



حذف آلاینده ی بروموکروزول سبز با استفاده از نانوکامپوزیت مغناطیسی آهن/کربن

جعفر سالمیانی | فاطمه هنر آسا*

گروه شیمی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز

چکیده: بروموکروزول سبز یک رنگ از خانواده تری فنیل متان هاست که به عنوان آلاینده در فاضلاب کارخانه های نساجی یافت می شود. در این کار حذف بروموکروزول سبز به عنوان یک آلاینده آب توسط نانوکامپوزیت مغناطیسی آهن/کربن بررسی شده است. برای انجام این کار درصد حذف با استفاده از طیف سنجی ماورای بنفش-مرئی محاسبه گردیده است. در ابتدا تاثیر پارامترهای تاثیرگذار مانند pH محلول، مقدار جاذب و زمان تماس بر روی فرایند جذب بررسی شد. بیشترین میزان حذف در pH ۵ در طی زمان ۲ دقیقه بدست آمد. همچنین، نانوجاذب ارائه شده جهت حذف بروموکروزول سبز در نمونه های حقیقی مورد استفاده قرار گرفت. سینتیک بالای جذب رنگ بر روی جاذب به عنوان یکی از مزایای این نانوجاذب مطرح است. همچنین طبق یافته های بدست آمده ایزوترم دو بین-رادشکوپیج بهترین تطبیق را با داده های تجربی نشان می دهد. بر طبق این ایزوترم جذب بروموکروزول سبز بر روی جاذب بصورت فیزیکی انجام شده است. همچنین با استفاده از این ایزوترم مقدار Q_m (ماکزیمم ظرفیت جذب تئوری) 159 mg g^{-1} بدست می آید که نسبت به جاذب های دسترس دیگر مقدار قابل توجه ای است. نتایج حاصله بیانگر این است که نانوکامپوزیت مغناطیسی آهن/کربن بطور موفقیت آمیزی می تواند جهت حذف بروموکروزول سبز استفاده شود.

واژگان کلیدی: نانوذرات آهن اکسید، نقاط کربنی، بروموکروزول سبز، آلاینده ی آب، نانوکامپوزیت.

fhonarasa@gmail.com, honarasa@iaushiraz.ac.ir

۱- مقدمه

متعددی برای حذف رنگ ها از فاضلاب های صنعتی وجود دارد که از بین آنها می توان انعقاد شیمیایی، لخته شدن شیمیایی، فرایند های اکسایش پیشرفته مختلف، اوزوناسیون، نانوفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون پیشرفته میسلی، جذب و غیره را نام برد. در این بین، فرآیندهای جذب سطحی برای حذف رنگ ها از فاضلاب های صنعتی کارایی بالاتری دارند [۲-۴]. جذب به عنوان یکی از روش های مفید و معمولی پالایش فاضلاب ها، بر اساس انتقال مولکول رنگ به فاز جامد می باشد. این روش از لحاظ هزینه پایین، طراحی ساده، آسان بودن عملکرد و سمی نبودن جاذب بر روش های دیگر

حجم زیادی از فاضلاب های حاوی رنگ های مختلف وارد محیط زیست و نمونه های آبی شده که این رنگ ها حتی در غلظت های کم باعث جهش های ژنی نامطلوب، اثرات سرطان زایی و تغییر در ترکیب و ماهیت نمونه های آب می شود [۱]. رنگ ها اگرچه ناپایدارند و بر اثر نور می توانند تخریب شوند، ولی بعضی از رنگ ها به ویژه رنگ های آزو در برابر نور، مواد اکسید کننده و تجزیه کننده های زیستی مقاوم هستند و گاهی حتی محصولات حاصل از تجزیه ی رنگ ها از خود مواد اولیه خطرناک تر هستند. پس لازم است این رنگ ها از آب زدوده شوند [۱]. تکنیک های

