کارایی فرایند فوتواکسیداسیون $UV/S_2O_8^{2-}$ در حذف ماده آلی رنگزای اسیدی

محمد حسین رسولی‌فرد[۱] سید محمد مهدی دوست‌محمدی[۲] اعظم حیدری[۳]

(دریافت ۸۹/۸/۲۲ پذیرش ۸۹/۱۲/۵)

چکیده

در این تحقیق به‌مطالعه میزان حذف ماده آلی رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ مورد استفاده در صنایع نساجی از طریق فرایند فوتواکسیداسیونی $UV/S2O_8^{2-}$ از آب آلوده پرداخته شد. تأثیر متغیرهای مؤثر بر میزان حذف از قبیل غلظت $S_2O_8^{2-}$، Ag^+، غلظت اولیه رنگزا و دما بررسی گردید. تبدیل یون پراکسی‌دی‌سولفات به رادیکال سولفات ($SO_4^{-\bullet}$) در حضور کاتالیزور نقره، حرارت و نور ماوراء بنفش افزایش یافته و این رادیکال به‌عنوان یک اکسنده قوی‌تر از پراکسی‌دی‌سولفات موجب افزایش اکسایش و تخریب آلاینده‌ها می‌گردد. تغییرات طیف جذبی محلول رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ در طی فرایند فوتواکسیداسیون مشخص نمود که پیک جذبی در طول موج بیشینه ۵۱۴ نانومتر به‌شدت کاهش می‌یابد که دلالت بر تخریب سریع رنگزای آزو و رنگ‌زدایی از محلول دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که فرایند اکسایش در حضور نور ماوراء بنفش و اکسیدکننده پراکسی‌دی‌سولفات می‌تواند انتخاب کارآمدی برای تصفیه پسابهای حاصل از صنایع نساجی باشد.

واژه‌های کلیدی: فرایندهای اکسایش پیشرفته، نور ماوراء بنفش، رنگزای قرمز اسیدی ۱۴، پراکسی‌دی‌سولفات، $UV/S_2O_8^{2-}$، تصفیه پساب

Removal of Acid Red 14 from Contaminated Water Using $UV/S_2O_8^{2-}$ Advanced Oxidation Process

Mohammad Hossein Rasoulifard [1] Seyed Mohammad Mahdi Doust Mohammadi [2] Azam Heidari [3]

(Received Nov. 12, 2010 Accepted Feb. 23, 2011)

Abstract

The present study investigates the degradation of Acid Red 14 (AR14), commonly used as a textile dye in aqueous medium through the oxidation process by $UV/S_2O_8^{2-}$ under a set of variables concentration of $S_2O_8^{2-}$, Ag^+, AR14 and temperature. Commonly Ag^+, heat and UV light can excite $S_2O_8^{2-}$ to sulfate radical form ($SO_4^{-\bullet}$), a stronger oxidant (E^0 = 2.60 V) than $S_2O_8^{2-}$, to enhance significantly the oxidation of contaminants. Also the changes in the absorption spectra of AR14 solutions during the photoxidation process showed that decrease of absorption peak of the dye at λ_{max} = 514 nm indicates a rapid degradation of the azo dye. The results of this study suggest that the oxidative treatment of AR14 by peroxydisulfate with UV is a viable option for removal of the textile dyes from effluents.

Keywords: Advanced Oxidation Process, Ultraviolet Light, Acid Red14, Peroxydisulfate, $UV/S_2O_8^{2-}$, Wastewater Treatment.

۱- استادیار رشته شیمی کاربردی، گروه شیمی و گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان (نویسنده مسئول) ۵۱۵۲۵۹۱ (۰۲۴۱)
m_h_rasoulifard@znu.ac.ir

۲- کارشناس ارشد شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، زنجان

۳- کارشناس ارشد شیمی کاربردی، گروه پزشکی مولکولی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان

1. Assist. Prof of Applied Chemistry, Dept. of Chemistry and Environmental Sciences, Faculty of Sciences, Zanjan University, Zanjan (Corresponding Author) (+98 241) 5152591 m_h_rasoulifard@znu.ac.ir
2. M.Sc. of Applied Chemistry, Dept. of Chemistry, Islamic Azad University of Zanjan, Zanjan
3. M.Sc. of Applied Chemistry, Dept. of Molecular Medicine, School of Medicine, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

صنایع نساجی یکی از بزرگ‌ترین صنایع مصرف کننده آب و تولید کننده فاضلابهای رنگی با کمیّت و کیفیت شیمیایی متفاوت و حاوی قابل توجهی رنگ هستند. مواد رنگزای نساجی بزرگ‌ترین دسته از رنگزاهای مصنوعی محلول در آب بوده که دارای بیشترین تنوع از نظر نوع و ساختار رنگ هستند. برخی از این مواد رنگزا و محصولات ناشی از تجزیه آنها مانند آمین‌های آروماتیکی، به شدت سرطان‌زا هستند. عملکرد نامطلوب واحدهای رنگرزی و عدم تثبیت رنگ بر روی الیاف، موجب ورود حدود ۱۵درصد رنگها به فاضلابهای کارخانجات شده است. این پسابهای رنگی دارای ذرات معلق و همچنین COD بالا هستند که اگر بدون اعمال روشهای تصفیه پساب وارد محیط شوند بسیار مضر خواهند بود [۱، ۲ و ۳].

