ORIGINAL ARTICLE

Effect of sorbitol on phenol removal rate by lemna minor

Ramezan'ali Diyanati[1], Jamshid Yazdani[2], Davood Belarak[3] *

[1] Health Sciences Research Center,Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[2] Health Sciences Research Center,Department of Biostatistics, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences,Sari, Iran.
[3] Student Research Committee, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran.

(Received December 21, 2012; Accepted March 2, 2013)

Abstract

Background and purpose: Pphenol is one of major available compound in industrial wastewater. Phenol is classified as priority and dangerous pollutant in International Agency for Research on Cancer (IARC) and in list of EPA. Thus, the purpose of this study is survey on effect of sorbitol on phenol removal rate by lemna minor.

Materials and methods: Tthis is an empirical- lab study. In this study, lemna minor in various amounts (0.3, 0.4, 0.6gr) was contacted with phenol concentration of 5, 10, 25, 50 ppm and sorbitol was added in known amounts into containers (0.2 and 1gr). In order to prevent of probable error, all experiments were done 2 times. Every 4 days, samples were provided from containers and the phenol concentration was determined by colorimetery in wavelength of 510nm..

Results: Tthe findings of this study showed that the increasing of initial concentration of phenol can decrease the removal rate and in concentration of less than 10 mg/l, the removal rate can be up to 95-99%. The removal rate of phenol increase by increasing of contact time and amount of lemna. Presence of sorbitol in culture medium can lead to increase of growth and reproduction and increasing of removal rate of phenol by lemna.

Conclusion: Llemna minor is able to remove of phenol from aqueous. The addition of sorbitol carbohydrate can lead to increase of growth and reproduction and the efficiency of phenol removal by leman minor.

Keywords: Phenol, Lemna minor, Sorbitol

J Mazand Univ Med Sci 2013; 23(Suppl-2): 56-62 (Persian).

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و دوم ویژه نامه ۲ اسفند ۱۳۹۱ (۶۲-۵۶)

بررسی تاثیر سوربیتول بر میزان جذب فنل توسط گیاه عدسک آبی

رمضانعلی دیانتی[۱] جمشید یزدانی چراتی[۲] داود بلارک[۳]

چکیده

سابقه و هدف: فنل یکی از مهم ترین ترکیبات موجود در فاضلاب صنایع است. فنل در طبقه بندی آلاینده ها، دارای اولویت خطرناک در آژانس بین المللی تحقیقات سرطان (IARC) و در فهرست سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا معرفی شده است. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی تأثیر سوربیتول برمیزان جذب فنل توسط گیاه عدسک آبی می باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه یک تحقیق تجربی است. در این تحقیق گیاه آبزی عدسک آبی با مقادیر متفاوت (۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ گرم) در تماس با غلظت های ۵ ، ۱۰ ، ۲۵ و ۵۰ پی پی ام فنل قرار گرفت و سوربیتول با دو مقدار مشخص۰/۲ ۰/۲ و ۱ گرم نیز به ظرف ها به عنوان ماده مغذی افزوده شد. آزمایشات در دو مرحله برای جلوگیری از خطای احتمالی انجام شد. هر چهار روز یک بار از تمام ظروف جهت تعیین غلظت آلاینده نمونه تهیه شد. غلظت فنل به روش رنگ سنجی در طول موج ۵۰۰ نانومتر تعیین گردید.

نتایج: یافته های حاصل از این مطالعه نشان داد که با افزایش مقدار اولیه فنل میزان حذف کاهش می یابد و در غلظت های زیر ۱۰میلی گرم در لیتر میزان حذف به ۹۵-۹۹٪ نیز می رسد. همچنین با افزایش زمان تماس و مقدار گیاه لمنا میزان حذف فنل افزایش می یابد. حضور کربوهیدرات سوربیتول در محیط کشت موجب افزایش میزان رشد و تکثیر و همچنین افزایش میزان حذف فنل بوسیله این گیاه می گردد.

استنتاج: گیاه عدسک آبی قادراست فنل را از آب حذف نماید. افزودن کربوهیدرات سوربیتول به محیط کشت موجب افزایش میزان رشد و تکثیر و افزایش کار آئی حذف فنل بوسیله گیاه عدسک آبی می گردد.

