

## *Investigating Phenol Absorption from Aqueous Solution by Dried Azolla*

RamezanAli Dyanati<sup>1</sup> ZabihAllah Yousefi<sup>1</sup> Jamshid Yazdani Cherati<sup>2</sup> Davoud Belarak<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Health Sciences Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

<sup>2</sup> Health Sciences Research Center, Department of Biostatistics, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

<sup>3</sup> Student Research Committee, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received September 2, 2012 ; Accepted February 5, 2013)

### **Abstract**

**Background and purpose:** Phenol whose carcinogenic property has been evidenced is one the organic compounds found in industrial wastewater. Therefore, this effluent must be treated before it is discharged to the environment. The aim of this study was to investigate whether dried azolla can absorb phenol from aqueous solution.

**Materials and methods:** First, the collected azolla was washed by distilled water 3 times and then it was dried in the oven at 105 ° C for 24 h and finally, it was sieved in 18 to 30 mesh. The pH variation, dose of absorbent, contact time, and phenol concentration were investigated and the residual concentration of phenol was determined by spectrophotometer in wavelength of 500nm. Then, the absorption data were described by absorption isotherms Freundlich and Langmuir.

**Findings:** The results indicated that increasing the contact time and dose of absorbent can increase the absorption rate, though it remains constant after 150 min and 1gr of absorbent. Increasing pH and initial concentration of phenol can reduce the absorption rate and the optimum ph for phenol absorption is 3. The Freundlich isotherm is best fitted ( $R^2= 0.997$ ) in comparison with Langmuir and Temkin isotherms.

**Conclusion:** Overall, the studied absorbent can be used as an effective absorbent to treat the industrial wastes and aqueous solution.

**Keywords:** Azolla, Phenol, Adsorption

## بررسی جذب فنل از محلول‌های آبی توسط گیاه آزولای خشک شده

رضانعلی دیانتی تیلکی<sup>۱</sup> ذبیح‌اله یوسفی<sup>۱</sup> جمشیدیزدانی چراتی<sup>۲</sup> داوود بلارک<sup>۳</sup>

### چکیده

**سابقه و هدف:** فنل یکی از ترکیبات آلی موجود در فاضلاب‌های صنعتی است که خاصیت سرطان‌زایی آن به اثبات رسیده است. بنابراین قبل از تخلیه آن به محیط زیست باید مورد تصفیه قرار گیرد. هدف از این تحقیق استفاده از گیاه آزولای خشک شده برای جذب فنل از محلول‌های آبی می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** ابتدا گیاه آزولا جمع‌آوری و با آب مقطر سه بار شستشو داده شد. سپس در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در فور به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید و با الک ۱۸ تا ۳۰ اینچ دانه‌بندی شد. تغییرات pH، دوز جاذب، زمان تماس و غلظت فنل مورد بررسی قرار گرفت و غلظت باقی‌مانده با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۰۰ نانومتر آنالیز شد. سپس داده‌های جذب توسط ایزوترم‌های جذب فروندلیخ و لانگمیر شرح داده شدند.

**یافته‌ها:** با افزایش زمان تماس و دوز جاذب، میزان جذب افزایش می‌یابد ولی بعد از ۱۵۰ دقیقه و میزان جاذب ۱ گرم، میزان جذب تقریباً ثابت می‌ماند. همچنین با افزایش pH و غلظت اولیه فنل میزان جذب کاهش می‌یابد. بهترین pH برای جذب فنل ۳ می‌باشد و داده‌های جذب از ایزوترم فروندلیخ با  $(R^2=0.997)$  بیشتر از ایزوترم تکمین و لانگمیر پیروی می‌کنند.

**استنتاج:** به طور کلی، این جاذب به صورت موفقیت‌آمیزی برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی و محلول‌های آبی می‌تواند به کار رود.

