

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

چکیده

تالاب بین‌المللی شادگان یکی از تالاب‌های بزرگ ایران است. این تالاب در جنوب غربی ایران در جنوب شهر شادگان در استان خوزستان واقع شده 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 مونتر) کرده است. آب این تالاب بین‌المللی که از لحاظ رتبه‌های ثبت شده در یونسکو در گذشته در رتبه پنجم جهانی قرار داشت، از رودخانه‌های جراحی و کارون و همچنین جزر و مد خلیج فارس تأمین می‌شود که به رغم فصلی بودن بخش آب شیرین آن، آب شور تالاب به دلیل متصل بودن به خلیج فارس، دائمی 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 مورد بررسی قرار گرفته است. رنگ‌های آنیونی راکتیو قرمز (Reactive red) و راکتیو آبی (Reactive blue) مورد استفاده در این تحقیق از نوع رنگ‌های آزویی سولفونه و محلول در آب می‌باشند که به منظور 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 $pH=5$ بوده و در مقادیر pH بالاتر و پایین‌تر، این بازدهی کاهش می‌یابد؛ بنابراین pH بهینه برای فرآیند حذف در این مطالعه $pH=5$ 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 به دست آمده 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، به علاوه خلیج جزرومدی خور موسی و جزایر آن است. تالاب در پایین دست حوضه رودخانه جراحی بین شهرهای شادگان، آبادان و ماهشهر در استان خوزستان قرار داشته و در سمت پائین دست، به خلیج فارس می‌پیوندد. تالاب شادگان بزرگ‌ترین رامسر سایت ایران بوده که در سال ۱۹۷۵ (۱۳۵۴) به ثبت رسیده و به‌عنوان یک تالاب مهم بین‌المللی شناخته شده 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) شناسایی شده‌اند. همچنین این تالاب به دلیل تنوع جانوری‌اش از نظر بین‌المللی بسیار معروف و بااهمیت است و تاکنون حدود ۳۱۱ گونه جانوری در حاشیه این تالاب شناسایی شده است.

مؤگان یکرنگی^۱

محمد کاظم محمدی^{*۲}

عبدالحسن دولاح^۳

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: ۱۰۶۶۸۶-۱۳۹۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۹

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی

ارشد است.



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). رنگ‌ها یکی از مهم‌ترین مواد شیمیایی مورد استفاده 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).

