

رنگبری رنگینه مستقیم قرمز ۲۳ در محلول آبی با روش نور فرا بنفش - تیتانیم دی اکسید - بتا-سیکلودکسترین (UV/TiO₂/β-CD)

Decolorization of C.I. Direct Red 23 in Aqueous Solution Using UV/TiO₂/β-Cyclodextrin Method

سمیه زحمتکش، محمد خواجه مهریزی*

یزد، دانشگاه یزد، مجتمع فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵

چکیده

رنگها از پرمصرفترین مواد شیمیایی در صنایع مختلف هستند که همواره بخشی از آن وارد طبیعت می شود. بنابراین، حذف این آلاینده های آلی به روش هایی که برای محیط زیست مضر نباشد، مهم است. در این پژوهش، رنگبری نور کاتالیزوری رنگینه مستقیم قرمز ۲۳ (DR23) با ساختار دی آزو، در مجاورت تیتانیم دی اکسید همراه با افزودن بتا-سیکلودکسترین در معرض تابش نور فرابنفش مطالعه شد. عوامل مؤثر مانند pH، وجود نمک و غلظت رنگینه بررسی شد. مقایسه نتایج حاصل از متغیرهای مختلف نشان داد، بیشترین بازده رنگبری در pH اسیدی و غلظت کم رنگینه به دست می آید. افزایش مقدار نمک سدیم کلرید از ۵ g/L به ۲۰ g/L رنگبری رنگینه DR23 را تسریع کرده و به حذف کامل رنگینه کمک می کند. در این فرایند، بتا-سیکلودکسترین به عنوان جاذب عمل می کند. همچنین، نتایج نشان داد، رنگبری با بتا-سیکلودکسترین در مجاورت تیتانیم دی اکسید و تابش نور فرابنفش باعث کاهش همه جامدات محلول در آب (TDS) می شود. افزودن بر این، نتایج ضریب هم بستگی آزمون ها نشان داد، داده های به دست آمده برای این رنگینه مستقیم با مدل همدمای جذب لانگمیر مطابقت خوبی دارد.

مقدمه

زیست شیمیایی (BOD) و در مواقعی دارای خاصیت قلیایی زیاد هستند [۲]. تخلیه پساب حاوی مواد رنگی به آب های پذیرنده از قبیل دریاچه ها و رودخانه ها موجب کاهش انتقال نور، کاهش مقدار اکسیژن محلول و افزایش COD می شود و از این راه زندگی آبریان را مختل می کند. افزودن بر این پژوهشگران دریافته اند، برخی از رنگ زاهای می توانند طی فرایند تجزیه احیایی، آمین های آروماتیک سرطان زا تولید کنند [۳]. بدون تصفیه کافی این ترکیبات قادرند برای مدت زمان بسیار طولانی به حالت پایدار در محیط باقی بمانند [۴]. بنابراین، باید این ترکیبات پیش از تخلیه به محیط های طبیعی از پساب های

استفاده روزافزون از انواع رنگ زاهای و آلودگی پساب رنگزا از مشکلات عمده آلودگی محیط زیست است. حدود ۳۰۰۰ نوع رنگزا در جهان شناخته شده است. از میان آن ها، رنگ زاهای سنتزی سمیت زیاد و قابلیت تخریب پذیری کمی دارند، به ویژه برخی رنگ زاهای کاتیونی هنگامی که در پساب ها رها می شوند، موجب آسیب جدی به اکوسیستم می شوند [۱]. فاضلاب صنایع نساجی از عمده ترین آلاینده های محیط زیست محسوب می شوند که به طور معمول حاوی رنگینه، دمای زیاد، جامدات محلول زیاد، خواست اکسیژن شیمیایی (COD)، خواست اکسیژن

کلمات کلیدی

رنگبری، رنگینه مستقیم، بتا-سیکلودکسترین، نور فرابنفش، تیتانیم دی اکسید

جدول ۱- خواص برخی از مواد استفاده شده.

مشخصه	رنگینه مستقیم دی آزو (Direct Red 23)	بتا-سیکلودکسترین
فرمول مولکولی	$C_{35}H_{25}N_7Na_2O_{10}F_2$	$C_{42}H_{70}O_{35}$
وزن مولکولی	۸۱۳	۱۱۳۵
بیشینه طول موج	۵۰۰	-
نام تجاری	Direct Scarlet 4BS	-

Sylvania آلمان برای تابش نور استفاده شد. ساختار شیمیایی این رنگینه در شکل ۱ نشان داده شده است.

همچنین، با استفاده از دستگاه رساناسنج (TDS) از شرکت ADWA AD8000 مقدار مواد جامد محلول در پساب مورد آزمون، پیش و پس از تصفیه اندازه‌گیری شد. مقدار جذب محلول‌های مورد آزمون با دستگاه طیف‌نورسنج انتقالی UV-mini ساخت شرکت Shimadzu ژاپن اندازه‌گیری شد.

