

## *The Ability of Azolla and Lemna Minor Biomass for Adsorption of Phenol from Aqueous Solutions*

Ramezan-Ali Dyanati-Tilaki<sup>1</sup>,  
Zabihallah Yousefi<sup>1</sup>,  
Jamshid Yazdani-Cherati<sup>2</sup>,  
Davoud Balarak<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> MSc Student in Environmental Health Engineering, Student Research Committee, School of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received June 29, 2013; Accepted October 5, 2013)

### **Abstract**

**Background and purpose:** 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. The aim of this study was determination of the modified lemna minor and azolla in phenol adsorption.

**Materials and methods:** In this empirical-lab study, the washed lemna minor and azolla was used as adsorbents. The effect of various parameters on adsorbents performance was investigated. The concentration of phenol was measured by high-performance liquid chromatography (HPLC). Also, data were fitted with variety isotherm and kinetic models.

**Results:** The phenol adsorption rate increased by increasing of contact time and adsorbent dose in both adsorbents; however, the phenol adsorption per each gram of adsorbents ( $q_e$ ) decreased. The adsorption efficiency increased by decreasing initial phenol concentration. With increasing of solution pH, removal efficiency decreased and optimum pH was 3. Adsorption isotherm data showed that the phenol sorption followed the Langmuir. Kinetics of sorption was well described by pseudo-second order model.

**Conclusion:** The lemna minor and azolla can be used as effective and low-cost adsorbents to organic compounds removal from industrial effluents. Although due to advantages such as more plenty and higher ability in phenol removal, the azolla is the best adsorbent.

**Keywords:** Azolla and lemna minor biomass, phenol, isotherms model, adsorption

## بررسی قابلیت بیومس آزولا و عدسک در جذب فنل از محیط‌های آبی

رضانعلی دیبانی تیلکی<sup>۱</sup>

ذبیح‌اله یوسفی<sup>۱</sup>

جمشید یزدانی چراتی<sup>۲</sup>

داود بلاری<sup>۳</sup>

### چکیده

**سابقه و هدف:** حضور فنل در آب و فاضلاب به دلیل سمیت و تهدیدی که برای زندگی انسان و محیط زیست دارد، یک نگرانی عمده محسوب می‌گردد. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی جذب فنل توسط عدسک و آزولای اصلاح شده بود. **مواد و روش‌ها:** در این مطالعه تجربی - آزمایشگاهی، از گیاه عدسک و آزولای شستشو شده با اسید به عنوان جاذب جهت حذف فنل استفاده شد. تأثیر متغیرهای مختلف بر عملکرد جاذب بررسی شد. غلظت فنل به روش High-performance liquid chromatography (HPLC) اندازه‌گیری شد. همچنین ایزوترم‌ها و سینتیک‌های جذب تعیین شد. **یافته‌ها:** با افزایش دوز جاذب و زمان تماس، راندمان جذب با هر دو جاذب افزایش یافت؛ در حالی که از ظرفیت جذب کاسته می‌شد. کارایی حذف، همچنین با کاهش غلظت اولیه فنل کاهش یافت. با افزایش pH محلول، کارایی حذف کاهش یافت. pH بهینه جذب ۳ بود. همچنین، بهترین نوع ایزوترم برای جاذب‌ها Langmuir و بهترین سینتیک واکنش، سینتیک درجه ۲ بود. **استنتاج:** گیاهان عدسک و آزولا می‌توانند به عنوان جاذب‌های مؤثر و ارزان و در دسترس، برای حذف ترکیبات آلی از پساب صنایع مورد استفاده قرار گیرند. هر چند به علت مزیت‌های گیاه آزولا مانند فراوانی زیادتر، مزیت اصلی آن یعنی بالا بودن جذب فنل نسبت به گیاه عدسک، گزینه ایده‌آل‌تری می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** بیومس آزولا و عدسک آبی، فنل، مدل ایزوترمی، جذب سطحی

