

## حذف جامدات محلول آب با استفاده از کربن و کربن فعال نی و پوشال نیشکر

معصومه فراستی<sup>۱</sup>، هادی معاضد<sup>۲</sup>، سعید برومند نسب<sup>۳</sup> و جهانگیر عابدی کوپایی<sup>۴</sup>، نعمت جعفرزاده<sup>۵</sup>

- ۱- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه
- ۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۳- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۴- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ۵- دانشیار دانشکده بهداشت، مرکز فناوری های زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۲/۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۲۰

### چکیده

در این مطالعه از کربن و کربن فعال تهیه شده از گیاه نی و پوشال نیشکر به عنوان جاذب به منظور حذف جامدات محلول از آب استفاده گردید. برای این منظور، اثر هر یک از متغیرهای فرایند نظیر نوع ماده جاذب، جرم جاذب و غلظت نهایی جامدات محلول بر میزان جذب، خواص جذبی و راندمان حذف جامدات محلول بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که میزان بهینه جاذب کربن های نی، پوشال نیشکر و کربن فعال پوشال برابر ۱۲۰۰ میلی گرم در لیتر است. در شرایط بهینه که غلظت اولیه جامدات محلول ۳۲۰۶/۴ میلی گرم بر لیتر و غلظت جاذب نیز مطابق شرایط بهینه تنظیم شد، بیشترین میزان حذف جامدات محلول، مربوط به کربن فعال پوشال نیشکر به میزان ۷۵ درصد بود. پس از آن کربن پوشال و کربن نی به ترتیب حذفی معادل با ۶۳ و ۵۷ درصد را از خود نشان دادند. از این رو، با توجه به اینکه مواد اولیه تهیه کربن فعال پوشال ارزان قیمت بوده و این ماده راندمان حذف بالایی دارد، می توان نتیجه گرفت که استفاده از کربن فعال پوشال نیشکر می تواند جایگزین مناسبی برای کاهش جامدات محلول به جای کربن فعال تجاری باشد.

**کلید واژه ها:** کربن فعال، فعال سازی فیزیکی، گیاه نی، پوشال نیشکر، جذب.

### مقدمه

در گذشته به علت کم بودن جمعیت، بحران آب به اندازه امروز محسوس نبود و اکنون با افزایش روز افزون جمعیت این بحران بیش از گذشته بروز کرده است. به تدریج که میزان تقاضا به آب افزایش می یابد، نیاز به تأمین و توسعه آب و در نتیجه توسعه تکنولوژی های نوین جهت حفظ و گسترش منابع آب فزونی می گیرد. از طرفی کمبود آب آبیاری با کیفیت مناسب یکی از مهمترین مشکلات در مناطق خشک و نیمه خشک که وسعتی حدود یک سوم جهان را در بر گرفته است، به شمار می آید. بنابراین در مناطقی که آب شیرین کمیاب است، نیاز فزاینده ای برای استفاده از آب با کیفیت پایین وجود دارد.

در این رابطه، منابع آب نامتعارف (از قبیل زه آب های کشاورزی، آب های شور، لب شور و پساب های شهری) می تواند از منابع با ارزش محسوب شود (۲). آب های شور دارای ناخالصی های زیادی از جمله جامدات محلول می باشد. یکی از بهترین روش های حذف ناخالصی ها، حذف آنها به شیوه جذب سطحی می باشد، حتی در بسیاری مواقع تنها شیوه مؤثر نیز می باشد. این نوع تصفیه فیزیکی به منظور جداسازی مواد با غلظت های بسیار کم که به وسیله سایر روش های فیزیکی (پیچیدگی و بالا بودن هزینه سایر روش ها) انجام پذیر نیست، به کار می رود. این روش در واقع جذب فیزیکی

در گذشته به علت کم بودن جمعیت، بحران آب به اندازه امروز محسوس نبود و اکنون با افزایش روز افزون جمعیت این بحران بیش از گذشته بروز کرده است. به تدریج که میزان تقاضا به آب افزایش می یابد، نیاز به تأمین و توسعه آب و در نتیجه توسعه تکنولوژی های نوین جهت حفظ و گسترش منابع آب فزونی می گیرد. از طرفی کمبود آب آبیاری با کیفیت مناسب یکی از مهمترین مشکلات در مناطق خشک و نیمه خشک که وسعتی حدود یک سوم جهان را در بر گرفته است، به شمار می آید. بنابراین در مناطقی که آب شیرین کمیاب است، نیاز فزاینده ای برای استفاده از آب با کیفیت پایین وجود دارد.

در این رابطه، منابع آب نامتعارف (از قبیل زه آب های کشاورزی، آب های شور، لب شور و پساب های شهری) می تواند از منابع با ارزش محسوب شود (۲). آب های شور دارای ناخالصی های زیادی از جمله جامدات محلول می باشد. یکی از بهترین روش های حذف ناخالصی ها، حذف آنها به شیوه جذب سطحی می باشد، حتی در بسیاری مواقع تنها شیوه مؤثر نیز می باشد. این نوع تصفیه فیزیکی به منظور جداسازی مواد با غلظت های بسیار کم که به وسیله سایر روش های فیزیکی (پیچیدگی و بالا بودن هزینه سایر روش ها) انجام پذیر نیست، به کار می رود. این روش در واقع جذب فیزیکی

در گذشته به علت کم بودن جمعیت، بحران آب به اندازه امروز محسوس نبود و اکنون با افزایش روز افزون جمعیت این بحران بیش از گذشته بروز کرده است. به تدریج که میزان تقاضا به آب افزایش می یابد، نیاز به تأمین و توسعه آب و در نتیجه توسعه تکنولوژی های نوین جهت حفظ و گسترش منابع آب فزونی می گیرد. از طرفی کمبود آب آبیاری با کیفیت مناسب یکی از مهمترین مشکلات در مناطق خشک و نیمه خشک که وسعتی حدود یک سوم جهان را در بر گرفته است، به شمار می آید. بنابراین در مناطقی که آب شیرین کمیاب است، نیاز فزاینده ای برای استفاده از آب با کیفیت پایین وجود دارد.

