

# تعیین پارامترهای بهینه در حذف فنل با استفاده از پر شتر مرغ پاکسازی شده با پراکسید هیدروژن

محمد منشوری<sup>۱</sup>

احمد رضا یزدانبخش<sup>۲</sup>

هستی دارائی<sup>۳</sup>

(دریافت ۸۹/۵/۲ پذیرش ۸۹/۱۱/۷)

## چکیده

حضور فنل در آب و فاضلاب به دلیل سمیت و تهدیدی که برای زندگی انسان و محیط دارد یک نگرانی عمده محسوب می‌گردد. در این مطالعه از پر شتر مرغ به عنوان یک جاذب جدید برای حذف فنل در وزن‌های ۰/۲، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱ و ۱/۵ گرم استفاده شد و تغییرات اثر زمان، pH، مقدار جاذب و دما در حین فرایند حذف و همچنین تبعیت فرایند جذب از معادلات فروندلیچ و لانگمیر مورد بررسی قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که با افزایش مقدار جاذب از ۰/۲ تا ۰/۷ گرم میزان جذب افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده شد که جذب فنل با افزایش pH محلول کاهش می‌یابد و افزایش زمان تماس، تأثیر ویژه‌ای (۷۰ درصد) در میزان جذب دارد. همچنین موازنه جذب به خوبی توسط ایزوترم‌های جذب فروندلیچ و لانگمیر نمایش داده شدند. نتایج نشان می‌دهند که پر شتر مرغ به عنوان یک ماده زائد در کشتارگاهها، می‌تواند یک جاذب زیستی مؤثر برای حذف فنل به شمار رود.

واژه‌های کلیدی: پر شتر مرغ، جاذب زیستی، بهینه، ایزوترم

## Determination of the Optimum Parameters of Phenol Removal by Ostrich Feathers and Hydrogen Peroxide

Mohammad Manshouri<sup>1</sup>

Ahmadreza Yazdanbakhsh<sup>2</sup>

Hasti Daraei<sup>3</sup>

(Received July 23, 2010 Accepted Jan. 26, 2011)

### Abstract

The presence of phenol and its derivatives in water and wastewater are of major concern because of their toxicity and threat to human life and environment. In this study, ostrich feather has been used as a new adsorbent in removal of phenol in different doses of 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1 and 1.5 g and the effects of changing contact time, pH, adsorbent dose and temperature has been determined. Then, the adsorption data were described with Langmuir and Freundlich adsorption isotherms and Excel software for analyzing the data was used. The results obtained revealed that by increasing the dosage of the sorbent from 0.2 to 0.7 g the adsorption increases. The adsorption of phenol decreases by the increase of the pH value of the solution. Also, it is observed that the contact time significantly affect the rate of phenol adsorption (70%) from solution. The adsorption equilibrium was well represented by the Freundlich and Langmuir adsorption isotherms. The results showed that the ostrich feathers, a solid waste produced in poultry processing plant, can be used as an effective biosorbent for removal phenol in aqueous solution.

**Keywords:** Ostrich Feather, Biosorbent, Optimal, Isotherm.

1. Assist. Prof., of Environmental Sciences, Faculty of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2. Assoc. Prof., of Environmental Sciences, Faculty of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3. Faculty Member of Environmental Health Eng., Alborz University of Medical Science, Karaj (Corresponding Author) (+98 261) 34643254 hasti.daraei@yahoo.com

- ۱- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران
- ۲- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران
- ۳- عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج  
hasti.daraei@yahoo.com (۰۲۶۱) ۳۴۶۴۳۲۵۴ (نویسنده مسئول)

فنل و مشتقات آن از آلاینده‌های رایج محیطی هستند که به صورت عمده در صنایع و کشاورزی به عنوان آفت کش، در طول تهیه و تولید کاغذ و سوزاندن مواد آلی در حضور کلراید تولید می‌شود [۱]. همچنین این ترکیبات می‌توانند از صنایع پتروشیمی و نفت، تبدیل زغال سنگ، و صنایع تولید فنل وارد فاضلاب و آب شوند [۲]. این ترکیب در سال ۱۸۶۰ به منظور کاربرد در حشره کشها تولید گردید و در قرن ۱۹ به بعد برای اهداف دیگری نیز استفاده گردید [۳]. فنل با فرمول شیمیایی  $C_6H_6O$  است که پس از رها شدن در محیط عمر طولانی نداشته ولی در نتیجه رها سازی مداوم در محیط، زمان ماندگاریش در آب، خاک و هوا بالا می‌رود [۴]. در سایر تحقیقات انجام شده توسط محققان در زمینه فنل و مشتقات آن به اثرات نامطلوب و زیان آور در آب حتی در غلظت کمتر از ppm ۰/۱ اشاره گردیده است [۵].

