

## بررسی کارایی نانو ذرات پراکسید کلسیم در حذف ماده‌ی رنگ‌زای راکتیو قرمز ۱۹۸ از فاضلاب صنایع نساجی

محمد ملکوتیان<sup>۱</sup>، علی اسدی پور<sup>۲\*</sup>، سمیه محمدی سنجدکوه<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استاد، مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران.

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه شیمی دارویی، مرکز تحقیقات فارماسیوتیکس، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران.

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران.

\* نشانی نویسنده مسئول: کرمان، ابتدای بزرگراه هفت باغ، دانشکده داروسازی، گروه شیمی دارویی، مرکز تحقیقات فارماسیوتیکس

E-mail: aliasadipour@yahoo.com

وصول: ۹۴/۷/۱، اصلاح: ۹۴/۸/۲۳، پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۰

### چکیده

**زمینه و هدف:** یکی از بزرگترین صنایع تولیدکننده‌ی فاضلاب‌های رنگی، صنعت نساجی است. تخلیه‌ی این فاضلاب‌ها به آب‌های پذیرنده از طریق کاهش انتقال نور، کاهش اکسیژن محلول و افزایش COD زندگی آبزیان را به خطر می‌اندازد. در این تحقیق کارایی نانو ذرات پراکسید کلسیم در حذف راکتیو قرمز ۱۹۸ از فاضلاب سنتتیک و فاضلاب کارخانه نساجی یزدباف بررسی گردید.

**مواد و روش‌ها:** این تحقیق یک مطالعه‌ی تجربی است که در بهار و تابستان ۱۳۹۳ در مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان انجام شد. مشخصات نانو ذرات سنتز شده از طریق آزمایش‌های TEM و XRD تعیین گردید. آزمایش‌های جذب در سیستم ناپیوسته روی نمونه سنتتیک و واقعی انجام شد. تاثیر پارامترهای pH محلول (۳-۱۳)، غلظت اولیه رنگ (۱۰ - ۳۰۰ mg/L)، زمان تماس (۵-۹۰ دقیقه) و دوز جاذب (۵ صدم - ۶ دهم گرم) بررسی و ایزوترم‌های جذب تعیین شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه‌ی ۲۱، EXCEL2007 و ضریب همبستگی پیرسون تحلیل گردید.

**یافته‌ها:** جاذب سنتز شده دارای اشکال کروی یکنواخت با اندازه‌ی متوسط ۲۵-۱۵ نانومتر بود. pH بهینه در حذف رنگ ۳-۷، زمان تماس تعادلی ۵۰ دقیقه و مقدار بهینه‌ی جاذب ۴ دهم گرم در ۱۰۰ میلی لیتر بود. در شرایط بهینه بازدهی حذف رنگ در نمونه‌ی سنتتیک و واقعی، به ترتیب ۹۹/۵۸ و ۷۶/۱۸ درصد به دست آمد. نتایج حاصل‌شده بیشترین همبستگی را با مدل ایزوترم لانگمویر نشان داد.

**نتیجه‌گیری:** براساس نتایج پراکسید کلسیم جاذب مناسبی در حذف راکتیو قرمز ۱۹۸ می‌باشد و با توجه به سنتز آسان، می‌تواند به عنوان یک روش کاربردی در تصفیه‌ی فاضلاب‌های نساجی استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** جذب سطحی، پراکسید کلسیم، کارخانه یزدباف.

### مقدمه

می‌شود که میزان تولید سالانه‌ی آن به بیش از ۷۰۰۰۰۰ تن می‌رسد. از این میزان، ۱۰ تا ۱۵ درصد در نهایت وارد محیط می‌شود (۱-۳). رنگ‌ها به‌طور گسترده‌ای در صنایع

رنگ‌ها ترکیباتی آلی با ساختاری پیچیده هستند. بیش از ۱۰۰۰۰۰ نوع رنگ مختلف در سراسر دنیا تولید

اکسیدکننده می‌باشند، تصفیه‌ی فاضلاب‌های رنگی امری مشکل می‌باشد (۲).

فرآیندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی جهت رنگ‌زدایی این دسته از فاضلاب‌ها مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به جذب، ترسیب، تعویض یون، انعقاد - لخته‌سازی، اکسیداسیون پیشرفته، ازن زنی، فیلتراسیون غشایی و استخراج مایع - مایع اشاره کرد (۴، ۱۰-۱۳).

در این میان روش جذب به دلیل بهره‌برداری آسان، هزینه‌ی سرمایه‌گذاری پایین، عدم حساسیت به مواد سمی، توانایی تصفیه‌ی فرم‌های غلیظ‌شده‌ی رنگ و امکان استفاده‌ی مجدد از جاذب از طریق احیاء، به‌عنوان یک تکنیک موثر برای رنگ‌زدایی فاضلاب به کار رفته است (۲، ۱۱، ۱۴). هر چند معایبی از جمله: "نیاز به اصلاح شیمیایی جاذب، غیر مخرب بودن فرآیند (ماده‌ی آلاینده در نهایت از بین نمی‌رود)، کاهش خصوصیات جاذب در نتیجه‌ی احیاء و استفاده‌ی مجدد از آن نیز برای این تکنیک مطرح می‌باشد (۲). انواع مختلفی از جاذب‌های طبیعی و سنتتیک در حذف رنگ مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در این بین جاذب‌هایی با اندازه‌ی نانو به دلیل برخورداری از مساحت سطح کافی و عملکرد بهتر در مقایسه با ذرات میکرون تا زیر میکرون بیشتر مورد توجه هستند (۱۱).

رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ (Reactive Red 198) از نظر ساختاری جزء رنگ‌های مونو آزوست که در حال حاضر در صنایع نساجی داخل کشور کاربرد گسترده‌ای دارد (۹). ویو در سال ۲۰۰۸ در تایوان، تجزیه‌پذیری ماده‌ی رنگ‌زای راکتیو قرمز ۱۹۸ را با استفاده از فرآیند ازن زنی کاتالیتیکی در حضور نانو کریستال MgO مورد بررسی قرارداد (۱۵). مطالعه‌ی دتوی و همکاران در سال ۲۰۰۹ در هند، تجزیه‌ی نوری راکتیو قرمز ۱۹۸ را بر روی سطح TiO<sub>2</sub> مورد ارزیابی قرار داد (۱۶). در مطالعه‌ی دیگری که توسط فرجی و همکاران در سال ۲۰۱۰ در ایران انجام