حذف رنگ ارجحیت دارد. قیمت پایین، موثر بودن و خواص جذبی از مهمترین معیارها برای انتخاب جاذب برای حذف ترکیبات آلی از جمله رنگ ها از فاضلاب می باشند. کربن فعال و نانولوله های کربنی چند لایه به دلیل ویژگی های منحصر به فرد از قبیل نسبت سطح به حجم بالا، پایداری شیمیایی و فیزیکی بالا و قابلیت بازیابی آسان با موفقیت زیادی برای فرآیند جذب و حذف رنگ ها استفاده شده اند. پیشرفت های اخیر نشان می دهد بسیاری از مسائل مربوط به کیفیت آب با استفاده از نانوذرات، نانوفیلتراسیون یا دیگر محصولات حاصل از فناوری نانو می تواند حل و یا بهبود بخشیده شود [۵]. نوآوری در زمینه توسعه فن آوری های جدید برای شیرین نمودن آب از مهمترین این فن آوری ها محسوب می شود. اخیرا نانوذرات مغناطیسی آهن اکسید جهت حذف آلاینده های آب مورد استفاده قرار گرفته اند [۴]. دلیل این امر را می توان در خصوصیات جالب این دسته از نانوذرات یافت. نانوذرات آهن اکسید علاوه بر داشتن اندازه بسیار کوچک، دارای نسبت سطح به حجم بالا نیز هستند. خصوصیت جالب دیگر این دسته از نانومواد داشتن خصوصیت مغناطیسی و سازگار بودن با محیط زیست است. همچنین سطح نانوذرات مغناطیسی آهن اکسید را می توان به راحتی اصلاح کرد [۶]. بنابراین نانوذرات مغناطیسی آهن اکسید به عنوان نانوجاذب مورد استفاده قرار گرفته اند. نانوجاذب مغناطیسی پس از جذب آلاینده های آب به آسانی از طریق اعمال یک میدان مغناطیسی خارجی از محلول جدا می شود. اگر چه بازیافت جاذب های مغناطیسی بسیار آسان و با استفاده از یک آهن ربا انجام می شود، اما ظرفیت جذب به طور معمول پایین است که دلیل آن نبود یا کمبود گروههای عاملی شیمیایی روی سطح جاذب است. از این رو روش های متعددی جهت افزایش بازدهی این دسته از نانوذرات در حذف آلاینده های آب صورت گرفته است. این روش ها به طور معمول شامل اصلاح سطح نانوذرات آهن اکسید است. یکی از مواد متداول جهت افزایش بازدهی کارایی نانوذرات آهن اکسید استفاده از مواد کربنی است. به عنوان مثال نانوذرات آهن اکسید پوشش داده شده با کربن (Fe_3O_4/C) جهت حذف هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه ای با کارایی بالا مورد استفاده قرار گرفته اند [۷]. همچنین از نانولوله های اصلاح شده ی مغناطیسی جهت حذف برخی از رنگ های کاتیونی استفاده شده است [۸]. در سال ۲۰۱۱ نیز گزارشی بر مبنای استفاده از کربن گرافیتی متخلخل

مغناطیسی جهت حذف یون ها و رنگ ها نیز ارائه شده است [۹]. همچنین گزارشی بر مبنای استفاده از زغال فعال اصلاح شده ی مغناطیسی جهت حذف رنگ بنفش کریستال ارائه شده است [۱۰]. اخیرا نیز از نانوکامپوزیت متشکل از نانولوله کربنی و نوعی پلی ساکارید و اکسید آهن جهت حذف برخی رنگ های آزو استفاده شده است [۱۱ و ۱۲]. از اکسید آهن محصور شده در نانودیسک کربنی متخلخل نیز جهت حذف تعدادی از رنگ ها استفاده شده است [۱۳]. بروموکروزول سبز یک رنگ از خانواده تری فنیل متان هاست که به عنوان شناساگر pH و رنگ ردیاب در الکتروفورز ژل آگاروز DNA مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین در صنایع نساجی مخصوصا منسوجات از جنس کتان و پنبه به عنوان عامل رنگ کننده استفاده می شود. رنگ بروموکروزول سبز بسته به pH محیط می تواند از قهوه ای روشن تا سبز تیره تغییر رنگ دهد [۱۴]. تاکنون از چندین روش جهت حذف بروموکروزول سبز استفاده شده است که از جمله آنها می توان به استفاده از جاذب رمیلک (نوعی گیاه کنار) [۱۴]، جاذب نانوسیم های اکسید کادمیوم [۱۵] و الکتروود Ti/SnO_2-RuO_2 [۱۶] اشاره کرد. در این کار سعی به استفاده از نانوذرات مغناطیسی آهن اکسید اصلاح شده با نقاط کربنی جهت حذف رنگ بروموکروزول سبز است.

۲- بخش تجربی

مواد و تجهیزات

تمامی مواد شامل سدیم هیدروکسید، هیدروکلریک اسید و بروموکروزول سبز با خلوص تجزیه ای از شرکت مرک تهیه شدند. سنتز نانوکامپوزیت آهن / کربن مطابق با آنچه از قبل گزارش شده بود، انجام شد [۱۷ و ۱۸]. pH محلول ها توسط HCl یا NaOH و با استفاده از دستگاه pH متر Mettler Toledo تنظیم شد. همچنین از دستگاه طیف سنج مرئی-فرا بنفش Hach-DR5000 جهت بررسی طیف جذبی استفاده شد.

روش آزمایش

در نانوکامپوزیت دارد. همچنین در طیف فوق دماغه ای در عدد موجی 568 cm^{-1} دیده می شود که بیانگر وجود پیوند Fe-O در ترکیب است. جابه جایی دماغه فوق نسبت به دماغه مربوط به اکسید آهن خالص نشان دهنده برهم کنش نقاط کربنی با نانوذرات اکسید آهن است [۱۹]. از طرف دیگر تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری در شکل ۱ آورده شده است. همانگونه که مشخص است هم نقاط کربنی و هم نانوذرات اکسید آهن در نانوکامپوزیت فوق وجود دارند. نانوذرات اکسید آهن و نقاط کربنی با اندازه های تقریبی ۱۰ و ۲ نانومتر در شکل دیده می شوند. بنابراین به نظر می رسد که نانوکامپوزیت آهن/کربن به درستی و مشابه با گزارش قبلی سنتز شده است.

