DOI: 10.22122/jhsr.v13i2.2881 Published by Vesnu Publications

بررسی کارایی کربن فعال پوسته غلاف گیاه مورینگا اولیفرا در حذف فنل از محلول‌های آبی

فریدون معظمی[۱]، زینب علی‌زاده[۲]، علی فاتحی‌زاده[۳]، حمیدرضا پورزمانی[۴]، محمد قاسمیان[۵]، مختار مهدوی[۶]، انسیه طاهری[۵]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: به علت پایداری فنل در محیط زیست و آلودگی آب و منابع طبیعی و اثرات بهداشتی ناشی از آن، حذف این ماده از محیط زیست بسیار حایز اهمیت است. بدین منظور، هدف از انجام مطالعه حاضر، بررسی کارایی کربن فعال ساخته شده از غلاف گیاه مورینگا اولیفرا (Moringa Olifera) به عنوان یک جاذب ارزان قیمت در حذف فنل از محلول‌های آبی بود.

روش‌ها: در این پژوهش، از پوست غلاف گیاه مورینگا اولیفرا به عنوان منبع کربن در ساخت کربن فعال استفاده گردید. فرایند ساخت کربن فعال شامل آب‌زدایی و زدایش اجزای زاید از سطح غلاف مورینگا اولیفرا و فعال‌سازی دمایی بود. پس از تهیه جاذب کربن فعال، عوامل مؤثر در فرایند جذب سطحی فنل شامل pH محلول، زمان تماس، دوز کربن فعال و غلظت اولیه فنل مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، همخوانی نتایج حاصل از پژوهش با ایزوترم‌های Freundlich و Langmuir بررسی گردید.

یافته‌ها: بیشترین کارایی جذب فنل در محدوده pH خنثی به دست آمد. با افزایش و یا کاهش pH محلول، کارایی حذف فنل کاهش یافت. همچنین، با افزایش زمان تماس فنل با جاذب کربن فعال از ۵ تا ۸۴۰ دقیقه، کارایی حذف آن از ۲۳ به ۹۴ درصد افزایش داشت. با افزایش غلظت اولیه فنل، راندمان حذف دارای روندی نزولی بود؛ به طوری که با کاربرد ۰/۵ گرم بر لیتر کربن فعال و غلظت اولیه فنل ۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر، راندمان حذف فنل ۷۶ درصد به دست آمد و در غلظت‌های ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر، راندمان حذف به ترتیب به ۷۱ و ۶۶ درصد کاهش یافت. نتایج حاصل شده بیشترین قرابت را با ایزوترم Freundlich نشان داد و حداکثر ظرفیت جذب کربن فعال بین ۶/۵ تا ۷/۲ میلی‌گرم بر گرم در دامنه غلظت اولیه فنل مورد مطالعه به دست آمد.

نتیجه‌گیری: کربن فعال ساخته شده از غلاف گیاه مورینگا اولیفرا کارایی بالایی در حذف فنل از محلول‌های آبی دارد. با توجه به این که گیاه مورینگا اولیفرا نوعی گیاه بومی در مناطق جنوبی کشور است و از غلاف این گیاه استفاده خاصی نمی‌شود، می‌توان از غلاف آن به عنوان یک منبع ارزان‌قیمت جهت ساخت کربن فعال استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: جذب سطحی، مورینگا اولیفرا، جاذب طبیعی، حذف فنل

ارجاع: معظمی فریدون، علی‌زاده زینب، فاتحی‌زاده علی، پورزمانی حمیدرضا، قاسمیان محمد، مهدوی مختار، طاهری انسیه. **بررسی کارایی کربن فعال پوسته غلاف گیاه مورینگا اولیفرا در حذف فنل از محلول‌های آبی.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۶؛ ۱۳ (۲): ۲۵۸-۲۵۲

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۴/۲۰ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵

مقدمه

امروزه وجود ترکیبات مقاوم و سمی در محیط زیست، اثرات بهداشتی و زیست محیطی فراوانی را ایجاد کرده‌اند. از جمله این ترکیبات می‌توان به فنل اشاره کرد که به دلیل اثرات سمی و خاصیت سرطان‌زایی خود، توجه بسیاری از متخصصان محیط زیست را به خود جلب کرده است (۱). فنل (C_6H_6O) با وزن مولکولی ۹۴/۱۱ گرم بر مول، نوعی هیدروکربن حلقوی و در حالت خالص بی‌رنگ یا جامد سفید رنگ است (۲). فنل یا هیدروکسی بنزن، یکی از هیدروکربن‌های آروماتیک سمی می‌باشد که سازمان حفاظت محیط زیست آن را در دسته آلاینده‌های مقدم قرار داده است (۲). فنل حلالیت بسیار بالایی در آب دارد و در طبیعت بسیار سمی، بی‌رنگ، رطوبت‌پذیر و کریستالی است که در اثر اکسیداسیون در هوا به رنگ صورتی درمی‌آید. پس از حل شدن در آب، خاصیت بسیار کم اسیدی به آب می‌دهد. حلالیت آن در آب وابسته به دما می‌باشد و در محدوده دمایی ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد، ۹۸-۹۳ گرم بر لیتر است (۳). فنل به صورت طبیعی از قطران زغال‌سنگ و تقطیر بنزن و به صورت مصنوعی در اثر حرارت دادن سولفات بنزن سدیمی با سود آبدار در فشار بالا تولید می‌شود (۴).

