

# بررسی حذف مواد رنگی آلی از فاضلابهای صنعتی با استفاده از سه روش UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II), UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III)

نظام‌الدین دانشور<sup>۱</sup> علیرضا ختانی<sup>۲</sup>  
محمد حسین رسولی‌فرد<sup>۲</sup> میر سعید سید دراجی<sup>۳</sup>

(دریافت ۸۵/۷/۱۲ پذیرش ۸۵/۱۲/۳)

## چکیده

فرآیندهای UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>، UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II)، UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III) و UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> به علت دارا بودن سرعت بالا در حذف مواد آلاینده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند و می‌توان از آنها در تصفیه پسابهای کارخانه‌های رنگرزی استفاده نمود. در این تحقیق رنگ آلی ردآمین B به عنوان ماده رنگزای آلی نمونه انتخاب شده است. بیشترین استفاده از ردآمین B در تهیه لاکها، رنگرزی چرم و کاغذ می‌باشد. نتایج نشان داد که این ماده رنگزا در حضور آب اکسیژنه و تابش نور ماوراء بنفش (UV-C) حاصل از لامپ جیوه (۳۰ وات) و همچنین فرآیند فتوفتون قابل تجزیه می‌باشد. حذف ردآمین B در غیاب آب اکسیژنه و در اثر عمل فتولیز مستقیم کم بوده و در غیاب تابش نور UV بسیار ناچیز می‌باشد. در فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> عوامل مختلفی از جمله زمان تابش اشعه UV، مقدار H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و غلظت اولیه رنگ، مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی سینتیکی فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> نشان داد که نمودار نیمه لگاریتمی غلظت بر حسب زمان در این فرآیند تقریباً خطی می‌باشد که دلالت بر سینتیک درجه اول واکنش دارد. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان داد که فرآیندهای UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II) و UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III) در حذف آلاینده از قابلیت بالاتری نسبت به فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> برخوردار می‌باشند. به طوری که محلولی از ردآمین B با غلظت ۲۰ ppm در حضور ۱۸ mM پراکسید هیدروژن و تابش نور UV در مدت زمان ۱۵ دقیقه به صورت کامل رنگزدایی گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش ۱ mM Fe(II) یا Fe(III) به محلول حاوی ۲۰ ppm ماده رنگی و ۵ mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> تحت تابش نور UV مدت زمان حذف به ۱۰ دقیقه کاهش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** فرآیندهای اکسایش پیشرفته، فرآیند فتوفتون، آب اکسیژنه، آب‌های آلوده.

## Removal of Organic Dyes from Industrial Wastewaters Using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe (II), UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe (III) Processes

Nezamaddin Daneshvar<sup>1</sup> Alireza Khataee<sup>2</sup>  
Mohammad Hossien Rasoulifard<sup>2</sup> Mirsaeed seyd Dorraji<sup>3</sup>

(Received Oct. 4, 2006 Accepted Feb. 22, 2007)

### Abstract

UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe (II) and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe (III) processes are very effective in removing pollutants from wastewater and can be used for treatment of dyestuff units wastewaters. In this study, Rhodamine B was used as a typical organic dye. Rhodamine B has found wide applications in wax, leather, and paper industries. The results from this study showed that this dye was degradable in the presence of hydrogen peroxide under UV-C irradiation (30W mercury light) and Photo-Fenton process. The dye was resistant to UV irradiation. In the absence of UV irradiation, the decolorization efficiency was very negligible in the presence of hydrogen. The

1- Professor of Applied Chemistry, University of Tabriz, nezam\_daneshvar@yahoo.com  
2- PhD Student of Applied Chemistry, University of Tabriz  
3- M.Sc Student of Applied Chemistry, University of Tabriz

۱- استاد گروه شیمی کاربردی دانشگاه تبریز، nezam\_daneshvar@yahoo.com  
۲- دانشجوی دکتری شیمی کاربردی دانشگاه تبریز  
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی کاربردی دانشگاه تبریز

effects of different system variables such as initial dye concentration, duration of UV irradiation, and initial hydrogen peroxide concentration were investigated in the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process. Investigation of the kinetics of the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process showed that the semi-log plot of the dye concentration versus time was linear, suggesting a first order reaction. It was found that Rhodamine B decolorization efficiencies in the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe (II) and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe (III) processes were higher than that in the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process. Furthermore, a solution containing 20 ppm of Rhodamine B was decolorized in the presence 18 mM of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> under UV irradiation for 15 minutes. It was also found that addition of 0.1 mM Fe(II) or Fe(III) to the solution containing 20 ppm of the dye and 5 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> under UV light illumination decreased removal time to 10 min.