پس از سنتز موفقیت آمیز نانوکامپوزیت پارامترهای تاثیرگذار بر عملکرد جاذب بررسی شدند (شکل ۲). pH محلول یک فاکتور کنترل کننده مهم در فرآیند جذب سطحی می باشد. pH محلول هم شیمی آب و هم سایت های پیوند سطح جاذب را تحت تاثیر قرار می دهد. بنابراین در مرحله اول تاثیر pH محلول بر فرآیند جذب مورد بررسی قرار گرفت. پس از افزایش ۵۰ میلی گرم از نانوجاذب به محلول ۰/۲ میلی گرم برلیتر بروموکروزول سبز در pH های مختلف درصد حذف بدست آمد. میزان درصد حذف توسط جاذب با استفاده از معادله ۱ تعیین می گردد.

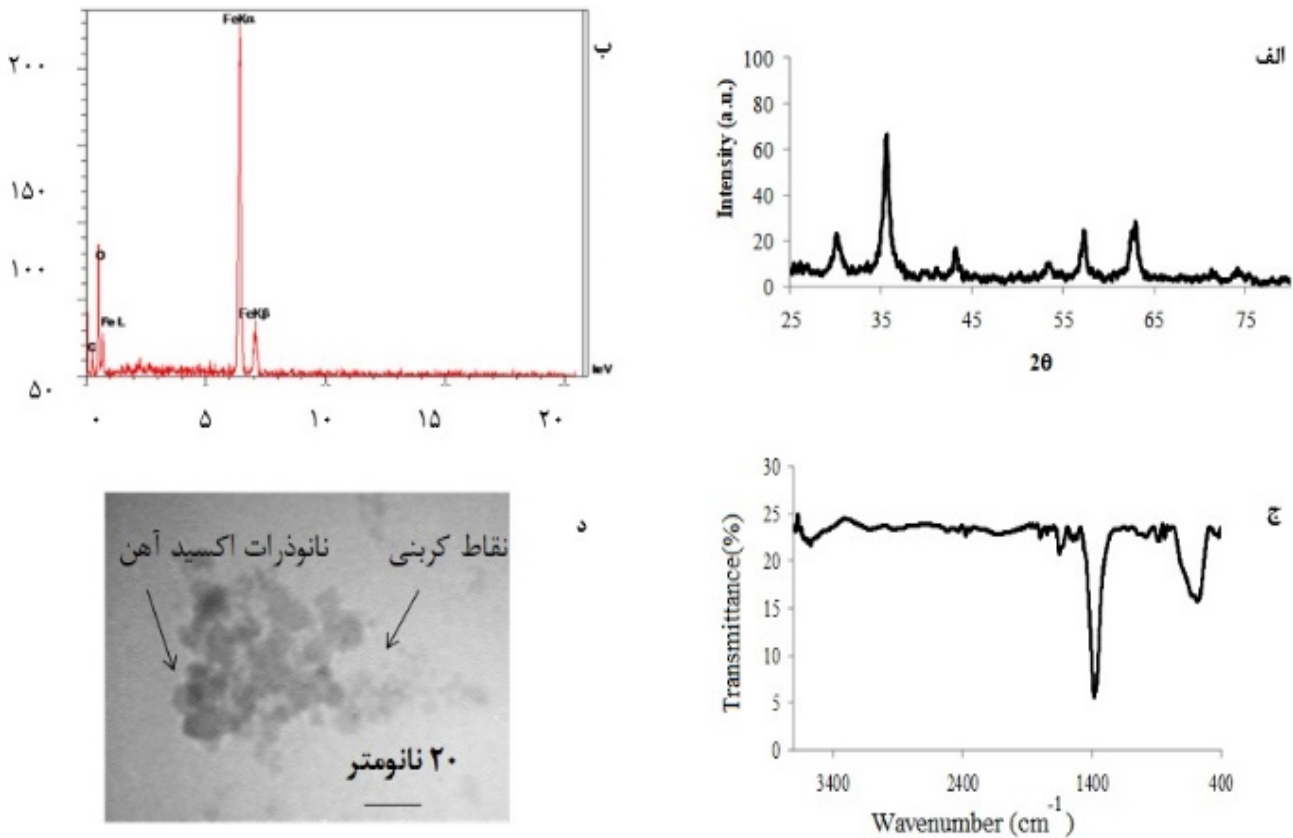
$$\text{درصد حذف} = \frac{C_i - C_e}{C_i} \quad (1)$$

در رابطه فوق، C_i و C_e به ترتیب غلظت اولیه و غلظت تعادلی رنگ بروموکروزول سبز برحسب میلی گرم بر لیتر پس از افزایش نانوجاذب به محلول است. درصد حذف بروموکروزول سبز توسط جاذب در pH های مختلف در شکل ۲-الف آورده شده است.

