

## حذف برخی رنگ‌های کاتیونی نساجی از پساب‌های صنعتی با نانوذره‌های گاما آلومینای اصلاح‌شده


مسعود سعادت<sup>۱\*</sup>، سید ایمان موسوی<sup>۲</sup> و مرتضی ایرانفام<sup>۳</sup>

۱. استادیار گروه علوم پایه، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و فناوری نانو، دانشکده علوم، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

۳. استاد گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

دریافت: فروردین ۱۴۰۲ بازنگری: اسفند ۱۴۰۲ پذیرش: اسفند ۱۴۰۲

 <https://doi.org/10.30495/JACR1.1402.1044851>

### چکیده

مطالعه حاضر به بررسی حذف دو رنگ کاتیونی از محلول‌های آبی با نانوذره‌های گاما آلومینای اصلاح‌شده با ماده سطح‌فعال می‌پردازد. سنتز نانوذره در آزمایشگاه با روش سل-ژل انجام شد و پس از اصلاح سطح آن با ماده سطح‌فعال آنیونی سدیم دودسیل سولفات (SDS) به‌عنوان یک جاذب با موفقیت برای حذف رنگ‌های بازی قهوه‌ای ۱ و بازی قرمز ۴۶ از محلول‌های آبی پساب‌های صنعتی نساجی به‌کارگرفته شد. تصویرهای میکروسکوب الکترونی روبشی (SEM)، الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) و طیف‌های فرسرخ تبدیل فوریه (FTIR) نشان دادند که سنتز و به دنبال آن اصلاح سطح نانوذره‌ها به‌درستی انجام شده است. وابستگی بین عامل‌های متفاوت شامل زمان تماس، غلظت اولیه رنگ‌ها، مقدار جاذب و pH محلول با روش سطح‌پاسخ (RSM) بررسی شد و زمان تماس ۱۵ دقیقه و pH برابر ۶ و غلظت‌های ۲۷/۵ و ۴۱/۶ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار جاذب ۰/۰۳ و ۰/۰۳۵ گرم به‌ترتیب برای رنگ‌های بازی قهوه‌ای ۱ و بازی قرمز ۴۶ به‌عنوان مقادیر بهینه به‌دست آمد. تاثیر دما و مزاحمت گونه‌های دیگر نیز مطالعه شد و مقدار حذف رنگ‌های بازی قهوه‌ای ۱ و بازی قرمز ۴۶ در شرایط بهینه به‌ترتیب ۹۳/۱۲ و ۹۷/۳۴ درصد به‌دست آمد و مشخص شد که مقدار حذف رنگ با نانوذره‌های اصلاح‌شده کارایی بیشتری داشت.

**واژه‌های کلیدی:** نانوذره‌های گاما آلومینا، حذف رنگ نساجی، طیف‌نورسنجی، نانوالومینای اصلاح‌شده، روش سطح‌پاسخ.

## مقدمه

منسوجات به کالایی اساسی برای بقای بشریت تبدیل شده است و ارزش این صنعت روزبه‌روز در حال افزایش است. رنگ‌آمیزی منسوجات امروزه به جزئی جدایی‌ناپذیر در این صنعت بدل شده است. رنگ در مد و پوشش نقش بسیار زیادی دارد و کالاهای سفید را هرکسی ترجیح نمی‌دهد و این یک واقعیت است که مردم به کالاهای رنگ‌شده تمایل بیشتری دارند [۱]. صنایع نساجی به‌طور تقریبی ۲۰ درصد از آب شیرین را مصرف و مقدار زیادی پساب تولید می‌کنند. به‌طور کلی مقادیر زیادی از مواد معلق، فسفات‌ها، رنگ‌ها، آفت‌کش‌ها، مواد آلی غیرقابل تجزیه و فلزهای سنگین در این پساب‌ها وجود دارند. به‌دلیل کمبود آب و مقررات متفاوت محیط‌زیست، صنایع نساجی بر روش‌های پایدار تصفیه آب برای کاهش آلودگی پساب‌ها و همچنین، کاهش هزینه‌های عملیاتی تمرکز کرده‌اند [۲]. پساب‌های صنعتی نباید به‌طور مستقیم وارد طبیعت و با ذخایر آب‌های طبیعی ترکیب شوند، زیرا موجب آلودگی ذخایر آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند. پساب صنایع نساجی به دلیل داشتن مقادیر زیادی از انواع رنگ‌های نساجی و سایر مواد شیمیایی پیش از ورود به طبیعت باید از آلودگی‌ها زدوده شود، زیرا هزینه لازم برای تصفیه آب‌های آلوده برای استفاده انسان‌ها، خیلی بیشتر از هزینه لازم برای تصفیه پساب‌ها و جلوگیری از آلوده‌شدن ذخایر آب‌های طبیعی است. برپایه گزارش‌ها، افرادی که در نزدیکی رودخانه‌های حاوی پساب‌های نساجی ساکن بوده‌اند، دچار مشکلاتی از جمله از دست‌دادن حس بویایی شده‌اند. با توجه به اینکه آب‌ها به هم متصل هستند می‌توان یک تصویر بزرگتری را متصور شد که این آلودگی در نهایت به کل آب‌های اقیانوس‌ها منتقل می‌شود و زندگی را برای آبزیان غیرممکن می‌کند [۳]. رنگ‌های نساجی از جمله رنگ‌های مصنوعی هستند که خود به چندین نوع رنگ گروه‌بندی می‌شوند.

گروه‌بندی ساختاری برپایه گروه‌های عاملی مثل آنتراکینون، آزو، فتالوسیانین، گوگرد، نیلی، نیترو، نیتروزو و غیره و گروه-بندی برپایه روش کاربرد این رنگ‌ها در مقیاس صنعتی با عنوان پراکنده، مستقیم، اسیدی (آنیونی)، راکتیو، بازی (کاتیونی) و غیره انجام می‌شود [۴]. رنگ‌های کاتیونی نوعی رنگ محلول در آب با رنگ قوی هستند و با رنگ‌های بازی<sup>۱</sup> با هم گروه-بندی می‌شوند. استفاده از رنگ‌های کاتیونی برای رنگ‌کردن، به‌طور معمول در یک محیط اسیدی انجام می‌شود. از رنگ‌های کاتیونی در ابریشم، چرم، کاغذ و پنبه و همچنین، تولید جوهرکاغذ کپی در نوشت افزار استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر، با توسعه روزافزون ایفای مصنوعی، استفاده از رنگ‌های کاتیونی برای رنگ‌رزی منسوجات بسیار افزایش یافته است [۵].

تصفیه پساب با بهره‌گیری از روش‌های بهینه و کم‌هزینه از موضوعاتی است که بحث و تبادل نظر فراوانی بر روی آن صورت گرفته است. نانوذره‌های آلومینا افزون بر کاربردهای صنعتی گسترده می‌توانند به‌عنوان جاذب‌های زیستی در جذب آلاینده‌ها استفاده شوند [۶]. نیکل یکی از بدترین آلاینده‌ها در جریان‌های پساب صنایع است. برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، جذب یون‌های نیکل از فاضلاب ضروری است. برای انجام این کار، از نانوجاذب‌های گاما آلومینای سنتز شده استفاده می‌شود [۷]. این جاذب همچنین، برای حذف بور و برمید از محلول‌های آبی نیز به‌کار گرفته شده است [۸]. به‌کارگیری فناوری نانو برای تصفیه رنگ جدیدترین رویکرد امیدوارکننده است. از نانومواد و نانوذره‌ها برای جذب و حذف رنگ‌ها از فاضلاب به‌صورت گسترده‌ای استفاده می‌شود. اندازه نانوذره‌ها بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است [۹]. با اصلاح سطح نانوذره‌های آلومینا، می‌توان از آن‌ها به‌عنوان یک جاذب جدید و کارآمد با بازده بالا برای حذف رنگ و سایر آلاینده‌ها از محلول‌های آبی استفاده کرد [۱۰ و ۱۱]. نانوآلومینای اصلاح‌شده با ماده سطح-فعال برای حذف رنگ رودامین B از فاضلاب نساجی [۱۲].

کوره الکتریکی ساخت شرکت فن آزما گستر ایران در این پژوهش به کار گرفته شد.

