

Removal of Phenol from Aqueous Solution Using Ostrich Feathers Ash

Hasti Daraei, Mohamad Manshouri, Ahmad Reza Yazdanbakhsh

Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

(Received September 11, 2010 ; Accepted November 16, 2010)

Abstract

Background and purpose: Phenol is an organic pollutant that is found in industrial effluents and is very toxic to human and the environment. The purpose of this study was to use the ostrich feathers ash as a natural adsorbent to remove phenol from aqueous solution.

Materials and methods: For this study, ostrich feather ash was used as a new adsorbent in removal of phenol at different doses (0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 1.5, 2 and 3 g). Changes following the effect of contact time, pH, adsorbent dose, temperature and initial phenol concentration have been recorded. Then, the adsorption data were described with Langmuir and Freundlich adsorption isotherms and Excel software was used for data analysis.

Results: There is a dose-dependent relationship between phenol adsorption by adsorbent at doses ranging from 0.2-2 g. The adsorption of phenol decreases following an increase in the pH of the solution. Also, it is observed that the contact time significantly affects the rate of phenol adsorption (77%) from solution.

Conclusion: Generally, the studied adsorbent was applied successfully for treating industrial water samples and aqueous solution.

Key words: Ostrich feather, phenol, industrial effluent

J Mazand Univ Med Sci 2010; 20(79): 81-87 (Persian).

حذف فنل از محلول های آبی با استفاده از خاکستر پر شتر مرغ

هستی دارائی، محمد منشوری، احمد رضا یزدانبخش

چکیده

سابقه و هدف: فنل یکی از آلاینده های آلی موجود در پساب صنایع بوده و به شدت برای انسان و محیط زیست سمی می باشد. هدف از این مطالعه کاربرد خاکستر پر شتر مرغ بعنوان جاذب طبیعی برای حذف فنل از محلول های آبی بود.

مواد و روش ها: در این مطالعه از خاکستر پر شتر مرغ بعنوان یک جاذب جدید برای حذف فنل در مقادیر گوناگون (۰/۲، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۱/۵، ۲، ۳ گرم) استفاده شد. تغییرات اثر زمان، pH، مقدار جاذب، دما و غلظت اولیه فنل بررسی گردید. سپس داده های جذب توسط ایزوترم های جذب فروندلیش و لانگمیر شرح داده شدند و از نرم افزار Excel برای تجزیه و تحلیل داده ها استفاده شد.

یافته ها: نتایج نشان می دهد که با افزایش مقدار ماده جاذب از ۰/۲ g تا ۲ g میزان جذب افزایش می یابد. جذب فنل با افزایش مقدار pH محلول کاهش می یابد. همچنین مشاهده شد که افزایش زمان تماس تأثیر ویژه ای (۷۷ درصد) در میزان جذب از محلول دارد.

استنتاج: بطور کلی، این جاذب مورد مطالعه بصورت موفق آمیزی برای تصفیه نمونه های آبی صنعتی و محلول های آبی می تواند بکار رود.

واژه های کلیدی: خاکستر پر شتر مرغ، فنل، پساب صنعتی

مقدمه

و آفت کش وارد محیط می گردد (۲). با توجه به این که این آلاینده یک ماده سمی بوده و کاهش و حذف بیولوژیکی آن مشکل می باشد، لذا استانداردهای سخت گیرانه ای برای تخلیه مواد فنل دار به محیط زیست در نظر گرفته شده است (۳). ترکیبات فنل همچنین می توانند با کلر حاصل از کلرینه کردن آب، ترکیبات فنلی کلردار تولید کنند که این عملیات باعث ایجاد طعم و بوی نامطلوب در آب می شود (۳). با توجه به این مشکلات، حذف این نوع از ترکیبات آلی از فاضلاب