برای مطالعات جذبی به مقدار ۱۰ میلی لیتر از محلول حاوی 1 mg mL^{-1} بروموکروزول سبز در pH مناسب، مقدار ۵۰ میلی گرم نانوکامپوزیت به عنوان جاذب اضافه شد. سپس طیف جذبی در ناحیه ۳۵۰ تا ۷۵۰ نانومتر گرفته شد. جهت تعیین نقطه بار صفر، ۱۰ میلی لیتر معرف بروموکروزول سبز 200 mg L^{-1} در NaCl ۰٫۱ نرمال با pH های مختلف از ۲ تا ۱۲ تهیه شد. سپس به هریک از محلول ها با pH های مختلف، مقدار ۵۰ میلی گرم جاذب اضافه کرده و پس از گذشت زمان ۲۴ ساعت، pH آنها بدست آمد. در آخر نمودار pH ثانویه بر حسب pH اولیه رسم شد.

۳- نتایج و بحث

یکی از راهکارهایی که برای حذف آلاینده های رنگی استفاده می شود استفاده از جاذب هاست. در این پژوهش برای اولین بار از نانوکامپوزیت مغناطیسی آهن اکسید- نقاط کربنی به عنوان جاذب برای حذف بروموکروزول سبز استفاده شده است. در ابتدا نانوکامپوزیت سنتز و مشخصه یابی شد. برای مشخصه یابی از روش های مختلفی مانند XRD و EDS استفاده شد. شکل ۱-الف نشان دهنده طیف پراش اشعه ایکس نانوکامپوزیت تهیه شده است. در مورد نانوکامپوزیت تشکیل شده هفت پیک واضح در 2θ های 30.1° ، 35.7° ، 43.1° ، 53.5° ، 56.9° ، 62.6° و 74.2° دیده می شود که به ترتیب نشان دهنده اندیس های (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۴۰۰)، (۴۲۲)، (۵۱۱)، (۴۴۰) و (۵۳۳) است. این پیک ها و اندیس ها مشخصه های مربوط به نانوذرات Fe_3O_4 هستند که در ترکیب وجود دارد [۱۹]. همچنین یک پیک با شدت کم در 25.6° مشاهده می شود که به دلیل حضور نقاط کربنی است. همچنین طیف EDS مربوطه در شکل ۱-ب آورده شده است. همانگونه که مشخص است در نانوکامپوزیت مربوطه آهن، اکسیژن و کربن وجود دارد. بنابراین به نظر می رسد که نانوکامپوزیت به درستی سنتز شده است. همچنین از طیف سنجی مولکولی مادون قرمز جهت مشخصه یابی نانوکامپوزیت سنتز شده استفاده شد (شکل ۱-ج). دماغه های مشاهده شده در اعداد موجی 1400 cm^{-1} و 1600 cm^{-1} که مربوط به ارتعاش کششی پیوند C=O است نشان از حضور کربن



شکل ۱: (الف) XRD، (ب) EDS، (ج) IR و (د) TEM مربوط به نانوکامپوزیت سنتز شده

همچنین در pH برابر ۴ و پایین تر از آن سطح هر دو گونه مثبت یا خنثی است و بنابراین باز هم جذب خوبی بر روی سطح جاذب انجام نمی پذیرد. در واقع در pH های بالاتر از ۵ و پایین تر از ۴ بار جذب شونده و جاذب همسان است. در نتیجه دافعه بین آنها انجام می شود. بنابراین بهترین pH برای جذب بروموکروزول سبز بین ۴ تا ۵ می باشد. مقدار جاذب و میزان سطح فعال آن بر روی کارایی و میزان حذف رنگ تأثیر به سزایی دارد. مطالعه اثر مقدار جاذبها بر روی درصد حذف رنگ در شکل ۲-ب نشان داده شده است. برای انجام این کار مقادیر وزنی مختلف از جاذب در تماس با محلول ۰/۲ میلی گرم بر لیتر از محلول بروموکروزول سبز قرار داده شده است. همان طور که مشاهده می گردد وقتی مقدار جاذب از ۳ میلی گرم به ۵۰ میلی گرم افزایش می یابد درصد حذف بروموکروزول سبز افزایش می یابد. در واقع مقدار جاذب به طور

