

Raw and Modified Rice Husk Performance in Removal of Basic Blue 41 from Aqueous Solutions

Faraji H¹, Mazloomi S^{1,2}, Mohammadi F¹, Ahmadi¹, Soheil Arezoomand HR^{*1}

1. Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, IRAN

2. Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Alborz University of Medical Sciences, Karaj, IRAN

* *Corresponding author.* Tel: +989191525489 Fax: +9821889550188 E-mail:soheilarezoomand@gmail.com

Received: May 16, 2015 Accepted: Oct 27, 2015

ABSTRACT

Background & objectives: Textile effluents contain significant amounts of toxic and organic pollutants. Due to their carcinogenic and mutagenic properties, discharge of this kind wastewater to water resources can associate with health impacts. The aim of this study was to survey the efficiency of raw and modified rice husk in removal of basic blue 41 dyes from aqueous solutions.

Methods: In this study the influence of different parameters including contact time, initial dye concentration, adsorbent concentration, and PH, were studied. Residual dye concentrations were measured at 517 nm using a spectrophotometer. Adsorption data were described by Langmuir and Freundlich isotherms and kinetic reactions.

Results: The results showed that increasing contact time and adsorbent dose to increase dye removal rates for both raw and modified adsorbents. Dye removal rates increased by decreasing initial concentration of the dye. In optimal conditions, raw and modified husk removed 75 and 94 percents of the dye, respectively. Optimum pH was obtained 10 for both adsorbents. According to the results, adsorption process for both adsorbent followed Freundlich isotherm ($R^2 > 0.98$). Dye absorption kinetic of both adsorbents followed pseudo second degree ($R^2 > 0.98$).

Conclusion: The results showed that rice husk can be applied as an efficient adsorbent for removal of basic blue 41 dye from aqueous solutions.

Keywords: Basic Blue 41 Dye; Adsorption; Rice Husk; Adsorption Isotherm.

کارایی شلتوک برنج خام و اصلاح شده در حذف رنگزای Basic Blue41 از محلول‌های آبی

حسین فرجی^۱؛ سجاد مظلومی^۲؛ فرزاد محمدی^۱؛ احسان احمدی^۱؛ حمیدرضا سپیل آرزومند^{۱*}

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۹۱۵۲۵۴۸۹ فکس: ۰۲۱۸۸۹۵۵۰۱۸۸ ایمیل: soheilarezoomand@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: پساب صنایع نساجی حاوی مقدار قابل توجهی از آلاینده های سمی و آلی می باشد. به خاطر داشتن خطرات بهداشتی از قبیل سرطان زایی و جهش زایی، تخلیه این دسته از فاضلاب ها در منابع آبی می تواند مخاطرات بهداشتی داشته باشد. هدف از این تحقیق بررسی کارایی شلتوک برنج خام و اصلاح شده در حذف Basic Blue41 از محیط های آبی می باشد.

روش کار: در این مطالعه تاثیر پارامترهای مختلف از قبیل زمان تماس، غلظت اولیه رنگزا، غلظت جاذب و pH بر روی میزان جذب مورد بررسی قرار گرفت. غلظت باقیمانده رنگزا با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۱۷nm قرائت شد. داده های جذب با ایزوترم های لانگمیر، فروندلیخ و سینتیک های واکنش شرح داده شدند.

یافته ها: نتایج نشان داد با افزایش زمان تماس و افزایش دز جاذب میزان حذف رنگ برای هر دوجاذب (خام و اصلاح شده) افزایش می یابد. با کاهش غلظت اولیه رنگزا، میزان حذف افزایش یافت. در شرایط بهینه، شلتوک برنج خام و اصلاح شده مقدار رنگزا را به ترتیب حدود ۷۵ و ۹۴ درصد کاهش داد. برای هر دو نوع جاذب pH بهینه برابر ۱۰ بدست آمد. بر طبق نتایج بدست آمده، جذب رنگزا بر روی هر دو جاذب با ایزوترم فروندلیخ با $R^2 > 0.98$ تبعیت می کند. سینتیک جذب رنگزا بر روی هر دو جاذب از واکنش دو با $R^2 > 0.99$ پیروی می کند.

نتیجه گیری: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که می توان از شلتوک برنج به عنوان یک جاذب کارآمد جهت حذف رنگ Basic Blue41 از فاضلاب های صنعتی استفاده کرد.