#### سنتز نانوذره‌های گاما آلومینا

سنتز نانوگاما آلومینا در آزمایشگاه به صورت سل-ژل انجام شد. به این منظور ۲۲٫۵ گرم آلومینیم نیترات به یک بشر تمیز حاوی ۱۰ میلی لیتر آب مقطر افزوده و با همزن مغناطیسی هم‌زده شد تا به طور کامل مخلوط شود. محلول با کاغذ صافی و قیف صاف و به عنوان محلول شماره یک ذخیره شد. از طرفی ۰٫۱۱ گرم ستیل تری متیل آمونیم برومید (CTMAB) به داخل بشر حاوی ۵ میلی لیتر آب مقطر ریخته شد و پس از هم‌زدن به مدت ۴۰ دقیقه به عنوان محلول شماره دو ذخیره شد. برای تهیه محلول شماره سه، ۲٫۵ گرم آمونیم بی کربنات با خلوص ۹۹ درصد به داخل یک بشر ۵۰ میلی لیتری ریخته و ۱۰ میلی لیتر آب مقطر به آن افزوده شد. سپس، با همزن مغناطیسی هم‌زده شد تا به طور کامل حل شد. پس از تهیه محلول‌ها، محلول شماره ۲ با بورت مدرج به آهستگی و در مدت ۵ ساعت به محلول شماره ۱ افزوده شد. سپس، محلول شماره ۳، به آرامی و به تدریج در مدت ۲۴ ساعت به آن افزوده شد. این مخلوط یک ساعت با همزن مغناطیسی هم‌زده شد تا محلولی همگن ایجاد شود. ظرف محتوی محلول به مدت ۷۲ ساعت در دمای آزمایشگاه قراردادده شد تا ژل تشکیل شود، در این مدت روی ظرف، با پارافیلیم پوشانده شده بود. ژل به دست آمده به مدت ۱۰ ساعت داخل یک آون با دمای ۸۰ تا ۹۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا همه آب موجود در نمونه بخار شود. پس از این مرحله نمونه به کمک یک میله شیشه‌ای از ته ظرف با ضربه‌زدن جدا شد. مواد جمع‌آوری شده پس از گذشت یک روز، به مدت ۵ ساعت داخل یک کوره الکتریکی با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا آلومینای ساخته شده در اثر کلسینه شدن به شکل بافت متخلخل درآید [۱۷].

حذف هم‌زمان رنگ‌های سبز بریلیانت<sup>۱</sup> و بنفش بلوری<sup>۲</sup> از محلول آبی [۱۳]، حذف رنگ آلی متیلن بلو از فاضلاب صنعتی [۱۴] حذف رنگ مالاکیت سبز (MG) از آب پرورش ماهی [۱۵] و حذف رنگ‌های آنیونی آلیزارین زرد آر<sup>۳</sup> و رنگ کاتیونی متیلن بلو<sup>۴</sup> [۱۶] به کار گرفته شده است.

در این پژوهش، نانوذره‌های گاما آلومینا به روش سل-ژل سنتز و اصلاح سطح این نانوذره‌ها به کمک ماده سطح فعال سدیم دودسیل سولفات آنیونی انجام شد. ویژگی جذب‌پذیری آن برای حذف دو رنگ پر کاربرد در صنعت نساجی ایران یعنی رنگ بازی قهوه‌ای ۱ (BB1<sup>۵</sup>) و بازی قرمز ۴۶ (BR46<sup>۶</sup>) از پساب‌های صنعت نساجی، بررسی شد.

### بخش تجربی

#### مواد و دستگاه‌ها

همه واکنشگرها و معرف‌های شیمیایی با درصد خلوص بالا، از شرکت مرک آلمان خریداری شدند. رنگ‌های نساجی بازی قهوه‌ای ۱، بازی قرمز ۴۶، بازی زرد ۲۸، بازی آبی ۴۱، اسیدی زرد ۱۷ و اسیدی آبی ۷ از شرکت الوان ثابت همدان تهیه شدند.

برای ثبت طیف‌های جذبی و اندازه‌گیری جذب، دستگاه طیف‌سنجی UV/Vis SPEKOL 2000 مدل UV/Vis ساخت آلمان و برای بررسی ساختار نانوذره‌های سنتز شده، طیف‌سنج FTIR مدل Tensor 27 ساخت آمریکا، دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) مدل PW 1730 ساخت هلند و میکروسکوپ الکترونی روبشی (FESEM) مدل TESCAN MIRA3 ساخت جمهوری چک به کار گرفته شد. همچنین،

1. Brilliant Green

2. Crystal Violet

3. Alizarin yellow R

4. Methylene blue

5. Basic brown 1 (BB1)

6. Basic red 46 (BR46)

### اصلاح سطح نانوذره‌های آلومینا

رنگ (ppm) به‌عنوان عامل‌های اصلی موثر در نظر گرفته شدند و هر کدام در سه سطح ۱۵، ۳۷٫۵ و ۶۰ دقیقه (زمان تماس)، ۵، ۳۰ و ۵۵ ppm (غلظت اولیه رنگ‌ها)، ۲، ۴ و ۶ گرم برای یک لیتر (مقدار جاذب مصرفی) و ۲، ۴ و ۶ (pH) بررسی شد. طراحی آزمایش‌ها و بررسی نتیجه‌های به‌دست‌آمده با نرم‌افزار Design Expert 12 انجام شد. برپایه طراحی باکس-بنکن، ۲۹ آزمایش برای بررسی تاثیر ۴ متغیر در ۳ سطح متفاوت انجام شد (جدول ۱).

### آزمایش‌های بهینه‌سازی

برای انجام آزمایش‌های بهینه‌سازی محلول‌هایی از دو رنگ بازی قهوه‌ای ۱ و بازی قرمز ۴۶ در سه غلظت (۵، ۳۰ و ۵۵ ppm) تهیه شد. ابتدا از هر محلول ۱۰ میلی‌لیتر به داخل بشر منتقل شد. با بافر آماده‌شده برای هر pH، pH محلول‌ها تنظیم و با کمک دستگاه pH متر واپایش شدند. سپس، مقدار نانوجاذب لازم برای هر بشر برپایه وزن پیشنهادی به داخل بشرها ریخته شد. نمونه تا زمان تعیین‌شده، روی همزن مغناطیسی هم‌زده شد تا فرایند جذب رنگ از محلول‌ها به وسیله نانوجاذب انجام شود. در ادامه نانوذره‌ها از محلول جدا و مقدار جذب محلول باقی‌مانده با طیف‌سنج UV/Vis در طول موج بیشینه رنگ موردنظر اندازه‌گیری شد. با طیف مرئی-فرابنفش رنگ‌های مورد مطالعه، طول موج بیشینه اندازه‌گیری جذبی رنگ‌های بازی قهوه‌ای ۱ و بازی قرمز ۴۶ (به ترتیب ۴۶۷ و ۵۳۲ نانومتر) مشخص شد. درصد حذف رنگ با مقایسه مقدار جذب اندازه‌گیری شده پیش و پس از افزودن نانوذره برای هر کدام از آزمایش‌های ۲۹ گانه محاسبه شد.

### نتیجه‌ها و بحث

#### شناسایی نانوذره‌های گاما آلومینا

برای بررسی و تایید سنتز نانوذره‌های گاما آلومینا روش پراش پرتو ایکس استفاده شد. بر پایه رابطه شر هرچه اندازه

سطح پودر نانوگاما آلومینای به‌دست‌آمده برای استفاده در فرایند رنگ‌زدایی با سطح‌فعال آنیونی سدیم دودسیل سولفات (SDS<sup>۱</sup>) اصلاح شد. برای آنکه بر سطح آلومینا ریشال‌های ماده سطح‌فعال شکل بگیرد، نباید غلظت ماده سطح‌فعال از غلظت بحرانی ریشال در محیط مورد استفاده کمتر باشد. در شرایط بهینه مورد بررسی، غلظتی بین ۴ تا ۸ برابر برای بالابردن مقدار جذب و تشکیل ریشال‌ها بر سطح نانوذره‌ها مناسب هست. غلظت بحرانی ریشال مربوط به محلول‌های SDS در مراجع، ۰/۰۰۸ مولار گزارش شده است. به این منظور ۲ گرم نانوالومینا به ۲۰ میلی‌لیتر محلول حاوی ۰/۴ گرم سدیم دودسیل سولفات افزوده شد و ۰/۰۵ گرم سدیم کلرید نیز به محلول افزوده شد. پس از این مراحل، pH محلول روی  $\pm 0.2$  تنظیم شد و به مدت ۷ ساعت با همزن مغناطیسی، هم‌زده شد. پس از هم‌زدن و ته‌نشین شدن ذره‌های جامد، مایع رویی دور ریخته شد و نانوگاما آلومینای اصلاح‌شده ۵ بار با آب مقطر شسته شد. جاذب تهیه‌شده به مدت ۲۴ ساعت داخل آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا به‌طور کامل خشک شود. نانوذره‌های آلومینای اصلاح‌شده خشک و برای نگهداری به داخل ظرف دربسته منتقل شد [۱۴].

بهینه‌سازی و مدل‌سازی فرایند حذف رنگ با روش سطح پاسخ<sup>۲</sup> برای بهینه‌سازی فرایند حذف رنگ‌های کاتیونی و دست-یابی به بیشترین مقدار حذف رنگ با نانوذره‌های اصلاح‌شده از روش سطح پاسخ و روش طراحی باکس-بنکن<sup>۴</sup> استفاده شد. در این روش، متغیرهای ورودی شامل عامل‌هایی هستند که هر کدام در سطوح متفاوت بررسی می‌شوند. در این پژوهش، چهار عامل pH، زمان هم‌زدن یا زمان تماس (دقیقه)، مقدار جاذب (مقدار جاذب برای حجم مشخصی از محلول رنگ) و غلظت

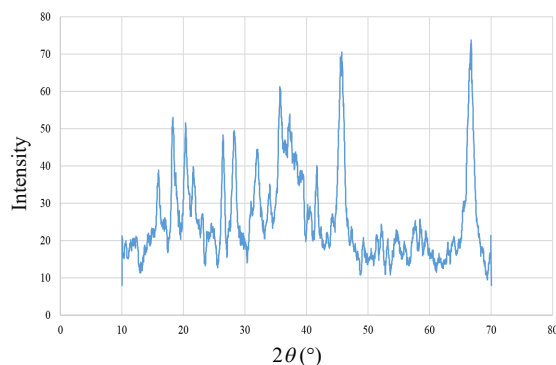
1. Sodium dodecyl sulfate (SDS)

2. Micelle

3. Response surface method (RSM)

4. Box-Behnken designs

بنابراین، قله نانوذره‌ها در مقایسه با مواد معمولی باید پهنای بیشتری داشته باشند. الگوی XRD نمونه سنتز شده (شکل ۱) وجود ساختار بلوری فرمی کج و لوزی شکل در اندازه حدود ۲۵ نانومتر و قله شاخص با  $2\theta$  در حدود  $66.78^\circ$  را نشان می‌دهد که سنتز نانوگاما آلومینا را ثابت می‌کند.



