DOI: 10.22122/jhsr.v14i3.3197 Published by Vesnu Publications

مقایسه راندمان حذف کادمیوم از محلول‌های آبی با استفاده از کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط و اصلاح شده آن با نانوذرات مگنتیک

هوشنگ منوچهری تبار[1]، افشین ابراهیمی[2]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: حذف کادمیوم از منابع آبی به دلیل خاصیت تجزیه‌ناپذیری و تجمع‌پذیری زیستی، امری ضروری می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی و مقایسه عملکرد کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط و اصلاح شده آن با نانوذرات مگنتیک در حذف کادمیوم انجام شد.

روش‌ها: در این مطالعه، اثر شاخص‌های زمان تماس (۱۲۰-۵ دقیقه)، دوز جاذب (۱۵-۱ گرم بر لیتر)، pH (۸-۲) و غلظت کادمیوم (۵۰-۵ میلی‌گرم بر لیتر) در کارایی حذف بررسی گردید و فرایند جذب با ایزوترم‌های Langmuir و Freundlich و سینتیک شبه مرتبه اول و دوم مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت تعیین ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های سطحی جاذب‌ها، از آنالیز الگوی پراش پرتوی X (X-ray diffraction یا XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning electron microscope یا SEM) استفاده شد.

یافته‌ها: راندمان حذف کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط و اصلاح شده آن با استفاده از نانوذرات مگنتیک در pH = ۸، زمان تماس ۳۰ دقیقه، دوز جاذب ۵ گرم بر لیتر و غلظت اولیه کادمیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب ۸۱/۱۳ و ۹۱/۳۲ درصد به دست آمد. بررسی ایزوترمی نشان داد که جاذب اصلاح نشده با ضریب همبستگی ۰/۹۸۰۳ از ایزوترم Langmuir و جاذب اصلاح شده با ضریب همبستگی ۰/۹۴۳ از ایزوترم Freundlich پیروی می‌کرد. سینتیک جذب نیز نشان داد که هر دو جاذب از سینتیک شبه مرتبه دوم تبعیت داشتند و زمان تعادل ۳۰ دقیقه گزارش گردید.

نتیجه‌گیری: کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط قادر به حذف کادمیوم از محیط‌های آبی می‌باشد و می‌تواند به عنوان جاذب ارزان‌قیمتی در تصفیه منابع آلوده به کادمیوم مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، اصلاح آن با نانوذرات مگنتیک سبب افزایش چشمگیر راندمان جذب می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: حذف کادمیوم، محلول‌های آبی، کربن فعال، کلاهک میوه بلوط، نانوذرات مگنتیک

ارجاع: منوچهری تبار هوشنگ، ابراهیمی افشین. **مقایسه راندمان حذف کادمیوم از محلول‌های آبی با استفاده از کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط و اصلاح شده آن با نانوذرات مگنتیک.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۷؛ ۱۴ (۳): ۳۱۳-۳۰۷

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۴/۱۱ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۶/۲۱ تاریخ چاپ: ۱۳۹۷/۷/۱۵

مقدمه

فلزات سنگین، از جمله آلاینده‌های زیست محیطی هستند که از طریق آب و مواد غذایی می‌توانند مسمومیت‌های مزمن و در بعضی موارد حاد را در مصرف‌کننده ایجاد نمایند. افزایش مصرف فلزات سنگین باعث افزایش مقدار آن‌ها در سیستم‌های آبی می‌شود و به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و داشتن خصوصیات زیست تجمع‌پذیری، از آلاینده‌های اصلی به شمار می‌روند (۱). کادمیوم در انسان و پستانداران همراه با آب و غذا دریافت می‌شود و پس از جذب، به پروتئین‌های کم‌وزن متصل می‌گردد و در کلیه و کبد، اندام‌های تولید مثل، سیستم عصبی، تنفسی، گوارش و ماهیچه‌های قلب تجمع می‌یابد (۲). بنابراین، اقدامات احتیاطی مؤثر در کاهش سطح غلظت آن در منابع آبی، امری ضروری به نظر می‌رسد. از جمله روش‌هایی که جهت حذف فلزات سنگین و رساندن غلظت آن به حد مجاز به کار می‌رود، می‌توان به ترسیب شیمیایی، الکترولیز، فیلتراسیون غشایی، اسمز معکوس، تقطیر، تبادل یونی، تبخیر، شناورسازی و جذب اشاره کرد (۳). امروزه روش جذب به سبب سادگی، تولید لجن کمتر، مشکلات ناچیز در دفع ضایعات تولیدی و ملاحظات اقتصادی مورد توجه قرار گرفته است (۴). Boparai و همکاران در مطالعه خود سینتیک و ترمودینامیک حذف یون‌های کادمیوم با استفاده از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی را بررسی نمودند (۵).

سمرقندی و عزیزی در طی تحقیقی، جذب کادمیوم با استفاده از گرانول‌های کربن فعال پوشیده شده با نانوذرات اکسید آهن در محلول‌های آبی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش pH، زمان تماس، غلظت جاذب و کاهش غلظت کادمیوم، میزان جذب افزایش می‌یابد. بیشترین میزان جذب در pH = ۹ حدود ۹۰ درصد به دست آمد (۶).

هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی راندمان و مقایسه حذف کادمیوم از محلول‌های آبی با استفاده از کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط و اصلاح شده آن با نانوذرات مگنتیک بود. از آن‌جایی که بلوط به مقادیر زیادی در برخی شهرهای ایران وجود دارد، با مثبت بودن نتایج این مطالعه می‌توان جاذبی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان و واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲- دانشیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، پژوهشکده پیشگیری اولیه از بیماریهای غیر واگیر، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان و گروه مهندسی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
نویسنده مسؤول: افشین ابراهیمی Email: a_ebrahimi@hlth.mui.ac.ir

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.3.6.0]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i3.3197]

ساده، ارزان و فراوان جهت حذف کادمیوم از محلول‌های آبی تولید نمود.

روش‌ها

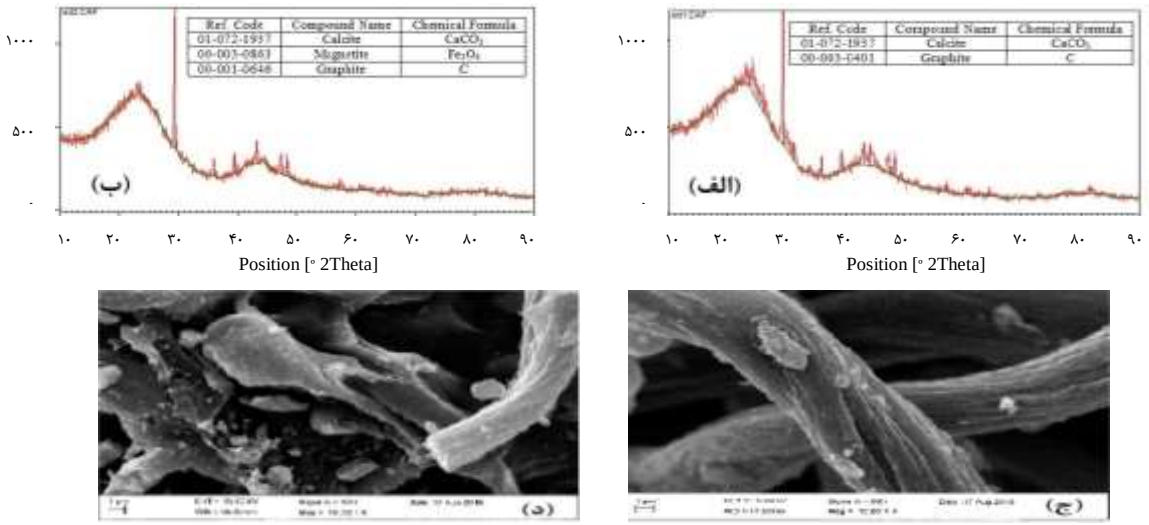
تهیه کربن فعال از کلاهک میوه بلوط: در این تحقیق به منظور تهیه کربن فعال، از کلاهک میوه درخت بلوط که از جنگل‌های بلوط واقع در استان کرمانشاه جمع‌آوری شده بود، استفاده گردید. کلاهک‌ها با آسیاب آزمایشگاهی خرد و جهت جداسازی ذرات ۳-۲ میلی‌متر از الک عبور داده شد. سپس به منظور از بین بردن آلودگی‌های سطحی و گرد و غبار، چندین بار با آب مقطر شستشو داده شد و جهت خشک شدن در دستگاه فور با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت (۷). نمونه‌های مش‌بندی شده در شرایط آنوکسیک تحت گاز نیتروژن به مدت ۲ ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد در رآکتور مخصوص کربنیزه گردید و جهت فعال‌سازی کربن، به مدت ۳۰ دقیقه در معرض دمای ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. کربن فعال تولید شده پس از سرد شدن با آب مقطر شستشو داده شد و به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در دستگاه فور خشک و تا زمان انجام آزمایش درون دسیکاتور ذخیره گردید (۸).

پوشش نانوذرات مگنتیک بر روی کربن فعال: به منظور کوت کردن نانوذرات مگنتیک و اصلاح کربن فعال تولید شده، ابتدا ۵۰ گرم کربن فعال کلاهک میوه بلوط در ۵۰۰ سی‌سی آب مقطر ریخته شد و با اضافه کردن ۱۸/۵ گرم از سولفات فریک ۶ آبه به ۱۳۰۰ سی‌سی آب مقطر و ۲۰ گرم سولفات آهن به ۱۵۰ سی‌سی آب مقطر، محلول‌های سولفات فریک و سولفات فرو به صورت مجزا تهیه گردید و سپس هر سه محلول با سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق مخلوط گردید. در ادامه، با اضافه نمودن هیدروکسید سدیم ۱ مولار، pH محلول به ۱۰ تا ۱۱ رسانده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و بر روی Shaker با دور ملایم نگهداری گردید تا ذرات مگنتیک بر روی کربن فعال کوت گردد. سپس گرانول‌های کربن فعال اصلاح شده با عبور از صافی جدا شد و پس از شستشو در حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد طی یک شبانه‌روز، به طور کامل خشک گردید (۸).