**واژه‌های کلیدی:** گیاه آزول، فنل، جذب سطحی

### مقدمه

تولید رزین و پلاستیک، کاغذ، پالایشگاه نفت، صنعت فولاد و آفت کش وارد محیط می‌گردد (۶-۲). مطالعات بر روی انسان و حیوانات نشان می‌دهد که فنل به‌طور موثری از طریق استنشاق و هضم جذب می‌گردد و می‌تواند به آسانی از پوست عبور کند و خاصیت سرطان‌زایی آن به اثبات رسیده است (۷۸). با توجه به این که این آلایند یک ماده سمی بوده، کاهش و حذف بیولوژیکی آن مشکل می‌باشد، لذا استانداردهای سخت‌گیرانه‌ای برای تخلیه

فنل یکی از ترکیبات آلی موجود در فاضلاب‌های صنعتی است که دارای وزن مولکولی ۹۴/۱۱ گرم بر مول می‌باشد، فنل هیدروکربنی حلقوی است که در حالت خالص بی‌رنگ یا جامد سفید بوده و دارای حلالیت بالا در آب و از مشتقات بنزین می‌باشد. ظرفیت تولید جهانی فنل در سال ۲۰۰۴، براساس موسسه فروش مواد شیمیایی ۸/۴ میلیون تن گزارش شده است (۱). این آلایند آلی در غلظت‌های مختلف از طریق فاضلاب صنایع پتروشیمی،

E-mail: dbalarak2@gmail.com

**مؤلف مسئول:** داوود بلارک - کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران

۱. مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۲. مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، گروه آمار زیستی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۳. کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۱۲ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۹۱/۷/۲۲ تاریخ تصویب: ۹۱/۱۱/۱۷

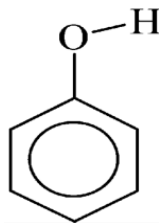
ارزان هستند (۱۳). برخی از مطالعات استفاده از روش های بیوجذب مانند استفاده از بیومس قارچی و باکتریایی را برای حذف این فاضلاب ها پیشنهاد می کنند (۲۱-۱۹). آژولا یک سرخس آبی شناور است که به سرعت در آب های راکد و برکه ها رشد می کند و روی سطح آب را می پوشاند. بنابراین برای آبیان یک خطر (جلوگیری از ورود اکسیژن) محسوب می شود (۲۲، ۲۳). در تالاب های انزلی به دنبال راه حلی برای از بین بردن این گیاه می باشند (۲۳).

با توجه به خاصیت جذبی آژولا، در بسیاری از کشورهای دنیا از آن به عنوان جاذب با کارایی بالا و جذب سریع و ارزان قیمت برای حذف ترکیبات آلی مثل رنگ ها (راکتیو رد ۱۳۸، ۱۳۰، اسید بلو، رنگ های بازیک ...) و فلزات سنگین (روی، کروم، سرب، قطع ...) استفاده می کنند و نتایج بسیار خوبی داده است (۱۹، ۲۰، ۲۶-۲۴). بنابراین با توجه به فراوانی گیاه آژولا و نیز مواد با ارزش موجود در آن، هدف اصلی این پژوهش استفاده از آژولای خشک به عنوان یک جاذب موثر و ارزان قیمت در حذف فنل از پساب صنایع می باشد.

## مواد و روش ها

*مواد مورد استفاده:* در این مطالعه فنل، اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم مورد استفاده از شرکت مرک تهیه شد.

*مشخصات فنل:* فنل با فرمول شیمیایی  $C_6H_5OH$  با درجه خلوص ۹۹ درصد و دارای وزن مولکولی ۹۴/۱۱ گرم بر مول می باشد. ساختار فنل در تصویر شماره ۱ آمده است.



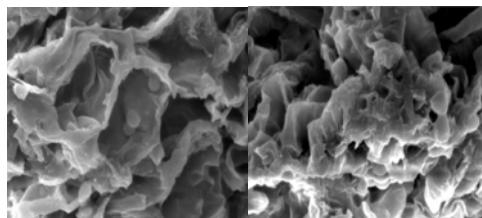
تصویر شماره ۱: ساختار شیمیایی فنل (۲۷).

تخلیه مواد فنل دار به محیط زیست در نظر گرفته شده است (۸-۱۰). فنل توسط آژانس حفاظت زیست آمریکا در لیست مواد آلاینده دارای اولویت قرار گرفته است. میزان آن در آب آشامیدنی کمتر از ۰/۰۰۱ میلی گرم در لیتر تعیین شده است (۱۱، ۱۲). هم چنین حداکثر غلظت مجاز فنل برای تخلیه به آب های سطحی، مصارف کشاورزی و آبیاری طبق استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱ میلی گرم در لیتر است و برای تخلیه به چاه جذب ناچیز می باشد (۵).

