

## کارایی پر شتر مرغ در حذف فنل از محلول‌های آبی

محمد منشوری<sup>۱</sup>؛ هستی دارائی<sup>۲\*</sup>؛ احمد رضا یزدانبخش<sup>۱</sup>

### چکیده

زمینه: فنل و ترکیبات آن از آلاینده‌های رایج محیطی هستند که به دلیل پتانسیل زیان‌شان برای سلامت انسان به عنوان آلاینده‌های اولویت‌دار شناخته شده‌اند. در این تحقیق، پتانسیل پر شتر مرغ برای حذف فنل از محلول‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. روش‌ها: حذف فنل از محلول‌های آبی با پر شتر مرغ در سیستم بسته در شرایط گوناگونی از جمله اثر میزان ماده جاذب (در مقادیر ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱ و ۱/۵ گرم)، غلظت فنل اولیه (در مقادیر ۵۰-۱ میلی‌گرم در لیتر)، زمان تماس (در محدوده ۳۰ دقیقه تا ۳۰ ساعت) و pH (در محدوده ۹-۲) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تبعیت فرایند جذب از معادلات فروندلیش و لانگمیر بررسی شد. از نرم‌افزار Excel برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. یافته‌ها: در پروسه جذب سطحی ناپیوسته، زمان تعادل در ۲۴ ساعت تماس حاصل گردید و میزان حداکثر حذف فنل، در میزان pH ۲، برای غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر فنل و مقدار ماده جاذب ۰/۷ گرم به دست آمد. نتیجه‌گیری: پر شتر مرغ توانایی مناسبی برای جذب فنل در غلظت‌های پایین دارد. با این حال توانایی این ماده و در نتیجه امکان استفاده از آن برای تصفیه فاضلاب‌های آلوده به فنل در غلظت‌های بالا محدود است. کلیدواژه‌ها: پر شتر مرغ، جاذب، فنل، جذب سطحی

«دریافت: ۱۳۹۰/۷/۲۵ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۱۸»

۱. گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران

۲. گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج

\* عهده‌دار مکاتبات: البرز، کرج، ۴۵ متری گلشهر، کوچه صفاریان، دانشگاه علوم پزشکی البرز، دانشکده بهداشت، تلفن: ۰۲۶-۳۴۶۴۳۲۵۴

Email: hasti.daraei@yahoo.com

### مقدمه

میلی‌گرم در لیتر) هنگامی که با کلرین ترکیب شود و کلروفنل را ایجاد کند موجب طعم ناخوشایند و بوی خاص آن می‌شود. بسیاری از ترکیبات فنلی سمی بوده و عوامل احتمالی ایجادکننده‌های تومور و سرطان شناخته می‌شوند (۴). فنل از طریق تماس، استنشام و خوردن می‌تواند جذب بدن شود و در صورت تماس با پوست و استنشام موجب سوزش و التهاب پوست، چشم و مخاط می‌گردد و یک ماده حساسیت‌آور برای پوست تلقی می‌شود. در صورت استنشام به بافت شش آسیب می‌زند و موجب تنگی نفس، کما، عدم تعادل، فلج شدن و ضعف می‌شود (۵). با توجه به این مشکلات، حذف این نوع از ترکیبات آلی از فاضلاب صنایع شیمیایی و پتروشیمی، یکی از اجزای لازم و ضروری در سیستم‌های

امروزه وجود ترکیبات مقاوم و سمی در محیط زیست، مشکلات بهداشتی و زیست محیطی فراوانی را موجب شده‌اند. از جمله این ترکیبات می‌توان به فنل اشاره کرد که به دلیل اثرات سمی و خاصیت سرطان‌زایی خود، توجه بسیاری از متخصصین محیط زیست را به خود جلب کرده است (۱). فنل و مشتقات آن جزء ترکیبات آروماتیکی هستند که به‌طور گسترده‌ای در پساب بسیاری از صنایع مانند پالایشگاه نفت و پتروشیمی، ساخت پلاستیک‌ها، رزین، رنگ، منسوجات و غیره وجود دارد و به‌طور گسترده‌ای به عنوان آلاینده‌های محیطی در محیط منتشر می‌شوند (۲ و ۳). فنل در آب، اثرات نامطلوب ویژه‌ای دارد، به‌طوری‌که حتی مقدار کم فنل در آب (۰/۰۰۵

