

## بررسی جذب فنل از محلول های آبی با استفاده از پوست کربنه شده درخت سنجد و اصلاح شده با نانو ذرات اکسید روی

رسول خسروی<sup>۱</sup>، مهدی فضل زاده<sup>۲\*</sup>، زهرا صمدی<sup>۳</sup>، حکیمه مصطفوی<sup>۳</sup>، علی اکبر تقی زاده<sup>۴</sup>، حدیقه دری<sup>۵</sup>

۱. مربی، عضو مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، عضو گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند  
 ۲. عضو هیئت علمی، گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل ۳. دانشجوی کارشناسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند ۴. کارشناس بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند ۵. کارشناس آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند

\* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۴۵۱۵۵۱۳۴۲۸ فکس: ۰۴۵۱۵۵۱۲۰۰۴ ایمیل: m.fazlzadeh@gmail.com

### چکیده

**زمینه و هدف:** فنل و مشتقاتش در فاضلاب های صنایع مختلفی از قبیل پالایشگاه های نفت، کوره های زغال سنگ، کک سازی ها، کارخانه های پتروشیمی و صنایع تولید رزین و پلاستیک حضور دارند. این ماده برای انسان و محیط زیست بسیار سمی می باشد. یکی از روش های حذف فنل از محلول های آبی استفاده از فرآیند جذب می باشد. امروزه یکی از جاذب های مورد توجه خاص زائدات کشاورزی می باشند، بنابراین هدف از این تحقیق استفاده از کربن پوست درخت سنجد (CSB) و همچنین کربن اصلاح شده آن با نانو ذرات اکسید روی (ZnO/CSB) به دلیل فراوانی این ماده زائد در منطقه بوده است.

**روش کار:** این مطالعه نوعی مطالعه بنیادی کاربردی است که به صورت ناپیوسته انجام شد. در این مطالعه جاذب در دمای ۵۰۰ درجه به ۲ مدت ساعت کربنه شد و برای اصلاح آن با نانو ذرات اکسید روی از روش غوطه وری استفاده گردید. جهت تهیه غلظت های مورد نیاز از حل کردن فنل کریستالی در آب مقطر استفاده شد. آزمایشات در ارن های به حجم ۱۰۰ سی سی بر روی شیکر انجام شد و اثر متغیرهای مختلف pH، زمان واکنش، دوز جاذب، غلظت فنل اولیه و سرعت اختلاط مورد بررسی قرار گرفت. اندازه گیری فنل به روش اسپکتروفتومتری ۴-آمینو آنتی پیرین بر اساس روش های ارایه شده در کتاب روش های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب بود و تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار Excel صورت گرفت.

**یافته ها:** pH بهینه جذب برای هر دو جاذب ۲ به دست آمد و بهترین شرایط برای هر دو جاذب در غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر با دوز ۱ گرم بر لیتر جاذب و سرعت اختلاط ۲۰۰ دور بر دقیقه به دست آمد.

**نتیجه گیری:** با توجه به نتایج مشخص شد که نانو ذرات اکسید روی تثبیت شده بر روی جاذب، سبب افزایش ظرفیت جذب گردیده است.

**واژه های کلیدی:** فنل، زائدات کشاورزی، نانو ذرات، تصفیه

پذیرش: ۹۱/۱۲/۹

دریافت: ۹۱/۸/۱۷

سطحی و زیرزمینی به مواد شیمیایی آلی و غیر آلی مختلفی از قبیل ترکیبات فنلی، رنگ ها و فلزات سنگین می باشد (۱) به دلیل سمی بودن فنل حتی

### مقدمه

یکی از پیامدهای توسعه سریع صنایع، تولید حجم زیاد فاضلاب و در نتیجه آلوده شدن منابع آب های

