copper, respectively. From the prepared membranes, Fourier transmission infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron photography (SEM) and thermometric analysis (TGA) tests were performed. In FTIR analysis, peaks related to functional groups were determined. By examining the SEM test, the presence of silica nanoparticles in the polymer membrane was determined, and the TGA analysis in the modified membrane confirmed the increase in the thermal resistance of the membranes.

Conclusion: According to the results obtained from the TGA test, it was found that the membrane modified with silica nanoparticles causes more delay in the degradation time, and the thermal resistance of the membranes modified with silica nanoparticles increases more, as a result, the presence of silica nanoparticles increases the stability of the membrane. According to the comparison and examination of the FT-IR test related to pure nanoparticles, pure polymer membrane and membranes with nanoparticles, in addition to identifying the peaks of the functional group of polyether sulfone polymer, the presence of the peak of silica nanoparticles in the modified membranes was also determined. that the presence of silica nanoparticles inside polyether sulfone polymer membranes was established.

Corresponding author: Bahareh Kamyab Moghadas

Address: Department of Chemical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University. **Tell:** +989177122337

Email: kamyab.bahareh@ iau.ac.ir

DOR:

Citation: Kamyab Moghadas B, Tamimi N. Simultaneous Removal Of Copper And Lead Metal Ions From Polluted Water Using Polymer Membrane Modified With Amorphous Silica Nanoparticles. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2023; 1(2): 69-80.



© 2023, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.