واژه های کلیدی: رنگ Basic Blue41، جذب سطحی، شلتوک برنج، ایزوترم جذب

پذیرش: ۹۴/۸/۵

دریافت: ۹۴/۲/۲۶

مقدمه

رنگ های سنتتیک به عنوان یکی از مشکلات اساسی از نظر زیست محیطی محسوب می گردند (۱). رنگ ها ممکن است در اثر تجزیه به محصولات سمی تبدیل گردند (۲). سالانه در جهان میزان تولید رنگ ۷۰۰ هزار تا یک میلیون تن تخمین زده می شود (۳). در صنایع نساجی، تولید مواد آرایشی، چرم و کاغذ از رنگزاهای سنتتیک زیاد مصرف می شود (۴، ۵). صنعت نساجی بیشترین مصرف رنگ را دارد و حجم زیادی فاضلاب با غلظت بالای رنگ تولید می کند (۶).

رنگزای Basic Blue41 (BB41) یک رنگزای آرو از نوع کاتیونی می باشد (۷). رنگزاهای با خاصیت بازی دارای گروه هایی آمینی می باشند که دارای بار مثبت بوده و به علت داشتن دو حلقه آروماتیک دیر تجزیه بوده و می توانند صدمات زیانباری به محیط زیست وارد نمایند (۸، ۹). رنگ ها دارای خاصیت سرطان زایی و جهش زایی بوده و می توانند باعث آلرژی و مشکلات پوستی شوند (۱۰). پساب های نساجی باید قبل از تخلیه به محیط زیست با استفاده از روش های مناسب مورد تصفیه قرار گیرند. از جمله روش هایی

شلتوک برنج دارای مواد لیگنوسلولزی بالا و خاصیت جذبی موثر بوده و در استان مازندران به وفور یافت می‌شود. هدف اصلی این پژوهش بررسی کارایی شلتوک برنج خام و اصلاح شده به عنوان یک جاذب طبیعی موثر و ارزان قیمت در حذف رنگزای BB41 از پساب سنتتیک می‌باشد.

روش کار

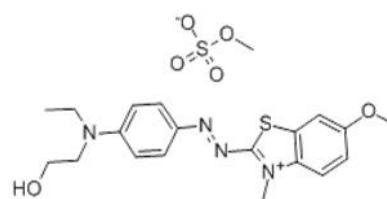
مواد شیمیایی مورد استفاده

تحقیق حاضر یک مطالعه بنیادی- کاربردی می‌باشد که در یک سیستم ناپیوسته در مقیاس آزمایشگاهی انجام گرفت. رنگزای BB41 مورد استفاده از شرکت الوان ثابت همدان و بقیه مواد مورد استفاده مانند اسیدسیتریک و اسید سولفوریک و هیدرواکسیدسدیم از شرکت MERK آلمان تهیه شد. مشخصات BB41 در جدول ۱ نشان داده شده است. در شکل ۱ نیز شکل فضایی رنگزای BB41 آمده است.

که برای تصفیه اینگونه پساب‌ها استفاده می‌شود، می‌توان به روش‌های بیولوژیکی، فرآیند جذب سطحی بر روی کربن فعال، فرآیندهای غشایی، فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته و انعقاد الکتریکی اشاره کرد (۱۲، ۱۱). در فرایند اکسیداسیون پیشرفته به مواد شیمیایی نیاز است و باعث تشکیل محصولات جانبی می‌گردد (۱۳). هزینه دفع ضایعات در فرآیند جذب سطحی بر روی کربن فعال پرهزینه بوده و فرآیند تولید آن نیز گران می‌باشد (۱۴). زایدات کشاورزی به خاطر ویژگی فبرها، متخلخل بودن و داشتن وزن مولکولی کم می‌تواند به عنوان یک جاذب کم هزینه برای حذف رنگزا محسوب شود (۱۵). مواد زاید کشاورزی به عنوان یک جاذب ارزان قیمت یکی از روش‌های حذف رنگ‌ها به خصوص در کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شود. مواد زاید ارزان قیمت کشاورزی مثل سبوس برنج (۱۶)، خاکاره (۱۷)، پوست موز و ساقه آفتابگردان (۱۸)، خاکستر فرار، بنتونیت و کاه جو و گندم برای حذف آلاینده‌های آلی و غیرآلی استفاده می‌شود (۱۹).