فنل به مدت طولانی در محیط باقی نمی‌ماند، اما اگر به طور مداوم در محیط رها شود، می‌تواند به عنوان یک تهدید زیست محیطی مطرح باشد. بنابراین، به منظور کاهش اثرات مضر زیست محیطی آن، باید بر تصفیه مناسب و یا جلوگیری از تخلیه فاضلاب محتوای ترکیبات فنل بدون اعمال

۱- دانشجوی کارشناسی، کمیته تحقیقات دانشجویی و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۴- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۵- دانشجوی دکتری، کمیته تحقیقات دانشجویی و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۶- استادیار، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ساوه، ساوه، ایران
نویسنده مسؤول: انسیه طاهری
Email: e_taheri_83@yahoo.com

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.22122/jhsr.v13i2.2881]

استانداردهای لازم تمرکز نمود (۲). اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با فنل، به میزان جذب و مدت زمان تماس با آن بستگی دارد و از تحریک مخاطی و سوزش و سوختگی‌های پوستی تا مسمومیت‌های سیستماتیک همراه با کاهش فشار خون و افزایش ضربان قلب و کما متغیر است (۲). مصرف آب آلوده به فنل، موجب انحطاط پروتئین، فرسایش بافت، فلج شدن سیستم عصبی مرکزی و همچنین، آسیب رسیدن به کبد و کلیه و لوزالمعده در بدن می‌شود (۵). به منظور کاهش عوامل خطر ناشی از فنل، سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (Environmental Protection Agency یا EPA)، غلظت مجاز تخلیه فنل در فاضلاب تصفیه شده به محیط زیست را به کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر محدود نموده است (۴). سازمان حفاظت محیط زیست ایران، حداکثر غلظت مجاز تخلیه مواد فنل‌دار به آب‌های سطحی، مصارف کشاورزی و آبیاری را ۱ میلی‌گرم در لیتر عنوان کرده است (۴).

تاکنون روش‌های مختلفی برای تصفیه پساب‌های حاوی فنل به‌کار گرفته شده است که از آن جمله می‌توان به اکسیداسیون شیمیایی و فتوشیمیایی پیشرفته و ترکیبی، ترسیب، پلیمریزاسیون، تبادل یونی، تصفیه بیولوژیک، تقطیر، روش‌های الکتروشیمیایی، پرتودهی، تخریب فتوکاتالیستی، روش‌های حذف آنزیمی و جذب سطحی اشاره نمود (۷، ۶).

جذب سطحی، فرایند جمع‌آوری موادی است که به صورت محلول و در فصل مشترک قرار دارند. در جذب سطحی، از مواد مختلفی مانند کربن فعال گرانولی (Granular activated carbon یا GAC) و پودری، خاکستر، بنتونیت، فسفر هیدراته سلولز، بیومس، زغال کک و خاک چینی استفاده می‌گردد (۸). بر اساس دیدگاه EPA، جذب توسط کربن فعال، یکی از بهترین فن‌آوری‌های قابل دسترس در حذف ترکیبات آلی می‌باشد (۱۰، ۹).

در مطالعه‌ای، از کربن تهیه شده از گیاه Phytolacca Americana به روش پیرولیز جهت حذف فنل استفاده گردید که حداکثر ظرفیت جذب آن طبق ایزوترم Langmuir، ۱۷۲/۴۱ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد (۱۱). در تحقیق Agarwal و همکاران، از GAC برای حذف هم‌زمان فنل و سیانید استفاده شد که در شرایط بهینه شامل pH = ۸ و دوز جاذب ۳۰ گرم بر لیتر، راندمان حذف فنل ۷۹/۹ درصد با غلظت اولیه فنل ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد که ظرفیت جذب آن ۲۶۹/۷ میلی‌گرم بر گرم محاسبه گردید (۱۲). در پژوهش دیگری، حداکثر ظرفیت جذب فنل با استفاده از کربن تهیه شده از مواد آلی حاصل از خاک اره طبق ایزوترم Langmuir، ۱۴۹/۲۵ میلی‌گرم بر گرم تعیین گردید (۱۳). در مطالعه سعیدی و پژوهش‌فر، برای GAC، کربن پوست بادام (Almond shell carbon یا ASC) و کربن پوست گردو (Walnut shell carbon یا WSC) به عنوان جاذب جهت حذف فنل از محلول‌های آبی به ترتیب راندمان‌های ۹۹/۸۷، ۹۱/۳۶ و ۷۸/۱۷ درصد گزارش شد (۳).

به منظور حذف مواد سمی و خطرناک در فاضلاب و پساب، از جاذب‌های مختلفی در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شده، اما یکی از جاذب‌هایی که مطالعات چندانی روی آن صورت نگرفته است، جاذب آلی مورینگا اولیفرا (Moringa Olifera) می‌باشد. از جمله مزیت‌های این جاذب می‌توان به طبیعی بودن، هزینه‌های پایین و فراوانی آن در منطقه‌ای خاص اشاره نمود. این گیاه متعلق به خانواده مورینگاسه (Moringaceae)، غیر سمی و به صورت پلیمر آلی طبیعی می‌باشد و گونه اولیفرا نوعی گونه بومی این گیاه در شمال هند است که معروف‌ترین گونه در میان سایر گونه‌ها به شمار می‌رود. از عصاره خام این گیاه در مصارف خانگی برای زلال‌سازی آب در بسیاری از نواحی جهان استفاده می‌شود (۱۴). از جمله مطالعاتی که از مورینگا به عنوان جاذب برای حذف آلاینده استفاده شده است، می‌توان به تحقیق وحید دستجردی و همکاران اشاره نمود که دریافتند این جاذب قادر به حذف فلزاتی همچون مس، روی و آهن در شرایط خنثی است (۱۵). در مطالعه دیگری با وجود عصاره‌گیری دانه‌های مورینگا قبل از استفاده به عنوان جاذب، این گیاه قادر به حذف بیش از ۸۰ درصد کروم از محلول‌های آبی در pH = ۵ بود. همچنین، مشاهده شد که راندمان جذب در pHهای اسیدی بیشتر از pHهای خنثی و قلیایی است (۱۶). در به کارگیری مورینگا اولیفرا جهت حذف فنل از محلول‌های آبی، می‌توان به مطالعه بذرافشان و همکاران اشاره نمود که در آن با به کارگیری عصاره این گیاه، بیش از ۹۰ درصد غلظت فنل حذف شد (۱۷).

