

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

فریدون معظمی<sup>۱</sup>، زینب علیزاده<sup>۲</sup>، علی فاتحیزاده<sup>۳</sup>، حمیدرضا پورزمانی<sup>۴</sup>، محمد قاسمیان<sup>۵</sup>،  
مختار مهدوی<sup>۶</sup>، انسیه طاهری<sup>۷</sup>

### مقاله پژوهشی

چکیده

**مقدمه:** به علت پایداری فل در محیط زیست و آلودگی آب و منابع طبیعی و اثرات بهداشتی ناشی از آن، حذف این ماده از محیط زیست بسیار حائز 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 فل 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 فل شامل pH محلول، زمان تماس، دوز کربن فعال و غلظت اولیه فل مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، محکمانی نتایج حاصل از پژوهش با ایزوتروم‌های Langmuir و Freundlich بررسی گردید.

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

**نتیجه‌گیری:** کربن فعال ساخته شده از غلاف گیاه مورینگا اولیفرا کارایی بالایی در حذف فل 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 ارزان قیمت جهت ساخت کربن فعال استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** جذب سطحی، مورینگا اولیفرا، جاذب طبیعی، حذف فل

**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 فل از محلول‌های آبی. مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۶؛ ۱۳(۲): ۲۵۲-۲۵۸.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۴/۲۰

کریستالی است که در اثر اکسیداسیون در هوا به رنگ صورتی درمی‌آید. پس از حل شدن در آبه، خاصیت بسیار کم اسیدی به آب می‌دهد. حالیت آن در آب وابسته به دما می‌باشد و در محدوده دمایی ۲۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد ۹۳-۹۸ گرم بر لیتر است (۱). فل به صورت طبیعی از قطران زغال‌سنگ و تنظیر بنزن و به صورت مصنوعی در اثر حرارت دادن سولفات بنزن سدیمی با سود آبدار در فشار بالا تولید می‌شود (۲). فل 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 ضرر زیست محیطی آن، باید بر تصفیه مناسب و یا جلوگیری از تخلیه فاضلاب محتوای ترکیبات فل بدون اعمال

### 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 فل اشاره کرد که به دلیل اثرات سمی و خاصیت سرطان‌زاکی خود، توجه بسیاری از متخصصان محیط زیست را به خود جلب کرده است (۱). فل ( $C_6H_5O$ ) با وزن مولکولی ۹۴/۱۱ گرم بر مول، نوعی هیدروکربن حلقوی و در حالت خالص بی‌رنگ یا جامد سفید رنگ است (۲). فل یا هیدروکسی بنزن، یکی از هیدروکربن‌های آروماتیک سمی می‌باشد که سازمان حفاظت محیط زیست آن را در دسته‌آن ایزوتراکتیو مقدم قرار داده است (۲). فل حلالیت بسیار بالایی در آب دارد و در طبیعت بسیار سمی، بی‌رنگ، رطوبت‌پذیر و

- دانشجوی کارشناسی، کمیته تحقیقات دانشجویی و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران
- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
- دانشجوی دکتری، کمیته تحقیقات دانشجویی و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
- استادیار، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

نویسنده مسؤول: انسیه طاهری

Email: e\_taheri\_83@yahoo.com

پلیمر آلى طبیعی می باشد و گونه اولیفرا نوعی گونه بومی این گیاه در شمال هند است که معروف ترین گونه در میان سایر گونه ها به شمار مردود. از عصاره خام این گیاه در مصارف خانگی برای زلال سازی آب در بسیاری از نواحی جهان استفاده می شود<sup>(۱۴)</sup>. از جمله مطالعاتی که از مورینگا به عنوان جاذب برای حذف آلایینده استفاده شده است، می توان 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<sup>(۱۵)</sup>. در مطالعه دیگری با وجود عصاره گیری دانه های مورینگا قبل از استفاده به عنوان جاذب، این گیاه قادر به حذف پیش از ۸۰ درصد کروم از محلول های آبی در  $pH = 5$  بود. همچنین، مشاهده شد که راندمان جذب در pH های اسیدی بیشتر از pH های خنثی و قلیایی است<sup>(۱۶)</sup>. در به کارگیری مورینگا اولیفرا جهت حذف فلز از محلول های آبی، می توان به مطالعه بذر افشا ن و همکاران اشاره نمود که در آن با به کارگیری عصاره این گیاه، پیش از ۹۰ درصد غلظت فلز حذف شد<sup>(۱۷)</sup>.