جدول ۱. مشخصات شیمیایی رنگزای BB41

نام تجاری	فرمول شیمیایی	وزن مولکولی (گرم بر مول)	طول موج حداکثر (λ_{max}) برحسب نانومتر
Basic Blue41	$C_{20}H_{26}N_4O_6S_2$	۴۸۲/۵۷	۶۱۷

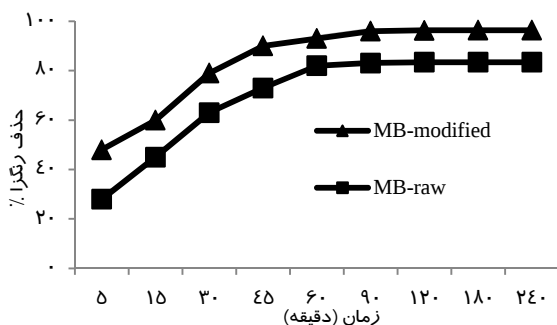


شکل ۱. ساختار شیمیایی رنگزای BB41

آماده سازی جاذب

شلتوک برنج از شالیزارهای استان مازندران تهیه گردید. ابتدا جاذب با آب مقطر شستشو داده شد و گرد و غبار روی آن حذف گردید. سپس جاذب در دمای $90^{\circ}C$ به مدت ۲ ساعت در فور خشک شد. در ادامه جاذب خشک شده را با اسید سیتریک

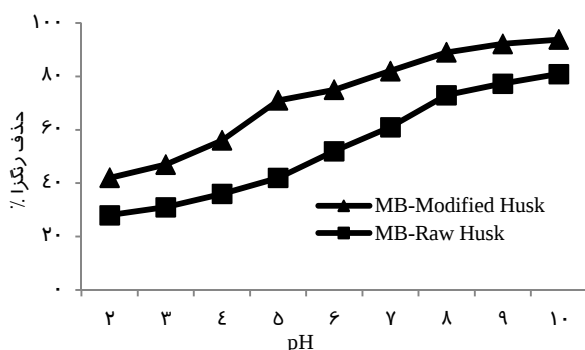
(0.5 mol/l) با نسبت یک به دوازده مخلوط کرده و به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد. سپس دوغاب مربوطه در دمای $90^{\circ}C$ به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. مجدداً برای انجام واکنش ترموشیمیایی بین کاه و اسید، نمونه را در دمای $120^{\circ}C$ به مدت ۹۰ دقیقه قرار گرفت. بعد از سرد شدن نمونه در دمای اتاق، شلتوک برنج اصلاح شده توسط آب مقطر با pH خنثی شستشو داده و صاف گردید. مواد باقی‌مانده روی صافی در هیدروکسید سدیم (1 mol/l) با نسبت‌های مناسب به مدت ۶۰ دقیقه هم زده شد. در این مرحله برای حذف قلیای باقیمانده، جاذب را با آب مقطر شستشو داده و برای



شکل ۱. تاثیر زمان تماس بر روی کارایی حذف (دوز جاذب ۱۰ g/l، غلظت رنگزا ۱۰ mg/l (PH=۱۰)

تاثیر pH بر کارایی حذف

شکل ۲ تاثیر pH اولیه محلول را در ظرفیت حذف شلتوک برنج نشان می‌دهد. بنابراین pH بهینه برای حذف BB41 توسط هر دو جاذب خام و اصلاح شده برابر با ۱۰ تعیین شد. نتایج نشان داد که با افزایش pH اولیه محلول، کارایی حذف فرآیند به صورت خطی افزایش می‌یابد، بطوری که بیشترین میزان حذف در pH برابر ۱۰ مشاهده شده است.



شکل ۲. تاثیر pH بر روی کارایی حذف (دوز جاذب ۱۰ g/l، غلظت رنگزا ۱۰ mg/l، زمان تماس ۹۰ دقیقه)

تاثیر غلظت اولیه رنگزا بر کارایی حذف

اثر غلظت‌های مختلف محلول رنگزا بر راندمان و ظرفیت جذب در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد افزایش غلظت اولیه رنگزا سبب افزایش ظرفیت جذب و کاهش راندمان آن می‌گردد. در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر راندمان حذف رنگزا برای جاذب خام و اصلاح شده به ترتیب ۹۲٪ و ۷۸٪ در مدت زمان بهینه بدست آمد.

رسیدن به وزن ثابت آن را در دمای 50°C به مدت ۲۴ ساعت خشک نموده و تا زمان استفاده در دیسکاتور قرار داده شد (۲۱،۲۰).

