

کاربرد جاذب‌های گرافنی و زئولیتی در شوری‌زدایی آب

جهانگیر عابدی کوپایی*، عارفه چهره راضی و فاطمه دادوند^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۸)

چکیده

کاهش روزافزون منابع آب شیرین، موجب اهمیت بیشتر شوری‌زدایی آب دریا و آب‌های شور شده است. مصرف انرژی فراوان و هزینه‌های عملیاتی زیاد، یک مشکل بزرگ برای فناوری شوری‌زدایی آب است. از این رو شوری‌زدایی با هزینه کمتر از اهمیت به سزایی برخوردار است. هدف این پژوهش، شوری‌زدایی آب دریای خزر و آب چاه منطقه دارک اصفهان است. برای حذف یون‌های شوری از دو جاذب گرافن اکساید و زئولیت استفاده شد که در ابتدا مقداری گرافن اکساید طبق روش هومر ساخته شد. سپس توسط طیف‌سنجی مادون‌قرمز با تبدیل فوریه و با استفاده از میکروسکوپ الکترونی خصوصیات گرافن اکساید شناخته شد. پس از آن توانایی جاذب‌ها برای حذف کاتیون‌ها و آنیون‌های عامل شوری مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور ستون بستر ثابت تشکیل شده، از یک بسته ۳۰ میلی‌گرمی گرافن اکساید و ۱۳ گرم زئولیت برای حذف آنیون‌ها و کاتیون‌های ۵۰ میلی‌لیتر آب شور استفاده شد و برای جذب آنیون بیشتر زئولیت با سورفکتانت عامل دار شد. نتایج نشان داد، برای آب دریای خزر مقدار ۳۰ میلی‌گرم گرافن اکساید با ۱۳ گرم زئولیت باعث کاهش شوری به میزان ۲۳/۸۴ درصد و برای آب چاه منطقه دارک مقدار ۱۳ گرم زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت باعث کاهش شوری به میزان ۲۳/۴۳ درصد شده‌اند. نتایج نشان داد، آنیون و کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلر و سدیم به ترتیب بیشترین جذب را توسط جاذب داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: گرافن اکساید، شوری‌زدایی، ستون بستر ثابت

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: koupai@iut.ac.ir

مقدمه

افزایش جمعیت، کاهش میزان منابع آب قابل استفاده، افزایش آلودگی منابع آب قابل دسترس و رقابت تقاضای آب برای بخش‌های مختلف شرب، کشاورزی، صنعت و توسعه شهری، انسان را مجبور به استفاده از منابع آب نامتعارف، از جمله منابع آب شور، آب زهکش‌ها و پساب‌های تصفیه شده کرده است. نقش و اهمیتی که آب‌های لب‌شور و شور در آینده در کشاورزی ایران به‌عنوان منابع آب مناسب و ارزان‌قیمت خواهند داشت، باید مورد بررسی و توجه قرار گیرد تا با اعمال مدیریت ویژه بتوان از آن‌ها به منظور استفاده مؤثری به عمل آورد؛ به همین دلیل استفاده از فناوری‌ها و راهکارهای نوین برای تأمین و تولید آب متعارف از آب‌های غیرمتعارف در کشور می‌تواند امری راهبردی برای منطقه‌های بحران‌خیز و خشک باشد (۱)؛ بنابراین پیدا کردن روشی مؤثر برای تصفیه یا پیش تصفیه منابع آب شور و لب‌شور که صرفه‌جویی مصرف انرژی را به دنبال داشته باشد، مانند استفاده از جاذب‌های ارزان‌قیمت و در دسترس، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از جاذب‌های مختلف برای حذف آلاینده‌ها از جمله عناصر سنگین، آفت‌کش‌ها و مواد آلی به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. حال آنکه بررسی استفاده از این روش در کاهش یون‌های شوری آب، بسیار اندک و محدود است. گاسکو و همکاران (۱۲) پتانسیل جاذب کربنی تهیه شده از لجن فاضلاب را برای کاهش غلظت کاتیون‌های سدیم، پتاسیم و منیزیم آب شور ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، جاذب ارزان‌قیمت تهیه شده، جاذب مؤثری برای کاهش کاتیون‌های ایجادکننده شوری آب است. گاسکو و مندز (۱۱) اضافه کردن کائولینیت به لجن فاضلاب را بررسی کردند. نتایج نشان داد، ماده کربنی تهیه شده در کاهش سختی آب مؤثر است. اپل و بویر (۵) استفاده از رزین‌های آنیونی و کاتیونی را به‌صورت همزمان برای اصلاح آب بررسی کردند. آن‌ها حذف ۷۰٪ کربن آلی محلول و بیش از ۵۵٪ سختی آب را گزارش کردند. آقاخانی و همکاران (۳) توانایی ترکیب‌های دوتایی جاذب‌های مختلف شامل زئولیت،

پیت، کربن فعال، رزین آنیونی و رزین کاتیونی و پیت را به‌عنوان مؤثرترین ترکیب در جذب یون‌های شوری آب معرفی کردند. رستمیان و همکاران (۱۸) استفاده از زغال زیستی تهیه شده از شلتوک برنج برای شوری‌زدایی آب بررسی کردند. نتایج نشان داد، افزایش دما در ساخت زغال زیستی از ۴۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد، تأثیر مثبتی بر ساختار توسعه حفره‌ها و افزایش سطح ویژه دارد. عابدی کوپایی و مهری (۱) عملکرد فیلتر شنی حاوی ذرات بقایای گیاهی را ارزیابی کردند و نشان دادند، این فیلتر در کاهش EC آب مناسب است. نتایج کاهش EC آب شور را با استفاده از شلتوک برنج و خاکستر آن به ترتیب ۶۲/۴ و ۷۸/۵ درصد نشان داد. هو و همکاران (۱۴) به منظور ارتقاء جاذب سنگ کوارتز، یک لایه گرافن اکساید را به‌وسیله پیوند شیمیایی روی سنگ پوشش دادند. نتایج نشان داد، کوارتز اصلاح شده با گرافن اکساید، جذب فلزات سنگین سرب، کادمیم، مس و روی را حدود ۳۵۰ میکروگرم بر لیتر افزایش داد. ژوهانگ و همکاران (۲۱) به منظور بهره‌وری بیشتر برای حذف فلزات سنگین، شن و ماسه را با گرافن اکساید ترکیب کردند. نتایج حاکی از آن بود که جذب فلز سنگین مس با افزایش مقدار گرافن اکساید افزایش یافت. جاو و همکاران (۱۰) یک لایه گرافیت اکساید را به‌وسیله پیوند شیمیایی روی شن و ماسه پوشش دادند. نتایج نشان داد، گرافن اکساید عامل‌دار شده تا شش برابر مقدار جذب جیوه را نسبت به گرافن اکساید افزایش می‌دهد و همچنین شن پوشش‌ده شده با گرافن اکساید تا ۵ برابر مقدار جذب فلزات سنگین و مواد آلی را نسبت به شن تنها افزایش می‌دهد. اپلایدا دورو و همکاران (۸) طی یک مقاله مروری، تأثیر جاذب‌های گرافن اکساید عامل‌دار شده با مواد مختلف را در حذف فلزات سنگین را با هم مقایسه کردند. کوهن و همکاران (۶) نشان دادند، منافذ نانومتری موجود در گرافن‌های ساده تک لایه‌ای می‌تواند به طور مؤثری نمک سدیم کلرید را از آب جدا و فیلتر کند. مقدار نفوذ آب از این مواد بیشتر از غشاهای معمول اسمز معکوس است و بنابراین نانوگرافن متخلخل نقش به‌سزایی در

