

Evaluation of sugar bagasse efficiency in phenol removal from aqueous solutions

Ahmad Reza Yazdanbakhsh¹, Omran ShabanZadeh Seraji², Sima Elyasi³, Ismael Javadi⁴

1- Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- MSc, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

3- MSc, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

4- MSc, Department of Occupational Health and Safety, School of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

Abstract

Background and Aims: Phenolic compounds in water and wastewater not only have deleterious effects on human health and ecosystem, but also change water flavor. Various adsorbents have therefore been suggested for phenol removal from water. In this article, the adsorptive removal of phenol from aqueous solutions by sugar bagasse was investigated.

Material and Methods: Prepared bagasse was activated and certain amount of phenol was added on it, tubes were centrifuged in certain time intervals, then the bagasse removed from solution. Following adsorbent, the solution was centrifuged and the prepared bagasse were separated from the solution at certain time intervals. Residual solution was analyzed with UV spectrophotometer for remaining phenol concentrations. Data were analyzed using EXCEL 2010 and PRISM 6 software. All ethical issues have been considered throughout the study.

Results: The results showed that phenol adsorption by the sugar bagasse decreased with increase in pH and initial phenol concentration, while it was decreased with increase in adsorbent dose, contact time, and temperature. In 10 and 20 mg/L of phenol concentration, a high removal efficiency ($\geq 50\%$) was observed. The optimal condition adsorption of phenol were suitable pH=3, adsorbent dosage=2 g and contact = 50 min. The maximum adsorption capacity was also 16mg/g. Experimental data were analyzed with Freundlich and Langmuir isotherm models and the correlation coefficients were 0.9755 and 0.8359, respectively.

Conclusion: Bagasse, as a new adsorbent, could effectively remove phenol in optimal conditions. The adsorption isotherm was best fitted by Freundlich adsorption model.

Keywords: Bagasse, Adsorption, Phenol, Aqueous solution

*Corresponding author: Department of Environmental health, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran.

Email: elyasi.ehe@gmail.com

Received: 22 Mar 2017

Accepted: 17 Jun 2017

بررسی کارایی باگاس نیشکر جهت حذف فنول از محلول های آبی

احمدرضا یزدانبخش^۱، عمران شعبان زاده سراجی^۲، سیما الیاسی^{۳*}، اسماعیل جوادی^۴

۱- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۴- دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

چکیده

اهداف و زمینه: ترکیبات فنولیک موجود در آب دارای اثرات زیان آور برای سلامتی و محیط زیست بوده و مزه ناخوشایندی در آب آشامیدنی ایجاد می‌کند، به همین جهت جذب‌های متعددی برای حذف فنول از آب پیشنهاد شده است. هدف این مطالعه بررسی کارایی باگاس نیشکر جهت حذف فنول از محلول‌های آبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: باگاس تهیه شده پس از آماده سازی و اضافه نمودن مقادیر مشخص فنول، در بازه‌های زمانی معین توسط ساتریفیوژ از محلول جدا شده و میزان جذب محلول باقیمانده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. تحلیل داده‌ها بوسیله نرم افزارهای EXCEL2010 و PRISM6 صورت گرفت. موازین اخلاقی مربوط به روش کار و استفاده از منابع رعایت گردید.

یافته‌ها: با افزایش pH و غلظت اولیه فنول راندمان جذب کاهش یافت. همچنین با افزایش مقدار جاذب و مدت زمان تماس راندمان جذب افزایش یافت. شرایط بهینه برای حذف فنل pH برابر ۳، غلظت باگاس ۲ g/L و زمان ۵۰ دقیقه و ظرفیت جذب توسط باگاس برابر mg/g ۱۶ بدست آمد. آنالیز داده‌های تجربی با مدل‌های جذب فرندلیچ و لانگمویر به ترتیب دارای ضریب همبستگی ۰/۹۷۵۵ و ۰/۸۳۵۹ می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد با فراهم نمودن شرایط بهینه، می‌توان از باگاس بعنوان یک جاذب آلی برای حذف مناسب فنول استفاده نمود. بنابراین با توجه به اینکه ضایعات باگاس در مقادیر زیادی در فراوری تهیه شکر تولید می‌شود، می‌توان از آن به عنوان یک جاذب ارزان قیمت استفاده نمود.

کلید واژه‌ها: باگاس نیشکر، جذب سطحی، فنول، محلول آبی

مقدمه

فنول یا بنزنول یک هیدروکربن حلقوی آروماتیک می باشد که در نتیجه فرایندهای طبیعی و یا توسط انسان در صنایع مختلف تولید و وارد محیط زیست می گردد. صنایعی همچون پتروشیمی، صنایع دارویی، پلاستیک، صنعت کاغذ و تولید حشره کش، اصلی ترین منابع انتشار این فنول و ترکیبات فنولیک در اکوسیستم به ویژه آب و فاضلاب هستند [۱]. سازمان بین المللی مطالعه بر روی سرطان (IARC)، فنول را در رده چهارم سرطانزایی قرار داده است؛ به این معنی که این ماده احتمالاً برای انسان سرطانزا است. همچنین طبق توصیه سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا (US-EPA) فنول یک هیدروکربن بسیار سمی است که نیمه عمر بیولوژیکی آن بالاست و به سختی از بدن انسان دفع می شود و متابولیت های سمی آن موجب آسیب کلیه، کبد، پانکراس، آسیب DNA و فلج سیستم عصبی مرکزی می گردد. به علاوه وجود فنل در آب به علت ترکیب شدن آن با کلر، مزه ناخوشایندی در آب ایجاد می کند [۲،۳].