آزمایشات جذب

متغیرهای موثر برای بررسی در این پژوهش، شامل زمان تماس (۵، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ دقیقه)، pH محلول (۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰)، دوز جاذب (۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۲۰۰ g/l) و غلظت اولیه رنگ (۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۶۰، ۱۸۰، ۲۰۰ mg/l) انتخاب شد. برای انجام آزمایشات از همزن مغناطیسی با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه در زمان‌های مختلف استفاده گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۶۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. تمام مراحل آزمایش برای تعیین pH، دوز جاذب و غلظت بهینه رنگ تکرار شد. برای تنظیم pH از محلول یک نرمال HCl و NaOH استفاده شد و نهایتاً جهت اندازه‌گیری غلظت رنگزا از دستگاه اسپکتروفتومتری مدل ۵۰۰۰ در طول موج ۶۱۷nm استفاده گردید. برای آنالیز و تفسیر داده‌ها از نرم افزار اکسل استفاده شد.

یافته‌ها

تاثیر زمان تماس بر کارایی حذف رنگزا

تاثیر زمان تماس بر کارایی حذف رنگزا بر راندمان و ظرفیت جذب در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج به دست آمده از آزمایشات نشان داد با افزایش زمان میزان حذف افزایش یافت، به گونه‌ای که تا مدت زمان تماس ۴۵ دقیقه میزان حذف با شیب زیادی افزایش یافته و بعد از آن راندمان حذف با شیب کمتری افزایش داشت. در زمان تعادل ۹۰ دقیقه برای جذب رنگ BB41 با جاذب اصلاح شده میزان جذب ۹۴٪ و برای خام ۷۵٪ مشاهده شد.

لیتر در pH برابر ۶/۷ انجام شد. در این مطالعه جذب تعادلی BB41 توسط شلتوک خام و اصلاح شده با استفاده از معادلات ایزوترم لانگمیر و فروندلیچ در دمای ثابت (۲۵°C) و مقادیر مختلف جاذب مدل شده است. راندمان جذب و میلی گرم جذب به ازای هر گرم جاذب (qe) با استفاده از معادلات زیر تعیین شد.

$$R = (C_0 - C_e) \times 100 / C_0 \quad (۱) \text{ معادله}$$

$$q_e = (C_0 - C_e) \times V / M \quad (۲) \text{ معادله}$$

در این معادلات؛ R برابر راندمان حذف بر حسب درصد، qe برابر ظرفیت جذب بر حسب میلی گرم به ازای هر گرم جاذب C₀ برابر غلظت اولیه رنگزا بر حسب میلی گرم در لیتر، Ce برابر غلظت رنگزا در زمان t بر حسب میلی گرم در لیتر، M برابر جرم جاذب بر حسب گرم، V برابر حجم نمونه بر حسب لیتر می باشد (۲۳، ۲۲).

در این مطالعه داده های تجربی تعادل جذب با مدل های ایزوترم جذب فروندلیچ و لانگمیر مورد بررسی قرار گرفت. معادله ایزوترم فروندلیچ به صورت معادله ۳ می باشد.

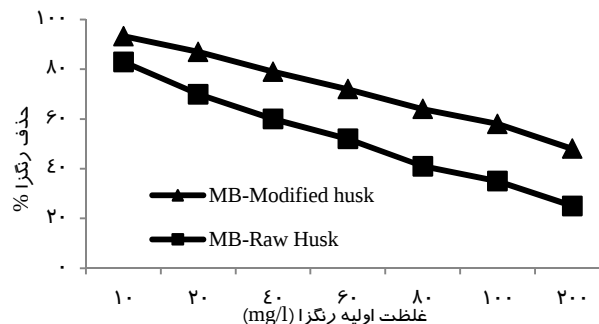
$$\log q_e = \log K_F + 1/n \log C_e \quad (۳) \text{ معادله}$$

در این معادله q_e برابر مقدار ماده جذب شده به ازای یک واحد وزن جذب شده در حالت تعادل (mg g⁻¹)، k_f شاخصی برای ظرفیت جذب، 1/n برابر شدت جذب (در دمای اتاق) (۲۴).

معادله ایزوترم لانگمیر به صورت معادله ۴ می باشد.

$$q_e = \frac{K_L q_m C_e}{1 + K_L C_e} \quad (۴) \text{ معادله}$$

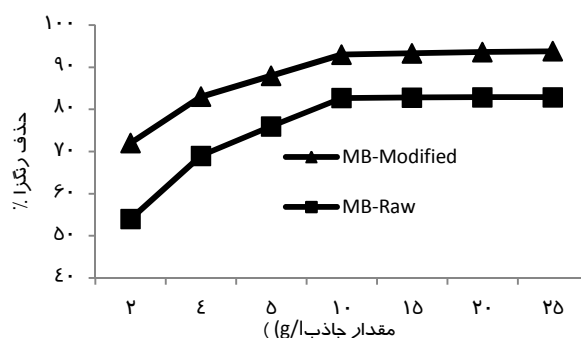
که در این معادله؛ K_L: ثابت لانگمیر، انرژی جذب (1/mg)، C_e: غلظت در حال تعادل (mg/l) و q_m: ثابت لانگمیر حداکثر ظرفیت جذب (mg/g) (۲۵).