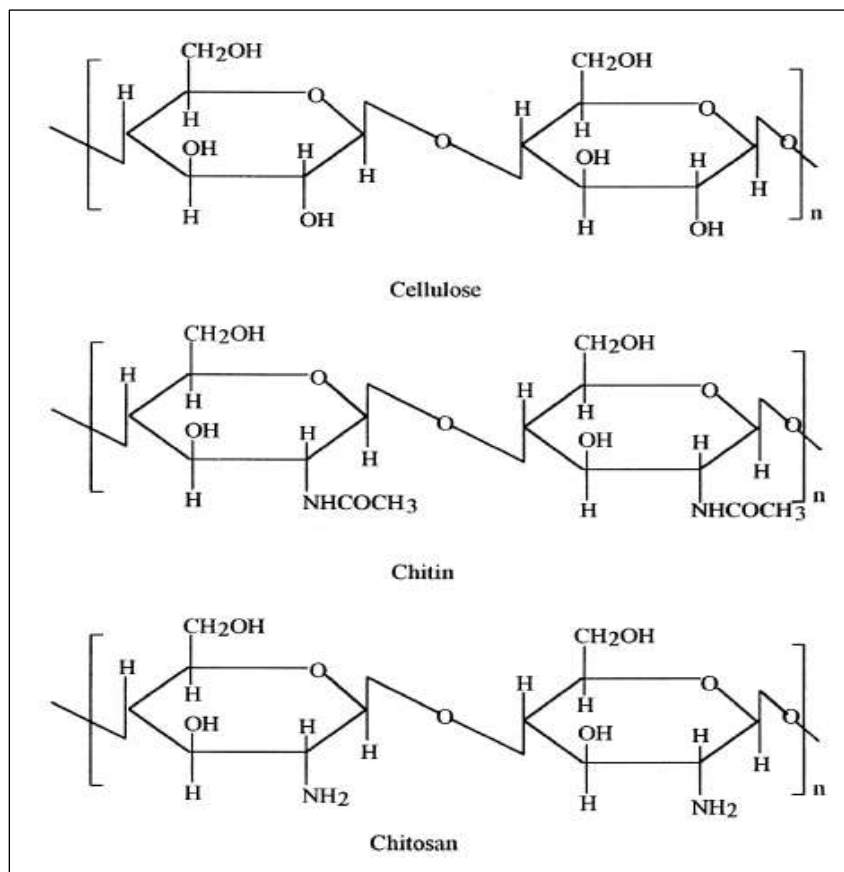
حذف رنگ از پساب یک موضوع نگران‌کننده‌ای است که از نقطه‌نظر حس زیبایی‌شناختی و بهداشتی نیز اهمیت دارد. وجود رنگ‌زای آلی در پساب‌های صنعتی باعث جلوگیری از نفوذ نور به داخل محیط‌های آبی شده و در نتیجه اختلال در عمل فتوسنتز را به دنبال خواهند داشت. ضمن اینکه تخلیه این فاضلاب‌های به آب‌های پذیرنده موجب کاهش 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 مورد توجه زیادی قرار گرفته 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 به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند: رنگ‌های آنیونی (مستقیم، اسیدی و راکتیو)، کاتیونی (رنگ‌های بازی) و رنگ‌های غیر یونی (رنگ‌های متفرق‌کننده نور). رنگ‌های آزو گروهی از رنگ‌های راکتیو هستند که حدود ۶۰-۷۰ درصد از کل رنگ‌های مورد استفاده 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 آن یک یا چند سیستم آروماتیک نیز حضور دارد. رنگ‌های آزو بزرگ‌ترین دسته از رنگ‌های سنتزی محلول در آب هستند که از نظر نوع و ساختار دارای بیشترین تنوع هستند. ممکن است در یک رنگ بیش از یک گروه آزو وجود داشته باشد، به‌عنوان مثال دی آزو، تری آزو، پلی آزو 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، تصفیه 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 از یک طرف 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 مورد استفاده قرار گرفته است. اخیراً تولید بيو پليمرها به دليل عدم سمیت در محیط، در دسترس بودن و هزینه پایین آن‌ها، به‌عنوان ابزاری برای جذب رنگ مورد توجه اکثر محققان قرار گرفته 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 مورد استفاده قرار گرفته 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-

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 بیج 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 می‌گذارد. 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 بیج 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 اسپکتروفوتومتری در طول موج ۵۶۶ نانومتر اندازه‌گیری شد. کارایی روش بیوجذب در حذف رنگ راکتیو اورنج ۳ آر از محیط‌های آبی نیز انجام شده 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: کنتیک و تعادلی انجام شده است (Edrissi *et al.*, 2010). مطالعه‌ی جذب یون‌های فلزی بر روی کیتوسان: مطالعات کنتیک و تعادلی نیز انجام شده است (El-Khaiary, 2008). جذب یون‌های کادمیوم روی غشاهای کیتوسان: کنتیک و مطالعات تعادلی نیز انجام شده است (Evans, 2002). توانایی غشای کیتوسان به‌عنوان جاذب یون کادمیوم در محلول‌های آبی مورد مطالعه 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 کارمیزین و هم‌چنین بررسی ایزوترم‌های جذب می‌باشد.



شکل ۱: ساختار مولکولی کیتین، کیتوسان و سلولز.

جدول ۱: جدول مقایسه‌ای خصوصیات فیزیکی کیتین و کیتوسان.

کیتوسان	کیتین	پارامتر
$C_6H_{11}NO_4$	$C_8H_{13}NO_5$	فرمول تجربی واحد بیوپلیمر
۶۰۰-۱۸۰۰	۱۶۰۰-۱۸۰۰	درجه پلیمریزاسیون
$(1-5) \times 10^5$	$(1-5) \times 10^5$	وزن مولکولی
۲-۱۰	۲-۱۰	درصد رطوبت
۷ - ۸/۴	۶-۷	درصد نیتروژن
۲۰۰-۳۰۰۰	غیرقابل حل	ویسکوزیته محلول بیوپلیمر در اسید استیک ۱٪ بر حسب cp
۶-۷	۶-۷	ثابت تفکیک (k_d)
۷۰-۸۵	۱۰-۱۵	درصد دی استیل‌شدن
۸'۵۸ - ۱۰'۲۶	۸'۵۸ - ۱۰'۲۶	بیک اشعه ایکس
۱۹'۵۸ - ۲۰'۰۰	۱۹'۵۸ - ۲۰'۰۰	