یکی از پیامدهای وجود ترکیبات فنلی به منابع آب آشامیدنی که با ترکیبات کلره گندزدایی شدند، ایجاد ترکیبات کلرو فنل می باشد که باعث ایجاد طعم و بوی نامناسب در آب می شود و آب را برای مصرف نامناسب می سازد. از این رو به منظور جلوگیری از مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی، تصفیه فاضلاب های حاوی فنل قبل از تخلیه به محیط زیست ضروری است (۴، ۱۳، ۱۴). روش های مختلفی مانند روش های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی نظیر جذب سطحی، اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس، اکسیداسیون پیشرفته، اکسیداسیون مرطوب، تبادل یونی و کاهش بیولوژیکی برای تصفیه این نوع فاضلاب ها وجود دارد (۱۲، ۱۷-۱۵).

غالب این روش ها دارای معایبی نظیر هزینه بالای تصفیه، نیاز به تصفیه اضافی، تشکیل فرآورده های جانبی خطرناک، راندمان پایین و قابلیت کاربرد برای غلظت های محدودی از آلاینده ها می باشد (۴، ۱۸). ولی فرآیند جذب یکی از تکنیک های کارآمد و مؤثر است و به همین دلیل از کربن فعال به علت قابلیت جذب بالای آن، به میزان بیشتری استفاده شده است ولی قیمت بالای کربن فعال و مشکلات احیاء مجدد آن، کاربردش را در کشورهای در حال توسعه و کم درآمد محدود کرده است (۱۳، ۱۷). لذا این امر باعث شده که بسیاری از محققین به دنبال جاذبه های اقتصادی، عملی و مؤثر باشند. خاک اره، خاکستر، چوب، کاه، سبوس برنج، پوست نارگیل، خاک رس و ... تعدادی از جاذب های جدید و

مشخصات جاذب: بررسی و تجزیه تحلیل عنصری با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) توسط دستگاه Oxford مدل (Stereo Scan S360) انجام شد که در تصویر ۲ نشان داده شده است.



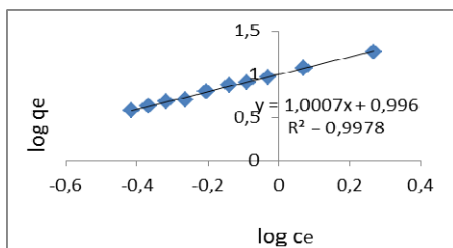
تصویر شماره ۲: عکس SEM از آزولا قبل و بعد از استفاده برای جذب فنل

جاذب در گستره ۰/۲ تا ۲ گرم در ۱۰۰ سی سی با توجه به مطالعات قبلی انتخاب شد که در مراحل جداگانه در طول تحقیق بررسی گردید (۱۰). برای کار در سیستم ناپوسته از یک ارلن مایر ۲۵۰ میلی لیتر استفاده می شود. در هر بار آزمایش جاذب، حجم مشخصی از محلول فنل مورد مطالعه با غلظت معین به داخل ارلن اضافه شد، شرایط مورد نظر تنظیم و دوز خاصی از جاذب به آن اضافه گردید. سپس در همزن مغناطیسی با ۱۸۰ دور در دقیقه مخلوط و سپس نمونه مورد نظر در ۳۶۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه ساتریفوز شد.

**ایزوترم‌های جذب:** چندین مدل مختلف برای تشریح داده‌های حاصل از آزمایشات جذب در کتب علمی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها ایزوترم‌های جذب است. تحلیل ایزوترم جذب به منظور توسعه یک معادله به منظور نمایش دقیق نتایج و برای مقاصد طراحی سیستم‌های جذب بسیار مهم است. در این مطالعه سه مدل برای بیان ارتباط بین مقدار فنل جذب شده و غلظت تعادلی آن در محلول به کار رفته است. این سه مدل ایزوترم‌های فروندلیچ و لانگمیر و تکمین می‌باشند. معادلات مربوط به ایزوترم‌ها در جدول ۱ و محاسبات مربوط به ایزوترم‌ها در نمودار شماره ۱ و ۲ آمده است.