از آن‌جایی که این گیاه گرمسیری به صورت بومی در مناطق جنوب کشور وجود دارد، پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی کربن فعال پوسته غلاف گیاه مورینگا اولیفرا به عنوان یک جاذب طبیعی، در حذف فنل از محیط‌های آبی انجام گردید.

روش‌ها

غلاف گیاه مورینگا اولیفرا (ماده دورریز) از شهرستان بوشهر (مناطق جنوبی کشور ایران) تهیه گردید. از محلول‌های هیدروکسید پتاسیم (KOH)، هیدروکسید سدیم (NaOH)، کلرید هیدروژن (HCl) و آب مقطر خالص (شرکت Merck، آلمان) استفاده شد. غلظت فنل باقی‌مانده با استفاده از دستگاه DR 5000 (شرکت HACH-LANGE، آمریکا) در طول موج ۵۰۰ نانومتر و میزان جذب با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل OD 2، شرکت Milton Roy، آمریکا) در مقایسه با منحنی استاندارد تعیین شد. pH محلول‌ها نیز با استفاده از دستگاه چند کاناله (مدل WA-2017SD، شرکت Lutron، آمریکا) اندازه‌گیری گردید.

برای ساخت کربن فعال، ابتدا مقداری پوسته غلاف مورینگا اولیفرا در هوای محیط خشک و در اندازه‌های کمتر از ۱ سانتی‌متر خرد گردید. سپس، غلاف‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. برای آب‌زدایی پوسته غلاف مورینگا اولیفرا، هیدروکسید پتاسیم با غلظت ۶ مولار و نسبت ۵ گرم پوسته به ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول هیدروکسید پتاسیم استفاده شد. این مخلوط به مدت ۵ ساعت در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد هم زده شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار گرفت. پس از جداسازی پوسته غلاف از محلول هیدروکسید پتاسیم، پوسته‌ها تا زمانی که pH آن خنثی شود، با آب مقطر شستشو داده شد. به منظور فعال‌سازی حرارتی، پس از جای‌گذاری پوسته غلاف در یک ظرف دربسته، دمای کوره با ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه از ۱۰۰ به ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. پس از دستیابی به دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد، پوسته‌های غلاف به مدت ۱ ساعت در این دما قرار داده شد. برای حصول اطمینان از دستیابی به شرایط فاقد اکسیژن در حین فرایند فعال‌سازی حرارتی، از گاز نیتروژن با جریان ۵۰ میلی‌لیتر در دقیقه استفاده گردید.

www.mui.ac.ir
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.22122/jhsr.v13i2.2881]

جدول ۱. شاخص‌های مورد مطالعه

شاخص مورد آزمایش	غلظت اولیه فنل (میلی‌گرم بر لیتر)	دوز کربن فعال (گرم بر لیتر)	pH محلول	زمان تماس (دقیقه)
pH محلول	۱۰	۰/۵	۲ تا ۱۱	۶۰
زمان تماس	۱۰	۱	۷	۵ تا ۸۴۰
غلظت اولیه فنل و دوز جاذب	۷/۵، ۱۰ و ۱۵	۰/۵-۳	۷	۸۴۰

بعد از این مرحله، ذرات کربن فعال حاصل از پوسته غلاف گیاه مورینگا اولیفرا خرد شد و توسط مش استاندارد شماره ۱۶ دانه‌بندی گردید و در مراحل بعدی آزمایش مورد استفاده قرار گرفت.

پس از تهیه کربن فعال، آزمایش‌های ناپیوسته جذب انجام گرفت. در مطالعه حاضر، عوامل مؤثر در فرایند جذب سطحی فنل شامل pH محلول، زمان تماس، دوز کربن فعال و غلظت اولیه فنل مورد بررسی قرار گرفت. شرایط انجام آزمایش‌های ناپیوسته جذب در جدول ۱ ارایه شده است.

به منظور اختلاط مناسب کربن فعال و محلول‌های فنل، از یک دستگاه هم‌زن اوربیتالی (مدل KS260، شرکت IKA، آلمان) با سرعت ۲۵۰ تکان در دقیقه استفاده شد. پس از انجام واکنش‌های جذب، محلول‌های مورد آزمایش از صافی کاغذی (شماره ۴۲، شرکت Whatman، انگلستان) عبور داده شد و از نظر مقدار فنل باقی‌مانده مورد آزمایش قرار گرفت.