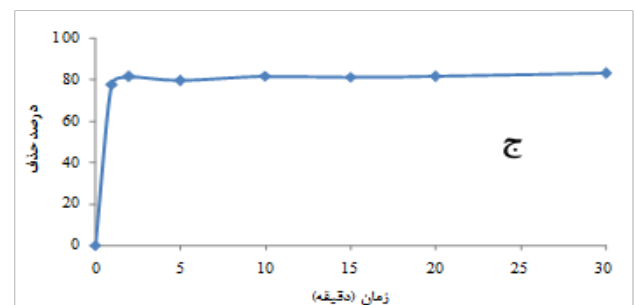
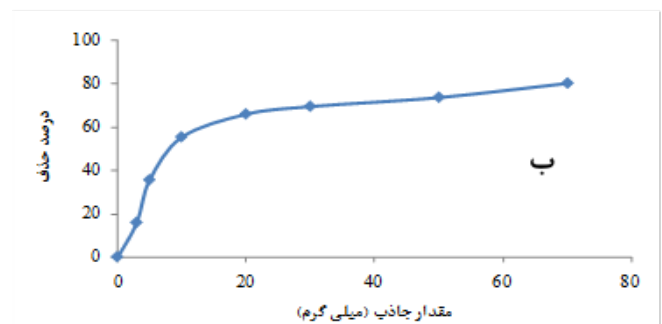
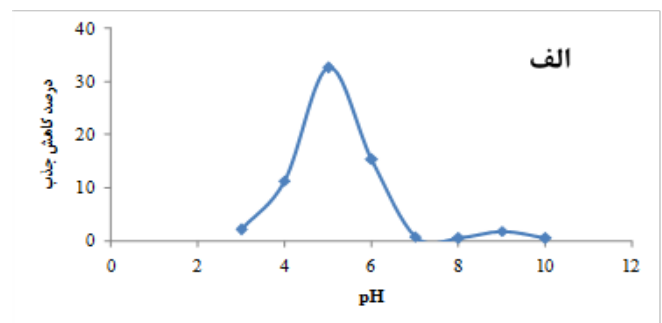
همان گونه که مشخص است در pH برابر ۵ بیشترین درصد حذف دیده شد. بنابراین در ادامه کار pH برابر ۵ به عنوان بهینه انتخاب شد. با استفاده از آزمایش نقطه بار صفر می توان بار روی نانوکامپوزیت را در pH های مختلف تعیین کرد [۲۰]. نمودار مربوطه در شکل ۳ آورده شده است. همانگونه که مشخص است pH 4 به عنوان pH بار صفر مطرح است و بنابراین در pH های بالاتر از ۴ بار سطح نانو ذرات سنتز شده منفی و در pH های پایین تر از ۴ مثبت است. از طرف دیگر، pK_a بروموکروزول سبز تقریباً برابر با ۵ است. بنابراین در pH=5 بار بروموکروزول سبز تقریباً برابر صفر است. در نتیجه، در pH های بالاتر از pH برابر ۵ هم بروموکروزول سبز و هم سطح جاذب منفی است و بنابراین جذب خوبی صورت نمی گیرد.

به منظور بررسی اثر زمان و یافتن زمان تعادل، مقدار ۵۰ میلی گرم از جاذب مورد مطالعه در زمان‌های مختلف در تماس با مقدار ۰/۲ میلی گرم بر لیتر رنگ قرار داده شد و درصد حذف رنگ توسط جاذب مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۲-ج). همان گونه که در شکل مشخص است جذب رنگ توسط جاذب در زمان‌های کوتاه (حدود ۱ الی ۲ دقیقه) انجام شده است. با گذشت زمان به دلیل تجمع مولکول‌های رنگ بر روی سطح جاذب، جایگاهی برای تجمع وجود ندارد و در نتیجه درصد حذف رنگ تغییر نمی‌کند. در مجموع به نظر می‌رسد که سینتیک جذب بسیار سریع بوده و می‌تواند به عنوان یکی از مزایای این جاذب در حذف آلاینده رنگی مطرح شود. عملکرد نانوجاذب در نمونه‌های حقیقی بررسی شد. در این مرحله محلول ۰/۲ میلی گرم بر لیتر از رنگ بروموکروزول سبز در سه نمونه آب معدنی، آب شهر و آب دریا تهیه شد و سپس به هر یک از محلول‌ها مقدار ۵۰ میلی گرم جاذب در pH برابر ۵ افزوده شد. سپس درصد حذف در هر یک از موارد بدست آمد. برای افزایش دقت نتایج آزمایش ۳ مرتبه تکرار شد. درصد حذف برای هر یک از نمونه‌ها در جدول ۱ آورده شده‌اند. همان گونه که مشخص است این جاذب به خوبی توانسته رنگ بروموکروزول سبز را از نمونه‌های آب مختلف حذف کند.

جدول ۱: درصد حذف رنگ بروموکروزول سبز از نمونه‌های واقعی

نمونه	غلظت (میلی گرم بر لیتر)	درصد حذف
آب دریا	۰/۲	۹۸/۳۰
آب معدنی	۰/۲	۹۷/۴۰
آب شهر	۰/۲	۹۷/۱۹

مستقیم روی ظرفیت جذب اثر می‌گذارد. هنگامی که مقدار جاذب زیاد می‌شود، جایگاه‌های فعال بیشتری برای جذب شونده وجود دارد. بنابراین با افزایش وزن جاذب، درصد حذف بروموکروزول سبز به وسیله‌ی جاذب مورد مطالعه، بیشتر خواهد شد. از طرفی مقایسه‌ی بین مقدار جذب شده بروموکروزول سبز توسط جاذب نشان می‌دهد که جاذب مورد مطالعه توانایی خوبی برای تصفیه و جذب بروموکروزول سبز دارد که علت آن را می‌توان به عوامل متعددی همچون خواص شیمیایی جاذب، گروه‌های عاملی موجود در آن، ساختار فیزیکی جاذب (مساحت سطح، اندازه‌ی ذرات) و نیز ماهیت شیمیایی جاذب دانست. با استفاده از مقادیر بدست آمده از شکل ۲-ب این گونه برداشت می‌شود که مقدار ۵۰ میلی گرم جاذب به عنوان مقدار بهینه برای این غلظت در نظر گرفته شود.



