

بررسی میزان حذف مالاشیت سبز و یون سرب از نمونه‌های آبی توسط کربن فعال بدست آمده از پسته وحشی

سید ضیاء محمدی^{۱*}، صدیقه بنی اسدی^۲، سمیرا افشاری پور^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۸

چکیده

در کار حاضر، یک نوع جدید کربن فعال بوسیله فعالسازی شیمیایی پسته وحشی با فسفریک اسید و استیک اسید به عنوان عوامل فعالساز تهیه شد. سپس رفتار جذبی رنگ مالاشیت سبز و یون سرب روی کربن‌های فعال تولید شده مطالعه شد. ساختار ریز کربن‌های فعال تولید شده توسط میکروسکوپ الکترونی بررسی گردید. پارامترهای موثر بر جذب از قبیل pH، غلظت اولیه و زمان تماس به روش پیمانه ای مطالعه و بهینه شدند. نتایج حاصل با انواع مدل‌های ایزوترم منطبق شدند. طبق مدل لانگمایر ماکزیم ظرفیت جذب یون سرب و مالاشیت سبز روی کربن فعال تهیه شده در دمای اتاق به ترتیب ۲۳/۸ و ۴۱/۷ میلی‌گرم بر گرم بدست آمد. نتایج بدست آمده در این مطالعه نشان دادند که کربن‌های فعال تهیه شده از پسته وحشی می‌تواند به عنوان یک جاذب موثر و ارزان قیمت برای حذف یون سرب و رنگ مالاشیت سبز از سیستم آبی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: فعال‌سازی شیمیایی، کربن فعال، مالاشیت سبز، یون سرب، پسته وحشی

^۱،* نویسنده‌ی مسئول: دانشیار شیمی، گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، تهران؛

Email: szmohammadi@yahoo.com

^۲. کارشناس ارشد شیمی، سازمان آب و فاضلاب، بم

^۳. کارشناس ارشد شیمی، دانشگاه پیام نور، بم

فلز سرب از جمله فلزات سنگینی است که مقدار بسیار کم آن نیز بسیار سمی می‌باشد. احتمال دارد که این فلز توسط انسان در محیط رها شده و وارد آب آشامیدنی، هوا، غذا یا تعداد محدودی تولیدات شیمیایی گردد. سرب از طریق تنفس، همراه آب و غذا یا جذب از طریق پوست وارد بدن شده و اگر با سرعتی بیش از راه‌های سم زدایی بدن در بافت‌ها تجمع کند، به تدریج سمیتش آشکار می‌گردد (شاکلا و پای^۱، ۲۰۰۴). برخلاف آلاینده‌های آلی در اثر مرور زمان تجزیه می‌شوند، یون‌های فلزی تبدیل به محصولات بی‌ضرر نمی‌گردند و به تدریج در بافت‌های زنده جمع شده و باعث انواع بیماری‌ها می‌گردند (بالوت و بایسال^۲، ۲۰۰۶). از جمله ممکن است که به پیوندهای عصبی آسیب رسانده و موجب بیماری‌های خونی و مغزی بشوند. تماس طولانی با این فلز یا نمک‌های آن مخصوصاً نمک‌های محلول یا اکسید غلیظ آن می‌تواند باعث بیماری‌های کلیه و دردهای شکمی شود (کوبیا^۳ و همکاران، ۲۰۰۵).

با افزایش جمعیت و بالا رفتن میزان تنوع درخواست محصولات نساجی و به تبع آن گسترش این صنایع، ایجاد تنوع در گونه‌های مختلف رنگ‌های مورد استفاده امری غیر قابل اجتناب گردیده است. غلظت‌های جزئی از رنگ‌ها در پساب‌های خروجی از صنایعی مانند صنایع نساجی قابل مشاهده بوده و بر مصرف کنندگان اثر نامطلوبی خواهد داشت.

تخلیه فاضلاب‌های رنگی به درون اکوسیستم‌های آبی علاوه بر اثرات زیبایی شناختی، باعث غنی سازی آبهای پذیرنده، ایجاد اختلال در زندگی آبزیان، سمیت، جهش‌زایی و سرطان‌زایی و ایجاد اختلالاتی در سلامتی انسان از قبیل تهوع، خونریزی و ایجاد زخم‌هایی بر روی پوست و همچنین آسیب به کلیه، کبد، مغز و سیستم عصب مرکزی می‌شوند.

مالاشیت سبز (MG) به‌عنوان یک رنگ پایه‌ای و کاتیونی، جزو گروه رنگ‌های بازی بوده و یکی از رنگ‌های رایج مورد استفاده در صنعت است. مالاشیت سبز برای رنگ کردن چرم، پشم، نخ و در تقطیر کننده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، به‌عنوان یک قارچ کش در صنعت کشت آبزیان برای کنترل بیماری‌های قارچی مربوط به ماهی‌ها استفاده شده