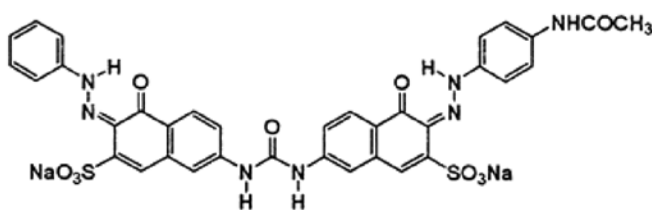
روش‌ها

محلول‌های حاوی غلظت مشخص رنگینه مستقیم و تیتانیم دی‌اکسید-بتا-سیکلودکسترین با نسبت ۳:۱، با سه pH متفاوت ۳، ۵ و ۷ آماده شدند. برای اندازه‌گیری غلظت رنگینه باقی‌مانده در پساب محلول‌های حاوی غلظت مشخص و معلوم ماده رنگ‌زا پس از قرار گرفتن در کابینت نور به فاصله ۶ cm از منبع نوری لامپ فرابنفش، در فواصل زمانی مشخص در دستگاه طیف‌نورسنج انتقالی قرار گرفتند و مقدار جذب محلول‌ها در بیشینه طول موج جذب نور مرئی ۵۰۰ nm اندازه‌گیری شد. فرایند رنگ‌بری رنگینه مستقیم در $80^{\circ}C$ انجام شد. حجم محلول در تمام آزمون‌ها ۵۰ mL در نظر گرفته شد و غلظت اولیه رنگ‌زا متغیر در نظر گرفته شد. واکنش رنگ‌بری با افزودن بتا-سیکلودکسترین به محلول و قراردادن آن در معرض نور UV آغاز شد.

نمونه‌برداری در فواصل زمانی معین به مدت ۱۸۰ min انجام و جذب محلول‌ها در بیشینه طول موج ماده رنگ‌زا اندازه‌گیری و سپس، درصد بازده رنگ‌بری محاسبه شد.

تعیین بازده رنگ‌بری

برای تعیین بازده جذب رنگ‌زا از پساب رنگ‌ریزی، غلظت رنگ‌زا در پساب پیش و پس از عملیات محاسبه شد و درصد بازده رنگ طبق



شکل ۱- ساختار رنگینه قرمز مستقیم ۲۳.

صنعتی حذف شوند [۳]. برای رنگ‌زدایی فاضلاب صنایع نساجی می‌توان به روش‌های انعقاد و لخته‌سازی، زیستی، اکسایش شیمیایی، فناوری الکتروشیمیایی، تبادل یون، فرایندهای جذب سطحی و نیز فرایندهای ترکیبی شامل آزن‌دهی و لخته‌سازی اشاره کرد [۵،۶]. برخی از روش‌ها ممکن است، مؤثر باشند. اما در نهایت در آن‌ها محدودیت‌هایی دیده شده است. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به استفاده مقدار اضافی از مواد شیمیایی، انباشته‌شدن یا متمرکزشدن لجن [۷] همراه با مشکلات دفع، قیمت یا هزینه‌های عملیاتی زیاد، عدم کاهش مؤثر رنگ و حساسیت به فاضلاب متغیر ورودی اشاره کرد [۲]. از روش‌های دیگری که برای رنگ‌بری پساب مطالعه شده است، رنگ‌بری نور کاتالیزوری ناهمگن آلاینده‌ها در معرض منابع نور متفاوت است. این روش مزایای بیشتر و معایب کمتری نسبت به سایر فناوری‌ها دارد [۷]. بسیاری از نور کاتالیزورهای نیمه‌رسانا (مثل تیتانیم دی‌اکسید (TiO_2) ، روی اکسید (ZnO) و نیکل اکسید) برای کاهش آلاینده‌های آلی استفاده شده‌اند. این نیمه‌رساناها می‌توانند به‌عنوان حساس‌کننده‌های فرایندهای اکسایش به‌کار گرفته شوند [۷].

سیکلودکسترین‌ها با ابعاد و حفره‌های نانو مجموعه‌ای از اولیگوساکاریدها هستند که با اصلاح آنزیمی متنوع نشاسته در مقیاس صنعتی و با خلوص زیاد تولید می‌شوند. از مهم‌ترین ویژگی‌های سیکلودکسترین ایجاد کمپلکس درهم‌جای با مولکول‌های مهمان آگریز در نانوحفره‌های آن است. به عبارتی در این کمپلکس‌ها مولکول مهمان درون نانوحفره سیکلودکسترین میزبان نگه داشته شده یا گنجانده می‌شود. تشکیل کمپلکس به علت هم‌اندازه بودن ابعاد حفره میزبان و مولکول مهمان است [۸].

