

تهیه کربن فعال از چوب درخت سرو و بررسی کارایی آن در حذف رنگ اسید رد ۱۸: مطالعه کینتیک و ثابت تعادل

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۴

چکیده

چکیده

زمینه و هدف: پساب‌های نساجی از مهمترین آلاینده‌های صنعتی محیط زیست می‌باشند که به دلیل دارا بودن مواد رنگ زای سمی باعث تهدید محیط زیست می‌گردند. بنابراین در این پژوهش از فرآیند جذب سطحی با کربن فعال تهیه شده از درخت کاج به دلیل مزایای بالای این فرآیند، در حذف رنگ اسید رد ۱۸ به عنوان یک نوع رنگ آزو استفاده گردیده است. **روش بررسی:** در این مطالعه از کربن فعال تهیه شده از درخت سرو که به روش احیای شیمیایی تهیه گردیده بود به عنوان جاذب در جهت حذف رنگ اسید رد ۱۸ در سیستم ناپیوسته استفاده گردید. کارایی حذف رنگ با تغییر دادن pH اولیه محلول (از ۳ تا ۱۱)، زمان تماس (۱ تا ۱۲۰ دقیقه)، غلظت اولیه رنگ (۷۵، ۵۰ و ۱۰۰ mg/L) و میزان جاذب (۲ تا ۱۰ g/L) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین از مدل‌های ایزوترمی لانگمویر و فروندلیخ جهت محاسبه ثابت تعادل و از مدل‌های کینتیک شبه درجه اول و شبه درجه دوم جهت تعیین کینتیک واکنش فرآیند استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اولیه رنگ، زمان تماس و همچنین میزان جاذب کارایی حذف رنگ افزایش می‌یابد. همچنین بیشترین مقدار حذف رنگ در محیط اسیدی (pH=۳) مشاهده گردید. در زمان تماس ۱۲۰ دقیقه، pH برابر ۳، میزان جاذب برابر ۶ g/L و غلظت رنگ ۱۰۰ mg/L بیش از ۹۵٪ رنگ حذف گردید. نتایج حاصل از برآزش داده‌های ثابت تعادل بروی مدل‌های ایزوترمی نشان داد که داده‌های ثابت تعادل با ضریب رگرسیون بالاتری از ایزوترم فروندلیخ تبعیت می‌کنند. همچنین براساس مدل ایزوترمی لانگمویر مشخص گردید که هر گرم از جاذب می‌تواند ۵۱/۲۸ میلی‌گرم از رنگ اسید رد ۱۸ را به‌خود جذب کند. همچنین مشخص گردید که کینتیک واکنش فرآیند حذف از مدل کینتیک شبه درجه دوم پیروی می‌کند.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که کربن فعال تهیه شده از درخت کاج کارایی بسیار بالاتری در حذف رنگ اسید رد ۱۸ از خود نشان می‌دهد و با توجه به وفور این نوع درخت در ایران، می‌توان از زغال تهیه شده از این درخت برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی ماده رنگ زای اسید رد ۱۸ استفاده کرد.

کلمات کلیدی: کربن فعال، احیای شیمیایی، رنگ آزو، ثابت تعادل، کینتیک واکنش

مقدمه

استفاده می‌شود. این گروه از مواد رنگ زا دارای حلالیت و پایداری بالا، ارزان و دارای یک یا چند پیوند نیتروژن- نیتروژن می‌باشند که باعث استفاده از این نوع مواد در رنگرزی پارچه و الیاف می‌شود^۱. همچنین رنگ‌های گروه آزو مواد آلی، سرطان زا، جهش‌زا و سمی می‌باشند که برای انسان و محیط زیست بسیار خطرناک می‌باشند. این رنگ‌ها دارای پایداری بالایی در محیط زیست می‌باشند و چنانچه

فاضلاب حاصل از صنایع نساجی همواره یکی از منابع آلوده کننده محیط زیست بشمار می‌رود. عمده ترین ویژگی این نوع فاضلاب‌ها وجود مواد رنگ زای استفاده نشده می‌باشد که باعث رنگی شدن این نوع فاضلاب‌ها می‌شود.^۱ در صنایع نساجی از انواع مختلفی از مواد رنگ زای مصنوعی از جمله رنگ‌های گروه آزو