NH_4^+ ردوبدل شده داشته است و کاهش غلظت Na^+ منجر به مبادله مقادیر بیشتری از NH_4^+ و بنابراین منجر به راندمان حذف بیشتر می‌شود. ملکیان و همکاران (۱۷) در مطالعه‌ای، امکان استفاده از زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت (SMZ) در مقایسه با کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت (Cp) برای کاهش آبشویی نیترات و افزایش رشد محصول بررسی کردند. نتایج نشان داد، بیشینه و میانگین غلظت نیترات در شیرابه خاک اصلاح شده با SMZ، به طور معنی‌داری ($p < 0/05$) کمتر از خاک اصلاح شده با Cp است و میانگین عملکرد دانه، محتوای نیتروژن دانه، ماده خشک و جذب نیتروژن به طور معنی‌داری بیشتر بود. شکریان و همکاران (۲۲) ظرفیت جذب نمک جاذب‌های معدنی زئولیت و پرلیت و زیستی پوسته برنج و پوسته صدف در محلول‌های آبی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند، جاذب‌های زیستی و معدنی در اندازه‌های مختلف قابلیت جذب یون‌های نمکی را دارا هستند. از بین جاذب‌های مورد استفاده برای جذب نمک، زئولیت بیشترین کارایی جذب را به خود اختصاص داد. غمامی و همکاران (۱۳) به‌مورد کاربرد نانوجاذب‌ها در سیستم‌های تصفیه آب و پساب پرداختند و خواص، کاربردها و جنبه‌های نوآورانه نانوجاذب‌ها را ارائه دادند. آن‌ها زئولیت را رهاینده کنترل شده نانوسیلور ضدباکتری معرفی کردند. جدلا و همکاران (۱۶) به بررسی پیشرفت‌های اخیر در جاذب‌های مبتنی بر نانومواد برای تکنیک‌های تصفیه آب پرداختند. احمد و همکاران (۴) به سنتز کامپوزیت اکساید گرافن اصلاح شده زئولیتی ایمیدازولات چارچوب-۸ و کاربرد آن برای حذف سرب پرداختند. نتایج نشان داد، هیبرید ZGH30 با موفقیت پتانسیل خود را به‌عنوان جاذب برای فناوری تصفیه فاضلاب با عملکرد بهبودیافته پس از اصلاح آشکار کرد. ژی و همکاران (۲۳) پیشرفت پژوهش در مورد ویژگی‌های سنتز و جذب جاذب‌های کامپوزیتی متخلخل برای سیستم‌های خنک‌کننده و نمک‌زدایی جذبی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، پژوهش‌های عمیقی روی چندین فرایند سنتز مواد جذبی مرکب، خصوصیات و صفات

شوری‌زدایی آب ایفا می‌کند. عابدی کوپایی و مهری (۱) برای کاهش هدایت الکتریکی زه‌آب کشاورزی از فیلترهای حاوی شن، زئولیت و مواد آلی استفاده کردند. نتایج آن‌ها برای تیمارهای مختلف، کاهش هدایت الکتریکی آب آبیاری را نشان داد و حداکثر کاهش هدایت الکتریکی $71/2$ درصد بود که مربوط به فیلتر شن - زئولیت - میوه کاج است. شکریان و همکاران (۲۱) به‌منظور جذب نمک سدیم از آب شور از کلینوپتیلولیت استفاده کردند. نتایج نشان داد، با کاهش اندازه ذرات، مقدار جذب نمک سدیم افزایش می‌یابد. ریوه و فالوفیت (۲۰) به مروری بر کاربردهای زئولیت‌های اصلاح شده طبیعی و سورفکتانت در تصفیه آب با تمرکز بر دفع سورفکتانت و سمیت نسبت به میکروارگانسیم‌ها پرداختند. دیکسان و همکاران (۷) از زئولیت سیلیسی اصلاح شده با سورفکتانت برای اصلاح پرتکنیت و جداسازی پرتکنیتات از آب‌های زیرزمینی آلوده و شیرابه‌های منتشر شده به محیط زیست استفاده کردند. مصطفی‌پور و همکاران (۱۹) حذف جذبی تتراسایکلین از محلول آبی توسط زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت و نحوه به تعادل رسیدن، سینتیک و ترمودینامیک این سیستم را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از پنج چرخه بازسازی دفع، نشان‌دهنده کاهش راندمان حذف CTAB-Z از $99/8\%$ به $89/2\%$ بود. ابسا (۹) به بررسی فلوریداسیون آب آشامیدنی توسط زئولیت طبیعی اصلاح شده با سورفکتانت کاتیونی شهر Ziway در اتیوپی پرداخت. یافته‌های این مطالعه نشان داد، زئولیت کلینوپتیلولیت اصلاح‌نشده قادر به جذب یون‌های فلوراید نیست، اما زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت فلوراید را جذب می‌کند، اما نیاز به کنترل pH کافی دارد. ملکیان و همکاران (۱۸)، توانایی حذف آمونیوم (NH_4^+) از محلول‌های آبی با غلظت‌های مختلف Na^+ ($0/03$ ، $0/1$ و $0/3$ مولار) توسط زئولیت طبیعی ایران در اندازه ذرات میلی‌متری و نانومتری را تعیین کردند و ایزوترم‌های تعادلی در اثر قدرت یونی بر آزادسازی NH_4^+ از زئولیت ایران و چندین مدل سینتیکی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد، غلظت‌های اولیه Na^+ و NH_4^+ تأثیر معنی‌داری بر میزان

اندازه و خاصیت کاتالیزوری دارند که باعث شده است، در صنایع کاربرد زیادی داشته باشند.

مراحل آماده‌سازی و تهیه جاذب

آماده‌سازی ژئولیت

ژئولیت طبیعی به اندازه ۰/۸-۰/۵ میلی‌متر توسط الک غربال شد. سپس با آب مقطر چندین بار شسته شد تا جایی که آب عبوری زلال شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در آب مقطر در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا گرد و خاک روی آن به طور کامل شسته شود.

