



مطالعات سینتیک و ایزوترم جذب متیلن بلو از محلولهای آبی توسط خاکستر فرار فعال شده با اسید

نویسندگان: شیمای رضایی^۱، محمد ملکوتیان^۲

۱. کارشناسی ارشد گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان

۲. نویسنده مسئول: استاد مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط و گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

Email: m.malakootian@yahoo.com

تلفن تماس: ۰۹۱۳۱۴۰۱۵۳۶

طلوع بهداشت

چکیده

مقدمه: فاضلابهای رنگی به دلیل ایجاد مشکلات زیست محیطی گوناگون باید قبل از تخلیه به محیط زیست، تصفیه شوند. رنگها تنوع بسیاری دارند و از بین روشهای متفاوت بکار رفته جهت تصفیه فاضلابهای رنگی، فرایند جذب با جاذب ارزان قیمت از پرکاربردترین روشها می باشد. به منظور تعیین ایزوترم و سینتیک جذب، از جذب رنگ کاتیونی متیلن بلو بعنوان رنگ شاخص با استفاده از خاکستر فرار فعال شده نیروگاه برق حرارتی شهرستان زرنده، این تحقیق انجام گردید.

روش بررسی: در این تحقیق تجربی خاکستر فرار خام در زمان ۵ ساعت غلظت اسید ۱/۸ مولار، دمای $29 \pm 2^\circ C$ و نسبت اسید به خاکستر فرار برابر با ۷ توسط اسید سولفوریک فعال گردید. پس از تعیین مقادیر بهینه پارامترهای موثر در فرایند جذب (pH، زمان تماس، غلظت جاذب) بمنظور تفهیم بهتر فرایند جذب ایزوترم های فروندلیچ و لانگمیر نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ و سینتیک درجه اول و دوم نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ و فاکتور تفکیک بررسی شد.

یافته ها: خاکستر فرار فعال شده در شرایط بهینه (pH=۹، زمان ۳۰ دقیقه، مقدار جاذب ۳ گرم بر لیتر) مقدار ۰/۹۹/۸ از رنگ متیلن بلو در غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر را حذف نمود. فرایند از سینتیک درجه دوم نوع ۱ با $R=1$ و ایزوترم لانگمیر نوع ۱ با $R=0/997$ تبعیت می کند.

نتیجه گیری: با توجه به اینکه مقدار فاکتور تفکیک و شدت جذب سطحی در محدوده بین ۰ و ۱ قرار دارد بنابراین فرایند جذب، مطلوب می باشد. لذا خاکستر فرار فعال شده بعنوان یک جاذب قوی در جذب رنگ متیلن بلو عمل میکند.

واژه های کلیدی: ایزوترم، سینتیک، جذب سطحی

دو ماهنامه علمی پژوهشی

دانشکده بهداشت یزد

سال چهاردهم

شماره: ششم

ویژه نامه ۱۳۹۴

شماره مسلسل: ۵۴

تاریخ وصول: ۱۳۹۴/۴/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۱۸



مقدمه

مصرف فاضلاب‌های رنگی باعث علائمی مانند خونریزی، تهوع، درمانیت، تحریک پوست، صدمه به کلیه، سردردهای شدید، اسهال حاد و از دست دادن مغز استخوان می‌شوند (۳-۱). متیلن بلو یک ماده رنگ‌زای فونکسیونل است که به‌عنوان یک رد-اکس ایندیکاتور عمل کرده و در حالت اکسید یا احیاء شده دارای رنگ‌های مختلف (آبی /بی‌رنگ) است (۴). رایج‌ترین ترکیب رنگی مورد استفاده به‌منظور رنگ‌آمیزی پنبه، کاغذ، چرم و چوب است. همچنین در میکروبیولوژی، جراحی، تشخیص، رنگ‌آمیزی بافت‌ها و اندازه‌گیری مقدار منگنز در بدن نیز استفاده می‌شود (۵، ۴). ورود ماده رنگی متیلن بلو به بدن از طریق سیستم گوارشی سبب سوختگی‌های موضعی، تهوع و استفراغ، تعریق زیاد، اختلالات ذهنی و متهموگلوبینمی می‌شود. علت انتخاب رنگ متیلن بلو این است که رنگ مورد نظر به‌عنوان یک شاخص در زمینه حذف رنگ پذیرفته شده است (۶). بنابراین تصفیه پساب‌های حاوی چنین رنگی به دلیل اثرات بهداشتی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است (۸، ۷). انتخاب روش بهینه جهت تصفیه پساب رنگی بستگی به غلظت رنگ، هزینه‌های تصفیه و استاندارد پساب خروجی دارد. روش‌های متفاوتی مانند انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون پیشرفته با استفاده از ازن، صافی غشایی، تبادل یون، تصفیه الکتروشیمیایی و جذب جهت تصفیه فاضلاب‌های رنگی بکار رفته است (۹-۱۲). یکی از پرکاربردترین روش‌های استفاده شده جهت حذف ترکیبات رنگی روش جذب است. یکی از جاذب‌های ارزان‌قیمت خاکستر فرار است. کاربرد خاکستر فرار به‌عنوان یک دورریز صنعتی (۳۲) به علت حضور مقادیر بالای از

ذرات کربن نسوخته به‌عنوان یک جانشین بالقوه برای کربن فعال جالب توجه است (۳۳). سوزاندن زغال‌سنگ منجر به تولید زائدات زیادی می‌شود که خاکستر فرار ۷۰ تا ۷۵ درصد این زائدات را تشکیل می‌دهد (۳۴). در حال حاضر فقط مقدار کمی (حدود ۲۰ تا ۳۰٪) از خاکستر فرار بازیافت می‌شود و ۷۰-۸۰ درصد باقیمانده با روش دفع در زمین حذف می‌شود (۳۵). خصوصیات خاکستر فرار به چند فاکتور مانند نحوه خاکستر شدن سوخت، روش سوزاندن، ترکیب شیمیایی سوخت و غیره بستگی دارد (۳۶). خاکستر فرار برای حذف مواد آلی مانند رنگ، سورفاکتانت، فلزات سنگین، فنلو دیگر مواد آلی از محیط آبی و جذب SO_x ، NO_x ، ترکیبات آلی و جیوه در هوا مورد استفاده قرار گرفته است (۳۷). معادلات ایزوترمی در پیش‌بینی نحوه توزیع اتم‌ها و مولکول‌ها بین دو فاز مایع و جامد در شرایط تعادل کمک می‌کند. پارامترهای ایزوترمی فرایند با استفاده از معادلات ایزوترم فروندلیچ و لانگمیر تعیین می‌گردد. در ایزوترم لانگمیر شکل‌های متفاوت خطی شده معادله مورد استفاده قرار می‌گیرد این ایزوترم با فاکتور تفکیک بدون بعد بررسی می‌شود. اطلاعات ایزوترمی به‌دست آمده از طریق آزمایش (تجربی) و پارامترهای تعیین شده با مدل‌های فروندلیچ و لانگمیر اطلاعات لازم در تعیین مکانیسم جذب و تأثیر تمایل بین مولکول‌های جاذب و ماده جذب‌شونده را مشخص می‌نماید. ایزوترم جذب می‌تواند جهت توصیف چگونگی واکنش ماده جذب‌شونده با جاذب و همچنین بهینه‌سازی مقدار کاربرد جاذب استفاده شود. جهت درک دینامیک واکنش‌های جذب می‌توان اطلاعات سینتیک جذب را مورد بررسی قرارداد. مطالعه سینتیک جذب به‌منظور پیش‌بینی سرعت جذب برای



طراحی و مدل‌سازی فرایند مفید است (۳۸). به علت مشکلات زیست‌محیطی رنگ متیلن بلو و اهمیت حذف آن از پساب‌های صنعتی به منظور جلوگیری از آلودگی منابع پذیرنده و با توجه به کمبود آب و لزوم استفاده از روش‌های کم‌هزینه باران‌دمان بالا در تصفیه فاضلاب و همچنین لزوم پیگیری جهت جلوگیری از تلنبار غیربهداشتی خاکستر فرار در اطراف نیروگاه با بازیافت آن به‌عنوان یک روش اقتصادی در راستای کنترل آلودگی زیست‌محیطی در تحقیق حاضر به بررسی قابلیت حذف رنگ متیلن بلو با خاکستر فرار فعال‌شده با اسید پرداختیم و مطالعات ایزوترمی و سینتیکی فرایند بررسی گردید.