مواد و روش‌ها

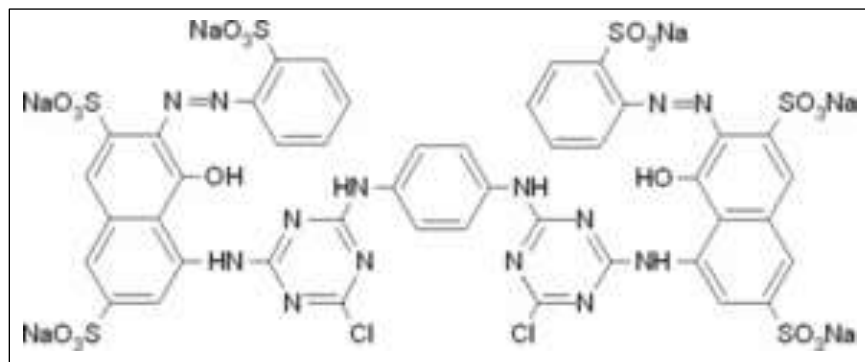
کلیه‌ی مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش با درجه خلوص بالا خریداری شده و کلیه‌ی محلول‌ها با آب مقطر یکبار تقطیر تهیه شد. در جدول ۱ فهرست مواد شیمیایی مورد استفاده آمده است؛ و خصوصیات شیمیایی- فیزیکی و ساختار شیمیایی رنگ‌های مورد مطالعه در جدول ۳ و شکل ۲ آمده است.

جدول ۲: ترکیبات شیمیایی مورد استفاده.

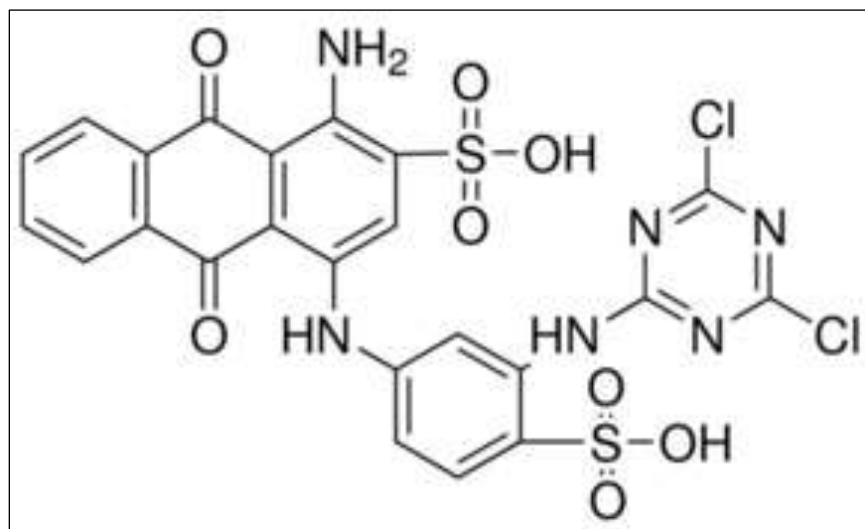
نام مواد	فرمول شیمیایی	درجه خلوص (%)	جرم مولکولی (گرم بر مول)	محصول کارخانه
اسید کلریدریک	HCl	۳۷	۳۶ / ۵	Merck
سدیم هیدروکسید	NaOH	۹۹ - ۱۰۰	۴۰ / ۰۱	کیان کاوه آزما
پودر رنگ راکتیو قرمز	C ₄₄ H ₂₄ Cl ₂ N ₁₄ O ₂₀ S ₆ Na ₆	۹۰	۱۴۶۹/۹۸	Sigma _ Aldrich
پودر رنگ راکتیو آبی	C ₂₂ H ₁₆ N ₂ Na ₂ O ₁₁ S ₃	۵۰	۶۲۶/۵۴	Sigma _ Aldrich

جدول ۳: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رنگ‌های مورد مطالعه.

رنگ	فرمول مولکولی	جرم مولکولی (گرم بر مول)	نقطه ذوب (درجه سانتی‌گراد)	λ max (نانومتر)
راکتیو قرمز	C ₄₄ H ₂₄ Cl ₂ N ₁₄ O ₂₀ S ₆ Na ₆	۱۴۶۹/۹۸	۳۰۰	۵۱۵
راکتیو آبی	C ₂₂ H ₁₆ N ₂ Na ₂ O ₁₁ S ₃	۶۲۶/۵۴	> ۳۰۰	۵۹۴



شکل ۲: ساختار رنگ راکتیو قرمز.