برای محاسبه راندمان حذف و ظرفیت جاذب از روابط ۱ و ۲ استفاده شد که در آن، C_0 غلظت اولیه فنل (میلی‌گرم بر لیتر)، C_e غلظت نهایی فنل (میلی‌گرم بر لیتر)، V حجم محلول مورد آزمایش (لیتر)، m دوز کربن فعال (گرم بر لیتر)، R راندمان حذف فنل (درصد) و q_e ظرفیت جاذب (میلی‌گرم بر گرم) می‌باشد.

$$R = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100$$ رابطه ۱

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m}$$ رابطه ۲

از ایزوترم‌های Freundlich و Langmuir به منظور تحلیل جذب فنل با استفاده از کربن فعال استفاده شد. در جدول ۲، فرم کلی و خطی معادلات ایزوترم‌های Freundlich و Langmuir ارایه شده است.

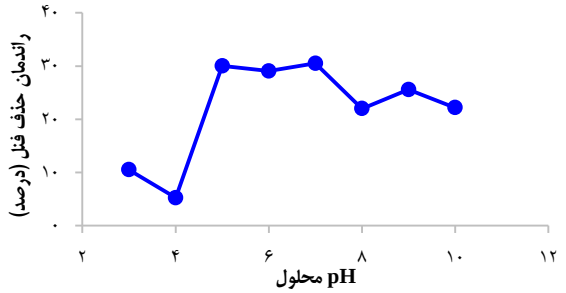
جدول ۲. ایزوترم‌های مورد مطالعه

نوع ایزوترم	فرم کلی معادله	فرم خطی
Freundlich	$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}}$	$\log q_e = K_f + {}^{1}/_{n}\, C_e$
Langmuir	$q_e = \frac{K_L Q_m C_e}{1 + K_L C_e}$	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L Q_m} + \frac{1}{Q_m} C_e$

در معادلات جدول ۲، K_f ظرفیت جذب (میلی‌گرم بر گرم)، n شدت جذب (بدون بعد)، K_L ثابت ایزوترم Langmuir (لیتر بر میلی‌گرم) و Q_m ظرفیت جذب (میلی‌گرم بر گرم) می‌باشد.

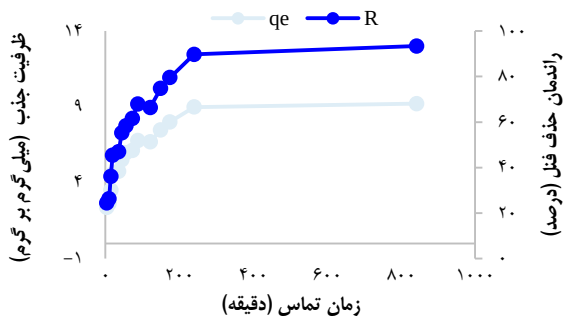
یافته‌ها

اثر pH محلول: یافته‌ها نشان داد که جذب فنل با استفاده از کربن فعال، به pH محلول وابسته است. اثر pH محلول بر کارایی فرایند جذب فنل توسط کربن فعال در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس یافته‌ها، با افزایش pH محلول از ۲ به دامنه خنثی (pH = ۷)، راندمان حذف افزایش یافت. با افزایش pH محلول به بیشتر از pH خنثی، کارایی حذف فنل توسط کربن فعال کاهش داشت.



شکل ۱. تغییرات راندمان حذف فنل به عنوان تابعی از pH محلول (غلظت اولیه فنل = ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، دوز کربن فعال = ۰/۵ گرم بر لیتر و زمان تماس = ۶۰ دقیقه)

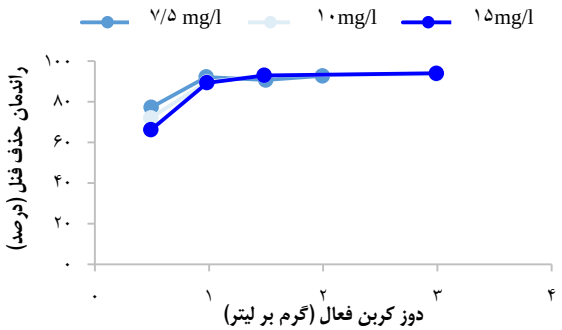
اثر زمان تماس: روند افزایشی کارایی حذف فنل طی فرایند جذب سطحی با کربن فعال حاصل از غلاف گیاه مورینگا اولیفرا در شکل ۲ نشان داده شده است. در ابتدای فرایند جذب، سرعت جذب فنل توسط کربن فعال بسیار بالا بود؛ به گونه‌ای که بیش از ۹۰ درصد فنل در طی زمان ۲۴۰ دقیقه جذب شد. با افزایش زمان تماس به بیش از ۸۴۰ دقیقه، این سرعت روندی کاهشی را نشان داد؛ به طوری که در طی این زمان به نسبت طولانی، راندمان حذف به ۹۳ درصد افزایش یافت. بنابراین، زمان تماس ۸۴۰ دقیقه به عنوان زمان تعادلی در نظر گرفته شد و این زمان تماس در مراحل بعدی آزمایش منظور گردید.



شکل ۲. تأثیر زمان تماس بر راندمان حذف فنل (غلظت اولیه فنل = ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، دوز کربن فعال = ۱ گرم بر لیتر و pH = ۷)

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.22122/jhsr.v13i2.2881]

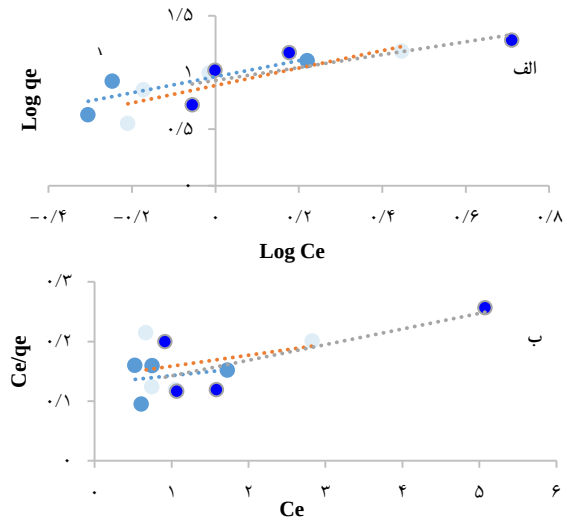
اثر دوز جاذب و غلظت اولیه فنل: یافته‌های حاصل از بررسی دوز کربن فعال و غلظت اولیه فنل بر کارایی حذف فنل در شکل ۳ نشان داده شده است. با افزایش دوز کربن فعال از ۰/۵ به ۳ گرم بر لیتر، راندمان حذف فنل افزایش یافت.



