



حذف رنگ بنفش متیل توسط جذب روی بنتونیت در حضور نانو فریت مس

سعیده هاشمیان

استادیار، گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران، صندوق پستی ۸۹۱۹۵/۱۵۵

تاریخ دریافت: ۸۸۷/۱۴ تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۳۰ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۸۹/۱۲/۲۰

چکیده

جذب رنگزایی بازی بنفش متیل (MV) روی خاک بنتونیت، فریت $CuFe_2O_4$ و کامپوزیت $CuFe_2O_4$ / bentonite در محلول‌های آبی بررسی شد. کامپوزیتی از مس و آهن و بنتونیت توسط روش هم رسوبی و در $pH=11$ تهیه گردید. کامپوزیت تهیه شده می‌تواند برای حذف رنگ در آب استفاده شود و سپس از محیط جدا گردد. نتایج XRD ساختار اسپینل را برای فریت $CuFe_2O_4$ نشان داد. تصویر میکروسکوپی SEM اندازه ذرات حدود ۵۰ نانومتر را برای کامپوزیت $CuFe_2O_4$ / bentonite نشان داد. اثر پارامترهای تجربی مختلف نظیر pH ، زمان تماس جاذب و رنگ، وزن جاذب و دما در میزان حذف رنگ بنفش متیل بررسی شد. بیشترین درصد حذف رنگ در $pH=12$ و در زمان تماس ۱۵ دقیقه صورت گرفت. در غیاب فریت مس زمان تماس برای جاذب بنتونیت به ۶۰ دقیقه افزایش می‌یابد. در حضور فریت مس سرعت بسیار زیادی برای حذف رنگ مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: بنتونیت، متیل ویولت، جذب، نانو فریت مس، حذف رنگزا.

Removal of Methyl Violet by Adsorption onto Bentonite with Copper Ferrite Nano-Particles

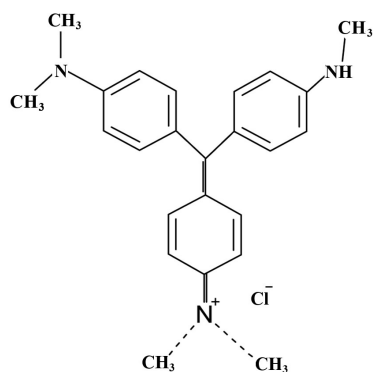
S. Hashemian

Department of Chemistry, Islamic Azad University, Yazd Branch, P.O. Box: 89195/155, Yazd, Iran.

Abstract

Adsorption of a basic dye-methyl violet (MV) on bentonite clay, $CuFe_2O_4$ and /bentonite $CuFe_2O_4$ in aqueous solutions was investigated. The composite of Cu and Fe and bentonite by co-precipitation method at $pH=11$ was prepared. The prepared composite can be used for dye removal, and then separated. XRD result showed spinel structure for $CuFe_2O_4$. SEM image showed the particles size is about 50 nm for $CuFe_2O_4$. Effect of experimental parameters such as pH, contact time of sorbent and dye, mass of sorbent and temperature on MV removal were investigated. Maximum dye removal at $pH=12$ and contact time 15 min was observed. In absence of Cu ferrite contact time of bentonite sorbent increased to 60 min. In the presence of Cu ferrite a very high rate of dye removal was observed. J. Color Sci. Tech. 4(2011), 191-197© Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Bentonite, Methyl violet, Adsorption, Copper ferrite nano-particles, Dye removal.



ساختار ۱: رنگزای بنفش متیل.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

بنفش متیل (MV) (شرکت مرک) به عنوان مدل آلوده کننده در این تحقیق استفاده شد. کلرید مس (II)، کلرید آهن (III)، هیدروکلریک اسید و سدیم هیدروکسید از شرکت مرک خریداری شدند. جاذب مورد استفاده بنتونیت تهیه شده از شرکت تاوان سیلیس ایران بود. نمونه بنتونیت تهیه شده را در اتو کلاو در 60°C خشک نموده، بعد از خشک شدن آسیاب و توسط الک میکرونیزه مش بندی نمودیم. کاتالیست‌های فلزی به روش هم رسوبی با نمونه جاذب بنتونیت در محیط قلیایی رسوب داده شد.