جدول شماره ۱: معادلات ایزوترمی مورد استفاده در تحقیق

$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K} + \frac{1}{q_m} c_e$	مدل لانگمیر
$\log q_e = \log k + \frac{1}{n} \log c_e$	مدل فروندلیچ
$q_e = B_1 \ln(k_1) + B_1 \ln(C_e)$	مدل تکمین

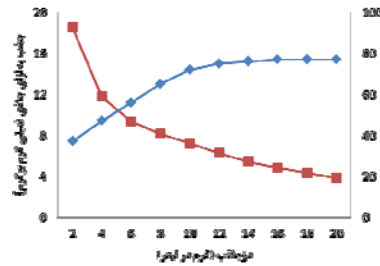


نمودار شماره ۱: ایزوترم‌های جذب (مدل فروندلیچ)

**روش آماده‌سازی جاذب:** گیاه آزولا از مزارع برنج شهرساری جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه ابتدا با آب مقطر سه بار شستشو داده شد و سپس در فور در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید و در مرحله آخر با استفاده از الک‌های ۱۸ و ۳۰ اینچ آن‌ها را به قطعات ریز تبدیل و برای آزمایش آماده شد.

**روش آنالیز:** ماده فنل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری DR2800 در طول موج ۵۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای آنالیز فنل با استفاده از روش اسپکتروفتومتری سه محلول آمینوآنتی‌پیرین، فروسیانات و بافر فسفات مورد نیاز است. برای تنظیم pH از محلول یک نرمال HCl یا NaOH استفاده شد (۱۷، ۱۴، ۱۰).

**آزمایشات جذب در ستون ناپوسته:** مطالعات منابع علمی نشان داد که مهم‌ترین متغیرهای موثر بر جذب شامل pH محلول، دوز جاذب، زمان تماس و غلظت فنل می‌باشد. با توجه به اینکه غلظت فنل در پساب صنایع ۱۰ تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر است، غلظت اولیه فنل (۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) برای مطالعه در فاضلاب ساختمانی انتخاب گردید. ابتدا محلول استوک ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر درست شد و از روی آن غلظت‌های مختلف فنل ساخته شد. اثر pH در گستره (۱۱، ۳)، زمان ماند (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه) و دوز



نمودار شماره ۲: ایزوترم های جذب (مدل لانگمیر)

## نتایج

تأثیر pH برای تعیین pH بهینه جهت دستیابی به بیشترین حذف فنل از فنل با غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر، با مقدار جاذب ۱۰ گرم در لیتر و زمان تماس ۱۵۰ دقیقه، pH=۳-۱۱ استفاده شد. غلظت فنل، دوز جاذب و زمان تماس برای به دست آوردن pH بهینه ابتدا با استفاده از pH ثابت و تغییر سایر پارامترها بهینه سازی شد. همان طور که در جدول شماره ۲ نشان داده شده است در pH اسیدی میزان حذف، بالا می باشد و با افزایش pH میزان حذف کاهش می یابد. بنابراین pH بهینه برای حذف فنل ۳ می باشد. آنالیز داده ها با استفاده از رگرسیون خطی به طور معنی داری نشان داد با افزایش یک واحد pH، میزان درصد حذف به اندازه ۰/۱۱ کاهش می یابد (p ≤ ۰/۰۰۱).

تأثیر زمان تماس: تأثیر زمان تماس بر روی کارایی حذف فنل در سیستم مورد مطالعه با تغییر در زمان تماس از ۵ دقیقه تا ۲۴۰ دقیقه انجام شد. تمام مطالعات این مرحله در pH بهینه با دوز جاذب ۱۰ گرم در لیتر و مقدار فنل ۱۰ میلی گرم در لیتر انجام پذیرفت (البته برای

جدول شماره ۲: داده های مربوط به زمان تماس، pH و غلظت اولیه فنل

جذب درصد	غلظت فنل (میلی گرم در لیتر)	جذب درصد	pH	جذب درصد	زمان تماس (دقیقه)
۷۳	۵	۷۴	۳	۳۷	۵
۷۴	۱۰	۶۵	۴	۴۶	۱۰
۶۵	۲۰	۵۹	۵	۴۹	۲۰
۶۰	۴۰	۵۳	۶	۵۴	۳۰
۵۵	۶۰	۴۸	۷	۵۹	۴۵
۴۶	۸۰	۴۲	۸	۶۴	۶۰
۳۷	۱۰۰	۳۵	۹	۶۸	۹۰
۳۱	۱۵۰	۲۴	۱۰	۷۱	۱۲۰
۲۰	۲۰۰	۱۹	۱۱	۷۴	۱۸۰
				۷۴	۲۴۰

