

## Evaluating the efficiency of advanced oxidation methods on dye removal from textile wastewater

Rezaee-Mofrad MR<sup>1</sup>, Miranzadeh MB<sup>1</sup>, Pourgholi M<sup>1\*</sup>, Akbari H<sup>2</sup>, Dehghani R<sup>3</sup>

1- Department of Environmental Health, Faculty of Health, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, I. R, Iran.

2- Trauma Research Center, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, I. R. Iran.

3- Trauma Nursing Research Center, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, I. R. Iran.

Received July 21, 2012; Accepted December 5, 2012

### Abstract:

**Background:** The discharge of textile industrial wastewater, a complex effluent containing different chemicals, to the environment causes serious bioenvironmental pollution problems. Therefore, this study aimed to evaluate the use of advanced oxidation methods and find the most efficient method to remove dye from textile effluents.

**Materials and Methods:** This experimental study was conducted on Kashan textile industrial effluent on a laboratory scale and in a closed system. Taking into consideration the fixed amount of O<sub>3</sub> dose and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentration for the four advanced oxidation methods (UV/O<sub>3</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), in three reaction time (10, 20, 30 minutes) and different pH (4, 6, 8, 10), the effect of the methods on dye removal was evaluated and the results were compared using the complex repetitive measurements.

**Results:** Results showed that, in terms of method used and the contact time, the O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> method in 30 minutes had the most efficient result (89.2%) and the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> method in 10 minutes time the least one (40.7%). Moreover, in terms of the method used and pH, the O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> method in pH=6 had the most efficient result (84.7) and the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> method in pH=4 the least one (59.4). The results showed that time had a positive effect on dye removal efficiency ( $P < 0.001$ ).

**Conclusion:** The O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> method is the most efficient method in removing dye from textile wastewater due to the synchronous presence of multi-pollutants and its synergic effect through producing the highly reactive hydroxyl radicals (OH<sup>0</sup>).

**Keywords:** Textile industrial effluent, dye removal, Advanced oxidation

\* Corresponding Author.

Email: mp2962@gmail.com

Tel: 0098 914 1600 486

Fax: 0098 361 555 0111

Conflict of Interests: *No*

*Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences March, 2013; Vol. 17, No 1, Pages 32-39*

Please cite this article as: Rezaee-Mofrad MR, Miranzadeh MB, Pourgholi M, Akbari H, Dehghani R. Evaluating the efficiency of advanced oxidation methods on dye removal from textile wastewater. *Feyz* 2013; 17(1): 32-9.

# بررسی تأثیر روش‌های اکسیداسیون پیشرفته بر حذف رنگ از فاضلاب صنایع نساجی

محمد رضا رضایی مفرد<sup>۱</sup>، محمد باقر میران زاده<sup>۲</sup>، مهرانگیز پورقلی<sup>۳\*</sup>، حسین اکبری<sup>۴</sup>، روح... دهقانی<sup>۵</sup>

## خلاصه:

سابقه و هدف: پساب صنعت نساجی یک فاضلاب پیچیده حاوی مواد شیمیایی مختلف و پساب‌های رنگی بوده و تخلیه آنها معضلات زیست‌محیطی شدیدی را به وجود می‌آورد. در این مطالعه استفاده از روش‌های اکسیداسیون پیشرفته و یافتن بهترین روش جهت حذف رنگ فاضلاب مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: این مطالعه تجربی روی پساب صنایع نساجی کاشان در مقیاس آزمایشگاهی در سیستم بسته انجام شد. با در نظر گرفتن مقدار ثابت دوز ازن و غلظت پراکسید هیدروژن در هر چهار روش اکسیداسیون پیشرفته شامل  $UV/O_3$ ،  $UV/H_2O_2$ ،  $H_2O_2/O_3$ ،  $O_3/UV/H_2O_2$  در سه زمان واکنش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و در چهار pH ۴، ۶، ۸ و ۱۰ تأثیر روش‌ها بر حذف رنگ بررسی شد و نتایج با روش اندازه‌گیری تکراری آمیخته مقایسه شد.