### مقدمه

میکروگرم در لیتر می‌باشد. فرایندهای متداول حذف ترکیبات فنلی از قبیل جذب سطحی، اکسیداسیون مرطوب با پراکسید، اکسیداسیون مرطوب با هوا، ازن‌زنی، روش‌های الکتروشیمیایی، پرتودهی و غیره است (۳). این روش‌ها دارای معایبی نظیر هزینه بالای تصفیه، نیاز به تصفیه اضافی، تشکیل فرآورده‌های جانبی خطرناک، راندمان پایین و قابلیت کاربرد برای غلظت‌های محدودی از آلاینده‌ها می‌باشد (۴).

روش‌های اولترافیلتراسیون و اسمز معکوس نیز به دلیل هزینه بهره‌برداری بسیار زیاد، اقتصادی نمی‌باشند (۵). در میان فرایندهای فیزیکوشیمیایی، تکنولوژی جذب به خاطر هزینه کم و راندمان بالا، به طور وسیعی در چند سال اخیر مورد توجه

فنل و ترکیبات فنلی، بسیار سمی و برای سلامتی انسان و موجودات آبی مضر می‌باشند که در محیط‌های آبی با مصرف اکسیژن، مشکلات فراوانی را برای این موجودات به وجود می‌آورند (۱). این آلاینده‌های آلی در غلظت‌های گوناگون از طریق فاضلاب صنایع پتروشیمی، تولید رزین و پلاستیک، کاغذ، پالایشگاه نفت، صنعت فولاد و آفت‌کش وارد محیط می‌گردند که غلظت آن‌ها در محیط‌های مختلف بین ۵ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر می‌باشد (۲). رهنمود سازمان جهانی بهداشت (WHO یا World health organization) برای غلظت فنل‌ها، کلروفنل‌ها در آب آشامیدنی کمتر از ۰/۱

E-mail: dbalarak2@gmail.com

**مؤلف مسئول:** داود بلاری - ساری: دانشگاه علوم پزشکی مازندران، دانشکده بهداشت، کمیته تحقیقات دانشجویی

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

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

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۸ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۲/۶/۲ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۷/۱۳

محققین قرار گرفته است (۶).

بیومس خشک شده، شسته و در مقابل آفتاب خشک شد. پس از این مرحله، بیومس به دست آمده در هاون آسیاب و با استفاده از الک، در اندازه‌های ۱ تا ۲ میلی‌متری دانه‌بندی شد (۱۱).

#### مشخصات جاذب

سطح ویژه جاذب‌ها بر اساس جذب گاز ازت و محاسبات آن بر اساس نرم‌افزار Belsorp با دستگاه Gemini ۲۳۷۵ شرکت Micromeritics و در پژوهشگاه مواد و انرژی کرج انجام شد.

#### روش انجام آزمایش

مطالعه حاضر در مقیاس آزمایشگاهی و به صورت ناپوسته انجام گرفت. آزمایش‌های مربوط در ظروف واکنش ۲۰۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول واکنش انجام شد. مهم‌ترین متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش، شامل غلظت اولیه فنل (۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، pH (در گستره ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱)، زمان تماس (۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه) و دوز جاذب (۱/۴-۲/۰ گرم) بودند که با توجه به مطالعات قبلی انتخاب و در مراحل جداگانه در طول تحقیق بررسی گردیدند (۱۴). برای انجام آزمایش‌ها، ابتدا زمان تعادل در شرایط ثابت (PH=۳، دوز جاذب ۱ گرم و غلظت اولیه فنل ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) تعیین گردید. پس از تعیین زمان تعادل، آزمایش‌ها با ثابت نگه داشتن سه متغیر و تغییر دادن یک متغیر انجام شد. 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. در همزن مغناطیسی با ۱۸۰ دور در دقیقه مخلوط و نمونه مورد نظر با سانتریفوژ در ۳۶۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد. برای جلوگیری از خطاهای احتمالی تمام آزمایش‌ها به صورت سه بار تکرار انجام شد.