فنل یک هیدروکربن آروماتیک و از مشتقات بنزن است که در آب حلالیت بالایی دارد و پس از حل شدن در آب به آن خاصیت اسیدی می‌دهد. با توجه به اینکه این آلاینده یک ماده سمی بوده و کاهش و حذف بیولوژیکی آن مشکل است. لذا استانداردهای سخت گیرانه‌ای برای تخلیه مواد فنل دار به محیط زیست در نظر گرفته شده است. فنل و ترکیبات آن حتی در غلظتهای کم، سرطانزا هستند. همچنین حضور این ترکیبات در آب سبب ایجاد بوی نامطبوع کلروفنل در طول کلریناسیون آب در منابع خانگی می‌گردد. فنل یک محرک قوی چشم و محرک سیستم تنفسی است. همچنین در اثر بلع داخلی این ماده، مرگ انسان مشاهده می‌گردد [۶].

با توجه به این مشکلات و تأثیراتی که فنل می‌تواند روی محیط زیست و سلامت داشته باشد، حذف این آلاینده آلی از فاضلاب صنایع شیمیایی و پتروشیمی و پسابهای آلوده به آن یکی از اجزای لازم و ضروری در سیستم‌های تصفیه این صنایع به‌شمار می‌رود [۷]. روشهایی که برای حذف فنل از محیط‌های آبی به‌کار می‌روند به روشهای تخریبی همچون اکسیداسیون با ازن و روشهای بهبود دهنده همچون جذب در خلل و فرج یک جاذب جامد طبقه‌بندی شدند [۸].

در طی دو دهه اخیر تحقیقات زیادی در ارتباط با جذب مواد آلی با قابلیت تجزیه پذیری پایین صورت گرفته است. هدف اصلی این تحقیقات، تشخیص یک ماده جاذب مؤثر و ارزان قیمت برای حذف آلاینده‌های آلی از محلولهای آبی و همچنین شناسایی یک ماده مؤثر و ارزان برای حذف آلاینده‌های محیطی بوده است [۹]. به طوری که در طی سالیان گذشته برای حذف آلاینده‌های خطرناک از آب و فاضلاب، کاربرد زائدات صنعتی و کشاورزی به عنوان جاذبهای بالقوه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است [۱۰]. بررسی

تحقیقات مشخص می‌کند که تعداد زیادی از زائدات تولیدی همچون کربن فعال، زغال سنگ، خاکستر نیشکر، پوست سبوس برنج، خاکستر رسوبات و زائدات کشاورزی به عنوان جاذبهای بالقوه ساخته و به‌کار گرفته شده‌اند [۱۱-۱۶]. به همین دلیل تلاش شد تا از دیگر مواد زائد همچون پرماکیان به عنوان یک جاذب و همچنین به عنوان یک ابتکار برای توسعه دادن یک روش مستعد، اقتصادی و قابل اطمینان برای حذف آلاینده‌ها از آب و فاضلاب استفاده شود [۱۶]. در حقیقت پرماکیان از جمله جاذبهای طبیعی هستند که می‌توانند برای تصفیه آب به‌کار گرفته شوند. این مواد در مقادیر زیادی به عنوان یک ماده زائد در مرغداری‌ها و کشتارگاهها تولید می‌شوند [۱۷]. موفقیت در کاربرد پر مرغ در آلودگی زدایی از فاضلاب به ارزش این ماده زائد تولیدی افزوده است. پره‌های مرغ همچنین برای جذب زیستی یون‌های فلزات با ارزشی همچون طلا و پلاتینیوم به‌کار گرفته شده است [۱۸]. با توجه به اطلاعات موجود تحقیق حاضر با هدف بررسی امکان کاربرد پر شترمرغ به عنوان یک جاذب جدید برای حذف آلاینده‌های آلی همچون فنل انجام شد.

