

# کاربرد ضایعات معدنی دولومیت به عنوان جاذب در تصفیه پسابهای حاوی رنگینه‌های نساجی

محمد جمالی نژاد<sup>۱</sup> امیر تائبی<sup>۲</sup> سید مجید مرتضوی<sup>۳</sup>

(دریافت ۸۹/۱/۱۷ پذیرش ۸۹/۹/۱)

## چکیده

فاضلابهای صنایع نساجی دارای حجم زیادی هستند و از نظر کیفیت بسیار آلوده و متفاوت‌اند و به همین دلیل شرایط تصفیه آنها پیچیده و مشکل است. هدف اصلی این تحقیق، مطالعه عملکرد ضایعات دولومیت ناشی از صنایع سنگ به عنوان جاذب برای حذف رنگ از فاضلابهای نساجی بود. این ضایعات اکثراً بدون استفاده بوده و به محیط زیست وارد می‌شوند. برای این منظور و نظر به کاربرد وسیع رنگینه‌های اسیدی، دیسپرس و راکتیو در صنایع نساجی، از محلولهای رنگی حاوی رنگینه‌های C.I. Disperse، C.I. Acid Red 88، C.I. Reactive Red 29 و Red 151 استفاده شد. به منظور بهینه‌سازی و بررسی عوامل مختلف بر روی میزان جذب، چهار عامل اصلی غلظت اولیه رنگینه، pH اولیه محلول، سرعت اختلاط و دز جاذب مورد بررسی قرار گرفت. برای کاهش تعداد آزمایش‌های مورد نیاز برای صرفه‌جویی در هزینه و زمان تحقیق، از روش طرح آزمایش‌های تاگوچی استفاده شد. برای افزایش ظرفیت جذب، ابتدا دولومیت در دمای ۸۰۰ درجه سلسیوس سوزانده و سپس به عنوان جاذب استفاده شد. کلیه آزمایش‌های جذب در راکتورهای ناپیوسته انجام گرفتند. در شرایط بهینه، کارایی جذب رنگ برای رنگینه Acid Red 88 با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، pH اولیه ۶، سرعت اختلاط ۲۰۰ rpm و دز جاذب ۸ گرم در لیتر، برای رنگینه Disperse Red 151 با غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، pH اولیه ۴، سرعت اختلاط ۲۰۰ rpm و دز جاذب ۸ گرم در لیتر و برای رنگینه Reactive Red 29 با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، pH اولیه ۲، سرعت اختلاط ۲۰۰ rpm و دز جاذب ۶ گرم در لیتر بیش از ۹۹ درصد به‌دست آمد که نشان‌دهنده کارایی بالای این جاذب در حذف رنگ بود. نتایج نشان داد که مدل همدمای جذب فروندلیچ بهترین توصیف‌کننده فرایند جذب توسط دولومیت سوخته در حالت تعادل برای رنگینه‌های استفاده شده است.

**واژه‌های کلیدی:** جذب سطحی، دولومیت، رنگینه‌های نساجی، بهینه‌سازی، تاگوچی، ایزوترم فروندلیچ

## Removal of Color from Aqueous Solutions Containing Textile Dyes by Dolomite Wastes

Mohammad Jamalinejad<sup>1</sup> Amir Taebi<sup>2</sup> Seyed Majid Mortazavi<sup>4</sup>

(Received Apr. 6, 2009 Accepted Nov. 22, 2010)

### Abstract

The wastewaters of textile industries are large in volume and have different qualities. Therefore, their treatment is complicated. The main purpose of this research is to study the performance of dolomite wastes from stone industries, which are usually discharged into environment without being utilized, as an adsorbent for removal of dyes from textile industries wastewater. For this purpose, and because of wide usage of Acidic, Disperse and Reactive dyes in textile industries, color solutions containing C.I. Acid Red 88, C.I. Disperse Red 151 and C.I. Reactive Red 29 were used. For optimizing of different factors which affect the amount of adsorption, four factors of initial dye concentration, initial pH, stirring speed and adsorbent dosage were observed. In order to decrease the number of experiments, for minimizing the time and expenses, Taguchi method is utilized. Dolomite was incinerated at 800 C to increase adsorption capacity. The experiments were performed in batch reactors. In optimum conditions, the maximum color removal efficiencies for Acid Red 88 (initial concentration

1. Former Grad. Student of Environmental Eng., Dept. of Civil Eng., Isfahan University of Tech., Isfahan, (Corresponding Author) (+98 311) 2912820 mjamali@cv.iut.ac.ir

2. Prof., Dept. of Civil Eng., Isfahan University of Tech., Isfahan

3. Assoc. Prof., Dept. of Textile Eng., Isfahan University of Tech., Isfahan

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان (نویسنده مسئول) (۲۹۱۲۸۲۰) (۰۳۱۱) mjamali@cv.iut.ac.ir

۲- استادا، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان

of 50 mg/L, initial pH of 6, stirring speed of 200 rpm, adsorbent dosage of 8g/L), for Disperse Red 151 (initial concentration of 100 mg/L, initial pH of 4, stirring speed of 200 rpm, adsorbent dosage of 8g/L) and for Reactive Red 29 (initial concentration of 50 mg/L, initial pH of 2, stirring speed of 200 rpm, adsorbent dosage of 6g/L) were more than %99, that shows a high level of color removal performance by this adsorbent. Freundlich isotherm is the best model describing the adsorption process by charred dolomite in equilibrium condition for color removal.