افزون بر این، سیکلودکسترین به‌وسیله حفره آگریز داخلی خود می‌تواند ترکیباتی را که با آلاینده‌های آلی وارد آب شده و موجب آثار منفی می‌شوند، حبس کرده و به سالم ماندن محیط زیست کمک کند [۷]. در پژوهش حاضر، تلاش بر این است تا با تلفیق عملکرد نور کاتالیزوری تیتانیم دی‌اکسید و جاذب بودن بتا-سیکلودکسترین، مقدار رنگ‌بری روی رنگ‌زای مستقیم پرکاربرد ارزیابی شود.

تجربی

مواد و دستگاه‌ها

در این پژوهش، از رنگینه مستقیم DR23 با ساختار دی‌آزو خریداری شده از شرکت الوان ثابت ایران استفاده شد. همچنین، از نانوذرات نیمه‌رسانای TiO_2 (P-25 از شرکت Degussa آلمان) با میانگین اندازه ذرات ۸۰-۶۰ nm، درجه خلوص بیش از ۹۹/۵٪ و بتا-سیکلودکسترین شرکت Sigma-Aldrich با خلوص ۹۹/۹٪ استفاده شد. خواص مواد استفاده شده در جدول ۱ آمده است. از استیک اسید شرکت قطران شیمی برای تهیه pH محلول‌های مدنظر، از نمک سدیم کلرید شرکت دکتر مجللی و از کابینت نور تجهیز شده با لامپ فرابنفش UV-A، طول موج ۳۶۸ nm و با قدرت ۲۰ W از شرکت

$$t/C_t = 1/K_2 C_{\infty}(C_{\infty}) + 1/C_{sat} \quad (۶)$$

معادله (۱) محاسبه شد:

$$((C_0 - C_t)/C_0) \times 100 \quad (۱)$$

در حالی که C_{sat} و C_t به ترتیب غلظت رنگینه‌ها برحسب mg/L در معادله مشخص هستند و K_2 و K_1 مقدار ثابت معادله هستند [۱۲].

در این معادله، C_0 غلظت رنگ‌زا در پساب پیش از رنگ‌بری و C غلظت رنگ‌زا پس از رنگ‌بری است. برای بررسی روند رنگ‌بری، در فواصل ۳۰ دقیقه‌ای از پساب نمونه‌گیری و سپس بازده رنگ‌بری پس از ۱۸۰ min محاسبه شد [۹].

نتایج و بحث

اثر وجود بتا-سیکلودکسترین

هنگامی که محلول پساب رنگینه DR23 با غلظت اولیه ۰/۰۲۵ g/L، محتوی ۰/۰۵ g/L تیتانم دی‌اکسید برای رنگ‌بری مورد آزمون قرار گرفت، مشاهده شد، در مقدار اسیدینگی معین (pH برابر ۳) طی گذشت زمان ۱۸۰ min تابش، درصد رنگ‌بری حداکثر به ۷۳٪ رسید، در حالی که پس از افزودن بتا-سیکلودکسترین به محلول پساب رنگ‌زای مزبور این مقدار به ۹۱٪ افزایش یافت. دلیل این موضوع را می‌توان به مهم‌ترین ویژگی سیکلودکسترین‌ها نسبت داد. مهم‌ترین خواص این مواد، قابلیت تشکیل کمپلکس میهمان-میزبان است. در این کمپلکس‌ها مولکول میهمان (مولکول‌های برانگیخته شده در اثر واکنش با تیتانم دی‌اکسید) درون نانوحفره سیکلودکسترین میزبان نگه داشته شده و گنجانده می‌شود. تشکیل کمپلکس به علت هم‌اندازه

هم‌دمای جذب

هم‌دمایها و معادلات تعادلی برای توصیف خواص سطحی جاذب، ارائه دیدگاهی درباره چگونگی فرایند جذب سطحی و تشریح داده‌های تجربی به کار برده می‌شوند. همچنین، هم‌دمایها به‌عنوان عاملی مهم در طراحی سامانه‌های جذب و توصیف‌کننده رابطه بین غلظت ماده جذب‌شونده و ظرفیت جذب جاذب به‌شمار می‌آیند (هم‌دمای). در مطالعه حاضر، به منظور بررسی چگونگی واکنش بین ماده جاذب و جذب‌شونده، از تحلیل داده‌های تجربی استفاده می‌شود. پرکاربردترین هم‌دمایها فرندلیش، نرنست و لانگمیر هستند که در ادامه بحث شده است.