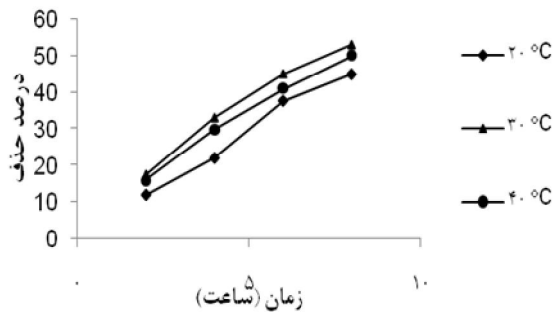
هزار واحد پرورش شترمرغ در کشور (۱۴) و رشد روزافزون این واحدها و با در نظر گرفتن این نکته که پر شترمرغ یک ماده ارزان قیمت، جدید و قابل دسترس می‌باشد، لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی امکان کاربرد پر شترمرغ به‌عنوان یک جاذب برای حذف آلاینده‌های آلی همچون فنل و مقایسه عملکرد و راندمان آن با سایر جاذب‌های زیستی و مواد زائد انجام شد. همچنین جاذب توسط این‌گونه مواد به‌عنوان یک گزینه در مقایسه با سایر روش‌های متداول و پرهزینه نیز اقتصادی به‌نظر می‌رسد.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق یک مطالعه توصیفی - تحلیلی است که بر روی نمونه‌های آبی آلوده به فنل انجام گردید. پره‌های شترمرغ از مراکز پرورش شترمرغ جمع‌آوری و سپس چندین بار با آب و دترجنت و در نهایت با آب مقطر شستشو داده شدند. در مرحله بعدی پرها به مدت یک روز در زیر نور خورشید خشک شدند. سپس ساقه‌های خشک پرها از آن‌ها جدا گردید و تارهای نرم آن‌ها بریده شد. جهت تعیین اندازه و یکپارچگی جاذب، پرها از الک‌هایی با سایزبندی ۰/۵ و ۰/۳ سانتی‌متری عبور داده شدند و در نهایت جاذبی با سایز حدود ۰/۳ سانتی‌متر به‌دست آمد. در نهایت جاذب به‌دست‌آمده تا زمان انجام آزمایش در دسیکاتور نگه‌داری گردید.

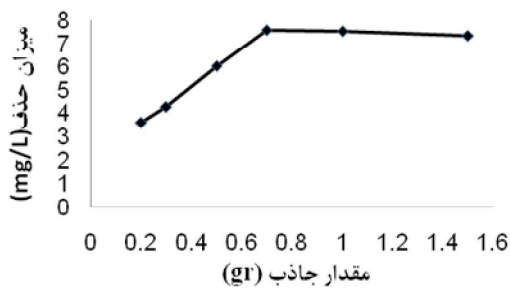
کلیه آزمایشات جاذب در شرایط بسته انجام شدند. نمونه‌های مورد نیاز در این تحقیق، از فنل آزمایشگاهی با درجه خلوص ۹۹-۱۰۰ درصد تهیه گردید. در شروع آزمایشات، یک محلول استوک از فنل حاصل انحلال ۱ گرم فنل در ۱ لیتر آب، ساخته شد. در ادامه آزمایشات از محلول استوک مذکور برای ساخت غلظت‌های موردنظر استفاده گردید. در ابتدای مطالعه، جهت به‌دست آوردن مقادیر بهینه پارامترهای مورد نظر، کلیه آزمایشات با غلظت ثابت ۱۵mg/L انجام شدند. در نهایت غلظت باقیمانده فنل در محلول با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۰۰nm و بر پایه رنگ منتجه از واکنش فنل با