شکل ۳. کارایی حذف فنل با استفاده از کربن فعال به عنوان تابعی از دوز کربن فعال و غلظت اولیه فنل (۷ = pH و زمان تماس = ۸۴۰ دقیقه)

در شکل ۳، راندمان حذف فنل در غلظت‌های اولیه مختلف نشان داده شده است. با افزایش غلظت اولیه فنل، راندمان حذف روندی نزولی داشت؛ به نحوی که با کاربرد ۰/۵ گرم بر لیتر کربن فعال و غلظت اولیه فنل ۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر، راندمان حذف فنل ۷۶ درصد به دست آمد که با افزایش غلظت فنل به ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر، راندمان حذف به ترتیب به ۷۱ و ۶۶ درصد کاهش یافت.

به منظور تحلیل فرایند جذب سطحی فنل با استفاده از کربن فعال ساخته شده از پوسته غلاف مورینگا اولیفرا، ایزوترم‌های Freundlich و Langmuir مورد مطالعه قرار گرفت. در شکل ۴ و جدول ۳، نمودارها و نتایج حاصل از ایزوترم‌های مورد نظر ارایه شده است.



شکل ۴. ایزوترم جذب فنل با استفاده از کربن فعال پوسته غلاف مورینگا اولیفرا؛ ایزوترم Freundlich (قسمت الف) و Langmuir (قسمت ب)

جدول ۳. ثابت‌های ایزوترم جذب فنل با استفاده از کربن فعال ساخته شده از پوسته غلاف مورینگا اولیفرا

نوع ایزوترم	ثابت ایزوترم	غلظت اولیه فنل (میلی‌گرم بر لیتر)		
		۷/۵	۱۰	۱۵
Freundlich	K_f	۷/۱۷	۶/۵۲	۷/۲۳
	1/n	۰/۸۷	۰/۸۶	۰/۶۹
	R^2	۰/۷۵	۰/۷۷	۰/۷۴
Langmuir	Q_m	۷۲/۹۹	۵۵/۲۴	۳۸/۳۱
	K_L	۱/۰۸	۰/۱۳	۰/۲۳
	R^2	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۵۷

بحث

اثر pH محلول: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که pH یکی از عوامل مهم در فرایند جذب است. این شاخص از طریق تأثیر بر ساختار شیمیایی آلاینده‌ها و بار سطحی جاذب، بر فرایند جذب تأثیر می‌گذارد (۱۹، ۱۸). همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شد، با افزایش مقدار pH محلول، راندمان حذف فنل نیز افزایش می‌یابد و حداکثر مقدار راندمان حذف در pH = ۷ حاصل گردید. با افزایش pH محلول از ۷ تا ۱۱، راندمان حذف روندی نزولی را نشان داد؛ به نحوی که راندمان حذف در محلول با pH = ۱۰، به کمتر از ۳۵ درصد کاهش یافت. ظرفیت جذب کربن فعال پوسته غلاف مورینگا اولیفرا در محلول با pH = ۷، ۶ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد. در مطالعه حاضر، pH = ۷ به عنوان pH بهینه جهت ادامه آزمایش‌های جذب انتخاب گردید. pH محلول‌های آبی حاوی فنل، جذب آن را بر سطح کربن فعال تحت تأثیر قرار می‌دهد و به طور کلی، راندمان حذف در pHهای پایین و بالا کاهش یافت. وجود یون هیدروژن (H^+) در pHهای پایین، یونیزاسیون فنل را تحت فشار قرار می‌دهد که حاصل آن، کاهش جذب فنل بر سطح قطبی جاذب می‌باشد. در مقادیر pH بالاتر، فنل نمک‌هایی را تشکیل می‌دهد که به سرعت یونیزه می‌شوند و بار منفی را به گروه‌های فنلی منتقل می‌کنند. در این شرایط وجود یون‌های هیدروکسید (OH^-) بر سطح جاذب، مانع از جذب یون فنل خواهد شد (۱۷).

نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با یافته‌های مطالعه بذرافشان و همکاران در زمینه حذف فنل با پوست پسته (۱۷) و تحقیق هاشمی و همکاران در حذف فنل توسط پوست سبز گردو (۲۰)، همخوانی داشت.

اثر زمان تماس: زمان تماس جاذب و جذب شونده، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین کننده زمان تعادل در فرایند جذب سطحی است. در مطالعه حاضر، تأثیر زمان تماس بر کارایی کربن فعال پوسته غلاف مورینگا اولیفرا در pH محلول برابر و دوز کربن فعال ۱ گرم بر لیتر و غلظت اولیه فنل ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بررسی شد. در شروع آزمایش جذب، درصد حذف فنل و ظرفیت جذب به سرعت افزایش یافت و پس از گذشت ۸۴۰ دقیقه به تعادل رسید. در زمان تعادل، راندمان حذف ۹۳ درصد به دست آمد (شکل ۲).