## ۲- روش کار

### ۲-۱- تهیه و آماده‌سازی جاذب

پره‌های شترمرغ از مراکز پرورش شترمرغ تهیه و جمع‌آوری گردید. سپس چندین بار با آب و دترجنت و در نهایت مجدداً با آب مقطر شستشو داده شدند. در مرحله بعدی، پرها در دمای اتاق خشک گردیدند. سپس ساقه‌های خشک پرها از آنها جدا گردید و تارهای نرم آنها بریده و خرد شدند. در این مرحله پرها برای تعیین اندازه و سایز، از الکهای با سایز بندی مشخص (۵/۰ و ۳/۰ سانتی‌متری) عبور داده شدند و در نهایت با عبور از الکها، جاذب با سایز ۰/۳ سانتی‌متر به دست آمد. این مواد خرد شده سپس با استفاده از پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد وزنی/حجمی به مدت ۱۸ ساعت برای حذف کلیه مواد آلی چسبیده به آن پاکسازی و تصفیه شدند. پس از زمان طی شده جرم به دست آمده مجدداً با آب مقطر شسته شده و برای خشک شدن به مدت ۱۲ ساعت در آون گذاشته شد. در نهایت ماده خشک شده برای مطالعات بعدی در دسیکاتور نگهداری شد.

### ۲-۲- آماده‌سازی محلولها

فنل مورد استفاده در این تحقیق برای تولید غلظت مشخصی از آلودگی در آب، از شرکت مرک<sup>۱</sup> آلمان و به صورت جامد، با درجه خلوص ۹۹ تا ۱۰۰ درصد برای آنالیزهای آزمایشگاهی تهیه شد. به همین منظور ابتدا طبق استاندارد متد، برای به دست آوردن میزان

<sup>۱</sup> Merck

جذب مناسب، غلظتهای استاندارد از فنل (۰/۳، ۰/۲، ۰/۱) و ۰/۴ و ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر) تهیه و به دستگاه اسپکتروفتومتر داده شده و میزان جذب در طول موج ۵۰۰ نانومتر قرائت گردید [۱۹]. در ابتدا یک محلول استوک ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه و در ظرف شیشه‌ای قهوه‌ای رنگ و در یخچال نگهداری گردید و در مراحل بعدی آزمایش از محلول استوک مذکور برای تهیه نمونه‌های آب آلوده به فنل با غلظتهای مورد نیاز برای آزمایش‌ها با رقیق‌سازی به کمک آب مقطر استفاده شد. پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه شامل pH در محدوده (۲، ۳، ۷، ۹)، غلظت اولیه و ثابت فنل (۱۵ میلی‌گرم در لیتر)، مقادیر متفاوت جاذب (۰/۳، ۰/۲، ۰/۱، ۰/۵، ۱، ۱/۵ گرم)، زمان تماس (۰/۵، ۲، ۴، ۸، ۱۶ و ۲۴ ساعت) و دماهای متفاوت ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سلسیوس بودند است. برای اندازه‌گیری pH از pH متر مدل Sartorius PP-۵۰ و برای تنظیم pH از سود و اسید سولفوریک یک نرمال استفاده گردید.

### ۳-۲- انجام آزمایش‌ها

کلیه آزمایش‌های اولیه برای تعیین پارامترهای بهینه در حذف فنل توسط پر شتر مرغ در غلظت اولیه و ثابت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر از فنل انجام گردید. برای این منظور غلظت مشخصی از محلول استوک فنل به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر به شیشه‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری اضافه شد. سپس مقادیر یکسانی از جاذب به شیشه‌ها اضافه شده و pH محلولها در محدوده مورد نظر تنظیم شد. بعد از عمل اختلاط در دستگاه لرزاننده دارای کنترل‌گر دما، نمونه‌ها در زمان مشخصی برداشته شده و بعد از صاف‌سازی توسط صافی واتمن<sup>۱</sup> شماره ۴۲، طبق روش استاندارد متد معرفهای مورد نیاز برای این آزمایش به نمونه اضافه گردیدند و در نهایت میزان جذب فنل در طول موج ۵۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر کنترل گردید [۱۹]. پس از تعیین pH بهینه برای این آزمایش، مرحله بعد دستیابی به دمای بهینه بود که با در دست داشتن pH مناسب و ثابت قرار دادن دیگر پارامترها همچون مقدار جاذب و زمان، دمای بهینه نیز به دست آمد. با به دست آوردن pH و دمای بهینه، آزمایش مربوط به مقدار جاذب با ثابت قرار دادن دیگر پارامترها انجام شده و در نهایت با تعیین مقدار مطلوب دز جاذب، زمان ماند بهینه برای این آزمایش محاسبه گردید.

### ۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از این مطالعه در خصوص تأثیر پارامترهای اصلی این واکنش همچون pH محلول، زمان تماس، دما، اثر مقدار پر شتر مرغ

و نهایتاً غلظت اولیه فنل در میزان کارایی سیستم در حذف فنل به ترتیب در شکل‌های ۱ تا ۵ نمایش داده شده است. این شکلها نشان می‌دهند که کاهش pH، افزایش زمان، افزایش غلظت جاذب و افزایش دما تا یک مقدار معین، راندمان حذف را افزایش می‌دهد. همچنین در ارتباط با غلظت اولیه فنل نیز نتایج حاکی از آن است که با افزایش غلظت فنل، کارایی سیستم جذب کاهش می‌یابد. همچنین ایزوترم‌های جذب فروندلیچ و لانگمیر برای جاذب مورد استفاده در این مطالعه در شکل‌های ۶ و ۷ نمایش داده شده است. ضرایب ایزوترم‌های مربوطه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- پارامترهای مدل ایزوترم جذب فروندلیچ و لانگمیر

| نوع ایزوترم | مدل فروندلیچ |      |                | مدل لانگمیر    |      |                |
|-------------|--------------|------|----------------|----------------|------|----------------|
|             | K            | 1/n  | R <sup>2</sup> | Q <sup>0</sup> | b    | R <sup>2</sup> |
| پر شتر مرغ  | ۰/۰۱         | ۰/۷۳ | ۰/۹۸۵۶         | ۰/۰۶           | ۱/۷۳ | ۰/۹۸           |

### ۳-۱- اثر pH اولیه محلول

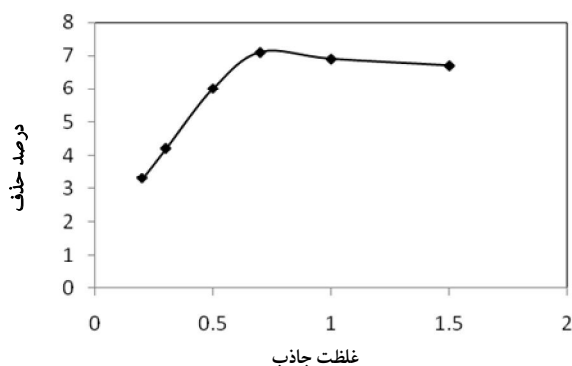
یکی از پارامترهای مؤثر و مهم در فرایند جذب فنل pH اولیه است. نتایج حاصل از تأثیر pH در جذب فنل در شکل ۱ آورده شده و نمایانگر آن است که بیشترین میزان حذف فنل (۵۷ درصد) در محدود اسیدی یعنی pH برابر ۲ بوده و با افزایش آن در محدوده ۹ حداقل میزان حذف (۱۹/۳ درصد) مشاهده گردید. در حقیقت pH اولیه بر روی درجه یونیزاسیون فنل و مشخصات سطحی جاذب تأثیر می‌گذارد. در ارتباط با جاذب، به نظر می‌رسد که افزایش اسیدیته یا قلیانیت می‌تواند بر روی یونیزاسیون پروتئین کراتین در زنجیره اسید آمینه که دارای بار مثبت است تأثیر بگذارد [۱۸]. به عبارتی در pH پایین سطح جاذب دارای بار مثبت شده و در نتیجه در یک جاذبه شدید با یون‌های منفی فنل قرار می‌گیرند [۲۰]. بخش یونی فنل ( $\phi_{ions}$ ) می‌تواند از طریق رابطه زیر محاسبه گردد [۲۰]

$$\phi_{ions} = \frac{1}{1 + 10^{(PKa - pH)}} \quad (۱)$$

مطابق رابطه بالا،  $\phi_{ions}$  با کاهش pH، کاهش می‌یابد و فنل که یک اسید ضعیف با  $PKa = ۱۰$  است به مقدار بیشتری در محلولها یونیزه می‌شود. این یون‌ها دارای بار منفی هستند و مستقیماً بر روی بار مثبت سطح پر جذب می‌شوند به عبارتی در pHهای پایین سطح جاذب دارای بار مثبت شده و در نتیجه در یک کشش قوی با یون‌های با بار منفی قرار می‌گیرد که این امر باعث افزایش میزان حذف می‌شود [۱۲]. نتایج مشابهی در این خصوص برای جذب فنل بر روی کربن فعال، بنتونیت و خاکستر نیشکر به دست آمده است [۲۱-۲۳].