در این رابطه، منابع آب نامتعارف (از قبیل زه آب های کشاورزی، آب های شور، لب شور و پساب های شهری) می تواند از منابع با ارزش محسوب شود (۲). آب های شور دارای ناخالصی های زیادی از جمله جامدات محلول می باشد. یکی از بهترین روش های حذف ناخالصی ها، حذف آنها به شیوه جذب سطحی می باشد، حتی در بسیاری مواقع تنها شیوه مؤثر نیز می باشد. این نوع تصفیه فیزیکی به منظور جداسازی مواد با غلظت های بسیار کم که به وسیله سایر روش های فیزیکی (پیچیدگی و بالا بودن هزینه سایر روش ها) انجام پذیر نیست، به کار می رود. این روش در واقع جذب فیزیکی

در گذشته به علت کم بودن جمعیت، بحران آب به اندازه امروز محسوس نبود و اکنون با افزایش روز افزون جمعیت این بحران بیش از گذشته بروز کرده است. به تدریج که میزان تقاضا به آب افزایش می یابد، نیاز به تأمین و توسعه آب و در نتیجه توسعه تکنولوژی های نوین جهت حفظ و گسترش منابع آب فزونی می گیرد. از طرفی کمبود آب آبیاری با کیفیت مناسب یکی از مهمترین مشکلات در مناطق خشک و نیمه خشک که وسعتی حدود یک سوم جهان را در بر گرفته است، به شمار می آید. بنابراین در مناطقی که آب شیرین کمیاب است، نیاز فزاینده ای برای استفاده از آب با کیفیت پایین وجود دارد.

در این رابطه، منابع آب نامتعارف (از قبیل زه آب های کشاورزی، آب های شور، لب شور و پساب های شهری) می تواند از منابع با ارزش محسوب شود (۲). آب های شور دارای ناخالصی های زیادی از جمله جامدات محلول می باشد. یکی از بهترین روش های حذف ناخالصی ها، حذف آنها به شیوه جذب سطحی می باشد، حتی در بسیاری مواقع تنها شیوه مؤثر نیز می باشد. این نوع تصفیه فیزیکی به منظور جداسازی مواد با غلظت های بسیار کم که به وسیله سایر روش های فیزیکی (پیچیدگی و بالا بودن هزینه سایر روش ها) انجام پذیر نیست، به کار می رود. این روش در واقع جذب فیزیکی

سیلیکاژل

سیلیکاژل

۲- جاذب‌های معدنی مانند آلومینای فعال یا آلومین و برخی اکسیدهای معدنی

۳- جاذب‌های آلی مانند انواع رزین‌ها که غالباً مولکول‌های بزرگی هستند.

جاذب‌های مختلف با توجه به خصوصیات فیزیکی شان می‌توانند آلاینده‌ها را بر سطح خود جذب کنند. مهمترین ویژگی فیزیکی آنها، سطح مخصوص مربوط به ساختمان متخلخل آنها است. یکی از جاذب‌های مورد مطالعه، کربن فعال می‌باشد. جذب به وسیله کربن فعال یک نوع جذب سطحی فیزیکی است که ناشی از ساختمان متخلخل و سطح زیاد کربن فعال در واحد وزنی کربن می‌باشد. این روش یکی از عملی‌ترین روش‌های قابل دسترس برای حذف مواد آلاینده و به ویژه ترکیبات آلی است که تاکنون شناخته شده‌اند. از خصوصیات مهم دیگر کربن فعال، توزیع اندازه آن است که بر ظرفیت جذب اثر دارد. کربن فعال به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد (مساحت سطح داخلی بالا، تخلخل، قابلیت جذب گازها و مایعات شیمیایی) و همچنین قیمت پائین در مقایسه با جاذب‌های غیرآلی مانند زئولیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند (۷ و ۱۱). به دلیل ویژگی‌های بارز جذبی کربن فعال، امروزه برای اصلاح و افزایش خصوصیات جذبی، مواد جاذب از جمله ضایعات ارزان قیمت کشاورزی را تبدیل به کربن فعال نموده و به این ترتیب سطح ویژه را افزایش می‌دهند و این تولیدات ارزان قیمت را به موادی با سطح ویژه بالا و قابل مقایسه با رزین‌های تجاری کلات کننده (محصول کننده) از نظر کارایی تبدیل می‌نمایند. استفاده از ضایعات کشاورزی به عنوان جاذب از دو جنبه حائز اهمیت است: اول اینکه محصولات کشاورزی و گونه های گیاهی منابع تجدید پذیری هستند و دوم اینکه در مقایسه با مواد دیگر بسیار ارزان قیمت هستند (۴). از جمله این مواد می‌توان به انواع خاکستر، خاک اره، پوست درختان کاج و گردو، پوسته برنج، کاه و پوشال گندم، پوسته سخت نارگیل، گردو، فندق و بلوط، هسته های هلو، زردآلو، خرما، دانه های انگور و ضایعات برگ چای اشاره نمود. اصلاح پذیری آسان، امکان حذف آلودگی، قیمت ارزان و بازیابی مجدد و امکان تولید کمپوست از آنها از ویژگی‌های مثبت ضایعات ذکر شده می‌باشد (۲۰).

