

مقاله علمی-پژوهشی

## امکان‌سنجی حذف یون‌های شوری از پساب شور حاوی فلزات سنگین سرب و روی

محمد رضا یزدانی<sup>۱</sup>، سمیه سلطانی گردفرامری<sup>۲\*</sup>، محسن قاسمی<sup>۳</sup>، فاطمه آبیاری<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶

### چکیده

کمبود منابع آب در ایران به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، موجب افزایش استفاده از فاضلاب‌های خانگی و صنعتی و منابع آب نامتعارف شده است. یکی از چالش‌های اصلی در به‌سازی چنین آب‌هایی، وجود هم‌زمان یون‌های شوری و فلزات سنگین است که می‌تواند کارایی جاذب‌های مختلف را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، بررسی ظرفیت جذب و عملکرد جاذب‌های معمولی، نانو جاذب‌ها و جاذب‌های اصلاح شده در حذف یون‌های شوری در حضور و عدم حضور فلزات سنگین، از نیازهای اساسی مطالعات آبیاری و تصفیه آب‌های شور محسوب می‌شود. با توجه به این ضرورت، آزمایش شامل تیمار جاذب در چهار سطح (۱- کربن فعال، ۲- نانوکربن فعال، ۳- نانوسیلیکا، ۴- نانوسیلیکای اصلاح شده با ویتامین سی)، تیمار شوری در سه سطح (یک، ۱۰ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر) و غلظت فلزات سنگین سرب و روی در چهار غلظت متفاوت (صفر، ۵۰ و ۱۰۰، ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در سه تکرار به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در محیط ناپیوسته انجام شد و جذب یون‌های عامل شوری در حضور و عدم حضور فلزات سنگین سرب و روی بررسی گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که ظرفیت کل جذب یون‌های عامل شوری تحت تأثیر غلظت شوری و حضور فلزات سنگین قرار دارد؛ به گونه‌ای که با افزایش شدت شوری، ظرفیت جذب به طور معناداری افزایش می‌یابد، اما حضور فلزات سنگین منجر به کاهش ظرفیت جذب به دلیل جذب رقابتی بین یون‌های شوری و فلزات سنگین می‌شود. مقایسه عملکرد جاذب‌ها نشان داد که جاذب نانوکربن فعال از کربن فعال در حذف یون‌های شوری کارآمدتر است و جاذب نانوسیلیکای اصلاح شده نسبت به نانوسیلیکای معمولی عملکرد بهتری دارد. همچنین گزارش شد که بیشترین درصد شوری‌زدایی (۲۸/۳ درصد) در شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر با استفاده از جاذب نانوکربن فعال حاصل شده و کمترین میزان شوری‌زدایی (۹/۴ درصد) مربوط به کربن فعال در شوری یک دسی زیمنس بر متر و شرایط عدم حضور فلزات سنگین است. این یافته‌ها می‌تواند در جهت بهبود کاربرد جاذب‌ها برای تصفیه آب‌های شور و پساب‌های حاوی فلزات سنگین موثر واقع شود.

**واژه‌های کلیدی:** شوری‌زدایی، جذب سطحی، نانوجاذب، پساب آلوده، اصلاح جاذب.

### مقدمه

میلیارد نفر با کمبود آب مواجه شوند و این وضعیت می‌تواند به خطرات جدی در تأمین منابع آبی برای نیازهای کشاورزی، خانگی و صنعتی منجر گردد (حسن آبادی و همکاران، ۱۴۰۳). استفاده از آب‌های با کیفیت پایین، مانند آب شور و آب لب‌شور، به‌عنوان یک راه‌حل موقت برای تأمین نیازهای آبی، به‌خصوص در مناطق با کمبود آب، رو به افزایش است و این مسئله به تشدید آلودگی منابع آبی و اثرات منفی بر روی سلامت انسان و محیط‌زیست انجامیده است (Nouri-Shamsi et al., 2025). به این ترتیب، وجود فلزات سنگین و ترکیبات سمی در پساب‌های صنعتی و خطرات ناشی از این آلاینده‌ها، نیاز به روش‌های مؤثر برای تصفیه پساب‌ها و بهبود کیفیت منابع آب را بیشتر کرده است. در این راستا، روش‌های تصفیه‌ای نظیر شوری‌زدایی و جذب سطحی جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. فرآیند جذب سطحی به دلیل سادگی اجرا، هزینه‌های کم، و قابلیت بالا در حذف آلاینده‌ها، به‌عنوان یکی از کارآمدترین فناوری‌ها برای تصفیه پساب‌ها

کمبود آب یکی از معضلات اساسی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و به‌ویژه در ایران، تحت تأثیر عواملی مانند رشد سریع جمعیت، افزایش استانداردهای زندگی، صنعتی شدن و تغییرات آب‌وهوایی، شدت بیشتری می‌یابد. به‌گونه‌ای که بر اساس گزارش‌های جهانی، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ حدود ۱/۸

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

۳- کارشناس شرکت آب منطقه‌ای یزد

۴- دانشیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اردکان، ایران

(\*- نویسنده مسئول، Email: ssoltani@ardakan.ac.ir)

به شمار می‌آید (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۶). با این حال، چالش‌هایی مانند کمبود جاذب‌های مؤثر و مقرون به صرفه، نیاز به تحقیق و توسعه جاذب‌های نوین را ضروری کرده است؛ به‌ویژه جاذب‌هایی که قابلیت بازیافت و انتخاب‌پذیری بالا داشته باشند (رستمیان و همکاران، ۱۳۹۴). جاذب کربن فعال به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی مانند سطح ویژه بالا (معمولاً بین ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ مترمربع بر گرم)، تخلخل گسترده و وجود گروه‌های عاملی سطحی (مانند هیدروکسیل، کربوکسیل و آمینو)، یکی از مؤثرترین مواد برای جذب یون‌ها از پساب‌ها محسوب می‌شود. (Demiral and Güngör, 2016). علاوه بر این، کربن فعال به دلیل زیست‌سازگاری و امکان بازیافت، یک گزینه پایدار و اقتصادی برای تصفیه پساب‌های صنعتی است. در سال‌های اخیر، استفاده از نانوذرات برای جذب سطحی ترکیبات به دلیل سطح ویژه بالا، انتخاب‌پذیری و اکانش و بازدهی جذب مطلوب، به طور قابل توجهی افزایش یافته است (El-Sayed et al., 2020). این ویژگی‌ها باعث شده تا نانوذرات به عنوان گزینه‌ای مؤثر در فرآیندهای جذب سطحی مورد توجه قرار گیرند (Bodzek et al., 2020). فرآیند جذب با استفاده از نانوجاذب‌ها به‌عنوان یک تکنیک امیدوارکننده در نظر گرفته می‌شود، زیرا عملیات ساده، هزینه کم و تشکیل لجن کاهش‌یافته‌ای دارد (Sarfranz et al., 2023). نانوذرات سیلیکا نیز به دلیل دارا بودن گروه‌های سیلانول که خاصیت اسیدی ضعیفی دارند، سطحی آب‌دوست و بسیار فعال از خود نشان می‌دهند. این ویژگی باعث می‌شود که این نانوذرات از واکنش‌پذیری بالایی برخوردار باشند. علاوه بر این، وجود گروه‌های سیلانول امکان اصلاح شیمیایی سطح نانوذرات را فراهم می‌کند، به طوری که در صورت نیاز می‌توان سطح آن‌ها را به گونه‌ای تغییر داد که آگریز یا حتی چربی‌دوست شوند. این قابلیت اصلاح‌پذیری، کاربردهای متنوعی را برای نانوذرات سیلیکا در زمینه‌های مختلف علمی و صنعتی ایجاد می‌کند (Andrzejewska et al., 2007). در خصوص شوری‌زدایی با جاذب‌ها تحقیقاتی انجام شده است. برای مثال شکران و همکاران (۱۳۹۶) و (۱۳۹۹) امکان سنجی کاهش شوری آب توسط جاذب‌های معدنی و زیستی پوسته برنج و صدف را مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش مقدار جاذب پوسته برنج و پوسته صدف، درصد جذب افزایش یافته است. همچنین آنها گزارش کردند که جاذب‌های زیستی و معدنی در اندازه‌های مختلف قابلیت جذب یون‌های نمکی را دارا بودند. صحرائی و همکاران (۱۴۰۰) استفاده از ژئولیت و بنتونیت ایرانی به عنوان جاذب‌های معدنی در نمک‌زدایی را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که این دو جاذب کارایی لازم برای کاهش شوری را نداشته و سبب افزایش هدایت الکتریکی و مقدار سدیم آب می‌شوند اما با اصلاح آنها با اسید، کارایی هر دو افزایش یافت. مویدی و همکاران (۱۴۰۱) نمک‌زدایی‌زیستی آب شور دریا با استفاده از جلبک‌های دونالیالسالینا و کلرولولگاریس را مورد آزمایش قرار دادند. بر

اساس نتایج تحقیق آنها به نظر می‌رسد که کاهش جذب نمک در جلبک‌ها با استفاده از نمک در سوخت و ساز جلبک و رشد و تکثیر آنها است و در حقیقت، یک روش مؤثر برای از بین بردن شوری است. حسن آبادی و همکاران (۱۴۰۳) بررسی کارایی زغال زیستی برای شوری‌زدایی در حضور یون مس را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که زغال زیستی تهیه شده از کنجاله کنجد، به دلیل داشتن سطح فعال بالا، ساختار متخلخل و گروه‌های عاملی مناسب در سطح، در شوری‌زدایی از پساب شور حاوی یون مس در فرآیند جذب سطحی عملکرد مطلوبی دارد. حویزوی و همکاران (۱۴۰۳) کاهش شوری زه‌آب کشاورزی با استفاده از جاذب کوکوپیت را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که کوکوپیت قابلیت کاهش هدایت الکتریکی آب‌شور را تا حدود ۲۰ درصد داراست. نوری شمسی و همکاران شوری‌زدایی آب شور زهکش با استفاده از زغال زیستی تولید شده از کنجاله کنجد را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که در چهار سطح شوری ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۵ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین میزان جذب اصلاح توسط تیمارهای مورد مطالعه به ترتیب ۲۴/۴، ۵۷، ۱۳۹/۹ و ۳۰۸/۶ میلی‌گرم بر گرم بوده است که در هر چهار سطح شوری مربوط به جاذب زغال زیستی تهیه شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (Nouri-Shamsi et al., 2025).