نتایج: یافته‌ها نشان داد درصد حذف رنگ برحسب نوع روش و زمان در روش  $O_3/UV/H_2O_2$  و زمان تماس ۳۰ دقیقه بیشترین میزان و در  $UV/H_2O_2$  در زمان ۱۰ دقیقه کمترین میزان را داشت و به ترتیب ۸۹/۲ و ۴۰/۷ درصد به دست آمد. درصد حذف رنگ برحسب نوع روش و pH در روش  $UV/H_2O_2/O_3$  و  $UV/H_2O_2$  بیشترین میزان و در  $UV/H_2O_2$  در  $pH=4$  کمترین میزان را داشت و به ترتیب ۸۴/۷ و ۵۹/۴ درصد را حذف کردند. نتایج آزمون آماری نشان داد که اثر پارامتر زمان بر حذف رنگ موثر می‌باشد ( $P < 0.001$ ).

نتیجه‌گیری: روش  $UV/H_2O_2/O_3$  در مقایسه با روش‌های دیگر مورد مطالعه موثرترین فرآیند رنگ‌بری را دارا می‌باشد که دلیل موثر بودن آن حضور هم‌زمان چند اکساینده قوی و اثر تشدیدکنندگی آنها از طریق تولید بیشتر رادیکال‌های فعال هیدروکسیل ( $OH^0$ ) می‌باشد.

واژگان کلیدی: فاضلاب صنایع نساجی، حذف رنگ، اکسیداسیون پیشرفته

دو ماه‌نامه علمی- پژوهشی فیض، دوره هفدهم، شماره ۱، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۲، صفحات ۳۹-۳۲

## مقدمه

امروزه صنایع چنان با سرعت در حال توسعه هستند که اغلب تنها بعد اقتصادی آنها در نظر گرفته شده و توجهی به پیامدهای زیست‌محیطی آن نمی‌شود. از جمله صنایعی که باید به تصفیه پساب‌های آن توجه خاصی داشت، صنایع نساجی و رنگرزی هستند [۱]. صنایع نساجی یکی از مهمترین صنایع در چند دهه گذشته بوده [۲] که کیفیت و کمیت پساب آن به علت استفاده از ۱۰۰۰۰ نوع رنگ همواره باعث نگرانی دولت‌ها بوده است [۳]. صنایع نساجی یک فاضلاب حاوی مواد شیمیایی مختلف تولید می‌کند [۴] که سمی و مقاوم در برابر تجزیه بیولوژیکی بوده و پایدار در محیط هستند [۵].

کیفیت این فاضلاب با گذشت زمان تغییر می‌کند و ممکن است شامل انواع بسیاری از رنگ‌ها، مواد شوینده، ترکیبات سولفید، و حلال‌ها باشد [۶]. بارزترین مشخصه پساب نساجی رنگی بودن آن است [۷]. در این صنعت دو مرحله اصلی رنگرزی و تکمیل حجم زیادی پساب با غلظت رنگ بالا تولید می‌کنند [۹، ۸]. مصرف رنگ در صنایع نساجی دنیا بیش از ۱۰۰۰۰ تن در سال تخمین زده می‌شود که با این میزان مصرف، سالانه ۱۰۰۰ تن از رنگ مصرفی وارد پساب این صنایع می‌گردد [۱۰]. رنگ‌ها ترکیبات دست‌ساز هستند که جهان ما را زیبا می‌سازند و در بسیاری از حوزه‌ها حضور دارند و کاربردشان در حال رشد است [۱۱]. هم‌چنین، ترکیبات آلی هستند که یکی از مهم‌ترین مواد شیمیایی مورد مصرف در بسیاری از صنایع نظیر نساجی، دباغی، و کاغذ می‌باشند [۱۲]. تخمین زده شده است که ۱۵-۱ درصد مواد رنگ‌زا در طی فرآیندهای رنگرزی و پرداخت هدر می‌رود و به صورت پساب وارد محیط می‌شوند، بنابراین لزوم حذف این آلاینده‌ها ضروری به نظر می‌رسد [۱۳]. ورود این پساب‌ها به محیط باعث اختلال در محیط‌های آبی می‌گردد، زیرا از نفوذ نور به محیط‌های آبی جلوگیری کرده و باعث کند شدن فرآیند فتوسنتز شده و در نتیجه فعالیت سنتزی گیاهان آبی و کل اکوسیستم تهدید می‌شود [۱۴]. قوانین دولتی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه برای تخلیه

