

بررسی کارایی کاه گندم اصلاح شده در حذف رنگ راکتیو بلک ۵ از محلول‌های آبی

نادر یوسفی^۱، علی فاتحی زاده^۲، عبدالکریم احمدی^۳، احمد رجبی زاده^۴، علی طولابی^۴، محمد احمدیان^۴

چکیده

مقدمه: جذب سطحی به وسیله مواد کم هزینه روش مناسبی جهت تصفیه بسیاری از فاضلاب‌های صنعتی می‌باشد. هدف از این مطالعه، کاربرد کاه گندم به عنوان جاذبی ارزان قیمت برای حذف رنگ راکتیو بلک ۵ از محلول‌های آبی بود.

روش‌ها: این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد و از جاذب کاه گندم اصلاح شده برای حذف راکتیو بلک ۵ از محلول‌های آبی استفاده گردید. جهت اصلاح کاه گندم از سورفاکتانت ستیل پری دینیوم کلراید مونوهیدرات با غلظت ۲/۵ میلی مول بر لیتر استفاده شد. آزمایشات در سیستم ناپیوسته انجام شد و تأثیر پارامترهای pH، دوز جاذب، غلظت اولیه رنگ و زمان تماس بر جذب رنگ راکتیو بلک ۵ توسط کاه گندم اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج: بر اساس نتایج این تحقیق کمترین و بیشترین راندمان حذف رنگ در pH های ۱ و ۷ به دست آمد که به ترتیب برابر ۶۱/۵۴٪ و ۸۳/۱۵٪ بود. با افزایش زمان انجام واکنش جذب و دوز جاذب مصرفی، راندمان حذف رنگ افزایش یافت. همچنین با افزایش غلظت اولیه رنگ، میزان رنگ حذف شده افزایش و راندمان حذف رنگ کاهش یافت. بر اساس نتایج حاصله، ایزوترم لانگمویر و سینتیک درجه دوم بهترین مدل‌ها برای تشریح واکنش‌های جذب رنگ راکتیو بلک ۵ بر کاه گندم اصلاح شده است.

بحث و نتیجه گیری: با توجه به هزینه بر بودن سایر روش‌های حذف رنگ، می‌توان از کاه گندم اصلاح شده به عنوان جاذبی نسبتاً کارآمد و ارزان قیمت برای حذف رنگ راکتیو بلک ۵ از محلول‌های آبی استفاده نمود.

واژگان کلیدی: جذب سطحی، راکتیو بلک ۵، محلول‌های آبی، کاه گندم

مقدمه

نامطلوب می‌باشد (۱، ۲). پذیرش عمومی کیفیت آب و محلول‌های آبی به شدت متأثر از رنگ آن بوده و رنگ اولین آلودگی است که در آب تشخیص داده می‌شود (۳). امروزه بیش از ۱۰۰۰۰۰ نوع رنگ به صورت تجاری موجود است که به انواع مختلف شامل آنیونی، کاتیونی

آلودگی منابع آب به وسیله آلاینده‌های رنگی، یک مشکل عمده و بزرگ برای محیط زیست محسوب می‌گردد. تخلیه آلاینده‌های رنگی در منابع آب‌های سطحی به دلیل سمیت و ظاهر ناخوشایند آن،

۱- دانشجوی دکترا، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران

۲- دانشجوی دکترا، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان

۴- مربی، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان

نویسنده مسئول: مهندس محمد احمدیان

آدرس: کرمان، ابتدای بزرگراه هفت باغ علوی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، دانشکده بهداشت

Email: moh.ahmadian@yahoo.com

فکس: ۰۳۴۱۳۲۰۵۱۰۵

تلفن: ۰۳۴۱۳۲۰۵۰۰۰

و غیر یونی تقسیم بندی می شوند (۴). رنگ‌ها در صنایع مختلفی مانند صنایع نساجی، کاغذ، لاستیک، پلاستیک و... استفاده می‌شوند (۵). صنایع نساجی و صنایع رنگرزی دو منبع عمده تولید فاضلاب‌های رنگی می‌باشند که تصفیه این فاضلاب‌ها به علت ساختار مصنوعی و پیچیده رنگ‌ها بسیار دشوار است (۶، ۷). یکی دیگر از اثرات تخلیه فاضلاب‌های رنگی به جریان‌های طبیعی، ممانعت از نفوذ نور به داخل آب‌ها می‌باشد که بر فعالیت فتوسنتزی گیاهان آبی اثر منفی دارد. همچنین فاضلاب‌های رنگی باعث افزایش میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD, Chemical Oxygen Demand) آب‌های پذیرنده می‌شوند. مقادیر بسیار بالایی از آروماتیک‌ها و فلزات سنگین مانند سرب در مولکول‌های رنگ وجود دارد که دارای خاصیت سرطان‌زایی و جهش‌زایی بوده و برای محیط زیست زیان‌آور می‌باشند. همچنین گزارش شده که استفاده از رنگ‌های با پایه بنزیدین باعث ایجاد سرطان مثانه در انسان می‌شود (۷).

رنگ‌ها به دلیل ساختار مولکولی شان در برابر نور، گرما، تجزیه بیولوژیکی و روش‌های معمول تصفیه فاضلاب مقاوم هستند (۸). روش‌های متداول برای حذف آلاینده‌های رنگی از فاضلاب شامل روش‌های بیولوژیکی مانند تصفیه بی‌هوازی و روش‌های فیزیکی شیمیایی مانند انعقاد و لخته‌سازی، انعقاد الکتریکی، شناورسازی، فیلتراسیون، تبادل یونی، روش‌های غشایی و روش‌های اکسیداسیون پیشرفته می‌باشند (۳، ۴، ۹-۱۳). روش جذب به وسیله مواد جاذب ارزان قیمت به عنوان یک فرآیند مؤثر و اقتصادی در حذف رنگ شناخته شده است (۱۴-۱۶).