شکل ۲: بررسی تاثیر (الف) PH، (ب) مقدار جاذب و (ج) زمان تماس

معادله لانگمویر که به طور معمول برای جذب تک لایه بر روی سطوح کاملاً همگن با تعداد مشخص جایگاه یکسان و برهم کنش های ناحیه مورد استفاده قرار می گیرد به فرم زیر نوشته می شود.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bQ_m} + \frac{C_e}{Q_m} \quad (3)$$

که در آن b ثابت جذب لانگمویر ($L \text{ mg}^{-1}$) و Q_m ماکزیم ظرفیت جذب تئوری است. در روش لانگمویر منحنی $\frac{C_e}{q_e}$ بر حسب C_e رسم می شود.

همچنین برای رسم ایزوترم فرندلیچ که به طور معمول برای جذب های ناهمگن با جایگاه های انرژی جذب متفاوت و غیر در دسترس استفاده می شود. طبق معادله 4 بایستی نمودار $\log q_e$ بر حسب $\log C_e$ رسم شود.

$$\log q_e = \log k_f + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e \quad (4)$$

که در آن k_f و $\frac{1}{n}$ ثابت های فرندلیچ هستند که به ترتیب نشان دهنده ظرفیت جذبی جذب و شدت جذب می باشند.

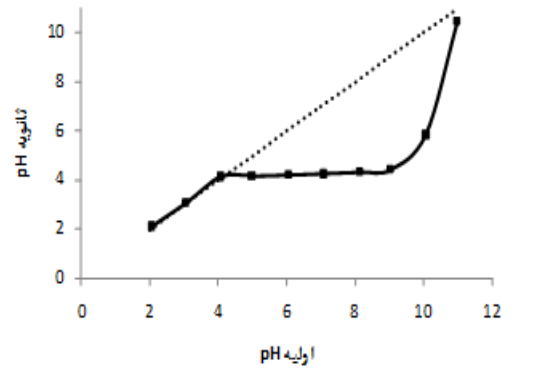
همچنین ایزوترم تمپکین که از معادله 5 تبعیت می کند نیز بررسی شد. برای این کار منحنی q_e بر حسب $\ln C_e$ رسم شد.

$$q_e = k_1 \ln k_2 + k_1 \ln C_e \quad (5)$$

ایزوترم تمپکین با فرض خطی بودن افت گرمای جذبی بدست آمده است. براین مبنا گرمای جذب همه مولکول ها در لایه با پوشش سطح بصورت خطی کاهش می یابد که علت آن برهم کنش جذب و جذب شونده است. در این معادله k_1 و k_2 به ترتیب ثابت جذب و ثابت اتصال تعادلی است. در نهایت ایزوترم دوین - رادوشکویچ (DR) بررسی شد. برطبق این ایزوترم بایستی نمودار $\ln q_e$ بر حسب ε^2 رسم شود. معادله مربوط به این ایزوترم در زیر آورده شده است.

$$\ln q_e = \ln Q_m - \beta \varepsilon^2 \quad (6)$$

که در آن $\varepsilon = RT \ln(1 + \frac{1}{C_e})$ و β ثابت مدل است. با استفاده از این مدل می توان انرژی جذب میانگین (E) را نیز بدست آورد. انرژی جذب میانگین (E) را می توان از فرمول $E = 1/\sqrt{-2\beta}$ بدست



شکل 3: منحنی PH ثانویه بر حسب PH اولیه

در مرحله بعد، ایزوترم های جذب بررسی شده تا مکانیسم جذب مشخص شود. با استفاده از داده های جذبی حاصل از منحنی های جذبی ارتباط بین مقدار آنالیت جذب شده توسط جاذب و مقدار باقیمانده در محلول در زمان تعادل می توان اطلاعات مفیدی راجع به مکانیسم و ویژگی های سطحی و تمایل جاذب به جذب شونده به دست آورد. این روابط تعادلی به وسیله ایزوترم های جذبی بیان می شوند. ایزوترم های جذبی از نظر عملی و تئوری حائز اهمیت می باشند. این ایزوترم های جذبی برای فهم نوع برهم کنش جاذب و جذب شونده به ویژه برای حذف ترکیبات آلی کاربرد زیادی دارند. داده های ایزوترمی با مدل های ایزوترمی مختلف تطبیق داده می شوند تا بتوان یک مدل مناسب برای بررسی فرایند مورد نظر یافت. در این قسمت مقادیر جذب به دست آمده روی 50 میلی گرم از جاذب در غلظت های مختلف رنگ در pH برابر 5 بررسی و نمودارهای جذبی تعادلی از قبیل لانگمویر، فرندلیچ، تمپکین و دوین - رادوشکویچ بر روی این داده ها اعمال شد. برای انجام این کار، ابتدا برای محاسبه q_e که همان مقدار رنگ بروموکروزول سبز جذب شده توسط جاذب است، از معادله 2 استفاده شد.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \quad (2)$$

در رابطه فوق، C_i و C_e به ترتیب غلظت اولیه و غلظت تعادلی رنگ بروموکروزول سبز (mg L^{-1})، V حجم محلول (L) و W وزن جاذب (g) است.

