



## بررسی عوامل مؤثر بر رنگبری پساب حاوی رنگزای راکتیو مشکی ۵ به روش اُزن دهی

علی رضا تهرانی بقاء<sup>۱\*</sup>، نیازمحمد محمودی<sup>۲</sup>، مختار آرامی<sup>۲</sup>

- ۱- استادیار، گروه پژوهشی رنگ و محیط زیست، پژوهشکده صنایع رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴
  - ۲- کارشناس ارشد، گروه پژوهشی رنگ و محیط زیست، پژوهشکده صنایع رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴
  - ۳- دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۵۸۷۴-۴۴۱۳
- تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۵/۱۴ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۸۷/۶/۲۸

### چکیده

در این تحقیق، رنگبری یک رنگزای راکتیو (راکتیو مشکی ۵) به روش اُزن دهی و با استفاده از اسپکتروفوتومتر نور مرئی - ماورا بنفش مورد مطالعه قرار گرفت. تأثیر عوامل مؤثر بر فرآیند رنگبری شامل غلظت اُزن، دور همزدن، pH، دما، غلظت رنگزا، حجم پساب و حضور انواع الکترولیت بررسی شد. نتایج نشان دادند که اُزن دهی روشی بسیار مؤثر برای رنگبری کامل پساب حاوی ماده رنگزای راکتیو است و صرف نظر از غلظت ماده رنگزا، حجم پساب و حضور الکترولیت، رنگبری کامل (۱۰۰٪) انجام می شود. عوامل بازدارنده تنها سرعت فرآیند را کاهش می دهند و تأثیری بر بازده رنگبری ندارند. در بین عوامل مؤثر، غلظت اُزن در جریان ورودی و شدت هم خوردن محلول از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.

واژه های کلیدی: رنگبری، پساب، اُزن دهی، عوامل مؤثر، رنگزای راکتیو.

## Study of the Effective Parameters on Decolorization of C.I. Reactive Black 5 Wastewater by Ozonation

A. R. Tehrani-Bagha<sup>1\*</sup>, N. M. Mahmoodi<sup>1</sup>, M. Arami<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Environmental Research, Institute for Colorants, Paint and Coatings, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Textile Engineering Department, Amirkabir University of Technology, P.O.Box: 15874-4413, Tehran, Iran

### Abstract

In this work, decolorization of a reactive dye (C.I. Reactive Black 5) by ozonation method was evaluated by UV-Vis spectrophotometry. The effective operational parameters such as ozonation dosages, stirring, pH, temperature, dye concentration, wastewater volume and the electrolytes were studied. Results showed that the ozonation was a very effective method for reactive dye decolorization. Complete decolorization was achieved in different dye concentrations, wastewater volume and electrolytes. These parameters just had some effect on rate of decolorization and not the yield. The concentration of ozone stream and mixing rate were two important factors among all other factors. *J. Color Sci. Tech.* 2(2008), 67-75. © Institute for Colorants, Paint and Coatings.

**Keyword:** Decolorization, Wastewater, Ozonation, Effective parameters, Reactive dye.

## ۱- مقدمه

در تصفیه پساب‌های صنعتی معمولاً از سیستم‌های بیولوژیکی استفاده می‌شود. این روش در موارد زیادی برای رنگدایی از پساب‌ها ناکارآمد و ناکافی است. از این رو روش‌های مختلف و متنوعی توسعه پیدا کردند که می‌توان به انعقاد، شناورسازی، الکتروشیمیایی، فیلتراسیون، تبادل یونی، تابش فرابنفش، ترسیب، اُزن‌دهی، جذب و... اشاره نمود. برخی از این روش‌ها بسیار مؤثر هستند اگرچه ممکن است معایبی هم داشته باشند. از جمله این معایب می‌توان به مصرف مواد شیمیایی یا تولید لجن و مشکلات دفع، هزینه بالای تأسیسات و یا فرآیند، بازده رنگبری پایین و حساسیت به نوع پساب ورودی اشاره نمود. برخی از این روش‌ها برای تعدادی از کارخانجات نساجی با تعداد محدود و مشخصی از انواع مواد رنگزا کارایی دارند و نمی‌توان از آنها برای تمامی کارخانجات با طیف وسیع از مخلوط رنگزاها استفاده نمود. برخی از روش‌های رنگبری نیز بر پایه اکسایش شیمیایی با موادی نظیر هیپوکلریت سدیم هستند که باعث آزاد شدن تعداد زیادی از آمین‌های آروماتیک سرطانزا و سمی در پساب می‌شوند که وضعیت را وخیم‌تر می‌کند. روش‌های بر پایه جذب سطحی مواد رنگزا نیز اگرچه مشکلات ایجاد مواد واسطه و تجزیه زیستی را به همراه ندارند، اما به دلیل بازده نسبتاً پایین و تولید پسماند ثانویه، در مقیاس وسیع قابل استفاده نیستند. بنابراین، یک فرآیند مجزا و خاص نمی‌تواند باعث رنگبری کامل کلیه پساب‌های صنایع نساجی شود و به کارگیری روش‌های ترکیبی بیشتر توصیه می‌شود [۵-۱].

