

حذف رنگزاهای بازی از محیط‌های آبی با نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی

Basic Dyes Removal from Aqueous Media by Nickel-Zinc Ferrite Magnetic Nanoparticles

نیاز محمد محمودی*

تهران، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، گروه رنگ و محیط زیست، صندوق پستی ۱۶۷۶۵-۶۵۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۳/۲۳

چکیده

جذب سطحی روشی مؤثر برای تصفیه آب و پساب است. این فرایند به دلیل سادگی و سهولت در طراحی برای رنگبری پساب‌های رنگی به‌طور گسترده استفاده می‌شود. همچنین، جذب سطحی به دلیل انتقال ترکیبات خاص از محلول به سطح جاذب جالب است. جاذب‌های معمولی محدودیت‌هایی مانند قابلیت جداسازی ضعیف و قدرت جذب کم دارند. در نتیجه پژوهشگران به دنبال جاذب‌های جدید هستند. در این پژوهش، قابلیت رنگبری رنگزاهای بازی آبی ۴۱ (BB41) و بازی قرمز ۱۸ (BR18) از پساب با استفاده از نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی مطالعه شد. از طیف‌نورسنج فرابنفش - مرئی برای بررسی حذف رنگزا استفاده شد. اثر متغیرهای مؤثر بر فرایند رنگبری مانند مقدار جاذب و غلظت اولیه رنگزا بررسی شد. رنگبری محلول‌های رنگی با استفاده از نانوذرات به‌طور کامل انجام شد. نتایج نشان داد، منحنی همدمای جذب سطحی رنگزاهای روی نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی از منحنی همدمای لانگمویر و سینتیک جذب از سینتیک مرتبه دوم پیروی می‌کند. نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی می‌تواند به عنوان جاذب دوست‌دار محیط‌زیست با قابلیت جذب سطحی رنگزای کاتیونی برای حذف رنگزاهای کاتیونی از پساب‌ها استفاده شوند.

مقدمه

تخلخل‌های جاذب، جذب شده و به مقدار نسبتاً کمتری روی سطح بیرونی ذره، جذب می‌شوند. انتقال جذب‌شونده از محلول روی جاذب تا زمانی ادامه می‌یابد که غلظت حل‌شونده باقی‌مانده در محلول با غلظت حل‌شونده جذب‌شده به وسیله جاذب در حال تعادل باشد. زمانی که تعادل برقرار شود، انتقال جذب‌شونده متوقف می‌شود. ماهیت واکنش جذب سطحی را می‌توان با ظرفیت جذب سطحی (جرم جزء جذب‌شده به ازای واحد جرم جاذب) با غلظت تعادلی جزء حل‌شده باقی‌مانده در محلول، بیان کرد. توزیع تعادل جسم حل‌شونده بین فاز جامد و مایع خاصیت مهمی از سامانه جذب است و به تعریف ظرفیت سامانه ویژه کمک می‌کند. خاصیت مهم دیگر

جذب سطحی شامل تجمع مولکول‌های حل شده یک ماده در یک حلال روی سطح ذره جامد است. به‌طور کلی جذب سطحی فرایند انتقال جرم است و به عنوان تراکم مواد هنگام تماس دو فاز تعریف می‌شود. مواد شیمیایی موجود در فاز مایع که ترجیحاً روی سطح جامد غیراشباع تجمع یابد، سبب می‌شود که مواد شیمیایی از فاز مایع خارج شوند. موادی که ترکیبات شیمیایی روی آنها جذب می‌شوند، جاذب و ترکیبات جذب می‌شوند (مانند مواد آلاینده) جذب‌شونده نامیده می‌شوند. در طول فرایند جذب سطحی، مولکول‌های حل‌شونده از محلول خارج شده و به وسیله جاذب، جذب می‌شوند. بخش زیادی از مولکول‌ها روی سطح

کلمات کلیدی

نانوذرات فریت نیکل - روی،
جاذب مغناطیسی،
رنگبری،
پساب

*پیام‌نگار: mahmoodi@icrc.ac.ir

دستگاه‌ها و روش‌ها

سنتز نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی

نیترات نیکل (۴/۸۵ g)، نیترات روی (۴/۹۶ g) و نیترات آهن III (۴/۸۵ g) در آب مقطر (۳۰۰ mL) حل شده و به محلول آب مقطر (۱۰۰ mL)، سیتریک اسید (۵۷/۶۴ g) و اتیلن گلیکول (۳۴/۶۲ mL) اضافه شد. این محلول به مدت ۲ h در دمای ۸۰°C گرما داده شد. سپس، دما به ۹۰°C تا ۱۱۰°C افزایش یافت تا واکنش پلی استری شدن انجام شود. سپس، به مدت ۱ h در ۳۰۰°C گرما داده شد تا ترکیبات آلی حذف شود. پودر صاف به مدت ۱ h در ۶۰۰°C تکلیس (calcination) شد [۸].

بررسی جذب سطحی

ابتدا هر یک از عوامل مؤثر بر جذب سطحی به تنهایی بررسی شد و کارایی جذب برای رنگزاهای مورد مطالعه معین شد. سپس، با تغییر یک عامل و ثابت نگه‌داشتن سایر عوامل، مقدار بهینه آن مشخص شد.