مساله کمبود آب در ایران و بخصوص در شهرهای کویری و خشک باعث شده که رو به سوی استفاده مجدد از فاضلاب‌های خانگی و صنعتی آورده شود. استان یزد، با دارا بودن خاک مناسب باعث شده که کارخانجات کاشی و سرامیک و صنایع فولادی زیادی را در خود جای دهد که پیامد آن مشکلات زیست محیطی زیادی را به دنبال دارد. آب زیرزمینی این مناطق خصوصاً شهرستان اردکان (محل انجام پژوهش) شور و لب شور است که مشکل آب این منطقه را دوچندان کرده است. استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت و حاصل از ضایعات کشاورزی برای حل این مشکل در استفاده از آب‌های شور حاوی فلزات سنگین حاصل از پساب صنایع کاشی و سرامیک و فولاد از اهدافی بوده است که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. از طرف دیگر، با افزایش توجه به کاربرد نانوذرات در جذب سطحی و بهبود عملکرد جاذب‌ها، این تحقیق به بررسی کارایی جاذب‌های نوین، به خصوص نانوذرات کربن فعال و سیلیکا می‌پردازد. هدف این پژوهش ارتقاء کیفیت آب شرب و پساب‌های صنعتی از طریق ارائه راهکارهایی مؤثر برای استفاده از منابع آبی و مدیریت بهینه آنها در شرایط کمبود آب است.

## مواد و روش

این آزمایش در سه بخش جاذب معمولی (کربن فعال)، نانو جاذب (نانوسیلیکا و نانو کربن فعال)، و جاذب اصلاح شده به صورت نانو

میانگین و حجم کل حفرات، اندازه‌گیری مقدار تخلخل ماده، محاسبه و برآورد شکل هندسی حفرات، برآورد اندازه حفرات به لحاظ عمق و قطر دهانه تست BET انجام گرفت. این آزمایش توسط دستگاه Mini2-Belsorp ساخت کشور ژاپن در آزمایشگاه نانو مواد صبا واقع در شهر تهران انجام شد. آزمایش میکروسکوپ الکترونی روبشی یا SEM، یک تکنیک پیشرفته برای بررسی مورفولوژی سطح، ترکیب شیمیایی و ساختار مواد در مقیاس نانو و میکرومتر است. SEM قادر به بزرگنمایی تا بیش از ۱۰۰,۰۰۰ برابر است و امکان بررسی ویژگی‌های سطحی مانند توپوگرافی، تخلخل و ترکیب شیمیایی را فراهم می‌کند. تصاویر SEM جاذب‌های نانو با استفاده از دستگاه مدل Quantum 2000 ساخت کشور آمریکا در آزمایشگاه نانو مواد صبا واقع در شهر تهران انجام گرفت. پراش اشعه ایکس یک روش غیرتخریبی با چند کاربرد است که اطلاعات جامعی درباره ترکیبات شیمیایی و ساختار کریستالین مواد طبیعی و صنعتی ارائه می‌دهد. از جمله مواردی که می‌توان در آنالیز پراش پرتو ایکس XRD تعیین کرد تشخیص فاز کریستال، اندازه و شکل دانه کریستال، فاصله بین لایه‌های کریستال، تعیین جهت گیری و موقعیت بلور، اندازه‌گیری درصد کریستالیت نمونه، ترکیب اتم‌های کریستال و ساختار آن می‌باشد. این آنالیز توسط دستگاه D8 advance ساخت شرکت Bruker آلمان واقع در آزمایشگاه دانشگاه یزد انجام شد.

#### آزمایش‌های جذب در محیط ناپیوسته

به منظور انجام آزمایش جذب ابتدا ۱۰۰ میلی‌لیتر آب با شوری-های ذکر شده درون ارلن‌های ۲۰۰ میلی‌لیتری ریخته شده و سپس یک گرم از هر یک از جاذب‌ها به آن اضافه شد. سپس نمونه‌ها در دمای اتاق به مدت دو ساعت بر روی شیکر با دور ۱۸۰ دور بر دقیقه قرار گرفته و پس از آن با استفاده از کاغذ صافی، جاذب‌ها از محلول جدا شد. در انتها هدایت الکتریکی و یون‌های عامل شوری در محلول مطابق روش‌های استاندارد موجود اندازه‌گیری شد. ظرفیت و درصد جذب یون‌های عامل شوری توسط جاذب‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید. ظرفیت کل جذب نیز از مجموع ظرفیت جذب یون-های شوری بدست آمد.

$$q_t = \frac{(c_0 - c_t) v}{w} \quad (1)$$

$$E = \frac{(c_0 - c_t)}{c_0} * 100 \quad (2)$$

در این روابط  $q_t$  ظرفیت جذب (برحسب میلی‌گرم بر گرم)،  $C_0$  غلظت اولیه یون شوری (برحسب میلی‌گرم بر لیتر)،  $C_t$  غلظت نهایی یون شوری (برحسب میلی‌گرم بر لیتر)،  $w$  جرم جاذب (برحسب گرم)،  $V$  حجم محلول (برحسب لیتر) و  $E$  درصد جذب (برحسب لیتر) می‌باشد.

(نانوسیلیکای اصلاح شده با ویتامین سی) در آزمایشگاه کیفیت آب دانشگاه اردکان انجام گردید. نانوسیلیکا به‌عنوان جاذب سبز و ارزان قیمت در حذف فلزات سنگین پساب‌های صنعتی پرکاربرد و آلاینده صورت می‌گیرد. برای افزایش راندمان حذف فلز، سطح نانوجاذب به‌وسیله ویتامین سی اصلاح گردید. جاذب کربن فعال ساخته شده توسط شرکت مرک آلمان تهیه گردید. جاذب نانوسیلیکا نیز از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شد. جاذب کربن فعال با روش حل گرمایی (Yang et al., 2007) در آزمایشگاه مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۴۰۳ در مقیاس نانو آماده گردید. اصلاح جاذب نانوسیلیکا با ویتامین سی به روش محمود و همکاران انجام شد (Mahmoud et al., 2019). جهت تعیین مشخصات ساختاری این نانوجاذب سنتزی از پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی و تعیین سطح ویژه آن استفاده شد. فاکتور شوری آب نیز در سه سطح شوری (یک، ۱۰ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر) بکار برده شد. در نتیجه آزمایش شامل تیمار جاذب در چهار سطح (۱- کربن فعال، ۲- نانوکربن فعال، ۳- نانوسیلیکا، ۴- نانوسیلیکای اصلاح شده با ویتامین سی، شوری در سه سطح و سه تکرار به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در محیط ناپیوسته انجام شد. به‌طوری‌که تیمارهای آب شور حاوی فلزات سنگین سرب و روی در چهار غلظت متفاوت بود که با پیش‌آزمایش‌های انجام شده غلظت مورد آزمایش صفر، ۵۰ و ۱۰۰، ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به نسبت مساوی از سرب و روی تعیین شد. آزمایش تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ و با آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام گردید.

#### ساخت محلول آب شور حاوی فلز سنگین

نمونه آب شور مورد مطالعه در این پژوهش به جهت تطبیق با شرایط طبیعی از زهکش منطقه چاه افضل اردکان تهیه گردید. برای اعمال سطوح شوری با رقیق‌سازی با آب شرب شهری شوری ۱۰ دسی زیمنس هم ساخته شد و فلزات سنگین مورد نظر به آب شور و غیر شور اضافه شد. پس از آماده‌سازی آب با شوری‌های ذکر شده، دوازده محلول استوک پس از اضافه کردن نیترات سرب و نیترات روی در وزن‌های مختلف (۰/۴، ۰/۲، ۰/۱، ۰) گرم در لیتر ساخته شد (Shahrokh-Shahraki et al., 2021). تمام مواد شیمیایی استفاده شده در این پژوهش از نوع آزمایشگاهی و ساخته شده توسط شرکت مرک آلمان بود. برای اندازه‌گیری یون‌های کلر، کلسیم، منیزیم و بی-کربنات از روش تیتراسیون، سدیم و پتاسیم با روش فلیم فتومتر طبق استاندارد موسسه تحقیقات آب و خاک کشور انجام شد.

#### تجهیزات مورد استفاده

به منظور اندازه‌گیری مساحت سطح ویژه ماده، اندازه‌گیری حجم

## نتایج و بحث

مقدار را به خود اختصاص داده و بعد از آن یون های سدیم، بی کربنات، منیزیم و کلسیم به ترتیب در رده های بعد قرار دارند. هم چنین غلظت سرب و روی در محلول آب شور اولیه بسیار ناچیز گزارش شد.