<sup>۱</sup> مربی، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان  
<sup>۲</sup> استاد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان  
<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

<sup>۴</sup> مربی، مرکز تحقیقات تروما، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

<sup>۵</sup> استاد، مرکز تحقیقات پرستاری تروما، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

## \* نشانی نویسنده مسئول:

کاشان، کیلومتر ۵ بلوار قطب روانی، دانشگاه علوم پزشکی کاشان، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط

تلفن: ۰۹۱۴ ۱۶۰۰۴۸۶ | دورنویس: ۰۳۶۱ ۵۵۵۰۱۱۱

پست الکترونیک: mp2962@gmail.com

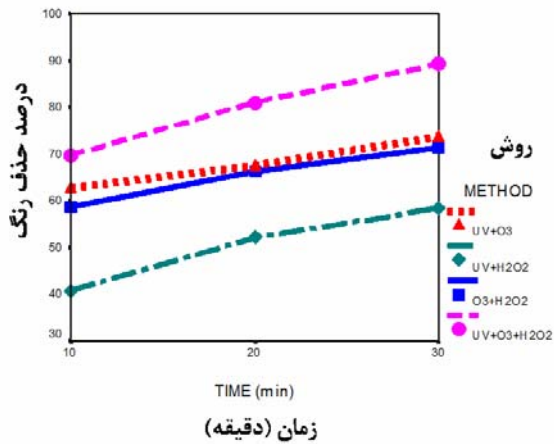
تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۳۱ | تاریخ پذیرش نهایی: ۹۱/۹/۱۵

پایداری و راندمان بالای این روش نسبت به سایر روش‌ها نتایج این مطالعه می‌تواند مورد استفاده در صنایع درگیر با پساب حاوی مواد رنگی قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

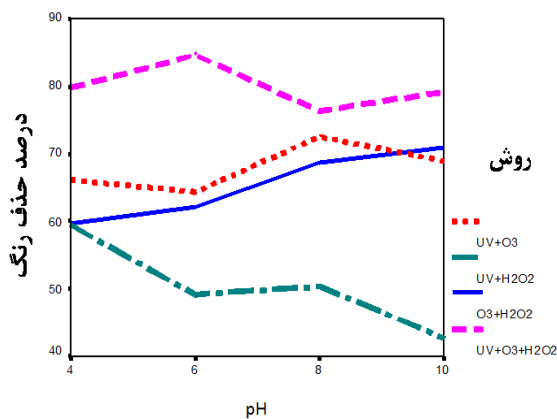
این مطالعه تجربی کاربردی که در آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کاشان انجام گردید، بر روی فاضلاب صنعت نساجی کاشان در مقیاس آزمایشگاهی و در سیستم بسته انجام شد. نمونه‌های گرفته شده از کارخانه نساجی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل شده و نمونه‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد مورد آزمایش قرار گرفتند. رآکتور تصفیه از جنس پیرکس به صورت مکعبی با سطح مقطع ۲۰×۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که مکعب دیگری با سطح مقطع ۱۰×۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر در داخل آن جای گرفته بود، ساخته شد. درون محفظه داخلی لامپ UV قرار داشت و در محفظه خارجی نمونه فاضلاب به حجم ۳ لیتر اضافه می‌شد. نازل‌هایی برای ورود گاز ازن در کف رآکتور تعبیه شده بود و برای انجام اختلاط کامل از یک هم‌زن در کف رآکتور استفاده می‌شد. برای تولید ازن از دستگاه ازن‌ساز ساخت شرکت ARDA فرانسه با ظرفیت اسمی ۱۰/۵ گرم ازن در ساعت استفاده شد. اشعه UV نیز توسط لامپ UV با قدرت ۱۲۵ وات ساخت شرکت NARVA آلمان مدل NEF در طول موج ۲۵۴ نانومتر تابیده شد. برای اندازه‌گیری pH از دستگاه pH متر به شماره مدل pH 262 با مارک Fanavary Taghizat Sangesh استفاده شد. برای اندازه‌گیری رنگ (طبق دستور استاندارد C ۲۱۲۰ کتاب استاندارد متود) از دستگاه اسپکتروفوتومتر APEL با شماره مدل PD-UV ۳۰۳ استفاده شد [۲۲]. رنگ نمونه خام و تصفیه شده با دستگاه اسپکتروفوتومتر در ۳۰ طول موج مختلف اندازه گرفته شد. با توجه به این که دستگاه مذکور شدت عبور نور را اندازه می‌گرفت، به همین دلیل درصد حذف رنگ در مراحل مختلف از روی درصد عبور نور محاسبه گردید. روش کار به این صورت بود که تصفیه فاضلاب در شرایط بهینه با در نظر گرفتن دوز ازن و غلظت پراکسید هیدروژن ثابت برای هر ۴ روش اکسیداسیون پیشرفته (شامل  $H_2O_2/O_3$ ,  $UV/O_3$ ,  $UV/H_2O_2$ ,  $O_3/UV/H_2O_2$ ) که به ترتیب برابر ۱۰ گرم در ساعت و ۲۹۴ میلی‌مول بر لیتر بود، انجام گرفت. اشعه UV نیز نور ثابتی داشته و تا پایان آزمایشات تغییری نداشت. این آزمایشات با ۳ بار تکرار در چهار pH ۴، ۶، ۸ و ۱۰ و در سه زمان تماس ۱۰، ۲۰، ۳۰ دقیقه برای ۴ روش اکسیداسیون پیشرفته انجام شد که در مجموع برای هر چهار روش