شکل ۱ الگوی XRD نانوذره‌های آلومینا سنتز شده

شکل ۲ طیف FTIR نانوگاما آلومینای سنتز شده اصلاح- نشده و اصلاح شده و SDS را نشان می‌دهد. در طیف نانوذره‌های آلومینا اصلاح نشده، قله‌های مشاهده شده در حدود  $873\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی پیوند Al-O و در حدود  $1428\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش خمشی گروه متیل هستند. قله‌های مشاهده شده در حدود  $1527$  و  $1637\text{ cm}^{-1}$  بیانگر حضور گروه‌های کربوکسیلیک است. قله پهن در حدود  $\text{cm}^{-1}$   $3452$  مربوط به ارتعاش کششی پیوند O-H در مولکول‌های  $\text{H}_2\text{O}$  جذب سطحی شده است [۱۸ و ۱۹]. در طیف FTIR ترکیب SDS، قله‌های  $590$ ،  $632$  و  $834\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش خمشی نامتقارن گروه  $\text{CH}_2$ - است. قله مشاهده شده در حدود  $1083\text{ cm}^{-1}$  بیانگر ارتعاش کششی پیوند C-C است و قله‌های حدود  $1220$  و  $1252\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی پیوند S-O است [۲۰]. قله‌های مشاهده شده در حدود  $1470$ ،  $2852$ ،  $2920$  و  $2958\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش‌های کششی و خمشی متقارن و نامتقارن گروه  $\text{CH}_2$ - است.

ذره‌های ماده کوچک‌تر باشد، پهنای قله بیشینه در نصف ارتفاع  $(FWHM^1)$  بزرگتر است.

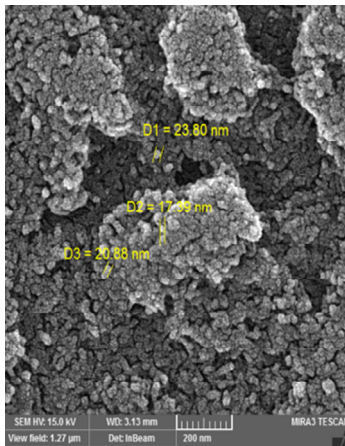
جدول ۱ مقادیر عامل‌های استفاده شده در طراحی آزمایش

شماره آزمایش	زمان (دقیقه)	pH	غلظت رنگ (ppm)	مقدار جاذب (گرم)
۱	۳۷٫۵	۶	۵۵	۴
۲	۶۰٫۰	۲	۳۰	۴
۳	۱۵٫۰	۴	۵	۴
۴	۳۷٫۵	۲	۳۰	۲
۵	۱۵٫۰	۴	۵۵	۴
۶	۳۷٫۵	۴	۳۰	۴
۷	۳۷٫۵	۴	۵۵	۶
۸	۳۷٫۵	۲	۳۰	۴
۹	۶۰٫۰	۶	۳۰	۴
۱۰	۳۷٫۵	۴	۵۵	۲
۱۱	۳۷٫۵	۲	۵	۴
۱۲	۳۷٫۵	۴	۳۰	۴
۱۳	۳۷٫۵	۶	۵	۴
۱۴	۶۰٫۰	۴	۵	۴
۱۵	۳۷٫۵	۴	۳۰	۴
۱۶	۶۰٫۰	۴	۳۰	۶
۱۷	۳۷٫۵	۲	۵۵	۴
۱۸	۳۷٫۵	۶	۳۰	۲
۱۹	۳۷٫۵	۲	۳۰	۶
۲۰	۳۷٫۵	۴	۳۰	۶
۲۱	۶۰٫۰	۴	۳۰	۲
۲۲	۶۰٫۰	۴	۵۵	۴
۲۳	۳۷٫۵	۴	۵	۲
۲۴	۳۷٫۵	۴	۵	۶
۲۵	۱۵٫۰	۴	۳۰	۲
۲۶	۳۷٫۵	۶	۳۰	۶
۲۷	۱۵٫۰	۲	۳۰	۴
۲۸	۱۵٫۰	۶	۳۰	۴
۲۹	۱۵٫۰	۴	۳۰	۶

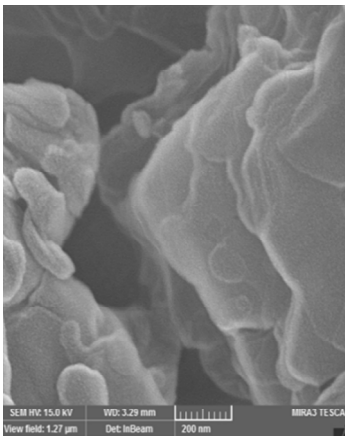
1. Full-width at half-maximum (FWHM)

حذف برخی رنگ‌های کاتیونی نساجی از پساب‌های صنعتی با ...

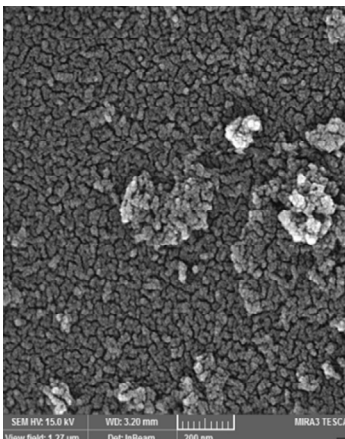
قله پهن مشاهده شده در حدود  $3465 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی پیوند H-OH است [۲۱]. قله‌های طیف نانوذره‌های اصلاح‌نشده و SDS در طیف نانوذره‌های اصلاح‌شده با شدت کمتر مشاهده می‌شود که برهم‌کنش اصلاح سطح نانوذره‌های گاما آلومینا با سدیم دودسیل سولفات را تایید می‌کند. قله مشاهده شده در حدود  $1259 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی پیوند S=O است که در طیف نانوالومینا اصلاح‌نشده دیده نمی‌شود و در طیف SDS و نانوذره‌های اصلاح‌شده دیده می‌شود که مفهوم آن جذب شدن SDS بر سطح نانوذره‌های آلومینا از سر منفی است. همچنین، حضور اثر قله‌های  $2852$ ،  $2920$  و  $2958 \text{ cm}^{-1}$  در طیف SDS، در طیف نانوذره‌های آلومینا اصلاح‌شده در قله‌های حدود  $2856$  و  $2926 \text{ cm}^{-1}$  بیانگر حضور SDS در سطح نانوذره‌های آلومینا اصلاح‌شده است [۱۲]. جذب SDS آنیونی بر نانوگاما آلومینا در اینجا با جذب SDS بر دانه‌های فعال  $\text{Al}_2\text{O}_3$  که در آن جاذبه الکترواستاتیک نیروی محرکه اصلی است، متفاوت است. در این مورد، جذب SDS بر نانوگاما آلومینا با هر دو برهم‌کنش الکترواستاتیک و آب‌گریز واپایش می‌شود [۱۰].



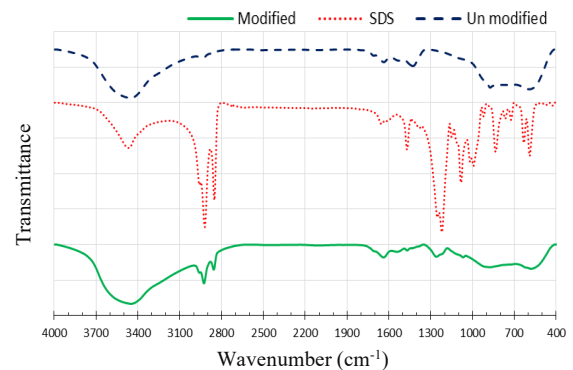
الف



ب



ج



شکل ۲ طیف‌های FTIR نانوگاما آلومینای اصلاح‌شده و اصلاح‌نشده و SDS

تصویر SEM نانوذره‌های آلومینا اصلاح‌نشده (شکل ۳- الف) نشان می‌دهد اندازه ذره‌های سنتز شده در مقیاس نانو است.

