

حذف رنگ‌های راکتیو از پساب‌های نساجی با استفاده از کربن فعال حاصل از پسماندهای دانه کنجد روکش شده با پلی‌وینیل الکل

شیدا مرادی نسب^۱، سحر بلیانی^۱، مهدی بهزاد^۲، فاطمه تمدن^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده شیمی، دانشگاه سمنان

۲- استادیار دانشکده شیمی، دانشگاه سمنان

(نویسنده مسئول) ۶۶۱۶۵۵۰۹ (۰۲۱) mbehzad@Semnan.ac.ir

۳- دانشیار دانشکده شیمی، دانشگاه یزد

پذیرش ۹۳/۸/۲۰

(دریافت ۹۳/۴/۸)

چکیده

در این پژوهش، خواص جذب کربن فعال تهیه شده از پسماند حاصل از دانه‌های روغن‌کشی شده کنجد که با پلی‌وینیل الکل روکش شده بودند، برای حذف رنگ‌های راکتیو قرمز ۱۹۸ و آبی ۱۹ از پساب صنایع نساجی مطالعه شد. مجموعه فرایند برای تعیین تعدادی از فاکتورهای مؤثر در ظرفیت جذب پلی‌وینیل الکل مورد استفاده قرار گرفت و تأثیر pH، مقدار جاذب، زمان تماس و غلظت اولیه رنگ بررسی شد. همچنین ایزوترم‌های جذبی و سینتیکی واکنش مطالعه شد. در این پژوهش بالاترین حذف رنگ در pH برابر ۳ به دست آمد. بازده حذف رنگ از پساب همراه با افزایش زمان تماس برای هر دو رنگ تا ۹۰ دقیقه افزایش یافت. سینتیک جذب رنگ‌های آبی و قرمز از مدل شبه درجه دوم تبعیت کرد. غلظت رنگ‌های آبی و قرمز در پساب به روش اسپکتروفتومتری به ترتیب در طول موج‌های ۵۹۰ و ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد. مجموعه نتایج نشان داد که پلی‌وینیل الکل قابلیت خوبی در جذب رنگ دارد و می‌توان از آن به‌عنوان یک جاذب مؤثر، ارزان قیمت و در دسترس برای تصفیه پساب صنایع نساجی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: رنگ راکتیو، کربن فعال، پلی‌وینیل الکل، پساب، جذب

۱- مقدمه

زیستی برای زدودن رنگ به‌کار گرفته شده است که از آن جمله می‌توان به لخته‌سازی با آهک، کلرید آهن، آلوم، سولفات آهن، اکسایش شیمیایی توسط کلرین و ازن و جداسازی غشایی برای تمیزسازی پساب‌های رنگی اشاره کرد [۹-۶]. با این‌که روش‌های مذکور دارای مزیت حذف رنگ‌اند، ولی محدودیت‌هایی نظیر هزینه عملیاتی و نگهداری بالا در هنگام رویارویی با مقدار زیادی پساب رنگی با غلظت پایین نیز دارند. بنابراین انتخاب یک روش مؤثر و کارآمد با قیمت مناسب برای حذف رنگ درخور توجه است.

کربن فعال^۱ یکی از جاذب‌های مناسب است و به‌علت داشتن ظرفیت جذبی بالا برای مواد آلی، به‌صورت‌های مختلف گرانولی و پودری در صنعت استفاده گسترده‌ای دارد [۱۰، ۱۱ و ۱۲]. با این رویکرد، پیدا کردن منبعی غنی از کربن فعال برای حذف، دارای اهمیت است. مواد و روش‌های متفاوتی برای تولید کربن فعال به‌کار گرفته شده است. از جمله آنها می‌توان به کربن فعال حاصل از زغال سنگ، گرد و خاک، خاکستر و چوب اشاره کرد [۱۶-۱۳].

امروزه افزایش آلودگی‌های محیطی در سطح جهان و افزایش استفاده از مواد رنگی و تولید روزافزون پساب‌های صنعتی، از جمله مشکلاتی است که توجه زیادی را به خود جلب کرده است. از این رو تلاش برای یافتن روش‌های جدید در زمینه حذف رنگ از پساب‌های صنعتی در دستور کار بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است [۱ و ۲]. بیش از صد هزار نوع رنگ تجاری در دسترس است و سالانه حدود 7×10^5 تن از انواع رنگ‌های مختلف تولید می‌شود. رنگ‌های راکتیو به‌طور گسترده در صنایع نساجی استفاده می‌شوند. پساب‌های تولید شده از فرایندهای رنگی دارای BOD و COD بالا و مقدار زیادی رنگ و مواد جامد حل نشده هستند [۳].

در فرایند رنگ‌رزی، ۳۰ تا ۶۰ لیتر آب به‌ازای رنگ کردن هر کیلوگرم پارچه مصرف می‌شود و از این رو، مقدار قابل توجهی پساب رنگی تولید می‌شود. رنگ‌ها مواد سمی هستند و از بین بردن آنها از لحاظ محیط زیستی دارای اهمیت است [۴ و ۵]. یکی از مراحل مهم و قابل توجه در صنعت نساجی، پاکسازی پساب‌های صنعتی از رنگ‌ها است. روش‌های مختلف شیمیایی، فیزیکی و

¹ Activated Carbon (AC)

شفاف و زله‌ای حاصل شود. سپس به محلول بالا ۱/۵ گرم کربن فعال به دست آمده از مرحله قبل اضافه شد و هم زده شد تا ماده‌ای خمیری حاصل شود. این ماده در دمای ۶۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس در آن خشک شد و از پودر به دست آمده، به عنوان جاذب استفاده شد.