ضرورت یافتن یک فرایند مؤثر و اقتصادی برای پاک کردن فاضلابها از رنگزاها، تلاشهای پژوهشی مهمی را روی جنبه‌های مختلف مشکل، متمرکز کرده است. طراحی و توسعه مواد جدید برای حمایت از تکنولوژی‌های ضروری، یکی از جنبه‌های مهمی است که هنوز مخاطب دارد [۴]. در دهه اخیر محققان متعددی فعالیت خود را بر روی دسته‌ای از روشهای اکسیداسیون تحت عنوان فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته[1] متمرکز نموده‌اند. بخش مورد توجه فرایندهای اکسایش پیشرفته، در اکسایش مواد آلی به دی اکسید کربن و آب و مواد معدنی است که اصطلاحاً به آن معدنی شدن گفته می‌شود. این فرایندها همانند فرایندهای اکسایش شیمیایی دارای تنوع وسیع در به‌کارگیری O_3، O_3/H_2O_2، UV/H_2O_2، UV/O_3، UV/air هستند.

اگرچه فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته به گروههای متعددی تقسیم می‌شوند ولی ویژگی مشابه همه آنها تولید رادیکال‌های بسیار قوی هیدروکسیل است [۵]. اکسنده‌هایی نظیر H_2O_2، $KMnO_4$، O_3 به‌طور وسیعی در آزمایشگاههای کنترل کیفیت مورد استفاده قرار گرفته و آزمایش شده‌اند. H_2O_2 پتانسیل اکسایش بالایی (E^0=۱/۸۷V) دارد و به‌طور غیر گزینشی با تمام آلاینده‌های آلی واکنش می‌دهد. ازن نیز یک اکسنده قوی (E^0=۲/۰۷ V) بوده و عملکرد آن تاحدودی گزینشی و با ترکیبات غنی از الکترون است. اما تهیه یک منبع تغذیه مناسب برای تولید O_3 در صنایع مشکل است. در مقایسه با O_3 و H_2O_2، پرمنگنات ($KMnO_4$) تقریباً پایدارتر است (E^0=۱/۶۸ V). با این وجود در مقایسه O_3 و H_2O_2 ، اکسایش آلاینده‌ها به‌وسیله $KMnO_4$ محدودتر است زیرا به‌طور گزینشی با ترکیبات کلردار غیر اشباع واکنش می‌دهد. اخیراً یون پراکسی‌دی‌سولفات به‌عنوان یک اکسنده متناوب در شیمی اکسایش آلاینده‌ها توجه فراوانی را به‌خود جلب کرده است.

یون پراکسی‌دی‌سولفات به‌عنوان اکسنده قوی با پتانسیل اکسایش E^0=۲/۰۷ V به‌طور گسترده‌ای در بسیاری از فرایندهای صنعتی نظیر پلیمریزاسیون و اکسیداسیون سطح فلز، در پالایش سیالات هیدرولیک در صنعت نفت یا به‌عنوان آغازگر واکنش در صنایع پتروشیمی به‌کار می‌رود [۶ و ۷].

گزارشات متعددی مبنی بر کارایی مطلوب پراکسی‌دی‌سولفات برای تخریب آلاینده‌های آلی در پسابهای سمّی و خطرناک در محیط‌های اسیدی یا بازی از طریق اکسایش شیمیایی مستقیم ارائه شده است. باتوجه به اینکه واکنش‌های پراکسی‌دی‌سولفات در دمای معمولی عموماً آرام است لذا تحریک توسط نور یا حرارت، با تجزیه یون‌های پراکسی‌دی‌سولفات به یون‌های رادیکال سولفات (معادله ۱) موجب تسریع فرایند اکسایش می‌شود [۷]