**Keywords:** Adsorption, Dolomite, Textile Dyes, Optimization, Taguchi, Freundlich Isotherm

## ۱- مقدمه

رنگینه‌های راکتیو که با عامل هیدروکسیل سلولز و یا عامل آمین و آمید پشم واکنش می‌دهند، عمدتاً برای رنگرزی الیاف سلولزی، به تنهایی و یا در مخلوط با دیگر الیاف استفاده می‌شوند [۱۰].

واکر و همکاران<sup>۳</sup> از دولومیت سوخته برای حذف رنگینه راکتیو Levafix Brilliant Red E-4BA استفاده کردند و اثر سه عامل غلظت اولیه رنگینه، دز جاذب و سرعت اختلاط را بر حذف رنگ بررسی نمودند و نشان دادند که دولومیت سوخته به دلیل ساختار درشت منافذ آن، جاذب مناسبی برای حذف این رنگ است [۱۱]. تخت کوسه نیز برای حذف سرب از دولومیت استفاده نمود و اثر چهار عامل غلظت اولیه رنگینه، pH اولیه محلول، دز جاذب و سرعت اختلاط را برای حذف سرب بررسی و کارایی بیش از ۹۰ درصد را مشاهده نمود [۱۲].

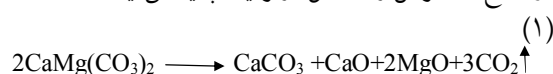
هدف از این تحقیق، بررسی امکان استفاده از ضایعات دولومیت ناشی از صنایع سنگبری، برای حذف رنگ از فاضلابهای رنگی صنایع نساجی بود. حجم تولید ضایعات دولومیت در صنایع سنگبری کشور بسیار زیاد است و استفاده مفیدی از آنها نمی‌شود و معمولاً در زمین‌های بایر و گودال‌های طبیعی رها می‌شوند. بنابراین می‌توان ضایعات دولومیت را تقریباً بدون پرداخت هزینه تهیه و استفاده نمود.

## ۲- مواد و روشها

دولومیت مورد نیاز از معدن ملوسان واقع در روستای دهرسرخ شهرستان نهاوند همدان تهیه شد. این دولومیت توسط طیف نورسنج فلورسانسی پرتو X<sup>۴</sup> مورد تجزیه قرار گرفت و درصد وزنی اکسیدهای موجود در آن به صورت ۳۰/۴۰ درصد کلسیم اکسید، ۲۱/۹۰ درصد منیزیم اکسید و ۴۷/۷۰ درصد LOI<sup>۵</sup> تشخیص داده شد. برای آماده‌سازی جاذب، ابتدا بخش بین الک‌های مش ۲۰ (۸۵۰ μm) و مش ۱۰۰ (۱۵۰ μm) انتخاب و توسط آب مقطر شسته شد تا نمکهای معدنی انحلال پذیر و چسبیده بر سطح آن حذف گردد. پس از خشک‌شدن در معرض هوا، به مدت دو ساعت در دمای ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سلسیوس و دوباره به مدت دو ساعت

حذف رنگ از پساب صنایع نساجی به دلیل مصرف بالای آب و مواد شیمیایی و حجم قابل ملاحظه فاضلاب رنگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روشهای تصفیه متعددی مانند انعقاد و لخته‌سازی، اکسایش، صافی غشایی، تبادل یون، اسمز معکوس، تصفیه الکتروشیمیایی، شناورسازی و جذب سطحی برای رنگزدایی فاضلابهای رنگی مورد استفاده قرار می‌گیرد که انتخاب روش بهینه بستگی به غلظت رنگ، هزینه‌های تصفیه و استاندارد پساب خروجی دارد. در بین این روشها، جذب سطحی به عنوان یک روش مقرون به صرفه برای تصفیه فاضلابهای رنگی مورد توجه است. در فرایند جذب، کربن فعال یک جاذب استاندارد و متداول است ولی هزینه تولید آن بالاست و به همین دلیل، اخیراً جاذبهای ارزان قیمت مانند محصولات جنبی صنایع متالورژی، ضایعات کشاورزی و ضایعات صنایع معدنی مورد توجه زمینه‌های تحقیقاتی قرار گرفته است. تاکنون کانی‌های رسی نظیر مونتوریلونیت، بنتونیت، کائولینیت و سپولیت، کانی‌های سیلیسی نظیر دانه‌های سیلیس، پرلیت و آلونیت و نیز جاذبهای ژئولیتی به عنوان جاذب رنگ مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۱-۸].

