



بررسی عوامل مؤثر بر رنگبری یک رنگزای آزو راکتیو (C.I. Reactive Red 120) به روش فنتون

فرزانه امامی^۱، علی رضا تهرانی باغا^{۲*}، کمال الدین قرنجیگ^۲

۱- کارشناس ارشد، گروه پژوهشی رنگ و محیط زیست، پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴

۲- استادیار، گروه پژوهشی رنگ و محیط زیست، پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴

۳- استادیار، گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی، پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی ۱۶۷۶۵-۶۵۴

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۹/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱/۲۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۸۹/۶/۲۰

چکیده

در این تحقیق اطلاعاتی در مورد کاربرد فرآیند فنتون به عنوان یک روش اکسیداسیون پیشرفته برای تصفیه پساب حاوی یک رنگزای آزو راکتیو (Reactive Red 120) گزارش شده است. برای به دست آوردن شرایط عملکرد مقرون به صرفه برای کاربرد فرآیند اکسیداسیون فنتون، تأثیر پارامترهای اصلی عملیات مثل میزان سولفات آهن، آب اکسیژنه، pH محلول، دما، غلظت اولیه رنگزا و حضور غلظت‌های متفاوت از کلرید سدیم و سولفات سدیم در مقیاس آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل نشان می‌دهد که بهترین مقدار pH در رنگبری برابر ۳ است. سرعت رنگبری محلول حاوی رنگزای RR120 با افزایش دما، افزایش پیدا می‌کند اما در حضور یون‌های کلرید و سولفات کاهش نشان می‌دهد. افزایش Fe^{2+} و H_2O_2 تا حد مشخصی باعث افزایش حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و رنگ می‌شود و افزایش غلظت پس از آن غیر ضروری و بی‌تأثیر است. نتایج نشان می‌دهد که با روش اکسیداسیون فنتون بیش از ۹۹٪ رنگبری و تا ۷۴٪ کاهش COD قابل حصول است.

واژه‌های کلیدی: رنگزای راکتیو، اکسیداسیون پیشرفته، واکنشگر فنتون، رنگبری، حذف COD.

Influence of Operational Parameters on the Decolorization of an Azo Reactive Dye (C.I. Reactive Red 120) by Fenton Process

F. Emami¹, A. R. Tehrani-Bagha^{*1}, K. Gharanjig²

¹ Department of Environmental Research, Institute for Color Science and Technology, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran

² Department of Organic Colorants, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box: 16765-654, Tehran, Iran

Abstract

This study provides information on the application of the Fenton process as an advanced oxidation method for the treatment of wastewater containing an azo reactive dye (C.I. Reactive Red 120). To establish cost-efficient operating conditions for potential application of Fenton oxidation process, the influence of the main operating parameters such as iron sulfate and hydrogen peroxide doses, solution pH, temperature, initial dye concentration and presence different concentrations of sodium chloride and sodium sulfate have been studied systematically in a laboratory scale. The obtained results showed that the best pH value for decolorization of dye solution was 3. The decolorization of RR120 enhanced with the increasing of reaction temperature but decreased as a presence of chloride and sulfate ions. The increase of Fe^{2+} and H_2O_2 doses accelerated the color and COD removals until a point where further addition of Fe^{2+} or H_2O_2 became inefficient and unnecessary. The result indicated that over 99% color removal and up to 74% COD removal can be obtained by Fenton's oxidation. J. Color Sci. Tech. 4(2010), 105-114 © Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Reactive dye, Advanced oxidation, Fenton reagent, Color removal, COD removal.

۱- مقدمه

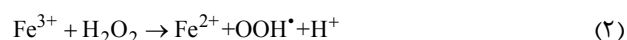
تولید سالانه مواد رنگزا در جهان حدود هفت صد هزار تن است که شامل طبقه‌های مختلف مواد رنگزا از لحاظ کاربردی و ساختار شیمیایی می‌باشد. این مواد بر حسب ساختار شیمیایی به دسته‌های مختلف آزو، آنتراکینون، زانتین، آکریدین، فلاوین، فتالوسیانین و ... و از لحاظ کاربردی به دسته‌های راکتیو، اسیدی، خمی، مستقیم، دیسپرس و ... تقسیم می‌شوند [۱].

یکی از موارد مهم مصرف مواد رنگزا در صنعت نساجی است. حدود ۷۵٪ مواد رنگزای تولید شده در جهان در رنگرزی کالاهای نساجی، چرم و کاغذ به کار می‌رود و بدیهی است هنگامی که این مواد رنگزا برای رنگ کردن کالای نساجی به کار می‌روند مقداری از آنها در پساب حمام‌های رنگرزی باقی می‌ماند و باعث آلودگی محیط زیست می‌شوند به طوری که پساب کارخانجات نساجی عموماً دارای COD بالایی هستند. مطالعه بر روی حذف مواد آلاینده در پساب‌های کارخانجات نساجی، به دلیل پیچیدگی و حضور طیف وسیعی از مواد رنگزا، مواد افزودنی و شوینده‌ها مشکل است. حضور مواد رنگزای آلی باعث رنگی شدن پساب و تا حدی افزایش سمیت آن می‌گردد. روش‌های مختلف و متنوعی برای حذف مواد رنگزای آلی از پساب ارائه شده است که بسیاری از آنها تنها در مقیاس آزمایشگاهی قابل انجام هستند و امکان عملی کردن آنها در مقیاس صنعتی به دلیل مقرون به صرفه نبودن و یا مشکلات متعدد تکنیکی وجود ندارد [۸-۲].

مواد رنگزای راکتیو در بین انواع مواد رنگزا امکان آبکافت بیشتری دارند و احتمال باقی ماندن مقادیر بالا از این مواد در پساب خروجی رنگرزی وجود دارد. بنابراین حذف این دسته مواد رنگزا از پساب‌های آلوده می‌تواند کمک شایانی به حفظ محیط زیست نماید. برای تصفیه پساب‌های حاوی مواد رنگزای راکتیو روش‌های متداولی مانند استفاده از لجن فعال، لخته سازی و تصفیه بیولوژیکی برای تجزیه ساختار مواد رنگزا بکار رفته است. این روش‌ها عموماً احتیاج به زمان بسیار طولانی برای رنگبری دارند و در بسیاری از مواقع حذف کامل مواد رنگزا از پساب میسر نمی‌شود. در مقابل روش‌های اکسیداسیون پیشرفته بر پایه واکنش‌های کاتالیستی و فوتوکاتالیستی، ازناسیون و ... قادرند تخریب و تجزیه مواد رنگزای آلی را در زمان نسبتاً کوتاه و با بازده بالا انجام دهند [۹]. روش‌های اکسیداسیون پیشرفته با کمک رادیکال بسیار فعال هیدروکسیل قادرند به شکل بسیار مؤثر و به صورت غیر انتخابی به آلودگی‌های قابل اکسید شدن حمله کرده و آنها را از بین ببرند [۱۰].