جدول (۱) میزان غلظت کاتیون ها و آنیون های آب شور مورد استفاده در آزمایش را نشان می دهد. داده های جدول مؤید آن است که کاتیون غالب شوری در آب یون سدیم می باشد و آنیون غالب در هر سه سطح شوری یون کلر می باشد. در نمونه های آب یون کلر حداکثر

جدول ۱- نتایج آنالیز آب های مورد استفاده

هدایت الکتریکی	کل املاح محلول	پتاسیم	سدیم	کلسیم	منیزیم	کلر	بی-کربنات	سرب	روی
دسی زیمنس برمتر	میلی گرم بر لیتر								
۱	۶۴۰/۸	۶/۵	۱۵۴/۳	۳۲/۵	۲۲/۸	۲۶۰/۵	۱۵۲/۲	<۰/۱	<۰/۱
۱۰	۶۵۶۵/۷	۷/۵	۱۸۵۰/۲	۱۲۰/۴	۲۲۵/۶	۲۶۷۲/۰	۳۵۸/۱	<۰/۱	<۰/۱
۲۰	۱۳۵۶۶/۳	۱۶/۳	۴۰۶۵/۵	۲۴۵	۴۸۵/۲	۵۹۲۵/۰	۶۷۰/۲	<۰/۱	<۰/۱

## خصوصیات فیزیکی جاذب ها:

## نتایج آزمایش BET

جدول (۲) ویژگی های فیزیکی جاذب های مورد استفاده را نشان می دهد. مساحت سطح یا سطح ویژه یکی از فاکتورهای مهم جاذب بوده که هرچه مقدار آن بیشتر باشد راندمان و سرعت جذب نیز بیشتر خواهد بود. اندازه گیری مساحت سطح یا سطح ویژه، متوسط قطر حفره ها و حجم حفره ها در این پژوهش به کمک آزمایش BET انجام گرفت. هر چه مساحت سطح بیشتر باشد، سطح ماده دارای تخلخل بیشتری بوده و در نتیجه سطح تماس جاذب با ماده جذب شونده بیشتر می شود. از این رو مساحت سطح یکی از فاکتورهای مهم در توانایی جذب جاذب می باشد. مساحت سطح نانو سیلیکای خام با استفاده از روش BET، ۱۹۵/۴۷ مترمربع بر گرم اندازه گیری شد. از طرفی پس از بارگذاری ویتامین سی بر روی جاذب مساحت سطح به ۱۰۶/۹ مترمربع بر گرم کاهش یافت. نتیجه این آنالیز می تواند دلیل محکمی بر بارگذاری ویتامین سی بر روی سطح نانو سیلیکا باشد و اصولاً هرچه توزیع ذرات ویتامین سی روی جاذب بهتر صورت گرفته باشد فضاهای بیشتری از سایت های فعال نانو سیلیکا را اشغال می کند که نتایج بیانگر همین موضوع می باشند (فاتحی و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج این آنالیز با نتایج محمود و همکاران و رشیدی و همکاران در مطالعاتی تقریباً مشابه با موضوع این مطالعه مطابقت دارد (Mahmoud et al., 2019; Rashidi et al., 2013). مانیانگادزه و همکاران بیان کردند در حالی که سطح ویژه بالا ممکن است به طور خودکار به ظرفیت جذب بالاتر منجر نشود، باید توجه داشت که ظرفیت جذب تا حد زیادی تابعی از سطح ویژه ذرات است. اگرچه سطح ویژه بالا به تنهایی ضمانت کننده ظرفیت جذب بالاتر نیست، اما ارتباط قابل توجهی بین سطح ویژه و ظرفیت جذب وجود دارد

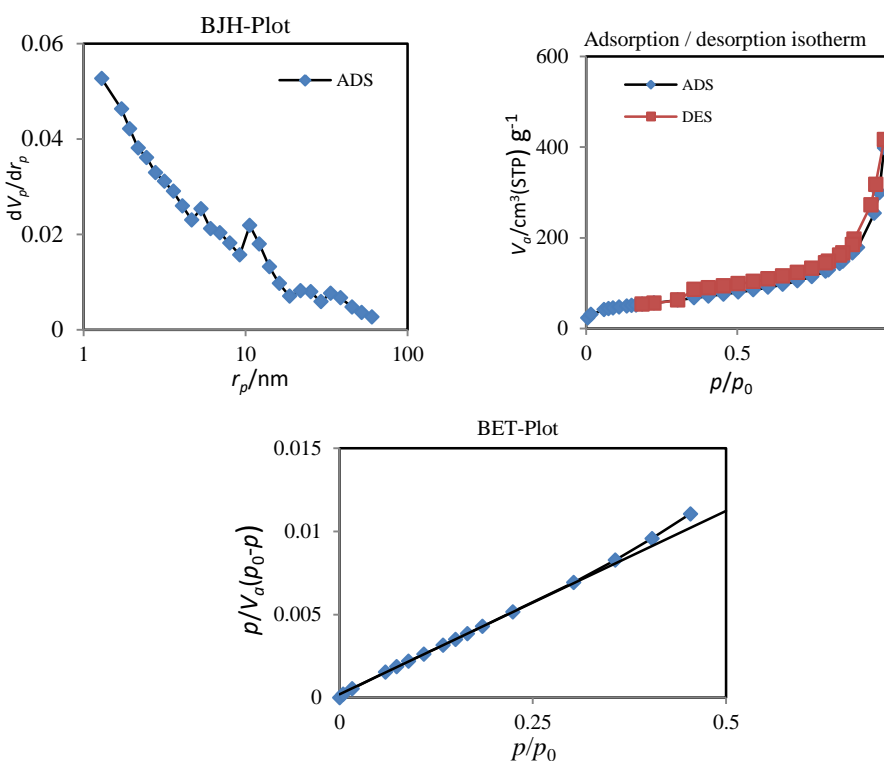
(Manyangadze et al., 2017). بنابراین، سطح ویژه بالا می تواند به عنوان یک عامل کلیدی در طراحی جاذب های کارآمد برای حذف آلاینده ها در نظر گرفته شود. اگرچه در این پژوهش کاهش سطح ویژه نانو سیلیکای اصلاح شده منجر به کاهش اندک در جذب جاذب شد اما به عنوان اثر منفی در نظر گرفته نمی شود، چراکه به دلیل آبدوست بودن ذرات نانو سیلیکا، جدا کردن آن ها پس از فرایند جذب بسیار سخت و زمانبر می باشد اما پس از اصلاح جدا کردن جاذب از آب توسط کاغذ صافی بسیار سریع و راحت نسبت به حالت اولیه صورت می پذیرد. از طرف دیگر کربن فعال دارای مساحت سطح ۱۵۲۸/۲ مترمربع بر گرم بود که پس از نانو شدن به مقدار ۱۳۶۰/۱ مترمربع بر گرم رسید. این نکته می تواند به این علت باشد که بنابه نتایج روکوئرویل و همکاران فرایند نانو ساختار کردن می تواند باعث تغییر در توزیع اندازه منافذ شود. ممکن است منافذ کوچک تر به هم پیوندند و منافذ بزرگ تری ایجاد کنند که سطح ویژه کلی را کاهش می دهد، اما دسترسی به سایت های جذب را بهبود می بخشد و یا بطور کلی کاهش سطح ویژه پس از نانو ساختار کردن می تواند به دلیل تغییر در ساختار منافذ، افزایش چگالی مواد، تغییر در شیمی سطح، تغییر در مورفولوژی سطح و یا تغییر در توزیع اندازه ذرات باشد (Rouquerol et al., 2013). این تغییرات می توانند باعث بهبود عملکرد جذب در برخی موارد شوند، حتی اگر سطح ویژه کاهش یابد. پس از انجام این تست و بررسی نتایج، جاذب های مورد استفاده برای این پژوهش از نظر پارامترهای فیزیکی، به عنوان جاذب های مناسب و قابل قبولی برای انجام آزمایش های جذب قرار گرفتند. شکل (۱) نیز نمودارهای آزمایش BET در مورد جاذب نانو سیلیکا را به صورت نمونه نشان می دهد. این آزمایش و نمودارها برای همه جاذب ها انجام شده است. بر اساس نتایج این آنالیز، به نظر می رسد که حجم عمده ی حفرات در

داده‌های ایزوترم جذب را نشان می‌دهد که با جذب یک گاز (معمولاً نیتروژن) بر روی سطح ماده در دمای ثابت، معمولاً ۷۷ درجه کلوین، جمع‌آوری شده‌اند. داده‌ها به صورت مقادیر  $(P/P_0)$  نسبت فشار تعادلی به فشار اشباع برای مقادیر مختلف گاز جذب‌شده به دست می‌آیند.

محدوده‌ی ۱ تا ۱۰ نانومتر متمرکز شده است که نشان‌دهنده‌ی وجود مزوپورها است. در حالی که بخشی از منحنی به محدوده‌ی ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر نیز گسترش می‌یابد، احتمالاً تعدادی ماکروپور نیز وجود دارد، اما تمرکز اصلی در ناحیه‌ی مزوپور مشاهده می‌شود. شکل ۱c

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی جاذب‌های مورد استفاده

پارامتر	واحد	نانوکربن فعال	کربن فعال	نانوسیلیس	نانوسیلیکای اصلاح شده با ویتامین سی
سطح ویژه	(m <sup>2</sup> /g)	۱۵۲۸/۲	۱۳۶۰/۱	۱۹۵/۴۷	۱۰۶/۹
متوسط قطر حفره‌ها	(nm)	۴/۸۷۳۷	۳/۴۷۸۶	۱۲/۵۹۷	۲۲/۹۳۵
حجم حفره‌ها	(cm <sup>3</sup> /g)	۱/۶۵۷۱	۱/۳۲۹	۰/۶۱۵۶	۰/۶۱۳۹