ماده اصلی کانی دولومیت را کلسیم منیزیم کربنات<sup>۱</sup> تشکیل می‌دهد و جزء کانی‌های کربناته به شمار می‌رود. سوزاندن دولومیت در دمای حدود ۸۰۰ درجه سلسیوس در معرض هوا باعث تجزیه آن طبق واکنش زیر می‌شود. دولومیت پس از سوختن به کربنات کلسیم، کلسیم اکسید و منیزیم اکسید تبدیل می‌شود. در این واکنش، به علت تولید گاز دی اکسید کربن، یک افزایش قابل توجه در سطح مخصوص و تخلخل دولومیت پدید می‌آید [۹]



رنگینه‌های اسیدی در آب انحلال پذیر هستند و جزء رنگی فعال آنها آنیون است و بیشتر برای رنگ کردن پشم کاربرد دارند. در صورتی که رنگینه‌های دیسپرس<sup>۲</sup> به مقدار جزئی در آب حل می‌شوند و بیشتر برای رنگ کردن الیاف پلی‌استر استفاده می‌شوند.

<sup>3</sup> Walker et al.

<sup>4</sup> X-ray Fluorescence Spectrophotometer

<sup>5</sup> Loss on Ignition (LOI)

<sup>1</sup> [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]

<sup>2</sup> Disperse

در دمای ۸۰۰ درجه سلسیوس توسط کوره الکتریکی حرارت داده شد.

رنگینه‌های مورد استفاده شامل C.I. Acid Red 88، C.I. Reactive Red 29 و Disperse Red 151 بودند که طول موج بیشینه<sup>۱</sup> آنها به ترتیب ۵۰۷، ۴۸۷ و ۵۱۷ نانومتر بود. برای اندازه‌گیری میزان غلظت هر رنگینه در محلول حاوی آن رنگینه، محلولهای رنگی از آن با غلظتهای مشخص و متفاوت ساخته شد و میزان جذب آنها در طول موج بیشینه جذب آن رنگینه توسط طیف نورسنج اسپکتروفوتومتر<sup>۲</sup> اندازه‌گیری شد. سپس داده‌های جذب در مقابل غلظت به صورت خطی رسم شد. با استفاده از این خط و با اندازه‌گیری میزان جذب در طول موج بیشینه آن رنگینه، غلظت نمونه‌های مورد نظر تعیین گردید.

طرح آزمایش‌ها بر اساس روش آماری تاگوچی<sup>۳</sup> انجام شد که بر اساس آن عوامل مؤثر در آزمایش‌ها به دو دسته کنترل پذیر (عوامل سیگنال<sup>۴</sup>، S) و غیر قابل کنترل (عوامل اغتشاش یا نویز<sup>۵</sup>) تقسیم می‌شوند. در این روش از تحلیل نسبت سیگنال به نویز برای تعیین بهترین اجرای<sup>۶</sup> آزمایش‌ها یا بهترین ترکیب‌بندی سطوح عوامل مختلف برای دستیابی به پاسخ بهینه استفاده می‌گردد. نحوه محاسبه این نسبت بسته به این که هدف، چه نوع بهینه‌سازی باشد، متفاوت است. از آنجا که در این تحقیق پاسخ در نظر گرفته شده، درصد حذف رنگ بود، بنابراین هدف، بیشینه‌سازی پاسخ بود و نسبت S/N با استفاده رابطه ۱ تعیین شد

$$S/N = -10 \log \frac{\frac{1}{y_1^2} + \frac{1}{y_2^2} + \dots + \frac{1}{y_n^2}}{n} \quad (2)$$

که در این رابطه

$Y_n$  مقدار پاسخ اندازه‌گیری شده برای هر آزمایش و  $n$  تعداد تکرار هر آزمایش است. در این تحقیق هرچه مقدار S/N بیشتر باشد، راندمان حذف رنگ نیز بهتر است و اطمینان به وجود می‌آید که اثر عوامل اغتشاش در مقایسه با اثر عوامل اصلی حداقل است و پاسخ نهایی کمترین حساسیت را نسبت به عوامل غیر قابل کنترل دارد. در ضمن در روش تاگوچی، از تحلیل واریانس<sup>۸</sup> برای تعیین

<sup>1</sup>  $\lambda_{max}$   
<sup>2</sup> Spectrophotometer  
<sup>3</sup> Taguchi Method  
<sup>4</sup> Signal (S)  
<sup>5</sup> Noise (N)  
<sup>6</sup> S/N: Signal to Noise Ratio  
<sup>7</sup> Run  
<sup>8</sup> Analysis of Variance (ANOVA)

واریانس خطا و اهمیت نسبی هر یک از عوامل مؤثر استفاده می‌شود [۱۳].