به همین جهت سازمان های مختلف بین المللی و محلی قوانین سخت گیرانه تری را تدوین و رعایت حدود استاندارد را اجباری دانسته اند. سازمان بهداشت جهانی (WHO) و US-EPA حداکثر مقدار فنول در پساب های خروجی صنایع را ۱ میلی گرم در لیتر بیان کرده اند [۴،۵]. از این رو سعی می شود توسط روش های مختلف فنول را از آب و فاضلاب حذف کرد. راهکارهای متعدد ارائه شده جهت حذف فنول از محلول های آبی را می توان در سه دسته کلی تقسیم بندی کرد؛ (۱) روش های فیزیکی (۲) شیمیایی و (۳) بیولوژیکی. روش های فیزیکی متداول ترین روشی بوده که بصورت موثر و کم هزینه فنول را از محلول های آبی حذف می کند. تاکنون محققین تلاش های وسیعی را جهت به حداقل رساندن هزینه روش های کنترلی، افزایش کارایی و همچنین بهره گیری از مواد جاذب طبیعی، انجام داده اند [۶،۷]. امروزه استفاده از مواد آلی جهت تصفیه سموم از محلول های آبی یکی از پربحث ترین زمینه های پژوهش در شیمی، بهداشت و مهندسی محیط زیست می باشد. جذب سطحی یک فرایند ساده شیمیایی و نسبتاً اقتصادی می باشد که می توان بوسیله آن رنگ ها، بوها و بخارات مضر را جذب و از جریان سیال جدا کرد. از آنجایی که جاذب ها بصورت اختصاصی عمل می کنند، به همین دلیل بصورت موثری قادرند آلاینده های محلول در سیال (آب و هوا) را حذف کنند [۸،۹].

فاکتورهای متعددی بر میزان جذب آلاینده توسط جاذب های سطحی تاثیر می گذارد که مهمترین آنها غلظت آلاینده، میزان جاذب مورد استفاده، pH محلول، یکدستی توزیع اندازه ذرات جاذب، وسعت سطح جاذب و زمان تماس آلاینده با جاذب می باشد [۱۱-۹]. هزینه زیاد تامین شرایط مناسب جهت بهره گیری از جاذب های مصنوعی

اصلی ترین علت روی آوردن به استفاده از جاذب های طبیعی می باشد.

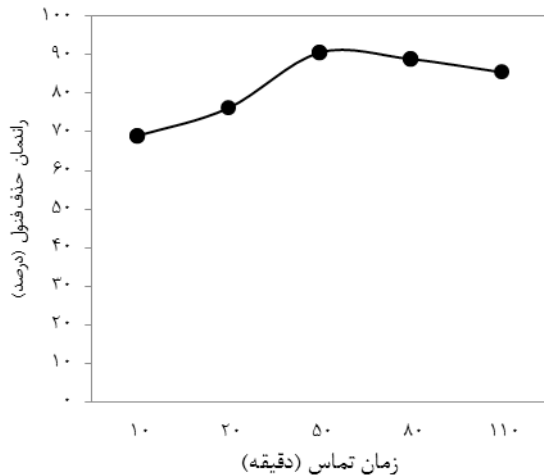
کربن فعال بطور وسیعی جهت حذف فنول از هوا و محلول های آبی استفاده شده است؛ ولیکن معایب عمده ای همچون هزینه زیاد بازیابی جاذب، مقاومت زیاد در مقابل عبور سیال و همچنین مقاومت مکانیکی ضعیف، برای آن قابل ذکر است [۱۱،۱۲]. از جمله جاذب های طبیعی و آلی که جهت حذف فنول از آب های آلوده استفاده شده است، می توان به مواد طبیعی همچون فاضلاب صنایع و کشاورزی اشاره کرد که شامل لجن تولیدی صنایع کاغذسازی، زغال، لجن خشک، Saccharomyces. Hyacinth Ash Water، Cerevisiae، پوست نارگیل، جلبک سبز و زغال پوشال برنج و ده ها مواد دیگر اشاره کرد [۱۳-۱۶].

در این مطالعه از باگاس نیشکر به عنوان جاذب جهت حذف فنول از محلول آبی استفاده شده است. باگاس نیشکر که محصول جانبی یا به عبارتی جزء زائدات کارخانجات تولید شکر می باشد، به راحتی قابلیت دسترسی داشته و با هزینه کم قابل تهیه می باشد. باگاس که یک ماده سلولزی می باشد. در ساختار شیمیایی خود دارای ۲۳ درصد لیگنین است که احتمالاً همان بخش فعال جاذب جهت جذب یا حذف فنول از آب آلوده به فنل می باشد [۱۷]. در مطالعه حاضر تاثیر عواملی همچون غلظت اولیه آلاینده، مقدار جاذب مورد استفاده، pH محلول و زمان تماس آلاینده با جاذب و ایزوترم های جذب مدل فرندلیچ و ریومنگلا مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش ها