آماده‌سازی گرافن اکساید

برای سنتز گرافن اکساید از روش اصلاح‌شده هومر استفاده شد (۱۵). در این روش ابتدا ۰/۲۵ گرم نانو گرافیت (۲) به ۱۲ میلی‌لیتر محلول سرد شده اسید سولفوریک غلیظ و ۰/۲۵ گرم نیترات سدیم اضافه شد. در ادامه ۱/۵ گرم پرمگنات به صورت تدریجی اضافه شد، به طوری که دما از ۲۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر نشود. سپس این مخلوط به مدت ۱ ساعت در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد روی هیتراستریر چرخید. پس از این مدت، ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مخلوط یادشده اضافه کرده و دما به ۹۸ درجه سانتی‌گراد رسید و اجازه داده شد، ۱۵ دقیقه در آن دما باقی بماند. سپس فرایند واکنش با اضافه کردن مقادیر زیادی آب مقطر (۷۵ میلی‌لیتر) و ۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه به پایان رسید. رسوب تشکیل شده سانتریفیوژ شد و توسط محلول ۵٪ HCl و مقادیر فراوانی آب مقطر، شستشو داده شد. گرافیت اکساید حاصل در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. در ادامه به منظور تبدیل گرافیت اکساید به گرافن اکساید، رسوب به دست آمده در محلول آب مقطر به مدت ۳۰ دقیقه الکتراسونیک شد. سپس رسوب حاصل سانتریفیوژ شد و توسط مقادیر فراوانی آب مقطر شستشو داده شد. گرافن اکساید حاصل در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد.

جذب انجام شده است. هدف از این مطالعه، ارائه مرجعی برای پژوهشگران متعهد به توسعه مواد جذبی جدید تحت کاربردها و شرایط مختلف بود.

بر اساس مطالعات انجام شده می‌توان به اهمیت کاربرد انواع جاذب در شوری‌زدایی پی برد. از این‌رو هدف از این پژوهش، استفاده از یک جاذب کربنی به مقدار بسیار کم در کنار جاذب ارزان‌قیمت مثل ژئولیت و در نهایت بررسی پتانسیل شوری‌زدایی این ترکیب است. در این پژوهش سعی شده است، با اصلاح جاذب‌ها و بررسی کاربرد هر یک از جاذب‌های تهیه شده در حذف کاتیون‌ها و آنیون‌های ایجادکننده شوری، به یک ترکیب بهینه دست‌یافته شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای تطبیق شرایط آزمایش با شرایط طبیعی، از آب طبیعی از دو منطقه مجزا دریای خزر و چاهی در منطقه دارک اصفهان با غلظت‌های مختلف کاتیون‌ها و آنیون‌های عامل شوری استفاده شد. جدول ۱ آنالیز شیمیایی آب‌های استفاده شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. کد S مربوط به دریای خزر و کد W مربوط به چاهی در منطقه دارک اصفهان است.

گرافن

گرافن شکلی از کربن در مقیاس نانو است. به طور گسترده به‌عنوان یک ماده نانوکربنی عمومی شناخته می‌شود. به این معنا که گرافن می‌تواند به‌عنوان واحد ساختمانی تعدادی از آلوتروپ‌های کربن از قبیل فولرن، نانولوله‌ها و گرافیت دیده شود.

ژئولیت

ژئولیت‌ها مواد طبیعی، غیرسمی و ارزان‌قیمت هستند که به دلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منحصربه‌فرد، از جمله سطح ویژه و تبادل کاتیونی زیاد، به‌عنوان یک جاذب ارزان‌قیمت شناخته شده است (۲۰ و ۲۱). ژئولیت‌ها ویژگی‌های خاصی مانند توانایی تبادل یونی، جداسازی مولکول‌ها بر اساس شکل و

جدول ۱. آنالیز شیمیایی آب‌های شور مورد استفاده

کد	هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	پتاسیم	سدیم	کلسیم	منیزیم	بی‌کربنات	کلر
			(mg/L)					
W	۷/۳	۷/۵۵	۴۸۷/۹	۹۹۸/۶	۵۱۲	۳۶۲/۱	۹۱۵	۲۲۷۵
S	۹/۶	۷/۸۵	۱۴۲۸/۳	۱۳۱۲	۳۸۴	۶۲۲/۱	۱۹۵۲	۲۷۶۵

Fourier transform infrared spectra (FTIR) برای تعیین گروه‌های عاملی جاذب استفاده شد. برای این منظور از اسپکترومتر مدل JASCO FT/IR-680 در محدوده طول‌موج $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ با استفاده از روش قرص KBR استفاده شد.

خصوصیات ژئولیت

ژئولیت طبیعی کاربردی در این مطالعه از شرکت افرازند تهیه شد. ژئولیت از نوع کلینوپتیلولیت است. نتیجه تجزیه عنصری ژئولیت استفاده شده در این پژوهش، در جدول ۲ آماده است. نتایج آزمایش BET نشان داد، ژئولیت سطح ویژه‌ای معادل $15/929$ متر مربع بر گرم دارد.

بهینه‌یابی میزان شوری‌زدایی هر یک از ستون‌ها

در این بخش، با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) به بهینه‌یابی، شرایط هر یک از ستون‌ها برای دستیابی به بیشینه ظرفیت شوری‌زدایی آن پرداخته می‌شود.

روش سطح پاسخ

بررسی تأثیر فاکتورها بر خروجی در انجام آزمایش‌ها اهمیت بسیاری دارد. اگر خروجی سیستم تنها به یک عامل بستگی داشته باشد، کار ساده است. در این صورت، عملکرد سیستم در سطوح مختلف عامل مدنظر، اندازه‌گیری و یک منحنی با استفاده از نتایج ترسیم می‌شود. ولی اگر بیش از یک عامل مؤثر وجود داشته باشد، در این صورت بررسی چندین عامل به صورت همزمان مستلزم آزمایش‌های متعدد است که بسیار پرهزینه و وقت‌گیر است. با استفاده از روش طرح آزمایش‌ها می‌توان با کمترین تعداد آزمایش، اثر عوامل متعدد را بر یک