در غلظت‌های کم و همچنین به دلیل اینکه حضور آن در منابع طبیعی آب می‌تواند سبب شکل‌گیری ترکیبات جانبی فرآیندهای گندزدایی و اکسیداسیون شود، این ماده یکی از شایع‌ترین مواد آلی آلاینده آبی می‌باشد. به طور معمول سالانه حدود ۶ میلیون تن فنل در سراسر جهان تولید می‌شود (۲). فنل و مشتقاتش در فاضلاب‌های صنایع مختلفی از قبیل پالایشگاه‌های نفت ( $500-600 \text{ mg/L}$ )، کوره‌های زغال سنگ ( $6800-9000 \text{ mg/L}$ )، کک‌سازی‌ها ( $280-3900 \text{ mg/L}$ )، کارخانه‌های پتروشیمی ( $2/8-1220 \text{ mg/L}$ ) (۲)، رزین و پلاستیک، فرآیندهای تولید روغن زیتون، کارخانه‌های پارچه و چرم، فرآیندهای ریخته‌گری، کارخانه‌های کاغذ و خمیر کاغذ و کارخانه‌های بازیافت کائوچو حضور دارند. فنل عمدتاً از طریق تخلیه فاضلاب‌های این صنایع وارد محیط می‌شود و از آنجایی که یک ترکیب سمی است می‌تواند اثرات مضر برای سلامت انسان و محیط داشته باشد (۳). فنل قابل حل در آب بوده و به راحتی قابل جابجایی است، که این امر احتمال وارد شدن آن را به منابع آبی پایین دست تخلیه‌ها، بسیار بالا می‌برد (۴). استفاده از آب آلوده شده به فنل سبب تجزیه پروتئین، خوردگی بافت‌ها، ناتوانی سیستم عصبی مرکزی و همچنین آسیب به کلیه، جگر و پانکراس بدن انسان می‌شود. بر اساس پیشنهاد WHO، غلظت مجاز مشتقات فنلی در آب آشامیدنی ۱ میکروگرم بر لیتر می‌باشد (۱). فنل حتی با غلظت‌های کم (مثلاً  $25-50 \text{ mg/L}$ ) می‌تواند به زندگی ماهی‌ها آسیب برساند (۵). بنابراین به منظور حفظ و کنترل سلامت انسان و محیط در مقابل اثرات مضر فنل، ضروری است که فاضلاب‌های حاوی این ترکیبات سمی قبل از تخلیه به محیط با یک فرآیند موثر و کارآمد تصفیه گردند (۶). گاهی روش‌های متعارف تصفیه فاضلاب برای تصفیه موثر آلاینده‌های آلی مقاوم دچار مشکل می‌شوند (۷) بنابراین روش‌های تصفیه

زیادی از قبیل جذب سطحی، اکسیداسیون شیمیایی، اکسیداسیون فتوکاتالیستی، اکسیداسیون الکتروشیمی، اکسیداسیون مرطوب با پراکساید و فرآیند ازن‌زنی برای حذف فنل از آب‌های آلوده توسعه یافته است (۸،۹). یکی از جاذب‌های پرکاربرد برای اکثر آلاینده‌ها، کربن فعال می‌باشد، جذب مواد آلی بر روی کربن فعال در مطالعات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است که رفتار جذب عمدتاً وابسته به مشخصات کربن فعال، خصوصیات مولکولی مواد آلی و شرایط بهره‌برداری از فرآیند جذب می‌باشد. مشخصات کربن فعال از قبیل سطح ویژه، ساختار سطح و گروه‌های عاملی موجود نقش مهمی را در فرآیند جذب بازی می‌کنند (۱۰). اما به دلیل هزینه نسبتاً بالای کربن فعال، امروزه استفاده از سایر جاذب‌ها مورد توجه قرار گرفته است (۱۱). از جمله این مواد می‌توان به خاکستر ساقه چغندر (۱۲)، کیتین (۱۳)، خاک اصلاح شده (۱۴)، بنتونیت و کائولیت اصلاح شده (۱۵)، کلینوپتیلولایت طبیعی و اصلاح شده (۱۶)، زئولیت طبیعی (۱۷) و خاکستر پوسته برنج (۱۸) اشاره نمود. امروزه استفاده از نانوذرات برای افزایش کارایی جاذب‌ها مورد توجه خاصی قرار گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان استفاده از نانوذرات آهن و کاربید بر روی کربن برای حذف آرسنیک (۱۹) را نام برد. با توجه به بررسی منابع علمی مشخص شد که تاکنون در زمینه جذب فنل با استفاده از کربن پوست درخت سنجد و کربن اصلاح شده آن با نانو ذرات اکسید روی انجام نشده است. درخت سنجد در مناطق اطراف شهرستان بیرجند به وفور یافت می‌شود و به دلیل خشکسالی در سال‌های اخیر درختان زیادی خشک شده‌اند. این درخت دارای پوستی ضخیم بوده که پس از خشک شدن خود به خود از چوب تنه درخت جدا شده و به راحتی کنده می‌شود. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی کارایی جذب فنل توسط

این ماده زائد کشاورزی ارزان قیمت بوده است. با توجه به اینکه فنل ماده‌ای آلی است، پودر خام پوست درخت نیز ماده آلی به محلول اضافه می‌کند و از طرفی پودر خام حاصل از پوست درخت ایجاد رنگ زردی می‌نماید که در اندازه‌گیری فنل تداخل ایجاد می‌کند، از کربن این جذب استفاده شده است و با توجه به مطالعات انجام شده مشخص شد که استفاده از نانوذرات بر روی جاذب‌ها به منظور افزایش کارایی فرآیند جذب استفاده می‌شود و یکی از این نانوذرات اکسید روی می‌باشد. در این تحقیق اثر نانوذرات اکسید روی نیز بر روی راندمان جذب پوست کربنه شده مورد بررسی قرار گرفته است.