تصفیه فاضلاب این صنایع به‌شمار می‌رود. روش‌های متعددی از قبیل جذب سطحی (۶)، اکسیداسیون مرطوب با پراکسید (۷)، اکسیداسیون مرطوب با هوا (۸) و ازن زنی (۹) به‌منظور حذف فنل از آب مورد استفاده قرار گرفته است که هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشند. یکی از فرآیندهای مهم در این زمینه فرآیند جذب است. تا به امروز در فرآیند جذب از مواد مختلفی مانند کربن فعال، سیلیکا و آلومینای فعال (۱۰) به‌عنوان جاذب استفاده شده است ولی مشکلات مختلف از قبیل هزینه بالا و امکان فعال‌سازی و احیای جاذب که از نظر اقتصادی قابل توجه می‌باشد، محققان را بر آن داشته تا در پی استفاده از مواد جاذب جدید باشند. همچنین اصلاح سطح مواد جاذب از طرق مختلف نیز باعث تغییر بار سطحی و افزایش راندمان این جاذب‌ها گردیده است (۱۱). در طی دو دهه اخیر، تحقیقات زیادی در ارتباط با جذب مواد آلی با قابلیت تجزیه‌پذیری پایین صورت گرفته است. هدف اصلی این تحقیقات، تشخیص یک ماده جاذب مؤثر و ارزان‌قیمت جهت حذف آلاینده‌های آلی از محلول‌های آبی است (۱۲). طی سالیان گذشته جهت حذف آلاینده‌های خطرناک از آب و فاضلاب بر روی کاربرد زائادات صنعتی و کشاورزی به‌عنوان جاذب‌های بالقوه تمرکز گردید. در این راستا تصمیم گرفته شد تا از مواد دیگری مانند پر ماکیان که به‌صورت طبیعی یافت می‌شود به‌عنوان یک جاذب استفاده گردد (۱۲). موفقیت در کاربرد پر مرغ در آلودگی‌زدایی از فاضلاب به ارزش این ماده تولیدی در مرغداری‌ها و کشتارگاه‌ها افزوده است. پره‌های مرغ همچنین برای جذب زیستی یون‌های فلزات باارزشی همچون طلا و پلاتینیوم به‌کار گرفته شده است (۱۳). با توجه به این موضوع، پر شترمرغ به‌عنوان یکی از مواد تولیدی کشتارگاه‌ها و مراکز پرورش شترمرغ به‌عنوان جاذب در این تحقیق به‌کار گرفته شد. پر به‌دلیل داشتن درصد بالایی از پروتئین کراتین، قادر به حذف بسیاری از آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین است (۱۲). با توجه به وجود بیش از ۳



نمودار ۲- تأثیر دما بر میزان جذب فسل بر روی پر خام (زمان: ۲ ساعت): تا

۸ ساعت؛ pH=۲، غلظت فسل: ۱۵mg/L؛ مقدار جاذب: ۰/۵g



نمودار ۳- تأثیر مقدار ماده جاذب بر میزان جذب فسل بر روی پر خام

(زمان: ۸ ساعت؛ pH=۲؛ دما: ۳۰ درجه؛ غلظت فسل: ۱۵mg/L)

زمان ۲-۸ ساعت و غلظت جاذب ۰/۵g بررسی گردید. مطابق نتایج به دست آمده، بیشترین درصد حذف فسل در دمای ۳۰°C می باشد (نمودار ۲).

تأثیر زمان تماس بر روی کارایی حذف در سیستم مورد مطالعه با تغییر در زمان تماس از ۳۰ دقیقه تا ۲۴ ساعت در pH=۲، مقدار ماده جاذب ۰/۷g و غلظت اولیه فسل ۱۵ mg/L بررسی گردید. با افزایش زمان تماس، میزان حذف بالا می رود. به طوری که برای دوز ۰/۷ گرم از جاذب در زمان ۳۰ دقیقه، حداقل حذف فسل (۱۰٪) و در ۲۴ ساعت، حداکثر میزان حذف فسل (۷۰٪) مشاهده می گردد (نمودار ۴).

تأثیر غلظت اولیه فسل بر روی کارایی حذف در سیستم مورد مطالعه با تغییر غلظت اولیه فسل (۱، ۵، ۱۵، ۲۵ و ۵۰mg/L) در pH=۲ و مقدار جاذب ۰/۷ گرم در زمان ۳۰ دقیقه تا ۲۴ ساعت بررسی شد. نتایج این بررسی در نمودار ۵ نشان داده شده است.

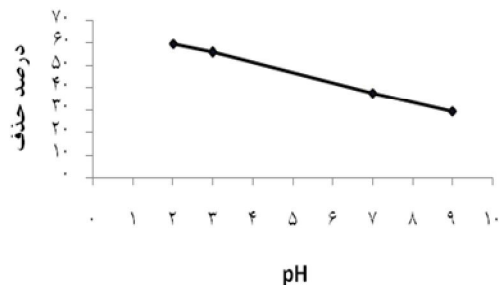
معرف ۴- آمینوآنتی پیرن مشخص گردید. تمام آزمایشات با سه بار تکرار انجام شده و متوسط نتایج آن محاسبه گردید. پارامترهای مورد بررسی شامل دما، pH، زمان و غلظت ماده جاذب مورد آنالیز قرار گرفتند. در نهایت از نرم افزار Excel برای تجزیه و تحلیل داده ها و تعیین راندمان حذف استفاده شد.

## یافته ها

کارایی پرشترمرغ در حذف فسل از محیط های آبی با غلظت های متفاوت، زمان های تماس، مقدار جاذب و دمای مختلف مورد بررسی قرار گرفت (نمودار ۵-۱).