۲-۳- تعیین بیشینه طول موج (λ_{max}) جذب رنگ‌های راکتیو
برای تعیین بیشینه طول موج جذبی، رنگ‌های راکتیو آبی و قرمز از دستگاه UV-Vis استفاده شد. طول موج‌های ۵۹۰ و ۵۱۷ نانومتر به ترتیب طول موج بیشینه جذب رنگ‌های راکتیو آبی ۱۹ و قرمز ۱۹۸ است.

۲-۴- روش کار آزمایشگاهی

ابتدا محلولی از رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ (یا آبی ۱۹) با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (۵۰ ppm) در آب تهیه شد. سپس به نمونه‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری از این محلول مقادیر ۰/۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲ با ۰/۲۵ گرم از جاذب‌های AC و یا AC/PVA اضافه شد. pH محلول با اضافه کردن اسید نیتریک و یا سود در گستره ۲ تا ۱۲ تنظیم شد و محلول حاصل به مدت ۹۰ دقیقه هم زده شد. سپس جاذب صاف شد و جذب محلول زیر صافی توسط دستگاه UV-Vis اندازه‌گیری شد. از روی اختلاف جذب قبل و بعد از اتمام واکنش و با استفاده از رابطه بیر-لامبرت^۲ مقدار رنگ جذب شده به دست آمد. این آزمایش برای تعیین پارامترهای بهینه pH، مقدار جاذب، مقدار رنگ جذب شونده و مدت زمان تماس چندین بار تکرار شد. هر آزمایش نیز برای مطالعه تکرارپذیری، سه بار تکرار شد و نتایج آزمون بر اساس میانگین سه بار اندازه‌گیری ارائه شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی اثر pH

یکی از پارامترهای مهم در حذف رنگ از محلول، pH است. به این منظور محلول ۵۰ ppm از دو رنگ آبی و قرمز راکتیو تهیه شد. نقش غلظت یون هیدروژن، به کمک اسید نیتریک و سود، در pHهای مختلف ۲ تا ۱۲، با مدت زمان تماس ۹۰ دقیقه و مقدار جاذب ۰/۱۵ گرم بررسی شد. درصد حذف رنگ نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد

$$\text{حذف رنگ (درصد)} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه

پلی‌وینیل الکل (AC/PVA) هم که یک پلیمر چربی‌دوست است، توانایی جذب آب را دارد و به عنوان سورفاکتانت استفاده می‌شود [۱۷].

بررسی‌های انجام شده توسط فنگ و همکاران، در زمینه حذف رنگ پایه توسط پوسته دانه‌های کنجد نشان داد که این جاذب ظرفیت جذب بالایی دارد [۱۸]. گهلوت و همکاران در سال ۲۰۱۱ نیز از کربن فعال به دست آمده از گیاه انجیر هندی و اصلاح آن با پلی‌وینیل الکل، به عنوان جاذب برای حذف رنگ زرد آنیلین از محلول آبی گزارش کردند [۱۷]. در مطالعه انجام شده توسط ساندمان و همکاران از پلی‌وینیل الکل به عنوان جاذب برای حذف رنگ‌های متیل نارنجی، متیلن آبی و قرمز کنگو استفاده شد [۱۹].

هدف از این پژوهش، ارائه روشی مناسب و ارزان قیمت بود، برای حذف رنگ‌های راکتیو با استفاده از کربن فعال حاصل از سوزاندن دانه‌های روغن‌کشی شده کنجد که با پلی‌وینیل الکل روکش شده بود. بنابراین برای یافتن خواص فیزیکی و شیمیایی جاذب AC/PVA و مقایسه خاصیت جذبی این جاذب با AC تلاش شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه کربن فعال از باقیمانده دانه‌های کنجد که روغن آن استخراج شده

پسماند دانه‌های کنجد روغن‌کشی شده مورد استفاده در آزمایش‌ها که در واقع به عنوان غذای دام مصرف می‌شوند، از کارخانه آب حیات تهیه و پس از شستشوی اولیه با آب مقطر، برای حذف ناخالصی‌هایی چون خاک و غبار، در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس برای مدت زمان دو ساعت خشک شدند. سپس با مقدار هم حجم با اسید سولفوریک ۹۸ درصد، به مدت ۲ ساعت با دور بالا هم زده شد و ۲۴ ساعت در آن ۱۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و ۳ مرتبه با آب مقطر شستشو داده شد. پس از مرحله اسیدی کردن، ماده حاصل در کوره با دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس، برای ۲ ساعت سوزانده شد. در نهایت کربن فعال به دست آمده، به کمک هاون پودر شد و پودر به دست آمده با الک ۱۰۰ مش سایزبندی شد. در مرحله بعدی، کربن فعال برای تولید جاذب مؤثر با پلی‌وینیل الکل پوشش داده شد.

۲-۲- تهیه کربن فعال پوشش داده شده با پلی‌وینیل الکل

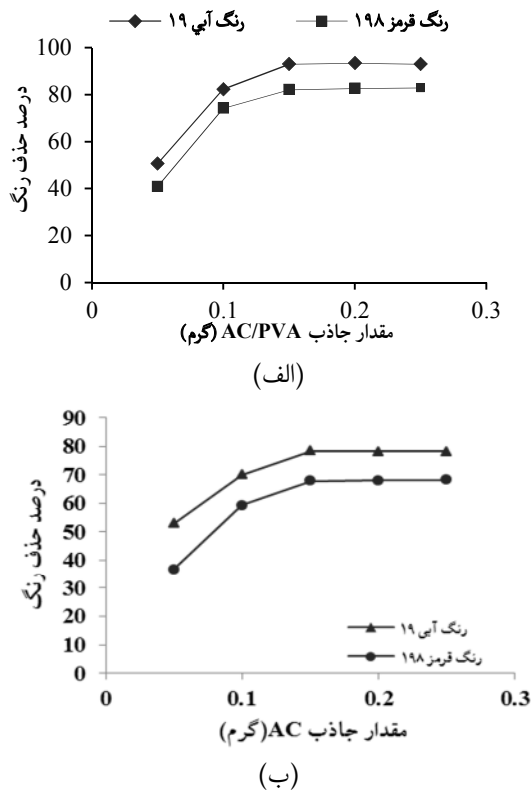
۱۰ گرم پودر پلی‌وینیل الکل که در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب از قبل گرم شده، به آرامی حل شده بود، روی هیتر حرارت داده شد تا محلول