به منظور تعیین ویژگی، ترکیب و مشخصات ساختاری جاذب‌های مورد بررسی، از دستگاه‌های الگوی پراش پرتوی X (X-ray diffraction یا XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning electron microscope یا SEM) استفاده گردید (۶). جهت بررسی کارایی جاذب‌ها در جذب یون کادمیوم، ابتدا تأثیر تغییرات pH مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، ۰/۲۵ گرم از جاذب‌های مورد مطالعه به ارلن‌های حاوی ۵۰ میلی‌لیتر محلول یون کادمیوم با غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر اضافه و pH نمونه‌ها با استفاده از محلول اسید هیدروکلریدریک ۱ مولار و سود ۰/۱ مولار در دامنه ۲ تا ۸ تنظیم شد و نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه روی Shaker با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه قرار گرفت. سپس برای جداسازی جاذب‌ها، محلول سانتریفوژ و صاف‌سازی گردید و در نهایت، غلظت باقی‌مانده کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی ICP (مدل DV ۷۳۰۰، شرکت PerkinElmer، آمریکا) در طول موج ۲۲۶/۴۹۹ نانومتر اندازه‌گیری شد. تأثیر شاخص‌های زمان تماس در دامنه ۵ تا ۱۲۰ دقیقه، دوز جاذب در دامنه ۱، ۲، ۵، ۸، ۱۰ و ۱۵ گرم بر لیتر و غلظت‌های مختلف کادمیوم در دامنه ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در راندمان حذف جاذب‌ها بررسی گردید. در نهایت، ایزوترم و سینتیک جذب با انطباق داده‌های به دست آمده با مدل‌های ایزوترم جذب Langmuir و Freundlich و سینتیک شبه مرتبه اول و دوم مورد ارزیابی قرار گرفت و مقادیر ثابت‌ها و ضریب همبستگی (R^2) با توجه به تحلیل Linear regression تعیین شد.

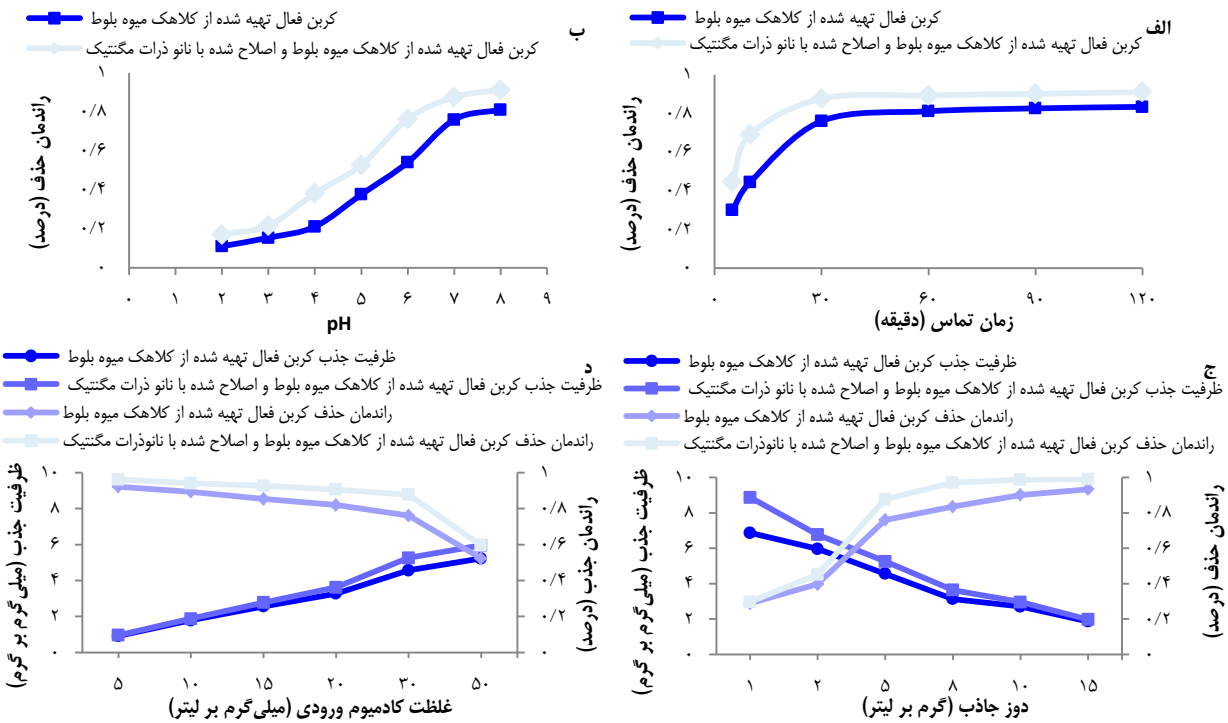
یافته‌ها

داده‌های مربوط به تعیین ویژگی، ترکیب و مشخصات ساختاری جاذب‌های کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط و اصلاح شده آن با نانوذرات مگنتیک با استفاده از دستگاه‌های XRD و همچنین، نمای تصویربرداری از جاذب‌ها با استفاده از SEM در شکل ۱ ارایه شده است.