تولید کربن آلی شامل پیرولیز مواد خام اولیه و سپس فعال سازی مواد حاصله می‌باشد. در حین کربونیزاسیون اجزای غیرکربنی از قبیل هیدروژن و اکسیژن به صورت گاز از مواد اولیه خارج شده و کربن‌های آزاد نیز به صورت گروهی، بلورهای گرافیت تشکیل می‌دهند. این فرآیند معمولاً در درجه حرارتی زیر ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد در یک محیط حاوی جریان ورودی از اتمسفر صورت می‌گیرد. محصولات مرحله کربونیزاسیون دارای ظرفیت جذب خیلی کمی می‌باشند و احتمالاً این مسئله به دلیل کربونیزاسیون در دمای پائین و وجود ماده قیری باقیمانده در منافذ بین بلورها و روی سطح آنها می‌باشد. بعضی از محصولات کربونیزه شده را می‌توان با خارج ساختن مواد قیری به وسیله حرارت دادن در بخار یا تحت گاز و با عمل خالص سازی به کمک حلال و یا واکنش های شیمیایی فعال کرد. عمل فعال سازی باعث بزرگ شدن قطر حفره‌هایی می‌شود که در حین فرایند

کربونیزاسیون ایجاد شده اند و همچنین باعث ایجاد یک سری حفره ریز خواهد شد و بدین گونه می‌توان به یک ساختار حفره ای با مساحت سطح داخلی زیاد دست پیدا کرد.

تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه حذف آلاینده‌ها با استفاده از کربن فعال صورت گرفته است. در مطالعه ای پوسته فندق برای جذب کروم از محلول شبیه سازی شده با غلظت اولیه ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به کار گرفته شد. حذف Cr(VI) در pH=۱، با ظرفیت جذب ۱۷۰ میلی‌گرم بر گرم صورت گرفته است. نتایج نشان داد که ظرفیت جذب جاذب‌ها بستگی به غلظت اولیه فلزات دارد (۱۶). داس سنتوس و همکاران<sup>۱</sup> در مطالعه‌ای کربن به دست آمده از پوسته برنج، زغال کک (کود) و کربن فعال تجاری در حذف Cr، Fe، Mn، Ni، Cd، Zn و Pb از محلول آبی را مورد ارزیابی قرار داد. کربن به دست آمده از پوسته برنج و زغال کک ظرفیت قابل ملاحظه‌ای را در جذب فلزات نشان دادند. نتایج به دست آمده بین جاذب‌های آزمایش شده و کربن فعال تجاری تقریباً مشابه بودند. چان و همکاران<sup>۲</sup> جذب رنگ‌های اسیدی را با استفاده از کربن فعال تهیه شده از چوب بامبو، مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق دو رنگ با سایز مولکولی متفاوت انتخاب شد. نتایج نشان داد که این کربن به طور معنی دار رنگ‌های اسیدی را جذب می‌کند و مولکول‌های کوچکتر سریعتر جذب می‌شوند. همچنین جذب یون‌های رنگی توسط جاذب مورد استفاده از مدل‌های لانگمیر و فروندلیچ به خوبی تبعیت نموده است (۸). مورا و همکاران<sup>۳</sup> کارایی زغال چوب را برای حذف مواد آلی، مواد مغذی و فلزات سنگین از زهکش های کشاورزی مورد بررسی قرار دادند. غلظت کل کربن آلی (TOC)، نیتروژن کل (TN)، فسفر کل (TP) و فلزات سنگین (Cr، Fe، Zn، Pb) در نمونه های آب قبل و بعد از تصفیه آزمایش گردید. میزان کاهش TOC و TN از ۲۰ تا ۴۰ درصد بود، میزان کاهش TP از ۲۰ تا ۹۰ درصد و میزان کاهش فلزات (Cr، Fe و Pb) از ۲۳ تا ۶۲ درصد بود. این نتایج نشان داد که زغال چوب می‌تواند در تصفیه زه آب‌های مزرعه مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به اینکه کربن فعال ماده‌ای گران به خصوص در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران می‌باشد و با توجه به تحقیقات گسترده ای که در سال‌های اخیر برای به دست آوردن مواد جاذب جایگزین ارزان و موجود در محیط، انجام گرفته تا استفاده از کربن فعال به حداقل برسد (۱۲، ۱۵، ۱۷ و ۲۱)، لذا در این تحقیق سعی گردید که از کربن تهیه شده از گیاه نی و پوشال نیشکر در کنار کربن فعال، جهت حذف جامدات محلول (TDS) آب بهره گرفته شود تا در صورت مناسب بودن میزان جذب، بتوان جایگزین مناسبی برای کربن فعال معرفی نمود.

1. Dos Santos et al.  
2. chan  
3. Miura et al.

### مواد و روش‌ها

برای رسیدن به اهداف این تحقیق، آزمایش‌هایی در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گردید. برای آماده‌سازی ماده اولیه، گیاه نی و پوشال نیشکر تهیه شد و پس از شستشو در هوای آزاد خشک گردید. برای تهیه کربن، ابتدا باید دمای بهینه تولید کربن آلی تعیین گردد. به منظور تعیین دمای مناسب، نمونه‌هایی از نی خشک شده را وزن نموده، سپس در کوره حرارتی (در مقیاس آزمایشگاهی) در دماهای مختلف ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت گذاشته شد. پس از مدت زمان طی شده و سرد شدن، خاکسترهای به دست آمده وزن گردید. اختلاف وزن اولیه و نهایی درصد کربن آلی موجود در مواد مورد نظر را به دست داد. پس از تعیین دمای بهینه کربن آلی (دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد)، به منظور تهیه مقادیر بیشتر کربن آلی در دمای ۴۰۰ درجه، گیاهان ذکر شده را در کوره در مقیاس پایلوت سوزانده و مقدار مورد نیاز تهیه گردید. کوره مورد استفاده متشکل از یک محفظه فولادی به طول و عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر می‌باشد. در این طرح، سوخت کوره از طریق لوله کشی گاز تأمین گردیده و به منظور تأمین درجه حرارت یکسان در تمام نقاط کوره، فشار گاز توسط چهار عدد مشعل گاز که به فاصله مساوی در کف کوره تعبیه شده است، به صورت یکسان در تمام نقاط کف کوره توزیع می‌گردد. پوسته‌ها به صورت دستی از طریق دریچه‌ای که به همین منظور در قسمت فوقانی کوره تعبیه شده است وارد کوره گردید و خاکستر حاصل پس از ۲۰ دقیقه سوختن در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و پس از سرد شدن، از طریق دریچه‌ای که در کف کوره قرار داشت، خارج گردید. درجه حرارت کوره توسط ترموکوپل و از طریق شکاف کوچکی که در دو طرف کوره ایجاد شده است، به طور مستمر تحت کنترل قرار گرفته و درجه حرارت کوره از طریق باز و بسته کردن دریچه‌های هوا و همچنین شیر گاز کنترل و تنظیم گردید (۱). شکل (۱) کوره مورد استفاده جهت سوزاندن بقایای گیاهی و تولید خاکستر را نشان می‌دهد.

