بررسی و بهینه‌سازی حذف رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی موجود در پساب صنایع نیشکر ورودی به تالاب شادگان با جاذب کیتوسان

مژگان یکرنگی[1]
محمدکاظم محمدی[2*]
عبدالحسن دولاح[3]

۱. گروه مهندسی محیطزیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲. گروه شیمی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۳. گروه زیست‌فناوری، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

***مسئول مکاتبات:**
mkmohamadi@gmail.com

کد مقاله: ۱۳۹۸۰۱۰۶۸۶
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۹
این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

چکیده

تالاب بین‌المللی شادگان یکی از تالاب‌های بزرگ ایران است. این تالاب در جنوب غربی ایران در جنوب شهر شادگان در استان خوزستان واقع‌شده است. سدسازی و رعایت نشدن نیاز آبی تالاب، پرورش ماهی، پساب صنایع نیشکر، عبور لوله‌های نفتی، فعالیت ۳۰ واحد پتروشیمی و تخلیه زباله‌های شهری، این تالاب منحصربه‌فرد را از سال ۱۳۷۲ وارد فهرست قرمز تالاب‌های بین‌المللی (لیست مونترو) کرده است. آب این تالاب بین‌المللی که ازلحاظ رتبه‌های ثبت‌شده در یونسکو درگذشته در رتبه پنجم جهانی قرار داشت، از رودخانه‌های جراحی و کارون و همچنین جزر و مد خلیج‌فارس تأمین می‌شود که به رغم فصلی بودن بخش آب شیرین آن، آب شور تالاب به دلیل متصل‌بودن به خلیج فارس، دایمی است. جذب سطحی و خروج رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی که وارد تالاب شادگان می‌شود با استفاده از جاذب کیتوسان در فاصله زمانی بهمن ماه ۱۳۹۶ تا خرداد ماه ۱۳۹۷ موردبررسی قرار گرفته است. رنگ‌های آنیونی راکتیو قرمز (Reactive red) و راکتیو آبی (Reactive blue) مورداستفاده در این تحقیق از نوع رنگ‌های آزویی سولفونه و محلول در آب می‌باشند که به‌منظور رنگ دهی به محصولات مختلف در صنایع نساجی و نیشکر به کار می‌روند. از نتایج حاصل مشاهده شد که بیشترین درصد حذف رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی با استفاده از جاذب کیتوسان در pH=۵ بوده و در مقادیر pH بالاتر و پایین‌تر، این بازدهی کاهش می‌یابد؛ بنابراین pH بهینه برای فرآیند حذف در این مطالعه pH=۵ می‌باشد. از نتایج حاصل مشاهده شد که بیشترین درصد حذف رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی با مقدار ۰/۵ گرم در لیتر از جاذب کیتوسان اتفاق افتاده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین درصد حذف برای رنگ راکتیو قرمز در زمان ۵۰ دقیقه و برای رنگ راکتیو بلو در زمان ۴۰ دقیقه توسط جاذب کیتوسان صورت گرفته است.

واژگان کلیدی: تالاب شادگان، آلودگی رنگی، جذب سطحی، کیتوسان، راکتیو قرمز، راکتیو آبی.

مقدمه

تالاب شادگان (با مساحت ۵۳۷۷۰۰ هکتار) یک سیستم زیست‌محیطی وسیع متشکل از تالاب‌های شیرین و شور، به‌علاوه خلیج جزرومدی خور موسی و جزایر آن است. تالاب در پایین‌دست حوضه رودخانه جراحی بین شهرهای شادگان، آبادان و ماهشهر در استان خوزستان قرار داشته و در سمت پائین‌دست، به خلیج‌فارس می‌پیوندد. تالاب شادگان بزرگ‌ترین رامسر سایت ایران بوده که در سال ۱۹۷۵ (۱۳۵۴) به ثبت رسیده و به‌عنوان یک تالاب مهم بین‌المللی شناخته‌شده و از تنوع زیستی غنی‌ای برخوردار است. در مطالعات سال ۱۷،۱۳۸۱ جامعه اصلی گیاهی متشکل از ۱۱۰ گونه گیاهی در محدوده تالاب (شامل جزایر خور موسی) شناسایی‌شده‌اند. همچنین این تالاب به دلیل تنوع جانوری‌اش ازنظر بین‌المللی بسیار معروف و بااهمیت است و تاکنون حدود ۳۱۱ گونه جانوری در حاشیه این تالاب شناسایی‌شده است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

با توجه به محدود بودن منابع آب در کشور، اهمیت بازیابی مجدد آب، گسترش روزافزون صنایع مختلف و در پی آن تولید فاضلاب‌های حاوی غلظت‌های بالای مواد شیمیایی آلی و غیر آلی که عموماً از سمیت و پایداری بالایی نیز برخوردارند، آلوده شدن منابع آب یکی از معضلات اجتماعی و اقتصادی محسوب می‌شود (Ahluwalia and Goyal, 2007). رنگ‌زاها یکی از مهم‌ترین مواد شیمیایی مورداستفاده در بسیاری از صنایع نظیر غذایی، تولید رنگ، کاغذسازی، صنایع نساجی، مواد آرایشی، داروسازی، صنایع الکترونیکی و ... می‌باشند (Aranaz *et al*., 2009). در کنار توسعه صنعت رنگرزی، حجم بالایی از فاضلاب حاوی رنگ نیز تولید می‌شود (Atia *et al*., 2009).

حذف رنگ از پساب یک موضوع نگران‌کننده‌ای است که ازنقطه‌نظر حس زیبایی‌شناختی و بهداشتی نیز اهمیت دارد. وجود رنگ‌زای آلی در پساب‌های صنعتی باعث جلوگیری از نفوذ نور به داخل محیط‌های آبی شده و درنتیجه اختلال در عمل فتوسنتز را به دنبال خواهند داشت. ضمن اینکه تخلیه این فاضلاب‌های به آب‌های پذیرنده موجب کاهش انتقال اکسیژن شده و منجر به پدیده اوتریفیکاسیون و تداخل در اکولوژی آب-های پذیرنده می‌شود. به همین دلیل حذف رنگ از فاضلاب در مقیاس صنعتی در سال‌های اخیر موردتوجه زیادی قرارگرفته است.