شکل ۳: ساختار رنگ راکتیو آبی.

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

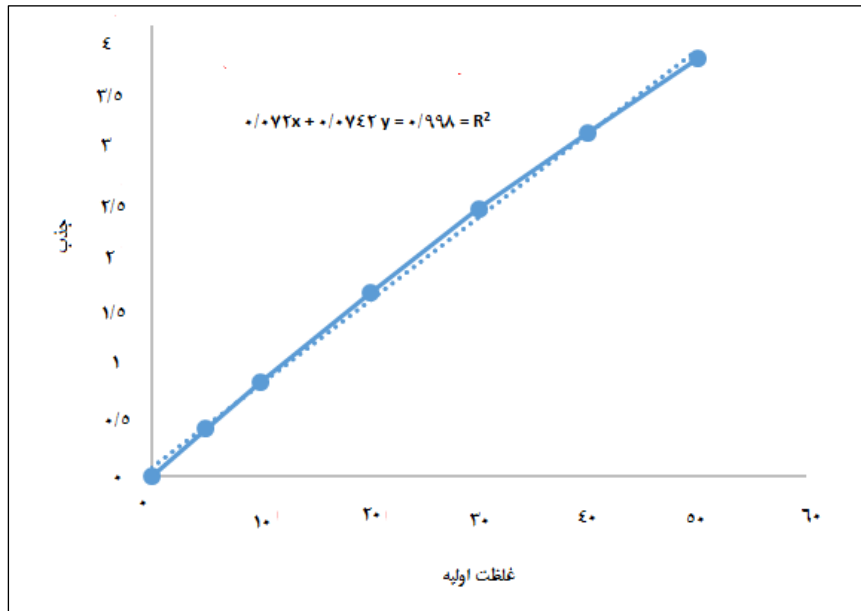
در دستگاه pH متر ابتدا طول موج مورد نظر تنظیم شده و سپس سل حاوی شاهد یا حلال (آب مقطر) در مسیر نور قرار می‌گیرد و پیچ کنترل نور تاییده شده به آشکارساز، طوری تنظیم می‌شود که جذب برابر صفر شود. سپس غلظت‌های اولیه را از محلول استاندارد تهیه کرده و مقدار جذب در طول موج ماکزیمم برای هر یک از محلول‌ها به دست 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 بر جذب رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین مناسب‌ترین طول موج جهت اندازه‌گیری غلظت‌های رنگ مورد مطالعه از روش استاندارد متد استفاده شد. در نهایت مناسب‌ترین طول موج که حداکثر جذب را برای رنگ راکتیو قرمز ۵۱۵ نانومتر و راکتیو آبی ۵۹۴ نانومتر داشته تعیین گردید.

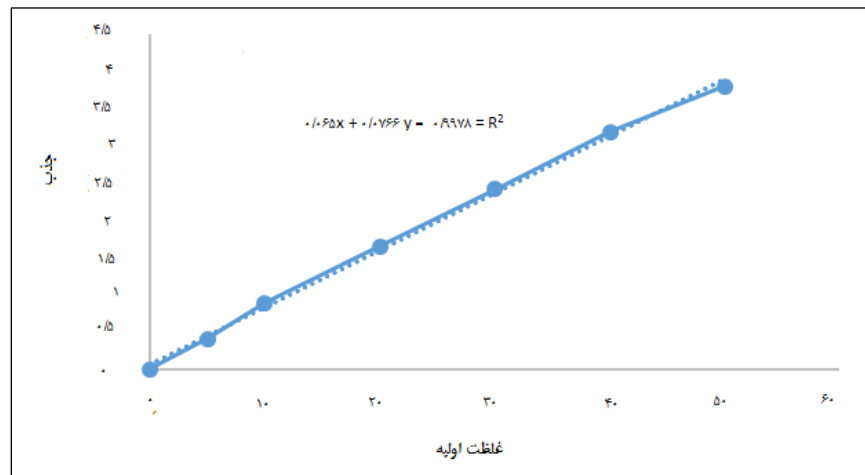
جهت تهیه پساب سنتتیک، ابتدا یک محلول ۱۰۰۰ ppm از رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی به عنوان محلول استاندارد ساخته شد که برای همگن شده به مدت ۳ دقیقه با ۱۸۰ دور بر دقیقه بر روی همزن قرار گرفت و سپس از این محلول به عنوان محلول استوک برای آماده سازی نمونه‌های با غلظت‌های (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) که همان غلظت‌های اولیه یا CO 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 به صورت زیر با استفاده از فرمول به دست آمده غلظت نمونه‌های مجهول را به دست می‌آوریم. نتایج مربوط به جذب رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی در غلظت‌های مختلف در جدول ۴ ارائه شده است.