پساب‌های رنگی بسیار شدید است [۱۵] به همین دلیل، استانداردهای بین‌المللی زیست محیطی (ISO ۱۴۰۰۰، ۱۹۹۶) در مورد تخلیه پساب‌های رنگی از نظر قانونی بسیار شدیدتر شده است [۱۶]. روش‌های تصفیه بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی مختلف برای تصفیه پساب‌های نساجی استفاده شده است که در این میان، روش‌های بیولوژیکی ارزان و ساده هستند [۱۷]. برای رنگ‌زدایی صنایع نساجی روش‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان به انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون شیمیایی، تصفیه بیولوژیکی، تکنیک الکتروشیمیایی، تعویض یونی، جذب سطحی و فرآیندهای ترکیبی شامل ازن زنی و انعقاد یا انعقاد و تعویض یونی اشاره کرد، ولی از آنجا که روش‌های مذکور تنها آلودگی را از فاز آبی به شبکه جامد منتقل می‌کنند و فرآیندهای تخریبی نیستند، تکنیک‌های فراگیر به حساب نمی‌آیند [۱۱، ۱۴]. یکی از موثرترین روش‌ها فرآیند اکسیداسیون پیشرفته (AOPs) Advanced oxidation process است [۱۸]. اکسیداسیون پیشرفته عبارت است از اکسیداسیونی که برای تصفیه موثر فاضلاب به اندازه کافی رادیکال هیدروکسیل تولید کند [۱۹]. در فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته که بر مبنای تولید رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل ( $OH^0$ ) متمرکز است، از  $O_3$ ،  $H_2O_2$  یا هوا به عنوان اکسیدکننده و از امواج فرابنفش به عنوان انرژی خارجی استفاده می‌شود. رادیکال‌های هیدروکسیل با توانایی اکسیدکنندگی بالا با مولکول‌های رنگ واکنش داده، باعث تخریب رنگ و حذف آن از آب و پساب می‌شوند [۲۰]. این فرآیندها شامل استفاده از عوامل اکسیدکننده قوی ( $O_3$ ،  $UV/O_3$ ،  $UV/H_2O_2$ ،  $H_2O_2/O_3$ ،  $UV/H_2O_2$ ) برای تخریب آلاینده‌های آلی در حضور یا عدم حضور منبع تابش است [۵، ۲]. مزیت اصلی روش AOP، جلوگیری از آلودگی محصولات ثانویه در محیط، از بین بردن خطر افزایش دوز عوامل اکسیدکننده و سرعت بالای فرآیند و بهره‌وری می‌باشد [۲۱]. مطالعه محمد و همکاران نشان داد که روش ازن زنی حدود ۵۸ درصد و در صورت استفاده از فرآیندهای ترکیبی UV،  $UV/H_2O_2$  تا حدود ۹۸ درصد می‌تواند رنگ پساب فاضلاب خام صنایع نساجی را حذف کند [۵]. نتایج یک مطالعه دیگر نیز نشان دهنده حذف رنگ تا ۹۱ درصد و حذف COD تا ۸۲ درصد با استفاده از روش اکسیداسیون می‌باشد [۱۲]. Perkowski و Kos بر حذف کامل رنگ از فاضلاب کارخانه رنگ‌سازی با اکسیداسیون پیشرفته تاکید نموده‌اند [۲۱]. این مطالعه به منظور حذف رنگ‌ها از فاضلاب کارخانه نساجی با استفاده از روش اکسیداسیون پیشرفته پیشنهاد می‌شود تا در زمینه مدیریت پساب این صنایع روش‌های نوین را توصیه و معرفی نماید. هزینه کمتر،



