

## بررسی کاربرد زغال زیستی تهیه شده از شلتوک برنج در شوری زدایی آب آبیاری

رخساره رستمیان<sup>۱\*</sup>، منوچهر حیدرپور<sup>۱</sup>، سید فرهاد موسوی<sup>۲</sup> و مجید افیونی<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۲۳)

### چکیده

استفاده از جاذب‌های کربنی برای حذف آلودگی‌های مختلف رو به افزایش است. زغال زیستی مواد متخلخل غنی از کربن، ارزان قیمت و دوست‌دار محیط زیست است که از پیرولیز زیست‌توده تولید می‌شود. در این مطالعه، پتانسیل زغال زیستی تهیه شده از شلتوک برنج در شوری زدایی آب آبیاری با شوری‌های ۵، ۱۵ و ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر مورد ارزیابی قرار گرفت. تأثیر دماهای پیرولیز ۴۰۰ (RHB4)، ۶۰۰ (RHB6) و ۸۰۰ درجه سلسیوس (RHB8) بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و قدرت شوری زدایی آنها بررسی شد. نتایج نشان داد که دمای پیرولیز تأثیر معنی داری بر خصوصیات جاذب دارد. زغال RHB6 با ظرفیت شوری زدایی ۳۰۱/۱ میلی‌گرم بر گرم کارآمدترین جاذب در شوری زدایی نسبت به دو جاذب دیگر بود. این جاذب بیشترین سطح ویژه (۲۱۱ مترمربع بر گرم) و حجم تخلخل (۰/۱۱۴ سانتی‌متر مکعب بر گرم) را داشت. نتایج این مطالعه چشم اندازی جدید به مدیریت پسماندهای کشاورزی و کاهش هزینه‌های آبیاری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پیرولیز، جاذب، آب شور

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
  ۲. گروه سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان
  ۳. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- \*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Rokh\_1797@yahoo.com

## مقدمه

آب از اصلی‌ترین نیازهای حیات بشری است و نقش ضروری در سلامت، اقتصاد، محیط زیست و تولید غذا دارد. جمعیت جهان در سال ۲۰۰۰ حدود ۶ میلیارد نفر بوده و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ به ۸ میلیارد نفر برسد که ۶۰ درصد از این افزایش جمعیت در کشورهای در حال توسعه رخ خواهد داد (۱۸). تخمین زده می‌شود که بیش از ۶۹ درصد منابع آب در جهان و ۹۰ درصد منابع آب در ایران در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (۲۰ و ۲۳). کاهش میزان منابع آب قابل استفاده، افزایش آلودگی منابع آب قابل دسترس و رقابت تقاضای آب برای بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و توسعه شهری، گسترش آبیاری را محدود و انسان را مجبور به استفاده از آب با کیفیت نامطلوب مانند آب شور، آب زهکش‌ها و پساب‌های تصفیه شده برای بخش کشاورزی می‌کند. نقش و اهمیتی که آب‌های لب شور (Brackish water) و شور (saline water) در آینده در کشاورزی ایران به‌عنوان منابع آب مناسب و ارزان قیمت خواهند داشت باید مورد بررسی و توجه قرار گیرد تا با اعمال مدیریت ویژه بتوان از آنها در جهت توسعه سطح زیر کشت استفاده بهینه به‌عمل آورد.

امروزه روش‌های اسمز معکوس و الکترودیالیز به‌طور گسترده برای شیرین کردن آب‌های شور استفاده می‌شوند که به‌دلیل مصرف زیاد انرژی، در همه موارد اقتصادی نیستند. استفاده از روش‌های پیش‌تصفیه قبل از استفاده از این تکنولوژی‌ها، کاهش هزینه و صرفه‌جویی در مصرف انرژی را به‌دنبال خواهد داشت. بنابراین استفاده از روش‌های کم‌هزینه در پیش‌تصفیه آب شور مانند استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

گاسکو و همکاران (۸) پتانسیل جاذب‌های کربنی تهیه شده از لجن فاضلاب را برای کاهش غلظت سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم آب شور ارزیابی کردند. نتایج، توانایی این جاذب‌ها را به‌عنوان یک جاذب ارزان قیمت و دوست‌دار محیط زیست نشان داد. آقاخانی و همکاران (۲) توانایی ترکیب‌های دوتایی

جاذب‌های مختلف شامل ژئولیت، پیت، کربن اکتیو، رزین آنیونی و رزین کاتیونی را در کاهش میزان نمک‌های محلول آب بررسی کردند. آنها ترکیب رزین کاتیونی و پیت را به‌عنوان مؤثرترین ترکیب در جذب یون‌های عامل شوری آب معرفی کردند.