## روش کار

### آماده سازی جاذب و تعیین مشخصات آن

این مطالعه نوعی مطالعه بنیادی کاربردی است که بصورت ناپیوسته در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. در ابتدا پوست درخت سنجد از مناطق اطراف شهرستان بیرجند جمع‌آوری گردید. درختانی مورد استفاده قرار گرفتند که تحت تاثیر خشکسالی، خشک شده بودند. پوست درخت به تکه‌های کوچکی تقسیم شده و توسط آب مقطر دوبار تقطیر شده چندین مرتبه شستشو و آبکشی گردید تا آلودگی‌های روی آن حذف گردد. سپس در داخل آون در درجه حرارت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا رطوبت آن گرفته شود. پس از آن پوست‌های خشک شده، توسط آسیاب کاملاً پودر شد. برای کربنه کردن پودر تهیه شده، مقدار مورد نظر از آن در داخل بوته چینی به کوره انتقال داده شد، دمای کوره روی ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم و پس از ۲ ساعت خاموش گردید. اجازه داده شد تا جاذب در درون کوره باقی بماند تا کاملاً سرد گردد. در این مرحله پودر حاصل کربنه شد و در درون ظرف

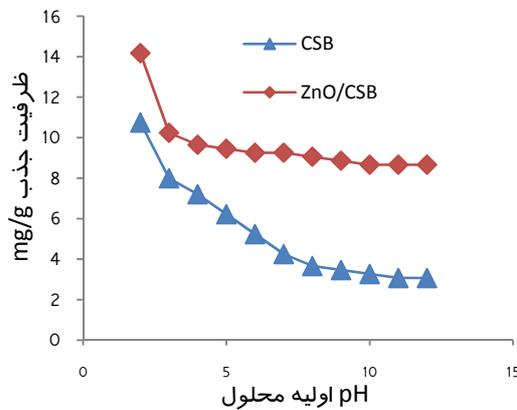
پلی اتیلنی به دور از رطوبت ذخیره شد تا در زمان شروع آزمایشات مورد استفاده قرار گیرد. برای نشان دادن نانو ذرات اکسید روی (با اندازه ۲۵ نانومتر) بر روی جاذب مورد نظر، از روش غوطه‌وری استفاده شد. به این ترتیب که مقدار ۵۰۰ سی سی از آب مقطر دوبار تقطیر شده در داخل بشری ریخته شده و به آن ۱ گرم از نانوذرات اکسید روی اضافه گردید و به مدت نیم ساعت با دور ۳۰۰۰rpm مخلوط شد. سپس مقدار ۱۰۰ گرم از پودر آماده شده (کربنه نشده) به محلول اضافه شده و به مدت یک ساعت مخلوط گردید تا مخلوط کاملاً همگن گردد. سپس پودر آماده شده در این مرحله به مدت ۲۴ ساعت در آون در حرارت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا رطوبت آن گرفته شود. پس از آن پودر خشک شده دقیقاً مشابه کربنه کردن پوست اصلاح نشده به داخل کوره انتقال داده شد تا نانوذرات اکسید روی بر روی آن تثبیت گردد و پوست کربنه شده اصلاح شده با نانو ذرات اکسید روی تهیه گردد. در ابتدای کار pHzpc جاذب‌ها تعیین گردید تا بار جاذب‌ها در pHهای مختلف محیط تعیین گردد و برای تعیین وجود و درصد نانوذره اکسید روی بر روی جاذب کربنه شده از آزمایش XRF استفاده شد.

### روش آزمایش

این مطالعه تجربی بوده و به صورت ناپیوسته در ارلن‌هایی به حجم ۱۰۰ سی سی بر روی شیکر انجام گرفت. برای تهیه غلظت‌های مختلف فنل از محلول استوک ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر استفاده شد و محلول استوک با حل کردن ۱ گرم فنل کریستالی در آب مقطر آماده سازی شد.

برای انجام آزمایش‌ها ابتدا مقدار ۵۰ cc نمونه با غلظت مشخص توسط استوانه مدرج برداشته و داخل ارلن ریخته شد، در صورت نیاز به تنظیم pH، با استفاده از HCl و NaOH یک نرمال، pH تنظیم

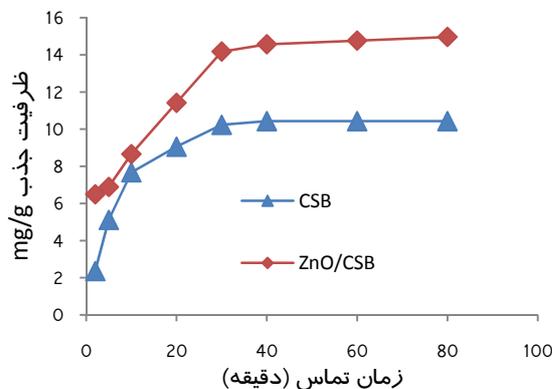
که در  $pH=9$  به  $8/85$  میلی گرم بر گرم کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ظرفیت جذب ZnO/CSB در  $pH$  ۲ حدود  $3/4$  میلی گرم بر گرم در شرایط مشابه از CSB بیشتر می‌باشد.