**Keywords:** Advanced Oxidation Processes, Photo-Fenton Process, Hydrogen Peroxide, Contaminated Water.

## ۱- مقدمه

در جهان سالانه بیش از ده هزار نوع مختلف از رنگهای سنتزی تولید می‌گردد که به صورت گسترده در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. صنایع رنگرزی نساجی یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان آب و تولیدکنندگان مقدار قابل توجهی پساب به شمار می‌روند. این پسابها حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات آلی رنگزا می‌باشند. وجود مواد رنگزای آلی در پسابهای صنعتی به علت جلوگیری از نفوذ نور به داخل آب و اختلال در عمل فتوسنتز، و اثرات سمی آنها صدمات جبران‌ناپذیری به محیط زیست وارد می‌نماید. از اینرو تصفیه پسابهای رنگی قبل از تخلیه آنها به محیط زیست، ضروری می‌باشد. روشهای معمول تصفیه فیزیکی و شیمیایی همانند ترسیب شیمیایی، انعقاد و جذب سطحی توسط کربن فعال، قادر به تخریب این مواد نبوده و فقط می‌توانند این ترکیبات را از یک فاز به فاز دیگر منتقل نمایند [۱ و ۲].

در سالهای اخیر استفاده از فرآیندهای اکسایش پیشرفته، رشد چشمگیری نموده است. به طور کلی فرآیندهای اکسایش پیشرفته در برگیرنده کلیه فرآیندهایی هستند که در آنها با روشهای مختلف، رادیکال‌های فعال هیدروکسیل تولید می‌شوند. با توجه به آن که رادیکال‌های هیدروکسیل قدرت اکسیدکنندگی بسیار بالایی دارند (E<sup>0</sup>=۲/۸ eV) باعث حذف کامل اکثر آلاینده‌ها به ویژه آلاینده‌های آلی می‌گردند. فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> شاخه‌ای از فناوری اکسایش پیشرفته به شمار می‌آید که در طول دهه گذشته به عنوان یک روش تصفیه، توسعه زیادی یافته است [۳]. در مقالات علمی، مکانیسم‌های مختلفی برای فرآیند فتو اکسایشی UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> پیشنهاد شده است. مکانیسمی که امروزه مورد قبول می‌باشد و در بیشتر منابع نیز گزارش شده، شامل تولید رادیکال‌های فعال هیدروکسیل در اثر تابش نور UV به محلول حاوی H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> می‌باشد که در جدول ۱ نشان داده شده است [۴ و ۵]. واکنش‌های رادیکال‌های هیدروکسیل ایجاد شده در حضور یک سوبسترای آلی

ممکن است از نظر مکانیسم به سه گروه مختلف طبقه بندی شوند که در ادامه به آنها اشاره شده است.

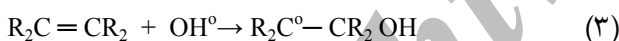
رادیکال‌های هیدروکسیل عمدتاً ترکیبات آلی را از طریق گرفتن هیدروژن به رادیکال‌های آلی تبدیل می‌نمایند



این رادیکال‌های آلی در اثر واکنش با اکسیژن، رادیکال پراکسیل را ایجاد می‌کنند. حد واسط‌های رادیکالی حاصله، یک سری از واکنش‌های تخریبی زنجیری را آغاز می‌نمایند. به طوری که در نهایت منجر به تبدیل آلاینده آلی به دی اکسید کربن و سایر مواد بی‌ضرر می‌شوند



افزایش الکتروفیلی رادیکال هیدروکسیل به سیستم‌های π ترکیبات آلی، مکانیسمی دیگر برای تخریب اکسیداسیونی می‌باشد



همچنین رادیکال‌های هیدروکسیل می‌توانند در انتقال الکترون از سوبسترای آلی شرکت کرده و آنیون‌های هیدروکسیل را تشکیل دهند [۴ و ۵]



همچنین فرآیند فتو فتولیز UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II) و UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III) که شامل پراکسید هیدروژن فعال شده با نمکهای آهن می‌باشد با تولید رادیکال‌های هیدروکسیل باعث حذف مواد آلاینده و تبدیل آنها به H<sub>2</sub>O و CO<sub>2</sub> و سایر مواد بی‌ضرر می‌گردد [۶]. لازم به ذکر است، طی گزارشی که لی و همکارانش<sup>۱</sup> در مورد محصولات نهایی حاصل از تجزیه ردآمین B با استفاده از فرآیندهای اکسایش پیشرفته ارائه کرده‌اند، علاوه بر CO<sub>2</sub> و H<sub>2</sub>O مقادیر جزئی از اسیدهای آلی نظیر اسید استیک، که به عنوان حد واسط در واکنش‌های تخریب ظاهر می‌شوند، با استفاده از دستگاه GC/MS قابل شناسایی هستند [۷]. در سیستم UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III).

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

جدول ۱- مکانیسم پیشنهادی برای فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