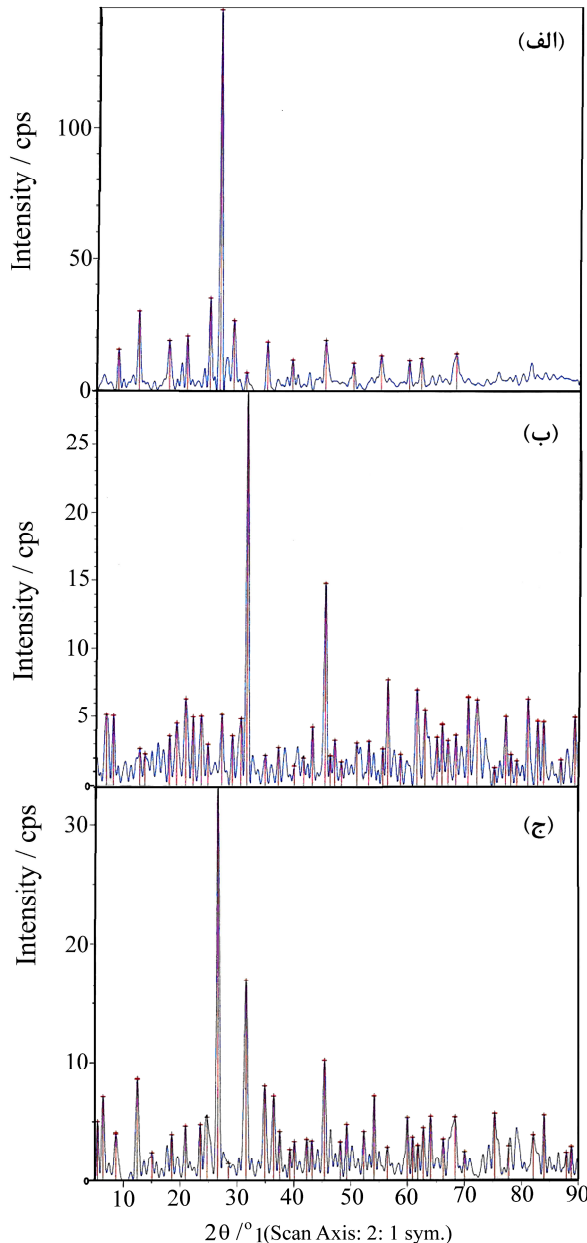
۲-۲- روش کار

رنگزای بنفش متیل با غلظت 1000 mg l^{-1} آماده شد و سپس رنگ با غلظت‌های رقیق‌تر به عنوان محلول رنگی تهیه گردید. کامپوزیت مغناطیسی $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$ نیز به روش هم رسوبی تهیه شد [۱۵]. ۱۰ گرم خاک بنتونیت به ۴۰۰ میلی لیتر محلول محتوی کلرید مس (II) (0.02 mol) و کلرید آهن (III) (0.04 mol) اضافه شد و به آهستگی سود اضافه گردید تا pH محلول به ۱۰ برسد. سپس محلول را به مدت ۲ ساعت در دمای $95-100^{\circ}\text{C}$ نگه داشته و بعد از سرد شدن محلول، آن را در دمای اتاق صاف کرده و مواد روی صافی، با آب مقطر شسته و در دستگاه گرم‌کن به مدت ۲ ساعت کاملاً خشک شد. درصد کاهش جذب هر یک از نمونه‌ها یا به عبارت دیگر بازده تصفیه و کاهش رنگ برای نمونه‌های رنگ را توسط جذب بر روی کامپوزیت بنتونیت مشخص شد یعنی با استفاده از روش اسپکتروفوتومتری و اندازه‌گیری میزان جذب نمونه‌ها قبل و بعد از جذب توسط جاذب، بازده تصفیه مشخص و عوامل مؤثر در عمل کاهش رنگ و یا شرایط بهینه جذب رنگ و عمل تصفیه توسط جاذب نظیر pH، درجه حرارت، زمان تماس و غلظت رنگ مشخص گردید.