² Beer-Lambert law

۳-۲- تعیین مقدار بهینه جاذب

در این مرحله برای بررسی مقدار بهینه جاذب، دو محلول ۵۰ ppm از دو رنگ آبی و قرمز راکتیو تهیه و pH روی ۳ تنظیم شد. سپس مقادیر مختلف از جاذب‌های AC و AC/PVA (۰/۱، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۵ و ۰/۳۰ گرم) اضافه شده و مدت ۹۰ دقیقه هم زده شد (شکل ۲). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، نتایج حاکی از آن است که با افزایش مقدار جاذب تا ۰/۱۵ گرم، بازده حذف برای هر دو رنگ بیشتر شده و با افزایش بیشتر جاذب، تغییری در حذف رنگ حاصل نشد.

این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقدار مصرفی، درصد حذف یون‌های فلزی افزایش یافته تا جایی که دیگر شدت تغییرات کاهش می‌یابد. این پدیده را این‌گونه می‌توان توجیه کرد که با افزایش نانوجاذب مصرفی، میزان محل‌های فعال برای جذب یون فلزی افزایش می‌یابد.



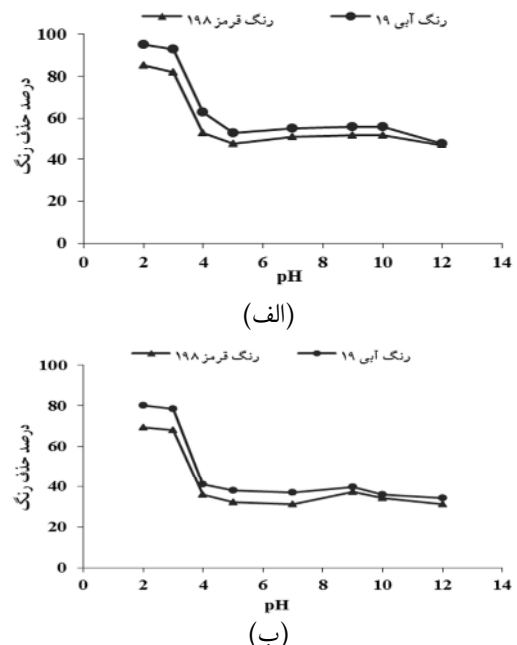
شکل ۲- تاثیر مقدار گرم جاذب الف- AC/PVA و ب- AC، در حذف رنگ‌های راکتیو آبی ۱۹ و قرمز ۱۹۸

۳-۳- اثر زمان تماس

برای بررسی اثر زمان تماس در حذف رنگ، دو محلول ۵۰ ppm از دو رنگ آبی و قرمز راکتیو تهیه و pH روی ۳ تنظیم شد. محلول رنگی در فواصل زمانی مختلف در تماس با ۰/۱۵ گرم

C_f و C_i به ترتیب غلظت‌های اولیه و نهایی رنگ، پس از جذب هستند. نتایج در شکل ۱ آمده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بیشینه بازده جذب با استفاده از ۰/۱۵ گرم از جاذب AC/PVA در غلظت رنگ ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و زمان تماس ۹۰ دقیقه، برای رنگ آبی و قرمز، در pH برابر با ۲ و ۳ به ترتیب ۹۳ و ۸۲ درصد است و در pH برابر با ۴، کاهش ناگهانی جذب برای رنگ‌های آبی و قرمز را به همراه دارد. با افزایش بیشتر تا pH برابر با ۱۲، بازده جذب تقریباً ثابت شده و به تدریج با شیب کم کاهش می‌یابد (شکل ۱). بیشینه حذف رنگ برای جاذب کربن فعال برای دو رنگ آبی و قرمز به ترتیب ۷۸ و ۶۷ درصد است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش pH، درصد حذف کاهش می‌یابد، به این دلیل که با افزایش pH، غلظت یون‌های هیدروژن در محلول کاهش می‌یابد، ولی غلظت یون‌های هیدروکسید افزایش می‌یابد. رنگ راکتیو که از نوع آنیونی است، با رقابت بیشتری به محل‌های فعال بر روی جاذب، جذب می‌شوند و هر اندازه یون هیدروکسید کمتری در محلول باشد، در رقابت با رنگ‌ها، محل‌های فعال جاذب را کمتر اشغال کرده و جذب رنگ‌های راکتیو افزایش می‌یابد. با توجه به این موضوع pH بهینه برای محلول رنگ معادل ۴ انتخاب شد.

با مقایسه نمودارهای شکل ۱ می‌توان دریافت که پوشاندن کربن فعال توسط پلی‌وینیل‌الکل، بازده حذف رنگ را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد.