امروزه حضور فنل و مشتقات آن در آب و فاضلاب بدلیل خطراتی که بر روی سلامت انسان و محیط دارد بعنوان یک نگرانی عمده محسوب می شود. فنل بصورت طبیعی در نتیجه تجزیه آنگ ها و گیاهان وارد محیط می شود اما حضور این ماده در آب های سطحی عمدتاً در نتیجه آلودگی ناشی از فاضلاب های صنعتی می باشد (۱). این آلاینده آلی در غلظت های گوناگون از طریق فاضلاب صنایع پتروشیمی، تولید رزین و پلاستیک، کاغذ، پالایشگاه نفت، صنعت فولاد

E-mail: hasti.daraei@yahoo.com

مؤلف مسئول: هستی دارائی - تهران و لنجک، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط

گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

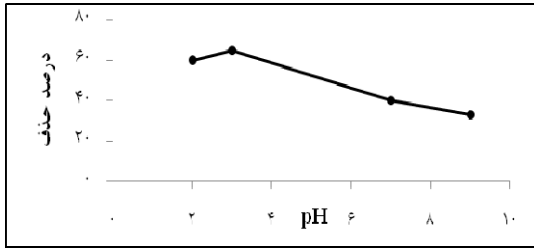
تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۲۰ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۸۹/۷/۲۰ تاریخ تصویب: ۸۹/۸/۲۵

در مقایسه با سایر روش های متداول که معمولاً پرهزینه نیز می باشند، اقتصادی به نظر می رسد.

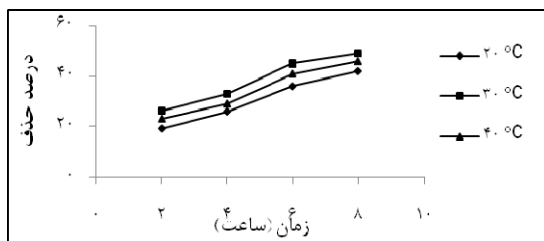
مواد و روش ها

پره های شترمرغ از مراکز پرورش شترمرغ تهیه و جمع آوری گردید. سپس آن ها چندین بار با آب و در جنت شسته شده و در نهایت پرها مجدداً با آب مقطر شستشو داده شدند. در مرحله بعدی پرها به مدت یک شبانه روز در زیر نور آفتاب خشک شدند. سپس ساقه های خشک پرها از آن ها جدا گردید و تارهای نرم آن ها بریده شد. سپس قسمت های تار مانند پر در کوره با درجه حرارت ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه جهت تبدیل پر به خاکستر قرار داده شد. در نهایت خاکستر بدست آمده برای کاربرد در این تحقیق در دسیکاتور نگهداری گردید. فنل مورد استفاده در این تحقیق برای تولید غلظت مشخصی از آلودگی در آب، از شرکت مرک آلمان و بصورت جامد، با درجه خلوص ۹۹ تا ۱۰۰ درصد برای آنالیزهای آزمایشگاهی می باشد. به همین منظور ابتدا طبق روش استاندارد، برای بدست آوردن میزان جذب مناسب، غلظت های استاندارد (۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ میلی گرم در لیتر) تهیه و بعد از اضافه کردن معرف های مربوطه، به دستگاه اسپکتروفتومتر داده شد و داده ها در طول موج ۵۰۰ nm قرائت گردید. در مرحله بعد یک محلول استوک ۱۰۰۰ mg/L تهیه و در ظرف شیشه ای قهوه ای رنگ و در یخچال نگهداری گردید و در مراحل بعدی آزمایش از محلول استوک مذکور برای تهیه نمونه های آب آلوده به فنل با غلظت های مورد نیاز جهت آزمایش ها با رقیق سازی به کمک آب مقطر استفاده شد. سپس نمونه های تهیه شده برای تعیین پارامترهای بهینه موثر در این آزمایش شامل دما، pH، زمان، غلظت ماده جاذب و غلظت اولیه فنل مورد آنالیز قرار گرفتند. برای این منظور ابتدا آزمایش با یک غلظت ثابت و مشخص از فنل انجام شده و برای هر یک از پارامترهای مشخص