شکل ۱. آنالیز X-ray diffraction (XRD) از جاذب کربن فعال کلاهک میوه بلوط (قسمت الف) و اصلاح شده با نانوذرات مگنتیک (قسمت ب)، تصویر Scanning electron microscope (SEM) از جاذب کربن فعال کلاهک میوه بلوط (قسمت ج) و اصلاح شده با نانوذرات مگنتیک (قسمت د)

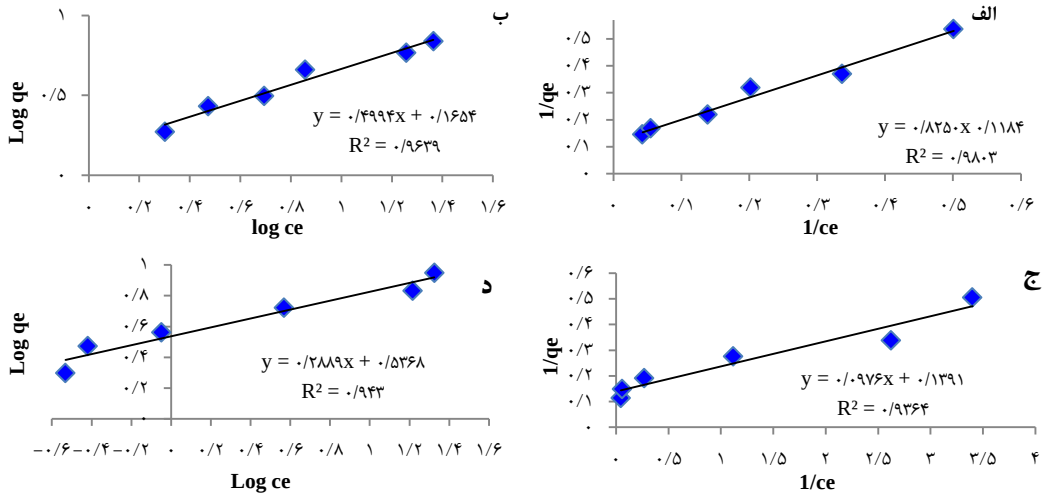
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.3.6.0]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i3.3197]



شکل ۲. تأثیر شاخص‌های زمان تماس (قسمت الف)، pH (قسمت ب)، دوز جاذب (قسمت ج) و غلظت آلاینده ورودی (قسمت د) در راندمان حذف کادمیوم و ظرفیت جذب جاذب‌ها

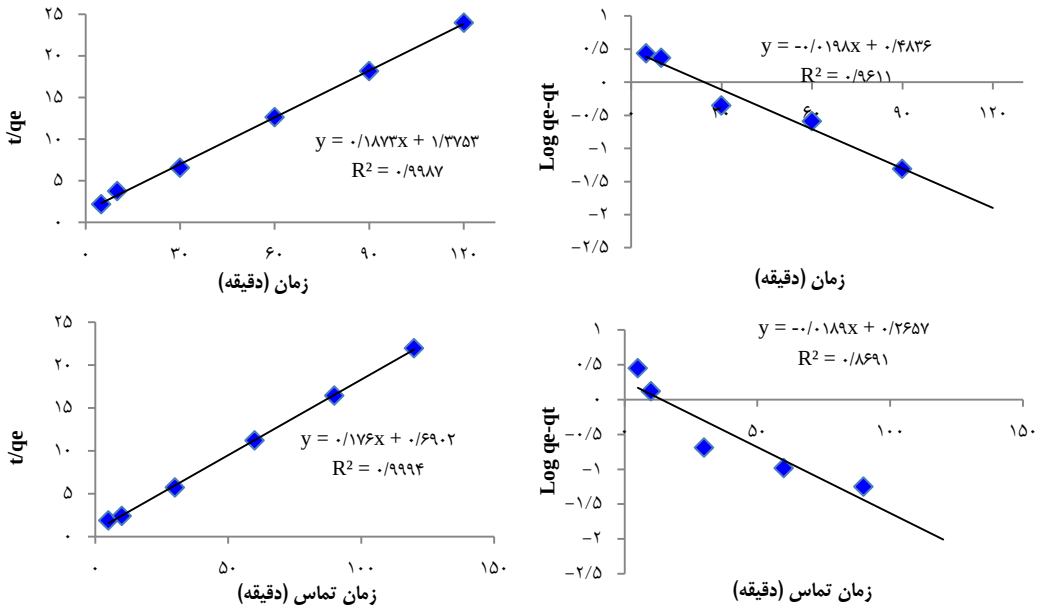
یافته‌های حاصل از بررسی تأثیر تغییر شاخص‌های pH و زمان تماس، دوز جاذب و غلظت آلاینده ورودی در راندمان حذف کادمیوم و ظرفیت جذب جاذب‌ها در شکل ۲ ارایه شده است. بر این اساس، افزایش شاخص‌های pH، زمان تماس، میزان دوز جاذب و کاهش میزان غلظت آلاینده، موجب افزایش راندمان حذف کادمیوم گردید. بررسی ظرفیت جذب جاذب‌ها نیز نشان داد که با افزایش میزان دوز جاذب، ظرفیت جذب به ازای واحد جرم جاذب کاهش و با افزایش غلظت آلاینده ورودی، ظرفیت جذب افزایش یافت.

نتایج بررسی مدل‌های ایزوترمی Langmuir و Freundlich فرایند جذب کادمیوم توسط جاذب‌های مورد مطالعه در شکل ۳ ارایه شده است.



