

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

محمد حسین رسولی فرد<sup>۱</sup> سید محمد مهدی دوست محمدی<sup>۲</sup> اعظم حیدری<sup>۳</sup>

(دریافت ۸۹/۸/۲۲ پذیرش ۸۹/۱۲/۵)

## چکیده

در این تحقیق به مطالعه میزان حذف ماده آلی رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ مورد استفاده در صنایع نساجی از طریق فرایند فوتواکسیداسیونی  $UV/S_2O_8^{2-}$  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 پراکسی دی سولفات به رادیکال سولفات ( $SO_4^{\cdot-}$ ) در حضور کاتالیزور نقره، حرارت و نور ماوراء بنفش افزایش یافته و این رادیکال به عنوان یک اکسنده قوی تر از پراکسی دی سولفات 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 به شدت 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 پراکسی دی سولفات می‌تواند انتخاب کارآمدی برای تصفیه پسابهای حاصل از صنایع نساجی باشد.

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

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

Mohammad Hossein Rasoulifard<sup>1</sup> Seyed Mohammad Mahdi Doust Mohammadi<sup>2</sup> Azam Heidari<sup>3</sup>

(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 ( $SO_4^{\cdot-}$ ), 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 photooxidation process showed that decrease of absorption peak of the dye at  $\lambda_{max} = 514$  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.

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

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

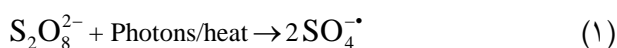
۲- کارشناس ارشد شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، زنجان

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

پراکسی دی سولفات به عنوان یک اکسنده متناوب در شیمی اکسایش آلاینده‌ها توجه فراوانی را به خود جلب کرده است.

یون پراکسی دی سولفات به عنوان اکسنده قوی با پتانسیل اکسایش  $E^0 = 2/07 \text{ V}$  به طور گسترده‌ای در بسیاری از فرایندهای صنعتی نظیر پلیمریزاسیون و اکسیداسیون سطح فلز، در پالایش سیالات هیدرولیک در صنعت نفت یا به عنوان آغازگر واکنش در صنایع پتروشیمی به کار می‌رود [۶ و ۷].

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



علاوه بر حرارت یا نور ماوراء بنفش، یون‌های فلزات واسطه نیز موجب تحریک یون پراکسی دی سولفات به شکل رادیکال‌های سولفات می‌شود که نسبت به پراکسی دی سولفات پتانسیل اکسایش بالاتری ( $E^0 = 2/67 \text{ V}$ ) دارد [۸]. در طی فرایند اکسیداسیون، یون‌های سولفات به عنوان محصولات نهایی حاصل می‌گردد که موجب افزایش میزان نمک پساب می‌گردد. به علاوه  $\text{SO}_4^{\cdot -}$  تقریباً خنثی بوده و از لحاظ آلودگی مورد توجه نیست به طوری که از طرف آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا<sup>۲</sup> در رده دوم استانداردهای آب تا حداکثر غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر در آبهای آشامیدنی قرار گرفته است [۷]. به علاوه رادیکال‌های هیدروکسیل و سولفات حاصل از تجزیه پراکسی دی سولفات بسیاری از آلاینده‌های آلی را به دی اکسید کربن اکسید می‌کنند که دارای آلاینده‌گی کمتری هستند [۶]. برخلاف رادیکال هیدروکسیل که به طور غیر انتخابی عمل می‌کند، رادیکال سولفات به عنوان یک اکسنده انتخابی عمل کرده و با ترکیبات آلی معین به ویژه 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 به علت جامد بودن و به علاوه بی‌خطر بودن محصولات جانبی، پراکسی دی سولفات را به عنوان یک اکسنده امیدبخش در فرایندهای اکسایش پیشرفته مطرح ساخته است [۶].

صنایع نساجی یکی از بزرگ‌ترین صنایع مصرف کننده آب و تولید کننده فاضلابهای رنگی با کمیت 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 ۱۵ درصد 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 رنگزها، 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<sup>۱</sup> 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  $\text{O}_3$ ،  $\text{H}_2\text{O}_2$ ،  $\text{UV}/\text{air}$ ،  $\text{UV}/\text{O}_3$ ،  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$  هستند.