واکنش‌های فنتون معمولاً در محیط اسیدی و به وسیله تولید رادیکال هیدروکسیل از آب اکسیژنه و در حضور کاتالیست یون آهن (II) انجام می‌شوند. رابطه ۱ مکانیزم ارائه شده برای واکنش تولید رادیکال هیدروکسیل و روابط ۲ تا ۵ مکانیزم واکنش دوباره تولید

کاتالیست آهن دو ظرفیتی را در محیط واکنش نشان می‌دهند [۹-۱۱].



در هر حال امکان انجام یک سری واکنش‌های رقابتی نیز وجود دارد (روابط ۹-۶). این واکنش‌ها باعث از بین رفتن رادیکال هیدروکسیل می‌شوند و تأثیر منفی بر فرآیند اکسیداسیون دارند [۱۲، ۱۱].



روش فنتون را می‌توان در تصفیه پساب‌های نساجی به کار گرفت زیرا با تغییرات جزئی بر روی سیستم‌های قدیمی (انعقاد-لخته‌سازی) قابل بکارگیری است. با این روش می‌توان COD پساب‌هایی را که از طریق بیولوژیکی غیر قابل تخریب هستند، تا حد زیادی کاهش داد. یکی از مزایای مهم روش فنتون این است که آهن به کار گرفته شده غیر سمی و قابل بازیافت است و آب اکسیژنه مورد مصرف مشکل زیست محیطی ایجاد نمی‌کند [۱۳].

مقالات متعددی در زمینه بکارگیری فرآیند فنتون در رنگبری از پساب حاوی مواد رنگزای آلی وجود دارد که هر یک جداگانه شرایط بهینه رنگبری ساختارهای مختلف شیمیایی مواد رنگزا را مورد مطالعه قرار داده‌اند. مطالعه فرآیند اکسیداسیون پیشرفته در تخریب ساختارهای شیمیایی متنوع و جدید ما را قادر می‌سازد تا اطلاعات جامع و کاملی در ارتباط با به کارگیری صنعتی این فرآیند به دست آوریم. هدف از این تحقیق بررسی رنگبری پساب حاوی ماده رنگزای راکتیو قرمز ۱۲۰ به روش فنتون و بررسی اثر عواملی مانند غلظت یون آهن، غلظت پراکسید هیدروژن، pH، دما، دور هم زدن و حضور الکترولیت در حذف ماده رنگزا می‌باشد. تعیین شرایط بهینه فرآیند بر

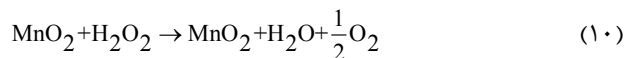
1- Chemical oxygen demand

آماده و اسپکتروفوتومتر DR/2500 شرکت Hach استفاده شد.

۲-۲- روش کار

فرآیند رنگبری ماده رنگزای راکتیو (RR120) با استفاده از فرآیند فنتون در شرایط آزمایشگاهی (دما °C ۲۵ و نور مهتابی) انجام شد. حجم اولیه محلول در کلیه آزمایش‌ها بجز آزمایش‌های مربوط به بررسی اثر حجم، ۵۰ ml در نظر گرفته شد و غلظت اولیه ماده رنگزا در تمامی آزمایش‌ها بجز آزمایش‌های مربوط به بررسی اثر غلظت اولیه ماده رنگزا، ۱۰۰ mg/l بود. واکنش رنگبری با افزودن پراکسید هیدروژن به محلول آغاز شده و نمونه‌برداری از آن در فواصل زمانی مشخص انجام و جذب محلول‌ها در بیشینه طول موج ماده رنگزا، مورد ارزیابی قرار گرفت.

به منظور اندازه‌گیری COD در محلول‌های رنگبری شده، ابتدا واکنش با قلیایی کردن محیط متوقف شده و آب اکسیژنه باقی‌مانده در محلول توسط دی اکسید منگنز و طبق رابطه ۱۰ از بین برده شد [۱۴].



برای اندازه‌گیری COD محلول، مقادیر مشخص از پساب به ظرف شیشه‌ای حاوی دی کرومات پتاسیم و اسید سولفوریک اضافه شده و به مدت دو ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد حرارت داده می‌شود و پس از سرد شدن مقادیر COD محلول توسط روش اسپکتروفوتومتری ارزیابی می‌شود. اطلاعات دقیق‌تر همراه با جزئیات کار در روش Hach استاندارد شماره ۸۰۰۰ آورده شده است.

اساس حذف COD پساب و بررسی اثر حضور نمک‌های مختلف چون کلرید سدیم و سولفات سدیم بر فرآیند رنگبری و تخریب از جمله مواردی است که در این مقاله مورد بحث و بررسی دقیق قرار گرفته است.

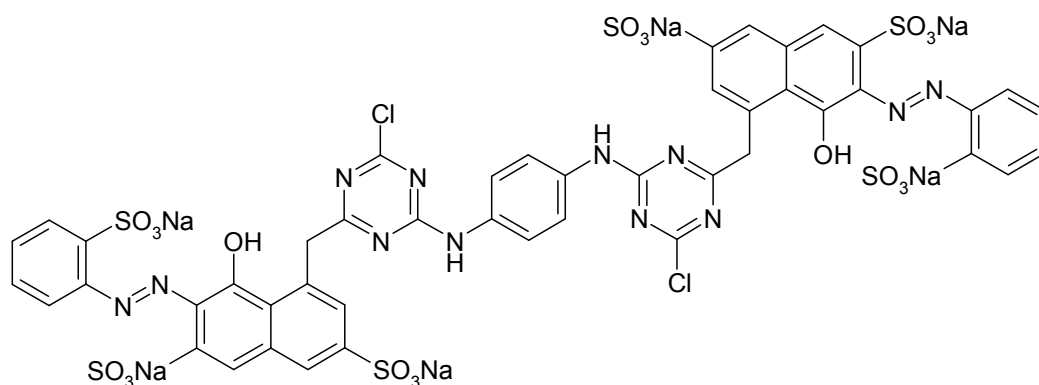
۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

ماده رنگزای راکتیو قرمز ۱۲۰ (RR120) مورد بررسی در این تحقیق دارای ساختار آزو و با وزن مولکولی ۱۴۶۹٫۹۸ گرم بر مول، فرمول شیمیایی $\text{C}_{44}\text{H}_{24}\text{Cl}_2\text{N}_{14}\text{Na}_6\text{O}_{20}\text{S}_6$ می‌باشد که انحلال تقریبی آن در آب ۷۰ گرم بر لیتر گزارش شده است. ماده رنگزای تجاری از شرکت dyecose تهیه شد. ساختار شیمیایی این ماده در شکل ۱ نشان داده شده است.