هم‌دمای جذب نرنست ساده‌ترین هم‌دماست که یک نقطه اشباع دارد و پس از آن جذبی انجام نمی‌شود [۱۰]:

$$q_e = KC_e \quad (۲)$$

q_e مقدار غلظت رنگ‌زا در لیف (mg/kg)، C_e مقدار غلظت رنگ‌زا در محلول (mg/L) و K ثابت تعادل هم‌دمای نرنست است. هم‌دمای فرندلیش با فرض یک سطح ناهمگن با توزیع نایکنواختی از گرمای جذب در روی سطح به‌دست می‌آید [۱۰]:

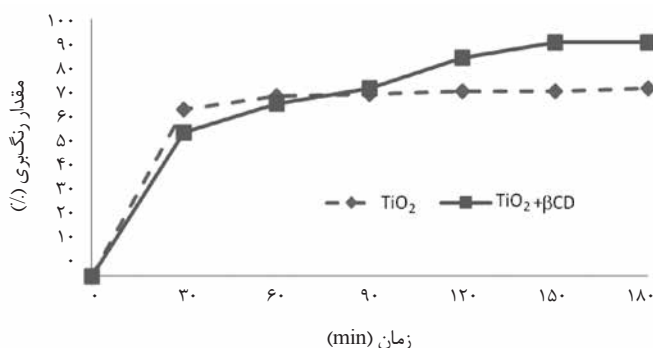
$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (۳)$$

$$\log q_e = \log K_f + 1/n \log C_e \quad (۴)$$

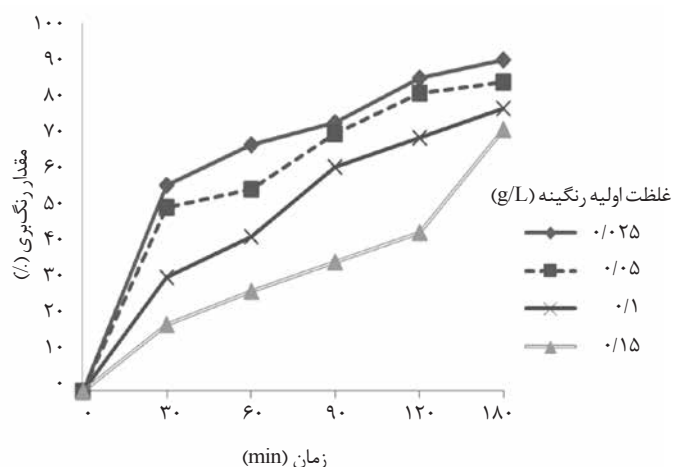
K_f برای سامانه با توجه به انرژی زنجیره‌ای ثابت است که می‌تواند به‌عنوان ضریب توزیع یا جذب توصیف شود و به مقدار رنگ جذب شده روی کربن جاذب برای هر واحد غلظت تعادلی نسبت داده شود. شیب $1/n$ در محدود ۰-۱ که اندازه شدت جذب یا ناهم‌آهنگی سطحی، ناهمگن‌تر می‌شود، وقتی مقدار آن به صفر نزدیک می‌شود، وقتی مقدار $1/n$ کوچک‌تر از ۱ باشد، از هم‌دمای فرندلیش نرمال پیروی می‌کند و وقتی $1/n$ بزرگ‌تر از ۱ باشد، به جذب کمکی اشاره دارد [۱۰].

در نظریه لانگمیر فرض اساسی این است که جذب در مجموعه‌ای از مکان‌های ویژه همگن داخل جاذب اتفاق می‌افتد [۱۰].

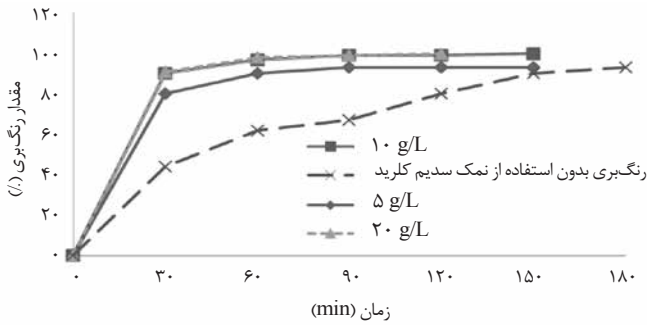
$$\ln(C_{sat} - C_t) = \ln C_{sat} - K_t \quad (۵)$$



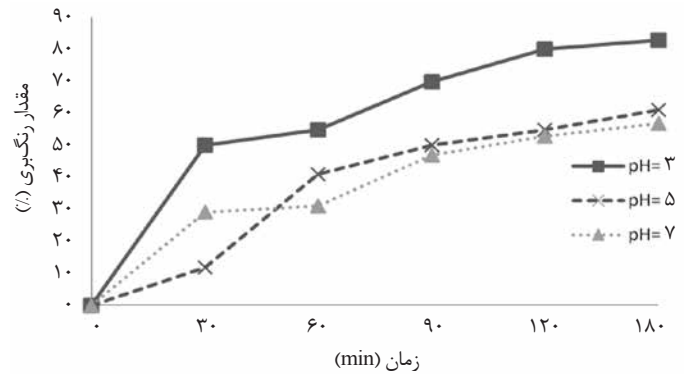
شکل ۲- اثر بتا-سیکلودکسترین در رنگ‌بری DR23.



شکل ۳- اثر غلظت اولیه رنگینه مستقیم DR23.