در مطالعات انجام گرفته از مواد مختلفی مانند پوست پرتقال و موز (۱۷) پوست سیب و چوب (۱۸) به طور

وسیع به عنوان جاذب برای حذف رنگ استفاده شده است. اما پوست موز، سیب و... پوست سایر میوه‌ها به اندازه کافی در دسترس نمی‌باشد و از کاه گران‌تر است. در مطالعه ملکی و همکاران از کاه گندم اصلاح شده برای حذف آرسنیک پنج ظرفیتی از محلول‌های آبی استفاده شد که به عنوان یک روش کارآمد و قابل اطمینان برای حذف آلاینده مذکور شناخته شد (۱۹). در مطالعه دیگری از سبوس گندم اصلاح شده برای حذف کادمیوم و مس از محلول‌های آبی استفاده شد که کارایی بالایی داشت (۲۰).

رنگ راکتیو بلک از متداول‌ترین رنگ‌های مورد استفاده در صنایع نساجی بوده که یک ترکیب دیاز و با چهار گروه فنلی است و پس از انحلال در محلول‌های آبی، به سولفونات‌های آنیونی تجزیه می‌شود (۲۱). رنگ راکتیو بلک پس از انحلال، رنگ آبی تیره تولید می‌کند که ناشی از حلقه‌های آروماتیک متصل شده به وسیله‌ی گروه‌های آزو می‌باشد (۲۲).

هدف از انجام این مطالعه استفاده از کاه گندم اصلاح شده که جاذب ارزان قیمتی است و به وفور در دسترس می‌باشد، با سورفاکتانت ستیل پری دینیوم کلراید مونوهیدرات برای حذف رنگ راکتیو بلک ۵ از محلول‌های آبی و بررسی تأثیر پارامترهای pH، دوز جاذب، غلظت اولیه رنگ و زمان تماس بر فرآیند جذب و همچنین تعیین دینامیک واکنش‌های جذب با استفاده از ایزوترم و سینتیک‌های متداول در زمینه آب و فاضلاب است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه یک مطالعه تجربی در مقیاس آزمایشگاهی بود که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کرمان انجام شد. همه مواد آزمایشگاهی

از شرکت مرک آلمان خریداری گردید.

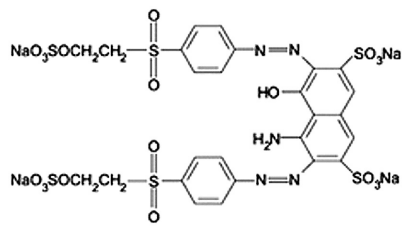
کاه گندم مورد استفاده در این تحقیق در شهر کرمان خریداری و برای زدایش گرد و غبار و آلودگی‌های احتمالی با آب دو بار تقطیر شسته شد. کاه تمیز شده به مدت ۴۸ ساعت درون گرمخانه (oven) در دمای 60°C قرار داده و خشک شد و به وسیله آسیاب در اندازه مش ۱۰ (۲ mm) خرد گردید. برای فعال سازی جاذب، کاه گندم خرد شده در محلول $2/5\text{ mmol/L}$ از سورفاکتانت ستیل پری دینیوم کلراید مونوهیدرات (CPC) با نسبت ۱:۷ (جاذب به محلول) استفاده شد و به مدت ۲۴ ساعت توسط همزن مکانیکی مخلوط گردید. در نهایت کاه گندم را از محلول خارج کرده و برای حذف محلول باقی مانده سورفاکتانت روی جاذب، با آب مقطر شسته شد. کاه گندم اصلاح شده به مدت ۴۸ ساعت درون گرمخانه در دمای 60°C خشک و در ظرف غیر قابل نفوذ به هوا ذخیره گردید. علت انتخاب این سورفاکتانت این بود که در مطالعه Broto و همکاران در سال ۲۰۰۹ از این سورفاکتانت برای فعال سازی کاه جو به شکل موفقیت آمیزی برای حذف رنگ راکتیو بلک ۵ استفاده گردید (۲۳).

در این پژوهش از جاذب کاه گندم اصلاح شده برای حذف راکتیو بلک ۵ (که خصوصیات آن در جدول ۱ آمده است) از محلول‌های آبی در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شد. ابتدا محلول ذخیره 1000 mg/L از رنگ راکتیو بلک ۵ تهیه شد و در سایر مراحل آزمایش از رقیق سازی محلول ذخیره، غلظت‌های مورد نظر تهیه شد. کلیه مراحل پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از دستگاه جار و میزان اختلاط 100 rpm و سیستم‌های ناپیوسته انجام شد. جهت تنظیم pH محلول از سود و اسیدکلریدریک $0/1\text{ N}$ استفاده شد و کلیه مراحل آزمایش در دمای 25°C انجام شد. غلظت رنگ با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مطابق روش‌های مندرج در کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب اندازه گیری شد (۲۴).

حجم نمونه شبیه به مطالعات دیگر با استفاده از روش فاکتوریل تعیین گردید (۴، ۵). پارامترهای مؤثر بر فرایند جذب شامل زمان تماس (۱۵ زمان)، pH محلول (۱۰ درجه)، غلظت اولیه رنگ (۶ غلظت) و دوز جاذب (۶ واحد) در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. در هر آزمایش یک پارامتر تغییر می‌کرد و سایر پارامترها در دوز بهینه ثابت نگه‌داشته می‌شد. برای افزایش اعتبار نتایج حاصله، هر آزمایش سه بار تکرار گردید و در مجموع تعداد ۱۱۱ بار آزمایش انجام شد. جهت بررسی تأثیر زمان تماس، پس از تهیه محلول‌هایی با غلظت اولیه رنگ 50 mg/L و pH برابر ۷، جاذب به میزان 5 g/L افزوده شد و در فواصل زمانی ۱۵ دقیقه تا رسیدن به زمان ۲۲۵ دقیقه نمونه گیری انجام شد. این زمان‌های تماس با توجه به مطالعات قبلی تعیین گردید.

برای بررسی تأثیر pH محلول بر کارایی حذف رنگ توسط کاه گندم اصلاح شده، 5 g/L از جاذب به

جدول ۱: خصوصیات رنگ راکتیو بلک ۵ (از رفرانس ۲۱)

فرمول مولکولی	$\text{C}_{26}\text{H}_{21}\text{N}_5\text{Na}_4\text{O}_{19}\text{S}_6$
وزن مولکولی	$991/82\text{ g/mol}$
λ_{max}	597 nm
ساختار مولکولی	

ANOVA و رگرسیون خطی برای بررسی تأثیر هر یک از عوامل مؤثر بر فرآیند جذب استفاده شد. سطح معنی داری برای آزمون‌های آماری در سطح $P\text{-value} < 0.05$ در نظر گرفته شد. نرم افزار مورد استفاده برای آنالیز داده‌ها نرم افزار Excel و SPSS نسخه ۱۷ (version ۱۷, SPSS Inc., Chicago, IL) بود.