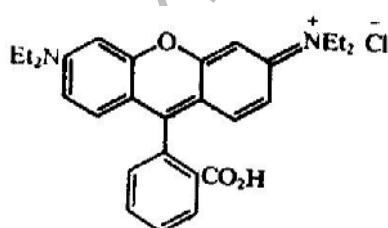
واکنش شیمیایی	ثابت سرعت (M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	مرحله
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + hv → 2OH <sup>°</sup>		مرحله آغازین
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + OH <sup>°</sup> → HO <sub>2</sub> <sup>°</sup> + H <sub>2</sub> O	۲/۷ × ۱۰ <sup>۷</sup>	مرحله انتشار
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + OH <sup>°</sup> → O <sub>2</sub> <sup>°</sup> + H <sub>2</sub> O + H <sup>+</sup>	۲/۷ × ۱۰ <sup>۷</sup>	
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + HO <sub>2</sub> <sup>°</sup> → OH <sup>°</sup> + H <sub>2</sub> O + O <sub>2</sub>	۳/۰	
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> <sup>°</sup> → OH <sup>°</sup> + O <sub>2</sub> + OH <sup>-</sup>	۰/۱۳	
OH <sup>°</sup> + OH <sup>°</sup> → H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	۵/۵ × ۱۰ <sup>۹</sup>	مرحله اختتام
OH <sup>°</sup> + HO <sub>2</sub> <sup>°</sup> → H <sub>2</sub> O + O <sub>2</sub>	۶/۶ × ۱۰ <sup>۱۱</sup>	
HO <sub>2</sub> <sup>°</sup> + HO <sub>2</sub> <sup>°</sup> → H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	۸/۳ × ۱۰ <sup>۵</sup>	
OH <sup>°</sup> + O <sub>2</sub> <sup>°</sup> → O <sub>2</sub> + OH <sup>-</sup>	۱/۰ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	
HO <sub>2</sub> <sup>°</sup> + O <sub>2</sub> <sup>°</sup> → HO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + O <sub>2</sub>	۹/۷ × ۱۰ <sup>۷</sup>	

غلظت اولیه رنگ، مقادیر مختلف Fe(III) و Fe(II) مورد مطالعه قرار گرفت.

## ۲- مواد و روشها

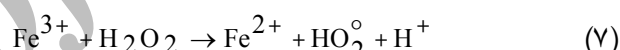
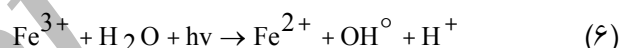
دستگاهها و مواد به کار برده شده در مراحل مختلف این بررسی عبارت بودند از: آب اکسیژنه (۳۰ درصد وزنی) از شرکت فلوکا<sup>۱</sup>، رنگ ردآمین B به شماره Art 7599 از شرکت مرک آلمان (شکل ۱)، لامپ (۳۰ وات) UV ساخت شرکت فیلیپس<sup>۲</sup> (UV-C)، دستگاه اسپکتروفتومتر Shimadzu مدل ۱۲۰-۰۱، کلرید آهن (III) از شرکت مرک آلمان و سولفات آهن (II) از شرکت فلوکا.

کلیه کارهای عملی مربوط به این کار پژوهشی در یک سیستم فتو راکتور ناپیوسته انجام گردید (شکل ۲). وسایل به کار رفته در این سیستم فتو راکتور عبارتند از: محفظه، لامپ جیوه (۳۰ وات)، همزن مغناطیسی، جک آزمایشگاهی، لوله جویان هوا جهت سرد کردن لامپ و سیستم، بشر ۲۵۰ میلی لیتری به عنوان راکتور،

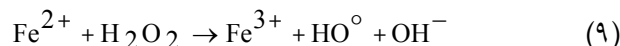


شکل ۱- ساختمان ردآمین B

رادیکالهای هیدروپراکسی و هیدروکسیل مطابق واکنشهای زیر تولید می گردند



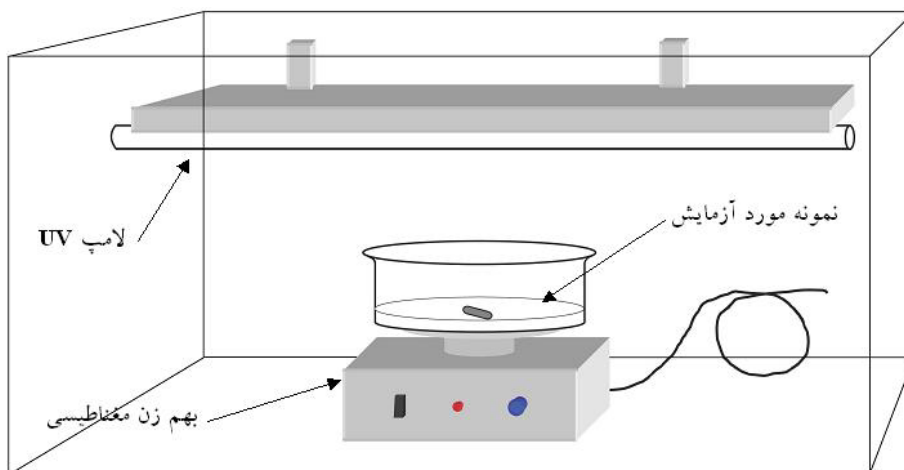
تولید رادیکالهای هیدروکسیل در سیستم UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II) مطابق واکنشهای زیر می باشد