رنگینه‌های مصرفی در صنایع شامل دو گروه محلول و نامحلول در آب هستند که حتی در غلظت‌های بسیار پایین هم توسط هر شخصی قابل‌شناسایی هستند. رنگ‌ها به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند: رنگ‌های آنیونی (مستقیم، اسیدی و راکتیو)، کاتیونی (رنگ‌های بازی) و رنگ‌های غیر یونی (رنگ‌های متفرق کننده نور). رنگ‌های آزو گروهی از رنگ‌های راکتیو هستند که حدود ۷۰-۶۰ درصد از کل رنگ‌های مورداستفاده در صنایع را تشکیل می‌دهند. سالیانه در جهان بیش از ۷۰۰/۰۰۰ تن مواد رنگ‌زا سنتز می‌شود که ۵۰٪ آن‌ها آزو هستند. سیستم رنگ‌ساز آن‌ها اساساً شامل گروه آزو -N=N- بوده که به همراه آن‌یک یا چند سیستم آروماتیک نیز حضور دارد. رنگ‌های آزو بزرگ‌ترین دسته از رنگ‌های سنتزی محلول در آب هستند که ازنظر نوع و ساختار دارای بیشترین تنوع هستند. ممکن است در یکرنگ بیش از یک گروه آزو وجود داشته باشد، به‌عنوان‌مثال دی آزو، تری آزو، پلی آز و ... که منظور حضور دو، سه و یا تعداد بیشتری گروه آزو در یک مولکول رنگ است (Behnamfard and Salarirad, 2009). این رنگ‌ها معمولاً به تجزیه بیولوژیکی هوازی مقاوم بوده و با فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی متداول حذف نمی‌شوند؛ بنابراین انتخاب فرآیند تصفیه آب‌کار پیچیده‌ای است که باید عواملی از قبیل فضای سبز در دسترس برای ساخت‌وساز تأسیسات تصفیه‌خانه، کیفیت آب تصفیه‌شده، سرمایه و هزینه‌های عملیاتی در نظر گرفته شود. روش‌های حذف رنگ‌ها از محلول‌های آبی اساساً شامل تکنیک‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است. روش‌های جداسازی متداول شامل تبادل یونی، ترسیب شیمیایی، اسمز معکوس، تکنولوژی‌های غشایی، تخلیص، تبخیر، تصفیه‌ی الکتروشیمیایی و جذب می‌باشند، اما اکثر این روش‌ها به‌جز استفاده از جاذب‌ها، زمانی که غلظت آلاینده کم باشد، ناکارآمد هستند و دارای معایبی از قبیل گرانی دستگاه‌ها و عملیات، تولید لجن یا سایر مواد زائد سمی، نیاز به انرژی و فضای زیاد می‌باشند. در این راستا استفاده از جاذب‌های ارزان‌قیمت می‌تواند بسیار راهگشا باشد. طیف چنین موادی بسیار گسترده و وسیع بوده و ازیک‌طرف ضایعات صنعتی و کشاورزی و از سوی دیگر انواع مختلفی از مواد طبیعی معدنی و آلی را به‌عنوان جاذب در برمی‌گیرد. روش جذب به دلیل عملکرد آسان، مصرف انرژی کم، نگهداری ساده، ظرفیت جذب زیاد و کارایی بالا برای تصفیه محلول‌های آبی مورداستفاده قرارگرفته است. اخیراً تولید بیو پلیمرها به دلیل عدم سمیت در محیط، در دسترس بودن و هزینه پایین آن‌ها، به‌عنوان ابزاری برای جذب رنگ موردتوجه اکثر محققان قرارگرفته است. کیتین و کیتوسان، دو بیوپلیمر مدرن سازگار با محیط‌زیست هستند که دارای توانایی برای جذب رنگ می‌باشند (Chojnacka, 2010).

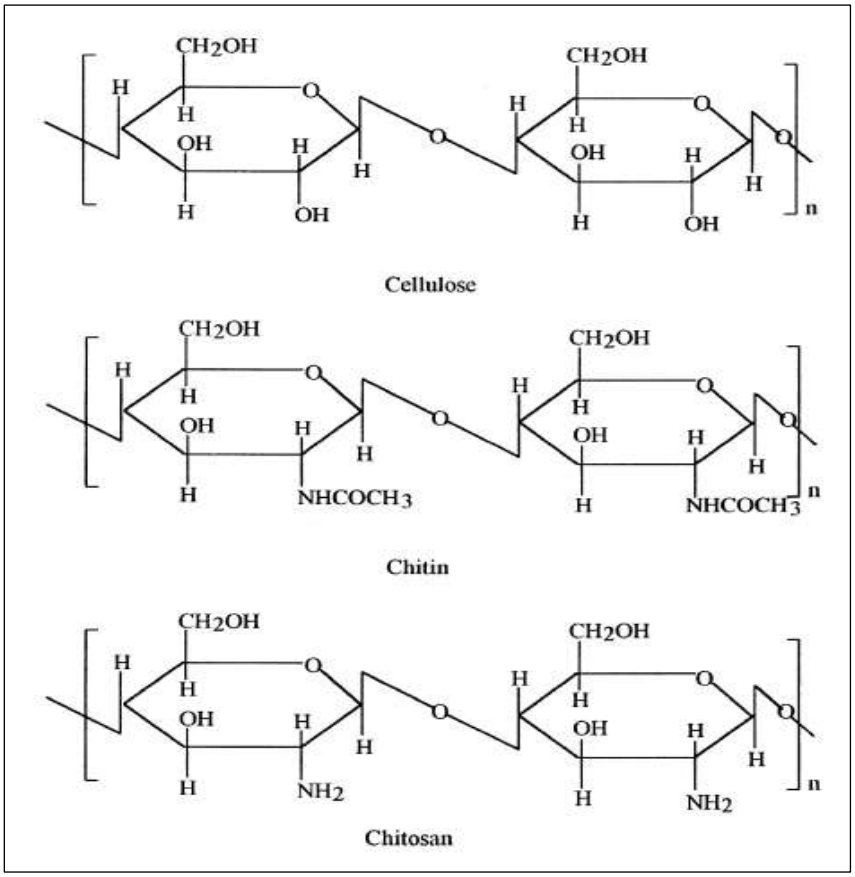
کیتوسان، یک آمینو پلی‌ساکارید طبیعی است که از دی استیله‌شدن کیتین در شرایط قلیایی به دست می‌آید. کیتوسان به‌عنوان یک بیوجاذب پلیمری طبیعی برای حذف مواد رنگ‌زای آنیونی از محلول‌های رنگی توسط محققین مورداستفاده قرارگرفته است. گسترش استفاده از آن به‌عنوان یک بیوجاذب به دو دلیل اصلی می‌باشد: اول، قیمت کمتر آن در مقایسه با جاذب‌های تجاری و فراوان‌تر بودن آن در طبیعت (مشتقی از کیتین بوده و کیتین دومین پلی‌ساکارید طبیعی بعد از سلولز می‌باشد)، دوم، رفتار کیلیت‌کنندگی عالی آن (به‌واسطه این رفتار می-