شکل ۵- اثر استفاده از نمک سدیم کلرید بر مقدار رنگبری رنگینه DR23.



شکل ۴- درصد رنگبری رنگینه مستقیم در pH های متفاوت.

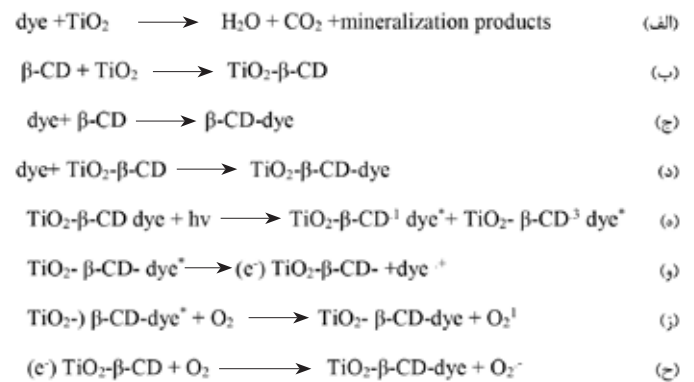
تیتانیم دی‌اکسید محتوی β -CD است. رنگینه به‌طور غیرمستقیم روی کانال‌های β -CD که روی تیتانیم دی‌اکسید جذب شده‌اند، می‌نشینند (واکنش ج).

بودن ابعاد حفره میزبان و مولکول میهمان است. سیکلودکسترین‌ها بسته به اندازه حفره با مواد مختلف کمپلکس ایجاد می‌کنند. حین ایجاد کمپلکس‌های درهم جای سیکلودکسترین‌ها با مولکول میهمان، پیوندهای کووالانسی شکسته می‌شوند یا ایجاد نمی‌شوند. چند عامل در ایجاد این کمپلکس‌ها دخالت دارند.

مهم‌ترین عامل در تشکیل این کمپلکس‌ها آزاد شدن گرمای آب در اثر جانشینی با میهمان است.

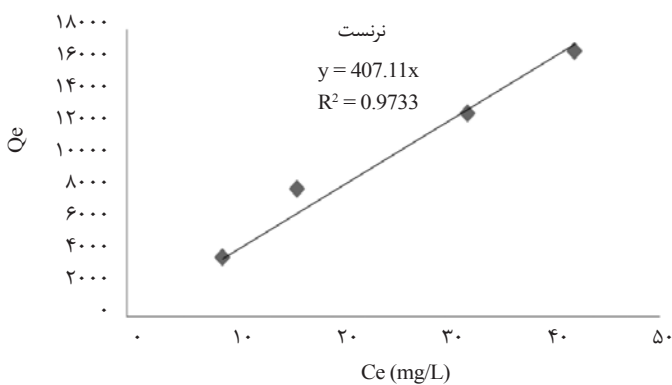
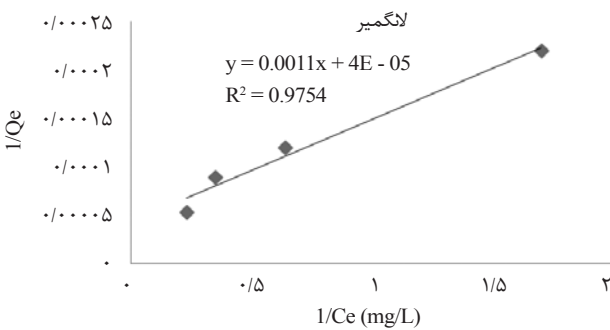
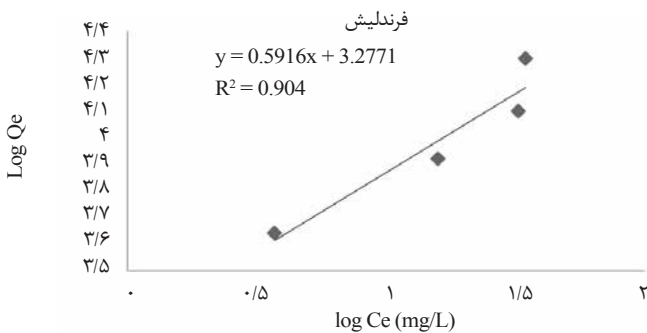
مولکول آب به‌وسیله بیشتر مولکول‌های میزبان آب‌گریز حاضر در محلول، برای رسیدن به پیوستگی غیرقطبی-غیرقطبی و کاهش کشش حلقه سیکلودکسترین (که پایداری بیشتر حالت انرژی را در پی دارد)، جانشین می‌شود [۸]. در شرایط این آزمون، بتا-سیکلودکسترین به نحوی که شرح داده شد، به‌عنوان جاذب عمل کرده و باعث افزایش مقدار رنگ‌بری می‌شود (شکل ۲).