روش بررسی

تحقیق تجربی است که در تابستان ۱۳۹۲ در مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان انجام گرفت. در این تحقیق خاکستر فرار نیروگاه حرارتی زرنده واقع در شمال کرمان از سیکلون جمع‌کننده ذرات، نمونه‌برداری گردید. ذراتی بامش بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون انتخاب شد. به‌منظور جدا نمودن ناخالصی‌ها، خاکستر فرار الک شده با آب مقطر در نسبت مایع به جامد برابر با ۱۰ به مدت ۴۸ ساعت مورد شستشو قرار گرفت. در ادامه، نمونه‌ها با فیلتر ۰/۴۵ میکرون فیلتر شده و در آن 105°C تا وزن ثابت خشک گردید. سپس خاکستر فرار شسته شده در زمان ۵h، غلظت اسید ۱/۸M، دمای $29 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و نسبت اسید به خاکستر فرار برابر با ۷ توسط اسیدسولفوریک فعال گردید (۳۹). سپس مقدار بهینه پارامترهای مؤثر بر فرایند جذب تعیین گردید. جهت تعیین مقدار pH بهینه فرایند حذف در pHهای متفاوت (۲، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱) انجام شد و بالاترین راندمان به‌عنوان مقدار بهینه انتخاب گردید. همچنین راندمان حذف رنگ متیلن بلو در مقادیر متفاوت جذب فعال‌شده (۰/۲۵، ۰/۳، ۰/۳۵، ۰/۴،

۰/۴۵ و ۰/۵ گرم) تعیین گردید. لازم به ذکر است که دو آزمایش قبل در زمان تماس‌های متفاوت انجام شد و بدین‌صورت زمان تماس بهینه به دست آمد. و در ادامه با بررسی تأثیر دما، ایزوترم و سینتیک فرایند جذب متیلن بلو بر روی خاکستر فرار فعال‌شده پرداختیم. در مطالعات ایزوترم جذب، جاذب اصلاح‌شده در دماهای ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد، pH برابر ۹ و زمان تماس ۳۰ دقیقه با غلظت‌های متفاوت متیلن بلو (از ۱۵ تا ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) تماس داده شد و ایزوترم‌های فروندلیچ و لانگمیر نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ بررسی شد. در ایزوترم فروندلیچ q_e مقدار جزء جذب‌شده در واحد جرم جاذب در حالت تعادل برحسب mg/g C_e غلظت تعادلی ماده جذب‌شده برحسب mg/L ، و K_F ثابت جذب فروندلیچ (ظرفیت جذب را تشریح می‌کند) برحسب $(\text{mg/g})(\text{L}/\text{mg})^{1/nF}$ و $1/nF$ درجه غیرخطی بین غلظت ماده جذب‌شونده در محلول و مقدار ماده جذب‌شده در شرایط تعادل می‌باشند. در مدل فروندلیچ K_F ظرفیت جذب در غلظت واحد و $\frac{1}{n}$ شدت جذب سطحی است در $\frac{1}{n}$ برابر صفر فرایند جذب برگشت‌ناپذیر، $\frac{1}{n} > 1$ فرایند جذب مطلوب و در $\frac{1}{n} < 1$ فرایند جذب نامطلوب است. در معادله لانگمیر q_e مقدار رنگ جذب‌شده در واحد جرم جاذب برحسب mg/g ، C_e غلظت رنگ جذب نشده در محلول در شرایط تعادل mg/L ، q_m حداکثر مقدار رنگ جذب‌شده در واحد جرم جاذب برحسب mg/g ، K_a ثابت لانگمیر مرتبط با تمایل ایجاد پیوند مکان‌های جذب است. در این تحقیق سینتیک درجه اول و درجه دوم نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ در دما، زمان‌های تماس و غلظت‌های متفاوت متیلن بلو تعیین گردید. گاهی جهت مقایسه آسان داده‌ها، فاکتور بدون بعد (فاکتور تفکیک) R_L استفاده می‌شود که در مطالعه حاضر مقدار R_L تعیین شد. در فرمول ۱، K_L ثابت لانگمیر و C_0 غلظت اولیه

۰/۳۵، ۰/۴، ۰/۴۵، ۰/۳، ۰/۲۵، ۰/۳، ۰/۳۵، ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ گرم) تعیین گردید. لازم به ذکر است که دو آزمایش قبل در زمان تماس‌های متفاوت انجام شد و بدین‌صورت زمان تماس بهینه به دست آمد. و در ادامه با بررسی تأثیر دما، ایزوترم و سینتیک فرایند جذب متیلن بلو بر روی خاکستر فرار فعال‌شده پرداختیم. در مطالعات ایزوترم جذب، جاذب اصلاح‌شده در دماهای ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد، pH برابر ۹ و زمان تماس ۳۰ دقیقه با غلظت‌های متفاوت متیلن بلو (از ۱۵ تا ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) تماس داده شد و ایزوترم‌های فروندلیچ و لانگمیر نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ بررسی شد. در ایزوترم فروندلیچ q_e مقدار جزء جذب‌شده در واحد جرم جاذب در حالت تعادل برحسب mg/g C_e غلظت تعادلی ماده جذب‌شده برحسب mg/L ، و K_F ثابت جذب فروندلیچ (ظرفیت جذب را تشریح می‌کند) برحسب $(\text{mg/g})(\text{L}/\text{mg})^{1/nF}$ و $1/nF$ درجه غیرخطی بین غلظت ماده جذب‌شونده در محلول و مقدار ماده جذب‌شده در شرایط تعادل می‌باشند. در مدل فروندلیچ K_F ظرفیت جذب در غلظت واحد و $\frac{1}{n}$ شدت جذب سطحی است در $\frac{1}{n}$ برابر صفر فرایند جذب برگشت‌ناپذیر، $\frac{1}{n} > 1$ فرایند جذب مطلوب و در $\frac{1}{n} < 1$ فرایند جذب نامطلوب است. در معادله لانگمیر q_e مقدار رنگ جذب‌شده در واحد جرم جاذب برحسب mg/g ، C_e غلظت رنگ جذب نشده در محلول در شرایط تعادل mg/L ، q_m حداکثر مقدار رنگ جذب‌شده در واحد جرم جاذب برحسب mg/g ، K_a ثابت لانگمیر مرتبط با تمایل ایجاد پیوند مکان‌های جذب است. در این تحقیق سینتیک درجه اول و درجه دوم نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ در دما، زمان‌های تماس و غلظت‌های متفاوت متیلن بلو تعیین گردید. گاهی جهت مقایسه آسان داده‌ها، فاکتور بدون بعد (فاکتور تفکیک) R_L استفاده می‌شود که در مطالعه حاضر مقدار R_L تعیین شد. در فرمول ۱، K_L ثابت لانگمیر و C_0 غلظت اولیه



است که $R_L = 1$ جذب نامطلوب، $R_L = 0$ جذب خطی، $R_L = 0.5$ تغییرناپذیر است.