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

تواند بسیاری از آلاینده‌ها مخصوصاً یون‌های فلزی را جذب کند). ساختار ماکرومولکولی کیتوسان و خصلت کاتیونی منحصربه‌فرد آن باعث شده است که ویژگی‌ها و کاربردهای متنوعی در علوم مختلف مثل بیوتکنولوژی، تصفیه آب، دارورسانی، آرایشی و بهداشتی و صنایع غذایی و ... داشته باشد (Edrissi *et al*., 2010).

خروج دورنگ آنیونی کنگو قرمز و سانست یلو از آب با استفاده از ساقه گیاه *Lady finger stem* در سیستم بچ شدند. تأثیرات عوامل مختلف آزموده شد (Chen *et al*., 2003) و مشخص شد که زمان تماس، pH، مقدار جاذب و دمای سیستم بر روی میزان جذب تأثیر می-گذارد. استفاده از کربن فعال که نانو ذرات کادمیوم سولفید بر روی آن پوشانده شده است، برای خروج رنگ سانست یلو از محلول‌های آبی به‌کاربرده شد (Chojnacka, 2010). آزمایش‌ها در سیستم بچ انجام گردید و تأثیر متغیرهایی مانند زمان تماس، غلظت اولیه رنگ و مقدار جاذب را بررسی نمودند. در ادامه، مطالعه‌ای بر روی جذب رنگ اسید بلو ۱۱۳ توسط گیاه کانولا از محیط آبی انجام شد (Dada, 2012). در این مطالعه از پسماند کانولا به‌عنوان جاذب بررسی شد و ایزوترم‌های جذب تعیین شد و غلظت رنگ به روش اسپکتروفتومتری در طول‌موج ۵۶۶ نانومتر اندازه‌گیری شد. کارایی روش بیوجذب در حذف رنگ راکتیو اورنج ۳ آر از محیط‌های آبی نیز انجام‌شده است (Divakaran and Pillai, 2002). در مطالعه‌ای دیگر، کاربرد پوسته تخم‌مرغ به‌عنوان جاذب طبیعی در حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۲۳ از فاضلاب سنتتیک نساجی انجام شد (Dutta *et al*., 2004). مطالعه‌ای نیز تحت عنوان جذب وانادیوم (IV) به‌وسیله کیتوسان: کنیتیک و تعادلی انجام‌شده است (Edrissi *et al*., 2010). مطالعه‌ی جذب یون‌های فلزی بر روی کیتوسان: مطالعات کنتیک و تعادلی نیز انجام‌شده است (El-Khaiary, 2008). جذب یون‌های کادمیوم روی غشاهای کیتوسان: کنتیک و مطالعات تعادلی نیز انجام‌شده است (Evans, 2002). توانایی غشای کیتوسان به‌عنوان جاذب یون کادمیوم در محلول‌های آبی موردمطالعه قرار گرفت (Febrianto *et al*., 2009). هدف از این تحقیق، مطالعه و بررسی جذب سطحی توسط جاذب کیتوسان و بررسی عواملی از قبیل PH، غلظت اولیه رنگ، زمان تماس و مقدار جاذب در بازدهی فرآیند جذب دورنگ سانست یلو و کارمویزین و هم‌چنین بررسی ایزوترم‌های جذب می‌باشد.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]



شکل ۰: ساختار مولکولی کیتین، کیتوسان و سلولز.

جدول ۱: جدول مقایسه‌ای خصوصیات فیزیکی کیتین و کیتوسان.

پارامتر	کیتین	کیتوسان
فرمول تجربی واحد بیوپلیمر	$C_8H_{13}NO_5$	$C_6H_{11}NO_4$
درجه پلیمریزاسیون	۱۶۰۰–۱۸۰۰	۶۰۰–۱۸۰۰
وزن مولکولی	$(۱–۵)\times ۱۰^{۵}$	$(۱–۵) \times ۱۰^{۵}$
درصد رطوبت	۲–۱۰	۲–۱۰
درصد نیتروژن	۶–۷	۷ – ۸/۴
ویسکوزیته محلول بیوپلیمر در اسید استیک ۱٪ بر حسب cp	غیرقابل‌حل	۲۰۰–۳۰۰۰
ثابت تفکیک (k_a)	۶–۷	۶–۷
درصد دی استیله شدن	۱۰–۱۵	۷۰–۸۵
پیک اشعه ایکس	۸٫۵۸ –۱۰٫۲۶ ۱۹٫۵۸ – ۲۰٫۰۰	۸٫۵۸ –۱۰٫۲۶ ۱۹٫۵۸ – ۲۰٫۰۰