شکل ۱. اثر  $pH$  اولیه محلول بر روی ظرفیت جذب فنل توسط CSB و ZnO/CSB

#### اثر زمان تماس

همانطور که در شکل ۲ مشخص است با افزایش زمان تماس ظرفیت جذب فنل توسط هر دو جاذب افزایش می‌یابد. به طوری که ظرفیت جذب برای CSB و ZnO/CSB در زمان تماس ۲ دقیقه به ترتیب برابر با  $2/36$  و  $6/49$  میلی گرم بر گرم بوده است و با افزایش زمان تماس به ۳۰ دقیقه ظرفیت جذب برای این دو جاذب به ترتیب به  $10/23$  و  $14/17$  میلی گرم بر گرم افزایش یافته است. در زمان ۳۰ دقیقه ظرفیت جذب ZnO/CSB حدود  $3/8$  میلی گرم بر گرم بیشتر می‌باشد.



شکل ۲. اثر زمان تماس بر روی ظرفیت جذب فنل توسط CSB و ZnO/CSB

شد. سپس دوز مشخصی از جاذب وزن شده و به نمونه داخل ارلن اضافه گردید و بی درنگ بر روی شیکر گذاشته و سرعت اختلاط تنظیم شد. پس از زمان تماس موردنظر، نمونه از روی شیکر برداشته شده و از کاغذ صافی عبور داده شد. نمونه صاف‌شده جهت سنجش مقدار فنل باقی‌مانده مورد استفاده قرار گرفت. مهمترین متغیرهای مورد بررسی در این آزمایش،  $pH$  اولیه محلول با دامنه ۱۲-۲، دز جاذب  $0.5-4$  g/L، زمان واکنش ۲-۸۰ دقیقه، و غلظت اولیه فنل  $100-25$  mg/L و سرعت هم‌زدن ۳۰-۵۰۰ دور بر دقیقه (۳۰۰ rpm) و ۲۰۰-۱۵۰-۱۰۰-۵۰) بوده است. برای اطمینان از تکرار نتایج، هر مرحله از آزمایش دو تا ۳ بار تکرار و میانگین نتایج گزارش گردید.

#### روش‌های آنالیز

در این تحقیق جهت سنجش مقدار فنل از روش رنگ سنجی ۴-آمینو آنتی پیرین با استفاده از اسپکتروفوتومتر T80 UV/VIS Spectrometer در طول موج ۵۰۰ نانومتر بر اساس روش‌های ارایه شده در کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب (۲۰) استفاده شد. تمام مواد مورد استفاده در این آزمایش محصول شرکت مرک بود و تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم افزار Excel انجام شد.

#### یافته‌ها

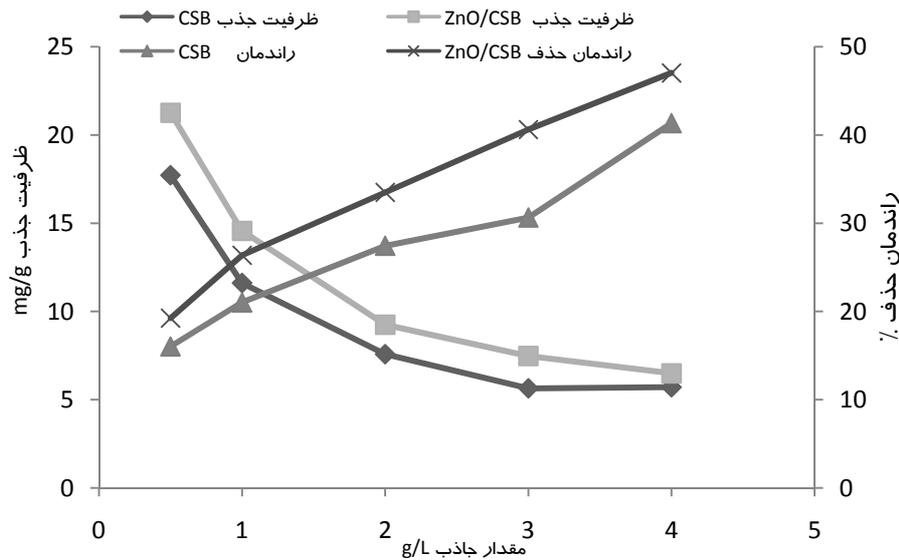
##### اثر $pH$ اولیه محلول

با توجه به شکل ۱ مشخص می‌شود که بهترین  $pH$  برای هر دو جاذب ۲ به دست آمده و با افزایش  $pH$  ظرفیت جذب کاهش می‌یابد. به طوری که ظرفیت جذب CSB در  $pH$  ۲ برابر با  $10/74$  میلی گرم بر گرم بوده و با افزایش  $pH$  به ۱۰، ظرفیت جذب به  $3/26$  میلی گرم بر گرم کاهش یافته است. ظرفیت جذب برای ZnO/CSB نیز در  $pH$  برابر با ۲ حدود  $14/17$  میلی گرم بر لیتر بوده