پس از تهیه کربن آلی و تعیین جذب بهینه از بین دو کربن نی و پوشال نیشکر، پوشال نیشکر دارای جذب بیشتری بود، بنابراین کربن فعال پوشال نیشکر تهیه گردید. به منظور تعیین دما و زمان بهینه تولید کربن فعال در مقیاس آزمایشگاهی، مقداری از نمونه‌های جذب بهینه را در کوره حرارتی افقی تحت اتمسفر خنثی (به دلیل دسترسی به گاز  $N_2$  و عملکرد مشابه با  $H_2O$  و  $CO_2$  از این گاز استفاده گردید) قرار داده و در مدت زمان‌های نیم ساعت و یک ساعت و دماهای ۷۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰ و ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده شد. در این تحقیق زمان نیم ساعت و دمای ۷۰۰ درجه به عنوان بهترین زمان و دمای کربن فعال به دست آمد. سپس نمونه‌ها در مقیاس پایلوت با استفاده از کوره و گاز نیتروژن سوزانده شد. بدین صورت که پس از تهیه کربن در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، دمای کوره را افزایش داده تا اینکه در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد گاز نیتروژن را به کوره وصل نموده و به مدت نیم ساعت دمای کوره روی ۷۰۰ درجه ثابت نگه داشته شد. پس از مدت زمان طی شده، دمای کوره کم کم کاهش یافته، اما همواره گاز نیتروژن وارد کوره شده تا اینکه دمای کوره با دمای محیط یکسان گردد آنگاه نیتروژن ورودی قطع گردید. سپس کربن فعال تهیه شده از کوره خارج گردید. پس از تهیه نمونه‌های زغال فعال، با توجه به اهداف در نظر گرفته، آزمایش‌های متعددی به منظور بررسی اثر غلظت نهایی جامدات محلول، یافتن غلظت بهینه جذب و تعیین ظرفیت جذب انجام گردید. به منظور تعیین میزان جرم بهینه جذب، آزمایش‌ها بر روی محلول با TDS اولیه ۳۲۰/۶۴ میلی‌گرم در لیتر (با توجه به میزان جامدات محلول آب مورد استفاده در تحقیق) و جاذب با جرم‌های ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ و ۱۶۰۰ میلی‌گرم انجام گردید و میزان جذب جامدات محلول در هر حالت به دست آمد. پس از افزودن جاذب به محلول‌ها باید آنها را در شرایط یکسان هم زد. برای این منظور از دستگاه لرزاننده استفاده گردید و نمونه‌ها به مدت دو ساعت (زمان بهینه) روی لرزاننده با سرعت ۱۵۰ دور بر دقیقه، قرار داده شدند. کلیه نمونه‌ها قبل از هر گونه اندازه‌گیری از صافی واتمن ۴۲ عبور داده شدند. پس از آن شوری محلول خروجی با EC متر اندازه‌گیری گردید و با استفاده از



شکل ۱- کوره مورد استفاده برای سوزاندن بقایای گیاهی

غلظت نهایی جامدات محلول نسبت به کربن نی، تغییرات گسترده‌تری داشته و در محدوده ۲۰۶۶/۷-۴۰۱/۶ میلی گرم بر گرم بوده در حالی که میزان جذب TDS به وسیله کربن نی در محدوده ۱۶۷۰/۴-۲۳۲ میلی گرم بر گرم بوده است. میزان جذب کربن پوشال بیشتر از کربن نی بوده که ناشی از سطح ویژه زیادتر نسبت به کربن نی می باشد. نمودار (۲) تغییرات راندمان حذف TDS آب را با غلظت نهایی محلول نشان می دهد. همانطور که از نمودار (۲) پیداست جذب جامدات محلول توسط کربن پوشال بیشتر بوده و راندمان حذف افزایش یافته است. با توجه به نمودار میزان بهینه غلظت نهایی برای حذف جامدات محلول ۱۸۱۰/۶ و ۱۵۳۶ میلی گرم بر لیتر با راندمان حذف ۶۳ و ۵۷ درصد برای جذب های کربن پوشال و کربن نی به ترتیب می باشد که با نتایج به دست آمده به وسیله سایر محققان (۸، ۱۰ و ۱۸) مطابقت دارد.

اثر میزان جذب روی حذف TDS آب با تغییر میزان جاذب مورد بررسی قرار گرفت که نتیجه آن در نمودار (۳) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود راندمان حذف با افزایش میزان جاذب از ۲۰۰ تا ۱۶۰۰ میلی گرم در هر دو منحنی افزایش یافته و در پایان ثابت گردیده است که این امر می تواند به علت پر شدن سایت های جاذب با افزایش میزان جاذب تا ۱۶۰۰ میلی گرم بر لیتر می باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که میزان بهینه جاذب برای حذف جامدات محلول، ۱۲۰۰ میلی گرم با راندمان حذف ۶۳ و ۵۷ درصد برای جذب های کربن پوشال و کربن نی می باشد. با توجه به اینکه سطح ویژه یکی از پارامترهای تعیین کننده توانایی جذب ماده جاذب می باشد، کربن پوشال تولید شده به دلیل دارا بودن سطح ویژه بیشتر، دارای خلل و فرج بیشتر بوده و در نتیجه سطح جذب بیشتری خواهد داشت. نتایج تحقیق حاضر و همچنین نتایج محققین دیگر (۴، ۸، ۱۱ و ۱۲) نشان داده است که کربن فعال تهیه شده دارای قدرت جذب زیادی بوده و میزان جذب و راندمان حذف بیشتری نسبت به کربن داشته است.