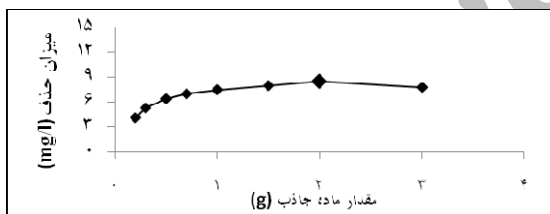
صنایع شیمیایی و پتروشیمی، یکی از اجزای لازم و ضروری در سیستم های تصفیه فاضلاب این صنایع به شمار می رود (۴). در طی دو دهه اخیر تحقیقات زیادی در ارتباط با جذب مواد آلی با قابلیت تجزیه پذیری پایین صوت گرفته است. هدف اصلی این تحقیقات، تشخیص یک ماده جاذب موثر و ارزان قیمت جهت حذف آلاینده های آلی از محلول های آبی است (۵). به طوری که در طی سالیان گذشته جهت حذف آلاینده های خطرناک از آب و فاضلاب پررویی کاربرد زائدات صنعتی و کشاورزی بعنوان جاذب های بالقوه تمرکز گردید. در این راستا تصمیم گرفته شد تا از دیگر مواد زائدی همچون پر ماکیان بعنوان یک جاذب استفاده گردد (۵). در حقیقت، پر ماکیان از جمله جاذب های طبیعی هستند که می توانند برای تصفیه آب بکار گرفته شوند و در مقادیر زیادی بعنوان یک ماده زائد در مرغداری ها و کشتارگاه ها تولید می شوند (۶). بر عکس کرین فعال، پر یک ماده ارزان قیمت بوده که به راحتی نیز در دسترس می باشد (۷). موفقیت در کاربرد پر ماکیان و پرندگان در آلودگی زدایی از فاضلاب به ارزش این ماده زائد تولیدی افزوده است. پره های ماکیان و پرندگان همچنین برای جذب زیستی یون های فلزات با ارزشی همچون طلا و پلاتینیوم بکار گرفته شده است (۸). با توجه به وجود بیش از ۳ هزار واحد پرورش شترمرغ در کشور (۹) و همچنین با وجود تقریبی ۴۰ هزار قطعه پرورش شترمرغ بصورت رسمی و در حدود ۱۵ هزار شترمرغ مولد و ۸۰ هزار قطعه شترمرغ دامی (۹) که نشان دهنده رشد روزافزون پرورش شتر مرغ و تولید مواد زائدی همچون پر آن می باشد و با در نظر گرفتن این نکته که پر شترمرغ بعنوان یک ماده ارزان قیمت، جدید، قابل دسترسی و با تولید روز افزون می باشد لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی امکان کاربرد خاکستر پر شترمرغ بعنوان یک جاذب برای حذف آلاینده آلی همچون فنل و مقایسه عملکرد و راندمان آن با پر ماکیان انجام شد. همچنین جذب توسط این گونه مواد به عنوان یک گزینه



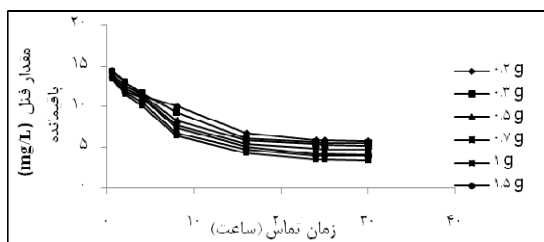
نمودار شماره ۱: تاثیر pH بر میزان جذب فنل بر روی خاکستر پر (زمان: ۸ ساعت؛ دما: ۳۰ درجه؛ غلظت فنل: ۱۵ میلی گرم بر لیتر؛ مقدار جاذب: ۲ گرم)