محمدرضا سمرقندی^۱، داریوش ایزدی^۲، محمد نوری سپهر^۳ و منصور ضرابی^{۴*}

^۱ دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، ایران

^۲ کارشناس مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، ایران

^۳ دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

^۴ کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

* نویسنده مسئول: کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

۰۲۶۳- ۴۶۴۳۳۱۹
E-mail: mansor62@gmail.com

سرو از مناطق محلی تهیه و جهت ساخت کربن فعال مورد استفاده قرار گرفت. زائادات درخت سرو ابتدا با آب مقطر جهت حذف گرد و غبار شسته شده و در فور در دمای ۵۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. سپس زائادات خشک شده خرد گردیده و در اندازه‌های ۲ میلی‌متری مش‌بندی گردید. در این مطالعه کربن فعال به روش تلفیقی و با استفاده از فعال سازی شیمیایی و افزایش تخلخل با استفاده از دی اکسید کربن تهیه گردید. از اسید فسفریک یک نرمال جهت فعال سازی زغال تهیه شده استفاده گردید. برای این منظور، زائادات درخت کاج با اسید فسفریک آغشته گردیده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه قرار داده شد تا اسید فسفریک بطور کامل جذب زائادات درخت سرو گردد. بعد از ۲۴ ساعت، زائادات آغشته شده به اسید فسفریک در دمای ۷۵۰ درجه سلسیوس در کوره الکتریکی، به مدت ۲ ساعت و در شرایط خلاء سوزانده شد تا کربن فعال مورد نظر تهیه گردد. جهت تهیه زغال مناسب، دما به صورت تدریجی و با سرعت ۵۰ درجه سلسیوس در هر دقیقه افزایش یافت و در نهایت به ۷۵۰ درجه سلسیوس رسید و در این دما به مدت ۲ ساعت نگه داشته شد. جهت افزایش خلل و فرج زغال تهیه شده، از گاز دی‌اکسید کربن استفاده گردید. به این ترتیب که بعد از خروج زغال تهیه شده از کوره، زغال مورد نظر در تماس با گاز دی اکسید کربن پرفشار قرار داده شد تا خلل و فرج آن افزایش یابد. بدین ترتیب کربن فعال تهیه شده جهت آزمایشات سیستم ناپیوسته مورد استفاده قرار گرفت.

تهیه منحنی استاندارد رنگ اسید رد ۱۸

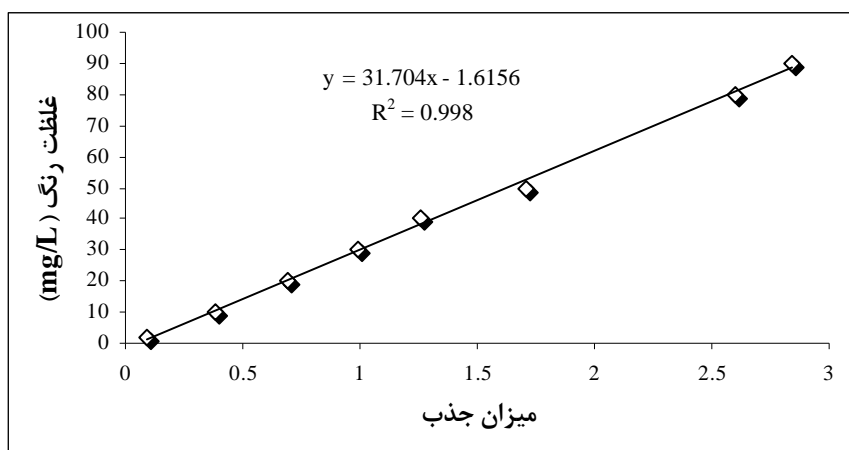
در این مطالعه از دستگاه اسپکتروفوتومتر UV/VIS ساخت شرکت هاگ آمریکا مدل DR5000 جهت تعیین غلظت رنگ استفاده گردید. برای این منظور ابتدا منحنی استاندارد تهیه شد. جهت تهیه منحنی استاندارد، غلظت‌های مختلف رنگ در محدوده ۱ تا ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر ساخته شد. حداکثر جذب غلظت‌های مختلف رنگ در طول موج ۵۰۶ نانومتر قرائت گردیده و بدین ترتیب منحنی استاندارد مورد نظر تهیه شد. در شکل ۱ منحنی استاندارد رنگ اسید رد ۱۸ آورده شده است.

وارد محیط زیست شوند، سال‌ها در محیط زیست باقی مانده و به ترتیب باعث تهدید انسان و گونه‌های جانوری و گیاهی می‌شوند.^۳ بنابراین با توجه به مطالب گفته شده مشخص می‌گردد که حذف این نوع از مواد رنگ زا برای جلوگیری از آلوده سازی محیط زیست بسیار ضروری می‌باشد. در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی از جمله فرآیند انعقاد-لخته سازی،^۴ فرآیند اکسیداسیون پیشرفته،^۵ فرآیندهای غشائی،^۶ روش‌های تصفیه بیولوژیکی^۷ و سایر روش‌ها برای حذف این نوع مواد مورد استفاده قرار گرفته است. فرآیند جذب سطحی روی کربن فعال از جمله روش‌های بسیار مؤثر برای حذف مواد آلی و عناصر جزئی از محلول‌های آبی می‌باشد که اغلب در فرآیند تصفیه پیشرفته مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این فرآیند اغلب از کربن فعال تجاری استفاده می‌شود که ماده تقریباً گران‌قیمتی بوده و اغلب نیاز به نیروی متخصص جهت بهره برداری و نگهداری از فرآیند دارد.^{۸-۱۱} در این فرآیند کربن فعال اشباع شده از آلاینده بطور مداوم احیا می‌گردد که این امر باعث افزایش هزینه‌ها و همچنین پیچیده شدن فرآیند بهره برداری می‌گردد.^{۱۱} برای این منظور امروزه محققان از مواد زائد کشاورزی برای تهیه کربن فعال به صورت ساده استفاده می‌کنند که اغلب بدلیل ارزان بودن فرآیند، کربن فعال مصرف شده به صورت یک ماده بی خطر در دل زمین دفن می‌گردد.^{۱۲،۱۳} درخت سرو از جمله گونه‌های رایج در ایران می‌باشد که به وفور در اغلب مناطق ایران یافت می‌شود. زائادات حاصل از این درخت اغلب به صورت روباز سوزانده می‌شود که از یک طرف باعث آلودگی هوا و از طرف دیگر تولید خاکستر می‌شود که خود این خاکستر نیاز به دفن مناسب دارد. بنابراین چنانچه بتوان از این زائادات استفاده بهینه کرد، این کار می‌تواند از لحاظ اقتصادی ارزشمند باشد. برای این منظور هدف اصلی از این مطالعه بررسی کارائی کربن فعال تهیه شده از زائادات درخت سرو و بررسی کارائی آن در حذف ماده رنگ زای اسید رد ۱۸ به عنوان یک نوع رنگ آزو می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه کربن فعال