واژه‌های کلیدی: فنل، عدسک آبی، سوربیتول

مقدمه

فنل یکی از مهم‌ترین ترکیبات موجود در فاضلاب صنایع است. ظرفیت تولید جهانی فنل در سال ۲۰۰۴، ۲/۴ میلیون تن برآورد شده است(۱). این ماده به وفور در فاضلاب‌های صنعتی نظیر پالایشگاه‌های زغال، پتروشیمی، داروسازی، پلاستیک، صنایع رزین، رنگ، محصولات قارچ کش و علف‌کش، نساجی و خمیر کاغذ وجود دارد(۸،۲). فنل از آلاینده‌های معروف زیست محیطی می‌باشد زیرا کاملاً سمی است و علاوه بر خطرات بهداشتی متعدد، به‌دلیل ایجاد طعم و بو حائز اهمیت اشد(۹، ۱۰). یکی از پیامدهای وجود فنل ایجاد ترکیبات کلروفنلیک در طی کلرزنی آب آشامیدنی است که منجر به بوی زننده و قابل اعتراض نزد مصرف کنندگان می‌گردد. لذا فنل در طبقه‌بندی آلاینده دارای اولویت خطرناک در آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) و در فهرست سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا معرفی شده است(۸-۱۱).

آلاینده‌های دارای تقدم ترکیبات آلی یا معدنی با اثرات شناخته شده یا مشکوک سرطان‌زایی، جهش

مؤلف مسئول: داود بلارک- ساری: کیلومتر۱۸ جاده خزرآباد، مجتمع دانشگاهی پیامبراعظم، دانشکده بهداشت E-mail:dbalark2@gmail.com

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، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

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

تاریخ دریافت :۹۱/۱۰/۱ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۹۱/۱۱/۲ تاریخ تصویب :۹۱/۱۲/۱۲

زایی، آسیب‌رسانی به جنین یا سم زدایی بسیار شدید می باشند. بنابراین تشخیص، شناسایی و تعیین میزان ترکیبات فنلی در محیط زیست و به‌ویژه منابع آب و پایش زیست محیطی متعاقب آن اهمیت زیادی در کنترل انتشار این مواد و کاهش اثرات این آلاینده بر محیط زیست دارد(۱۴،۵). به همین جهت سازمان جهانی بهداشت غلظت ۰/۰۰۱ میلی‌گرم در لیتر را برای فنل در آب‌های آشامیدنی به‌عنوان حداکثر غلظت مجاز در نظر گرفته است(۱۶،۱۵). حداکثر غلظت مجاز تخلیه فنل به آب‌های سطحی مصارف کشاورزی و آبیاری در ایران برابر ۱ میلی‌گرم در لیتر است(۱۶).

فرایندهای متداول حذف ترکیبات فنلی از قبیل جذب سطحی، اکسیداسیون مرطوب با پراکسید، اکسیداسیون مرطوب با هوا، ازن‌زنی، روش‌های الکتروشیمیایی، پرتودهی و غیره می‌باشد که غالب 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 می باشد (۱۸،۱۷،۸،۵). لذا این امر باعث شده که بسیاری از محققین به‌دنبال جاذب‌های اقتصادی، عملی و مؤثر باشند(۱۸).

در این میان یکی از روش‌های حذف ارزان قیمت، استفاده از روش‌های گیاهی می‌باشد که در مطالعات اخیر برای افزایش کارایی روش‌های گیاهی در حذف آلاینده ها و رشد سریع گیاه از کربوهیدرات‌ها به‌عنوان ماده مغذی استفاده شده است و نتایج مثبتی نیز در رابطه با استفاده از کربوهیدرات‌ها به‌عنوان ماده مغذی ارائه شده است(۲۰،۱۹). سوربیتول با فرمول مولکولی $C6H14O6$ سرشار از منبع کربن برای رشد برای گیاهان می‌باشد(۲۰). گیاه عدسک آبی در آب‌های شیرین و راکد نواحی شمالی، غربی، جنوبی و دیگر نقاط کشور پراکنده‌اند. این گیاه به‌طور فراوان درکشورمان وجود دارد. رشد سریع و قابلیت دو برابر شدن در زمان کوتاه و هم‌چنین مقاومت گیاه عدسک آبی نسبت به شرایط سخت محیطی به‌خاطر چند لایه بودن این گیاه و سیستم ریشه‌ای قوی و رشد یافته که این گیاه را قادر ساخته است در زمستان نیز رشد کند از دلایل افزایش روزافزون این گیاه می‌باشد(۲۰). مطالعات مختلفی درباره کاربرد این گیاه مانند تصفیه فاضلاب، حذف رنگ و حذف فلزات سنگین انجام شده است که نتایج بسیار خوبی نیز در این رابطه حاصل شده است(۲۱-۲۲،۱۹). به دلیل امکان تهیه آسان و رشد سریع این گیاه به‌خصوص در منطقه ساری مازندران و هم‌چنین مطالعات بسیار کم در مورد این گیاه، در این مطالعه کارایی گیاه به‌عنوان جاذب فنل از محیط‌های آبی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

