

حذف رنگینه‌ی ری‌اکتیو قرمز ۷۴ از پساب نساجی با استفاده از نانو جاذب روی اکسید

زهرا منصف خوشحساب* و کتایون گنبدی

گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۲۴

تاریخ تصحیح: ۹۳/۰۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۲۰

چکیده:

رشد روزافزون جمعیت و فعالیت‌های صنعتی در چنددهه‌ی اخیر، باعث ورود مقادیر زیادی از آلاینده‌ها به منابع آب شده‌است. از جمله آلاینده‌ها می‌توان به مواد رنگزا که در پساب صنایع نساجی فراوان یافت می‌شود، اشاره کرد. با توجه به سمی بودن این آلاینده‌ها، حذف آن‌ها از منابع آب ضروری است. در این تحقیق، حذف رنگزای پر مصرف ری‌اکتیو قرمز ۷۴ از محیط‌های آبی با استفاده از نانوذرات روی اکسید بررسی و تاثیر عوامل مختلف نظیر pH محلول، زمان تماس جاذب با محلول رنگزا و جرم جاذب بر راندمان جذب بهینه شد. همچنین مدل سینتیکی و ایزوترم‌های فرایند جذب مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که سینتیک واکنش جذب از مدل شبه مرتبه‌ی دوم تبعیت می‌کند و فرایند جذب تطابق خوبی با ایزوترم لانگمویر دارد.

واژگان کلیدی: حذف، رنگزا، نانوجاذب، روی اکسید، ری‌اکتیو قرمز ۷۴

۱- مقدمه:

اگرچه رنگ‌ها زندگی ما را زیبا می‌سازند، اما آلودگی را نیز به همراه دارند. سالهاست که آلودگی ناشی از تخلیه‌ی مواد رنگزای صنایع نساجی به یک مشکل زیست محیطی جدی تبدیل شده است. رنگ یکی از شاخص‌های ارزیابی آلودگی آب است. حضور مواد رنگزا در پساب‌ها و در نهایت ورود آن به محیط‌های آبی سبب تغییر رنگ آب و آلودگی آن می‌شود. مواد رنگزای موجود در آب و پساب‌ها تحت تاثیر تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی، اکسیژن محلول در آب را مصرف کرده و باعث تخریب و مسمومیت محیط زندگی آبزیان می‌شوند [۱].

همانطور که از نام رنگزاهای ری‌اکتیو مشخص است، آن‌ها قادر به تشکیل پیوند شیمیایی با پارچه هستند و کارایی و کیفیت خوب آن‌ها به دلیل تشکیل پیوند کوالانسی بین رنگزا و پارچه (سلولوزی، پشم، نایلون و ابریشم) است که باعث ثبات شستشویی بالای پارچه‌های رنگ شده می‌شود [۲-۳]. رنگزاهای ری‌اکتیو دارای گروه یا گروه‌های عاملی قابل حل در آب، گروه‌های رنگ‌ساز و اتصال‌دهنده (که گروه‌های واکنش پذیر را به گروه‌های رنگ ساز متصل می‌کند) هستند [۴-۵]. هر کدام از این گروه‌ها بر روی خصوصیات رنگرزی و ثبات شستشویی رنگزای ری‌اکتیو اثر می‌گذارند [۶-۷]. روش‌های متنوعی مانند روش‌های بیولوژیکی و شیمیایی برای برطرف کردن مواد آلی از پساب صنایع به کار می‌روند. اما در غلظت‌های بالای رنگزا، این

روش‌ها قادر به حذف کامل رنگزا از پساب نیستند [۸]. یکی از روش‌های مرسوم برای حذف مواد رنگزا از پساب، استفاده توأم از عملیات بیولوژیکی و جذب روی کربن فعال است. اگرچه کربن فعال تجاری برای رنگزدایی از پساب‌ها بازده بسیار خوبی دارد، اما استفاده از آن به دلیل قیمت بالا، محدودیت دارد. از این‌رو محققان همواره به دنبال یافتن مواد جاذب ارزان‌تر برای جایگزینی با کربن فعال هستند. بسیاری از مواد طبیعی (معدنی و آلی)، پسماندهای صنعتی کارخانجات، ضایعات کشاورزی و جاذب‌های زیستی برای این منظور مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۹-۱۰]. تیتانیم دی‌اکسید یکی از رایج‌ترین فتوکاتالیزورهای به کار رفته برای حذف مواد آلی است. روی‌اکسید نیمه هادی دیگری است که در سال‌های اخیر به‌عنوان فتوکاتالیزور مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین مصرف جاذب‌های ترکیبی برای حذف رنگینه‌ها از آب نیز گزارش شده است [۱۱-۱۵]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که برای حذف رنگینه‌های ری‌اکتیو دارای گروه آزوی مورد استفاده برای رنگ‌آمیزی سلولز، روی‌اکسید نسبت به تیتانیم دی‌اکسید کارایی بیشتری دارد [۱۶-۱۹]. استفاده از فتوکاتالیزورهای نیمه‌هادی فوق، تا حد زیادی به دلیل دسترسی آسان، ارزانی، غیر سمی بودن و تجزیه‌ی مواد آلی خطرناک به مواد معدنی مانند اسیدهای معدنی، کربن دی‌اکسید و آب است [۲۰-۲۱].