تشکیل چهارچوب آلی کووالانسی روی گرافن اکساید در یک بالن ۲۵ میلی‌لیتری حاوی ۵ میلی‌لیتر حلال دی‌اکسان، ۱/۵ گرم گرافن اکساید (GO) اضافه کرده و مخلوط را به مدت ۳۰ دقیقه تحت امواج الکتراسونیک قرار داده تا گرافن اکساید به خوبی در محلول پخش شود و صفحات گرافن اکساید به خوبی از یکدیگر جدا شوند. همزمان ۰/۱۳۶ گرم، ۰/۷۴ میلی‌مول سیانوریک کلراید (CC) Cyanuric chloride در یک بالن ۱۰ میلی‌لیتری حاوی ۲ میلی‌لیتر دی‌اکسان حل شد و محلول تحت نیتروژن روی به همزن (استیرر) قرار داده شد. یک بالن ۱۰ میلی‌لیتری دیگر حاوی ۰/۲۲ گرم محلول آبی سدیم هیدروکسید، ۱/۱ میلی‌مول از ۱ و ۴-اکسی دی‌آنیلین (ODA) Oxydianiline، ۲/۲ میلی‌مول سدیم هیدروکسید در ۴ میلی‌لیتر آب دی‌یونیزه همزمان تحت نیتروژن روی استیرر قرار داده شد. بعد از مدت زمان معین، مخلوط گرافن اکساید پخش شده در حلال دی‌اکسان و دو محلول همزمان تهیه شده دیگر را در یک بالن ۵۰ میلی‌لیتری ریخته، با نیتروژن پرچ کرده و مخلوط حاصل را به مدت ۳۰ دقیقه تحت امواج الکتراسونیک قرار داده و سپس به مدت ۶ ساعت در دمای محیط استیرر شد. پس از آن، مخلوط واکنش را فیلتر کرده و تحت فشار کاهش یافته خشک شد. رسوب را چندین بار با متانول و آب شسته شد و در نهایت تحت خلأ خشک شد. محصول واکنش پودر سفیدرنگی با بازدهی حدود ۸۵ درصد است.

تعیین گروه عاملی جاذب

از روش طیف‌سنجی مادون‌قرمز با تبدیل فوریه

جدول ۲. برخی از خصوصیات کلینوپتیلولیت

عنصر	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	LOI*
٪ وزنی	۶۸	۱۰/۱	۴/۳۱	۱/۴	۱	۲	۱/۹

* درصد کلی آب و مواد فرار (Loss of ignition)

پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر ۱ مدل Corning 410 تخمین زده شد.

برای محاسبه سختی کل با اضافه کردن چند قطره محلول تامپون، pH محلول به حدود ۱۰ رسانده شد. سپس مقداری معرف اریوکروم بلک تی (EBT) به آن اضافه شد و با محلول EDTA با غلظت ۰/۰۱ نرمال تیترا شد تا رنگ محلول از قرمز شرابی به آبی تغییر رنگ دهد شکل (۱).

برای محاسبه غلظت کلسیم، با اضافه کردن چند قطره سود غلیظ، pH محلول به حدود ۱۲ رسانده شد. سپس به آن معرف موروکسید اضافه شد و در ادامه با محلول EDTA با غلظت ۰/۰۱ نرمال تیترا شد تا رنگ محلول از صورتی به بنفش تغییر یابد. غلظت منیزیم از تفاضل سختی کل و غلظت کلسیم به دست آمد (شکل ۲).

میزان کربنات و بی کربنات با روش تیتراسیون اندازه گیری شد. با افزایش pH محلول از مقدار ۸/۳، امکان حضور یون کربنات نیز در محلول وجود دارد. برای تعیین غلظت کربنات از معرف فنل فتالین استفاده شد و محلول با استفاده از اسید سولفوریک ۰/۰۲ نرمال تیترا شد تا رنگ محلول از حالت صورتی به بی رنگ تغییر یابد. برای تعیین میزان بی کربنات از معرف متیل اورانژ استفاده شد و محلول با اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال تیترا شد تا رنگ محلول از زرد به نارنجی تغییر پیدا کند شکل (۳).

میزان کلر با روش تیتراسیون اندازه گیری شد. معرف کرومات پتاسیم به نمونه اضافه شد. محلول با نیترات نقره ۰/۰۲۵ مولار تیترا شد تا رنگ محلول از زرد به قرمز مایل به قهوه ای تغییر یابد (شکل ۴).

نتایج آنالیز کیفی نشان داد، بیشترین مقدار کاهش سدیم برای آب چاه منطقه دارک اصفهان، ۱۶/۲۲ درصد مربوط به ترکیب ۱۳ گرم

خروجی مورد بررسی قرارداد. یکی از مفاهیم طراحی آزمایش ها، روش سطح پاسخ است. این روش مجموعه ای از روش های ریاضی و آماری برای مدل کردن و تحلیل مسائلی است که یک متغیر پاسخ توسط چندین متغیر تأثیر می پذیرد و هدف، بهینه کردن این متغیر است (۱۶). این فرایند بهینه سازی شامل سه مرحله اصلی طراحی آزمایش، ارزیابی ضرایب در مدل ریاضی همراه با پیش بینی پاسخ و ارزیابی کفایت مدل است. در مدل RSM متغیرهای مستقل به صورت زیر بیان می شوند:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \pm \varepsilon \quad (1)$$

که در آن Y پاسخ پیش بینی شده، f تابع پاسخ، X₁، X₂، و...، X_n متغیرهای مستقل و ε خطای آزمایش است. با ترسیم Y، سطح پاسخ به دست می آید. شکل تابع پاسخ (f) مشخص نیست و ممکن است بسیار پیچیده باشد. برای سطح پاسخ منحنی از چند جمله ای های درجه بیشتر استفاده می شود که از رابطه زیر پیروی می کند:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \beta_{ij} X_i X_j \pm \varepsilon \quad (2)$$

که در آن β₀ ضریب ثابت، β_i ضرایب خطی، β_{ij} ضرایب اثر متقابل، β_{ii} ضرایب درجه دوم و X_i و X_j مقدار کد فاکتورهای مورد مطالعه در فرایند است (۱۹).

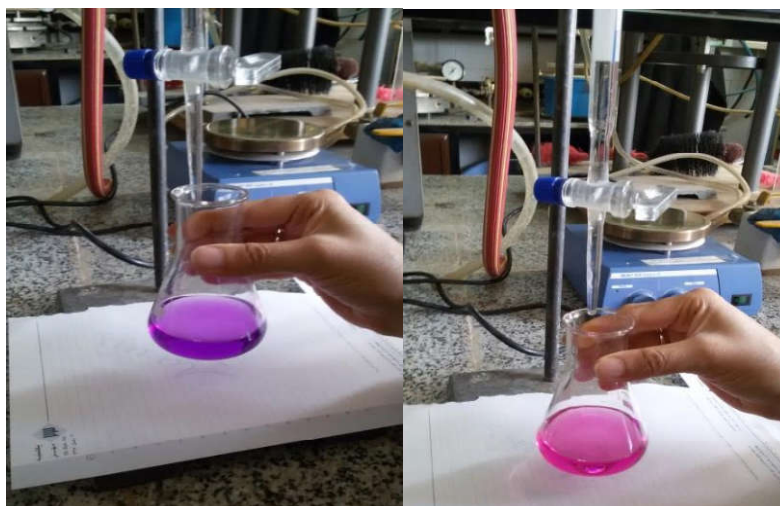
نتایج و بحث

آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی

اندازه گیری غلظت کاتیون ها و آنیون های ایجادکننده شوری غلظت آنیون ها و کاتیون های اصلی ایجادکننده شوری آب شامل سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلر، کربنات، بی کربنات با استفاده از روش استاندارد (۱۱) اندازه گیری شد. غلظت سدیم و