¹. Shukla & Pai

². Bulut & Baysal

³. Kobya & et al

است. این رنگ دارای ساختاری پیچیده بوده و به لحاظ زیستی قابل کاهش نیست. بنابراین حذف آن از پسماندهای صنایع و کارخانه‌ها به دلیل سمیت آن بسیار حائز اهمیت است (کرینی^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). امروزه در جهان کربن فعال به عنوان یکی از بهترین جاذب‌های فلزات سنگین و مواد آلی به طور گسترده‌ای رواج دارد. کربن‌های فعال با سطح ویژه بالا، خلل و فرج‌های ریز و طبیعت شیمیایی سطحشان جاذب‌های بسیار توانمندی برای خارج کردن فلزات سنگین از پساب صنایع می‌باشند. تنها محدودیت در استفاده از کربن فعال قیمت بالای آن است. مطالعات زیادی درباره تهیه کربن فعال ارزان از ضایعات کشاورزی نظیر هسته‌های میوه (باکوری^۲ و همکاران، ۲۰۰۹؛ سلیمانی و کاغذچی، ۲۰۰۸؛ زابانیوتو^۳ و همکاران، ۲۰۰۸)، پوست برنج (سرینیواسان^۴ و همکاران، ۱۹۹۸)، پوست بادام زمینی (ریکوردل^۵ و همکاران، ۲۰۰۱)، هسته خرما (هامور و ایمیش^۶، ۲۰۰۶؛ بوچلتا^۷ و همکاران، ۲۰۰۸؛ گیرگیس و ای-هنداوی^۸، ۲۰۰۲)، هسته زیتون (لوپزگنزالس^۹ و همکاران، ۱۹۸۰)، چوب زیتون (لوپزگنزالس و همکاران، ۱۹۸۶)، پوست بادام (آر-رینوس^{۱۰} و همکاران، ۱۹۸۲)، پوست گردو (کوتیکس^{۱۱} و همکاران، ۱۹۸۴)، پوست‌های نارگیل (آلرتز^{۱۲} و همکاران، ۱۹۸۹)، به فراوانی در دسترس می‌باشد.

در این مطالعه پسته وحشی به عنوان یک ماده جدید برای تهیه کربن فعال به طریقه فعال سازی شیمیایی) استفاده شد سپس از آنها جهت حذف یون سرب و رنگ مالاشیت سبز از محلول‌های آبی استفاده می‌شود و اثر عواملی مانند غلظت اولیه، pH و زمان تماس روی جذب یون‌های سرب و مالاشیت سبز مورد بررسی قرار گرفت.

1. Crini & et al

2. Bakouri & et al

3. Zabaniotou & et al

4. Srinivasan & et al

5. Ricordel & et al

6. Haimour & Emeish

7. Bouchelta & et al

8. Girgis & E.Hendawy

9. Lopez Gonzalez & et al

10. R.Reinoso & et al

11. Kutics & et al

12. Alaerts & et al

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد شیمیایی

محلول ذخیره سرب با غلظت ۱۰۰۰۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر از شرکت مرک آلمان تهیه شد. جهت تهیه محلول ۵۰۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر مالاشیت سبز مقدار ۰/۱۲۵۰ گرم مالاشیت سبز در آب مقطر دوبار تقطیر حل شده و در بالن حجمی ۲۵۰ میلی‌لیتر به حجم رسانده شد.

۲-۲- دستگاهوری

دستگاه جذب اتمی شعله مدل SensAA GBC ساخت کشور استرالیا مجهز به لامپ دوتریم برای تصحیح جذب زمینه و لامپ کاتدی توخالی سرب برای اندازه‌گیری جذب سرب با شعله هوا-استیلن استفاده شد.

دستگاه اسپکتروفتومتر مرئی- ماوراء بنفش مدل T90 ساخت شرکت PG کشور انگلستان برای اندازه‌گیری جذب مالاشیت سبز.

سانتریفیوژ مدل CE 148 ساخت شرکت شیماز ایران برای جداسازی کربن فعال از محلول.

کوره الکتریکی مدل TM-1200 ساخت شرکت گدازه‌ساز ایران.

ترازوی تجزیه‌ای مدل AND GR-200 ساخت کشور ژاپن با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم.

pH متر دیجیتالی متروم مدل ۶۹۲ ساخت کشور سوئیس.

۲-۳- تهیه کربن فعال

۲-۳-۱- جداسازی قسمت استخوانی

پسته وحشی یا بنه از سه قسمت تشکیل شده است:

الف) پوسته بیرونی که در بهترین نوع آن باید سبز رنگ باشند اما به رنگ‌های نارنجی و قهوه‌ای هم دیده می‌شود. این قسمت بسیار نازک می‌باشد.

ب) قسمت میانی که پوسته‌ای سخت و محکم می‌باشد.

ج) هسته مرکزی که یک جزء دانه روغنی بوده و فواید غذایی بسیار بالایی دارد. همچنین از روغن آن جهت درمان سوختگی استفاده می‌شود.

جهت تهیه کربن فعال ابتدا باید پوسته‌های وحشی آسیاب گردد. سپس با آب چندین مرتبه شستشو داده شود. در این صورت قسمت‌های استخوانی پسته وحشی که سنگین تر بوده در ته ظرف ته نشین می‌شوند و قسمت‌های دیگر سبک بوده و توسط آب به ظرف دیگر منتقل می‌-

شود. محلول رویی که شامل مغز و پوسته بیرونی پسته وحشی بوده جهت تغذیه به عنوان یک غذای محلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از چندین مرتبه شستشو و جداسازی، قسمت‌های سخت باقی مانده را با آب مقطر کاملاً شستشو داده و در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد در آون به مدت ۱۲ ساعت خشک می‌شود.

۲-۳-۲- فعالسازی شیمیایی

در این مرحله، پوسته‌های بدست آمده از مرحله قبل به دو قسمت تقسیم شده و هر قسمت به طور جداگانه به نسبت وزنی ۱ به ۲ با مواد فعال ساز اسید فسفریک و اسید استیک مخلوط شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط نگهداری شدند. پس از گذشت این زمان تمام مخلوط‌ها صاف شده و در هر مورد جامد باقیمانده پس از صاف شدن در داخل آون ۸۵ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت خشک گردید.