۱- مقدمه

مواد رنگزای مورد استفاده در صنایع نساجی یکی از منابع آلوده‌کننده محیط زیست می‌باشند. برخی از این رنگ‌ها سمی بوده و حذف آن‌ها از محیط ضروری است. مواد رنگزا دارای ساختار پیچیده بوده و تخریب و تجزیه آن‌ها توسط روش‌های بیولوژیکی دشوار است. به منظور ارتقاء شرایط زیست‌محیطی آب‌های سطحی و آب رودخانه‌ها، روش‌های معمول تصفیه باید بهبود یابد. دسته‌ای از رنگزاهای مورد استفاده در صنایع به خصوص صنایع نساجی، رنگ‌های اسیدی و بازی می‌باشند. روش‌های تصفیه پساب از قبیل تصفیه فیزیکی و روش‌های شیمیایی از قبیل لخته‌سازی، شناورسازی، اکسایش الکتروشیمیایی، اسمز معکوس، ازن و فرآیندهای اکسایش و کاهش، روش‌هایی است که می‌توان برای حذف رنگ استفاده نمود [۳-۱]. استفاده از جاذب‌ها، نیز روشی مناسب، ساده و مقرون به صرفه می‌باشد [۸-۴]. کربن فعال که به طور وسیع به عنوان جاذب استفاده می‌شود، دارای ظرفیت جذب بسیار بالا و مساحت سطح زیاد می‌باشد ولی مشکلاتی برای استفاده آن وجود دارد که می‌توان به گرانی و از دست رفتن ۱۵-۱۰٪ آن به هنگام بازیابی اشاره نمود [۹]. استفاده از خاک‌های معدنی نظیر بنتونیت و کائولن نیز به طور وسیعی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۴-۱۰]. حذف رنگزای اسیدی آزو توسط پودر مغناطیسی CuFe_2O_4 و قابلیت این پودر مغناطیسی به عنوان جاذب و نیز اثر کاتالیزوری آن برای حذف رنگزای اسید قرمز B مطالعه گردیده است [۱۵]. پودر جاذب و کاتالیزوری از اکسید فلزات $\text{MnO-Fe}_2\text{O}_3$ برای حذف رنگزای آزو از آب استفاده شد. این جاذب‌ها خاصیت جذب بسیار بالایی را داشته و سرعت جذب بسیار سریع با معادله سینتیکی درجه دوم را برای این رنگزا نشان داد. تجربیات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که این مواد جاذب قابل بازیابی هستند [۱۶]. حذف رنگزای آزو محلول در آب توسط فریت مغناطیسی MnFe_2O_4 بررسی و ثابت سرعت واکنش درجه دوم برای جذب سطحی محاسبه گردید [۱۷]. کامپوزیت CuFe_2O_4 و کربن فعال تهیه و از آن به عنوان جاذب مغناطیسی برای حذف رنگ نارنجی اسید استفاده شد. این جاذب توسط روش ساده شیمیایی هم رسوبی از اکسیدهای فلزات مربوطه و کربن فعال تهیه شد. نتایج نشان دادند که حضور فریت روی کربن فعال مساحت سطح و ساختار حفره‌ای کربن را تغییر نمی‌دهد [۱۸]. هدف از این تحقیق بررسی قابلیت خاک بنتونیت به همراه نانو فریت CuFe_2O_4 برای حذف رنگ بنفش متیل از محلول‌های آبی می‌باشد. بنفش متیل، رنگزایی بازی می‌باشد که کاربرد وسیعی در صنایع داشته و به مقدار زیاد به محیط زیست وارد می‌شود. بنفش متیل یک رنگزای تری فنیل متان با وزن مولکولی ۳۹۶٫۹۶ گرم می‌باشد که ساختار شیمیایی آن در ساختار ۱ نشان داده شده است.

می‌دهد. این ذرات یکنواخت و هم‌گون هستند. با مقایسه تصویر ج با دو تصویر الف و ب متوجه می‌شویم که ذرات روی سطح کامپوزیت $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$ ریزتر و یک شکل‌تر با اندازه حدود ۵۰ نانومتر می‌باشند. این برای عمل جذب مطلوب‌تر است و قابلیت جذب را در حذف رنگ افزایش می‌دهد. ذرات درشتی که در تصویر د، دیده می‌شوند، جذب رنگ بر روی جاذب $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$ را نشان می‌دهند. این ذرات همان ذرات روی سطح کامپوزیت می‌باشند که با جذب رنگ متورم شده و به همین دلیل درشت به نظر می‌رسند.



شکل ۱: الگوی پراش اشعه X، (XRD) الف- بنتونیت، ب- فریت مس CuFe_2O_4 ، ج- کامپوزیت $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$.

برای شناسایی نمونه تهیه شده از آنالیز XRD استفاده شد. برای اندازه‌گیری BET از Quantachrome مدل Autosorb-1 و برای انجام تعیین غلظت رنگزا از دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-VIS شیمادزو مدل A-۱۶۰ ژاپن با سل ۱ سانتیمتری کوارتز استفاده شد. جهت تنظیم اسیدیته محلول‌ها از دستگاه pH متر Horiba M-12 و محلول‌های ۱ مولار سود و هیدروکلریک اسید استفاده شد. برای ثابت نگه داشتن و تنظیم دما از ترموستات و برای به هم زدن نمونه‌های جاذب و رنگ از دستگاه لرزاننده استفاده شد.

درصد جذب رنگ از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$\% \text{ Sorbed dye} = (A_0 - A) / A \times 100 \quad (1)$$

در این فرمول A_0 مقدار جذب اولیه رنگ قبل از استفاده از جاذب است و A مقدار جذب رنگ بعد از استفاده از جاذب است.

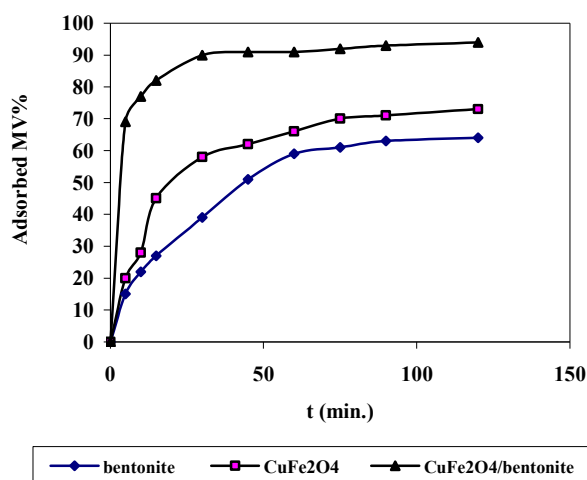
۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات جاذب