جهت انجام این مطالعه، باگاس نیشکر از کارخانه قند همدان تهیه شد. باگاس ابتدا با آب مقطر شستشو داده شد و به مدت یک ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده شد، سپس آن را آسیاب نموده و از الک ۲ میلی متری عبور داده شد و در ادامه در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۲ ساعت خشک گردید. با توجه به مطالعات مختلفی که در این زمینه شده است، این دما و زمان سبب بهبود ساختار باگاس به عنوان جاذب می شود [۱۸،۱۹]. فنل مورد نیاز در این مطالعه با خلوص بالای ۹۰ درصد از شرکت Merck آلمان خریداری شد. برای تهیه محلول مادر؛ ۱ گرم فنول را در آب مقطر حل کرده و در بالن (۱۰۰۰ ml) به حجم رسانده شد. سپس محلول استاندارد فنول با غلظت های ۱، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی گرم بر لیتر تهیه شد. آزمایشات جذب در ارلن های ۲۵۰ ml صورت پذیرفت. پس از تنظیم pH مقادیر مختلف جاذب در محدوده ۰/۵ الی ۳ گرم به ظروف واکنش اضافه شد و جهت هم زدن جاذب و محلول فنول از شیکر با ۱۰۰ دور بر دقیقه استفاده شد. سپس

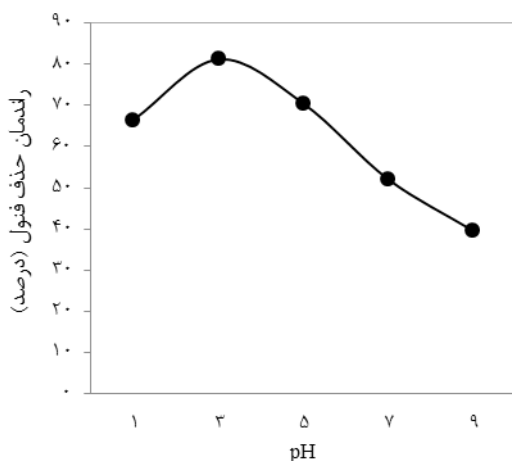
نمودار ۲ نشان داده شده است (غلظت اولیه ۱ mg/L، مقدار جاذب ۲ g/L و pH=۳). ابتدا با افزایش مدت زمان تماس تا ۵۰ دقیقه، کارایی جذب افزایش یافته و سپس تا ۱۱۰ دقیقه سیر نزولی را طی کرده است.



نمودار ۲- کارایی حذف باگاس در زمان‌های تماس مختلف در محلول آبی (غلظت اولیه فنول: ۱ mg/L، غلظت جاذب: ۲ g/L و pH=۳)

اثر pH محلول بر کارایی حذف

نمودار شماره ۳، تاثیر pH بر کارایی جذب فنول توسط باگاس را نشان می‌دهد (غلظت اولیه ۴۰ mg/L، مقدار جاذب ۲ g/L، pH=۳ و مدت زمان تماس ثابت برابر ۵۰ دقیقه). در pH=۳ کارایی جذب حدود ۸۰ درصد بوده است. در pH های کمتر و بیشتر از ۳، سیر نزولی در میزان کارایی جذب، ایجاد شده است. کارایی حذف در pH های قلیایی به شدت کم شده و به زیر ۳۰ درصد کاهش یافته است.



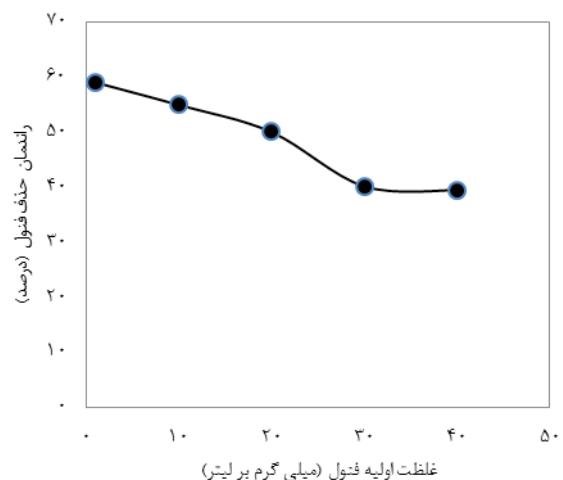
نمودار ۳- کارایی حذف باگاس در pH های مختلف محلول آبی (غلظت اولیه فنول: ۱ mg/L، غلظت جاذب: ۲ g/L و زمان تماس: ۵۰ دقیقه)

نمونه‌ها از صافی واتمن عبور داده شد. نمونه‌های مایع جداسازی شده جهت تعیین میزان فنول باقی مانده در محلول، از طریق قرائت میزان جذب محلول رنگی حاصل ترکیب فنول با ۴-آمینوآنتی‌پایرن توسط اسپکتروفتومتر (مدل DR 5000™ ساخت آمریکا) در طول موج ۵۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. با توجه به نمودار کالیبراسیون اسپکتروفتومتر برای ترکیب مورد نظر، میزان جذب تبدیل به غلظت نهایی شده و در نهایت پس از انجام آنالیز آماری توسط نرم افزارهای Excel2010 و GraphPad Prism6 (جهت رسم برخی نمودارها)، شرایط بهینه جذب انتخاب و مورد بحث قرار گرفت. شایان ذکر است در انجام این مطالعه تمامی موازین اخلاقی مربوط به روش کار و منابع مورد استفاده رعایت گردیده است.