<sup>1</sup> Whatman

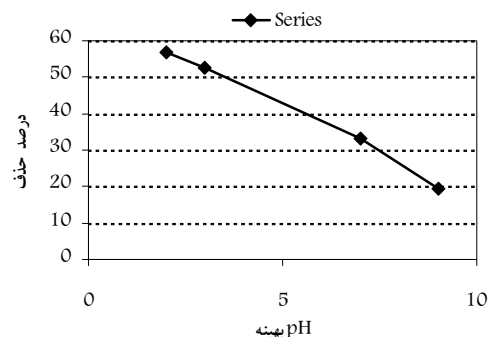
یافته و به عبارتی با افزایش مقدار ماده جاذب به بیش از ۰/۷ گرم، واجذب فنل به محیط اتفاق می‌افتد. این کاهش جذب می‌تواند به علت کمبود غلظت فنل در مقادیر بالاتر جاذب (از ۰/۷ تا ۱/۵ گرم) باشد. در تحقیقات مشابه در زمینه حذف فنل مشاهده شده که با افزایش مقدار جاذبهایی مانند سبوس برنج و کربن آن، پرمیغ، پوست بلوط، و برگ تندیو حذف فنل افزایش می‌یابد [۱۸ و ۲۵-۲۷]. همچنین در تحقیق مشابهی که برای حذف فنل بر روی برگ انجام شد، مشاهده گردید که با افزایش بیشتر مقدار ماده جاذب، میزان حذف فنل کاهش می‌یابد [۱۸ و ۲۵-۲۸].



شکل ۳- اثر مقدار ماده جاذب در میزان حذف فنل توسط پرشتر مرغ (غلظت فنل: ۱۵ mg/L، pH=۲، زمان ۸ ساعت، دما: ۳۰°C، غلظت جاذب: ۰/۲، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱ و ۱/۵ g)

۳-۴- تأثیر زمان تماس همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد راندمان حذف فنل در غلظت اولیه ۱۵ میلی‌گرم در لیتر فنل و مقادیر متفاوت جاذب (۰/۲ تا ۲ گرم) در زمان تماس ۳۰ دقیقه در حداقل مقدار خود است اما با افزایش زمان، راندمان حذف افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد به طوری که در زمان تماس ۲۴ ساعت راندمان حذف فنل توسط پرشتر مرغ در هر ۵ غلظت ماده جاذب به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در این زمینه نتایج مشابهی برای جذب فنل بر روی پرمیغ و خاکستر زغال آفریقایی ارائه گردیده است [۱۸ و ۲۹].

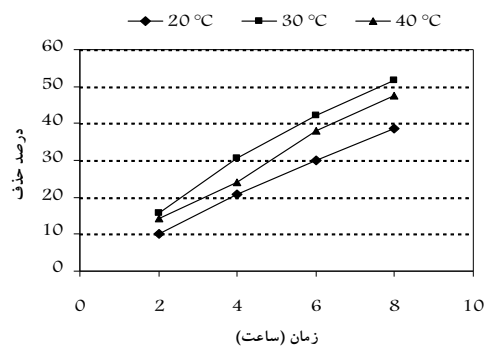
۳-۵- تأثیر غلظت اولیه فنل بر اساس نتایج مربوط به تأثیر غلظت اولیه فنل (۱، ۵، ۱۵، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) در شکل ۵ مشاهده می‌گردد که با افزایش غلظت فنل جذب فنل کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت فنل، ظرفیت جذب جاذب بالا می‌رود که این امر در نتیجه افزایش نیروی انتقال جرم و در نتیجه افزایش ظرفیت جذب است [۱۸ و ۲۷].



شکل ۱- اثر pH در میزان حذف فنل توسط پرشتر مرغ ( غلظت فنل: ۱۵ mg/L، دما: ۳۰°C، زمان: ۸ ساعت، جاذب: ۰/۵ g)

### ۳-۲- تأثیر دما

تأثیر دما در جذب فنل توسط پرشتر مرغ در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با افزایش دما از ۲۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس حذف فنل از ۳۹ به ۵۲ درصد افزایش می‌یابد که این موضوع به دلیل انبساط پرشتر مرغ و در نتیجه افزایش محلهای فعال بیشتر برای فنلی که در تماس با آب است، می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش بیشتر دما از ۳۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس میزان حذف فنل در فرایند مذکور کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند در نتیجه افزایش حرکت و جنبش فنل و در نتیجه ضعیف شدن نیروی جذب بین جاذب و فنل باشد [۱۷، ۱۸ و ۲۴].