در این تحقیق حذف رنگزای ری‌اکتیو قرمز ۷۴ از محلول‌های آبی با استفاده از نانو ذرات روی‌اکسید مورد بررسی قرار گرفت. این رنگزا ارغوانی روشن و از دسته‌ی آزو با یک گروه $N=N$ است که در آب حل می‌شود و در صنایع نساجی به منظور چاپ بر روی پارچه‌های سلولوزی به کار می‌رود. هدف اصلی این مطالعه بررسی امکان حذف آلاینده‌های رنگزا از پساب‌های صنعتی و به ویژه پساب صنایع نساجی با استفاده از نانو ذرات روی‌اکسید است. بدین منظور تاثیر عوامل مختلف مانند pH محلول، زمان تماس جاذب با محلول حاوی رنگزا و مقدار جاذب بر راندمان جذب رنگزای ری‌اکتیو قرمز ۷۴ بررسی و شرایط بهینه‌ی حذف رنگزا به وسیله نانو ذرات روی‌اکسید تعیین شد. همچنین، سینتیک واکنش و ایزوترم‌های جذب مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- بخش تجربی:

۲-۱- مواد شیمیایی:

رنگزای ری‌اکتیو قرمز ۷۴ با نام تجاری آمریل بریلینت صورتی ب^۱ از شرکت هندی کاسموتیک کمی کالز^۲ تهیه شد. نانو-ذرات روی‌اکسید با متوسط اندازه ذرات ۱۰ نانومتر و مورفولوژی گلی‌شکل به‌روش رسوب‌گیری شیمیایی سنتز و به‌عنوان جاذب مصرف شد [۲۲]. سدیم هیدروکسید و نیتریک اسید با خلوص تجزیه‌ای بالا از شرکت مرک خریداری شدند. pH محلول‌ها با استفاده از محلول سدیم هیدروکسید ۰/۱ مولار و نیتریک اسید ۰/۱ مولار تنظیم شد.

^۱Amaryl Brilliant Pink B

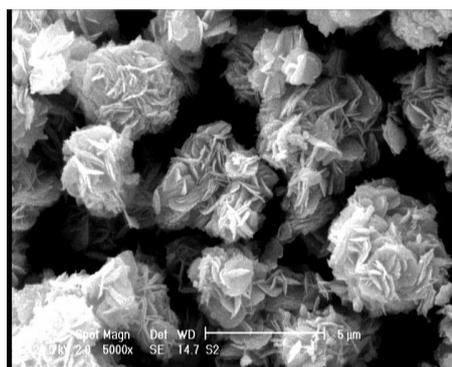
^۲Cosmonaut Chemicals

۲-۲- دستگاه‌ها و وسایل مورد استفاده:

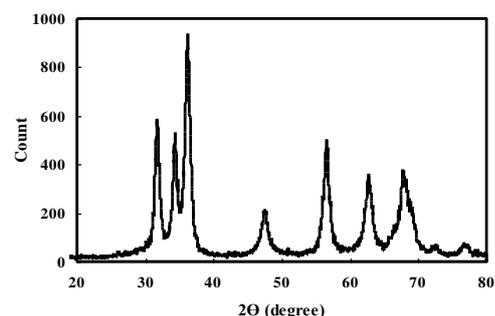
ساختار و مورفولوژی نانو ذرات روی اکسید به وسیله دستگاه پراش اشعه-X (فیلیپس، مدل XLS30) و میکروسکوپ الکترونی پویشی (فیلیپس مدل PW1800) مورد بررسی قرار گرفتند. اندازه‌گیری غلظت رنگ با استفاده از اسپکتروفوتومتر دو پرتوی شیمادزو^۱ (مدل ML1600) ساخت کشور ژاپن انجام شد. pH محلول‌ها به کمک pH متر (متروم، مدل ۸۲۷) اندازه‌گیری شد. برای هم‌زدن محلول‌ها از همزن مغناطیسی کارآزما با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه و برای توزین نمونه‌ها از ترازوی سارتریوس^۲ با دقت ± 0.0001 استفاده شد.

۲-۳- تهیهی نانو جاذب روی اکسید:

نانوذرات روی اکسید از روی اکسید معمولی به روش رسوب‌گیری تهیه شدند [۲۲]. ابتدا ۴۸ گرم آمونیم بیکربنات در ۶۰ میلی لیتر آب مقطر حل و سپس ۲۴ گرم روی اکسید معمولی طی دو مرحله به محلول فوق اضافه شد. بدین منظور ابتدا ۸ گرم روی اکسید به محلول آمونیم بیکربنات، ضمن هم‌زدن در حمام آب با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، افزوده شد. پس از گذشت نیم ساعت، بقیه روی اکسید (۱۶ گرم) به سوسپانسون اضافه و به مدت ۱/۵ ساعت دیگر در همان دما هم زده شد. در پایان دوغاب بدست آمده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره کلسینه شد. با توجه به طیف XRD (شکل ۱) و بر اساس معادله شرر^۳، متوسط اندازه ذرات ۱۰ نانومتر بدست آمد. هم‌چنین تصویر SEM نمونه تهیه شده (شکل ۲)، ساختار گلی شکل نانوذرات را نشان می‌دهد.