با توجه به مصرف زیاد آب در صنایع نساجی و حضور پسماندهای مختلف از جمله مواد رنگزا، سطح فعال‌ها، تسریع کننده‌ها، نمک‌ها، اسیدها، قلیایی‌ها و فلزات سنگین، پساب صنایع نساجی جزء آلوده‌ترین پساب‌های صنعتی طبقه‌بندی می‌شوند. از این رو تصفیه و استفاده مجدد از این پساب‌ها از دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی اهمیت زیادی دارد. روش‌های مختلفی برای حذف آلاینده‌های آلی پساب‌های صنعتی وجود دارد که می‌توان به سوزاندن، هوادهی، جذب سطحی، تصفیه بیولوژیک، اکسیداسیون شیمیایی و نوری اشاره نمود [۵-۸]. اکسیداسیون آلاینده‌های موجود در پساب به روش‌های گوناگون مانند فرآیندهای اکسیداسیون در دما و فشار بالا، الکتروکاتی، اکسیداسیون نوری در حضور کاتالیست‌ها، با استفاده از مواد شیمیایی (آب اکسیژنه، هیپوکلریت سدیم و...)، با استفاده از گاز کلر، گاز اُزن و روش‌های ترکیبی امکان‌پذیر است [۹].

واکنش‌های اُزن در آب را می‌توان به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم طبقه‌بندی نمود. در واکنش‌های مستقیم، مولکول اُزن مستقیماً با سایر نمونه‌های شیمیایی واکنش می‌دهد اما در واکنش‌های غیرمستقیم، رادیکال‌های ثانویه هیدروکسیل از تجزیه اُزن تولید شده و با آلاینده‌ها واکنش می‌دهند. لذا می‌توان گفت که

واکنش‌های مستقیم اُزن مرحله آغازی برای واکنش‌های غیرمستقیم هستند [۱۲-۱۰].

پساب‌های نساجی معمولاً حاوی طیف وسیعی از ترکیبات شیمیایی مختلف می‌باشند که BOD<sup>۱</sup> پایین و COD<sup>۲</sup> بالایی دارند. بزرگترین مشکل این پساب‌ها بخاطر وجود باقیمانده مواد رنگزا و حضور مواد شیمیایی مقاوم در مقابل تجزیه زیستی است که معمولاً به واسطه تکمیل‌های شیمیایی مختلف بر روی پارچه وارد پساب می‌شوند. رنگزای موجود در پساب‌های نساجی به واسطه رنگزاهای تثبیت نشده بر روی کالای نساجی به وجود می‌آیند. با توجه به نوع لیف، عمق و درجه رنگ، نحوه کاربرد و نوع رنگزا، بین ۵۰-۲٪ از رنگزای تثبیت نشده می‌تواند وارد جریان پساب خروجی شود [۱۳].

رنگبری از پساب حاوی مواد رنگزا از کلاس‌های مختلف شیمیایی در مراجع مختلف مورد بررسی قرار گرفته است که می‌توان به [۱۴] و مراجع آن اشاره نمود. مطالعات نشان می‌دهد که واکنش پذیری مواد رنگزای آلی با اُزن وابسته به ساختار شیمیایی آنها می‌باشد و تفاوت قابل ملاحظه‌ای در ثوابت سرعت واکنش وجود دارد [۱۴]. تخریب شیمیایی رنگزاهای آزوی راکتیو تجاری با ساختارهای شیمیایی مختلف نشان داده است که فرآیند اُزن‌دهی قادر به رنگبری در حد ۹۵ تا ۱۰۰٪ می‌باشد. در هر حال مقادیر مختلف کاهش COD و TOC<sup>۳</sup> (۴۰ تا ۸۰٪) برای این رنگزاهای نشان می‌دهد که تخریب شیمیایی و اکسیداسیون این رنگزاهای به طور قابل توجهی به ساختار شیمیایی آنها بستگی دارد. قابلیت تجزیه زیستی مواد موجود در پساب نهایی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. این امر نشان دهنده تجزیه مولکول رنگزا به ساختارهای کوچکتر قابل تجزیه زیستی است. محصولات اصلی حاصل از تخریب شیمیایی این رنگزاهای استات، فرمات، سولفات و نیترات تعیین شده است [۲۱-۱۵].

اگر چه شیمی اُزن و واکنش‌های آن به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است اما اطلاعات در زمینه اُزن‌دهی مواد رنگزا بسیار اندک است [۱۴]. از این رو انجام تحقیقات گسترده‌تر و جامع درخصوص رنگبری از پساب‌های نساجی به ویژه بررسی تأثیر حضور مواد تعاونی نساجی<sup>۴</sup> لازم به نظر می‌رسد. در این تحقیق یک سیستم ناپیوسته اُزن‌دهی طراحی شد و عوامل کاری مؤثر بر فرآیند رنگبری رنگزای راکتیو مشکی ۵ (RB5)<sup>۵</sup> از جمله دور همزدن، pH، تغییر غلظت اُزن، دما، غلظت رنگزا، حجم پساب و حضور انواع الکتروولت مورد بررسی قرار گرفتند و شرایط مطلوب کاری برای انجام فرآیند رنگبری تعیین شد.

- 1- Biological oxygen demand
- 2- Chemical oxygen demand
- 3- Total organic carbon
- 4- Textile auxiliaries
- 5- C.I. Reactive Black 5

## ۲- بخش تجربی

### ۱-۲- مواد شیمیایی و وسایل

رنگزای RB5 با درجه خلوص تجاری (شرکت ساندال پاکستان) مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱). این رنگزا دارای ساختار آزو و دو گروه فعال وینیل سولفون می‌باشد. طول موج حداکثر جذب آن ۵۹۸ nm است. سایر مواد مورد استفاده با درجه خلوص آزمایشگاهی از شرکت مرک تهیه شدند.

pH متر مدل ۷۱۳ (شرکت متراهم<sup>۱</sup> سوئیس) و دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis مدل CE9200 (شرکت سسیل<sup>۲</sup> انگلیس) به ترتیب برای تنظیم pH و بررسی میزان رنگبری استفاده شد.