این مطالعه یک مطالعه بنیادی-کاربردی می‌باشد که در مقیاس آزمایشگاهی و در سیستم ناپیوسته انجام گرفته است. زائادات درخت

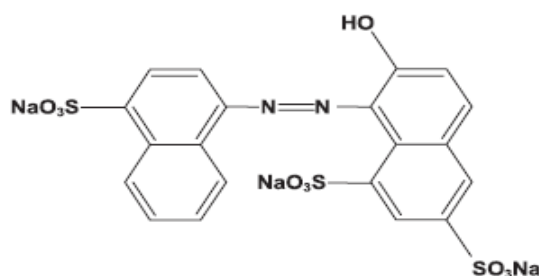


شکل ۱. منحنی استاندارد رنگ اسید رد ۱۸

آزمایشات سیستم ناپیوسته

مواد شیمیایی مورد استفاده در این مطالعه از شرکت مرک آلمان تهیه گردیده و مورد استفاده قرار گرفت. ماده رنگ زای اسید رد ۱۸ به عنوان شاخص رنگ‌های گروه آزو و با حداکثر طول موج جذب ۵۰۶ نانومتر از شرکت مرک آلمان تهیه گردید. ساختار شیمیایی رنگ مورد نظر در شکل ۲ نشان داده شده است. کلیه آزمایشات در سیستم ناپیوسته و در بشرهای ۲۵۰ میلی لیتری انجام گردد. پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه شامل pH اولیه محلول (۳-۱۱)، زمان واکنش (۰-۱۲۰ دقیقه)، میزان جاذب (۱۰-۲ g/L) و غلظت اولیه محلول رنگ (۵۰-۱۰۰ mg/L) می‌باشد. از اسید سولفوریک و سود ۰/۵ نرمال جهت تنظیم pH محلول‌ها استفاده گردید. جهت انجام آزمایشات، محلول‌های رنگ با غلظت‌های مشخص (۱۰۰-۵۰) ساخته شده و در pHهای مختلف در تماس با غلظت‌های مختلف کربن فعال تهیه شده بروی شیکر با دور ۱۵۰ rpm قرار داده شد. سپس در زمان‌های تماس مختلف نمونه برداری گردیده و

حداکثر مقدار جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۰۶ نانومتر قرائت گردید. به این ترتیب و از روی منحنی استاندارد، میزان باقی مانده رنگ‌ها و درصد حذف مشخص گردید. برای مثال جهت بررسی تأثیر pH محلول بروی راندمان حذف رنگ، محلول رنگ با غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ mg/L ساخته شده و در ۵ عدد بشر به حجم ۲۵۰ میلی لیتر ریخته شد. pH بشرهای حاوی محلول رنگ در محدوده ۳ تا ۱۱ با استفاده از اسید سولفوریک و سود ۰/۵ نرمال تنظیم گردید. در مرحله بعد به هر کدام از بشرها ۲ g/L از کربن فعال تهیه شده اضافه گردید و به مدت ۱۲۰ دقیقه بروی شیکر اختلاط صورت گرفت. بعد از ۱۲۰ دقیقه زمان واکنش، بشرهای مورد نظر از روی شیکر برداشته شده، کربن فعال به روش فیلتراسیون با صافی واتمن با منافذ ۴۵ میکرون فیلتر شده و غلظت باقی مانده رنگ به روش اسپکتروفوتومتری تعیین گردید. تأثیر سایر پارامترها نیز به همین طریق مورد سنجش قرار گرفت. همچنین از آنالیز آماری واریانس یکطرفه جهت بررسی داده‌ها استفاده گردیده است.



شکل ۲. ساختار شیمیایی رنگ اسید رد ۱۸

تعیین ثابت تعادل

جهت مطالعه ثابت تعادل از مدل‌های ایزوترمی فروندلیخ و لانگمویر استفاده گردید. شکل خطی معادله فروندلیخ به صورت زیر می‌باشد (معادله ۱):

$$\log(q_e) = \log K_f + 1/n \log C_e \quad (1)$$

در این رابطه q_e نشان دهنده مقدار رنگ جذب شده بروی جاذب بر حسب C_e , mg/g نشان دهنده مقدار باقی مانده رنگ در محلول بعد از زمان تعادل بر حسب K_f , mg/L و $1/n$ نیز ثابت‌های معادله فروندلیخ می‌باشد. چنانچه مقدار پارامتر n در محدوده ۱ تا ۱۰ قرار بگیرد نشان دهنده فرآیند جذب از نوع مطلوب می‌باشد. پارامتر K_f نیز نشان دهنده میزان چسبندگی آلاینده بروی جاذب می‌باشد که مقادیر بالاتر نشان دهنده میزان چسبندگی بالاتر آلاینده بروی جاذب تهیه شده می‌باشد.

شکل خطی معادله لانگمویر نیز به صورت زیر می‌باشد (رابطه ۲):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_m b} \quad (2)$$

در این رابطه، q_m نشان دهنده حداکثر آلاینده جذب شده بروی جاذب در حال تعادل بر حسب mg/g می‌باشد. پارامتر b نیز نشان دهنده ثابت ایزوترم لانگمویر می‌باشد.