شکل ۲. تصویر SEM نانوذرات روی اکسید



شکل ۱. طیف XRD نانوذرات روی اکسید

¹ Shimadzu
² Sartorius
³ Scherrer

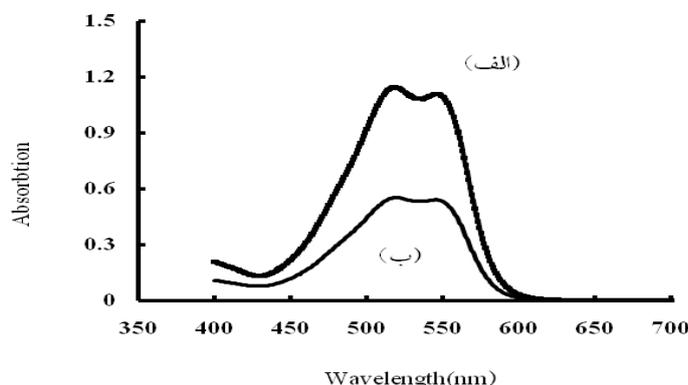
۲-۴- حذف رنگزای ری‌اکتیو قرمز ۷۴:

به منظور بررسی قابلیت نانوذرات روی‌اکسید برای حذف رنگزای ری‌اکتیو قرمز ۷۴، جرم معینی از جاذب را به ۵۰ میلی‌لیتر محلول حاوی رنگزا با غلظت مشخص افزوده و سوسپانسیون حاصل در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد به وسیله هم‌زن مغناطیسی (۱۵۰ دور بر دقیقه) هم زده شد، پس از گذشت زمان مناسب، مخلوط از کاغذ صافی عبور و با اندازه‌گیری جذب محلول در طول موج ۵۴۷ نانومتر، غلظت باقیمانده رنگ در محلول تعیین شد. به منظور تعیین شرایط بهینه و دستیابی به بیش‌ترین مقدار ظرفیت جذب، تاثیر عوامل مختلف بر راندمان حذف رنگزا به‌وسیله جاذب بررسی شد. شرایط بهینه با تغییر یک عامل و ثابت نگه داشتن سایر شرایط تعیین شد. بدین منظور تاثیر تغییر pH محلول در محدوده ۳-۱۰، جرم جاذب (۰/۱-۰/۳ گرم)، غلظت اولیه رنگزا (۵-۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و زمان هم‌زدن (۳۰-۱۸۰ دقیقه) مطالعه شد. در همه آزمایش‌ها، غلظت رنگزا قبل و پس از مجاورت با جاذب با استفاده از نمودار کالیبراسیون محاسبه شد. هم‌چنین راندمان حذف و ظرفیت جذب به ترتیب با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شدند:

$$R = \frac{100(C_0 - C_e)}{C_0} \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (2)$$

که در آن R، درصد حذف رنگ، q_e مقدار رنگزای جذب شده در حالت تعادل به ازای واحد جرم جاذب (mg g^{-1})، C_0 غلظت اولیه رنگزا (mg L^{-1})، C_e غلظت رنگزای باقیمانده در محلول (mg L^{-1})، V حجم محلول (L)، m جرم جاذب (g) است. نمونه‌ای از طیف ماوراء بنفش- مرئی محلول حاوی رنگزا، قبل و پس از مجاورت با جاذب در شکل (۳) نشان داده شده است. کاهش میزان جذب پس از مجاورت محلول رنگزا با جاذب، نشان‌دهنده جذب رنگزا به‌وسیله جاذب و بنابراین حاکی از توانایی نانو جاذب روی‌اکسید برای حذف رنگزای ری‌اکتیو قرمز ۷۴ است.



شکل ۳. طیف جذبی رنگزای ری اکتیو قرمز ۷۴ (۷۵ میلی گرم بر لیتر) قبل (الف) و بعد از تماس با جاذب (ب)

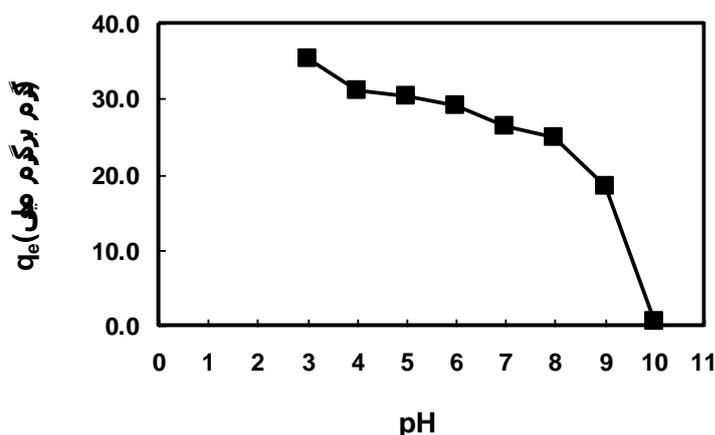
۳- نتایج و بحث:

۳-۱- تاثیر pH محلول بر حذف رنگزا:

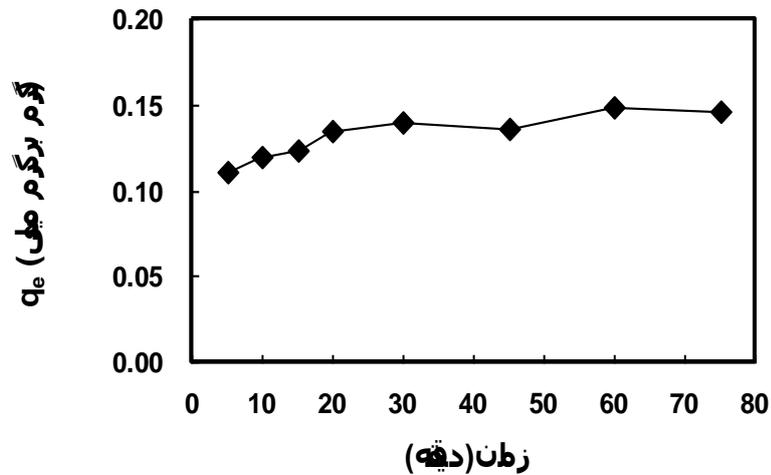
pH محلول آبی، یک عامل بسیار مهم در فرایند جذب است. اتصال رنگزا به جاذب از طریق گروه‌های سطحی انجام می‌شود که به شدت وابسته به pH است. تاثیر pH بر جذب رنگزا به وسیله نانو ذرات روی اکسید با رسم تغییرات q_e بر حسب pH در شکل (۴) نمایش داده شده است. همانگونه که از شکل مشخص است، ظرفیت جذب با کاهش pH به تدریج کاهش می‌یابد و بیشترین مقدار حذف رنگزا در $pH=3$ رخ می‌دهد و بنابراین $pH=3$ به عنوان pH بهینه برای آزمایش‌های بعدی انتخاب شد. این رفتار را می‌توان با توجه به pH بار نقطه صفر روی اکسید ($pH \sim 8$) و برهمکنش‌های الکترواستاتیکی بین ذرات باردار سطح نانوذرات روی اکسید و مولکول‌های رنگ توضیح داد [۲۳]. با توجه به این که سطح ذرات روی اکسید در pHهای کمتر از ۸ دارای بار مثبت و در pHهای بزرگتر از ۸ دارای بار منفی هستند، بنابراین این افت شدید ظرفیت جذب در pHهای بزرگتر از ۸ را می‌توان ناشی از دافعه‌های الکترواستاتیکی بین مولکول‌های رنگ و سطح باردار منفی جاذب دانست. به طریقی مشابه وقوع بیشترین ظرفیت جذب در شرایط اسیدی‌تر را می‌توان به جاذبه‌های الکترواستاتیکی ناشی از سطح بار دار مثبت نانوذرات روی اکسید و مولکول‌های رنگ دانست. بار مثبت نانوذرات روی اکسید در شرایط اسیدی به حضور گروه‌های هیدروکسیل در سطح ذرات نسبت داده می‌شود که در حضور پروتون‌های اسیدی پروتونه میشوند [۲۴]. بر همین اساس، کاهش ظرفیت جذب با افزایش pH تا قبل از نقطه بار صفر روی اکسید ($pH \sim 8$) را می‌توان ناشی از افزایش غلظت OH^- و در نتیجه افزایش رقابت یون‌های OH^- با مولکول‌های رنگ برای جذب شدن بر سطح جاذب پروتونه شده (دارای بار مثبت) دانست.

۳-۲- تاثیر زمان تماس محلول با جاذب بر حذف رنگزا:

به منظور بررسی تاثیر زمان تماس رنگزا با جاذب بر میزان حذف، جذب رنگزا به وسیله نانوذرات روی اکسید در شرایط بهینه بررسی و نتایج در شکل ۵ ارائه شده است. همانگونه که از شکل مشخص است، سرعت جذب در ابتدا زیاد و به تدریج کاهش می‌یابد، و پس از ۶۰ دقیقه تغییر محسوسی در راندمان حذف مشاهده نمی‌شود. این رفتار نشان می‌دهد که سینیتیک جذب رنگزا بر روی جاذب نسبتاً سریع است به طوری که بیش از ۶۰٪ جذب در همان ۵ دقیقه اول رخ می‌دهد. سرعت بالای جذب رنگزا در زمان‌های اولیه و کاهش تدریجی سرعت جذب را می‌توان این گونه توضیح داد که چون تعداد معینی محل‌های جذبی بر سطح جاذب وجود دارد، با جذب تدریجی مولکول‌های رنگ بر روی جاذب، تعداد محل‌های جذبی آزاد بر سطح جاذب کاهش یافته، در نتیجه گونه‌های باقیمانده در محلول برای جذب بر روی این محل‌ها رقابت می‌کنند. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی، جذب رنگزا در زمان ۶۰ دقیقه به تعادل می‌رسد و بنابر این زمان ۶۰ دقیقه به‌عنوان زمان بهینه انتخاب شد.