مولد گاز ازن (شرکت فناوری سبز ایران) با قابلیت تولید مقادیر مختلف گاز ازن و دستگاه سنجش گاز ازن مدل ۳۶۰۰ (شرکت اوربیسفر<sup>۳</sup> سوئیس) مورد استفاده قرار گرفتند. گاز ورودی به سیستم مولد، گاز اکسیژن با خلوص ۹۹.۹۹۹٪ بود. جریان ورودی به دستگاه مولد توسط یک جریان‌سنج دقیق مدل LZB-3WB (شرکت بستا<sup>۴</sup> تایوان) کنترل و تنظیم شد. همزدن محلول و تنظیم دمای آن با هیتر استیرر مدل RCT و کنترل کننده حرارتی (شرکت آپکا<sup>۵</sup> آلمان) انجام شد.

### ۲-۲- روش کار

یک راکتور شیشه‌ای چهاردهانه یک لیتری برای بررسی فرآیند رنگبری مورد استفاده قرار گرفت. برای همزدن محلول از یک گرمکن مجهز به همزن مغناطیسی استفاده شد. گاز ازن به وسیله یک لوله از جنس تفلون از خروجی مولد مستقیماً وارد راکتور می‌شود. برای خنثی‌سازی گاز ازن واکنش نکرده، خروجی بالای راکتور توسط یک لوله به داخل محلول ۵٪ دیدید پتاسیم هدایت شد. برای احتیاط و جلوگیری از خطرات احتمالی، کل سیستم ازن‌دهی و نمونه‌برداری در زیر هود قرار داشت. برای کنترل حرارتی از حمام آب و برای نمونه‌برداری از داخل راکتور از یک پمپ پرستالتیک (شرکت آپکا آلمان) استفاده شد.

تأثیر عوامل مختلف بر فرآیند رنگبری RB5 شامل دور همزدن، غلظت ازن در جریان ورودی (۲۵، ۱۹ و ۵۵ g/m<sup>3</sup>)، دما (۲۰، ۳۰ و ۵۰ °C)، غلظت رنگزا (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ ppm)، حجم پساب (۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ mL)، pH (۳، ۵، ۶ و ۱۰) و انواع الکترولیت مورد مطالعه قرار گرفتند. دبی جریان گاز اکسیژن ورودی به مولد گاز ازن در کلیه آزمایش‌ها ثابت و ۰.۰۸ L/min کنترل و تنظیم شد. حجم پساب مورد استفاده در کلیه آزمایش‌ها ۵۰۰ mL در نظر گرفته شده و تنها برای بررسی اثر حجم پساب، مقدار آن تغییر داده شد.

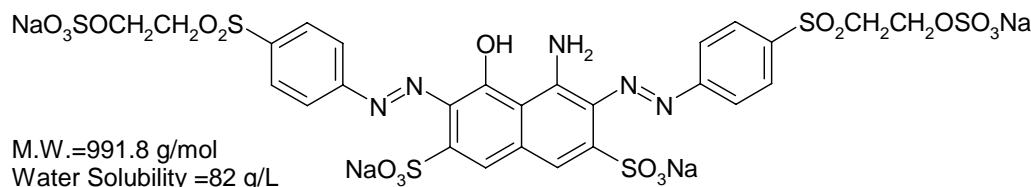
پساب حاوی رنگزا در آب مقطر تهیه شد که pH طبیعی آن ۶.۵ بود. برای تنظیم pH اسیدی و یا قلیایی به ترتیب از اسید سولفوریک و هیدروکسید سدیم استفاده شد.

بررسی‌های اولیه نشان داد که دور همزدن تأثیر قابل توجهی بر فرآیند رنگبری دارد. بنابراین، اختلاط سریع و مؤثر ازن در پساب نقش کلیدی در فرآیند رنگبری دارد. در کلیه آزمایش‌ها همزدن کامل در حداکثر دور همزن مغناطیسی (۱۱۰۰ rpm) و با استفاده از یک مگنت ۳ سانتیمتری با روکش تفلون انجام گرفت. در صورت همزدن مؤثرتر و ایجاد حباب‌های ریزتر گاز ورودی، سطح تماس گاز با پساب افزایش می‌یابد و نتیجه مطلوب‌تری حاصل می‌شود.

## ۳- نتایج و بحث

### ۱-۳- تأثیر غلظت ازن در جریان ورودی بر رنگبری

مولد گاز ازن از طریق اعمال پتانسیل بالا بین دو صفحه الکتروود درصدی از گاز اکسیژن عبوری را به گاز ازن تبدیل می‌نماید. از این رو با تغییر ولتاژ، میزان تبدیل گاز ازن تغییر می‌کند. همان‌طور که پیش‌بینی می‌شود با افزایش درصد تبدیل و افزایش میزان گاز ازن در جریان ورودی به پساب، سرعت رنگبری به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد (شکل ۲). رنگبری کامل (۱۰۰٪) از پساب حاوی ۱۰۰ ppm رنگزای RB5 در دمای محیط (۲۰ °C) و pH طبیعی صرف نظر از درجه ازن‌دهی انجام می‌گیرد. رنگبری کامل در حضور ۵۵ g/m<sup>3</sup>



شکل ۱: ساختار شیمیایی رنگزای RB5.

- 1- Metrohm
- 2- CECIL
- 3- Orbisphere
- 4- BESTA
- 5- IKA

بر فرآیند رنگبری تأثیری نمی‌گذارد.

### ۳-۳-۳ اثر غلظت رنگزا بر فرآیند رنگبری

فرآیند رنگبری از پساب در pH طبیعی، غلظت اُزن در جریان ورودی ( $55 \text{ g/m}^3$ ) و در دمای محیط انجام گرفت. رنگبری از پساب حاوی رنگزای RB5 در چهار غلظت مختلف (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ ppm) مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، با افزایش غلظت ماده رنگزا در پساب سرعت فرآیند رنگبری کاهش می‌یابد که به دلیل حضور مقدار بیشتر از ماده اکسید شونده در محیط در غلظت ثابت اکسیدکننده (اُزن) می‌باشد. لیکن رنگبری کامل حتی برای پساب ۴۰۰ ppm از رنگزا در ۳۰ دقیقه انجام می‌شود.