تمام آزمایش‌های جذب رنگ بر جاذب، در راکتورهای ناپیوسته انجام شدند. چهار عامل و هر کدام با چهار سطح برای تعیین شرایط بهینه حذف رنگ در نظر گرفته شد. عوامل و سطوح در نظر گرفته شده در طراحی آزمایش‌ها در جدول ۱ نمایش داده شده است. محدوده سطوح بر اساس آزمایش‌های اولیه متعدد و نیز بررسی محدوده‌های در نظر گرفته شده در منابع مختلف، انتخاب شدند. به منظور طراحی آزمایش‌ها از نرم افزار Qualitek-4 استفاده شد. حاصل طراحی آزمایش‌ها، یک جدول با ۱۶ آزمایش بود ( $L_{16}$ ) که مقدار هر عامل در هر آزمایش در جدول ۲ نمایش داده شده است. به منظور به حداقل رساندن اثر منابع خطا، ترتیب انجام آزمایش‌ها به صورت تصادفی انتخاب شد.

جدول ۱- عوامل و سطوح در نظر گرفته شده در طراحی آزمایش‌ها

عامل	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۴
غلظت اولیه رنگینه (mg/L)	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
pH اولیه محلول	۲	۴	۶	۸
سرعت اختلاط (rpm)	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
دز جاذب (g/L)	۲	۴	۶	۸

جدول ۲- آزمایش‌های طراحی شده به روش تاگوچی

شماره آزمایش	غلظت اولیه (mg/L)	pH محلول	سرعت اختلاط (rpm)	دز جاذب (g/L)
۱	۵۰	۲	۵۰	۲
۲	۵۰	۴	۱۰۰	۴
۳	۵۰	۶	۱۵۰	۶
۴	۵۰	۸	۲۰۰	۸
۵	۱۰۰	۲	۱۰۰	۶
۶	۱۰۰	۴	۵۰	۸
۷	۱۰۰	۶	۲۰۰	۲
۸	۱۰۰	۸	۱۵۰	۴
۹	۱۵۰	۲	۱۵۰	۸
۱۰	۱۵۰	۴	۲۰۰	۶
۱۱	۱۵۰	۶	۵۰	۴
۱۲	۱۵۰	۸	۱۰۰	۲
۱۳	۲۰۰	۲	۲۰۰	۴
۱۴	۲۰۰	۴	۱۵۰	۲
۱۵	۲۰۰	۶	۱۰۰	۸
۱۶	۲۰۰	۸	۵۰	۶

به منظور انجام آزمایش‌های همدمای جذب، نمونه‌هایی از محلولهای هر سه نوع رنگینه با غلظت اولیه رنگینه ۲۰۰ میلی‌گرم

### ۳- نتایج و بحث

تابع هدف انتخاب شده برای این کار تحقیقاتی، درصد حذف رنگ از محلول بود. مقادیر درصد حذف رنگ و S/N در آزمایش‌های مختلف در جدول ۳ آورده شده است. نظر به این که هر آزمایش دو بار انجام شد، اعداد این جدول میانگین نتایج دو تکرار است.

تحلیل واریانس داده‌های جمع‌آوری شده توسط نرم افزار Qualitek-4 انجام شد که خلاصه نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. نسبت F هر عامل یعنی نسبت واریانس هر عامل نسبت به واریانس مربوط به خطا نشان می‌دهد که تأثیر تمام عوامل در پاسخ نهایی بیشتر از خطاست. مقدار P یعنی نسبت مجموع مربعات اصلاح شده هر عامل به مجموع مربعات کل نیز میزان تأثیر عوامل انتخاب شده بر حذف رنگ را نشان می‌دهد. به طور مثال، pH اولیه محلول با P ۰/۴۹ درصد اثر ناچیزی روی حذف رنگینه Acid Red 88 دارد و سرعت اختلاط با P ۴۷/۷۳ درصد بیشترین اثر را بر حذف این رنگ داراست. برای رنگینه‌های Disperse Red 151 و Reactive Red 29 به ترتیب غلظت اولیه رنگینه و pH اولیه محلول کمترین اثر و سرعت اختلاط و دز جاذب بیشترین اثر را دارا هستند. سهم دیگر/خطا<sup>۱</sup> مربوط به عوامل مؤثری است که در انجام آزمایش‌ها در نظر گرفته نشده‌اند و یا خطای آزمایش ناشی از

در لیتر تهیه و pH آن‌ها در سه سطح ۲، ۴ و ۶ تنظیم شد و آزمایش‌ها در هر سطح pH و با افزودن دزهای جاذب ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ گرم در لیتر به هر سطح pH انجام گرفت. در این آزمایش‌ها، انتخاب غلظت اولیه رنگ ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر اساس نتایج آزمایش‌های اولیه و نیز محدوده سطوح انتخاب شده برای غلظت اولیه در آزمایش‌های بهینه‌سازی بود. در صورتی که از غلظت اولیه کمتری استفاده شود، به دلیل مقدار بالای حذف رنگ در سطوح بالای دز جاذب، در مقادیر غلظت نهایی تفاوت مشخصی مشاهده نمی‌گردد. در ضمن در آزمایش‌های همدمای جذب، کلیه نمونه‌ها برای رسیدن به تعادل، به مدت ۶ ساعت، با سرعت ۱۰۰ rpm و در دمای محیط (۲۰±۳°C) به هم زده شدند.