یافته‌ها

اثر غلظت اولیه فنل

نمودار شماره ۱، رابطه بین تغییرات غلظت آلاینده فنول با راندمان حذف را نشان می‌دهد (مدت زمان تماس ۲۰ دقیقه، مقدار جاذب ۲ گرم در لیتر و pH=۳). با افزایش غلظت آلاینده، راندمان حذف کاهش یافته و در غلظت برابر با ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف با شیب تندی شروع به کاهش کرده و در غلظت‌های ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر راندمان، تفاوت چندانی نداشته است.



نمودار ۱- کارایی حذف فنول در غلظت اولیه مختلف در محلول آبی (زمان ماند: ۲۰ دقیقه، دوز جاذب: ۲ g/L و pH=۳)

اثر مدت زمان تماس

نمودار شماره ۲، تاثیر مدت زمان تماس فنول با جاذب بر میزان جذب را نشان می‌دهد. مدت زمان تماس به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۸۰ و ۱۱۰ دقیقه تنظیم شده و میزان کارایی در هر یک از موارد در

ایزوترم‌های جذب

مدل‌های مختلفی برای توصیف نتایج به دست آمده در مورد جذب آلاینده‌ها از محلول‌های آبی وجود دارد. یکی از مهمترین مدل‌ها ایزوترم‌های جذب هستند که یک معادله دقیق جهت استفاده از نتایج جهت طراحی سیستم‌های جذبی حاصل می‌کند. فرم خطی معادله جذب فرندلیچ بصورت زیر است.

$$\text{Log } q_e = \log k + \frac{1}{n} \log C_e$$

در این معادله، q_e مقدار ماده جذب شده به مقدار جذب استفاده شده C_e (mg/g)، غلظت ماده جذب شده (mg/l)، k و $1/n$ ثابت ایزوترم جذب فرندلیچ هستند که مرتبط با ظرفیت جذب و شدت جذب است. ایزوترم فرندلیچ توصیفی از جذب غیر ایده‌آل و برگشت پذیر بوده و محدود به جذب تک‌لایه‌ای نیست. این مدل برای توصیف جذب چندلایه‌ای، با توزیع غیریکنواخت گرمای جذب و کشش مولکولی در سطوح ناهمگن جذب، کاربرد دارد. معادله دیگری که در این مبحث مورد استفاده قرار می‌گیرد، معادله خطی مربوط به ایزوترم جذب لانگمویر به شرح زیر است:

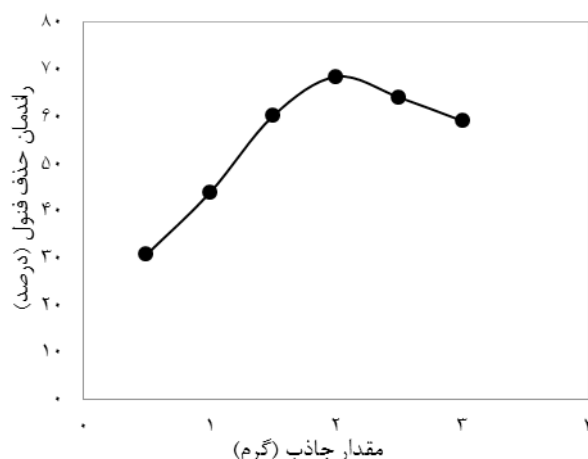
$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q} + \frac{1}{bQ} \cdot \frac{1}{C_e}$$

در این معادله b و Q ثابت هستند (mg/L و mg/g) که به ترتیب مربوط به حداکثر جذب و انرژی جذب هستند. معادله لانگمویر یک توصیف قابل قبول برای جذب آلاینده در سطح مواد آلی ارائه می‌کند [۲۳، ۲۴]. ایزوترم لانگمویر معادله‌ای فراهم می‌کند که یک رابطه خطی میان لگاریتم مقدار آلاینده با مقدار جذب است. این معادله با ضریب همبستگی بالا ادعا می‌کند که یک لایه نازک از آلاینده سطح بیرونی جذب را بطور یکنواخت پوشانده است.

نمودار ۶، ایزوترم فرندلیچ مربوط به جذب فنول بوسیله جذب باگاس نیشکر را نشان می‌دهد. در این معادله خطی ضریب همبستگی بسیار بالا بوده و برابر ۰/۹۷۵۵ بوده است. در نمودار ۷ ایزوترم لانگمویر مربوط به جذب فنول بوسیله باگاس نیشکر را نشان می‌دهد که ضریب همبستگی آن نسبت به مدل فرندلیچ کمتر بوده و برابر ۰/۸۳۵۹ است.