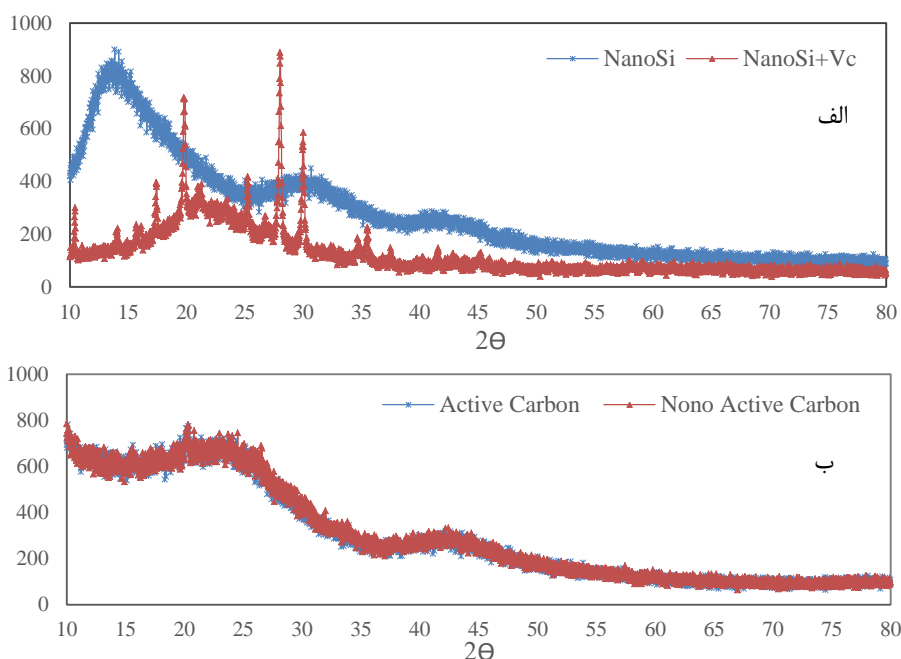


شکل ۱- نمودارهای ads-des، BJH و BET جاذب نانوسیلیکا

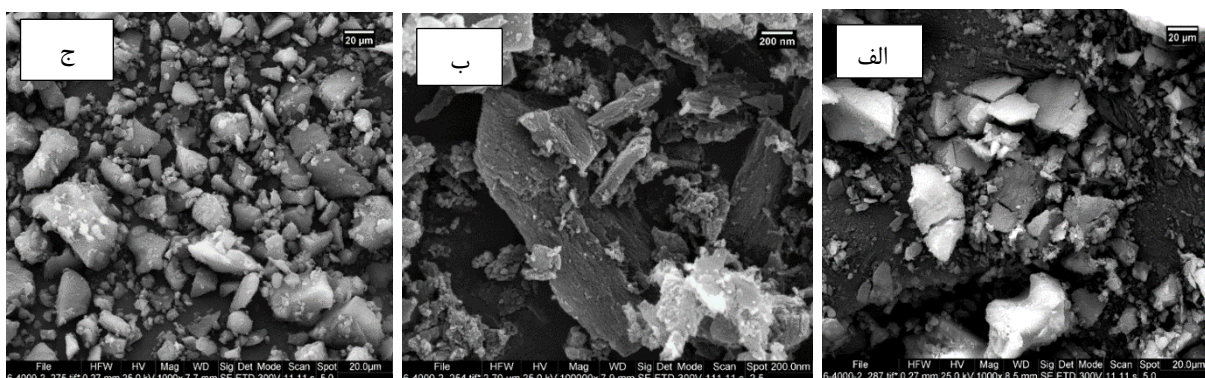
هستند. پیک‌های پراش نانوسیلیکای اصلاح شده با ویتامین سی از نانوسیلیکای خام ضعیف‌تر است و شدت پیک به نزدیکی ویتامین سی و همچنین کاهش اندازه کریستالیت اشاره دارد (Tang et al., 2006). از طرفی در نقاط اوج یا حداکثر یا قله مشاهده شده برای جاذب‌های کربن فعال و نانو کربن فعال تفاوت چشم‌گیر و قابل توجهی مشاهده نشد که می‌تواند به علت عدم تغییر در ساختار جاذب باشد. شکل (۳) تصویر SEM از جاذب‌های نانوسیلیکا، نانوکربن فعال و نانوسیلیکا+ویتامین سی را نشان می‌دهد.

### نتایج آنالیز XRD و SEM

شکل (۲) الگوهای پراش اشعه ایکس نانوجاذب‌ها را نشان می‌دهد. متمایزترین قله در نانوسیلیکا به وضوح در موقعیت  $2\theta = 13^\circ$  -۱۵ درجه به نظر می‌رسد (Liu et al., 2004). این قله پهن نشان داد که نانو سیلیکا ماهیت کاملاً آمورف دارد. حضور پیک‌ها (قله‌ها) در بازه  $2\theta$  بین ۲۰ تا ۳۰ درجه می‌تواند نشان‌دهنده خواص بلوری خاصی باشد که ممکن است بر رفتار شیمیایی و فیزیکی ماده تأثیر بگذارد. پیک‌ها در این بازه ممکن است نشان‌دهنده حضور ویژگی‌های میکرو و مزوپور در ماده باشند که برای کاربردهای جذب و جداسازی حیاتی



شکل ۲- آنالیز XRD جاذب‌های الف: نانوسیلیکا و نانوسیلیکای اصلاح‌شده، ب: کربن‌فعال و نانوکربن‌فعال



شکل ۳- تصویر SEM از جاذب‌ها. الف: نانوسیلیکا، ب: نانوکربن‌فعال و ج: نانوسیلیکا+ویتامین سی

### بررسی میزان جذب یون‌های شوری توسط جاذب‌ها

جذب یون‌های عامل شوری در شرایط عدم حضور فلز سنگین نتایج جذب یون‌های شوری در شرایط عدم حضور فلز سنگین در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، بیش‌ترین میزان جذب سدیم در شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر مربوط به جاذب نانوکربن‌فعال به میزان ۱۱۳/۷ میلی‌گرم بر گرم می‌باشد و کربن‌فعال، نانوسیلیکای اصلاح‌شده با ویتامین سی و نانوسیلیکا به ترتیب با مقادیر ۱۰۱/۳۹، ۵۵/۰۲ و ۴۸/۲۵ در رده‌های بعدی قرار گرفتند. کمترین میزان جذب سدیم در سطح شوری یک دسی زیمنس بر متر و مقدار ۰/۴۸۶ میلی‌گرم بر گرم برای جاذب کربن‌فعال بود که لازم

به توجه است که در این سطح شوری میزان جذب سدیم برای هر چهار جاذب مورد استفاده از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. بیشترین مقدار جذب یون پتاسیم در شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر توسط جاذب نانوکربن‌فعال و به مقدار ۰/۳۴۶ میلی‌گرم بر گرم صورت گرفت و کمترین مقدار جذب در سطح شوری یک دسی زیمنس بر متر و مقدار ۰/۰۳۳ میلی‌گرم بر گرم توسط جاذب‌های نانوسیلیکا و نانوسیلیکای اصلاح‌شده بود. یون کلسیم در سطح شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر بیش‌ترین مقدار جذب را توسط جاذب نانوکربن‌فعال و به مقدار ۱۰/۳۵ میلی‌گرم بر گرم و کمترین مقدار جذب را در شوری یک دسی زیمنس بر متر و در هر چهار جاذب تقریباً مشابه و فاقد اختلاف معنادار از لحاظ آماری بود. بیش‌ترین

پس از آن نانوسیلیکای اصلاح شده با ۱۲۷/۴۸ میلی‌گرم بر گرم و کربن فعال با ۰/۷۷ میلی‌گرم بر گرم و نانوسیلیکا با ۱/۰ میلی‌گرم بر گرم کمترین میزان جذب را داشتند که مجدداً هر چهار جاذب در این غلظت شوری میزان جذب تقریباً مشابهی داشتند که از لحاظ آماری فاقد اختلاف معنادار بود. در جذب بی‌کربنات، نانو کربن فعال با ۵۴/۳۳ میلی‌گرم بر گرم در ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر بالاترین میزان جذب و کربن فعال در یک دسی‌زیمنس بر متر کمترین جذب را داشته است.

جذب منیزیم به میزان ۲۱/۹۹ میلی‌گرم بر گرم در سطح شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر توسط جاذب نانوکربن فعال رخ داد و پس از آن نانوسیلیکای اصلاح شده، کربن فعال و نانوسیلیکا به ترتیب در رده‌های بعد قرار می‌گیرند هرچند از لحاظ آماری در میزان جذب اختلاف معنادار نداشتند و کمترین جذب در شوری یک دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که از لحاظ آماری تفاوت معناداری میان جاذب برای هر چهار جاذب وجود نداشت. در غلظت شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، نانوکربن فعال با ۱۳۷/۰۶ میلی‌گرم بر گرم بیشترین جذب یون کلر و

جدول ۳- نتایج جذب یون‌های شوری در شرایط عدم حضور فلز سنگین

سطوح فلز سنگین	جاذب	سطوح شوری	سدیم	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	کلر	بی‌کربنات
		۱	۰/۴۸۶i	۰/۰۴۱i	۰/۰۳۸h	۰/۱۱۶c	۰/۷۷e	۲/۲۶i
	کربن فعال	۱۰	۲۷/۲۴g	۰/۱۱۳h	۲/۷۷f	۶/۶۸abc	۳۰/۹۴cd	۱۱/۲۹g
		۲۰	۱۰۱/۳۹b	۰/۲۷۰d	۹/۷۱b	۱۷/۶۴a	۱۱۹/۲۸b	۲۴/۱۵c
	نانوکربن	۱	۰/۷۹۱i	۰/۰۴۵i	۰/۱۰۹h	۰/۱۸۶c	۱/۰۳e	۲/۷۸hi
	فعال	۱۰	۳۸/۶۰e	۰/۲۲۳e	۳/۵۳e	۱۱/۶۷ab	۳۲/۰۶cd	۲۰/۴۳d
صفر		۲۰	۱۱۳/۷۰a	۰/۳۴۶a	۱۰/۳۵a	۲۱/۹۹a	۱۳۷/۰۶a	۵۴/۳۳a
	نانوسیلیکا	۱	۰/۷۷۰i	۰/۰۳۳j	۰/۰۶۶h	۰/۱۰۱c	۱/۰۰e	۲/۷۸hi
		۱۰	۲۵/۴۷h	۰/۱۵۰g	۲/۳۵g	۶/۳۴bc	۳۹/۶۳c	۱۲/۴۲f
		۲۰	۴۸/۲۵d	۰/۲۸۳c	۵/۶۴d	۱۷/۶۱a	۱۱۸/۳۴b	۲۵/۸۲b
	نانوسیلیکای اصلاح شده	۱	۰/۷۳۹i	۰/۰۳۳j	۰/۰۶۸h	۰/۱۳۶c	۱/۳۳e	۳/۰۷h
		۱۰	۲۹/۰۷f	۰/۱۷۵f	۲/۸۸f	۶/۹۴bc	۲۶/۵۰d	۱۴/۴۲e
		۲۰	۵۵/۰۲c	۰/۲۹۴b	۶/۰۸c	۱۸/۰۴a	۱۲۷/۴۸ab	۲۵/۵۹b

در هر ستون بر اساس آزمون دانکن تیمارهای با حروف مشترک اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