نمودار شماره ۲: تاثیر دما بر میزان جذب فنل بر روی خاکستر پر (زمان: ۲ تا ۸ ساعت؛ pH=۳؛ غلظت فنل: ۱۵ میلی گرم بر لیتر؛ مقدار جاذب ۲ گرم)



نمودار شماره ۳: تاثیر مقدار ماده جاذب بر میزان جذب فنل بر روی خاکستر پر (زمان: ۸ ساعت؛ pH=۳؛ دما: ۳۰ درجه؛ غلظت فنل: ۱۵ میلی گرم بر لیتر)



نمودار شماره ۴: تاثیر زمان تماس بر میزان جذب فنل بر روی خاکستر پر (pH=۳؛ دما: ۳۰ درجه؛ غلظت فنل: ۱۵ میلی گرم بر لیتر؛ مقدار جاذب ۰/۲ تا ۲ گرم)

مقادیر بهینه بدست آمد. از نرم افزار Excel برای تجزیه و تحلیل داده ها استفاده شد و مقادیر R^2 محاسبه گردید.

یافته ها

نتایج حاصل از این مطالعه در خصوص اثر pH محیط آبی در راندمان حذف فنل توسط خاکستر پر شتر مرغ، اثر زمان تماس در میزان حذف فنل، تأثیر دما، اثر مقدار خاکستر پر و نهایتاً تأثیر غلظت اولیه فنل در میزان کارایی سیستم در حذف فنل به ترتیب در نمودارهای شماره ۱ الی ۵ نمایش داده شده است.

برای تعیین pH بهینه، محلول‌های مورد نظر با pH های اولیه (۲، ۳، ۷ و ۹) از محلول استوک ساخته شد. سپس نمونه‌های مورد نظر در غلظت ثابت فنل ۱۵ mg/L و مقدار جاذب ۲ g به مدت ۸ ساعت مخلوط شد. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش pH، کارایی حذف کاهش می‌یابد. بطوری که در pH=۳ میزان حذف فنل در حدود ۶۵ درصد بوده و در pH=۹ میزان حذف به ۳۳ درصد کاهش می‌یابد.

نمودار شماره ۲ تأثیر دما را بر کارایی حذف فنل نشان می‌دهد. مطابق نتایج بدست آمده از نمودار بیشترین درصد حذف فنل در دمای ۳۰°C بود.

نمودار شماره ۳ تأثیر مقدار ماده جاذب را بر روی کارایی حذف نشان می‌دهد. همانطور که از نمودار پیداست با افزایش مقدار ماده جاذب تا حد معینی میزان جذب فنل بالا می‌رود.

نمودار شماره ۴ تأثیر زمان تماس بر روی کارایی حذف را نشان می‌دهد. همانطور که از نمودار مشاهده می‌گردد با افزایش زمان تماس میزان حذف بالا می‌رود. بطوری که برای دوز ۲ گرم از جاذب در زمان ۰/۵ ساعت حداقل حذف فنل (۱۱ درصد) و در ۲۴ ساعت حداکثر میزان حذف فنل (۷۷ درصد) مشاهده می‌گردد.

تأثیر غلظت اولیه فنل در حذف آن با کاربرد ۵ غلظت اولیه ۱، ۵، ۱۵، ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر از

فنل بررسی گردید. نتایج این بررسی در نمودار شماره ۵ نشان داده شده است.

در این مطالعه از مدل های ایزوترم فروندلیش و لانگمیر برای بیان ارتباط بین مقدار فنل جذب شده و غلظت تعادلی آن در محلول استفاده شده است. نتایج مربوطه در نمودارهای شماره ۶ و ۷ نشان داده شده است.

همچنین ثابت های این دو ایزوترم در جدول شماره ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصله مشاهده می شود که جذب فنل بر روی پرشتر مرغ بخوبی از ایزوترم فروندلیش ($>0/989$) تبعیت می کند.