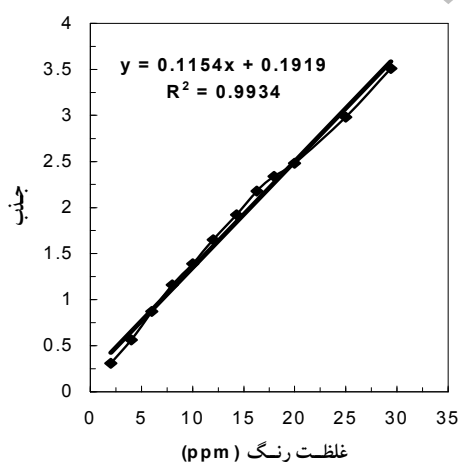
کارایی بالای این فرآیندها باعث شده که این روشها مورد توجه دانشمندان و محققان در زمینه تصفیه آب و پسابهای صنعتی قرار گیرد. مطالعات صورت گرفته نشان می دهد که فرآیند فتوفنتون در مقایسه با فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و همچنین فرآیندهای فتوکاتالیزی نظیر UV/TiO<sub>2</sub> از راندمان بالایی برخوردار می باشد [۳، ۶ و ۸]. تحقیقات مختلفی در زمینه بررسی کارایی فرآیندهای UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III)، UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II) و UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در تصفیه پسابهای حاوی مواد رنگی و ترکیبات آلی سمی انجام گرفته است که می توان به بررسی کارایی فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در تخریب فتواکسایشی ۴- نیترو فنل و اسید قرمز ۲۷ و بررسی کارایی فرآیندهای فتوفنتون در تخریب فنل اشاره کرد [۹، ۱۰ و ۱۱]. در کار پژوهشی حاضر فرآیندهای UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II)، UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III) برای تجزیه رنگ ردآمین B به عنوان ماده رنگزای آلی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور تأثیر پارامترهای مختلف از جمله زمان تابش اشعه نور UV، مقدار H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

<sup>1</sup> Fluka

<sup>2</sup> Philips



شکل ۲- سیستم فتوراکتور مورد استفاده



شکل ۳- نمودار کالیبراسیون برای اندازه‌گیری غلظت رنگ ردآمین B در نمونه‌های مجهول در طول موج ۵۵۵ نانومتر

$$X = \frac{C_0 - C}{C_0} = 1 - \frac{C}{C_0} \quad (10)$$

### ۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی نقش مؤثر تابش نور UV و محلول  $H_2O_2$  در تجزیه ماده رنگی در فرآیند UV/ $H_2O_2$  در این قسمت نقش مؤثر اشعه UV و محلول  $H_2O_2$  به تنهایی و همزمان در فرآیند UV/ $H_2O_2$  مورد بررسی قرار گرفت. به طوری که در شکل ۴ دیده می‌شود، زمانی که محلول رنگ حاوی  $H_2O_2$  در تاریکی قرار گیرد، کسر تبدیل، X، بسیار ناچیز می‌باشد و موقعی که محلولی از رنگ بدون  $H_2O_2$  در معرض تابش نور UV قرار می‌گیرد در نتیجه فرآیند فتولیز مستقیم کسر تبدیل، اندکی افزایش می‌یابد و هنگامی که محلولی از رنگ به همراه  $H_2O_2$  در معرض تابش نور UV قرار می‌گیرد، درصد حذف به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. چنانچه در شکل ۴ مشاهده می‌شود در عرض ۱۰

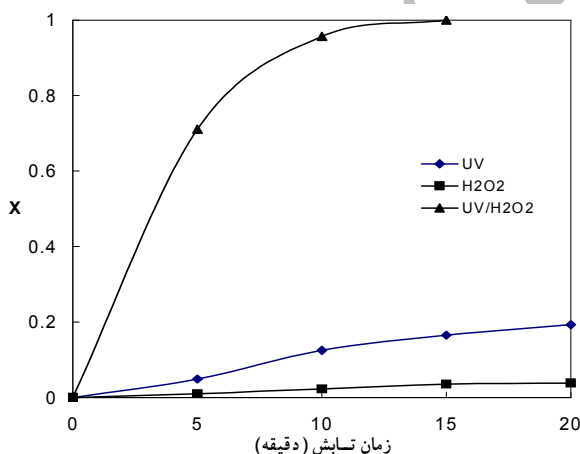
دستگاه اسپکتروفوتومتر دو شعاعی به منظور اندازه‌گیری جذب نمونه‌ها و تعیین غلظت باقیمانده آلاینده بعد از زمان مورد نظر. به منظور اندازه‌گیری غلظت ماده رنگی در این پروژه از مشخصات جذبی آن در ناحیه UV-Vis استفاده شده است. بدین منظور در ابتدا جهت تعیین طول موج ماکسیمم، طیف جذبی محلولی از رنگ به غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر در محدوده ۸۵۰-۲۰۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر رسم شد. طیف جذبی محلول مذکور در ناحیه مرئی پیک جذبی در طول موج ۵۵۵ نانومتر نشان داد. پس از تعیین طول موج ماکسیمم، محلولهایی با غلظتهای متفاوت از رنگ ردآمین B تهیه و جذب آنها در طول موج ۵۵۵ نانومتر اندازه‌گیری و منحنی کالیبراسیون رسم گردید (شکل ۳). میزان حذف رنگ در طول آزمایش‌ها با محاسبه کسر تبدیل رنگ (X) بر اساس رابطه ۱۰ به دست آمد که در آن  $C_0$  غلظت اولیه رنگ، C غلظت رنگ در هر لحظه و X کسر تبدیل رنگ می‌باشد

۳-۳- بررسی تأثیر غلظتهای اولیه مختلف از رنگ در فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌گردد که با ثابت ماندن مقدار H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و سایر شرایط، با افزایش غلظت رنگ، میزان حذف رنگ به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد، علت این امر به این صورت توجیه می‌گردد که با وجود یکسان بودن تمام شرایط، مقدار رادیکال‌های هیدروکسیل تولید شده برای تمام نمونه‌ها برابر خواهد بود. بنابراین در نمونه‌هایی با غلظت کم از آلاینده، سرعت تجزیه بالا خواهد بود [۱۰].