شکل ۳. تاثیر غلظت اولیه رنگزا بر روی کارایی حذف (دوز جاذب ۱۰g/l، زمان تماس ۹۰ دقیقه، pH=۱۰)

تاثیر مقدار جاذب بر کارایی حذف

در شکل ۴ تاثیر مقدار جاذب در جذب رنگزا را در غلظت ثابت ۱۰ میلی گرم در لیتر می توان مشاهده نمود. نتایج نشان می دهد با افزایش دوز جاذب بازده حذف رنگزا افزایش می یابد، به طوری که در غلظت ۲ گرم در لیتر رنگزای BB41 برای شلتوک خام و اصلاح شده به ترتیب ۴۸ و ۶۳ درصد حذف در مدت زمان بهینه بدست آمد، اما با دوز جاذب ۱۰ گرم در لیتر میزان حذف با جاذب اصلاح شده بالای ۹۰٪ و برای جاذب خام حدود ۸۰٪ حاصل شد.



شکل ۴. تاثیر دوز جاذب بر روی کارایی حذف (غلظت رنگ ۱۰mg/l، زمان تماس ۹۰ دقیقه، pH=۳)

بررسی ایزوترم های جذب

مطالعات تعادلی در یک ارلن مایر به حجم ۲۵۰ سی سی حاوی ۱۰۰ سی سی با غلظت اولیه رنگ ۱۰ تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر با مقدار جاذب ۱۰ گرم در

جدول ۲. ضرایب ایزوترم برای جذب رنگزا روی جاذب

نوع جاذب	فروندلیخ			لانگمیر		
	kf	1/n	R ²	q _m (mg/g)	k _L (ml/g)	R ²
جاذب خام	۱/۸	۱/۹	۰/۹۹۴	۲۴/۴	۰/۱۱	۰/۹۸۱
جاذب اصلاح شده	۱/۹	۱/۶۳	۰/۹۸۷	۳۴/۶	۰/۱	۰/۹۷۲

شکل معادله شبه درجه دوم در زیر نشان داده شده است.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{معادله (۶)}$$

که در این معادله K₂: ثابت سرعت تعادل شبه درجه دوم (g/mg.min) و q_e: مقدار رنگ جذب شده در لحظه تعادل (mg/g) (۲۷).

نتایج سینتیک حاصل شده برای هر دو جاذب خام و اصلاح شده نشان داد که فرآیند جذب رنگزای BB41 از سینتیک شبه درجه دوم تبعیت می کند. در جدول ۳ مشخصات مربوط به سینتیک جذب رنگزای BB41 برای هر دو جاذب خام و اصلاح شده آمده است. در شکل ۵ نیز مدل سینتیک جذب رنگزای BB41 برای هر دو جاذب خام و اصلاح شده آمده است.

بررسی سینتیک جذب

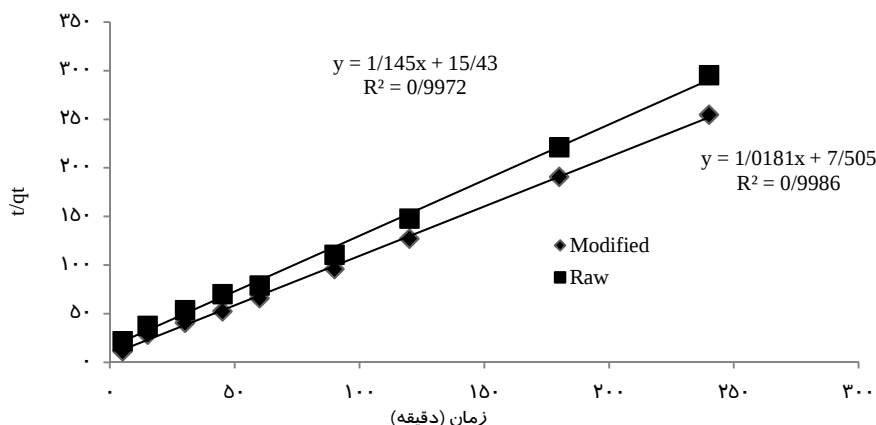
سینتیک های واکنش فرایند جذب در مطالعات سینتیک خطی است. سرعت واکنش شیمیایی به وسیله سینتیک شیمیایی بیان می شود. اغلب مدل های سینتیک برای جذب درجه ۱ و درجه ۲ می باشد که در این معادلات k ضریب سرعت و q_e, q_t به ترتیب ظرفیت جذب در حالت زمان تعادل و زمان t می باشد. معادلات مربوط به سینتیک های جذب در ذیل نشان داده شده است. شکل غیر خطی معادله شبه درجه اول در زیر نشان داده شده است.