مدت ۶ ساعت برای رسیدن به تعادل، بر مبنای آزمایش‌های سینتیک انتخاب شد. لازم به توضیح است که مدت لازم برای رسیدن به تعادل، به pH اولیه محلول بستگی دارد به طوری که، حداکثر مدت آن برای رنگ اسیدی ۱۸۰ دقیقه و برای رنگهای دیسپرس و راکتیو ۳۶۰ دقیقه بود. بنابراین زمان اختلاط برای آزمایش‌های همدمای جذب هر سه رنگینه، ۶ ساعت انتخاب شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴۰ دقیقه به صورت ساکن نگهداری و توسط کاغذ صافی فیلتر شدند و جذب آنها اندازه‌گیری شد. به منظور مشاهده آثار منابع اغتشاش، کلیه آزمایش‌های این تحقیق دو بار انجام شدند و میانگین نتایج آنها، در تحلیل نتایج به کار برده شد.

<sup>1</sup> Other/Error

جدول ۳- مقادیر میانگین درصد حذف رنگ و S/N در هر آزمایش

شماره آزمایش	Reactive Red 29		Disperse Red 151		Acid Red 88	
	S/N	درصد حذف رنگ	S/N	درصد حذف رنگ	S/N	درصد حذف رنگ
۱	۳۸/۵۴	۸۴/۶۳	۳۷/۰۲	۷۱/۱۵	۳۸/۹۷	۸۹/۰۴
۲	۳۹/۷۱	۹۶/۷۸	۳۹/۹۹	۹۹/۹۶	۳۹/۴۰	۹۳/۳۷
۳	۳۹/۸۵	۹۸/۳۴	۳۹/۷۷	۹۷/۳۹	۳۹/۸۶	۹۸/۳۸
۴	۳۹/۷۷	۹۷/۳۶	۳۹/۹۶	۹۹/۵۶	۳۹/۸۱	۹۷/۸۵
۵	۳۹/۸۱	۹۷/۸۵	۳۹/۷۸	۹۷/۵۱	۳۸/۹۷	۸۸/۹۴
۶	۳۸/۳۷	۸۲/۹۶	۳۹/۲۸	۹۲/۰۶	۳۸/۸۵	۸۷/۶۱
۷	۳۸/۸۶	۸۷/۸۰	۳۹/۸۳	۹۸/۱۰	۳۹/۴۹	۹۴/۲۷
۸	۳۹/۸۸	۹۸/۶۵	۳۹/۹۹	۹۹/۹۳	۳۹/۶۹	۹۶/۴۸
۹	۳۹/۷۱	۹۶/۷۶	۳۹/۹۹	۹۹/۹۹	۳۹/۸۱	۹۷/۸۲
۱۰	۳۹/۸۶	۹۸/۶۹	۳۹/۹۹	۹۹/۹۲	۳۹/۷۷	۹۷/۳۹
۱۱	۳۸/۰۳	۷۹/۹۰	۳۸/۶۴	۸۵/۷۳	۳۸/۹۱	۸۸/۲۵
۱۲	۳۷/۷۳	۷۷/۱۹	۳۹/۵۰	۹۴/۴۸	۳۹/۰۹	۹۰/۱۰
۱۳	۳۹/۱۷	۹۱/۱۲	۳۹/۸۹	۹۸/۷۳	۳۹/۷۷	۹۷/۴۴
۱۴	۳۶/۷۸	۶۹/۱۰	۳۹/۸۴	۹۸/۱۶	۳۹/۱۶	۹۰/۹۴
۱۵	۳۹/۲۶	۹۱/۹۲	۳۹/۷۷	۹۷/۴۲	۳۹/۹۰	۹۸/۸۱
۱۶	۳۸/۳۹	۸۳/۲۵	۳۹/۷۸	۸۶/۹۹	۳۹/۰۶	۸۹/۷۴