نساجی، تولید کاغذ و خمیر چوب، آب‌کاری فلزات، مواد غذایی، تولید پلاستیک و لاستیک، تولید چرم، لوازم آرایشی و داروسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲، ۴، ۵). در این میان صنعت نساجی به عنوان یکی از بزرگترین صنایع مصرف‌کننده‌ی آب با تولید فاضلاب رنگی و با غلظت ۲۰۰-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر یکی از بزرگترین صنایع تولید رنگ به حساب می‌آید (۶). رنگ‌ها بر اساس ترکیب شیمیایی و کاربردشان به انواع گوناگونی تقسیم می‌شوند (۷). براساس ساختار شیمیایی رنگ‌ها به ۲۰-۳۰ گروه تقسیم می‌گردند که مهم‌ترین آن‌ها آزو (azo)، آنتروکویینین (anthraquinone) و فتالوسیانین (phthalocyanine) هستند (۸). رنگ‌های آزو بزرگترین و مهم‌ترین گروه رنگ‌ها هستند که مشخصه‌ی آن‌ها وجود یک و یا بیش از یک گروه آزو (-N=N-) است که بین ساختارهای حلقوی آن‌ها ارتباط ایجاد می‌کند (۲). رنگ‌های مورد استفاده در صنایع نساجی در سه کلاس اصلی آنیونی (دایرکت، راکتیو، اسیدی)، کاتیونی (رنگ‌های بازی) و غیریونی رنگ‌های دیسپرس (Disperse)) تقسیم بندی می‌شوند (۲). رنگ‌های راکتیو، سولفوناته و بسیار محلول در آب بوده و جذب آن‌ها بر روی توده‌های بیولوژیکی ضعیف است و به روش‌های هوازی تجزیه نمی‌شوند (۹).

تخلیه‌ی پساب‌های حاوی مواد رنگی به آب‌های پذیرنده می‌تواند از طریق کاهش میزان انتقال نور، کاهش میزان اکسیژن محلول و افزایش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) زندگی آبزیان را به خطراندازد (۱۰). براساس یافته‌های محققان ترکیبات آروماتیک برخی از رنگ‌ها می‌تواند به تولید آمین سرطان‌زا و جهش‌زا منجر شود. همچنین به دلیل قابل رویت بودن مقادیر اندک رنگ در آب (۱ میلی‌گرم در لیتر)، نوعی آلودگی زیبایی شناختی نیز محسوب می‌شود (۲، ۱۰).

از آنجایی که رنگ‌ها مولکول‌هایی غیر قابل تجزیه، مقاوم به هضم هوازی و پایدار در برابر نور، گرما و عوامل

گردید. پلی اتیلن گلیکول ۲۰۰ (PEG 200) مورد استفاده نیز از شرکت Sharlau خریداری شد. در تمام مراحل آزمایش تنظیم pH با استفاده از محلول اسید کلریدریک ادهم نرمال و یا هیدروکسید سدیم ادهم نرمال انجام شد. جهت تعیین غلظت رنگ در نمونه‌ها دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-VIS مدل UV-1800 ساخت شرکت SHIMADZU در طول موج ۵۱۸ نانومتر مورد استفاده قرار گرفت. در همه آزمایش‌ها pH با استفاده از دستگاه pH متر مدل Hanna 211 اندازه‌گیری شد. جهت تعیین خصوصیات جاذب از نظر ریخت‌شناسی، اندازه و توزیع ذرات از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM: Transmission Electron Microscopy) مدل LEO912-AB و جهت شناسایی و تعیین ترکیب شیمیایی نانوذرات از دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD: X-Ray Diffraction) مدل X-Pert Philips استفاده شد.

سنتز نانو ذرات پراکسید کلسیم طبق روش ذیل انجام شد (۲۰): ۳ گرم کلرید کلسیم در ۳ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد. ۱۵ میلی‌لیتر محلول آمونیاک (۱ مولار) و ۱۲۰ میلی‌لیتر پلی اتیلن گلیکول ۲۰۰ به محلول در حال اختلاط، اضافه شد. سپس ۱۵ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰٪ (سه قطره در دقیقه) به مخلوط اضافه گردید. مراحل آماده‌سازی جاذب در دمای اتاق در یک ظرف شیشه‌ای ۲۵۰ میلی‌لیتری که به‌طور مداوم و با سرعت ثابت در حال اختلاط بود، انجام شد. بعد از ۲ ساعت اختلاط یک محلول شفاف و بی‌رنگ متمایل به زرد به‌دست آمد. محلول NaOH تا به‌دست آمدن pH ۱۳ به محلول اضافه شد که نتیجه‌ی آن تولید سوسپانسیون سفید رنگ بود. پس از ته نشینی، رسوب سفید رنگ به‌وسیله‌ی کاغذ صافی، جدا و بعد از آن سه بار با محلول NaOH و دو مرحله با آب مقطر شسته شد تا pH برابر ۸/۴ برای آب خروجی به‌دست آمد. این رسوب به مدت ۲ ساعت در آون ۸۰ درجه سانتی‌گراد، خشک و بعد از خشک شدن در هاون چینی خرد شد.

شد استفاده از نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده با سورفکتانت کاتیونی (ستیل‌تری متیل آمونیوم) به‌عنوان جاذبی برای حذف رنگ‌های راکتیو بلاک ۵، راکتیو قرمز ۱۹۸ و راکتیو آبی ۲۱ مورد بررسی قرار گرفت (۱۷). در مطالعه‌ی اسماعیلی و همکارش در سال ۲۰۱۲ در ایران، تجزیه راکتیو قرمز ۱۹۸ با استفاده از قارچ اسپرژیلوس فلاووس بررسی شد (۱۸). دبرسی و همکاران در سال ۲۰۱۲ در برزیل، استفاده از ذرات چیتوسان -N- لوریل را در حذف راکتیو قرمز ۱۹۸ مورد بررسی قرار دادند (۱۹).

این مطالعه با هدف بررسی بازده حذف ماده‌ی رنگ‌زای راکتیو قرمز ۱۹۸ از محلول‌های آبی توسط نانو ذرات پراکسید کلسیم انجام شد. در این راستا اثر پارامترهای مختلف pH اولیه محلول، غلظت اولیه رنگ، دوز جاذب و زمان تماس به منظور بهینه نمودن شرایط حذف مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه‌ی سنتتیک-های جذب و مدل‌های ایزوترم جذب لانگمویر و فروندلیچ انجام‌گردید. همچنین کارایی این جاذب در حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از فاضلاب کارخانه‌ی یزدیاب بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق یک مطالعه‌ی تجربی است که در بازه-ی زمانی بهار و تابستان ۹۳ در مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان انجام شد. این مطالعه ابتدا روی محلول سنتتیک و پس از تعیین شرایط بهینه روی فاضلاب کارخانه‌ی یزدیاب انجام شد. رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ مورد استفاده در این مطالعه از کارخانه‌ی الوان ثابت تهیه گردید. ویژگی‌های این رنگ در جدول ۱ آورده شده‌است. بقیه‌ی مواد مورد استفاده شامل کلسیم کلراید (۹۹/۵٪)، محلول آب اکسیژنه (۳۵٪)، آمونیاک (۲۵٪)، هیدروکسید سدیم و اسید کلریدریک از شرکت مرک آلمان تهیه

رابطه‌ی ۳ به دست آمد.