رابطه (۱)، جامدات محلول تعیین گردیده و میزان کاهش TDS توسط غلظت های مختلف جاذب مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین میلی گرم جرم جذب شده جامدات محلول در یک گرم جاذب ( $q_e$ ) از رابطه (۲) استفاده شد. دمای محلول در تمامی آزمایش ها حدود ۲۵ درجه سانتی گراد بود و در نهایت برای تحلیل داده ها از روابط زیر و نرم افزار اکسل استفاده گردید:

$$TDS = EC \times 640 \quad (1)$$

که در این رابطه TDS کل جامدات محلول بر حسب میلی گرم بر لیتر و EC هدایت الکتریکی بر حسب میلی موس بر سانتی متر می باشد.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (2)$$

که در این رابطه  $q_e$  میلی گرم جرم جذب شده کل جامدات محلول در یک گرم جاذب،  $C_0$  غلظت اولیه جذب شونده بر حسب میلی گرم در لیتر،  $C_e$  غلظت ثانویه جذب شونده بر حسب میلی گرم در لیتر،  $V$  حجم محلول بر حسب لیتر و  $m$  جرم جاذب بر حسب گرم است.

## نتایج و بحث

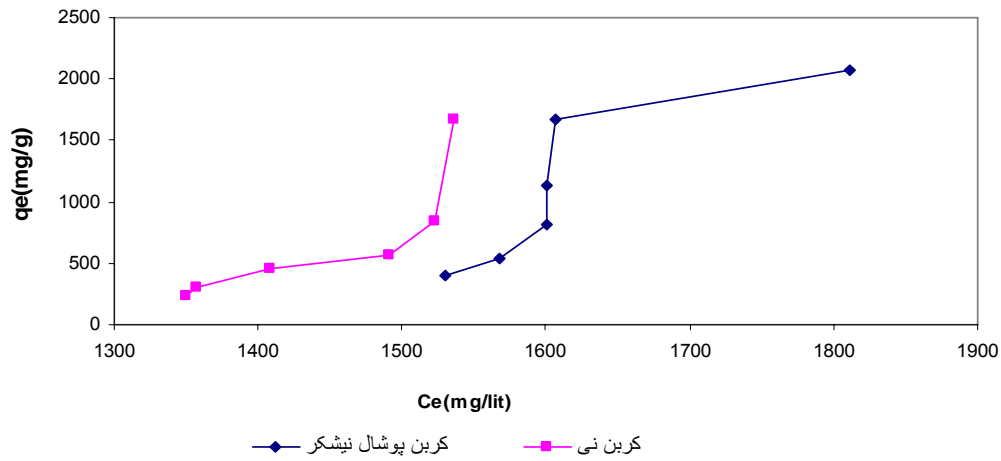
جدول های (۱) و (۲) مقادیر هر یک از پارامترهای مورد بررسی در آزمایش ها و نمودار (۱) جذب جامدات محلول بوسیله کربن ساخته شده از هر دو جاذب را نشان می دهد. نتایج به دست آمده نشان داد که جذب جامدات محلول به کربن پوشال بیشتر است. همانطور که نمودار (۱) نشان می دهد هر دو منحنی از روند صعودی تبعیت نموده اند. مقایسه دو منحنی نشان می دهد که کربن پوشال با افزایش

جدول ۱- رابطه بین ظرفیت جذب و راندمان حذف جامدات محلول از محلول

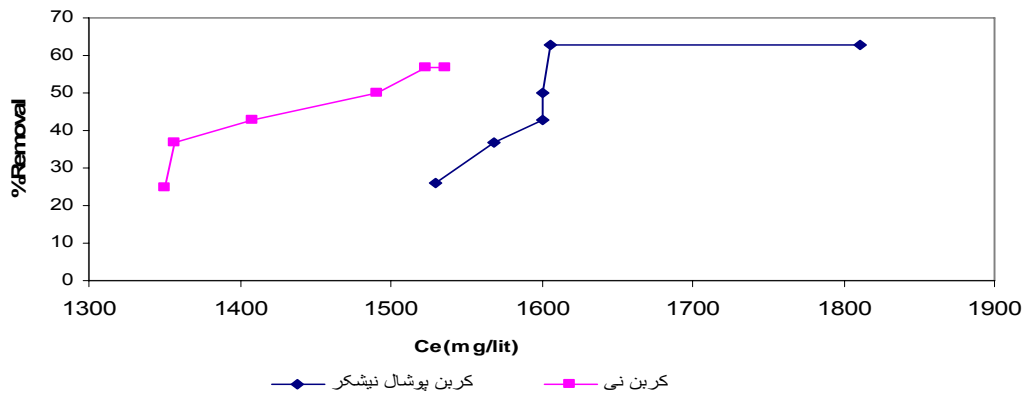
جاذب های مورد بررسی	ظرفیت نهایی محلول ( $mg/lit$ )	ظرفیت جذب ( $mg/g$ )	درصد حذف
کربن فعال پوشال نیشکر	۹۰۱/۸	۱۱۳/۶	۲۸
	۹۵۰/۴	۲۷۷/۳۳	۵۲
	۱۰۵۶	۴۶۵/۶	۵۸
	۱۳۴۴	۷۱۶/۸	۶۷
	۱۵۴۲/۴	۱۱۲۸	۷۰
پوشال نیشکر	۱۷۰۰/۲	۱۵۰۰/۵۷	۷۰
	۱۳۵۰/۴	۲۳۲	۲۵
	۱۳۵۶/۸	۳۰۸/۲۷	۳۷
	۱۴۰۸	۴۴۹/۶	۴۳
	۱۴۹۱/۲	۵۷۱/۷۳	۵۰
		۸۴۱/۶	۵۷
		۱۳۷۰/۴	۵۷