بر متر بود که هر چهار جاذب عملکرد تقریباً مشابه بدون اختلاف آماری را دارا بودند. بهترین عملکرد جاذب‌ها برای جذب یون کلر از محلول در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و مقدار ۱۰۶/۲۲۵ میلی‌گرم بر گرم توسط نانوسیلیکای اصلاح شده و پس از آن به ترتیب نانوسیلیکا، نانوکربن فعال و کربن فعال بود هر چند که اختلاف آماری معنی‌داری در جذب یون مورد نظر میان نانوکربن فعال و کربن فعال وجود نداشت. کمترین میزان جذب کلر هم در شوری یک دسی‌زیمنس بر متر بود که تمام جاذب‌ها عملکرد تقریباً مشابهی داشتند. بیشترین جذب بی‌کربنات به میزان ۴۶/۱۵ میلی‌گرم بر گرم توسط نانوکربن فعال و پس از آن ۲۱/۵۷ میلی‌گرم بر گرم توسط نانوسیلیکا در ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر اتفاق افتاد. کمترین جذب به میزان ۱/۷۰ میلی‌گرم بر گرم هم در شوری یک دسی‌زیمنس بر متر توسط کربن فعال رخ داد. در مقایسه ظرفیت کل جذب برای هر چهار جاذب، بهترین میزان جذب در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر اتفاق افتاده که به ترتیب نانوکربن فعال، کربن فعال، نانوسیلیکای اصلاح شده و نانوسیلیکا به مقدارهای ۲۶۱/۶۸، ۲۱۷/۳۰، ۱۸۲/۵۰ و ۱۷۲/۴۰ میلی‌گرم بر گرم دارای بیشترین مقدار جذب از میان سطوح شوری‌های مختلف بودند.

### جذب یون‌های عامل شوری در شرایط حضور فلز سنگین

#### جذب در غلظت فلز سنگین ۵۰ ppm

جذب یون‌های عامل شوری توسط جاذب‌های کربن فعال، نانوکربن فعال، نانوسیلیکا و نانوسیلیکای اصلاح شده با ویتامین سی در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب و روی در در جدول (۴) نشان داده شده است. بر اساس نتایج، بیشترین میزان جذب سدیم در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر توسط جاذب نانوکربن فعال به مقدار ۹۶/۶۷ میلی‌گرم بر گرم و کمترین میزان جذب در شوری یک دسی‌زیمنس بر متر اتفاق افتاد که در هر چهار جاذب تقریباً مشابه و بدون اختلاف معنادار آماری بود. پتاسیم به مقدار ۰/۲۵۶ میلی‌گرم بر گرم در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر توسط نانوکربن فعال بیشترین میزان جذب را دارا بوده و کمترین میزان جذب را توسط جاذب‌های نانوسیلیکا به مقدار ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر گرم و نانوسیلیکای اصلاح شده به مقدار ۰/۰۲۷ میلی‌گرم بر گرم داشته که مقدار جذبشان تقریباً مشابه و فاقد اختلاف معنادار آماری می‌باشند. کلسیم و منیزیم نیز بیشترین مقدار جذبشان در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر توسط جاذب نانوکربن فعال رخ داد که به ترتیب دارای مقادیر ۹/۲۰۶ و ۱۳/۶ میلی‌گرم بر گرم بودند. کمترین مقدار جذب‌شان هم در شوری یک دسی‌زیمنس

جدول ۴- نتایج جذب یون‌های شوری در غلظت ۵۰ ppm فلزات سنگین سرب و روی

بی کربنات	کلر	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	سدیم	سطوح شوری	جاذب	سطوح فلز سنگین
۱/۷۰i	۰/۷۲۱f	۰/۰۹۵d	۰/۰۳۰g	۰/۰۳۲jz	۰/۳۳h	۱		
۹/۱۹g	۲۰/۹۹۷e	۵/۶۰۲c	۲/۲۲۷e	۰/۰۹۱h	۲۲/۵۱f	۱۰	کربن فعال	
۱۹/۸۸c	۹۵/۰۳۳c	۱۰/۵۰۰b	۸/۳۳۵b	۰/۲۰۹d	۸۳/۳۴b	۲۰		
۲/۰۹hi	۰/۷۶۵f	۰/۱۳۷d	۰/۰۴۳g	۰/۰۳۹i	۰/۶۴h	۱		
۱۴/۹۶d	۱۹/۳۳۷e	۹/۳۹۰b	۲/۹۳۰d	۰/۱۷۷e	۳۱/۱۵e	۱۰	نانوکربن فعال	
۴۶/۱۵a	۹۵/۷۸۸c	۱۳/۶۰۰a	۹/۲۰۶a	۰/۲۵۶a	۹۶/۶۷a	۲۰		۵۰
۲/۱۶hi	۰/۷۹۷f	۰/۰۶۵d	۰/۰۵۵g	۰/۰۲۵z	۰/۶۴h	۱		
۱۰/۶۰f	۳۲/۴۵۴d	۵/۳۰۱c	۱/۸۰۰f	۰/۱۱۲g	۲۰/۰۷g	۱۰	نانوسیلیکا	
۲۱/۵۷b	۹۹/۵۰۸b	۱۰/۳۵۹b	۴/۴۳۸c	۰/۲۲۳c	۳۶/۳۰d	۲۰		
۲/۳۶h	۱/۰۷f	۰/۱۱۳d	۰/۰۵۷g	۰/۰۲۷z	۰/۷۷h	۱		
۱۲/۶۱e	۳۰/۷۶۸d	۵/۶۶۲c	۲/۴۰۷e	۰/۱۳۰f	۲۳/۷۴f	۱۰	نانوسیلیکای اصلاح شده	
۲۰/۰۷c	۱۰۶/۲۲۵a	۱۰/۳۹۶b	۴/۳۰۸c	۰/۲۴۶b	۴۱/۲۵c	۲۰		

در هر ستون بر اساس آزمون دانکن تیمارهای با حروف مشترک اختلاف معنی دار آماری ندارند.

#### جذب یون‌های شوری در غلظت فلز سنگین ۱۰۰ ppm

جذب یون‌های شوری توسط جاذب‌های کربن فعال، نانوکربن فعال، نانوسیلیکا و نانوسیلیکای اصلاح شده با ویتامین سی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب و روی در جدول (۵) نشان داده شده است. در این غلظت فلز سنگین جاذب نانوکربن فعال با جذب ۸۱/۷۲ میلی‌گرم بر گرم بیشترین میزان جذب سدیم را در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر داشت و پس از آن به ترتیب کربن فعال و نانوسیلیکای اصلاح شده و نانوسیلیکا در رده‌های بعدی در همین سطح شوری قرار گرفتند. کمترین میزان جذب یون سدیم در شوری یک دسی‌زیمنس بر متر اتفاق افتاد که هر چهار جاذب عملکرد تقریباً مشابهی داشتند و از لحاظ آماری فاقد اختلاف معنادار بودند هر چند که از لحاظ عددی میزان جذب کربن فعال از سایر جاذب‌ها کمتر بود. در جذب یون پتاسیم جاذب نانو کربن فعال بهترین عملکرد را در ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۰/۱۹۳ میلی‌گرم بر گرم داشت و بعد از آن کربن فعال و نانوسیلیکای اصلاح شده جاذب بالاتری را در همین سطح شوری دارا بودند که عملکرد تقریباً مشابهی داشتند. کمترین میزان جذب هم مربوط به نانوسیلیکا و نانوسیلیکای اصلاح شده در شوری یک دسی‌زیمنس بر متر بود که هم از لحاظ عددی و هم از لحاظ آماری تفاوت معناداری در مقدار جذب نداشتند. بیشترین میزان جذب کلسیم مجدداً در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و توسط نانوکربن فعال به میزان ۷/۷۵ میلی‌گرم بر گرم اتفاق افتاد و کمترین میزان جذب کلسیم در شوری یک دسی‌زیمنس بر متر بود که از لحاظ آماری تفاوت معناداری میان مقدار جذب توسط هر چهار جاذب در این سطح شوری مشاهده نشد. منیزیم بیشترین جذب خود را در شوری

۲۰ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۱۰/۶۰ میلی‌گرم بر گرم توسط نانوکربن فعال و کمترین جذب خود را در شوری یک دسی‌زیمنس بر متر که چهار جاذب عملکرد تقریباً مشابهی از لحاظ عددی و فاقد اختلاف از لحاظ آماری داشته است. کلر در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۸۱/۱۱ میلی‌گرم بر گرم توسط جاذب نانوسیلیکا بیشترین جذب را داشته است و پس از آن در همین سطح شوری کربن فعال و نانوسیلیکای اصلاح شده و نانوکربن فعال به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند هر چند که در جذب میان کربن فعال و نانو سیلیکای اصلاح شده اختلاف معناداری از لحاظ آماری مشاهده نمی‌شود. کمترین میزان جذب هم در شوری یک دسی‌زیمنس بر متر بوده که هر چهار جاذب عملکرد مشابهی از لحاظ آماری در میزان جذب داشتند. بیشترین میزان جذب بی‌کربنات در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۴۱/۳۰ میلی‌گرم بر گرم توسط جاذب نانو کربن فعال بود. کمترین میزان جذب بی‌کربنات در شوری یک دسی‌زیمنس بر متر بود که هر چهار جاذب تقریباً یکسان به لحاظ آماری عمل کردند. تفاوت‌های مشاهده شده در ظرفیت‌های جذب بین این جاذب‌ها را می‌توان به خواص فیزیکی‌شیمیایی متمایز آن‌ها، مانند سطح ویژه، ساختار منافذ و ترکیب شیمیایی نسبت داد. این عملکرد به وجود گروه‌های عاملی بر روی سطح جاذب مرتبط است که تبادل یونی و جذب را تسهیل می‌کند. به عنوان مثال وی بین و همکاران خاطر نشان کردند که بیوجار با گروه‌های عاملی سطحی بالاتر، به ویژه برای کاتیون‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم قابلیت‌های نگهداری یونی بهتری دارد (Wei-bin et al., 2024).