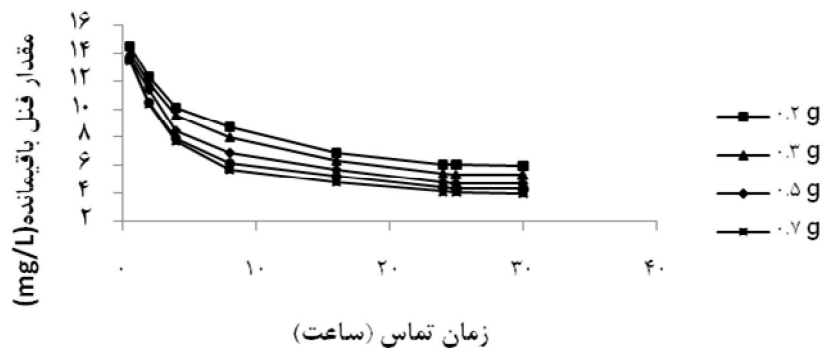
در خصوص تعیین pH بهینه برای فرایند جذب فسل با استفاده از پر، نمونه هایی با pH های اولیه (۲، ۳، ۷ و ۹) با غلظت ثابت فسل (۱۵ mg/L) و مقدار جاذب ۰/۵ گرم تهیه شدند. پس از اختلاط به مدت ۸ ساعت توسط دستگاه شیکر، غلظت فسل باقیمانده به روش اسپکتروفتومتری تعیین گردید. همان گونه که مشاهده می شود با افزایش pH، کارایی حذف کاهش می یابد. به طوری که در pH=۲ میزان حذف فسل در حدود ۶۲ درصد بوده و در pH=۹ میزان حذف به ۲۹/۵ درصد کاهش یافته است (نمودار ۱).

تأثیر دما بر روی کارایی حذف در سیستم مورد مطالعه در شرایط یکسان (pH=۲، غلظت اولیه فسل ۱۵mg/L،

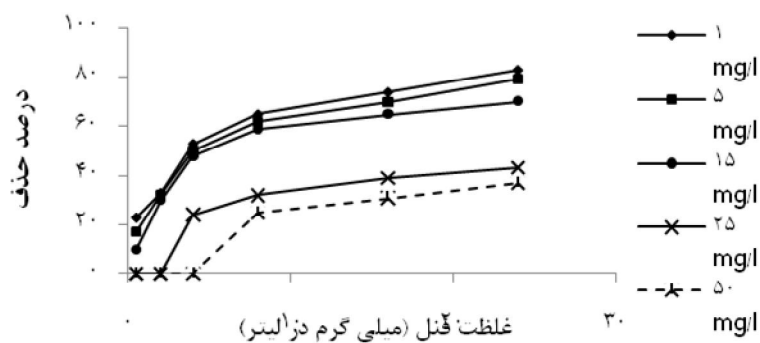


نمودار ۱- تأثیر pH بر میزان جذب فسل بر روی پر خام (زمان:

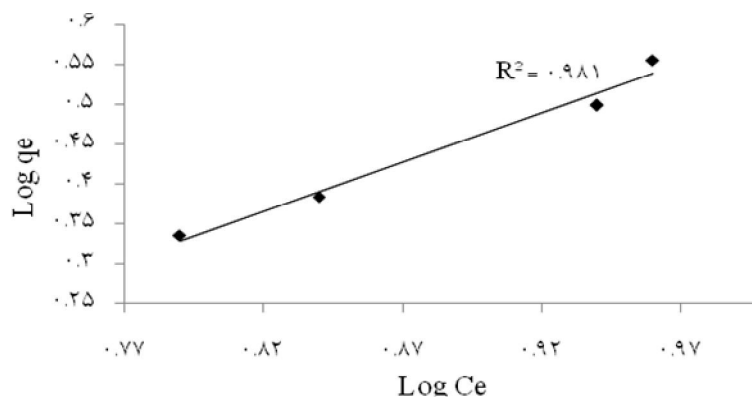
۸ ساعت؛ دما: ۳۰ درجه؛ غلظت فسل: ۱۵mg/L؛ مقدار جاذب: ۰/۵g)



نمودار ۴- تأثیر زمان تماس بر میزان جذب فنل بر روی پر خام (pH=۲؛ دما: ۳۰ درجه؛ غلظت فنل: ۱۵ mg/L؛ مقدار جاذب: ۰/۲ تا ۱ گرم)