$$R_L = \frac{C_0}{C_0 + K_L C_1} \quad (1)$$

یافته‌ها

در جدول ۱ لیستی از جاذب‌های بکار رفته برای حذف متیلن بلو و ظرفیت جذب آن‌ها ارائه شده است. نتایج بررسی ایزوترم جذب در شکل ۱ (الف، ب، ج، د، ه) نشان داده شده است و پارامترهای ایزوترمی پیش‌بینی شده در دو دمای ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در جدول ۲ خلاصه شده است. مقادیر ضریب همبستگی (R^2) برابر ۰/۹۹۶ و ۰/۹۹۷ به ترتیب در دو دمای ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در ایزوترم لانگمیر نوع ۱ (قسمت الف شکل ۱) بالاترین مقدار است. بطوریکه در این فرایند، ایزوترم لانگمیر نسبت به ایزوترم فروندلیچ مکانیسم ارجح‌تر است. همچنین با توجه به اینکه شدت جذب سطحی ($1/n$) در محدوده بین ۰ و ۱ قرار دارد فرایند جذب مطلوب است. مقادیر تجربی پارامترهای پیش‌بینی شده جهت ترسیم گراف بین $\log(q_e - q_t)$ در برابر t و t/q_t در برابر t جهت پیش‌بینی ثابت‌های سینتیک درجه اول و درجه دوم و اشکال گوناگون مدل‌های رگرسیون خطی سینتیک درجه دوم در دو دمای ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شده است. مقادیر تجربی به‌دست آمده در شکل ۲ ارائه شده است. همچنین تغییرات میزان جذب تعادلی (q_e) و راندمان جذب ($R\%$) با تغییر غلظت تعادلی (C_e) در قسمت الف شکل ۲ نمایش داده شده است. همان‌گونه که از شکل بالا می‌توان مشاهده کرد سینتیک فرایند جذب رنگ متیلن بلو بر روی خاکستر فرار در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد از سینتیک درجه اول نوع ۱ با $R=1$ تبعیت

می‌نماید. همچنین از قسمت الف این شکل می‌توان استنباط کرد که با افزایش غلظت تعادلی راندمان حذف کاهش و میزان جذب تعادلی افزایش می‌یابد. در شکل ۳ سینتیک جذب مربوط به دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بررسی شده است. شکل بالا نیز تأییدکننده نتایج به‌دست آمده از شکل ۲ است. بطوریکه سینتیک جذب از درجه دوم نوع ۱ تبعیت می‌کند. کلیه پارامترهای سینتیکی تعیین شده مربوط به فرایند جذب در جدول ۳ ذکر شده است.

نتایج بررسی و تعیین فاکتور تفکیک در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به شکل ۴ چون مقدار فاکتور تفکیک (R_L) در محدوده بین صفر و ۱ قرار دارد فرایند جذب مطلوب است (جذب مولکول‌های رنگ متیلن بلو بر روی خاکستر فرار اصلاح شده قویا مطلوب است).

نهایتاً حداکثر راندمان حذف متیلن بلو در نمونه سنتتیک (با غلظت ۵۰ mg/L) در شرایط بهینه (pH: ۹، زمان تماس ۳۰ دقیقه، دمای ۳۵°C و مقدار جاذب (۳g/L) در جاذب اصلاح شده برابر ۹۹/۰۷٪ بود که بیشتر از راندمان حذف رنگ توسط خاکستر فرار خام (۸۷/۸٪) است. همچنین ظرفیت جذب جاذب اصلاح شده در شرایط بهینه برابر ۱۶/۵ mg/g بود. نتایج نشان داد که با افزایش دما راندمان حذف افزایش و مقدار C_t/C_0 کاهش می‌یابد.

در غلظت‌های پایین متیلن بلو راندمان حذف ۱۰۰٪ است و با افزایش غلظت رنگ راندمان حذف تا ۸۲/۹٪ کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت متیلن بلو، مقدار q_t از ۰/۳۳۳ تا ۲۷/۷ میلی‌گرم بر لیتر افزایش می‌یابد.



جدول ۱: جاذبه‌های متفاوت استفاده شده برای جذب متیلن بلو و مقادیر ظرفیت جذب آنها

جاذب	ظرفیت جذب	رفرنس
بیومس مغز نارگیل	۱۲۰/۴۳ mg/g	(۱۳)
لجن کوره ذوب آهن	۶/۴ mg/g	(۱۴)
سرباره کوره ذوب آهن	۱/۲ mg/g	(۱۴)
پوست موز	۱۵/۹ mg/g	(۱۵)
پوست پرتقال	۱۳/۹ mg/g	(۱۵)
خاکستر فرار اصلاح شده با اسیدسولفوریک	۰/۰۰۲۱ mol/L	(۱۶)
هیدروکسید Fe (III)/Cr (III)	۲۲/۸ mg/g	(۱۷)
سیوس برنج	۱۳۴۷/۷ mg/g	(۱۸)
خاکستر سیوس برنج	۱۴۵۵/۶ mg/g	(۱۸)
زائادات میوه yellow passion	۴۴/۷ mg/g	(۱۹)
خاکستر فرار	۰/۰۲ mg/g	(۲۰)
زنولیت	۰/۰۴۵ mg/g	(۲۰)
کربن نسوخته جدا شده از خاکستر	۰/۲۵ mg/g	(۲۰)
اکسید گرافن	۷۱۴ mg/g	(۲۱)
خاکستر اصلاح شده	۰/۰۰۰۰۱۲ mol/L	(۲۲)
دیاتومه	۱۹۸ mg/g	(۲۳)
پودر پوسته بادام زمینی	۲۳۸ تا ۰/۲۷۲۲ کیلوگرم بر کیلوگرم	(۲۴)
پودر پوست درخت ساج	۳۳۳/۳۳ mg/g	(۲۵)
کربن مخلوط PET و زائادات خاکستر	۳۳/۴ mg/g	(۲۶)
بنتونیت	۱۶۶۹ mg/g	(۲۷)
پوست میوه	۲۸۵/۷ mg/g	(۲۹, ۲۸)
خاک کاه درخت سرو	۹۶/۴۱ mg/g	(۳۰)
آجر خرد شده	۱۴۲/۳۶ mg/g	(۳۰)
قارچ	۲۴۹/۹۲ mg/g	(۳۱)
خاکستر فرار اصلاح شده	۱۶/۵ mg/g	مطالعه حاضر



جدول ۲: مقادیر پارامترهای ایزوترمهای لانگمیر ۱، ۲، ۳ و فروندلیچ در جذب متیلن بلو بر روی خاکستر فرار

پارامترها	دمای ۲۵ °C	دمای ۳۵ °C
n	۰/۲۸۶	۰/۲۵۸
K_F (mg/g)	۱۸/۹	۶۳/۲۴
R^2	۰/۹۳۸	۰/۹۶۴
لانگمیر ۱ $q_{lm} \left(\frac{mg}{g} \right)$	۲۶/۳	۲۶/۳
K_d	۵/۴	۱۲/۶
R^2	۰/۹۹۴	۰/۹۹۷
لانگمیر ۲ $q_{lm} \left(\frac{mg}{g} \right)$	۲۰/۴	۸۵
K_d	۱۶/۳	۵۶۰
R^2	۰/۹۸۱	۰/۹۲۴
لانگمیر ۳ $q_{lm} \left(\frac{mg}{g} \right)$	۲۱/۷	۸۱۹
K_d	۱۳/۱۵	۵۸/۸
R^2	۰/۸۶۶	۰/۶۵
فروندلیچ $q_{lm} \left(\frac{mg}{g} \right)$	۲/۵۹	۲۱/۷
K_d	۱۱/۴	۳۸/۱۸
R^2	۰/۸۶	۰/۶۵