$$\text{Removal rate \%} = \frac{C_0 - C_t}{C_t} \times 100 \quad (3)$$

که در آن  $C_0$  و  $C_t$  به ترتیب نشان‌دهنده‌ی غلظت اولیه‌ی رنگ و غلظت رنگ در زمان  $t$  بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. به منظور مطالعه‌ی ایزوترم‌های جذب، مدل‌های ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ مورد بررسی قرار گرفت. شرایط بهینه‌ی به دست آمده، روی نمونه‌ی واقعی کارخانه‌ی نساجی یزدباف نیز، انجام و بازدهی حذف محاسبه گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ی فاضلاب کارخانه‌ی یزدباف به شرح ذیل می‌باشد: اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، ۱۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، کدورت ۶۴۰ واحد ان تی یو، pH ۱۱، کل جامدات معلق (TSS) ۲۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت رنگ در طول موج ۵۱۸ نانومتر ۲۲ میلی‌گرم بر لیتر و هدایت الکتریکی (EC) ۴۸۴۰ میکروزیمنس بر سانتی متر.

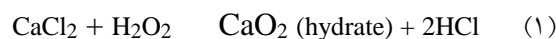
تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱، 2007 EXCEL و تعیین سطح معناداری با استفاده از تست پیرسون انجام شد.

## یافته‌ها

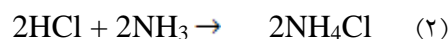
**خصوصیات نانو ذرات سنتز شده:** جهت تعیین ریخت‌شناسی، اندازه و توزیع نانو ذرات پراکسید کلسیم سنتز شده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استفاده شد (شکل ۱). با توجه به شکل ۱ نانو ذرات سنتز شده دارای اشکال کروی یکنواخت با اندازه‌ی متوسط ۲۵-۱۵ نانومتر می‌باشد. این ذرات نانو کریستالی با تراکم کم و توزیع اندازه‌ای متوسط مشاهده می‌شوند. نمودار ۲ نیز الگوی XRD جاذب سنتز شده را نشان می‌دهد. طیف XRD جاذب سنتز شده مطابق با XRD پراکسید کلسیم استاندارد (ICDD Card=03-0865) می‌باشد.

**تاثیر pH محلول:** جهت تعیین اثر pH به عنوان یک فاکتور مهم روی حذف رنگ RR198 با استفاده از

در این مطالعه تکنیک سنتز بر اساس ترسیب پراکسید نامحلول با اضافه کردن پراکسید هیدروژن طبق واکنش ۱ است:



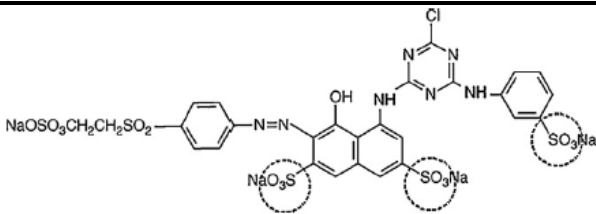
اضافه کردن آمونیاک و در نتیجه آن خنثی‌سازی اسید کلریدریک واکنش را به سمت تولید رسوب پراکسید هدایت می‌کند (واکنش ۲):

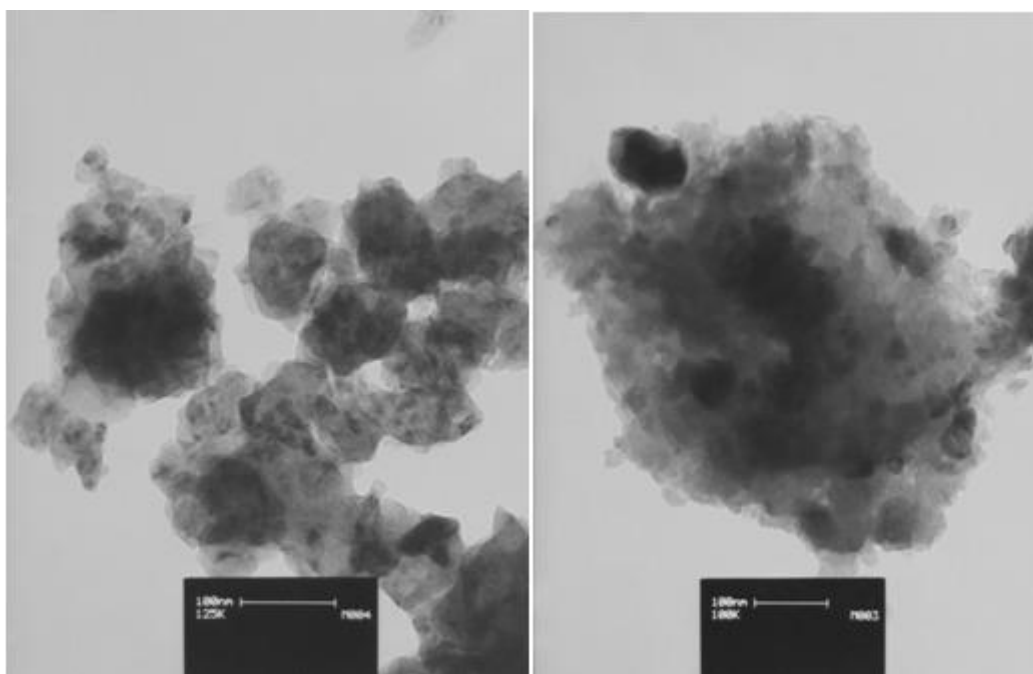


محلول استوک از رنگ مورد نظر با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تهیه شد. غلظت‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از محلول استوک جهت ترسیم منحنی استاندارد ساخته شد. برای تعیین غلظت‌های مجهول رنگ از این منحنی استفاده گردید. کلیه آزمایش‌ها در دمای محیط و در بشرهای ۲۰۰ میلی‌لیتری صورت گرفت. حجم نمونه ۱۰۰ میلی‌لیتر و غلظت رنگ آن ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. فاکتورهای موثر بر جذب شامل pH (۳، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۱ و ۱۳)، زمان تماس (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ دقیقه)، غلظت اولیه‌ی رنگ (۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و میزان جاذب (۵ صدم و ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ دهم گرم) بررسی شدند. در طول زمان واکنش محتویات ظرف به وسیله‌ی یک همزن مغناطیسی با سرعت حدود ۲۰۰ دور در دقیقه، هم زده و پس از اتمام زمان واکنش به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس غلظت رنگ باقیمانده با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۱۸ نانومتر اندازه‌گیری شد. به منظور حصول اطمینان از صحت نتایج، کلیه آزمایش‌ها به صورت سه بار تکرار، انجام و از میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده استفاده گردید.