نتایج

نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها در زمان تماس‌های مختلف در شکل ۱ آمده است. بر اساس نتایج به دست آمده با افزایش زمان تماس، راندمان حذف رنگ نیز افزایش یافته است. در مراحل ابتدایی آزمایش، تأثیر زمان تماس بر راندمان حذف بیشتر بود. در ادامه با افزایش زمان تماس درصد حذف رنگ با سرعت کمتری افزایش یافت تا رسیدن به زمان تعادل ۱۹۵ دقیقه که راندمان حذف رنگ ثابت شد. راندمان حذف رنگ توسط کاه گندم اصلاح شده در زمان تعادل برابر ۸۳/۱۵٪ بود. تحلیل داده‌ها با استفاده از رگرسیون خطی به طور معنی‌داری نشان داد که با افزایش هر ۱۵ دقیقه زمان تماس، میزان حذف برابر ۱/۵ درصد افزایش یافت.

محلول‌هایی با غلظت اولیه رنگ ۵۰ mg/L که دارای pH های مختلف بود افزوده و عمل اختلاط به مدت ۱۹۵ دقیقه به طول انجامید.

جهت بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگ و دوز جاذب، ابتدا محلول‌هایی با pH برابر ۷ در غلظت‌های اولیه رنگ مختلف (۱۰ - ۱۰۰ mg/L) تهیه و دوز‌های جاذب (۲/۵ - ۱۵ g/L) با زمان تماس ۱۹۵ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت.

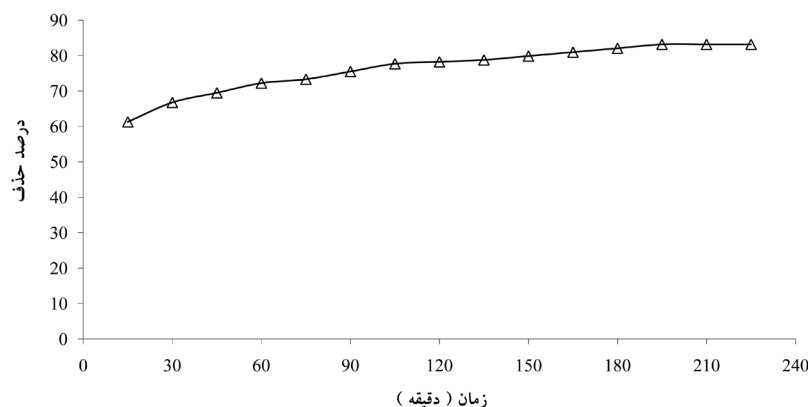
پس از انجام آزمایش‌ها غلظت باقی مانده رنگ مورد سنجش قرار گرفت. برای محاسبه راندمان حذف و میزان جذب راکتیو بلک ۵ با استفاده از کاه گندم اصلاح شده، از معادلات شماره ۱ و ۲ استفاده شد.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \quad \text{معادله ۱}$$

$$RE (\%) = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad \text{معادله ۲}$$

که در معادلات بالا q_e غلظت ماده جذب شونده در فاز جامد (ماده جاذب) بعد از اتصال، C_0 (mg/g) غلظت اولیه ماده جذب شونده در محلول، C_t (mg/L) غلظت در زمان t ، V حجم مایع در داخل راکتور (L)، m جرم ماده جذب شونده (g) و RE درصد حذف است.

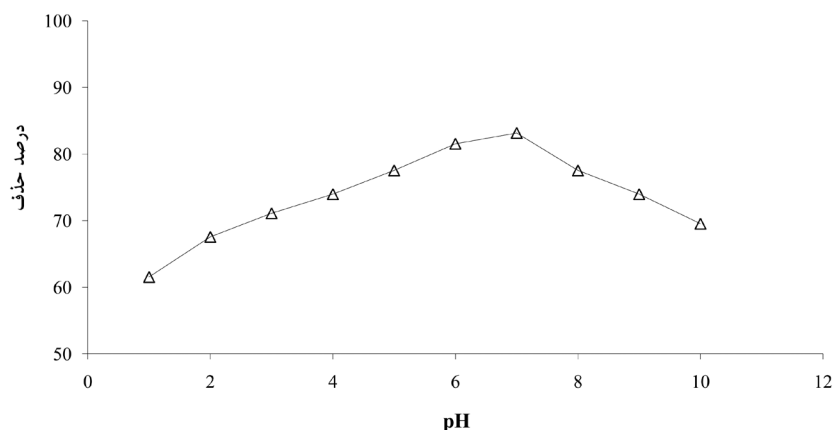
از آمار توصیفی و آزمون آماری One way



شکل ۱: تأثیر زمان انجام واکنش بر راندمان حذف رنگ راکتیو بلک ۵ (دوز جاذب ۵ g/L، غلظت اولیه رنگ ۵۰ mg/L و pH برابر ۷)

به سرعت کاهش یافت. نتایج حاصل از آزمون آنووا یک راهه نشان داد که میزان pH محلول تأثیر معناداری بر میانگین حذف رنگ از محلول‌های آبی با استفاده از فرایند جذب داشت ($P\text{-value} < 0/001$).