نمودار شماره ۱- میانگین درصد حذف رنگ بر حسب زمان و نوع روش

در جدول شماره ۲ نیز میانگین و انحراف معیار درصد حذف رنگ بر حسب نوع روش و pH آورده شده است. در این جدول نیز بیشترین میزان حذف مربوط به روش  $O_3/UV/H_2O_2$  می باشد که در  $pH=6$  توانسته  $84/7$  درصد رنگ را حذف کند و در روش  $UV/O_3$  که بعد از روش ترکیبی قرار دارد، در  $pH=8$  بیشترین میزان حذف را داشته که برابر  $72/5$  درصد بوده است. روش  $H_2O_2/O_3$  نیز در  $pH=10$  میزان حذف بالایی را داشته که این میزان  $71$  درصد به دست آمد و روش  $UV/H_2O_2$  در آخرین مرتبه قرار داشت که در  $pH=4$  توانسته  $59/4$  درصد رنگ فاضلاب را کاهش دهد. روند تغییرات حذف رنگ بر حسب pH در این چهار روش نیز در نمودار شماره ۲ مشاهده می شود. در جدول شماره ۳ نیز منابع تغییرات رنگ با استفاده از مدل اندازه گیری تکراری برای زمان، نوع روش و pH نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می دهد زمان واکنش و اثرات متقابل زمان واکنش با نوع روش و pH بر افزایش درصد حذف رنگ موثر بوده است ( $P < 0.001$ ).



نمودار شماره ۲- میانگین درصد حذف رنگ بر حسب نوع روش و pH

تعداد ۱۴۴ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. در ابتدا نمونه خام فیلتر شده سه لیتری به pH مورد نظر رسانده شد و بعد در رآکتور ریخته شد. سپس، اگر از پراکسید هیدروژن استفاده می شد، مقدار مورد نظر به نمونه اضافه می شد و ۱۰ دقیقه زمان داده می شد تا بهم زده شود. در صورت استفاده از ازن نیز دستگاه ازن ساز روشن شده و شیر اکسیژن باز می شد تا ازن تولید شود و اگر لامپ UV مورد نیاز بود، این لامپ از قسمت بالای رآکتور در یک فضای بسته به نمونه تابانیده شد و بعد از اتمام زمان تماس مورد نظر نمونه به مدت ۳۰ دقیقه در زیر هود باقی می ماند تا ازن تهویه شود. بعد از اتمام آزمایشات رنگ نمونه فاضلاب تصفیه شده با دستگاه اسپکتروفتومتر و در ۳۰ طول موج شدت عبور نور خوانده شد. سپس، نتایج به دست آمده با روش اندازه گیری تکراری آمیخته و نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