جدول شماره ۱: پارامترهای مدل ایزوترم جذب فروندلیچ و لانگمیر

مدل لانگمیر		مدل فروندلیش			نوع ایزوترم
R^2	b	Q^0	R^2	1/n	K
۰/۹۵۶	۲۰	۱/۳۹	۰/۹۸۹	۴/۵	۰/۰۴

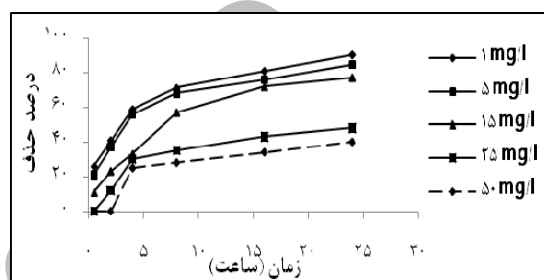
خاکستر پرشتر مرغ

بحث

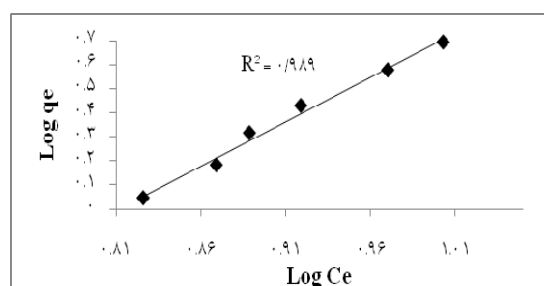
در این تحقیق طبق نمودار شماره ۱ با ثابت نگه داشتن پارامترهایی همچون مقدار ماده جاذب، دما و غلظت فنل تأثیر اثر فنل، بر روی کارایی حذف فنل بررسی گردید. طبق تحقیق انجام شده مشخص شد که جذب فنل از محلول های آبی در درجه اول وابستگی زیادی به pH محلول دارد، زیرا pH بر روی شارژ الکتریکی سطح جاذب اثر گذاشته و درجه یونیزاسیون فنل را تغییر می دهد (۱۰). طبق نتایج حاصل شده مقدار جذب فنل با افزایش pH کاهش می یابد. این امر ممکن است به دلیل نقش pH در یونیزاسیون فنل باشد. بخش یونی فنل (Φ_{ions}) توسط رابطه زیر محاسبه می شود (۱۱):

$$\Phi_{ions} = \left[\frac{1}{1 + 10^{(PKa - pH)}} \right]$$

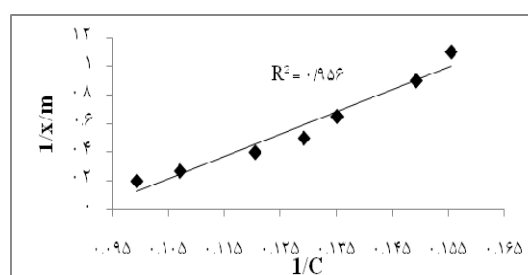
مطابق فرمول بالا مشاهده می گردد که Φ_{ions} با افزایش pH، افزایش می یابد و با توجه به این نکته که فنل یک اسید ضعیف می باشد در نتیجه به مقدار ناچیز در pH بالا تفکیک می شود (۱۱). همچنین در pH های پایین سطح جاذب دارای بار مثبت شده و در نتیجه در یک کشش قوی با یون های با بار منفی فنل قرار می گیرد که این امر باعث افزایش میزان حذف می شود. ولی با کاهش بیشتر pH از ۳ به pH=۲ سطح جاذب توسط یون های H^+ احاطه شده و حضور بیش از اندازه این یون ها باعث خنثی شدن یونیزاسیون فنل شده و در نتیجه میزان حذف این آلاینده در جاذب کاهش



نمودار شماره ۵: تأثیر غلظت اولیه فنل بر میزان جذب بر روی خاکستر پرشتر مرغ در شرایط بهینه (pH=۳، دما: ۳۰ درجه؛ مقدار جاذب: ۲ گرم؛ زمان از ۰/۵ تا ۲۴ ساعت)