ابتدا گیاه عدسک از کانال‌های آبیاری و یا مزارع اطراف پردیس دانشگاه علوم پزشکی مازندران جمع آوری و به آزمایشگاه دانشکده بهداشت منتقل و به منظور جداسازی مواد زائد چسبیده به آن، مورد شستشو با آب قرار گرفت. سپس به‌منظور تکثیر گیاه جهت استفاده در مراحل مختلف آزمایش، گیاه به ظروف مخصوص کشت و تکثیر منتقل شد.

ابتدا با استفاده از محلول استوک میانی فنل (۱۰۰ پی پی ام) محلول‌های فنل در محدوده ۵،۱۰،۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر ساخته شد. از آنجایی که LC50 برای گیاه عدسک آبی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد بنابراین برای انتخاب غلظت‌های فنل برای آزمایش غلظت زیر ۵۰ میلی گرم در لیتر انتخاب شد(۱۹).

به‌منظور تماس گیاه با محلول آبی حاوی فنل از ظروف کوچک پلاستیکی به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر استفاده شد. محلول محیط کشت گیاه عدسک آبی مطابق روش استاندارد ساخته شد. محلول‌های آبی فنل حاوی محیط کشت به ظروف پلاستیکی منتقل شد. سپس ۳ وزن مختلف از گیاه عدسک (۰/۲ ، ۰/۴ و ۰/۶ گرم) به ظروف افزوده و در مرحله بعد دو غلظت ۰/۲ و ۱ گرم در لیتر سوربیتول به ظروف اضافه می‌شود به

عبارتی دیگر برای هر غلظت مشخص فنل ۶ ظرف با وزن گیاه و سوربیتول مختلف آماده شد. سپس با تأمین شرایط لازم برای رشد گیاه شامل تأمین نور (با استفاده از لامپ فلورسنت) و تأمین دما، شرایط رشد در این ظروف و مواجهه با فنل را به عدسک داده و برای تنظیم دما در این محیط، ظروف پلاستیکی مخصوص رشد گیاه در یک تشت آب که در آن هیتر قابل تنظیم تعبیه شده، قرار گرفته بود. بدین ترتیب دما برای رشد عدسک در حد بهینه (۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد) نگه داشته شد. البته لازم به ذکر است که آزمایشات دو بار تکرار انجام شد. یعنی برای هر غلظت مشخصی از فنل، شش ظرف با مقادیر مختلف گیاه آماده سازی گردیده بود و شش ظرف نیز برای تکرار آزمایشات و جلوگیری از خطاهای رخ داده شده احتمالی بود. ظروف کنترل حاوی محلول فنل در غلظت‌های مختلف اما فاقد گیاه در دو سری حاوی سوربیتول و فاقد آن به‌منظور تعیین میزان فنل تبخیر شده مورد آزمایش قرار گرفت. به منظور جبران آب از دست رفته طی تبخیر، قبل از آنالیز فنل، ظروف محتوی محلول و گیاه به‌وسیله ترازوی آنالیتیک توزین شده و یادداشت گردید و با افزودن آب مقطر به آن به وزن توزین شده مرحله قبلی رسانده می شد.