سازوکار اثر بتا-سیکلودکسترین روی فعالیت نورکاتالیزوری به شرح زیر است:



واکنش (ب) نشان می‌دهد، β -CD تمایل بیشتری به سطح تیتانیم دی‌اکسید نسبت به مولکول‌های رنگینه دارد و آن‌ها می‌توانند روی سطح تیتانیم دی‌اکسید جذب شده، موقعیت‌های فعال را اشغال کرده و درون حفره‌های آن حبس شده و در نهایت به تشکیل کمپلکس پایدار $\text{TiO}_2\text{-}\beta\text{-CD}$ منجر شوند [۷].

واکنش (ج) برهم‌کنش کمپلکس β -CD با مولکول‌های رنگینه را نشان می‌دهد و این مرحله اصلی در رنگ‌بری نورکاتالیزوری تعلیق



شکل ۶- هم‌دمای جذب رنگینه DR23.

می‌شود. مکان‌های سطحی با بار منفی روی TiO_2 تمایلی به جذب آنیون‌های رنگینه ناشی از دفع الکتروستاتیک ندارند (شکل ۴).

اثر الکترولیت

در فرایند رنگ‌رزی، نمک سدیم کلرید برای افزایش رمق‌کشی به حمام رنگ‌رزی اضافه می‌شود. برای بررسی اثر وجود الکترولیت بر مقدار حذف رنگینه، مقادیر ۵، ۱۰ و ۲۰ g/L سدیم کلرید به محلول رنگینه افزوده شد. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، افزایش الکترولیت سبب افزایش مقدار رنگ‌بری شده است. در این پژوهش، با افزودن مقادیر متفاوت نمک سدیم کلرید به محلول مشاهده شد، با افزایش مقدار نمک بازده واکنش در مدت ۲ h به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. افزایش مقدار نمک سدیم کلرید از ۵ g/L به ۲۰ g/L سبب افزایش مقدار رنگ‌بری از ۹۳٪ به ۱۰۰٪ شد. می‌توان نتیجه گرفت، نمک در تشکیل کمپلکس و سنگین کردن مولکول‌های رنگینه به بتا-سیکلودکسترین کمک کرده و باعث تخریب شدیدتر و سریع‌تر رنگینه شده است. غلظت بیشتر نمک اثر بیشتری روی جذب رنگینه دارد.

برای تشریح رابطه میان غلظت ماده جذب‌شونده و ظرفیت جذب این رنگ‌زا و مواد جاذب استفاده شده، مدل نرنست به کار گرفته شد. در شکل ۶ مشاهده می‌شود، ضریب هم‌بستگی برای هر دو مدل سینتیک لانگمیر، فرنلش و نرنست به ترتیب برابر ۰/۹۷۵۴، ۰/۹۰۴ و ۰/۹۷۳۳ است که با توجه به این نتایج می‌توان بیان کرد، فرایند جذب از مدل لانگمیر پیروی می‌کند. گرچه مدل نرنست نیز ضریب هم‌بستگی بزرگی دارد (شکل ۶). ضرایب خطی هم‌دماها برای جذب رنگینه DR23 به‌وسیله بتا-سیکلودکسترین و تیتانم دی‌اکسید در جدول ۲ آمده است.

اندازه‌گیری TDS

TDS (Total dissolved solids) به کل جامدات محلول در آب گفته می‌شود. اندازه‌گیری محتوای ترکیبی از تمام مواد آلی و غیرآلی موجود در یک مایع به حالت مولکولی، یون‌شدن یا میکروگرانول (سلول کلونیدی) است.

TDS را نمی‌توان به‌عنوان معیار اصلی مشخص‌کننده کیفیت آب در نظر گرفت و بیشتر درجه شفافیت آب را مشخص می‌کند. منظور از TDS کل مواد جامد محلول در آب بوده که برابر مجموع غلظت همه یون‌های موجود در آب است. مواد محلول در آب ممکن است از نظر ماهیت آلی یا معدنی باشند. جدول ۳ نشان می‌دهد، رنگ‌بری با تلفیق بتا-سیکلودکسترین و تیتانم دی‌اکسید باعث کاهش TDS هم شده است.

β -CD که بین تیتانم دی‌اکسید و رنگینه قرار گرفته است، در واکنش (ه) به‌وسیله جذب نور فرابنفش ($h\nu$) تحریک می‌شود. الکترون به سرعت از مولکول رنگینه تحریک شده به نوار رسانش تیتانیم دی‌اکسید تزریق می‌شود (واکنش‌های (و) و (ز)). رادیکال مهم دیگر در اثر برخورد انرژی به TiO_2 - β -CD، تشکیل رادیکال آنیون ابراکسید (O_2^-) است و در نهایت رنگینه و کاتیون رنگینه تحت تأثیر تخریب قرار می‌گیرند [۷].

به‌طور کلی، طول عمر برای مواد تحریک شده هنگامی که داخل حفره β -CD قرار می‌گیرند، طولانی می‌شود. بنابراین، β -CD انتقال الکترون از رنگینه‌های تحریک شده به نوار رسانش تیتانم دی‌اکسید را تسهیل کرده و در نتیجه تخریب افزایش می‌یابد [۷].