مواد و روش‌ها

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

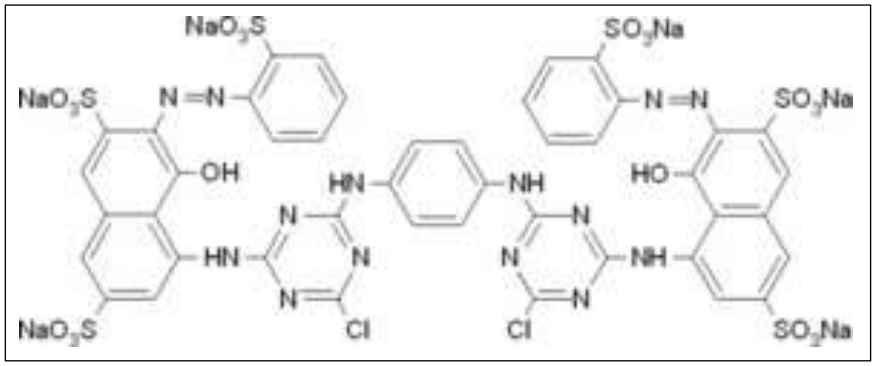
کلیه‌ی مواد شیمیایی مورداستفاده در این پژوهش با درجه خلوص بالا خریداری‌شده و کلیه‌ی محلول‌ها با آب‌مقطر یک‌بار تقطیر تهیه شد. در جدول ۱ فهرست مواد شیمیایی مورداستفاده آمده است؛ و خصوصیات شیمیایی- فیزیکی و ساختار شیمیایی رنگ‌های موردمطالعه در جدول ۳ و شکل ۲ آمده است.

جدول ۲: ترکیبات شیمیایی مورداستفاده.

نام مواد	فرمول شیمیایی	درجه خلوص (٪)	جرم مولکولی (گرم بر مول)	محصول کارخانه
اسیدکلریدریک	HCl	۳۷	۳۶ / ۵	Merck
سدیم هیدروکسید	NaOH	۹۹ – ۱۰۰	۴۰ / ۰۱	کیان کاوه آزما
پودر رنگ راکتیو قرمز	C44H24Cl2N14O20S6Na6	۹۰	۱۴۶۹/۹۸	Sigma _ Aldrich
پودر رنگ راکتیو آبی	C22H16N2 Na2O11S3	۵۰	۶۲۶/۵۴	Sigma _ Aldrich

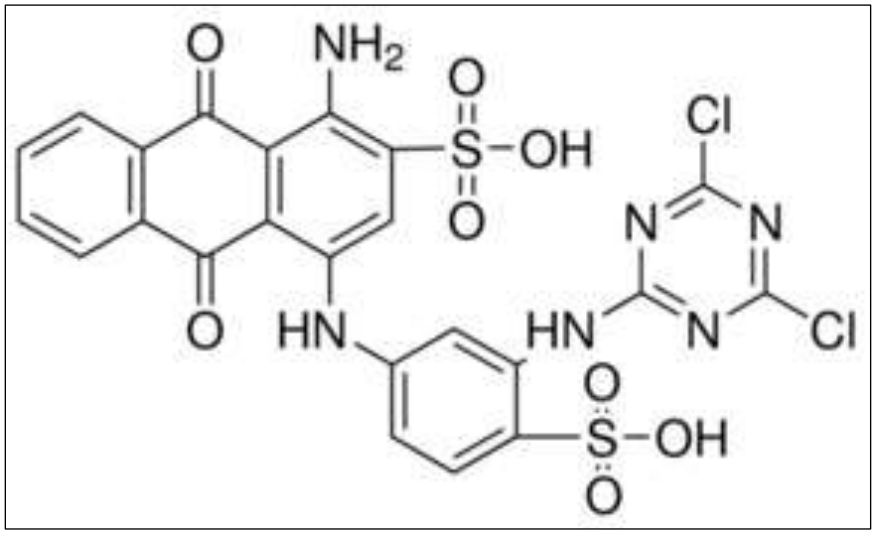
جدول ۳: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رنگ‌های موردمطالعه.

رنگ	فرمول مولکولی	جرم مولکولی (گرم بر مول)	نقطه ذوب (درجه سانتی‌گراد)	λ max (نانومتر)
راکتیو قرمز	$C_{44}H_{24}C_{l2}N_{14}O_{20}S_6Na_6$	۱۴۶۹/۹۸	۳۰۰	۵۱۵
راکتیو آبی	$C_{22}H_{16}N_2\ Na_2O_{11}S_3$	۶۲۶/۵۴	> ۳۰۰	۵۹۴



شکل ۲: ساختار رنگ راکتیوقرمز.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]



شکل ۳: ساختار رنگ راکتیو آبی.

کلیه فاکتورهای محیطی و آنالیزهای آزمایشگاهی در بازه زمانی بهمن ماه ۱۳۹۶ تا خرداد ماه ۱۳۹۷ انجام گرفته است.

در دستگاه pH متر ابتدا طول‌موج موردنظر تنظیم‌شده و سپس سل حاوی شاهد یا حلال (آب مقطر) در مسیر نور قرار می‌گیرد و پیچ کنترل نور تابیده‌شده به آشکارساز، طوری تنظیم می‌شود که جذب برابر صفر شود. سپس غلظت‌های اولیه را از محلول استاندارد تهیه‌کرده و مقدار جذب در طول‌موج ماکزیمم برای هر یک از محلول‌ها به دست آورده و نمودار جذب برحسب غلظت رسم می‌گردد. این نمودار اصطلاحاً نمودار استاندارد یا کالیبراسیون نامیده می‌شود.

آزمایش‌های جذب در مقیاس آزمایشگاهی انجام گردید و از دستگاه جارتست برای اختلاط محلول‌های سنتتیک و جاذب استفاده شد. در این آزمایش‌ها تأثیر عوامل مختلفی شامل pH، زمان تماس، مقدار جاذب و غلظت اولیه رنگ‌های مورد آزمایش، جذب رقابتی دورنگ راکتیو قرمز و راکتیو آبی و مدل‌های ایزوترم برجذب رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی موردبررسی قرار گرفت. به‌منظور تعیین مناسب‌ترین طول‌موج جهت اندازه‌گیری غلظت‌های رنگ موردمطالعه از روش استاندارد متد استفاده شد. درنهایت مناسب‌ترین طول‌موج که حداکثر جذب را برای رنگ راکتیو قرمزnm ۵۱۵ نانومتر و راکتیو آبی ۵۹۴ نانومتر داشته تعیین گردید.