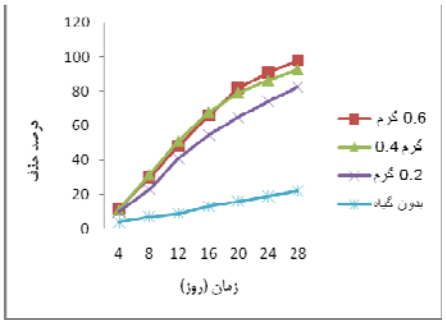
در مرحله بعد پس از زمان مواجهه لازم که ۴ روز می‌باشد، میزان فنل باقی‌مانده در آب با دستگاه اسپکتروفتومتری مدل DR2800 در طول موج ۵۰۰ نانومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت(۱۱،۷). اندازه‌گیری فنل در روزهای ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۴و ۲۸ روز پس از شروع آزمایش صورت گرفته بود . لازم به یادآوری است که آزمایشات تا زمانی که میزان فنل به حد استاندارد مطلوب برسد ادامه داشت. از نرم‌افزار Excel جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

نتایج

نتایج حاصل از این مطالعه در خصوص تأثیر بیومس اولیه، تأثیر سوربیتول بر میزان حذف، تأثیر غلظت اولیه فنل، تأثیر سوربیتول بر میزان رشد، تأثیر غلظت‌های مختلف فنل بر میزان بازدارندگی رشد و میزان تبخیر در نمودارهای ۱ تا ۶ نشان داده شده است.

تاثیر غلظت اولیه بیومس بر میزان حذف فنل

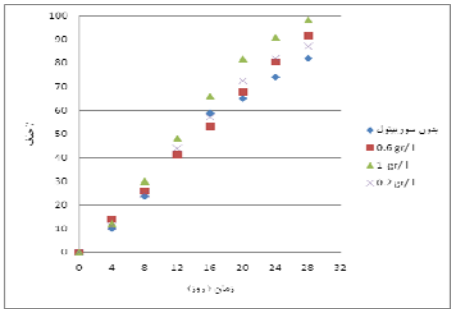
نتایج نشان داد که با افزایش وزن بیومس، میزان حذف فنل نیز افزایش می‌یابد به‌طوری‌که با سه برابر شدن وزن گیاه حدود ۱۲ درصد حذف فنل افزایش یافت. در این قسمت آزمایشات غلظت اولیه فنل ۵ میلی‌گرم در لیتر و دما حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد و میزان سوربیتول بهینه ۱ گرم در لیتر بود.



نمودار شماره ۱: تأثیر غلظت اولیه بیومس بر میزان حذف فنل (غلظت فنل: ۵ میلی‌گرم در لیتر- دما:۳۰ درجه سانتی‌گراد- میزان سوربیتول: ۱گرم در لیتر)

تأثیر مقدار اولیه سوربیتول بر میزان حذف فنل

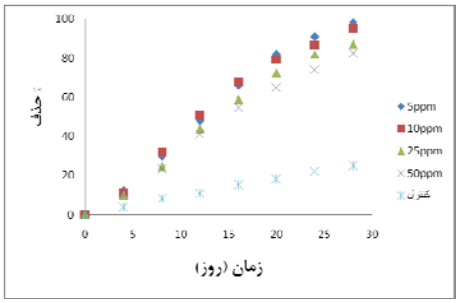
نتایج نشان داد که با افزایش مقدار اولیه سوربیتول در ظرف‌ها، میزان حذف فنل نیز افزایش یافت به‌طوری‌که با پنج برابر شدن مقدار سوربیتول میزان حذف ۱۵درصد افزایش یافته بود. در این قسمت آزمایشات غلظت اولیه فنل ۵ میلی‌گرم در لیتر و دما حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد و وزن بیومس اولیه ۰/۶ گرم بود. آنالیز داده‌ها با استفاده از رگرسیون خطی به‌طور معنی‌داری نشان داد با افزایش یک واحد مقدار سوربیتول، میزان جذب فنل به اندازه ۰/۱۷درصد افزایش می‌یابد($p\leq ۰/۰۰۱$).



نمودار شماره ۲: تأثیر مقدار اولیه سوربیتول بر میزان حذف فنل (غلظت فنل: ۵ میلی گرم در لیتر دما: ۳۰ درجه سانتی گراد- وزن بیومس اولیه ۰/۶ گرم)

تأثیر غلظت اولیه فنل بر راندمان حذف آن توسط عدسک آبی

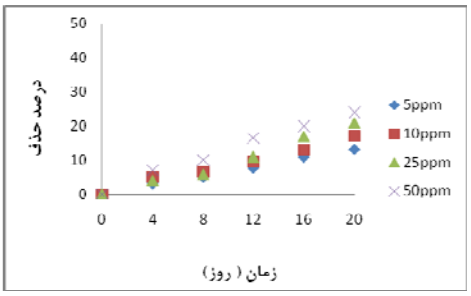
همان‌طوری که در نمودار ۳ نشان داده شده است با افزایش غلظت اولیه فنل میزان حذف کاهش پیدا می کند به‌طوری که وقتی غلظت اولیه از ۵ به ۵۰ میلی گرم در لیتر می‌رسد، میزان حذف حدود ۱۶ درصد کاهش پیدا می کند. برای انجام آزمایش دما، وزن اولیه بیومس و سوربیتول ثابت نگه داشته شد که به‌ترتیب برابر با ۳۰ درجه سانتی گراد، ۰/۶ گرم و یک گرم بود.