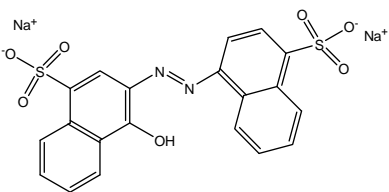
اگرچه فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته به گروه‌های متعددی تقسیم می‌شوند ولی ویژگی مشابه همه آنها تولید رادیکال‌های بسیار قوی هیدروکسیل است [۵]. اکسنده‌هایی نظیر  $\text{KMnO}_4$ ،  $\text{H}_2\text{O}_2$ ،  $\text{O}_3$  به طور وسیعی در آزمایشگاههای کنترل کیفیت مورد استفاده قرار گرفته و آزمایش شده‌اند.  $\text{H}_2\text{O}_2$  پتانسیل اکسایش بالایی (  $E^0 = 1/877 \text{ V}$ ) دارد و به طور غیر گزینشی با تمام آلاینده‌های آلی واکنش می‌دهد. ازن نیز یک اکسنده قوی ( $E^0 = 2/07 \text{ V}$ ) بوده و عملکرد آن تا حدودی گزینشی و با ترکیبات غنی از الکترون است. اما تهیه یک منبع تغذیه مناسب برای تولید  $\text{O}_3$  در صنایع مشکل است. در مقایسه با  $\text{O}_3$  و  $\text{H}_2\text{O}_2$ ، پرمنگنات ( $\text{KMnO}_4$ ) تقریباً پایدارتر است ( $E^0 = 1/68 \text{ V}$ ). با این وجود در مقایسه  $\text{O}_3$  و  $\text{H}_2\text{O}_2$ ، اکسایش آلاینده‌ها به وسیله  $\text{KMnO}_4$  محدودتر است زیرا به طور گزینشی با ترکیبات کلردار غیر اشباع واکنش می‌دهد. اخیراً یون

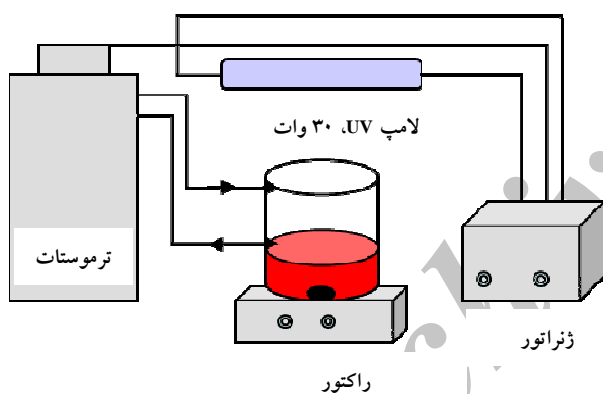
<sup>2</sup> US. Environmental Protection Agency (USEPA)

<sup>1</sup> Advanced Oxidation Process (AOP)

فوتو اکسایش، از محلولها نمونه برداری کرده و جذب آنها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج بیشینه ۵۱۴ نانومتر خوانده شد و در نهایت میزان حذف رنگزا با رسم طیف بررسی گردید. نمودارهای میزان حذف رنگزا ( $C_t/C_0$ ) به صورت تابعی از زمان در شرایط مختلف آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات رنگزای قرمز اسیدی ۱۴

عدد شاخص رنگ <sup>۹</sup>	۱۴۷۲۰
حلالیت در آب (۱۹ °C)	۵۰-۱۰۰ mg/mL
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. همان طوری که مشاهده می‌شود تغییر قابل ملاحظه‌ای در میزان حذف رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ در حضور UV و  $S_2O_8^{2-}$  تنها وجود ندارد. در حالی که در  $UV/S_2O_8^{2-}$  نور ماوراء بنفش با فعال سازی