زغال زیستی از پیرولیز زیست‌توده‌های مختلف تحت شرایط بی‌هوازی (یا شرایط کم اکسیژن) تولید می‌شوند (۱۴)، ۲۱ و ۲۵). پیرولیز یک روش مهم در به‌دست آوردن انرژی از زیست‌توده محسوب می‌شود و می‌تواند برای کشورهای در حال توسعه مثل ایران حائز اهمیت باشد. از خصوصیات زغال زیستی می‌توان به سطح ویژه بالا، ساختار میکروپوری و گروه‌های عاملی فعال اشاره کرد (۶). ظرفیت جذب زغال زیستی به خصوصیات فیزیکی-شیمیایی آن بستگی دارد که تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع ماده خام، اندازه ذرات، دمای پیرولیز، نرخ تغییرات دمایی و زمان نگهداشت دما می‌باشد (۱ و ۵).

در سال‌های اخیر، استفاده از زغال‌زیستی به‌عنوان جاذب آلاینده‌های مختلف مورد استقبال قرار گرفته است. کائو و همکاران (۴) زغال زیستی به‌دست آمده از کود گاوی را برای حذف سرب به کار بردند. نتایج نشان داد که زغال زیستی تهیه شده می‌تواند برای جذب سرب استفاده شود. آنها گزارش کردند که توانایی زغال زیستی تهیه شده در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس نسبت به کربن فعال تجاری برای جذب سرب شش برابر مؤثرتر است. لرد و همکاران (۱۳) با اضافه کردن زغال زیستی به کود دامی در یک ستون، تأثیر آن را در نگهداشت مواد غذایی در خاک مورد بررسی قرار دادند. آنها کاهش ۱۱ درصدی آبشویی نیتروژن کل و ۶۹ درصدی آبشویی فسفر محلول را گزارش کردند. کولودینسکا و همکاران (۱۲) کاربرد زغال زیستی تهیه شده از کود گاوی در دماهای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس را برای حذف عناصر سنگین مس، روی، سرب و کادمیوم مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که جاذب‌های تهیه شده از قدرت بالایی برای حذف عناصر

جدول ۱. آنالیز شیمیایی آب‌های شور

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	پ-هاش	کل املاح	پتاسیم	سدیم	کلسیم	منیزیم	کلر	بی‌کربنات	سولفات
						(میلی‌گرم بر لیتر)			
۲۵	۸/۲	۲۰۳۴۵/۳	۱۸/۴	۶۲۶۳	۲۹۸/۲	۶۶۰	۹۱۹۷/۲	۳۴۱/۶	۳۵۶۶/۹
۱۵	۸/۲	۱۲۷۶۴/۴	۱۲/۲	۳۹۱۳/۸	۱۷۳/۱	۴۱۹/۹	۵۵۹۸/۳	۲۱۹/۶	۲۴۲۷/۶
۵	۸/۲	۳۹۲۶/۷	۴/۸	۱۰۹۵/۹	۱۰۵/۸	۱۵۴/۵	۱۷۵۴/۵	۲۴۴	۵۶۷/۲

مذکور برخوردار هستند.

از دمای آزمایشگاه تا دمای کربن‌سازی مورد نظر (۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ درجه سلسیوس) با نرخ ۱۰ درجه بر دقیقه افزایش یافت و سپس به مدت ۲ ساعت در آن دما نگه داشته شد. بعد از آن، دمای کوره تا رسیدن به دمای محیط، در شرایط اعمال گاز نیتروژن، کاهش یافت. لازم به ذکر است که در این تحقیق، زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ درجه سلسیوس به ترتیب با علامت‌های اختصاری RHB4، RHB6 و RHB8 عنوان می‌شوند.

#### آب شور

برای تطبیق شرایط با شرایط طبیعی، آب شور از زهکش‌های منطقه رودشت اصفهان تهیه شد. با رقیق کردن آب زهکش، آب با شوری‌های مختلف تهیه شد. جدول ۱ آنالیز شیمیایی آب‌های شور مورد استفاده را نشان می‌دهد.

#### آزمایش ناپیوسته (Batch)

برای بررسی توانایی شوری زدایی زغال‌های تهیه شده، مقدار ۰/۵ گرم جاذب به ۵۰ میلی‌لیتر آب شور اضافه گردید و به مدت ۴ ساعت در دمای محیط روی شیکر با سرعت ۱۹۰ دور در دقیقه تکان داده شد. پس از آن، محلول از کاغذ صافی گذرانده شد و جاذب از آب جدا شد.