طی آزمایش‌های جذب در فواصل زمانی مشخص از پساب نمونه‌برداری شده و غلظت رنگزا در پساب به وسیله طیف‌نورسنج UV-Vis معین شد. مقدار جذب محلول پیش و پس از افزودن جذب و گذشت زمان مورد نیاز برای رسیدن به تعادل با در نظر گرفتن تمام شرایط، اندازه‌گیری و بازده حذف مواد رنگزا محاسبه شد.

برای تعیین مقدار بهینه مقدار جذب بر بازده رنگبری، اندازه‌گیری‌های جذب با مخلوط کردن مقادیر متفاوتی از جذب در بشرهای محتوی ۲۵۰ mL از پساب حاوی ۵۰ mg/L رنگزا با سرعت همزن ۲۰۰ rpm در دستگاه Jar Test مدل FC6S-VELP انجام شد. برای بررسی اثر مقدار غلظت رنگزا بر بازده رنگبری، اندازه‌گیری‌های جذب با مخلوط کردن جذب در بشرهای حاوی ۲۵۰ mL از پساب با مقادیر متفاوتی از رنگزا (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ mg/L رنگزا) با سرعت همزن ۲۰۰ rpm انجام شد.

بازده حذف رنگزا (R) از معادله (۱) محاسبه شد:

$$R (\%) = [(C_0 - C_t)/C_0] * 100 \quad (1)$$

در این معادله، C_0 مقدار غلظت رنگزای موجود در زمان صفر (غلظت اولیه) و C_t غلظت رنگزای موجود در هر لحظه است.

نتایج و بحث

اثر مقدار جذب

مقدار جذب، عاملی مهم و ویژه است، زیرا مقدار رنگزای حذف شده را معین می‌کند. افزایش مقدار جذب سبب افزایش محل‌های جذب در دسترس می‌شود، بنابراین مقدار جذب افزایش می‌یابد. اما، مقدار ماده جذب‌شده به ازای واحد جرم جذب کاهش می‌یابد. سطح ویژه

برای مهندسان، سینتیک سامانه است که سرعت برقراری تعادل را شرح می‌دهد. سرعت جذب سطحی، زمان ماند مورد نیاز برای تصفیه و بنابراین اندازه سامانه‌های تماسی جاذب را معین می‌کند [۳-۱].

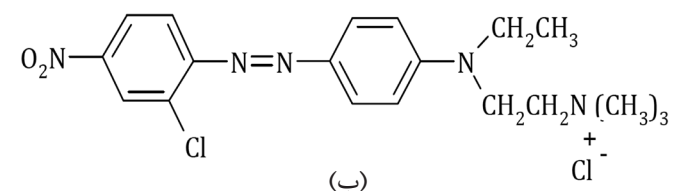
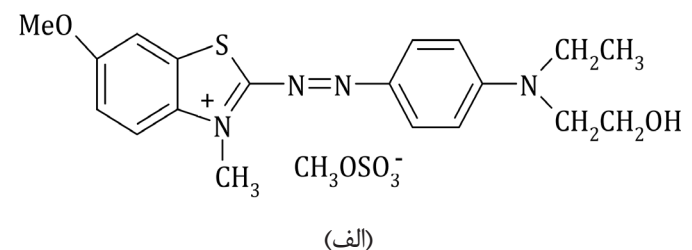
نانوذرات مغناطیسی خواص منحصر به فردی دارند که سبب کاربرد روز افزون آنها در محیط زیست، میکروالکترونیک، زیست‌فناوری و سایر زمینه‌ها می‌شود. از مزایای این ترکیبات می‌توان داشتن مساحت سطح بزرگ، گروه فعال زیاد و خواص مغناطیسی را نام برد. این خواص منجر به بازده زیاد، سرعت زیاد جذب آلاینده‌ها و راحتی جداسازی به وسیله میدان مغناطیسی می‌شوند [۴-۷].

مرور مقالات نشان داد، نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی به عنوان جاذب برای رنگبری رنگزاهای بازی استفاده نشده‌اند. رنگزاهای بازی آبی ۴۱ و بازی قرمز ۱۸ به این دلیل در پژوهش حاضر استفاده شدند که از رنگزاهای پر مصرف در ایران هستند و بار مثبت نیز دارند که برای جذب سطحی روی نانوذرات دارای بار منفی مناسب‌اند. در این پژوهش، رنگبری با استفاده از نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی انجام شده و اثر عوامل مؤثر بر بازده مانند مقدار جذب و غلظت رنگزا بررسی شده است. همچنین، منحنی همدمای سینتیک رنگبری مطالعه شده است.