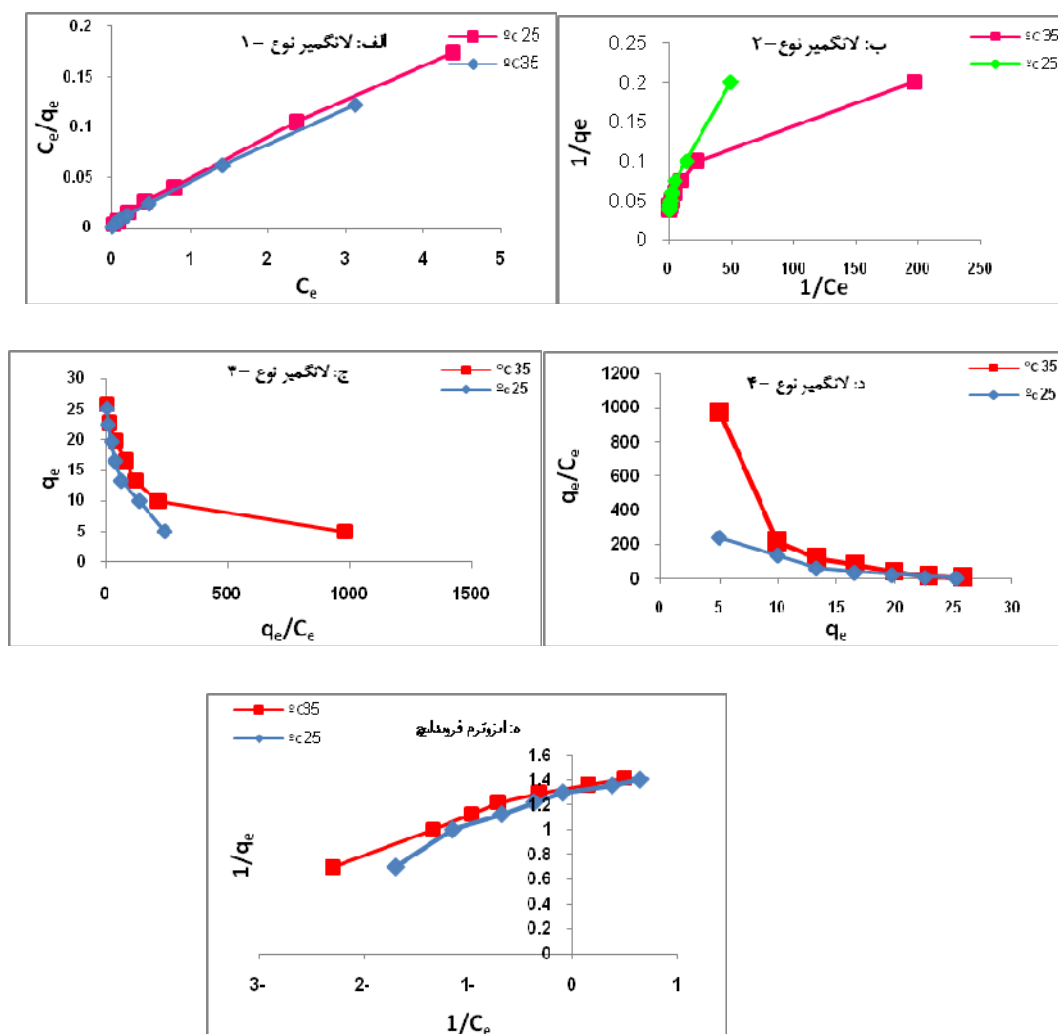


جدول ۳. مقادیر پارامترهای سنتیک فرایند جذب متیلن بلو بر روی خاکستر فرار اصلاح

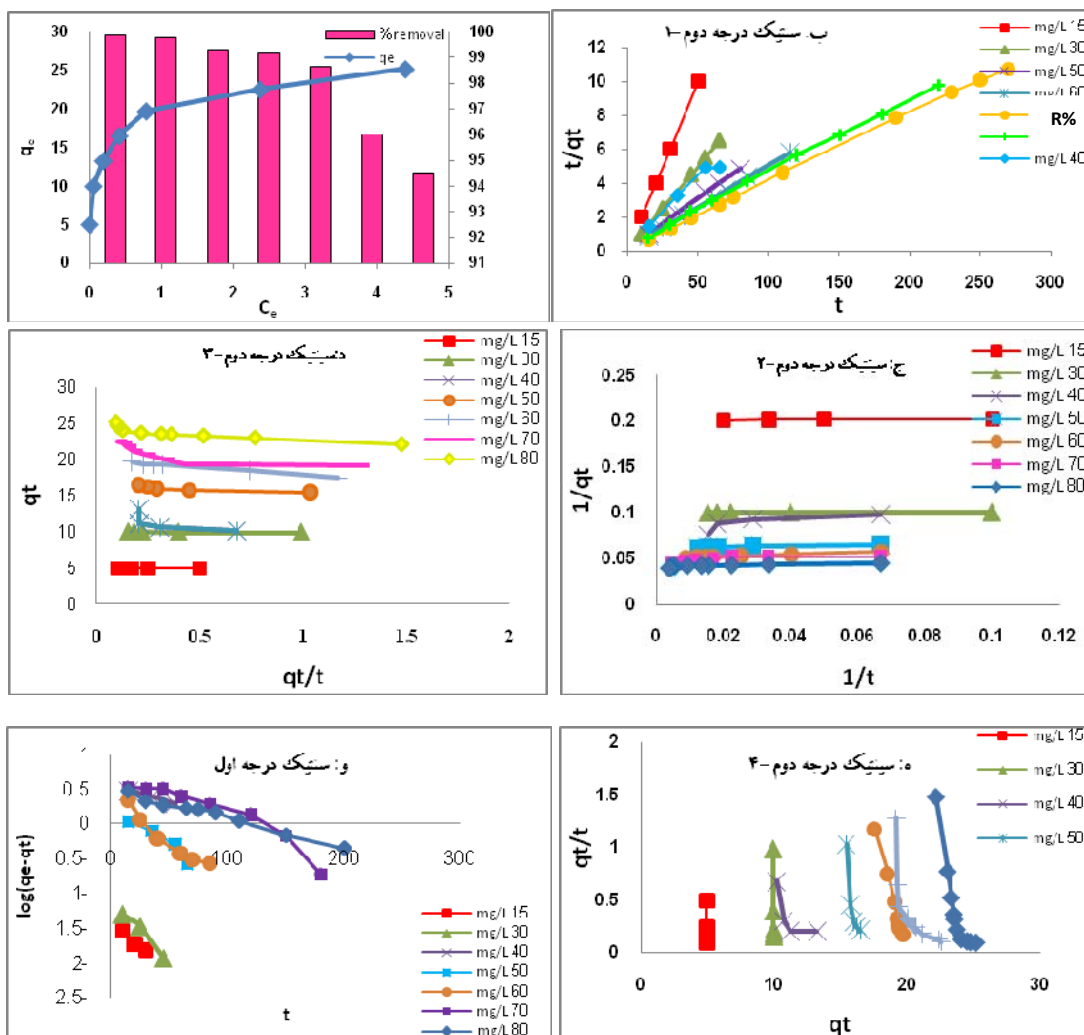
تیگ	پارامترها	دمای ۲۵ °C							دمای ۳۵ °C							
		غلظت‌های متفاوت بر حسب mg/L							غلظت‌های متفاوت بر حسب mg/L							
درجه اول	$q_{t(max)} \frac{mg}{g}$	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۱۵	۸۰m	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۱۵	
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	g/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
		۰۰۹	۰۱۳	۰۲۷	۰۲۵	۰۰۹	۰۴۱	۰۲۹	۰۱۳۸	۰۲۳	۰۳۴۵	۰۸۹۸	۰۲۰۷	۲۲۳۳	۰۵۵	
		R_1	۰/۲	۰/۸	۰/۶	۰/۳	۰/۲	۰/۴	۰/۹	۰/	۰	۰	۰/	۰/	۰/	۰/۲
		R_2	۲۰۶	۹۲۹	۲/۵	۷۳۳	۵۵۶	۰۸۴	۰۳۸	۱۲۵۱	۱۰۵۵	۱۱۵۵	۱۴۱۵	۰۷۲۷	۱۴۰۵	۱۲۴
		R_3	۳/	۵/	۹۲۸	۱/۸	۳/۳	۰/۵	۰	۶	۴	۳	۴	۰/	۰	۰/۷
		R_4	۹۸۲	۱۸۹	۰/	۹۱۳	۹۹۵	۹۷۲	۱۹۵۶	۱۸۳۸	۰۱۸۹	۱۹۲۳	۱۹۸۸	۱۸۹۲	۰/۹۲	۱
		R_5	۰/	۰	۰/	۰/	۰/	۰/	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
		$q_{t(max)} \frac{mg}{g}$	۱۷۸	۵۱۸	۷۱۳	۱۵۰	۲۵۰	۱۹۶	۱۹۸۸	۱۵۹۸	۱۸۳۷	۱۸۲۱	۱۵۸۵	۱۲۸۶	۱۹۷۴	۹۹۳
		$q_{t(max)} \frac{mg}{g}$	۲۵/	۲۲/	۱۹/	۱۶	۱۳/	۹	۴	۲۵	۲۲	۱۹	۱۶	۱۳	۹	۴/
درجه دوم - ۱	R_2	۱/۶۴	۲۵۵	۲۰	۹۴۹	۸۸۸	۱۰	۵	۱۳۱۵	۱۲۵۵	۱۴۰۸	۱۹۴۹	۱۳۳۳	۱۰	۰۲۵	
		R_1	۲۵	۲۳/	۰۲۴	۱۶/	۱۳/	۱۱	۱۰۵	۲۶	۲۳	۲۰	۱۶	۱۳	۱۴۲۸	۵/
		R_2	۰۰۹	۰۰۵	۰/	۰۳۱	۰۰۹	۱	۲	۰۰۵۸	۰۱۲۳	۰۱۱۹	۰۰۶۹	۱۸۷۵	۱	۳۶۵
		R_3	۰/۳	۰/۸	۷۰۸	۰/	۰/۲	۱۱	۱۶۳۱	۰/	۰/	۰	۰	۱	۱۸۵	۱/
		R_4	۱۷۲	۱۵۴	۹/	۰۰۹	۷۹۲	۱۱۱	۵۲	۱۰۴۸	۱۶۶۷	۱۰۶۴	۲۰	۱۳	۱۴۲	۴۸۲
		R_5	۶/	۳/	۱	۹/	۱/	۱	۱	۴	۶	۸	۱	۳۳۳	۱	۳۴/
		R_6	۹۹۹	۹۹۸	۹۹۹	۹۹۹	۹۹۲	۹۹۹	۹۹۹	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۱۹۹۹	۱	۱	۹۹۹	۹۹۹
		R_7	۰/	۰/	۰/	۰/	۰/	۰/	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/