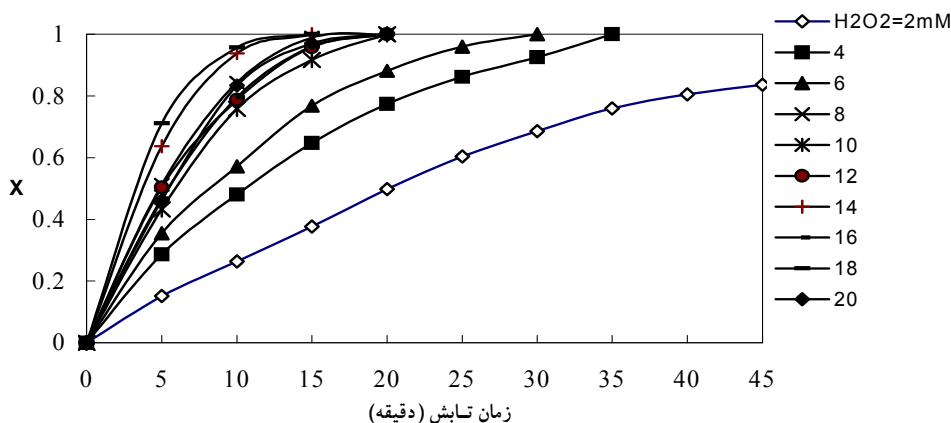
۴-۳- بررسی حذف ماده رنگ‌زا در اثر فرآیندهای UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II) و UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III) همان طور که در شکل‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود، زمانی که محلول تحت تابش لامپ UV، فقط حاوی یون‌های Fe(II) یا Fe(III) باشد، کسر تبدیل، افزایش قابل توجهی نشان نمی‌دهد ولی زمانی که

دقیقه بیش از ۹۵ درصد رنگ از محلول رنگی حذف می‌گردد. علت این امر در واقع مربوط به تولید رادیکال‌های هیدروکسیل در اثر فتولیز پراکسید هیدروژن تحت تابش نور UV می‌باشد [۹ و ۱۰].

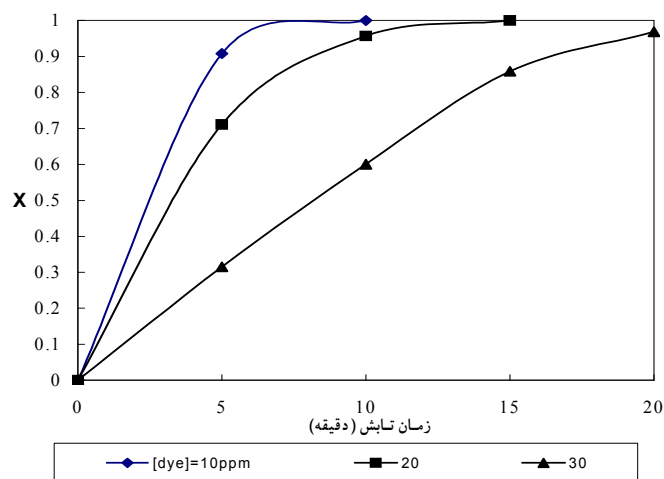
۲-۳- بررسی تأثیر غلظتهای مختلف H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در تجزیه رنگ با استفاده از فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> راندمان حذف نیز افزایش می‌یابد، به طوری که محلولی از ردآمین B به غلظت ۲۰ ppm در عرض ۱۵ دقیقه در حضور ۱۸ میلی‌مولار از H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> به صورت کامل حذف می‌گردد. همچنین با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که افزایش غلظت H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> از یک حد معین، تأثیر چندانی در حذف رنگ نخواهد داشت و علت این امر مربوط به ترکیب دوباره رادیکال‌های هیدروکسیل می‌باشد. بنابراین مقدار بهینه پراکسید هیدروژن در فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> برای محلول فوق، ۱۸ میلی‌مولار می‌باشد [۹].