شکل ۱- تأثیر pH بر حذف رنگ‌های راکتیو آبی ۱۹ و قرمز ۱۹۸ در حضور جاذب الف- AC/PVA و ب- AC

محلول روی ۳ تنظیم و ۹۰ دقیقه در تماس با ۰/۱۵ گرم جاذب AC/PVA قرار گرفت (شکل ۴). سپس ظرفیت جذب یا q_e (میلی‌گرم بر گرم)، با استفاده از رابطه زیر تعیین شد

$$q_e = \frac{(C_i - C_e)V}{M} \quad (2)$$

همان‌طور که در شکل ۴ پیداست، در غلظت‌های پایین، منحنی به‌صورت خطی بوده و پس از ۹۰ دقیقه جذب ثابت می‌شود. در غلظت‌های بالا نیز ثابت شدن جذب بعد از ۹۰ دقیقه دیده می‌شود؛ اما با این تفاوت که در غلظت‌های بالا، ابتدای منحنی از حالت خطی خارج می‌شود و این نشان می‌دهد که جاذب برای غلظت‌های بالا مناسب نیست. دلیل آن را می‌توان به این صورت توجیه کرد که با افزایش غلظت اولیه رنگ، تعداد سایت‌های خالی موجود در جاذب، اشغال شده تا زمانی که دیگر جایی برای جذب رنگ به روی جاذب وجود نداشته باشد. از این‌رو با افزایش غلظت اولیه رنگ، درصد حذف رنگ کاهش و در مقابل آن ظرفیت جذب ثابت می‌شود.

۳-۵- مدل‌های سینتیکی جذب

۳-۵-۱- مدل شبه درجه اول

برای مدل‌سازی سینتیک جذب رنگ‌ها از مدل شبه درجه اول و شبه درجه دوم استفاده شد. مدل شبه درجه اول در رابطه ۳ نشان داده شده است. از انتگرال‌گیری این رابطه در بازه‌های زمانی $t = 0$ تا $t = t$ و میزان جذب $q = q_e$ تا $q = q$ رابطه ۴ به‌دست می‌آید

$$\frac{dq}{dt} = K(q_e - q) \quad (3)$$

$$\log(q_e - q) = \log q_e - \left(\frac{k_1 t}{2.303}\right) \quad (4)$$

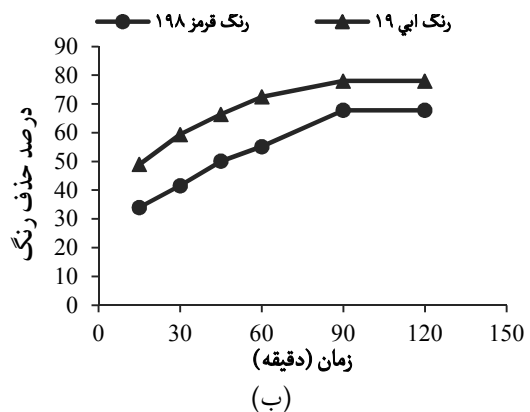
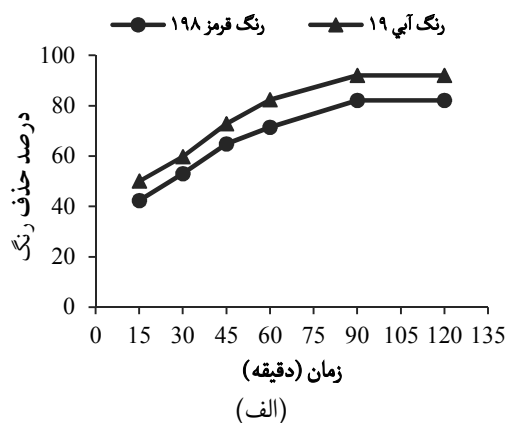
که در این روابط

q_e میزان تعادلی جذب رنگ به روی جاذب بر حسب میلی‌گرم بر گرم، q میزان جذب رنگ به روی جاذب در هر یک از زمان‌های مورد مطالعه و K_1 ثابت سرعت در رابطه جذب درجه یک است. با رسم لگاریتم اختلاف جذب تعادلی و جذب در هر زمان $\log(q_e - q)$ ، در مقابل زمان t ، در صورتی که منحنی به‌دست آمده حالت خطی داشته باشد، سینتیک جذب، از این مدل و درجه تبعیت می‌کند.

۳-۵-۲- مدل شبه درجه دوم

رابطه ۵ مدل شبه‌درجه دوم را نشان می‌دهد که با انتگرال‌گیری از

جاذب قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، از ۱۵ تا ۹۰ دقیقه، درصد حذف رنگ رو به افزایش است؛ اما بعد از آن بازه حذف رنگ ثابت می‌شود. به‌طور کلی ظرفیت جذب و کارایی حذف رنگ توسط جاذب‌ها با زمان تماس، رابطه مستقیم دارد، به‌طوری که با افزایش زمان تماس، به‌دلیل افزایش احتمال برخورد مولکول‌های رنگ با سطح جاذب، جذب سطحی بیشتر خواهد شد؛ ولی در یک زمان مشخص به‌مقدار ثابتی می‌رسد. در این لحظه مقدار رنگ جذب شده، با مقدار رنگ واجذب شده در حالت تعادل دینامیکی قرار دارد و بعد از این زمان میزان جذب رنگ توسط جاذب به‌طور تقریبی ثابت می‌ماند.