$$S_2O_8^{2-} + \text{Photons/heat} \rightarrow 2\,SO_4^{-\bullet} \qquad (۱)$$

علاوه بر حرارت یا نور ماوراء بنفش، یون‌های فلزات واسطه نیز موجب تحریک یون پراکسی‌دی‌سولفات به شکل رادیکال‌های سولفات می‌شود که نسبت به پراکسی‌دی‌سولفات پتانسل اکسایش بالاتری (E^0=۲/۶V) دارد [۸]. در طی فرایند اکسیداسیون، یون‌های سولفات به‌عنوان محصولات نهایی حاصل می‌گردد که موجب افزایش میزان نمک پساب می‌گردد. به‌علاوه $SO_4^{-\bullet}$ تقریباً خنثی بوده و از لحاظ آلودگی مورد توجه نیست به‌طوری که از طرف آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا[2] در رده دوم استانداردهای آب تا حداکثر غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر در آبهای آشامیدنی قرار گرفته است[۷]. به‌علاوه رادیکال‌های هیدروکسیل و سولفات حاصل از تجزیه پراکسی‌دی‌سولفات بسیاری از آلاینده‌های آلی را به دی اکسید کربن اکسید می‌کنند که دارای آلایندگی کمتری هستند [۶]. برخلاف رادیکال هیدروکسیل که به‌طور غیر انتخابی عمل می‌کند، رادیکال سولفات به‌عنوان یک اکسنده انتخابی عمل کرده و با ترکیبات آلی معین به‌ویژه مشتقات بنزن دارای گروههای فعال کننده، واکنش می‌دهد [۹]. ویژگی‌هایی نظیر قدرت اکسندگی بالا، واکنش پذیری غیر گزینشی، پایداری، حلالیت بالا، ارزانی، سهولت در حمل و نقل به‌علت جامد بودن و به‌علاوه بی‌خطر بودن محصولات جانبی، پراکسی‌دی‌سولفات را به‌عنوان یک اکسنده امیدبخش در فرایندهای اکسایش پیشرفته مطرح ساخته است [۶].

[1] Advanced Oxidation Process (AOP)

[2] US. Environmental Protection Agency (USEPA)

Archive of SID
www.SID.ir

دوی و همکاران[1] در سال ۲۰۰۹ با بهره‌گیری از سیستم نور ماوراء بنفش و آمونیوم پراکسی‌دی‌سولفات در حضور Fe^{3+} به بررسی فرایند حذف رنگزای قرمز کنگو پرداختند. آنها در شرایطی با غلظت ۶ ppm از Fe^{3+}، ۵۰ppm از پراکسی‌دی‌سولفات و لامپ بخار جیوه با شدت نور ۱۲۵ وات، میزان حذف رنگزای قرمز کنگو را در pH معادل ۱ به میزان ۶۹ درصد و در pH معادل ۳ به میزان ۱۰۰ درصد گزارش نمودند [۱۰].

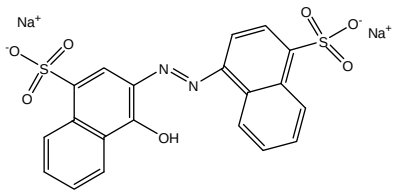
سالاری و همکاران در سال ۲۰۰۹ با بررسی تخریب فوتواکسایش رنگزای زرد بازی ۲ با استفاده از فرایند $UV/S_2O_8^{2-}$ در فتوراکتور پیوسته دریافتند که هرگاه UV یا $S_2O_8^{2-}$ هر یک به تنهایی به‌کار برده شود میزان حذف جزئی خواهد بود اما ترکیب آنها باهم حذف بالایی از رنگزا را نشان می‌دهد [۷]. به‌علاوه در بررسی روشهای اکسایش پیشرفته مبتنی بر تابش اشعه ماوراء بنفش برای حذف ۲و۴ دی کلروفنل، گئورگ و همکاران[2] در سال ۲۰۰۴ نشان دادند که کارایی پراکسید هیدروژن، پراکسی دی سولفات و پر اکسی مونوسولفات در حضور نور ماوراء بنفش به‌ترتیب $UV/K_2S_2O_8>UV>KHSO_5>UV/H_2O_2$ بوده است[۱۱].

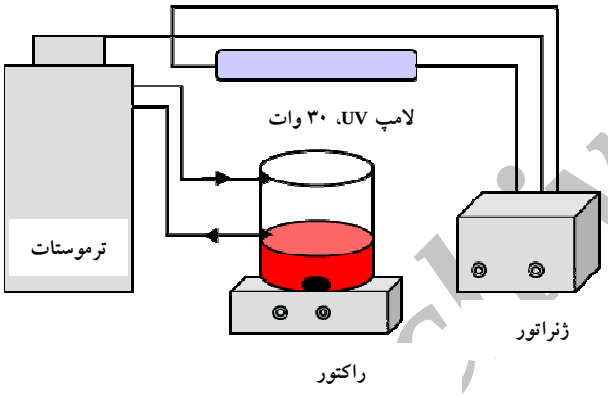
۲- مواد و روشها

رنگزای قرمز اسیدی ۱۴[3] از شرکت فلاکا[4] خریداری شد. مشخصات رنگزا در جدول ۱ ارائه شده است. آمونیوم پراکسی‌دی‌سولفات، نیترات نقره و اتانول با درصد خلوص آزمایشگاهی از شرکت مرک[5] تهیه شدند. وسایل به‌کار رفته در این تحقیق عبارت بودند از یک لامپ فرابنفش فیلیپس ۳۰ وات، دستگاه اسپکتروفوتومتر شیمادزو[6] مدل UV-160 ساخت کشور ژاپن، همزن مغناطیسی هیدولف[7] مدل MR 3001 K ساخت کشور آلمان و ترموستات لودا[8] مدل RE 104.

