

استفاده از پسماند لیگنوسولوزی سویا برای رنگ‌زدایی از پساب آلوده شده با رنگ واکنشی RBB

علیرضا ضیاپور^{۱*}، زهرا کاظمی کرچنگی^۲ و نگین کاظمی کرچنگی^۳

*^۱- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری صنایع سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، پست الکترونیک: Ali.ziapour@yahoo.com

^۲- دانشجوی دکتری صنایع سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۳- دانشجوی کارشناسی صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: خرداد ۱۴۰۱

چکیده

رنگ فاضلاب به‌عنوان یک مشکل عمده زیست‌محیطی مطرح است. تصفیه شیمیایی و بیولوژیکی پساب‌های حاوی رنگ به دلیل سطح پائین جذب و پایداری شیمیایی مواد رنگی دشوار است. به همین منظور، برای جذب این مواد از کربن فعال استفاده می‌شود، محققان درصدد یافتن موادی ارزان‌قیمت با کارایی جذب بالا و قابل دسترس هستند. در این تحقیق از پسماند لیگنوسولوزی سویا برای جذب رنگ ریموزول بلک بی (Remozol Black B) استفاده شده است. ابتدا اثر غلظت رنگ RBB، pH، دما و زمان تماس بر مقدار جذب بررسی شد و بعد تبعیت ایزوترم جذب از مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ بررسی گردید. نتایج نشان داد که کارایی جذب به مقدار زیادی به pH محلول و به مقدار کمتری به دمای محلول وابسته است. سرعت جذب رنگ RBB با پسماند سویا سریع است و جذب در مدت زمان کمی کامل می‌شود. نتایج بررسی ایزوترم جذب نشان داد که هر دو مدل برای توصیف جذب رنگ RBB با سویا مناسب هستند. حداکثر ظرفیت جذب رنگ RBB توسط پسماندهای سویا برابر با ۹/۹۰ میلی‌گرم بر گرم محاسبه شد که از برخی از جاذب‌های ارزان مطالعه شده بیشتر و از برخی دیگر مانند پسماند لیگنوسولوزی کلزا کمتر بود.

واژه‌های کلیدی: ایزوترم جذب، پسماند لیگنوسولوزی سویا، جذب، رنگ RBB

مقدمه

نور به داخل آب جلوگیری کرده و باعث متخلخل شدن فرایند فتوسنتز می‌شوند. در سال‌های اخیر، صنایع تحت فشار شدید مسئولان و افکار عمومی قرار دارند تا پساب‌های خود را قبل از تخلیه به محیط‌های طبیعی، به نحو مطلوبی تصفیه نمایند. از این‌رو، یافتن روش‌های مؤثر تصفیه موضوعی ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. در طی سالیان متمادی، روش‌های شیمیایی مختلف مانند نانو کاتالیزورهای نوری، فتوفنتون و ازوناسیون، صاف کردن و غیره برای تصفیه پساب‌های نساجی برای حذف مواد رنگ‌زا و غیره مورد استفاده قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان داده‌اند که حدود ۱۲ درصد از رنگ مصرفی

حفظ محیط‌زیست از آلودگی‌هایی که به‌وسیله صنایع و فناوری‌های مدرن ایجاد می‌شود یکی از نگرانی‌های امروزی به دلیل به خطر انداختن سلامت و بهداشت عمومی جامعه است (Nghui, 2009). تخلیه پساب‌های رنگی و غیر رنگی صنایع مختلف مانند نساجی، کاغذ، آرایشی و بهداشتی، کشاورزی، پلاستیک و چرم معضلات زیست‌محیطی شدیدی را به وجود می‌آورد؛ زیرا سمی بودن برخی از رنگ‌زاهای فقط موجب آسیب دیدن مناظر زیبای طبیعی نمی‌شوند بلکه به اکوسیستم‌های آبی نیز ضرر می‌رسانند. برای نمونه، از نفوذ

حجمی کم و همین‌طور تخلخل زیاد پسماند لیگنوسولوزی سویا از مهمترین عوامل مؤثر در جذب مواد رنگی است. در این تحقیق، کارایی و قابلیت این ماده به‌عنوان یک ماده ارزان قیمت و در دسترس برای جذب رنگ RBB از آب آلوده شده به این رنگ بررسی شده و با کارایی جذب کرین فعال و سایر جاذب‌های مطالعه شده مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

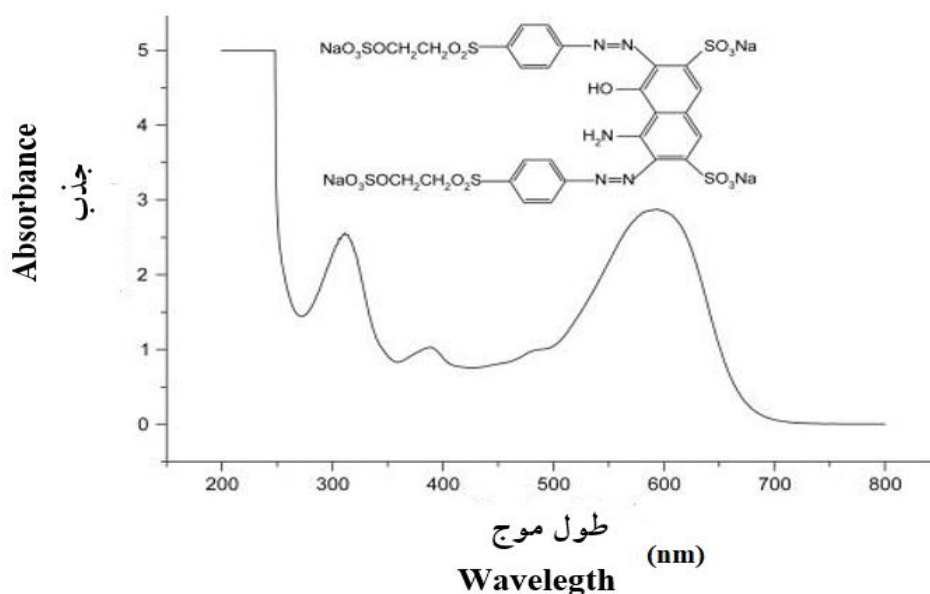
پسماند سویا از دانه‌های سویا که برای تولید روغن گیاهی کاشته می‌شوند به دست می‌آیند. به دلیل افزایش کاشت این گیاه در ایران پسماند لیگنوسولوزی حاصل از آن نیز افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. پسماند سویا از مزارع پژوهشی دانشگاه تهران جمع‌آوری شد و پس از هوا خشک شدن تا رطوبت حدود ۸ درصد با آسیاب آزمایشگاهی به قطعات ریزی تبدیل شد. سویای آسیاب شده با استفاده از غربال ۴۰ و ۱۰۰ مش غربال و ذرات قرار گرفته روی مش ۱۰۰ برای آزمایش جذب استفاده شدند که ابعادی بین ۰/۱ تا ۰/۳ سانتی‌متر داشتند. پس از غربال شدن درون کیسه نایلون ریخته شد و پس از یک هفته رطوبت آنها با نمونه‌گیری و خشک کردن نمونه‌ها در اتو با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد.