ظرفیت جذب (AC) و ظرفیت شوری زدایی (DC) از روابط زیر محاسبه شدند:

$$AC = ((C_0 - C_e)V)/m \quad [1]$$

$$DC = \sum_{i=1}^n AC_i \quad [2]$$

پسماندهای کشاورزی و بقایای گیاهی مواد مناسبی برای تولید زغال زیستی محسوب می‌شوند (۱۹ و ۲۲). متأسفانه اکثر این بقایا سوزانده شده و باعث آلودگی هوا و محیط زیست می‌گردند. مدیریت بقایای گیاهی با استفاده از یک روش دوست‌دار محیط زیست مانند پیرولیز و تبدیل آنها به زغال‌های زیستی قابل کاربرد در محیط زیست و بخش کشاورزی امکان‌پذیر می‌باشد. در صورت امکان تبدیل بقایای کشاورزی به جاذب‌های مناسب برای شوری زدایی آب، می‌توان فعالیت‌های کشاورزی را در نواحی خشک و نیمه‌خشک توسعه داد و از طرفی پسماندهای گیاهی که سوزاندن آنها منجر به آلودگی هوا می‌گردد را مدیریت کرد. هدف از این مطالعه تهیه زغال‌زیستی از بقایای شلتوک برنج، بررسی تأثیر دمای کربن‌سازی بر روی خصوصیات آن و ارزیابی پتانسیل شوری زدایی زغال زیستی تهیه شده در پیش تصفیه آب شور کشاورزی می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

##### تهیه زغال زیستی

در این تحقیق از شلتوک برنج برای تهیه زغال زیستی استفاده گردید. ابتدا شلتوک برنج به مدت ۳۰ دقیقه در آب جوشانده شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک شد. در مرحله بعد، این مواد آسیاب شدند و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند. ماده خام آماده شده، در کوره‌ای تحت گاز بی اثر نیتروژن پیرولیز شد. دمای کوره

سیلسیوس با استفاده از دستگاه Belsorp mini II برای هر جاذب تعیین شد. سطح ویژه هر جاذب با استفاده از رابطه BET و کل حجم حفره‌ها جاذب با استفاده از میزان جذب نیتروژن در فشار نسبی ۰/۹۸ به دست آمد (۳).

از روش طیف سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریه (FTIR) برای تعیین گروه‌های عاملی جاذب استفاده شد. به این منظور، از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز (JASCO FT/IR-680) در طول موج بین ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ بر سانتی‌متر با استفاده از روش قرص KBr استفاده گردید.

### آنالیز آماری

آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند. میانگین ظرفیت جذب و ظرفیت شوری‌زدایی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17.0 و با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ مقایسه شدند.

### نتایج و بحث

#### خصوصیات زغال زیستی

برخی از خصوصیات مهم فیزیکی و شیمیایی زغال زیستی تهیه شده در دماهای مختلف در جدول ۲ آورده شده است. با افزایش دمای کربن‌سازی، بازده زغال زیستی تولید شده از ۴۷ درصد برای RHB4 به ۳۵ درصد برای RHB8 کاهش پیدا کرد. بیشترین کاهش وزن تا دمای ۴۰۰ مشاهده شد. به‌طور کلی، تجزیه حرارتی بیومس‌ها اکثراً در دمای کم پیرولیز رخ می‌دهد که به‌علت تجزیه سریع سلولز در دمای ۲۰۰ تا ۴۰۰ درجه سلسیوس می‌باشد (۷). نتایج مشابهی از کاهش بازده با افزایش دمای پیرولیز توسط کیلوویت و همکاران (۱۱) گزارش شده است. با افزایش دمای کربن‌سازی، مقادیر هدایت الکتریکی و میزان خاکستر جاذب افزایش پیدا کرد. هدایت الکتریکی شاخصی برای ارزیابی نمک‌های محلول در بستر است. بر طبق جدول ۲ میزان هدایت الکتریکی هر سه جاذب بسیار کم است که نشان می‌دهد احتمال آزادسازی یون‌های بستر در محلول

که در آنها،  $C_e$  غلظت اولیه یون (میلی‌گرم بر لیتر)،  $C_0$  غلظت نهایی یون در محلول (میلی‌گرم بر لیتر)،  $V$  حجم محلول (لیتر)،  $m$  جرم جاذب (گرم) و  $n$  تعداد یون‌ها می‌باشد.

### آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی

غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های عامل شوری با استفاده از روش‌های استاندارد تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (۹). اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلیم‌فتومتر انجام شد. بازده زغال زیستی از نسبت وزن زغال زیستی تولید شده به ماده خام استفاده شده برای تولید آن به دست آمد. به‌منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و پ-هاش جاذب، مقدار ۱ گرم از هر جاذب به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و محلول به مدت ۲ ساعت در دمای محیط روی شیکر قرار گرفت. سپس محلول از روی کاغذ صافی عبور داده شد و پ-هاش و هدایت الکتریکی محلول صاف شده به ترتیب با استفاده از pH متر و EC متر اندازه‌گیری شد. وزن مشخصی از زغالی زیستی به مدت ۴ ساعت در دمای ۸۰۰ درجه سلسیوس در کوره الکتریکی سوزانده شد. از تفاوت ماده باقی‌مانده به میزان زغال زیستی استفاده شده درصد خاکستر جاذب تعیین گردید. برای اندازه‌گیری پ-هاش بار صفر از محلول نترات پتاسیم استفاده شد. ۵۰ میلی‌لیتر از محلول  $KNO_3$  با غلظت ۰/۱ مول بر لیتر در ۱۲ ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و پ-هاش اولیه آنها با اضافه کردن اسید کلریدریک و یا هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار بین ۱ تا ۱۲ تنظیم شد. سپس ۰/۱ گرم از جاذب به هر ارلن اضافه و محلول با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه روی شیکر برای مدت زمان ۲۴ ساعت و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به هم زده شد. در ادامه پ-هاش نهایی محلول‌ها اندازه‌گیری و اختلاف بین پ-هاش ابتدایی و نهایی در مقابل پ-هاش ابتدایی رسم شد. در انتها نقطه‌ای که محور افقی را قطع می‌کند به‌عنوان پ-هاش بار صفر بستر شناخته می‌شود.

ایزوترم جذب و واجذب نیتروژن در در دمای ۱۹۶- درجه

جدول ۲. خصوصیات زغال شلتوک برنج تهیه شده در دماهای مختلف

پارامتر	واحد	RHB4	RHB6	RHB8
بازده	درصد	۴۶/۸	۴۰/۱	۳۵/۴
هدایت الکتریکی	dS/m	۰/۰۶۸	۰/۱۲۱	۰/۱۳۹
پ- هاش	-	۸	۹	۹/۶
پ- هاش بار صفر	-	۶/۸	۷/۷	۸/۵
خاکستر	درصد	۳۷/۸	۴۶/۱	۴۸/۲
سطح ویژه	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	۳۲/۶	۲۱۱/۳	۲۰۲/۴
حجم حفره‌ها	m <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>	۰/۰۲۸	۰/۱۱۴	۰/۱۰۴
متوسط شعاع حفره‌ها	nm	۳/۴۹	۲/۱۵	۲/۰۶

تعریف اتحادیه بین‌المللی شیمی محض و کاربردی (IUPAC)، مواد کربنی بر اساس ابعاد حفراتشان به سه دسته: میکروپورها با ابعاد کمتر از ۲ نانومتر، مزوپورها با ابعادی بین ۲ تا ۵۰ نانومتر و ماکروپورها با ابعادی بزرگ‌تر از ۵۰ نانومتر تقسیم می‌شوند (۱۷). شکل ۱ ایزوترم جذب و واجذب نیتروژن برای زغال زیستی تهیه شده از شلتوک برنج در دماهای مختلف را نشان می‌دهد. نمودار نشان می‌دهد حجم حفره‌های RHB4 بسیار پایین است و با افزایش دما از ۴۰۰ به ۶۰۰ درجه سلسیوس حجم حفره‌ها افزایش پیدا می‌کند. نمونه RHB6 دارای بیشترین سطح ویژه و حجم تخلخل می‌باشد. حلقه پسماند (Hysteresis loop) حضور حفره‌های مزوپوری را نشان می‌دهد. شکل ایزوترم‌ها افزایش نسبت میکروپور به مزوپور را برای نمونه‌های RHB6 و RHB8 نسبت به نمونه RHB4 نشان می‌دهد.