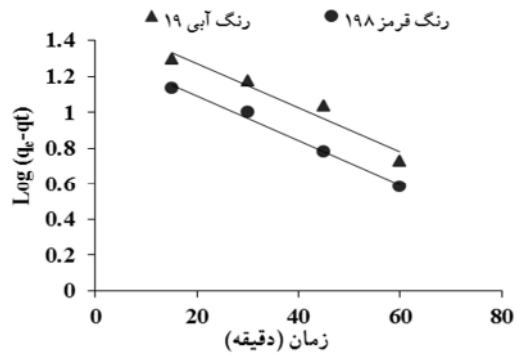


شکل ۳- تاثیر زمان تماس در حذف رنگ‌های راکتیو آبی ۱۹ و قرمز ۱۹۸ در حضور جاذب الف- AC/PVA و ب- AC

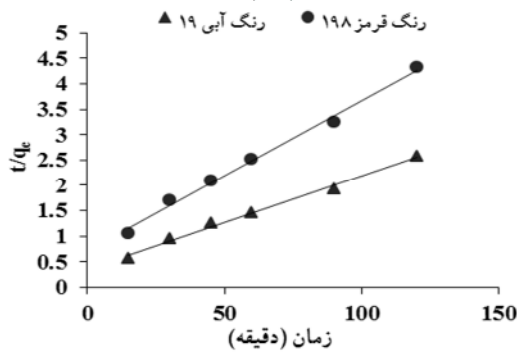
۳-۴- مطالعات سینتیک جذب

۳-۴-۱- سینتیک جذب در غلظت‌های مختلف رنگ

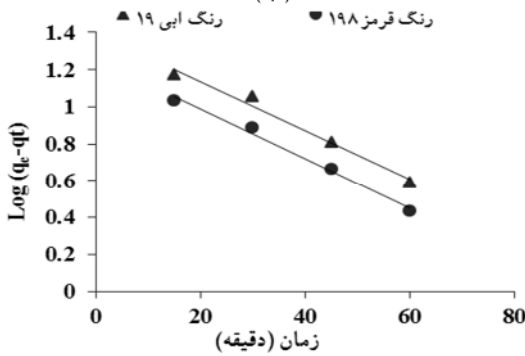
محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر، از رنگ‌های راکتیو آبی و قرمز برای تعیین تأثیر غلظت اولیه رنگ تهیه شد. مطابق قبل برای حذف رنگ ۳۰ میلی‌لیتر محلول هر یک از رنگ‌ها با غلظت‌های متفاوت تهیه، pH



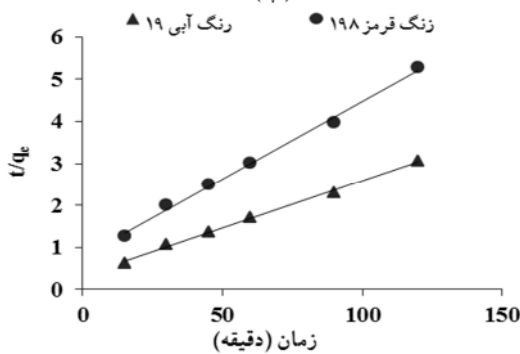
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۵- الف- مدل شبه درجه اول، ب- مدل شبه درجه دوم، برای جاذب AC/PVA، پ- مدل شبه درجه اول و ت- مدل شبه درجه دوم، برای جاذب AC، در حذف رنگ‌های راکتیو آبی ۱۹ و قرمز ۱۹۸

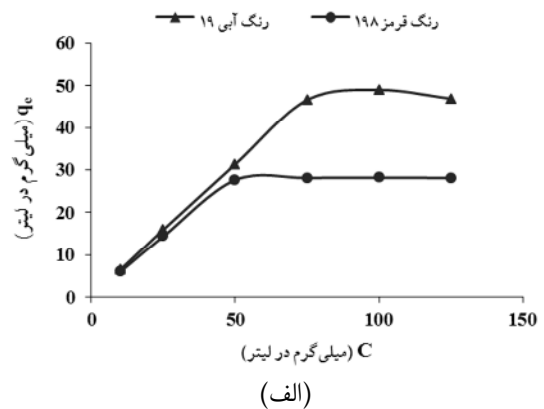
آن در بازه‌های زمانی $t=0$ تا $t=t$ و $q=0$ تا $q=q_e$ و خطی کردن آن رابطه به دست می‌آید

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

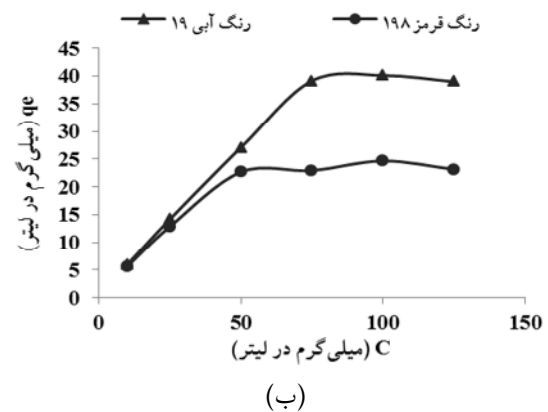
$$\frac{t}{q} = \frac{1}{(k_2 q_e)^2} + \frac{t}{q_e} \quad (6)$$

که در این رابطه

K_2 ثابت سرعت جذب با درجه دوم بر حسب گرم بر میلی‌گرم در دقیقه است. مقایر q_e و k_2 با توجه به رسم منحنی خطی (t/q) در مقابل زمان به دست آمد. آنالیز رگرسیون در بررسی تطابق جذب با این مدل به کار برده می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل ۴- تاثیر غلظت‌های مختلف رنگ راکتیو آبی ۱۹ و قرمز ۱۹۸ در حذف رنگ با جاذب الف- AC/PVA و ب- AC

نتایج حاصل از ترسیم مدل شبه درجه اول و دوم برای هر دو جاذب در شکل ۵ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج سینتیک و ضرایب آنالیز رگرسیون، جذب رنگ راکتیو آبی ۱۹ و رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸، در حضور جاذب‌های AC و AC/PVA یک واکنش درجه دوم است (جدول‌های ۱ و ۲).