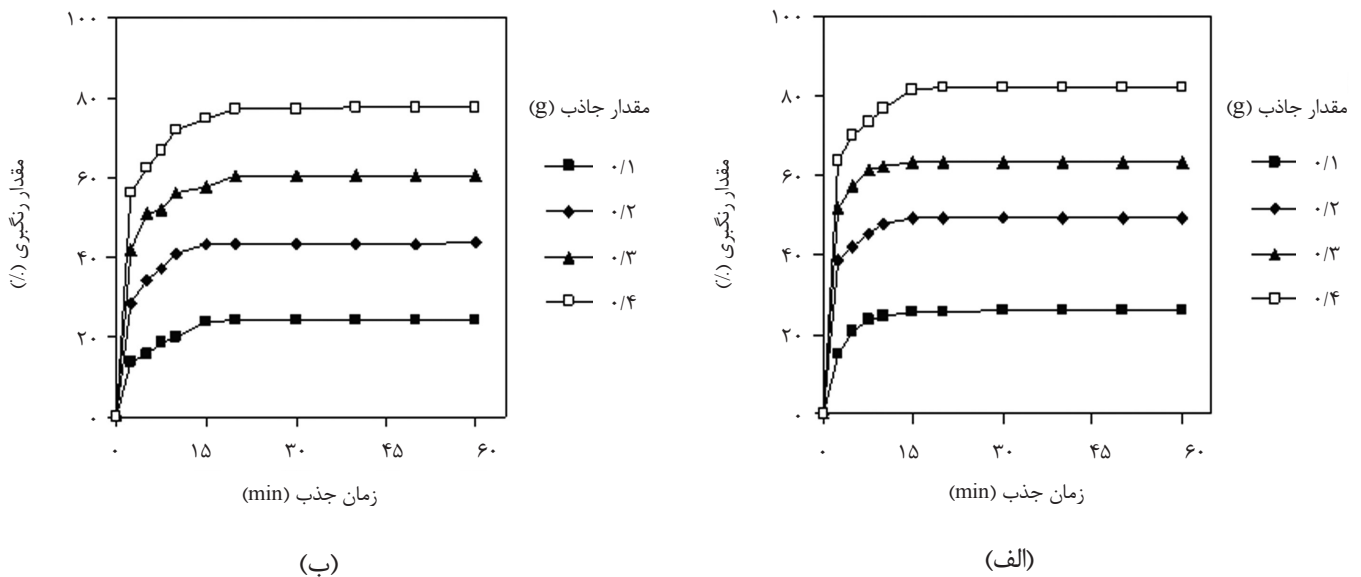
تجربی

مواد

رنگزاهای بازی آبی ۴۱ (BB41) و بازی قرمز ۱۸ (BR18) از شرکت سیبا تهیه شدند. این رنگزاهای نوع تجاری، بدون خالص‌سازی استفاده شدند. ساختار شیمیایی رنگزاهای استفاده شده در طرح ۱ آمده است. سایر مواد شیمیایی از شرکت Merck آلمان خریداری شدند.



طرح ۱- ساختار شیمیایی رنگزاهای استفاده شده: (الف) بازی آبی ۴۱ (BB41) و (ب) بازی قرمز ۱۸ (BR18).



شکل ۱- اثر مقدار جاذب بر مقدار رنگبری رنگزاهای با استفاده از نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی: (الف) رنگزای بازی قرمز ۱۸ و (ب) رنگزای بازی آبی ۴۱.

دسترسی بیشتر به مکان‌های جاذب است.

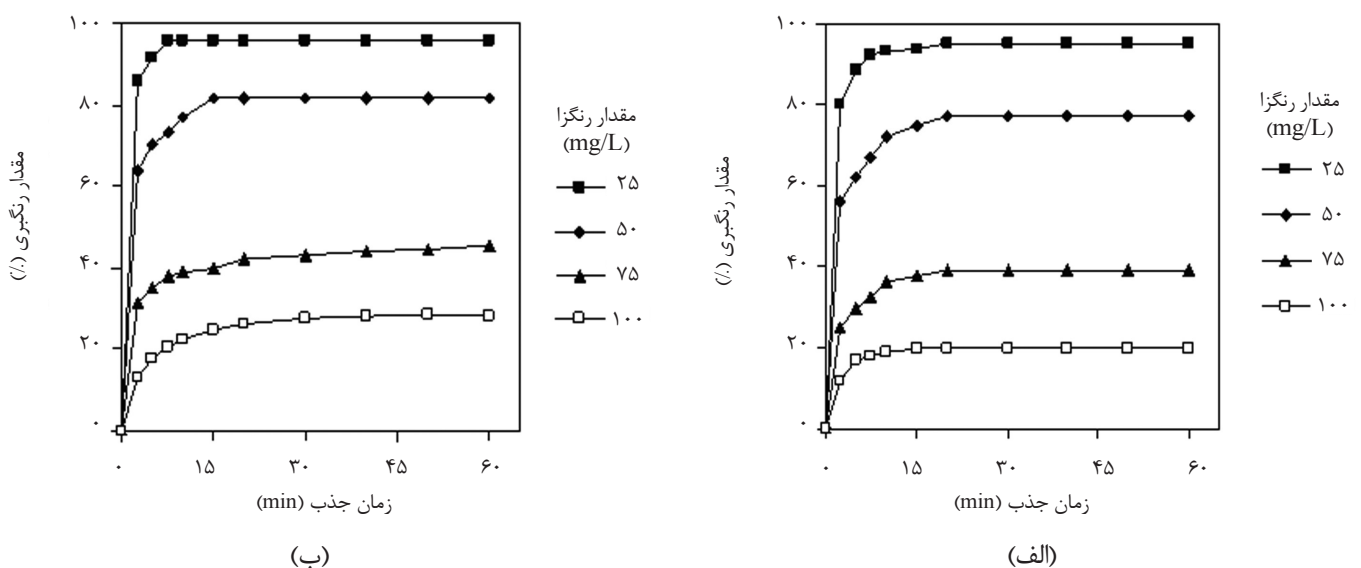
اثر غلظت اولیه رنگزا

اثر غلظت اولیه رنگزا بر بازده فرایند رنگبری مطالعه شد (شکل ۲). نتایج نشان می‌دهد، با افزایش غلظت رنگزا مقدار درصد حذف کاهش می‌یابد. اگر مقدار جاذب بدون تغییر باقی بماند، مقدار رنگزای جذب شده روی جاذب با افزایش غلظت اولیه رنگزای موجود در محلول افزایش می‌یابد.