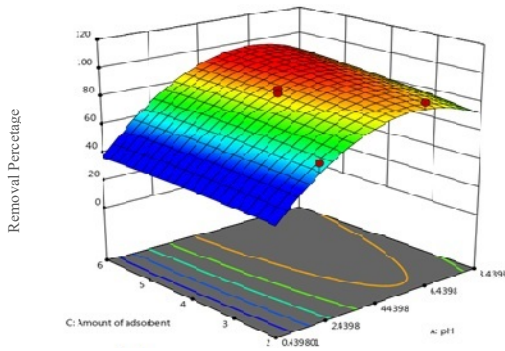
شکل ۳ تصویرهای SEM نانوذره‌های اصلاح‌نشده (الف)، SDS (ب) و نانوذره‌های اصلاح‌شده (ج)

این مقدار، درصد حذف رنگ کاهش پیدا می‌کند و همچنین، بیشترین مقدار حذف رنگ در کمترین مدت هم‌زدن صورت گرفته است که با افزایش مدت هم‌زدن درصد حذف با شیب ملایمی کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، بیشترین حذف برپایه شکل ۴-الف، در pH حدود ۶ و مدت هم‌زدن حدود ۱۵ دقیقه است. شکل ۴-ب نمودار سطح‌پاسخ تاثیر pH و مقدار دوز جاذب در سطوح مرکزی مدت زمان هم‌زدن (۳۷/۵ دقیقه) و غلظت رنگ (۳۰ ppm) و دمای محیط را نشان می‌دهد. همان‌طور که گفته شده بود pH تاثیر بسزایی در کارایی فرایند حذف رنگ دارد. در نمودار سه بعدی سطح پاسخ به‌دست‌آمده نیز این تاثیر به‌طور کامل دیده می‌شود. با افزایش pH از ۱ تا ۸ درصد حذف رنگ به‌طور چشمگیری به‌صورت صعودی افزایش پیدا می‌کند. در مقابل، تاثیر افزایش درصد حذف رنگ با افزایش مقدار جاذب از مقدار ۲ گرم بر لیتر تا ۶ گرم بر لیتر با شیب خیلی ملایمی افزایش پیدا کرده است که تاثیر کمی بر درصد حذف رنگ گذاشته است. برپایه شکل ۴-ب بیشترین درصد حذف رنگ در pH حوالی ۶ صورت گرفته که با افزایش مقدار pH درصد حذف رنگ شروع به کاهش کرده است و همچنین، بیشترین مقدار حذف رنگ در مقدار دوز جاذب حدود ۶ صورت گرفته است. هر چند مقدار تاثیر جاذب با شیب ملایم انجام شده است. شکل ۴-ج نمودار سطح‌پاسخ، تاثیر pH و مقدار غلظت رنگ را در سطوح مرکزی زمان هم‌زدن (۳۷/۵ دقیقه) و مقدار جاذب (۰/۰۴ گرم بر ۱۰ میلی‌لیتر) و دمای محیط، برای درصد حذف رنگ نشان می‌دهد. با افزایش pH و کاهش غلظت رنگ بیشترین درصد حذف رنگ صورت می‌گیرد ولی با افزایش غلظت رنگ درصد حذف رنگ به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد و تاثیر کمی بر درصد حذف دارد. همچنین، بیشترین میزان حذف تا pH برابر ۶ صورت می‌گیرد و پس از آن شروع به کاهش می‌کند. برپایه شکل ۴-ج بهترین شرایط و بیشترین درصد حذف در مقادیر غلظت رنگ پایین و pH های بالا حدود ۶ است.

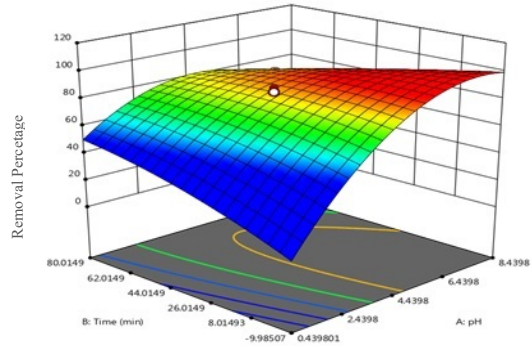
شکل ۳-ب تصویر SEM ماده سطح‌فعال SDS است. این تصویر نشان‌دهنده ساختار لایه‌ای (ورقه‌ورقه‌بودن) و همچنین، متخلخل آن است که به خاطر همین ویژگی نانوذره‌ها با SDS اصلاح سطح می‌شود. شکل ۳-ج تصویر نانوذره‌های اصلاح‌شده با ماده سطح‌فعال سدیم دودسیل سولفات را نشان می‌دهد. با توجه به این تصویر می‌توان دریافت که سنتز نانوذره‌ها به‌درستی صورت گرفته و اصلاح سطح نانوذره‌ها نیز به‌درستی انجام شده است. با توجه به شکل ۳-ج مشخص است که نانوذره‌های آلومینا با حفظ ساختار و اندازه کلی خود و همچنین، قرار گرفتن سدیم دودسیل سولفات بر سطح نانوذره‌ها موجب افزایش درصد حذف رنگ از پساب‌های صنعتی نساجی با نانوذره‌های اصلاح‌شده نسبت به نانوذره‌های اصلاح‌نشده است. اندازه نانوذره‌های به‌دست‌آمده در تصویرهای SEM با اندازه به‌دست‌آمده از معادله شرر که در حدود ۲۵ nm بود، همخوانی داشت.

بررسی تاثیر عامل‌های موثر بر مقدار حذف رنگ با روش *RSM* برپایه مطالعه‌های انجام‌شده عامل‌های متداول موثر بر مقدار حذف رنگ شامل pH، زمان تماس، مقدار جاذب و غلظت رنگ با نمودارهای سه بعدی سطح‌پاسخ بررسی شد (شکل‌های ۴ و ۵). پس از این که آزمون‌های پیشنهادشده برای هر رنگ انجام شد و نتیجه‌های آن به‌دست آمد، داده‌های به‌دست‌آمده داخل برنامه Design-Expert 12 نوشته شد و این برنامه بر پایه داده‌ها و نتیجه‌های به‌دست‌آمده، بهترین شرایط بهینه برای به‌دست‌آوردن بیشترین مقدار حذف رنگ با کمترین مقدار نانوذره‌های اصلاح‌شده را ارائه داد. شکل ۴-الف نمودار سطح-پاسخ تاثیر pH و مدت زمان هم‌زدن در سطوح مرکزی یعنی ۴ گرم بر لیتر (۰/۰۴ گرم بر ۱۰ میلی‌لیتر) مقدار جاذب و غلظت رنگ (۳۰ ppm) و دمای محیط در فرایند حذف رنگ را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار pH از صفر تا ۸ درصد حذف رنگ به‌طور چشمگیری افزایش پیدا می‌کند و مناسب‌ترین pH برای این فرایند ۶ است، چون پس از

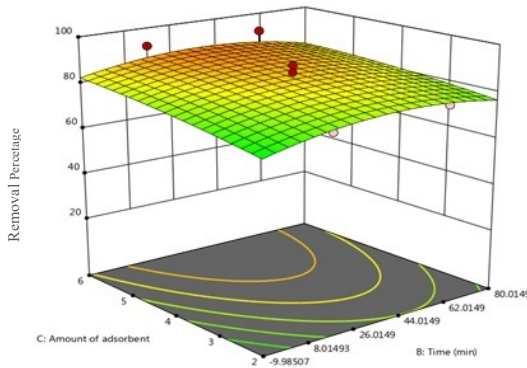
حذف برخی رنگ‌های کاتیونی نساجی از پساب‌های صنعتی با ...



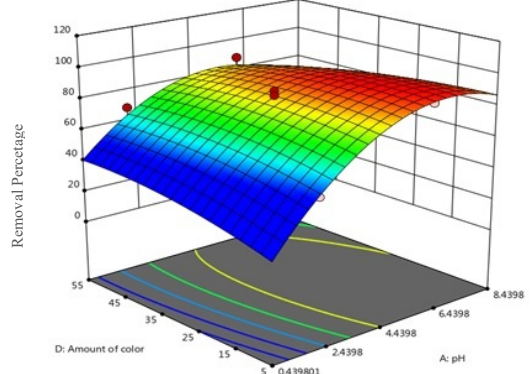
ب



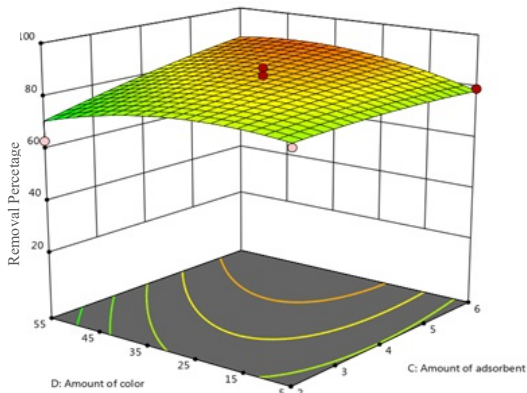
الف



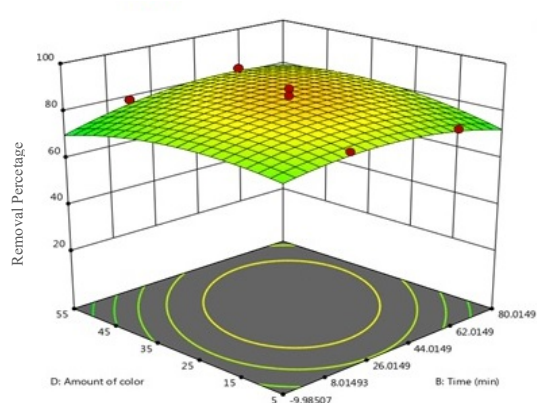
د



ج



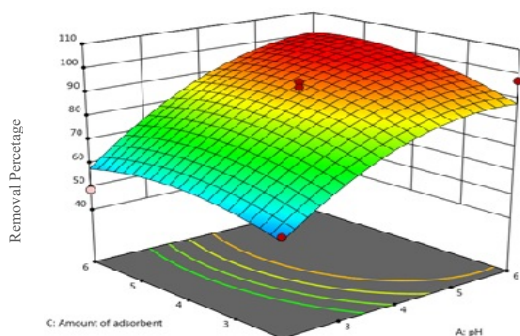
ه



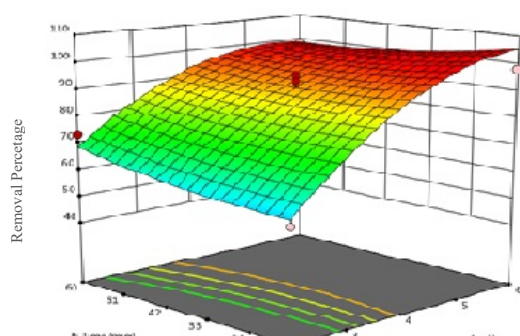
و

شکل ۴ نمودارهای سه بعدی سطح پاسخ نمودارهای مربوط به حذف رنگ بازی قهوه‌ای ۱ به‌عنوان تابعی از pH و مدت هم‌زدن (الف)، pH و غلظت رنگ (ب)، مدت هم‌زدن و مقدار جاذب (ج)، مدت هم‌زدن و غلظت رنگ (د)، غلظت رنگ و مقدار جاذب (ه) و مقدار جاذب (و)