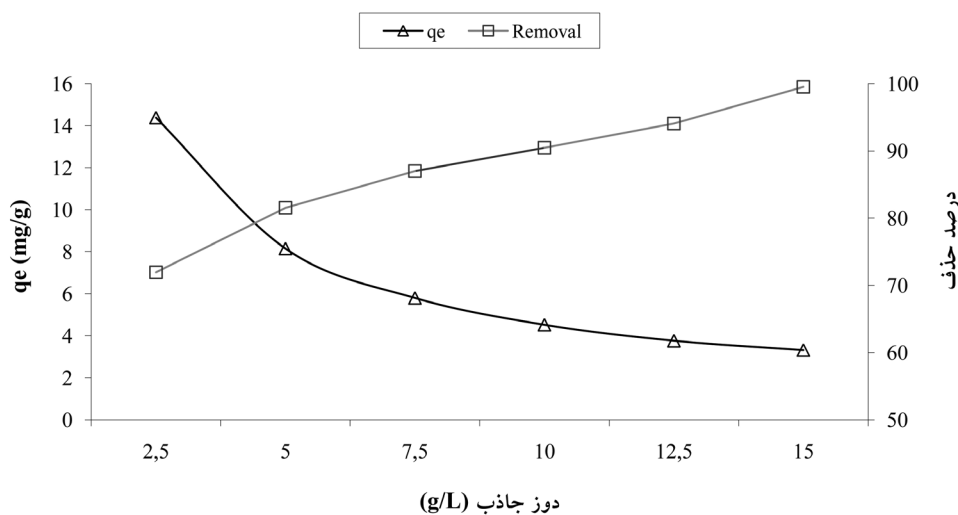
همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده، با افزایش pH محلول از ۱ به ۷، راندمان حذف رنگ توسط کاه اصلاح شده از ۶۱/۵۴٪ به ۸۳/۱۵٪ افزایش یافت. با افزایش pH محلول به بیش از ۷، راندمان حذف رنگ



شکل ۲: تأثیر pH محلول بر کارایی حذف رنگ راکتیو بلک ۵ (غلظت اولیه‌ی رنگ ۵۰ mg/L، دوز جاذب ۵ g/L و زمان تماس ۱۹۵ دقیقه)

از ۲/۵ به ۱۵ g/L، راندمان حذف رنگ راکتیو بلک ۵ از ۷۱/۹۴٪ به ۹۹/۵۴٪ افزایش داشت.

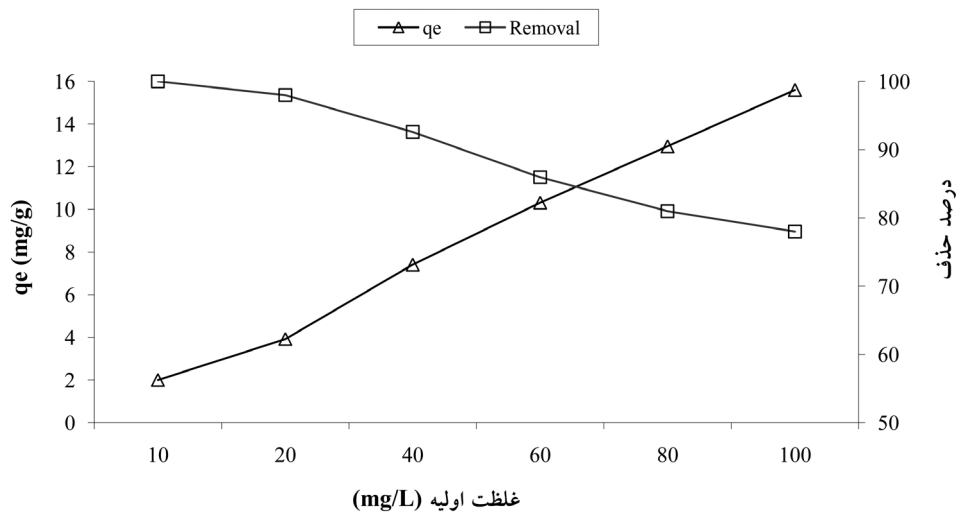
نتایج تأثیر دوز جاذب بر جذب در شکل ۳ آمده و نشان می‌دهد که با افزایش دوز کاه گندم اصلاح شده



شکل ۳: تأثیر دوز جاذب بر میزان جذب و راندمان حذف رنگ راکتیو بلک ۵ (غلظت اولیه‌ی رنگ ۵۰ mg/L، زمان تماس ۱۹۵ دقیقه و pH برابر ۷)

داشت ولی مقدار رنگ جذب شده از ۲ به ۱۵/۵۸ mg/g افزایش یافت. برای مقایسه میانگین حذف رنگ در دوزهای مختلف جاذب از آزمون آنووا یک راهه استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که تفاوت معناداری بین میانگین حذف رنگ در دوزهای مختلف جاذب وجود دارد ($P\text{-value} < 0/001$).

در شکل ۴ نتایج حاصل از تأثیر غلظت اولیه رنگ راکتیو بلک ۵ بر کارایی کاه اصلاح شده نشان داد شده است. با افزایش غلظت اولیه رنگ، راندمان حذف کاهش، اما مقدار رنگ جذب شده افزایش یافت. به گونه‌ای که با افزایش غلظت اولیه رنگ از ۱۰ به ۱۰۰ mg/L، راندمان حذف رنگ از ۱۰۰٪ به ۷۷/۹۹٪ کاهش



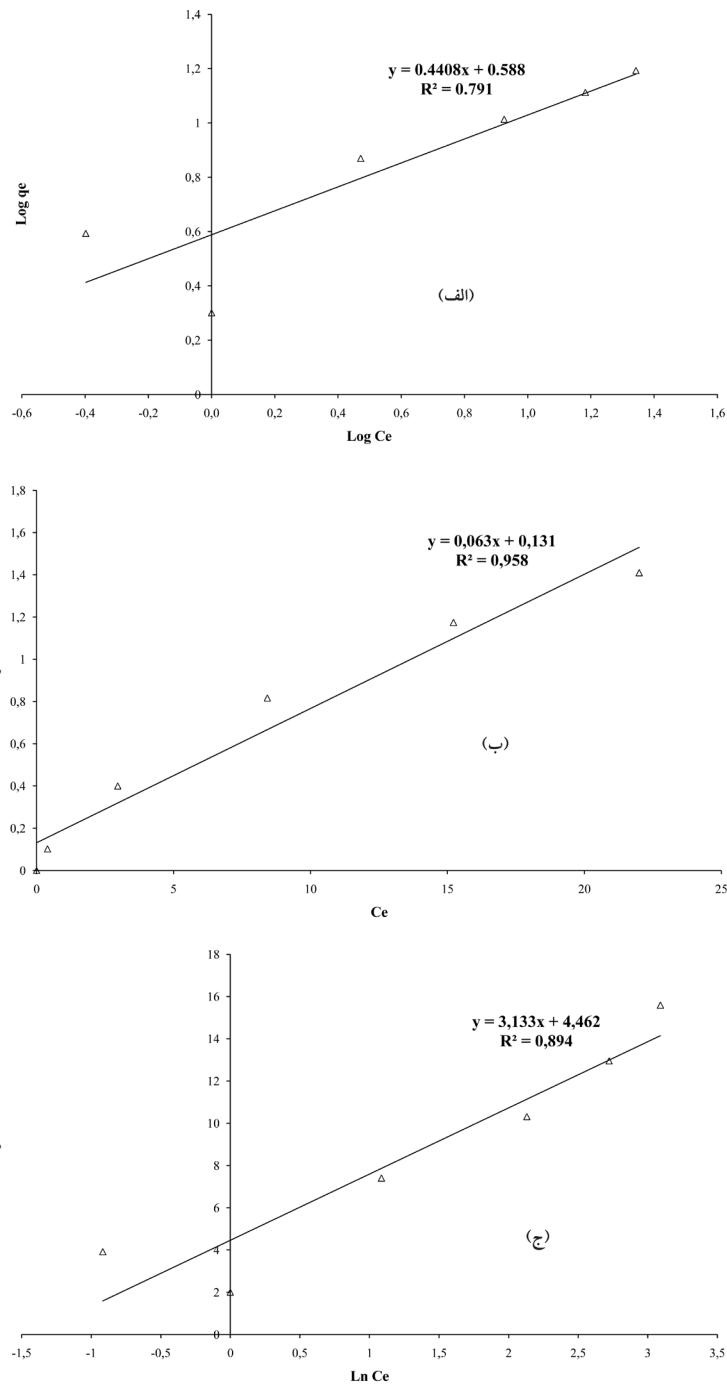
شکل ۴: تأثیر غلظت اولیه رنگ بر راندمان حذف رنگ راکتیو بلک ۵ (دوز جاذب ۵ g/L، زمان تماس ۱۹۵ دقیقه و pH برابر ۷)