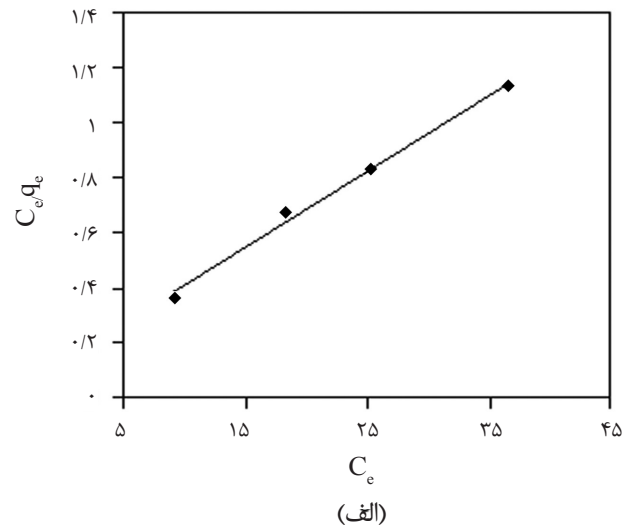
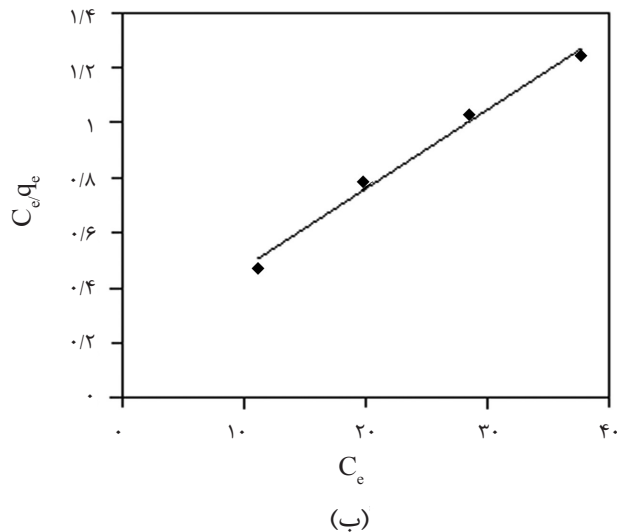
در مقداری مشخص از جاذب، با افزایش غلظت محلول، مقدار ماده جذب‌شده افزایش و درصد جذب کاهش می‌یابد. به بیان دیگر،

به بخشی از سطح جاذب اطلاق می‌شود که در عمل جذب سطحی در دسترس باشد. از آنجا که جذب سطحی پدیده مربوط به سطح است، بنابراین مقدار آن به مساحت سطح جاذب وابسته است. در جاذب‌های متخلخل مساحت سطح بیشتر است. بنابراین مقدار جذب سطحی به ازای واحد وزنی بیشتر است [۹،۱۰]. اثر مقادیر مختلف جاذب در رنگبری رنگزاهای کاتیونی مطالعه شد.

نمودار درصد رنگزای حذف شده در برابر زمان در مقادیر متفاوت جاذب در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج بیانگر این است که مقدار قابل توجهی از رنگزاهای به وسیله جاذب حذف شد. افزایش در جذب با افزایش مقدار جاذب به دلیل افزایش سطح جاذب و مقدار



شکل ۲- اثر غلظت رنگزا بر مقدار رنگبری رنگزاهای با استفاده از نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی: (الف) رنگزای بازی قرمز ۱۸ و (ب) رنگزای بازی آبی ۴۱.



شکل ۳- همدمای جذب لانگمویر رنگزاهای روی نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی: (الف) رنگزای بازی قرمز ۱۸ و (ب) رنگزای بازی آبی ۴۱.

تعادل در جذب وجود دارد. این مدل‌ها برای ارائه دیدگاهی درباره سازوکار جذب، خواص سطحی، تمایل جذب و توصیف داده‌های تجربی جذب به کار می‌روند. معادله‌های که کاربرد زیادی برای توصیف همدمای جذب در سامانه‌های جامد - مایع دارند، معادله‌های لانگمویر و فروندلیش هستند [۱۳-۱۵].