دوی و همکاران<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۹ با بهره‌گیری از سیستم نور ماوراء بنفش و آمونیوم پراکسی دی سولفات در حضور  $Fe^{3+}$  به بررسی فرایند حذف رنگزای قرمز کنگو پرداختند. آنها در شرایطی با غلظت ۶ ppm از  $Fe^{3+}$ ، ۵۰ ppm از پراکسی دی سولفات 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 فوتو اکسایش 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 به کار برده شود میزان حذف جزئی خواهد بود اما ترکیب آنها باهم حذف بالایی از رنگزا را نشان می‌دهد [۷]. به علاوه در بررسی روشهای اکسایش پیشرفته مبتنی بر تابش اشعه ماوراء بنفش برای حذف ۴ و ۲ دی کلروفنل، گئورگ و همکاران<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۴ نشان دادند که کارایی پراکسید هیدروژن، پراکسی دی سولفات و پر اکسی مونوسولفات در حضور نور ماوراء بنفش به ترتیب  $UV/K_2S_2O_8 > UV > KHSO_5 > UV/H_2O_2$  بوده است [۱۱].

### ۲- مواد و روشها

رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ از شرکت فلاکا<sup>۴</sup> خریداری شد. مشخصات رنگزا در جدول ۱ ارائه شده است. آمونیوم پراکسی دی سولفات، نیترات نقره و اتانول با درصد خلوص آزمایشگاهی از شرکت مرک<sup>۵</sup> تهیه شدند. وسایل به کار رفته در این تحقیق عبارت بودند از یک لامپ فرابنفش فیلپس ۳۰ وات، دستگاه اسپکتروفوتومتر شیمادزو<sup>۶</sup> مدل UV-160 ساخت کشور ژاپن، همزن مغناطیسی هیدولف<sup>۷</sup> مدل MR 3001 K ساخت کشور آلمان و ترموستات لودا<sup>۸</sup> مدل RE 104.

محلولهایی با حجم ۵۰ میلی لیتر حاوی غلظتهای معین از رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ و پراکسی دی سولفات 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

<sup>1</sup> Devi et al.

<sup>2</sup> George et al.

<sup>3</sup> C.I. Acid Red 14

<sup>4</sup> Fluka

<sup>5</sup> Merck

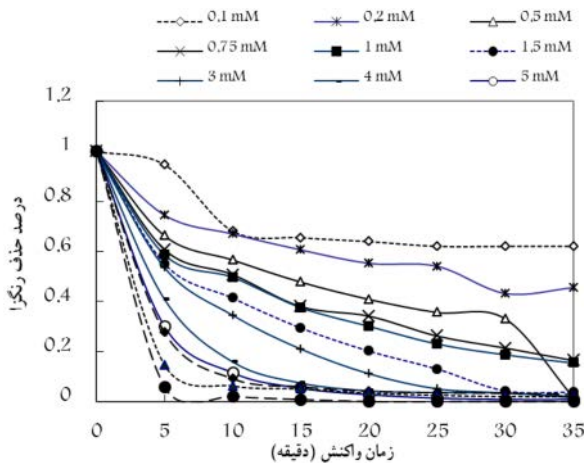
<sup>6</sup> Shimadzu

<sup>7</sup> Heidolph

<sup>8</sup> Lauda

<sup>9</sup> Color Index Number

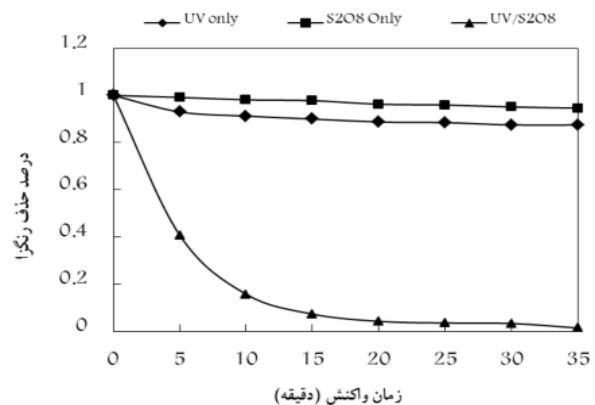
یون پراکسی دی سولفات و تولید رادیکال های سولفات موجب حذف مطلوب رنگزا گردید و در مدت زمان ۳۰ دقیقه میزان حذف رنگزا به حدود ۱۰۰ درصد رسید.