معادله تجربی فروندلیچ بر پایه میزان رنگ جذب شده به غلظت رنگ باقی‌مانده بوده که در رابطه ۷ نشان داده شده است

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (7)$$

با لگاریتم‌گیری از رابطه ۷، رابطه زیر به دست می‌آید

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (8)$$

که در این روابط

C_e غلظت رنگ باقی‌مانده یا تعادلی و q_e میزان تعادلی رنگ جذب شده به روی جاذب است.

مدل ایزوترم لانگمیر برای جذب سطحی تک‌لایه، بر سطحی حاوی تعداد محدودی از سایت‌های جذب یکسان و مشابه، صحیح بوده و رابطه جذب آن به شکل زیر است

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (9)$$

که در این رابطه

C_e غلظت رنگ باقیمانده، q_e میزان تعادلی رنگ جذب‌شده بر روی جاذب، q_m مقدار حداکثر رنگ مورد نیاز برای تشکیل یک لایه تک‌لایه (میلی‌گرم بر گرم) و K_L ثابت لانگمیر بر حسب میلی‌گرم در لیتر است و به انرژی جذب وابسته است.

در عین حال معادله لانگمیر می‌تواند برای سهولت ترسیم نمودار و تعیین ثابت‌های جذب (K_L) و حداکثر ظرفیت جذب تک‌لایه جاذب (q_m)، به صورت زیر خطی شود که این مقادیر با ترسیم خطی $1/q_e$ در برابر $1/C_e$ حاصل می‌شود

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{t}{K_L q_m C_e} \quad (10)$$

بر اساس داده‌های مطالعه حاضر ضریب تعیین مدل لانگمیر برای هر دو رنگ و هر دو جاذب بالاتر از مقدار آن برای مدل فروندلیچ بود که بیانگر تناسب بهتر مدل جذب لانگمیر، برای توصیف تعادل جذب رنگ‌های راکتیو آبی ۱۹ و قرمز ۱۹۸ بر روی هر دو جاذب است (شکل ۶ و جدول ۳). بنابراین در فرایند جذب رنگ‌های راکتیو از محلول توسط جاذب‌های تهیه شده، جذب حل‌شونده روی جامد به‌طور معمول، به صورت یک لایه تک مولکولی اتفاق می‌افتد؛ زیرا برهم‌کنش‌های حل‌شونده جامد با وجود اینکه قوی‌تر از برهم‌کنش‌های حلال-جامد بوده، ولی این

جدول ۱- پارامترهای مدل شبه درجه اول و دوم برای جاذب AC/PVA در حذف رنگ آبی ۱۹ و قرمز ۱۹۸

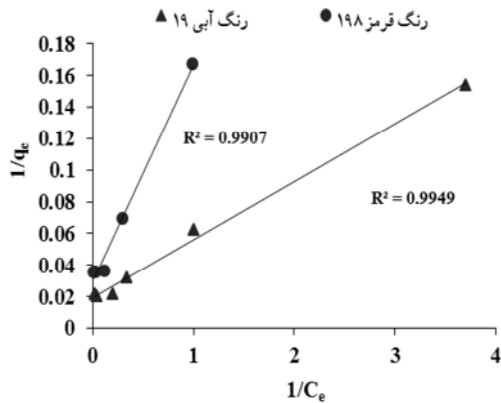
پارامتر	رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸	رنگ راکتیو آبی ۱۹
مدل شبه درجه اول		
q_e (mg g ⁻¹)	۲۱/۸۱۷	۳۲/۸۲
K_1 (min ⁻¹)	۰/۰۲۸۵	۰/۰۲۸
R^2	۰/۹۹۱	۰/۹۴۵۳
q_{max}	۲۷/۶۶	۴۶/۶
مدل شبه درجه دوم		
q_e (mg g ⁻¹)	۳۳/۶۷	۵۴/۶۴
K_2 (mg g ⁻¹ min ⁻¹)	$1/24 \times 10^{-3}$	$9/46 \times 10^{-4}$
R^2	۰/۹۹۴۱	۰/۹۹۲۷

جدول ۲- پارامترهای مدل شبه درجه اول و دوم برای جاذب AC در حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ و قرمز ۱۹۸

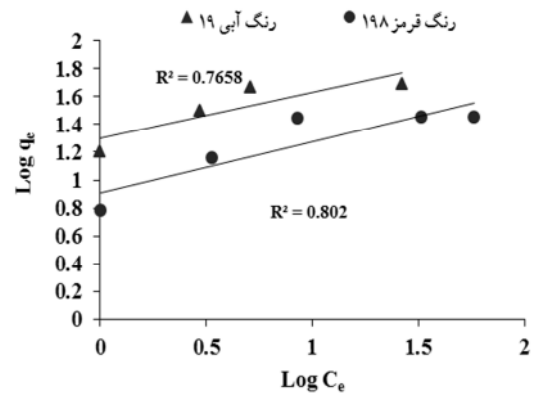
پارامتر	رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸	رنگ راکتیو آبی ۱۹
مدل شبه درجه اول		
q_e (mg g ⁻¹)	۱۸/۱۹۷	۲۵/۲۴
K_1 (min ⁻¹)	۰/۰۳۱	۰/۰۳۰۳
R^2	۰/۹۹۰۸	۰/۹۸۰۷
q_{max}	۲۲/۶۶	۳۹/۱۵
مدل شبه درجه دوم		
q_e (mg g ⁻¹)	۲۷/۱	۴۴/۴۴
K_2 (mg g ⁻¹ min ⁻¹)	$1/72 \times 10^{-3}$	$1/49 \times 10^{-3}$
R^2	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۶۵