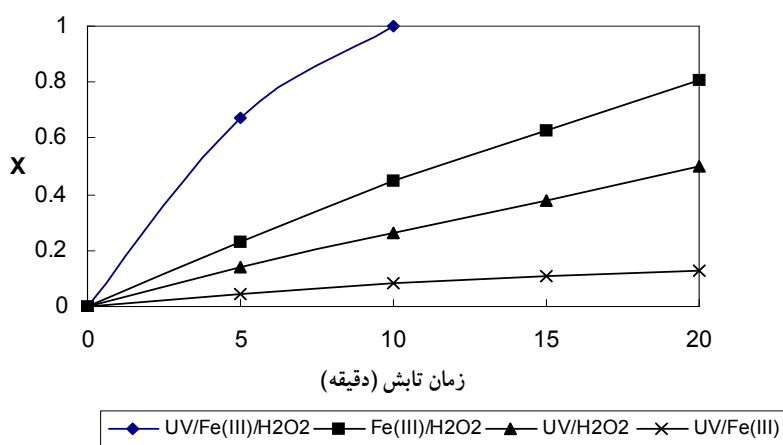
شکل ۴- نقش مؤثر اشعه UV و محلول H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در تجزیه ردآمین B در فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> شرایط عمل: تحت همزدن مناسب، [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = ۱۸ ppm، [رنگ]<sub>0</sub> = ۲۰ ppm



شکل ۵- اثر مقادیر مختلف H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در میزان تجزیه ردآمین B در فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> شرایط عمل: تحت همزدن مناسب، [رنگ]<sub>0</sub> = ۲۰ ppm

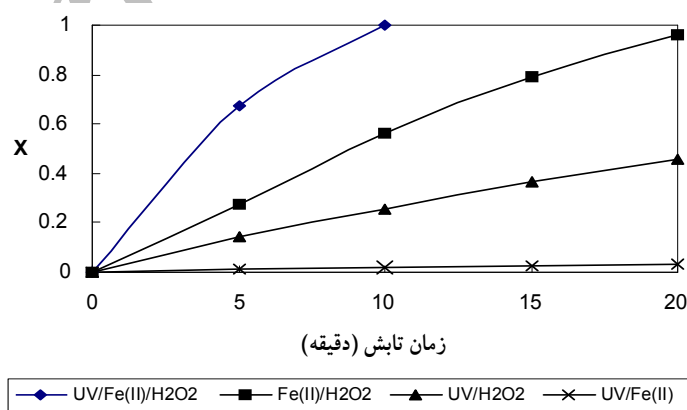


شکل ۶- اثر مقادیر مختلف ردآمین B در فرآیند  $UV/H_2O_2$  شرایط عمل: تحت همزدن مناسب،  $[H_2O_2]_0 = 18 \text{ mM}$



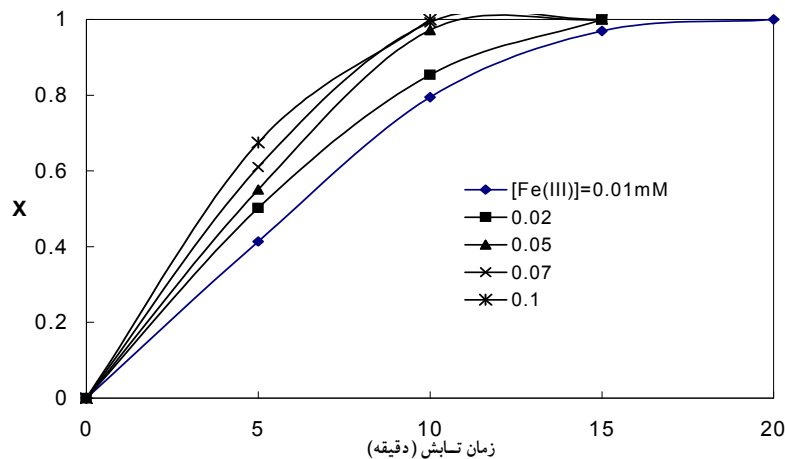
شکل ۷- نقش مؤثر تابش نور UV و محلولهای  $H_2O_2$  و  $Fe(III)$  در تجزیه ردآمین B در فرآیند  $UV/H_2O_2/Fe(III)$

شرایط عمل: تحت همزدن مناسب،  $[رنگ]_0 = 20 \text{ ppm}$ ،  $[Fe(III)]_0 = 0.1 \text{ mM}$ ،  $[H_2O_2]_0 = 5 \text{ mM}$



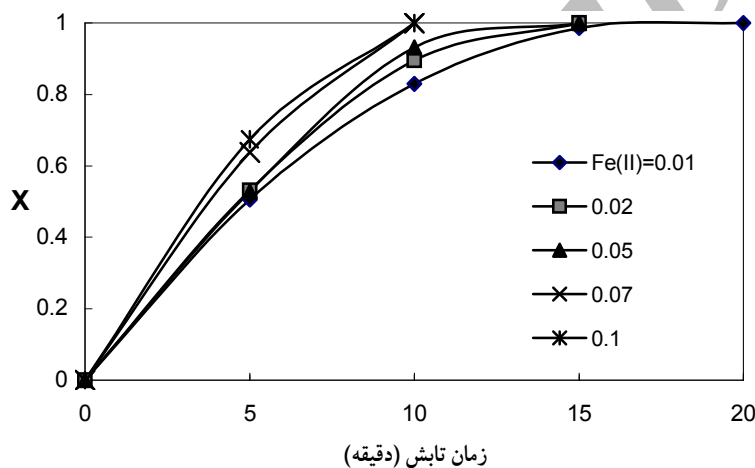
شکل ۸- نقش مؤثر تابش نور UV و محلولهای  $H_2O_2$  و  $Fe(II)$  در تجزیه ردآمین B در فرآیند  $UV/H_2O_2/Fe(II)$

شرایط عمل: تحت همزدن مناسب،  $[رنگ]_0 = 20 \text{ ppm}$ ،  $[Fe(II)]_0 = 0.1 \text{ mM}$ ،  $[H_2O_2]_0 = 5 \text{ mM}$



شکل ۹- اثر مقادیر مختلف Fe(III) در میزان تجزیه ردآمین B در فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III)

شرایط عمل: تحت همزدن مناسب، [رنگ]<sub>0</sub> = ۲۰ ppm، [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = ۵mM.