تعیین کینتیک واکنش

جهت تعیین کینتیک واکنش جذب رنگ اسید رد ۱۸ بروی کربن فعال تهیه شده از درخت کاج از معادله‌های کینتیک شبه درجه اول و شبه درجه دوم استفاده گردید. شکل اولیه معادله کینتیک شبه درجه اول به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (3)$$

اگر از رابطه بالا در محدوده $q_t=0$ و $t=0$ انتگرال بگیریم، رابطه ۳ به صورت زیر و به شکل خطی تبدیل خواهد شد:

$$\text{Log} \left(1 - \frac{q_t}{q_e} \right) = (k_1 / 2.030) t \quad (4)$$

در این معادله، k_1 نشان دهنده ثابت سرعت معادله شبه درجه اول بر حسب (1/min) و q_t و q_e به ترتیب نشان دهنده میزان رنگ جذب شده بروی جاذب در زمان t و در لحظه تعادل بر حسب mg/g

می‌باشند.

شکل اولیه معادله کینتیک شبه درجه دوم به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (5)$$

اگر از رابطه فوق در بازه $q_t=0$ و $t=0$ انتگرال بگیریم، رابطه ۵ به صورت زیر و به شکل خطی تبدیل خواهد شد:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (6)$$

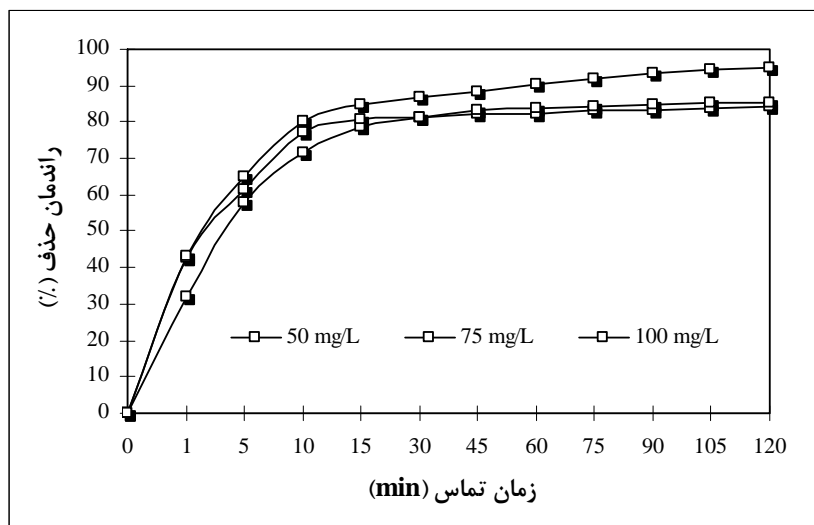
در این رابطه، k_2 نشان دهنده ثابت سرعت واکنش شبه درجه دوم بر حسب (g/mg.min) می‌باشد. در این مطالعه از روابط خطی برای تعیین کینتیک واکنش‌ها استفاده گردید.

یافته‌ها**بررسی زمان تعادل**

در شکل ۳ نتایج حاصل از تأثیر زمان تماس و همچنین زمان به تعادل رسیدن واکنش در غلظت‌های مختلف رنگ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش زمان تماس کارایی حذف رنگ افزایش می‌یابد و برای هر سه غلظت اولیه رنگ، نقطه تعادل در زمان تماس ۴۵ دقیقه مشاهده می‌گردد. با افزایش زمان تماس از لحظه شروع تا نقطه تعادل (زمان تماس صفر تا ۴۵ دقیقه)، کارایی حذف رنگ به ترتیب برابر ۸۲، ۸۴ و ۸۸٪ برای غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ mg/L مشاهده گردید. از زمان تماس ۴۵ دقیقه تا ۱۲۰ دقیقه در کارایی حذف تغییر چندانی مشاهده نگردید و تا زمان تماس ۱۲۰ دقیقه کارایی حذف رنگ برای غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ mg/L به ترتیب به ۸۴/۵، ۸۵/۴۵ و ۹۵٪ افزایش یافت. بنابراین زمان تماس ۴۵ دقیقه به عنوان زمان تعادل در نظر گرفته شد و برای تعیین کینتیک واکنش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. همچنین آنالیز آماری واریانس یکطرفه نشان داد که بین افزایش زمان تماس و میزان حذف رنگ رابطه معنی داری وجود دارد ($p < 0.05$).

بررسی تأثیر میزان جاذب بر روی کارایی حذف رنگ

تأثیر میزان جاذب بر روی کارایی حذف رنگ در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطوری که مشاهده می‌گردد با افزایش میزان غلظت جاذب کارایی حذف رنگ بطور خطی افزایش می‌یابد.



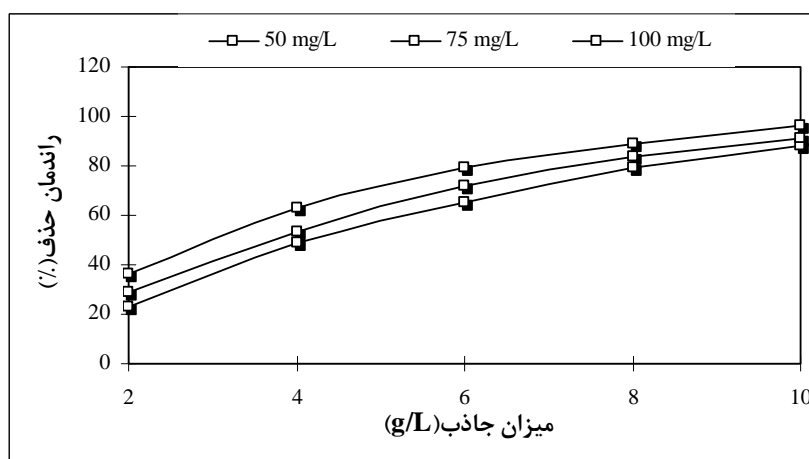
شکل ۳. نتایج حاصل از تأثیر زمان تماس بروی کارایی حذف رنگ (pH=۷، غلظت جاذب ۶ g/L)