آنالیز XRD وجود کوارتز را به عنوان فاز اصلی در نمونه بنتونیت نشان می‌دهد ($2\theta = 28$). با توجه به این که نمونه بنتونیت استفاده شده تجاری بوده و خالص‌سازی و یا عمل کلسینه شدن روی آن انجام نگرفته بود وجود مقداری ناخالصی در پراش مشاهده می‌شود. فریت مغناطیس توسط هم رسوبی اکسیدهای فلزی و کامپوزیت توسط رسوب فریت مس مغناطیسی روی سطح بنتونیت تهیه شد. آنالیز XRD نمونه فریت CuFe_2O_4 نشان داد که اکسید فلزی عمدتاً به فرم ساختار اسپینل می‌باشد (به ترتیب $2,99$ و $2,53$ $d=31$ و 46 2θ). وجود مقادیری از اکسیدهای CuO و Cu_2O نیز در الگوی پراش دیده می‌شود [۱۵، ۱۸]. آنالیز XRD نمونه کامپوزیت علاوه بر این که وجود کوارتز را نشان می‌دهد ساختار اسپینل فریت مس را نیز تغییر نمی‌دهد (شکل ۱، الف تا ج). الگوها با اطلاعات JCPD مطابقت دارند.

تصویر SEM می‌تواند در بررسی سطحی مواد کمک کند. به همین منظور تصویرهای SEM از نمونه‌های جاذب بنتونیت، فریت مس و نمونه کامپوزیت گرفته شد. این کار برای کامپوزیت مغناطیسی $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$ قبل و پس از جذب رنگ انجام شد تا مقایسه بهتری صورت گیرد. تصاویر حاصل را می‌توان در شکل ۲ مشاهده نمود.

با مقایسه تصاویر (الف - د) در شکل ۲ به بررسی ذرات روی سطح جاذب پرداخته شد. با مشاهده تصویر الف مشخص می‌شود که ذرات روی سطح خاک بنتونیت در مقیاس مورد بحث درشت بوده و سطح خاک یکنواخت و همگن نمی‌باشد. تصویر ب حاصل از SEM پودر فریت مس، ذرات سطح ریزتری را نسبت به خاک بنتونیت نشان



شکل ۳: اثر زمان جذب رنگزای بنفش متیل روی سطح جاذب‌های بنتونیت، فریت CuFe_2O_4 و کامپوزیت $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$ (دمای ثابت ۲۵ و جاذب ۰٫۱ گرم، و ۵۰ میلی‌لیتر از رنگ با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر).

از کامپوزیت $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$ به عنوان جاذب استفاده شود در زمان‌های کوتاه‌تر، جذب رنگ بیشتر می‌باشد و در زمان ۳۰ دقیقه درصد حذف رنگزا به بیش از ۹۰ درصد افزایش می‌یابد که می‌توان این افزایش حذف رنگزا را به اثر کاتالیزوری فریت مس موجود روی سطح بنتونیت نسبت داد. با توجه به جدول ۱، افزایش مساحت سطح نمونه کامپوزیت تهیه شده می‌تواند دلیلی بر افزایش درصد میزان جذب رنگزا بنفش متیل باشد.

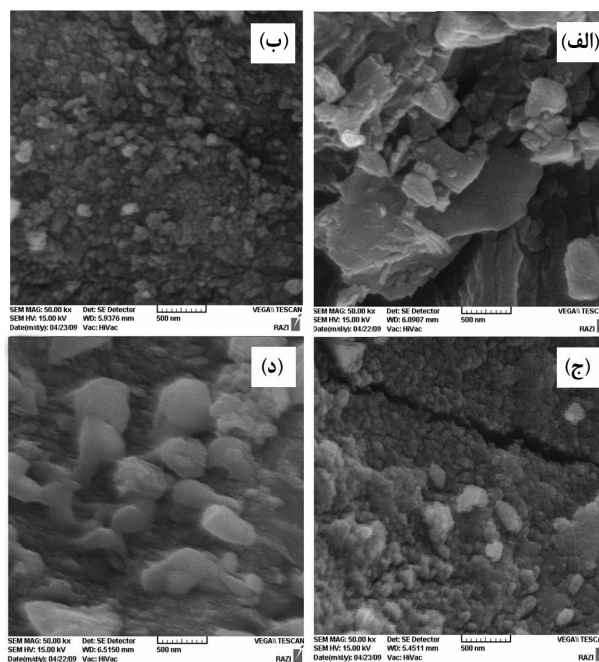
۳-۳ سینتیک جذب

مدل‌های سینتیکی مرتبه اول و دوم برای جذب رنگزای بنفش متیل مورد استفاده قرار گرفت. معادله سینتیک مرتبه اول را می‌توان به صورت رابطه ۲ نوشت:

$$[A] = [A_0]e^{-kt} \quad (2)$$

که در آن $[A]$ غلظت گونه A در زمان t و $[A_0]$ غلظت گونه A در زمان صفر می‌باشد. با رسم منحنی $\ln[A]$ بر حسب t می‌توان تشخیص داد که واکنش مرتبه اول است یا خیر. به این صورت که اگر این معادله، خطی شد واکنش نسبت به گونه مورد نظر درجه اول است و می‌توان با محاسبه شیب این خط ثابت سرعت آن را نیز محاسبه کرد. با رسم این منحنی مشاهده شد که جذب سطحی رنگزای بنفش متیل از مرتبه اول نمی‌باشد. معادلات سینتیکی مرتبه دوم طبق رابطه Ho و McKay [۲۰، ۱۹] به فرم رابطه ۳ خواهد بود:

$$t/q = t/q_e + 1/(k_2q_e^2) \quad (3)$$



شکل ۲: تصویر SEM جاذب‌های الف- بنتونیت، ب- فریت CuFe_2O_4 ، ج- کامپوزیت $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$ ، د- کامپوزیت $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$ و رنگ جذب شده.

یکی از خصوصیات جاذب مساحت سطح آن است، به این منظور مساحت سطح BET (m^2/g) نمونه‌های جاذب توسط جذب گاز نیتروژن به دست آمد. نتایج نشان داد که کامپوزیت نسبت به فریت مس و بنتونیت از مساحت سطح بیشتری برخوردار است و این خصوصیات یک جاذب خوب می‌باشد [۱۵] که در نتیجه باعث افزایش درصد جذب رنگ شده است. نتایج BET در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: مشخصات BET نمونه‌های جاذب بنتونیت، CuFe_2O_4 و $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$.

جاذب	BET (m^2/g)
Bentonite	۳۴٫۴۴
CuFe_2O_4	۸۸٫۳۴
$\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$	۱۴۴

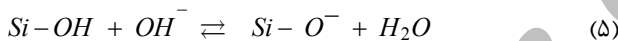
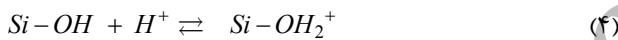
۳-۲ اثر فریت CuFe_2O_4 بر عمل جذب رنگ توسط بنتونیت

شکل ۳ اثر زمان تماس جاذب و نمونه رنگزا را برای نمونه جاذب‌های بنتونیت، فریت CuFe_2O_4 و کامپوزیت $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$ نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود هنگامی که از بنتونیت و فریت CuFe_2O_4 برای حذف رنگزا استفاده شود در زمان یک ساعت میزان حذف رنگزا به ترتیب به ۶۰ و ۶۶٪ می‌رسد. ولی هنگامی که

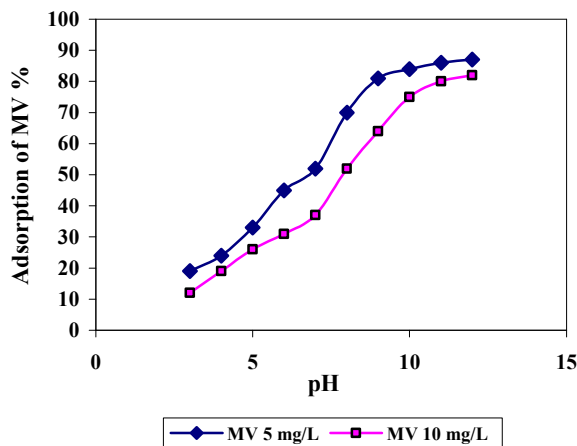
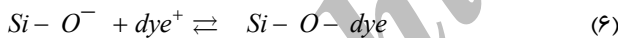
۳-۴- اثر pH

pH محلول نقش اساسی را در جذب رنگ توسط جاذب ایفا می‌کند. برای ارزیابی اثر pH روی جذب رنگ بر روی $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$ ۵۰ میلی‌لیتر از محلول رنگ با غلظت ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر انتخاب و pH آن از ۱۰-۲ تنظیم شد. برای تنظیم pH به محیط‌های اسیدی و یا قلیایی از NaOH و یا HCl ۱ مولار استفاده گردید.

شکل ۵ درصد میزان حذف رنگ را نسبت به pH نشان می‌دهد. همان گونه که از شکل مشخص می‌شود تغییر pH محیط در بازه حذف رنگ اثر قابل ملاحظه‌ای دارد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار جذب رنگ بنفش متیل روی $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$ با افزایش pH افزایش می‌یابد و بازه حذف رنگها در محیط قلیایی به حداکثر میزان خود می‌رسد که این نتیجه با حذف رنگهای بنفش متیل توسط جذب سطحی روی مواد باطله و ضایعات نیز تأیید می‌گردد [۲۱]. نتایج به دست آمده را می‌توان به این صورت توضیح داد که، در محیط اسیدی سطح جاذب طبق واکنش ۴ دارای بار مثبت است و در محیط‌های قلیایی و pH های ۸,۵ به بالا طبق رابطه ۵ دارای بار منفی است:



هر چه pH محلول رنگی پایین‌تر باشد تجمع رنگ کاتیونی با بارهای مثبت سطح تمایل کم‌تری دارد.