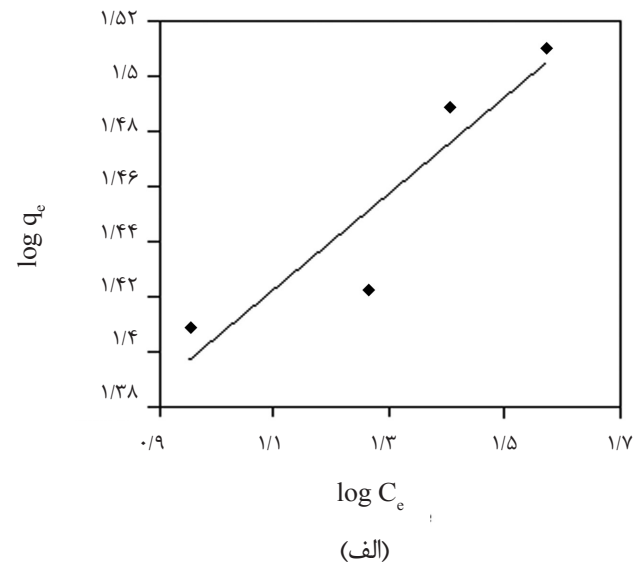
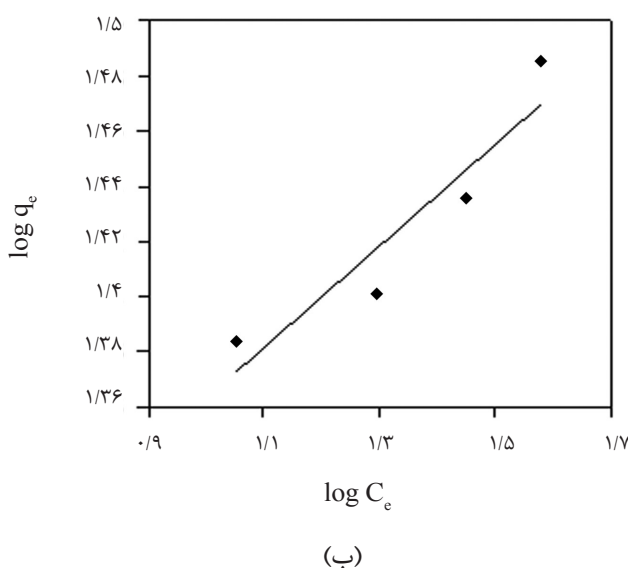
در مدل لانگمویر جذب در مکان‌های خاص و همگن روی جذب اتفاق می‌افتد. تمام مکان‌های جذب یکسان هستند. هر یک از مکان‌های جذب روی سطح جذب فقط با یک مولکول جذب‌شونده اشغال می‌شود.

جذب ظرفیت مشخص و محدودی برای جذب جذب‌شونده دارد. در تعادل، جذب به نقطه‌ای اشباع می‌رسد و دیگر بیشتر از این مقدار، جذب انجام نمی‌شود. تمام مکان‌های جذب یکسان و از لحاظ انرژی برابری دارند، یعنی جذب‌ها از لحاظ ساختار همگن هستند. معادله

غلظت باقی‌مانده مولکول‌های رنگزا در غلظت‌های اولیه بیشتر، زیادتر است. در غلظت‌های کمتر، نسبت تعداد اولیه مول‌های رنگزا به مکان‌های در دسترس جذب کم است، در نتیجه مقداری از جذب، مستقل از غلظت اولیه خواهد بود [۱۱، ۱۲]. در غلظت‌های بیشتر، تعداد مکان‌های در دسترس جذب کمتر و در نتیجه مقدار حذف رنگزا به غلظت اولیه بستگی دارد.

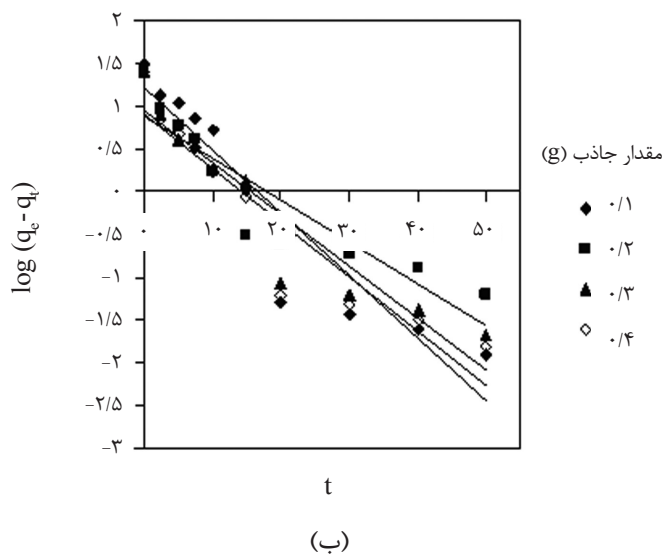
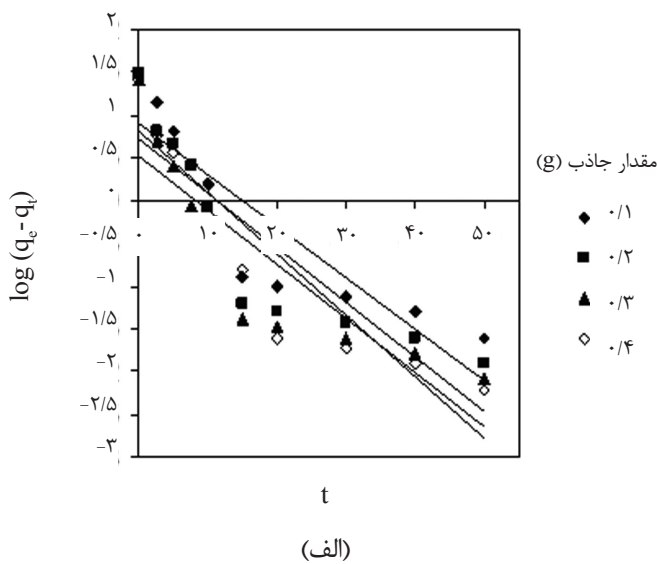
منحنی همدمای جذب

منحنی همدمای جذب، چگونگی واکنش آلاینده‌ها را با مواد جذب توصیف می‌کند و در بهینه‌سازی مصرف جذب نقش اساسی دارد. مدل‌های همدمای زیادی مانند لانگمویر، فروندلیش، توت، تمپکین، ردلیش - یترسون و فرامکین برای تحلیل داده‌های تجربی و توصیف



شکل ۴- همدمای جذب فروندلیش رنگزاهای روی نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی: (الف) رنگزای بازی قرمز ۱۸ و (ب) رنگزای بازی آبی ۴۱.