از آن جایی که این گیاه گرم سیری 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 فلز از محیط های آبی انجام گردید.

## روش ها

غلاف گیاه مورینگا اولیفرا (ماده دوربریز) از شهرستان بوشهر (مناطق جنوبی کشور ایران) تهیه گردید. از محلول های هیدروکسید پتاسیم (KOH)، هیدروکسید سدیم (NaOH)، کلرید هیدروژن (HCl) و آب مقطر خالص (شرکت Merck، آلمان) استفاده شد. غلظت فلز باقیمانده با استفاده از دستگاه DR 5000 HACH-LANGE (شرکت آمریکا) در طول موج ۵۰۰ نانومتر و میزان جذب با کمک دستگاه اسپکترو فوتومتر (مدل OD ۲، شرکت Milton Roy آمریکا) در مقایسه با منحنی استاندارد تعیین شد. pH محلول ها نیز با استفاده از دستگاه چند کاناله (مدل WA-2017SD، شرکت Lutron آمریکا) اندازه گیری گردید.

برای ساخت کربن فعال، ابتدا مقداری پوسته غلاف مورینگا اولیفرا در هوای محیط خشک و در اندازه های کمتر از ۱ سانتی متر خرد گردید. سپس، غلافها به مدت ۳۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک شد. برای آبزدایی پوسته غلاف مورینگا اولیفرا، هیدروکسید پتاسیم با غلظت ۶ مولار و نسبت ۵ گرم پوسته به ۱۰۰ میلی لیتر از محلول هیدروکسید پتاسیم استفاده شد. این محلول به مدت ۵ ساعت در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد هم زده شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار گرفت. پس از جداسازی پوسته غلاف از محلول هیدروکسید پتاسیم، پوسته ها تا زمانی که pH آن خنثی شود، با آب مقطر شستشو داده شد. به منظور فعال سازی حرارتی، پس از جای گذاری پوسته غلاف در یک ظرف درسته، دمای کوره با ۱۰ درجه سانتی گراد در دقیقه از ۱۰۰ به ۶۵۰ درجه سانتی گراد، پوسته های غلاف به مدت ۱ ساعت در دستیابی به دمای ۶۵۰ درجه سانتی گراد، پوسته های غلاف به مدت ۱ ساعت در این دما قرار داده شد. برای حصول اطمینان از دستیابی به شرایط فاقد اکسیژن در حین فرایند فعال سازی حرارتی، از گاز نیتروژن با جریان ۵۰ میلی لیتر در دقیقه استفاده گردید.

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 سوختگی های پوستی تا سسمومیت های سیستماتیک همراه با کاهش فشار خون و افزایش ضربان قلب و كما متغیر است (۲). مصرف آب آلوده به فنل، موجب انحطاط پروتئین، فرسایش بافت، فلنج شدن سیستم عصبی مرکزی و همچنین، آسیب رسیدن به کبد و کلیه و لوزالمعده در بدن می شود<sup>(۵)</sup>. به منظور کاهش عوامل خطر ناشی از فنل، سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (EPA) یا Environmental Protection Agency) غلظت مجاز تخلیه فل در فاضلاب تصفیه شده به محیط زیست را به کمتر از ۱ میلی گرم در لیتر محدود نموده است<sup>(۴)</sup>. سازمان حفاظت محیط زیست ایران، حداقل غلظت مجاز تخلیه مواد فل دار به آب های سطحی، مصارف کشاورزی و آبیاری را ۱ میلی گرم در لیتر عنوان کرده است<sup>(۴)</sup>.

تاکنون روش های مختلفی برای تصفیه پساب های حاوی فنل به کار گرفته شده است که از آن جمله می توان به اکسیداسیون شیمیایی و فتوشیمیایی پیش فته و ترکیبی، ترسیب، پلیمریزاسیون، تبادل یونی، تصفیه بیولوژیک، تقطیر، روش های الکتروشیمیایی، پرتو دهی، تخریب فوکاتالیستی، روش های حذف آنزیمی و جذب سطحی اشاره نمود<sup>(۶)</sup>.