سولفات آهن متبلور $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ به عنوان منبع تولید یون آهن دوظرفیتی، H_2O_2 با خلوص ۳۰٪، اسید سولفوریک ۹۷٪، هیدروکسید سدیم، اکسید منگنز، کلرید و سولفات سدیم همگی با درجه خلوص آزمایشگاهی از شرکت مرک تهیه شدند.

غلظت ماده رنگزا در نمونه‌ها در بیشینه طول موج جذبی که برابر ۵۱۶nm بود، با دستگاه اسپکتروفوتومتر دو پرتویی (Perkin-Elmer) $\lambda 25$ و با استفاده از منحنی کالیبراسیون تعیین شد. برای حرارت دادن و هم زدن محلول از یک گرمکن مجهز به همزن مغناطیسی استفاده شد و تنظیم pH توسط اسید سولفوریک ۰٫۱ N و هیدروکسید سدیم ۰٫۱ N انجام گرفت. برای اندازه‌گیری مقادیر اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) محلول‌ها از معرف‌های شیمیایی



شکل ۱: ساختار مولکولی ماده رنگزای راکتیو قرمز ۱۲۰.

۳- نتایج و بحث

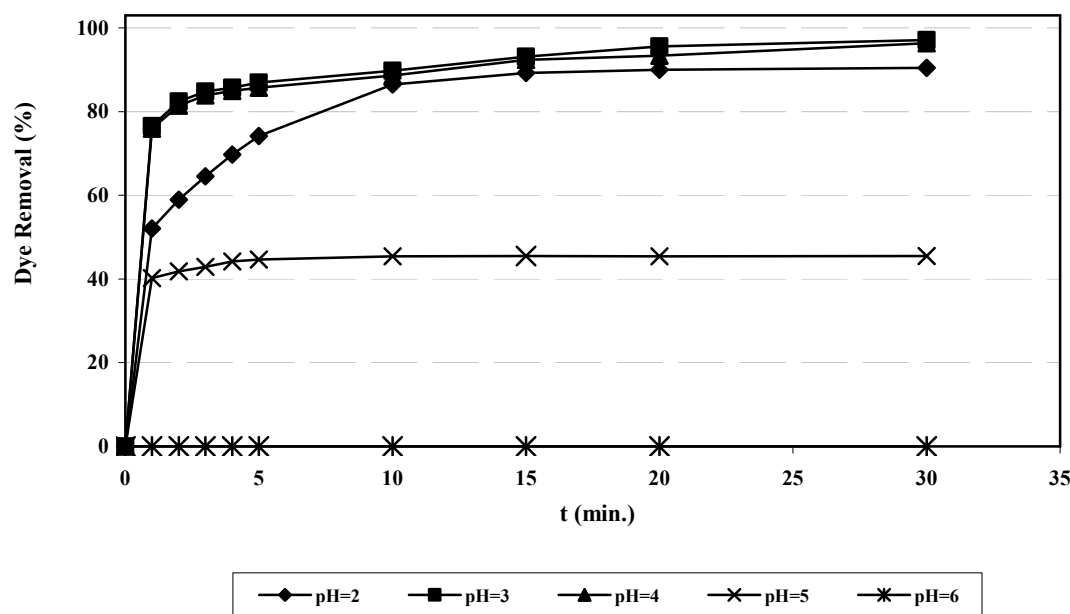
۳-۱- بررسی اثر pH

همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، سریع‌ترین فرآیند رنگبری در $\text{pH}=3$ انجام گرفته است. طبق گزارش‌های اعلام شده از سایر تحقیقات pH مناسب برای واکنش‌های فنتون در حدود ۳ تا ۴ است، زیرا در pH های بالاتر یا پایین‌تر یون آهن به صورت لجن از محیط واکنش خارج می‌شود [۱۶، ۱۵]. در pH های بالاتر از ۳، آهن (III) به صورت $\text{Fe}(\text{OH})_3$ رسوب می‌کند و سبب تجزیه آب اکسیژنه به صورت اکسیژن و آب می‌شود. علاوه بر این تشکیل کمپلکس‌های آهن (II) در pH های بالاتر سبب کاهش غلظت آن در محیط می‌شود. در مقابل، از دوباره تولید آهن (II) توسط واکنش Fe^{3+} و H_2O_2 در pH های اسیدی‌تر جلوگیری می‌شود. بنابراین، pH برابر ۳ به عنوان pH بهینه واکنش اکسیداسیون فنتون در نظر گرفته شد [۱۱]. برای بررسی تأثیر سایر عوامل مؤثر در ادامه کار pH محلول در کلیه آزمایش‌ها برابر با ۳ تنظیم و مورد ارزیابی قرار گرفت. لازم به ذکر است که رنگزای راکتیو RR120 پایداری بالایی در pH های اسیدی و قلیایی دارد و بعد از گذشت یک هفته طیف جذبی محلول آن در pH برابر ۳ تقریباً بدون تغییر باقی ماند.