محلولهایی با حجم ۵۰ میلی لیتر حاوی غلظتهای معین از رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ و پراکسی‌دی‌سولفات به محل واکنش که در معرض نور ماوراء بنفش قرار داشت، وارد شدند. در طول فرایند، محلولهای مورد آزمایش با استفاده از ترموستات در دمای کنترل شده قرار گرفتند (شکل ۱). در فواصل زمانی مختلف فرایند فوتو اکسایش، از محلولها نمونه‌برداری کرده و جذب آنها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج بیشینه ۵۱۴ نانومترخوانده شد و در نهایت میزان حذف رنگزا با رسم طیف بررسی گردید. نمودارهای میزان حذف رنگزا (C_t/C_0) به‌صورت تابعی از زمان در شرایط مختلف آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات رنگزای قرمز اسیدی ۱۴

عدد شاخص رنگ[9]	۱۴۷۲۰
حلالیت در آب (۱۹ °C)	mg/mL ۵۰-۱۰۰
فرمول ساختار	
طول موج بیشینه(nm)	۵۱۴
جرم مولکول (g/mol)	۵۰۲/۴



شکل ۱- تصویر شماتیک فتوراکتور ناپیوسته

۳- نتایج و بحث

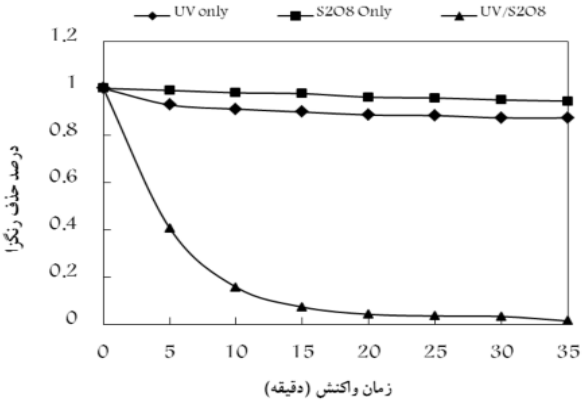
۳-۱- بررسی کارایی فرایند $UV/S_2O_8^{2-}$ در حذف ماده آلی رنگزا

تغییرات جذب رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ بر حسب زمان برای آزمایش‌های انجام گرفته در حضور $S_2O_8^{2-}$ تنها و UV تنها در مقایسه با $UV/S_2O_8^{2-}$ در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود تغییر قابل ملاحظه‌ای در میزان حذف رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ در حضور UV و $S_2O_8^{2-}$ تنها وجود ندارد. درحالی که در $UV/S_2O_8^{2-}$ نور ماوراء بنفش با فعال‌سازی

[1] Devi et al.
[2] George et al.
[3] C.I. Acid Red 14
[4] Fluka
[5] Merck
[6] Shimadzu
[7] Heidolph
[8] Lauda
[9] Color Index Number

www.SID.ir
Archive of SID

یون پراکسی‌دی‌سولفات و تولید رادیکال‌های سولفات موجب حذف مطلوب رنگزا گردید و در مدت زمان ۳۰ دقیقه میزان حذف رنگزا به حدود ۱۰۰ درصد رسید.



شکل ۲- بررسی کارایی فرایند UV/ $S_2O_8^{2-}$ بر حذف رنگزای قرمز اسیدی ۱۴

(UV = ۳۰ W, $[S_2O_8^{2-}]_0$ = ۴mM , $[AR14]_0$ = ۲۰ ppm, T_0= ۲۵°C)