شکل ۳. منحنی‌های ایزوترم Langmuir و Freundlich کربن فعال اصلاح نشده (قسمت‌های الف و ب) و منحنی‌های ایزوترم Langmuir و Freundlich کربن فعال اصلاح شده (قسمت‌های ج و د)

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.3.6.0]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i3.3197]



شکل ۴. منحنی‌های سینتیک شبه مرتبه اول و دوم کربن فعال اصلاح نشده (قسمت‌های الف و ب) و منحنی‌های سینتیک شبه مرتبه اول و دوم کربن فعال اصلاح شده (قسمت‌های ج و د)

بر این اساس، جاذب کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط در فرایند حذف کادمیوم با ضریب همبستگی ۰/۹۸۰۳ در مدل Langmuir مطابقت بیشتری نسبت به مدل Freundlich با ضریب همبستگی ۰/۹۶۳۹ داشت و جاذب اصلاح شده با نانوذرات مگنتیک با ضریب همبستگی ۰/۹۴۳، از مدل Freundlich پیروی می‌کرد.

منحنی‌های سینتیک شبه مرتبه اول و دوم فرایند جذب کادمیوم توسط کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط و اصلاح شده آن با نانوذرات مگنتیک در شکل ۴ آمده است. نتایج به دست آمده از ترسیم منحنی‌های سینتیکی نشان داد که هر دو جاذب کربن فعال اصلاح نشده و اصلاح شده به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۹۹۸۷ و ۰/۹۹۹۴، از سینتیک شبه مرتبه دوم تبعیت کردند. در جداول ۱ و ۲ ضرایب ایزوترمی و سینتیکی فرایند جذب به تفکیک جاذب‌های مورد بررسی محاسبه و ارایه شده است.

بحث

ویژگی، ترکیب و مشخصات ساختاری جاذب‌ها: تحلیل XRD بر جاذب کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط به شکل کلسیت ($CaCO_3$) و گرافیت (C) خود را نشان داده است (شکل ۱، قسمت الف) که پس از اصلاح جاذب با نانوذرات مگنتیک، پیک مگنتیت (Fe_3O_4) نیز مشاهده گردید (شکل ۱، قسمت ب)که نشان می‌دهد روش مورد استفاده برای پوشش دادن مؤثر بوده است و نانوذرات مگنتیک با موفقیت بر روی کربن فعال کوت داده شد. بر اساس شکل ۱ (قسمت‌های ج و د)، شکل و ساختار سطحی جاذب‌ها دارای خلل و فرج و سطح نفوذپذیر مناسب جهت انجام فرایند جذب بود و پوشش دادن نانوذرات سبب افزایش سطح مناسب برای جذب آلاینده گردید.

اثر pH در فرایند جذب: یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در فرایندهای جذب، میزان pH می‌باشد که با اثر بر بار سطحی جاذب و آلاینده، راندمان حذف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یافته‌های شکل ۲ (قسمت الف) حاکی از آن بود که میزان حذف کادمیوم در هر دو جاذب با افزایش pH افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که کمترین میزان راندمان جذب در pH = ۲ رخ داده است که برای کربن فعال غیر اصلاحی و اصلاح شده به ترتیب ۱۱/۰۶ و ۱۷/۰۴ درصد به دست آمد. با افزایش میزان pH، بار مثبت سطحی کاهش پیدا می‌کند و با کاهش رقابت یون‌های H^+، میزان جذب یون کادمیوم افزایش می‌یابد.

جدول ۱. ضرایب ایزوترمی جذب کادمیوم به تفکیک نوع جاذب

نوع جاذب	مدل Freundlich			مدل Langmuir		
	K_f (میلی‌گرم بر گرم)	وضعیت جذب	R^2	K_A (میلی‌گرم بر لیتر)	q_m (میلی‌گرم بر گرم)	شرایط جذب آلاینده در سطح جاذب	R^2
کربن فعال کلاهک میوه بلوط	۱/۴۶۳۵	۲/۲۲۶۲	۰/۹۶۳۹	۰/۱۳۹۹	۸/۷۱۰۸	۰/۰۰۳۸	۰/۹۸۰۳
کربن فعال اصلاح شده با نانوذرات مگنتیک	۳/۴۴۱۹	۳/۴۶۱۴	۰/۹۴۳۰	۱/۴۲۵۲	۷/۱۸۹۱	۰/۰۰۴۶	۰/۹۳۶۴

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.3.6.0]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i3.3197]
http://hsr.mui.ac.ir

جدول ۲. ضرایب سینتیکی جذب کادمیوم به تفکیک نوع جاذب

نوع جاذب	ضرایب سینتیک شبه مرتبه اول				ضرایب سینتیک شبه مرتبه دوم			
	K_1 (گرم بر میلی‌گرم در دقیقه)	$q_{e\,cal}$ (میلی‌گرم بر گرم)	$q_{e\,Ex}$ (میلی‌گرم بر گرم)	R^2	K_2 (گرم بر میلی‌گرم در دقیقه)	$q_{e\,cal}$ (میلی‌گرم بر گرم)	$q_{e\,Ex}$ (میلی‌گرم بر گرم)	R^2
کربن فعال کلاهک میوه بلوط	۰/۰۴۵۵۶	۳/۰۴۵۰	۵/۰۰۶	۰/۹۶۱۱	۰/۰۲۵۵۱	۵/۳۳۹۰	۵/۰۰۶	۰/۹۹۸۷
کربن فعال اصلاح شده با نانوذرات مگنتیک	۰/۰۴۵۶۰	۱/۸۴۳۷	۵/۴۶۴	۰/۸۶۹۱	۰/۰۴۴۸۸	۵/۶۸۱۸	۵/۴۶۴	۰/۹۹۹۴

بیشترین درصد حذف در pH = ۸ صورت گرفت که این میزان برای کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط، ۸۱/۱۳ درصد و برای کربن فعال اصلاح شده با نانوذرات مگنتیک، ۹۱/۳۲ درصد بود. نتایج پژوهش‌های مشابهی در جذب کادمیوم با استفاده از گرانول‌های کربن فعال پوشیده با نانوذرات اکسید آهن (۶) و حذف کادمیوم توسط چوب بلوط مگنتیک شده (۸) گزارش شده است.