#### روش آنالیز نمونه‌ها

برای اندازه‌گیری غلظت فنل باقی‌مانده از دستگاه HPLC (مدل Kenaver ساخت کشور آلمان) با ستون C18 (قطر

عدسک آبی و آژولا فیلیکولودیس، گیاهان آبی‌شنواری هستند که به سرعت در آب‌های راکد و برکه‌ها رشد می‌کنند و روی سطح آب را می‌پوشانند. در کشورمان نیز در تالاب‌های شمال کشور به خصوص تالاب انزلی، هر سال هزینه هنگفتی را صرف مبارزه با این گیاهان می‌کنند؛ اما به علت سرعت رشد بسیار بالای آن‌ها، هنوز راه حل مناسبی برای حل این مشکل زیست محیطی پیدا نشده است (۷، ۸)؛ اما با توجه به خاصیت جذبی آن‌ها، در بسیاری از کشورهای دنیا از آن‌ها به عنوان جاذب با کارایی بالا و جذب سریع و ارزان قیمت برای حذف مواد آلی مثل رنگ‌ها و فلزات سنگین (کروم، روی، سرب، مس و آرسنیک) استفاده می‌کنند که در تمام موارد حذف بالای ۹۰ درصد است و نشان دهنده جاذب‌های مطلوب برای فرایند جذب سطحی می‌باشد (۹-۱۳). بنابراین با توجه به فراوانی گیاه آژولا و عدسک آبی و ارزان بودن آن‌ها، هدف اصلی این پژوهش استفاده از آژولا و عدسک آبی خشک شده به عنوان جاذب‌های مؤثر و ارزان قیمت و بررسی اثر آن‌ها در جذب فنل از فاضلاب‌های صنعتی بود.

## مواد و روش‌ها

### مواد مورد استفاده

در این مطالعه فنل، اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم از شرکت Merck و اسیدنیتریل مورد استفاده برای دستگاه High-performance liquid chromatography (HPLC)، از شرکت CALEDON تهیه شد. فنل دارای فرمول شیمیایی  $C_6H_5OH$  با درجه خلوص ۹۹ درصد و دارای وزن مولکولی ۹۴/۱۱ گرم بر مول می‌باشد.

### روش آماده‌سازی جاذب

ابتدا گیاه آژولا و عدسک از مزارع برنج شهر ساری جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه تمیز و در فر در درجه حرارت ۱۰۵ سانتی‌گراد خشک گردید. با استفاده از هیدروکلریک اسید ۰/۱ مولار برای مدت ۵ ساعت

زمان تماس بهینه خوانده می شود. این تغییرات در میزان جذب در زمان‌های مختلف، شاید به این دلیل باشد که در زمان‌های تماس اولیه، اغلب نقاط موجود در سطح جاذب خالی است و تغییرات غلظت آلاینده در فاز مایع بیشتر است؛ از این رو با گذشت زمان، تعداد نقاط خالی موجود در سطح جاذب کمتر و منجر به کاهش سرعت جذب فنل می شود. از طرفی، با گذشت زمان به دلیل افزایش نیروی دافعه موجود بین مولکول‌های آلاینده جذب شده در سطح جاذب، جذب آلاینده در نقاط خالی موجود در سطح جاذب با سرعت کمتری انجام می گیرد که این امر، منجر به طولانی شدن زمان جذب یا کاهش میزان جذب در واحد زمان می شود (۱۵).