جذب سطحی، فرایند جمع آوری موادی است که به صورت محلول و در فصل مشترک قرار دارند. در جذب سطحی، از مواد مختلفی مانند کربن فعال (GAC) یا Granular activated carbon و پودری، حاکستر، بتونیت، فسفر هیدراته سلولز، بیومس، زغال کک و خاک چینی استفاده می گردد<sup>(۸)</sup>. بر اساس دیدگاه EPA، جذب توسط کربن فعال، یکی از بهترین آوری های قابل دسترس در حذف ترکیبات آلی می باشد<sup>(۹، ۱۰)</sup>.

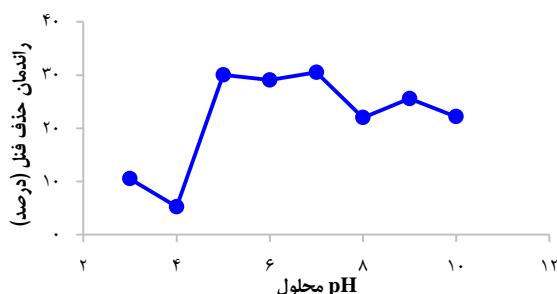
در مطالعه ای، از کربن تهیه شده از گیاه Phytolacca Americana به روش پپرولیز جهت حذف فنل استفاده گردید که حداقل ظرفیت جذب آن طبق ایزو ترم Langmuir ۱۷۲/۴۱ میلی گرم بر لیتر به دست آمد<sup>(۱۱)</sup>. در تحقیق GAC برای حذف هم زمان فنل و سیانید استفاده شد که در شرایط بهینه شامل  $pH = 8$  و دوز جاذب ۳۰ گرم بر لیتر، راندمان حذف فنل ۷۹/۹ درصد با غلظت اولیه فنل ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر به دست آمد که ظرفیت جذب آن ۲۶۹/۷ میلی گرم بر گرم محاسبه گردید<sup>(۱۲)</sup>. در پژوهش دیگری، حداقل ظرفیت جذب فنل با استفاده از کربن تهیه شده از مواد آبی ایزو ترم Langmuir ۱۴۹/۲۵ میلی گرم بر گرم تعیین گردید<sup>(۱۳)</sup>. در مطالعه سعیدی و پژوهش فر، برای GAC بدایم shell carbon یا Almond shell carbon و کربن پوست گردو (WSC) یا Walnut shell carbon) به عنوان جاذب جهت حذف فنل از محلول های آبی به ترتیب راندمان های ۹۱/۳۶، ۹۹/۸۷ و ۷۸/۱۷ درصد گزارش شد<sup>(۳)</sup>.

به منظور حذف مواد سمی و خطربناک در فاضلاب و پساب، از جاذب های مختلفی در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شده، اما یکی از جاذب هایی که مطالعات چندانی روی آن صورت نگرفته است، جاذب آلى مورینگا اولیفرا (Moringa Olifera) می باشد. از جمله مزیت های این جاذب می توان به طبیعی بودن، هزینه های پایین و فراوانی آن در منطقه ای خاص اشاره نمود. این گیاه متعلق به خانواده مورینگاسه (Moringaceae)، غیر سمی و به صورت

جدول ۱. شاخص‌های مورد مطالعه

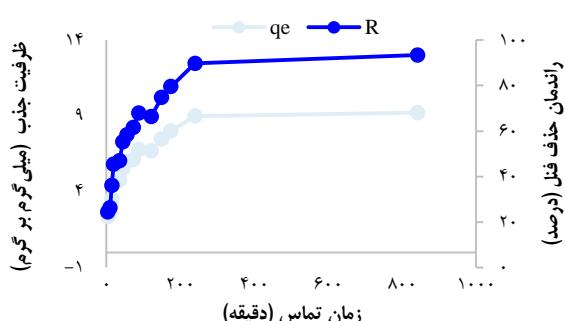
شاخص مورد آزمایش	غلفت اولیه فل (میلی گرم بر لیتر)	دوز کربن فعال (گرم بر لیتر)	pH محلول	زمان تماس (دقیقه)	شاخص مورد آزمایش
pH محلول	۱۰	۰/۵	۱۱ تا ۲	۶۰	زمان تماس
زمان تماس	۱۰	۱	۷	۸۴۰ تا ۵	غلفت اولیه فل
غلفت اولیه فل و دوز جاذب	۱۵ و ۷/۵	۰/۵-۳	۷	۸۴۰	دوز کربن فعال

محلول وابسته است. اثر pH محلول بر کارایی فرایند جذب فل توسعه کربن فعال در شکل ۱ نشان داده است. بر اساس یافته‌ها، با افزایش pH محلول از ۲ به دامنه خشی ( $pH = 7$ )، راندمان حذف افزایش یافت. با افزایش pH محلول به بیشتر از pH خشی، کارایی حذف فل توسعه کربن فعال کاهش داشت.