شکل ۱. مشاهده تغییر رنگ آلبالویی به آبی در تیتراسیون



شکل ۲. تغییر رنگ از صورتی به بنفش در تیتراسیون



شکل ۳. تغییر رنگ از نارنجی روشن به نارنجی تیره در تیتراسیون



شکل ۴. تغییر رنگ از زرد به قرمز مایل به قهوه‌ای

تخمین ساختار فیزیکی جاذب

ایزوترم جذب و واجذب نیتروژن در دمای ۱۹۶- درجه سلسیوس با استفاده از دستگاه Belsorp mini II برای زئولیت تعیین شد. سطح ویژه هر جاذب با استفاده از میزان نیتروژن جذب شده در فشار نسبی ۰/۸۸ اتمسفر به دست آمد (۷).

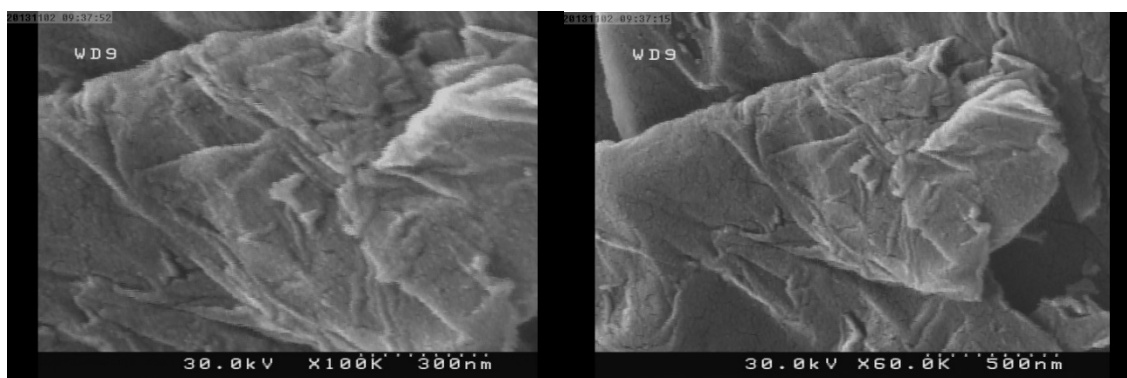
بهینه‌یابی ترکیب جاذب با بیشترین ظرفیت شوری‌زدایی

به‌منظور رسیدن به بیشترین ظرفیت شوری‌زدایی از طرح آزمایش RSM استفاده شد. شوری اولیه آب عبوری (۷/۳ و ۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر)، دبی ورودی (۱ و ۵ میلی‌لیتر بر دقیقه)، میزان زئولیت و زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت به‌عنوان جاذب اصلی (۱۳ گرم زئولیت یا ۱۳ گرم زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت یا ۶/۵ گرم زئولیت و ۶/۵ گرم زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت)، میزان گرافن اکساید (۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم) و میزان گرافن اکساید عامل‌دار شده با چهارچوب آلی کووالانسی (۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم) به‌عنوان پارامترهای ورودی مستقل مؤثر بر متغیر پاسخ و میزان شوری‌زدایی به‌عنوان متغیر پاسخ انتخاب شدند. در ارتباط با تأثیر مقدار جاذب در کاهش نمک می‌توان بیان کرد، با افزایش مقدار جاذب مصرفی، میزان حذف افزایش یافته است. شکریمان و همکاران (۲۲) در پژوهش خود به نتایج مشابه دست یافت. دلیل این امر افزایش تعداد جایگاه‌های جذبی موجود و به دنبال آن افزایش دسترسی مولکول‌های ماده جذب شونده به مکان‌های جذب روی انواع جاذب‌های مورد مطالعه در مقابل مقدار ثابتی از غلظت آب نمک است. طرح آزمایش در جدول ۳ آورده شده است.

زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت و ۳۰ میلی‌گرم گرافن اکساید و بیشترین مقدار کاهش سدیم برای آب دریای خزر، ۲۱/۵۷ درصد مربوط به ترکیب ۱۳ گرم زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت است. بیشترین مقدار کاهش پتاسیم برای آب چاه منطقه دارک اصفهان، ۸۳/۵۱ درصد مربوط به ترکیب ۱۳ گرم زئولیت اصلاح نشده و ۳۰ میلی‌گرم گرافن اکساید و بیشترین مقدار کاهش پتاسیم برای آب دریای خزر، ۹۱/۵ درصد مربوط به ترکیب ۱۳ گرم زئولیت اصلاح نشده است. بیشترین مقدار کاهش کلسیم برای آب چاه منطقه دارک اصفهان، ۸۴/۳۷ درصد مربوط به ترکیب ۱۳ گرم زئولیت اصلاح نشده و ۱۵ میلی‌گرم گرافن اکساید و بیشترین مقدار کاهش کلسیم برای آب دریای خزر، ۶۹/۷۹ درصد مربوط به ترکیب ۱۳ گرم زئولیت اصلاح نشده است. بیشترین مقدار کاهش منیزیم برای آب چاه منطقه دارک اصفهان، ۷۹/۴۱ درصد مربوط به ترکیب ۱۳ گرم زئولیت اصلاح نشده بوده و بیشترین مقدار کاهش منیزیم برای آب دریای خزر، ۶۰/۵۴ درصد مربوط به ترکیب ۱۳ گرم زئولیت اصلاح نشده است. بیشترین کاهش کلر برای آب چاه منطقه دارک اصفهان، ۵۸/۴۶ درصد مربوط به ترکیب ۱۳ گرم زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت و بیشترین کاهش کلر برای آب دریای خزر، ۵۶/۹۶ درصد مربوط به ترکیب ۱۳ گرم زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت است.