۳-۲- بررسی تأثیر غلظت اولیه آمونیوم پراکسی‌دی‌سولفات

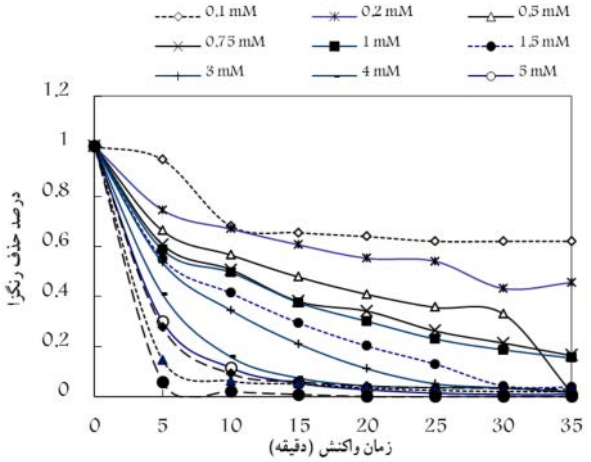
نتایج حاصل از بررسی تأثیر غلظت $S_2O_8^{2-}$ بر میزان حذف رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ که در شکل ۳ آمده نشان می‌دهد که با افزایش غلظت $S_2O_8^{2-}$ از ۰/۱ تا ۵ میلی مولار میزان حذف افزایش می‌یابد. این افزایش با توجه به افزایش تولید رادیکال‌های هیدروکسیل و رادیکال سولفات با توجه به افزایش غلظت پراکسی‌دی‌سولفات قابل توجیه است. همان‌طورکه در نمودار مشاهده می‌شود با افزایش غلظت $S_2O_8^{2-}$ به بیش از ۵ میلی‌مولار میزان حذف رنگزا نسبت به مقادیر بالاتر تغییر محسوسی نمی‌یابد. این مسئله را می‌توان به این صورت توجیه کرد که افزایش غلظت $S_2O_8^{2-}$ با توجه به واکنش ۱ و ۲ موجب افزایش تولید رادیکال‌های هیدروکسیل در اثر فرایند فتولیز می‌گردد. افزایش غلظت رادیکال‌های هیدروکسیل باعث باز تولید پراکسید هیدروژن با توجه به معادله ۳ و ۴ می‌گردد و در نتیجه با کاهش رادیکال‌های هیدروکسیل در محیط از میزان حذف رنگزا کاسته شود. همچنین با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن بر اساس واکنش ۵، خود پراکسیدهیدروژن به‌صورت روبشگر رادیکال هیدروکسیل عمل کرده و از غلظت آن در محیط می‌کاهد، بنابراین درصد حذف رنگزا تا حدودی کاهش می‌یابد[۶ و ۷]

$$SO_4^{-\bullet} + H_2O \rightarrow OH^{\bullet} + H^+ + SO_4^{2-} \quad (۲)$$

$$SO_4^{-\bullet} + H_2O \rightarrow HSO_4^- + OH^{\bullet} \quad (۳)$$

$$2OH^{\bullet} \rightarrow H_2O_2 \text{ (only in acidic to neutral pH)} \quad (۴)$$

$$OH^{\bullet} + H_2O_2 \rightarrow H_2O + HO_2^{\bullet} \quad (۵)$$

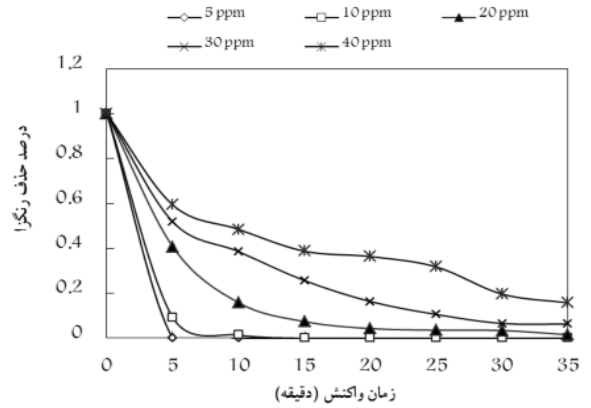


شکل۳- بررسی تاثیر غلظت اولیه پراکسی دی سولفات بر حذف رنگزای قرمز اسیدی ۱۴

(UV = ۳۰ W, $[AR14]_0$ = ۲۰ ppm, pH_0=(۵/۶) natural, T_0= ۲۵°C)

۳-۳- بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگزای قرمز اسیدی ۱۴

یکی از پارامترهای مهم از دیدگاه کاربردی، بررسی تأثیر غلظت اولیه آلاینده بر میزان حذف است. در غلظت ثابت پراکسی‌دی‌سولفات، فرایند حذف در حضور غلظتهای معین از رنگزا مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت رنگزا از میزان حذف کاسته می‌شود. غلظت بالای رنگزا از نفوذ نور ماوراء بنفش به عمق محلول جلوگیری کرده و در واقع شبیه به یک فیلتر نور عمل می‌نماید و موجب کاهش سرعت تولید رادیکال‌های هیدروکسیل می‌گردد. در نتیجه به‌دلیل ناکافی بودن عامل اکسنده و محدود شدن مقدار آن، سرعت تخریب رنگزا کاهش یافته و از میزان حذف کاسته می‌شود[۱۰ و ۱۲].