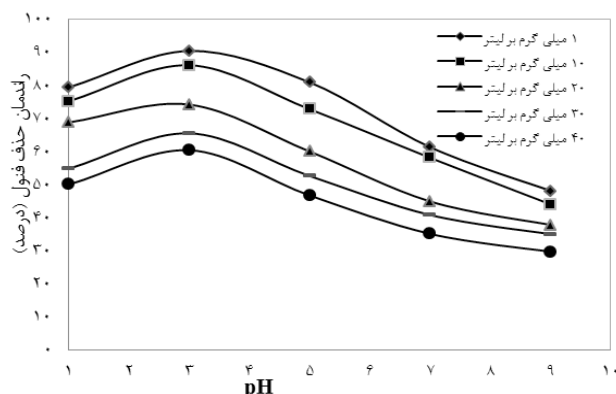
اثر مقدار جاذب بر کارایی حذف

نمودار شماره ۴، میزان کارایی حذف فنول را به ازای افزایش مقدار جاذب نشان می‌دهد. با توجه به نمودار ۴ می‌توان دریافت که با افزایش مقدار جاذب از ۰/۵ گرم تا ۳ گرم در لیتر (با ثابت بودن سایر شرایط همچون، غلظت اولیه فنول ۱ mg/L و pH=۳) راندمان حذف از ۳۰ درصد به بیش از ۶۵ درصد افزایش می‌یابد. پس از نقطه عطف ۲ گرم، راندمان حذف کاهش پیدا می‌کند و در مقدار ۳ گرم، راندمان به زیر ۵۷ درصد می‌رسد.



نمودار ۴- کارایی حذف باگاس در مقادیر مختلف جاذب (غلظت اولیه فنول: ۱ mg/L، pH: ۳ و زمان تماس: ۱۰ دقیقه)

نمودار شماره ۵، راندمان حذف فنول را براساس افزایش توام pH محلول و غلظت فنول موجود در محلول (پساب) را نشان می‌دهد. افزایش غلظت آلاینده موجب کاهش راندمان حذف شده و pH های بالاتر و پایین‌تر از ۳ موجب کاهش راندمان حذف شده است.



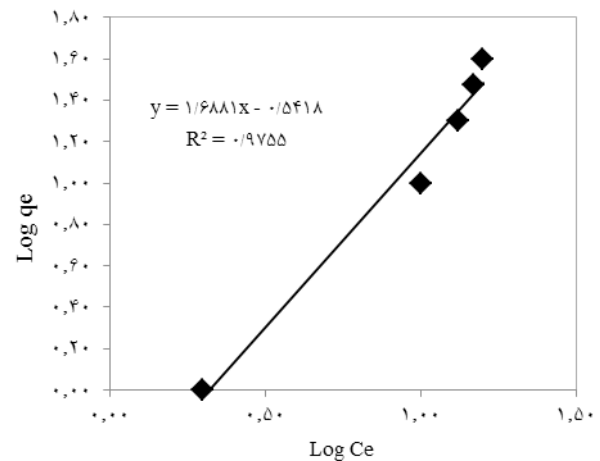
نمودار ۵- کارایی حذف باگاس بر اساس افزایش توام pH و غلظت اولیه فنول (غلظت اولیه فنول ۱ تا ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر، زمان تماس: ۵۰ دقیقه و دوز جاذب: ۲ g/L)

تأثیر مدت زمان

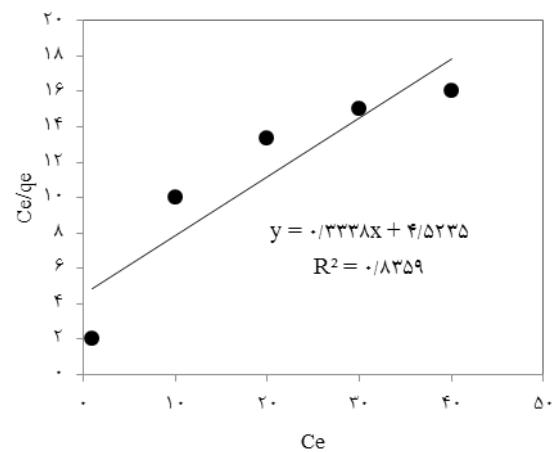
مدت زمان تماس جاذب با فنول عامل موثر در میزان جذب می‌باشد. با افزایش مدت زمان تماس میزان جذب افزایش یافته و در مدت ۵۰ دقیقه تماس با ثابت بودن سایر شرایط، راندمان تا ۹۰ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش مدت زمان تماس تا ۱۱۰ دقیقه، راندمان کاهش می‌یابد؛ ولیکن کاهش آن کمتر از ۱۰ درصد است. به عبارت دیگر افزایش مدت زمان تماس یک عامل کمکی در میزان جذب می‌باشد. در بیان علت این رابطه می‌توان گفت که زمان ماند فنول در تماس با جاذب، فرصتی را جهت ایجاد برخوردهای موثر بین این دو فراهم می‌کند. به عبارت دیگر به مرور زمان حرکات تصادفی مولکولهای فنول افزایش یافته و به جایگاه‌های فعال برخورد کرده و احتمال جذب افزایش می‌یابد و از طرفی نیروهای واندروالس بین آلاینده و جاذب فرصت تقویت پیدا می‌کنند. تا رسیدن به مقدار بهینه مدت زمان تماس یعنی ۵۰ دقیقه، حرکات تصادفی تأثیر مثبت بر میزان جذب داشته است [۱۲]. یک عامل موثر برای بازیافت جاذب‌ها بالا بردن دما و مدت زمان تماس می‌باشد [۷]. از آنجایی که در این مطالعه پس از حداکثر جذب، غلظت فنول در محلول کاهش یافته و مولکول‌های جذب شده شروع به کنده شدن از جاذب می‌کنند که به احتمال زیاد این اتفاق به علت گذر برخوردهای موثر از مقدار بهینه خود و تضعیف نیروهای واندروالس می‌باشد. با توجه به حداکثر مقدار مجاز فنول در پساب‌های خروجی که برابر ۱ میلی‌گرم برلیتر است، با افزایش مقدار اولیه فنول، میزان فنول باقی‌مانده بیشتر شده است. برای مثال در غلظت ۱۰ mg/l راندمان حذف ۵۵ درصد است به عبارتی ۴/۵ میلی‌گرم درلیتر فنول، در خروجی پساب یافت خواهد شد که بسیار بیشتر از حدمجاز است و این تجاوز از حد مجاز با افزایش مقدار اولیه جاذب بیشتر شده است.