حذف فرآیند نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش pH اولیه محلول کارایی حذف فرآیند به صورت خطی کاهش می‌یابد به طوری که بیشترین میزان حذف رنگ در pH برابر ۳ مشاهده گردید. با افزایش pH اولیه محلول از ۳ تا ۱۱ میزان کارایی حذف رنگ از ۸۵٪ به ۲۴٪ برای غلظت رنگ ۵۰ mg/L، از ۸۰٪ به ۱۶٪ برای غلظت رنگ ۷۵ mg/L و بالاخره از ۷۰٪ به ۸٪ برای غلظت رنگ ۱۰۰ mg/L کاهش یافت. همچنین آنالیز آماری واریانس یکطرفه نشان داد که بین کاهش pH محلول و میزان حذف رنگ رابطه معنی داری وجود دارد ($p < 0.05$).

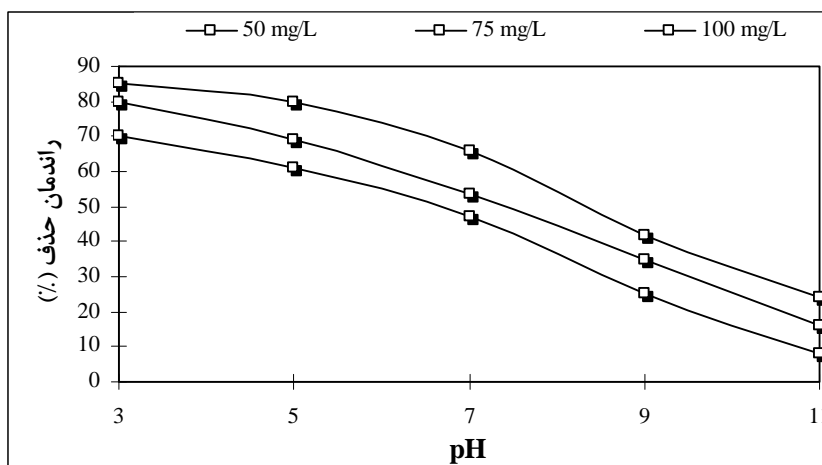
با افزایش میزان جاذب از ۲ تا ۱۰ g/L کارایی حذف رنگ برای غلظت‌های اولیه رنگ ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ mg/L به ترتیب از ۲۳ به ۸۸٪، ۲۹ به ۹۱٪ و از ۳۶ به ۹۶٪ افزایش یافت. همچنین مشخص گردید که با افزایش همزمان غلظت جاذب و غلظت اولیه رنگ، کارایی حذف رنگ نیز افزایش می‌یابد بطوری که بیشترین مقدار حذف رنگ در میزان جاذب ۱۰ g/L و غلظت رنگ ۱۰۰ mg/L مشاهده می‌گردد. آنالیز آماری واریانس یکطرفه نشان داد که بین افزایش میزان جاذب و میزان حذف رنگ رابطه معنی داری وجود دارد ($p < 0.05$).

بررسی تأثیر pH اولیه محلول بروی کارایی حذف رنگ

در شکل ۵ نتایج حاصل از تأثیر pH اولیه محلول بروی کارایی



شکل ۴. تأثیر میزان جاذب بروی کارایی حذف فرآیند (pH=۷، زمان تماس ۱۲۰ دقیقه)



شکل ۵. نتایج تأثیر pH اولیه محلول بروی کارایی حذف رنگ (زمان تماس ۱۲۰ دقیقه، غلظت جاذب ۶g/L)

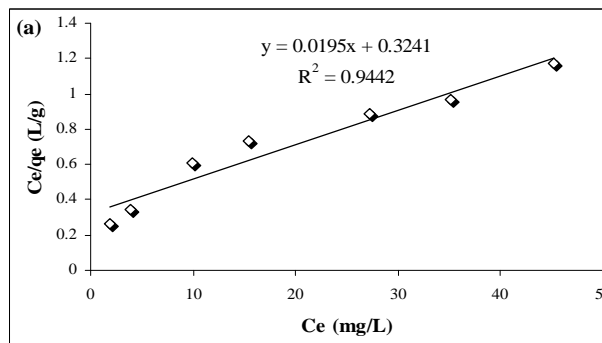
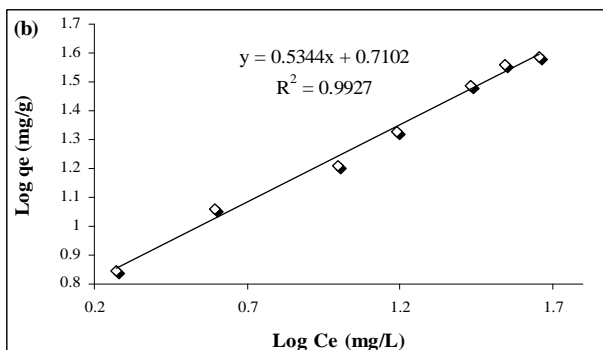
ایزوترمی فروندلیخ با ضریب رگرسیون خطی بیش از ۹۹٪ پیروی می‌کند. همانطوری که در جدول ۱ نشان داده شده است، حداکثر میزان حذف رنگ براساس ثابت ایزوترم لانگمویر (q_m) مقدار ۵۱/۲۸ میلی گرم به ازای هر گرم از جاذب مشاهده گردید. همچنین مقدار پارامتر n برابر ۱/۸۷ محاسبه گردید که نشان دهنده فرآیند جذب مطلوب در سیستم مورد مطالعه می‌باشد.