جدول ۵- نتایج جذب یون‌های شوری در در غلظت ppm ۱۰۰ فلزات سنگین سرب و روی

سپتوح فلز سنگین	جاذب	سپتوح شوری	سدیم	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	کلر	بی کربنات
۱۰۰	کربن فعال	۱	۰/۳۵۰h	۰/۰۲۶h	۰/۰۱۸h	۰/۰۶۹d	۰/۶۰g	۱/۲۸h
		۱۰	۱۶/۹۸f	۰/۰۷۷f	۱/۸۰f	۴/۳۷c	۱۶/۴۷e	۷/۹۸g
		۲۰	۷۱/۰۸b	۰/۱۶۳b	۷/۴۲b	۸/۰۸b	۷۷/۲۵b	۱۶/۴۵d
۱۰۰	نانوکربن فعال	۱	۰/۳۳۹h	۰/۰۳۲g	۰/۰۱۵h	۰/۰۹۵d	۰/۵۹g	۱/۸۱h
		۱۰	۲۱/۷۸e	۰/۱۴۲d	۲/۲۵e	۷/۹۹b	۱۳/۶۸f	۱۱/۵۲e
		۲۰	۸۱/۷۲a	۰/۱۹۳a	۷/۷۵a	۱۰/۶۰a	۶۹/۵۶c	۴۱/۳۰a
۱۰۰	نانوسیلیکا	۱	۰/۴۰۰h	۰/۰۲۰i	۰/۰۳۹h	۰/۰۵۶d	۰/۵۳g	۱/۴۷h
		۱۰	۱۴/۳۶g	۰/۰۸۲f	۱/۵۳g	۴/۰۶c	۲۳/۶۸d	۸/۶۰g
		۲۰	۲۵/۲۴d	۰/۱۵۰c	۳/۴۴c	۸/۰۸b	۸۱/۱۱a	۱۷/۲۵c
۱۰۰	نانوسیلیکای اصلاح شده	۱	۰/۶۳۰h	۰/۰۱۹i	۰/۰۴۲h	۰/۰۷۲d	۰/۸۲g	۱/۸۶h
		۱۰	۱۸/۲۵f	۰/۰۹۸e	۱/۸۴f	۴/۵۵c	۲۲/۹۱d	۹/۷۵f
		۲۰	۲۹/۱۵c	۰/۱۶۶b	۳/۰۱d	۷/۷۹b	۷۶/۸۵b	۱۸/۷۳b

در هر ستون بر اساس آزمون دانکن تیمارهای با حروف مشترک اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

#### جذب یون‌های شوری در غلظت فلز سنگین ppm ۲۰۰

جدول (۶) نتایج جذب یون‌های شوری در غلظت ppm ۲۰۰ ارائه کرده است. بر اساس نتایج، بیشترین میزان جذب یون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم توسط جاذب نانوکربن فعال در شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر صورت گرفت. در مورد کمترین میزان جذب یون‌های ذکر شده به جز یون پتاسیم که کمترین میزان جذب خود را در حضور جاذب‌های نانوسیلیکا و نانوسیلیکای اصلاح شده در شوری یک دسی زیمنس بر متر به مقدار یکسان داشته است، مابقی یون‌ها هم کمترین جذبشان در شوری یک دسی زیمنس بر متر بوده که عملکرد هر چهار جاذب در جذب آنها مشابه و فاقد اختلاف معنادار

آماری بوده است. یون کلر توسط جاذب کربن فعال در شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر بیشترین جذب را به مقدار ۶۶/۱۴ میلی‌گرم بر گرم داشته است. کمترین جذب یون کلر هم مشابه سایر یون‌ها در شوری یک دسی زیمنس بر متر بوده که اختلاف معناداری میان مقدار جذب توسط جاذب‌ها مشاهده نشد. بیشترین مقدار جذب بی‌کربنات توسط جاذب نانوکربن فعال در شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر به میزان ۳۶/۰۸ میلی‌گرم بر گرم صورت گرفته است. کمترین مقدار جذب بی‌کربنات هم در شوری یک دسی زیمنس بر متر بوده که عملکرد مشابه جاذب‌ها در این سطح مشاهده شد.

جدول ۶- نتایج جذب یون‌های شوری در غلظت ppm ۲۰۰ فلزات سنگین سرب و روی

سپتوح فلز سنگین	جاذب	سپتوح شوری	سدیم	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	کلر	بی کربنات
۲۰۰	کربن فعال	۱	۰/۲۵h	۰/۰۲۱i	۰/۰۰۷f	۰/۰۴۶d	۰/۵۰f	۱/۱۱h
		۱۰	۱۰/۵۰f	۰/۰۶۳f	۱/۵۳d	۳/۲۸c	۱۴/۱۰d	۶/۳۳g
		۲۰	۶۰/۳۴b	۰/۱۳b	۵/۸۲b	۵/۸۴b	۶۶/۱۴a	۱۳/۵۴c
۲۰۰	نانوکربن فعال	۱	۰/۳۱h	۰/۰۲۶h	۰/۰۰۵f	۰/۰۶۵d	۰/۵۱f	۱/۵h
		۱۰	۱۵/۸۲e	۰/۱۱c	۱/۷۰d	۶/۸۱b	۱۰/۲۱e	۱۰/۱۸d
		۲۰	۶۳/۶۹a	۰/۱۴a	۶/۵۲a	۷/۹۹a	۴۶/۳۳c	۳۶/۰۸a
۲۰۰	نانوسیلیکا	۱	۰/۳۰h	۰/۰۱۳z	۰/۰۱f	۰/۰۲۷d	۰/۳۳f	۱/۰۲h
		۱۰	۸/۹۵g	۰/۰۵۸g	۱/۰۵e	۳/۱۶c	۱۵/۷۴d	۶/۹۸f
		۲۰	۱۹/۹۰d	۰/۱۰۳d	۲/۴۳c	۵/۹۸b	۵۶/۸۳b	۱۳/۸۵c
۲۰۰	نانوسیلیکای اصلاح شده	۱	۰/۳۱h	۰/۰۱۳z	۰/۰۱۹f	۰/۰۴۶d	۰/۴۸f	۱/۲۷h
		۱۰	۱۴/۴۶e	۰/۰۷۳e	۱/۶۴d	۳/۳۷c	۱۵/۸۷d	۷/۶۸e
		۲۰	۲۴/۱۲c	۰/۱۳b	۲/۲۴c	۵/۸۸b	۵۸/۴۶b	۱۵/۳۳b

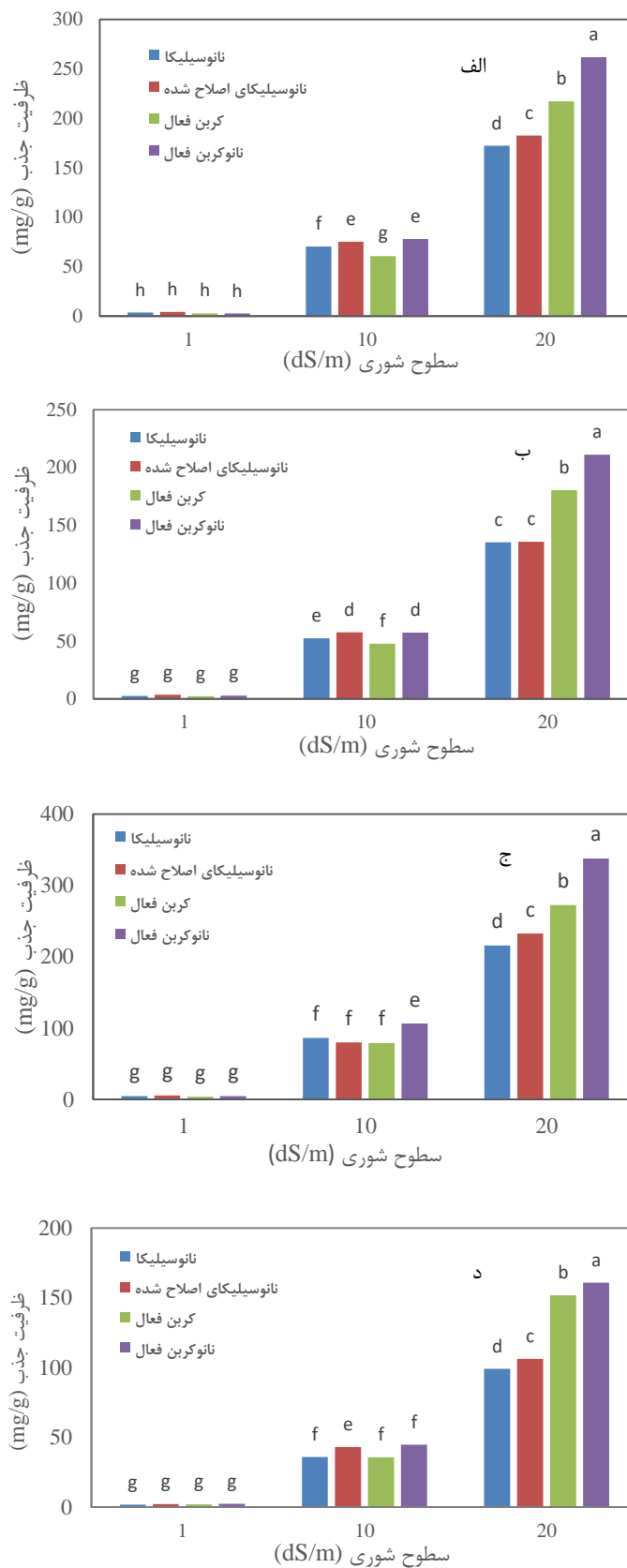
در هر ستون بر اساس آزمون دانکن تیمارهای با حروف مشترک اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