نهایت اگر بزرگ‌تر از ۱ باشد، همدم نامطلوب است. در این پژوهش، همدم‌های جذب لانگمویر (شکل ۳) و فروندلیش (شکل ۴) رنگزاهای بازی نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی (زمان تعادل ۱ h). جدول ۱ همبستگی (R^2) در جدول ۱ آمده است. نتایج نشان می‌دهد، زمانی که مقدار جذب تغییر می‌کند، فرایند جذب سطحی رنگزاهای بازی نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی از همدمی لانگمویر پیروی می‌کند، علت این است که سطح جذب یکنواخت است. مقایسه مقدار ظرفیت جذب (Q_0) جذب با سایر جذب‌های مغناطیسی نشان می‌دهد که نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی جذب مناسبی است [۱۶-۱۸] (جدول ۲).



شکل ۵- سینتیک جذب مرتبه اول رنگزاهای بازی نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی: (الف) رنگزای بازی قرمز ۱۸ و (ب) رنگزای بازی آبی ۴۱.

جدول ۱- ثابت‌های همدمی جذب سطحی رنگزاهای بازی نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی (زمان تعادل ۱ h).

نوع رنگزا	همدمای لانگمویر			همدمای فروندلیش		
	R^2	K_L	Q_0	R^2	$1/n$	K_F
بازی قرمز ۱۸	۰/۹۸۷	۰/۲۰۴	۳۶	۰/۸۴۲	۰/۱۷۵	۱۷
بازی آبی ۴۱	۰/۹۸۳	۰/۱۶۵	۳۵	۰/۸۷۳	۰/۱۸۴	۱۵

لانگمویر به شکل معادله (۲) است:

$$C_e/q_e = 1/(K_L Q_0) + C_e/Q_0 \quad (2)$$

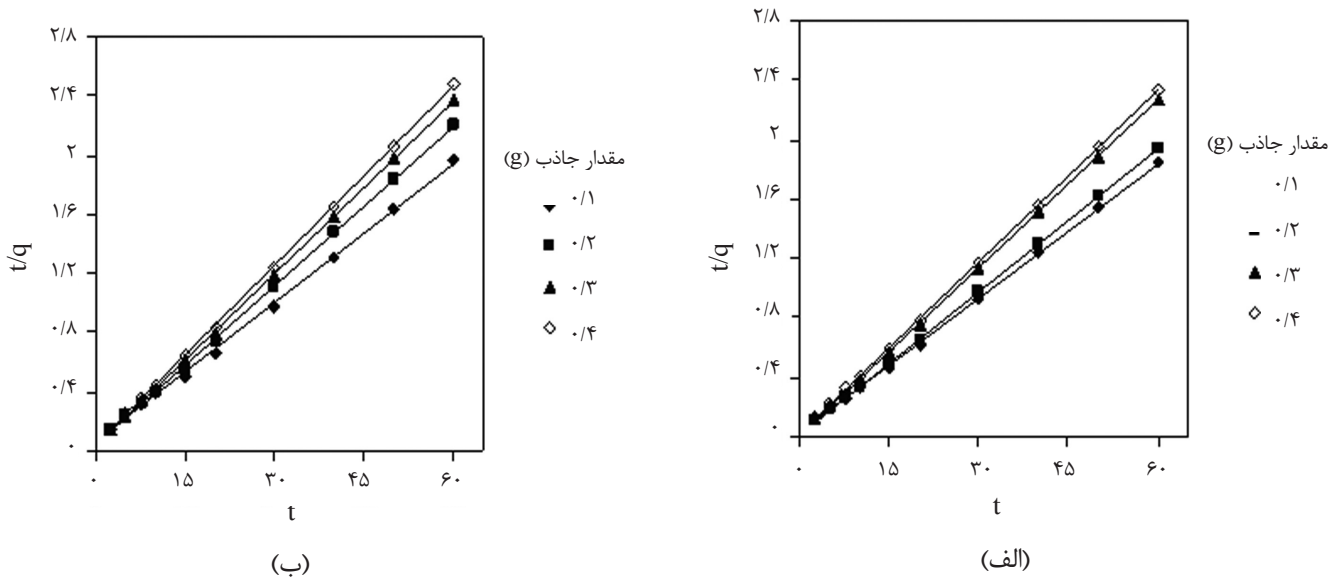
که q_e مقدار رنگزای جذب‌شده روی جاذب در حالت تعادل، C_e غلظت تعادلی محلول رنگی (mg/L)، K_L ثابت لانگمویر (L/mg) و Q_0 حداکثر ظرفیت جذب (mg/g) است. منظور از Q_0 تعداد کل مکان‌های جذب است و q_e نیز بر اساس تعداد مکان‌هایی که در واقع به وسیله ماده جذب‌شده در غلظت C_e اشغال شده‌اند، تفسیر می‌شود. همدمای فروندلیش بر اساس جذب تک‌لایه‌ای روی مکان‌های جذب ناهمگن و دارای انرژی‌های نابرابر و غیرهمسان بنا شده است. معادله فروندلیش به شکل معادله (۳) است:

$$\log q_e = \log K_F + (1/n) \log C_e \quad (3)$$

که K_F و $1/n$ ثابت‌های فروندلیش هستند و به ترتیب به ظرفیت جذب در واحد غلظت و شدت جذب جاذب مربوط می‌شوند. مقدار $1/n$ بیانگر نوع همدماست. اگر برابر با صفر باشد، همدم برگشت‌ناپذیر، بین ۰ و ۱، همدم مطلوب، برابر با ۱، همدم خطی و در

جدول ۲- مقدار ظرفیت جذب (Q_0) جذب با سایر جاذب‌های مغناطیسی.