۲-۳-۳- کربنی شدن

در این مرحله، هر کدام از پوسته‌های بدست آمده از مرحله قبل پس از وزن شدن به دو قسمت تقسیم شد. سپس یک قسمت در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد و قسمت دیگر در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۳۰ دقیقه در کوره حرارت داده شد. در حین حرارت دادن گاز نیتروژن با سرعت سه میلی‌لیتر بر دقیقه از فضای درون کوره عبور داده شد. سپس کربن‌های فعال تولید شده برای خارج کردن مواد فعال کننده اضافی با آب دوبار تقطیر مورد شستشو قرار گرفتند. در نهایت کربن فعال حاصل به مدت ۱۲ ساعت در یک اون با دمای ۹۰ درجه سانتیگراد خشک شده و تا زمان استفاده در یک دسیکاتور قرار داده شد.

۲-۴- خواص جاذب‌های تهیه شده

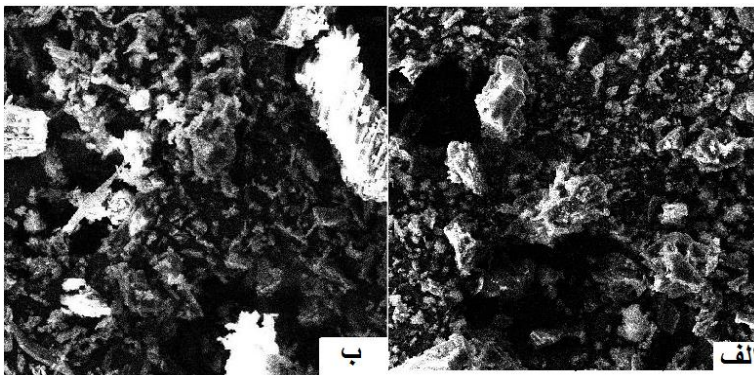
مقدار محصول کربن فعال از تقسیم وزن کربن فعال بعد از شستشو به مقدار مواد خام اولیه بدست می‌آید. درصد خاکستر کل طبق روش استاندارد ASTM D 2866-94 محاسبه شد. عدد یدی که میلی‌گرم‌های ید جذب شده به ازای یک گرم جاذب را نشان می‌دهد به وسیله ASTM 4607-94 تعیین شد. pH نقطه بار صفر (pH_{pzc}) به وسیله روش شرح داده شده به وسیله نه و اسکوارز^۱ (۱۹۸۹) محاسبه شد. خواص کربن فعال تهیه شده در جدول (۱) گزارش شده است.

^۱. Noh & Schwarz

جدول ۱. خواص کربن‌های فعال شده

پارامتر	کربن فعال شده با فسفریک اسید	کربن فعال شده با استیک اسید
pH نقطه بار صفر	۳/۷۶	۶/۸۰
درصد محصول	۴۷/۳۰	۳۹/۵۰
درصد خاکستر	۲/۱۰	۱/۸۰
عدد یدی (میلی گرم بر گرم)	۱۰۳۴/۵۰	۹۵۸/۹۲

ساختار ریز کربن فعال شده با فسفریک اسید و استیک اسید با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترون پویشی^۱ (SEM) بررسی و در شکل ۱ نشان داده شده است. تصویر میکروسکوپ الکترونی بدون پوشش فلزی و با بزرگنمایی ۵۰۰ بدست آمد. این تصاویر سطح متخلخل و نامنظمی را نشان می‌دهد و پیش‌بینی می‌شود که کربن‌های فعال تولید شده سطح ویژه نسبتاً بالایی داشته باشند.



شکل ۱. تصویر SEM کربن فعال سازی شده با (الف) اسید فسفریک و (ب) اسید استیک

۲-۵- بررسی توانایی جاذب‌ها برای حذف مالاشیت سبز

در این مرحله جهت انتخاب بهترین جاذب بدست آمده از پسته وحشی برای حذف مالاشیت سبز مقدار ۲۵ میلی‌لیتر محلول مالاشیت سبز با غلظت ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر را به ۰/۲ گرم از هر کدام از جاذب‌های تهیه شده اضافه نموده و به مدت ۳۰ دقیقه در داخل یک بشر

^۱. Scanning Electron Microscope (SEM)

توسط همزن کاملاً همزده می‌شود. جهت جداسازی جاذب از جذب شونده از سانتریفیوژ استفاده گردید. بدین ترتیب محلول از کربن فعال جدا شده و جذب هر کدام از محلول‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. ضمناً طول موج ماکزیمم برای جذب مالاشیت سبز ۶۱۷ نانومتر انتخاب گردید. نتایج این بررسی در جدول ۲ (تحت شرایط: حجم محلول ۲۵ میلی‌لیتر، غلظت مالاشیت سبز ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر، مقدار جاذب ۰/۲ گرم، زمان هم زدن ۳۰ دقیقه) خلاصه شده است.

جدول ۲. بررسی درصد حذف مالاشیت سبز توسط کربن‌های فعال

ماده فعال ساز	دمای فعال سازی (درجه سانتیگراد)	درصد حذف مالاشیت سبز
H ₃ PO ₄	۳۵۰	۱۰۰/۰
H ₃ PO ₄	۵۵۰	۶۴/۰
CH ₃ COOH	۳۵۰	۱۴/۶
CH ₃ COOH	۵۵۰	۵۷/۳

از میان چهار کربن فعال تولید شده، کربن فعال تولید شده با فعال ساز H₃PO₄ در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد به دلیل بالاتر بودن میزان جذب به عنوان جاذب برای حذف مالاشیت سبز انتخاب و سایر آزمایشات حذف مالاشیت سبز توسط آن انجام شد.