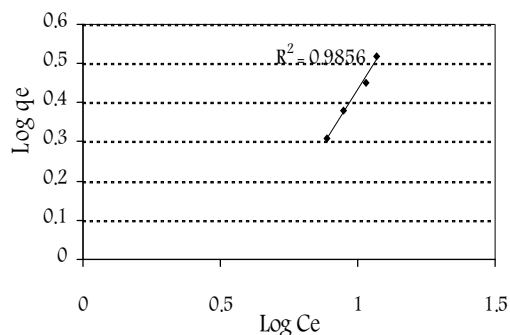


شکل ۲- اثر دما در میزان حذف فنل با استفاده از پرشتر مرغ (غلظت فنل: ۱۵ mg/L، pH=۲، دما: ۲۰°C، ۳۰°C و ۴۰°C، زمان: ۲ تا ۸ ساعت، جاذب: ۰/۵g)

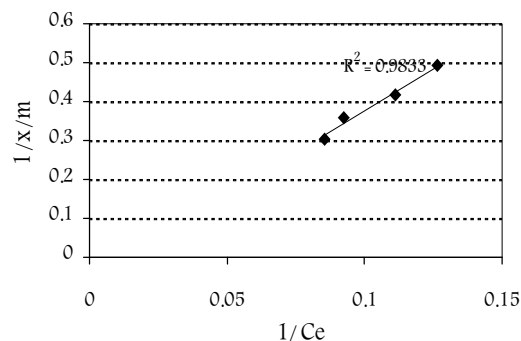
### ۳-۳- تأثیر مقدار جاذب

مطابق شکل ۳ در غلظت ۰/۲ گرم، حداقل مقدار حذف مشاهده می‌شود اما با افزایش مقدار ماده جاذب، راندمان حذف افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد به طوری که با مقدار جاذب ۰/۷ گرم، میزان حذف افزایش می‌یابد و پس از آن راندمان حذف کاهش

ضریب همبستگی بالای به دست آمده که برابر ۰/۹۸۵ است نسبت به ایزوترم لانگمیر با ضریب همبستگی ۰/۹۸، جذب فنل بر روی پر شترمرغ را بهتر توصیف می‌کند.



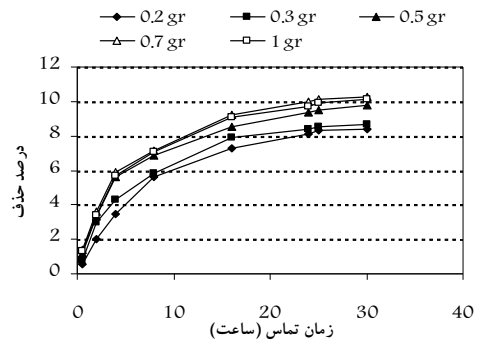
شکل ۵- ایزوترم خطی جذب فروندلیچ برای جذب فنل توسط پر شترمرغ



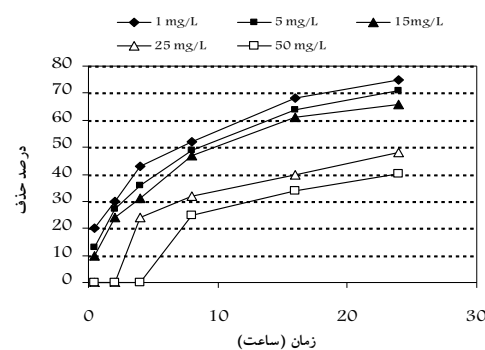
شکل ۶- ایزوترم خطی جذب لانگمیر برای جذب فنل توسط پر شترمرغ

#### ۴- نتیجه‌گیری

مطابق نتایج به دست آمده از این تحقیق، پر شترمرغ قادر است در شرایط بهینه حدود ۷۰ درصد فنل را در غلظت‌های پایین از محلول‌های آبی حذف نماید. همچنین نتایج نشان داد که پر شترمرغ می‌تواند به عنوان ماده‌ای که به صورت دور ریز در محیط وجود دارد کارایی مناسبی به عنوان جاذب برای حذف آلاینده‌های آلی داشته باشد. بنابراین ترویج استفاده از این ماده برای حذف آلاینده‌های آلی و غیر آلی می‌تواند گزینه مناسبی هم در جهت پاکسازی محیط و هم در جهت بازیافت این ماده باشد.