با افزایش غلظت اولیه فنل، میزان حذف کاهش می یابد؛ به طوری که میزان حذف در غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر برای گیاه آزولا و عدسک به ترتیب به ترتیب برابر ۹۷ و ۸۶ درصد و برای غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر، ۵۰ و ۳۷ درصد می باشد. با توجه به این که به ازای یک مقدار مشخص از یک جاذب، محل‌های جذب ثابت می باشد؛ بنابراین با افزایش غلظت اولیه فنل، کارایی حذف کاهش می یابد. به عبارت دیگر، با افزایش غلظت فنل از یک حد، به خاطر اشباع شدن مکان‌های جذب جاذب، جذبی صورت نمی گیرد و میزان فنل باقی مانده در محلول آبی بیشتر خواهد بود (۱۶). همچنین با افزایش مقدار جاذب، درصد حذف فنل نیز افزایش می یابد. در غلظت بالای ۱۰ گرم در لیتر، میزان جذب در حد تعادل می باشد. افزایش جذب فنل با افزایش مقدار جاذب را می توان در نتیجه افزایش میزان سطح فعال و مؤثر در جذب دانست. هر چند افزایش دوز جاذب، باعث افزایش راندمان جذب فنل می گردد؛ اما به دلیل غیر اشباع ماندن برخی از نقاط فعال موجود در سطح جاذب و عدم استفاده کامل از ظرفیت جاذب، میزان جذب در واحد جرم جاذب کاهش می یابد (۱۷، ۱۸). نتایج مربوط به تأثیر دوز جاذب و غلظت فنل در جدول شماره ۱ آمده است.

#### تأثیر pH

بررسی تأثیر pH بر روی کارایی جذب فنل در سیستم مورد مطالعه با تغییر در pH از ۳ تا ۱۱ انجام شد و همان طوری

داخلی ۴/۶ و طول ۲۵۰ میلی متر) و فاز حامل استونیتریل و بافر با نسبت ۶۰ به ۴۰ استفاده گردید. برای سنجش، ابتدا منحنی کالیبراسیون با ۱۰ غلظت مختلف از فنل رسم گردید که  $R^2$  آن برابر با ۰/۹۹۹ بود. آنالیز و تفسیر داده‌ها نیز با استفاده از نرم افزار Excel و ضریب رگرسیون صورت گرفت.

آزمون‌های لازم برای تعیین ایزوترم‌های جذب با انتخاب شرایط پایه، شامل مقدار جاذب ۱۰ گرم در لیتر، غلظت اولیه فنل ۲۵ تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر در pH برابر ۳ انجام شد. در این تحقیق، از دو نوع مدل ایزوترمی Freundlich و Langmuir برای بررسی نتایج استفاده گردید. مدل‌های سینتیکی برای جذب، مدل‌های درجه صفر، درجه ۱ و درجه ۲ می باشد که در این تحقیق استفاده شد (۱۴).

## یافته‌ها و بحث

### مشخصات جاذب

آزولا و عدسک مورد استفاده دارای سطح ویژه  $4 \pm 36$  و  $3 \pm 30$  مترمربع در هر گرم جاذب بود که در تکرار ۳ بار به دست آمد و این نشان دهنده آن است که جاذب‌ها دارای سطح ویژه مناسبی برای جذب بودند. یکی از عوامل مهم برای انتخاب جاذب، سطح ویژه جاذب است و هر قدر سطح ویژه ماده بیشتر باشد، ماده دارای خلل و فرج بیشتر و در نتیجه سطح تماس بالاتری با ماده جذب شونده خواهد بود. نتایج نشان دهنده بهتر بودن گیاه آزولا نسبت به عدسک از نظر جذب سطحی می باشد. هر دو جاذب نسبت به پوست بادام و گردو که دارای سطح ۱۴/۶ مترمربع به ازای هر گرم می باشند، دارای سطح مناسبی برای جذب بودند؛ اما سطح ویژه آن‌ها به طور تقریبی برابر با جاذب گل قرمز بود (۱۴).