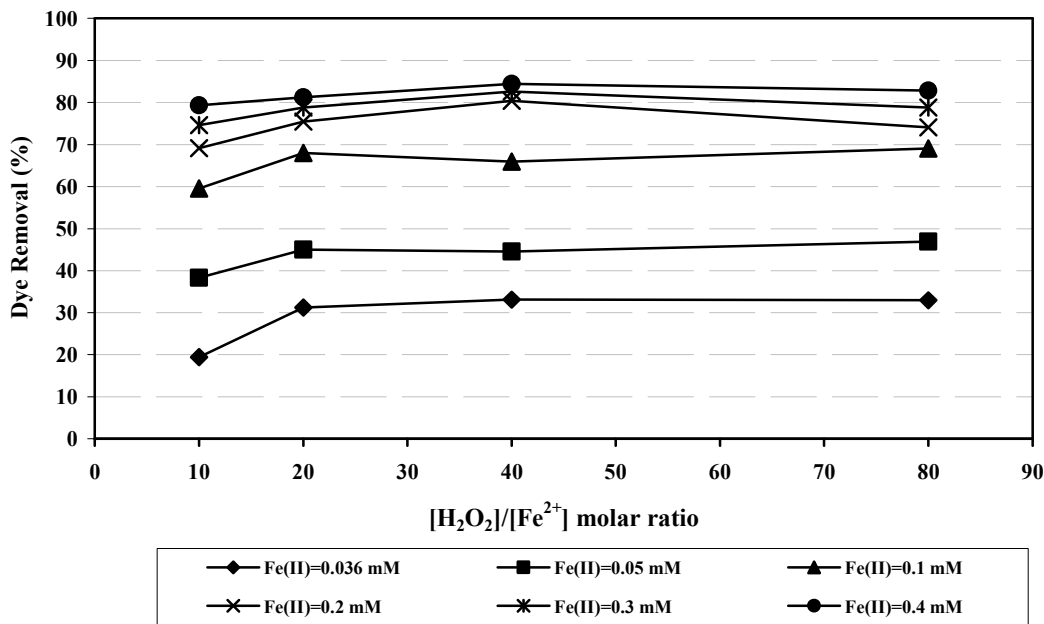
۳-۲- تأثیر غلظت آهن بر بازده رنگبری

به منظور بررسی اثر غلظت یون آهن بر بازده و سرعت رنگبری، محلول‌های 100 ppm از ماده رنگزای RR120 تهیه شد. pH محلول‌ها در مقدار ۳ تنظیم و آزمایش با مقادیر مختلف آهن و در دمای محیط و بدون هم‌زدن انجام شد. همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت یون آهن در محلول، صرف نظر از نسبت آب اکسیژنه به آهن بازده رنگبری افزایش می‌یابد. افزایش نسبت آب اکسیژنه به آهن در مقادیر ثابتی از آهن، از نسبت ۱۰ به ۲۰ باعث افزایش سرعت و بازده رنگبری می‌شود اما افزایش آن بعد از نسبت ۲۰ تأثیر چندانی بر سرعت و بازده رنگبری ندارد.

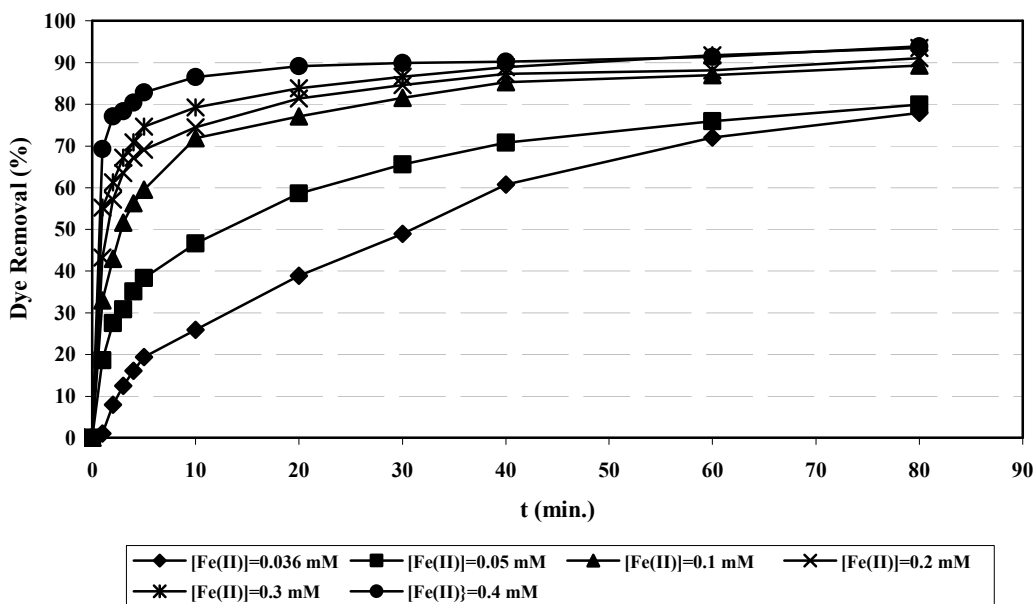
با افزایش غلظت آهن رادیکال هیدروکسیل بیشتری تولید شده و سرعت و میزان رنگبری افزایش می‌یابد (رابطه ۱) [۱۷]. اما بسیاری از تحقیقات نشان می‌دهند که افزایش بیش از اندازه غلظت آهن (II) اثر بازدارندگی در تولید رادیکال هیدروکسیل داشته و سبب کاهش سرعت و بازده تخریب ترکیبات شیمیایی می‌شود (رابطه ۶) [۲۰-۱۸]. در هر حال با توجه به نتایج به دست آمده (شکل ۴) و نظر به اینکه غلظت‌های بالاتر از 0.1 میلی‌مولار از آهن (II) تأثیر چندانی در رنگبری پساب حاوی ماده رنگزای RR120 ندارد لذا مقدار بهینه آهن (II) مصرفی تحت این شرایط 0.1 میلی‌مولار پیشنهاد می‌گردد.



شکل ۲: اثر pH بر میزان و سرعت رنگبری در 0.3 mM ، $\text{Fe}(\text{II})$ ، در 3 mM ، H_2O_2 ، 100 mg/l ، $[\text{RR120}]_0$ ، دمای محیط و بدون هم‌زدن.



شکل ۳: اثر غلظت یون آهن (II) بر بازده حذف رنگزا (پس از ۵ دقیقه) از پساب با غلظت ماده رنگزای ۱۰۰ ppm در نسبت‌های مختلف آهن و آب اکسیژنه، pH = ۳، دمای محیط و بدون هم زدن.