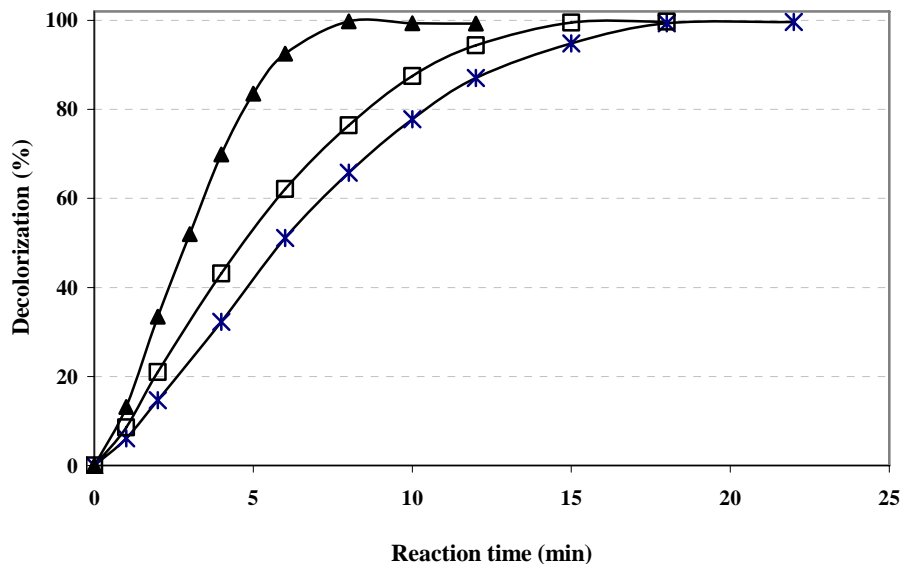
### ۳-۳-۳ اثر حجم پساب بر فرآیند رنگبری

فرآیند رنگبری از پساب در pH طبیعی، غلظت اُزن در جریان ورودی ( $55 \text{ g/m}^3$ ) و در دمای محیط انجام گرفت. رنگبری از پساب حاوی رنگزای RB5 در غلظت ثابت ۱۰۰ ppm و در چهار حجم مختلف از پساب (۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ mL) مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، با افزایش حجم پساب سرعت فرآیند رنگبری کاهش می‌یابد که به دلیل حضور مقدار بیشتر از ماده اکسید شونده در محیط در غلظت ثابت اکسیدکننده (اُزن) می‌باشد.

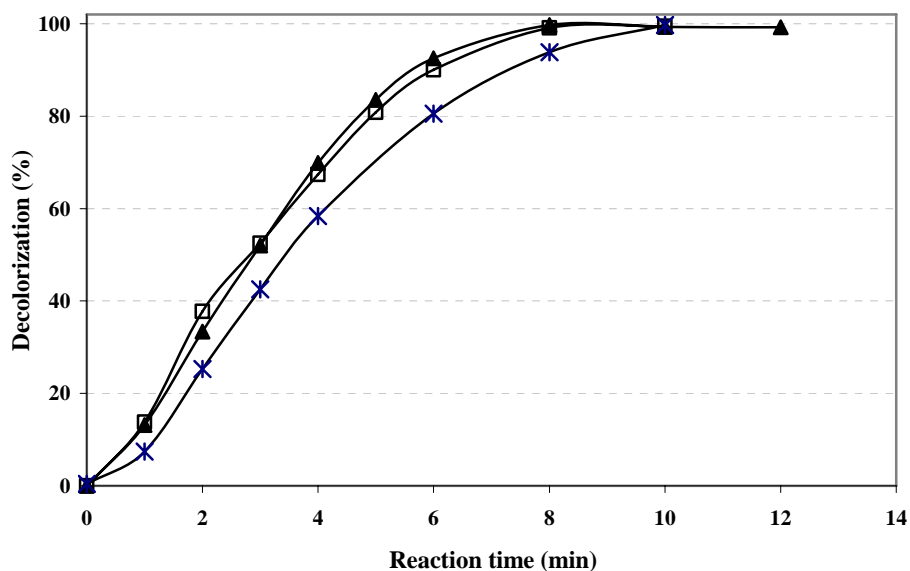
گاز اُزن در حدود ۸ دقیقه طول می‌کشد در حالی که با کاهش مقدار اُزن به مقدار  $25 \text{ g/m}^3$  زمان رنگبری کامل، تقریباً دو برابر می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که افزایش غلظت اُزن در جریان ورودی تأثیر زیادی بر بازده فرآیند رنگبری دارد که به دلیل افزایش درصد عامل اکساینده در شرایط ثابت است. از این رو برای بررسی تأثیر سایر عوامل و حصول حداقل زمان رنگبری بالاترین غلظت اُزن در جریان ورودی به پساب انتخاب شد.