علت کاهش جذب در pHهای اسیدی را می‌توان به این صورت توضیح داد که در pHهای پایین ۲ و ۳، بار سطحی جاذب مثبت است و سبب دفع یون‌های Cd^{2+} می‌شود. همچنین، وجود مقادیر کافی یون H^+ در محلول در شرایط pHهای اسیدی، سبب رقابت بین یون‌های H^+ موجود در محیط و یون‌های Cd^{2+} برای جذب شدن روی جاذب می‌گردد. بنابراین، H^+ با گروه‌های عاملی آنیونی سطح جاذب واکنش می‌دهد و باعث محدود شدن تعداد مکان‌های جذب برای حذف یون‌های کادمیوم و در نتیجه، کاهش راندمان حذف می‌شود (۹). با توجه به این که آزمایش‌ها به منظور به حداقل رساندن اثر فرایند رسوب‌دهی فلزات، در pHهای بیشتر از ۸ انجام نگرفت و همچنین، با توجه به احتمال پایین رسوب‌دهی هیدروکسیدهای فلزی در حفرات و فضاهای اطراف ذرات به دلیل سریع‌تر بودن سینتیک فرایند جذب نسبت به فرایند رسوب‌دهی، می‌توان گفت که حذف کادمیوم در مقادیر pH کمتر از ۸ اغلب توسط فرایند جذب صورت گرفته است (۱۰).

اثر زمان تماس: بر اساس داده‌های شکل ۲ (قسمت ب)، با افزایش زمان تماس بین آلاینده ورودی و جاذب، میزان درصد جذب افزایش می‌یابد. در تحقیق حاضر راندمان جذب در هر دو جاذب با افزایش زمان تماس تا ۳۰ دقیقه افزایش چشمگیری داشت که دلیل آن را می‌توان به افزایش فرصت برخورد ذرات آلاینده ورودی با ذرات جاذب‌ها نسبت داد و با افزایش زمان از ۳۰ تا ۱۲۰ دقیقه، راندمان با شدت کمتری افزایش یافت؛ به طوری که در دامنه زمان تماس ۶۰ تا ۱۲۰ دقیقه، افزایش چشمگیری مشاهده نشد که دلیل آن را می‌توان کاهش مکان‌های جذب قابل دسترس دانست. در مطالعه بررسی ایزوترم و سینتیک جذب نیکل توسط خاکستر میوه بلوط از محلول‌های آبی، نتایج مشابهی ارایه گردید (۱۱).

اثر دوز جاذب: یافته‌های شکل ۲ (قسمت ج) نشان می‌دهد که راندمان جذب با افزایش دوز جاذب به علت افزایش میزان سطح تماس در دسترس، افزایش یافت، اما ظرفیت جذب جاذب‌ها به دلیل کاهش میزان آلاینده در دسترس جرم واحد جاذب، کاهش پیدا کرد؛ به طوری که با افزایش دوز جاذب از ۱ تا ۱۵ گرم بر لیتر، ظرفیت جذب جاذب کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط و اصلاح شده آن به ترتیب از ۶/۸۶ به ۱/۸۷ و از ۸/۸۷ به ۱/۹۸ میلی‌گرم بر گرم کاهش یافت. نتایج ارزیابی فرایند جذب سطحی یون‌های کادمیوم از فاضلاب سینتیک با نانوذرات آهن مغناطیسی سنتز شده (۱۲) با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی داشت.

اثر غلظت اولیه کادمیوم: به طور کلی، افزایش غلظت اولیه کادمیوم به دلیل افزایش تعداد مولکول‌های حل شونده، میزان یون جذب شده را افزایش می‌دهد، اما مطابق نتایج به دست آمده از بررسی تأثیر میزان غلظت ورودی کادمیوم (شکل ۲، قسمت د)، در هر دو جاذب با افزایش غلظت کادمیوم ورودی، راندمان جذب کاهش می‌یابد. علت کاهش راندمان حذف را چنین می‌توان توصیف کرد که با افزایش غلظت، مکان‌های موجود برای جذب بر روی سطح جاذب کمتر و در نتیجه، درصد حذف یون‌های کادمیوم کاهش پیدا می‌کند. نتایج پژوهش تقوی و همکاران نیز که با هدف بررسی حذف کادمیوم از محیط‌های آبی با استفاده از نانولوله‌های کربنی تک جداره عامل‌دار شده با ال-سیستئین انجام شد (۱۳)، با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت.