جدول ۴- نتایج تحلیل واریانس در راندمان حذف رنگ

درصد P	نسبت F	مجموع مربعات اصلاح شده	واریانس	مجموع مربعات	عامل	رنگینه
۲/۱۰	۱/۵۳	۱۳/۰۶	۱۲/۵۱	۳۷/۵۳	غلظت اولیه رنگینه	Acid Red 88
۰/۴۹	۱/۱۲	۳/۰۵	۹/۱۷	۲۷/۵۲	pH اولیه محلول	
۴۷/۷۳	۱۳/۱۳	۲۹۶/۸۱	۱۰۷/۰۹	۳۲۱/۲۸	سرعت اختلاط	
۹/۰۲	۳/۲۹	۵۶/۰۷	۲۶/۸۵	۸۰/۵۴	دز جاذب	
۴۰/۶۶	-	-	۸/۱۶	۱۵۴/۹۶	دیگر/خطا	
۱۰۰	-	-	-	۶۲۱/۸۳	کل	
۳/۹۶	۳/۸۹	۷۴/۲۴	۳۳/۳۱	۹۹/۹۴	غلظت اولیه رنگینه	Disperse Red 151
۵/۶۱	۵/۱۰	۱۰۵/۲۴	۴۳/۶۴	۱۳۰/۹۳	pH اولیه محلول	
۶۶/۱۸	۴۹/۲۹	۱۲۴۰/۸۹	۴۲۲/۱۹	۱۲۶۶/۵۸	سرعت اختلاط	
۱۰/۰۸	۸/۳۶	۱۸۹/۰۷	۷۱/۵۹	۲۱۴/۷۷	دز جاذب	
۱۴/۱۶	-	-	۸/۵۶	۱۶۲/۷۳	دیگر/خطا	
۱۰۰	-	-	-	۱۸۷۴/۹۵	کل	
۱۶/۲۰	۷/۵۷	۴۳۰/۴۴	۱۶۵/۳۲	۴۹۵/۹۶	غلظت اولیه رنگینه	Reactive Red 29
۲/۵۲	۲/۰۲	۶۶/۸۶	۴۴/۱۲	۱۳۲/۳۷	pH اولیه محلول	
۱۸/۰۰	۸/۳۰	۴۷۸/۲۵	۱۸۱/۲۶	۵۴۳/۷۷	سرعت اختلاط	
۳۷/۸۱	۱۶/۳۴	۱۰۰۴/۷۴	۳۵۶/۷۵	۱۰۷۰/۲۵	دز جاذب	
۲۵/۴۸	-	-	۲۱/۸۴	۴۱۴/۹۱	دیگر/خطا	
۱۰۰	-	-	-	۲۶۵۷/۲۶	کل	

جدول ۵- سطوح بهینه عوامل مورد مطالعه برای رسیدن به حداکثر راندمان حذف رنگ

Reactive Red 29		Disperse Red 151		Acid Red 88		عوامل قابل کنترل
مقدار سطح	سطح	مقدار سطح	سطح	مقدار سطح	سطح	
۵۰ (mg/L)	۱	۱۰۰ (mg/L)	۲	۵۰ (mg/L)	۱	غلظت اولیه رنگینه
	۲		۴		۳	pH اولیه محلول
۲۰۰ rpm	۴	۲۰۰ rpm	۴	۲۰۰ rpm	۴	سرعت اختلاط
۶ (g/L)	۳	۸ (g/L)	۴	۸ (g/L)	۴	دز جاذب

از نتایج حاصل از بهینه‌سازی سطوح مختلف عوامل مؤثر بر حذف رنگ می‌توان گفت که به‌طور کلی غلظت اولیه رنگینه در سطوح انتخاب شده در این تحقیق تأثیر چندانی بر روی حذف رنگ نداشت. عامل pH اولیه محلول به دلیل ایجاد محیط قلیایی توسط دولومیت سوخته در محلول، تأثیر ناچیزی بر روی حذف رنگ دارد. افزایش سرعت اختلاط، باعث افزایش درصد حذف رنگ خواهد شد. افزایش میزان جاذب نیز باعث افزایش جایگاههای جذب شده و درصد حذف را افزایش می‌دهد.

واکر و همکاران از دولومیت سوخته شده به مدت ۱۸ ساعت و در ۸۰۰ درجه سلسیوس، برای حذف رنگینه راکتیو Levafix Brilliant Red E-4BA در محدوده غلظتهای رنگینه اولیه بین ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، دز جاذب بین ۰/۶۳ تا ۱۰ گرم در لیتر، سرعتهای همزدن ۱۰۰ تا ۵۰۰rpm و زمان به هم

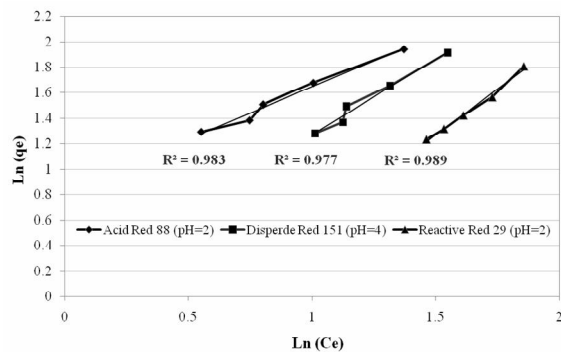
عوامل محیطی و خطای انجام آزمایش‌ها است که طبق تئوری تاگوچی باید کمتر از ۵۰ درصد باشد. نتایج ANOVA مندرج در جدول ۴ نشان می‌دهند که در همه موارد، سهم دیگر/خطا کمتر از ۵۰ درصد است. تحلیل نسبت سیگنال به نویز داده‌های جمع‌آوری شده توسط نرم افزار Qualitek-4 انجام شد و از روی نتایج آن، شرایط بهینه عوامل مورد مطالعه در حذف هر رنگینه مشخص شد که در جدول ۵ نشان داده شده است.

میانگین بزرگ<sup>۱</sup> درصدهای حذف رنگ برای رنگینه‌های Acid Red 88، Disperse Red 151 و Reactive Red 29 به ترتیب ۹۳/۵۳، ۹۴/۸۲ و ۸۹/۵۲ درصد و در شرایط بهینه به ترتیب ۹۹/۱۱، ۹۹/۹۸ و ۹۹/۲۴ درصد حاصل شد.