شکل ۳- بررسی تاثیر غلظت اولیه پراکسی دی سولفات بر حذف

رنگزای قرمز اسیدی ۱۴

(UV = ۳۰ W, [AR14]<sub>0</sub> = ۲۰ ppm, pH<sub>0</sub> = (۵/۶) natural, T<sub>0</sub> = ۲۵°C)

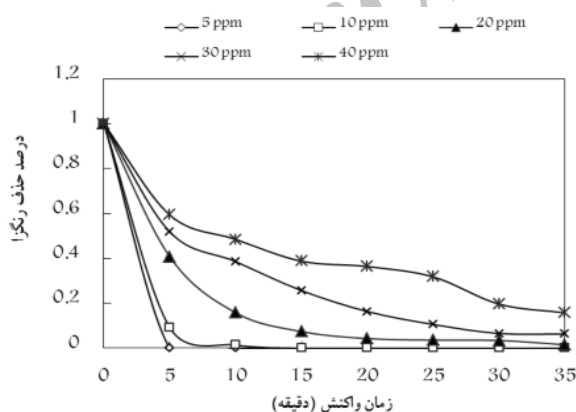


شکل ۲- بررسی کارایی فرایند UV/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> بر حذف رنگزای قرمز

اسیدی ۱۴

(UV = ۳۰ W, [S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>]<sub>0</sub> = ۴ mM, [AR14]<sub>0</sub> = ۲۰ ppm, T<sub>0</sub> = ۲۵°C)

۳-۳- بررسی تاثیر غلظت اولیه رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ یکی از پارامترهای مهم از دیدگاه کاربردی، بررسی تاثیر غلظت اولیه آلاینده بر میزان حذف است. در غلظت ثابت پراکسی دی سولفات، فرایند حذف در حضور غلظتهای معین از رنگزا مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۴ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود با افزایش غلظت رنگزا از میزان حذف کاسته می شود. غلظت بالای رنگزا از نفوذ نور ماوراء بنفش به عمق محلول جلوگیری کرده و در واقع شبیه به یک فیلتر نور عمل می نماید و موجب کاهش سرعت تولید رادیکال های هیدروکسیل می گردد. در نتیجه به دلیل ناکافی بودن عامل اکسنده و محدود شدن مقدار آن، سرعت تخریب رنگزا کاهش یافته و از میزان حذف کاسته می شود [۱۰ و ۱۲].

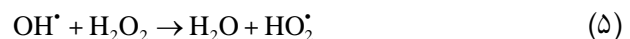
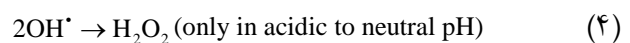
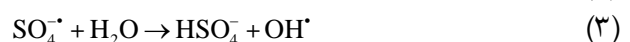


شکل ۴- بررسی تاثیر غلظت اولیه رنگزا بر حذف رنگزای

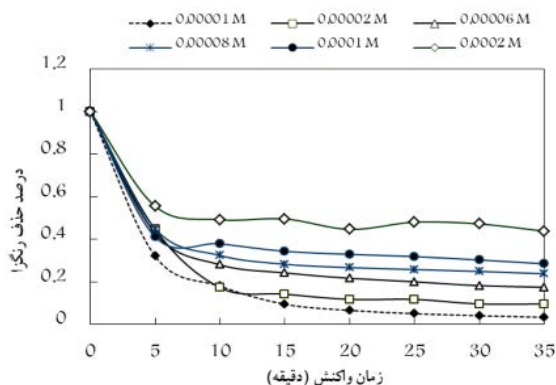
قرمز اسیدی ۱۴

(UV = ۳۰ W, [S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>]<sub>0</sub> = ۴ mM, pH<sub>0</sub> = (۵/۶) natural, T<sub>0</sub> = ۲۵°C)