شکل ۴: اثر غلظت یون آهن (II) بر سینتیک فرآیند رنگبری RR120 در غلظت اولیه ۱۰۰ ppm، pH = ۳، دمای محیط، بدون هم زدن و در نسبت مولی $[H_2O_2]/[Fe^{2+}] = 10$.

pH = ۳، دمای محیط و بدون هم زدن مورد بررسی قرار گرفت. درصد کاهش COD محلول رنگزا پس از گذشت ۴ ساعت از آغاز واکنش در شکل ۵ آورده شده است. زمان طولانی به این دلیل انتخاب شده است که از انجام واکنش کامل و رسیدن به تعادل اطمینان حاصل شود

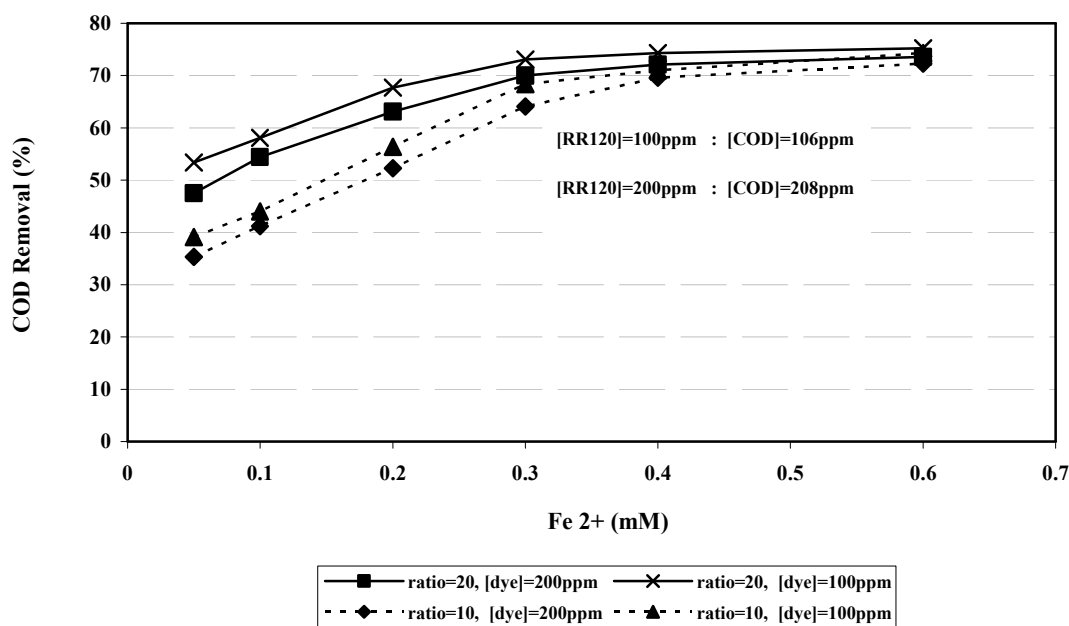
۳-۳- بررسی تأثیر عوامل مختلف بر حذف COD
حذف COD از محلول‌های حاوی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از RR120 در نسبت‌های ۱۰ و ۲۰ آب اکسیژنه به آهن و غلظت‌های مختلف آهن ۰٫۰۳۶، ۰٫۰۵، ۰٫۱، ۰٫۲، ۰٫۳، ۰٫۴ و ۰٫۶ میلی‌مولار و در

۳-۴- اثر غلظت آب اکسیژنه

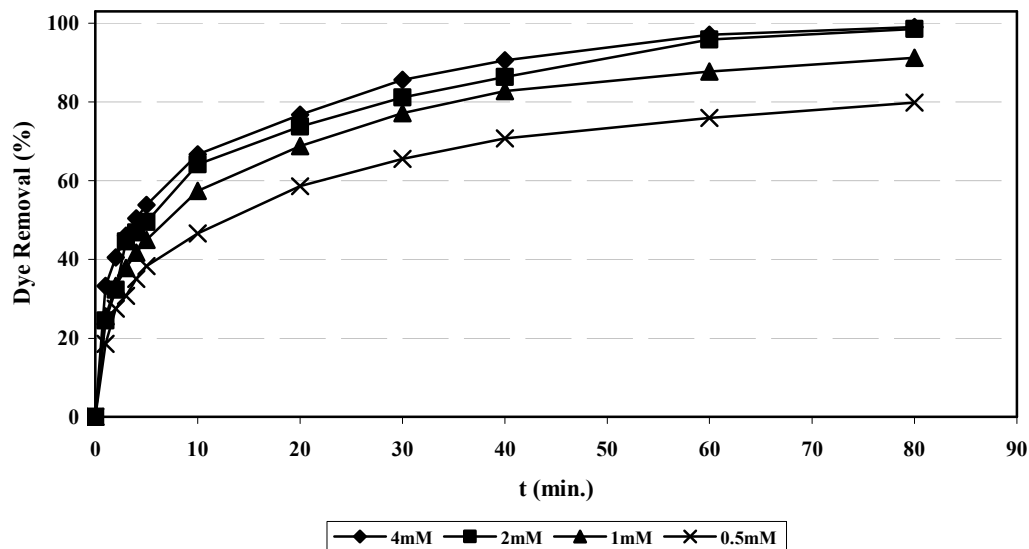
با ثابت نگاه داشتن غلظت آهن و تغییر غلظت پراکسید هیدروژن در pH برابر ۳ و دمای محیط بر روی محلول‌های رنگی با غلظت ۱۰۰ ppm به بررسی اثر غلظت پراکسید هیدروژن بر سرعت و میزان رنگبری پرداخته شده است. نتایج بررسی‌ها در شکل ۶ نشان می‌دهد که با افزایش آب اکسیژنه سرعت و میزان رنگبری افزایش پیدا می‌کند که به علت تشکیل رادیکال‌های هیدروکسیل بیشتر است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش غلظت اولیه آب اکسیژنه از ۲ به ۴ میلی‌مولار اگرچه باعث افزایش جزئی سرعت رنگبری از محلول شده است اما تغییرات حذف رنگ پس از گذشت یک ساعت از شروع واکنش تقریباً یکسان است.

انتخاب غلظت مناسب پراکسید هیدروژن از دو جنبه حائز اهمیت است. اول اینکه آب اکسیژنه گران است و افزایش بیش از اندازه آن باعث افزایش قیمت تمام شده فرآیند می‌شود. دوم اینکه بر اساس رابطه ۷ افزایش بیش از اندازه آب اکسیژنه می‌تواند باعث تشکیل رادیکال کم فعال تر هیدرو پراکسیل شود و بازده فرآیند اکسیداسیون را کاهش دهد [۱۲].