به دست آمده از این پژوهش داشت ($R^2=0/99$). شکل ۵ منحنی‌های ایزوترم‌های مورد بررسی در این پژوهش را نشان می‌دهد.

معادلات و نتایج حاصل از محاسبه ایزوترم فروندلیخ (۲۵)، لانگمویر (۲۶) و تمکین (۲۷) در جدول ۲ آمده است. ایزوترم فروندلیخ بیشترین همبستگی را با نتایج

جدول ۲: معادلات و نتایج حاصل از محاسبات ایزوترم

مقدار	ثابت	R^2	فرم خطی	معادله	ایزوترم
۵/۲۳ ۲/۹۷	K_f n	۰/۹۹	$\log q_e = \log K_f + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e$	$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}}$	فروندلیخ
۰/۰۱۵ ۱۶/۸۱	K_L Q_m	۰/۹۶	$\frac{C_e}{q_e} = \left(\frac{1}{K_L Q_m}\right) + \left(\frac{1}{Q_m}\right) C_e$	$q_e = \frac{Q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$	لانگمویر
۷/۰۸ ۲/۷۵	A_T b_T	۰/۹۳	$q_e = B_T \ln A_T + B_T \ln C_e$	$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln(A_T C_e)$	تمکین



شکل ۵: ایزوترم‌های مورد بررسی: (الف) ایزوترم فروندلیخ، (ب) ایزوترم لانگمویر، (ج) ایزوترم تمکین

۳، سینتیک درجه ۲ بیشترین همبستگی را با نتایج این پژوهش داشت ($R^2 = 0.99$). منحنی‌های سینتیک‌های مورد بررسی در شکل ۶ نشان داده شده است.

در این مطالعه برای دست‌یابی به این مهم، سینتیک‌های درجه اول (۲۸)، درجه دوم، الویچ و مدل پنخس بین ذره‌ای (۲۹) مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس جدول

جدول ۳: معادلات و نتایج حاصل از محاسبات سینتیک واکنش‌های جذب

مقدار	ثابت	R ^۲	فرم خطی	معادله	سینتیک
۰/۰۱۶ ۲/۹۵	k _۱ q _e (cal)	۰/۹۶	$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303} t$	$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$	درجه اول
۰/۰۱ ۸/۵۹	k _۲ q _e (cal)	۰/۹۹	$\frac{t}{q_t} = \left(\frac{1}{k_2 q_e^2}\right) + \left(\frac{1}{q_e}\right) t$	$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$	درجه دوم
۷۴/۸۹ ۱/۱۹	α β	۰/۹۸	$q_e = \left(\frac{1}{\beta}\right) \ln(\alpha\beta) + \left(\frac{1}{\beta}\right) \ln t$	$\frac{dq_t}{dt} = \alpha \exp(-\beta q_t)$	ایلوویج
۰/۲۱ ۵/۵۵	K _{dif} C	۰/۹۸	$q_t = K_{dif} t^{0.5} + C$	-	پخش بین ذره‌ای