۲-۳- بررسی تاثیر غلظت اولیه آمونیوم پراکسی دی سولفات نتایج حاصل از بررسی تاثیر غلظت S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> بر میزان حذف رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ که در شکل ۳ آمده نشان می دهد که با افزایش غلظت S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> از ۰/۱ تا ۵ میلی مولار میزان حذف افزایش می یابد. این افزایش با توجه به افزایش تولید رادیکال های هیدروکسیل و رادیکال سولفات با توجه به افزایش غلظت پراکسی دی سولفات قابل توجیه است. همان طور که در نمودار مشاهده می شود با افزایش غلظت S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> به بیش از ۵ میلی مولار میزان حذف رنگزا نسبت به مقادیر بالاتر تغییر محسوسی نمی یابد. این مسئله را می توان به این صورت توجیه کرد که افزایش غلظت S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> با توجه به واکنش ۱ و ۲ موجب افزایش تولید رادیکال های هیدروکسیل در اثر فرایند فتولیز می گردد. افزایش غلظت رادیکال های هیدروکسیل باعث باز تولید پراکسید هیدروژن با توجه به معادله ۳ و ۴ می گردد و در نتیجه با کاهش رادیکال های هیدروکسیل در محیط از میزان حذف رنگزا کاسته شود. همچنین با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن بر اساس واکنش ۵، خود پراکسید هیدروژن به صورت روبشگر رادیکال هیدروکسیل عمل کرده و از غلظت آن در محیط می کاهد، بنابراین درصد حذف رنگزا تا حدودی کاهش می یابد [۶ و ۷].



### ۴-۳- بررسی تأثیر دما



شکل ۶- بررسی تأثیر غلظت اولیه یون نقره بر حذف رنگزای قرمز

اسیدی ۱۴

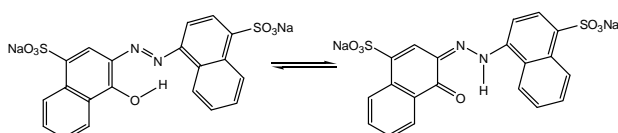
(UV = ۳۰ W, [AR14]<sub>0</sub> = ۲۰ ppm, [S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>]<sub>0</sub> = ۴ mM, pH<sub>0</sub> = (۵/۶) natural, T<sub>0</sub> = ۲۵°C)

### ۴-۳- بررسی تغییرات طیف قبل و بعد از حذف رنگزای قرمز

اسیدی ۱۴

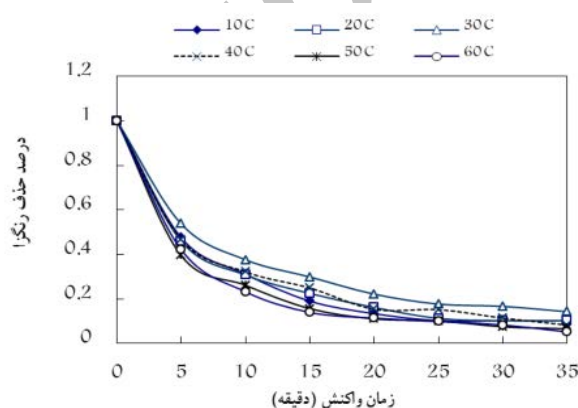
رنگزای اسیدی قرمز ۱۴ دارای گروه سست N-H است که حاصل از تعادل بین دو شکل تاتومری در شکل ۷ است. در حالت تعادل یک اتم هیدروژن بین دو اتم نیتروژن و اکسیژن مبادله می‌شود. یعنی جدا شدن اتم هیدروژن (جابجایی شدن توسط اتم اکسیژن در فرم آزو و توسط اتم نیتروژن در فرم هیدرازون) مهم‌ترین راه تخریب این رنگزا است [۱۶ و ۱۷]. کاهش پیک جذب رنگزا در طول 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].