جدول ۲- رابطه بین جرم جاذب و راندمان حذف

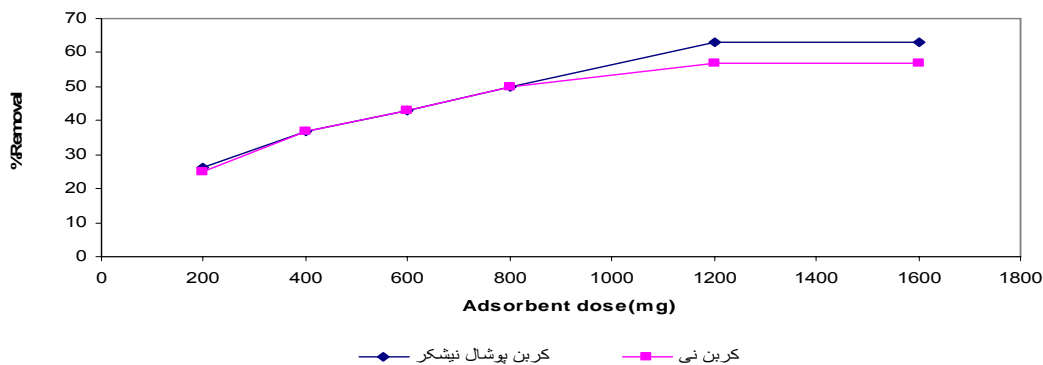
جرم جاذب (mg)	درصد حذف
۲۰۰	۰/۵۸
۴۰۰	۰/۵۸
۶۰۰	۰/۵۶
۸۰۰	۰/۵۳
۱۲۰۰	۰/۵۲
۱۶۰۰	۰/۵۲
۲۰۰	۰/۷۲
۴۰۰	۰/۷۰
۶۰۰	۰/۶۷
۸۰۰	۰/۵۸
۱۲۰۰	۰/۵۲
۱۶۰۰	۰/۲۸



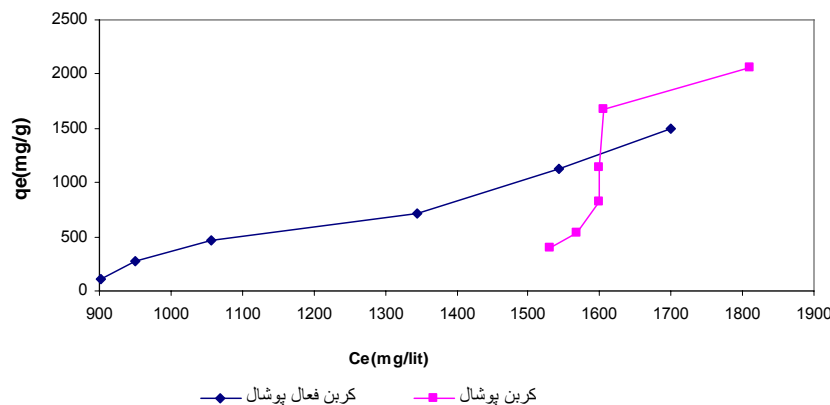
نمودار ۱- تغییرات ظرفیت جذب کربن نی و پوشال نیشکر با غلظت نهایی محلول



نمودار ۲- تغییرات راندمان حذف TDS آب با غلظت نهایی محلول



نمودار ۳- مقایسه راندمان حذف TDS آب توسط جاذبها با افزایش جرم جاذب



نمودار ۴- مقایسه میزان جذب TDS آب توسط جاذبها با تغییرات غلظت نهایی محلول

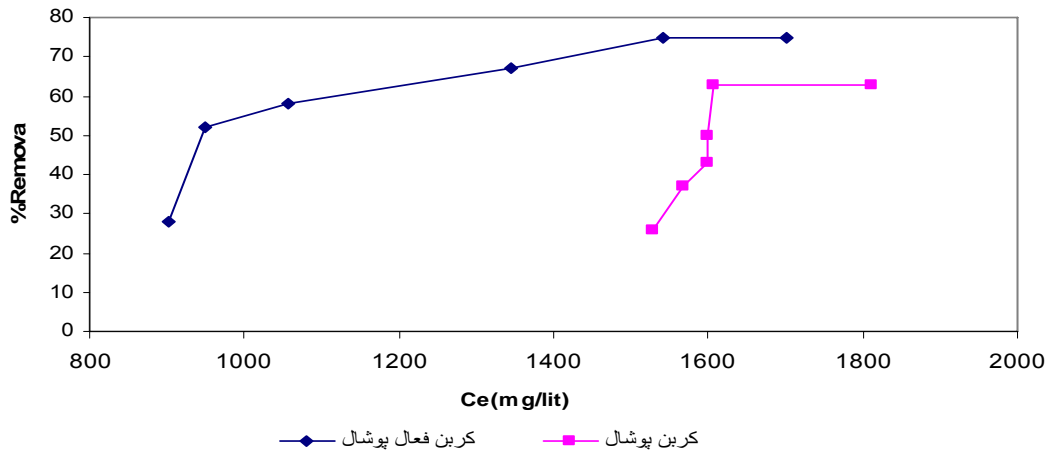
۷۵ و ۶۳ درصد برای جاذب‌های کربن فعال و کربن پوشال به ترتیب می باشد، که با نتایج به دست آمده به وسیله سایر محققان (۲ و ۱۹) همخوانی دارد.