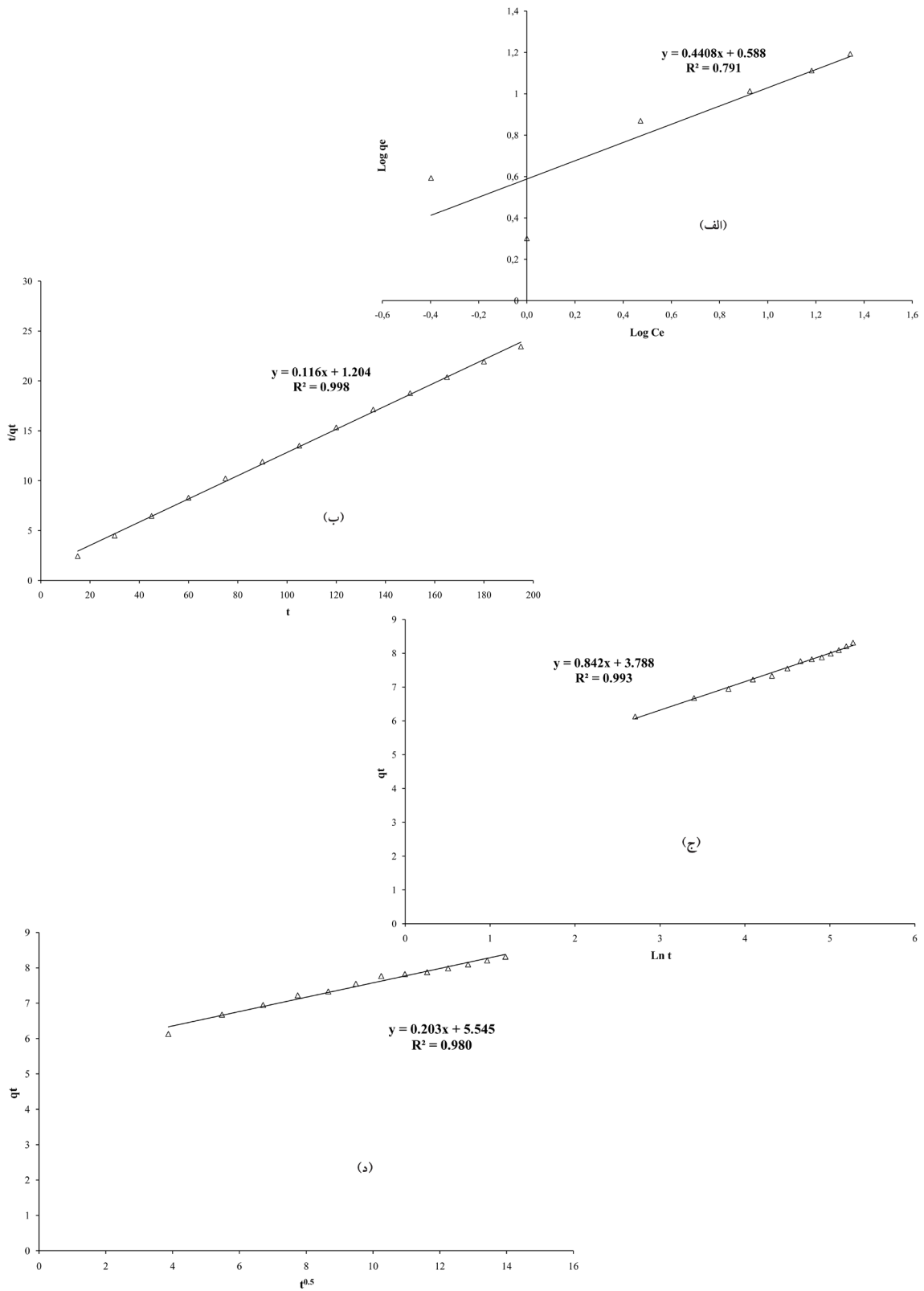
بحث

شناخت تعادل زمان تماس برای طراحی فرآیند جذب مهم می‌باشد (۳۰). بر اساس نتایج حاصله، زمان تعادل ۱۹۵ دقیقه به دست آمد. با افزایش بیشتر زمان تماس میزان جذب افزایش چشمگیری نشان نداده و تقریباً یکنواخت می‌شود که این پدیده با تعداد زیاد سایت‌های سطحی خالی موجود در سطح جاذب در مراحل اولیه فرآیند جذب مرتبط است. پس از سپری شدن این زمان، سایت‌های سطحی خالی باقی مانده به سختی توسط ماده جذب شونده اشغال می‌شوند که این به واسطه نیروهای دافعه بین ملکول‌های جسم حل شونده یا رنگ بر روی فازهای جامد می‌باشد.

pH هم یک پارامتر مهم در مطالعات جذب می‌باشد که نه فقط در ظرفیت جذب بلکه بر رنگ و حلالیت محلول‌ها (۳۱)، شیمی محلول‌ها و سطح منافذ جاذب تأثیر می‌گذارد. به طور کلی جذب رنگ بر روی جاذب به میزان بسیار زیادی به pH محلول بستگی دارد. pH محلول پارامتر مهمی در فرآیند جذب محسوب می‌شود زیرا بر همکنش بین گروه‌های عمل کننده‌های جاذب و جذب شونده

تأثیر می‌گذارد. pH محلول همچنین یک پارامتر کنترلی مهم است که بر میزان جذب مولکول‌های رنگ بر سطح جاذب اثر می‌گذارد (۳۲). مطالعه‌های مشابه این تحقیق بسیار اندک می‌باشد، اما در مطالعه‌ای که از کاه جو اصلاح شده توسط سورفکتانت CPC برای حذف رنگ راکتیو بلک ۵ استفاده شد، حداکثر راندمان حذف رنگ در pH کمتر از ۶/۵ بدست آمد (۳۰، ۳۲، ۳۳). ظرفیت کم جذب در pH قلیائی به خاطر رقابت بین یون‌های هیدروکسیل و بار منفی یون‌های رنگ در مکان‌های جذب می‌باشد. کاهش جذب رنگ در شرایط بسیار اسیدی (pH های پائین)، به علت تداخل یون H⁺ برای جذب شدن بر محل‌های جذب جاذب است (۳۳).

دوز جاذب یکی از مهمترین پارامترها در فرآیند جذب است که این به واسطه نقش تعیین کننده ظرفیت جاذب برای جذب آلاینده‌ها در سطح آن می‌باشد. افزایش میزان جاذب راندمان حذف رنگ را افزایش می‌دهد که افزایش درصد حذف رنگ با افزایش مقدار جاذب به علت افزایش مکان‌های سطح جذب در دسترس می‌باشد (۳۴). در غلظت‌های



شکل ۶: سینتیک های مورد بررسی: (الف) درجه اول، (ب) درجه دوم، (ج) ایلوویج، (د) پخش بین ذره ای

جدول ۴: مقایسه ظرفیت جذب جاذب‌های مختلف در حذف رنگ راکتیو رنگ ۵

سال	جاذب	ظرفیت جذب (mg/g)	منبع
۲۰۰۶	PAC خاکستر فرار	۵۸/۸۲ ۷/۹۴	(۴)
۲۰۰۷	Penicillium restrictum	۹۸/۳۳	(۳۱)
۲۰۰۹	زغال استخوان تورب	۱۵۶/۵۱ ۷/۰۰	(۳۶)
۲۰۱۰	Amberlite IRA-۴۵۸ Amberlite IRA-۹۵۸	۱۲۹۵/۹۳ ۱۷۲۳/۹۶	(۱۹)
مطالعه حاضر	کاه گندم اصلاح شده	۱۵/۷۲	-

جذب می‌توان جهت توصیف چگونگی واکنش ماده جذب شونده با جاذب و همچنین بهینه سازی مقدار کاربرد جاذب استفاده نمود (۳۵). ایزوترم لانگمویر مناسب‌ترین تفسیر را از نتایج بدست آمده از این پژوهش ارائه می‌دهد ($R^2=0/96$). در جدول ۴، نتایج حاصل از بررسی ظرفیت جذب جاذب‌های مختلف مطالعه شده در حذف رنگ راکتیو بلک ۵ آمده است.