شکل ۱. تغییرات راندمان حذف فل به عنوان تابعی از pH محلول  
غلفت اولیه فل = ۱۰ میلی گرم بر لیتر، دوز کربن فعال = ۰/۵ گرم بر لیتر و زمان تماس = ۶۰ دقیقه

**اثر زمان تماس:** روند افزایشی کارایی حذف فل 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 فل توسعه کربن فعال سیار بالا بود؛ به گونه‌ای که بیش از ۹۰ درصد فل 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 فل (غلفت اولیه فل = ۱۰ میلی گرم بر لیتر، دوز کربن فعال = ۱ گرم بر لیتر و pH = ۷)

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 فل شامل pH محلول، زمان تماس، دوز کربن فعال و غلفت اولیه فل مورد بررسی قرار گرفت. شرایط انجام آزمایش‌های ناپیوسته جذب در جدول ۱ ارایه شده است.

به منظور اختلاط مناسب کربن فعال و محلول‌های فل، از یک دستگاه هم‌زن اوریتالی (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 فل باقی‌مانده مورد آزمایش قرار گرفت.

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

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

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

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

جدول ۲. ایزوترم‌های مورد مطالعه

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

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

### یافته‌ها

**اثر pH محلول:** یافته‌ها نشان داد که جذب فل با استفاده از کربن فعال، به pH

**جدول ۳. ثابت‌های ايزوترم جذب فنل با استفاده از کربن فعال ساخته شده از پوسته غلاف موريينكا اوليفر**

نوع ايزوترم	ثابت ايزوترم	غلظت اوليه فنل (ملي‌گرم بر ليتر)	غلظت اوليه فنل (ملي‌گرم بر ليتر)	ثابت	شده از پوسته غلاف موريينكا اوليفر
		۱۵	۱۰	۷/۵	
		۷/۲۳	۶/۵۲	۷/۱۷	K <sub>f</sub>
		۰/۶۹	۰/۸۶	۱/n	Freundlich
		۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۷۵	R <sup>2</sup>
		۲۸/۳۱	۵۵/۲۴	۷۲/۹۹	Q <sub>m</sub>
		۰/۲۳	۰/۱۳	۱/۰۸	Langmuir
		۰/۵۷	۰/۱۳	۰/۰۵	K <sub>L</sub>
					R <sup>2</sup>

### بحث

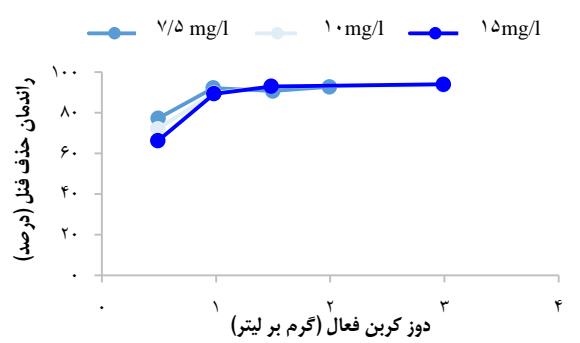
**اثر pH محلول:** نتایج مطالعه حاضر نشان داد که pH یکی از عوامل مهم در فرایند جذب است. این شاخص از طریق تأثیر بر ساختار شیمیایی آلینددها و بار سطحی جاذب، بر فرایند جذب تأثیر می‌گذارد (۱۸، ۱۹). همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شد، با افزایش مقدار pH محلول، راندمان حذف فنل نیز افزایش می‌یابد و حداقل مقدار راندمان حذف در ۷ pH 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 ۱۰ pH، به کمتر از ۳۵ درصد کاهش یافت. ظرفیت جذب کربن فعال پوسته غلاف موريينكا اوليفرها در محلول با ۷ pH = ۶ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد. در مطالعه حاضر، ۷ pH 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<sup>+</sup>) 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<sup>-</sup>) 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 پوسته پسته (۱۷) و تحقیق هاشمی و همکاران در حذف فنل بر سطح 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 موريينكا اوليفرها در pH محلول برابر و دوز کربن فعال ۱ گرم بر ليتر و غلظت اوليه فنل ۱۰ میلی‌گرم بر ليتر 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).