رنگ اسیدی مورد آزمایش با نام تجاری رنگ اسیداورانژ ۷ می‌باشد که به‌طور گسترده در صنایع نساجی و کاغذسازی استفاده می‌شود (Mehrasbi, 2008). ساختار شیمیایی این رنگ و طیف UV-Visible آن در شکل ۱ نشان داده شده است. حداکثر جذب این رنگ در طول موج ۴۹۷ نانومتر انجام شده است و این طول موج مقدار جذب تابع pH محلول نیست.

در صنایع نساجی وارد پساب می‌شوند و از این مقدار حدود ۲۰ درصد به همراه پساب تصفیه شده به طبیعت باز می‌گردند (Weber, 1993).

برای جداسازی این رنگ‌های مخاطره‌آمیز که برای طبیعت و محیط‌زیست تهدید جدی به حساب می‌آیند روش‌های مختلفی شامل روش‌های شیمیایی، روش‌های فیزیکی و روش‌های زیستی استفاده شده است. یادآوری می‌شود که به دلیل آلی بودن این رنگ‌ها و حل شدن یکنواخت آن در آب، جداسازی آنها مشکل است، در نتیجه تحقیقات زیادی در زمینه ایجاد سیستمی کارآمد و مقرون به‌صرفه برای تصفیه پساب‌های رنگی در جریان است. تصفیه شیمیایی و بیولوژیکی پساب‌های حاوی این مواد به دلیل سطح پائین جذب و پایداری شیمیایی مواد رنگی دشوار است و بیشتر نتایج رضایت‌بخشی ندارند؛ بنابراین برای تصفیه پساب‌های حاوی ترکیبات رنگی عمدتاً از روش‌های غیرمعمول، مثل جذب این ترکیبات بر روی جاذب‌های مختلف استفاده می‌شود (Ncibi, 2007). بهترین و بیشترین جذب را در این زمینه کرین فعال دارد و برای انواع آلاینده‌ها مناسب است، ولی به دلیل قیمت زیاد و مشکلات بازیابی دوباره آن محققان در پی یافتن جاذب‌های ارزان قیمت و کارآمدی هستند (Oladoja, 2009).

مواد لیگنوسولوزی به دلیل دسترسی فراوان، ارزان بودن، قابلیت تولید هرساله و زیست‌تخریب‌پذیر بودن برای جذب رنگ‌های مختلف از پساب‌های صنایع نساجی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و در مطالعات متعددی قابلیت این مواد برای جذب رنگ از پساب‌های حاوی مواد رنگی بررسی شده است (Oladoja, 2009; Mahvi, 2008; Ncibi, 2007). سویا یک پسماند لیگنوسولوزی است که تولید آن در ایران و جهان به دلیل افزایش تولید و مصرف روغن‌های گیاهی در حال افزایش است. به دلیل فراوانی، در دسترس بودن، جرم



شکل ۱- ساختار شیمیایی و طیف UV-Visible رنگ RBB

Figure 1. Chemical structure and UV-Visible spectrum of RBB paint

جذب

۴ نرمال و سدیم هیدروکسید ۱ نرمال انجام شد. بعد از تنظیم شرایط، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت بر روی شیکر با دور ۱۲۰ دور در دقیقه قرار داده شدند تا همزدن آرام و مؤثری انجام شود. پس از ۲۴ ساعت محلول‌های مورد نظر با کاغذ صافی واتمن فیلتر شدند و غلظت رنگ باقیمانده در محلول با طیف-سنجی UV-Visible اندازه‌گیری شد و بعد درصد کاهش رنگ و مقدار جذب به ترتیب با استفاده از معادلات ۱ و ۲ محاسبه شد. در این معادله‌ها، C_0 غلظت اولیه رنگ و C_t غلظت رنگ بعد از تیمار جذب در مدت زمان t برحسب میلی‌گرم بر لیتر، R درصد حذف رنگ، V حجم محلول برحسب لیتر و M جرم ذرات سویا برحسب گرم است.

$$R = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{M} \quad (2)$$

برای تعیین pH بهینه جذب، ۸ نمونه از محلول رنگ به حجم ۵۰ میلی‌لیتر، با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، مقدار ماده چوبی ۵ گرم بر لیتر در دمای محیط تهیه شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت

ابتدا محلولی از رنگ RBB با غلظت ۱۰۰۰ میلی به محلول‌های رقیق با غلظت‌های مورد نیاز (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) تبدیل شد. برای تعیین میزان حذف، از اسپتکتروفومتر UV-Visible با توجه به طول موج حداکثر جذب استفاده شد. ابتدا میزان جذب غلظت‌های مورد نظر در طول موج ۶۰۰ نانومتر سنجیده شد تا یک منحنی کالیبراسیون بین غلظت رنگ و مقدار جذب در طول موج ۶۰۰ نانومتر محاسبه شود. با استفاده از این منحنی، میزان جذب رنگ بوسیله سویا بعد از هر آزمون با توجه به مقدار جذب آن در طول موج ۶۰۰ نانومتر قبل و بعد از تیمار قابل محاسبه است.

برای بررسی اثر pH، دما و غلظت رنگ بر سرعت و ظرفیت جذب، ابتدا مقدار مورد نظر از وزن خشک ماده لیگنوسلولزی (با احتساب رطوبت آن) در یک ظرف پلاستیکی با حجم حدود ۱۰۰ میلی‌لیتر ریخته شد. آنگاه از مقدار ماده چوبی به اندازه ۵ گرم بر لیتر برداشته شد و محاسبات بر مبنای آن انجام شد. سپس حجم مشخصی محلول رنگی با غلظت مشخص به آن اضافه شد. تنظیم pH محلول حاوی ماده چوبی با استفاده از محلول اسیدسولفوریک

همان‌طور که گفته شد محلول حاوی رنگ و ماده چوبی از کاغذ صافی واتمن عبور داده شد و غلظت رنگ باقیمانده در آن با استفاده از طیف‌سنجی UV-Visible سنجیده شد.