ایزوترم‌های جذب و تعیین ثابت تعادل

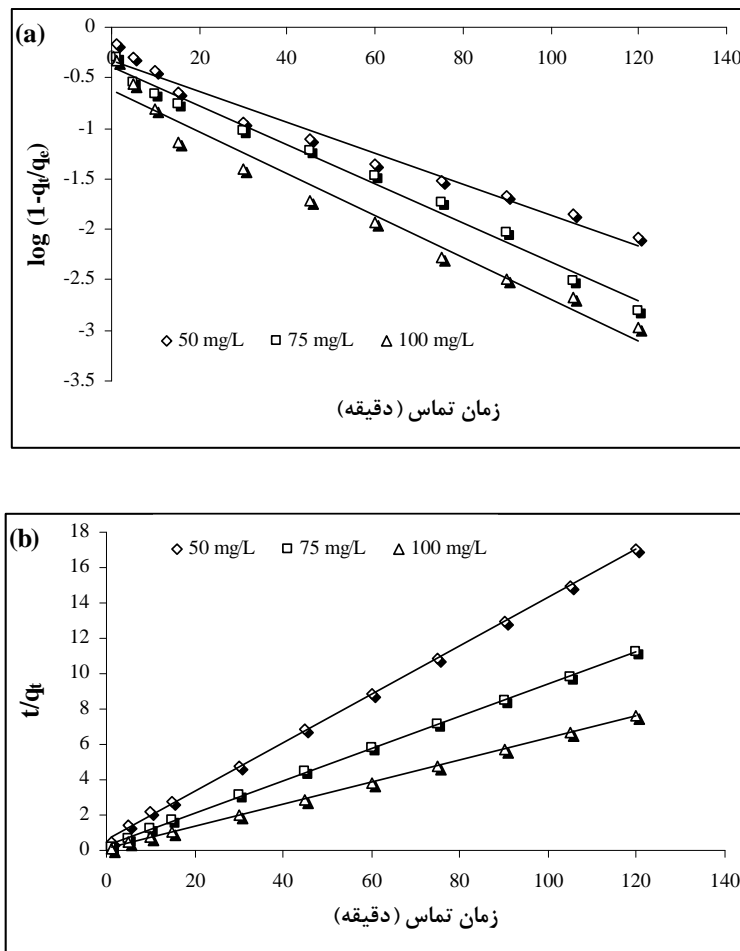
در شکل ۶a و ۶b به ترتیب نتایج حاصل از برازش داده‌های زمان تعادل بروی مدل‌های ایزوترمی لانگمویر و فروندلیخ نشان داده شده است. در جدول ۱ نیز پارامترهای محاسبه شده از مدل‌های ایزوترمی نشان داده شده است. با توجه به ضریب رگرسیون خطی (R^2) مشاهده می‌گردد که داده‌های ثابت تعادل حذف رنگ اسید رد ۱۸ با استفاده از جاذب کربن فعال تهیه شده از درخت کاج از مدل

جدول ۱. پارامترهای محاسبه شده از روی مدل‌های ایزوترمی

R^2	n	k_f ($mg^{-1/n}L^{1/n}/g$)	b (L/mg)	q_m (mg/g)	
۰/۹۴۴۲	-	-	۰/۰۶	۵۱/۲۸	ایزوترم لانگ مویر
۰/۹۹۲۷	۱/۸۷	۵/۱۳	-	-	ایزوترم فروندلیخ



شکل ۶. نتایج حاصل از برازش داده‌های ثابت تعادل بروی مدل‌های ایزوترمی (a) لانگمویر و (b) فروندلیخ



شکل ۷. نتایج حاصل از برازش داده‌های زمان تعادل بروی مدل‌های کینتیکی (a) شبه درجه اول و (b) شبه درجه دوم

می‌باشد.

تعیین کینتیک واکنش حذف رنگ اسید رد ۱۸

شکل ۷a و ۷b به ترتیب نتایج حاصل از برازش داده‌های زمان تعادل بروی مدل‌های کینتیکی شبه درجه اول و شبه درجه دوم را نشان می‌دهند. براساس ضریب همبستگی خطی (R^2) که در جدول ۲ آمده است، مشخص می‌گردد که کینتیک حذف رنگ اسید رد ۱۸ بروی کرین فعال تهیه شده از درخت کاج در غلظت‌های مختلف رنگ از هر دو نوع معادله پیروی می‌کند ولی معادله شبه درجه دوم نسبت به معادله شبه درجه اول، ضریب همبستگی بالاتری را نشان می‌دهد. همچنین مشخص گردید که با افزایش میزان غلظت اولیه رنگ ضریب سرعت معادله شبه درجه دوم افزایش می‌یابد که این امر نشان دهنده افزایش کارایی حذف رنگ با افزایش غلظت اولیه رنگ

بحث

تأثیر زمان تماس و نقطه تعادل

زمان تماس یکی از پارامترهای مهم در واکنش‌های شیمیایی می‌باشد. اصولاً در واکنش‌های شیمیایی می‌توان یک زمان تماس بهینه و یا زمان تعادل برای واکنش مورد نظر تعریف کرد. زمان تعادل زمانی می‌باشد که در آن میزان حذف آلاینده به یک مقدار ثابت می‌رسد. به عبارت دیگر چنانچه زمان تماس بیش از حد تعادل باشد فرآیند از لحاظ اقتصادی به صرفه نخواهد بود چراکه مقدار حذف خیلی کم می‌باشد.