نمودار شماره ۶: ایزوترم خطی جذب فروندلیش برای فنل توسط پر شتر مرغ در دمای ۳۰ °C



نمودار شماره ۷: ایزوترم خطی جذب لانگمیر برای فنل توسط پر شتر مرغ در دمای ۳۰ °C

می‌یابد (۱۲). همچنین با افزایش pH به سمت خنثی و قلیایی، میزان کدورت نمونه افزایش می‌یابد که این امر بدلیل تجزیه برخی از اجزای آلی پر در نمونه می‌باشد. نتایج مشابهی در این خصوص برای جذب فنل بر روی کربن فعال توسط Halouli، بر روی بنتونیت توسط Banat، بر روی خاکستر نیشکر توسط Vimal ارائه شده است (۱۵-۱۳).

مطابق نتایج ارائه شده در نمودار ۲ مشاهده می‌گردد که با افزایش دما کارایی جاذب بالا رفته و میزان حذف فنل افزایش می‌یابد. به طوری که با افزایش دما از 20°C به 30°C افزایش قابل ملاحظه‌ای در جذب فنل توسط پر شتر مرغ مشاهده می‌گردد و بعد از آن با افزایش دما تا 40°C کارایی پر در جذب کاهش می‌یابد. افزایش کارایی جذب با افزایش دما ممکن است بدلیل انبساط جاذب و در نتیجه افزایش محل‌های فعال بیشتر برای حذف فنلی که در تماس با آن است باشد. همچنین کاهش راندمان سیستم با افزایش بیشتر دما تا 40°C درجه سانتیگراد بدلیل افزایش حرکت و جنبش فنل و در نتیجه ضعیف شدن نیروی جذب بین جذب بین جاذب و فنل شود. در تحقیقات مشابهی که با پر ماکیان بر روی آلاینده‌ها انجام شده این موضوع به اثبات رسیده است. در این زمینه می‌توان به جذب زیستی فنل با استفاده از پر مرغ توسط Fawzi، جذب رنگ ایندیگو کارمین با پر ماکیان توسط Mittal و جذب سرب با پر مرغ توسط De la Rosa اشاره نمود (۱۶، ۶۸).

بر اساس نتایج بدست آمده در ارتباط با تأثیر افزایش مقدار ماده جاذب بر کارایی حذف فنل (نمودار شماره ۳) مشخص گردید که در غلظت 0.2 g حداقل مقدار حذف را دارد اما با افزایش مقدار ماده جاذب راندمان حذف افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد به طوری که با مقدار جاذب 0.7 g میزان حذف افزایش می‌یابد و پس از آن راندمان حذف دچار کاهش می‌شود و به عبارتی با افزایش مقدار ماده جاذب به بیش

از 0.7 g و جذب فنل به محیط اتفاق می‌افتد. این کاهش جذب می‌تواند بعلت کمبود غلظت فنل در مقادیر بالاتر جاذب (از $0.7\text{ تا }2\text{ گرم}$) باشد. در تحقیقات مشابه در زمینه حذف فنل مشاهده گردیده که با افزایش مقدار جاذب‌هایی مانند سبوس برنج و کربن آن توسط محوی، پر مرغ توسط Fawzi، پوست بلوط توسط Vazquez و برگ تندبو توسط Nagda، درصد حذف فنل افزایش می‌یابد. همچنین در یک تحقیق مشابه که توسط Mishra برای حذف فنل بر روی کربن برگ انجام داد مشاهده شد که با افزایش مقدار ماده جاذب میزان حذف فنل کاهش می‌یابد (۸، ۱۰، ۱۲، ۱۷، ۱۸).