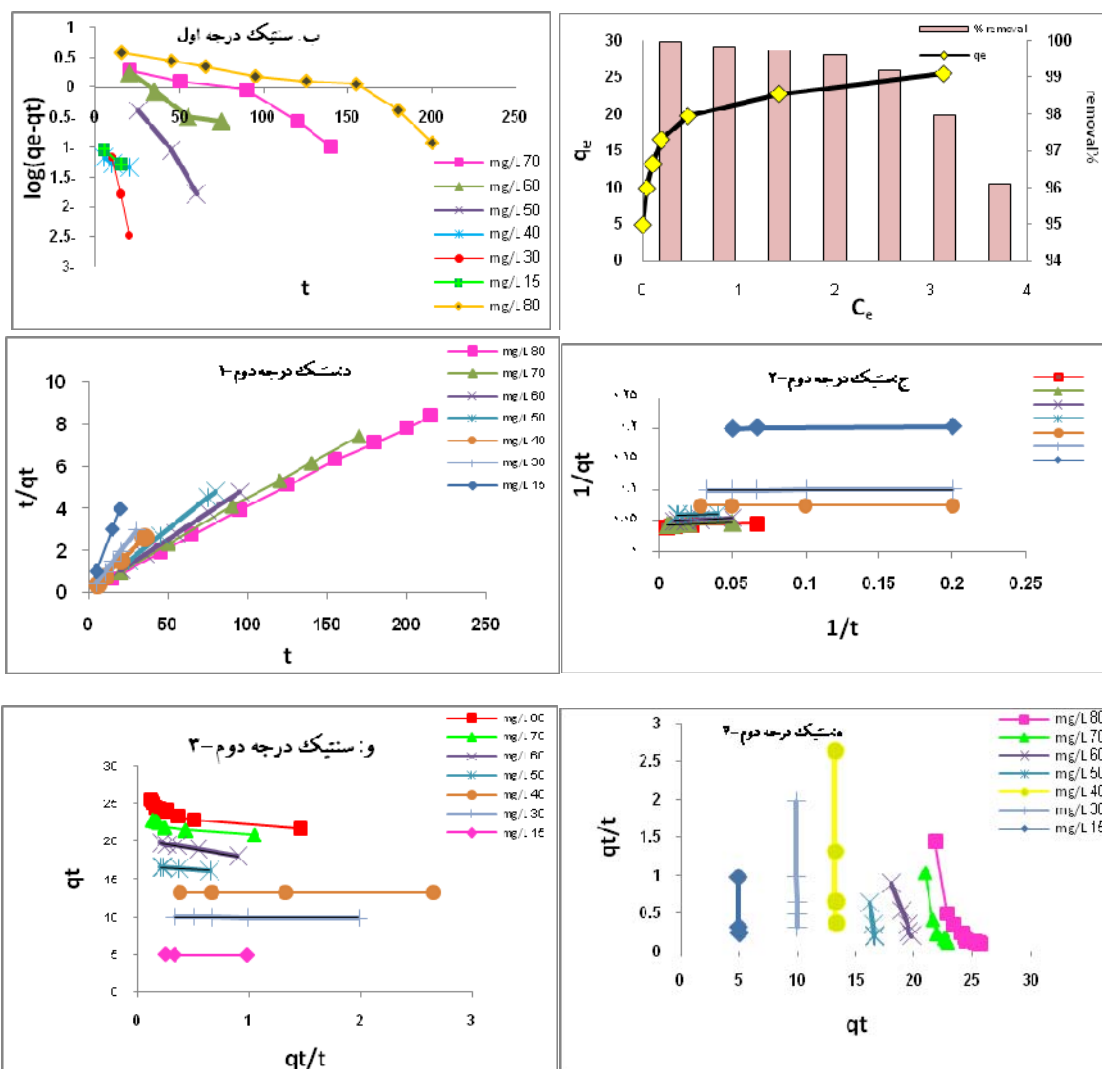
درجه دوم-۲	$q_{\infty} = \frac{mg}{Q}$	۲۵	۷۳۹	۲۰	۶۶۷	۶۵۸	۱۰	۵	/۹۴۹	/۲۵۵	/۴۰۸	/۲۴۱	/۳۳	۱۰	۵
	k_2	۰.۲۲	۲۱/	۰.۲۴	۱۶/	۱۲/	۶۶۷	/۳۳۳	۱۶	۲۳	۲۰	۱۷	۱۳	۲	۲
	h	۰/۵	۰/۱۷	۰/۵	۰/۵۵	۰/۲۰	۱/	۳	/۰.۳۴	۰.۲۱۵	/۰.۱۹	۰/۰.۶	/۶۲۵	۲۰۰	۵۰
	R_2	۰.۸۴	۰/۶	۸۰.۳	۰/	۰/۱	/۶۷	/۳۳	۰	۰/	۰	/۸۵۷	۵	/۸۳۲	۷۷۸
		۱۴/	۳۳۳	۹/۹	۳۸۴	۲۳۶	۱۶۶	۸۳	۱۰	/۶۲۷	۸	۱۷	۱۰۰۰	۰	۰/
		۷۹۹	۸/۳	۹۹۲	۱۵/	۳/۲	۸۴۶	۰/۸۲	/۷۷۴	۱۱	/۹۹۷	/۹۷۵	۰/۶۲		
		۰/	۶۰.۸	۰/	۷۸۲	۵۷۷	۰/		۰	/۸۳۶	۰	۰			
درجه دوم-۳	$q_{\infty} = \frac{mg}{Q}$	/۵	/۷۳	۲۰	/۴۶	/۷۱	/۹۷	/۹۸۹	/۰.۷	/۸۱	/۳۱	/۷۹	/۲۷	/۹۸۹	۹۹۸
	k_2	۲۴	۲۱	۰.۲۴	۱۶	۱۲	۹	۴	۲۵	۲۲	۲۰	۱۶	۱۳	۹	۴/
	h	۰.۲۲	۰/۱۷	۰/۵	۰/۵۶	۰/۱۹	۶۷۱	/۲۳۳	/۰.۱۵	/۰.۲۱	/۰.۱۹	/۰.۶۲	/۲۷۶	/۷۵۶	۹۶۱
	R_2	۰/	۰/	۸۰.۸	۰/۴	۰/	۱/	۳	۰	۰	۰	۰	۳	۱	۱/
		/۷۵	۱۳۲	۹/	۲۸۳	۲۰.۳	۱۶۷	/۴۵۱	/۷۳۲	/۴۳۳	۷/۹۷	/۷۲	/۹۵	/۲۴	۴۹
		۱۳	۸/	۹۹۱	۱۵/	۳/	۱۶/	۸۰	۹	۱۱	۰/۹۹	۱۷	۵۷۶	۱۷۵	۷۷۲
		۷۷۳	۵۸۱	۰/	۷۶۵	۴۶۱	۸۴۵	/۸۱۹	/۷۴۱	/۸۱۷		/۹۷۳	/۶۱۹	/۸۳۱	۰/
درجه دوم-۴	$q_{\infty} = \frac{mg}{Q}$	/۷	۵۸۹	/۰.۱	۶۰.۵	//۳۷	۹۷۱	/۹۹۲	/۴۶۳	/۰.۰۷	/۵۲	/۳۸	/۲۸۶	۱۰	۰.۱۳
	k_2	۲۴	۲۲/	۲۰	۱۶/	۱۴	۹/	۴	۲۵	۲۳	۲۰	۱۷	۱۳	/۴۵۴	۵/
	h	۰/۱۷	/۱۸	۰.۲۴	۰.۴۲	۰.۰۸	۴۱۳	/۶۲۶	/۰.۱۱	۰.۱۷۷	/۰.۱۸	/۰.۵۹	۲/۰.۲	۱	۴۹۸
	R_2	۰/	۰	۰/۲	۰/	۰/	۱/	۲	۰	۰/	۰	۰	/۶	/۴	۱/
		/۷۲	/۸۷	/۷۲	/۷۹	۶۶۷	/۵	/۴۵	/۳۰.۸	۹/۴۱	/۹۶۲	/۸۵	۳۵۶	۱۴۵	/۶۸
		۱۰	۹۱	۹	۱۱	۱/	۱۴۰	۶۵	۷	/۸۱۷	۷	۱۷	/۶۱۹	/۸۳۱	۳۷
		۷۷۳	۵۷۴	۹۹۱	۷۶۴	۴۶۱	۸۴۵	/۸۱۹	/۹۴۱	۰	۰/۹۹	/۹۷۳	۰	۰	۷۷۲
	۰/	۰/	۰/	۰/	۰/	۰/	۰	۰			۰			۰/	