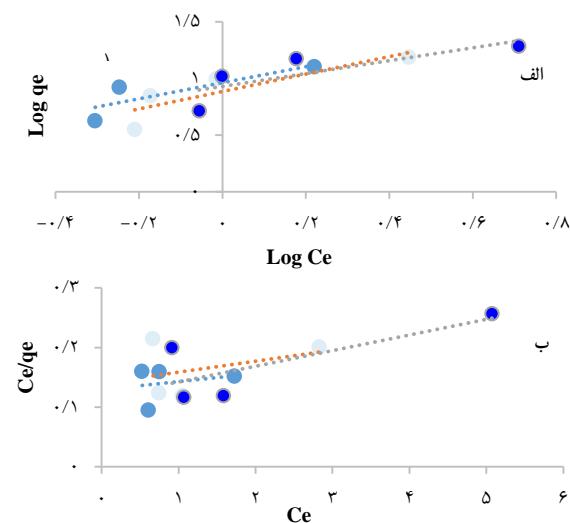
زمان تعادل فرایند جذب در مطالعه بذرافشان و همکاران روی حذف فنل با خاکستر پوسته پسته، ۴۵ دقیقه به دست آمد (۱۷). همچنین، در پژوهشی که از کربن فعال ساخته شده از تباکو جهت حذف فنل استفاده نمود، زمان تماس تعادل ۱۲۰ دقیقه پیشنهاد گردید (۹).

**اثر دوز جاذب و غلظت اوليه فنل:** یافته‌های حاصل از بررسی دوز کربن فعال و غلظت اوليه فنل بر کارایی حذف فنل در شکل ۳ نشان داده شده است. با افزایش دوز کربن فعال از ۰/۵ به ۳ گرم بر ليتر، 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 ليتر کربن فعال و غلظت اولیه فنل ۷/۵ میلی‌گرم بر ليتر، راندمان حذف فنل ۷۶ درصد به دست آمد که با افزایش غلظت فنل به ۱۰ ۱۵ میلی‌گرم بر ليتر، راندمان حذف به ترتیب به ۷۱ و ۶۶ درصد کاهش یافت. به منظور تحلیل فرایند جذب سطحی فنل با استفاده از کربن فعال شده از پوسته غلاف موريينكا اوليفرها، ايزوترم‌های Langmuir و Freundlich مورد مطالعه قرار گرفت. در شکل ۴ و جدول ۳، نمودارها و نتایج حاصل از ايزوترم‌های مورد نظر ارایه شده است.



شکل ۴. ايزوترم جذب فنل با استفاده از کربن فعال پوسته غلاف موريينكا اوليفر؛ ايزوترم Langmuir (قسمت الف) و Freundlich (قسمت ب)

جدول ۴. مقادیر ظرفیت جذب فل توسط جاذب‌های مختلف

جاذب	منبع	ظرفیت جذب (میلی‌گرم بر گرم)
الیاف کربن فعال	۱۸	۱۱۰
کیتوزان	۲۵	۱۲۲
کربن فعال	۲۶	۲۹۳
میکروکپسول مغنتیت پلی‌سولفون حاوی تری‌بوتیل سولفات	۲۷	۷۹
کربن فعال ساخته شده از الیاف پلی‌اکریلونیتریل	۲۸	۷۷
کربن فعال پوسته غلاف گیاه مورینگا اولیفرا	مطالعه حاضر	۷/۲۳

خاکستر فرار غنی از کلسیم گزارش گردید (۳۴)، در واقع، افزایش غلظت اولیه سبب ترغیب ظرفیت جذب فل می‌شود.

**بررسی ایزووترم‌های جذب:** همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، جذب فل با استفاده از کربن فعال پوسته غلاف مورینگا اولیفرا، بیشترین همچوانی را با ایزووترم Freundlich داشت. بر اساس داده‌های جدول ۳، ظرفیت جذب فل در غلظت‌های  $7/5$  و  $10$  و  $15$  میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب  $7/17$   $6/53$  و  $7/23$  میلی‌گرم بر گرم به دست آمد. در جدول ۴، نتایج حاصل از مطالعه حاضر با نتایج حاصل از جذب فل توسط سایر جاذب‌ها در پژوهش‌های دیگر مقایسه شده است.