به منظور تعیین میزان تاثیر پارامترهای مختلف بر بازدهی حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ توسط نانو ذرات سنتز شده، کارایی فرآیند در هر مرحله از آزمایش از

جدول ۱: مشخصات رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸

ساختار شیمیایی	
	
منوآزو	نوع رنگ
$C_{27}H_{18}C_1N_7Na_4O_{15}S_5$	فرمول شیمیایی
۹۶۷/۵	وزن مولکولی (g/mol)
۵۱۸	طول موج حداکثر جذب (nm)
Remazol Red 133	نام تجاری
۱۸۲۲۱	C.I.number

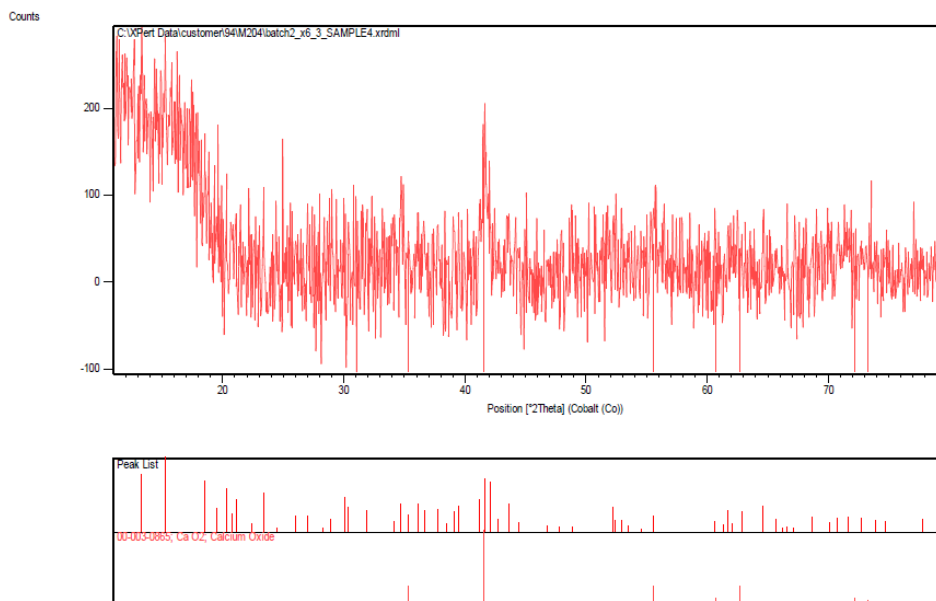


شکل ۱: تصویر TEM از نانوذرات پراکسید کلسیم سنتز شده

جذب، pH با بازدهی حذف دارای رابطه‌ی معناداری می- باشد (Pv=0.010).

**تاثیر زمان تماس:** حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ با استفاده از پراکسید کلسیم در زمان‌های تماس ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ دقیقه، در pH برابر ۷، برای غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رنگ و ۴دهم گرم پراکسید کلسیم بررسی شد. براساس نتایج و با افزایش زمان تماس، ظرفیت جذب و بازدهی حذف افزایش یافت و بعد از رسیدن به زمان تعادل (۵۰ دقیقه) تقریباً ثابت

نانو ذرات  $CaO_2$ ، ۱۰۰ میلی لیتر محلول رنگی با غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در pH های ۳، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۱ و ۱۳ به مدت ۶۰ دقیقه در تماس با ۴دهم گرم جذب قرارگرفت. نتایج نشان‌داد با افزایش pH از ۳ به ۱۳ بازدهی حذف از ۹۵/۸۸ درصد به ۶۱/۵۱ درصد کاهش یافت. با توجه به این‌که با افزایش pH از ۳ به ۷ بازدهی حذف کاهش چندانی نداشت (از ۹۵/۸۸ درصد به ۹۴/۹۱ درصد)، pH معادل ۷ به‌عنوان pH بهینه در آزمایش‌های بعدی در نظرگرفته شد. تحلیل آماری نشان داد در فرآیند



نمودار ۲: الگوی XRD نانوذرات پراکسید کلسیم سنتز شده

جدول ۲: پارامترهای ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ برای جذب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ توسط نانو جاذب پراکسید کلسیم

مدل ایزوترم	پارامتر	پارامتر	پارامتر
لانگمویر	$R^2$ (ضریب همبستگی)	b (ثابت تعادل جذب)	$q_m$ (حداکثر ظرفیت جذب در زمان تعادل)
	۰/۹۵۳	۰/۱۴۵	۵۸۸/۲۸۵
فروندلیچ	$R^2$ (ضریب همبستگی)	$K_F$ (ثابت مدل فروندلیچ)	$n$ (ثابت مدل فروندلیچ)
	۰/۹۱۸	۱۰۴/۴۲۴	۲/۴۰۵

جدول ۳: پارامترهای سنتیک شبه درجه اول و شبه درجه دوم برای جذب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ روی نانو جاذب پراکسید کلسیم

سنتیک جذب	پارامتر	پارامتر	پارامتر
سنتیک شبه درجه اول	$K_1$	$q_e$	$R^2$
	۰/۰۲۳	۹۷/۸۹۲	۰/۹۱۴
سنتیک شبه درجه دوم	$K_2$	$q_e$	$R^2$
	۰/۰۰۱	۲۵۰	۰/۹۹۹

۹۹/۵۸ درصد حاصل شد. با توجه به اختلاف بین بازدهی حذف در دوزهای مختلف جاذب، دوز ۴دهم گرم در ۱۰۰ میلی لیتر به عنوان دوز بهینه قابل قبول می باشد، اما ظرفیت جذب با افزایش دوز جاذب روندی کاهشی داشت. با توجه به آنالیز آماری صورت گرفته رابطه بین دوز جاذب و ظرفیت جذب ( $P_v=0.001$ ) و دوز جاذب و بازدهی حذف ( $P_v=0.001$ ) رابطه‌ی معناداری می باشد.

**تاثیر غلظت اولیه رنگ:** در این مرحله ۱۰۰ میلی-لیتر از محلول رنگی با غلظت‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر در pH برابر ۷ به مدت

شد. بررسی آماری نشان داد رابطه‌ی بین زمان تماس (تا زمان تماس تعادلی) با بازدهی حذف و رابطه‌ی بین زمان تماس (تا زمان تماس تعادلی) با ظرفیت جذب رابطه‌ی معناداری می باشد ( $P_v=0.001$ ).

**تاثیر دوز جاذب:** با افزایش جرم پراکسید کلسیم از ۵ صدم گرم به ۶ دهم گرم در ۱۰۰ میلی لیتر محلول رنگی با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر در زمان تماس تعادلی (۵۰ دقیقه) و در pH معادل ۷ بازدهی حذف از ۳۰/۹۹ درصد به ۹۹/۵۸ درصد افزایش یافت. بازدهی حذف در دوز جاذب ۴، ۵ و ۶ دهم گرم به ترتیب برابر ۹۶/۷۴، ۹۸/۲۴ و

تعادلی) نسبت به ایزوترم جذب مدل فروندلیچ با ضریب همبستگی (ضریب تعیین)  $R^2=0.918$  (همبستگی بین غلظت تعادلی رنگ در محلول و ظرفیت جذب جاذب) پیروی می‌کند. پارامترهای حاصل از مدل‌های ایزوترم جذب در جدول ۲ آورده شده است.