تأثیر pH

pH محلول بار سطحی جاذب و میزان یونیزاسیون فنول را تغییر می‌دهد. طبق رابطه موجود در pH کمتر از PKa فنول بصورت تفکیک نشده و مولکولی در محیط حضور دارد و در pH بالاتر به علت یونیزه شدن فنول جذب آن کاهش می‌یابد که این پدیده بعلت نیروی مخالفت کننده الکترواستاتیک بین فنولات با بار منفی و جاذب با بار سطحی منفی است. در pH اسیدی به علت تفکیک کم فنول بصورت یون و همچنین القای بار مثبت در سطح جاذب؛ حذف فنول در نتیجه پراکندگی مناسب آن افزایش می‌یابد و علاوه بر آن در این شرایط فنول در آب غیر قابل انحلال است و از فاز آبی وارد فاز آلی می‌گردد. در pH کمتر از ۳ یونهای H^+ در اطراف جاذب افزایش یافته و موجب خنثی شدن بار منفی فنول شده و جذب کمتر می‌شود، به علاوه یون OH^- نیز با فنول وارد رقابت



نمودار ۶- ایزوترم فرندلیچ مربوط به جذب فنول بوسیله جاذب باگاس نیشکر



نمودار ۷- ایزوترم لانگمویر مربوط به جذب فنول بوسیله باگاس نیشکر

بحث

تأثیر غلظت اولیه

همانطور که در قسمت نتایج مشهود است، فاکتورهای متعددی میزان کارایی جاذب را تحت تأثیر قرار می‌دهند. غلظت اولیه آلاینده فنول در محلول، یک عامل محدود کننده است که با افزایش مقدار آن، جذب کاهش می‌یابد. حداکثر جذب فنول در مقدار ثابت ۲ گرم در لیتر جاذب، برابر ۱ میلی‌گرم برلیتر است (به عبارتی توانایی حذف ۱ میلی‌گرم فنول از هر لیتر محلول را دارد) که راندمان نزدیک ۶۰ درصد را داراست. مطابق انتظاری که می‌رود با افزایش میزان فنل تعداد جایگاه‌های در دسترس نسبت به تعداد مول‌های فنول موجود در محلول کمتر شده و مقداری از آلاینده بصورت جذب نشده از پروسه خارج می‌شود. نتایج مربوط به این عامل، با یافته‌های مطالعه عظیم‌وند، روزایس، پونگیتر و همکاران همخوانی دارد [۲۰، ۱۱].

را اضافه و زمان ماند را تا مقدار بهینه افزایش داد. از میان دو مدل مذکور؛ از آنجایی که مدل فرندلیچ ضریب همبستگی بالایی ($R^2 = 0/9755$) با داده‌های تجربی دارد، این مدل به عنوان یک مدل متناسب با مطالعه حاضر انتخاب شد. در نتیجه مکانیسم غالب در فرایند جذب فنول توسط باگاس نیشکر؛ جذب چند لایه‌ای، غیر ایده‌آل بوده و محدود به جذب تک‌لایه ای نیست و گرمای جذب و کشش مولکولی بطور غیریکنواخت در سطوح ناهمگن جاذب توزیع می‌گردد. در مطالعه کاراباکاوغلو و همکاران که بر روی باگاس فندق انجام شده بود، نتایجی مشابه نتایج مطالعه حاضر حاصل شده است و مدل فرندلیچ به عنوان مدل مناسب انتخاب شده است [۲۲]. جدول شماره ۱، نتیجه مقایسه میزان جذب فنول در مطالعه حاضر و سایر مطالعات انجام شده بر روی سایر جاذب‌های آلی را نشان می‌دهد. به ترتیب بیشترین میزان جذب فنول مربوط به کربن فعال، بتونیت آلی، *Saccharomyces Cerevisiae*، کربن سیوس برنج و لجن خشک می‌باشد. میزان حداکثر جذب در مطالعه حاضر مشابه مقدار جذبی است که تاورنکاسیت و همکاران در مطالعه خود جهت جذب فنول با فاضلاب خشک انجام داده بودند.