نمودار ۵- تأثیر غلظت اولیه فنل در میزان جذب فنل بر روی پر خام در شرایط بهینه (pH=۲؛ دما: ۳۰ درجه؛ مقدار جاذب: ۰/۷ گرم و زمان از نیم ساعت تا ۲۴ ساعت)

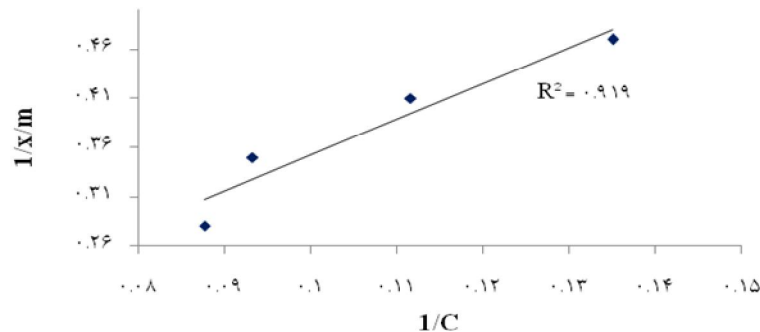


نمودار ۶- مدل خطی شده ایزوترم فروندلیش برای جذب فنل بر روی پر خام شترمرغ (دما ۳۰ درجه سانتی‌گراد)

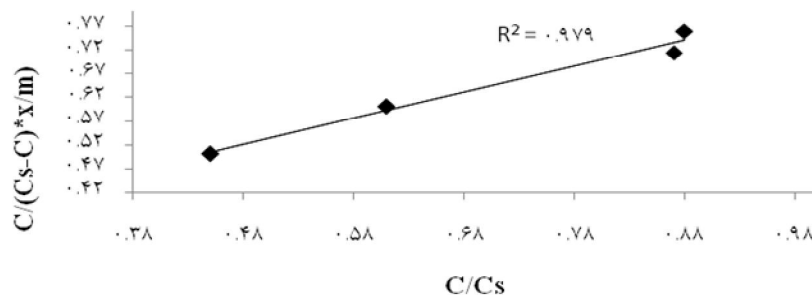
فروندلیش، لانگمیر و BET برای بیان ارتباط بین مقدار فنل جذب شده و غلظت تعادلی آن در محلول استفاده شد (نمودار ۸-۶).

با توجه به نتایج حاصل مشاهده می‌شود که جذب فنل بر روی پر شترمرغ به خوبی از ایزوترم‌های فروندلیش و BET تبعیت می‌کند (جدول ۱).

عمده‌ترین پارامترهای طراحی، فرایند جذب ایزوترم‌های تعادلی می‌باشند که در آن حالت مقدار جذب ماده بر روی جاذب به حالت تعادل می‌رسد. در حقیقت می‌توان با استفاده از ایزوترم‌های جذب، حداکثر مقدار جذب و همچنین شرایط بهینه برای جذب مطلوب را تعیین کرد. در این مطالعه از مدل‌های ایزوترم



نمودار ۷- مدل خطی شده ایزوترم لانگمیر برای جذب فنل بر روی پر خام شترمرغ (دما ۳۰ درجه سانتی گراد)



نمودار ۸- مدل خطی شده ایزوترم BET برای جذب فنل بر روی پر خام شترمرغ (دما ۳۰ درجه سانتی گراد)

جدول ۱- ضرایب مربوط به ایزوترم‌های خطی فروندلیش، لانگمیر و BET

مدل BET			مدل لانگمیر			مدل فروندلیش			نوع ایزوترم
R <sup>2</sup>	X <sub>m</sub>	A	R <sup>2</sup>	b	a	R <sup>2</sup>	1/n	K	پارامتر جذب
۰/۹۷۹	۱/۱۶	۱/۸۷	۰/۹۱۹	۳/۵۷	۰/۶۴	۰/۹۸۱	۰/۷۵	۰/۲۲	پر خام

ساختار آلاینده و بار سطحی جاذب در فرایند جذب تأثیر می‌گذارد (۱۵).

مطابق نتایج با افزایش pH، کارایی حذف کاهش یافته است به طوری که در دامنه ۹ pH حداقل جذب فنل بر روی پر صورت گرفته است. علت این پدیده به ساختار آنیونی فنل و مشخصات سطح پر بستگی دارد (۱۶).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش pH، ساختار پروتئینی موجود در پر تغییر یافته و کارایی آن برای جذب فنل کاهش می‌یابد (۱۳). همچنین تغییرات pH بر روی شارژ الکتریکی سطح جاذب اثر گذاشته و درجه

داده‌های نمودار ۵ و ۶ نشان می‌دهد که رابطه فروندلیش و BET به علت ضریب همبستگی بالای به دست آمده که برابر ۰/۹۸۱ و ۰/۹۷۹ می‌باشند نسبت به ایزوترم لانگمیر (R<sup>2</sup>=۰/۹۱۹) جذب فنل بر روی پر شترمرغ را بهتر توصیف می‌کنند.