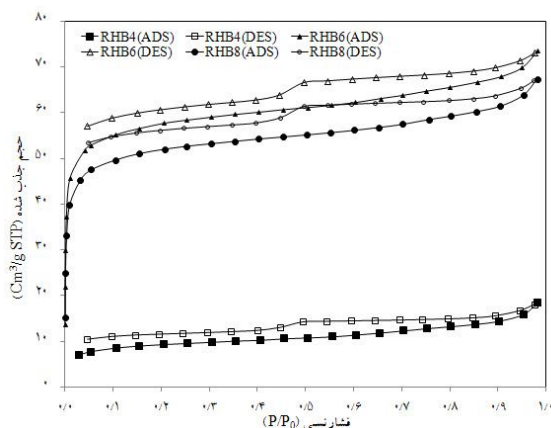
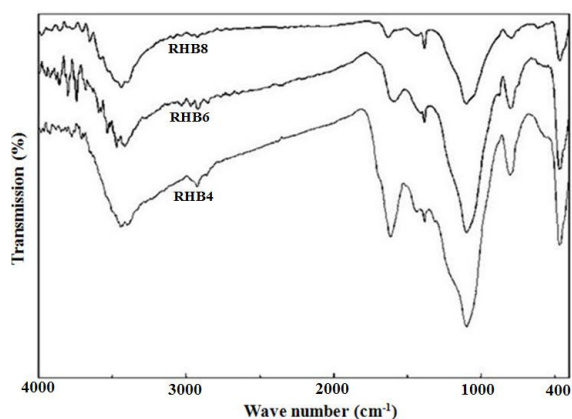
#### تحلیل طیف سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریه (FTIR)

طیف FTIR زغال زیستی تهیه شده از شلتوک برنج در دماهای مختلف در شکل ۲ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دمای کربن‌سازی، شدت بعضی از گروه‌های عاملی کاهش پیدا می‌کند. لوآ و گو (۱۵) نیز نتایج مشابهی را ارائه کردند. پیک پهن در باند  $3400$  تا  $3500$   $cm^{-1}$  مربوط به

کم می‌باشد. افزایش پ- هاش جاذب‌ها با افزایش دمای کربن‌سازی احتمالاً به علت آزادسازی گروه‌های اسیدی در طول پیرولیز می‌باشد. پ- هاش بار صفر بیانگر پ- هاشی است که در آن بار خالص بستر صفر است و در پ- هاشی کمتر و بیشتر از آن، بار بستر به ترتیب مثبت و منفی است. با افزایش دمای کربن‌سازی، پ- هاش بار صفر جاذب افزایش پیدا کرد.

سطح ویژه و حجم حفره‌ها از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی جاذب‌های کربنی محسوب می‌شوند. سطح ویژه زغال زیستی با افزایش دما از ۴۰۰ به ۶۰۰ درجه سلسیوس افزایش و پس از آن با افزایش دما از ۶۰۰ به ۸۰۰ درجه سلسیوس اندکی کاهش پیدا کرد. افزایش سطح ویژه در دمای زیاد به خاطر تجزیه ترکیبات اصلی شلتوک برنج و تولید مقدار زیادی گاز فرار در طول فرآیند کربن‌سازی می‌باشد. مین و همکاران (۱۶) گزارش کردند که در دماهای کم پیرولیز، ساختار طبیعی حفره‌های بستر بدون نیاز به تغییر اساسی در ساختار مورفولوژیک آن، خروج گازهای حاصل از تجزیه بستر را امکان‌پذیر می‌سازد. درحالی‌که در دمای زیاد پیرولیز، تولید حجم زیادی از مواد فرار در زمان کم باعث ایجاد تخلخل جدید در سطح بستر می‌شود.

پتانسیل جاذب‌های کربنی به سطح ویژه، توزیع اندازه حفره‌ها و مشخصات شیمیایی سطح آنها بستگی دارد. طبق



شکل ۱. ایزوترم جذب/ واجذب گاز نیتروژن برای زغال شلتوک تهیه شده در دماهای مختلف: ADS جذب و DES واجذب