آورد که طبق آن برای این کار مقدار عددی $43/3 \text{ J/mol}$ بدست می آید.

۴- نتیجه گیری

کار حاضر امکان استفاده از ترکیب آهن اکسید-کربن برای جذب رنگ بروموکروزول سبز را امکان پذیر می سازد. پارامترهای موثر بر فرآیند جذب که در کار حاضر بررسی شدند شامل pH محلول، مقدار جاذب و زمان تماس جاذب بودند. pH مطلوب برای جذب رنگ بروموکروزول سبز مقدار ۵ بدست آمد. مدل DR تناسب بهتری برای اطلاعات جذبی بروموکروزول سبز نشان داد. همچنین سرعت جذب خیلی سریع است و تعادل پس از ۱-۲ دقیقه برقرار می شود. در نهایت نتیجه می شود که نانوترکیب آهن اکسید-کربن، جاذب موثر و کم هزینه با سرعت جذب بالاست که می تواند برای کاهش آلاینده‌های بروموکروزول سبز در نمونه های حقیقی بکار رود.

ثابت های تمامی ایزوترم های بررسی شده در جدول ۲ جمع آوری شده اند. همان گونه که مشخص است به نظر می رسد که ایزوترم DR با بالاترین R^2 بهترین گزینه برای مشخص کردن مکانیسم باشد. مقادیر بدست آمده برای انرژی جذب میانگین (E) در این ایزوترم نشان دهنده جذب فیزیکی می باشد. از طرف دیگر مقدار Q_m که ماکزیمم ظرفیت جذب تئوری است، با استفاده از این ایزوترم ۱۵۹ میلی گرم بر گرم بدست می آید که مقدار قابل توجه ای است.

جدول ۲: ثابت های ایزوترم های بررسی شده برای حذف بروموکروزول سبز توسط ترکیب آهن اکسید-کربن

لانگمویر	فرنلچ	تمکین	دوبین-رادوشکویچ
$R^2 = 0.1417$	$R^2 = 0.6496$	$R^2 = 0.18836$	$R^2 = 0.992$
$Q_m = 113/6363$	$n = 0.1506$	$K_1 = 138/23$	$Q_m = 159/17$
$b = 0.13$	$K_f = 10^{-8}$	$K_2 = 0.0475$	$\beta = 2/67 \times 10^{-4}$
$R_L = 0.9974$			

with large surface area as excellent adsorbents for metal ions and dye.” *Journal of materials chemistry*, 21, 7232-9, 2011.

[10] S. Hamidzadeh, M. Torabbeigi, S.J. Shahtaheri, “Removal of crystal violet from water by magnetically modified activated carbon and nanomagnetic iron oxide,” *Journal of environmental health science and engineering*, 13, 1-8, 2015.

[11] O. Duman, S. Tunç, B.K. Bozoğlan, T.G. Polat “Removal of triphenylmethane and reactive azo dyes from aqueous solution by magnetic carbon nanotube-κ-carrageenan-Fe₃O₄ nanocomposite,” *Journal of alloys and compounds*, 687, 370-83, 2016.

[12] O. Duman, S. Tunç, T.G. Polat, B.K. Bozoğlan, “Synthesis of magnetic oxidized multiwalled carbon nanotube-κ-carrageenan-Fe₃O₄ nanocomposite adsorbent and its application in cationic Methylene Blue dye adsorption,” *Carbohydrate polymers*, 147, 79-88, 2016.

[13] M. Angamuthu, G. Satishkumar, M.V. Landau, “Precisely controlled encapsulation of Fe₃O₄ nanoparticles in mesoporous carbon nanodisk using iron based MOF precursor for effective dye removal.” *Microporous and mesoporous materials*, 251, 58-68, 2017.

[14] A. Shokrollahi, A. Alizadeh, Z. Malekhosseini, M. Ranjbar, “Removal of bromocresol green from aqueous solution via adsorption on *Ziziphus nummularia* as a new, natural, and low-cost adsorbent: kinetic and thermodynamic study of removal process,” *Journal of Chemical & Engineering Data*, 56, 3738-3748, 2011.

[15] M. Ghaedi, H. Khajesharifi, A.H. Yadkuri, M. Roosta, R. Sahraei, A. Daneshfar, “Cadmium hydroxide nanowire loaded on activated carbon as efficient adsorbent for removal of Bromocresol Green” *Spectrochimica acta part A: Molecular and biomolecular spectroscopy*, 86, 62-8, 2012.