<sup>1</sup> Grand Average

زدن ۱۰ دقیقه استفاده نمودند و درصد حذف رنگ را در غلظت اولیه ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، دز جاذب ۱۰ گرم در لیتر و سرعت همزدن ۵۰۰ rpm بیش از ۹۰ درصد به دست آوردند [۱۱]. نتایج تحقیق ایشان مشابه نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش میزان جاذب و سرعت اختلاط، میزان حذف رنگ را افزایش می‌دهد. تخت‌کوسه از دولومیت برای حذف سرب در محدوده غلظتهای اولیه بین ۵ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، pH بین ۲ تا ۶/۵، دز جاذب بین ۱ تا ۱۰ گرم در لیتر، سرعتهای همزدن ۵۰ تا ۲۰۰ rpm و زمان به هم زدن ۲۴ ساعت استفاده کرد [۱۲]. وی نیز همانند نتایج این تحقیق مشاهده نمود که با افزایش میزان جاذب و سرعت اختلاط، میزان حذف سرب افزایش می‌یابد.

با تحلیل رگرسیون داده‌های جذب روی واحد جرم جاذب ( $q_e$ ) در مقابل غلظت تعادلی ( $C_e$ ) مشخص شد که مدل فروندلیچ<sup>۱</sup>، بهتر از مدل‌های لانگمیر<sup>۲</sup> و BET، توصیف‌کننده همدمای جذب دولومیت سوخته برای جذب رنگینه‌های مورد مطالعه است. در شکل ۱ نمودارهای همدمای جذب فروندلیچ برای هر سه نوع رنگینه و برای هر رنگینه در pH ای که در آن بیشترین ضریب تبیین ( $R^2$ ) حاصل شد، نشان داده شده است.



شکل ۱- نمودارهای ایزوترم جذب فروندلیچ برای هر رنگینه

جدول ۶- ضرایب مدل فروندلیچ برای حذف رنگ در pH های ۲، ۴ و ۶

رنگ	pH	$K_F$	$F_r$	$R^2$
Acid Red 88	۲	۱/۸۱۵	۱/۱۰۵	۰/۹۴
	۴	۲/۲۳۲	۰/۸۳۸	۰/۹۵
	۶	۲/۲۸۵	۰/۸۲۲	۰/۹۸
Disperse Red 151	۲	۱/۸۶۱	۱/۱۸۷	۰/۸۹
	۴	۱/۰۸۶	۱/۱۸۹	۰/۹۸
	۶	۱/۰۹۹	۱/۲۱۵	۰/۹۴
Reactive Red 29	۲	۰/۴۱۵	۱/۴۳۳	۰/۹۹
	۴	۰/۹۳۷	۰/۹۲۷	۰/۸۹
	۶	۰/۴۶۸	۱/۳۳۹	۰/۹۲

<sup>۱</sup> Freundlich

<sup>۲</sup> Langmuir

ضرایب  $K_F$  و  $F_r$  در مدل فروندلیچ ( $q_e = K_F C_e^{F_r}$ )، برای جذب رنگینه‌های مورد مطالعه روی دولومیت سوخته در جدول ۶ ارائه شده‌اند.

ستون آخر در جدول ۶، ضرایب تبیین ( $R^2$ ) مدل فروندلیچ برازش شده را نشان می‌دهد که حاکی از برازش خوب این مدل به داده‌های همدمای جذب برای هر سه نوع رنگینه و در همه سطوح pH است.

دافی و همکاران<sup>۳</sup> از دولومیت سوخته در ۷۵۰ تا ۸۵۰ درجه سلسیوس و به مدت ۱ تا ۸ ساعت به منظور حذف گازهای آلاینده اسیدی استفاده کردند و نشان دادند که این فرایند نیز مشابه نتایج این تحقیق از مدل همدمای جذب فروندلیچ تبعیت می‌کند [۱۴]. تخت‌کوسه نیز در جذب سرب توسط دولومیت نشان داد که فرایند از مدل همدمای جذب فروندلیچ تبعیت می‌کند [۱۲].

#### ۴- نتیجه‌گیری

از یافته‌های این تحقیق، نتایج زیر قابل استنتاج است:

۱- در شرایط بهینه، کارایی حذف رنگ توسط دولومیت سوخته برای رنگینه Acid Red 88 با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، pH اولیه ۶، سرعت اختلاط ۲۰۰ rpm و دز جاذب ۸ گرم در لیتر، برای رنگینه Disperse Red 151 با غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، pH اولیه ۴، سرعت اختلاط ۲۰۰ rpm و دز جاذب ۸ گرم در لیتر و برای رنگینه Reactive Red 29 با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، pH اولیه ۲، سرعت اختلاط ۲۰۰ rpm و دز جاذب ۶ گرم در لیتر بیش از ۹۹ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده میزان بالای حذف این سه نوع رنگینه است.