## بحث

همان‌طور که از نتایج پیداست pH محلول یک پارامتر کنترلی مهم در فرایند جذب است. به عبارتی pH یکی از فاکتورهای مهمی است که از طریق تأثیر بر

همچنین کاهش محل‌های فعال موجود در جاذب در نتیجه افزایش غلظت فنل باشد (۱۲، ۱۳، ۲۰، ۲۱ و ۲۵).

در خصوص تأثیر زمان تماس بر کارایی حذف، نتایج نشان داد که با افزایش زمان، ظرفیت جذب افزایش یافته و با افزایش زمان تا ۲۴ ساعت به حداکثر مقدار خود رسیده و بعد از این مدت مقدار جذب ثابت مانده است. این افزایش راندمان به این دلیل است که در زمان‌های پایین‌تر، محل‌های خالی بیشتری در دسترس آلاینده بوده و امکان تماس فنل با محل‌های خالی موجود در جاذب بیشتر بوده است در صورتی که با افزایش زمان، رفته رفته این مکان‌ها توسط فنل اشغال شده تا جایی که در زمان ۲۴ ساعت، راندمان حذف به صورت عدد ثابتی به دست آمد (۱۲ و ۲۶). در این زمینه می‌توان به نتایج مشابهی که بر روی پرمغ توسط Banat، خاکستر سنبل آبی توسط Uddin و خاکستر زغال سنگ آفریقای جنوبی توسط Potgieter انجام شده بود اشاره نمود (۱۳، ۲۴ و ۲۶).

همچنین نتایج نشان داد که مقدار جذب فنل تابعی از غلظت اولیه آن می‌باشد و در غلظت‌های بالا میزان حذف فنل کاهش می‌یابد. این کاهش در راندمان ممکن است به دلیل کاهش مکان‌های فعال جذب و در نتیجه اشباع شدن این مکان‌ها در سطح جاذب باشد. همچنین عدم کارایی فرایند در غلظت‌های بالاتر می‌تواند در نتیجه کاهش سرعت انتقال جرم و کاهش ظرفیت جذب متعاقب آن نیز باشد (۱۲ و ۲۷). نتایج به دست آمده از تحقیقاتی که توسط Jadhav بر روی خاک اره و کربن آن، Mishra بر روی کربن به دست آمده از برگ و Banat بر روی پرمغ برای حذف فنل استفاده شده‌اند تأییدکننده نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌باشند (۱۳، ۲۸ و ۲۹).

در مطالعات مربوط به جذب آلاینده‌ها بر روی جاذب‌های مختلف، تعیین ایزوترم جذب و ظرفیت جاذب مورد استفاده از مهم‌ترین مشخصه‌هایی است که باید مورد توجه قرار گیرد. در این مطالعه بعد از تعیین پارامترهای مؤثر بر فرایند جذب، ایزوترم جذب آلاینده مورد نظر بر روی این جاذب تعیین گردید. چندین مدل جهت شرح