زمان تعادل فرایند جذب در مطالعه بذرافشان و همکاران روی حذف فنل با خاکستر پوسته پسته، ۴۵ دقیقه به دست آمد (۱۷). همچنین، در پژوهشی که از کربن فعال ساخته شده از تنباکو جهت حذف فنل استفاده نمود، زمان تماس تعادل ۱۲۰ دقیقه پیشنهاد گردید (۹).

www.mui.ac.ir
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.22122/jhsr.v13i2.2881]

جدول ۴. مقادیر ظرفیت جذب فنل توسط جاذب‌های مختلف

جاذب	ظرفیت جذب (میلی‌گرم بر گرم)	منبع
الیاف کربن فعال	۱۱۰	۱۸
کیتوزان	۱۳۲	۲۵
کربن فعال	۲۹۳	۲۶
میکروکپسول مگنتیت پلی‌سولفون حاوی تری‌بوتیل سولفات	۷۹	۲۷
کربن فعال ساخته شده از الیاف پلی‌اکریلونیتریل	۷۷	۲۸
کربن فعال پوسته غلاف گیاه مورینگا اولیفرا	۷/۲۳	مطالعه حاضر

تفاوت در نتایج بررسی حاضر با یافته‌های سایر تحقیقات (۱۷، ۹)، شاید به دلیل تفاوت ساختاری جاذب‌های مورد استفاده باشد. به طور کلی، نرخ حذف آلاینده در شروع فرایند جذب سریع است و سرعت جذب آلاینده به تدریج با گذشت زمان کاهش می‌یابد تا زمانی که به حالت تعادل می‌رسد. این پدیده ناشی از این حقیقت است که در مراحل اولیه جذب، تعداد محل‌های جذب سطحی خالی برای انجام جذب در دسترس بسیار زیاد می‌باشد و با گذشت زمان، محل‌های سطحی خالی باقی‌مانده برای جذب آلاینده‌ها کاهش می‌یابد و موجب ایجاد نیروهای بازدارنده بین مولکول‌های جذب شونده بر سطح جاذب جامد و توده مایع می‌شود و در نتیجه، سرعت جذب کاهش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، نرخ حذف فنل در آغاز فرایند با توجه به سطح بیشتر جاذب در دسترس برای جذب سطحی آلاینده، بیشتر بود. همان‌طور که محل‌های جذب سطحی موجود بر سطح جاذب به تدریج اشغال می‌شود، نرخ جذب توسط نرخ انتقال از قسمت‌های بیرونی‌تر به قسمت‌های داخلی‌تر محل‌های جذب ذرات کنترل می‌گردد (۱۷).

اثر دوز کربن فعال پوسته غلاف مورینگا اولیفرا: بر اساس یافته‌های شکل ۳، حذف فنل تابع جرم جاذب حاضر در محلول می‌باشد و با افزایش دوز جاذب، افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، درصد حذف فنل با افزایش دوز جاذب از ۰/۵ تا ۳ گرم بر لیتر و در غلظت‌های ۷/۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافت. این امر را می‌توان به وجود محل‌های جذب صورت غیر اشباع نشده در طی فرایند جذب نسبت داد؛ در حالی که تعداد سایت‌های در دسترس برای انجام فرایند جذب با افزایش دوز جاذب، افزایش می‌یابد (۱۷). نتایج به دست آمده از بررسی حاضر با یافته‌های مطالعه هاشمی و همکاران (۲۰) مشابهت داشت. در پژوهش آن‌ها نیز مانند مطالعه حاضر، دوز ۳ گرم بر لیتر به عنوان دوز جاذب انتخاب شده بود (۲۰).

اثر غلظت اولیه فنل: غلظت اولیه فنل، فراهم کننده یک نیروی محرکه قابل ملاحظه جهت غلبه بر کل مقاومت حاصل از انتقال جرم آلاینده بین فازهای مایع و جامد است (۲۱). با افزایش غلظت اولیه فنل، راندمان حذف فنل کاهش یافت؛ به گونه‌ای که با افزایش غلظت فنل از ۷/۵ به ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر و کاربرد دوز ۰/۵ گرم بر لیتر کربن فعال، کارایی حذف فنل از ۷۷ به ۷۶ درصد کاهش پیدا کرد (شکل ۳).

نتایج مشابهی در خصوص جذب رنگ متیلن‌بلو بر کربن فعال حاصل از گیاه بامبو (نی) و زایدات کتان مشاهده شده است (۲۳، ۲۲). در مطالعه‌ای نیز روند مشابهی در زمینه این موضوع پیرامون جذب رنگ قرمز کنگو توسط خاکستر فرار غنی از کلسیم گزارش گردید (۲۴). در واقع، افزایش غلظت اولیه سبب ترغیب ظرفیت جذب فنل می‌شود.

بررسی ایزوترم‌های جذب: همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، جذب فنل با استفاده از کربن فعال پوسته غلاف مورینگا اولیفرا، بیشترین همخوانی را با ایزوترم Freundlich داشت. بر اساس داده‌های جدول ۳، ظرفیت جذب فنل در غلظت‌های ۷/۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب ۷/۱۷، ۶/۵۳ و ۷/۲۳ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد. در جدول ۴، نتایج حاصل از مطالعه حاضر با نتایج حاصل از جذب فنل توسط سایر جاذب‌ها در پژوهش‌های دیگر مقایسه شده است.