جدول ۳. طرح آزمایش برای چهار متغیر مستقل و میزان پاسخ مشاهده‌شده برای پارامترهای شوری

متغیر پاسخ						پارامترهای ورودی مستقل						Number
Cl (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	EC dS/m	Surfactant+ zeolitegr	COF mg	GO mg	Q mL/min	Salinity dS/m		
۷۰۰	۱۴۲	۲۰۸	۳۳۳/۲۴	۱۵۸/۳۲۶	۱/۱۳	(۰+۱۳)	۰	۰	۱	۷/۳	۱	
۶۱۲/۵	۱۰۰	۱۶۶	۳۰۸/۲۸	۱۰۴/۳۸۶	۱/۰۹	(۰+۱۳)	۰	۰	۵	۷/۳	۲	
۷۸۷/۵	۱۵۱/۶	۲۱۲	۳۵۸/۱	-۲۵/۶۵۶	۱/۵۵	(۰+۱۳)	۰	۱۵	۱	۷/۳	۳	
۴۹۰	۱۵۴	۲۱۶	۳۵۸/۱	-۲۵/۶۵۶	۱/۱	(۰+۱۳)	۰	۱۵	۵	۷/۳	۴	
۷۸۷/۵	۱۱۳/۲	۱۷۶	۴۰۷/۴۶	۲۵/۵۹۴	۱/۶	(۰+۱۳)	۰	۳۰	۱	۷/۳	۵	
۷۰۰	۱۲۷/۶	۱۸۰	۴۰۷/۴۶	۹۹/۷۱۴	۱/۳۲	(۰+۱۳)	۰	۳۰	۵	۷/۳	۶	
۵۹۵	۱۸۶	۱۳۴	۱۳۰۷/۶۹	-۷۳/۰۳۴	۱/۸۸	(۰+۱۳)	۰	۰	۱	۹/۶	۷	
۴۹۰	۱۵۶	۱۰۴	۱۲۷۰/۷۵	-۳۶/۲۹۴	۱/۶۱	(۰+۱۳)	۰	۰	۵	۹/۶	۸	
۵۶۰	۱۶۵/۶	۱۲۰	۱۱۹۶/۳۷	-۳۶/۲۹۷	۱/۲۷	(۰+۱۳)	۰	۱۵	۱	۹/۶	۹	
۵۷۷/۵	۱۳۲	۱۰۰	۱۱۹۶/۳۷	-۳۶/۲۹۷	۱/۰۷	(۰+۱۳)	۰	۱۵	۵	۹/۶	۱۰	
۵۲۵	۱۸۲/۴	۱۳۲	۱۱۵۸/۹۳	-۰/۰۰۴	۱/۵۸	(۰+۱۳)	۰	۳۰	۱	۹/۶	۱۱	
۴۵۵	۱۴۴	۱۰۴	۱۱۲۱/۳۲	-۰/۰۰۴	۱/۳۴	(۰+۱۳)	۰	۳۰	۵	۹/۶	۱۲	
۱۳۳۰	۴۱	۱۱۱	۳۴۹/۴	۶۹/۹۴۶	۰/۹۵	(۱۳+۰)	۰	۰	۱	۷/۳	۱۳	
۱۳۱۲/۵	۳۴	۱۰۴	۳۲۳/۷۷	۲۱/۹۷۸	۰/۹	(۱۳+۰)	۰	۰	۵	۷/۳	۱۴	
۱۵۷۵	۴۶/۲	۶۲	۱۱۸۲/۱۷	۲۸۳/۴۷۳	۲/۲۵	(۱۳+۰)	۰	۰	۱	۹/۶	۱۵	
۱۵۴۰	۳۸/۴	۵۶	۱۱۴۴/۰۹	۲۲۱/۱۵۷	۲	(۱۳+۰)	۰	۰	۵	۹/۶	۱۶	
۹۸۰	۶۸	۱۴۱	۴۰۱/۳۷	۲۱/۹۷۸	۰/۹۷	(۶/۵+۶/۵)	۰	۰	۱	۷/۳	۱۷	
۹۶۲/۵	۶۵/۲	۱۳۶	۳۷۵/۲۶	-۲/۴۴۴	۰/۹۵	(۶/۵+۶/۵)	۰	۰	۵	۷/۳	۱۸	
۱۲۷۷/۵	۱۰۹/۲	۷۹	۱۲۵۹/۴	۱۲۴/۳۹۸	۱/۹	(۶/۵+۶/۵)	۰	۰	۱	۹/۶	۱۹	
۱۱۹۰	۱۰۳/۲	۷۲	۱۲۲۰/۶	۱۲۴/۳۹۸	۱/۸۲	(۶/۵+۶/۵)	۰	۰	۵	۹/۶	۲۰	
۱۰۵۰	۵۸	۱۵۶	۳۲۳/۷۷	۹۳/۴۹۲	۱/۳۵	(۱۳+۰)	۰	۱۵	۱	۷/۳	۲۱	
۱۰۱۵	۴۷	۱۴۷	۲۹۸/۳۹	۴۶/۱۰۸	۱	(۱۳+۰)	۰	۱۵	۵	۷/۳	۲۲	
۱۲۲۵	۷۰	۱۵۶	۳۲۳/۷۷	۱۶۲/۳۷۸	۱/۷۴	(۱۳+۰)	۰	۳۰	۱	۷/۳	۲۳	
۱۱۵۵	۶۱	۱۴۵	۳۹/۲۹۸	۱۱۶/۷۴۶	۱/۵	(۱۳+۰)	۰	۳۰	۵	۷/۳	۲۴	
۹۴۵	۴۶	۱۵۶	۳۲۳/۷۷	۴۶/۱۰۸	۱/۱۵	(۱۳+۰)	۱۵	۰	۱	۷/۳	۲۵	
۸۷۵	۳۸	۱۵۱	۲۹۸/۳۹	-۲/۴۴۴	۱/۰۵	(۱۳+۰)	۱۵	۰	۵	۷/۳	۲۶	
۱۰۱۵	۷۰	۱۷۶	۳۲۳/۷۷	۶۹/۹۴۶	۱/۱	(۱۳+۰)	۳۰	۰	۱	۷/۳	۲۷	
۹۷۵	۶۲	۱۶۳	۲۹۸/۳۹	۴۶/۱۰۸	۰/۹۵	(۱۳+۰)	۳۰	۰	۵	۷/۳	۲۸	



(الف)

(ب)