برای تعیین دمای بهینه جذب، سه نمونه از محلول رنگ به حجم ۵۰ میلی‌لیتر، با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار ماده چوبی ۵ گرم بر لیتر در pH بهینه تعیین شده تهیه شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در سه دمای ۲۰، ۳۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برای تنظیم دمای نمونه‌ها در ۲۰ درجه سانتی‌گراد از اتاق کلیماتیزه با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد (مخصوص کلیماتیزه کردن چوب و فراورده‌های آن) و برای تنظیم دمای نمونه‌ها در دو دمای ۳۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد از همزن محفظه‌دار دارای کنترل دما و رطوبت (Shaker Incubator) با قابلیت تنظیم دما استفاده شد. پس از صاف کردن با کاغذ صافی واتمن ۴۰، مقدار جذب با طیف سنجی مشخص شد.

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{bQ_m} + \frac{C_e}{Q_m} \quad (3)$$

که در آن، Q_e مقدار رنگ جذب شده به ازای واحد جرم جاذب در شرایط تعادل (mg/g)، Q_m حداکثر رنگ جذب شده برای ایجاد یک لایه رنگ یا مونولایر (Mono Layer) (mg/g)، C_e غلظت تعادل رنگ در محلول (mg/l) و b مقدار ثابت وابسته به انرژی جذب (l/mg) است. ثابت تعادل جذب با K_L (L/g) نشان داده می‌شود که به مقدار b و Q_m وابسته است و مقدار آن به شرح زیر محاسبه می‌شود (معادله ۴).

$$K_L = Q_m b \quad (4)$$

پارامتر اصلی معادله لانگمویر که شکل منحنی ایزوترم را نشان می‌دهد، یک ثابت بدون بعد به نام پارامتر تعادل (R_L) است که با معادله ۵ تعیین می‌شود که در آن C_0 غلظت اولیه رنگ (mg/l) است. اگر مقدار R_L برابر صفر شود، بیانگر ایزوترم غیرقابل برگشت، $0 < R_L < 1$ ، بیانگر ایزوترم مطلوب، $R_L = 1$ ، بیانگر ایزوترم خطی و $R_L > 1$ ، بیانگر ایزوترم نامطلوب است (Amin, 2008; Mortazavi, 2010).

$$R_L = \frac{1}{1 + bC_0} \quad (5)$$

مدل فروندلیچ جذب حداکثری را پیش‌بینی نمی‌کند و شکل خطی آن به صورت معادله ۶ است (Oladoja, 2009; Mehraşbi, 2008; Silva, 2004).

$$\log Q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (6)$$

Q_e مقدار رنگ جذب شده به ازای واحد جرم جاذب در شرایط تعادل (mg/g) و C_e غلظت تعادل رنگ در محلول (mg/l) است. با رسم منحنی لگاریتم Q_e به صورت تابعی از لگاریتم C_e ، می‌توان مقادیر n و K_F را محاسبه کرد. n و K_F ثابت‌های مدل فروندلیچ هستند. K_F بیان‌کننده مقدار جذب

برای تعیین اثر زمان بر روی میزان جذب، محلول با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با pH خنثی تهیه شد و بعد در زمان‌های (۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ دقیقه) اندازه‌گیری شد. در این آزمایش نیز میزان ماده چوبی ۵ گرم بر لیتر و مقدار ۵۰ میلی‌لیتر محلول تهیه شد.

برای تعیین اثر غلظت رنگ بر جذب، ۶ نمونه رنگ به حجم ۵۰ میلی‌لیتر، با مقدار ماده چوبی ۵ گرم بر لیتر در شرایط pH و دمای بهینه با غلظت‌های (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) تهیه شد و پس از ۲۴ ساعت فیلتر و مقدار جذب در نمونه‌ها تعیین شد تا اثر غلظت رنگ بررسی شود.

آزمون‌های لازم برای بررسی جذب ایزوترم با انتخاب شرایط پایه شامل دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و pH برابر ۲ باید انجام شود؛ اما در اینجا به دلیل اینکه pH برابر ۲ باعث خوردگی تجهیزات صنعتی می‌شود از pH خنثی یعنی ۷ استفاده شد. مقدار ماده چوبی استفاده شده در آزمایش‌ها ۵ میلی‌گرم در لیتر پسماند سویا و غلظت‌های مختلف رنگ از ۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شد. در این تحقیق از دو مدل ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ برای بررسی نتایج تجربی استفاده شد. شکل خطی مدل لانگمویر (Ncibi, 2009)

مشخصی دارد اما بعد از رسیدن به pH خنثی مقدار جذب با افزایش pH تغییرات کمی دارد. pH پساب‌های رنگی در جذب سطحی رنگ و ظرفیت جذب بسیار مؤثر است. این موضوع ناشی از تغییر میزان یونیزاسیون گروه‌های عاملی موجود در جایگاه‌های جذب و در نتیجه تغییر بار سطح جاذب و همچنین میزان یونیزاسیون مواد موجود در محلول است. همان‌طور که در بخش مواد مورد استفاده اشاره شد، رنگ RBB دارای گروه عاملی سولفونات است که در آب یونیزه شده و موجب آنیونی شدن مولکول آن می‌شود. افزایش دما در میزان جذب

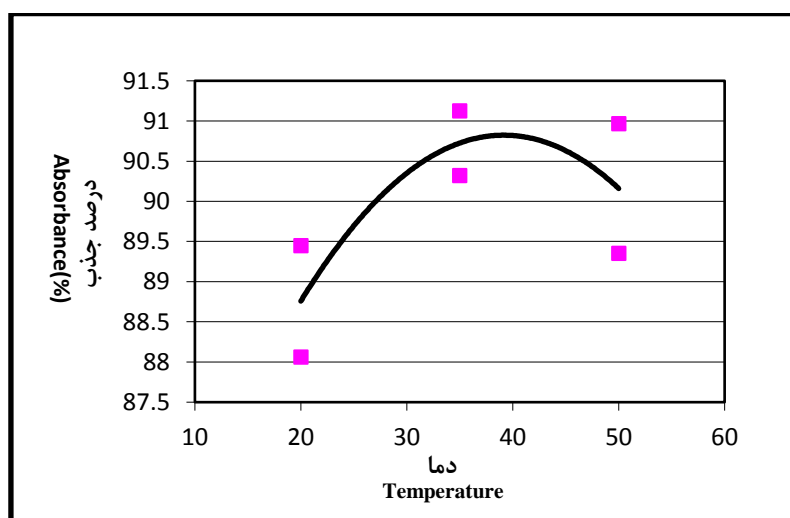
روند افزایشی دارد اما زیاد مشهود نیست و می‌توان از آن صرف‌نظر کرد و برای پایین آوردن هزینه‌ها، عمل جذب را در دمای محیط انجام داد.