$$\ln\left(1 - \frac{q_t}{q_e}\right) = -k_1 t \quad \text{معادله (۵)}$$

که در این معادله K₁: ثابت سرعت تعادل جذب شده در لحظه تعادل (mg/g)، q_e: مقدار رنگ جذب شده در لحظه تعادل (mg/g)، q_t: مقدار رنگ جذب شده در زمان t (mg/g) (۲۶).

جدول ۳. ضرایب سینتیک شبه درجه دوم در جذب رنگزای BB41 بر روی جاذب شلتوک برنج خام و اصلاح شده

شبه درجیدو	K ₂ (g/mg min)	R ²
شلتوک خام با BB41	۰/۱۲	۰/۹۹۷
شلتوک اصلاح شده با BB41	۰/۱۶	۰/۹۹۸



شکل ۵. مدل سینتیک شبه درجه دوم در جذب رنگزای BB41 بر روی جاذب شلتوک خام و اصلاح شده

بحث

در این پژوهش کارایی حذف رنگزای BB41 از گروه رنگ‌های آزو توسط شلتوک برنج خام و اصلاح شده با اسید سیتریک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کارایی حذف رنگزا با افزایش زمان تماس افزایش می‌یابد. جذب رنگزا بوسیله هر دو جاذب در دقایق اولیه با سرعت زیاد صورت گرفته و با گذشت زمان مقدار جذب کاهش می‌یابد، که این امر می‌تواند به دلیل کاهش غلظت رنگزای BB41 و کاهش نقاط فعال در سطح جاذب‌ها باشد (۱۴). به دلیل اینکه در مراحل اولیه جذب، مکان‌های خالی زیادی در دسترس می‌باشد و با گذشت زمان این مکان‌ها توسط مولکول‌های رنگ اشغال می‌گردد. در این حالت مقدار رنگ جذب شده با مقدار واجذب شده در حالت تعادل قرار دارد که در مطالعات مختلفی به این امر اشاره شده است و با سایر مطالعات همخوانی دارد (۱۶، ۱۵). علت تفاوت در میزان جذب، توسط جاذب خام و اصلاح شده به تفاوت‌های موجود در خلل و فرج و سطح تماس جاذب‌ها می‌باشد که نشان دهنده تفاوت ۲۰ درصدی در میزان جذب توسط دو جاذب است. pH بهینه برای حذف BB41 توسط هر دو جاذب خام و اصلاح شده برابر با ۱۰ تعیین شد. نتایج نشان داد که با افزایش pH اولیه محلول، کارایی حذف فرآیند به صورت خطی افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین میزان حذف رنگ در pH برابر ۱۰ مشاهده شده است. در pH‌های بالا رنگزاهای کاتیونی پیوند الکترواستاتیک برقرار می‌کنند و در نتیجه درصد حذف رنگزا افزایش می‌یابد که با مطالعات دیگر محققین همخوانی دارد (۲۶، ۲۵، ۱۵). همچنین علت کاهش جذب در pH پایین افزایش تبدیل گروه‌های کربوکسیلات به کربوکسیل می‌باشد که این عامل