## نتایج

نتایج به دست آمده از تصفیه فاضلاب نساجی با به کارگیری چهار روش اکسیداسیون پیشرفته در جداول شماره ۱ و ۲ خلاصه شده است. با توجه به اطلاعات ارائه شده در جدول شماره ۱، در هر ۴ روش با افزایش زمان تماس از ۱۰ به ۲۰ و سپس ۳۰ دقیقه میزان حذف افزایش یافته است که بیشترین میزان مربوط به روش  $O_3/UV/H_2O_2$  و برابر  $89/2$  می باشد. روش  $UV/O_3$  در مرتبه بعدی قرار دارد که در بیشترین زمان توانسته است  $73/7$  درصد رنگ فاضلاب را کاهش داده و روش  $H_2O_2/O_3$  روش بعدی است که با تفاوت کمی از روش  $UV/O_3$  توانسته است  $71/2$  درصد رنگ را حذف کند، ولی روش  $UV/H_2O_2$  کمترین میزان حذف را داشته که برابر  $58/3$  می باشد. روند تغییرات حذف رنگ در این چهار روش در نمودار شماره ۱ مشاهده می شود.

جدول شماره ۱- میانگین و انحراف معیار درصد حذف رنگ بر

روش	حسب نوع روش و زمان			
	زمان (دقیقه)	۳۰	۲۰	۱۰
UV+O <sub>3</sub>	۷۳/۷±۶/۹	۶۷/۵±۳/۳	۶۲/۷±۲/۹	
UV+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	۵۸/۳±۹/۱	۵۲/۱±۱۱/۱	۴۰/۷±۸/۳	
O <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	۷۱/۲±۷/۴	۶۶/۳±۶/۶	۵۸/۶±۸/۹	
UV+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +O <sub>3</sub>	۸۹/۲±۴/۳	۸۱±۶/۴	۶۹/۷±۶/۹	

جدول شماره ۲- میانگین و انحراف معیار درصد حذف رنگ بر حسب نوع روش و pH

روش	pH			
	۱۰	۸	۶	۴
UV+O <sub>3</sub>	۶۸/۹±۶/۸	۷۲/۵±۷/۶	۶۴/۳±۳/۱	۶۶/۱±۵/۱
UV+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	۴۲/۷±۱۱/۲	۵۰/۳±۱۳/۱	۴۹/۱±۷/۶	۵۹/۴±۱۰/۶
O <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	۷۱±۷/۹	۶۸/۸±۷/۵	۶۲/۱±۸/۲	۵۹/۶±۹/۶
UV+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +O <sub>3</sub>	۷۹/۲±۱۰/۳	۷۶/۳±۱۰/۴	۸۴/۷±۹	۷۹/۸±۱۰/۱

جدول شماره ۳- منابع تغییرات مدل اندازه‌گیری تکراری برای زمان، نوع روش و pH در حذف رنگ

منابع تغییرات	مجموع مربعات خطا	درجه آزادی	میانگین مربعات خطا	مقدار F	سطح معنی‌داری
زمان	۵۵۲۰/۶	۱	۵۵۲۰/۶	۲۳۸۷/۳	<۰/۰۰۱
زمان×نوع روش	۲۹۳/۵	۳	۹۷/۸	۴۲/۳	<۰/۰۰۱
زمان×pH	۱۹۲/۳	۳	۶۴/۱	۲۷/۷	<۰/۰۰۱
زمان×نوع روش×pH	۲۴۷/۴	۹	۲۷/۴	۱۱/۸	<۰/۰۰۱
خطا	۷۴	۳۲	۲/۳		