شکل ۱: نمودار ایزوترم جذب متیلن بلو بر روی خاکستر فرار اصلاح شده الف: لانگمیر نوع ۱، ب: لانگمیر نوع ۲، ج: لانگمیر نوع ۳، د: لانگمیر نوع ۴، ه: فروندلیچ

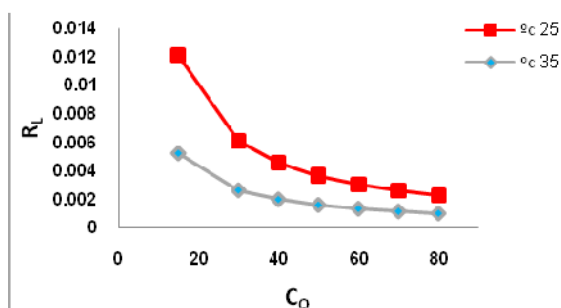


شکل ۲: نمودار سینتیک جذب متیلن بلو بر روی خاکستر فرار اصلاح شده در دمای ۲۵.۰C الف: تغییرات میزان جذب تعادلی (q_e) و راندمان جذب ($R\%$) با تغییر غلظت تعادلی (C_e)، ب: سینتیک درجه دوم-۱، ج: سینتیک درجه دوم-۲، د: سینتیک درجه دوم-۳، ه: سینتیک درجه دوم-۴، و: سینتیک درجه اول



شکل ۳. سینتیک جذب متیلان بلو بر روی خاکستر فرار اصلاح شده در دمای ۳۵^oC (الف: تغییرات میزان جذب تعادلی (qe) و راندمان جذب (R%) با تغییر غلظت

تعادلی (Ce)، ب: سینتیک درجه اول چ: سینتیک درجه دوم- ۱، د: سینتیک درجه دوم- ۲، و: سینتیک درجه دوم- ۳، ه: سینتیک درجه دوم- ۴)



شکل ۴. فاکتور تفکیک



بحث و نتیجه گیری

افزایش دما منجر به افزایش انتشار مولکولهای رنگ در سراسر لایه مرزی خارجی و خلل و فرج داخلی ذرات جاذب است که ناشی از کاهش ویسکوزیته محلول است. علاوه بر این تغییر دما منجر به تغییر ظرفیت تعادل جاذب بر یک جزء جاذب شده خاص می گردد. همین امر دلیل افزایش راندمان و کاهش مقدار C_t/C_0 است. Ozer و همکارانش مشاهده کردند که افزایش دما از ۲۵ تا ۵۰ درجه سانتی گراد باعث افزایش راندمان از ۹۲ تا ۹۸/۶٪ شد (۴۲). Weng گزارش داد که با افزایش دما مقدار جذب افزایش می یابد (۴۳). Yang و همکارانش مشاهده کردند که در غلظت 50 mg/L و دمایی 50°C ظرفیت جذب معادل 73 mg/g بود و با افزایش دما تا 50°C ظرفیت جذب به 682 mg/g کاهش پیدا کرد (۲۱). Ellass و همکارانش نشان دادند که تغییر در رنج خاصی از دما تأثیری در ظرفیت جذب متیلن بلو ندارد و دمای مناسب ۲۵ درجه اعلام شد (۴۴). Dogan و همکارش گزارش داد که با افزایش دما از ۳۰ به ۶۰ درجه سانتی گراد میزان حذف از $10^{-5} * 1/81$ تا $10^{-5} * 2/35$ مول بر گرم افزایش پیدا کرد (۴۵). که گزارش های مذکور با نتایج حاصله مطابقت دارد. با افزایش غلظت رنگ به ازای تعداد ثابتی از مکان های جذب، تعداد مولکول های جزء جذب شونده افزایش می یابند. این عمل منجر به کاهش راندمان حذف و افزایش جذب گردید. Ncibi و همکارانش مشاهده کردند با افزایش غلظت متیلن بلو از ۱۰ تا ۵۰ میلی گرم بر لیتر ظرفیت جذب بیوجاذب از ۰/۴۲ تا ۴/۶۴ میلی گرم بر گرم افزایش یافت (۴۶). مطالعات Weng و همکارش نشان داد که افزایش در غلظت رنگ منجر به کاهش راندمان حذف و افزایش جذب

شد (۴۳). پیش بینی سینتیک جذب پیوسته برای طراحی کاربرد جاذب در مقیاس صنعتی خیلی ضروری است در این تحقیق سنتتیک جذب درجه دوم نوع ۱ است. Ozacar و همکارانش گزارش دادند معادلات درجه دوم بهتر سنتتیک جذب متیلن بلو را توصیف می کند (۲۷). Acemioglu در سال ۲۰۰۵ گزارش داد که ثابت سرعت جذب (K_2) و سرعت جذب اولیه (h) با افزایش دما و سرعت هم زدن افزایش می یابد و با افزایش غلظت اولیه رنگ، h افزایش و K_2 کاهش می یابد و مقدار متیلن بلو جذب شده بر روی جاذب پریلیت با افزایش غلظت اولیه رنگ، دما و سرعت هم زدن افزایش پیدا می کند (۴۷). که گزارش های مذکور با نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر هم خوانی دارد.