### ۳-۲-۲ اثر دما

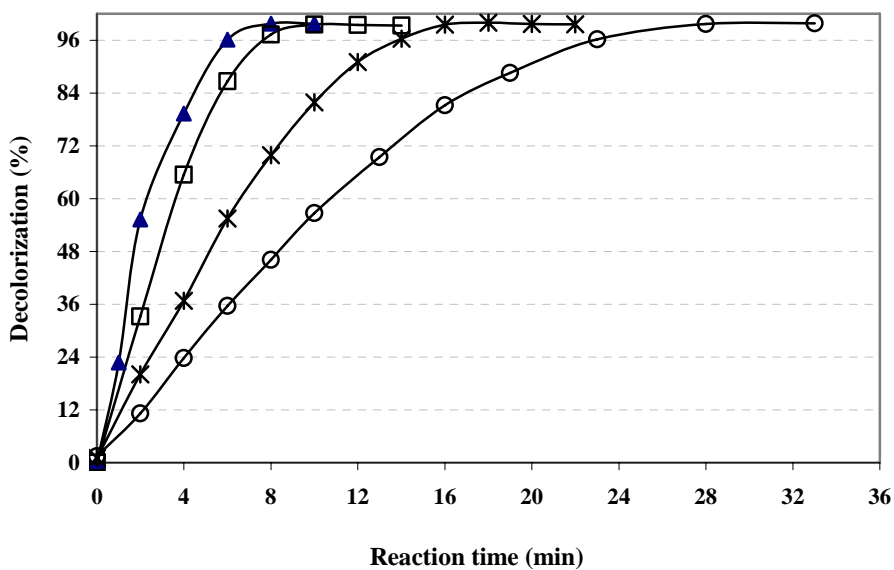
فرآیند رنگبری از پساب در pH طبیعی و در سه دمای مختلف (۲۰، ۳۰ و  $50^\circ\text{C}$ ) مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، افزایش دما از محدوده دمای محیط تا  $30^\circ\text{C}$  تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر فرآیند رنگبری نشان نمی‌دهد. لیکن فرآیند رنگبری در دمای بالا ( $50^\circ\text{C}$ ) باعث کاهش سرعت رنگبری شده است که به دلیل ناپایداری کمتر اُزن و از بین رفتن درصدی از عوامل اکساینده در دمای بالا می‌باشد [۲۲]. لازم به ذکر است که برای ارزیابی دقیق، باید غلظت اُزن در محلول در دماهای مختلف ثابت باقی بماند که با توجه به سریع بودن واکنش بسیار مشکل است [۱۲]. نتایج نشان می‌دهد که سرعت و بازده رنگبری در محدوده  $20-30^\circ\text{C}$  تغییر محسوسی ندارد. از این رو تغییرات دمای محیط در این محدوده



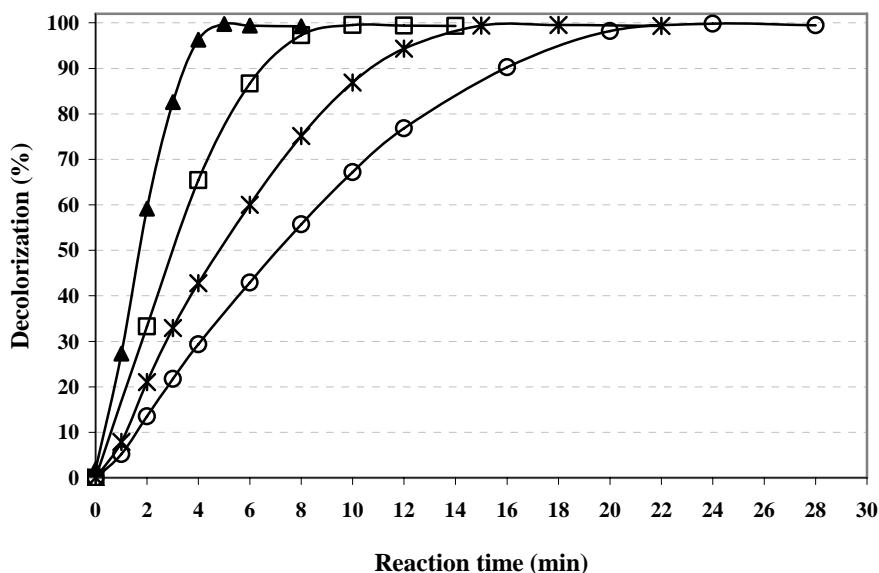
شکل ۴: تأثیر غلظت گاز اُزن بر رنگبری از پساب رنگزای RB5 (۱۰۰ ppm) در دمای محیط، pH طبیعی و حجم ۵۰۰ mL. غلظت گاز اُزن در ورودی به راکتور ( $25(\ast)$ ،  $55(\blacktriangle)$  و  $190(\square)$   $\text{g/m}^3$ ).



شکل ۳: تأثیر دما بر رنگبری از پساب رنگزای RB5 (۱۰۰ ppm) در pH طبیعی، غلظت اُزن (۵۵ g/m<sup>3</sup>) و حجم ۵۰۰ mL. دمای پساب (°C): ۵۰ (■) و ۳۰ (□)، ۲۰ (▲) و ۵ (\*)



شکل ۴: تأثیر غلظت رنگزا بر رنگبری از پساب رنگزای RB5 در دمای محیط، pH طبیعی، غلظت اُزن (۵۵ g/m<sup>3</sup>) و حجم ۵۰۰ mL و غلظت رنگزا (ppm): ۵۰ (▲)، ۱۰۰ (□)، ۲۰۰ (\*) و ۴۰۰ (○)



شکل ۵: تأثیر حجم پساب بر رنگبری از پساب رنگزای RB5 (۱۰۰ ppm) در دمای محیط، pH طبیعی و غلظت ازن ( $55 \text{ g/m}^3$ )  
حجم پساب (mL): (▲) ۲۵۰، (□) ۵۰۰، (\*) ۷۵۰ و (○) ۱۰۰۰.