تمام دوزهای جاذب و فنل، زمان تعادل به دست آورده شد) و همان طوری که در جدول شماره ۲ نشان داده شده است با افزایش زمان تماس تا ۱۵۰ دقیقه میزان حذف افزایش می یابد. به طوری که میزان حذف در دقیقه ۵ برای غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر فنل برابر با ۳۸ درصد و در نمونه ۱۵۰ دقیقه ای برابر با ۷۴ درصد می باشد. ولی با افزایش زمان تماس از ۱۵۰ دقیقه میزان حذف تقریباً ثابت می باشد. بنابراین زمان تماس ۱۵۰ دقیقه به عنوان زمان تماس بهینه خوانده می شود. آنالیز داده ها با استفاده از رگرسیون خطی به طور معنی داری نشان داد با افزایش یک واحد زمان تماس، میزان درصد حذف به اندازه ۰/۲۸ افزایش می یابد (p ≤ ۰/۰۰۱).

تأثیر غلظت اولیه فنل: تأثیر غلظت اولیه فنل بر روی کارایی حذف در سیستم مورد مطالعه با تغییر در غلظت اولیه فنل بر حسب میلی گرم در لیتر ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۵، ۱۰ میلی گرم در لیتر انجام شد. آزمایشات در pH بهینه ۳ و در جاذب ۱۰ گرم در لیتر و زمان تعادل ۱۵۰ دقیقه صورت گرفت. در جدول شماره ۲ نتایج حاصل از تأثیر غلظت اولیه فنل بر روی کارایی حذف نشان داده شده است و همان طور که مشاهده می شود با افزایش غلظت فنل میزان حذف کاهش می یابد. به طوری که برای غلظت های ۱۰، ۲۰۰ میلی گرم در لیتر، میزان حذف در زمان تعادل ۱۵۰ دقیقه به ترتیب برابر با ۷۴ و ۲۰ درصد می باشد. آنالیز داده ها با استفاده از رگرسیون خطی به طور معنی داری نشان داد که با افزایش یک واحد غلظت فنل، میزان درصد حذف به اندازه ۰/۲۱۸ کاهش می یابد (p ≤ ۰/۰۰۱).

تأثیر دوز جاذب: تأثیر غلظت اولیه جاذب بر روی کارایی حذف فنل در سیستم مورد مطالعه با تغییر در غلظت اولیه جاذب بر حسب گرم (۲ تا ۲۰ گرم در لیتر) انجام شد. آزمایشات در  $pH=3$  (بهینه) و مقصدار اولیه فنل ۱۰ میلی گرم در لیتر در زمان تعادل ۱۵۰ دقیقه انجام شد و همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود، با افزایش مقدار جاذب، درصد حذف فنل نیز افزایش می یابد به طوری که در غلظت ۲ گرم در لیتر میزان حذف ۳۷ درصد، اما در غلظت ۱۰ گرم در لیتر میزان حذف بالای ۷۰ درصد می باشد. البته در غلظت های بالای ۱۰ گرم در لیتر شیب حذف فنل بسیار کم و در حد تعادل می باشد. با اینکه با افزایش مقدار جاذب میزان حذف نیز افزایش می یابد، ولی میزان رنگ جذب شده به ازای هر گرم جاذب (qe) کاهش می یابد و حداکثر ظرفیت جذب گیاه ۱۸/۵ میلی گرم به ازای هر گرم جاذب می باشد.