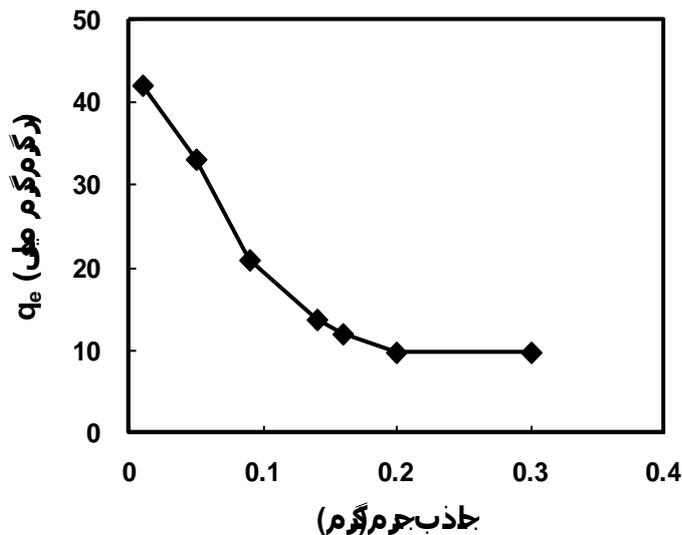
شکل ۴. تاثیر pH بر میزان جذب رنگزا به وسیله نانوذرات روی اکسید (غلظت اولیه رنگزا: ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر، حجم محلول: ۵۰ میلی‌لیتر، مقدار جاذب: ۰/۰۵ گرم، زمان تماس: ۶۰ دقیقه)



شکل ۵. تاثیر زمان تماس بر میزان جذب رنگزا به وسیله نانوذرات روی اکسید (غلظت اولیه رنگزا: ۷۵ میلی گرم بر لیتر، حجم محلول: ۲۵ میلی لیتر، مقدار جاذب: ۰/۰۵ گرم، pH=۳)

۳-۳- اثر مقدار جاذب بر حذف رنگزا:

اثر مقدار جاذب بر میزان حذف رنگزا به وسیله ذرات روی اکسید در pH و زمان بهینه بررسی و نتایج بدست آمده در شکل (۶) ارائه شد. همانگونه که از این شکل مشخص است، با مقدار ۰/۲ گرم جاذب مقدار q ثابت شده و مصرف بیش تر جاذب تاثیری بر میزان جذب ندارد. بنابر این ۰/۲ گرم جاذب به عنوان مقدار بهینه انتخاب و در آزمایش های بعدی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۶. نمودار اثر مقدار جاذب بر راندمان حذف رنگزا (غلظت اولیه رنگزا: ۷۵ میلی گرم بر لیتر، حجم محلول: ۲۵ میلی لیتر، زمان تماس: ۶۰ دقیقه، pH=۳)

۳-۴- حذف رنگزا از پساب نساجی:

پس از تعیین شرایط بهینه برای جذب رنگزا از محیط‌های آبی، قابلیت نانوذرات روی اکسید برای حذف رنگزای ری-اکتیو قرمز ۷۴ از پساب حاصل از یک کارخانه نساجی مورد آزمایش قرار گرفت. بدین منظور، دو نمونه (۵۰ میلی لیتری) از پساب با ۰/۲ گرم جاذب در شرایط بهینه تماس داده شدند. برای آماده سازی نمونه‌ها، به یک نمونه ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر از رنگزای مورد نظر به طور دستی اضافه شد و نمونه دیگر بدون افزایش رنگ را مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده حذف بیش از ۹۰٪ رنگزا را بخوبی تایید کرد. با توجه به این که نمونه حقیقی علاوه بر رنگ زای مورد نظر حاوی مقادیر زیادی از سایر رنگزاهای متداول مورد استفاده در نساجی است، بنابر این، نتایج حاصل از این بررسی، کارایی بالای نانو ذرات روی اکسید را برای حذف رنگینه ری اکتیو قرمز ۷۴ از پساب نساجی به خوبی نشان می‌دهد.

۳-۵- مطالعه‌ی سینتیک فرایند جذب:

مطالعات سینتیکی اطلاعات مورد نیاز را درباره‌ی مکانیزم جذب فراهم می‌کنند. همچنین سرعت جذب حل شونده، توسط جاذب در سطح مشترک جامد-مایع به کمک این مطالعات توصیف می‌شود. مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم به ترتیب با معادله‌های (۳) و (۴) بیان می‌شوند:

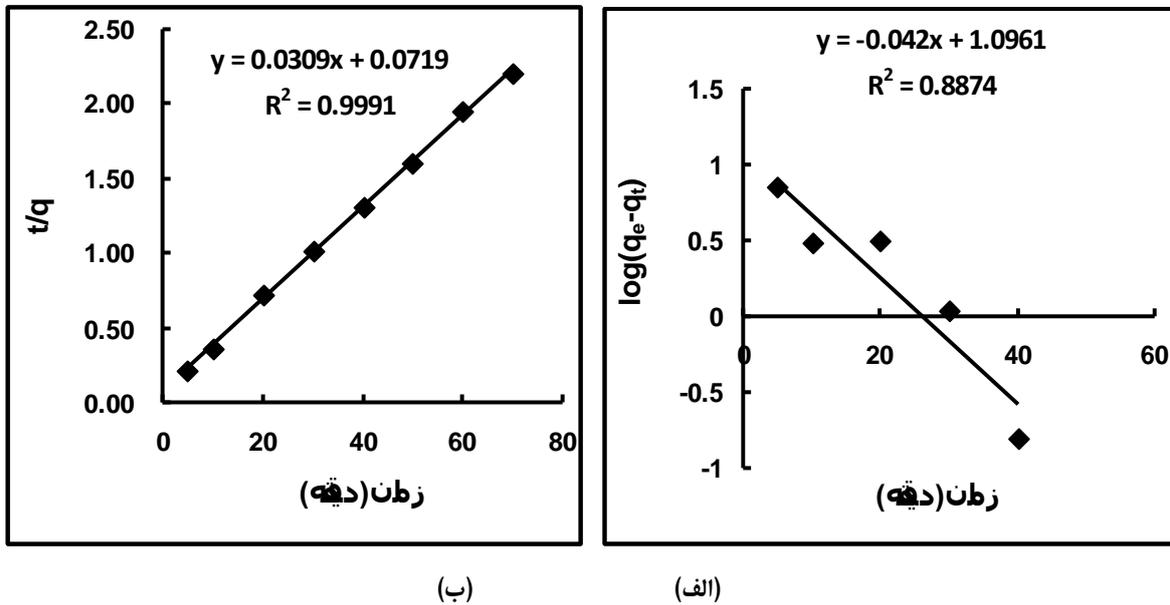
$$\log(q_{e1} - q_t) = \log q_{e1} - \frac{k_1}{2.303} t \quad (3)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_{e2}^2} + \frac{1}{q_{e2}} t \quad (4)$$

در رابطه‌های (۳) و (۴) K_1 (min^{-1}) و K_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$) به ترتیب ثابت‌های سرعت شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم، q_t و q_e به ترتیب میزان رنگینه جذب شده (mg g^{-1}) در زمان (t) و در زمان تعادل است. به منظور بررسی سینتیک فرایند جذب رنگزا بر جاذب، نمودارهای $\log(q_e - q_t)$ نسبت به زمان و منحنی t/q_t نسبت به زمان رسم شدند (نمودارهای الف) و (ب) شکل ۷). همچنین نتایج حاصل از بررسی انطباق داده‌های تجربی با مقادیر تئوری براساس معادله‌های فوق، در جدول (۱) درج شده‌اند.

انطباق نتایج تجربی با رابطه‌ی (۴) که به صورت نمودار خطی t/q_t در مقابل زمان در شکل ۷ (ب) نمایش داده شده است، بیانگر این است که، سینتیک جذب رنگزای ری اکتیو قرمز ۷۴ بر روی سطح نانوذرات روی اکسید با مدل شبه مرتبه دوم مطابقت دارد. نتایج مندرج در جدول (۱) و ضریب همبستگی بالای ($R^2 = 0.9991$) بدست آمده، و نزدیک بودن مقادیر q_{e2}

حاصل از این مدل (رابطه ی ۴) با مقادیر تجربی آن (q_e (exp))، این نتیجه گیری را به خوبی تایید می کند. بنابراین، جذب رنگزای ری اکتیو قرمز ۷۴ بر نانو جاذب روی اکسید، به طریق شیمیایی انجام می شود.



شکل ۷. نمودار سینتیکی مدل شبه مرتبه اول (الف) و شبه مرتبه دوم (ب)

جدول ۱. مقادیر مربوط به بررسی سینتیک

مدل شبه مرتبه اول			مدل شبه مرتبه دوم			
q_{e1} (mg g^{-1})	k_1 (min^{-1})	R^2	q_{e2} (mg g^{-1})	k_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$)	q_e (exp) (mg g^{-1})	R^2
۱۲/۴۷	۰/۰۹۶۷	۰/۸۸۷۴	۳۲/۳۶	۰/۰۱۳۳	۳۰/۷۷	۰/۹۹۹۱

۳-۵- مطالعه همدمای جذب سطحی:

همدمای جذب معادله‌هایی برای توصیف تعادل بین جذب شونده و جاذب هستند. مهم‌ترین مدل‌های توصیف کننده جذب سطحی مدل‌های لانگمیر و فروندلیچ هستند. شکل خطی مدل‌های همدمای فروندلیچ^۱ و لانگمیر^۲ به ترتیب با معادله‌های (۵) و (۶) بیان می‌شوند [۲۶-۲۵]:

(۵)