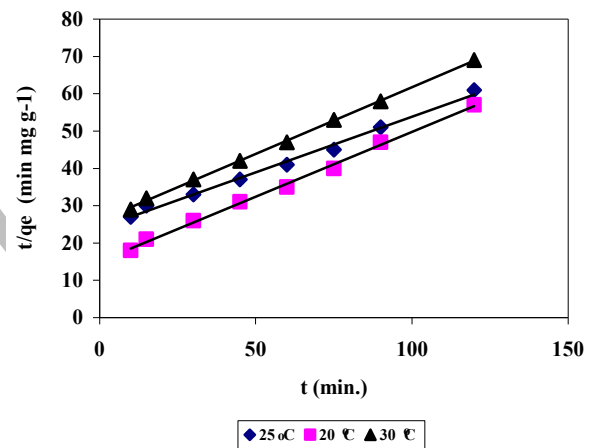


شکل ۵: منحنی تغییرات درصد میزان حذف رنگ نسبت به pH های مختلف در دمای محیط و ۵۰ میلی‌لیتر رنگ بنفش متیل (۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) و ۱ گرم جاذب $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$.

که در آن q_e مقدار رنگ جذب شده در تعادل در زمان‌های مختلف t (mg g^{-1})، k_2 ثابت سرعت واکنش درجه دوم ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$) می‌باشد. شیب منحنی t/q نسبت به زمان، $1/q_e$ و عرض از مبدا $1/(k_2 q_e^2)$ را نشان می‌دهد و می‌توان ثابت سرعت واکنش درجه دوم را به دست آورد.

مقادیر ثابت‌های سرعت واکنش درجه اول و دوم و ضرایب هم بستگی در جدول ۲ داده شده است. شکل ۴ معادله سینتیکی درجه دو را برای عمل جذب برای غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر مختلف رنگ در دماهای ۲۰، ۲۵ و ۳۰ °C نشان می‌دهد.

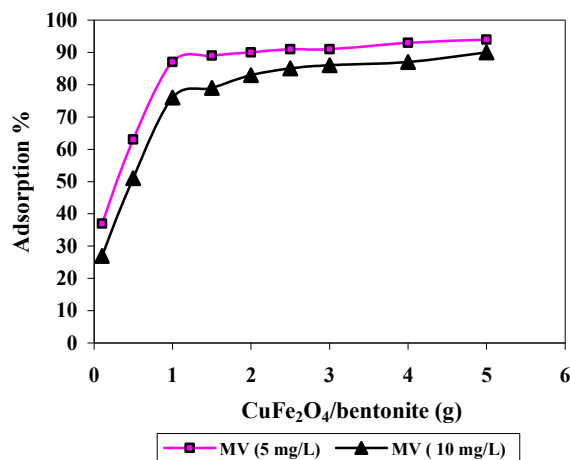
با توجه به شکل ۴ و نتایج به دست آمده از جدول ۲ ملاحظه می‌گردد که جذب رنگ بنفش متیل روی $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{bentonite}$ از سینتیک مرتبه دوم تبعیت می‌کند.



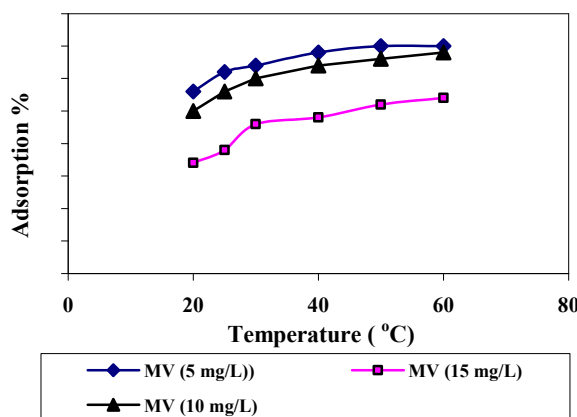
شکل ۴: سینتیک مرتبه دوم برای جذب بنفش متیل بر روی جاذب $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{Bentonite}$ (غلظت رنگ اولیه ۱۰ppm، دمای ۲۰ و ۲۵ و ۳۰ °C، ۱ گرم جاذب).

جدول ۲: ثابت‌های سرعت واکنش درجه اول و درجه دوم و ضرایب هم بستگی آن‌ها برای جذب بنفش متیل بر روی جاذب $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{Bentonite}$.

دما °C	مدل سینتیکی درجه اول		معادله سینتیکی درجه دوم	
	K (1/min)	R ²	K (g/mg min)	R ²
۲۰	۰,۱۱۲	۰,۹۴	۰,۲۹۸	۰,۹۹۳
۲۵	۰,۱۳۵	۰,۹۶	۰,۳۴۷	۰,۹۹۷
۳۰	۰,۱۵۵	۰,۹۵	۰,۳۵۷	۰,۹۹۹



شکل ۶: منحنی تغییرات درصد میزان حذف رنگ بنفش متیل نسبت به جرم جاذب (دمای محیط، $pH=12$ و 50 میلی‌لیتر رنگ با غلظت‌های 5 و 10 میلی‌گرم بر لیتر) و گرم‌های مختلف جاذب $CuFe_2O_4/bentonite$.