## اثر مقدار جاذب

با توجه به شکل ۳ با افزایش مقدار جاذب، ظرفیت جذب به طور چشمگیری کاهش پیدا می‌کند به طوری که برای دز جاذب ۰/۵ گرم بر لیتر ظرفیت جذب برای CSB و ZnO/CSB به ترتیب برابر با ۱۷/۷۱ و ۲۱/۲۵ میلی‌گرم بر گرم می‌باشد و با

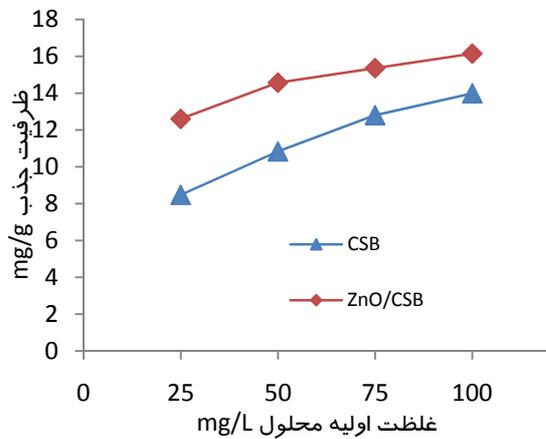
افزایش مقدار جاذب به ۴ گرم بر لیتر، ظرفیت جذب به ترتیب به ۵/۷ و ۶/۵ میلی‌گرم بر گرم کاهش یافته است. اما با افزایش مقدار جاذب راندمان حذف افزایش یافته است.



شکل ۳. اثر مقدار جاذب بر روی ظرفیت جذب و راندمان حذف فنل توسط CSB و ZnO/CSB

## اثر غلظت اولیه محلول

همان‌طور که در شکل ۴ مشخص شده است، با افزایش غلظت اولیه فنل، ظرفیت جذب برای هر دو جاذب افزایش یافته است. ظرفیت جذب برای CSB در غلظت اولیه ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر فنل برابر با ۸/۴۷ میلی‌گرم بر گرم به دست آمده که با افزایش غلظت فنل به ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، ظرفیت جذب به ۱۳/۹۸ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته است. همین روند برای ZnO/CSB نیز قابل مشاهده می‌باشد، به طوری که ظرفیت جذب در غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر فنل برابر با ۱۲/۵۹ میلی‌گرم بر گرم و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ۱۶/۱۴ میلی‌گرم بر گرم رسیده است.



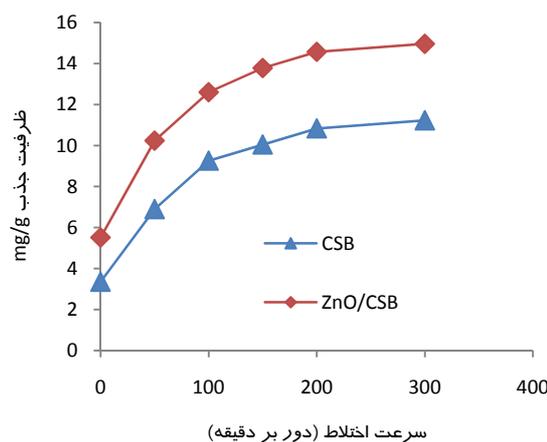
شکل ۴. اثر غلظت اولیه محلول بر روی ظرفیت جذب فنل توسط CSB و ZnO/CSB

## اثر سرعت اختلاط

با توجه به شکل ۵ مشخص می‌شود که با افزایش سرعت اختلاط ظرفیت جذب برای هر دو جاذب افزایش یافته است. به طوری که ظرفیت جذب در سرعت اختلاط صفر، برای CSB و ZnO/CSB به

به طور ناگهانی کاهش یافته است. در pHهای بالا یونیزاسیون فنل اتفاق افتاده و سبب افزایش OH<sup>-</sup> در محیط می‌شود و از طرفی بار جاذب نیز منفی بوده که این امر سبب افزایش نیروی دافعه بین جاذب و فنل می‌گردد (۱) نتایج تحقیق بین و همکاران (۲۰۱۰) نیز نتایج این آزمایش را تایید می‌کند (۲۲) یکی دیگر از پارامترهای اثرگذار بر روی فرآیند جذب، مدت زمان تماس جاذب با ماده جذب شونده می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که در ۱۰ دقیقه اول زمان تماس، جذب فنل با سرعت انجام شده است اما با افزایش زمان به ۳۰ دقیقه افزایش جذب به طور ملایم‌تری انجام شده است. در دقایق اولیه فرآیند، محل‌های موجود بر روی جاذب به سرعت با فنل برخورد کرده و سبب جذب آن می‌شود و با کم شدن جایگاه‌های جذب سطحی، فنل به صورت چند لایه‌ای و یا به صورت نفوذ به حفره‌های درونی جاذب، جذب می‌شود و این عمل سبب کم شدن سرعت جذب می‌شود (۲۳) در این تحقیق با افزایش زمان تماس به ۸۰ دقیقه مقدار جذب افزایش چندانی را نشان نداد که مشخص می‌شود جاذب به حالت تعادل خود نزدیک شده و دیگر واکنشی جذبی در بین فنل و جاذب‌ها انجام نمی‌شود. اما به طور کلی مشخص شد که با افزایش زمان تماس ظرفیت جذب روندی افزایشی داشته است. دلیل این امر این است که با افزایش زمان تماس، فرصت بیشتری در اختیار جاذب و جذب شونده قرار گرفته تا عمل جذب بهتر صورت گیرد. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق حمید و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد (۲۴). با افزایش دوز جاذب ظرفیت جذب کاهش یافته و راندمان حذف افزایش یافته است. دلیل افزایش راندمان حذف با افزایش دوز جاذب، بیشتر شدن محل‌های در دسترس جاذب برای فنل موجود در محلول می‌باشد. با افزایش مقدار جاذب، محل‌های بیشتری در اختیار فنل قرار گرفته و بنابراین مقدار فنل بیشتری جذب می‌شود اما با افزایش مقدار جاذب،