بر اساس داده‌های جدول ۴، مقدار ظرفیت جذب در پژوهش حاضر کمتر از سایر مطالعات (۲۸–۲۵، ۱۷) بود. این امر را می‌توان به شرایط آزمایش (غلظت آلاینده و دوز جاذب) و خصوصیات جاذب نسبت داد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، موارد زیر را می‌توان نتیجه‌گیری نمود:

کربن فعال پوسته غلاف گیاه مورینگا اولیفرا دارای کارایی بالایی در حذف فنل از محلول‌های آبی است.

کارایی فرایند جذب فنل با افزایش زمان تماس، کاهش غلظت اولیه فنل و افزایش دوز جاذب، افزایش می‌یابد.

حداکثر حذف فنل با استفاده از کربن فعال پوسته غلاف مورینگا اولیفرا در pH = ۷ به میزان ۹۳ درصد به دست آمد.

ایزوترم Freundlich دارای تناسب بیشتری با نتایج جذب فنل توسط کربن فعال پوسته غلاف مورینگا اولیفرا می‌باشد.

با توجه به این که گیاه مورینگا اولیفرا نوعی گیاه بومی در مناطق جنوبی کشور است و از غلاف این گیاه استفاده خاصی نمی‌شود، می‌توان از آن به عنوان یک منبع ارزان‌قیمت، برای ساخت کربن فعال استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر برگرفته از طرح تحقیقاتی با شماره ۱۹۴۲۰۷، مصوب دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد که با حمایت مالی این دانشگاه انجام شد. بدین وسیله نویسندگان از مسؤولان آزمایشگاه تحقیقاتی و گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت تشکر و قدردانی به عمل می‌آورند.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22122/jhsr.v13i2.2881]

References

1. Rahmani A, Asgari G, Barjasteh Asgari F, Hedayati Kamran E, Alijani F. Investigation of phenol removal from aqueous solutions using copper-impregnated pumice. Sci J Hamadan Univ Med Sci 2011; 17(4): 50-6. [In Persian].
2. Shokoohi R, Ebrahimzadeh L, Rahmani AR, Ebrahimi SJ, Samarghandi MR. comparison of the advanced oxidation processes in phenol degradation in laboratory scale. Journal of Water & Wastewater 2010; 20(72): 30-5. [In Persian].
3. Saeedi M, Pajooheshfar SP. An investigation of phenol of removal from contaminated water by almond and walnut shells charcoal and activated carbon. Journal of Environmental Science and Technology 2009; 10(4): 219-31. [In Persian].
4. Ghaneian MT, Ghanizadeh G. Application of enzymatic polymerization process for the removal of phenol from synthetic wastewater. Iran J Health Environ 2009; 2(1): 46-55. [In Persian].
5. Yousef RI, El-Eswed B, Al-Muhtaseb AH. Adsorption characteristics of natural zeolites as solid adsorbents for phenol removal from aqueous solutions: Kinetics, mechanism, and thermodynamics studies. Chem Eng J 2011; 171(3): 1143-9.
6. Tor A, Cengeloglu Y, Aydin ME, Ersoz M. Removal of phenol from aqueous phase by using neutralized red mud. J Colloid Interface Sci 2006; 300(2): 498-503.
7. Xu JQ, Duan WH, Zhou XZ, Zhou JZ. Extraction of phenol in wastewater with annular centrifugal contactors. J Hazard Mater 2006; 131(1-3): 98-102.
8. Zare MR, Naddafi K. Effect of phenol in aqueous solutions on toxicity of nano-TiO2 and nano-Fe/TiO2 particles. J Sch Public Health Inst Public Health Res 2010; 8(4): 73-82. [In Persian].
9. Kilic M, Apaydin-Varol E, Putun AE. Adsorptive removal of phenol from aqueous solutions on activated carbon prepared from tobacco residues: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. J Hazard Mater 2011; 189(1-2): 397-403.
10. Kujawski W, Warszawski A, Ratajczak W, Porbski T, Capala W, Ostrowska I. Removal of phenol from wastewater by different separation techniques. Desalination 2004; 163(1): 287-96.
11. Chen YD, Huang MJ, Huang B, Chen XR. Mesoporous activated carbon from inherently potassium-rich pokeweed by in situ self-activation and its use for phenol removal. J Anal Appl Pyrolysis 2012; 98: 159-65.
12. Agarwal B, Balomajumder C, Thakur PK. Simultaneous co-adsorptive removal of phenol and cyanide from binary solution using granular activated carbon. Chem Eng J 2013; 228: 655-64.
13. Hameed BH, Rahman AA. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon prepared from biomass material. J Hazard Mater 2008; 160(2-3): 576-81.
14. Nand V, Maata M, Koshy K, Sotheeswaran S. Water Purification using moringa oleifera and other locally available Seeds in Fiji for Heavy Metal Removal . Int J Appl Sci Technol 2012; 2(5): 125-9.
15. Vahid Dastjerdi M, Taheri E, Ebrahimi A, Fatehizadeh A, Bina B. Effectiveness of moringa oleifera powder in removal of heavy metals from aqueous solutions. Fresenius Environmental Bulletin 2013; 22(5): 1516-23.
16. Meneghel AP, Gonēalves AC Jr, Strey L, Rubio F, Schwantes DF, Casarin J. Biosorption and removal of chromium from water by using moringa seed cake (Moringa oleifera Lam.). Quim Nova 2013; 36(8): 1104-10.
17. Bazrafshan E, Kord Mostafapour F, Heidarinezhad F. Phenol removal from aqueous solutions using pistachio hull ash as a low cost adsorbent. J Sabzevar Univ Med Sci 2013; 20(2): 142-53. [In Persian].
18. Liu QS, Zheng T, Wang P, Jiang JP, Li N. Adsorption isotherm, kinetic and mechanism studies of some substituted phenols on activated carbon fibers. Chem Eng J 2010; 157(2): 348-56.
19. Ong ST, Lee CK, Zainal Z. Removal of basic and reactive dyes using ethylenediamine modified rice hull. Bioresour Technol 2007; 98(15): 2792-9.
20. Hashemi F, Godini H, Shams Khorramabadi G, Mansouri L. Assessing performance of walnut green hull adsorbent in removal of phenol from aqueous solutions. Iran J Health Environ 2014; 7(2): 265-76. [In Persian].
21. Anbia M, Hariri SA. Removal of methylene blue from aqueous solution using nanoporous SBA-3. Desalination 2010; 261(1): 61-6.
22. Ertas M, Acemioglu B, Alma MH, Usta M. Removal of methylene blue from aqueous solution using cotton stalk, cotton waste and cotton dust. J Hazard Mater 2010; 183(1-3): 421-7.
23. Hameed BH, Din AT, Ahmad AL. Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: Kinetics and equilibrium studies. J Hazard Mater 2007; 141(3): 819-25.
24. Acemioglu B. Adsorption of Congo red from aqueous solution onto calcium-rich fly ash. J Colloid Interface Sci 2004; 274(2): 371-9.
25. Li JM, Meng XG, Hu CW, Du J. Adsorption of phenol, p-chlorophenol and p-nitrophenol onto functional chitosan. Bioresour Technol 2009; 100(3): 1168-73.
26. Girods P, Dufour A, Fierro V, Rogaume Y, Rogaume C, Zoulalian A, et al. Activated carbons prepared from wood particleboard wastes: Characterisation and phenol adsorption capacities. J Hazard Mater 2009; 166(1): 491-501.
27. Yin J, Chen R, Ji Y, Zhao C, Zhao G, Zhang H. Adsorption of phenols by magnetic polysulfone microcapsules containing tributyl phosphate. Chem Eng J 2010; 157(2): 466-74.
28. Laszlo K, Podkoscielny P, Dabrowski A. Heterogeneity of polymer-based active carbons in adsorption of aqueous solutions of phenol and 2,3,4-trichlorophenol. Langmuir 2003; 19(13): 5287-94.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22122/jhsr.v13i2.2881]