تراکم بار منفی پکتین دیواره سلولی می‌شود (۲۹، ۲۸). با افزایش pH تعداد محل‌های با بار مثبت بر روی سطح جاذب افزایش می‌یابد، این خود سبب کاهش حذف رنگ می‌شود. نتایج با یافته‌های سایر محققین همخوانی دارد (۳۱، ۳۰). نتایج نشان می‌دهد با افزایش دز جاذب بازده حذف محلول رنگ‌ها افزایش می‌یابد، در غلظت‌های کم، مقدار رنگ نسبت به خلل و فرج موجود در سطح جاذب پایین می‌باشد، اما با افزایش غلظت، تعداد مکان‌های در دسترس جذب کمتر در نتیجه راندمان جذب روند کاهشی دارد و با مطالعاتی که در این زمینه وجود دارد، تطابق دارد (۳۳، ۳۲). فرآیند جذب سطحی حذف رنگ بر روی سطح جاذب و همچنین در داخل منافذ جاذب صورت می‌گیرد، بنابراین هر چقدر میزان جاذب افزایش یابد به دنبال آن میزان جذب رنگ بالاتر خواهد بود (۳۴). همچنین به دلیل اینکه مکان‌های سطح تماس جاذب افزایش می‌یابد و دسترسی به مکان‌های جذب توسط مولکول‌های ماده رنگزا افزایش می‌یابد (۳۵). با توجه به ضرایب همبستگی می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های تعادلی برای هر دو جاذب (خام و اصلاح شده) از مدل فروندلیخ بهتر پیروی می‌کند و R^2 برای هر دو جاذب خام و اصلاح شده بالای ۰/۹۹ می‌باشد. سرعت واکنش برای هر دو جاذب از مدل سینتیکی شبه درجه دوم با $R^2 > 0/99$ در دمای ۲۵ پیروی تبعیت می‌کند.

نتیجه گیری

از آنجا که شلتوک برنج خام و اصلاح شده راندمان حذف و ظرفیت جذب قابل قبولی از خود نشان داد و باتوجه به ارزان بودن این جاذب‌های طبیعی می‌توان از این جاذب‌ها به عنوان جایگزینی مناسب برای جاذب‌های صنعتی استفاده نمود.

References

- 1- Daneshvar N, Ashassi-Sorkhabi H, Tizpar A. Decolorization of orange II by electrocoagulation method. *Sep Purif Technol* 2003;31 (2):153-62.
- 2- Pavel J, Hana B, Milenal, R. Sorption of dyes from aqueous solution onto fly ash. *Wat Res.* 2003;37 (20):4938-4944.
- 3- Chou W, Huang Y. Electrochemical Removal of Indium Ions from Aqueous Solution Using Iron Electrodes. *J Hazard Mater.* 2009;172 (1) : 46-53.
- 4- Song Sh, He Z, Qiu J, Xu L, Chen J. Ozone assisted electrocoagulation for decolorization of CI Reactive Black 5 in aqueous solution: An investigation of the effect of operational parameters. *Sep Purif Technol.* 2007;55 (2):238-45
- 5- Toor M, Jin B. Adsorption characteristics, isotherm, kinetics, and diffusion of modified natural bentonite for removing diazo dye. *Chemical Engineering* 2011 (187):79-88.
- 6- Yuh-Shan H, Tzu-Hsuan C, Yu-Mei H. Removal of basic dye from aqueous solution using tree fern as a biosorbent. *ProceBiochem.* 2005;40 ; 119-124.
- 7- hmoodi M, Rayat-Tari H, Decolorization and Mineralization of Basic Dye using Nanophotocatalysis: Pilot Scale Study. *Journal of Color Science and Technology.* 2008; (20):1-40.
- 8- Gong RM, Jin YB, Sun J, Zhong KD (2008). Preparation and utilization of rice straw bearing carboxyl groups for the removal of basic dyes from aqueous solution. *Dyes Pigments* 76: 519-524.
- 9- Hoseinzadeh E, Rahimi SH. Sodium Alginate Magnetic Beads for Removal of Acid Cyanine 5R from aqueous solution. 2011; 16(2): 101-111.
- 10- Mollah MY, Pathak SR, Patil PK, Vayuvegula M, Agrawal TS, Gomes JA, et al. Treatment of orange I azo-dye by electrocoagulation (EC) technique in a continuous flow cell using sacrificial iron electrodes. *Journal of Hazardous material.* 2004; 109(1-3): 165-71.
- 11- Padmesh TVN, Vijayaraghavan K, Sekaran G, Velan M. Batch and column studies on biosorption of acid dyes on fresh water macro alga *Azolla filiculoides*. *Journal of Hazardous Materials.* 2005; 125(1): 121-9.
- 12- Nosheen S, Nawaz H, Rehman KH. Physico- Chemical characterization of effluents of local textile industries of Faisalabad-Pakistan. *Inter J Agric Biol.* 2000; 2(3): 232-3.
- 13- Golder AK, Hridaya N, Samanta AN, Ray S. Electrocoagulation of methylene blue and eosin yellowish using mild steel electrodes. *Journal of Hazardous material.* 2005; 127(1-3): 134-40.
- 14- Lin L, Zhai HR, Xiao Z-Y, Song Y, Song XW. Dye adsorption of mesoporous activated carbons produced from NaOH-pretreated rice husks. *Bioresource Technology.* 2013; 136: 437-43.
- 15- Wang SL, Tzou YM, Lua YH, Sheng G. Removal of 3-chlorophenol from water using rice-straw-based carbon. *Journal of Hazardous material.* 2007; 147: 313-8.
- 16- Hosseinzadeh E, Shokouhi RM. Sodium Alginate Magnetic Beads for Removal of Acid Cyanine 5R from aqueous solution. *Journal of Hazardous material.* 2011; 16 (2): 101-111.
- 17- Rahmani A.R, Zarrabi M, Samarghandi M R, Afkhami A, Ghaffari H. R. Degradation of Azo Dye Reactive Black 5 and Acid Orange 7. *Iran J Chem Engin.* 2010; 7 (1).
- 18- Pavel, J, Hana B, Milenal, R. Sorption of dyes from aqueous solution onto fly ash. *Wat Res.* 2003;37 (20):4938-4944.
- 19- Dazhong S, Fana J, Weizhi Z, Baoyu G, Qinyan Y, Kanga Q. Adsorption kinetics and isotherm of anionic dyes onto organo-bentonite from single and multisolute systems. *Hazardous material.* 2009;172:99-107.
- 21- Chojnacka K. Biosorption of Cr (III) ions by wheat straw and grass: a systematic characterization of new biosorbents. *Polish Journal of Environmental Studies.* 2006;15 (6):845-52.
- 22- Lin L, Zhai h-R, Xiao Z-Y, Song Y, Song X-W. Dye adsorption of mesoporous activated carbons produced from NaOH-pretreated rice husks. *Bioresource Technology.* 2013; (136):437-43.
- 23- Santhy K , Selvaphaty P. Removal of reactive dyes from wastewater by adsorption on coir pith activated carbon. *Bioresource Technology.* 2006; 97 (11): 1329-1336.
- 24- Tan I A W, Ahmad A L , Hameed, B H. Adsorption of basic dye on high-surface-area activated carbon prepared from coconut husk: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies, *Journal of Hazardous Materials.* 2008;154 (1-3): 337-346.