۲-۶- بررسی توانایی کربن‌ها فعال تولید شده برای حذف یون سرب

در این مرحله ۰/۲ گرم از هر کدام از جاذب‌های تهیه شده در دمای ۳۵۰ و ۵۵۰ درجه سانتیگراد را به ۲۰ میلی‌لیتر محلول یون سرب با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اضافه نموده و به مدت ۲۰ دقیقه در داخل ارلن روی شیکر با دور ۲۴۰ کاملاً هم زده شد. جهت جداسازی جاذب از محلول از سانتریفیوژ استفاده گردید. بدین ترتیب محلول از کربن فعال جدا شده و جذب هر کدام از محلول‌ها توسط دستگاه جذب اتمی شعله اندازه‌گیری شد. نتایج این بررسی در جدول ۳ (تحت شرایط: حجم محلول ۲۰ میلی‌لیتر، غلظت کاتیون ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، مقدار جاذب ۰/۲ گرم، زمان هم زدن ۲۰ دقیقه) خلاصه شده است.

جدول ۳. بررسی میزان حذف یون سرب

دمای فعالسازی (درجه سانتیگراد)	درصد حذف فلزات سنگین توسط کربن فعال شده با	
	CH ₃ COOH	H ₃ PO ₄
۳۵۰	۶۲/۰	۶۲/۵
۵۵۰	۷۴/۹	۶۳/۹

از میان چهار کربن فعال تولید شده، کربن فعال تولید شده با فعال ساز CH₃COOH در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد به دلیل بالاتر بودن میزان جذب به عنوان جاذب برای حذف یون سرب انتخاب و سایر آزمایشات حذف یون سرب توسط آن انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر pH محلول مالاشیت سبز و سرب

pH محلول متغیر مهمی می‌باشد که می‌تواند میزان جذب را تحت تاثیر قرار دهد زیرا pH می‌تواند خواص سطحی جاذب را تحت تاثیر قرار دهد. برای بهینه کردن pH مالاشیت سبز به طور جداگانه ۳۰ میلی‌لیتر محلول مالاشیت سبز با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را داخل بشر ریخته و pH آن در گستره ۲/۳ تا ۸ تنظیم شد، سپس به هر مورد ۰/۲ گرم کربن فعال اضافه شده و روی همزن مکانیکی با دور ۲۴۰ به مدت ۲۰ دقیقه کاملاً هم زده و پس از سانتریفیوژ جذب محلول صاف شده قرائت شد. برای تنظیم pH محلول از اسید نیتریک و سدیم هیدروکسید استفاده شده است. نتایج حاصل در شکل ۲ ارائه شده است.

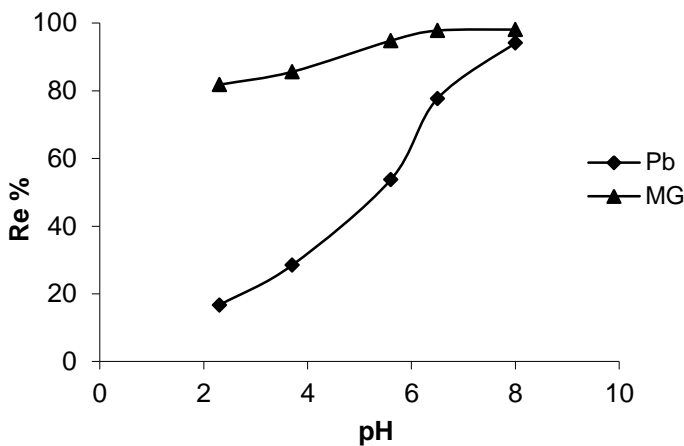
رفتار جذبی محلول سرب روی کربن فعال شده با اسید استیک در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد در گستره pH های ۲/۳ تا ۸ بررسی شد. برای بهینه کردن pH، مقادیر ۲۵ میلی‌لیتری از محلول یون سرب با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را داخل تعدادی ارلن ریخته و pH آنها به مقدار مورد نظر رسانده شد، سپس به هر مورد ۰/۲ گرم کربن فعال اضافه شده و روی همزن مکانیکی با دور ۲۴۰ به مدت ۲۰ دقیقه کاملاً هم زده شد. پس از سانتریفیوژ جذب محلول قرائت شد. برای تنظیم pH از اسید نیتریک و سدیم هیدروکسید استفاده شده است. نتایج

حاصل در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل pH حدود ۷ در مراحل بعدی تحقیق به عنوان بهترین pH در نظر گرفته شد. برای بدست آوردن درصد حذف از فرمول زیر استفاده شد:

$$R\% = (C_0 - C_e) / C_0$$

C_e = غلظت تعادلی محلول زیر صافی بر حسب میکروگرم بر گرم

C_0 = غلظت اولیه محلول بر حسب میکروگرم بر گرم

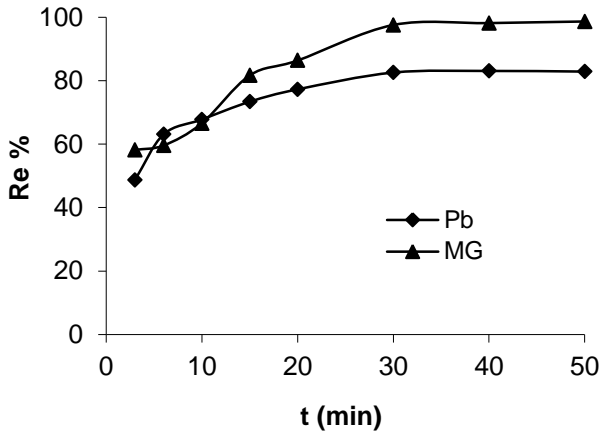


شکل ۲. درصد حذف یون‌های سرب و مالاویت سبز در مقابل pH

۲-۳- بهینه‌سازی زمان تماس مالاویت سبز و محلول سرب

برای بهینه‌سازی زمان تماس به طور جدا گانه ۳۰ میلی لیتر محلول مالاویت سبز با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر در pH بهینه در ۷ در زمان‌های متفاوت ۳ تا ۵۰ دقیقه روی همزن الکتریکی با ۲۴۰ دور در دقیقه در تماس با مقدار ۰/۲ گرم کربن فعال قرار داده و پس از اتمام زمان مورد نظر توسط سانتریفیوژ جاذب از محلول جدا شده و توسط اسپکتروفتومتر، جذب محلول قرائت شد. برای بهینه‌سازی زمان تماس برای محلول سرب مقدار ۲۵ میلی لیتر محلول نترات سرب با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر در pH بهینه در ۷ در زمان‌های متفاوت ۵ تا ۴۰ دقیقه روی شیکر با ۲۴۰ دور در دقیقه در تماس با مقدار ۰/۲ گرم کربن فعال قرار داده شد. پس از اتمام زمان مورد نظر توسط سانتریفیوژ جاذب از محلول جدا شده و جذب محلول قرائت شد. نتایج