## بحث

نتایج تحقیق برتری روش O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> نسبت به ۳ روش را نشان داد. این برتری در حذف رنگ هم بر حسب نوع واکنش و pH و هم چنین نوع واکنش و زمان نشان داده می‌شود. در تصفیه فاضلاب نساجی مهم‌ترین عاملی که باید به‌طور موثر حذف گردد، رنگ و COD می‌باشد. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که روش UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> در مقایسه با روش‌های مورد مطالعه در این تحقیق موثرترین فرآیند رنگ‌بری می‌باشد. pH بهینه برای این روش ۶ و بهترین زمان واکنش ۳۰ دقیقه می‌باشد. زمانی که به آب یا پساب حاوی H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> تابش UV تابانیده شود رادیکال‌های هیدروکسیل تولید می‌شود. تابش UV سبب تفکیک H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> به رادیکال هیدروکسیل می‌شود. رادیکال‌های هیدروکسیل اکسیدکننده‌های قوی هستند که به آسانی ترکیبات آلی را اکسید می‌کنند [۲۳]. پس می‌توان گفت عامل تخریب در فرآیند رنگ‌بری با سیستم UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> رادیکال بسیار فعال هیدروکسیل (OH<sup>0</sup>) با پتانسیل اکسیداسیون ۲/۸ eV است که از پتانسیل اکسیداسیون پراکسید هیدروژن (۱/۷۸ eV) بیشتر بوده و می‌تواند بسیاری از ترکیبات آلی را اکسید کند [۲۴]. به‌نظر می‌رسد در سیستم UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> راندمان سیستم با افزایش در میزان رنگ فاضلاب کاهش می‌یابد [۲۵]. دلیل اینکه در روش UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> درصد

حذف رنگ در pH=۴ بهتر عمل می‌کند، این است که با افزایش pH به دلیل کاهش رادیکال‌های هیدروکسیل، راندمان کاهش می‌یابد، ولی آب اکسیژنه در شرایط اسیدی به ۲ رادیکال هیدروکسیل (۲OH<sup>0</sup>) تجزیه می‌شود که با ترکیبات آلی واکنش می‌دهد [۲۶]. در روش H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> در فاضلاب H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> به‌عنوان یک کاتالیزور عمل کرده و باعث تسریع تجزیه ازن به رادیکال هیدروکسیل می‌شود [۲۴]. دلیل اینکه H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> در pH ۱۰ نتیجه می‌دهد این است که در pH بالا حتی در غلظت‌های خیلی کم، H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> به یون‌های HO<sub>2</sub><sup>-</sup> جدا شده که می‌تواند باعث تجزیه موثرتر ازن به یون OH<sup>-</sup> شود و در نتیجه میزان تجزیه ازن با افزایش pH افزایش خواهد یافت، ولی در pH اسیدی H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> به آرامی با O<sub>3</sub> واکنش نشان می‌دهد [۲۷]. در روش UV/O<sub>3</sub> دلیل حذف بهتر رنگ در pH=۸ این است که، این pH در حضور یون‌های OH<sup>-</sup> ازن به سرعت به رادیکال‌های OH تجزیه می‌شود و دارای پتانسیل اکسیداسیون (۲/۷۸) بیشتر از پتانسیل اکسیداسیون (۲/۰۸) می‌باشد [۱۹]. فرآیند UV/O<sub>3</sub> باعث استفاده فوتون UV برای فعال کردن مولکول‌های ازن می‌شود که موجب تسهیل شکل‌گیری رادیکال‌های هیدروکسیل می‌شود [۲۸]. اضافه کردن H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> به فرآیند UV/O<sub>3</sub> باعث تسریع تجزیه ازن می‌شود که نتیجه آن افزایش تولید OH<sup>0</sup> است و از این نتایج مشخص است که ترکیبی