اثر غلظت اولیه رنگینه

برای مطالعه اثر غلظت رنگینه بر مقدار رنگ‌بری، از غلظت‌های ۰/۲۵ g/L تا ۰/۱۵ g/L رنگینه استفاده شد. سایر عوامل ثابت نگه داشته شد، یعنی در pH برابر ۳ و دمای $80^\circ C$ آزمون‌ها انجام شد. شکل ۲ مقدار کاهش رنگینه را با افزایش زمان تابش در غلظت‌های اولیه مختلف نشان می‌دهد (۰/۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵ g/L). بازده تجزیه رنگینه با افزایش غلظت آن کاهش می‌یابد. دلیل فرض شده این است که در غلظت‌های زیاد رنگینه، مکان‌های فعال به‌وسیله یون‌های رنگینه پوشیده می‌شود و در نتیجه تولید رادیکال‌های OH^- روی سطح کاتالیزور کاهش می‌یابد. در غلظت زیاد رنگینه، مقدار عمده‌ای از نور به جای آنکه به‌وسیله ذرات تیتانم دی‌اکسید جذب شود، ممکن است به‌وسیله مولکول‌های رنگینه جذب شود که این موضوع بازده واکنش کاتالیزوری را به علت کاهش غلظت رادیکال هیدروکسیل کاهش می‌دهد [۱۱].

دلیل دیگری که می‌تواند وجود داشته باشد، مداخله محصولات واسطه‌ای است که از تجزیه مولکول‌های رنگینه تشکیل شده‌اند. از جمله مواد واسطه‌ای که تولید می‌شوند می‌توان به بنزن، مشتقات فنولی و ترکیبات فنولی اشاره کرد [۱۲] (شکل ۳).

اثر pH

از آنجا که پساب‌های رنگی نساجی، اسیدیته مختلفی دارند، بنابراین رنگینه‌ها هم روش تجزیه متفاوتی دارند، به همین علت آزمون‌های مقایسه‌ای در سه مقدار pH (۳، ۵ و ۷) انجام شد. نتایج مطالعات نشان داد، در pH اسیدی بازده بیشتر است. سطح تیتانم دی‌اکسید در محیط اسیدی بار مثبت دارد. بنابراین، جذب الکتروستاتیک بین سطوح بار مثبت تیتانیم دی‌اکسید و رنگ‌های آنیونی وجود دارد. همان‌طور که اسیدیته سامانه افزایش می‌یابد، تعداد مکان‌هایی که بار منفی دارند، نیز بیشتر

جدول ۲- ضرایب خطی هم‌دماها برای جذب رنگینه DR23 به‌وسیله بتا-سیکلودکسترین و تیتانم دی‌اکسید.

نرنست		فرنلش			لانگمیر			رنگینه
R^2	K	R^2	$n/1$	K_f	R^2	C_{sat}	K_L	
۰/۹۷۳۳	۶۵۲	۰/۹۰۴	۰/۷۱	۱۳۲۲/۴	۰/۹۷۵۴	۲۳۵۶۰	۰/۳۷	DR23 مستقیم قرمز

جدول ۳- اندازه‌گیری کل جامدات محلول در آب در مراحل مختلف عملیات.

TDS (ppm)	رنگینه + آب	محلول پیش از تصفیه حاوی رنگینه + آب + اسید + β CD, TiO ₂	محلول پس از تصفیه حاوی رنگینه + آب + اسید + β CD, TiO ₂
DR23	۳۲/۷	۱۶۴	۱۵۰

جاذب در فرایند جذب اثر می‌گذارد. طبق نتایج حاصل با کاهش pH مقدار جذب رنگینه افزایش یافته است. علت این پدیده به ساختار رنگینه DR23 و pHzc تیتانیم دی‌اکسید، یعنی در نقطه‌ای که مجموع بار مثبت و منفی تیتانیم دی‌اکسید صفر است، در نقطه pH حدود ۶/۳ است، ارتباط دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد، در pH کمتر از این نقطه بار الکتریکی سطحی غالب در سطح جاذب، بار مثبت است [۱۴].