شکل ۵. تصاویر SEM گرافن اکساید سنتز شده با روش اصلاح شده هامر

خصوصیات گرافن اکساید

تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گرافن اکساید

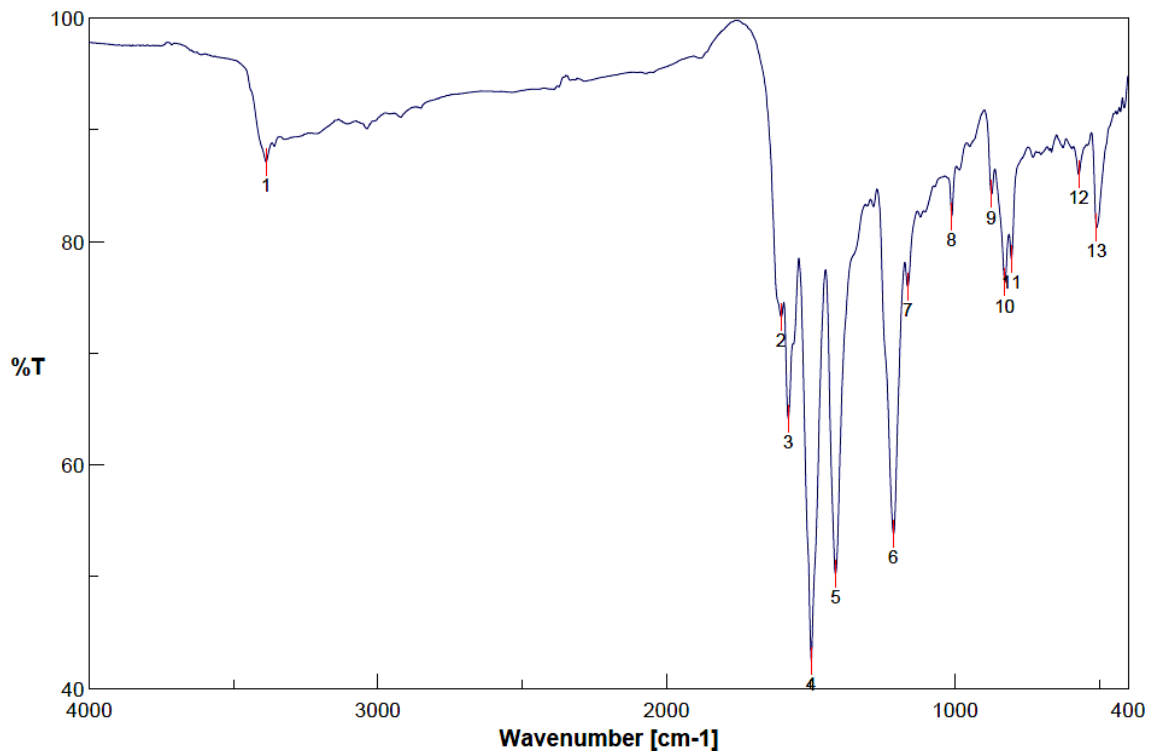
در شکل ۵ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گرافن اکساید سنتز شده آمده است. در این شکل دیده می شود، گرافن اکساید دارای ریخت شناسی نانوصفحه ای دوبعدی است. شکل ۵-الف، تصاویری از یک زئولیت طبیعی را نشان می دهد که تا حدی به ساختار کریستالی تبدیل شده است. همچنین نشان می دهد، کنگلومراهای بلورهای فشرده با بلورهای زئولیت که با ناخالصی های تعیین شده از جمله فلدسپات و کوارتز مطابقت دارند، متفاوت هستند. درحالی که در شکل ۵-ب، ورقه های نازک کریستال، به دلیل پوشاندن سطح خارجی کریستال های زئولیت توسط سورفکتانت، به وضوح دیده نمی شوند. مصطفی پور و همکاران (۱۹) نیز در پژوهش خود به منظور تخمین پتانسیل تکنیک جذب با استفاده از زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت به نتایج مشابه دست یافتند. نتایج، روش انکسار اشعه ایکس (XRD) و طیف سنج انکسار انرژی پرتو ایکس (SEM-EDX)، مورفولوژی سطح ذرات از طریق تجزیه و تحلیل SEM را نشان داد. همچنین نتایج نشان از تفاوت کنگلومراهای بلورهای فشرده که با بلورهای زئولیت مطابقت دارد، داشت.

خصوصیات گرافن اکساید اصلاح شده با چهارچوب آلی

کووالانسی

تحلیل طیف FTIR چهارچوب آلی کووالانسی روی گرافن اکساید

پیوند خوردن موفقیت آمیز شبکه پلیمری تری آزین روی صفحات گرافن اکساید به خوبی توسط آنالیز FTIR به ثبت رسید. باند کششی در ناحیه $1602-1577 \text{ cm}^{-1}$ از خصوصیات پیوند $C=N$ دوگانه است که در شکل ۶ به وضوح دیده می شود و تأییدی بر وارد شدن گروه های تری آزین در ساختار پلیمر روی سطح گرافن اکساید است. در این شکل، باند کششی پیوند $N-H$ در موقعیت $1577/5 \text{ cm}^{-1}$ ظاهر شده است. همچنین ظهور باند در ناحیه 1213 cm^{-1} به وضوح بیانگر وارد شدن پیوند $C-O$ در ساختار ترکیب است. غیبت باند قوی و گسترده گروه کربوکسیلیک که در شکل ۵ در ناحیه $2500-3500 \text{ cm}^{-1}$ دیده می شد. در شکل ۶ به وضوح دیده می شود که دلیل آن برقراری پیوند بین سیانوریک کلراید و گروه کربوکسیلیک اسید و تشکیل گروه استری است. همچنین باند در ناحیه 3387 cm^{-1} از مشخصات گروه $N-H$ نوع اول است که در شکل ۶ به وضوح آشکار است.



شکل ۶. طیف FTIR چهارچوب آلی کووالانسی روی گرافن اکساید

نتیجه‌گیری

شوری‌زدایی برای آب چاه منطقه دارک اصفهان، ۲۳/۸۴ درصد مربوط به ستون ۱۳ گرم زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت و ۳۰ میلی‌گرم گرافن اکساید است. بیشترین ظرفیت شوری‌زدایی برای آب دریای خزر، ۲۳/۴۳ درصد مربوط به ترکیب ۱۳ گرم زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت است. زئولیت اصلاح نشده از نوع سدیمی بوده و موجب افزایش مقدار سدیم آب عبوری می‌شود. به‌عنوان زمینه کارهای آتی پیشنهاد می‌شود، برای استفاده این جاذب‌ها در سطح کلان و اقتصادی و بازدهی بیشتر، از این جاذب‌ها به‌عنوان غشا در روش اسمز معکوس استفاده شود.

هدف از این مطالعه شوری‌زدایی آب از دو منطقه مختلف با استفاده از جاذب‌های زئولیتی و کربنی بود. خصوصیات جاذب‌های تهیه‌شده در شوری‌زدایی آب مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است، گرافن اکساید تا به حال به‌عنوان پودر جاذب شوری استفاده نشده، بلکه فقط به‌صورت ممبران در ستون تصفیه آب قرار گرفته است. نتایج حاصل را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

تغییرات دبی از ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه به ۵ میلی‌لیتر بر دقیقه، موجب کاهش شوری‌زدایی و جذب پارامترهای شوری می‌شود. اما این اثر منفی برای هیچ‌یک معنی‌دار نشد. بیشترین ظرفیت

منابع مورد استفاده

1. Abedi Kopaei, J., and A. Mehri Esfahani. Improving the quality of salt water using a sand filter containing plant remains. *In: Proceeding of 2017 The Second National Water and Sewage Conference (with an exploitation approach)*, Tehran, Iran (in Farsi).