بر اساس داده‌های جدول ۴، مقدار ظرفیت جذب در پژوهش حاضر کمتر از سایر مطالعات (۱۷، ۲۵-۲۸) 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 بالای در حذف فل از محلول‌های آبی است.

کارایی فرایند جذب فل با افزایش زمان تماش، کاهش غلظت اولیه فل و افزایش دوز جاذب، افزایش می‌یابد.

حداکثر حذف فل با استفاده از کربن فعال پوسته غلاف مورینگا اولیفرا در  $pH = 7$  به میزان  $93$  درصد به دست آمد.

ایزووترم Freundlich دارای تناسب بیشتری با نتایج جذب فل 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 ارزان قیمت، 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 نویسنده‌گان از مسؤولان آزمایشگاه تحقیقاتی و گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت تشکر و قدردانی به عمل می‌آورند.

تفاوت در نتایج بررسی حاضر با یافته‌های سایر تحقیقات (۹، ۱۷)، 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 از جذب انجام جذب در دسترس بسیار زیاد می‌باشد و با گذشت زمان، محل‌های سطحی خالی باقی مانده 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 فل 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 بیرونی تر به قسمت‌های داخلی تر محل‌های جذب ذرات کترول می‌گردد (۱۷).

**ائز دوز کربن فعال پوسته غلاف مورینگا اولیفرا:** بر اساس یافته‌های شکل ۳، حذف فل تابع جرم جاذب حاضر در محلول می‌باشد و با افزایش دوز جاذب، افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، درصد حذف فل با افزایش دوز جاذب از  $0/5$  تا  $3$  گرم بر لیتر و در غلظت‌های  $10$ ،  $7/5$  و  $15$  میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافت. این امر را می‌توان به وجود محل‌های جذب صورت غیر اشیاع 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) مشابه داشت. در پژوهش آن‌ها نیز مانند مطالعه حاضر، دوز  $3$  گرم بر لیتر به عنوان دوز جاذب انتخاب شده بود (۲۰).

**ائز غلظت اولیه فل:** غلظت اولیه فل، 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 فل، راندمان حذف فل کاهش یافته؛ به گونه‌ای که با افزایش غلظت فل از  $7/5$  به  $15$  میلی‌گرم بر لیتر و کاربرد دوز  $0/5$  گرم بر لیتر کربن فعال، کارایی حذف فل از  $77$  به  $76$  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 (۲۲، ۲۳). در مطالعه‌ای نیز روند مشابهی در زمینه این موضوع پیرامون جذب رنگ قرمز کنگو توسط

## References

- 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].
- 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].
- Saeedi M, Pajooreshfar SP. An investigation of phenol 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].
- Ghaneian MT, Ghazizadeh 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].
- 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.
- 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.
- 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.
- Zare MR, Naddafi K. Effect of phenol in aqueous solutions on toxicity of nano-TiO<sub>2</sub> and nano-Fe/TiO<sub>2</sub> particles. *J Sch Public Health Inst Public Health Res* 2010; 8(4): 73-82. [In Persian].
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Meneghel AP, Gonçalves 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.
- 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].
- 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.
- Ong ST, Lee CK, Zainal Z. Removal of basic and reactive dyes using ethylenediamine modified rice hull. *Bioresour Technol* 2007; 98(15): 2792-9.
- 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].
- Anbia M, Hariri SA. Removal of methylene blue from aqueous solution using nanoporous SBA-3. *Desalination* 2010; 261(1): 61-6.
- 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.
- 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.
- Acemioglu B. Adsorption of Congo red from aqueous solution onto calcium-rich fly ash. *J Colloid Interface Sci* 2004; 274(2): 371-9.
- 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.
- Girods P, Dufour A, Fierro V, Rogau Y, Rogau C, Zoulliani A, et al. Activated carbons prepared from wood particleboard wastes: Characterisation and phenol adsorption capacities. *J Hazard Mater* 2009; 166(1): 491-501.
- 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.
- Laszlo K, Podkoscilny 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.

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

Freydon Moazami<sup>1</sup>, Zeynab Alizadeh<sup>2</sup>, Ali Fatehizadeh<sup>3</sup>, Hamidreza Pourzamani<sup>4</sup>, Mohammad Ghasemian<sup>5</sup>, Mokhtar Mahdavi<sup>6</sup>, Ensiyeh Taheri<sup>5</sup>

### 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