ترتیب برابر با ۳/۳۵ و ۵/۵۱ میلی گرم بر گرم به دست آمده و با افزایش سرعت به ۲۰۰ دور بر دقیقه، ظرفیت جذب به ترتیب به ۱۰/۸۳ و ۱۴/۵۶ میلی گرم بر گرم افزایش یافته است اما با افزایش سرعت به ۳۰۰ دور بر دقیقه افزایش چشمگیری در جذب فنل برای هیچکدام از جاذب‌ها مشاهده نشد.



شکل ۵. اثر سرعت اختلاط بر روی ظرفیت جذب فنل توسط CSB و ZnO/CSB

## بحث

یکی از مهمترین پارامترهای اثرگذار بر فرآیند جذب فنل، pH محیط است که به دلیل تاثیر بار الکتریکی جاذب و ماده جذب شونده در pHهای مختلف می‌باشد (۲۱). در این فرآیند با افزایش pH ظرفیت جذب کاهش چشمگیری را نشان داده است که نشان می‌دهد در pH برابر با ۲ ظرفیت جذب در بالاترین مقدار خود قرار دارد. در pHهای پایین بار جاذب‌ها مثبت بوده و یک تبادل الکترون در بین جاذب و حلقه آروماتیکی فنل در این pH رخ می‌دهد. در pHهای بسیار پایین یون‌های هیدروژن اطراف جاذب را احاطه کرده و سبب افزایش نیروی جذب بین جاذب و فنل می‌گردند. اما با افزایش pH این نیروی جذب‌کنندگی در بین جاذب و جذب شونده کمتر شده و به همین نسبت ظرفیت جذب نیز کاهش می‌یابد. نتایج تحقیق بصری و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که ظرفیت جذب فنل توسط بنتونیت آلی در pH ۱ تا ۹ تقریباً ثابت بوده است اما با افزایش pH از ۹ ظرفیت جذب

(۲۷) نیز چنین روندی را نشان داده است. یکی دیگر از پارامترهای موثر بر فرآیند جذب، سرعت اختلاط می‌باشد. با افزایش سرعت اختلاط ظرفیت جذب افزایش یافته است. با افزایش سرعت اختلاط، برخورد جذب شونده و جاذب سریع تر صورت گرفته و این عمل سبب تسریع عمل جذب می‌شود و به همین دلیل ظرفیت جذب نیز افزایش می‌یابد اما با افزایش سرعت اختلاط از ۲۰۰ دور بر دقیقه به ۳۰۰ دور بر دقیقه روند افزایشی چندان چشمگیر نیست. بنابراین نیازی به افزایش سرعت اختلاط از ۲۰۰ دور بر دقیقه وجود ندارد. در تمام طول آزمایش مشخص می‌شود که ظرفیت جذب ZnO/CSB بیشتر از ظرفیت جذب CSB می‌باشد. این مسئله نشان می‌دهد که نانو ذرات اکسید روی تثبیت شده بر روی CSB سبب افزایش ظرفیت جذب آن شده است. با توجه به نتایج آزمایش XRF که در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است مشخص می‌شود که اکسید روی بر روی CSB تثبیت شده است. نانو ذرات دارای نسبت سطح به حجم بالایی بوده و این امر سبب افزایش محل‌های فعال موجود بر روی جاذب گردیده است و همین امر سبب افزایش ظرفیت جذب نیز گردیده است.

جدول ۱. داده های حاصل از آزمایش XRF برای CSB

CSB	247-1 (%)	L.O.I.	MgO	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sr
		68.59	1.165	3.61	3.547	21.634	1.348	0.105

Traces: Na Al Ti Cr Ni Cu Zn Rb Ru Cs Gd

جدول ۲. داده های حاصل از آزمایش XRF برای ZnO/CSB

ZnO/CSB	247-2 (%)	L.O.I.	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zn	Sr
		77.08	2.252	2.192	13.353	1.002	4.034	0.087

Traces: Mg Al S Mn Ni Cu Ru Pd

ZnO/CSB برابر با ۱۴/۵۶ میلی‌گرم بر گرم می‌باشد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند انجام شده است.