#### مطالعه‌ی سنتیک جذب سطحی: برای ارزیابی

سنتیک جذب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸، داده‌های حاصل با معادله‌های شبه درجه‌ی اول و دوم مطابقت داده شد (روابط ۶ و ۷) (۲۱).

معادله‌ی شبه درجه‌ی اول:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - k_1 t \quad (6)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad \text{معادله‌ی شبه درجه‌ی دوم:} \quad (7)$$

که در آن  $q_e$  ظرفیت جذب جاذب در زمان تعادل  $(\text{mg/g})$ ،  $q_t$  ظرفیت جذب جاذب در زمان  $t$   $(\text{mg/g})$  و  $k_1$ ،  $k_2$  مقادیر ثابت هستند. براساس نتایج، حذف رنگ مورد نظر از سنتیک شبه درجه‌ی دوم با ضریب همبستگی (ضریب تعیین)  $R^2=0.999$  پیروی می‌کند. نتایج حاصل از بررسی سنتیک شبه درجه‌ی اول و دوم در جدول ۳ ذکر شده است.

#### بازدهی حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در نمونه

واقعی: بازدهی حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از فاضلاب کارخانه‌ی یزدباف در شرایط بهینه (pH معادل ۷، مقدار ۴ دهم گرم پراکسید کلسیم در ۱۰۰ میلی لیتر و زمان ۵۰ دقیقه) ۷۶/۱۸ درصد گزارش شد.

### بحث

**تاثیر pH:** از آنجا که pH محلول بر بار سطحی جاذب، درجه‌ی یونیزاسیون آلاینده‌های مختلف، جداسازی گروه‌های کاربردی بر روی سایت‌های فعال جاذب تاثیرگذار است، لذا نقش مهمی در فرآیند جذب ایفا می‌کند (۲۲). نتایج نشان داد که جاذب مورد بررسی

۵۰ دقیقه در تماس با ۴ دهم گرم جاذب قرارگرفت. با افزایش غلظت اولیه‌ی رنگ از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بازدهی حذف از ۹۹ درصد به ۷۷/۸۷ درصد کاهش یافت. از نظر آماری بین بازدهی حذف و غلظت رنگ رابطه‌ی معناداری وجود دارد ( $Pv=0.000$ ). از طرف دیگر با افزایش غلظت اولیه‌ی رنگ از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ظرفیت جذب جاذب از ۲۴/۷۵ میلی‌گرم بر گرم به ۵۸۴/۰۶۲ میلی‌گرم بر گرم افزایش داشت. ظرفیت جذب با غلظت اولیه‌ی رنگ از نظر آماری رابطه‌ی معناداری دارد ( $Pv=0.000$ ).

مطالعه‌ی مدل‌های ایزوترم جذب: در این مطالعه، مدل‌های ایزوترم جذب لانگمویر و فروندلیچ مورد بررسی قرار گرفتند. رابطه‌ی ۴ مدل ایزوترم فروندلیچ را نشان می‌دهد:

$$(\epsilon) \log q_e = \log k_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

که در آن  $q_e$  مقدار رنگ جذب شده به ازای واحد جرم جاذب  $(\text{mg/g})$ ،  $C_e$  غلظت تعادلی رنگ در محلول  $(\text{mg/l})$ ،  $K_f$  و  $n$  ثابت‌های فروندلیچ هستند که از طریق رسم نمودار  $\log q_e$  در مقابل  $\log C_e$  به دست می‌آید. رابطه‌ی ۵ معادله لانگمویر را نشان می‌دهد: (۵)

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b q_m} + \frac{C_e}{q_m}$$

که در آن  $q_e$  مقدار رنگ جذب شده به ازای واحد جرم جاذب  $(\text{mg/g})$ ،  $C_e$  غلظت تعادلی رنگ در محلول  $(\text{mg/l})$ ،  $q_m$  حداکثر مقدار ماده‌ی جذب شونده روی جاذب در زمان تعادل (حداکثر ظرفیت جذب)  $(\text{mg/g})$  و  $b$  ثابت لانگمویر است که از طریق رسم نمودار  $C_e/q_e$  در مقابل  $C_e$  به دست می‌آید.

با توجه به نتایج بدست آمده حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ توسط نانو جاذب پراکسید کلسیم از ایزوترم جذب مدل لانگمویر با ضریب همبستگی (ضریب تعیین)  $R^2=0.953$  (همبستگی بین غلظت تعادلی رنگ در محلول و نسبت بین غلظت تعادلی و حداکثر ظرفیت جذب

۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ دقیقه به ترتیب برابر ۷۹/۳۶، ۸۱/۲۵، ۸۶/۷۳، ۹۲/۱۷، ۹۵/۰۵، ۹۵/۸۶ و ۹۵/۹۴ و ۹۶/۲ درصد و ظرفیت جذب به ترتیب معادل ۱۹۸/۴، ۲۰۳/۱۲۵، ۲۱۶/۸۲۵، ۲۳۰/۴۲۵، ۲۳۷/۶۲۵، ۲۳۹/۶۵ و ۲۳۹/۸۵ میلی گرم بر گرم حاصل شد. در ابتدا و در مراحل اولیه‌ی جذب شمار زیادی از سایت‌های سطحی برای انجام جذب در دسترس بوده و بدین دلیل بیش از ۸۵ درصد بازدهی حذف طی ۳۰ دقیقه اول حاصل شد. نتایج مطالعات قانعیان و همکارانش در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ در ایران با موضوع حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ به ترتیب با استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیم، پودر استخوان ماهی مرکب و پودر هسته انار و مطالعه‌ی بذرافشان و همکارانش در سال ۲۰۱۲ در ایران با هدف حذف رنگ مورد نظر به وسیله‌ی خاکستر حاصل از زائدات پسته و مطالعه‌ی ززولی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ در ایران با موضوع بررسی میزان جذب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ با استفاده از گل قرمز فعال شده، تاییدکننده‌ی نتایج مطالعه‌ی حاضر می باشد (۲۲-۲۴، ۲۶، ۲۷).