شکل ۴- اثر زمان تماس در حذف فنل توسط پر شترمرغ (غلظت فنل: ۱۵ mg/L، pH=۲، زمان ۰/۵ تا ۲۴ ساعت، دما: ۳۰°C، غلظت جاذب: ۰/۲، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱ و ۱/۵ g)



شکل ۵- اثر غلظت اولیه فنل در حذف آن توسط پر شترمرغ در شرایط بهینه (pH=۲، دما: ۳۰°C، زمان: ۰/۵ تا ۲۴ ساعت و مقدار جاذب: ۰/۷ گرم)

#### ۳-۶- ایزوترم‌های جذب فنل (لانگمیر و فروندلیچ)

مدل‌های مختلفی برای توصیف داده‌های حاصل از آزمایش‌های جذب وجود دارد که مهم‌ترین آنها ایزوترم‌های جذب است. ایزوترم‌های جذب برای توصیف ظرفیت جذب به منظور آسان کردن امکان‌سنجی این فرایند برای کاربرد در نظر گرفته می‌شود [۳۰ و ۳۱]. در این مطالعه از مدل‌های ایزوترم فروندلیچ و لانگمیر برای بیان ارتباط بین مقدار فنل جذب شده و غلظت تعادلی آن در محلول استفاده شده است. ثابت‌های این سه ایزوترم در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصله مشاهده می‌شود که جذب فنل بر روی پر شترمرغ به خوبی از ایزوترم فروندلیچ ( $>0/985$ ) تبعیت می‌کند. شکل‌های ۶ و ۷ نشان می‌دهند که رابطه فروندلیچ به علت

#### ۵- مراجع

- 1- Antizar-Ladislao, B., and Galil, N. I. (2004). "Biosorption of phenol and chlorophenols by acclimated residential biomass under bioremediation conditions in study aquifer." *Water Research*, 38 (2), 267-276.

- 2- Mustafa, A. I., Alam, S., Amin, N., Bahadur, N., and Habib, A. (2008). "Phenol removal from aqueous system by jute stick." *J. Anal. Environ. Chem.*, 9(2), 92-95.
- 3- Srihari, V., and Das, A. (2009). "Adsorption of phenol from aqueous media by an agro-waste (hemidesmus Indicus) based activated carbon." *Applied Ecology and Environmental Research*, 7(1), 13-23.
- 4- Rahmani, A., and Enayati Movafagh, A. (2006). "Investigation of Photocatalytic degradation of phenol through UV/TiO<sub>2</sub> process." *J. of Water and Wastewater*, 58, 32-37. (In Persian)
- 5- Jadhav, D. N., and Vanjara, A. K. (2004). "Removal of phenol from wastewater using sawdust, polymerized sawdust and sawdust carbon." *Indian J. of Chemical Tech.*, 11, 35-41.
- 6- Agency for Toxic Substances and Disease Registry Toxicological Profile for Phenol. (1998). GA: Department of Health and Human Services, Public Health Service; Center for Disease Control, Atlanta.
- 7- Lin, S. H., and Cheng, M. J. (2001). "Adsorption of phenol and m-chlorophenol on organo bentonites and repeated thermal regeneration." *J. of Industrial and Engineering Chemistry*, 22(6), 595-603.
- 8- Bolat, F., Govori, A., Haziri, A., Spahiu, S., and Faiku, F. (2010). "Used tea waste adsorption for removal of phenol from synthetic and Kosovo industrial wastewater." *J. Int. Environmental Application and Science*, 5(1), 63-67.
- 9- Daraei, H., Manshouri, M., and Yazdanbakhsh, A. R. (2010). "Removal of phenol from aqueous solution using ostrich feathers ash." *J. of Mazandaran University of Med. Sci.*, 20 (79), 81-87. (In Persian)
- 10- Mittal, A. (2006). "Removal of the dye amaranth from wastewater using hen feathers as potential adsorbent." *Electron. J. Environ., Agri Food Chem.*, 5 (2), 129- 135
- 11- Aitcheson, S. J., Arnett, J., and Murray, K. R. (2000). "Removal of aquaculture therapeutants by carbon adsorption: 2: Multicomponent adsorption and the equilibrium behavior of mixtures." *Biotechnology for the Sustainability of Human Society*, 183 (3-4), 269-284.
- 12- Allen, S. J. L., Whitten, J. M., and Murray, O. D. (1996). "The adsorption of pollutants by peat, lignite and activated chars." *Environ. Pollut.*, 192 (2), 39-50.
- 13- Gupta, V. K., and Ali, I. (2001). "Removal of lindane and malathion from wastewater using bagasse fly ash—a sugar industry waste." *American J. of Applied Sciences*, 36 (10), 33-40.
- 14- Srivastava, V. C., Mall, I. D., and Mishra, I. M. (2006). "Characterization of mesoporous Rice Husk Ash (RHA) and adsorption kinetics of metal ions from aqueous solution onto RHA." *J. of Hazardous Materials*, 134 (1-3) 257-267.
- 15- Mittal, A., Mittal, J., Kurup, L., and Singh, A. K. (2006). "Process development for the removal and recovery of hazardous dye erythrosine from wastewater by waste materials-bottom ash and de-oiled soya as adsorbents." *J. of Hazardous Materials*, 138 (1), 95-105.
- 16- Mittal, A., Malviya, A., Kaur, D., Mittal, J., and Kurup, L. (2007). "Studies on the adsorption kinetics and isotherms for the removal and recovery of methyl orange from wastewaters using waste materials." *J. of Hazardous Materials*, 148 (1-2), 229-240.
- 17- De la Rosa, G., Reynel-Avila, H. E., Bonilla, A., and Martinez, A. L. (2008). "Word academy of science." *Engineering and Technology*, 47, 394-402.
- 18- Fawzi, A. B., and Sameer, A. (2000). "Biosorption of phenol by chicken feathers." *Environ. Engg. and Policy*, 2 (2), 85-90.
- 19- AWWA. (1999). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20<sup>th</sup> Ed., American Public Health Association, USA.
- 20- Uddin, M. T., Islam, M. S., and Abedin, M. Z. (2007). "Adsorption of phenol from aqueous solution by water hyacinth ash." *ARPJ. of Engineer and Applied Sciences*, 2(2), 11-17.