نمودار شماره ۵: تاثیر غلظت‌های مختلف فنل بر میزان بازدارندگی رشد عدسک آبی(دما: ۳۰ درجه سانتی گراد- وزن اولیه بیومس: ۰/۶ گرم- سوربیتول: ۱ گرم)

میزان تبخیر فنل برای به‌دست آوردن میزان حذف گیاهی

نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد فنل از طریق تبخیر حذف می‌شود. در این مرحله ظروف حاوی فنل که بدون بیومس می‌باشد را در کنار دیگر ظروف قرار داده شد تا میزان حذف فنل از طریق تبخیر به‌دست آید.



نمودار ٦: میزان تبخیر فنل در ظروف بدون بیومس(دما ۳۰ درجه سانتی گراد بدون سوربیتول)

بحث

جذب ترکیبات آلی توسط عدسک آبی از طریق ایجاد شرایط بهینه نظیر اکسیژن کافی، دما و سطح موثر خالی برای ازدیاد و رشد گیاه اتفاق می‌افتد. یکی از مهمترین مسائل در مورد جذب توسط گیاه سطح جذب می‌باشد یعنی وقتی تمام سطح ظروف با بیومس پر می‌شود میزان رشد عدسک کاهش می‌یابد در نتیجه تأثیر منفی بر روی جذب فنل دارد. بنابراین وقتی که نصف ظروف با گیاه پر شود جا برای رشد گیاه مهیا می‌شود و اکسیژن‌رسانی و حذف فنل توسط گیاه در حد ایده‌ال انجام می‌شود البته با افزایش میزان بیومس تا حدی که نصف ظرف با گیاه پوشیده شود، میزان جذب فنل در مقایسه با مقدار کم بیومس در ظروف افزایش می‌یابد که با نتایج به‌دست آمده در تحقیق انجام شده دیگری تطابق دارد(۱۹). هم‌چنین وجود کربوهیدرات‌های طبیعی مثل سوربیتول به عنوان ماده مغذی تاثیر مثبتی را در میزان رشد عدسک آبی می گذارد به‌طوری که با افزایش میزان سوربیتول تا حد ۱ گرم، میزان رشد نسبت به حالت طبیعی تقریبا ۳ برابر بیشتر می‌شود که نتایج به‌دست آمده در این قسمت با نتایج هانانیا و همکاران در زمینه تأثیر کربوهیدرات ها روی رشد و جوانه‌زنی عدسک آبی کاملاً مشابه می باشد و نشان دهنده این است که

کربوهیدرات‌ها در رشد عدسک آبی به‌عنوان ماده مغذی نقش به‌سزایی دارند(۲۴،۲۳) هرچند که تأثیر کمی در میزان حذف فنل دارند. ولی با توجه به رشد سریع گیاه در حضور سوربیتول می‌توان در یک محیط بزرگ و میزان زیاد گیاه مقدار زیادی فاضلاب فنلی را در زمان کمتری تصفیه کرد(۱۹).

گیاه عدسک آبی قادر به حذف فاضلاب‌های صنعتی حاوی ترکیبات فنل می‌باشد ولی با افزایش غلظت فنل میزان حذف کاهش می یابد به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان حذف فنل در غلظت‌های پایین اتفاق می‌افتد و از آنجایی‌که ۵۰ LC فنل برای گیاه عدسک آبی ۵۰ میلی گرم در لیتر می باشد، بنابراین میزان رشد عدسک آبی در غلظت‌های بالای ۵۰ میلی‌گرم در لیتر کند و متوقف می‌شود. همانطور که نتایج نشان داد بیش‌ترین میزان حذف فنل در غلظت‌های پایین اتفاق می‌افتد و با افزایش غلظت اولیه فنل میزان جذب کاهش می‌یابد و دلیل این امر به‌خاطر سمیت بالای فنل و تأثیری که بر میزان رشد عدسک آبی می‌گذارد می‌باشد و با کاهش مقدار عدسک در غلظت‌های بالا میزان جذب نیز کاهش یافت چون رابطه مستقیمی بین میزان رشد عدسک و میزان جذب وجود دارد و با مطالعاتی که در این زمینه وجود داشته است مطابقت دارد(۲۶،۲۵،۱۹).