به منظور بررسی حذف در طول مدت زمان فرایند اکسایش، در غلظت ۲۰ ppm از ماده رنگزا و ۴ میلی‌مولار از پراکسی دی‌سولفات در مدت زمان ۳۵ دقیقه، در فواصل زمانی معین از محلول نمونه برداری 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

نتایج حاصل از بررسی تأثیر دماهای مختلف در غلظت ثابت از پراکسی دی‌سولفات 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 پراکسی دی‌سولفات 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].

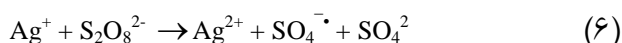


شکل ۵- بررسی تأثیر دما بر حذف رنگزای قرمز اسیدی ۱۴

(UV = ۳۰ W, [AR14]<sub>0</sub> = ۲۰ ppm, pH<sub>0</sub> = (۵/۶) natural, [S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>]<sub>0</sub> = ۴ mM)

### ۴-۵- بررسی تأثیر غلظت Ag<sup>+</sup>

نتایج حاصل از بررسی غلظت‌های مختلف بر فرایند حذف رنگزا در شکل ۶ نشان می‌دهد که افزایش غلظت Ag<sup>+</sup> تا مقدار معین، موجب افزایش میزان حذف می‌گردد زیرا مطابق معادله ۶ افزایش غلظت Ag<sup>+</sup> موجب تسریع تبدیل پراکسی دی‌سولفات به رادیکال سولفات که اکسنده قوی‌تری است می‌شود [۱۴]. اما در غلظت‌های بالاتر یون نقره رسوب کلوییدی سیاه رنگ Ag<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Ag<sup>I</sup>Ag<sup>III</sup>O<sub>2</sub>) 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 پراکسی دی‌سولفات در نتیجه محدودیت جذب محلول ناکارآمد خواهد بود [۱۱ و ۱۵].

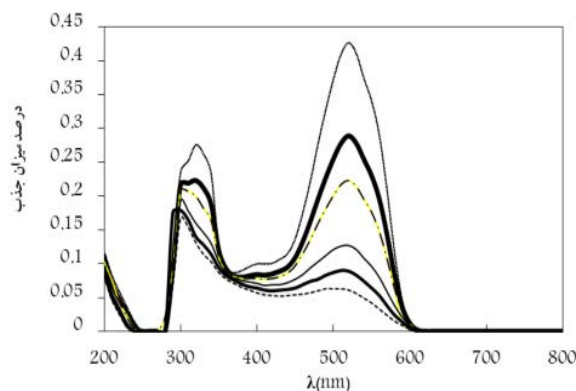


#### ۴- نتیجه گیری

با توجه به نیاز روزافزون به آب، روشهای نوین صنعت تصفیه آب می تواند راهگشای مناسبی در راستای رسیدن به این اهداف باشد. نتایج به دست آمده نشان داد که میزان حذف در حضور نور ماوراء بنفش با کاهش غلظت رنگزا و افزایش دما و تا حد معینی افزایش غلظت پراکسی دی سولفات و غلظت یون نقره افزایش می یابد. لذا می توان از روشهای بر پایه نور ماوراء بنفش نظیر  $UV/S_2O_8^{2-}$  به عنوان 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 به ویژه آزمایشگاه پژوهشی شیمی کاربردی دانشگاه زنجان تشکر و قدردانی می نمایند.



شکل ۸- بررسی تغییرات طیف رنگزای قرمز اسیدی ۱۴ طی

فرایند  $UV/S_2O_8^{2-}$

( $UV = 20\text{ W}$ ,  $[AR14]_0 = 20\text{ ppm}$ ,  $[S_2O_8^{2-}]_0 = 4\text{ mM}$ ,  $pH_0 = (5/6)$  natural,  $T_0 = 25^\circ\text{C}$ )

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

#### 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.

- 10- Devi Gomathi, L., Girish Kumar, S., and Mohan Reddy, K. (2009). "Photo Fenton like process  $\text{Fe}^{3+}/(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8/\text{UV}$  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  $\text{TiO}_2$ ." *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  $\text{TiO}_2$ ." *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  $\text{TiO}_2$  nanoparticles on glass plates activated by UV light irradiation: Influence of dye molecular structure." *J. of Hazard. Mater.*, 168, 451-457.