- 25-Ozacar, M., Sengil, I.A.: A kinetic study of metal complex dye sorption onto pine sawdust, *Process Biochemistry*, 2005, 40 (2) 565–572.
- 26-Atia A.A, Donia A.M, Al-Amrani W.A. Adsorption/desorption behavior of acid orange 10 on magnetic silica modified with amine groups. *ChemEngin J.*2009; 150 (1): 55-62.
- 27- Olak F, Atar N, Olgun A. Biosorption of acidic dyes from aqueous solution by *Paenibacillus macerans*: Kinetic, thermodynamic and equilibrium studies. *Chem Engin J.* 2009;150 (1):122-130.
- 28-Rakhshae R, Giahi M, Pourahmad A. Studying effect of cell wall's carboxyl–carboxylate ratio change of *Lemna minor* to remove heavy metals from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials* 2009; 163: 165–173.
- 29- Hameed, B.H., Krishni, Sata, S.A., A novel agricultural waste adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solutions, *Journal of Hazardous Materials* 162 (2009) 305–311.
- 30-bia M, Asl Hariri S, Removal of methylene blue from aqueous solution using nanoporous SBA-3, *Desalination* 2010; 261: 61-66.
- 31-rtas M, Acemioglu B, Hakki Alma M, Usta M, Removal of methylene blue from aqueous solution using cotton stalk, cotton waste and cotton dust, *Chemical Engineering Journal* 2010; 183: 421-427.
- 32-na J, Anawat S, Piyanoot L. Performance evaluation of nanofiltration membranes for treatment of effluents containing reactive dye and salt. *Desalin.* 2000;130 (2):177-183.
- 33- X, Al-Duri B. Kinetic modeling of liquid-phase adsorption of reactive dyes on activated carbon. *J Coll Inter Scie.* 2005;287 (1):25-34
- 34-tia AA, Donia AM, Al-Amrani WA, Adsorption/desorption behavior of acid orange 10 on magnetic silica modified with amine groups, *Chemical Engineering Journal* 2009; 150 (1): 55-62.
- 35-Akbal F, Adsorption of basic dyes from aqueous solution onto pumice powder, *Journal of colloid and interface science*2005;286 (2):455-8.