ایزوترم‌های تعادلی و سینتیک جذب: بر اساس نتایج شکل‌های ۳ و ۴ و جداول ۱ و ۲، جاذب کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط در فرایند حذف کادمیوم با مدل Langmuirr مطابقت بیشتری داشت و می‌توان نتیجه گرفت که در جاذب غیر اصلاحی، مناطق جذب واقع بر سطح جسم جاذب یکنواخت و همگی دارای قدرت جذب یکسان می‌باشد و ضخامت لایه جاذب در تمام سطح یکسان و برابر با یک لایه از مولکول جذب شونده است. همچنین، پیوندهای جذب برگشت‌پذیر هستند. در مدل Langmuirr، ثابت R_L شرایط جذب آلاینده در سطح جاذب را نشان می‌دهد که اگر مقدار آن برابر با صفر باشد، نشان می‌دهد که ایزوترم غیر قابل برگشت است. $R_L > ۱$ بیان‌کننده ایزوترم نامطلوب می‌باشد. $R_L = ۱$ ایزوترم خطی و $۰ < R_L < ۱$ صفر نیز ایزوترم مطلوب را نشان می‌دهد (۱۴). در مطالعه حاضر مقدار R_L برای کربن فعال کلاهک میوه بلوط، ۰/۰۰۳۸ به دست آمد و حاکی از آن است که جاذب برای حذف کادمیوم مطلوب و مناسب می‌باشد. در پژوهش Dyanati Tilki و همکاران نیز جهت حذف کادمیوم از آب با استفاده از کربن فعال دانه‌ای، مدل ایزوترمی از مدل Langmuirr تبعیت نمود (۱۵).

نتایج نشان داد که جاذب اصلاح شده با نانوذرات مگنتیک از مدل ایزوترمی Freundlich پیروی می‌کند. بنابراین، در جاذب اصلاحی، مناطق موجود روی سطح جسم جاذب یکنواخت نیست و قدرت جذب متفاوتی دارد و ماده آلاینده بر روی سطوح ناهمسان و در چند لایه جذب می‌شود. در ایزوترم Freundlich، مقدار n تابعی از شدت جذب و بیانگر وضعیت جذب است. این مقدار برای جاذب کربن فعال اصلاحی، ۳/۴۶۱۴ محاسبه گردید که نشان می‌دهد شکل منحنی مطلوب و وضعیت جذب خوب می‌باشد. در مطالعه Mohan و همکاران، چوب مگنتیک شده درخت بلوط در حذف کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت که داده‌های جذب از مدل Freundlich پیروی می‌کرد (۸).

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.3.6.0]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i3.3197]

بررسی مدل‌های سینتیکی جذب نشان داد که هر دو جاذب کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط و اصلاح شده آن با نانوذرات مگنتیک از سینتیک شبه مرتبه دوم تبعیت داشتند. بررسی سینتیک جذب کادمیوم با مخلوط مگهمیت و نانوذرات مگنتیک در تحقیق Chowdhury و Yanful نیز نشان داد که فرایند جذب از مدل سینتیک شبه مرتبه دوم تبعیت می‌نماید (۱۶).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کربن فعال تهیه شده از کلاهک میوه بلوط قابلیت خوبی در حذف کادمیوم دارد و می‌تواند به عنوان جاذب ارزان‌قیمتی جایگزین روش‌های گرانقیمت شود و همچنین، اصلاح آن با پوشش دادن نانوذرات مگنتیک، سبب افزایش راندمان حذف می‌گردد. بر اساس نتایج به دست آمده، راندمان حذف با افزایش میزان pH، کاهش غلظت اولیه کادمیوم، افزایش زمان تماس و افزایش دوز جاذب، افزایش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر برگرفته از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می‌باشد. بدین وسیله از استادان محترم گروه و جناب آقای دکتر افشین ابراهیمی، استاد راهنما تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Srivastava VC, Mall ID, Mishra IM. Removal of cadmium(II) and zinc(II) metal ions from binary aqueous solution by rice husk ash. Colloids Surf A Physicochem Eng Asp 2008; 312(2): 172-84.
2. Smirjakova S, Ondrasovicova O, Kakosva A, Lakticova K. The effect of cadmium and lead pollution on human and animal health. Folia Vet 2005; 49(3): 31-2.
3. Ozverdi A, Erdem M. Cu^{2+}, Cd^{2+} and Pb^{2+} adsorption from aqueous solutions by pyrite and synthetic iron sulphide. J Hazard Mater 2006; 137(1): 626-32.
4. Hamoudi S, Saad R, Belkacemi K. Adsorptive removal of phosphate and nitrate anions from aqueous solutions using ammonium-functionalized mesoporous silica. Ind Eng Chem Res 2007; 46(25): 8806-12.
5. Boparai HK, Joseph M, O'Carroll DM. Kinetics and thermodynamics of cadmium ion removal by adsorption onto nano zerovalent iron particles. J Hazard Mater 2011; 186(1): 458-65.
6. Samarghandi MR, Azizi S. Cadmium adsorption by activated carbon granules coated with iron nanoparticles from aqueous solution: Kinetics, isotherms and adsorption mechanism studies. J Mazandaran Univ Med Sci 2014; 24(119): 109-21. [In Persian].
7. Mohammadi AS, Sardar M. The removal of penicillin g from aqueous solutions using chestnut shell modified with H_2SO_4: Isotherm and kinetic study. Iran J Health Environ 2013; 5(4): 297-50. [In Persian].
8. Mohan D, Kumar H, Sarswat A, Alexandre-Franco M, Pittman CU. Cadmium and lead remediation using magnetic oak wood and oak bark fast pyrolysis bio-chars. Chem Eng J 2014; 236: 513-28.
9. Kazeminezhad I, Ahmadizadeh S, Babaie A. Application of magnetic hydroxyapatite nanoparticles for removal of Cd2 + from aqueous solutions. Journal of Environmental Studies 2014; 40(3): 739-50. [In Persian].
10. Bahrami M, Brumand-Nasab S, Kashkooli H, Farrokhian Firouzi A, Babaei A. Cadmium removal from aqueous solutions using modified magnetite nanoparticles. Iran J Health Environ 2013; 6(2): 221-32. [In Persian].
11. Zarei S, Dehvari M, Jamshidi B, Sadani M. Investigation of Isotherm and Kinetic of Nickel Adsorption by Acorn Ashes from Aqueous Solutions. J Rafsanjan Univ Med Sci 2015; 13(9): 897-908. [In Persian].
12. Karimi Takanlu L, Farzadkia M, Mahvi AH, Esrafily A, Golshan M. Optimization of adsorption process of Cadmium ions from synthetic wastewater using synthesized iron magnetic nanoparticles (Fe3O4). Iran J Health Environ 2014; 7(2): 171-84. [In Persian].
13. Taghavi M, Zazouli Ma, Yousefi Z, Akbari-Adergani B. Evaluation of l-cysteine functionalized multi-walled carbon nanotubes as adsorbent forcd (ii) ions from aqueous solutions. Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology; 2015 Sep. 3-5; Rhodes, Greece.
14. Tabeidian M, Aminsadri M, Aghababaie A, Taheri E, Fatehizadeh A, Mahdavi M, et al. Survey of efficiency evaluation of modified and unmodified clinoptilolite for nitrate removal from aqueous solutions. J Health Syst Res 2015; 11(3): 638-49. [In Persian].
15. Dyanati Tilki RA, Naseri S, Shariat M. Study on water cadmium decontamination by granular activated carbon (GAC). J Mazandaran Univ Med Sci 2003; 12(37): 11-9. [In Persian].
16. Chowdhury SR, Yanful EK. Kinetics of cadmium(II) uptake by mixed maghemite-magnetite nanoparticles. J Environ Manage 2013; 129: 642-51.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.3.6.0]