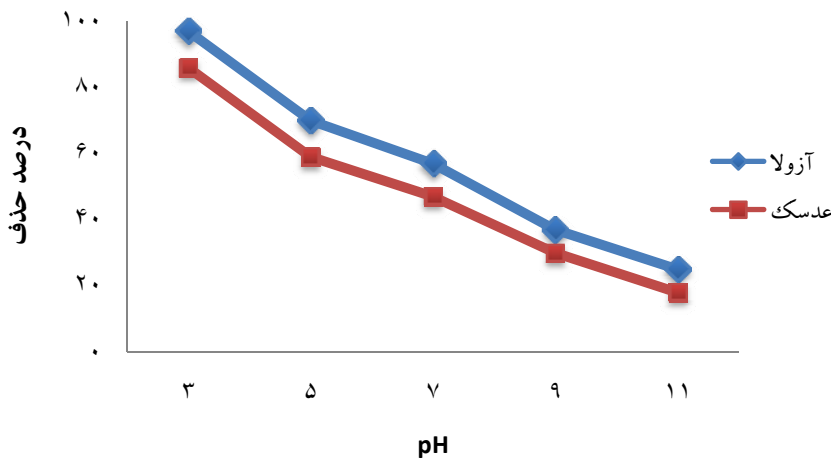
### تأثیر زمان تماس، غلظت اولیه فنل و دوز جاذب

همان طور که در جدول شماره ۱ نشان داده شده است، با افزایش زمان تماس تا ۹۰ دقیقه، میزان حذف افزایش می یابد؛ اما با افزایش زمان تماس از ۹۰ دقیقه، میزان حذف به طور تقریبی ثابت می باشد. بنابراین، زمان تماس ۹۰ دقیقه به عنوان

جدول شماره ۱: تأثیر زمان تماس، غلظت اولیه فنل و دوز جاذب بر روی کارایی حذف

زمان تماس	حذف آزولا (درصد)	حذف عدسک (درصد)	غلظت فنل	حذف آزولا (درصد)	حذف عدسک (درصد)	دوز جاذب	حذف عدسک (درصد)	حذف آزولا (درصد)
۱۵	۴۱	۳۵	۵	۸۸	۸۷	۲	۲۹	۳۷
۳۰	۶۴	۵۷	۱۰	۹۷	۸۳	۴	۴۸	۶۳
۴۵	۷۹	۷۰	۲۰	۸۷	۷۶	۶	۶۲	۸۱
۶۰	۹۱	۷۹	۴۰	۸۳	۶۹	۸	۷۵	۹۲
۹۰	۹۷	۸۶	۶۰	۷۵	۶۴	۱۰	۸۶	۹۷
۱۲۰	۹۷	۸۶	۸۰	۶۸	۶۰	۱۲	۸۶	۹۷
۱۸۰	۹۷	۸۶	۱۰۰	۶۱	۵۳	۱۴	۸۶	۹۷
۲۴۰	۹۷	۸۶	۲۰۰	۵۰	۳۷	۱۶	۸۶	۹۷

دوز جاذب (گرم در لیتر)، غلظت فنل (میلی گرم در لیتر)



نمودار شماره ۱: تأثیر pH بر روی کارایی حذف (دوز جاذب ۱۰ g/l، غلظت فنل ۱۰ mg/l و زمان تماس ۹۰ دقیقه)

نتایج حاصل از مدل‌های ایزوترمی و سنتیکی در جداول شماره ۲ و ۳ آمده است. در تمامی حالت‌ها، معادلات از ضریب همبستگی بسیار خوبی برخوردار است و این نشان دهنده هماهنگی بودن نتایج آزمایش‌های این تحقیق با مدل‌های ایزوترم‌های Freundlich و Langmuir، BET (Brunauer emmet teller) و تمکین می‌باشد، هر چند که برای جاذب آزولا و عدسک، ایزوترم Langmuir از سایر ایزوترم‌ها بهتر پیروی می‌کند و نشان دهنده جذب لایه‌ای فنل بر روی جاذب است. از طرف دیگر، مقدار متغیر  $1/n$  در صورتی که بین ۰ و ۱ قرار داشته باشد، نشان دهنده ناهمگنی سطح و جذب سطحی مطلوب و خوب خواهد بود که در این آزمایش، برای گیاه آزولا و عدسک بین ۰ و ۱ قرار داشت. این امر نشان دهنده تبعیت داده‌ها از معادله Freundlich خواهد بود.