شکل ۱۰- اثر مقادیر مختلف Fe(II) در میزان تجزیه ردآمین B در فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II)

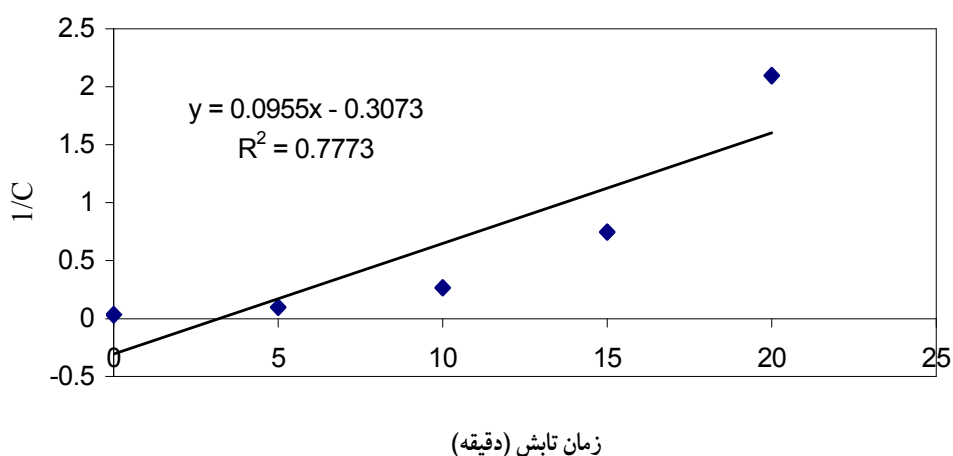
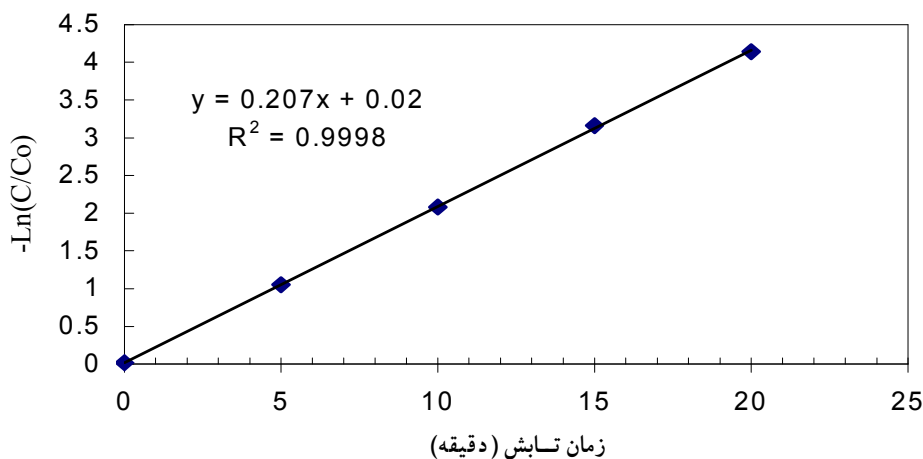
شرایط عمل: تحت همزدن مناسب، [رنگ]<sub>0</sub> = ۲۰ ppm، [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = ۵mM.

افزایش می‌یابد، که در این حالت بعد از گذشت ۱۰ دقیقه در حضور ۰/۱ میلی‌مولار از Fe(II) رنگ به صورت کامل حذف می‌گردد. به طوری که مقدار بهینه Fe(II) برابر با ۰/۱ میلی‌مولار در فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II) می‌باشد و در فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III) با نظر گرفتن شرایط ثابت برای تمام نمونه‌ها کسر تبدیل ردآمین B با افزایش غلظت Fe(III) افزایش پیدا می‌نماید و مقدار بهینه Fe(III) نیز برابر ۰/۱ میلی‌مولار خواهد بود.

۳-۶- بررسی سینتیک فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در حذف ماده رنگی آلی همان طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، با توجه به خطی بودن تغییرات Ln(C/C<sub>0</sub>) - برحسب زمان و همبستگی خطی بالای نمودار فوق نسبت به نمودار تغییرات بر حسب زمان، می‌توان

محللول رنگ حاوی H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> تحت تابش نور UV قرار می‌گیرد به دلیل تولید رادیکال‌های هیدروکسیل، کسر تبدیل افزایش می‌یابد. در نمونه‌ای که شامل H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و Fe(II) باشد و در تاریکی قرار بگیرد، به علت انجام فرآیند فنتون و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل در اثر فرآیند فنتون کسر تبدیل، افزایش پیدا می‌کند. بیشترین میزان حذف مربوط به فرآیندهای UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III) و UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II) می‌باشد. علت این امر مربوط به افزایش شدید تولید رادیکال‌های هیدروکسیل می‌باشد [۸ و ۶].