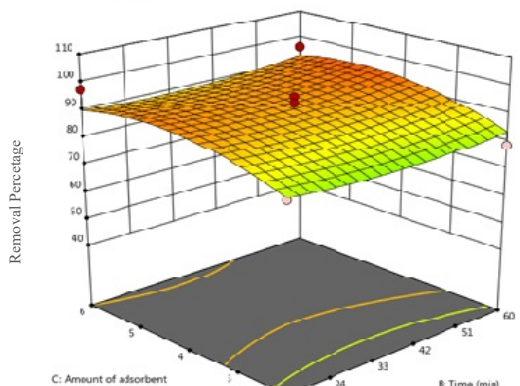




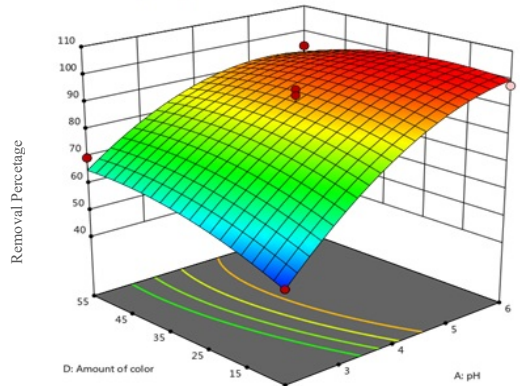
ب



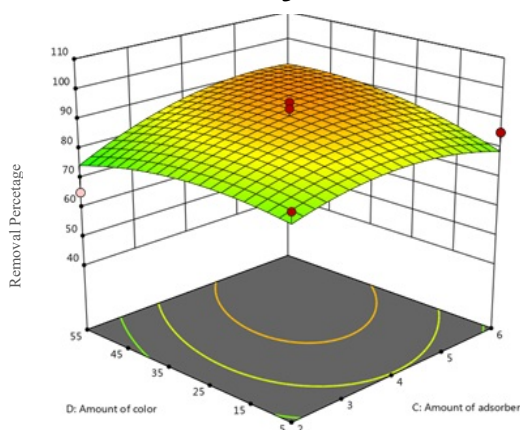
الف



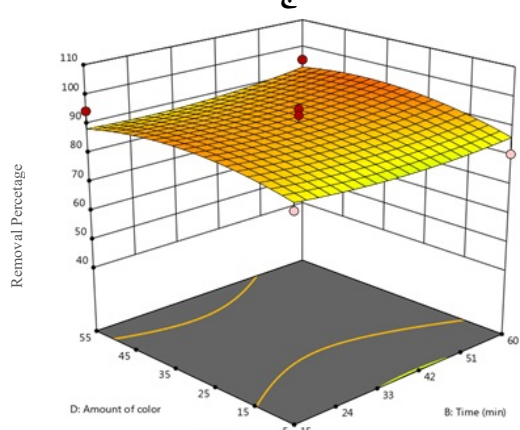
د



ج



ه



و

شکل ۵ نمودارهای سه بعدی سطح پاسخ مربوط به حذف رنگ بازی قرمز ۴۶ به عنوان تابعی از pH و مدت زمان هم‌زدن (الف)، pH و مقدار جاذب (ب)، pH و غلظت رنگ (ج)، مدت هم‌زدن و مقدار جاذب (د)، مدت هم‌زدن و غلظت رنگ (ه) و غلظت رنگ و مقدار جاذب (و)

حذف برخی رنگ‌های کاتیونی نساجی از پساب‌های صنعتی با ...

شیب ملایمی کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، بیشترین درصد حذف رنگ در pH حدود ۶ و مدت هم‌زدن حدود ۱۵ دقیقه به دست می‌آید.

شکل ۵-ب نمودار سطح‌پاسخ تاثیر pH و مقدار دوز جاذب در سطوح مرکزی مدت هم‌زدن (۳۷/۵ دقیقه) و غلظت رنگ (۳۰ ppm) و دمای محیط را نشان می‌دهد. در نمودار سه بعدی سطح پاسخ به‌طور کامل دیده می‌شود که pH تاثیر بسزایی در کارایی فرایند حذف رنگ دارد. با افزایش pH از ۱ تا ۶ درصد حذف رنگ به‌طور چشمگیری به‌صورت صعودی افزایش پیدا می‌کند. در مقابل، درصد حذف رنگ با افزایش مقدار جاذب از مقدار ۲ گرم بر لیتر تا ۶ گرم بر لیتر با شیب خیلی ملایمی افزایش پیدا کرده است و تاثیر کمی بر درصد حذف رنگ گذاشته است. بنابراین، بیشترین درصد حذف رنگ در pH حوالی ۵ صورت گرفته و با افزایش مقدار pH درصد حذف رنگ شروع به کاهش کرده است. همچنین، بیشترین درصد حذف رنگ در مقدار جاذب حدود ۵ صورت گرفته است. هرچندکه مقدار تاثیر جاذب با شیب ملایم انجام شده است. شکل ۵-ج نمودار سطح‌پاسخ تاثیر pH و مقدار غلظت رنگ (ppm) را در سطوح مرکزی زمان هم‌زدن (۳۷/۵ دقیقه) و مقدار جاذب (۰/۰۴ گرم بر ۱۰ میلی‌لیتر) و دمای محیط، برای حذف رنگ را نشان می‌دهد. با افزایش pH و کاهش غلظت رنگ بیشترین درصد حذف رنگ صورت می‌گیرد ولی با افزایش غلظت رنگ، درصد حذف رنگ به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد و تاثیر کمی بر درصد حذف دارد. درصد حذف رنگ با افزایش غلظت رنگ از ۵ تا حدود ۳۰ ppm هیچ تغییری نکرده و پس از آن شروع به کاهش تدریجی کرده است. همچنین، بیشترین درصد حذف تا pH برابر ۶ صورت می‌گیرد و پس از آن شروع به کاهش می‌کند. برپایه شکل ۵-ج بهترین شرایط و بیشترین درصد حذف در مقادیر غلظت رنگ پایین و pH های بالای حدود ۶ است.

شکل ۵-د نمودار سطح‌پاسخ تاثیر مدت هم‌زدن و مقدار جاذب را در سطوح مرکزی غلظت رنگ ۳۰ ppm و pH برابر ۶

شکل ۴-د نمودار سطح‌پاسخ، تاثیر مدت هم‌زدن و مقدار جاذب را در سطوح مرکزی غلظت رنگ ۳۰ ppm و pH برابر ۶ و دمای محیط برای درصد حذف رنگ، نشان می‌دهد. برپایه این شکل با افزایش مقدار دوز جاذب، درصد حذف رنگ نیز افزایش می‌یابد ولی این میزان افزایش با شیب ملایمی صورت می‌گیرد. همچنین، مدت هم‌زدن حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه، بیشترین مقدار حذف رنگ را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار حذف رنگ برپایه شکل ۴-د در مدت هم‌زدن حدود ۱۵ دقیقه و مقدار دوز جاذب ۰/۰۶ گرم بر ۱۰ میلی‌لیتر انجام می‌شود. شکل ۴-ه نمودار سطح پاسخ تاثیر مدت هم‌زدن و غلظت رنگ را در سطوح مرکزی pH برابر ۴ و مقدار جاذب ۴ گرم بر لیتر و دمای محیط برای حذف رنگ نشان می‌دهد. برپایه این شکل، با کاهش غلظت درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد و همچنین، با افزایش مدت هم‌زدن درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد. در نهایت این تغییرها با شیب ملایمی صورت می‌گیرد. شکل ۴-و نمودار سطح پاسخ تاثیر غلظت رنگ و مقدار دوز جاذب در pH برابر ۴ و مدت هم‌زدن ۳۷/۵ دقیقه و در دمای محیط را نشان می‌دهد. برپایه شکل، با افزایش مقدار جاذب، درصد حذف رنگ نیز افزایش می‌یابد و همچنین، با کاهش غلظت رنگ درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد. بنابراین، برپایه این شکل، بیشترین درصد حذف رنگ در مقدار جاذب ۶ گرم بر لیتر و غلظت رنگ حوالی ۳۰ ppm صورت گرفته است.