نسبت ماده جذب شونده به ماده جاذب کاهش پیدا می‌کند، چرا که در این حالت غلظت ماده جذب شونده ثابت ولی مقدار جاذب افزایش می‌یابد و همین امر سبب کاهش ظرفیت جذب فنل با افزایش مقدار CSB و ZnO/CSB شده است. نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققین از جمله کومار و همکاران (۲۰۰۷) همخوانی دارد (۲۵). با افزایش غلظت اولیه فنل، ظرفیت جذب CSB و ZnO/CSB افزایش یافته است که این مسئله دقیقاً مخالف با اثر مقدار جاذب می‌باشد. در این حالت با افزایش غلظت فنل محلول، جرم جاذب ثابت بوده و نسبت غلظت فنل به جرم جاذب افزایش می‌یابد. در این صورت با وجود افزایش مقدار فنل، سرعت انتقال جرم فنل به محل‌های موجود بر روی جاذب‌ها افزایش یافته و سرعت نفوذ فنل نیز به محل‌های موجود داخلی جاذب نیز بیشتر می‌شود و این امر سبب افزایش ظرفیت جذب شده است. اما با افزایش غلظت فنل، راندمان حذف کاهش می‌یابد. که این مسئله به دلیل کاهش محل‌های در دسترس برای فنل اضافه شده می‌باشد. نتایج تحقیق دیگر محققین از جمله روستایی و همکاران (۲۰۰۵) (۲۶) و بنات و همکاران (۲۰۰۰)

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق مشخص شد که نانو ذرات اکسید روی تثبیت شده بر روی CSB می‌تواند سبب افزایش ظرفیت جذب گردد. بهترین pH برای جذب فنل، ۲ به دست آمده و مشخص شد که در شرایط بهینه ظرفیت جذب CSB برابر با ۱۰/۸۳ میلی‌گرم بر گرم و ظرفیت جذب

## References

1. Senturk HB, Ozdes D, Gundogdu A, Duran C, Soylak M. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption onto organomodified Tirebolu bentonite: Equilibrium, kinetic and thermodynamic study. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;172(1):353-62.
2. Busca G, Berardinelli S, Resini C, Arrighi L. Technologies for the removal of phenol from fluid streams: A short review of recent developments. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;160(2-3):265-88.
3. Moussavi G, Mahmoudi M, Barikbin B. Biological removal of phenol from strong wastewaters using a novel MSBR. *Water Research*. 2009;43(5):1295-302.
4. Wang L, Li Y, Yu P, Xie Z, Luo Y, Lin Y. Biodegradation of phenol at high concentration by a novel fungal strain *Paecilomyces variotii* JH6. *Journal of Hazardous Materials*. 2010;183(1-3):366-71.
5. Yan J, Jianping W, Hongmei L, Suliang Y, Zongding H. The biodegradation of phenol at high initial concentration by the yeast *Candida tropicalis*. *Biochemical Engineering Journal*. 2005;24(3):243-7.
6. Moussavi G, Barikbin B, Mahmoudi M. The removal of high concentrations of phenol from saline wastewater using aerobic granular SBR. *Chemical Engineering Journal*. 2010;158(3):498-504.
7. Yogeswary P, Yusof MRM, Amin NAS. Degradation of Phenol by Catalytic Ozonation. *Journal of Chemical and Natural Resources Engineering*. 2007;2: 34 – 46.
8. Qu X, Zheng J, Zhang Y. Catalytic ozonation of phenolic wastewater with activated carbon fiber in a fluid bed reactor. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2007;309(2):429-34.
9. He K, Dong YM, Li Z, Yin L, Zhang AM, Zheng YC. Catalytic ozonation of phenol in water with natural brucite and magnesite. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;159(2-3):587-92.
10. Liu Q-S, Zheng T, Wang P, Jiang J-P, Li N. Adsorption isotherm, kinetic and mechanism studies of some substituted phenols on activated carbon fibers. *Chemical Engineering Journal*. 2010;157(2-3):348-56.
11. Subramanyam B, Das A. Study of the adsorption of phenol by two soils based on kinetic and isotherm modeling analyses. *Desalination*. 2009;249(3):914-21.
12. Dursun G, Çiçek H, Dursun AY. Adsorption of phenol from aqueous solution by using carbonised beet pulp. *Journal of Hazardous Materials*. 2005;125(1-3):175-82.
13. Dursun AY, Kalayci ÇS. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on the adsorption of phenol onto chitin. *Journal of Hazardous Materials*. 2005;123(1-3):151-7.
14. Meng Z-F, Zhang Y-P, Zhang Z-Q. Simultaneous adsorption of phenol and cadmium on amphoteric modified soil. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;159(2-3):492-8.
15. Alkaram UF, Mukhlis AA, Al-Dujaili AH. The removal of phenol from aqueous solutions by adsorption using surfactant-modified bentonite and kaolinite. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;169(1-3):324-32.
16. Sprynskyy M, Ligor T, Lebedynets M, Buszewski B. Kinetic and equilibrium studies of phenol adsorption by natural and modified forms of the clinoptilolite. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;169(1-3):847-54.
17. Yousef RI, El-Eswed B, Al-Muhtaseb AaH. Adsorption characteristics of natural zeolites as solid adsorbents for phenol removal from aqueous solutions: Kinetics, mechanism, and thermodynamics studies. *Chemical Engineering Journal*. 2011;171(3):1143-9.
18. Kennedy LJ, Vijaya JJ, Kayalvizhi K, Sekaran G. Adsorption of phenol from aqueous solutions using mesoporous carbon prepared by two-stage process. *Chemical Engineering Journal*. 2007;132(1-3):279-87.
19. Gutierrez-Muñiz OE, García-Rosales G, Ordoñez-Regil E, Olguin MT, Cabral-Prieto A. Synthesis, characterization and adsorptive properties of carbon with iron nanoparticles and iron carbide for the removal of As(V) from water. *Journal of Environmental Management*. 2013;114(0):1-7.
20. APHA, AWWA, WEF. standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. American Public Health Association, Washington, DC. 2005.
21. Lin K, Pan J, Chen Y, Cheng R, Xu X. Study the adsorption of phenol from aqueous solution on hydroxyapatite nanopowders. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;161(1):231-40.