در حالت طبیعی و با وجود موادهای مغذی موثر در رشد گیاه هر ۴ روز میزان رشد عدسک آبی ۲ برابر می‌شود(۲۷،۲۰) ولی با افزودن ترکیبات فنلی میزان رشد کاهش می‌یابد و با افزایش غلظت فنل کاهش رشد چشم‌گیرتر خواهد بود به‌طوری‌که در غلظت‌های بالای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر دو برابر شدن گیاه در مدت زمان ۷-۶ روز انجام می‌گیرد.

مکانیسم جذب آلاینده توسط گیاه یکی از مکانیسم های شکست آلاینده از طریق فرآیندهای متابولیکی در داخل گیاه (Phytodegradation) ، شکست آلاینده‌های بیرون از گیاه، از طریق اثر ترکیبات تولید شده توسط گیاه مانند آنزیم‌ها (phytotransformation)، کنترل آلاینده درحال حرکت و یا انباشته شده دراطراف گیاه توسط ریشه (Rhizodegradation) می‌باشد که با مطالعات موجود در این زمینه هم‌خوانی دارد البته مطالعات بیشتری در زمینه مکانیسم‌های جذب مورد نیاز می‌باشد(۲۹،۲۸) براساس نتایج به‌دست آمده گیاه عدسک آبی که در کشور به فراوانی یافت می‌شود، می تواند به‌عنوان یک جاذب موثر و ارزان و در دسترس برای حذف پساب حاوی ترکیباب آلی مانند فنل باشد که میزان حذف به پارامترهایی مانند زمان تماس، دما، مقدار بیومس و ماده مغذی در دسترس و هم‌چنین غلظت اولیه فنل بستگی دارد و با افزایش زمان، میزان حذف نیز افزایش می‌یابد.

با توجه به این‌که هدف از این تحقیق بررسی تأثیر سوربیتول بر میزان جذب فنل توسط گیاه عدسک آبی می‌باشد و تأثیر آن به‌عنوان ماده مغذی در میزان رشد گیاه بررسی شده و نتایج مثبتی نیز در این زمینه حاصل شده است ولی با افزودن سوربیتول که به‌عنوان یک ترکیب آلی می‌باشد امکان ایجادCOD(Chemical Oxygen Demand) نیز وجود دارد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی به موضوعات: - اندازه‌گیری مقدار COD ناشی از افزودن کربوهیدرات‌ها به‌عنوان عوامل رشد -جذب سایر ترکیبات آلی و فنلی توسط گیاه عدسک آبی و استفاده از سایر کربوهیدرات‌ها به‌عنوان ماده مغذی پرداخته شود.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله لازم می‌دانند از حمایت‌های مادی کمیته تحقیقات دانشجویی و معاونت تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی مازندران در تصویب این طرح تشکر و قدردانی داشته باشند.