شکل ۲. طیف FTIR برای جاذب‌های مختلف

جدول ۳. ظرفیت جذب زغال شلتوک برنج تهیه شده در دماهای مختلف کربن‌سازی

ظرفیت جذب (mg/g)								جاذب	هدایت الکتریکی (dS/m)
سولفات	کربنات	بی کربنات	کلر	منیزیم	کلسیم	سدیم	پتاسیم		
۱۰/۷a	۰a	۶/۳a	۸۳/۷a	۱/۵a	۱/۶a	۵۹/۴a	-۲/۹a*	RHB4	۲۵
۶۶/۸b	-۲/۲b	۱۰/۷b	۱۱۸/۴b	۳/۱b	۲/۱a	۱۰۶/۱b	-۴/۱b	RHB6	
۳۹/۹b	-۵/۶c	۱۷/۶c	۹۹/۲c	۱c	۱/۷a	۸۴/۶c	-۳/۳c	RHB8	
۸a	۰a	۷/۵a	۳۴/۸a	۰/۶a	۰/۸a	۲۹/۳a	-۳/۲a	RHB4	۱۵
۱۶/۷bc	-۰/۸b	۴b	۶۹/۸b	۰/۹a	۲/۴b	۵۳/۱b	-۴/۸b	RHB6	
۱۰/۱ac	-۱/۱b	۴/۸b	۵۸/۱c	۲/۴b	۰/۹a	۴۰/۷c	-۴c	RHB8	
۲/۴a	۰a	۴/۴a	۱۴/۹a	۱/۳a	۱/۱a	۱۰/۳a	-۲/۳a	RHB4	۵
۷/۴ac	-۲/۲b	۸/۴b	۱۶a	۱/۹b	۰/۹a	۱۳/۶b	-۴/۵b	RHB6	
۱۲/۵bc	-۲/۱b	۴/۴a	۱۱/۴b	۱/۲a	۱/۸b	۱۱/۵a	-۳/۷c	RHB8	

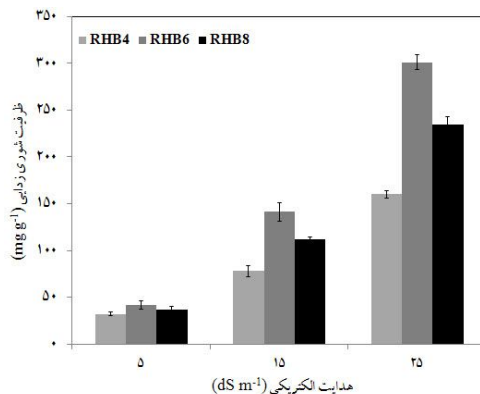
\*: حروف لاتین مشابه در هر ستون برای هدایت الکتریکی یکسان، نشان عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

افزایش دما کاهش پیدا کرده است (۱).

### ظرفیت شوری‌زدایی

ظرفیت جذب یون‌های عامل شوری از آب با شوری‌های ۵، ۱۵ و ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر برای سه جاذب RHB4، RHB6 و RHB8 در جدول ۳ آورده شده است. جاذب‌های کربنی به دلیل خاصیت آمفوترماتیک قادر به جذب هر دو نوع یون آنیونی و کاتیونی می‌باشند. در هر سه جاذب، میزان ظرفیت جذب کلر و

گروه‌های هیدروکسیل است که امکان تشکیل پیوند هیدروژنی ضعیف را می‌دهد (۱). کاهش نسبی شدت این پیک با افزایش دما مشاهده می‌شود. باندهای قوی در  $470\text{ cm}^{-1}$  و  $1098\text{ cm}^{-1}$  مربوط به Si-O است که به خاطر وجود ترکیبات سیلیس در شلتوک برنج است (۱۰). حضور باند در طول موج  $1380\text{ cm}^{-1}$  حضور  $\text{CH}_2$  را نشان می‌دهد. تغییری در شدت این باند با تغییرات دمای کربن‌سازی مشاهده نشد. پیک مشاهده شده در  $1600\text{ cm}^{-1}$  مربوط به  $\text{C}=\text{C}$  ارتعاشی خمشی است که با



شکل ۳. ظرفیت شوری‌زدایی زغال زیستی در هدایت الکتریکی‌های مختلف

برای RHB6 در مقایسه با دو جاذب دیگر بیشتر است. ژانگ و همکاران (۲۴) افزایش جذب علف‌کش سیمازین توسط زغال زیستی تهیه شده از کاه ذرت (در دماهای مختلف ۱۰۰ تا ۶۰۰ درجه سلسیوس) را با افزایش دمای پیرولیز گزارش کردند.

ظرفیت جذب به عوامل متعددی مانند بار سطح، گروه‌های عاملی و ساختار حفره‌های جاذب بستگی دارد. بنابراین پیش‌بینی دقیق فرآیند جذب برای اغلب جاذب‌های کربنی پیچیده است. همان‌طور که در جدول ۲ آورده شده است پ-هاش بار صفر هر دو جاذب RHB6 و RHB4 از پ-هاش آب شور (۸/۲) کمتر است و نشان می‌دهد بار سطحی هر دو جاذب در شرایط آزمایش منفی و بار خالص سطحی RHB8 مثبت است. نیروی الکترواستاتیک بین آنیون‌های موجود در آب و بار مثبت RHB8، جذب سطحی آنیون‌ها را میسر می‌کند. درحالی‌که جاذب‌های RHB4 و RHB6 تمایل بیشتر به حذف کاتیون‌ها دارند.