شکل ۵-الف نمودار سطح‌پاسخ تاثیر pH و مدت هم‌زدن در سطوح مرکزی یعنی ۴ گرم بر لیتر (۰/۰۴ گرم بر ۱۰ میلی‌لیتر)، مقدار جاذب و مقدار غلظت رنگ (۳۰ ppm) و دمای محیط در فرایند حذف رنگ را نشان می‌دهد. با افزایش مقدار pH، درصد حذف رنگ به‌طور چشمگیری افزایش پیدا می‌کند. برپایه مشاهده‌های مناسب‌ترین pH برای این فرایند ۶ است، چون پس از این مقدار درصد حذف رنگ کاهش پیدا می‌کند. همچنین، بیشترین درصد حذف رنگ در کمترین مدت هم‌زدن صورت گرفته است و با افزایش مدت هم‌زدن درصد حذف با

جدول ۲ جدول ANOVA رنگ بازی قرمز ۴۶

منبع	جمع مربع‌ها	درجه آزادی (df)	میانگین مربع‌ها	مقدار F	مقدار p
مدل	۵۷۰۰/۷۲	۱۴	۴۰۷/۱۹	۷/۸۲۰	۰/۰۰۰۲
A (pH)	۴۲۱۰/۵۰	۱	۴۲۱۰/۵۰	۸۰/۸۶۰	< ۰/۰۰۰۱
B (زمان)	۸/۸۴	۱	۸/۸۴	۰/۱۷۰	۰/۶۸۶۵
C (مقدار جذب)	۱۶۸/۸۳	۱	۱۶۸/۸۳	۳/۲۴۰	۰/۰۹۳۳
D (مقدار رنگ)	۴۳/۴۳	۱	۴۳/۴۳	۰/۸۳۴	۰/۳۷۶۵
AB	۵۶/۲۵	۱	۶۵/۲۵	۱/۰۸۰	۰/۳۱۶۳
AC	۱۱/۴۹	۱	۱۱/۴۹	۰/۲۲۱	۰/۶۴۵۷
AD	۱۲۳/۶۵	۱	۱۲۳/۶۵	۲/۳۷۰	۰/۱۴۵۶
BC	۱/۵۰	۱	۱/۵۰	۰/۰۲۹	۰/۸۶۷۶
BD	۵/۳۶	۱	۵/۳۶	۰/۱۰۳	۰/۷۵۳۱
CD	۶۶/۷۵	۱	۶۶/۷۵	۱/۲۸۰	۰/۲۷۶۶
A <sup>2</sup>	۷۰۶/۶۵	۱	۷۰۶/۶۵	۱۳/۵۷۰	۰/۰۰۲۵
B <sup>2</sup>	۲۹/۱۵	۱	۲۹/۱۵	۰/۵۶۰	۰/۴۶۶۷
C <sup>2</sup>	۲۲۶/۴۶	۱	۲۲۶/۴۶	۴/۳۵۰	۰/۰۵۵۸
D <sup>2</sup>	۱۲۱/۲۶	۱	۱۲۱/۲۶	۲/۳۲۰	۰/۱۴۹۳
باقی‌مانده	۷۲۸/۹۸	۱۴	۵۲/۰۷		
نبود برازش	۶۷۸/۶۵	۱۰	۶۷/۸۶	۵/۳۹۰	۰/۰۵۹۳
خطای خالص	۵۰/۳۳	۴	۱۲/۵۸		
مجموع	۶۴۲۹/۷۱	۲۸			

در مورد نبودبرازش یا به عبارتی عدم توانایی یک مدل طراحی‌شده برای همخوانی با مقدارهای تجربی را گویند، باید مقدار p بزرگتر از ۰/۰۵ باشد که برای رنگ بازی قرمز ۴۶ برابر با ۰/۰۵۹۳ و برای رنگ بازی قهوه‌ای ۱ برابر با ۰/۰۵۶۳ به دست‌آمد که در گستره قابل پذیرش است. برپایه این نتیجه‌ها می‌توان فهمید که pH بیشترین تاثیر را در بین سایر عامل‌ها بر درصد حذف رنگ داشته است.

برپایه برنامه شرایط بهینه‌شده برای حذف رنگ بازی قرمز ۴۶، مدت زمان هم‌زدن ۱۵ دقیقه، pH برابر با ۵/۸۸، مقدار دوز جذب برابر با ۳/۵ گرم بر لیتر و مقدار غلظت رنگ برابر با ۴۱/۴۴ ppm بودند و تخمین برنامه برای درصد حذف رنگ در این

و دمای محیط برای فرایند حذف رنگ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار دوز جذب، درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد ولی شیب افزایش ملایم است. بیشترین درصد حذف رنگ در مدت هم‌زدن حدود ۱۵ دقیقه و مقدار جذب ۰/۰۵ گرم بر ۱۰ میلی‌لیتر انجام می‌شود. شکل ۵-۵ نمودار سطح‌پاسخ تاثیر مدت هم‌زدن و غلظت رنگ را در سطوح مرکزی pH برابر ۴ و مقدار دوز جذب ۴ گرم بر لیتر و دمای محیط برای حذف رنگ نشان می‌دهد. برپایه این شکل، با کاهش غلظت حذف رنگ افزایش می‌یابد و با افزایش مدت هم‌زدن درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد.

شکل ۵-۵ و نیز نمودار سطح‌پاسخ تاثیر غلظت رنگ و مقدار دوز جذب در pH برابر ۴ و مدت هم‌زدن ۳۷/۵ دقیقه و در دمای محیط را نشان می‌دهد. برپایه این شکل، با افزایش مقدار جذب، درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد و با کاهش غلظت رنگ درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد. بنابراین، برپایه این شکل، بیشترین میزان حذف رنگ در مقدار جذب ۶ گرم بر لیتر و غلظت رنگ حوالی ۳۰ ppm صورت گرفته است.

#### بررسی جدول‌های ANOVA

برای بررسی مقدار کفایت یک مدل، در جدول ANOVA باید مقدارهای P برای مدل و نبودبرازش<sup>۱</sup> را بررسی کرد. مقدار p برای مدل باید کوچکتر از ۰/۰۵ باشد تا درصد اطمینان مدل طراحی‌شده بالای ۹۵ درصد باشد که بتوان به نتیجه‌های به‌دست‌آمده استناد کرد. در این مدل‌سازی مقدار p برای مدل برای رنگ بازی قرمز ۴۶ برابر با ۰/۰۰۰۲ و برای رنگ بازی قهوه‌ای ۱ برابر با ۰/۰۰۰۱ بود که نشان‌دهنده اطمینان ۹۹/۹۸ درصد برای رنگ بازی قرمز ۴۶ و ۹۹/۹۹ درصد برای رنگ بازی قهوه‌ای ۱ بود (جدول‌های ۲ و ۳).

1. Lack of fit

حذف برخی رنگ‌های کاتیونی نساجی از پساب‌های صنعتی با ...

رنگ ۹۳/۱۲ درصد به‌دست آمد که تفاوت بسیار کمی با پیش‌بینی برنامه دارد.

در شرایط بهینه، بهترین pH برای حذف رنگ ۶ معرفی شد. برای اطمینان از این که درصد حذف در pHهای بالاتر از ۶ افزایش نمی‌یابد، آزمایش حذف رنگ در شرایط بهینه و تنها با تغییر مقدار pH تکرار شد. حذف رنگ بازی قهوه‌ای ۱ در pH برابر با ۷ و ۷۶/۰۹ درصد و در pH برابر با ۸ و ۶۷/۹۳ درصد به‌دست آمد. برای رنگ بازی قرمز ۴۶، حذف رنگ در pHهای برابر با ۷ و ۸ به‌ترتیب برابر با ۹۰/۳۸ و ۸۸/۹۳ درصد به‌دست آمد که این مقادارها نشان‌دهنده کاهش حذف رنگ با افزایش pH از ۶ است.

#### بررسی شرایط بهینه در نمونه حقیقی

برای اطمینان از کارایی نانوذره‌های اصلاح‌شده در حذف رنگ از نمونه حقیقی (آب شهری) و همچنین، محاسبه مقدار تغییرهای درصد حذف هر رنگ در نمونه حقیقی، اقدام به بررسی حذف هر رنگ در شرایط بهینه به‌دست‌آمده در نمونه حقیقی شد. نمونه حقیقی برپایه مواد و عناصر موجود در نمونه واقعی در آزمایشگاه تهیه شد. درصد حذف رنگ در شرایط بهینه نمونه حقیقی برای رنگ بازی قهوه‌ای ۱، ۹۰/۲۸ درصد به‌دست آمد. همچنین، درصد حذف رنگ در شرایط بهینه نمونه حقیقی برای رنگ بازی قرمز ۴۶، ۹۶/۹۵ درصد به‌دست آمد. گونه‌های شیمیایی موجود در نمونه حقیقی شامل نیترات و نیتريت، آهن و منگنز، جامدات معلق، سولفات، فسفات، کلرید، فلورید، کلسیم و سدیم و سایر عناصر ناچیز بود.