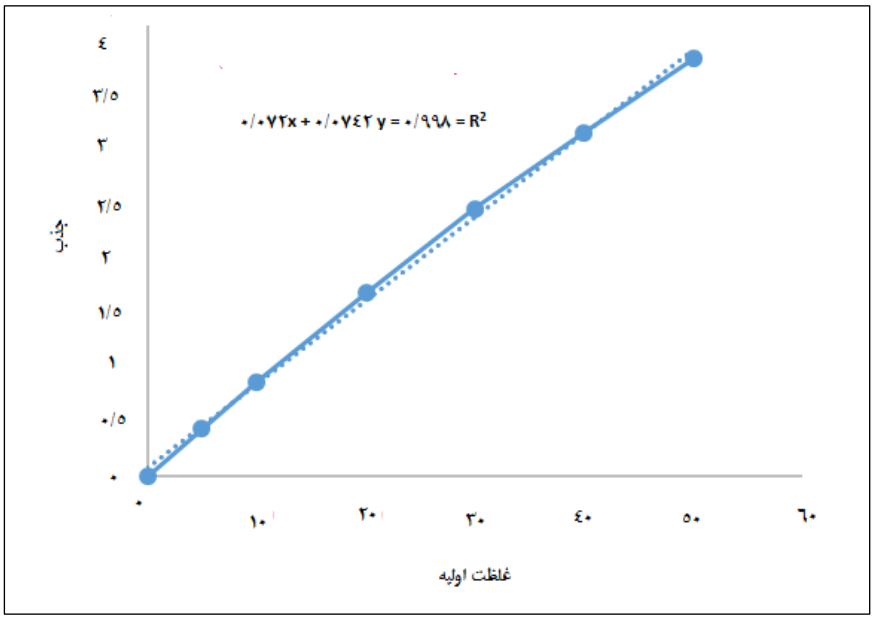
جهت تهیه پساب سنتتیک، ابتدا یک محلول ۱۰۰۰ppm از رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی به‌عنوان محلول استاندارد ساخته شد که برای همگن‌شده به مدت ۳ دقیقه با ۱۸۰ دور بر دقیقه بر روی همزن قرار گرفت و سپس از این محلول به‌عنوان محلول استوک برای آماده‌سازی نمونه‌های با غلظت‌های (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) که همان غلظت‌های اولیه یا C0 هستند استفاده شد.

سنجش غلظت رنگ در نمونه‌های مجهول با استفاده از رسم منحنی کالیبراسیون انجام شد. به این صورت که غلظت‌های مشخصی از رنگ‌های سانست‌یلو و کارمویزین ساخته و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر عدد جذب را به دست آورده سپس منحنی استاندارد را رسم می‌نماییم. با استفاده از نرم‌افزار اکسل، داده‌های x (غلظت) و داده‌های y (جذب) را وارد نموده و به‌صورت زیر با استفاده از فرمول به‌دست‌آمده غلظت نمونه‌های مجهول را به دست می‌آوریم. نتایج مربوط به جذب رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی در غلظت‌های مختلف در جدول ۴ ارائه‌شده است.

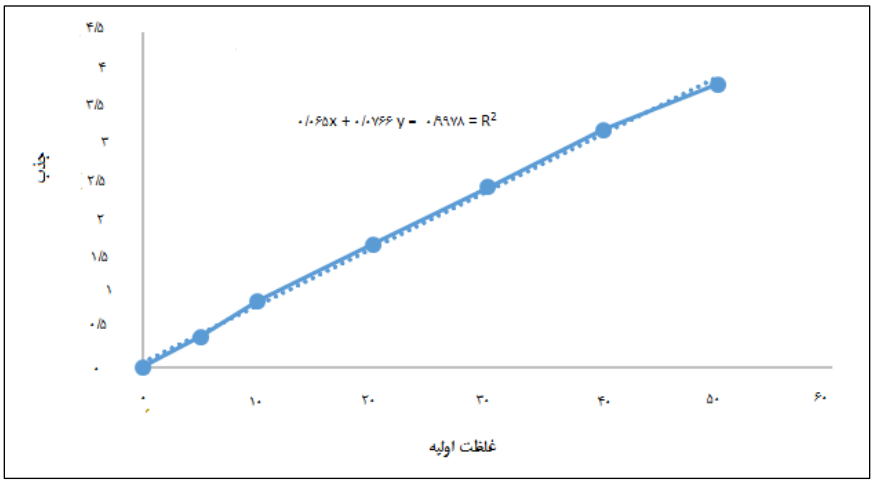
جدول ۴: مقادیر جذب برای غلظت‌های اولیه مختلف از محلول کارمویزین و سانست یلو.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

غلظت اولیه (C_0)	۰	۵	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰
جذب رنگ راکتیو قرمز	۰	۰/۴۲۰	۰/۸۳۶	۱/۶۲۹	۲/۳۷۱	۳/۰۴۶	۳/۷
جذب رنگ راکتیو آبی	۰	۰/۴۱۲	۰/۸۹۳	۱/۶۵۸	۲/۴۱۷	۳/۱۹۸	۳/۸



شکل ۴: نمودار خطی جذب برحسب غلظت رنگ راکتیو قرمز.



شکل ۵: نمودار خطی جذب برحسب غلظت رنگ راکتیو آبی.

درنهایت درصد حذف رنگ با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R\% = [C_0 - C_t / C_0] \times 100$$

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

R% = درصد حذف رنگ

C_0 = غلظت رنگ در زمان صفر (میلی‌گرم / لیتر)

C_t = غلظت رنگ در زمان t (میلی‌گرم / لیتر)

برای آزمون حذف رنگ توسط جاذب کیتوسان برای همه آزمون‌ها، ۲۰۰ میلی‌لیتر از محلول‌های استوک ساخته‌شده در بشر ۱۰۰۰ میلی-لیتری روی جارتست با دور ۱۸۰ دور در دقیقه قرار داده و اختلاط انجام پذیرفت. پس از سپری شدن زمان موردنظر، نمونه‌های گرفته‌شده جهت سنجش غلظت نهایی رنگ بعد از هر مرحله آزمایش، در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه برای مدت ۵ دقیقه قرار داده شد. در ادامه میزان جذب محلول رنگ با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR 5000 در طول‌موج بهینه برای هر رنگ قرائت شد.