۳-۶- ایزوترم‌های جذب

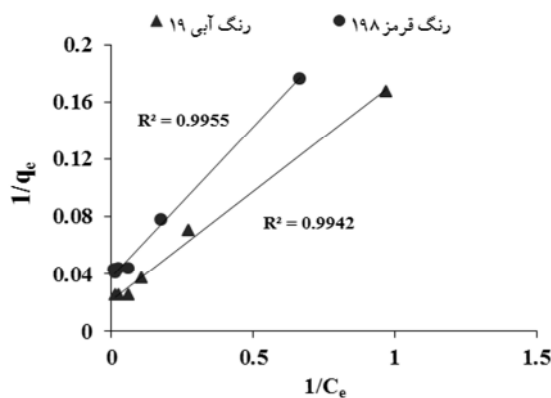
مطالعه ایزوترم‌ها می‌تواند توصیف‌کننده چگونگی وقوع واکنش بین جذب‌شونده با ماده جاذب باشد. در واقع معادله ایزوترم، فراهم‌کننده ارتباط بین غلظت رنگ در محلول و مقدار رنگ جذب‌شده بر سطح فاز جامد است، در شرایطی که هر دو فاز، در حال تعادل با یکدیگر قرار دارند. از میان انواع مختلف ایزوترم‌های موجود، دو ایزوترم لانگمیر و فروندلیچ که معمولاً برای مدل‌سازی جذب استفاده می‌شوند، بررسی شدند.



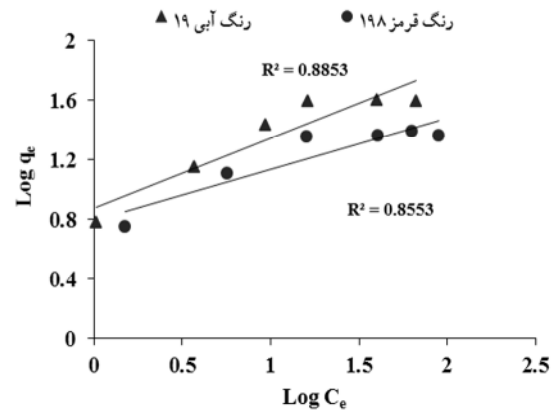
(ب)



(الف)



(ت)



(پ)

شکل ۶- نمودارهای الف- فروندلیچ، ب- لانگمیر، برای جاذب AC/PVA، پ- فروندلیچ و ت- لانگمیر، برای جاذب AC رنگ‌های راکتیو آبی ۱۹ و قرمز ۱۹۸

می‌دهد. از مزایای این روش نسبت به کارهای انجام شده در پژوهش‌های گذشته، می‌توان به ظرفیت بالای جذب جاذب اشاره کرد [۲۴-۱۷].

قدرت در لایه‌های بعدی بسیار کم خواهد شد. جدول ۳ حداکثر ظرفیت جذب آزمایش شده در این پژوهش و کارهای گزارش شده دیگر در زمینه حذف رنگ‌های راکتیو آبی ۱۹ و قرمز ۱۹۸ را نشان

جدول ۳- حداکثر ظرفیت جذب رنگ‌های راکتیو آبی ۱۹ و قرمز ۱۹۸ با AC/PVA و جاذب‌های دیگر

رنگ	جاذب	حداکثر ظرفیت جذب (q_m)	منابع
راکتیو آبی ۱۹	پژوهش حاضر	۴۶/۶	-
راکتیو آبی ۱۹	نانو ذرات اکسید منیزیم (سل-ژل)	۱۶۶/۷	[۲۰]
راکتیو آبی ۱۹	نانو اکسید منیزیم اصلاح شده با ستایل تری متوکسی بروماید	۲۵۰	[۲۱]
راکتیو آبی ۱۹	کیتوزان	۱۴۹۸	[۲۲]
راکتیو قرمز ۱۹۸	پژوهش حاضر	۲۷/۶۶	-
راکتیو قرمز ۱۹۸	نانو ذرات اکسید منیزیم	۱۲۵	[۲۰]
راکتیو قرمز ۱۹۸	گوشابیان	۴۴/۲	[۲۳]
راکتیو قرمز ۱۹۸	پوسته تخم مرغ	۴۶/۹	[۲۴]

۴- نتیجه‌گیری

محیط‌های اسیدی و ظرفیت بالای جذب اشاره کرد. از طرفی با توجه به هزینه بالای جاذب‌های سنتزی که در برخی موارد دسترسی نداشتن به آنها، به دلیل وابستگی خارجی سبب مشکلات زیادی می‌شود، اهمیت توجه به توسعه و کاربرد چنین جاذب‌هایی را ضروری می‌نماید.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که جاذب AC/PVA خواص جذبی بسیار بالایی در حذف رنگ دارد و می‌توان از آن به عنوان یک جاذب مناسب برای پاک‌سازی پساب‌های صنعتی استفاده کرد.

در این پژوهش، حذف رنگ‌های راکتیو آبی ۱۹ و قرمز ۱۹۸ با استفاده از کربن فعال حاصل از باقیمانده دانه‌های کنجد روغن‌کشی شده و پوشش‌دار با پلی‌وینیل‌الکل در شرایط مختلف مطالعه شد. مقدار جذب رنگ به pH و غلظت اولیه رنگ و زمان تماس جاذب با رنگ وابسته است. شرایط بهینه pH برابر با ۳، ۰/۱۵ گرم از جاذب برای ۳۰ میلی‌لیتر پساب و زمان تماس ۹۰ دقیقه با توجه به فاکتورهای مؤثر در حذف این دو رنگ در نظر گرفته شد. از مزایای این نوع جاذب می‌توان به عملکرد بالای آن در