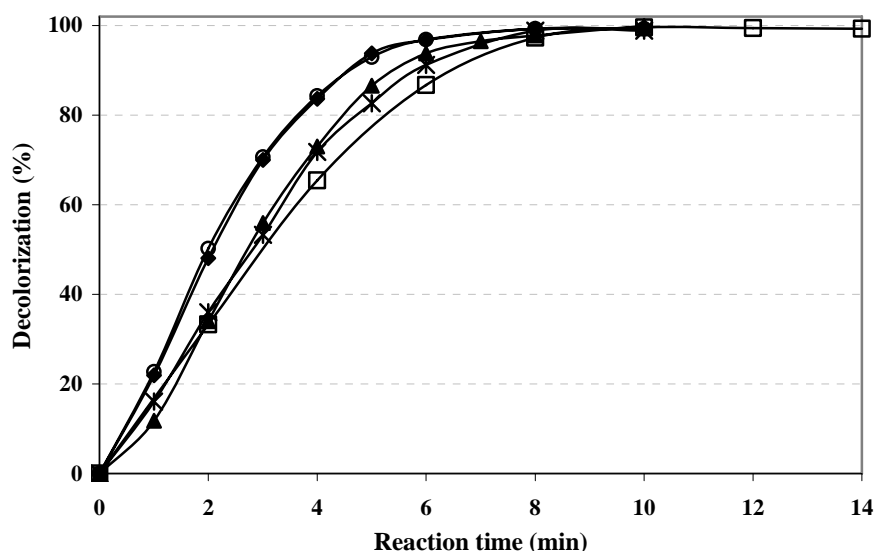
قابل ملاحظه‌ای زیاد باشد، واکنش تجزیه ازن در پساب رخ می‌دهد و رادیکال‌های بسیار فعال هیدروکسیل تولید می‌شوند که فعالیت بالاتری نسبت به خود ازن دارند و به طور غیر انتخابی با محصولات مختلف واکنش می‌دهند و باعث اکسید شدن آنها می‌شوند [۲۴، ۲۷]. برای اثبات این امر فرآیند رنگبری در شرایط مشابه و در حضور ۱ و ۲ g/L هیدروکسید سدیم انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد که سرعت فرآیند رنگبری در حضور مقادیر مختلف هیدروکسید سدیم بسیار سریع‌تر از شرایط اسیدی و طبیعی می‌باشد (شکل ۶).

### ۳-۶- اثر الکترولیت بر فرآیند رنگبری

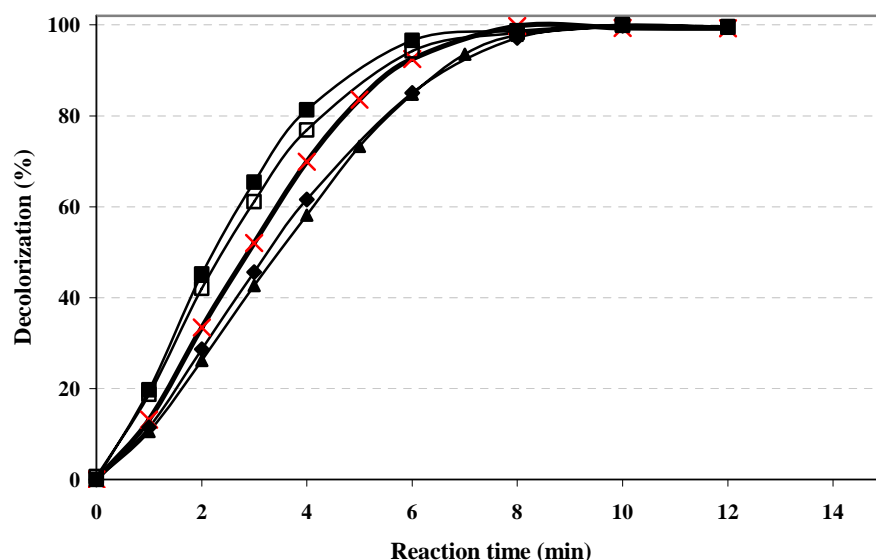
در شرایط یکسان عملیاتی (دمای محیط، pH طبیعی، غلظت رنگزا ۱۰۰ ppm، حجم پساب ۵۰۰ mL و غلظت ازن در جریان ورودی  $55 \text{ g/m}^3$ ) تأثیر حضور الکترولیت‌های مختلف بر سرعت و بازده رنگبری مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور غلظت‌های مختلف از الکترولیت‌های مرسوم و محتمل در پساب رنگزای راکتیو به پساب اضافه شد. شکل ۷ نشان می‌دهد که کربنات و بی‌کربنات سدیم هر دو باعث تسریع جزئی فرآیند رنگبری شده‌اند. گزارش شده است که موادی چون ترشیری - بوتانول، یون‌های پاراکلروبنزوات، کربنات، بی‌کربنات و... نقش بازدارنده برای تجزیه ازن دارند. این مواد در ضمن واکنش با رادیکال هیدروکسیل باعث خاتمه واکنش زنجیری رادیکالی می‌شوند.

### ۳-۵- اثر pH اولیه و قلیا بر فرآیند رنگبری

فرآیند رنگبری از پساب در دمای محیط و در سه pH اولیه مختلف (۳، ۶، ۱۰) مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی غلظت رنگزا (۱۰۰ ppm)، حجم پساب (۵۰۰ mL)، دور هم‌زدن و غلظت ازن در جریان ورودی ( $55 \text{ g/m}^3$ ) ثابت نگه داشته شد. همان‌طور که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود، سرعت و بازده رنگبری در pH اولیه (اسیدی، قلیایی و طبیعی) بسیار نزدیک به یکدیگر می‌باشد و تفاوت قابل ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود. واکنش ازن با رنگزا باعث تولید محصولات جانبی اسیدی می‌شود و در نتیجه، pH پساب رنگی اسیدی می‌گردد به طوری که حتی در pH اولیه ۱۰، اندکی بعد از شروع واکنش pH محیط اسیدی (۲-۳) می‌شود [۲۶-۲۳] و از این رو احتمال دخالت واکنش‌های غیرمستقیم ازن (تولید و واکنش رادیکال‌های هیدروکسیل) بسیار کم می‌گردد. در نتیجه، سرعت و بازده رنگبری در pH اولیه اسیدی، طبیعی و قلیایی بدون استفاده از بافر بسیار نزدیک و مشابه می‌باشد. در شرایط اسیدی، بیشتر ترکیباتی که قابلیت واکنش با ازن را دارند از طریق واکنش مستقیم تجزیه شده و به ترکیباتی مقاوم‌تر تبدیل می‌شوند. تجزیه و یا پایداری ازن در آب متأثر از حضور مواد مختلف موجود در آب است. برخی از مواد مثل یون هیدروکسید باعث تجزیه ازن می‌شوند و نقش شروع کننده و انتشار دهنده واکنش را به عهده دارند. بنابراین، چنانچه مقدار یون هیدروکسید در محیط واکنش در حد