۲- در این تحقیق، اثر چهار عامل اصلی: غلظت اولیه رنگینه (در محدوده ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، pH اولیه محلول (در محدوده ۲ تا ۸)، سرعت اختلاط (در محدوده ۵۰ تا ۲۰۰ rpm) و دز جاذب اضافه شده (در محدوده ۲ تا ۸ گرم در لیتر) مورد بررسی قرار گرفتند. برای جذب رنگینه‌های Acid Red 88 و Disperse Red 151، سرعت اختلاط و برای جذب رنگینه Reactive Red 29، دز جاذب بیشترین تأثیر را در جذب رنگ روی دولومیت سوخته داشت. برای جذب رنگینه‌های Acid Red 88 و Reactive Red 29، pH اولیه محلول و برای جذب رنگینه Disperse Red 151، غلظت اولیه رنگینه تأثیر کمتری بر حذف رنگ نشان داد.

۳- به طور کلی، غلظت اولیه محلول تأثیر چندانی بر روی حذف رنگ توسط دولومیت سوخته نداشت. افزایش سرعت اختلاط به دلیل توزیع بهتر مولکول‌های رنگینه در محلول و تماس آنها با

<sup>۳</sup> Duffý et al.

جاذب و افزایش دز جاذب به دلیل افزایش جایگاههای جذب، میزان جذب را افزایش داد. اثر pH اولیه محلول، به دلیل ایجاد خاصیت قلیایی توسط دولومیت سوخته در محلول ناچیز بود. ۴- روش تاگوچی که در طرح آزمایش و تحلیل آماری این تحقیق به کار رفت، به عنوان روشی کارآمد در بهینه‌سازی و تعیین تأثیر عوامل مؤثر در آزمایش‌ها تشخیص داده شد. کاربرد این روش در

این تحقیق، سهم قابل توجهی در صرفه‌جویی هزینه و زمان و تعیین شرایط اپتیمم داشت. ۵- در شرایط تعادل برای جذب رنگینه‌های Acid Red 151.88 و Disperse Red 29، همدمای جذب فروندلیج بهترین توصیف‌کننده وضعیت تعادلی جذب توسط دولومیت سوخته بود.

## ۵- مراجع

- 1- Wang, C.C., Juang, L.C., Hsu, T.C., Lee, C.K., Lee, J.F., and Huang, F.C. (2004). "Adsorption of basic dyes onto montmorillonite." *J. Colloid Int.*, 273, 80-86.
- 2- Espantaleon, A.G., Nieto, J.A., Fernandez, M., and Marsal, A. (2003). "Use of activated clays in the removal of dyes and surfactants from tannery wastewaters." *J. Appl. Clay*, 24, 105-110.
- 3- Harris, R.G., Wells, J.D., and Johnson, B.B. (2001). "Selective adsorption of dyes and other organic molecules to kaolinite and oxide surfaces." *J. Colloid Surf A: Physicochem. Eng.*, 180, 131-140.
- 4- Adnan Özacan, E., Mine Öncü, A., and Safa Özacan. (2005). "Kinetics, isotherm and thermodynamic studies of adsorption of Acid Blue 193 from aqueous solutions onto natural sepiolite." *J. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng.*, 277, 90-97.
- 5- Phan, T.N.T., Bacquet, M., and Morcellet, M. (2000). "Synthesis and characterization of silica gels functionalized with monochlorotriazinyl beta-cyclodextrin and their sorption capacities towards organic compounds." *J. Inclusion Phenom. Macrocyclic Chem.*, 38, 345-359.
- 6- Dogan, M., and Alkan, M. (2003a). "Removal of methyl violet from aqueous solution by perlite." *J. Colloid Int.*, 267, 32-41.
- 7- Özacar, M., and Sengil, A.I. (2002). "Adsorption of acid dyes from aqueous solutions by calcined alunite and granular activated carbon." *J. Adsorption*, 8, 301-308.
- 8- Shaobin, W., Huiting, L., Sujuan, X., Shenglin, L., and Longya, X. (2005). "Physical and chemical regeneration of zeolitic adsorbents for dye removal in wastewater treatment." *J. of Chemosphere*, 65, 82-87.
- 9- Staszczuk, P., Stefaniak, E., and Dobrowolski, R. (1997). "Characterisation of thermally treated dolomite." *J. Powder Technol.*, 92, 257.
- 10- Nunn, D.M. (1979). *The dyeing of synthetic polymer and acetate fibers*, Dyers Company Pub., Trust, London.
- 11- Walker, G.M., Hansen, L., Hanna, J.A., and Allen, S.J. (2003). "Kinetics of a reactive dye adsorption onto dolomitic sorbents." *J. of Water Research*, 37, 2081-2089.
- 12- Takhtkouseh, A. (2008). "Removal of lead from aqueous solutions by dolomit wastes." M.Sc. Thesis, Dept. of Civil Eng., Isfahan University of Tech., Isfahan. (In Persian)
- 13- Roy, R. K. (2001). *Design of experiments using the taguchi approach*, John Wiley and Sons, NY.
- 14- Duffy, A., Walker, G.M., and Allen, S.J. (2006). "Investigations on the adsorption of acidic gases using activated dolomite." *J. Chemical Engineering*, 117, 239-244.