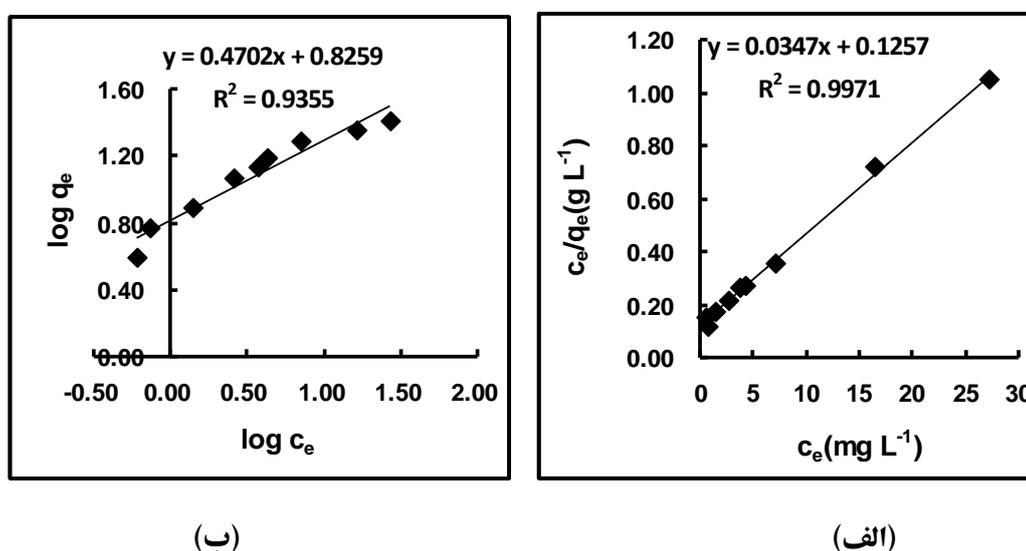
$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_f$$

^۱ Langmuir

^۲ Freunlich

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bq_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (۶)$$

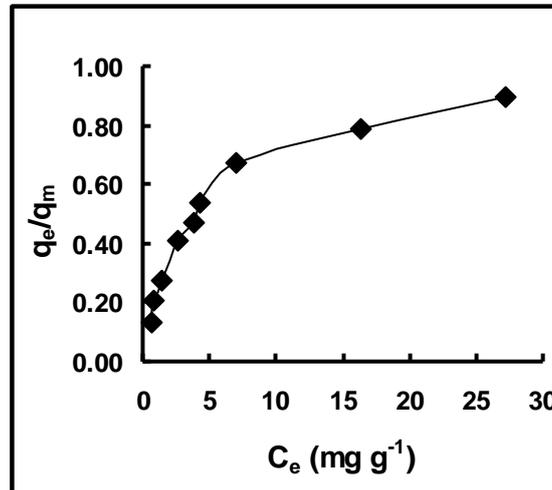
q_e مقدار رنگزای جذب شده به ازای واحد جرم جاذب در زمان تعادل (mg g^{-1})، C_e غلظت تعادلی (mg L^{-1}) رنگزا، K_f و n به ترتیب نشان‌دهنده شدت و ظرفیت جذب هستند. همچنین در معادله لانگ‌میر، q_m ظرفیت جذب (mg g^{-1}) و b ثابت لانگ‌میر بیانگر انرژی جذب است. به منظور بررسی همدمای جذب، 0.2 گرم نانو ذرات روی اکسید به 50 میلی‌لیتر از محلول-های رنگزا با غلظت $200-5$ میلی‌گرم بر لیتر در $\text{pH}=3$ اضافه و پس از 60 دقیقه هم زدن، غلظت رنگزا در محلول تعیین شد. سپس داده‌های بدست آمده در شرایط تعادلی با استفاده از مدل‌های جذبی لانگ‌میر و فروندلیچ بررسی شدند. نتایج حاصل در شکل (۸) ارائه شده است.



شکل ۸. نمودارهای همدمای لانگ‌میر(الف) و فروندلیچ(ب)

بررسی نمودارهای لانگ‌میر و فروندلیچ و مقایسه ضریب همبستگی بدست‌آمده از دو مدل نشان می‌دهد که جذب رنگزا بر روی جاذب از مدل لانگ‌میر ($R^2 = 0.997$) بهتر پیروی می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که جذب رنگزای ری‌اکتیو قرمز ۷۴ به وسیله نانو ذرات روی اکسید به طریق شیمیایی و به صورت تک لایه انجام می‌شود. همچنین، بررسی تغییرات کسر رنگ جذب شده ($\theta = \frac{q_e}{q_m}$) بر روی نانو ذرات اکسید روی در مقابل غلظت تعادلی رنگ (شکل ۹)، بیانگر این واقعیت است که قبل از اشباع شدن تک لایه بر روی جاذب، θ بصورت خطی و در نزدیکی حالت اشباع شدن تک لایه، θ به سوی یک مقدار ثابت میل می‌کند به این معنی که جذب تقریباً متوقف می‌شود، که تایید دیگری بر جذب تک لایه ای است. همچنین، بر اساس

نمودار لانگمیر، بیشترین ظرفیت جذب ۲۸/۸ میلی گرم بر گرم بدست آمد که توانایی خوب جاذب را برای حذف این رنگزا از محیط‌های آبی نشان می‌دهد.



شکل ۹. نمودار همدمای جذب ری‌اکتیو قرمز ۷۴ بر نانوذرات ZnO.