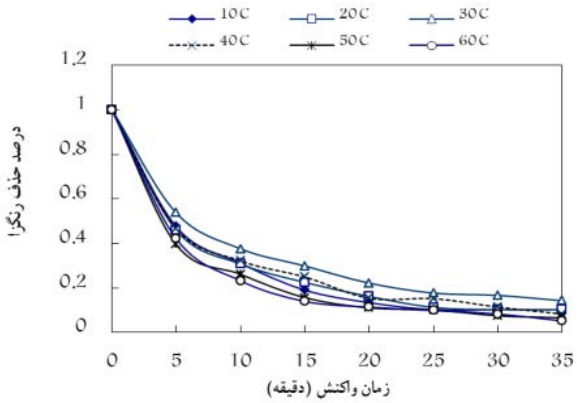
شکل ۴- بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگزا بر حذف رنگزای قرمز اسیدی ۱۴

(UV = ۳۰ W, $[S_2O_8^{2-}]_0$ = ۴ mM, pH_0=(۵/۶) natural, T_0= ۲۵°C)

Archive of SID
www.SID.ir

۳-۴- بررسی تأثیر دما

نتایج حاصل از بررسی تأثیر دماهای مختلف در غلظت ثابت از پراکسی‌دی‌سولفات و رنگزا در شکل ۵ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش دما میزان حذف رنگزا افزایش می‌یابد. افزایش دما با توجه به رابطه آرنیوس $k=A\exp(-E_a/RT)$ ، موجب کاهش انرژی فعال‌سازی و بنابراین تسریع تبدیل یون‌های اکسنده پراکسی‌دی‌سولفات به رادیکال‌های سولفات با قدرت اکسندگی بیشتر می‌شود و به این ترتیب در کنار سایر عوامل مؤثر بر حذف رنگزا، سرعت حذف آن افزایش می‌یابد. در رابطه آرنیوس، A به‌عنوان ضریب برخورد، E_a انرژی فعال‌سازی، R ثابت گازها و T دما بر حسب درجه کلوین است [۶ و ۱۳].



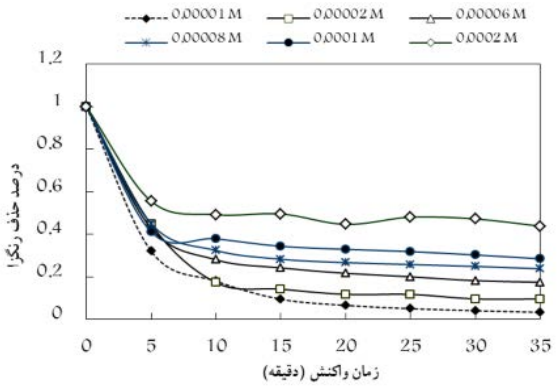
شکل۵- بررسی تاثیر دما بر حذف رنگزای قرمز اسیدی ۱۴

(UV = ۳۰ W, $[AR14]_0$ = ۲۰ ppm, pH_0=(۵/۶) natural, $[S_2O_8^{2-}]_0$ = ۴ mM)

۳-۵- بررسی تأثیر غلظت Ag^+

نتایج حاصل از بررسی غلظتهای مختلف Ag^+ بر فرایند حذف رنگزا در شکل ۶ نشان می‌دهد که افزایش غلظت Ag^+ تا مقدار معین، موجب افزایش میزان حذف می‌گردد زیرا مطابق معادله ۶ افزایش غلظت Ag^+ موجب تسریع تبدیل پراکسی‌دی‌سولفات به رادیکال سولفات که اکسنده قوی‌تری است می‌شود [۱۴]. اما در غلظتهای بالاتر یون نقره رسوب کلوییدی سیاه رنگ Ag_2O_2 $(Ag^IAg^{III}O_2)$ حاصل می‌شود و همچنین احتمالاً از کمپلکس شدن Ag(II) حاصل از واکنش معادله ۶ و سولفات، رنگی در محلول ایجاد می‌شود که در چنین شرایطی، ترکیب UV با یون نقره برای فعال‌سازی پراکسی‌دی‌سولفات در نتیجه محدودیت جذب محلول ناکارآمد خواهد بود [۱۱ و ۱۵].

$$Ag^+ + S_2O_8^{2-} \rightarrow Ag^{2+} + SO_4^{-\bullet} + SO_4^{2} \qquad (۶)$$



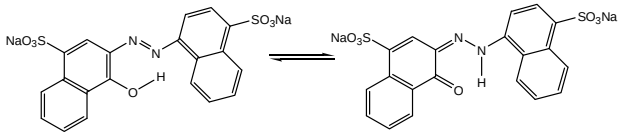
شکل۶- بررسی تاثیر غلظت اولیه یون نقره برحذف رنگزای قرمز اسیدی ۱۴