که در نمودار شماره ۱ نشان داده شده است، در pH اسیدی میزان حذف بالا بود و با افزایش pH میزان حذف کاهش یافت. بنابراین pH بهینه برای جذب فنل ۳ بوده است. علت این پدیده به ساختار آنیونی فنل مربوط می‌شود. میزان جذب در pH اسیدی برای گیاه آزولا و عدسک به ترتیب ۷۰ و ۶۱ درصد اختلاف با میزان جذب در pH قلیایی داشته است و این تفاوت، به خاطر این است که pH بر روی شارژ الکتریکی سطح جاذب اثر می‌گذارد و درجه یونیزاسیون فنل را تغییر می‌دهد (۴). بخش یونی فنل ( $\phi_{ions}$ ) توسط رابطه زیر به دست می‌آید. همان‌طور که در فرمول مشخص است، با افزایش pH، کاهش  $\phi_{ions}$  می‌یابد و با توجه به این که فنل اسید ضعیفی است، بنابراین در pH بالا به مقدار ناچیزی تفکیک می‌شود (۱۹).

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

جدول شماره ۲: ضرایب مدل‌های ایزوترمی

نام مدل	Freundlich			Langmuir			تمکین			BET		
	K	n	$R^2$	$q_m$	b	$R^2$	b	kt	$R^2$	A	$X_m$	$R^2$
آزولا	۰/۲۲۵	۴/۷۱	۰/۹۸۸	۱۱/۲	۱/۴۰	۰/۹۹۷	۶۱/۴	۴/۷۱	۰/۹۲۶	۲۵/۲	۰/۱۸۱	۰/۹۹۳
عدسک	۰/۳۱۲	۳/۷۰	۰/۹۸۰	۹/۴	۱/۲۵	۰/۹۷۳	۶۲/۶	۴/۸۹	۰/۹۴۵	۲۳/۸	۰/۱۹۲	۰/۹۱۷

BET: Brunauer Emmet Teller

جدول شماره ۳: ضرایب ثابت و ضرایب همبستگی مدل‌های سینتیک

سینتیک درجه ۲			سینتیک درجه ۱			سینتیک درجه صفر			
co (mg/l)	$K_r$ (g/mg.min)	$R^2$	q	$K_1$ (۱/min)	$R^2$	q (mg/g)	$K_m$ (۱/min)	$R^2$	q
۱۰	۰/۳۲۰	۰/۹۷۴	۱/۹۰	۰/۰۹۴	۰/۷۱۲	۲/۰۷	۰/۰۶۹	۰/۷۴۳	۲/۰۰
۲۰	۰/۴۴۰	۰/۹۹۱	۳/۴۰	۰/۱۱۴	۰/۷۹۴	۳/۱۰	۰/۰۷۸	۰/۸۱۷	۳/۳۰
۵۰	۰/۵۹۰	۰/۹۹۹	۷/۲۰	۰/۱۳۲	۰/۸۷۰	۶/۸۰	۰/۰۹۴	۰/۹۲۲	۷/۱۰
عدسک									
۱۰	۰/۲۷۰	۰/۹۴۵	۱/۷۰	۰/۰۸۱	۰/۷۹۰	۱/۹۵	۰/۰۶۵	۰/۷۱۰	۱/۶۴
۲۰	۰/۳۴۰	۰/۹۷۸	۲/۹۰	۰/۱۰۳	۰/۸۴۰	۲/۷۵	۰/۰۷۴	۰/۷۹۰	۲/۹۸
۵۰	۰/۴۲۰	۰/۹۹۱	۶/۶۰	۰/۱۲۴	۰/۹۳۰	۶/۲۵	۰/۰۸۳	۰/۸۴۰	۶/۷۰

به دست آمده درباره حذف فنل با جاذب‌های مختلف همخوانی دارد (۲۴-۲۷).