۵- مراجع

1. Gupta, V., and Suhas, K. (2009). "Application of low-cost adsorbents for dye removal—A review." *J. of Environ. Manag.*, 90(8), 2313-2342.
2. Forgacs, E., Cserhati, T., and Oros, G. (2004). "Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review." *J. of Environ. Int.*, 30(7), 953-971.
3. Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., and Nigam, P. (2001). "Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative." *J. of Bioresource Technol.*, 77(3), 247-255.
4. Kannan, C., Muthuraja, K.R., and Devi, M. (2013). "Hazardous dyes removal from aqueous solution over mesoporous aluminophosphate with textural porosity by adsorption." *J. of Hazard. Mater.*, 244-245, 10-20.
5. Rajeshwari, S., Namasivayam, C., and Kadirvelu, K. (2001). "Orange peel as an adsorbent in the removal of acid violet 17 (Acid Dye) from aqueous solution." *J. of Waste. Manage.*, 21(1), 105-110.
6. Rajkumar, D., and Kim, J.G. (2006). "Oxidation of various reactive dyes with in situ electro-generated active chlorine for textile dyeing industry wastewater treatment." *J. of Hazard. Mater.*, 136(2), 203-212.
7. Wan Ngah, W.S., Teong, L.C., and Mhanafiah, A.K.M. (2011). "Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review." *J. of Carbohyd. Polym.*, 83(4), 1446-1456.
8. Mohd Salleh, M.A., Khalid Mahmoud, D., Wan Abdul Karim, W.A., and Idris, A. (2011). "Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review." *J. of Desalination.* 280(1/3), 1-13.
9. Nguyen, T.A., and Juang, R.S. (2013). "Treatment of waters and wastewaters containing sulfur dyes: A review." *J. of Chem. Eng.*, 219, 109-117.
10. Zhang, S.J., Yu, H.Q., and Feng, H.M. (2006). "PVA-based activated carbon fibers with lotus root-like axially porous structure." *J. of Carbon*, 44 (10), 2059-2068.
11. Malik, P.K. (2004). "Dye removal from wastewater using activated carbon developed from sawdust: adsorption equilibrium and kinetics." *J. of Hazard. Mater.*, 113 (1/3), 81-88.
12. Farahani, M., Sheikh Abdullah, S.R., Hosseini, S., Shojaeipour, S., and Kashisaz, M. (2011). "Adsorption-based cationic dyes using the carbon active sugarcane bagasse." *J. of Procedia. Environ. Sci.*, 10, 203-208.
13. Li Wen, H., Yue, Q.Y., Gao, B.Y., Wang, X.J., Qi, Y.F., Zhao, Y.Q., and Li, Y.J. (2011). "Preparation of sludge-based activated carbon made from paper mill sewage sludge by steam activation for dye wastewater treatment." *J. of Desalination*, 278(1/3), 179-185.

14. Mezohegyi, G.P., Van Der Zee, F., Font, J., Fortuny, A., and Fabregat, A. (2012). "Towards advanced aqueous dye removal processes: A short review on the versatile role of activated carbon." *J. of Environ. Manage*, 102, 148-164.
15. Mahmoodi, N.M., Salehi, R., and Arami, M. (2011). "Binary system dye removal from colored textile wastewater using activated carbon: Kinetic and isotherm studies." *J. of Desalination*, 272(1/3), 187-195.
16. Kumar Gupta, V., Kumar, R., Nayak, A., Saleh, T.A., and Barakat, M.A. (2013). "Adsorptive removal of dyes from aqueous solution onto carbon nanotubes: A review." *J. of Adv. Colloid. Interface*, 193/194, 24-34.
17. Gehlot, P., Daga, K., and Mehta, R. (2011). "Adsorption study of water using Poly Vinyl Alcohol coated carbon black as an effective and low cost adsorbent." *Inter. J. Chem.*, 3(1916/9698), 1916-9701.
18. Feng, Y., Yang, F., Wang, Y., Ma, L., Wu, Y., Kerr, P.G., and Yang, L. (2011). "Basic dye adsorption onto an agro-based waste material-Sesame hull (*Sesamum indicum* L.)." *J. of Bioresour. Technol.*, 102, 10280-10285.
19. Sandeman, S.R., Gunko, V.M., Bakalinska, O.M., Howell, C.A., Zheng, Y., Kartel, M.T., Phillips, G.J., and Mikhailovsky, S.V. (2011). "Adsorption of anionic and cationic dyes by activated carbons, PVA hydrogels, and PVA/AC composite." *J. of Colloid Interface Sci.*, 358, 582-592.
20. Moussavi, Gh., and Mahmoudi, M. (2009). "Removal of azo and anthraquinone reactive dyes from industrial wastewaters using MgO." *J. of Hazard. Mater.*, 168, 806-812.
21. Guyen, K.N., Thi, T.H.P., Lam, T.D., and Tran, Q.H. (2013). "A facile synthesis of nanostructured magnesium oxide particles for enhanced adsorption performance in reactive blue 19 removal." *J. of Colloid. Interface. Sci.*, 398, 210-216.
22. Jiang, X., Yongmei, S, Liu, L., Wang, and Tian, X. (2013) "Adsorption of C.I. reactive blue 19 from aqueous solutions by porous particles of the grafted chitosan." *J. of Chem. Eng.*, 235, 151-157.
23. Osman, G., Sahnurova, A., and Kama, S. (2011) "Removal of Reactive Red 198 from aqueous solution by *Potamogeton crispus*." *J. of Chem. Eng.*, 174, 579-585.
24. Elkady, M.F., Lbrahim, A.M., and Abd El-latif, M.M. (2011) "Assessment of the adsorption kinetics, equilibrium and thermodynamic for the potential removal of reactive red dye using eggshell biocomposite beads." *J. of Desalination*, 278, 412-423.