تجزیه و تحلیل فرایند جذب نیاز به تعادل جذب است که مهم ترین قسمت جهت درک یک فرایند جذب است دو فرمول مناسب ایزوترم فروندلیچ و لانگمیر است. از اساسی ترین ایزوترم های جذب سطحی ایزوترم لانگمیر است که جذب سطحی را به صورت یک تک لایه روی یک سطح ایده ال فرض می کند در این ایزوترم سطح همگن است یعنی انرژی در همه سایت های جذب ثابت و یکسان است و اتم ها و مولکول های جذب شونده در سایت های معین و تعریف شده ای جذب می شوند و هر سایتی فقط می تواند یک مولکول یا اتم را در خود جا دهد. در این مدل جذب، مولکول های جذب شده هیچ برهم کنشی باهم ندارند. تناسب خوب مدل تک لایه ای لانگمیر برای جذب متیلن بلو در تحقیق حاضر به دلیل انطباق ریاضی خیلی خوب ناشی از توضیح همگون سایت های جذب بر روی سطح خاکستر فرار است که اصلاح جاذب منجر به بهبود این فرایند شد. ایزوترم



رنگ متیلن بلو به شدت در زمان کوتاه توسط جاذب جذب می‌شود و اصلاح خاکستر فرار منجر به تقویت ظرفیت جذب گردید. با مطالعه پارامترهای ایزوترم فروندلیچ و لانگمیر مشخص شد که مدل لانگمیر نوع ۱ از همبستگی بهتری نسبت به مدل فروندلیچ برخوردار است و معادلات درجه دوم - نوع ۱ به نحو مناسب‌تری سنتیک جذب را تعریف می‌نماید. همچنین قرار گرفتن مقدار فاکتور تفکیک و شدت جذب سطحی در محدوده بین ۰ و ۱ بر قوی بودن فرایند جذب و مناسب بودن جاذب اصلاح‌شده مذکور تأکید می‌نماید.

تقدیر و تشکر

این تحقیق در زمره طرح‌های مصوب مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان است که با حمایت معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه به انجام رسیده است که بدین وسیله از دست اندرکاران سپاسگزاری می‌نماید.

References

- 1- Janoš P, Buchtová H, and Rýznarová M. Sorption of dyes from aqueous solutions onto fly ash. *Water Res* 2003; 37(3): 4938-44.
- 2- Noori Motlagh Z, Darvishi R, Shams Khoram Abadi GH, Ghodini H, Foroughi M. Study of the Effective Parameters on Decolorization of Methylene Blue Using UV Radiation in the Presence of Immobilized Catalyst. *Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences* 2012; 21(2): 36-46.
- 3- Banerjee SS, Joshi MV, Jayaram RV. Effect of quaternary ammonium cations on dye sorption to fly ash from aqueous media. *Journal of colloid and interface science* 2006; 303(2): 477-83.
- 4- Hashemian S, Kermani MG. Removal methylene blue by feldspar. *The 3rd National Conference on Textile and Clothing Engineering- Yazd*, 2011.

فروندلیچ سیستم‌های ناهمگن را به‌خوبی توصیف می‌کند. بطوریکه سطح از نظر توزیع انرژی غیریکنواخت است و سایت‌های که انرژی یکسانی دارند در کنار هم قرار دارند و تکه‌های مختلف سطح بر هم تأثیری ندارند (۳۸). در تحقیق Pavan و همکارانش حداکثر جذب در مدت ۴۸h در دمای ۲۵°C و pH بین ۷ تا ۱۰ بود (۱۹). در بررسی Bulut و همکارانش در سال ۲۰۰۶ فرایند در ۶۰min به تعادل رسید مقدار حذف رنگ با افزایش دوز جاذب افزایش و با افزایش زمان تماس کاهش می‌یابد و ماکسیمم ظرفیت جذب در دماهای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه به ترتیب معادل ۱۶/۵۶، ۲۰/۸۳ و ۲۱/۵ میلی‌گرم بر گرم است (۴۸). انبیا و همکارانش در سال ۲۰۱۰ اظهار کردند واکنش در مدت ۱h به تعادل رسید و با افزایش دما از ۳۰ تا ۵۰ درجه ظرفیت جذب افزایش می‌یابد (۴۹). این مطالعه به بررسی اثر پارامترهای متفاوت و تعیین شرایط بهینه با آزمایش‌های جذب ناپیوسته پرداخت. نتایج نشان داد که



- 5-Jalali S, Ahmad poor A, Farashe Bamoharam F, Maamaad Harooi M. Synthesis and application of silica nanostructures Prayslr position on the removal of methylene blue dye from aqueous solutions. fourteenth National Iranian Chemical Engineering Congress, 2012.
- 6-Ghanizadeh G, Asgari G. Removal of Methylene Blue Dye from Synthetic Wastewater with Bone Char. Iran J Health & Environ 2009;2(2):104-13.
- 7-Bazrafshan E, Kord Mostafapour F. Evaluation of color removal of Methylene blue from aqueous solutions using plant stem ash of Persica. Journal of North Khorasan University of Medical Sciences 2012;4(4):523-33.
- 8-Pengthamkeerati P, Satapanajaru T, Chatsatapattayakul N, Chairattanamanokorn P, Sananwai N. Alkaline treatment of biomass fly ash for reactive dye removal from aqueous solution. Desalination 2010;261(1):34-40.
- 9-Bahmani P, Rezai Calantari R, Gholami M, Jafari Geneidi A, Javadi Z. Surveying the Reactive Black-5 Azo dye removal from synthetic wastewater to The biological method. Twelfth Conference of Environmental Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences 2009:212-21.
- 10-Daneshvar N, Khataee AR, Rasoulifard MH, Rasoulifard M H, Seyed Dorraji MS. Removal of Organic Dyes from Industrial Wastewaters Using UV/H₂O₂, UV/H₂O₂/Fe (II), UV/H₂O₂/Fe (III) Processes. Journal of Water and Wastewater 2007(61):34-42.
- 11-Jamalnejad M, Taebi A, Mortazavi S. Removal of Color from Aqueous Solutions Containing Textile Dyes by Dolomite Wastes. Journal of Water and Wastewater 2011(4):30-36. [Persian]
- 12-Pyrsahb M, Sharafi Q, Dargahi A. Treatmentable textile effluent using mineral coagulants. Journal of Radiation Research 2012;12(1):22-29.
- 13-Namasivayam C, Dinesh Kumar M, Selvi K, Vanahi T, Yamuna R T. 'Waste' coir pith—a potential biomass for the treatment of dyeing wastewaters. Biomass and Bioenergy 2001;21(6):477-483.
- 14-Gupta VK, Suhas. Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. Journal of Environmental Management 2009;90(8):2313-2342.
- 15-Annadurai G, Juang R-S, Lee D-J. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. Journal of Hazardous Materials 2002;92(3):263-274.
- 16-Lin JX, Zhan SL, Fang MH, Qian X Q, Yang H. Adsorption of basic dye from aqueous solution onto fly ash. Journal of Environmental Management 2008;87(1):193-200.