جدول (۷) درصد شوری زدایی جاذب‌ها در سطوح مختلف شوری و فلز سنگین را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج با افزایش شوری درصد شوری زدائی افزایش و بیشترین میزان آن در شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر توسط جاذب نانوکربن فعال (۲۸/۳ درصد) و کمترین درصد آن (۹/۴ درصد) در شرایط عدم حضور فلزات سنگین توسط جاذب کربن فعال در شوری یک دسی زیمنس بر متر مشاهده شد. با افزایش غلظت فلزات سنگین سرب و روی در محلول جذب رقابتی اتفاق افتاد و درصد شوری زدائی کاهش یافت، بطوریکه برای جاذب نانوکربن فعال با افزایش غلظت فلز سنگین سرب و روی در محلول از ۵۰ به ۲۰۰ ppm، درصد شوری زدائی به ترتیب ۲۴/۳، ۱۷/۱، ۵/۱ درصد کاهش یافت. در شرایط حضور فلز سنگین در محلول، بیشترین درصد شوری زدائی (۲۴/۳ درصد) را جاذب نانوکربن فعال در غلظت ۵۰ ppm و کمترین درصد شوری زدائی (۳/۸ درصد) را جاذب نانوسیلیکای اصلاح شده با ویتامین سی در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر با غلظت ۲۰۰ ppm فلزات سنگین سرب و روی کسب کردند. همچنین شکل (۴) ظرفیت کل جذب یون‌های عامل شوری در شرایط عدم حضور فلز سنگین و غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ppm برای هر چهار جاذب را ارائه می‌دهد. در تمامی جاذب‌ها با افزایش شوری ظرفیت جذب جاذب‌ها نیز روند صعودی داشته است. در جذب یون‌های عامل شوری از آب در سه غلظت شوری متفاوت جاذب نانو

کربن فعال با ظرفیت کل جذب ۳۳۷/۷۹ میلی‌گرم بر گرم در ۲۰ دسی زیمنس بر متر بدون حضور فلز سنگین بهترین عملکرد را داشته و پس از آن کربن فعال، نانوسیلیکای اصلاح شده و نانوسیلیکا به ترتیب بیشترین جذب را در همین شوری دارا بودند و کمترین میزان جذب در یک دسی زیمنس بر متر اتفاق افتاد هر چند از لحاظ آماری اختلاف معناداری میان مقدار جذب جاذب‌ها مشاهده نشد. تفاوت در شرایط آزمایش، مانند pH، دما، زمان تماس و غلظت اولیه یون‌ها می‌توانند بر روی عملکرد جاذب‌ها اثر بگذارند و در هر آزمایش متفاوت باشند. دلیل دیگر نتایج بدست آمده در این بخش، ویژگی‌های سطحی جاذب‌ها است که ممکن است در برخی تیمارها نانوسیلیکا اصلاح شده دارای گروه‌های عاملی فعال‌تری بوده یا ساختار متخلخل بهتری داشته باشد که جذب شوری را حتی بیشتر از نانوکربن فعال، افزایش داده است. همچنین اثر رقابت یون‌ها و فلزات سنگین دلیل بسیار تاثیرگذار است. بطوری که اگر در شرایط آزمایش فلزات سنگین حضور داشته باشند یا بار الکتریکی سطح جاذب‌ها تغییر کرده باشد، ممکن است جذب شوری جاذب‌ها تغییر کند و عملکرد آن‌ها متفاوت دیده شود. همچنین اشباع یا خستگی جاذب می‌تواند دلیل دیگری در این خصوص باشد. برای مثال نانوکربن فعال در برخی شرایط سریع‌تر به اشباع می‌رسد و عملکرد آن کاهش می‌یابد، در حالی که نانوسیلیکا ظرفیت پایدارتری دارد (Lee et al., 2022; Liu et al., 2020).

جدول ۷- درصد شوری زدایی جاذب‌ها در سطوح مختلف شوری و فلز سنگین

سطوح شوری (dS/m)	جاذب‌ها	بدون حضور فلز سنگین	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
			ppm	ppm	ppm
۱	کربن فعال	۹/۴	۸/۶	۶/۴	۵/۲
	نانوکربن فعال	۱۲/۲	۱۰/۵	۹/۸	۵/۷
	نانوسیلیکا	۱۷/۳	۱۴/۵	۱۰/۴	۷/۳
	نانوسیلیکا با ویتامین سی	۱۲/۶	۱۰/۳	۸/۸	۶/۵
۱۰	کربن فعال	۱۰/۹	۱۰	۶/۵۸	۴/۷
	نانوکربن فعال	۲۰/۴	۱۸/۳۰	۱۷/۲	۹/۶
	نانوسیلیکا	۲۲/۱	۱۳/۴	۶/۲	۵/۴
	نانوسیلیکا با ویتامین سی	۱۳/۱	۱۰	۷/۲	۳/۸۳
۲۰	کربن فعال	۲۲/۵	۱۵/۱	۷/۱	۵/۱
	نانوکربن فعال	۲۸/۳	۲۴/۳	۱۷/۱	۱۳/۸
	نانوسیلیکا	۲۴/۱	۲۳/۱	۱۳	۱۰/۱
	نانوسیلیکا با ویتامین سی	۱۷/۸	۱۵/۶	۱۵/۱	۱۱/۱



شکل ۴- ظرفیت کل جذب یون‌های عامل شوری در (الف) غلظت صفر؛ (ب) غلظت ۵۰ ppm؛ (ج) غلظت ۱۰۰ ppm و (د) غلظت ۲۰۰ ppm

## نتیجه گیری

حذف شوری کاهش یافت؛ زیرا یون‌های فلزات سنگین با بارهای چندگانه و اندازه یونی متفاوت، توانایی بیشتری در اشغال سایت‌های جذب دارند و بر تعادل جذب یون‌های شوری تأثیر مستقیم می‌گذارند. این پدیده با نتایج پژوهش‌های محمود و همکاران (۲۰۱۹) و حسن‌آبادی و همکاران (۱۴۰۳) نیز همخوانی دارد (Mahmoud et al., 2019). البته، با وجود محدودیت ظرفیت جذب و پایداری جذب‌ها، تحقیقات بیشتری برای بهبود عملکرد، روش‌های اصلاح و بررسی تأثیر پارامترهایی مانند pH و زمان تماس مورد نیاز است. ظرفیت جذب نمک توسط جذب‌ها محدود است و مطالعاتی درباره پایداری و امکان استفاده مجدد آن‌ها انجام شده است. با این حال، جذب یک روش مقرون به صرفه برای حذف نمک و عناصر سمی از آب است و تحقیقات بیشتری در این زمینه لازم است. جذب‌های ارزان قیمت مشتق شده از ضایعات کشاورزی اگرچه موثرند، اما محدودیت‌هایی دارند و به همین دلیل تحقیقات برای تعیین بهترین جذب، مکانیسم عملکرد و بهبود ظرفیت جذب همچنان ادامه دارد. با پیشرفت علم، اصلاح جذب‌ها می‌تواند ظرفیت آن‌ها را افزایش دهد، ولی استفاده پایدار و دائمی جذب‌ها هنوز چالش برانگیز است. بنابراین، توسعه روش‌ها و جذب‌های نوین برای نمک‌زدایی آب ضروری است و پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، تأثیر پارامترهایی مانند pH و زمان تماس نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

## تقدیر و تشکر

این مطالعه در قالب بخشی از طرح تحقیقاتی مصوب با کد (۴۰۲۰۱۸۲) و با حمایت بنیاد علم ایران انجام شد. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از بنیاد علم ایران اعلام نمایند.

## منابع

- حسن آبادی، م.، سلطانی گردفرامری، س.، قاسمی، م. و عزیزیان، ا. ۱۴۰۳. بررسی کارایی زغال زیستی برای شوری‌زدایی در حضور یون مس. محیط زیست و مهندسی آب. ۱۰(۴): ۴۳۸-۴۵۱.
- حویزروی، س.، تیشه زن، پ. و هوشمند، ع. ۱۴۰۳. بررسی کاهش شوری زه‌آب کشاورزی با استفاده از جذب کوکویت. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۸(۳): ۴۲۱-۴۳۲.
- رستمیان، ر.، حیدریور، م.، موسوی، ف. و افیونی، م. ۱۳۹۴. کاربرد بیوپار تولید شده از شالیزار در نمک‌زدایی آب آبیاری. مجله علوم آب و خاک (علوم و فناوری کشاورزی و منابع طبیعی). ۷۱: ۲۱-۲۹.
- شکریان، ف.، سلیمانی، ک.، نعمت زاده، ق. و بی پروا، پ. ۱۳۹۶.

در بررسی جداگانه هر یک از جذب‌ها، ظرفیت کل جذب یون‌های عامل شوری با افزایش غلظت این یون‌ها در محلول به طور معنی‌داری افزایش یافت. این روند به دلیل افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلراید که مهم‌ترین اجزای عامل شوری در این مطالعه هستند، رخ می‌دهد؛ افزایش یون‌های هدف در محلول باعث افزایش راندمان انتقال جرم و دسترسی بهتر به سایت‌های فعال جذب می‌شود. فرایند جذب عمدتاً از طریق مکانیزم‌های تبادل یونی، فیلتر شدن سطحی و جذب سطحی روی سطح جذب‌ها صورت می‌گیرد که هر یک نقش مهمی در جذب یون‌های محلول ایفا می‌کنند. این روند افزایشی ظرفیت جذب، در هر چهار جذب برای شرایط هم در عدم حضور فلزات سنگین و هم در حضور فلزات سنگین با غلظت‌های متفاوت به طور ثابتی مشاهده شد. این نتایج منطبق بر یافته‌های حسن‌آبادی و همکاران (۱۴۰۳) است که جذب فلز سنگین مس را با استفاده از زغال زیستی تولیدشده از کنجاله کنجد در آب‌های شور بررسی کرده‌اند. از طرفی، با افزایش غلظت فلزات سنگین، ظرفیت کل جذب یون‌های عامل شوری کاهش قابل توجهی یافت؛ این پدیده ناشی از جذب رقابتی است که میان یون‌های سدیم و کلراید به عنوان یون‌های شوری با یون‌های چند ظرفیتی فلزات سنگین مانند سرب و روی ایجاد می‌شود. به عنوان مثال، جذب نانوکربن فعال در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و در غیاب فلزات سنگین ظرفیت جذب ۳۳۷.۷۹ میلی‌گرم بر گرم داشت، ولی در حضور ۲۰۰ ppm فلزات سنگین، ظرفیت جذب به ۱۶۰.۷۶ میلی‌گرم بر گرم کاهش یافت. این کاهش ظرفیت بیانگر رقابت مستقیم برای سایت‌های فعال جذب است، چرا که یون‌های چند ظرفیتی فلزات سنگین به علت بار الکتریکی بیشتر و قابلیت تشکیل کمپلکس‌های قوی‌تر، غالباً اولویت جذب بالاتری نسبت به یون‌های تک ظرفیتی مانند سدیم دارند. همچنین، مقایسه عملکرد جذب‌ها نشان داد که نانوکربن فعال از نظر حذف یون‌های شوری بهتر از کربن فعال عمل می‌کند که می‌تواند به دلیل افزایش سطح ویژه، وجود گروه‌های عاملی خاص سطحی و ساختار نانو در جذب نانوکربن باشد. همچنین، نانوسیلیکای اصلاح شده در حذف یون‌های شوری عملکرد بهتری نسبت به نانوسیلیکای معمولی دارد که به دلیل اصلاح شیمیایی سطح و افزایش تعداد سایت‌های فعال جذب است. روند افزایشی درصد حذف شوری با افزایش شوری محلول مشاهده شد؛ بیشترین حذف شوری (۲۸/۳ درصد) با نانوکربن فعال در ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین آن (۹/۴ درصد) با کربن فعال در یک دسی‌زیمنس بر متر در شرایط عدم حضور فلزات سنگین به دست آمد. با افزایش غلظت فلزات سنگین سرب و روی، فرایند جذب رقابتی شدت گرفت و درصد