حاصل در شکل ۳ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل زمان تماس ۳۰ دقیقه در مراحل بعدی تحقیق به عنوان بهترین زمان تماس در نظر گرفته شد.



شکل ۳. درصد حذف یون‌های مالا‌شیت سبز و سرب در مقابل زمان تماس

۳-۳- اثر غلظت اولیه محلول مالا‌شیت سبز و سرب

برای بررسی اثر غلظت اولیه مالا‌شیت سبز روی حذف رنگ، محلول‌هایی با غلظت‌های ۵۰۰، ۳۰۰، ۲۰۰، ۱۲۵ و ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر در pH بهینه تهیه شده و مانند آزمایشات قبل ۰/۲ گرم جاذب به ۳۰ میلی‌لیتر از محلول‌های بالا اضافه شده و به مدت ۳۰ دقیقه با همزن مکانیکی با دور ۲۴۰ هم زده شد. سپس محلول‌ها سانتریفیوژ شده و جذب محلول مالا‌شیت سبز قرائت شد. نتایج حاصل در جدول ۴ و شکل ۴ ارائه شده است. برای بررسی اثر غلظت اولیه سرب روی حذف سرب توسط کربن فعال، محلول‌هایی با غلظت‌های ۵۰۰، ۳۵۰، ۲۵۰، ۱۵۰، ۱۰۰، ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در pH بهینه تهیه شده و ۰/۲ گرم جاذب به ۲۵ میلی‌لیتر از محلول‌های بالا اضافه شده و به مدت ۲۰ دقیقه با همزن مکانیکی با دور ۲۴۰ هم زده شد. سپس محلول‌ها سانتریفیوژ شده و جذب محلول قرائت شد. نتایج حاصل در جدول ۵ و شکل ۵ ارائه شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که مقدار مالا‌شیت سبز و یون سرب جذب شده با افزایش غلظت محلول زیاد می‌شود ولی درصد حذف کاهش می‌یابد. این به این معنی است که خارج کردن مالا‌شیت سبز و یون سرب وابسته به غلظت می‌باشد. با افزایش غلظت امکان اشغال شدن

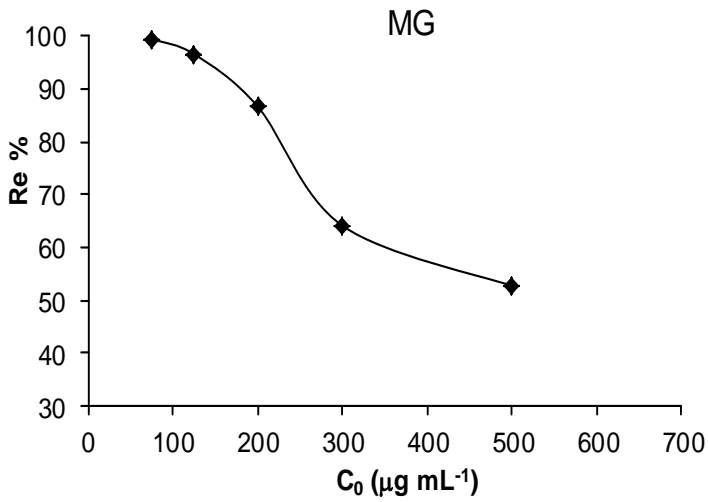
کلیه مکان‌های خالی جاذب، وجود ندارد و تعداد مکان‌های در دسترس کاهش می‌یابد و با وجود خالی بودن مکان‌های جاذب، درصد حذف یون‌ها بیشتر نمی‌شود.

جدول ۴. اثر غلظت اولیه روی درصد حذف مالاثیت سبز توسط کربن فعال

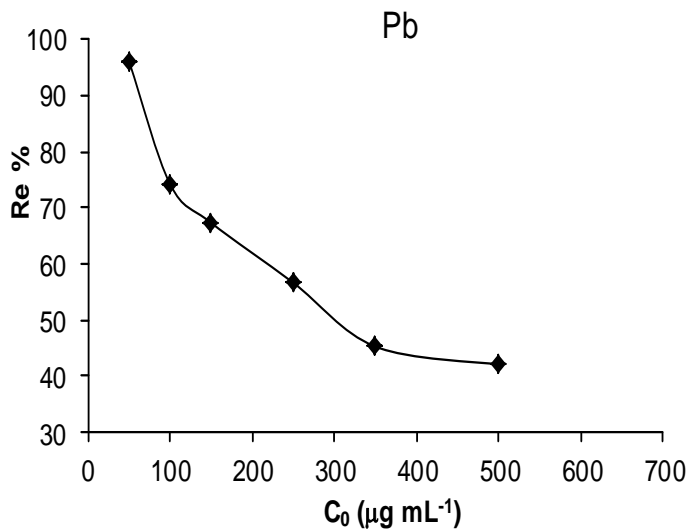
مالاثیت سبز (MG)			
درصد حذف	غلظت تعادلی (میلی گرم بر لیتر)	مقدار تعادلی روی سطح جاذب (میلی گرم بر گرم)	غلظت اولیه (میلی گرم بر لیتر)
۹۹/۵	۰/۳۶	۱/۱	۷۵
۹۶/۶	۰/۸۳	۱/۹	۱۲۵
۸۶/۷	۳۴/۰۰	۴/۴	۲۰۰
۶۴/۱	۷۱/۸۰	۳/۴	۳۰۰
۵۲/۷	۲۳۸/۲۰	۳/۹	۵۰۰