**بحث**

در سال های اخیر روش جذب سطحی به طور موثری مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه نیز مکانیسم جذب سطحی با استفاده از گیاه آزولا به خاطر وجود نقاط جذب فعال انجام شده است. یکی از فاکتورهایی که با تأثیر بر ساختار فنل و بار سطحی جاذب بر فرایند جذب تأثیر می گذارد، pH می باشد و در این مطالعه بیش ترین جذب در pH اسیدی اتفاق می افتد. علت این پدیده به ساختار آنیونی فنل مربوط می شود و با مطالعات مشابهی که درباره حذف فنل با پر شتر مرغ و زئولیت انجام شده است هم خوانی دارد (۱۰،۸،۱). در مطالعات علت این پدیده را به بار الکتریکی سطح جاذب نسبت می دهند (۱). همچنین با افزایش زمان تماس میزان جذب افزایش می یابد ولی بعد از ۱۵۰ دقیقه تقریباً به تعادل می رسد که با مطالعه ملکی درباره حذف فنل با زئولیت کشاورزی که زمان تعادل ۱۸۰ دقیقه است تقریباً هم خوانی دارد (۱۳). ولی با مطالعه منشوری درباره حذف فنل با پر و خاکستر شتر مرغ متفاوت است

به طوری که زمان تعادل در مدت زمان ۲۴ ساعت به دست آمد (۸). هم چنین در مطالعه Varghese و Qadeer که با کربن فعال انجام شده است و زمان تعادل در ۱۵ دقیقه حاصل شده، متفاوت است (۲۹،۲۸). تفاوت در نتایج این مطالعه با مطالعه دیگران به تفاوت ساختاری جاذب های مورد استفاده ارتباط دارد. جذب بر روی آزولا از طریق پخش در خلل و فرج صورت می گیرد که نسبت به مطالعاتی که زمان تعادل در ۲۴ ساعت به وجود آمده، پخش در لایه های اولیه خلل و فرج می باشد ولی کربن فعال که زمان تعادل کمی دارد جذب در ناحیه سطحی جاذب صورت می گیرد بنابراین سرعت جذب تندتر می شود (۲۹).

بر اساس نتایج مربوط به تأثیر غلظت اولیه فنل مشاهده شد که با افزایش غلظت فنل میزان جذب کاهش می یابد که با مطالعات صورت گرفته برای حذف فنل، با جاذب های پر شتر مرغ، خاکستر شتر مرغ، زئولیت و زئولیت کشاورزی هم خوانی دارد (۱۳،۱۰،۸،۱). به نظر می رسد با افزایش غلظت فنل ظرفیت جذب جاذب بالا می رود که این امر ممکن است در نتیجه افزایش نیروی انتقال جرم و در نتیجه افزایش ظرفیت جذب باشد (۱۰). یکی از مهم ترین پارامترهای طراحی، تأثیر دوز جاذب می باشد و با توجه به نتایج به دست آمده با افزایش دوز جاذب میزان حذف افزایش می یابد ولی در دوزهای بالای ۱ گرم در ۱۰۰ سی سی، میزان حذف به تعادل می رسد و میزان جذب تقریباً ثابت می باشد. افزایش جذب فنل با افزایش دوز جاذب در نتیجه افزایش مساحت سطح فعال و موثر در جذب می باشد (۲۸،۵،۱). هر چند که میزان فنل باقی مانده با افزایش دوز جاذب کاهش می یابد ولی میزان فنل جذب شده به ازای هر گرم کاهش می یابد. اگر چه تصور می شود با افزایش دوز جاذب، میزان نقاط فعال افزایش و باعث بالا رفتن جذب می شود ولی نتایج عکس این مطالعه را تأیید کردند. علت این پدیده به دلیل غیر اشباع ماندن برخی از نقاط فعال موجود در خلل و فرج درونی جاذب می باشد که منجر به کاهش میزان جذب فنل به

جاذب ارزان قیمت مورد توجه قرار گیرد. براساس نتایج به دست آمده، گیاه آژولا که در تالاب های کشور مثل انزلی به فکر چاره ای برای از بین بردن آن می باشند، می تواند یک جاذب موثر و ارزان و در دسترس برای حذف پساب حاوی ترکیبات آلی باشد. میزان حذف به پارامترهایی مانند زمان تماس، pH، دوز جاذب و همچنین غلظت اولیه فنل بستگی دارد و با افزایش زمان میزان حذف نیز افزایش می یابد. هم چنین با توجه به داده های تعادلی بهترین ایزوترم، فروندلیچ می باشد. و در آخر پیشنهاد می شود که از فاضلاب کارخانجات به جای ساخت فاضلاب سنتتیک در تحقیقات بعدی استفاده شود و داده های اسپکتروفتومتر با داده های دستگاه های HPLC و GC برای اندازه گیری مقایسه شود و این جاذب برای جذب ترکیبات آلی دیگر مورد استفاده قرار گیرد.

### سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله لازم می دانند از حمایت های مادی معاونت تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی مازندران در تصویب این پایان نامه تشکر و قدردانی داشته باشند.

ازای هر گرم جاذب می شود چنین نتایجی توسط عسگری و Qadeer نیز تأیید شده است (۲۸،۱). استفاده از گیاه آژولای خشک شده برای حذف فنل با توجه به داده های تعادلی از ایزوترم فروندلیچ ( $R^2=0/997$ ) بهتر از ایزوترم لانگمیر با ( $R^2=0/936$ ) پیروی می کند همچنین داده های تعادلی برای ایزوترم لانگمیر و فروندلیچ دارای تبعیت خوبی نسبت به ایزوترم تکمین با ( $R^2=0/888$ ) دارد. این تفاوت در نوع مدل انطباقی، می تواند به خصوصیات سطحی جاذب های مطالعه شده مربوط گردد و با مطالعه ملکلی درباره حذف فنل با زائدات کشاورزی و مطالعه منشوری درباره حذف فنل با خاکستر شتر مرغ کاملاً تبعیت می کند و با مطالعه عسگری که حذف فنل با زئولیت از ایزوترم لانگمیر تبعیت می کند متفاوت بوده است (۱۳،۱۰،۱). از آن جا که فاضلاب های صنعتی مختلف مانند فاضلاب های حاصله در پالایشگاه ها، صنایع پتروشیمی، صنایع چوب و کاغذ و غیره حاوی فنل و مشتقات آن می باشند و با توجه به اینکه حذف ترکیبات آلی سنتزی مانند فنل به روش های شیمیایی مستلزم صرف هزینه های سنگین می باشند استفاده از مواد جاذب طبیعی مانند گیاه خشک شده آژولا در صورت دارا بودن کارآیی مناسب می تواند به عنوان ماده

### References

1. Asgari G, Ebrahimi ASA, Hoseinzadeh ZG. Study on phenol removing by using modified zolite (Clinoptilolite) with FeCl<sub>3</sub> from aqueous solutions. Health Systems Research. 2010;6:848-857.
2. Eskandary S, Hoodaji M, Tahmourespour A. Study of Growth Process and Phenol Biodegradation by a Bacterium Isolated from Wastewater (in vitro). Water and Wastewater J 2011(2):78-85.
3. Rahmani A, Movafagh AE. Investigation of Photocatalytic Degradation of Phenol through UV/TiO<sub>2</sub> Process. water and waste water. 2006(58):32-3..
4. Borji SH, Nasseri S, Nabizadeh R, Mahvi AH, Javadi AH. Photocatalytic degradation of phenol in Aqueous Solutions by Fe(III)-doped TiO<sub>2</sub>/UV Process. Health and Environmental. 2011;3(4):370-80.
5. Pazoheshfar SP. Survey Removal of phenol from contaminated water using activated carbon and carbon skin almonds and walnuts. Environmental Science and Technology. 2009;10(4):219-33.