References

1. 1Xiao M, Zhou J, Tan Y, Zhang A, Xia Y, Ji L. Treatment of highly concentrated phenol wastewater with an extractive membrane reactor using silicone rubber. Desalination 2006; 195: 281-293.
2. Busca G, Berardinelli S, Resini C, Arrighi L. Technologies for the removal of phenol from fluid streams: A short review of recent developments. Hazardous Materials. 2008;160(2-3):265-88.
3. Kidak R, Ince NH. Catalysis of advanced oxidation reactions by ultrasound: A case study with phenol. Journal of Hazardous Materials. 2007;146(3):630-5.
4. LeitÃo AL, Duarte MP, Oliveira JS. Degradation of phenol by a halotolerant strain of Penicillium chrysogenum. International Biodeterioration & Biodegradation. 2007;59(3):220-5.
5. Ghaneyian M, Ghanizade G. Efficiency of the enzymatic polymerization of phenol removal from synthetic wastewater. Health and environment. 2009;2(1):46-55.
6. Verschueren K. Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals. 4th ed.NewYork: JohnWiley&Sons;2001
7. Daraei H , Manshouri M , Yazdanbakhsh A,Removal of Phenol from Aqueous Solution Using ostrich Feathers Ash. J Mazand Univ Med Sci2010;20(79):81-87 (Persian) .
8. Hemmati B, Nasseri S, Nabizadeh R, Mahvi AH. Photocatalytic degradation of phenol in Aqueous Solutions by Fe(III)-doped TiO2/UV Process .Health and environment. 1389;3(4):369-80(Persian) .
9. Azevedo EB, Neto FRdA, Dezotti Mr. TiO2-photocatalyzed degradation of phenol in saline media: lumped kinetics, intermediates, and acute toxicity. Applied Catalysis B: Environmental. 2004;54(3):165-73.
10. Azevedo EB, Neto FRdA, Dezotti Mr. Lumped kinetics and acute toxicity of intermediates in the ozonation of phenol in saline media. Journal of Hazardous Materials. 2006;128(2-3):182-91.
11. Maleki A, Mahvi AH, Alimohamadi M, Ghasri A.Advanced oxidation of phenol by ultraviolet irradiation in aqueous system. Pakistan Journal of Biological Sciences. 2006; 9(12) 33-41.
12. Manojlovic D, Ostojic DR, Obradovic BM, Kuraica MM, Krsmanovic VD, Puric J. Removal of phenol and chlorophenols from water by new ozone generator. 2007; 213(1-3): 116-122:
13. Rahmani A, Asgari G. Removal of phenol from aqueous solutions Using a pumice modified with copper. Hamadan medical journal. 2010;17(4):50-6 (Persian).
14. Ersoz D,Adil S, Izzet A, Ayca D, Sibel S.R.Removal of Phenlic Compounds With Nitrophenol- Imprinted Polymer Based and Hydrogen-Bonding Interactions , Separation and Purification Technology. 2004 ; 38: 173-179.
15. 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.
16. Malakootian M, Asadi M. Efficiency of Fenton Oxidation Process in Removal of

Phenol in Aqueous Solutions. Water and Waste. 2010;1(3):46-52.

17. Manshouri M, Yazdanbakhsh AR, Sardar M, Mohammadi AS. Investigation of Effective Factors for Fenton like Process in Para!Chlorophenol Removal from Aqueous Solutions. Health and environment. 1389;3(4):381-8.
18. Molki A, Mahvi AH. Application of agricultural weast in removal of phenol from aqueous solutions. Hormozgan Medical Journal. 2006;10(4):393-9.
19. Tilaki RA. Effect of glucose and lactose on uptake of phenol by lemnaminor. Environmental health. 2010;7(2):123-8.
20. J Li · M Jain · R. Vunsh · J Vishnevetsky ·U Hanania · M Flaishman · A. Perl · M. Edelman. Callus induction and regeneration in Spirodela and Lemna. Cell biology and morphogenesis. (2004) 22:457–464
21. Bonomo L, Pastorelli G, Zambon N. Advantages and limitation of Duckweed Based waste water treatments systems . Science and technology; 1997; 33(5):245-254
22. Dashi M, Jafarzade N. probability of removal COD and TSS from final waste water effluent by using duckweed covered system(DCS). Beheshti University; Twelfth National Conference on Environmental Health. 2010.
23. Mendicino j. The biosynthesis of the branched chain suger d-apiose in lemna and parsley. Biological Chemistry. 1985;24: 797-805
24. Herbert B. Inhibitory effect of carbohydrate on flowering in lemna perpusilla .Plant Physiol 1970;45:678-90.
25. Huber W. Effects of pentachlorophenol on the metabolism of the aquatic macrophyte lemnaminor. Environmental Pollution. 1982;29:215-23.
26. Song Z. Toxic effect of pentachlorophenol on lemna polyrhiza. Ecotoxicoloxy and environmental safety 2007;66:343-7.
27. Jain JLM, Vunsh R. callus induction and regeneration in spirodela and lemna. Cell biology and morphogenesis. 2004;22:457-64.
28. Lisa M, Elena N, Julian F, Phytoprotective influence of bacteria on growth and cadmium accumulation in the aquatic plant Lemna minor; 2010; 48: 4970 - 4979.
29. Introduction to phytoremediation. Washington: U. S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development; 2000.