۳-۵- بررسی تأثیر مقادیر غلظتهای مختلف Fe(II) و Fe(III) در تجزیه رنگ در فرآیندهای UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III) و UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II) چنانچه در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود با در نظر گرفتن شرایط ثابت برای تمام نمونه‌ها، با افزایش مقدار Fe(II) کسر تبدیل رنگ



شکل ۱۱- تعیین ثابت سرعت ظاهری تجزیه ماده رنگی در فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>  
 شرایط عمل: تحت همزدن مناسب، [رنگ]<sub>0</sub> = ۳۰ ppm، [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = ۱۸ mM.

برای حذف ۲۰ ppm از رنگ، تحت تابش نور UV مقدار بهینه H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> برابر ۱۸ میلی مولار در فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> است. بررسی‌های سینتیکی نشان داد که فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> از سینتیک درجه اول تبعیت می‌کند. آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش نمکهای آهن به فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>، سرعت تجزیه رنگ به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. همچنین مقدار بهینه Fe(II) و Fe(III) برای ۲۰ ppm از رنگ در حضور ۵ میلی مولار از H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> برابر ۱/۰ میلی مولار می‌باشد.

#### ۵- تشکر و قدردانی

مؤلفین از دانشگاه تبریز به خاطر پشتیبانی مالی و همچنین از شرکت الوان ثابت به خاطر ارسال نمونه‌های رنگ، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

نتیجه گرفت که معادله سرعت تجزیه رنگ در فرآیند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> از درجه یک پیروی می‌کند. مقدار ثابت سرعت ظاهری درجه اول تجزیه رنگ از روی شیب نمودار در محلولی حاوی ۳۰ ppm رنگ در حضور ۱۸ میلی مولار آب اکسیژنه برابر با ۰/۲۰۷ به دست آمد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان می‌دهد که فرآیندهای UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III)، UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II) و UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> قادر به حذف ماده رنگی ردآمین B از آبهای آلوده می‌باشند که این عمل در اثر تولید عوامل اکسید کننده نظیر رادیکال‌های هیدروکسیل اتفاق می‌افتد. میزان تجزیه رنگ تحت تأثیر مقدار H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>، مقدار Fe(II)، مقدار Fe(III)، غلظت اولیه رنگ و مدت زمان تابش UV می‌باشد.



- 1- Daneshvar, N., Salari, D., and Khataee, A.R. (2003). "Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water: Investigation of the effect of operational parameters." *J. Photochem. Photobiol.*, 157, 111-116.
- 2- 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<sub>2</sub>." *J. Photochem. Photobiol.*, 162, 317-322.
- 3- Daneshvar, N., Salari, D., Niaei, A., and Khataee, A.R. (2006). "Photocatalytic degradation of the herbicide Erioglaucine in the presence of nanosized titanium dioxide: comparison and modeling of reaction kinetics." *J. Environmental Science and Health*, part B, 41, 1-18.
- 4- Crittenden, J.C., Hu, S., Hand, D.W., and Green, S.A. (1999). "A kinetic model for UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process in a completely mixed batch reactor." *Water Res.*, 33(10), 2315-2328.
- 5- De laat, J., and Gallard, H. (1999). "Comparative study of the oxidation of Atrazine and acetone by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Fe(III)/UV, UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(III) and Fe(III) or Fe(II)/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>." *Chemosphere*, 39, 2693-2706.
- 6- Kusic, H., and Koprivanac, N. (2006). "Photo-assisted Fenton type process for dye degradation of phenol, a kinetic study." *J. Hazard. Mater.*, 136, 632-644.
- 7- Lei, P., Chen, C., and Yang, J. (2005). "Degradation of dye pollutants by immobilized polyoxometalate with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> under visible-light irradiation." *Environ. Sci. Technol.*, 39, 8466-8474.
- 8- Chen, F., Xie, Y., and He, J. (2001). "Photo-Fenton degradation of dye in methanolic solution under both UV and visible irradiation." *J. Photochem. Photobiol.*, 138, 139-146.
- 9- Daneshvar, N., Rabbani, M., Modirshahla, N., and Behnajady, M.A. (2004). "Critical effect of hydrogen peroxide concentration in photochemical oxidative degradation of C.I. Acid Red 27 (AR27)." *Chemosphere*, 56, 895-900.
- 10- Daneshvar, N., Behnajady, M.A., and Zorriyeh Asghar, Y. (2006). "Photooxidative degradation of 4-nitrophenol (4-NP) in UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process: Influence of operational parameters and reaction mechanism." *J. Hazard. Mater.*, in press.
- 11- Kang, N., and Lee, D.S. (2002). "Kinetic modeling of Fenton oxidation of phenol and monochlorophenol." *Chemosphere*, 47, 915-924.