یونیزاسیون فنل را تغییر می‌دهد (۱۶ و ۱۷). در نتیجه فنل به مقدار ناچیز در pH بالا تفکیک می‌شود (۱۷). در pHهای پایین، سطح جاذب دارای بار مثبت شده و در نتیجه در یک کشش قوی با یون‌های با بار منفی فنل قرار می‌گیرد. همچنین با افزایش pH به سمت خنثی و قلیایی میزان کدورت نمونه افزایش می‌یابد که این ممکن است به دلیل تجزیه برخی از اجزای آلی پر در نمونه باشد (۱۷-۱۹). نتایج مشابهی که در زمینه حذف فنل توسط Fawzi بر روی پرمغ، Nagda بر روی برگ درخت تندو و Mishra بر کربن به دست آمده از برگ انجام شدند صحت نتایج این تحقیق را تأیید می‌نمایند (۱۳، ۲۰ و ۲۱). آزمایش مربوط به تأثیر دما نشان داد که با افزایش دما تا ۳۰°C کارایی جاذب بالا رفته و میزان حذف فنل افزایش می‌یابد و بعد از آن با افزایش بیشتر دما تا ۴۰°C راندمان فرایند کاهش می‌یابد. افزایش کارایی جذب با افزایش دما ممکن است به دلیل انبساط جاذب و در نتیجه افزایش محل‌های فعال بیشتر برای حذف فنلی که در تماس با آن است باشد (۱۳ و ۲۱). همچنین کاهش راندمان حذف با افزایش بیشتر دما تا ۴۰ درجه سانتیگراد به دلیل افزایش حرکت و جنبش فنل و در نتیجه ضعیف شدن نیروی جذب بین جاذب و فنل می‌باشد (۲۲). نتایج مشابهی در این زمینه در نتیجه تحقیقات Uddin بر روی خاکستر سنبل آبی، Mittal بر روی پرمغ و De la Rosa بر روی پرمغ به دست آمده است (۱۲، ۲۳ و ۲۴). بر اساس نتایج به دست آمده از تأثیر مقدار ماده جاذب بر کارایی حذف فنل مشخص گردید که با افزایش مقدار ماده جاذب تا مقدار مشخصی، راندمان حذف افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد و بعد از آن با افزایش بیشتر جاذب، راندمان حذف کاهش می‌یابد و به عبارتی با افزایش مقدار ماده جاذب به بیش از ۰/۷g و جذب فنل به محیط اتفاق می‌افتد. افزایش در راندمان حذف در نتیجه افزایش سطح جاذب و در دسترس بودن محل‌های جذب بیشتر است. از طرفی کاهش در جذب می‌تواند به علت کمبود غلظت فنل در مقادیر بالاتر جاذب و

آلاینده بر روی پر ارایه می‌کنند که این موضوع می‌تواند به دلیل حضور باندهای جذبی مختلف بر روی مواد آلی باشد (۲۰).

### نتیجه‌گیری

پر شتر مرغ می‌تواند فنل را در غلظت‌های پایین از محلول‌های آبی جذب نماید. اما با افزایش غلظت فنل، میزان جذب کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که پر نیز می‌تواند مانند سایر موادی که به صورت طبیعی و یا دورریز در محیط بوده و جهت حذف آلاینده‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند کارایی مناسبی به عنوان جاذب داشته باشد. از طرفی این جاذب به دلیل نداشتن ساختار بسیار متخلخل و سطح بسیار بالا نمی‌تواند مانند کربن فعال، راندمان بسیار بالایی در این زمینه‌ها داشته باشد.

داده‌های آزمایشات جذب وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها ایزوترم‌های جذب هستند. آنالیز ایزوترم‌های جذب جهت تعیین صحت نتایج و طراحی سیستم بسیار مهم می‌باشد. ایزوترم‌های جذب می‌توانند به عنوان یک توصیف اصلی و بنیادی برای تعیین میزان جذب ماده جذب‌شونده توسط جاذب در محیط‌های آبی باشند. برای این منظور در این مطالعه از سه ایزوترم فروندلیچ، لانگمیر و BET استفاده شد. این ایزوترم‌ها نسبت به سایر ایزوترم‌ها کارایی بیشتری داشته و نتایج را به صورت ساده‌تر و در عین حال دقیق‌تری توصیف می‌نمایند. بررسی ضرایب همبستگی منحنی‌های این دو مدل جذب نشان می‌دهد که جذب فنل بر روی پر از هر سه ایزوترم مربوطه تبعیت کرده است اما با دقت در ضرایب رگرسیون مشاهده گردید که این فرایند از ایزوترم‌های فروندلیش و BET بیشتر پیروی می‌کند (۳۰ و ۳۱). به عبارتی این مدل‌ها به صورت فیزیکی، توصیف قابل اعتمادتری جهت جذب این