- 21- Halhouli, K.A., Drawish, N.A., and Al-Dhoon, N. M. (1995). "Effects of pH and inorganic salt on the adsorption of phenol from aqueous systems on activated decolorizing charcoal." *Separat. Sci. and Tech.*, 30(1), 3313-3324.
- 22- Banat, F. A., Al-Bashir, B., Al-Asheh, S., and Hayahneh, O. (2000). "Adsorption of phenol by bentonite." *Env. Pollut*, 107 (3), 391-398.
- 23- Vimal, C., Srivastava, S., Mahadeva, M., Indra, D., Basheswar Prasadm Indra, M., and Mishra S. (2006). "Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics." *J. Coll. and Surf.*, 5(2), 89-104.
- 24-16- Mittal, A., Mittal, J., and Kurup, L. (2007). "Utilization of hen feathers for the adsorption of Indigo carmine from simulated effluents." *J. Env. Prot. Sci.*, 146, 92-100.
- 25- Mahvi, A. H., Maleki, A., and Eslami, A. (2004). "Potential of rice husk and rice husk ash for phenol removal in aqueous systems." *American J. of Applied Sciences*, 1 (4), 321-326.
- 26- Vazquez, G., Gonzalez, J., Freire, M., Calvo, M., and Antorrena, G. (2009). "Determination of the optimal conditions for the adsorption of cadmium ions and phenol on chestnut (*castanea sativa*) shell." *J. of Glob. NEST*. 11(2), 196-204.
- 27- Nagda, G. K., Diwan, A. M., and Ghole, V.S. (2007). "Potential of tendu leaf refuse for phenol removal in aqueous systems." *Appli. Eco. Env. Res.*, 5(2), 1-19.
- 28- Mishra, S., and Bhattacharya, J. (2007). "Batch studies on phenol removal using leaf activated carbon." *Malay J. Chem.*, 9(1), 1-15.
- 29- Potgieter, J. H., Bada, S. O., and Potgieter, S. S. (2009). "Adsorptive removal of various phenols from water by south African coal fly ash." *J. Water Sci.*, 35(1), 378-387.
- 30- Aksu, A., Ac-ykel, U., Kabasakal, E., and Tezer, S. (2002). "Equilibrium modeling of individual and simultaneous biosorption of chromium (VI) and nickel (II) onto dried activated sludge." *J. of Water Research*, 36(12), 3063-3073.
- 31- Rengaraj, S., Seuny-Hyeon, M., and Sivabalan, R. (2002). "Agricultural solid waste for the removal of organics: Adsorption of phenol from water and wastewater by palm seed coat activated carbon." *Waste Manage.*, 22 (5), 543-548.