جدول ۲. پارامترهای محاسبه شده از مدل‌های کینتیک

غلظت رنگ	پارامترها	معادله شبه درجه اول	معادله شبه درجه دوم
۵۰ mg/L	k_1	۰/۰۳۵	-
	k_2	-	۰/۰۲۸
	q_e	-	۷/۳
	R^2	۰/۹۷	۰/۹۹
۷۵ mg/L	k_1	۰/۰۴۴	-
	k_2	-	۰/۰۳۳
	q_e	-	۱۱
	R^2	۰/۹۸	۰/۹۹
۱۰۰ mg/L	k_1	۰/۰۴۷	-
	k_2	-	۰/۰۴۱
	q_e	-	۱۶
	R^2	۰/۹۶	۰/۹۹

بود.^{۱۰} در مطالعه‌ای که بر روی حذف رنگ با خاکستر فرار انجام گرفته نشان داده شده است که کارایی حذف رنگ‌های بازی و اسیدی با افزایش میزان خاکستر فرار افزایش می‌یابد.^۶ در مطالعه دیگری نیز از ژولیت طبیعی خاک کشور ترکیه برای حذف رنگ بازی تولوئیدین بلو او استفاده شده که نتایج مشابهی ارائه داده است.^{۱۴}

تأثیر pH محلول بر روی کارایی حذف رنگ

نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که کربن فعال تهیه شده از درخت سرو بیشترین مقدار حذف رنگ را در محیط‌های اسیدی (pH=۳) از خود نشان می‌دهد. براساس تغییراتی که pH محلول‌های رنگ اتفاق می‌افتد سطح جاذب دارای بارهای مثبت و یا منفی خواهد شد به عبارت دیگر در محیط‌های اسیدی از آنجائی که غلظت یون H^+ بسیار زیاد می‌باشد بنابراین سطح جاذب در این گونه محیط‌ها توسط یون‌های مثبت هیدروژن بمباران خواهد شد. بنابراین سطح جاذب دارای بارهای مثبت خواهد گردید. در این شرایط جاذب آماده گی بالاتری برای مبادله یون‌های H^+ با آنیون‌های منفی موجود در محیط خواهد داشت.^{۱۰} رنگ اسید رد ۱۸ زمانی که در محیط آبی قرار بگیرد یون‌های سدیم که متصل به گروه‌های سولفونیک می‌باشند (شکل ۱) از ساختار رنگ جدا گردیده و

در این پژوهش نیز، نتایج نشان داد که با افزایش زمان تماس کارایی فرآیند افزایش می‌یابد و در مدت زمان ۴۵ دقیقه به تعادل می‌رسد. در مطالعه ای که توسط شکوهی و همکاران بر روی کارایی کربن فعال تهیه شده از درخت سرو در حذف رنگ اسید رد ۱۸ انجام گرفته مشخص گردیده است که با افزایش زمان تماس کارایی حذف رنگ افزایش می‌یابد و در زمان تماس ۹۰ دقیقه به تعادل می‌رسد.^۱ در مطالعه حاضر زمان تعادل در مدت زمان ۴۵ دقیقه مشاهده گردید که این امر نشان دهنده کارایی بالاتر کربن فعال تهیه شده از درخت کاج نسبت به کربن فعال تهیه شده از درخت سرو می‌باشد.

بررسی تأثیر میزان جاذب بر روی کارایی حذف رنگ

همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده، با افزایش میزان جاذب کارایی حذف رنگ بطور چشمگیری افزایش یافت. این امر بدلیل افزایش محل‌های جذب رنگ با افزایش میزان جاذب است که منجر به کارایی حذف رنگ بیشتر در مقادیر بالای جاذب می‌باشد. از آنجائی که در فرآیند جذب سطحی حذف رنگ بروی سطح جاذب و همچنین در داخل منافذ جاذب صورت می‌گیرد بنابراین هرچه قدر میزان جاذب افزایش یابد به دنبال آن میزان جذب رنگ بالاتر خواهد

جذب سطحی مطالعه می‌کنند گزارش شده است.^{۱۶و۱۵} همچنین در مطالعه حاضر و در زمان بررسی مدل‌های کینتیکی مشاهده گردید که کینتیک حذف رنگ اسید رد ۱۸ با ضریب همبستگی بالاتری از مدل کینتیکی شبه درجه دوم پیروی می‌کند. علاوه بر آن با توجه به جدول ۲ مشخص می‌گردد که با افزایش غلظت اولیه رنگ از ۵۰ تا ۱۰۰ mg/L، ضریب سرعت معادله درجه دوم (k_2) از ۰/۰۲۸ به ۰/۰۴۱ (min) افزایش یافت. همه این عوامل بوضوح نشان می‌دهد که کارایی حذف رنگ اسید رد ۱۸ با استفاده از کربن فعال تهیه شده از درخت کاج با افزایش غلظت اولیه رنگ افزایش خواهد یافت. نتایج مشابهی در حذف رنگ‌های مستقیم با استفاده از نانولوله‌های کربنه و همچنین در حذف رنگ‌های با استفاده از بنتونیت گزارش شده است.^{۱۶و۱۵}

تقدیر و تشکر

این طرح با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی همدان به شماره ۱۳۸۹/۱۰/۰۵ پ مورخه ۱۶/۳۵/۱/۱۴۷۸۰۰ انجام گرفته است. بدین ترتیب نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه علوم پزشکی همدان بخاطر حمایت مالی این طرح اعلام می‌دارند. همچنین از آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی البرز به دلیل همکاری در انجام آزمایشات ثابت تعادل و کینتیک واکنش‌ها تشکر و قدردانی می‌گردد.