۴- نتیجه گیری:

در این پژوهش کارایی جذب ذرات نانو روی اکسید، برای حذف رنگزای ری‌اکتیو قرمز ۷۴ از محلول‌های آبی بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که راندمان حذف رنگزا بطور معنی داری وابسته به pH است و بیشترین درصد حذف رنگزا در ۳ pH = و زمان ۶۰ دقیقه انجام می‌شود. همچنین مقدار بهینه‌ی جاذب مورد نیاز جهت حذف رنگزا ۰/۲ گرم است. جذب این آلاینده از ایزوترم لانگمیر به خوبی پیروی می‌کند و بیشترین ظرفیت جذب ۲۸/۸ میلی‌گرم بر گرم بدست آمد. از مطالعات سینتیکی مشخص شد که سینتیک جذب رنگزای مورد نظر، از مدل شبه مرتبه‌ی دو تبعیت می‌کند. نتایج این پژوهش نشان داد که نانوذرات روی اکسید به عنوان یک جاذب زیست سازگار، می‌تواند یک گزینه مناسبی برای حذف رنگزای ری‌اکتیو قرمز ۷۴ از محلول‌های آبی و به خصوص پساب صنایع نساجی باشد. همچنین استفاده از این جاذب برای حذف سایر رنگینه‌ها (ری‌اکتیو، دیسپرس، خمره‌ای، دندان‌های، گوگردی و غیره) و آلاینده‌های آلی از منابع آبی پیشنهاد می‌شود.

۵- مراجع:

- [1] T. Poor Saberi and M. Hasani Sadi, *World Journal of Dyes*, **2** (2011) 42.
- [2] S. H. Freeman and J. Sokolowska, *Journal of Review Progress in Colouration*, **29** (1999) 8.
- [3] S. R. Cockett and K. A. Hilton, *The dyeing of cellulosic fibres and related processes*, London: Hill, 1961.
- [4] H. Renfrew, *Reactive dyes for textile fibres*. Society of Dyers and Colourists., West Yorkshire, 1999.
- [5] A. Soleimani-Gorgani and J. A. Taylor, *Progress in Color, Colorants and Coatings*, **4** (2011) 6.

- [6] A. Soleimani-Gorgani and J. A. Taylor, *Dyes and Pigments*. **68** (2006) 123.
- [7] F. Biolchi, A. Kawabata and J. A. Taylor, *Coloration Technology*. **12** (2006)153.
- [8] N. Modirshahla, M.A. Behnajady and F. Ghanbary, *Dyes and Pigments*. **73** (2007) 305.
- [9] G. Crini, *Bioresource Technology*. **97** (2006) 1061.
- [10] T. Robinson, G. McMullan, R. Marchant and P. Nigam, *Bioresource Technology*. **77** (2001) 247.
- [11] P. P. Zamora, S.G. Moraes, R. Pelegrini, M. Freire, J. Reyes, H. Mansilla and N. Duran, *Chemosphere*. **36** (1998) 2119.
- [12] M. C. Yeber, J. Rodriguez, J. Freer, N. Duran and H. D. Mansilla, *Chemosphere*. **41** (2000)1193.
- [13] B. Neppolian, H.C. Choi, S. Sakthivel, B. Arabindoo and V. Murugesan, *Journal of Hazardous Materials*. **89** (2002) 303.
- [14] I. Poulis, E. Micropoulou, R. Panou and E. Kostopoulou, *Applied Catalysis B-Environmental*. **41** (2003) 345.
- [15] M.L. Curri, R. Comparelli, P.D. Cozzoli, G. Mascolo and A. Agostiano, *Materials Science and Engineering: C*. **23** (2003) 285.
- [16] C. A. K. Gouvea, F. Wypych, S. G. Moraes, N. Duran, N. Nagata and P. P. Zamora, *Chemosphere*. **40** (2000) 433.
- [17] C. Lizama, J. Freer, J. Baeza, H. D. Mansilla, *Catalyst Today*. **76** (2002) 235.
- [18] S. Sakthivel, B. Neppolian, M. V. Shankar, B. Arabindoo, M. Palanichamy and V. Murugesan, *Solar Energy Materials and Solar Cells*. **77** (2003) 65.
- [19] N. Daneshvar, D. Salari and A. R. Khataee, *Journal of Photochemistry and Photobiology. A*, **162** (2004) 317.
- [20] M. V. B. Zaroni, J. J. Sene and M. A. Anderson, *Journal of Photochemistry and Photobiology*. **157** (2003) 55.
- [21] R. Pelegrini, P. P. Zamora, A. R. Andrade, J. Reyes, N. Duran, *Applied Catalysis B:Environmental*. **22** (1999) 83.
- [22] Z. Monsef Khoshhesab, M. Sarfaraz and M. Asadi Asadabad, *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*. **41** (2011) 814.
- [23] G. A. Park; *Chemica. Review*. **65** (1965) 177.
- [24] N. Daneshvar, S. Aber, M. S. Seyed Dorraji, A. R. Khataee, M. H. Rasoulifard; *Separation and Purification Technology*. **58** (2007) 91.
- [25] H. M. Freundlich, Over the adsorption in solution, *Journal of Physical Chemistry*, **57** (1906) 385.
- [26] I. Langmuir, The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part. 1. Solids, *Journal of Ammerican Chemical Society*. **38** (1916) 2221.