اگرچه بر طبق مستندات، زمان ۲ ساعت هم برای این منظور کافی می‌باشد. COD اولیه محلول رنگزا ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب ۰.۶ و ۰.۸ میلی‌گرم اکسیژن بر لیتر بود. حداکثر میزان حذف COD در حداکثر غلظت اولیه آهن (II) در حدود ۷۴-۷۲٪ به دست آمده است. روند تغییرات حذف COD محلول‌ها با افزایش غلظت اولیه آهن (II) افزایش نشان می‌دهد و تغییرات تا ۰.۳ mM $[Fe^{2+}]_0$ شیب تند و بعد از آن روند تغییرات بسیار کند و آهسته و تقریباً ثابت است. گزارش شده است که افزایش بیش از اندازه آهن (II) و یا آب اکسیژنه تأثیر منفی بر حذف COD می‌گذارد و از این رو تعیین مقادیر بهینه و مقادیر لازم برای حصول بهترین بازده ضروری است [۱۵، ۱۶]. بر اساس نتایج به دست آمده غلظت بهینه آهن (II) برای کاهش COD مقدار ۰.۳ mM پیشنهاد می‌شود که سه برابر بیشتر از غلظت بهینه پیشنهادی برای رنگبری از محلول است. در هر حال با توجه به اینکه کاهش شاخص COD محلول از اهمیت بیشتری نسبت به رنگبری تنها برخوردار است به نظر می‌رسد برای حصول بهترین نتیجه می‌بایست از مقدار ۰.۳ mM آهن (II) و در نسبت مولی $H_2O_2 / Fe^{2+} = 10$ بهره گرفت.



شکل ۵: نمودار کاهش و حذف COD محلول‌های حاوی RR120 در غلظت‌های اولیه مختلف آهن (II) و نسبت‌های مختلف آب اکسیژنه به آهن در pH=۳، دمای محیط و بدون هم‌زدن.



شکل ۶: اثر غلظت آب اکسیژنه بر بازده و سرعت رنگبری از پساب با غلظت ماده رنگزای ۱۰۰ ppm، pH=۳، دمای محیط و بدون هم زدن در نسبت مولی $[H_2O_2]/[Fe^{2+}] = 10$

۳-۶- اثر حجم پساب بر فرآیند رنگبری

عملیات رنگبری در ۵ حجم مختلف ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی لیتر انجام شد. این آزمایش بر روی محلول ۱۰۰ ppm از رنگزای در pH=۳ و $[Fe^{2+}]_0 = 0.3$ mM، نسبت مولی آب اکسیژنه به آهن برابر ۱۰ و در شرایط آزمایشگاه انجام گرفت.

نتایج حاصل نشان داد که حجم محلول در سرعت و بازده رنگبری بی تأثیر است و این واکنش‌ها در تمام حجم‌ها با روندی مشابه انجام می‌شود. با توجه به اینکه سینتیک واکنش‌های رنگبری کاملاً منطبق بر یکدیگر بود، در اینجا از نمایش شکل مربوطه به منظور کوتاه‌تر شدن مقاله صرف نظر گردید.

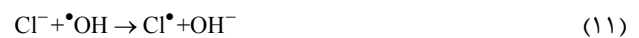
۳-۷- اثر دور هم زدن

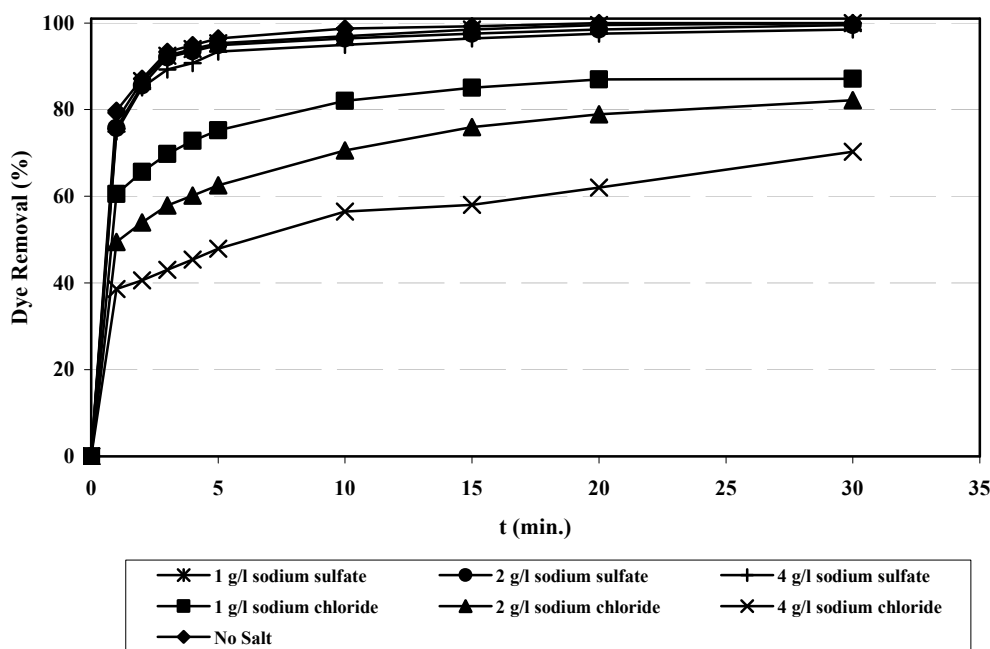
رنگبری از پساب با غلظت ۱۰۰ ppm، در pH برابر ۳ و دمای محیط با دور هم‌زدن اسمی ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ دور بر دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود با ایجاد اختلاط در محلول به دلیل افزایش احتمال برخوردهای موثر و آسانتر شدن تشکیل رادیکال هیدروکسیل، سرعت و بازده رنگبری افزایش پیدا می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای در سینتیک فرآیند رنگبری با و بدون هم‌زدن وجود دارد لیکن با گذشت زمان بازده نهایی برای هر دو فرآیند یکسان خواهد بود. در اکثر مقالات، فرآیند رنگبری از پساب توسط اکسیداسیون فنتون بدون هم‌زدن گزارش شده است. با توجه به اینکه کاتالیست به صورت یکنواخت در محلول وجود دارد انتظار می‌رود که تفاوت ناچیزی در سرعت رنگبری در سرعت‌های مختلف هم‌زدن وجود داشته باشد.