(UV = ۳۰ W, $[AR14]_0$ = ۲۰ ppm, $[S_2O_8^{2-}]_0$ = ۴ mM, pH_0=(۵/۶) natural, T_0=۲۵°C)

۳-۶- بررسی تغییرات طیف قبل و بعد از حذف رنگزای قرمز اسیدی ۱۴

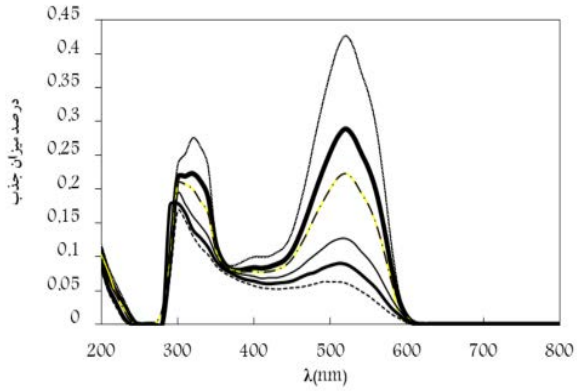
رنگزای اسیدی قرمز ۱۴ دارای گروه سست N-H است که حاصل از تعادل بین دو شکل تاتومری در شکل۷ است. در حالت تعادل یک اتم هیدروژن بین دو اتم نیتروژن و اکسیژن مبادله می‌شود. یعنی جدا شدن اتم هیدروژن (جابه‌جا شدن توسط اتم اکسیژن در فرم آزو و توسط اتم نیتروژن در فرم هیدرازون) مهم‌ترین راه تخریب این رنگزا است [۱۶ و ۱۷]. کاهش پیک جذب رنگزا درطول موج بیشینه بیانگر حذف سریع آن در طول فرایند است. پیوند دوگانه نیتروژن - نیتروژن (-N=N-) رنگزا، فعال‌ترین جایگاهی است که مورد هدف اکسایش قرار می‌گیرد. کاهش شدت پیک جذب در طول موج بیشینه طی فرایند، بیانگر از دست دادن مزدوج شدگی به‌ویژه گسستگی در نزدیک پیوند آزوی مولکول‌های آلی است. پیوندهای ضعیف در محدوده ۳۱۰ تا ۳۲۰ نانومتر به سیستم * π-π حلقه آروماتیک متصل به گروه -N=N- مربوط می‌شود[۱۸].

به‌منظور بررسی حذف در طول مدت زمان فرایند اکسایش، در غلظت ۲۰ppm از ماده رنگزا و ۴ میلی‌مولار از پراکسی‌دی‌سولفات در مدت زمان ۳۵ دقیقه، در فواصل زمانی معین از محلول نمونه‌برداری شد و طیف اسپکتروفتومتری آن رسم گردید. همان‌طوری که از طیف شکل ۸ مشاهده می‌گردد بعد از ۵ دقیقه،



شکل ۷- تعادل بین دو فرم تاتومری رنگزای قرمز اسیدی ۱۴

Archive
www.SID.ir



شکل۸ - بررسی تغییرات طیف رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ طی فرایند $UV / S_2O_8^{2-}$

$(UV = ۳۰ W, [AR14]_0 = ۲۰ ppm, [S_2O_8^{2-}]_0 = ۴ mM, pH_0=(۵/۶) natural, T_0=۲۵^\circ C)$

پیک بیشینه رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ کاهش می‌یابد که این کاهش شدت جذب، بیانگر تخریب مولکول رنگزا است.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نیاز روزافزون به آب، روشهای نوین صنعت تصفیه آب می‌تواند راهگشای مناسبی در راستای رسیدن به این اهداف باشد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که میزان حذف در حضور نور ماوراء بنفش با کاهش غلظت رنگزا و افزایش دما و تا حد معینی افزایش غلظت پراکسی‌دی‌سولفات و غلظت یون نقره افزایش می‌یابد. لذا می‌توان از روشهای بر پایه نور ماوراء بنفش نظیر $UV/S_2O_8^{2-}$ به‌عنوان یک روش خوب برای تصفیه پسابهای حاصل از صنایع نساجی در آینده استفاده کرد.

۵- قدردانی

به این وسیله نویسندگان این تحقیق از مسئولان محترم دانشکده شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز و دانشگاه زنجان به‌ویژه آزمایشگاه پژوهشی شیمی کاربردی دانشگاه زنجان تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۶- مراجع

1- Al-Momani, F., Touraud, E., and Degorce-Dumas, J.R. (2002). “Biodegradability enhancement of textile dyes and textile wastewater by UV photolysis.” *J. of Photochem. Photobiol.*, 153, 191-197.