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد دمای پیرولیز گروه‌های عاملی سطح را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج آنالیز طیف FTIR نشان داد شدت گروه‌های عاملی جاذب‌ها کم است و با افزایش دمای کربن‌سازی نیز کاهش می‌یابد. بنابراین انتظار می‌رود اهمیت فرآیند تبادل یونی با افزایش دمای کربن‌سازی کاهش یابد.

سدیم نسبت به سایر یون‌ها بیشتر است. برای آب با شوری ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر غلظت اولیه یون سدیم حدود ۳۴۰، ۲۱ و ۹ برابر بیشتر از غلظت اولیه کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم می‌باشد. غلظت اولیه یون کلر حدود ۲۷ و ۳ برابر بیشتر از غلظت اولیه آنیون‌های بی‌کربنات و سولفات می‌باشد. از دلایل ظرفیت جذب بیشتر جاذب‌ها برای یون‌های ذکر شده می‌توان به نیروی جذب قوی‌تر به علت گرادیان غلظت بیشتر اشاره کرد که امکان مهاجرت بیشتر یون‌ها را از محلول به سطح جاذب فراهم می‌کند. ظرفیت جذب یون‌های سدیم و کلر جاذب RHB6 به‌طور معنی‌داری نسبت به دو جاذب دیگر بیشتر است که نشان می‌دهد این جاذب از قدرت شوری‌زدایی بالاتری برخوردار است. جاذب‌های RHB4، RHB6 و RHB8 میزان TDS آب را از ۲۰۳۴۵ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب به ۱۸۷۴۱، ۱۷۳۳۴ و ۱۷۹۹۵ میلی‌گرم بر لیتر کاهش دادند.

ظرفیت شوری‌زدایی زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای مختلف، برای سه شوری متفاوت در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد ظرفیت شوری‌زدایی جاذب به میزان EC اولیه آب بستگی دارد. دامنه تغییرات ظرفیت شوری‌زدایی برای جاذب‌های RHB4، RHB6 و RHB8 به ترتیب ۳۲/۱ تا ۱۶۰/۴، ۴۱/۵ تا ۳۰۱/۱ و ۳۶/۹ تا ۲۳۵ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد. در غلظت‌های کم، ظرفیت جذب کم است و با افزایش میزان املاح، ظرفیت جذب هر جاذب به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. شیب این تغییرات

درجه سلسیوس برای تهیه زغال زیستی استفاده گردید. نتایج نشان داد که دمای زیاد تأثیر مثبتی بر ساختار توسعه حفره‌ها و افزایش سطح ویژه دارد.

توانایی زغال‌های شلتوک برنج در شوری‌زدایی آب آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت. جاذب RHB6 با ظرفیت شوری‌زدایی ۳۰۱/۱ میلی‌گرم بر گرم از آب با شوری ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر مؤثرترین جاذب نسبت به دو جاذب دیگر بود. جاذب RHB6 بیشترین سطح ویژه و حجم حفره را در مقایسه با دو جاذب دیگر داشت.

نتایج این مطالعه نشان داد که با تبدیل مواد کم‌ارزشی مانند پسماندهای کشاورزی به مواد با ارزشی مانند زغال زیستی می‌توان مدیریت آنرا بهبود بخشید. با به‌کار بردن شلتوک برنج در پیش‌تصفیه آب شور می‌توان در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرده و هزینه‌ها را کاهش داد.

سطح ویژه و میزان تخلخل از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی جاذب‌های کربنی می‌باشند. همان‌طور که در جدول ۲ آورده شده است، سطح ویژه و توزیع اندازه حفره‌ها جاذب تحت تأثیر دمای پیرولیز قرار دارد. نتایج مطالعه، افزایش ظرفیت شوری‌زدایی جاذب را با افزایش سطح ویژه و حجم حفره‌ها نشان می‌دهد. جاذب RHB6 با سطح ویژه ۲۱۱/۳ متر مربع بر گرم و ۰/۱۱۴ سانتی‌متر مکعب بر گرم دارای بیشترین ظرفیت شوری‌زدایی نسبت به دو جاذب دیگر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد سطح ویژه و حجم حفره‌ها نقش مهمی را در جذب یون‌های عامل شوری بازی می‌کنند.

### نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بررسی قدرت شوری‌زدایی زغال زیستی تهیه شده از شلتوک برنج می‌باشد. از دماهای ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰

### منابع مورد استفاده

1. Acikalin, K., F. Karaca and E. Bolat. 2012. Pyrolysis of pistachio shell: Effects of pyrolysis conditions and analysis of products. *Fuel* 95: 169-177.
2. 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* 275: 217-223.
3. Brunauer, S., P. H. Emmett and E. Teller. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Am. Chem. Soc.* 60: 309-319.
4. Cao, X., L. Ma, B. Gao and W. Harris. 2009. Dairy- manure derived biochar effectively sorbs lead and artazine. *Enviro. Sci. Technol.* 43: 3285-3291.
5. Chan, K.Y. and Z. Xu. 2009. Biochar: Nutrient properties and their enhancement. PP. 67-84. *In: Lehmann, J. and S. Stephen (Eds.), Biochar for Environmental Management Science and Technology*, Earthscan Publishing, UK.
6. Chen, J. P. and M. Lin. 2001. Equilibrium and kinetics of metal ion adsorption onto a commercial H-type granular activated carbon: Experimental and modeling studies. *Water Res.* 35: 2385-2394.
7. Gani, A. and I. Naruse. 2007. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. *Renewable Energy* 32: 649-661.
8. 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: 245-251.
9. Greenberg, A. E., L. S. Clasceri and A. D. Eaton. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, Washington DC.
10. Guo, Y. and D. A. Rockstraw. 2007. Activated carbons prepared from rice hull by one-step phosphoric acid activation. *Micropor. Mesopor. Mat* 100: 12-19.
11. Keiluweit, M., P. S. Nico, M. G. Johnson and M. Kleber. 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environ. Sci. Technol.* 44: 1247-1253.
12. Kolodynska, D., R. Wnetrzak, J. J. Leahy, M. H. B. Hayes, W. Kwapi ski and Z. Hubicki. 2012. Kinetic and adsorptive characterisation of biochar in metal ions removal. *Chem. Eng. J.* 197: 295-305.
13. Laird, D., P. Fleming, B. Wang, R. Horton and D. Karlen. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158: 436-442.

14. Lian, F., F. Huang, W. Chen, B. Xing and L. Zhu. 2011. Sorption of apolar and polar organic contaminants by waste tire rubber and its chars in single- and bi-solute systems. *Environ. Pollution* 159: 850-857.
15. Lua, A. C. and J. Guo. 2000. Activated carbon prepared from oil palm stone by one-step CO<sub>2</sub> activation for gaseous pollutant removal. *Carbon* 38: 1089-1097.
16. Min, F., M. Zhang, Y. Zhang, Y. Caoi and W.P. Pan. 2011. An experimental investigation into the gasification reactivity and structure of agricultural waste chars. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 92: 250-257.
17. Reinoso, R. F., M. J. M. Martinez and M. M. Sabio. 1985. A comparison of the porous texture of two CO<sub>2</sub> activated botanic materials. *Carbon* 23: 19-24.
18. Tanwar, B. S. 2003. Saline water management for irrigation, International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), New Dehli, India.
19. Valix, M., W. H. Cheung and G. McKay. 2004. Preparation of activated carbon using low temperature carbonisation and physical activation of high ash raw bagasse for acid dye adsorption. *Chemosphere* 56: 493-501.
20. World Resources Institute (WRI). 1994. A Guide to the Global Environment. Oxford Univ. Press, New York.
21. Yao, Y., B. Gao, M. Inyang, A.R. Zimmerman and X. Cao. 2011. Biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings: Characterization and phosphate removal potential. *Bioresour. Technol.* 102: 6273-6278.
22. Yuan, J. H., R. K. Xua and H. Zhang. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresour. Technol.* 102: 3488-3497.
23. Zehtabian, G., H. Khosravi and M. Ghodsi. 2010. High demand in a land of water scarcity: Iran. PP. 75-86. *In: Schneier- Madanes, G. and M. F. Courel (Eds.), Water and Sustainability in Arid Regions, Springer, London, New York.*
24. Zhang, G., Q. Zhang, K. Sun, X. Liu, W. Zheng and Y. Zhao. 2011. Sorption of simazine to corn straw biochars prepared at different pyrolytic temperatures. *Environ. Pollution* 159: 2594-2601.
25. Zheng, W., M. Guo, T. Chow, D. N. Bennett and N. Rajagopalan. 2010. Sorption properties of greenwaste biochar for two triazine pesticides. *J. Hazard. Mater.* 181: 121-126.