#### بررسی تاثیر دما در مقدار حذف رنگ

برای به‌دست‌آوردن تاثیر دما بر درصد حذف رنگ در شرایط بهینه، دماهای متفاوت در ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۸۰ درجه سلسیوس در شرایط بهینه بررسی شد تا مقدار تاثیر دما در این شرایط معین شود. با توجه به نتیجه‌های به‌دست‌آمده (شکل ۶)، دمای ۲۰ درجه سلسیوس به‌عنوان دمای بهینه انتخاب شد. این دما

شرایط ۹۹/۳۲ درصد بود. با انجام آزمایش حذف رنگ به‌صورت عملی در این شرایط درصد حذف رنگ ۹۷/۳۴ درصد به‌دست آمد.

جدول ۳ جدول ANOVA رنگ بازی قهوه‌ای ۱

منبع	جمع مربع‌ها	درجه آزادی (df)	میانگین مربع‌ها	مقدار F	مقدار p
مدل	۳۴۱۱۹۴	۱۴	۲۴۳۷۱	۹۴۰	< ۰٫۰۰۰۱
A (pH)	۳۴۶۰۱۸	۱	۲۴۶۰۱۸	۹۴۸۶	< ۰٫۰۰۰۱
B (زمان)	۱۶۶۵	۱	۱۶۶۵	۰٫۰۶۳۶	۰٫۸۰۴۵
C (مقدار جذب)	۲۰۴۷۷	۱	۲۰۴۷۷	۷۹۰	۰٫۰۱۳۹
D (مقدار رنگ)	۱۲۵	۱	۱۲۵	۰٫۰۴۸۴	۰٫۸۲۹۱
AB	۱۱۰۵۷	۱	۱۱۰۵۷	۴۲۶	۰٫۰۵۸۰
AC	۱۰۷۳	۱	۱۰۷۳	۰٫۴۱۳۶	۰٫۵۳۰۶
AD	۹۶۲۴	۱	۹۶۲۴	۳۷۱	۰٫۰۷۴۶
BC	۱۰۷	۱	۱۰۷	۰٫۰۴۱۳	۰٫۸۴۱۹
BD	۱۰۹۹	۱	۱۰۹۹	۰٫۴۲۳۷	۰٫۵۲۵۶
CD	۷۵۰۸	۱	۷۵۰۸	۲۹۰	۰٫۱۱۰۹
A <sup>2</sup>	۳۳۹۶۷	۱	۳۳۹۶۷	۱۳۱۰	۰٫۰۰۲۸
B <sup>2</sup>	۱۲۰۹	۱	۱۲۰۹	۰٫۴۶۶۱	۰٫۵۰۵۹
C <sup>2</sup>	۹۹۴	۱	۹۹۴	۰٫۳۸۳۱	۰٫۵۴۵۹
D <sup>2</sup>	۱۶۹۶۴	۱	۱۶۹۶۴	۶۵۴	۰٫۰۲۲۸
باقی‌مانده	۳۶۳۰۹	۱۴	۲۵۹۳		
نبود برآزش	۳۳۹۷۴	۱۰	۳۳۸۷	۵۵۶	۰٫۰۵۶۳
خطای خالص	۲۴۳۵	۴	۶۰۹		
مجموع	۳۷۷۵۰۲	۲۸			

برپایه برنامه شرایط بهینه‌شده برای حذف رنگ بازی قهوه‌ای ۱، مدت زمان هم‌زدن ۱۵ دقیقه، pH = ۶، مقدار دوز جذب ۳ گرم بر لیتر و مقدار غلظت رنگ ۲۷/۵۰ ppm بودند و درصد حذف رنگ پیش‌بینی‌شده ۹۳/۲۹ درصد بود. با انجام عملی حذف رنگ در شرایط بهینه به‌دست‌آمده درصد حذف

حضور این مقدار مزاحم به‌دست آمد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده در جدول ۴ آورده شده است. غلظت مشخص شده برای هر یون یا رنگ نشان‌دهنده غلظتی است که بیشتر از آن مقدار موجب تغییر بیش از ۵ درصد در حذف رنگ اصلی می‌شود.

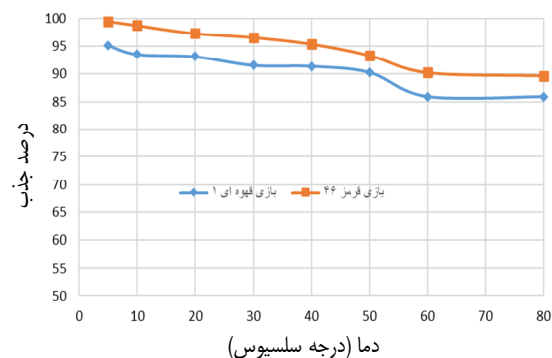
جدول ۴ مزاحمت برخی رنگ‌ها و یون‌ها در حذف رنگ‌های مورد مطالعه

آنالیت مورد مطالعه		گونه مزاحم
رنگ بازی قرمز ۴۶	رنگ بازی قهوه‌ای ۱	
۵۰	۴۰	رنگ بازی آبی ۴۱
۵۰	۳۰	رنگ بازی زرد ۲۸
۵۰	-	رنگ بازی قهوه‌ای ۱
-	۴۰	رنگ بازی قرمز ۴۶
۱۰۰	۱۰۰	رنگ اسید زرد ۱۷
۱۰۰	۱۰۰	رنگ اسید آبی ۷
۳۰۰	۶۰۰	Na <sup>+</sup>
۱۰۰	۹۰۰	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>
۳۰۰	۹۰۰	Fe <sup>3+</sup>
۲۰۰	۲۵۰	K <sup>+</sup>

بررسی بیشینه ظرفیت حذف رنگ با جاذب

برای مطالعه ظرفیت جذب رنگ با مقدار مشخصی از جاذب نانوالومینای اصلاح‌شده یا توانایی جاذب در حذف رنگ‌های مورد مطالعه، آزمایش در شرایط بهینه ارائه‌شده برای هر رنگ و با تغییر غلظت آنالیت انجام شد. در هر بار مطالعه حذف رنگ بازی قهوه‌ای ۱ مقدار ۰/۱۵ گرم جاذب و در مطالعه رنگ بازی قرمز ۱ مقدار ۰/۱۷۵ گرم جاذب در ۵۰ میلی‌لیتر آنالیت حاوی مقدار متغیری از آنالیت بین ۵ تا ۶۰ ppm افزوده (گستره غلظت رنگ موجود در پساب‌های نساجی) و در شرایط بهینه مقدار حذف رنگ یا جذب رنگ با جاذب محاسبه شد. نتیجه‌ها در شکل ۵ آورده شده است.

از این جهت هم مهم است که دمای متداولی است و ایجاد آن آسان و نیاز به زمان و انرژی زیادی ندارد.



شکل ۶ تاثیر دما بر مقدار حذف رنگ‌های بازی قهوه‌ای ۱ و بازی قرمز ۴۶

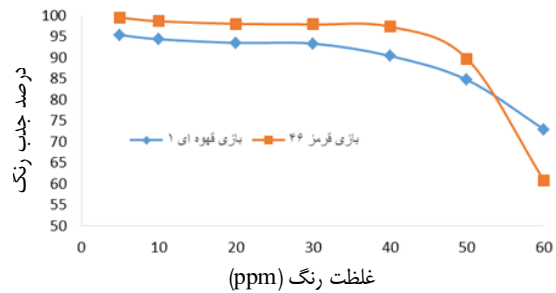
بررسی شرایط بهینه با استفاده از نانوذره اصلاح‌نشده

برای به‌دست‌آوردن تاثیر اصلاح سطح نانوذره‌ها بر درصد حذف رنگ، از نانوذره‌های اصلاح‌نشده در شرایط بهینه استفاده شد. با ثابت نگه‌داشتن مقدارهای همه عامل‌ها در شرایط بهینه و استفاده از نانوذره‌های اصلاح‌نشده، مقدار حذف رنگ بازی قهوه‌ای ۱ و بازی قرمز ۴۶ به ترتیب ۴۱/۹۷ و ۲۰/۶۷ درصد به‌دست آمد. نتیجه‌های به‌دست آمده و مقایسه آن با نتیجه‌های به‌دست‌آمده برای نانوذره اصلاح‌شده به روشنی اهمیت اصلاح سطح نانوذره سنتز شده و تاثیر بسیار زیاد آن در کارایی نانوذره در حذف رنگ را نشان می‌دهد.

بررسی تاثیر مقدار مزاحمت سایر رنگ‌ها و یون‌های متفاوت در حذف رنگ‌های مورد مطالعه

برای مطالعه کارایی روش پیشنهادی در حذف رنگ‌های بازی قهوه‌ای ۱ و بازی قرمز ۴۶، روش پیشنهادی در حضور برخی از رنگ‌های دیگر و یون‌های پرکاربرد احتمالی مطالعه شد. مقدار تاثیر بیش از ۵ درصد در کاهش حذف رنگ مورد مطالعه به معنی مزاحمت در نظر گرفته شد. در این بررسی، مقدار غلظت رنگ‌های مورد مطالعه ثابت و برابر ۵ ppm در نظر گرفته شد و با تغییر مقدار غلظت رنگ و یون مزاحم، مقدار حذف رنگ در

حذف برخی رنگ‌های کاتیونی نساجی از پساب‌های صنعتی با ...