#### تاثیر جرم جذب: بررسی اثر جرم جذب و تعیین

جرم بهینه‌ی جذب مورد استفاده در فرآیندهای جذب یکی از مهمترین مسائلی است که باید مورد توجه قرارگیرد. در این مطالعه با افزایش میزان جذب از ۵ صدم گرم به ۶ دهم گرم، بازدهی حذف از ۳۰/۹۹ به ۹۹/۵۸ درصد افزایش و ظرفیت جذب از ۶۱۹/۸۴ به ۱۶۵/۹۷ میلی گرم بر گرم کاهش یافت. در دوزهای جذب ۲، ۳، ۴ و ۵ دهم گرم بازدهی حذف به ترتیب ۶۵/۵۲۲، ۸۷/۰۴۸، ۹۶/۷۴۲ و ۹۸/۲۳۶ درصد و ظرفیت جذب به ترتیب ۳۲۷/۶۱، ۲۹۰/۱۶، ۲۴۱/۸۵۵ و ۱۹۶/۴۷۲ میلی گرم بر گرم بدست آمد. در واقع با افزایش میزان جذب به دلیل افزایش نسبت جذب به رنگ و به عبارتی افزایش سطح و محل‌های جذب، درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد. اما از طرفی دیگر، ظرفیت جذب به دلیل این که کل

در محدوده‌ی pH اسیدی بالاترین بازده را دارد. به طوری- که با افزایش pH از ۳ به ۷ بازدهی حذف کاهش چندانی نداشت (از ۹۵/۸۸ درصد به ۹۴/۹۱ درصد)، اما با افزایش بیشتر pH به ۱۳ بازده به ۶۱/۵۱ درصد کاهش یافت. رنگ مورد بررسی به دلیل وجود گروه‌های سولفیت در فرم آنیونی است (۱۷). با توجه به نتایج می‌توان نتیجه‌گیری کرد که پراکسید کلسیم از جمله جاذب‌هایی است که  $pH_{zpc}$  (zero point charge) آن کمی بیشتر از ۷ می باشد و در این صورت در  $pH > pH_{zpc}$  ( $pH < 7$ ) دارای بار سطحی مثبت بوده و با توجه به ماهیت آنیونی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸، هم نیروی جاذبه‌ی الکترواستاتیک بین جاذب و آلاینده و هم بازده حذف افزایش می‌یابد و برعکس در  $pH < pH_{zpc}$  ( $pH > 7$ ) دارای بار سطحی منفی بوده و با افزایش نیروی دافعه الکترواستاتیک بین جاذب و آلاینده بازدهی حذف کاهش می‌یابد. نتایج به دست آمده با نتایج زارعی و همکاران در سال ۲۰۱۲ در ایران با موضوع آماده سازی ترکیب کربن فعال - پلی آنیلین جهت حذف راکتیو قرمز ۱۹۸ ( $pH=3$ )، دواتا و همکاران در سال ۲۰۰۹ در هند با هدف جذب رنگ راکتیو قرمز روی سطح  $TiO_2$  ( $pH=3$ )، فرجی و همکاران در سال ۲۰۱۰ در ایران با موضوع استفاده از نانوذرات مغناطیسی پوشیده شده با ستیل تری متیل آمونیوم بروماید جهت حذف رنگ‌های راکتیو ( $pH=3$ )، بذرافشان و همکاران در سال ۲۰۱۲ در ایران با هدف حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ با استفاده از خاکستر زائدات پسته ( $pH=2$ )، قانعیان و همکاران در سال ۲۰۱۰ در ایران با موضوع جذب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ با استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیم ( $pH=4$ ) مطابقت دارد (۲۳-۲۵، ۱۷، ۱۶).

#### تاثیر زمان تماس: با افزایش زمان تماس از ۵ به

۹۰ دقیقه بازدهی حذف از ۷۱/۵۴ درصد به ۹۶/۵۱ درصد و ظرفیت جذب از ۱۷۸/۸۵ به ۲۴۱/۲۷۵ میلی گرم بر گرم افزایش یافت و بعد از رسیدن به زمان تعادل (۵۰ دقیقه) تقریباً ثابت ماند. بازده حذف برای زمان‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰،



خود افزایش ظرفیت جذب می‌گردد. در این راستا نتایج مشابهی توسط قانعیان و همکارانش در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ در ایران که به بررسی حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ به‌ترتیب با استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیم، پودر استخوان ماهی مرکب و پودر هسته‌ی انار پرداختند و اصیلیان و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در ایران که حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ را از طریق جذب روی لجن حاصل از فرآیند انعقاد تصفیه‌خانه‌ی آب مورد مطالعه قراردادند، گزارش شده است (۲۴، ۲۶-۲۸).

**ایزوترم جذب:** معادله‌ی ایزوترم‌ها می‌تواند توصیف‌کننده‌ی چگونگی وقوع واکنش بین جذب‌شونده با ماده‌ی جذب باشد. به‌عبارتی دیگر معادله‌ی ایزوترم نشان‌دهنده‌ی ارتباط بین غلظت رنگ در محلول و مقدار رنگ جذب شده بر سطح جذب، در شرایطی که هر دو فاز در حال تعادل با یکدیگر قراردارند، می‌باشد (۲۳). در این مطالعه، مدل‌های ایزوترم جذب لانگمویر و فروندلیچ مورد بررسی قرارگرفتند. نتایج حاصل از جذب راکتیو قرمز ۱۹۸ بر روی جاذب پراکسید کلسیم با مدل لانگمویر با ضریب همبستگی  $R^2=0.953$  نتایج بهتری را نسبت به مدل فروندلیچ نشان داد. مدل ایزوترم لانگمویر برای جذب سطحی تک لایه بر روی سطحی حاوی تعداد محدودی از سایت‌های جذب یکسان و مشابه صحیح می‌باشد (۲۳).

با توجه به نتایج گزارش شده توسط اصیلیان و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در ایران در زمینه‌ی حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ با استفاده از لجن حاصل از انعقاد تصفیه‌خانه‌ی آب، دوآ و همکارانش در سال ۲۰۰۹ در هند با موضوع حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ با استفاده از  $TiO_2$  فرجی و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در ایران با هدف حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ با استفاده از نانو ذرات مغناطیسی پوشیده شده با ستیل تری متیل آمونیوم بروماید و موسوی و همکارش در سال ۲۰۰۹ در ایران با هدف استفاده از نانو ذرات  $MgO$  در حذف رنگ راکتیو

نقاط فعال سطح جاذب به‌طور کامل مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، کاهش می‌یابد. روند مشابهی درخصوص این موضوع در مطالعات قانعیان و همکارانش در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ در ایران با موضوع بررسی کارایی نانو ذرات دی اکسید تیتانیم و پودر استخوان ماهی مرکب در حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸، بذرافشان و همکارانش در سال ۲۰۱۲ در ایران با هدف رنگ‌زدایی راکتیو قرمز ۱۹۸ به‌وسیله‌ی خاکستر حاصل از زایدات پسته، ززولی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ در ایران در زمینه‌ی جذب راکتیو قرمز ۱۹۸ از محلول‌های آبی با استفاده از گل قرمز فعال شده و اصیلیان و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در ایران با موضوع استفاده از لجن حاصل از فرآیند انعقاد تصفیه‌خانه‌ی آب در جذب راکتیو قرمز ۱۹۸ گزارش شده است (۲۲-۲۴، ۲۷، ۲۸).