6. Zazouli Ma, Taghavi M, Bazrafshan E. Influences of Solution Chemistry on Phenol Removal From Aqueous Environments by Electrocoagulation Process Using Aluminum Electrodes. *Health Scope*. 2012;1(2):66-70.
7. Kafilzade F, Farhangdost MS, Rezayiyan A. Survey biological modification of phenol by indigenous bacteria isolated from water and sediment of lake parishan. *world of microbes*. 2009;2(2):89-95.
8. Manshouri M, Yazdanbakhsh A, Daraei H. Determination of the Optimum Parameters of Phenol Removal by Ostrich Feathers and Hydrogen Peroxide. *water and waste water*. 2010(2):119-25.
9. Mohammadi AS, Attar HM. p-Chlorophenol Oxidation in Industrial Effluent by Ultrasonic/Fenton Technology. *water and waste water*. 2011(4):33-40.
10. Daraei H, Manshouri M, Yazdanbakhsh AR. Removal of Phenol from Aqueous Solution Using Ostrich Feathers Ash. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2009;20(79):81-7
11. Malakootian M, Asadi M. Efficiency of Fenton Oxidation Process in Removal of Phenol in Aqueous Solutions. *water and waste water* 2011(3):46-52.
12. Shokoohi R, Ebrahimzadeh L, Rahmani AR, Ebrahimi SJ, Samarghandi MR. Comparison of the Advanced Oxidation Processes in Phenol Degradation in Laboratory Scale. *water and waste water*. 2009 (4):30-6.
13. Molki A, Mahvi AH. Application of agricultural yeast in removal of phenol from aqueous solutions. *Hormozgan Medical Journal*. 2006;10(4):393-9.
14. Rahmani A, Asgari G. Removal of phenol from aqueous solutions Using a pumice modified with copper. *Hamadan medical journal*. 2010;17(4):50-6.
15. Khosravi R, Moussavi GR, Mohammadi SR. Removal of High Concentration of Phenol from Synthetic Solutions by Fusarium Culmorum Granules. *Health and Environmental*. 2011;4(4):450-60.
16. Manshouri M, Yazdanbakhsh AR, M S, A. SM. Investigation of Effective Factors for Fenton like Process in Para-Chlorophenol Removal from Aqueous Solutions. *Health and Environmental* 2011;3(4):81-9
17. Senturka Hb, Ozdesa D, Gundogdua A, Durana C, Soylak M. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption onto organomodified Tirebolu bentonite: Equilibrium, kinetic and thermodynamic study. *Hazardous Materials*. 2009(172):353-362.
18. Ghaneian MT, Ghanizadeh G. Application of Enzymatic Polymerization Process for the Removal of Phenol from Synthetic Wastewater. *Health and Environmental*. 2009;2(1):46-56.
19. Padmesh TVN, Vijayaraghavan K, Sekaran G, Velan M. Batch and column studies on biosorption of acid dyes on fresh water macro alga *Azolla filiculoides*. *Journal of Hazardous Materials*. 2005;125(1):121-9.
20. Vafaei F, Khataee Ar, Movafeghi A, Salehi Lisar SY, Zarei M. Bioremoval of an azo dye by *Azolla filiculoides*: Study of growth, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes status. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2012;75:194-200.
21. Tan C-y, Li M, Lin Y-M, Lu X-Q, Chen Z-l. Biosorption of Basic Orange from aqueous solution onto dried *A. filiculoides* biomass: Equilibrium, kinetic and FTIR studies. *Desalination* 2012;266(1-3):56-62.



22. Tan C-y, Li G, Lu X-Q, Chen Z-l. Biosorption of Basic Orange using dried *A. filiculoides*. *Ecological Engineering*. 2010;36(10):1333-40.
23. Filizade Y. Survey Ecology Excessive Growth Of *Azolla* In Anzali Wetland And Quality Control. *Iran Natural Resources*. 2002;55(1):65-82.
24. Jain SK, Gujral GS, Jha NK, Vasudevan P. Production of biogas from *Azolla pinnata* R.Br and *Lemna minor* L.: Effect of heavy metal contamination. *Bioresource Technology*. 1992;41(3):273-7.
25. Bennicelli R, Stepniewska Z, Banach A, Szajnocha K, Ostrowski J. The ability of *Azolla caroliniana* to remove heavy metals (Hg(II), Cr(III), Cr(VI) from municipal waste water. *Chemosphere* 2004;55(1):141-146.
26. Pandey VC. Phytoremediation of heavy metals from fly ash pond by *Azolla caroliniana*. *Ecotoxicol Environ Saf* 2012; 82:8-12.
27. Busca G, Berardinelli S, Resini C, Arrighib L. Technologies for the removal of phenol from fluid streams: A short review of recent developments. *Hazardous Materials. J Hazard Mater*. 2008 30;160(2-3):265-88. PMID: 18455866.
28. Qadeer R. A Study of the Adsorption of Phenol by Activated Carbon from Aqueous Solutions. *Turk J Chem* 2002;26:357-361.
29. Varghese S, Vinod V.P. Kinetic and equilibrium characterization of phenols adsorption onto a novel activated carbom in water treatment. *indian journal of chemical technology* 2004; 11: 825-833.