مولکول رنگ دارای بارهای منفی خواهد گردید که این امر با توجه به مطالبی که در بالا بدان اشاره گردید باعث افزایش کارایی حذف رنگ در محیط‌های اسیدی خواهد شد. نتایج مشابهی نیز در حذف رنگ‌های اسید رد ۱۴ و اسید رد ۱۸ با استفاده از پوکه معدنی اصلاح شده با اسید کلریدریک مشاهده گردیده است.^{۱۱} همچنین در محیط‌های بازی سطح جاذب توسط یون‌های منفی OH پوشیده خواهد گردید که این امر باعث افزایش کارایی جاذب در محیط‌های قلیائی برای جذب یون‌های مثبت خواهد شد. در مطالعه ای که بروی حذف رنگ کاتیونی تولوئیدین بلو او با استفاده از ژئولیت طبیعی انجام گرفته است بیشترین میزان حذف رنگ در pH=۱۱ مشاهده گردیده است.^{۱۴} محققان دلیل این امر را بروز واکنش الکترواستاتیک بین یون‌های مثبت رنگ تولوئیدین بلو او و سطح دارای بارهای منفی ژئولیت در محیط‌های قلیائی ذکر کرده‌اند.

تأثیر افزایش غلظت اولیه رنگ بروی کارایی حذف رنگ

همانطور که در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده، راندمان حذف رنگ با افزایش غلظت اولیه رنگ از ۵۰ تا ۱۰۰ mg/L افزایش چشمگیری نشان داد. در فرآیند جذب سطحی، با افزایش میزان حذف آلاینده نیروی رانش و یا به عبارت دیگر گرادیان غلظت آلاینده از سمت محلول به سمت جاذب بیشتر خواهد شد که این امر باعث افزایش میزان آلاینده جذب شده بروی جاذب می‌گردد. این اتفاق در بیشتر فرآیندهای جذب سطحی مشاهده گردیده و توسط محققان مختلفی که بروی حذف آلاینده‌ها با استفاده از فرآیندهای

References

1. Reza S, Vahid V, Mansur Z, Akram V. Adsorption of Acid Red 18 (AR18) by Activated Carbon from Poplar Wood: A Kinetic and Equilibrium Study, E-J. Chem. 2010;7:65-72.
2. Gregorio C, Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review, Bioresour. Technol. 2006; 97: 1061-1085.
3. Sudipta C, Seong-Rin L, Seung HW. Removal of Reactive Black 5 by zero-valent iron modified with various surfactants, Chem. Eng J 2010;160:27-32.
4. Andre BS, Francisco JC, Jules BL, Review paper on current technologies for decolorization of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology, Bioresour. Technol. 2007; 98: 2369-2385.
5. Abdullah Y, Nasir A, Aamir AAK, Anwer Y. Decolorization of Blue CL-BR dye by AOPs using bleach wastewater as source of H₂O₂, J Environ Sci. 2007;19:1183-1188.
6. Pavel J, Hana B, Milena R. Sorption of dyes from aqueous solutions onto fly ash, Water Res. 2003;37:4938-44.
7. Ayla O, Gonul A, Meral T. The removal of Acid Red 274 from wastewater: Combined biosorption and biocoagulation with Spirogyra rhizopus, Dyes Pigments. 2006;71:53-59.
8. Ali Reza R, Mansur Z, Mohammad Reza S, Abbas A, Hamid Reza G. Degradation of Azo Dye Reactive Black 5 and Acid Orange 7 by Fenton-Like Mechanism. Iran J Chem Eng. 2010;7:87-94.

9. Mohammad Reza S, Mansur Z, Abdeltif A, Mohammad NS, Mehdi N, Saied N, Ahmad Z. Kinetic of degradation of two azo dyes from aqueous solutions by zero iron powder: determination of the optimal conditions, *Desalination Wat Treat.* 2010;40:1-7.
10. Mohammad Reza S, Mansur Z, Mohammad NS, Abdeltif A, Gholam Hossein S, Saeed B. Application of acidic treated pumice as an adsorbent for the removal of azo dye from aqueous solutions: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies, Iran. *J Environ Health Sci Eng.* 2012;9:33-44.
11. Zhenhu H, Hui C, Feng J, Shoujun Y. Removal of Congo Red from aqueous solution by cattail root, *J Hazard Mater.* 2010;173:292–297.
12. Mokhtar A, Nargess YL, Niyaz Mohammad M. Evaluation of the adsorption kinetics and equilibrium for the potential removal of acid dyes using a biosorbent, *Chem Eng J.* 2008;139:2–10.
13. Magdalena G, Zbigniew H. Efficient removal of Acid Orange 7 dye from water using the strongly basic anion exchange resin Amberlite IRA-958, *Desalination.* 2011;278:219-226.
14. Sibel KA, Ozge O, Senol A, Husamettin A, The adsorption kinetics and removal of cationic dye, Toluidine Blue O from aqueous solution with Turkish zeolite, *J Hazard Mater.* 2008;151:213–220.
15. Chao-Yin K, Chung-Hsin W, Jane-Yii W. Adsorption of direct dyes from aqueous solutions by carbon nanotubes: Determination of equilibrium, kinetics and thermodynamics parameters, *J Colloid Interface Sci* 2008;327:308–315.
16. Qian L, Qin-Yan Y, Yuan S, Bao-Yu G, Jing i. Two-step kinetic study on the adsorption and desorption of reactive dyes at cationic polymer/bentonite, *J Hazard Mater.* 2009;165:1170–1178.