نتایج

به‌منظور تعیین pH بهینه جذب رنگ‌ها راکتیو قرمز و راکتیو آبی، ظرف‌های نمونه کاملاً تمیز و با آب مقطر شسته شدند. تنظیم pH در تمام مراحل آزمایش با استفاده از هیدروکسید سدیم (NaOH) و اسید هیدروکلریدریک (HCl) انجام گردید. شروع آزمایش جهت تعیین pH بهینه در محدوده pH (۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱) و شرایط ثابت غلظت ۲۰ (میلی‌گرم / لیتر) رنگ‌زا، دور جارتست ۱۸۰ دور در دقیقه، زمان تماس (۳۰ دقیقه) غلظت جاذب (۰/۳ گرم بر لیتر) و در دمای آزمایشگاه (۵±۲۲) درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. سپس محلول‌های رنگ را در دستگاه سانتریفیوژ برای جداسازی جاذب قرار داده و درنهایت غلظت باقی‌مانده رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی توسط دستگاه جذب اسپکتروفتومتر تعیین شد.

جدول ۵: تأثیر pH بر میزان جذب راکتیو قرمز با جاذب کیتوسان.

درصد حذف	غلظت تعادلی (ppm)	جذب محلول تعادلی (ppm)	pH
۴۹/۷۳	۱۰/۰۵	۰/۸۱	۳
۸۰/۷۹	۳/۸۴	۰/۳۵	۵
۶۸/۰۵	۶/۳۸	۰/۵۴	۷
۳۶/۸۵	۱۲/۶۲	۱/۰۰	۹
۱۱/۲۵	۱۷/۷۴	۱/۳۸	۱۱

جدول ۶: تأثیر pH برجذب رنگ راکتیو آبی با جاذب کیتوسان

درصد حذف	غلظت تعادلی (ppm)	جذب محلول تعادلی (ppm)	pH
۳۴/۳۰	۱۳/۱۳	۱/۰۷	۳
۴۵/۴۶	۱۰/۹۰	۰/۹۰	۵

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

۷	۱/۱۶	۱۴/۲۴	۲۸/۷۵
۹	۱/۳۶	۱۶/۸۶	۱۵/۶۹
۱۱	۱/۵۲	۱۸/۹۸	۵/۰۵

برای تعیین اثر مدت‌زمان اختلاط برجذب رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی محلول‌های در محدوده زمانی (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰) دقیقه و شرایط ثابت غلظت ۲۰ میلی‌گرم / لیتر رنگ‌زا، غلظت جاذب (۰/۳ گرم بر لیتر) و در دمای آزمایشگاه (۵±۲۲) درجه سانتی‌گراد و در pH بهینه (pH = ۵) به‌دست‌آمده از مرحله قبل برای رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی تنظیم شد. سپس نمونه‌ها در زمان‌های موردبررسی برداشت‌شده و برای تعیین غلظت باقی‌مانده رنگ موردراندازه‌گیری قرار گرفتند.

جدول ۷: تأثیر زمان تماس بر میزان جذب رنگ راکتیو قرمز با جاذب کیتوسان.

درصد حذف	غلظت تعادلی (ppm)	جذب محلول تعادلی (ppm)	زمان (دقیقه)
۶۸/۱۹	۶/۳۶	۰/۵۴	۵
۷۵/۴۰	۴/۹۱	۰/۴۳	۱۰
۸۶/۷۲	۲/۶۵	۰/۲۶	۲۰
۸۰/۷۹	۳/۸۴	۰/۳۵	۳۰
۹۴/۳۳	۱/۱۳	۰/۱۵	۴۰
۹۸/۳۸	۰/۳۲	۰/۰۹	۵۰

جدول ۸: تأثیر زمان تماس بر میزان جذب رنگ راکتیو آبی با جاذب کیتوسان.

درصد حذف	غلظت تعادلی (ppm)	جذب محلول تعادلی (ppm)	زمان (دقیقه)
۳۱/۶۲	۱۳/۶۷	۱/۱۱	۵
۳۹/۰۶	۱۲/۱۸	۱/۰۰	۱۰
۴۴/۶۱	۱۱/۰۷	۰/۹۱	۲۰
۴۵/۴۶	۱۰/۹۰	۰/۹۰	۳۰
۵۶/۴۹	۸/۷۰	۰/۷۳	۴۰
۵۵/۹۷	۸/۸۰	۰/۷۴	۵۰

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

تعیین مقدار جاذب بهینه با غلظت ثابت ۲۰ میلی‌گرم / لیتر از رنگ‌های موردنظر، دور ۱۸۰ دور / دقیقه در pH و زمان بهینه به‌دست‌آمده از مراحل قبل و مقدار جاذب در محدوده (۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵) گرم / لیتر برای رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی انجام شد. مقدار باقی-مانده هر رنگ در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اسپکتروفتومتر تعیین شد.

جدول ۹: تأثیر مقدار جاذب بر میزان جذب رنگ راکتیو قرمز.

درصد حذف	غلظت تعادلی (ppm)	جذب محلول تعادلی (ppm)	مقدار جاذب (گرم)
۶۸/۸۶	۶/۲۲	۰/۵۳	۰/۱
۹۲/۷۲	۱/۴۵	۰/۱۸	۰/۲
۹۴/۰۷	۱/۱۸	۰/۱۶	۰/۳
۹۴/۸۷	۱/۰۲	۰/۱۴	۰/۴
۹۸/۷۸	۱/۲۴	۰/۰۹	۰/۵

جدول ۱۰: تأثیر مقدار جاذب بر میزان جذب رنگ راکتیو آبی.

درصد حذف	غلظت تعادلی (ppm)	جذب محلول تعادلی (ppm)	مقدار جاذب (گرم)
۴۲/۹۱	۱۱/۴۱	۰/۹۴	۰/۱
۴۵/۵۹	۱۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۲
۵۶/۴۹	۸/۷۰	۰/۷۳	۰/۳
۵۸/۲۵	۸/۳۵	۰/۷۰	۰/۴
۷۷/۵۱	۴/۴۹	۰/۴۱	۰/۵

برای تعیین تأثیر غلظت اولیه رنگ بر حذف رنگ‌های موردنظر، نمونه‌های با غلظت‌های (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰و۵۰) میلی‌گرم / لیتر از رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی به‌طور جداگانه تهیه و در pH، مقدار جاذب و زمان بهینه به‌دست‌آمده از مراحل قبل، عمل هم زدن در دمای آزمایشگاه با دور ۱۸۰ دور/ دقیقه صورت پذیرفت. سپس مقدار باقی‌مانده‌ی رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی در هر نمونه تعیین مقدار گردید.