شکل ۶: تأثیر pH اولیه و قلیا بر رنگبری از پساب رنگزای RB5 (100 ppm) در دمای محیط و غلظت اُزن ( $55 \text{ g/m}^3$ ) در pHهای اولیه مختلف: ۳ (▲)، ۴، ۵ (□)، ۶، ۵ (\*)، ۱۰ و در حضور سود (g/L): ۱ (○) و ۲ (◆).



شکل ۷: تأثیر حضور مقادیر مختلف الکترولیت بر رنگبری از پساب رنگزای RB5 (100 ppm) در دمای محیط، pH طبیعی و غلظت اُزن ( $55 \text{ g/m}^3$ ): بدون الکترولیت، (×) بی کربنات سدیم، ۱۵ g/L (□) بی کربنات سدیم، ۱۵ g/L (■) کربنات سدیم، ۲۵ g/L (▲) کلرید سدیم و ۲۰ g/L (◆) سولفات سدیم.

این رو فرآیند رنگبری بیشتر از طریق واکنش مستقیم با اُزن پیشرفت می کند. این امر افزایش جزئی سرعت رنگبری را به همراه دارد. نمک های کلرید و سولفات سدیم که معمولاً در رنگری کالای سلولزی با مواد رنگزای راکتیو استفاده می شوند تا حدی باعث کاهش سرعت

این بازدارندگان را رباینده رادیکال آزاد هیدروکسیل نیز می نامند. زیرا حضور آنها باعث محدود شدن واکنش این رادیکال ها می شود [۲۷-۲۹]. بنابراین، حضور کربنات و بی کربنات سدیم در غیاب یون هیدروکسید باعث کاهش تجزیه خودبخودی اُزن در آب می شود و از

حضور الکترولیت‌ها می‌باشند. با افزایش غلظت اُزن در جریان ورودی و شدت هم خوردن پساب سرعت رنگبری به شدت افزایش می‌یابد. دما در محدوده  $30^{\circ}\text{C}$  -  $20^{\circ}\text{C}$  اثر قابل ملاحظه‌ای بر فرآیند رنگبری نداشت. با افزایش غلظت و یا حجم پساب سرعت رنگبری کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. بی‌کربنات و کربنات سدیم به طور جزئی باعث افزایش و کلرید و سولفات سدیم باعث کاهش جزئی سرعت رنگبری می‌شوند. کلیه فرآیندهای رنگبری مورد آزمون بازده  $100\%$  داشتند و تنها زمان رسیدن به این حد از رنگبری با یکدیگر متفاوت است. از این رو فرآیند اُزن‌دهی روشی بسیار سریع و مؤثر برای رنگبری پساب‌های حاوی رنگزاهای راکتیو با ساختار مشابه ارزیابی می‌شود.

#### تشکر و قدردانی

از جناب آقایان مهندس دیهیمی و مهندس حیدری از شرکت مهندسی فناوری سبز بخاطر در اختیار قرار دادن مولد تولید گاز اُزن و دستگاه اندازه‌گیری آن سپاسگزار می‌شود.

فرآیند رنگبری می‌شوند (شکل ۷). حضور این نمک‌ها باعث افزایش مواد جامد محلول در آب شده و به عنوان یون‌های مزاحم در واکنش اُزن با ماده رنگزا دخالت می‌کنند. نکته حائز اهمیت در اینجا زمان رنگبری کامل ماده رنگزا در حضور انواع الکترولیت می‌باشد. اگرچه حضور این نمک‌ها باعث تغییر سرعت رنگبری ماده رنگزا RB5 به وسیله اُزن‌دهی شده است، اما در تمامی موارد رنگبری کامل در مدت زمان مشابهی انجام گرفته است.

به نظر می‌رسد مکانیسم واکنش رنگبری عمدتاً از طریق واکنش مستقیم اُزن انجام می‌شود و واکنش‌های غیرمستقیم از طریق تشکیل رادیکال هیدروکسیل به خصوص در pH‌های اسیدی و در غیاب یون هیدروکسید سهم ناچیزی دارند [۲۷،۳۰].