رنگ به ازای هر واحد غلظت تعادل است و n بیانگر نحوه توزیع ذرات مواد جذب شونده متصل شده به سطح ماده جاذب است. $1/n$ با مقادیر بین ۰ تا ۱ بیانگر ناهمگنی سطح است. البته هرچه n به صفر نزدیک‌تر شود، ناهمگنی سطح افزایش می‌یابد. اگر مقدار $1/n$ کمتر از ۱ شود، بیانگر جذب ایزوترم فروندلیچ خواهد بود (Amin, 2008).

نتایج

اثر دما و pH بر کارایی جذب

اثر دما در شکل ۲ و اثر pH در شکل ۳ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که به‌طورکلی با افزایش دما و pH میزان جذب رنگ اسید اورانژ ۷ توسط سویا کاهش می‌یابد. کاهش مقدار جذب در اثر افزایش pH ابتدا روند کاهشی



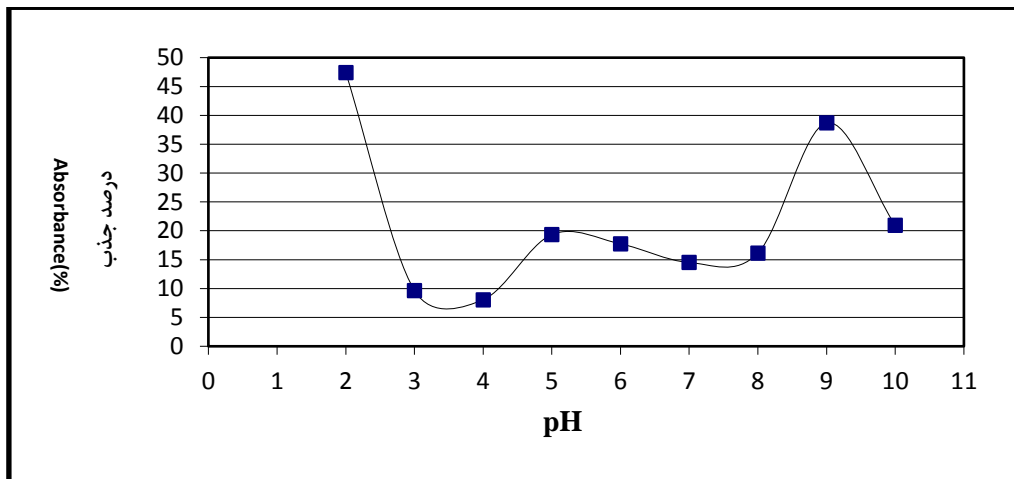
شکل ۲- اثر دما بر میزان جذب اسید اورانژ ۷ با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با پسماند سویا در زمان ۲۴ ساعت

Figure 2. Effect of temperature on the absorption of orange acid 7 with a concentration of 100 mg / l with soybean waste in 24 hours

در غلظت‌های بالا میزان جذب بیشتری را دارد و با گذشت زمان سرعت جذب کاهش می‌یابد. این موضوع از نظر حجم مخازن و ماندگاری پساب در آنها حائز اهمیت است و هرچه سرعت جذب بیشتر باشد زمان کمتری برای تصفیه صرف شده و حجم تصفیه نیز افزایش می‌یابد، همچنین فضای مورد نیاز در منافذ و حفره‌ها کمتر می‌شود.

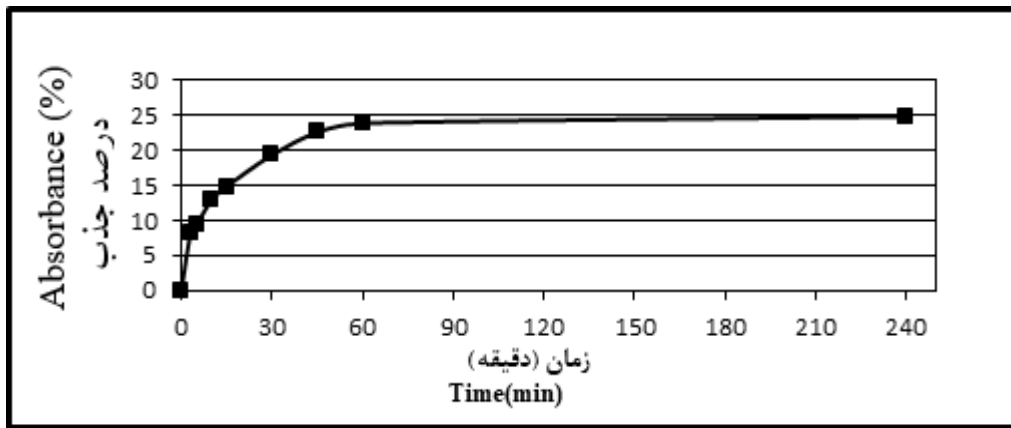
اثر مدت زمان تیمار و غلظت رنگ بر جذب

اثر زمان تیمار در شکل ۴ و اثر غلظت رنگ RBB بر میزان جذب در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ در ساعت اولیه جذب، حداکثر جذب اتفاق افتاده و بعد نمودار تقریباً ثابت شده است. در شکل ۵ ملاحظه می‌شود که حدود ۹۵ درصد جذب در ۱۵ دقیقه اولیه اتفاق افتاده و سویا



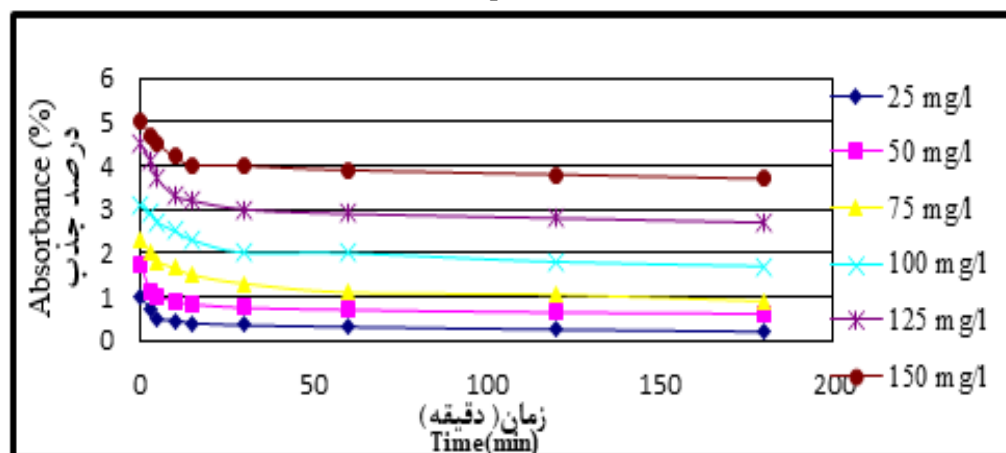
شکل ۳- اثر pH بر میزان جذب اسید اورانژ ۷ با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر با پسماند سویا در زمان ۲۴ ساعت