اثر میزان جاذب روی حذف TDS آب با تغییر میزان جاذب مورد بررسی قرار گرفت که نتیجه آن در نمودار (۶) نشان داده شده است. همانطور که نمودار (۶) نشان می‌دهد که راندمان حذف با افزایش میزان جاذب از ۲۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی گرم در هر دو منحنی بالاتر رفته و در ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ میلی گرم پایان ثابت گردیده است که این امر می‌تواند به علت پر شدن مکان‌های جاذب باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میزان بهینه جاذب برای حذف جامدات محلول ۱۲۰۰ میلی گرم با راندمان حذف ۷۵ و ۶۳ درصد به ترتیب برای جاذب‌های کربن فعال و کربن پوشال می‌باشد.

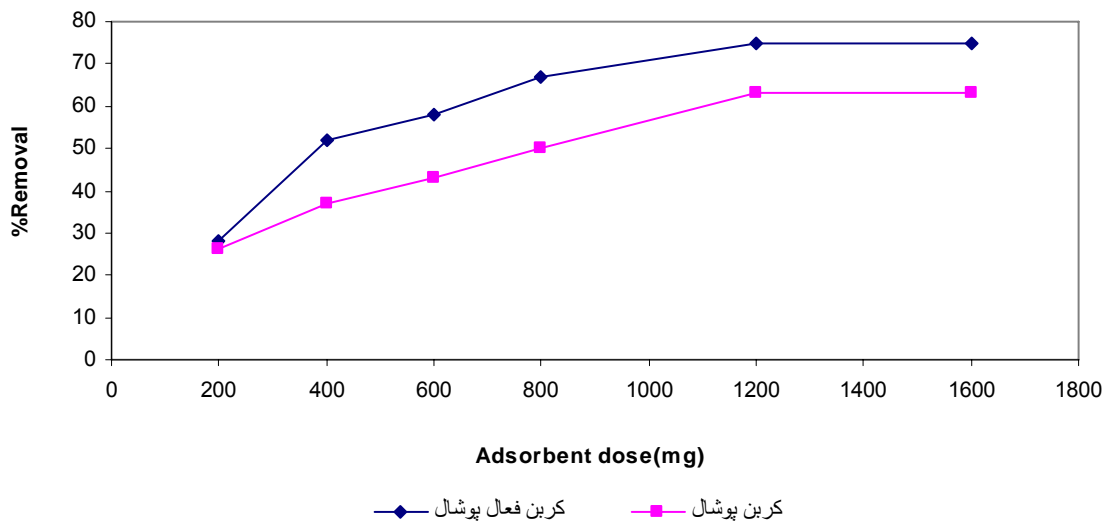
دارا بودن سطح ویژه یکی از پارامترهای تعیین کننده توانایی جذب ماده جاذب می باشد. کربن فعال تولید شده به دلیل سطح ویژه بیشتر، دارای خلل و فرج بیشتر و در نتیجه سطح تماس بیشتری با ماده جذب شونده دارد. نتایج این تحقیق و نتایج به دست آمده توسط سایر محققین (۵، ۹، ۱۳ و ۱۴) نشان داده است که کربن فعال تهیه شده دارای قدرت جذب زیادی بوده و میزان جذب و راندمان حذف بیشتری نسبت به کربن دارد.

پس از تعیین راندمان حذف و میزان جذب به وسیله جاذب‌ها، مشخص گردید که جاذب پوشال نیشکر با راندمان حذف ۶۷ درصد، دارای قدرت جذب بیشتری نسبت به جاذب نی می باشد. نمودار (۴) جذب جامدات محلول را روی جاذب‌های کربن آلی و کربن فعال پوشال نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان داد که جذب جامدات محلول بوسیله کربن فعال بیشتر است. همان‌طور که نمودار (۴) نشان می‌دهد هر دو منحنی از روند صعودی تبعیت نموده اند. مقایسه دو منحنی نشان می‌دهد که کربن پوشال با افزایش غلظت نهایی جامدات محلول نسبت به کربن فعال، تغییرات گسترده تری داشته و در محدوده ۱۵۰۰/۶-۱۱۳/۶ میلی گرم بر گرم بوده در حالی که میزان جذب TDS در کربن پوشال در محدوده ۲۰۶۶/۶۷-۴۰۱/۶ میلی گرم بر گرم بوده است. میزان جذب و قدرت جذب کربن فعال بیشتر از کربن بوده که این امر می‌تواند ناشی از سطح ویژه زیادتر آن نسبت به کربن پوشال می‌باشد که با نتایج به دست آمده توسط سایر محققان (۲ و ۲۱) مطابقت دارد.

نمودار (۵) تغییرات راندمان حذف TDS آب را با غلظت نهایی محلول نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودار پیداست جذب جامدات محلول به وسیله کربن فعال بیشتر بوده و راندمان حذف افزایش یافته است. با توجه به نمودار (۵) میزان بهینه غلظت نهایی برای حذف جامدات محلول ۱۷۰۰/۲ و ۱۸۱۰/۲ میلی گرم بر لیتر با راندمان حذف



نمودار ۵- راندمان حذف TDS آب توسط جاذب‌ها با تغییرات غلظت نهایی محلول



نمودار ۶- راندمان حذف TDS آب توسط جاذب‌ها با افزایش میزان جاذب

بهترین راندمان حذف زمانی اتفاق افتاد که غلظت نهایی مواد جذب شونده  $1700/2$  میلی‌گرم بر لیتر و جرم جاذب  $1200$  میلی‌گرم بود. راندمان حذف در کربن فعال پوشال، کربن پوشال و کربن نی به ترتیب ۷۵ درصد، ۶۳ درصد و ۵۷ درصد به دست آمد. از این رو با توجه به اینکه مواد اولیه تهیه کربن فعال ارزان قیمت بوده و این ماده راندمان حذف بالایی دارد، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کربن فعال پوشال می‌تواند جایگزین مناسبی برای حذف جامدات محلول به جای کربن فعال باشد.