جدول ۱۱: بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگ راکتیو قرمز بر میزان جذب.

درصد حذف	غلظت تعادلی (ppm)	جذب محلول تعادلی (ppm)	غلظت اولیه (ppm)
۹۹/۴۶	۰/۱۰	۰/۰۸	۵
۹۸/۱۱	۰/۳۷	۰/۱	۱۰
۹۶/۰۹	۰/۷۸	۰/۱۳	۲۰
۹۳/۹۳	۱/۲۱	۰/۱۶	۳۰
۵۸/۷۶	۸/۲۴	۰/۶۸	۴۰
۴۱/۷۷	۱۱/۶۴	۰/۹۳	۵۰

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

جدول ۱۲: بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگ راکتیو آبی بر میزان جذب.

درصد جذب	غلظت تعادلی (ppm)	جذب محلول تعادلی (ppm)	غلظت اولیه (ppm)
۹۸/۶۶	۰/۲۶	۰/۰۸	۵
۹۶/۰۵	۰/۷۸	۰/۱۳	۱۰
۷۷/۵۱	۴/۴۹	۰/۴۱	۲۰
۵۰/۶۸	۹/۸۶	۰/۸۲	۳۰
۱۷/۹۱	۱۶/۴۱	۱/۳۲	۴۰
۶/۶۲	۱۸/۶۷	۱/۵	۵۰

برای تعیین اثر رقابتی جذب همزمان رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی، دو نمونه با مشخصات بهینه هر رنگ که در مراحل قبل به دست آمد، تهیه شد. قابل‌ذکر است که در هر نمونه غلظت بهینه هر دورنگ وجود داشت. سپس هر نمونه بر طبق شرایط بهینه هر رنگ انجام شد و مقدار رنگ باقی‌مانده سانست یلو و کارمویزین برای هر نمونه اندازه‌گیری شد.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو بلو ازجمله رنگ‌های آنیونی می‌باشند لذا کاهش بیش‌ازحد pH باعث پروتونه‌شدن رنگ و درنتیجه کاهش تمایل به جذب می‌شود. با افزایش بیش‌ازحد pH نیز میزان جذب، کاهش‌یافته که ناشی از تجمع یون‌های هیدروکسید در اطراف رنگ است. از جایی که میزان pH محیط، یکی از تأثیرگذارترین فاکتورها بر روی میزان حذف رنگ‌ها از محیط‌های آبی است (Song *et al*., 2009)، لذا از نتایج حاصل مشاهده شد که بیشترین درصد حذف رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی مشاهده‌شده در آب ورودی به تالاب شادگان، با استفاده از جاذب کیتوسان در pH= ۵ می‌باشد و در مقادیر pH بالاتر و پایین‌تر این بازدهی کاهش می‌یابد؛ بنابراین مقادیر pH بهینه برای فرآیند حذف در این مطالعه pH= ۵می‌باشد.

ناطقی و همکاران، مطالعاتی در مورد حذف رنگ در شرایط مختلف با استفاده از نانو ذرات اکسید نیکل انجام داده و نشان داده‌اند که با افزایش pH، میزان حذف رنگ کاهش‌یافته و مناسب‌ترین pH برای شرایط واکنش، ۳ بوده است (Natteghi *et al*., 2010)، البته مناسب‌تر بودن pH اسیدی در مطالعات آکسو و همکاران در مطالعه حذف رنگ رمازول توسط لجن فعال نیز تائید شد (Aksu.*et al*., 2010).

به‌علاوه، با افزایش زمان تماس نیز میزان جذب افزایش‌یافته که در ابتدای فرایند، مقدار جذب بالا بوده و سپس به یک حد ثابتی می‌رسد که ناشی از اشباع‌شدن محل‌های جذب بر روی جاذب کیتوسان و افزایش نیروهای جاذبه بین مولکول‌های ماده جذب‌شونده است (Ghaneian.*et al*., 2013). این مورد در مطالعات باتاچاریا و همکاران در مطالعه حذف رنگ‌های قرمز کنگو و متیل بنفش در نمونه‌های آب رودخانه تائید شده است (Bhattacharyya *et al*., 2015). در مورد تأثیر مقدار جاذب بر میزان جذب رنگ، مشاهده شد که با افزایش مقدار جاذب، میزان جذب بیشتر شده که به علت افزایش مساحت سطح و افزایش تعداد نقاط جذب فعال می‌باشد (Vimonses *et al*., 2009). این نتایج توسط لیو و همکاران که با استفاده از جاذب کیتوسان بر روی رنگ‌های آنیونی انجام‌شده نیز تائید شده است (Liu *et al*., 2015). با افزایش غلظت اولیه رنگ، مقدار جذب زیاد شده، درحالی‌که درصد جذب کم می‌شود. این کاهش ممکن است به دلیل کاهش تعداد سایت‌های فعال جاذب در غلظت‌های بالای رنگ باشد. از نتایج حاصل مشاهده شد که بیشترین درصد حذف رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی با مقدار

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

۰/۵ گرم در لیتر از جاذب کیتوسان اتفاق افتاده است. Meshkat و همکاران (۲۰۱۹) ، حذف رنگ کارمین با استفاده از کیتین را بررسی کرده‌اند (Meshkat *et al*., *2019*). Sutriman و همکاران (۲۰۱۹)، حذف فلزات سنگین توسط جاذبهای بر پایه کیتوسان را بررسی کردند (Sutriman *et al*,. *2018*) Xinxia و همکاران (۲۰۱۹)، حذف انواع رنگ‌های آنیونی و کاتیونی را با استفاده از جاذب‌های سلولزی مورد بررسی قرار دادند (Xinxia *et al*., *2019*). در همه موارد گفته شده کارایی سیستم جذب با استفاده از کیتوسان و جاذب‌های سلولزی تایید شده است.

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین درصد حذف برای رنگ راکتیو قرمز در مدت‌زمان ۵۰ دقیقه و برای رنگ راکتیو آبی در مدت‌زمان ۴۰ دقیقه توسط جاذب کیتوسان صورت گرفته است.