[DOI: 10.22122/jhsr.v14i3.3197]

DOI: *10.22122/jhsr.v14i3.3197* *Published by Vesnu Publications*

Journal of Health System Research **Vol. 14, No. 3, Autumn**

Received: 02.07.2017 Accepted: 12.09.2017 Published: 07.10.2018

Comparison of the Efficiency of Activated Carbon Prepared from Oak Cap and Activated Carbon Modified with Magnetite Nanoparticles on Removal of Cadmium in Aqueous Solution

Hooshang Manouchehritabar[1], Afshin Ebrahimi[2]

Original Article

Abstract

Background: The removal of cadmium from water sources is necessary due to the inherent degradability and biocompatibility. The aim of this study was to evaluate and compare the performance of activated carbon produced from oak cap before and after modification with magnetic nanoparticles, as adsorbents for the removal of cadmium.

Methods: The effect of contact time (5 to 120 minutes), adsorbent dose (1 to 15 g/l), pH (2 to 8), and cadmium concentration (5-50 mg/l) was investigated. The adsorption behavior of cadmium was evaluated using Freundlich and Langmuir models. The effect of time was described via kinetics models. Chemical composition and surface characteristics of adsorbent evaluated using X-ray diffractometry analysis (XRD) and scanning electron microscopy (SEM).

Findings: The removal efficiency of conventional and modified activated carbon produced from oak caps under the constant conditions of pH of 8, contact time of 30 minutes, adsorbent dose of 5 g/l, and cadmium concentration of 30 mg/l was 81.13 and 91.32 percent, respectively. Study of isotherm results showed that conventional activated carbon produced from oak caps had a correlation coefficient of 0.98 with Langmuir model, but modified activated carbon with magnetic nanoparticles followed Freundlich model with a correlation coefficient of 0.943. The results of kinetics showed that both sorbent followed the pseudo-second order kinetics, and their equilibrium time was 30 minutes.

Conclusion: The activated carbon prepared from oak caps pulp is able to remove cadmium from aqueous solutions, and can be used as a low-cost adsorbent material for treatment of water resources contaminated with cadmium. Moreover, modification with magnetite nanoparticles significantly increases the absorption efficiency.

Keywords: Cadmium removal, Aqueous solution, Activated carbon, Oak caps pulp, Magnetite nanoparticles

Citation: Manouchehritabar H, Ebrahimi A. **Comparison of the Efficiency of Activated Carbon Prepared from Oak Cap and Activated Carbon Modified with Magnetite Nanoparticles on Removal of Cadmium in Aqueous Solution.** J Health Syst Res 2018; 14(3): 307-13.

1- MSc Student, Department of Environmental Engineering, Khuzestan Science and Research Branch AND Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2- Associate Professor, Environmental Research Center, Research Institute for Primordial Prevention of Non-Communicable Disease, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan AND Department of Environmental Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Corresponding Author: Afshin Ebrahimi, Email: a_ebrahimi@hlth.mui.ac.ir

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.3.6.0]

[DOI: 10.22122/jhsr.v14i3.3197]