شکل ۷: منحنی تغییرات درصد میزان حذف رنگ نسبت به دما (درجه سانتی‌گراد) در $pH=12$ و 50 میلی‌لیتر رنگ بنفش متیل (5 و 10 و 15 میلی‌گرم بر لیتر) و 2 گرم جاذب $CuFe_2O_4/bentonite$.

چون در مورد این واکنش و عمل جذب افزایش سرعت تا دمای محیط و $30^\circ C$ رخ داده است و سرعت واکنش تا این دما به بیشترین مقدار خود رسیده، در نتیجه افزایش دما از $30-25^\circ C$ به بعد تأثیر ناچیزی در جذب نمونه رنگ توسط جاذب $CuFe_2O_4/bentonite$ دارد و دمای محیط، دمای بهینه انتخاب شد.

۴- نتیجه‌گیری

پودر جاذب مغناطیسی با موفقیت توسط روش هم رسوبی تهیه شد. فاز مغناطیسی در کامپوزیت به صورت اسپینل $CuFe_2O_4$ است. مشاهده گردید که پودر $CuFe_2O_4/bentonite$ ، جاذب بسیار خوبی برای

بنابراین ملاحظه می‌شود که در محیط قلیایی بیشترین درصد حذف رنگ صورت می‌گیرد. شدت رنگ مورد بحث در محیط قلیایی کمی کاهش می‌یابد ولی افزایش بازده درصد حذف رنگ فقط مربوط به محیط قلیایی نمی‌باشد بلکه برهم‌کنش‌های جاذب با رنگ باعث افزایش درصد حذف رنگ می‌شود.

۳-۵- اثر مقدار جاذب

در این مرحله تأثیر مقدار جاذب در کاهش میزان رنگ بنفش متیل بررسی شد. برای این منظور در pH بهینه 12 و دمای ثابت $25^\circ C$ وزن‌های مختلف از نمونه جاذب با غلظت‌های 5 و 10 میلی‌گرم بر لیتر از رنگ استفاده شد. در هر آزمایش جاذب با 50 میلی‌لیتر از نمونه‌های رنگ به مدت 1 ساعت تماس داده شد. نتایج حاصل در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که از نتایج مشخص می‌شود افزایش مقدار جاذب از 0.1 تا 2 برای رنگ‌ها با غلظت‌های مختلف باعث افزایش بازده عمل حذف رنگ شده ولی افزایش بیش‌تر مقدار جاذب باعث برهم‌کنش بیش‌تری با نمونه‌های رنگ‌ها نمی‌شود. با توجه به اینکه محلول‌های رنگی رقیق هستند مقادیر پایین جاذب نسبت به محلول قابلیت حذف رنگ را دارد و نیاز به مقادیر بالاتر جاذب نمی‌باشد.

۳-۶- اثر دما

در این مرحله تأثیر دما در جذب نمونه‌های رنگ توسط جاذب بررسی شد. برای انجام آزمایشات برای تنظیم دما از ترموستات استفاده شد و 100 میلی‌لیتر از نمونه رنگی را بر روی 2 گرم از جاذب $CuFe_2O_4/bentonite$ در محیط قلیایی در $pH=12$ و زمان 2 ساعت در دماهای مختلف تماس داده و میزان جذب نمونه‌های رنگی از دمای $20^\circ C$ تا $60^\circ C$ بررسی شد. نتایج حاصل از تغییر دما که در شکل ۷ ترسیم شده است نشان می‌دهد که افزایش دما بیش از $30^\circ C$ باعث تغییر قابل ملاحظه‌ای در میزان جذب نمونه‌های رنگی نمی‌گردد، زیرا سرعت جذب زیاد بوده و قسمت اعظم جذب تا دمای $30^\circ C$ صورت گرفته است. اثر افزایش دما در افزایش سرعت واکنش در بررسی سینتیک واکنش نیز مشاهده شد. بنابراین دمای محیط ($30^\circ C$) به عنوان دمای مناسب آزمایشات انتخاب گردید. دما طبق رابطه آرنیوس رابطه 7 باعث افزایش سرعت واکنش می‌شود:

$$K=A e^{-Ea/RT} \quad (7)$$

در این رابطه K ثابت سرعت، A ضریب وفور، Ea انرژی اکتیواسیون، R ثابت گازها و T دما می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود افزایش دما به طور نمایی سرعت واکنش را افزایش می‌دهد و

تشکر و قدردانی

این کار در حمایت از طرح تحقیقاتی با عنوان مطالعه سینتیک جذب رنگ‌های اسیدی و بازی روی بنتونیت در دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد انجام گرفته است. بدین وسیله، مراتب قدردانی و تشکر خود را از مرکز تحقیقات حوزه معاونت پژوهشی گروه شیمی دانشگاه آزاد واحد یزد اعلام می‌دارد.