22. Yin J, Chen R, Ji Y, Zhao C, Zhao G, Zhang H. Adsorption of phenols by magnetic polysulfone microcapsules containing tributyl phosphate. *Chemical Engineering Journal*. 2010;157(2-3):466-74.
23. Mohd Din AT, Hameed BH, Ahmad AL. Batch adsorption of phenol onto physiochemical-activated coconut shell. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;161(2-3):1522-9.
24. Hameed BH, Rahman AA. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon prepared from biomass material. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;160(2-3):576-81.
25. Kumar A, Kumar S, Kumar S, Gupta DV. Adsorption of phenol and 4-nitrophenol on granular activated carbon in basal salt medium: Equilibrium and kinetics. *Journal of Hazardous Materials*. 2007;147(1-2):155-66.
26. Roostaei N, Tezel FH. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption. *Journal of Environmental Management*. 2004;70(2):157-64.
27. Banat FA, Al-Bashir B, Al-Asheh S, Hayajneh O. Adsorption of phenol by bentonite. *Environmental Pollution*. 2000;107(3):391-8.

# Investigation of Phenol Adsorption from Aqueous Solution by Carbonized Service Bark and Modified-Carbonized Service Bark by ZnO

Khosravi R<sup>1</sup>, Fazlzadeh M\*<sup>2</sup>, Samadi Z<sup>3</sup>, Mostafavi H<sup>3</sup>, Taghizadeh A.A<sup>4</sup>, Dorri H<sup>5</sup>

1. Member of Family Health and Environment Research Center, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran
2. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran
3. Student of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran
4. B.S of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran
5. Expert of water and wastewater laboratory, School of Public Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

## ABSTRACT

**Objective & Background:** Phenol and its derivatives are common organic pollutants existing in wastewater of many industries such as oil refineries, coal processing, coking operations, and petrochemical, resin, and plastic manufacturing industries. Phenol is very toxic for human and environment. Adsorption is one of the processes used to remove phenol from aqueous solution. At present, one of the most interested adsorbents is agricultural wastes. Thus, the aim of this study was application of carbonized service bark (CSB) and modified-carbonized services bark by ZnO nanoparticles (ZnO/CSB) due to the abundance of these wastes in the area studied.

**Methods:** This Applied fundamental study was performed in Batch system. The adsorbent was carbonized at 500 °C for 2 hours and soaking method was applied for their modification by ZnO nanoparticles. Required concentrations of phenol were prepared by dissolving crystalline phenol in double distilled water. All experiments were performed in 100 ml Erlenmeyer flasks on shaker and the effect of different parameters such as pH, contact time, adsorbent dosage, initial phenol concentration and mixing speeds were investigated. Phenol was measured by 4-aminoantipyrine colorimetric method according to standard methods for the examination of water and wastewater. Data were analyzed using Excel software.

**Results:** Maximum removal of phenol was observed at pH 2 for both adsorbents. The best condition for both adsorbents obtained in initial phenol concentration of 50 mg/l, adsorbent dose of 1 g/l and mixing speed of 200 rpm.

**Conclusion:** The results indicated that established ZnO on CSB may increase adsorption capacity and it can be used as an effective adsorbent for phenol removal.

**Key word:** Phenol; Agricultural Waste; Nanoparticle; Treatment.