جدول ۵. اثر غلظت اولیه روی درصد حذف سرب توسط کربن فعال

سرب (Pb)			
درصد حذف	غلظت تعادلی (میلی گرم بر لیتر)	مقدار تعادلی روی سطح جاذب (میلی گرم بر گرم)	غلظت اولیه (میلی گرم بر لیتر)
۹۶/۱	۲/۰	۶/۰	۵۰
۷۴/۲	۲۵/۸	۹/۳	۱۰۰
۶۷/۳	۴۹/۰	۱۲/۶	۱۵۰
۵۶/۶	۱۰۸/۵	۱۷/۷	۲۵۰
۴۵/۲	۱۹۱/۸	۱۹/۸	۳۵۰
۳۵/۲	۳۲۴/۰	۲۲/۰	۵۰۰



شکل ۴. اثر غلظت اولیه روی درصد حذف مالاشیت سبز توسط کربن فعال



شکل ۵. اثر غلظت اولیه روی درصد حذف سرب توسط کربن فعال

۳-۴- آزمایشات همدماهای جذب مالاثیت سبز و یون سرب

برای بررسی همدماهای جذب از نتایج بدست آمده در مورد بررسی اثر غلظت استفاده شد. جهت بررسی همدماهای جذب به دانستن غلظت‌های تعادلی به جای میزان جذب نیاز است.

۳-۴-۱- همدمای فروندلیچ برای جذب مالاثیت سبز و سرب

همدماهای فروندلیچ می‌تواند به صورت زیر نوشته شود.

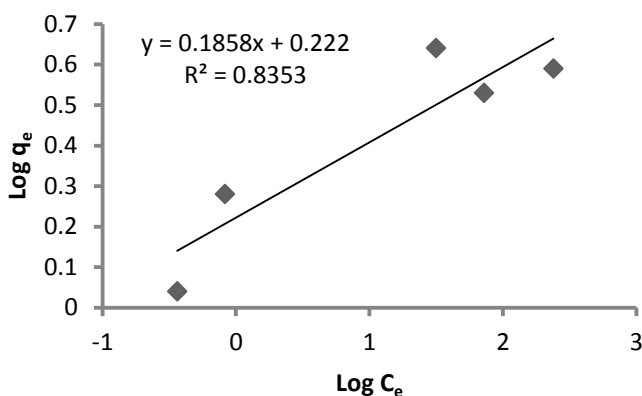
$$\log q_e = \log K_f + (1/n) \log C_e \quad \text{فرم خطی}$$

که K_f ثابتی است که نشان دهنده ظرفیت جذب نسبی جاذب بر حسب میلی گرم بر گرم و $1/n$ ثابتی است که نشان دهنده شدت جذب می‌باشد. ثابت‌های فروندلیچ از رسم $\log q_e$ در مقابل $\log C_e$ بدست می‌آید.

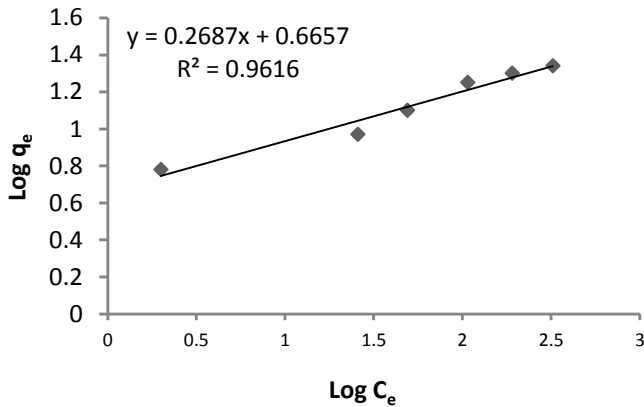
$$q_e = \text{غلظت تعادلی آنالیت روی سطح جاذب بر حسب میلی گرم بر گرم}$$

$$C_e = \text{غلظت تعادلی آنالیت جذب نشده بر حسب میلی گرم بر لیتر}$$

نتایج بدست آمده از بررسی همدمای فروندلیچ برای حذف مالاثیت سبز و سرب در شکل‌های ۶ و ۷ آورده شده است. ثابت‌های همدمای فروندلیچ برای جذب مالاثیت سبز و یون سرب در جدول ۶ ارائه شده است.



شکل ۶ منحنی همدمای فروندلیچ برای جذب مالاثیت سبز



شکل ۷. منحنی همدمای فروندلیچ برای جذب یون سرب

جدول ۶. ثابت‌های فروندلیچ برای جذب مالاشیت سبز و یون سرب

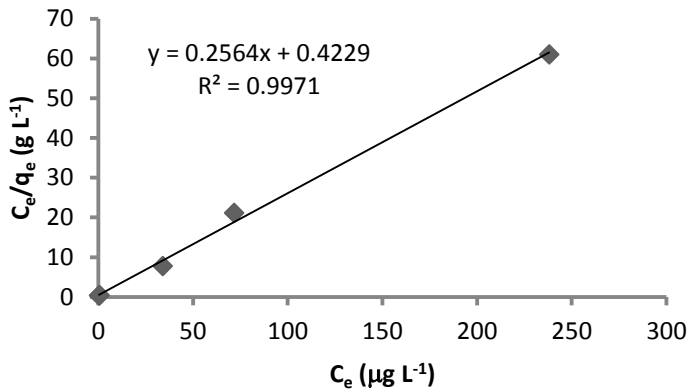
ثابت های همدمای فروندلیچ برای جذب سرب			ثابت های همدمای فروندلیچ برای جذب مالاشیت سبز		
k_f	$1/n$	R^2	k_f	$1/n$	R^2
۴/۶۵	۰/۲۷	۰/۹۶	۰/۱۲	۴۵/۵	۰/۸۹