### References

- Rahmani AR, Asgari GH, Asgari F, Hedayati A, Alijani F. [Removal of phenol from aqueous solutions using pumice modified with copper. (Persian)]. Scientific Journal of Hamadan University of Medical Science. 2010; 17(4): 50-6
- Yapar S, Ozbudak V, Dias A, Lopes A. Effect of adsorbent concentration to the adsorption of phenol on hexadecyl trimethyl ammonium-bentonite. Journal of Hazardous Materials. 2005; 121(1-3): 135-9.
- Bayramoglu G, Arica MY. Enzymatic removal of phenol and p-chlorophenol in enzyme reactor: horseradish peroxidase immobilized on magnetic beads. Journal of Hazardous Materials. 2008; 156(1-3):148-55.
- Joyce TW. Design criteria for phenol treatment by plastic media tricking filter. ALCHE, Symposium series. 1997; 123-31.
- Ladislao BA, Galil NI. Biosorption of phenol and chlorophenols by acclimated residential biomass under bioremediation conditions in a sandy aquifer. 2004; 38(2): 267-76.
- Tor A, Cengeloglu Y, Aydin ME, Ersoz M. Removal of phenol from aqueous phase by using neutralized red mud. Colloid Interf Sci. 2006; 300(2):498-503.
- Zazo JA, Casas JA, Mohedano AF, Rodriguez JJ. Catalytic wet peroxide oxidation of phenol with a Fe/active carbon catalyst. Appl Catal B Environ. 2006; 65(3-4): 261-8.
- Quintanilla A, Casas JA, Mohedano AF, Rodriguez JJ. Reaction pathway of the catalytic wet air oxidation of phenol with a Fe/activated carbon catalyst. Appl Catal B-Environ 2006; 67(3-4): 206-16.
- Carbajo M, Beltran FJ, Medina F, Gimeno O, Rivas FJ. Catalytic ozonation of phenolic compounds: the case of gallic acid Appl. Catal B-Environ. 2006; 67(1-3): 177-86.
- Roostaei N, Handan TF. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption. Environ Manag. 2004; 70(2): 157-64.
- Kitis M, Karakaya E, Yigit NO, Civelekoglu G, Akcil A. Heterogeneous catalytic degradation of cyanide using copper-impregnated pumice and hydrogen peroxide. J Water Res. 2005; 39(5): 1652-62.
- Mittal A. removal of the dye amaranth from wastewater using hen feathers as potential adsorbent. Elect J Environ Agric Food Chem. 2006; 5(2):1296-305.
- Fawzi AB, Sameer A. Bio-sorption of phenol by chicken feathers, Environ. Eng and Policy. 2000; 2(2):85-90.
- Daraei H, Manshoury M, Yazdanbakhsh AR. [Removal of phenol from aqueous solution using ostrich feathers ash (Persian)]. Mazand Univ Med Sci. 2010; 20(79): 81-7.

15. Ong ST, Lee CK, Zainal Z. Removal of basic and reactive dyes using ethylenediamine modified rice hull. *Bioresour Technol.* 2007; 98(15): 2792-9.
16. Mahvi AH, 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): 321-6.
17. Khalid N, Ahmad S, Toheed A, Ahmad J. Potential of rice husks for antimony removal. *Applied Radiation and Isotopes.* 2000; 52(1):31-8.
18. 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. *Separation Science and Technology.* 1995; 30(17):181-90.
19. Vimal C, Srivastava S, Mahadeva M, Indra D, Indra M, Mishra S. Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon. Equilibrium, kinetics and thermodynamics, *Colloids and Surfaces.* 2006; 272(1-2):89-104.
20. Nagda GK, Diwan AM, Ghole VS. Potential of tendu leaf refuse for phenol removal in aqueous systems. *Applied Ecology and Environmental Research.* 2007; 11(2): 196-204.
21. Mishra S, Bhattacharya J. Batch studies on phenol removal using leaf activated carbon. *Malaysian Journal of Chemistry.* 2007; 5(2): 1-9.
22. 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.
23. de la Rosa G, Reynel-Avila HE, Bonilla A, Martinez AL. Recycling poultry feathers for Pb removal from wastewater. *Kinetic and Equilibrium Studies World Academy of Science, Engineering and Technology.* 2008; (47): 394-402.
24. Uddin MT, Islam S, Abedin MZ. Adsorption of phenol from aqueous solution by water hyacinth ash. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences.* 2007; 2(2):11-7.
25. 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. *Globa NEST Journal.* 2009; 11(2): 196-204.
26. Potgieter JH, Bada SO, Potgieter SS. Adsorptive removal of various phenols from water by South African coal fly ash. *Water SA.* 2009; 35(1); 89-96.
27. Rengaraj S, Seunghyeon 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): 543-8.
28. Jadhav DN, Vanjara AK. Removal of phenol from wastewater using sawdust, polymerized sawdust and sawdust carbon. *Indian Journal of chemical Technology.* 2004; 11: 35-41.
29. Mishra S, Bhattacharya J. Potential of leaf litter for phenol adsorption: A kinetic study. *Indian Journal of Chemical Technology.* 2006; 13(3): 298-301.
30. Mittal A, Kurup L, Mittal J. Freundlich and Langmuir adsorption isotherms and kinetics for the removal of Tartrazine from aqueous solutions using hen feathers. *Journal of Hazardous Materials.* 2007; 146: 243-8.
31. Islam M. Development of adsorption media for removal of lead and nitrate from water. Thesis to PhD degree of philosophy in chemistry. Department of chemistry national institute of technology Rourkela, India 2008.