تغییر در ترکیب و غلظت مواد در راکتور، از جمله پارامترهای مهم تصفیه آب و فاضلاب می‌باشد. این تغییرات از انتقال هیدرولیکی مواد به داخل و خارج راکتور و همچنین واکنش‌هایی که در راکتور صورت می‌گیرد، ناشی می‌شود. برای تعریف کامل یک سیستم راکتور و طراحی آن لازم است تا سرعت تغییرات و میزان تغییراتی که در راکتور به وقوع می‌پیوندد مشخص گردد، که بدین منظور از سینتیک واکنش استفاده می‌شود. بنابراین مطالعه سینتیک جذب جهت پیش بینی سرعت جذب که برای طراحی و مدل سازی فرایند مهم است، به کار می‌رود (۳۷). بر اساس نتایج حاصله سینتیک درجه

بالای جاذب ظرفیت جذب کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند به دلیل همپوشانی مکان‌های جذب در سطح جاذب باشد (۳۳). همچنین این پدیده را می‌توان به اثر کاهشی شیب غلظت بین مولکول‌های رنگ و غلظت جاذب که باعث کاهش در مقدار رنگ جذب شده به ازای واحد وزن جاذب می‌گردد، نسبت داد (۳۱).

در سیستم‌های جذب ناپیوسته، غلظت ورودی ماده جذب شونده موجود در محلول نقش مهمی را به عنوان نیروی محرکه غلبه کننده بر مقاومت ناشی از انتقال جرم بین فاز مایع و جامد ایفا می‌نماید. بنابراین با افزایش غلظت رنگ راکتیو بلک ۵ در محلول ورودی، ظرفیت جذب (mg/g) رنگ راکتیو بلک ۵ جذب شده افزایش یابد. با این حال با افزایش میزان غلظت ورودی و کاهش جایگاه‌های جذب نسبت به تعداد مولکول‌های رنگ RB۵ ورودی، راندمان حذف رنگ کاهش می‌یابد (۳۰).

آنالیز اطلاعات حاصل از ایزوترم به منظور توسعه معادله‌ای که توسط آن می‌توان طراحی لازم را انجام داد اهمیت فراوان دارد. علاوه بر این از ایزوترم

جاذبی نسبتاً کارآمد و ارزان قیمت برای حذف رنگ از فاضلاب نساجی استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی کرمان تحت عنوان طرح پژوهشی شماره ۹۰/۵۱ به انجام رسیده است. ضمناً از کمیته تحقیقاتی پزشکی محیطی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان که با تصویب این طرح راه را برای انجام این بررسی هموار نمودند، تشکر می‌نماییم.

دو بهترین مدل برای پیش بینی سرعت واکنش‌های جذب رنگ راکتیو بلک ۵ توسط کاه گندم اصلاح شده است. بر اساس مدل سینتیک درجه دو، ثابت سرعت واکنش برابر 0.01 g/mg.min است.

استفاده از کاه گندم اصلاح شده برای حذف رنگ دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد که یکی از این محدودیت‌ها افزایش میزان مواد معلق در فاضلاب تصفیه شده است.

نتیجه گیری

با توجه به هزینه بر بودن سایر روش‌های حذف رنگ، می‌توان از کاه گندم اصلاح شده به عنوان

References

- Birhanli A, Ozmen M. Evaluation of the toxicity and teratogenicity of six commercial textile dyes using the frog embryo teratogenesis assay-xenopus. *Drug Chem Toxicol* 2005; 28(1): 51-65.
- Gottlieb A, Shaw C, Smith A, Wheatley A, Forsythe S. The toxicity of textile reactive azo dyes after hydrolysis and decolourisation. *J Biotechnol* 2003; 101(1): 49-56.
- Crini G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. *Bioresour Technol* 2006; 97(9): 1061-85.
- Eren Z, Acar FN. Adsorption of reactive black 5 from an aqueous solution: equilibrium and kinetic studies. *Desalination* 2006; 194(1-3): 1-10.
- Vijayaraghavan K, Yun YS. Biosorption of C.I. Reactive Black 5 from aqueous solution using acid-treated biomass of brown seaweed *Laminaria* sp. *Dyes Pigments* 2008; 76(3): 726-32.
- Fu Y, Viraraghavan T. Fungal decolorization of dye wastewaters: a review. *Bioresour Technol* 2001; 79(3): 251-62.
- Radha KV, Regupathi I, Arunagiri A, Murugesan T. Decolorization studies of synthetic dyes using *phanerochaete chrysosporium* and their kinetics. *Process Biochem* 2005; 40(10): 3337-45.
- Sanghi R, Bhattacharya B. Review on decolorisation of aqueous dye solutions by low cost adsorbents. *Coloration Technol* 2002; 118(5): 256-69.
- Delee W, O'Neill C, Hawkes FR, Pinheiro HM. Anaerobic treatment of textile effluents: a review. *J Chemical Technol Biotechnol* 1998; 73(4): 323-35.
- Mondal S. Methods of dye removal from dye house effluent- an overview. *Environ Eng Sci* 2008; 25(3): 383-96.
- Rai HS, Bhattacharyya MS, Singh J, Bansal TK, Vats P, Banerjee UC. Removal of dyes from the effluent of textile and dyestuff manufacturing industry: a review of emerging techniques with reference to biological treatment. *Critical Reviews Environ Sci Technol* 2005; 35(3): 219-38.
- Robinson T, Chandran B, Nigam P. Removal of dyes from a synthetic textile dye effluent by biosorption on apple pomace and wheat straw. *Water Res* 2002; 36(11): 2824-30.
- Zee FPvd, Villaverde S. Combined anaerobic-

aerobic treatment of azo dyes—a short review of bio-reactor studies. *Water Res* 2005; 39(8): 1425-40.

14. Garg VK, Kumar R, Gupta R. Removal of malachite green dye from aqueous solution by adsorption using agro-industry waste: a case study of propolis cineraria. *Dyes Pigments* 2004; 62(1): 1-10.