در پایان، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی به اندازه‌گیری مقدار اکسیژن شیمیایی محلول بعد از افزودن جاذب و جذب سایر ترکیبات آلی- فنلی پرداخته شود. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، بیومس گیاه آزولا و عدسک آبی قادر هستند در شرایط بهینه به ترتیب حدود ۹۷ و ۸۶ فنل را در غلظت‌های پایین حذف نمایند و میزان حذف به متغیرهایی مانند زمان تماس، pH، دوز جاذب و غلظت اولیه ترکیبات آلی بستگی دارد.

## سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله لازم می‌دانند از حمایت‌های مالی معاونت تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی مازندران و گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت که در اتمام پایان‌نامه کارشناسی ارشد همکاری نمودند، تشکر و قدردانی نمایند.

در صورتی که ملاک فقط ضریب همبستگی باشد، بیشتر بودن تبعیت داده‌ها از معادله Langmuir نسبت به ایزوترم‌های Freundlich و تمکین مشاهده شد که در مطالعاتی که با پامیس اصلاح شده، خاکستر پر شتر مرغ، کربن فعال و پوست بادام و گردو انجام شده است، به طور کامل همخوانی دارد (۲۳-۲۰).

یکی از متغیرهای مهمی که در معادلات جذب برای پیش‌بینی مناسب بودن یا نبودن جذب بایستی تعیین گردد، ضریب بدون بعد ( $R_L$ ) می‌باشد که نشان دهنده شرایط جذب آلاینده در سطح جاذب است. اگر  $R_L$  بین ۰ و ۱ باشد، نشان دهنده جذب مناسب است. در این مطالعه، بر اساس غلظت اولیه استفاده شده و مقدار b ایزوترم Langmuir، مقدار عددی این متغیر برای گیاه آزولا و عدسک به ترتیب برابر با ۰/۰۶۰ و ۰/۰۷۵ می‌باشد که بیانگر جذب مناسب فنل است. همچنین با توجه به داده‌های سینتیکی، سینتیک درجه دوم بهترین نوع سینتیک برای حذف فنل از محلول‌های آبی می‌باشد که نشان دهنده سرعت خوب واکنش است و با نتایج