Figure 3. Effect of pH on the absorption of orange acid 7 with a concentration of 100 mg / l with soybean waste in 24 hours



شکل ۴- اثر دما بر میزان جذب RBB با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر با پسماند سویا در دمای محیط (۳۵ درجه سانتی گراد)

Figure 4. Effect of temperature on the absorption of RBB with a concentration of 100 mg / l with soybean residue at room temperature (35 ° C)



شکل ۵- اثر غلظت بر میزان جذب RBB با پسماند سویا در دمای محیط (۳۵ درجه سانتی گراد) و مدت زمان ۱۸۰ دقیقه

Figure 5. Effect of concentration on the adsorption rate of RBB with soybean residue at ambient temperature (35 ° C) and duration of 180 minutes

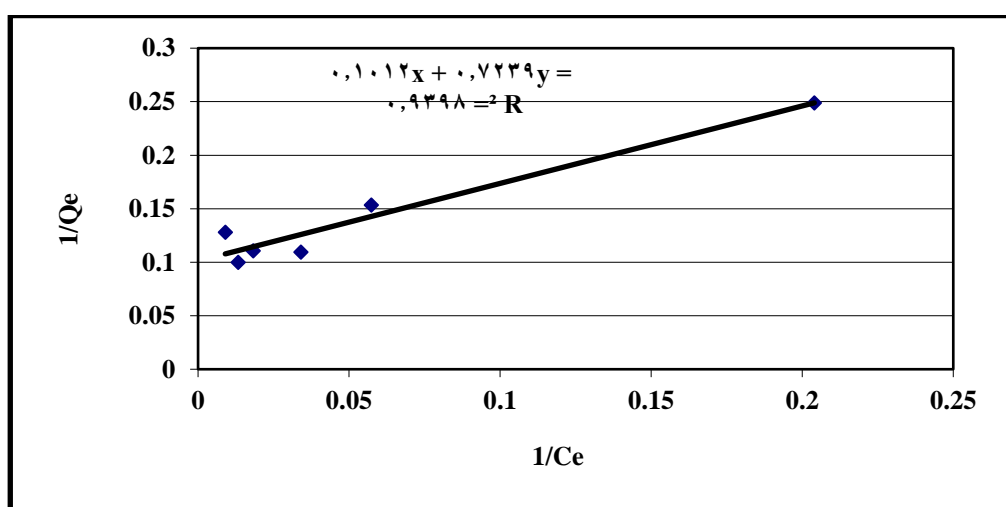
بحث

ایزوترم جذب

نتایج تجربی آزمون‌های اولیه مشخص کرد که با افزایش مدت زمان تماس، مقدار جذب افزایش می‌یابد و به حداکثر خود می‌رسد. جذب رنگ‌زا در دقایق اولیه با سرعت زیادی انجام می‌شود و با افزایش زمان مقدار جذب کاهش می‌یابد. این موضوع به دلیل کاهش غلظت رنگ‌زا در محیط و کاهش نقاط فعال در سطح جاذب است. ملاحظه می‌شود که مقدار جذب بعد از ۱۲۰ دقیقه به مقدار

معنی‌داری افزایش نمی‌یابد، در این حالت میزان جذب تحت کنترل انتقال رنگ‌زا جذب شده از سطح ذرات جاذب به درون ذرات جاذب است؛ بنابراین برای بررسی ایزوترم و سینتیک جذب، مدت زمان ۱۲۰ دقیقه به عنوان زمان لازم برای رسیدن به تعادل در نظر گرفته شد.

در شکل ۶ نمودار $1/q_e$ به صورت تابعی از $1/c_e$ و معادله مشتق از آن بر اساس نتایج تجربی نشان داده شده است. با توجه به این معادله، مقادیر K_L ، R_L ، b و حداکثر ظرفیت جذب (q_m) محاسبه شد که مقادیر آنها در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۶- نمودار $1/q_e$ به صورت تابعی از $1/c_e$ و معادله مشتق از آن بر اساس مدل لانگمویر

Figure 6. Graph $1/q_e$ as a function of $1/c_e$ and its equation based on Langmuir model

جدول ۱- ثابت‌های جذب رنگ‌زا مورد مطالعه با سویا بر اساس مدل لانگمویر

Table 1- Dye adsorption indices studied with Soba based on Langmuir model

R^2	K_L	b (l/g)	q_m (mg/g)	نوع رنگ
0.939	0.167	0.01689	9.90	RBB

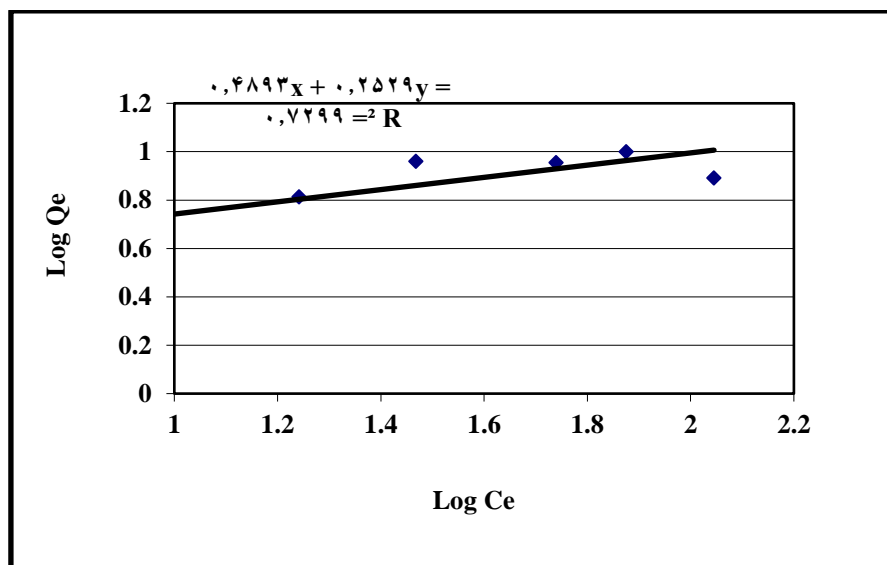
است که به‌طور یکنواختی در سطح ذرات سویا پراکنده شده اند. در بررسی جذب رنگ‌زا Remozole Black B با استفاده از سویا، مقدار R_L در محدوده بین صفر و یک تعیین شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. با استفاده از مدل لانگمویر، ظرفیت حداکثری جذب این رنگ‌زا ۹/۹۰ میلی گرم بر گرم محاسبه شد.