#### تاثیر غلظت اولیه‌ی رنگ: غلظت اولیه‌ی رنگ،

فراهم‌کننده‌ی نیروی محرکه‌ی قابل ملاحظه جهت غلبه بر کل مقاومت حاصل از انتقال جرم رنگ بین فازهای جامد و مایع است و این یکی از عواملی است که میزان جذب را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۲۳). در این مطالعه با افزایش غلظت رنگ از ۱۰ به ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر بازدهی حذف با یک روند کاهشی به ترتیب ۹۹، ۹۹/۲۶، ۹۴/۰۴، ۸۹/۰۹، ۸۲/۳۸، ۸۰/۵۲ و ۷۷/۸۷ درصد و ظرفیت جذب رنگ با یک روند افزایشی به ترتیب ۲۴/۷۵، ۱۲۴/۰۸، ۲۳۵/۱۰، ۳۳۴/۱۰، ۴۱۱/۹۰، ۵۰۳/۲۳ و ۵۸۴/۰۶۲ میلی‌گرم بر گرم محاسبه شد. با افزایش غلظت اولیه‌ی رنگ در یک جرم جاذب ثابت میزان سطح فعال در دسترس برای جذب ثابت مانده، اما تعداد مول‌های آلاینده موجود در محیط واکنش، افزایش و در نتیجه بازدهی حذف کاهش می‌یابد. از طرفی دیگر با افزایش غلظت اولیه‌ی رنگ نیروی انتقال جرم افزایش یافته و این پدیده بر نیروی مقاومت کننده در برابر جذب غلبه کرده و باعث ایجاد نیروی رانش قابل توجهی جهت انتقال آلاینده از فاز مایع به سطح مشترک جاذب - مایع می‌شود و این امر موجب

کننده‌های موجود، بازدهی حذف در فاضلاب واقعی (۷۶/۱۸ درصد) کمتر از نمونه‌ی سنتتیک (۹۹/۵۸ درصد) می‌باشد.

بر اساس نتایج حاصل‌شده و با توجه به بازدهی به‌دست آمده برای جاذب مورد بررسی و سنتز آسان این جاذب می‌توان از آن جهت تصفیه‌ی فاضلاب‌های رنگی استفاده نمود. همچنین می‌توان کاربرد آن را در حذف سایر مواد آلی موجود در محیط‌های آبی پیشنهاد نمود.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی بهداشت محیط می‌باشد که به شماره طرح ۹۳۳۸۱ زیر نظر مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان و با حمایت معاونت تحقیقات و فناوری این دانشگاه انجام یافته است. بدین‌وسیله نویسندگان از مساعدت‌های آنان که هموارکننده‌ی انجام این پژوهش بوده‌اند، سپاسگزاری می‌کنند.

قرمز ۱۹۸، حذف رنگ مورد نظر از مدل ایزوترم لانگمویر پیروی می‌کند. (۲۸، ۱۷، ۱۶، ۶).

**سنتتیک جذب:** به منظور بررسی مکانیسم جذب راکتیو قرمز ۱۹۸ روی جاذب پراکسید کلسیم نتایج حاصل‌شده با معادلات شبه درجه‌ی اول و دوم بررسی شدند. براساس نتایج جذب رنگ مورد نظر روی جاذب پراکسید کلسیم از معادله‌ی شبه درجه‌ی دوم با ضریب همبستگی  $R^2=0.999$  پیروی می‌کند. این نتیجه با یافته‌های سایر محققان از جمله موسوی و همکارش در سال ۲۰۰۹ در ایران با هدف حذف رنگ راکتیو بلو ۱۹ و راکتیو قرمز ۱۹۸ با استفاده از نانو ذرات MgO، فرجی و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در ایران با موضوع بررسی نانو ذرات مغناطیسی پوشیده با ستیل تری متیل آمونیوم بروماید به‌عنوان جاذب کارآمد در حذف رنگ‌های راکتیو از فاضلاب صنایع نساجی و ساقی و همکارانش در سال ۲۰۱۲ در ایران با هدف بررسی کارایی لجن فعال خشک شده در حذف رنگ راکتیو نارنجی 3R مطابقت دارد (۶، ۲۹، ۱۷).

بازده در نمونه‌ی واقعی: به دلیل وجود مداخله-

### References

1. Iram M, Guo C, Guan Y, Ishfaq A, Liu H. Adsorption and magnetic removal of neutral red dye from aqueous solution using  $Fe_3O_4$  hollow nanospheres. *Journal of hazardous materials*. 2010;181(1):1039-50.
2. Nidheesh PV, Gandhimathi R, Ramesh ST. Degradation of dyes from aqueous solution by Fenton processes: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013;20(4):2099-132.
3. Leili M, Ramavandi B. The efficiency evaluation of activated carbon prepared from date stones for removal of methylene blue dye from aqueous solutions. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*. 2014;21(3):502-13. (Persian)
4. Dawood S, Sen TK, Phan C. Synthesis and Characterisation of Novel-Activated Carbon from Waste Biomass Pine Cone and Its Application in the Removal of Congo Red Dye from Aqueous Solution by Adsorption. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2014;225(1):1-16.
5. Xu D, Gu C, Chen X. Adsorption and removal of acid red 3R from aqueous solution using flocculent humic acid isolated from lignite. *Procedia Environmental Sciences*. 2013;18:127-34.
6. Moussavi G, Mahmoudi M. Removal of azo and anthraquinone reactive dyes from industrial wastewaters using MgO nanoparticles. *Journal of hazardous materials*. 2009;168(2):806-12.
7. Chagas NV, Quinaia SP, Anaissi FJ, Santos JM, Felsner ML, Justi KC. Clay and charcoal composites: characterisation and application of factorial design analysis for dye adsorption. *Chemical Papers*. 2014;68(4):553-63.
8. Dos Santos AB, Cervantes FJ, Van Lier JB. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresource Technology*. 2007;98(12):2369-85.
9. Ghaneian MT, Ehrampoush MH, Ghanizadeh G, Momtaz M. Study of Eggshell Performance as a Natural Sorbent for the Removal of Reactive Red 198 Dye from Aqueous Solution. *Journal of Toluene Behdasht*.