مقدار رنگبری با افزایش غلظت اولیه رنگینه کاهش یافته و حداکثر رنگبری در غلظت ۰/۰۲۵ g/L حاصل شده است. وجود بتا-سیکلودکسترین به همراه تیتانیم دی‌اکسید در محلول پساب رنگینه DR23 باعث افزایش رنگبری شده است. β -CD می‌تواند باعث انتقال سریع‌تر الکترون از رنگینه‌های تحریک شده به نوار رسانش تیتانیم دی‌اکسید شده و در نتیجه تخریب افزایش می‌یابد. در همین راستا، این ماده می‌تواند بیشتر به‌عنوان جاذب عمل کند و باعث افزایش مقدار رنگبری شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه کارایی فرایندهای نورکاتالیزوری با افزایش مقدار جذب آلاینده روی نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید افزایش می‌یابد، بنابراین نتایج مطالعه حاضر نشان داد، ظرفیت جذب به pH، وجود نمک، زمان واکنش و غلظت اولیه رنگینه وابسته بوده و با افزایش مقدار نمک و کاهش pH کارایی جذب بهبود می‌یابد. pH از عوامل مهمی است که با اثر بر ساختار رنگینه و بار سطحی

مراجع

1. Yazdani M., Arami M., and Bahrami H., Textile dyes removal from single and binary systems using inorganic adsorbent, *J. Color Sci. Tech.*, 6, 153-164, 2011.
2. Lopez A., Martins S., Morao A., Magrinho M., and Goncalves I., Degradation of a textile Dye C.I. direct red 80 by electrochemical processes, *Portugaliae Electrochimica Acta*, 22, 279-294. 2004.
3. Shi B., Li D., Wang D., Feng C., and Tang H., Removal of direct dyes by coagulation: The performance of pre-formed polymeric aluminum species, *J. Hazardous Mater.*, 143, 567-574. 2006.
4. Andre B., Santos D., Francisco J., Jules B., and Lier V., Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology, *J. Bioresource Tech.*, 98, 2369-2385, 2007.
5. Parvinzadeh M., Improvement Colorant Absorption from pistachio hulls on wool fiber using protease enzyme, *Prog. Color Colorants Coat.*, 2, 1-6. 2009.
6. Hedayati N., Najafi H., Khajeh Mehrizi M., and Bidoki M., Photo-oxidation of disperse dyes wastewaters with various structures by UV/H₂O₂ process, *J. Text. Tech.*, 167-173, 2012.
7. Velusamy P., Pitchaimuthu S., Rajalakshmi S., and Kannan N., Modification of the photocatalytic activity of TiO₂ by β -cyclodextrin in decoloration of ethyl violet dye, *J. Adv. Res.*, 5, 19-25, 2012.
8. Namazi H. and Heidari A., Cyclodextrins: Natural nanocapsuls, *J. NanoTech.*, 5, 17-21, 2013.
9. Borhani S., Khalili H., Sohankar N., and Forozmehr F., Decoloration of reactive dye by polyacrylonitril nanofiber β -cyclodextrin, *J. Color Sci. Tech.*, 193-201, 2014.
10. Mahmoodi N.M., Photocatalytic ozonation of dyes using multiwalled carbon nanotube, *J. Molecul. Catal. A: Chem.*, 366. 254-260. 2013.
11. Konstantinou I.K. and Albanis T.A., TiO₂-assisted photocatalytic degradation of Azo Dyes in a aqueous solution, *J. Catal. B: Environ.*, 49, 1-14, 2004.
12. Mahmoodi N. and Arami M., Decolorization and mineralization of textile dyes at solution bulk by heterogeneous nanophotocatalysis using immobilized nanoparticle of titanium dioxide, *Colloid Surface. Eng. Aspects*, 290, 125-131, 2006.
13. Khajeh Mehrizi M. and Mahmudi A., Decoloration of disperse blue 56 using UV/H₂O₂/MWCNTs, *Prog. Color Colorants Coat.*, 123-133, 2015.
14. Ghanbarian M., Mahvi A., Nabizadeh R., Saeedniya S., A pilot study RO16 discoloration and mineralization in textile effluents using the nanophotocatalytic process, *J. Water Wastewater*, 1, 45-51, 2009.

Decolorization of C.I. Direct Red 23 in Aqueous Solution Using UV/TiO₂/β-Cyclodextrin Method

Somaye Zahmatkesh and Mohammad Khajeh Mehrizi*

Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, P. O. Box: 89195-741, Yazd, Iran

Abstract

Dyes are among the most widely used chemicals in textile industry which are partially discharged to the environment after the wet processes. It is important to find environmentally friendly wastewater treatment methods to remove these organic pollutants. In this search, the photo catalytic decolorization of C.I. Direct Red 23 (DR23) under UV/TiO₂/β-Cyclodextrin process is studied. Effective factors such as pH, the presence of salt, temperature and concentration of the dye are evaluated. The results show that the highest efficiency of decolorization can be achieved in acidic pH and at low DR23 concentrations. Adding sodium chloride salt (5 to 20 g/L) accelerates the catalytic degradation and improves the adsorption of DR23. β-cyclodextrin acts as an absorbent in this process. The results show that the DR23 decolorization under UV/TiO₂/β-Cyclodextrin method also reduces the total dissolved solids (TDS) of the wastewater. Moreover, the experimental results show a very good correlation with the Langmuir adsorption isotherm.

Keywords

decolorization,
direct dye,
β-cyclodextrin,
UV light,
TiO₂

(*). Address Correspondence to M. Khajeh Mehrizi, Email: mkhajeh@yazd.ac.ir