۳-۴-۲- مدل لانگمویر برای جذب مالاشیت سبز و سرب

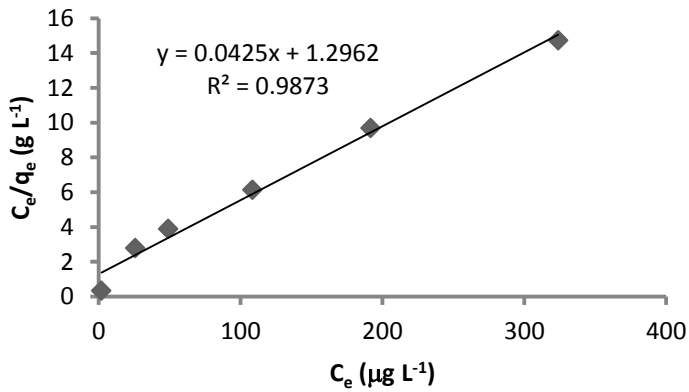
فرض اصلی مدل لانگمویر این است که جذب به طور یکنواخت روی سطح فعال صورت می‌گیرد و جذب تک لایه ای است. معادله لانگمویر می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$C_e / q_e = (1/Q^0 b) + (1/Q^0) C_e \quad \text{فرم خطی}$$

که q_e آنالیت جذب شده بر حسب میلی‌گرم بر گرم، C_e غلظت تعادلی آنالیت در توده محلول بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، Q^0 ظرفیت جذب تک لایه‌ای بر حسب میلی‌گرم بر گرم و b ثابتی است که به انرژی آزاد جذب بستگی دارد. ثابت‌های هم دماهای لانگمویر با رسم C_e/q_e در مقابل C_e بدست می‌آید. شکل ۸ و ۹ هم دماهای لانگمویر را برای جذب مالاشیت سبز و سرب نشان می‌دهد. ثابت‌های همدمای لانگمویر برای جذب مالاشیت سبز و یون سرب در جدول ۷ ارائه شده است.



شکل ۸. همدمای لانگمویر برای جذب مالاشیت سبز



شکل ۹. همدمای لانگمویر برای جذب سرب

جدول ۷. ثابت‌های همدمای مدل‌های لانگمویر برای جذب مالاشیت سبز و سرب.

ثابت‌های همدمای لانگمویر برای جذب سرب			ثابت‌های همدمای لانگمویر برای جذب مالاشیت سبز		
Q^0 (میلی گرم بر گرم)	b	R^2	Q^0 (میلی گرم بر گرم)	b	R^2
۴۳/۵	۱/۲۸	۰/۹۹	۴۱/۷	۰/۲۳	۰/۹۹

۴- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نشان داد که داده‌های تعادلی به طور رضایت بخشی توسط مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ توصیف می‌شوند. هزینه پایین و توانایی جذب سریع و ظرفیت بالای جذب این جاذب‌ها، یک روش مناسب برای پاکسازی پساب صنایع نتیجه می‌دهد. ظرفیت جذب کربن فعال با دیگر جاذب‌های معرفی شده در مراجع مقایسه و در جدول شماره ۸ و ۹ ارائه شده است. با بررسی جدول ۸ متوجه می‌شویم که کربن‌های فعال تولید شده از پسته وحشی برای خارج کردن مالاشیت سبز در مقایسه با تعدادی از جاذب‌های گزارش شده در مقالات ظرفیت بالاتری داشته و در حد کربن فعال با درجه خلوص تجزیه‌ای می‌باشد. همچنین مقایسه جاذب تهیه شده برای جذب یون‌های سرب از محلول‌های آبی نسبت به دیگر جاذب‌های گزارش شده در مقالات ظرفیت جذب بالاتری داشته و در حد کربن فعال تولید شده با هسته سنج‌می باشد.

جدول ۸. مقایسه ظرفیت جذب کربن فعال تولید شده از پسته وحشی با سایر جاذب‌ها جهت حذف مالاشیت سبز

منابع	ظرفیت جذب (میلی گرم بر گرم)	جاذب
(مال ^۱ و همکاران، ۲۰۰۵)	۴۲/۱۸	کربن فعال با درجه خلوص تجزیه‌ای
(مال و همکاران، ۲۰۰۵)	۸/۲۷	کربن فعال با درجه خلوص تجاری
(ایقبال و آشیک ^۲ ، ۲۰۰۷)	۰/۱۸	زغال فعال
(همداوی ^۳ و همکاران، ۲۰۰۸)	۳۳/۵۶	چوب مرده درخت کاج
کار حاضر	۴۱/۷۰	پوست پسته وحشی

¹. Mall & et al

². Iqbal & Ashiq

³. Hamdaoui & et al

جدول ۹. مقایسه ظرفیت جذب کربن فعال تولید شده از پسته وحشی با سایر جاذب‌ها جهت حذف سرب

منابع	ظرفیت جذب (میلی‌گرم بر گرم)	جاذب
(ایردم و اوزوردی ^۱ ، ۲۰۰۵)	۱۲/۴۳	سیدریت
(ادبوال ^۲ و همکاران، ۲۰۰۶)	۱۹/۲۷	کائولینیت
(فنگ ^۳ و همکاران، ۲۰۰۴)	۱۲/۶۳	خاکستر پوسته برنج
(محمدی و همکاران، ۲۰۱۰)	۲۵/۹۱	هسته سنجد
کار حاضر	۲۳/۸۰	پوست پسته وحشی