2. Aghakhani, A. 2013. Investigating the effect of resin, zeolite, peat and activated carbon in normal state and nano scale on desalination of irrigation water. Doctoral thesis, College of Agriculture, Isfahan University of Technology.
3. Aghakhani, A., S. F. Mousavi, B. Mostafazadeh-Fard, R. Rostamian and M. Seraji. 2011. Application of some combined adsorbents to remove salinity parameters from drainage water. *Desalination* 257 (1-3): 217-223.
4. Ahmad, S. Z. N., W. N. W. Salleh, M. Z. M. Yusop, M. R. Hamdan, F. Aziz, N. A. Awang and A. F. Ismail. 2023. Synthesis of zeolitic imidazolate framework-8 modified graphene oxide composite and its application for lead removal. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 98(11): 2668-2676.
5. Apell, J. N. and T. H. Boyer. 2010. Combined ion exchange treatment for removal of dissolved organic matter and hardness. *Water Research*. 44: 2419-2430.
6. Cohen-Tanugi D. and J. C. Grossman. 2012. Water Desalination across Nanoporous Graphene. *Nano Letters* 93:122-129.
7. Dickson, J., N. A. Conroy, Y. Xie, B. A. Powell, J. C. Seaman, M. I. Boyanov and D. I. Kaplan. 2020. Surfactant-modified siliceous zeolite Y for pertechnetate remediation. *Chemical Engineering Journal*, 402: 126268.
8. Duru, I., D. Ege and A. R. Kamali. 2016. Graphene oxides for removal of heavy and precious metals from wastewater. *Journal of Materials Science* 90: 217-237.
9. Ebsa, D. G. 2023. Defluoridation of drinking water by modified natural zeolite with Cationic surfactant, in the case of Ziway town, Ethiopia. *Cleaner Engineering and Technology*, 12: 100596.
10. Gao, W., M. Majumder, B. Lawrence and N. Narayanan. 2011. Engineered Graphite Oxide Materials for Application in Water Purification. *ACS Applied Materials & Interfaces* 200(3) 1821-1826.
11. Gasco, G. and A. Mendaz. 2005. Sorption of Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ and K^+ , *Desalination*. 178(1-3): 221-228.
12. Gasco, G., A. Mendez and J. M. Gasco. 2005. Preparation of carbon- based adsorbents from sewage sludge pyrolysis to remove metals from water. *Desalination* 180(1-3): 245-251.
13. Ghamami, Sh., M. Hajizadeh, H. Ganji Dost and F. Farsad. 2019. A review of adsorbents in water and wastewater treatment, *Environmental Science Studies*, 5(4), pp. 3173-3182 (in Farsi).
14. Hou, W., Y. Zhang, T. Liu, H. Lu and L. He. 2015. Graphene oxide coated quartz sand as a high performance adsorption material in the application of water treatment. *Rsc Advances*, 5(11), 8037-8043.
15. Hummers, W. S. and R. E. Offeman. 1958. Preparation of Graphitic Oxide. *Journal of the American Chemical Society*. 80(6): 1339-1339.
16. Jedla, M. R., B. Koneru, A. Franco, D. Rangappa and P. Banerjee. 2022. Recent developments in nanomaterials based adsorbents for water purification techniques. *Biointerface Res. Appl. Chem*, 12: 5821-5835.
17. Malekian, R., J. Abedi-Koupai, and S. S. Eslamian 2011. Influences of clinoptilolite and surfactant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2-3), 970-976.
18. Malekian, R., J. Abedi-Koupai, S. S. Eslamian, S. F. Mousavi, K. C. Abbaspour, and M. Afyuni. 2011. Ion-exchange process for ammonium removal and release using natural Iranian zeolite. *Applied Clay Science*, 51(3), 323-329.
19. Mostafapour, F. K., M. Yilmaz, A. H. Mahvi, A. Younesi, F. Ganji and D. Balarak. 2022. Adsorptive removal of tetracycline from aqueous solution by surfactant-modified zeolite: equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Desalination and Water Treatment* 247: 216-228.
20. Reeve, P. J. and H. J. Fallowfield. 2018. Natural and surfactant modified zeolites: A review of their applications for water remediation with a focus on surfactant desorption and toxicity towards microorganisms. *Journal of Environmental Management*, 205: 253-261.
21. Shokrian, F., K. Solaimani., G. H. Nematzadeh and P. Biparva. 2015. Removal Of NaCl From Aqueous solution by using Clinoptil olite. *International Journal of Farming and Allied Sciences*. 4 (1): 50-54.
22. Shukrian, F., K. Soleimani, Gh. A. Nematzadeh and P. Beparva. 2019. Comparative study of biological and mineral adsorbents in reducing water salinity. *Environmental Science and Technology*, 22 (4):55-66 (in Farsi).
23. Xie, W., W. Hua and X. Zhang. 2023. Research progress on synthesis and adsorption properties of porous composite adsorbents for adsorption cooling and desalination systems: A mini-review. *Energy and Fuels*. 37(7) 4751-4768.

Application of Graphene and Zeolite Absorbents in Water Desalination

J. Abedi Koupai*, A. Chehre Razi and F. Dadvand¹

(Received: February 9-2023 ; Accepted: May 29-2023)

Abstract

The scarcity of freshwater resources increases the importance of seawater and brackish water desalination processes. However, a large amount of specific energy requirements, and high operational costs, present a big challenge in adopting desalination technologies. Due to high expenses of energy, desalination of saline waters by low-cost methods is important. The objective of this research was to investigate the ability of two adsorbents (zeolite and graphene oxide) to remove salinity ions from aqueous solutions in Caspian Sea water and water of the well of the Dark zone in Isfahan. At first, some graphene oxide was made according to Homer's method. Then, the characteristics of graphene oxide were known by Fourier transform infrared spectroscopy and using an electron microscope. After that, the ability of adsorbents to remove salinity agent cations and anions was evaluated. To investigate a fixed-bed zeolite column with graphene oxide (GO) layer was used to remove Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , and Cl^- from 50 cc of saline water. Also, Hexadecyl trimethylamine (HDTMA) was used to modify natural zeolites. The results showed that among the adsorbents for the water of the well in the Dark zone, 30 mg graphene oxide with 13 gr zeolite had the highest adsorption rate (23.84 percent of salinity reduction), and for Caspian Sea water, 13 gr zeolite modified by surfactants had the highest adsorption rate (23.43 percent of salinity reduction). Also, the removal of cations and anion followed the sequence: $\text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+$.

Keywords: Graphene oxide, Desalination, Fixed-bed column

1. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding author, Email: koupai@cc.iut.ac.ir