۳-۵- اثر حضور الکترولیت

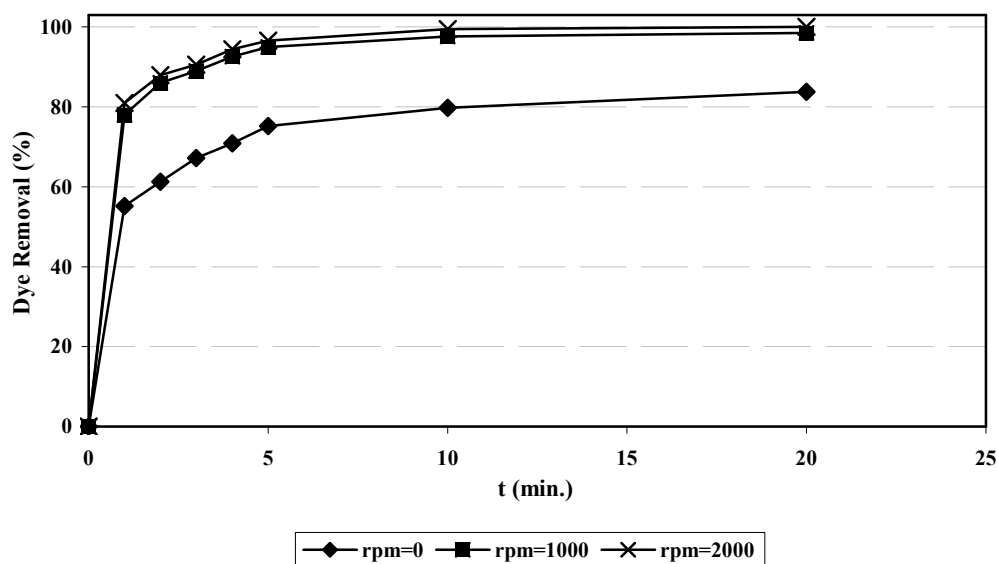
در عملیات رنگرزی با ماده رنگزای راکتیو حضور نمک ضروری است. بنابراین، لازم است اثر الکترولیت بر فرآیند رنگبری بررسی شود. به منظور بررسی اثر الکترولیت بر سرعت و بازده رنگبری از پساب حاوی ۱۰۰ ppm از ماده رنگزای، حضور دو الکترولیت کلرید سدیم و سولفات سدیم با غلظت‌های ۱، ۲ و ۴ گرم بر لیتر در محلول رنگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده در شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت الکترولیت در پساب مورد آزمایش سرعت و بازده رنگبری کاهش پیدا می‌کند و تأثیر کلرید سدیم در کاهش بازده و سرعت رنگبری بیشتر از نمک سولفات سدیم است.

یون‌های Cl^- بر اساس روابط ۱۳ و ۱۴ و یون‌های SO_4^{2-} بر اساس روابط ۱۵ و ۱۶ می‌توانند باعث از بین رفتن رادیکال هیدروکسیل و تشکیل رادیکال‌های کم‌فعال‌تر شوند که اثر منفی بر بازده فرآیند اکسیداسیون و رنگبری خواهد گذاشت [۱۲،۲۱]:





شکل ۷: اثر غلظت الکترولیت Na_2SO_4 و NaCl بر میزان رنگبری در $\text{pH}=3$ و $[\text{Fe}^{2+}]_0=0.3 \text{ mM}$ و $[\text{H}_2\text{O}_2]_0=3 \text{ mM}$.

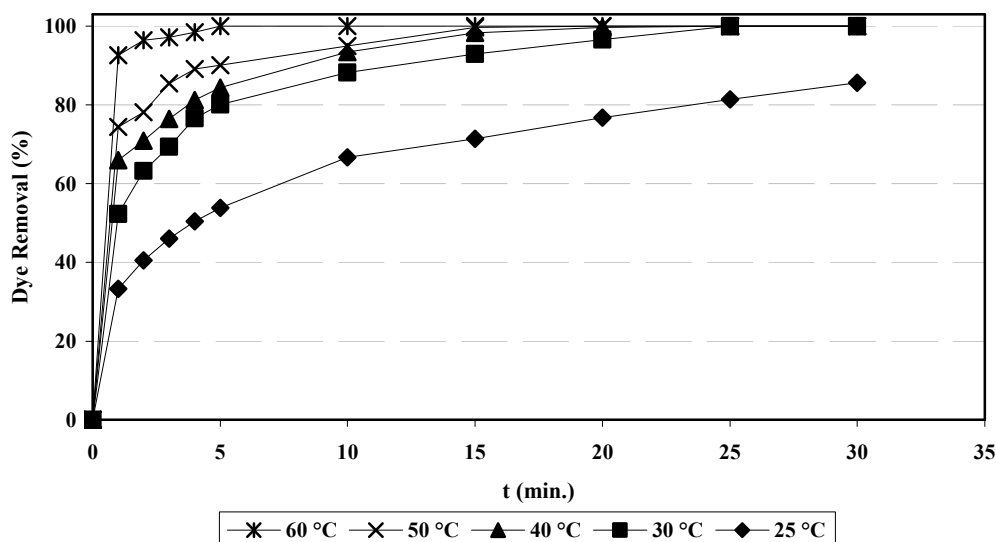


شکل ۸: اثر دور هم‌زدن در $\text{pH}=3$ و $[\text{Fe}^{2+}]_0=0.3 \text{ mM}$ و $[\text{H}_2\text{O}_2]_0=3 \text{ mM}$ بر رنگبری از محلول ۱۰۰ ppm رنگزای RR120.

۳-۸- اثر دما

نظیر رادیکال هیدروکسیل به شدت افزایش می‌یابد [۱۲، ۱۸، ۲۲]. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که با افزایش دما و هم‌زدن محلول، فرآیند رنگبری می‌تواند در حضور مقادیر کمتری از سولفات آهن و آب اکسیژنه و با سرعت بالا انجام گردد که این مسأله از لحاظ بکارگیری تکنیکی بسیار حائز اهمیت است. لازم به ذکر است که چنانچه از مقادیر بیشتر آهن (II) و آب اکسیژنه در بررسی اثر دما استفاده شود، سرعت رنگبری به قدری سریع است که تفکیکی بین سینتیک رنگبری در دماهای مختلف بوجود نمی‌آید و تاثیر دما به خوبی مشخص نمی‌شود.

رنگبری از پساب حاوی ۱۰۰ ppm از رنگزای راکتیو RR120 در $\text{pH}=3$ و پنج دمای مختلف (۲۵، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد) انجام شد. برای مشاهده اثر دما بر فرآیند رنگبری، مقدار غلظت اولیه آهن (II) 0.36 mM میلی مولار در نظر گرفته شد که بسیار کمتر از مقدار بهینه پیشنهادی در بخش ۳-۲ و ۳-۳ می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۹ ملاحظه می‌شود با افزایش دما، سرعت و بازده رنگبری افزایش پیدا می‌کند. زیرا دمای بالاتر باعث افزایش سرعت واکنش آب اکسیژنه با ترکیبات مختلف آهن در محیط می‌شود و تولید عوامل اکسید کننده



شکل ۹: اثر دما بر میزان و سرعت رنگبری در $\text{pH}=3$ ، دورهمزدن ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، $[\text{Fe}^{2+}]_0 = 0.036 \text{ mM}$ و نسبت مولی $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{2+}] = 10$.