2- Mohan, S.V., Roa, C.N., Prasad, K.K., and Karthikeyan, J. (2002). “Treatment of simulated reactive yellow 22 (Azo) dye effluents using *Spirogyra* species.” *Waste Manage.*, 22, 575-582.

3- Saadatjou, N., Rasoulifard, M. H., and Heidari, A. (2009). “Removal of Basic Red 46 using low-cost adsorbent of hardened paste of Portland cement from contaminated water.” *J. of Color. Sci. Tech.*, 2 (4), 221-226.

4- Daneshvar, N., Khataee, A. R., Rasoulifard, M. H., and Pourhassan, M. (2007). “Biodegradation of dye solution containing malachite green: Optimization of effective parameters using Taguchi method.” *J. of Hazard. Mater.*, 143, 214-219.

5- Daneshvar, N., Khataee, A. R., Rasoulifard, M. H., and Dorraji, M. S. (2007). “Removal of organic dyes from industrial wastewaters using UV/H_2O_2, $UV/ H_2O_2/Fe$ (II), $UV/ H_2O_2/Fe$ (III) processes.” *J. of Water and Wastewater*, 61, 34-42. (In Persian)

6- Huang, K. C., Zhao, Z., Hoag, G. E., Dahmani, A., and Block, P. A. (2005). “Degradation of volatile organic compounds with thermally activated peroxydisulfate oxidation.” *Chemosphere*, 61, 551-560.

7- Salari, D., Niaei, A., Aber, S., and Rasoulifard, M.H. (2009). “The photooxidative destruction of C.I. Basic Yellow 2 using $UV/S_2O_8^{2-}$ process in a rectangular continuous photoreactor.” *J. Hazard. Mater.*, 166, 61-66.

8- Oh, S-Y., Kim, H., Park, J. M., Park, H. S., and Yoon, C. (2009). “Oxidation of polyvinyl alcohol by peroxydisulfate activated with heat, Fe^{2+}, and zero-valent iron.” *J. of Hazard. Mater.*,168, 346-351.

9- Huang, Y. F., and Huang, Y. H. (2009). “Identification of produced powerful radicals involved in the mineralization of bisphenol A using a novel $UV-Na_2S_2O_8/H_2O_2$-Fe (II,III) two-stage oxidation process.” *J. of Hazard. Mater.*, 162, 1211-1216.

Archive of SID

www.SID.ir

10- Devi Gomathi, L., Girish Kumar, S., and Mohan Reddy, K. (2009). “Photo Fenton like process $Fe^{3+}/(NH_4)_2S_2O_8$/UV for the degradation of di azo dye congo red using low iron concentration.” *Cent. Eur. J. Chem*, 7(3), 468-477.

11- George, P., and Anipsitakis, D. (2004). “Transition metal/UV-based advanced oxidation technologies for water decontamination.” *Appl. Catal. B: Environ.*, 54, 155-163.

12- McCallum, J. E. B., Madison, S. A., Alkan, S., Depinto, R. L., and Wahl, R. U. R. (2000). “Analytical studies on the oxidative degradation of the reactive textile dye Uniblue A.” *Environ. Sci. Technol.*, 34 (24), 5157-5164.

13- Huang, K.C., Couttenye, R.A., and Hoag, G.E. (2002). “Kinetics of heat-assisted peroxydisulfate oxidation of Methyl Tert-Butyl Ether (MTBE).” *Chemosphere*, 49, 413-420.

14- Gemeay, A.H., Habib, A.F. M., Borhan El-Din, and Mo, A. (2007). “Kinetics and mechanism of the uncatalyzed and Ag(I)-catalyzed oxidative decolorization of Sunset Yellow and Ponceau 4R with peroxydisulphate.” *Dyes Pigments*, 74, 458-463.

15- Evseev, A. K., Khubutiya, M. Sh., Gol’din, M. M., Volkov, A. G., and Koldaev, A. A. (2008). “Electrochemical synthesis of peroxodisulfates from dilute sulfate solutions for detoxification of biological media.” *Russ J. Electrochem*, 44 (8), 901-909.

16- Daneshvar, N., Salari, D., and Khataee, A. R. (2004). “Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water on ZnO as an alternative catalyst to TiO_2.” *J. Photochem. Photobiol.*, 162, 317-322.

17- Mills, A., and Valenzuela Miguel, A. (2004). “The photo-oxidation of water by sodium persulfate, and other electron acceptors, sensitised by TiO_2.” *J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry*,165, 25-34.

18- Khataee, A.R., Pons, M.N., and Zahraa, O. (2009). “Photocatalytic degradation of three azo dyes using immobilized TiO_2 nanoparticles on glass plates activated by UV light irradiation: Influence of dye molecular structure.” *J. of Hazard. Mater*., 168, 451-457.

Archive of SID

www.SID.ir