شکل ۷ مقدار حذف رنگ با مقدار مشخصی از جاذب در غلظت‌های متفاوت رنگ

### نتیجه‌گیری

نانوذره‌های گاما آلومینا سنتز و با سورفکتانت سدیم دودسیل سولفات (SDS) اصلاح و به‌عنوان یک جاذب جدید و کارآمد برای حذف رنگ‌های کاتیونی بازی قهوه‌ای ۱ و بازی قرمز ۴۶ از محلول آبی پساب‌های صنعتی استفاده شد. اصلاح سطح نانوذره‌ها به‌طور کامل انجام و موجب ایجاد تخلخل در ساختار نانوذره‌ها شد که این کار موجب افزایش درصد حذف رنگ شد. انجام آزمایش‌های طراحی شده و همچنین، انجام آزمون شرایط بهینه و به‌دست‌آوردن درصد حذف‌های بالای ۹۰ درصد نشان-دهنده درستی سنتز نانوذره‌های اصلاح سطح آن بود. برپایه نتیجه‌های به‌دست‌آمده از روش RSM و طراحی باکس-بنکن برای دستیابی به بیشترین مقدار حذف رنگ با کمترین مقدار

### مراجع

- [1] Kodžoman D, Hladnik A, Pavko Čuden A, Čok V. Exploring color attractiveness and its relevance to fashion. *Color Research & Application*. 2022;47(1):182-93. doi: org/10.1002/col.22705
- [2] Yadav M, Gupta R, Sharma RK. Chapter 14 - Green and Sustainable Pathways for Wastewater Purification. In: Ahuja S, editor. *Advances in Water Purification Techniques*: Elsevier; 2019. p. 355-83. doi: org/10.1016/B978-0-12-814790-0.00014-4
- [3] Kharissova O, Torres-Martínez L, Kharisov B. *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*. Edinburgh: Springer Cham; 2021. doi: org/10.1007/978-3-030-11155-7
- [4] Benkhaya B, El Harfi S, El Harfi A. Classifications, properties and applications of textile dyes: A review. *Applied Journal of Environmental Engineering Science*.

- 2017;3(3):311-320. doi: [org/10.48422/IMIST.PRSM/ajees-v3i3.9681](https://doi.org/10.48422/IMIST.PRSM/ajees-v3i3.9681)
- [5] Leube H. Textile Dyeing. In: Hunger K, Ed., Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA; 2002. p. 339-425.
- [6] Fawzy MM, Salem HM, Orabi AH, Ibrahim SS. Preparation of gamma alumina nanoparticles from kaolinitic sandstone and their application as a selective adsorbent for REEs from liquid waste. Hydrometallurgy. 2022;213:105940. doi: [org/10.1016/j.hydr o met.2022.105940](https://doi.org/10.1016/j.hydr o met.2022.105940)
- [7] Keshtkar Z, Tamjidi S, Vaferi B. Intensifying nickel (II) uptake from wastewater using the synthesized  $\gamma$ -alumina: An experimental investigation of the effect of nano-adsorbent properties and operating conditions. Environmental Technology & Innovation. 2021;22:101439. doi: [org/10.1016/j.eti.2021.101439](https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101439)
- [8] Al-Ghouti MA, Khan M, Malik A, Khraisheh M, Hijazi D, Mohamed S, et al. Development of novel nano- $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  adsorbent from waste aluminum foil for the removal of boron and bromide from aqueous solution. Journal of Water Process Engineering. 2022;50:103312. doi: [org/10.1016/j.jwpe.2022.103312](https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103312)
- [9] Valli Nachiyar C, Rakshi AD, Sandhya S, Britlin Deva Jebasta N, Nellore J. Developments in treatment technologies of dye-containing effluent: A review. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2023;7:100339. doi: [org/10.1016/j.cscee.2023.100339](https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100339)
- [10] Chu TPM, Nguyen NT, Vu TL, Dao TH, Dinh LC, Nguyen HL, et al. Synthesis, characterization, and modification of alumina nanoparticles for cationic dye removal. Materials. 2019;12(3):450. doi: [org/10.3390/ma12030450](https://doi.org/10.3390/ma12030450)
- [11] Kam OR, Garikoe I, Bakouan C, Guel B. Low-Cost Synthesis of Alumina Nanoparticles and Their Usage for Bisphenol-A Removal from Aqueous Solutions. Processes. 2021;9(10):1709. doi: [org/10.3390/pr9101709](https://doi.org/10.3390/pr9101709)
- [12] Yen Doan TH, Minh Chu TP, Dinh TD, Nguyen TH, Tu Vo TC, Nguyen NM, et al. Adsorptive Removal of Rhodamine B Using Novel Adsorbent-Based Surfactant-Modified Alpha Alumina Nanoparticles. Journal of Analytical Methods in Chemistry. 2020;2020:6676320. doi: [org/10.1155 /2020 /6676320](https://doi.org/10.1155 /2020 /6676320)
- [13] Zolgharnein J, Bagtash M, Shariatmanesh T. Simultaneous removal of binary mixture of Brilliant Green and Crystal Violet using derivative spectrophotometric determination, multivariate optimization and adsorption characterization of dyes on surfactant modified nano- $\gamma$ -alumina. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2015;137:1016-28. doi: [org/10.1016/j.saa.2014.08.115](https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.08.115)
- [14] Ali S, Abbas Y, Zuhra Z, Butler IS. Correction: Synthesis of  $\gamma$ -alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) nanoparticles and their potential for use as an adsorbent in the removal of methylene blue dye from industrial wastewater. Nanoscale Advances. 2019;1(1):437-9. doi: [org/10.1039/C8NA90001A](https://doi.org/10.1039/C8NA90001A)
- [15] Mohammadifar E, Shemirani F, Majidi B, Ezoddin M. Application of modified nano- $\gamma$ -alumina as an efficient adsorbent for removing malachite green (MG) from aqueous solution. Desalination and Water Treatment. 2015;54(3):758-68. doi: [org/10.1080/19443994.2014.890549](https://doi.org/10.1080/19443994.2014.890549)
- [16] Al-Rubayee WT, Abdul-Rasheed OF, Ali NM. Preparation of a Modified Nanoalumina Sorbent for the Removal of Alizarin Yellow R and Methylene Blue Dyes from Aqueous Solutions. Journal of Chemistry. 2016;2016:4683859. doi: [org/10.1155 /2016/4683859](https://doi.org/10.1155 /2016/4683859)
- [17] Soleimani F, Givian Rad MH, Haghightay AH. Application of Nano-Gamma Alumina Adsorbent for Nickel and Cobalt Removal from Mining Industry Wastewater. Journal of Environmental Science and Technology. 2020;12(21):41-56. doi: [org/10.22034/jest.2020.30090.3863](https://doi.org/10.22034/jest.2020.30090.3863)

- [18] Boumaza A, Djelloul A, Guerrab F. Specific signatures of  $\alpha$ -alumina powders prepared by calcination of boehmite or gibbsite. Powder Technology. 2010;201(2):177-80. doi: org/10.1016/j.powtec.2010.03.036
- [19] Singh SK, Singh MK, Nayak MK, Kumari S, Shrivastava S, Grácio JJA, et al. Thrombus inducing property of atomically thin graphene oxide sheets. ACS Nano. 2011;5(6):4987-96. doi: org/10.1021/nn201092p
- [20] Prem Ananth K, Shanmugam S, Jose SP, Nathanael AJ, Oh TH, Mangalaraj D, et al. Structural and chemical analysis of silica-doped  $\beta$ -TCP ceramic coatings on surgical grade 316L SS for possible biomedical application. Journal of Asian Ceramic Societies. 2015;3(3):317-24. doi: org/10.1016/j.jascer.2015.06.004
- [21] Buongiorno J, Venerus DC, Prabhat N, McKrell T, Townsend J, Christianson R, et al. A benchmark study on the thermal conductivity of nanofluids. Journal of Applied Physics. 2009;106(9):094313. doi: org/10.1063/1.3245330



## Removal of some textile cationic dyes from industrial wastewater using modified gamma alumina nanoparticles

M. Saadadi<sup>1,\*</sup>, S.I. Mosavi<sup>2</sup>, M. Iranifam<sup>3</sup>

1. Assistant Prof. of Department of Sciences, Farhangian University, Tehran, Iran.

2. M.Sc. Student of Nanotechnology, Faculty of Sciences, Maragheh University, Maragheh, Iran.

3. Professor of Department of Chemistry, Maragheh University, Maragheh, Iran.

**Abstract:** The present study deals with the removal of two cationic dyes from aqueous solutions by surfactant-modified gamma alumina nanoparticles. The nanoparticles were synthesized by sol-gel method and after modifying with sodium dodecyl sulfate (SDS), an anionic surfactant, had been successfully performed to remove basic brown 1 (BB1) and basic red 46 (BR46) from textile industrial effluents. The SEM images, FTIR spectra, and XRD patterns showed a successful synthesis of the nanoparticles followed by surface modification. The relationships between different condition factors (contact time, concentration of dyes, amount of adsorbent, and pH) were investigated by response surface methodology (RSM). The optimal conditions were determined to be a contact time of 15 minutes, pH of 6, initial concentrations of 27.5 mg/l and 41.6 mg/l for BB1 and BR46, respectively; and adsorbent doses of 0.030g and 0.035 g for BB1 and BR46, respectively. The effect of other parameters including temperature and interfering species on the removal of dyes were also investigated and the dye removal obtained under optimal conditions were 93.12% for BB1 and 97.34% for BR46. The obtained results showed that the removal of dye with modified nanoparticles was better than unmodified nanoparticles.

**Keywords:** Gamma alumina nanoparticles, Textile dye removal, Spectrophotometry, Modified nano-alumina, Response surface method.