- 2011;10(1):70-81.(Persian)
10. Tan KA, Morad N, Teng TT, Norli I, Panneerselvam P. Removal of cationic dye by magnetic nanoparticle (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) impregnated onto activated maize cob powder and kinetic study of dye waste adsorption. APCBEE Procedia. 2012;1:83-9.
  11. Badruddoza A, Hazel GSS, Hidajat K, Uddin M. Synthesis of carboxymethyl-β-cyclodextrin conjugated magnetic nano-adsorbent for removal of methylene blue. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2010;367(1):85-95.
  12. Bellir K, Bouziane IS, Boutamine Z, Lehocine MB, Meniai A. Sorption study of a basic dye "Gentian violet" from aqueous solutions using activated bentonite. Energy Procedia. 2012;18:924-33.
  13. Chowdhury S, Chakraborty S, Saha PD. Response surface optimization of a dynamic dye adsorption process: a case study of crystal violet adsorption onto NaOH-modified rice husk. Environmental Science and Pollution Research. 2013;20(3):1698-705.
  14. Belessi V, Romanos G, Boukos N, Lambropoulou D, Trapalis C. Removal of Reactive Red 195 from aqueous solutions by adsorption on the surface of TiO<sub>2</sub> nanoparticles. Journal of hazardous materials. 2009;170(2):836-44.
  15. Wu C-H. Effects of sonication on decolorization of CI Reactive Red 198 in UV/ZnO system. Journal of hazardous materials. 2008;153(3):1254-61.
  16. Dutta S, Parsons SA, Bhattacharjee C, Jarvis P, Datta S, Bandyopadhyay S. Kinetic study of adsorption and photo-decolorization of Reactive Red 198 on TiO<sub>2</sub> surface. Chemical Engineering Journal. 2009;155(3):674-9.
  17. Faraji M, Yamini Y, Tahmasebi E, Saleh A, Nourmohammadian F. Cetyltrimethylammonium bromide-coated magnetite nanoparticles as highly efficient adsorbent for rapid removal of reactive dyes from the textile companies' wastewaters. Journal of the Iranian Chemical Society. 2010;7(2):S130-S44.
  18. Esmaeili A, Kalantari M. Bioremoval of an azo textile dye, Reactive Red 198, by *Aspergillus flavus*. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2012;28(3):1125-31.
  19. Debrassi A, Baccarin T, Demarchi CA, Nedelko N, Ślawska-Waniewska A, Dłużewski P, et al. Adsorption of Remazol Red 198 onto magnetic N-lauryl chitosan particles: equilibrium, kinetics, reuse and factorial design. Environmental Science and Pollution Research. 2012;19(5):1594-604.
  20. Olyaie E, Banejad H, Afkhami A, Rahmani A, Khodaveisi J. Development of a cost-effective technique to remove the arsenic contamination from aqueous solutions by calcium peroxide nanoparticles. Separation and Purification Technology. 2012;95:10-5.
  21. Akar T, Arslan S, Akar ST. Utilization of *Thamnidium elegans* fungal culture in environmental cleanup: A reactive dye biosorption study. Ecological Engineering. 2013;58:363-70.
  22. Zazouli MA, Balarak D, Mahdavi Y, Ebrahimi M. Adsorption rate of 198 reactive red dye from aqueous solutions by using activated red mud. Iranian journal of health sciences. 2013;1(1):36-43.
  23. Bazrafshan E, Mostafapour FK, Barikbin B. Decolorization of Reactive Red 198 by means of pistachio-nut shell ash. journal of Birjand University of Medical Science. 2012;19(3):266-76.(Persian)
  24. Ghaneian MT, Ehrampoush MH, Rahimi S, Ghanizadeh G, Askarshahi M. Adsorption of Reactive Red 198 Dye on TiO<sub>2</sub> Nano-particle from Synthetic Wastewater. Journal of Toluene Behdasht. 2010;3(4):59-70. (Persian)
  25. Zareyee D, Tayebi H, Javadi SH. Preparation of polyaniline/activated carbon composite for removal of reactive red 198 from aqueous solution. Iranian Journal of Organic Chemistry. 2012;4(1):799-802. (Persian)
  26. Ghaneian MT, Dehvari M, Taghavi M, Amrollahi M, Jamshidi B. Application of Pomegranate Seed Powder in the removal of Reactive Red 198 dye from aqueous solutions. journal of Health Science of Jondi Shapour. 2012;4(3):45-55. (Persian)
  27. Ghaneian MT, Ehrampoush MH, Dehvari M, Jamshidi B, Amrollahi M. A Survey of the Efficacy of Cuttle Fish Bone Powder in the Removal of Reactive Red 198 dye from Aqueous Solution. Journal of Toluene Behdasht. 2011;10(3,4):127-38. (Persian)
  28. Asilian H, Mousavi G, Mahmoodi M. Adsorption of Reactive Red 198 Azo Dye from Aqueous Solution onto the Waste Coagulation Sludge of the Water Treatment Plants. Journal of Health and Science. 2010;3(1):93-102. (Persian)
  29. Saghi MH, Allahabadi A, Rahmanisani A, Vazeiri T, Hekmatshoar R. Removal of Reactive Orange 3 dye from aqueous solution by biosorption technology. Journal of Sabzevar University of Medical Sciences. 2012;19(2):127-35. (Persian)

# A survey of the Efficacy of Calcium Peroxide Nanoparticles in the Removal of Reactive Red 198 from Textile Wastewater

*Mohammad Malakootian*

Professor, Environmental Health Engineering Research Center, Department of Environmental Health, School of Public Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

*Ali Asadipour*

Associate Professor, Department of Medicinal Chemistry, Pharmaceutical Research Center, School of Pharmacy, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

*Somayeh Mohammadi Senjedkooch*

Msc student in Environmental Health Engineering, Department of Environmental Health, School of Public Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

Received:23/09/2015, Revised:14/11/2015, Accepted:30/01/2016

## Corresponding author:

Ali Asadipour,  
Department of Medicinal  
Chemistry, Pharmaceutical  
Research Center, School of  
Pharmacy, Kerman University of  
Medical Sciences, Kerman, Iran  
E-mail: aliasadipour@yahoo.com

## Abstract

**Background & Objectives:** Textile industry is one of the largest industries producing dyeing wastewater. Discharge of this wastewater to receptor waters endangers aquatic life through reducing light transmission, reducing dissolved oxygen, and increasing COD. This study investigated the efficiency of calcium peroxide nanoparticles in removal of Reactive Red 198 from synthetic wastewater and wastewater of YAZDBAF textile factory.

**Materials & Methods:** This experimental study was performed in spring and summer of 2014 in Environmental Health Engineering Research Center of Kerman University of Medical Science. Characteristic of synthesized nanoparticles was determined by TEM and XRD. Adsorption experiments in batch system were performed on synthetic sample and real wastewater. The effect of solution pH (3-13), initial concentration of dye (10-300 mg/L), contact time (5-90 min) and adsorbent dosage (0.05-0.6 g) was investigated and adsorption isotherms were determined. Data was analyzed by SPSS version 21, Excel 2007 softwares and Pearson correlation coefficient.

**Results:** Synthesized adsorbent particles had uniformly spherical shape with approximately diameter of 15-25 nm. The optimum pH for removal of reactive red 198 was 3-7. The equilibrium contact time was 50 minutes and optimum dosage of adsorbent was 0.4 g/100 mL. In these optimum conditions, removal efficiency in synthetic and real sample was 99.58 and 76.18 percent, respectively.

**Conclusion:** Based on the results, calcium peroxide is an efficient adsorbent in removing reactive red 198 and, with attention to simplicity of synthesis, it can be used as an applied in treating textile wastewaters.

**Keywords:** Adsorption, Calcium peroxide, YAZDBAF factory