جدول ۱- مقایسه میزان ظرفیت جذب فنول از پساب در مطالعات مختلف

شماره مرجع	حداکثر مقدار جذب q_{max} (mg/g)	نوع جاذب
[۲۳]	۱۶	لجن خشک فاضلاب
[۲۴]	۲۲	کربن سیوس برنج
[۲۵]	۳۸	بتونیت
[۲۶]	۲۷	<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>
[۲۷]	۶۸	کربن فعال

نتیجه گیری

باتوجه به آنچه که بحث شد با رعایت شرایط بهینه، می‌توان از باگاس نیشکر به عنوان یک جاذب آلی جهت تصفیه پساب‌های آلوده به فنول استفاده کرد. اشباع جاذب، مشکل در بازیابی، مشکل دفع و انهدام جاذب از جمله معایبی هستند که برای این نوع از جاذب‌ها قابل ذکر است. آرایش لایه‌ای جاذب جهت افزایش سطح تماس با آلاینده، استفاده از الیاف ریز با میزان رطوبت بهینه و در نهایت استفاده از سیستم‌هایی با ساختار موازی و سری جهت افزایش راندمان، از جمله توصیه‌هایی است که می‌تواند مد نظر قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود محققین در مطالعات آتی خود در این زمینه؛

شده و مقدار اندک یون‌های ایجاد شده آن قادر به حذف نخواهند بود [۱۳-۱۵]. نتایج این بخش با یافته‌های ماهوی و اپکت همخوانی دارد [۱۲، ۱۶]. به علاوه با توجه به نمودار ۵ مشاهده می‌شود که اثرات توام افزایش pH و استفاده از غلظت بهینه فنول، به دلیل خاصیت هم افزایی این دو، موجب افزایش راندمان (حدود ۳۰ درصد بیشتر) نسبت به تغییرات هریک از دو عامل مذکور به تنهایی است.

تأثیر دوز جاذب

تعیین دوز جاذب به دلیل مسائل اقتصادی پارامتر دیگری است که باید در مطالعات جذب به ویژه در طراحی سیستم‌های با مقیاس بزرگ تعیین گردد. با افزایش مقدار جاذب تا یک مقدار بهینه؛ راندمان یا میزان حذف فنول به ازای مقدار مشخص جاذب افزایش می‌یابد. پس از نقطه مشخصی با افزایش مقدار جاذب راندمان سیر نزولی را طی کرده است. از آنجایی که راندمان بصورت مقدار فنول جذب شده به مقدار جاذب بیان می‌شود (mg/g)، بنابراین با ثابت ماندن مقدار فنول و افزایش مقدار جاذب، منجر کسر بیشتر شده و در نتیجه عدد راندمان جذب کاهش می‌یابد؛ در حالی که با افزایش همزمان مقدار جاذب و جذب شونده راندمان تاحدی ثابت خواهد بود. اما افزایش مقدار جاذب تا مقدار بهینه به این دلیل موجب افزایش راندمان می‌گردد که تعداد جایگاه‌های فعال در دسترس جهت جذب فنول بیشتر شده و جذب افزایش می‌یابد. عظیم‌وند، میتال و بنات نیز در مطالعات خود مشاهده کردند که با افزایش مقدار جاذب تا یک مقدار بهینه میزان جذب فنول افزایش یافته و پس از آن رو به کاهش می‌گذارد [۲۱، ۲۰۸]. اما در مطالعه کاراباکاوغلو که بر روی جذب فنول توسط زغال فعال انجام شده بود مشاهده شد که با افزایش مقدار جاذب میزان جذب نیز افزایش یافته و کاهش رخ نمی‌دهد [۲۲].

گرچه فراهم نمودن کلیه شرایط در حد بهینه آن‌ها از نقطه نظر عملیاتی غیرممکن است؛ ولیکن تامین شرایط بهینه حتی بطور نسبی هم می‌تواند در نهایت تأثیر مطلوبی بر راندمان حذف داشته باشد. حداکثر جذب فنل در این مطالعه توسط باگاس نیشکر برابر با mg/g ۱۶ بدست آمد. با افزایش مقدار اولیه فنول میزان جذب با شیب تندی کاهش می‌یابد؛ ولیکن در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم درلیتر نیز شاهد راندمان بالایی از حذف فنول توسط جاذب باگاس هستیم به گونه‌ای که با ثابت بودن pH در ناحیه اسیدی خود و با افزایش زمان ماند، این راندمان به حداکثر مقدار خود خواهد رسید. در غلظت‌های بالاتر از ۲۰ میلی‌گرم درلیتر، راندمان حذف فنول کاهش یافته و در غلظت‌های بین ۳۰ و ۴۰ mg/L، راندمان حذف به کمترین مقدار خود یعنی حدود ۴۰ درصد رسیده است که قادر به کاهش فنول به زیر حد مجاز آن نخواهد بود. جهت جبران آن می‌توان مقدار جاذب

حمایت‌های دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و از زحمات کارکنان آزمایشگاه شیمی محیط گروه مهندسی بهداشت محیط به ویژه سرکار خانم میرشفیعیان و جناب آقای احسان آقایی کمال تشکر و قدر دانی را به عمل آورند.

به بررسی راندمان جذب کربن فعال تهیه شده از باگاس نیشکر برای این آلاینده و سایر آلاینده‌ها پردازند.