## References

- Roostaei N, Roostaei H. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption. *Journal of Environmental Management* 2004; 70(2): 157-64.
- Diyanati R, Yousefi Z, Yazdani Cherati J, Balarak D. Investigating Phenol Absorption from Aqueous Solution by Dried Azolla. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2013; 22(2): 13-20. (Persian).
- Ghanizadeh Gh. Application of enzymatic polymerization process for the removal of phenol from synthetic wastewater. *Iranian Journal of Health and Environment* 2009; 2(1): 46-55.
- Banat FA, Al-Bashir B, Al-Asheh S, Hayajneh O. Adsorption of phenol by bentonite. *Environ Pollut* 2000; 107(3): 391-8.
- Shen YH. Removal of phenol from water by adsorption-flocculation using organobentonite. *Water Res* 2002; 36(5): 1107-14.
- Gholizadeh A, Kermani M, Gholami M, Farzadkia M. Comparative Investigation of 2-Chlorophenol and 4-Chlorophenol Removal Using Granulated Activated Carbon and Rice Husk Ash. *Toloo-Behdasht (TB)* 2013; 11(3): 66-78. (Persian).
- Filizadeh Y. An ecological investigation into the excessive growth of azolla in the Anzali lagoon and its control. *Iran Natural Resources* 2002; 55(1): 65-80. (Persian).
- Diyanati R, Yazdani Cherati J, Belarak D. Effect of Sorbitol on Phenol Removal Rate by Lemna Minor. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2013; 22(2): 58-65. (Persian).
- Tan C, Li G, Lu X, Chen Z. Biosorption of Basic Orange using dried *A. filiculoides*. *Ecological Engineering* 2010; 36(10): 1333-40.
- Zazouli MA, Balarak D, Mahdavi Y. Pyrocatechol Removal from Aqueous Solutions by Using Azolla *Filiculoides*. *Health Scope* 2013; 2(1): 25-30.
- Zazouli MA, Balarak D, Mahdavi Y. Effect of Azolla *filiculoides* on removal of reactive red 198 in aqueous solution. *J Adv Environ Health Res* 2013; 1(1): 44-50.
- Zhao M, Duncan JR. Removal and recovery of nickel from aqueous solution and electroplating rinse effluent using Azolla *filiculoides*. *Process Biochemistry* 1998; 33(3): 249-55.
- Zhao M, Duncan JR, van Hille RP. Removal and recovery of zinc from solution and electroplating effluent using Azolla *filiculoides*. *Water Res* 1999; 33(6): 1516-22.
- Zazouli MA, Balarak D, Mahdavi Y, Barafrashtehpour M, Barafrashtehpour M. Adsorption of bisphenol from industrial wastewater by modified red mud. *Journal of Health and Development* 2013; 2(1): 1-11. (Persian).
- Zazouli M, Yazdani J, Balarak D, Ebrahimi M, Mahdavi Y. Investigating the Removal Rate of Acid Blue 113 from Aqueous Solution by Canola. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2013; 22(2): 71-8. (Persian).
- Bekkouche S, Bouhelassa M, Hadj Salah N, Meghlaoui FZ. Study of adsorption of phenol on titanium oxide (TiO<sub>2</sub>). *Desalination* 2004; 166: 355-62.
- Srivastava VC, Swamy MM, Mall ID, Prasad B, Mishra IM. Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 2006; 727(1-2): 89-104.
- Huang J, Wang X, Jin Q, Liu Y, Wang Y. Removal of phenol from aqueous solution by adsorption onto OTMAC-modified attapulgite. *J Environ Manage* 2007; 84(2): 229-36.
- Maleki A, Mahvi AH. Application of agricultural waste in removal of phenol from aqueous solutions. *Hormozgan Med J* 2005; 10(4): 393-9. (Persian).
- Moussavi G, Mahmoudi M, Barikbin B. Biological removal of phenol from strong wastewaters using a novel MSBR. *Water Res* 2009; 43(5): 1295-302.
- Daraei H, Manshouri M, Yazdanbakhsh A. Removal of Phenol from Aqueous Solution Using Ostrich Feathers Ash. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2010; 20(79): 81-7. (Persian).
- Saeedi M, Pajohedhfâr SP. Survey Removal of phenol from contaminated water using activated carbon and carbon skin almonds and walnuts. *Journal of Environmental Sciences and Technology* 2009; 10(4): 218-31. (Persian).
- Jaafari SJ, Shokouhi R, Hosseinzadeh E, Taghavi M, Arezoumandi R, Ahadi H. Removal of reactive black 5 (rb5) dye from aqueous solution by using of adsorption on to activated red mud: Kinetic and equilibrium study. *Journal of Health Sciences* 2012; 4(1): 57-67. (Persian).
- Gulbeyi D, Cicek H, Dursun AY. Adsorption of phenol from aqueous solution by using carbonised beet pulp. *Journal of Hazardous Materials* 2013; 125(1-3): 175-82.
- El-Naas M, Al-Zuhair S, Alhajja M. Removal of phenol from petroleum refinery wastewater through adsorption on date-pit activated carbon. *Chemical Engineering Journal* 2010; 162(3): 997-1005.
- Zazouli MA, Balarak D, Mahdavi Y. Application of azolla for 2-Chlorophenol and 4-Chlorophenol Removal from aqueous solutions. *Iranian Journal of Health Sciences* 2013; 1(2): 45-55. (Persian).
- Zazouli MA, Balarak D, Mahdavi Y, Ebrahimi M. Adsorption rate of 198 reactive red dye from aqueous solutions by using activated red mud. *Iranian Journal of Health Sciences* 2013; 1(1): 36-43. (Persian).