- Liu, X., Xu, X., Dong, X. and Park, J. 2020. Competitive adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions onto activated carbon and agricultural waste materials. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(1):749-761.
- Mahmoud, M. E., Hassan, S. S., Kamel, A. H. and Elserw, M. I. 2019. Efficient and fast microwave sorption of heavy metals on nanosilica sorbents-microwave immobilized-vitamin C and vitamin L1. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 7(1): 102850.
- Manyangadze, M., Chikuruwo, N. H. M., Chakra, C. S., Narsaiah, T. B., Radhakumari, M. and Danha, G. 2020. Enhancing adsorption capacity of nano-adsorbents via surface modification: A review. *South African Journal of Chemical Engineering*. 31(1): 25-32.
- Nouri-Shamsi, M., Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M. and Yarami, N. 2025. Investigating the Adsorption Capacity, Isotherm and Kinetics of Biochar Adsorbents Derived from Sesame Residues for the Removal of Salinity Ions from Saline Water. *Environment and Water Engineering*. In press.
- Rashidi, L., Vasheghani-Farahani, E., Rostami, K., Gangi, F. and Fallahpour, M. 2013. Mesoporous silica nanoparticles as a nanocarrier for delivery of vitamin C. *Iranian Journal of Biotechnology*. 11(4): 209-213.
- Rouquerol, J., Rouquerol, F., Llewellyn, P., Maurin, G. and Sing, K. 2013. Adsorption by powders and porous solids: principles, methodology and applications. Academic press. 269-298.
- Sarfraz, S., Ullah, H., Sikandar, S. and Raza, A. 2022. Use of nano-sized adsorbents for wastewater treatment: a review. *International Journal of Economic and Environmental Geology*. 13(1): 23-29.
- Tang, E., Cheng, G., Ma, X., Pang, X. and Zhao, Q. 2006. Surface modification of zinc oxide nanoparticle by PMAA and its dispersion in aqueous system. *Applied Surface Science*. 252(14): 5227-5232.
- Wei-bin, Z.H.A.O., Song, W.A.N.G., Ling-ling, L.I.U., Jiang, X.I.A.O., Shu-feng, W.A.N.G., Li, T.A.N.G. and Guang-cai, C.H.E.N. 2024. Effect of biochar amendment on saline-alkaline soil amelioration and plant growth: A literature review. *Chin. J. Soil Sci*. 55(2): 551-561.
- Yang, Y., Matsubara, S., Xiong, L., Hayakawa, T. and Nogami, M. 2007. Solvothermal synthesis of multiple shapes of silver nanoparticles and their SERS properties. *The Journal of Physical Chemistry C*. 111(26): 9095-9104.
- امکان‌سنجی کاهش شوری آب توسط جاذب‌های زیستی پوسته برنج و صدف. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*. ۳۷(۳): ۹۳-۱۰۶.
- شکریان، ف.، سلیمانی، ک.، نعمت‌زاده، ق. و بی‌پروا، پ. ۱۳۹۹. بررسی مقایسه‌ای جاذب‌های زیستی و معدنی در کاهش شوری آب. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*. ۲۲(۴): ۵۷-۶۶.
- صحرائی، م.، لیاقت، ع. و نازی‌قمشلو، ا. ۱۴۰۰. بررسی اثر استفاده از زئولیت و بنتونیت ایرانی در نمک‌زدایی. *مجله آب و فاضلاب*. ۳۲(۶): ۵۸-۶۶.
- فاتحی‌دهاقانی، م. ح.، ذبیحی، م. و شایگان، ج. ۱۳۹۸. جذب رقابتی سه یون فلزی کروم، سرب و جیوه در محلول‌های آبی بر روی کربن فعال مغناطیسی حاصل از سنگ هلو. *مجله علوم و مهندسی جداسازی*. ۱۱(۱): ۷۶-۸۸.
- قاسمی، م.، عابدی‌کوپایی، ج.، حیدرپور، م. و دیناری، م. ۱۳۹۶. تاثیر کربن فعال تولید شده از مخروط‌های درخت کاج در کاهش پارامترهای شوری آب آبیاری. *تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)*. ۴۸(۵): ۱۰۹۷-۱۱۰۷.
- مویدی، ا.، یارقلی، ب.، پذیرا، ا. و بابازاده، ج. ۱۴۰۱. نمک‌زدایی بیولوژیکی آب شور و دریا با استفاده از جلبک‌های دونالیاسالینا و کلرولولگاریس. *مدیریت آب در کشاورزی*. ۹(۱): ۴۵-۵۶.
- Andrzejewska, A., Krysztafkiewicz, A. and Jesionowski, T. 2007. Treatment of textile dye wastewater using modified silica. *Dyes and Pigments*. 75(1): 116-124.
- Bodzek, M., Konieczny, K. and Kwiecińska-Mydlak, A. 2020. The application of nanomaterial adsorbents for the removal of impurities from water and wastewaters: a review. *Desalination and Water Treatment*. 185:1-26.
- Demiral, H. and Güngör, C. 2016. Adsorption of copper (II) from aqueous solutions on activated carbon prepared from grape bagasse. *Journal of Cleaner Production*. 124: 103-113.
- El-Sayed, M. E. 2020. Nano-adsorbents for water and wastewater remediation. *The Science of the Total Environment*. 739: 139903.
- Lee, X., Yang, F., Xing, Y., Huang, Y., Xu, L., Liu, Z., Holtzman, R., Kan, I., Li, Y., Zhang, L. and Zhou, H. 2022. Use of biochar to manage soil salts and water: Effects and mechanisms. *Catena*, 211:106018.
- Liu, X., Ma, Z., Xing, J. and Liu, H. 2004. Preparation and characterization of amino-silane modified superparamagnetic silica nanospheres. *Journal of Magnetism and magnetic Materials*. 270(1-2): 1-6.

## Feasibility of Removing Salinity Ions from Saline Wastewater Containing Heavy Metals Lead and Zinc

M. Yazdani<sup>1</sup>, S. Soltani-Gerdefaramarzi<sup>\*2</sup>, M. Ghasemi<sup>3</sup>, F. Abyar<sup>4</sup>

Received: Mar.01, 2025

Accepted: May.06, 2025

### Abstract

Water scarcity in Iran, particularly in the arid and semi-arid regions of the country, has led to increased use of domestic and industrial wastewater, as well as unconventional water resources. Therefore, investigating the adsorption capacity and performance of conventional adsorbents, nano-adsorbents, and modified adsorbents in removing salinity ions, in the presence and absence of heavy metals, is a fundamental requirement for irrigation and saline water treatment studies. Given this necessity, an experiment was conducted, included adsorbent treatment at four levels (1- activated carbon, 2- activated nano-carbon, 3- nano-silica, 4- Vitamin C-modified nano-silica), salinity treatment at three levels (1, 10, and 20 dS/m), and heavy metal concentrations of lead and zinc at four different concentrations (0, 50, 100, and 200 mg/L) in three replicates, using a factorial experiment in a completely randomized design in a batch system. The adsorption of salinity-causing ions was investigated in the presence and absence of heavy metals lead and zinc. The results of this study showed that the total adsorption capacity of salinity-causing ions is affected by salinity concentration and the presence of heavy metals. The adsorption capacity significantly increases with increasing salinity intensity, but the presence of heavy metals leads to a decrease in adsorption capacity due to competitive adsorption between salinity ions and heavy metals. Comparison of the adsorbents' performance showed that the activated nano-carbon adsorbent is more efficient than activated carbon in removing salinity ions, and the modified nano-silica adsorbent performs better than ordinary nano-silica. It was also reported that the highest desalination percentage (28.3%) was achieved at a salinity of 20 dS/m using the activated nano-carbon adsorbent, and the lowest desalination rate (9.4%) was associated with activated carbon at a salinity of 1 dS/m and in the absence of heavy metals. These findings can be effective in improving the application of adsorbents for the treatment of saline water and wastewater containing heavy metals.

**Keywords:** Adsorption, Adsorbent remediation, Contaminated wastewater, Desalination, Nanoadsorbent

1- Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University, Ardakan, Iran

2- Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University, Ardakan, Iran

3- Regional Water Company of Yazd, Ministry of Energy, Yazd, Iran

4- Associate Professor of Physical Chemistry, Chemical Engineering Department, Ardakan University, Ardakan, Iran

(\*-Corresponding Author Email: ssoltani@ardakan.ac.ir)