به خصوص کلرید سدیم اثر منفی بر سرعت و بازده فرآیند رنگبری دارند. بررسی اثر دما بر فرآیند فنتون نشان داد که سرعت رنگبری پساب در دماهای بالا با استفاده از مقادیر کمتر از آهن (II) و با سرعت بالا امکان پذیر است. با توجه به اینکه پساب‌های صنایع رنگرزی معمولاً در دمای بالا تخلیه می‌شوند، با تنظیم pH پساب برابر ۳ و استفاده از سیستم اکسیداسیون فنتون برای تصفیه می‌توان با استفاده از مقادیر بسیار کم از آهن (II) فرآیند رنگبری را خیلی سریع انجام داد که از لحاظ کاربردی بسیار قابل توجه می‌باشد.

۴- نتیجه گیری

پارامترهای مؤثر بر رنگبری و حذف COD پساب حاوی ماده رنگزای راکتیو RR120 به وسیله فرآیند اکسیداسیون فنتون مورد بررسی قرار گرفت. فرآیند رنگبری در pH بهینه ۳ انجام گرفت و تأثیر غلظت اولیه آهن دو ظرفیتی، آب اکسیژنه و نسبت مولی آنها تعیین شد. غلظت بهینه آهن (II) برای فرآیند رنگبری و حذف COD به ترتیب ۰٫۱ و ۰٫۳ میلی‌مولار تعیین شد. نسبت مولی بهینه آب اکسیژنه به آهن نیز ۱۰ در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که افزایش نمک‌های مختلف و

۵- مراجع

- X. R. Xu, H. B. Li, W. H. Wang, J. D. Gu, Degradation of dyes in aqueous solutions by the Fenton process. *Chemosphere*. 57(2004), 595-600.
- N. Daneshvar, V. Vatanpour, A. R. Khataee, M. H. Rasoulifard, M. Rastegar, Decolorization of mixture of dyes containing Malachite Green and Orange II by Fenton-like reagent. *J. Color Sci. Tech.* 1(2008), 83-89.
- M. Hasani-Zonoozi, M. R. Alavimoghaddam, M. Arami, Removal of C.I. Acid Blue 292 using polyaluminum chloride. *J. Color Sci. Tech.* 2(2008), 87-94.
- M. H. Rasoulifard, N. Taheri-Qazvini, E. Farhangnia, A. Heidari, S. M. M. Doust-Mohammadi, Removal of direct Yellow 9 and reactive Orange 122 from contaminated water using chitosan as a polymeric bioadsorbent by adsorption process. *J. Color Sci. Tech.* 4(2010), 17-23.
- A. R. Tehrani-Bagha, N. M. Mahmoodi, M. Markazi, E. Talaei, Removal of a cationic dye from wastewater by low-cost kaolin. *J. Color Sci. Tech.* 3(2009), 145-155.
- S. Khorramfar, N. M. Mahmoodi, M. Arami, K. Gharanjig, Dye removal from colored textile wastewater using tamarindus indica hull: Adsorption isotherm and kinetics study. *J. Color Sci. Tech.* 3(2009), 81-88.
- A. Dalvand, M. Gholami, A. Joneidi, N. M. Mahmoodi, Investigation of electrochemical coagulation process efficiency for removal of Reactive Red 198 from colored wastewater. *J. Color Sci. Tech.* 3(2009), 97-105.
- N. Saadatjou, M. H. Rasoulifard, A. Heidari, Removal of Basic Red 46 using low-cost adsorbent of hardened paste of portland cement from contaminated water. *J. Color Sci. Tech.* 2(2009), 221-226.
- S. Meriç, H. Selcuk, M. Gallo, V. Belgiorno, Decolourisation and detoxifying of Remazol Red dye and

- its mixture using Fenton's reagent. *Desalination*. 173(2005), 239-248.
10. H. Kušić, A. L. Božić, N. Koprivanac, Fenton type processes for minimization of organic content in coloured wastewaters: Part I: Processes optimization. *Dyes Pigm.* 74(2007), 380-387.
 11. P. Bautista, A. F. Mohedano, J. A. Casas, J. A. Zazo, J. J. Rodriguez, An overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 83(2008), 1323-1338.
 12. S.-P. Sun, C.-J. Li, J.-H. Sun, S.-H. Shi, M.-H. Fan, Q. Zhou, Decolorization of an azo dye Orange G in aqueous solution by Fenton oxidation process: Effect of system parameters and kinetic study. *J. Hazard. Mater.* 161(2009), 1052-1057.
 13. N. Modirshahla, M. A. Behnajady, F. Ghanbary, Decolorization and mineralization of C. I. Acid Yellow 23 by Fenton and photo-Fenton processes. *Dyes Pigm.* 73(2007), 305-310.
 14. I. Arslan, I. Akmeahmet-Balcioglu, Degradation of commercial reactive dyestuffs by heterogenous and homogenous advanced oxidation processes: a comparative study. *Dyes Pigm.* 43(1999), 95-108.
 15. H. Lee, M. Shoda, Removal of COD and color from livestock wastewater by the Fenton method. *J. Hazard. Mater.* 153(2008), 1314-1319.
 16. S. Meriç, D. Kaptan, T. Ölmez, Color and COD removal from wastewater containing Reactive Black 5 using Fenton's oxidation process. *Chemosphere*. 54(2004), 435-441.
 17. H. Xu, D. Zhang, W. Xu, Monitoring of decolorization kinetics of Reactive Brilliant Blue X-BR by online spectrophotometric method in Fenton oxidation process. *J. Hazard. Mater.* 158(2008), 445-453.
 18. B. H. Hameed, T. W. Lee, Degradation of malachite green in aqueous solution by Fenton process. *J. Hazard. Mater.* 164(2009), 468-472.
 19. R. Chen, J. J. Pignatello, Role of quinone intermediates as electron shuttles in Fenton and photoassisted Fenton oxidations of aromatic compounds. *Environ. Sci. Technol.* 31(1997), 2399-2406.
 20. J. M. Joseph, H. Destailats, H. M. Hung, M. R. Hoffmann, The sonochemical degradation of azobenzene and related azo dyes: Rate enhancements via Fenton's reactions. *J. Phys. Chem. A*. 104(2000), 301-307.
 21. M. Muthukumar, N. Selvakumar, Studies on the effect of inorganic salts on decolouration of acid dye effluents by ozonation. *Dyes Pigm.* 62(2004), 221-228.
 22. J. H. Sun, S. P. Sun, G. L. Wang, L. P. Qiao, Degradation of azo dye Amido Black 10b in aqueous solution by Fenton oxidation process. *Dyes Pigm.* 74(2007), 647-652.