همان‌طور که در نمودار شماره ۴ مشاهده می‌گردد راندمان حذف فنل در غلظت اولیه 15 mg/L فنل و مقادیر متفاوت جاذب ($0.2\text{ تا }2\text{ گرم}$) در زمان تماس 30 دقیقه در حداقل مقدار خود می‌باشد اما با افزایش زمان، راندمان حذف افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد به طوری که در زمان تماس 24 ساعت راندمان حذف فنل توسط پر شتر مرغ در هر 5 غلظت ماده جاذب به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در این زمینه نتایج مشابهی برای جذب فنل بر روی پر مرغ توسط Fawzi و بر روی خاکستر زغال سنگ آفریقای جنوبی توسط Potgieter ارائه گردیده است (۸، ۱۹).

بر اساس نتایج مربوط به تأثیر غلظت اولیه فنل در نمودار ۵ مشاهده گردید که با افزایش غلظت فنل میزان کارایی جذب کاهش می‌یابد، که به نظر می‌رسد با افزایش غلظت فنل ظرفیت جذب جاذب بالا می‌رود که این امر ممکن است در نتیجه افزایش نیروی انتقال جرم و در نتیجه افزایش ظرفیت جذب باشد (۵، ۲۰). همچنین به نظر می‌رسد که با افزایش غلظت فنل، درصد حذف کاهش می‌یابد.

مدل‌های مختلفی برای توصیف داده‌های حاصل از آزمایشات جذب وجود دارد که مهمترین آنها ایزوترم‌های جذب است. تحلیل ایزوترم جذب به منظور دستیابی به یک معادله جهت نمایش دقیق نتایج

لانگمیر بر حسب mg/g و L/mg هستند که به ترتیب مربوط به حداکثر ظرفیت جذب و انرژی جذب هستند. مدل فروندلش به صورت فیزیکی توصیف قابل اعتمادتری جهت جذب آلاینده‌ها بر روی مواد آلی ارائه می‌کند که این موضوع می‌تواند بدلیل حضور باندهای جذبی مختلف بر روی مواد آلی باشد (۲۱). داده‌های نمودار شماره ۶ و ۷ نشان می‌دهد که رابطه فروندلش به علت ضریب همبستگی بالای بدست آمده که برابر $0/989$ می‌باشند نسبت به ایزوترم لانگمیر ($R^2=0/956$) جذب فنل بر روی پرشترمرغ را بهتر توصیف می‌کند.

سپاسگزاری

نویسندگان این تحقیق از کارشناس محترم آزمایشگاه و مسئولین محترم دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی که در طول انجام این تحقیق کمال همکاری را داشته‌اند سپاسگزارند. این مقاله حاصل پایان‌نامه دانشجوی پزشکی دکتر ملیحه بنی‌حسن می‌باشد.

References

1. Yapar S, Ozbudak V, Dias A, Lopes A. Effect of adsorbent concentration to the adsorption of phenol on hexadecyl trimethyl ammonium-bentonite. *J Hazard Mater* 2005; 100(1-3): 135-139.
2. Bayramoglu G, Arica M.Y. Enzymatic removal of phenol and p-chlorophenol in enzyme reactor: horseradish peroxidase immobilized on magnetice beads. *J Hazard Mater* 2008; 164(2-3): 148-155.
3. Joyce TW. Design criteria for phenol treatment by plastic media tricking filter, *ALCHE. Symposium Series* 1997; 39(17): 123-131.
4. Lin SH, Cheng M J. Adsorption of phenol and m-chlorophenol on organo bentonite sand repeated thermal regeneration. *J Ind*

و طراحی سیستم‌های جذب بسیار مهم می‌باشد (۱۰). شکل خطی ایزوترم فروندلش به صورت رابطه زیر می‌باشد (۱۱، ۱۰، ۲۰، ۲۱):

$$\text{Log}q_0 = \text{Log}K + \frac{1}{n} \text{Log}C_e$$

که در رابطه فوق، q_e برابر با مقدار جسم جذب شده به ازای جرم جاذب است (mg/mg)، C_e غلظت تعادلی جسم جذب شونده K (mg/L) و $1/n$ ، ثابت‌های ایزوترم فروندلش هستند که به ترتیب مربوط به ظرفیت جذب و شدت جاذب می‌باشند. نمودارهای شماره ۶ و ۷ ایزوترم‌های جذب فروندلش را بر سیستم جاذب پر شترمرغ در دمای ثابت ۳۰ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد.