نتایج نشان می‌دهد که رنگ راکتیو قرمز در شرایط بهینه بالاترین درصد حذف را نسبت به راکتیو آبی داشته است.

در این مطالعه، کارایی جاذب کیتوسان در جذب رنگ‌های موجود در نمونه‌های آب‌گرفته شده از تالاب شادگان که حاوی رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو بلو بودند موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که کیتوسان دارای ظرفیت جذب مناسبی برای رنگ‌های اشاره-شده در شرایط آزمایشگاهی است. در این مطالعه، تأثیر pH و غلظت اولیه بر روی میزان جذب بررسی و مشخص شد که هر دو دارای تأثیر بالایی بر میزان جذب می‌باشند. با افزایش دوز جاذب، مقدار جذب به میزان زیادی افزایش می‌یابد. جاذب کیتوسان به دلیل سمی نبودن، هزینه کم و دسترسی راحت و ظرفیت جذب بالا و عدم مزاحمت برای سایر موجودات زنده سیستم‌های اکولوژیکی می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای حذف انواع آلاینده‌های رنگی از محیط‌های اکولوژیکی باشد.

وجود ناخالصی‌های مختلف به همراه رنگ و همچنین جدا نشدن کامل جاذب کیتوسان از محلول در هنگام اندازه‌گیری میزان جذب اشاره کرد که می‌تواند باعث ایجاد خطا شود. پیشنهاد می‌شود که می‌توان برای راندمان بیشتر حذف رنگ، از دو زه‌ای بالاتر جاذب استفاده کرد و یا کیتوزان مورداستفاده را برای راندمان بالاتر اصلاح نمود. به‌علاوه پیشنهاد می‌شود که از کیتوزان برای حذف سایر رنگ‌های مشاهده‌شده در تالاب‌ها و ازجمله تالاب شادگان و انجام مطالعات تکمیلی توسط سایر پژوهشگران نیز استفاده شود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز به خاطر حمایت‌های بی‌دریغ در انجام این تحقیق، کمال تشکر را دارند.

منابع

Ahluwalia, S. S. and Goyal, D., 2007. Bioresour Technol. 98(12), 2243-2257.

Aksu, Z. and Akın, A. B., 2010. Comparison of Remazol Black B biosorptive properties of live and treated activated sludge. Chemi Engin J. 165(1): 184-93.

Aranaz, I., Mengíbar, M., Harris, R., Panos, I., Miralles, B., Acosta, N. and Heras, A. 2009. Current Chemical Biology, 3(2), 203-230.

Atia, A. A., Donia, A. M. and Al-Amrani, W. A., 2009. Desalination, 246(1), 257-274.

Behnamfard, A. and Salarirad, M. M., 2009. Journal of hazardous materials, 170(1), 127-133.

Bhattacharyya, R. and Ray, S.K., 2015. Removal of congo red and methyl violet from water using nano clay filled composite hydrogels of poly acrylic acid and polyethylene glycol. Chemi Engine J. 260:269-83.

Chen, L., Chen, D. and Wu, C., 2003. Journal of Polymers and the Environment, 11(3), 87-92.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

Chojnacka, K., 2010. Environment International. 36(3), 299-307.

Dada, A., Olalekan, A., Olatunya, A. and Dada, O., 2012. Langmuir, Freundlich. Journal of Applied Chemistry, 3(1), 38-45.

Divakaran, R. and Pillai, V. S., 2002. Water Research, 36(9), 2414-2418.

Dutta, P. K., Dutta, J. and Tripathi, V., 2004. Journal of scientific and industrial research. 63(1), 20-31.

Edrissi, M., Asl, N. R. and Madjidi, B., 2008. Turkish Journal of Chemistry. *32*(4), 505-519.

El-Khaiary, M. I., 2008. Journal of hazardous materials. 158(1), 73-87.

Evans, J. R., Davids, W. G., MacRae, J. D. and Amirbahman, A., 2002. Water Research. 36(13), 3219-3226.

Febrianto, J., Kosasih, A. N., Sunarso, J., Ju, Y. H., Indraswati, N. and Ismadji, S., 2009. Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: a summary of recent studies. Journal of hazardous materials, *162*(2), 616-645.

Ghaneian, M., Dehvari, M., Jourabi Yazdi, N. Mootab, M. and Jamshidi, B., 2013. .Evaluation of efficiency of russian knapweed flower powder in removal of reactive Blue 19 from synthetic textile wastewater. J Rafsanjan Univ Med Sci.12(10): 831-42.

Liu, Q., Yang, B., Zhang, L. and Huang, R., 2015. Adsorption of an anionic azo dye by cross-linked chitosan/bentonite composite. Intern J bio macro. 72: 1129-35.

Meshkat, S. S., Nasiri Nezhad, M. and Mohammad Reza Bazmi, M. R., 2019. Investigation of Carmine Dye Removal by Green Chitin Nanowhiskers Adsorbent. Emerging Science Journal, 3 (3): 187-194

Nateghi, R., Bonyadinejad, G. R., Amin, M. M. and Assadi, A., 2010. Nickel oxide nanoparticles application as an efficient adsorbent for dye removal from synthetic wastewater treatment. Health system research. 6: 1015-21.

Song, Z., Chen, L., Hu, J. and Richards, R., 2009. NiO (111) nanosheets as efficient and recyclable adsorbents for dye pollutant removal from wastewater. J Nanotechnology. 20(27): 2-10.

Sutirman, Z. A., Sanagi, M. M., Abd Karim, K. J., Abu Naim, A. and Ibrahim, W. A., 2018. Chitosan-based adsorbent for the removal of metal ions from aqueous solutions. Malaysian Journal of Analytical Science, 22 (5): 839 – 850.

Vimonses, V., Jin, B., Chow, C. W. K. and Saint, C., 2009. Enhancing removal efficiency of anionic dye by combination and calcination of clay materials and calcium hydroxide. J Hazard Mater. 171(1–3): 941-7.

Yue, X., Huang, J., Jiang, F., Lin, H. and Chen, Y., **2019**. Synthesis and characterization of cellulose-based adsorbent for removal of anionic and cationic dyes. Journal of Engineering Fibers and Fabrics.14:1–10.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]