- 17-Namasivayam C, Sumithra S. Removal of direct red 12B and methylene blue from water by adsorption onto Fe (III)/Cr (III) hydroxide, an industrial solid waste. *Journal of environmental management* 2005;74(3):207-215.
- 18-Sharma P, Kaur R, Baskar C, Chung W. Removal of methylene blue from aqueous waste using rice husk and rice husk ash. *Desalination* 2010;259(1-3):249-257.
- 19-Pavan FA, Lima EC, Dias SLP, Mazzocato Ana C. Methylene blue biosorption from aqueous solutions by yellow passion fruit waste. *Journal of hazardous materials* 2008;150(3):703-712.
- 20-Wang S, Li L, Wu H, Zhu Z H. Unburned carbon as a low-cost adsorbent for treatment of methylene blue-containing wastewater. *Journal of colloid and interface science* 2005;292(2):336-343.
- 21-Yang S-T, Chen S, Chang Y, Cao A, Liu Y, Wang H. Removal of methylene blue from aqueous solution by graphene oxide. *Journal of Colloid and Interface Science* 2011;359(1):24-29.
- 22-Wang S, Zhu ZH. Sonochemical treatment of fly ash for dye removal from wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 2005;126(1-3):91-95.
- 23-Al-Ghouti MA, Khraisheh MAM, Allen SJ, Ahmad M N. The removal of dyes from textile wastewater: a study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth. *Journal of Environmental Management* 2003;69(3):229-238.
- 24-Kumar S, Gunasekar V, Ponnusami V. Removal of methylene blue from aqueous effluent using fixed bed of groundnut shell powder. *Journal of Chemistry* 2012;20(13):221-229
- 25-Patil S, Renukdas S, Patel N. Removal of methylene blue, a basic dye from aqueous solutions by adsorption using teak tree (*Tectona grandis*) bark powder. *International Journal of Environmental Sciences* 2011;1(5):711-726.
- 26-Zhang F-S, Itoh H. Adsorbents made from waste ashes and post-consumer PET and their potential utilization in wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials*. 2003;101(3):323-37.
- 27-Özacar M, Şengil İA. A two stage batch adsorber design for methylene blue removal to minimize contact time. *Journal of Environmental Management* 2006;80(4):372-379.
- 28-Hameed BH. Removal of cationic dye from aqueous solution using jackfruit peel as non-conventional low-cost adsorbent. *Journal of Hazardous Materials* 2009;162(1):344-350.
- 29-Hameed BH. Spent tea leaves: A new non-conventional and low-cost adsorbent for removal of basic dye from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials* 2009;161(2-3):753-759.



- 30-Hamdaoui O. Batch study of liquid-phase adsorption of methylene blue using cedar sawdust and crushed brick. *Journal of Hazardous Materials* 2006;135(1-3):264-273.
- 31- Maurya NS, Mittal AK, Cornel P, Rother E. Biosorption of dyes using dead macro fungi: Effect of dye structure, ionic strength and pH. *Bioresource Technology* 2006;97(3):512-521.
- 32-Kazemian H, Ghaffari Kashani T, Noorian MS. Synthesis and characterization of zeolite A, using fly ash of the Iran Ferrosilice Company and investigating its ion-exchange properties. *Iranian society of crystallography and mineralogy* 2005;13(2):329-336.
- 33-Andini S, Cioffi R, Colangelo F, Montagnaro F, Santoro L. Adsorption of chlorophenol, chloroaniline and methylene blue on fuel oil fly ash. *Journal of Hazardous Materials* 2008;157(2-3):599-604.
- 34-Kuncoro EP, Fahmi MZ. Removal of Hg and Pb in Aqueous Solution using Coal Fly Ash Adsorbent. *Procedia Earth and Planetary Science* 2013;6(0):377-3782.
- 35-Malarvizhi TS, Santhi T, Manonmani S. A Comparative Study of Modified Lignite Fly Ash for the Adsorption of Nickel from Aqueous Solution by Column and Batch Mode Study. *Research Journal of Chemical Sciences* 2013;3(2):44-53.
- 36-Tiwari M, Sahu S, Bhangare R, Ajmal PY, Pandit GG. Elemental characterization of coal, fly ash, and bottom ash using an energy dispersive X-ray fluorescence technique. *Applied Radiation and Isotopes* 2014;90(1):53-57.
- 37-Sarkar M, Acharya PK. Use of fly ash for the removal of phenol and its analogues from contaminated water. *Waste Management* 2006;26(6):559-70.
- 38-Maleki A, Eslami A. Isotherm and Kinetics of Arsenic (V) Adsorption from Aqueous Solution Using Modified Wheat Straw. *Iran J Health & Environ* 2011;3(4):439-450.
- 39-Malakootian M, Mesdaghinia A, Rezaei Sh. Efficiency evaluation of ortho-chlorophenol removal from aqueous solutions using modified Fly Ash of Zarand Fossil Fuel Power Plant. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research* 2014;12(2):23-32.
- 40-Ho Y-S. Second-order kinetic model for the sorption of cadmium onto tree fern: A comparison of linear and non-linear methods. *Water Research* 2006;40(1):119-25.
- 41-Kumar M, Tamilarasan R. Modeling studies for the removal of methylene blue from aqueous solution using *Acacia fumosa* seed shell activated carbon. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2012;2(1):223-238.



- 42-Özer D, Dursun G, Özer A. Methylene blue adsorption from aqueous solution by dehydrated peanut hull. *Journal of Hazardous Materials* 2007;144(1-2):171-9.
- 43-Weng C-H, Pan Y-F. Adsorption of a cationic dye (methylene blue) onto spent activated clay. *Journal of hazardous materials* 2007;144(1):355-362.
- 44-Elass K, Laachach A, Alaoui A, Azzi M. Removal of methylene blue from aqueous solution using ghassoul, a low-cost adsorbent. *Appl Ecol Environ Res* 2010;8(2):153-163.
- 45-Doğan M, Alkan M, Türkyilmaz A, Özdemir Y. Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption onto perlite. *Journal of Hazardous Materials* 2004;109(1-3):141-148.
- 46-Ncibi MC, Mahjoub B, Seffen M. Kinetic and equilibrium studies of methylene blue biosorption by *Posidonia oceanica* (L.) fibres. *Journal of hazardous materials* 2007;139(2):280-285.
- 47-Acemioğlu B. Batch kinetic study of sorption of methylene blue by perlite. *Chemical Engineering Journal* 2005;106(1):73-81.
- 48-Bulut Y, Aydın H. A kinetics and thermodynamics study of methylene blue adsorption on wheat shells. *Desalination* 2006;194(1-3):259-267.
- 49-Anbia M, Hariri SA. Removal of methylene blue from aqueous solution using nanoporous SBA-3. *Desalination* 2010;261(1-2):61-66.



Kinetics and Isotherm Studies of Methylene Blue Adsorption from Aqueous Solutions by Activated Fly Ash

Rezaei Sh(MSc)¹, Malakootian M(PhD)²

1. MSc in Department of Environmental Health, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

2. Corresponding Author: Professor, Department of Environmental Health Engineering Research Center, Department of Environmental Health, Kerman University of Medical Sciences

Abstract

Introduction: Colored Wastewater due to various environmental problems should be treated before discharge to the environment. Colors have many variety and different methods used for color wastewater treatment, the most widely methods that used is the absorption process by the low-cost adsorbent. To determine the isotherms and kinetics adsorption Process, absorption of methylene blue cationic dye as an indexed color were investigated by activated thermal power plant fly ash from of Zarand.

Methods: In this experimental study, raw fly ash during 5h, acid concentration 1.8M, acid to fly ash ratio 7 and temperature 29 ± 2 °C was activated by sulfuric acid. After determining the optimal values of parameters in the absorption process (pH, contact time, concentration of adsorbent) isotherms Freundlich and Langmuir Type 1, 2, 3, 4 and Kinetics of first and second types 1, 2, 3 and 4 and the separation factor was determined.

Results: The activated fly ash removed 99.8% of methylene blue dye in concentration 50mg /L in optimal conditions (pH= 9, time: 30minutes, the adsorbent dose 3g /L). Process comply from second kinetics with $R = 1$ and Langmuir isotherm type1 with $R = 0.997$.

Conclusion: Since the separation factor and the adsorption is in the range between 0 and 1, therefore the absorption process is optimal. In conclusion, active fly ash, acts as a strong adsorbent in methylene blue dye adsorption and Isotherms and kinetics study of absorption process of this practice is confirmed.

Keywords: Isotherms, Kinetics, Absorption