DOI: 10.22122/jhsr.v13i2.2881 Published by Vesnu Publications

Journal of Health System Research Received: 10.07.2016

Vol. 13, No. 2, Summer 2017 Accepted: 13.02.2017

A Survey of the Efficiency of Activated Carbon Derived from Moringa Oleifera Pod in the Removal of Phenol from Aqueous Solutions

Freydon Moazami[1], Zeynab Alizadeh[2], Ali Fatehizadeh[3], Hamidreza Pourzamani[4], Mohammad Ghasemian[5], Mokhtar Mahdavi[6], Ensiyeh Taheri[5]

Original Article

Abstract

Background: Due to the stability, water and environmental pollution, and health concerns of phenol compounds, phenol removal is important. For this purpose, the present study evaluated the efficiency of phenol removal of activated carbon derived from Moringa oleifera pod from aqueous solutions.

Methods: In this study, the Moringa oleifera pod was used as carbon source in activated carbon preparation. The activated carbon preparation protocol included dehydration, debris removal, and thermal activation. After preparation of activated carbon, the effective parameters on phenol adsorption process including solution pH, contact time, initial concentration of phenol, and activated carbon doses were studied. In addition, the obtained data was tested via Langmuir and Freundlich isotherms.

Findings: The obtained results showed that the highest phenol adsorption was achieved at neutral solution pH. With increasing or reducing of solution pH, phenol removal efficiency decreased. Moreover, with increasing of contact time from 5 minutes to 840 minutes, phenol removal efficiency improved from 23% to 94%. In addition, with increasing of initial concentration of phenol, phenol removal efficiency had a descending trend. Thus, with the use of 0.5 g/l activated carbon and initial concentration of 7.5 mg/l, phenol removal efficiency was 76%, and at the concentrations of 10 and 15 mg/l, removal efficiency reduced to 71% and 66%, respectively. The obtained results were in line with the Freundlich isotherm and maximum adsorption capacity varied from 6.5 to 7.2 mg/g in the studied initial phenol concentration.

Conclusion: The obtained results demonstrated that activated carbon derived from Moringa oleifera pod had high efficiency in phenol removal from aqueous solutions. With respect to the fact that the Moringa oleifera is grown in southern Iran and does not have a specific application, the Moringa oleifera pod could be considered as a low cost source for activated carbon preparation.

Key words: Adsorption, Moringa oleifera, Natural adsorbent, Phenol removal

Citation: Moazami F, Alizadeh Z, Fatehizadeh A, Pourzamani H, Ghasemian M, Mahdavi M, et al. **A Survey of the Efficiency of Activated Carbon Derived from Moringa Oleifera Pod in the Removal of Phenol from Aqueous Solutions.** J Health Syst Res 2017; 13(2): 252-8.

1- BSc Student, Student Research Committee AND Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- MSc Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran
3- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
4- Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
5- PhD Candidate, Student Research Committee AND Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
6- Assistant Professor, Social Determinants of Health Research Center AND Department of Environmental Health Engineering, School of Medicine, Saveh University of Medical Sciences, Saveh, Iran
Corresponding Author: Ensiyeh Taheri, Email: e_taheri_83@yahoo.com

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22122/jhsr.v13i2.2881]