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

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 بر حسب غلظت رنگ راکتیو قرمز.



شکل ۵: نمودار خطی جذب بر حسب غلظت رنگ راکتیو آبی.

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

$$R\% = [C_0 - C_1 / C_0] \times 100$$

$$R\% = \text{درصد حذف رنگ}$$

$$C_0 = \text{غلظت رنگ در زمان صفر (میلی‌گرم / لیتر)}$$

$$C_t = \text{غلظت رنگ در زمان } t \text{ (میلی‌گرم / لیتر)}$$

برای آزمون حذف رنگ توسط جاذب کیتوسان برای همه آزمون‌ها، ۲۰۰ میلی‌لیتر از محلول‌های استوک ساخته‌شده در بشر ۱۰۰۰ میلی‌لیتری 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 اسپکتروفوتومتر مدل DR 5000 در طول موج 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 (۲۲±۵) درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. سپس محلول‌های رنگ را در دستگاه سانتریفیوژ برای جداسازی جاذب قرار داده و در نهایت غلظت باقی‌مانده رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی توسط دستگاه جذب اسپکتروفوتومتر تعیین شد.

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

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

جدول ۶: تأثیر pH بر جذب رنگ راکتیو آبی با جاذب کیتوسان

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

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

برای تعیین اثر مدت زمان اختلاط بر جذب 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 رنگ‌زاه، غلظت جاذب (۰/۳ گرم بر لیتر) و در دمای آزمایشگاه (۲۲±۵) درجه سانتی‌گراد و در pH بهینه (pH = ۵) به دست آمده از مرحله قبل برای رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو آبی تنظیم شد. سپس نمونه‌ها در زمان‌های مورد بررسی برداشت شده و برای تعیین غلظت باقی‌مانده رنگ مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

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

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

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

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

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 باقی‌مانده هر رنگ در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اسپکتروفوتومتر 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، ۴۰ و ۵۰) 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	۱/۳۱	۰/۱۶	۳۰
۵۸/۷۶	۸/۲۴	۰/۶۸	۴۰
۴۱/۷۷	۱۱/۶۴	۰/۹۳	۵۰

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. قابل ذکر است که در هر نمونه غلظت بهینه هر دو رنگ وجود داشت. سپس هر نمونه بر طبق شرایط بهینه هر رنگ انجام شد و مقدار رنگ باقی مانده سانست یلو و کارموزین برای هر نمونه اندازه‌گیری شد.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه رنگ‌های راکتیو قرمز و راکتیو بلو از جمله رنگ‌های آنیونی می‌باشند لذا کاهش بیش از حد pH باعث پروتونه شدن رنگ و در نتیجه کاهش تمایل به جذب می‌شود. با افزایش بیش از حد pH نیز میزان جذب، کاهش یافته 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 مشاهده شده 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= ۵ می‌باشد.

ناطق 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 کاهش یافته 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 تأیید شد (Aksu *et al.*, 2010). به علاوه، با افزایش زمان تماس نیز میزان جذب افزایش یافته که در ابتدای فرآیند، مقدار جذب بالا بوده و سپس به یک حد ثابتی می‌رسد که ناشی از اشباع شدن 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 تأیید 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 انجام شده نیز تأیید شده است (Liu *et al.*, 2015). با افزایش غلظت اولیه رنگ، مقدار جذب زیاد شده، درحالی که 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

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 (Xinxia (Sutriman *et al.*, 2018) 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 مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که کیتوسان دارای ظرفیت جذب مناسبی برای رنگ‌های اشاره‌شده 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 مورد استفاده را برای راندمان بالاتر اصلاح نمود. به‌علاوه پیشنهاد می‌شود که از کیتوزان برای حذف سایر رنگ‌های مشاهده‌شده در تالاب‌ها و از جمله 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 Akin, 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., Mengibar, 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 Engin J.* 260:269-83.
- Chen, L., Chen, D. and Wu, C., 2003. *Journal of Polymers and the Environment*, 11(3), 87-92.

- 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.