بررسی پدیده جذب با استفاده از معادله فروندلیچ با رسم

بررسی نتایج مندرج در جدول ۱ نشان می‌دهد که ضریب همبستگی معادله حاصل در حد بالایی قرار دارد، بنابراین می‌توان گفت که جذب رنگ‌زای مورد مطالعه از معادله لانگمویر تبعیت می‌کند. به‌علاوه، مقادیر عددی R_L آزمون‌ها در دامنه $0 < R_L < 1$ قرار دارند که نشان‌دهنده جذب مطلوب این رنگ‌زا با سویاست. با توجه به این نتایج می‌توان گفت ذرات سویا دارای تعداد مشخصی از نقاط جذب رنگ‌زا واکنشی

جذب این رنگ‌زا با سویا استفاده شود. در مطالعات مختلفی تبعیت پدیده جذب از هر دو ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ مشاهده شده است، ولی با توجه به بیشتر بودن ضریب همبستگی در معادله حاصل از مدل لانگمویر در مقایسه با مدل فروندلیچ، معادله لانگمویر مدل بهتری برای جذب رنگ‌زا RBB با استفاده از سویاست.

منحنی لگاریتم q_e به صورت تابعی از لگاریتم ce در شکل ۷ ارائه شده است. بر اساس معادله به دست آمده، مقادیر K_F و $1/n$ به ترتیب به مقدار $۲/۹۵۵۲$ و $۰/۱۸۹۱$ محاسبه شد. با توجه به اینکه مقدار عددی $1/n$ بین ۰ تا ۱ قرار دارد، بنابراین می‌توان گفت که سطح جاذب حالت ناهمگنی دارد. این نتایج نشان می‌دهد که معادله فروندلیچ هم می‌تواند برای مدل‌سازی



شکل ۷- نمودار $\log q_e$ به صورت تابعی از $\log c_e$ بر اساس مدل فروندلیچ برای رنگ‌زا مورد بررسی

Figure 7. The log q_e diagram is a function of the log c_e based on the Freundlich model for the dye

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303} t \quad (7)$$

در مدل شبه درجه دوم، فرض بر این است که جذب شیمیایی کنترل‌کننده پدیده جذب است و سرعت اشغال سایت‌های جذب، متناسب با مجذور تعداد سایت‌های اشغال نشده است. شکل خطی سینتیک شبه درجه دوم به صورت معادله ۸ است و مقادیر k_2 و q_e با رسم منحنی t/qt به صورت تابعی از t محاسبه می‌شود. اگر معادله شبه درجه دوم قابل کاربرد باشد، منحنی t/qt به صورت تابعی از t یک خط راست با ضریب همبستگی زیاد خواهد شد.

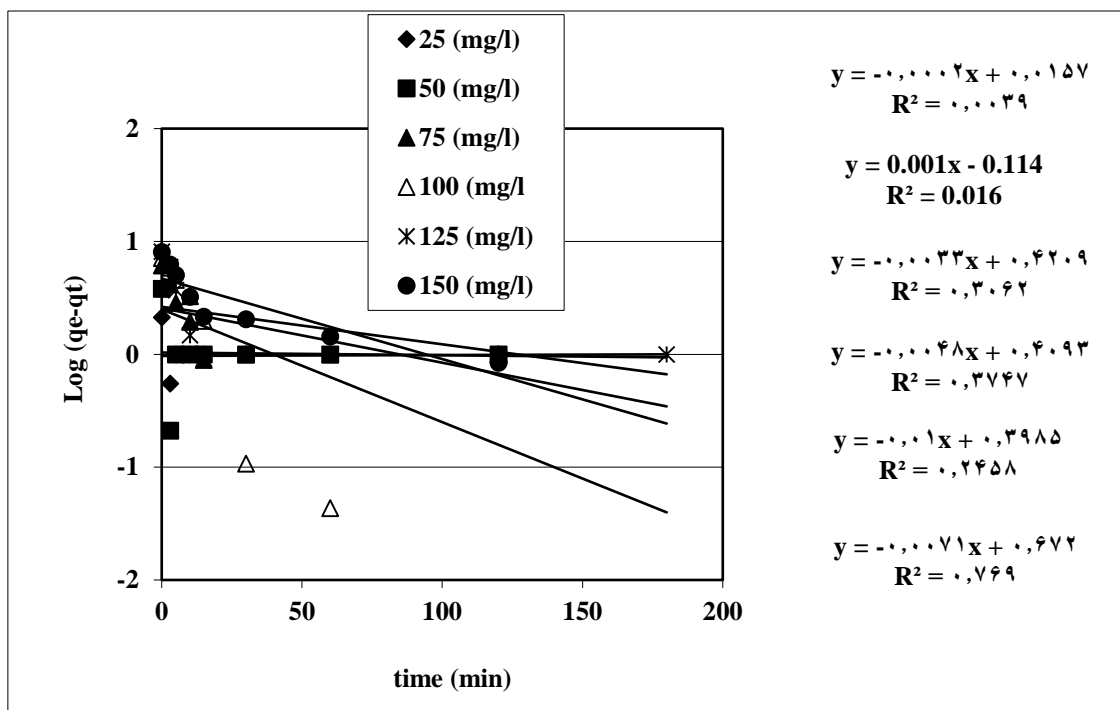
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (8)$$