تشکر و قدردانی

در پایان نویسندگان مقاله حاضر بر خود لازم می‌دانند که از

References

1. Ahmaruzzaman M. Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: A review. *Advances in Colloid and Interface Science* 2008; 143(1):48-67.
- 1- Fang HH, Chan O-C. Toxicity of phenol towards anaerobic biogranules. *Water Research* 1997; 31(9):2229-42.
- 2- Sullivan JB, Krieger GR. *Clinical Environmental Health and Toxic Exposures*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2001.
- 3- Aravindhan R, Rao JR, Nair BU. Application of a chemically modified green macro alga as a biosorbent for phenol removal. *Journal of Environmental Management* 2009; 90(5):1877-83.
- 4- Lin S, Cheng M. Adsorption of phenol and m-chlorophenol on organobentonites and repeated thermal regeneration. *Waste Management* 2002; 22(6):595-603.
- 5- Roostaei N, Tezel FH. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption. *Journal of Environmental Management* 2004; 70(2):157-64.
- 6- Calace N, Nardi E, Petronio B, Pietroletti M. Adsorption of phenols by papermill sludges. *Environmental Pollution* 2002; 118(3):315-19.
- 7- Banat F, Al-Bashir B, Al-Asheh S, Hayajneh O. Adsorption of phenol by bentonite. *Environmental Pollution* 2000; 107(3):391-98.
- 8- Mittal A. Removal of the dye, Amaranth from waste water using hen feathers as potential adsorbent. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 2006; 5(2):1296-305.
- 9- Qadeer R, Rehan AH. A study of the adsorption of phenol by activated carbon from aqueous solutions. *Turkish Journal of Chemistry* 2002; 26(3):357-62.
- 10- Potgieter J, Bada S, Potgieter-Vermaak S. Adsorptive removal of various phenols from water by South African coal fly ash. *Water SA* 2009; 35(1):89-96.
- 11- Ekpete O, Horsfall M, Tarawou T. Potential of fluted pumpkin and commercial activated carbons for phenol removal in aqueous systems. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences* 2010; 5(9):39-47.
- 12- Uddin M, Islam M, Abedin M. Adsorption of phenol from aqueous solution by water hyacinth ash. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences* 2007; 2(2):11-17.
- 13- Aksu Z, Yener J. A comparative adsorption/biosorption study of mono-chlorinated phenols onto various sorbents. *Waste Management* 2001; 21(8):695-702.

- 14- Singh KP, Malik A, Sinha S, Ojha P. Liquid-phase adsorption of phenols using activated carbons derived from agricultural waste material. *Journal of Hazardous Materials* 2008; 150(3):626-41.
- 15- Mahvi A, Maleki A, Eslami A. Potential of rice husk and rice husk ash for phenol removal in aqueous systems. *American Journal of Applied Sciences* 2004;1(4):321-26.
- 16- Mukherjee S, Kumar S, Misra AK, Fan M. Removal of phenols from water environment by activated carbon, bagasse ash and wood charcoal. *Chemical Engineering Journal* 2007; 129(1):133-42.
- 17- Kumar A, Sahu O. Sugar industry waste as removal of toxic metals from waste water. *World Journal of Chemical Education* 2013; 1(1):17-20.
- 18- Pham TT, Hoang MT, Nguyen MK, Dinh TH, Han LP, Bruggen BV. Evaluation of chemical modified sugarcane bagasse for cadmium removal in aqueous environment. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering* 2015; 88:6-10.
- 19- Azimvand J, Monfared A. studying of changes and determine the ideal conditions in the phenol adsorption, from polluted waters, by the organic absorbing of the corn carbon. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 2014; 7(12):935-40.
- 20- Mittal A, Mittal J, Kurup L. Utilization of hen feathers for the adsorption of indigo carmine from simulated effluents. *Journal of Environmental Protection Science* 2007; 1:92-100.
- 21- Karabacakoğlu B, Tümsek F, Demiral H, Demiral İ. Liquid phase adsorption of phenol by activated carbon derived from hazelnut bagasse. *J. Int. Environmental Application & Science* 2008; 3(5):373-80.
- 22- Thawornchaisit U, Pakulanon K. Application of dried sewage sludge as phenol biosorbent. *Bioresource Technology* 2007; 98(1):140-44.
- 23- Kennedy LJ, Vijaya JJ, Sekaran G, Kayalvizhi K. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on the adsorption of m-cresol onto micro-and mesoporous carbon. *Journal of Hazardous Materials* 2007; 149(1):134-43.
- 24- Rawajfih Z, Nsour N. Characteristics of phenol and chlorinated phenols sorption onto surfactant-modified bentonite. *Journal of Colloid and Interface Science* 2006; 298(1):39-49.
- 25- Moyo M, Mutare E, Chigondo F, Nyamunda BC. Removal of phenol from aqueous solution by absorption on yeast, *Saccharomyces Cerevisiae*. *International Journal of Recent Research and Applied Studies* 2012; 11(3):486-84.
- 26- Karabacakoğlu B, Tümsek F, Demiral H, Demiral İ. Liquid phase adsorption of phenol by activated carbon derived from hazelnut bagasse. *J. Int. Environmental Application & Science* 2008; 3(5):373-80.