#### ۴- نتیجه‌گیری

عوامل مؤثر بر فرآیند رنگبری یک رنگزای راکتیو RB5 به روش اُزن‌دهی مورد مطالعه قرار گرفت. این عوامل شامل غلظت اُزن در جریان ورودی، دور هم‌زدن، pH، دما، غلظت ماده رنگزا، حجم پساب و

#### ۵- مراجع

- V. M. Correia, T. Stephenson, S. J. Judd, Characterisation of textile wastewaters - a review. *Environ. Tech.* 15(1994), 917-929.
- I. M. Banat, P. Nigam, D. Singh, R. Marchant, Microbial decolorization of textile-dye-containing effluents: A Review. *Bioresource Technol.* 58(1996), 217-227.
- A. Uygur, An overview of oxidative and photooxidative decolourisation treatments of textile wastewaters. *J.S.D.C.* 113(1997), 211-217.
- C. O'Neill, F. R. Hawkes, D. L. Hawkes, N. D. Lourenco, H. M. Pinheiro, W. Delée, Colour in textile effluents – sources, measurement, discharge consents and simulation: a review. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 74(1999), 1009-1018.
- P. C. Vandevivere, R. Bianchi, W. Verstraete, Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: Review of emerging technologies. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 72(1998), 289-302.
- O. L. Rosi, M. Casarci, D. Mattioli, L. D. Florio, Best available technique for water reuse in textile SMEs (BATTLE LIFE Project). *Desalination.* 206(2007), 614-619.
- I. G. Laing, The impact of effluent regulations on the dyeing industry. *Rev. Prog. Coloration.* 21(1991), 56-71.
- E. A. Clarke, R. Anliker, Safety in use of organic colorants: health and safety aspects. *Rev. Prog. Coloration.* 14(1984), 84-89.
- A. B. C. Alvares, C. Diaper, S. A. Parsons, Partial oxidation by ozone to remove recalcitrance from wastewaters-a review. *Environ. Tech.* 22(2001), 409-427.
- R. J. Spangord, D. Yao, T. Mill, Kinetics of aminodinitrotoluene oxidations with ozone and hydroxyl radical. *Environ. Sci. Technol.* 34(2000), 450-454.
- R. M. Le-Lacheur, W. H. Glaze, Reactions of ozone and hydroxyl radicals with serine. *Environ. Sci. Technol.* 30(1996), 1072-1080.
- C. Gottschalk, J. A. Libra, A. Saube, Ozonation of water and waste water. Wiley-VCH: Weinheim, (2002).
- J. R. Easton, in: Colour in dyehouse effluent, P. Cooper, (Ed.) Society of Dyers and Colourists, The Alden Press: Oxford, (1995), 9-21.
- A. Reife, H. S. Freeman, Environmental chemistry of dyes and pigments. John Wiley & Sons, Inc.: New York, (1996).
- M. Koch, A. Yediler, D. Lienert, G. Insel, A. Kettrup, Ozonation of hydrolyzed azo dye reactive yellow 84 (CI). *Chemosphere.* 46(2002), 109-113.
- J. Wu, H. Doan, S. Upreti, Decolorization of aqueous textile reactive dye by ozone, *Chem. Eng. J.* (2007), doi:10.1016/j.cej.2007.11.019.
- I.-A. Alaton, I.-A. Balcioglu, D. W. Bahnemann, Advanced oxidation of a reactive dye bath effluent: comparison of  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$  and  $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$  processes. *Water Res.* 36(2002), 1143-1154.
- M. Sundrarajan, G. Vishnu, K. Joseph, Ozonation of light-shaded exhausted reactive dye bath for reuse. *Dyes Pigments.* 75(2007), 273-278.
- I. Arslan, I.-A. Balcioglu, Effect of common reactive dye auxiliaries on the ozonation of dyehouse effluents



- containing vinylsulphone and aminochlorotriazine. *Desalination*. 130(2000), 61-71.
20. S. Song, Z. He, J. Qiu, L. Xu, J. Chen, Ozone assisted electrocoagulation for decolorization of C.I. Reactive Black 5 in aqueous solution: An investigation of the effect of operational parameters. *Sep. Purif. Technol.* 55(2007), 238-245.
21. S. Song, X. Xu, L. Xu, Z. He, H. Ying, J. Chen, B. Yan, Mineralization of CI Reactive Yellow 145 in aqueous solution by ultraviolet-enhanced ozonation. *Ind. Eng. Chem. Res.* 47(2008), 1386-1391.
22. Y.-C. Hsu, T.-Y. Chen, J.-H. Chen, C.-W. Lay, Ozone transfer into water in a gas-inducing reactor. *Ind. Eng. Chem. Res.* 41(2002), 120-127.
23. K. Swaminathan, K. Pachhade, S. Sandhya, Decomposition of a dye intermediate, (H-acid) 1 amino-8-naphthol-3,6 disulfonic acid in aqueous solution by ozonation. *Desalination*. 186(2005), 155-164.
24. K. Sarayu, K. Swaminathan, S. Sandhya, Assessment of degradation of eight commercial reactive azo dyes individually and in mixture in aqueous solution by ozonation. *Dyes Pigments*. 75(2007), 362-368.
25. C. Wang, A. Yediler, D. Lienert, Z. Wang, A. Kettrup, Ozonation of an azo dye C.I. Remazol Black 5 and toxicological assessment of its oxidation products. *Chemosphere*. 52(2003), 1225-1232.
26. O. S. G. P. Soares, J. J. M. Órfão, D. Portela, A. Vieira, M. F. R. Pereira, Ozonation of textile effluents and dye solutions under continuous operation: Influence of operating parameters. *J. Hazard. Mater.* 137(2006), 1664-1673.
27. F. J. Beltran, Ozone reaction kinetics for water and wastewater systems. levis publishers, imprint of CRC Press LLC: Florida, (2004).
28. W. H. Glaze, J. W. Kang, Advanced oxidation processes. Test of a kinetic model for the oxidation of organic compounds with ozone and hydrogen peroxide in a semibatch reactor. *Ind. Eng. Chem. Res.* 28(1989), 1580-1587.
29. S. Staehelin, J. Hoigné, Decomposition of ozone in water in the presence of organic solutes acting as promoters and inhibitors of radical chain reactions. *Environ. Sci. Technol.* 19(1985), 1206-1212.
30. H. Zhang, L. Duan, D. Zhang, Decolorization of methyl orange by ozonation in combination with ultrasonic irradiation. *J. Hazard. Mater.* 138(2006), 53-59.