منابع

- Adebowale, K.O., Unuabonah, I.E. and Oiu-Owolabi, B.I. (2006). The effect of some operating variables on the adsorption of lead and cadmium ions on kaolinite clay, *J. Hazard. Mater*, 134: 130-139.
- Alaerts, G.J., Jitjaturant, V. and Keiderman, P. (1989). Use of coconut shell based activated carbon for chromium (VI) removal, *Water, Sci. Technol*, 21: 1701-1704.
- Bakouri, H., Usero, J., Morillo, J., Rojas, R. and Ouassini, A. (2009). Drin pesticides removal from aqueous solutions using acid treated date stones, *Biores. Technol*, 100: 2676-2684.
- Bouchelta, C., Medjram, M.S., Bertrand, O. and Bellat, J.P. (2008). Preparation and characterization of activated carbon from date stones by physical activation with steam, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 82: 70-77.
- Bulut, Y. and Baysal, Z. (2006). Removal of Pb(II) from wastewater using wheat bran, *J. Environ. Manag*, 78: 107-113.
- Crini, G., Peindy, H.N., Gimbert, F. and Robert, C. (2007). Removal of C.I. Basic Green 4 (Malachite Green) from aqueous solutions by adsorption using cyclodextrin-based adsorbent: Kinetic and equilibrium studies, *Sep. Purif. Technol*, 53: 97-110.
- Erdem, M. and Ozverdi, A. (2005). Lead adsorption from aqueous solution onto siderite, *Sep. Purif. Technol*, 42: 259-264.
- Feng, Q., Lin, Q., Gong, F., Sugita, S. and Shoya, M. (2004). Adsorption of lead and mercury by rice husk ash, *J. Coll. Interface Sci*, 278: 1-8.
- Girgis, S. and E.Hendawy, A. (2002). Porosity development in activated carbons obtained from date pits under chemical activation with phosphoric acid, *Micro. Meso. Mater*, 52: 105-117.
- Haimour, M. and Emeish, S. (2006). Utilization of date stones for production of activated carbon using phosphoric acid, *Waste Manage*, 26: 651-657.

¹. Erdem & Ozverdi

². Adebowale & et al

³. Feng & et al

- Hamdaoui, O., Chiha, O.M. and Naffrechoux, E. (2008). Ultrasound-assisted removal of malachite green from aqueous solution by dead pine needles, *Ultrason. Sonochem*, 15: 799-807.
- Iqbal, M.J. and Ashiq, M.N. (2007). Adsorption of dyes from aqueous solutions on activated charcoal, *J. Hazard. Mater. B*, 139: 57-66.
- Kobyas, M., Demirbas, E., Senturk, E. and Ince, M. (2005). Adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions by activated carbon prepared from apricot stone, *Biores. Technol*, 96: 1518-1521.
- Kutics, K., Kotsis, L., Szolcsanyi, P. and Argyelan, J. (1984). Production of activated carbon from walnut shell—I. Adsorption investigation and study of application characteristics, *Hung. J. Ind. Chem*, 12: 319-328.
- Lopez Gonzalez, J.D., M.Vilchez, F. and R.Reinoso, F. (1980). Preparation and characterization of active carbons from olive stones, *Carbon*, 18: 413-418.
- Lopez Gonzalez, J.D., V.Calahorro, C., N.Guijosa, A. and G.Serrano, V. (1986). Carbonization of olive wood: evolution of surface area and porosity with treatment temperature, *Ads. Sci. Techn*, 3: 41-48.
- Mall, I.D., Srivastava, V.C., Agarwal, N.K. and Mishra, I.M. (2005). Adsorptive removal of malachite green dye from aqueous solution by bagasse fly ash and activated carbon-kinetic study and equilibrium isotherm analyses, *Colloid Surface A: Physicochem, Eng. Aspects*, 264: 17-28.
- Mohammadi, S.Z., Karimi, M.A., Afzali, D. and Mansouri, F. (2010). Removal of Pb(II) from aqueous solutions using activated carbon from Sea-buckthorn stones by chemical activation, *Desalination*, 262: 86-93.
- Noh, J.S. and Schwarz J.A. (1989). Estimation of the point of zero charge of simple oxides by mass titration, *Colloid Interf. Sci*, 130: 157-164.
- Ricordel, S., Taha, S., Cisse, I. and Dorange, G. (2001). Heavy metals removal by adsorption onto peanut husks carbon: characterization kinetic study and modeling, *Sep. Purif. Technol*, 24: 389-401.
- R.Reinoso, F., L.Gonzalez, J.D. and Berenguer, C. (1982). Activated carbons from almond shells—I: preparation and characterization by nitrogen adsorption, *Carbon*, 20: 513-518.
- Shukla, S.R. and Pai, R.S. (2005). Adsorption of Cu(II), Ni(II) and Zn(II) on dye loaded groundnut shells and sawdust, *Sep. Purif. Technol*, 43: 1-8.
- Soleimani, M. and Kaghazchi, T. (2008). Adsorption of gold ions from industrial wastewater using activated carbon derived from hard shell of apricot stones-an agricultural waste, *Biores. Technol*, 99: 5374-5381.
- Srinivasan, K., Balasubramaniam, N. and Ramakrishnan, T.V. (1998). Studies on chromium removal by rice husk carbon, *Ind. J. Environ. Health*, 30: 376-387.
- Zabaniotou, A., Stavopoulos, G. and Skoulou, V. (2008). Activated carbon from olive kernels in a two stage process: Industrial improvement, *Biores. Technol*, 99: 320-326.