سینتیک جذب

سینتیک جذب شبه درجه اول

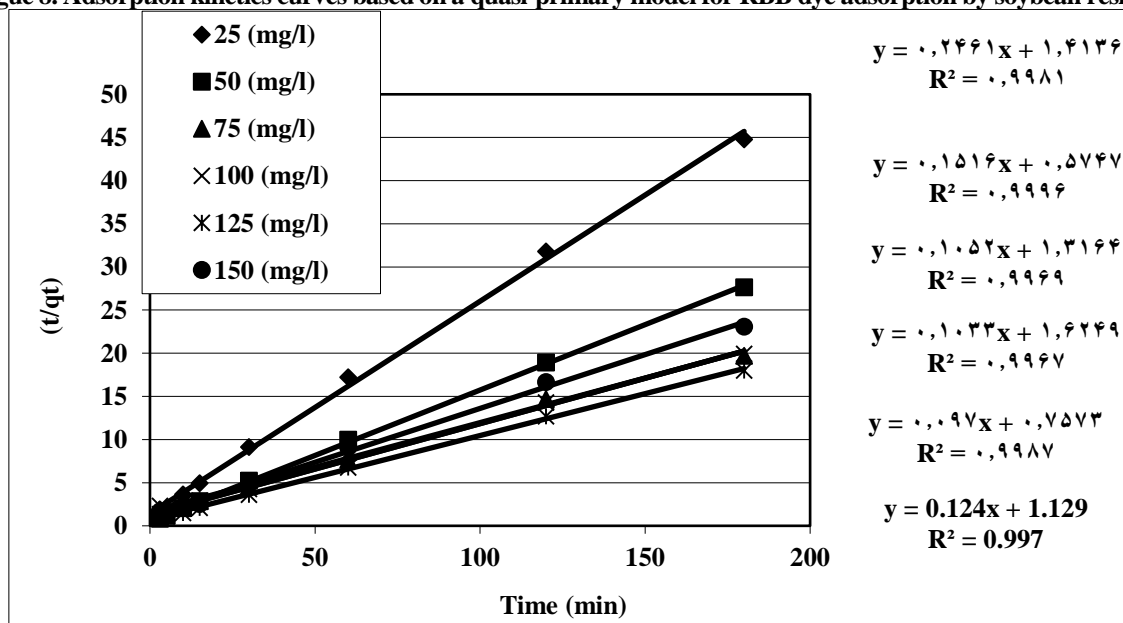
معادلات سینتیک جذب برای بررسی سازوکار کنترل‌کننده فرایند جذب مانند انتشار، جذب سطحی، نفوذ با جذب درون مولکولی و جذب شیمیایی استفاده می‌شوند. در صورتی که عامل کنترل‌کننده جذب نفوذ در لایه مرزی باشد، سینتیک جذب معمولاً از مدل شبه درجه اول تبعیت می‌کند که در آن تغییرات در میزان جذب با زمان، متناسب با تعداد سایت‌های اشغال نشده در سطح جاذب است (Tehrani, 2009; Ofomaja, 2010). شکل خطی معادله شبه درجه اول به صورت معادله ۷ است که در آن مقدار عددی k_1 با رسم منحنی خطی $\log(q_e - q_t)$ به صورت تابعی از t محاسبه می‌شود (Hameed, 2008).

نتایج حاصل از بررسی نتایج تجربی جذب در غلظت‌های مختلف با استفاده از سینتیک شبه درجه اول و شبه درجه دوم به ترتیب در شکل ۸ و شکل ۹ و پارامترهای آنها در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است.



شکل ۸- منحنی سینتیک جذب بر اساس مدل شبه درجه اول برای جذب رنگ‌زا RBB توسط پسماند سویا

Figure 8. Adsorption kinetics curves based on a quasi-primary model for RBB dye adsorption by soybean residues



شکل ۹- منحنی سینتیک جذب بر اساس مدل شبه درجه دوم برای جذب رنگ‌زا RBB توسط پسماند سویا

Figure 9. Adsorption kinetics curves based on the quasi-quadratic model for RBB dye adsorption by soybean residues

جدول ۲- پارامترهای سینتیک جذب رنگ‌زا RBB با استفاده از سویا بر اساس مدل شبه درجه اول

Table 2- Kinetic parameters of RBB dye adsorption using soybean based on quasi-first-order model

مدل شبه درجه اول			اطلاعات تجربی		
Pseudo first order model			Empirical information		
$h_{0,1}$ (mg/g.min)	R^2	K_1 min^{-1}	غلظت تعادل محاسباتی Computational equilibrium concentration mg/l ($C_{e\text{ cal}}$)	غلظت تعادل تجربی Experimental equilibrium concentration mg/l ($C_{e\text{ exp}}$)	غلظت اولیه رنگ Initial color concentration mg/l (Ci)
0	0.003	0	1.035	4.01	25
0.0023	0.016	0.0023	1.032	6.51	50
0.0181	0.306	0.0069	2.630	9.13	75
0.0236	0.374	0.0092	2.564	9.03	100
0.0575	0.245	0.0230	2.500	10	125
0.0757	0.769	0.0161	4.698	7.8	150

مشاهده می‌شود که ضریب همبستگی معادلات حاصل از مدل شبه درجه اول در غلظت‌های مختلف کم است و اختلاف زیادی در ظرفیت جذب در حالت تعادل حاصل از نتایج تجربی ($q_{e\text{ exp}}$) و ظرفیت جذب در حالت تعادل محاسبه شده ($q_{e\text{ cal}}$) دیده می‌شود؛ بنابراین، مدل سینتیک شبه درجه اول مدل مناسبی برای جذب این رنگ‌زا با استفاده از پسماند سویا نیست؛ از این رو، پدیده جذب این رنگ‌زا توسط ذرات پسماند سویا تحت تأثیر پدیده انتشار نمی‌باشد.

مشاهده می‌شود که ضریب همبستگی معادلات حاصل از مدل شبه درجه اول در غلظت‌های مختلف کم است و اختلاف زیادی در ظرفیت جذب در حالت تعادل حاصل از نتایج تجربی ($q_{e\text{ exp}}$) و ظرفیت جذب در حالت تعادل محاسبه شده ($q_{e\text{ cal}}$) دیده می‌شود؛ بنابراین، مدل سینتیک شبه درجه اول مدل مناسبی برای جذب این رنگ‌زا با استفاده از پسماند سویا نیست؛ از این رو، پدیده جذب این رنگ‌زا توسط ذرات پسماند سویا تحت تأثیر پدیده انتشار نمی‌باشد.

جدول ۳- پارامترهای سینتیک جذب رنگ‌زا RBB با استفاده از سویا بر اساس مدل شبه درجه دوم

Table 3- Kinetic parameters of RBB dye adsorption using soybean based on quasi-quadratic model

مدل شبه درجه دوم			اطلاعات تجربی		
Quasi-quadratic model			Empirical information		
$h_{0,2}$ (mg/g.min ^{1/2})	R^2	K_2 (g/mg.min)	غلظت تعادل محاسباتی Computational equilibrium concentration mg/l ($C_{e\text{ cal}}$)	غلظت تعادل تجربی Experimental equilibrium concentration mg/l ($C_{e\text{ exp}}$)	غلظت اولیه رنگ Initial color concentration mg/l (Ci)
0.0074	0.998	0.0428	4.06	4.01	25
0.0104	0.999	0.039	6.62	6.51	50
0.0006	0.996	0.0083	9.52	9.13	75
0.0004	0.996	0.0065	9.70	9.03	100
0.0015	0.998	0.0124	10.30	10	125
0.0014	0.997	0.0136	8.06	7.8	150

از سوی دیگر، بررسی نتایج با معادلات شبه درجه دوم نشان می‌دهد که اختلاف بسیار کمی بین ظرفیت جذب در شرایط تعادل محاسباتی و ظرفیت جذب در شرایط تعادل تجربی وجود دارد. به علاوه، مقادیر همبستگی نقاط معادلات