### تقدیر و تشکر

این تحقیق بخشی از رساله دکتری بوده و قسمتی از هزینه‌های آن از قطب علمی دانشکده مهندسی علوم آب تأمین شده است. بدینوسیله از همکاری آنها کمال تشکر را داریم.

### نتیجه‌گیری

از نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گرفت که جذب جامدات محلول به میزان قابل توجهی بستگی به مقدار و نوع جاذب مورد استفاده دارد. بهترین جاذب، کربن فعال پوشال با غلظت  $1700/2$  میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. ظرفیت جذب کربن فعال به غلظت نهایی TDS محلول بستگی داشته و بیشترین مقدار آن  $1500/6$  میلی‌گرم بر گرم می‌باشد. همچنین راندمان حذف TDS در هر دو جاذب به غلظت نهایی جامدات محلول و جرم جاذب بستگی دارد. تغییرات راندمان حذف با غلظت نهایی محلول و جرم جاذب روند صعودی داشت. افزایش جرم جاذب، یکی از پارامترهای موثر در افزایش راندمان جذب است زیرا با افزایش میزان جاذب، سطح موجود برای جذب سطحی که در اختیار ماده جذب شونده است، افزایش می‌یابد که در تحقیق حاضر این مطلب به خوبی مشخص گردید.

## منابع

۱. افیونی، م. و م. عرفان منش. ۱۳۷۹. آلودگی آب و خاک و هوا. دانشگاه صنعتی اصفهان، انتشارات ارکان.
۲. عابدی کوپایی، ج. و م.ع. فتحی. ۱۳۸۲. بررسی خصوصیات مکانیکی پوشش بتنی کانال‌های آبیاری حاوی خاکستر پوسته شلتوک در محیط‌های سولفات. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۲۷-۱۳.
۳. معاضد، ه. و آ. امینی نسب. ۱۳۸۴. حذف آمونیوم از محیط آبی (آب و پساب) به وسیله خاک‌های معدنی (زئولیت‌های کلینوپتی لولایت). طرح پژوهشی سازمان آب و برق خوزستان.
۴. مهدوی متین، ص. و ح. گنجی دوست. ۱۳۸۷. کاربرد جاذب‌های طبیعی در حذف COD از فاضلاب صنایع سلولزی. مجله محیط‌شناسی، جلد ۳۴، شماره ۴۸، صفحات ۴۱-۵۰.
5. Bansode, R. R., Losso, J. N., Marshall, W. E, Rao, R. M. and R. J. Portier. 2003. Adsorption of metal ions by pecan shell-based granular activated carbons. *Biores Technol*, 89: 9-115.
6. Benefield, L. D. and B. L. Weand. 1982. *Process chemistry for water and wastewater treatment*. Prentice Hall. Inc., Englewood Chapter, 6 :191-216.
7. Brotrant, W. D. and R. V. Gary. 1994. The biological actived carbon process for water purification. *Water Engineering Management*, 141(12) : 22-25.
8. Chan, L. S., W. H. Cheung. and G. McKay. 2008. Adsorption of acid dyes by bamboo derived activated carbon. *Desalination*, 218 (1-3): 304-312.
9. Daniel, C. W. T., Sang Jing, H., Mei Yi, L., Weihua Zhang Keith, C. K. L. and M. C. L. Irene. 2007. Activated carbon produced from waste wood pallets: Adsorption of three classes of dyes. *Water Air Soil Pollut.*, 184:191-155.
10. Dos Santos, J. H. Z., Lattuada R. M, and M.C.R. Peralba. 2006. Peat, Rice Husk and Rice Rusk Carbon As Low Cost Adsorbents In Metals Sorption From Synthetic Acid Drainage of Mine Effluents., Source: Activity Report, LNLS.
11. Egbers, G., Ehler, P., Bainsczyk, G. and J. Janitza. 1983. Treatment textile effluent. *Melliand Tex. Berichte*, 12(5): 350-360, 420-481.
12. El Nemr, A., Khaled, A., El Sikaily, A. and O. Abdelwahab. 2007. Removal of toxic chromium (VI) from aqueous solution by activated carbon developed from *Casuarina equisetifolia*. *Chem. Ecol.*, 23 (2): 119-129.
13. Hasar, H. 2003. Adsorption of nickel(II) from aqueous solution onto activated carbon prepared from almond husk. *Hazard Mater*, B97:49- 57.
14. Keerthinarayan, S. and M. Bandopadhyay. 1993. Sorption of lindane by wood charcoal. *Indian J. Technol.*, 31:231-238.
15. Khanna, P. and S. K. Malhotra. 1977. Kinetics and mechanism of phenol adsorption of fly ash. *Indian J. Environ. Health*, 19 (3): 224-237.
16. Kobya, M. 2004. Removal of Cr(VI) from aqueous solutions by adsorption onto hazelnut shell activated carbon: kinetic and equilibrium studies. *Biores Technol*, 91:21-317
17. Kumar, S., Upadhyay, S. N. and Y. D. Upadhyay. 1987. Removal of phenol by adsorption on fly ash. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 37:188-196.
18. Miura A., Shiratani E., Hamada K., Hitomi T., Yoshinaga I. and T. Kubota 2009. Removal of nutrients, organic matter and heavy metals from paddy field drainage by charcoal, *J. Water and Environment Technology*, 7(1), 9-17.



19. Noll, K. E., Gounaris, V. and W. S. Hou. 1992. Adsorption technology for air and water pollution control". Lewis Published, New York.
20. Poonawala, N. A., Lighthsey, G. and R. W. Henderson. 1975. Removal of heavy metals from wastewater and sludge by adsorption on to solid wastes. *Water Resource*, 2: 247-259.
21. Swamy, M., Mall, I. D., Prasad, B. I. and M. Mishra. 1997. Resorcinol removal from aqueous solution by bagasse fly ash and activated carbon: batch and column studies. *Environ. Eng. Div. J. Inst. Eng. (India)*, 77:49-52.