15. Wang S, Boyjoo Y, Choueib A, Zhu ZH. Removal of dyes from aqueous solution using fly ash and red mud. *Water Res* 2005; 39(1): 129-38.

16. Pereira MFR, Soares SF, Orfao JJM, Figueiredo JL. Adsorption of dyes on activated carbons: influence of surface chemical groups. *Carbon* 2003; 41(4): 811-21.

17. Annadurai G, Juang R, Lee D. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. *J Hazard Mater* 2002; 92(3): 263-74.

18. McKay G, Poots VJP. Kinetics and diffusion processes in colour removal from effluent using wood as an adsorbent. *J Chem Technol Biotechnol* 1980; 30(1): 279-92.

19. Maleki A, Eslami A. Isotherm and kinetics of Arsenic (V) adsorption from aqueous solution using modified wheat straw. *Iran J Health Environ* 2011; 3(4): 439-50.

20. Maleki A, Zandi S, Mahvi AH. Biological adsorption of cadmium and copper ions from aqueous solutions by modified wheat: chemical methods. *Sci J Kurdistan Univ Med Sci* 2012; 17(2): 82-95.

21. Greluk M, Hubicki Z. Kinetics, isotherm and thermodynamic studies of reactive black 5 removal by acid acrylic resins. *Chemical Eng* 2010; 162(3): 919-26.

22. Elwakeel KZ, Rekaby M. Efficient removal of reactive black 5 from aqueous media using glycidyl methacrylate resin modified with tetraethylenepentamine. *J Hazard Mater* 2011; 188(1-3): 10-8.

23. Oei BC, Ibrahim S, Wang S, Ang HM. Surfactant modified barley straw for removal of acid and reactive dyes from aqueous solution. *Bioresour Technol* 2009; 100(18): 4292-95.

24. Clesceri LS, Greenberg AE, Eaton AD. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington DC: American Public Health Association; 2000.

25. Freundlich H. *Über die adsorption in losungen.*

1 ed. Leipzig: J Phys Chem; 1906. 385-470.

26. Langmuir I. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. *J Am Chem Soc* 1916; 38(11): 2221-95.

27. Temkin M, Pyzhev JAV. Kinetics of ammonia synthesis on promoted Iron catalysts. *Acta Physicochem* 1940; 12: 217-29.

28. Azizian S. Kinetic models of sorption: a theoretical analysis. *J Colloid Interface Sci* 2004; 276(1): 47-52.

29. Nemr AE. Potential of pomegranate husk carbon for Cr (VI) removal from wastewater: kinetic and isotherm studies. *J Hazard Mater* 2009; 161(1): 132-41.

30. Gulnaz O, Kaya A, Dincer S. The reuse of dried activated sludge for adsorption of reactive dye. *J Hazard Mater* 2006; 134(1-3): 190-6.

31. Iscen CF, Kiran I, Ilhan S. Biosorption of reactive black 5 dye by penicillium restrictum: the kinetic study. *J Hazard Mater* 2007; 143(1-2): 335-40.

32. Osma JF, Saravia V, Toca Herrera JL, Couto SR. Sunflower seed shells: A novel and effective low-cost adsorbent for the removal of the diazo dye reactive black 5 from aqueous solutions. *J Hazard Mater* 2007; 147(3): 900-5.

33. Akar ST, Ozcan AS, Akar T, Ozcan A, Kaynak Z. Biosorption of a reactive textile dye from aqueous solutions utilizing an agro-waste. *Desalination* 2009; 249(2): 757-61.

34. Hameed BH. Grass waste: a novel sorbent for the removal of basic dye from aqueous solution. *J Hazard Mater* 2009; 166(1): 233-8.

35. Hameed BH. Evaluation of papaya seeds as a novel non-conventional low-cost adsorbent for removal of methylene blue. *J Hazard Mater* 2009; 162(2-3): 936-44.

36. Ip AW, Barford JP, McKay G. Reactive black dye adsorption/desorption onto different adsorbents: effect of salt, surface chemistry, pore size and surface area. *J Colloid Interface Sci* 2009; 337(1): 32-8.

37. Tchobanoglous G, Burton F, Stensel D. *Wastewater engineering, treatment and reuse.* 4 ed. New York: McGraw-Hill; 2003.

The Efficiency of Modified Wheat Brad in Reactive Black 5 Dye Removal from Aqueous Solutions

Nader Yousefi¹, Ali Fatehizadeh², Abdolkarim Ahmadi³, Ahmad Rajabizadeh⁴, Ali Toolabi⁴,
Mohammad Ahmadian⁴.

Abstract

Background: Surface absorption using low cost materials has been an appropriate method to treat lots of industrial wastewater. The aim of this study was application of wheat brad as a low cost adsorbent for reactive black 5 removal from textile wastewater.

Methods: In this study, modified wheat brad was used for dye removal from textile wastewater at laboratory scale. Cetylpyridinium chloride monohydrate (CPC) at 2.5 mmol/L was applied for modification of wheat brad. The experiments were conducted at batch system and the effects of parameters such as pH, adsorbent dose, initial dye concentration and contact time on RB5 adsorption by modified wheat brad were studied.

Results: According to the results of this study, the minimum and maximum dye removal efficiency were obtained at pH solution 1 and 7 that were 61.54% and 83.15%, respectively. With increasing contact time and adsorbent dose, dye removal efficiency increased. Furthermore, by increasing the dye initial concentration in solution, dye removal rate increased and dye removal efficiency decreased. Based on the results, the Langmuir isotherm and second order kinetics are the best modules for explanation of RB5 adsorption onto modified wheat brad.

Conclusion: Considering the high cost of other methods in dye removal, modified wheat brad could be used as a relatively efficient and low cost adsorbent in dye removal from textile wastewater.

Keywords: Adsorption, Reactive black 5, Aqueous solutions, Wheat brad

1 - PhD Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2 - PhD Student, Research Center for Environmental Sciences, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

3 - MSc Student, Department of Environmental Health, School of Public Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

4 - Lecturer, Department of Environmental Health, School of Public Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

Corresponding Author: Mohammad Ahmadian

Email: moh.ahmadian@yahoo.com

Address: School of Public Health, Kerman University of Medical Sciences, Haft Baghe Alavi Highway, Kerman, Iran.

Tel: +98 341-3205000

Fax: +98 341- 3205105