جاذب	رنگزا	Q_0 (mg/g)	مرجع
دانه آلژینات مغناطیسی	آبی متیلن	۹	[۱۶]
	نارنجی متیل	۸	
نانوکامپوزیت مغناطیسی نانولوله کربن چنددیواره	آبی متیلن	۱۲	[۱۶]
	قرمز خنثی	۱۰	
	آبی کرزیل درخشان	۶	
$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	نارنجی آکریدین	۵۹	[۱۸]
نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی	قرمز بازی ۱۸	۳۶	پژوهش حاضر
	آبی بازی ۴۱	۳۵	



شکل ۶- سینتیک جذب مرتبه دوم رنگزاهای روی نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی: (الف) رنگزای بازی قرمز ۱۸ و (ب) رنگزای بازی آبی ۴۱.

دوم برای جذب رنگزای روی جاذب طبیعی به شکل معادله (۵) است:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - k_2 t / 2.303 \quad (5)$$

که k_2 ثابت تعادلی سرعت معادله سینتیک مرتبه دوم (g/mg min) است. حالت خطی بین t/q_t و زمان تماس (t) را می‌توان با سینتیک مرتبه دوم تقریب زد. در این پژوهش، سینتیک جذب رنگزاهای روی نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی در مقادیر مختلف جاذب بررسی شده است. ضرایب معادلات سینتیک مرتبه اول (شکل ۵) و مرتبه دوم (شکل ۶) شامل $(q_e)_{Cal}$ ، k_1 ، مرتبه اول، k_2 ، مرتبه دوم، و ضریب همبستگی (R^2) هر یک از معادله‌ها در جدول ۳ آمده است. نتایج نشان می‌دهد،

سینتیک جذب

برای تهیه اطلاعاتی درباره عوامل مؤثر بر سرعت واکنش، ارزیابی سینتیک ضروری است. دو مدل سینتیکی که به‌طور گسترده در منابع برای فرایندهای جذب به کار می‌روند، شامل مدل‌های سینتیک مرتبه اول و دوم هستند [۱۹،۲۰]. شکل خطی مدل مرتبه اول به شکل معادله (۴) است:

$$t/q_t = 1/(k_2 q_e^2) + t/q_e \quad (4)$$

که q_t مقدار رنگزای جذب شده در زمان t (mg/g) و k_1 ثابت تعادلی سرعت سینتیک مرتبه اول (1/min) است. شکل خطی مدل مرتبه

جدول ۳- ثوابت سینتیکی جذب رنگزاهای روی نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی (زمان تعادل ۱ h).

سینتیک مرتبه دوم			سینتیک مرتبه اول			$(q_e)_{Exp}$	جاذب (g)
R^2	k_2	$(q_e)_{Cal}$	R^2	k_1	$(q_e)_{Cal}$		
بازی قرمز ۱۸							
۰/۹۹۹	۰/۰۳۰	۳۳	۰/۸۰۶	۰/۱۳۸	۸	۳۲	۰/۱۰۰
۰/۹۹۹	۰/۰۵۶	۳۱	۰/۷۹۵	۰/۱۴۷	۵	۳۰	۰/۲۰۰
۰/۹۹۹	۰/۰۰۳	۲۷	۰/۷۸۳	۰/۱۴۶	۳	۲۶	۰/۳۰۰
۰/۹۹۹	۰/۰۵۵	۲۶	۰/۸۵۹	۰/۱۶۵	۶	۲۵	۰/۴۰۰
رنگزای بازی آبی ۴۱							
۰/۹۹۹	۰/۰۱۴	۳۲	۰/۸۸۳	۰/۱۶۹	۱۷	۳۱	۰/۱۰۰
۰/۹۹۹	۰/۰۳۳	۲۸	۰/۸۳۰	۰/۱۱۳	۸	۲۷	۰/۲۰۰
۰/۹۹۹	۰/۰۳۷	۲۶	۰/۸۹۰	۰/۱۴۰	۹	۲۵	۰/۳۰۰
۰/۹۹۹	۰/۰۴۰	۲۵	۰/۸۸۸	۰/۱۴۶	۸	۲۴	۰/۴۰۰

مغناطیسی فریت نیکل - روی به عنوان جاذب مغناطیسی، قابلیت رنگبری مناسبی برای رنگزاهای کاتیونی دارند. با افزایش مقدار نانوذرات مغناطیسی به دلیل امکان دسترسی بیشتر مولکول‌های رنگزا به سطح آن، مقدار رنگبری افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت رنگزا، مقدار رنگبری کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش غلظت رنگزا محل‌های جذب روی جاذب ثابت است، در نتیجه بین مولکول‌های رنگزا که کاتیونی هستند، دافعه شدید به وجود می‌آید. زمانی که مقدار جاذب تغییر می‌کند، فرایند جذب سطحی رنگزاهای روی نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی از همدمای لانگمویر پیروی می‌کند. همچنین فرایند جذب سطحی رنگزاهای روی نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی از سینتیک مرتبه دوم پیروی می‌کند.