[16] H. Bai, P. He, J. Chen, K. Liu, H. Lei, X. Zhang, F. Dong, H. Li, “Electrocatalytic degradation of bromocresol green wastewater on Ti/SnO₂-RuO₂ electrode.” *Water science and technology*, 75, 220-227, 2017.

[1] R. Angelova, E. Baldikova, K. Pospiskova, Z. Maderova, M. Safarikova, I. Safarik, "Magnetically modified *Sargassum horneri* biomass as an adsorbent for organic dye removal", *Journal of cleaner production*, 137,189-94, 2016.

[2] M.T. Yagub, T.K. Sen, S. Afroze, H.M. Ang “Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review,” *Advances in colloid and interface science*, 209, 172-84, 2014.

[3] S.H. Lin, R.S. Juang, “Adsorption of phenol and its derivatives from water using synthetic resins and low-cost natural adsorbents: a review,” *Journal of environmental management.*, 90, 1336-49, 2009.

[4] H. Narayani, M. Jose, K. Sriram, S. Shukla “Hydrothermal synthesized magnetically separable mesostructured H₂Ti₃O₇/γ-Fe₂O₃ nanocomposite for organic dye removal via adsorption and its regeneration/reuse through synergistic non-radiation driven H₂O₂ activation,” *Environmental science and pollution research*, 1, 1-16, 2017.

[5] J. Abdi, M. Vossoughi, N.M. Mahmoodi, I. Alemzadeh, “Synthesis of metal-organic framework hybrid nanocomposites based on GO and CNT with engineering journal, 326, 1145-1158, 2017.

[6] P. Xu, G.M. Zeng, D.L. Huang, C.L. Feng, S. Hu, M.H. Zhao, C. Lai, Z. Wei, C. Huang, G.X. Xie, Z.F. Liu, “Use of iron oxide nanomaterials in wastewater treatment: a review.” *Science of the total environment*, 424, 1-10, 2012.

[7] S. Zhang, H. Niu, Z. Hu, Y. Cai, Y. Shi, “Preparation of carbon coated Fe₃O₄ nanoparticles and their application for solid-phase extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from environmental water samples,” *Journal of Chromatography A*, 1217, 4757-64, 2010.

[8] T. Madrakian, A. Afkhami, M. Ahmadi, H. Bagheri, “Removal of some cationic dyes from aqueous solutions using magnetic-modified multi-walled carbon nanotubes,” *Journal of hazardous materials*, 196, 109-14, 2011.

[9] L. Sun, C. Tian, L. Wang, J. Zou, G. Mu, H. Fu “Magnetically separable porous graphitic carbon

- [17] S. Yousefinejad, H. Rasti, M. Hajebi, M. Kowsari, S. Sadravi, F. Honarasa, "Design of C-dots/Fe₃O₄ magnetic nanocomposite as an efficient new nanozyme and its application for determination of H₂O₂ in nanomolar level," *Sensors and actuators B: Chemical*, 247, 691-6, 2017.
- [18] A. Masoudi, F. Honarasa, "C-dots/Fe₃O₄ magnetic nanocomposite as nanoadsorbent for removal of heavy metal cations." *Journal of the Iranian chemical society*, 15, 1199-1205, 2018.
- [19] YC. Chang, DH. Chen, "Preparation and adsorption properties of monodisperse chitosan-bound Fe₃O₄ magnetic nanoparticles for removal of Cu (II) ions." *Journal of colloid and interface science*, 283, 446-51, 2005.
- [20] YF. Jia, B. Xiao, KM. Thomas. "Adsorption of metal ions on nitrogen surface functional groups in activated carbons." *Langmuir*, 18, 470-8, 2002.



Removal of Bromocresol Green by Using of Iron Oxide/Carbon Nanocomposite

J. Salmiani, F. Honarasa*

Department of Chemistry, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz

Abstract: Bromocresol green is a dye of the triphenylmethane family which present as pollutant in textile industry. In this work, removal of bromocresol green as a water pollutant was performed by using of carbon/iron oxide magnetic nanocomposite. Removal efficiency of sorption process was obtained by using of UV-Vis spectroscopy. At first, the effect of important parameters on adsorption process such as pH, dose of sorbent and contact time was explored. The maximum removal was obtained at pH 5 during 2 minutes. Then, proposed nano sorbent was used for removal of bromocresol green in real samples. Also, equilibrium isotherm studies were examined by application of different conventional models such as Langmuir, Freundlich, Temkin and DR models to explain the experimental data. Fast kinetics of sorption process is one of the main advantages of proposed nano sorbent. Also, as a result, the best fitted model was DR which indicated physical absorption process. Also, Q_m (theoretical maximum adsorption capacity) was obtained as 159 mg g^{-1} which is better than the corresponding values of other previously reported sorbent. As a result, iron oxide/carbon nanocomposite was used successfully for removal of bromocresol green.

Keywords: Iron oxide nanoparticles, Carbon dot, Bromocresol green, Pollutants, Nanocomposite