حذف رنگزای MV از محلول‌های آبی می‌باشد و فریت مس می‌تواند نقش کاتالیست و جاذب را در روی سطح بنتونیت داشته و وجود CuFe_2O_4 روی بستر بنتونیت باعث افزایش مساحت سطح و افزایش بازده حذف رنگ بنفش متیل می‌شود. مکانیسم حذف رنگ از سینتیک مرتبه دو تبعیت می‌کند. میزان جذب رنگزا وابسته به pH محیط بوده و در محیط قلیایی به بالاترین مقدار خود می‌رسد.

۵- مراجع

1. E. V. Hess, Environmental chemicals and autoimmune disease: Cause and effect. *Toxicol.* 181-182(2002), 65- 70.
2. W. Y. Wang, Y. Ku, Photocatalytic degradation of Reactive Red 22 in aqueous solution by UV-LED radiation. *Water res.* 40(2006), 2249-2258.
3. S. Venkata Mohan, P. Silaja, Color removal of mono azo acid dye from aqueous solution by adsorption and chemical coagulation. *J. Environ. Eng. Policy.* 1(1999), 149-154.
4. P. Janos, P. Sedivy, M. Ryznarova, S. Grötschelova, Sorption of basic and acid dyes from aqueous solutions onto oxihumolite. *Chemosphere.* 59(2005), 881-886.
5. R. Gong, Y. Ding, M. Li, C. Yang, H. Liu, Y. Sun, Utilization of powdered peanut hull as bio sorbent for removal of anionic dyes from aqueous solution. *Dyes Pigm.* 64(2005), 187-192.
6. R. Sh. Juang, R. L. Tseng, F. C. Wu, Sh. H. Lee, Adsorption behavior of reactive dyes from aqueous solutions on chitosan. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 70(1997), 391-399.
7. I. D. Mall, S. N. Upadhyay, Studies on treatment of basic dyes bearing waste water by adsorptive treatment using fly ash. *Indian J. Environ. HLTH.* 40(1998), 177-188.
8. S. Hashemian, S. Dadfarnia, M. R. Nateghi, Sorption of Acid Red 138 from aqueous solutions onto rice bran. *African J. Biotechnol.* 7(2008), 600-605.
9. R. Venkata, C. Sastry, Removal of dyes from water and wastewater by adsorption. *J. Environ.* 7(1987), 363-376.
10. A. Safa Ozcan, B. Erdem, A. Ozcan, Adsorption of acid blue 193 from aqueous solutions onto Na-bentonite and DTMA-bentonite. *J. Colloid. Interface. Sci.* 80(2004), 44-54.
11. Z. Boubarka, S. Kacha, Sorption of an acid dye from aqueous solutions using modified clays. *J. Hazard. Mater.* B. 119(2005), 117-124.
12. G. Rodney, D. J. Wells, B. Johnson, Selective adsorption of dyes and other organic molecules to kaolinite and oxide surfaces. *J. Colloid. Surf. A.* 180(2001), 131-140.
13. R. A. Shawabkeh, M. Tutunji, Experimental study and modeling of basic dye sorption by diatomaceous clay. *Appl. Clay. Sci.* 24(2003), 111-120.
14. S. Hashemian, Study of adsorption of acid dye from aqueous solutions using bentonite. *Main Group Chem.* 6 (2007), 97-107.
15. R. Wu, J. Qu, H. He, Y. Yu, Removal of azo-dye Acid Red B (ARB) by adsorption and catalytic combustion using magnetic CuFe_2O_4 powder. *Appl. Cat. B. Environ.* 48(2004), 49-56.
16. R. Wu, J. Qu, Y. Chen, "Magnetic powder $\text{MnO-Fe}_2\text{O}_3$ composite –a novel material for the removal of azo-dye from water. *Water Res.* 39(2005), 630-638.
17. R. Wu, J. Qu, Removal of water- soluble azo dye by the magnetic material MnFe_2O_4 . *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 80 (2005), 20-27.
18. G. Zhang, J. Qu, H. Liu, A. T. Cooper, R. Wu, CuFe_2O_4 /activated carbon composite: A novel magnetic adsorbent for the removal of Acid Orange II and catalytic regeneration. *Chemosphere.* 68(2007), 1058-1066.
19. Y. S. Ho, G. McKay, Pseudo-second order model for adsorption processes. *Process Biochem.* 34(1999), 451-465.
20. Y. S. Ho, G. McKay, Sorption of dye from aqueous solution by peat. *Chem. Eng. J.* 70(1998), 115-124.
21. A. Mittal, V. Gajbe, J. Mittal, Removal and recovery of hazardous triphenylmethane dye and methyl violet through adsorption over granulated waste materials. *J. Hazard. Mater.* 15(2008), 364-375.