زمانی که مقدار جاذب تغییر می‌کند، فرایند جذب سطحی رنگزاهای روی نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی از سینتیک مرتبه دوم پیروی می‌کنند. یعنی سینتیک جذب رنگزاهای هم به مقدار جاذب و هم به غلظت جذب‌شونده بستگی دارد. همچنین، مقادیر q_e محاسبه شده $[q_e]_{Cal}$ از سینتیک مرتبه دوم به مقادیر q_e تجربی $[q_e]_{Exp}$ نیز نزدیک است که نشان‌دهنده پیروی سینتیک جذب رنگزاهای سینتیک مرتبه دوم است.

نتیجه‌گیری

قابلیت رنگبری رنگزاهای بازی از پساب با استفاده از نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی مطالعه شد. نتایج نشان داد، نانوذرات

مراجع

- Alley E.R., *Water Quality Control Handbook*, McGraw-Hill, 2000.
- Benefield L.D., Judkins J.F., and Wend B.L., *Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment*, Prentice-Hall, 1982.
- Cooney D.O., *Adsorption Design for Wastewater Treatment*, Lewis, Boca Raton, 1999.
- Mahmoodi N.M., Magnetic ferrite nanoparticle - alginate composite: Synthesis, characterization and binary system dye removal, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 44, 321-329, 2013.
- Zhang W.X., Nanoscale iron particles for environmental remediation: An overview, *J. Nanopart. Res.*, 5, 323-332, 2003.
- Gupta V.K., Kumar R., Nayak A., Saleh T.A., and Barakat M.A., Adsorptive removal of dyes from aqueous solution onto carbon nanotubes: A review, *Adv. Colloid Interf. Sci.*, 193-194, 24-34, 2013.
- Savage N. and Diallo M., Nanomaterials and water purification: Opportunities and challenges, *J. Nanopart. Res.*, 7, 331-342, 2005.
- Mahmoodi N.M., Bashiri M., and Moeen S.J., Synthesis of nickel-zinc ferrite magnetic nanoparticle and dye degradation using photocatalytic ozonation, *Mater. Res. Bull.*, 47, 4403-4408, 2012.
- Bandosz T.J., *Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation*, 1st ed., The City College of New York, New York, USA, 2006.
- Thomas W.J. and Crittenden B., *Adsorption Technology and Design*, 1st ed., Elsevier, 1998.
- Mahmoodi N.M. and Najafi F., Synthesis, amine functionalization and dye removal ability of titania/silica nano-hybrid, *Micropor. Mesopor. Mater.*, 156, 153-160, 2012.
- Crini G. and Badot P.M., Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature, *Prog. Polym. Sci.*, 33, 399-447, 2008.
- Langmuir I., The constitution and fundamental properties of solids and liquids, *J. Am. Chem. Soc.*, 38, 2221-2295, 1946.
- Freundlich H., Uber die adsorption in losungen, *Z Phys. Chem.*, 57, 385-471, 1906.
- Greluk M. and Hubicki Z., Kinetics, isotherm and thermodynamic studies of reactive black 5 removal by acid acrylic resins, *Chem. Eng. J.*, 162, 919-926, 2010.
- Rocher V., Siaugue J.M., Cabuil V., and Bee A., Removal of organic dyes by magnetic alginate beads, *Water Res.*, 42, 1290-1298, 2008.
- Gong J.L., Wang B., Zeng G.M., Yang C.P., Niu C.G., Niu Q.Y., Zhou W.J., and Liang Y., Removal of cationic dyes from aqueous solution using magnetic multi-wall carbon nanotube nanocomposite as adsorbent, *J. Hazard. Mater.*, 164, 1517-1522, 2009.
- Qadri S., Ganoe A., and Haik Y., Removal and recovery of acridine orange from solutions by use of magnetic

- Nanoparticles, *J. Hazard. Mater.*, 169, 318-323, 2009.
19. Lagergren S., Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe, *K. Sven. Vetenskapsakad. Handl.*, 24, 1-39, 1898.
20. Ho Y.S. and McKay G., Pseudo-second order model for sorption processes, *Proc. Biochem.*, 34, 451-465, 1999.

Basic Dyes Removal from Aqueous Media by Nickel-Zinc Ferrite Magnetic Nanoparticles

N.M. Mahmoodi*

Department of Environmental Research, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran

Received 18 March 2013; Accepted 13 June 2013

Abstract

Adsorption is an effective method for water and wastewater treatments. The adsorption process is widely used to remove dyes from colored wastewater due to its easy application and simple design. In addition the interesting aspect of adsorption is due to the transfer of target substances from solutions onto adsorbent surfaces. Traditional adsorbent materials suffer from some disadvantages such as poor separation ability and relatively limited adsorption capacity for dyes. Thus researchers have found interest in new adsorbents. In this paper, dye removal ability of zinc-nickel ferrite nanoparticle type of material as a magnetic adsorbent was studied. Basic Blue 41 (BB41) and Basic Red 18 (BR18) were used as model dyes. UV-Vis spectrophotometer was used to follow and record the dye removal. The effect of adsorbent dosage and dye concentration on dye removal was studied. Direct dyes were removed from wastewater. Adsorption isotherm followed the Langmuir isotherm and the adsorption kinetics followed pseudo-second order. The results showed that zinc-nickel ferrite nanoparticle can be used as an effective magnetic adsorbent to treat colored wastewater.

Keywords

zinc-nickel ferrite
nanoparticles,
magnetic adsorbent,
dye removal,
wastewater

(*) Email: mahmoodi@icrc.ac.ir