از سوی دیگر، بررسی نتایج با معادلات شبه درجه دوم نشان می‌دهد که اختلاف بسیار کمی بین ظرفیت جذب در شرایط تعادل محاسباتی و ظرفیت جذب در شرایط تعادل تجربی وجود دارد. به علاوه، مقادیر همبستگی نقاط معادلات

- Hameed, B H. and El-Khaiary, M.I., 2008. Removal of basic dye from aqueous medium using a novel agricultural waste material: Pumpkin seed hull. *J. Hazard. Mater.* 155:601-609.
- Mahvi, H., 2008. Application of agricultural fibers in pollution removal from aqueous solution. *Environ. Sci. Tech.* 5:275-285.
- Mehrasbi, MR. and Farahmand kia, Z., 2008. Heavy Metal Removal from Aqueous Solution by Adsorption on Modified Banana Shell. *Iran. J. Health & Environ.* 1:57-66.
- Mortazavi, SB. Rasuli, L. and Kazemian, H., 2010. Reduction of hexavalent chromium from aqueous solution using modified zeolite cationic surfactant. *Iran. J. Health & Environ.* 3(1):1-10.
- Nghui, Y. and Caoc, Q., 2009. Biosorption of Cd²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺ and Zn²⁺ ions from aqueous solutions by pretreated biomass of brown algae. *Hazardous Materials*, 163: 931-939.
- Ncibi, MC., Mhjob, B. and Seffen, M., 2007. Adsorptive removal of textile reactive dye using *Posidonia oceanica* fibrous biomass. *Environ. Sci. Tech.* 4:433-440.
- Ofomaja, A.E., 2010. Intraparticle diffusion process for lead (II) biosorption onto mansonia wood sawdust. *Bioresource Technology*. 101:5868-5876.
- Oladoja, NA., Aboluwoye, CO. and Akinkugbe, AO., 2009. Evaluation of loofah as a sorbent in the decolorization of basic dye contaminated aqueous system. *Eng Chem Res*, 48: 2786-2794.
- Patel, R. and Suresh, S., 2008. Kinetic and equilibrium studies on the biosorption of reactive black 5 dye by *Aspergillus foetidus*. *Bioresource Technology*, 99: 51-58.
- Silva, JP., Sousa, S., Rodrigues, J., Antunes, H., Porter, JJ. and Gonçalves, I., 2004. Adsorption of acid orange 7 dye in aqueous solutions by spent brewery grains. *Separation and Purification Technology*, 40:309-315.
- Tehrani-Bagha, A.R., Mahmoodi, N.M., Markazi, M. and Talaee, E., 2009. Removal of a cationic dye from wastewater by low-cost kaolin. *J. Color Sci. Tech.* 3:145-155. (In Persian).
- Weber, E.J. and Stickney, VC., 1993. Hydrolysis kinetics of reactive blue 19-vinyl sulfone. *Water Res.* 27(1):63-67.

حاصل در حد بالایی است؛ بنابراین مدل شبه درجه دوم می‌تواند به خوبی برای بیان سینتیک جذب این رنگ‌زا با پسماند سویا استفاده شود. تطابق نتایج تجربی با ایزوترم لانگمویر و با سینتیک شبه درجه دوم نشان می‌دهد که جذب رنگ‌زا مورد نظر با پسماندهای لیگنوسلولزی سویا از نوع جذب قابل کنترل توسط جذب شیمیایی است (Patel, 2008).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، جذب رنگ‌زا Remazol Black B با استفاده از پسماندهای لیگنوسلولزی سویا بررسی شد. ایزوترم جذب با بررسی مدل لانگمویر و مدل فروندلیچ و همچنین سینتیک جذب با استفاده از مدل سینتیک شبه درجه اول و سینتیک شبه درجه دوم بررسی گردید. مطالعات ایزوترم جذب نشان داد که جذب این رنگ‌زا هم از مدل جذب ایزوترم لانگمویر و هم از مدل جذب فروندلیچ تبعیت می‌کند ولی با توجه به ضریب همبستگی زیادتر، مدل لانگمویر بهتر است. با توجه به مدل لانگمویر، مقدار حداکثر جذب برابر با ۹/۹۰ میلی‌گرم بر گرم پسماند سویا در شرایط مورد استفاده محاسبه شد؛ بنابراین با توجه به این نتایج، پسماند سویا به‌عنوان یک جاذب ارزان‌قیمت، قابل دسترس و زیست‌تخریب‌پذیر می‌تواند برای کاهش آلودگی‌های حاصل از پساب‌های رنگی استفاده شود.

منابع مورد استفاده

- Amin, N.K., 2008. Removal of reactive dye from aqueous solutions by adsorption onto activated carbons prepared from sugarcane bagasse pith. *Desalination*, 223:152-161.
- Ghanizadeh, Gh. and Asgari, G., 2009. Removal of methylene blue dye from synthetic wastewater with bone char" *Iran. J. Health & Environ.* 2(2):104-113.

Application of soybean residues as adsorbent of Remazol black B from aqueous solution

A. Ziapour^{1*}, Z. Kazemi Karchegini² and N. Kazemi Karchegini³

1*- Corresponding author, Ph.D. Student of pulp and paper Industry, Agricultural Sciences and Natural Resources of Sari University. Iran, Email: Ali.ziapour@yahoo.com

2- Ph.D. Student of pulp and paper Industry, Agricultural Sciences and Natural Resources of Sari University. Iran

3- M. S. Student of wood and paper Industry, Agricultural Sciences and Natural Resources of Sari University. Iran

Received: June, 2022

Accepted: Sep., 2022

Abstract

The color of wastewater is considered as a major environmental problem. Chemical and biological treatment of dye containing wastewater is difficult due to the low adsorption level and chemical stability of dyes. Researchers are trying to find available low-cost materials with high adsorption. In this research, soybean lignocellulosic residues was investigated for absorption of Rimosol Black B (RBB) dye. First, the effect of dye RBB concentration, pH, temperature and contact time on the absorption value was measured, and then the adherence of the adsorption isotherm to the Langmuir and Freundlich models was investigated. The results showed that the absorption efficiency depended strongly on pH and slightly on the temperature. The absorption rate of RBB dye with soybean residue is high and the absorption is completed in a short period of time. The results of the adsorption isotherm analysis showed that both models are suitable for describing the adsorption of RBB dye with soybean. The maximum absorption capacity of RBB dye by soybean residues was calculated 90.9 mg/g, which is more than other low cost adsorbents studied and less than others such as rapeseed lignocellulosic residues.

Keywords: Adsorption, RBB, soybean lignocellulosic waste, isotherm of adsorption.