شکل خطی ایزوترم لانگمیر نیز از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (۲۰، ۱۱، ۱۰، ۲۱):

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q^0} + \frac{1}{bQ^0} \frac{1}{C_e}$$

که در رابطه فوق، Q^0 و b ، ثابت‌های ایزوترم‌های

Engin Chemis 2001; 74(9): 150-159.

5. Mittal A. removal of the dye amaranth from wastewater using hen feathers as potential adsorbent. *Elect J Environ Agric Food Chem* 2006; 5(2): 129-135.
6. De la Rosa G, Reynel-Avila HE, Bonilla A, Martinez AL. *Word Acad Sci Engin Tech* 2008; 47(8): 394-402.
7. Mittal A. Use of hen feathers as potential adsorbent for the removal of a hazardous dye, Brilliant Blue FCF, from wastewater. *J Hazard Mater* 2006; 128: 233-239.
8. Banat F, Al-Asheh S.M. Biosorption of phenol by chicken feathers. *Environ Engineering and Policy* 2000; 2: 85-90.

9. Kianimanesh HR, Rezazade M, Darvish M. The ostrich livestock for tomorrow. 1st ed. Tehran: Atinegar-Mehr engineering company, 2004.
10. Mahvi AH, Maleki A, Eslami A. Potential of rice husk and rice husk ash for phenol removal in aqueous systems. *American J Appl Sci* 2004; 1(4): 321-326.
11. Banat FA, Al-Bashir B, Al-Asheh S, Hayahneh O. Adsorption of phenol by bentonite. *Env Pollut* 2000; 107(3): 391-398.
12. Mishra S, Bhattacharya J. Batch studies on phenol removal using leaf activated carbon. *Malay J Chem* 2007; 9(1): 1-15.
13. Khalid N, Ahmad S, Toheed A, Ahmad J. Potential of rice husks for antimony removal. *Appl Rad Isot* 2000; 52 (1): 31-38.
14. Halhouli KA, Drawish NA, Al-Dhoon NM. Effects of pH and inorganic salt on the adsorption of phenol from aqueous systems on activated decolorizing charcoal. *Separat Sci and Tech* 1995; 30(17): 181-190.
15. Vimal C, Srivastava S, Mahadeva M, Indra D, Basheswar Prasad M, Indra M, Mishra S. Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *J Coll and Surf* 2006; 5(2): 89-104.
16. Mittal A, Mittal J, Kurup L. Utilization of hen feathers for the adsorption of Indigo Carmine from simulated effluents. *J Env Prot Sci* 2007; 146: 92-100.
17. Vazquez G, Gonzalez J, Freire M, Calvo M, Antorrena G. Determination of the optimal conditions for the adsorption of cadmium ions and phenol on chestnut (*castanea sativa*) shell. *Glob NEST J* 2009; 11(2): 196-204.
18. Nagda GK, Diwan AM, Ghole VS. Potential of tendu leaf refuse for phenol removal in aqueous systems. *Appl Eco Env Res* 2007; 5(2): 1-19.
19. Potgieter J.H, Bada S.O, Potgieter S.S. Adsorptive removal of various phenols from water by South African coal fly ash. *J Water Sci* 2009; 35(1): 378-387.
20. Rengaraj S, Seuny-Hyeon M, Sivabalan R. Agricultural solid waste for the removal of organics: adsorption of phenol from water and wastewater by palm seed coat activated carbon. *Waste Manage* 2002; 22(5): 543-548.
21. Aksu A, Ac-ykel U, Kabasakal E. Tezer S. Equilibrium modeling of individual and simultaneous biosorption of chromium (VI) and nickel (II) onto dried activated sludge. *J Water Res* 2002; 29(476): 3063-3073.