روش ۹ به دست آمد [۳۳]. مطالعه Kos و Perkowski بر روی فاضلاب کارخانه رنگ سازی [۳۴] نشان داده است که در روش  $O_3/UV/H_2O_2$  کاهش رنگ بین ۸۸-۹۸/۳ درصد بوده است که با نتایج ما هم خوانی دارد. در روش  $UV/H_2O_2$  نیز کاهش رنگ بین ۹۶/۷-۹۹/۲ درصد و در روش پراکسون ۹۸/۸-۹۸/۳ درصد بعد از ۱ ساعت به دست آمده است؛ این یافته با نتایج ما هم خوانی ندارد. شاید این اختلاف به دلیل کیفیت فاضلاب و نوع ترکیبات رنگی، مدت زمان داده شده به واکنش و غلظت آب اکسیژنه مصرفی باشد. مطالعه Azbar و همکاران بر روی فاضلاب رنگی پلی استر و الیاف استات با کاربرد AOPs نشان داده است که حداکثر درصد حذف رنگ ۵۰ درصد است ولی در روش  $O_3/UV/H_2O_2$  بهترین نتیجه برای حذف رنگ ۹۶ درصد بود که با مطالعات ما هم خوانی دارد [۳۵]. نتایج تحقیقات Perkowski و Ledakowicz در تجزیه رنگ در محلول آبی در طی فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته نشان داد که بهترین راندمان بی رنگ کردن در سیستم  $O_3/UV/H_2O_2$  به دست آمد و کندترین روش زمانی بود که ازن و پراکسید هیدروژن به کار برده شد. در روش  $UV/O_3$  نیز زمان مورد نیاز برای به دست آوردن ۸۰ درصد حذف رنگ ۵۵ و ۴۲ دقیقه بود و برای روش  $UV/H_2O_2$  در زمان های ۳۰ تا ۴۰ دقیقه ۵۰ درصد حذف رنگ مشاهده شد که با مطالعات ما هم خوانی دارد [۳۶].

#### نتیجه گیری

در مجموع می توان گفت که روش ترکیبی  $O_3/UV/H_2O_2$  مورد استفاده در این مطالعه از جنبه های مختلفی بر سایر روش های کاربردی در حذف رنگ ها از پساب کارخانجات نساجی برتری دارد. pH بهینه برای این روش ۶ و بهترین زمان واکنش ۳۰ دقیقه می باشد. این روش با داشتن مزیت هایی مانند کاهش هزینه ها، عدم نیاز به دستگاه ها و وسایل آزمایشگاهی گران قیمت، سادگی روش و همچنین به کارگیری این روش در مناطق مختلف جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست می تواند توصیه گردد.

#### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از حمایت های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کاشان و همچنین از زحمات پرسنل آزمایشگاه شیمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کاشان تشکر می گردد. این مقاله حاصل از بخشی از یافته های پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد می باشد.

از این فرآیند برای رسیدن به سطح مطلوب لازم است [۲۵]. زمان واکنش مورد نیاز برای حذف رنگ با استفاده از  $H_2O_2$  های مختلف با توجه به نوع رنگ می باشد که نابودی کامل رنگ ها بین ۳۰ تا ۹۰ دقیقه رخ می دهد [۲۴]. Huang و همکاران با انجام ازناسیون و  $UV/H_2O_2$  بر روی پساب حاوی ۲ رنگ Blue199 و Black22 و ۳ زمان ماند ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه نشان داده اند که تصفیه با ازناسیون موثرتر از  $UV/H_2O_2$  می باشد. ایشان بیان می کنند که عملکرد پایین این روش در راکتور ناشی از نفوذ کوتاه پرتو UV مسدود شده توسط رنگ AZO می باشد [۲۹]. Kalt و Galindo گزارش کردند که روش  $UV/H_2O_2$  بیشترین تأثیر را در محیط اسیدی (۴-۳ pH) در بی رنگ کردن داشته است که با نتایج ما هم خوانی دارد [۲۷]. مطالعه Hajira Khan و همکاران روی پساب با رنگ C1-5B نشان داده است که روش  $UV/O_3$  قادر به حذف رنگ تا ۵۱ درصد بوده، اما افزایش قابل توجهی در حذف رنگ با افزایش زمان به ۶۰ دقیقه با تابش نور UV به دست آمد، که برابر ۹۶ درصد بود [۲۵]. Arsalan و همکاران نشان داده اند که تصفیه فاضلاب کارخانه رنگ سازی با روش  $H_2O_2/O_3$  به pH پساب وابسته است. آنها گزارش کرده اند که قدرت جذب ازن در  $pH=11/5$  برابر با ۷۴ درصد است و در  $pH=2/5$  فقط ۱۱ درصد جذب دارد. این پدیده به این واقعیت نسبت داده می شود که در pH بالاتر بیشتر  $H_2O_2$  به یون های  $HO_2^-$  تبدیل خواهد شد. در نتیجه میزان تجزیه ازن با افزایش pH افزایش خواهد یافت که با نتایج ما مطابقت دارد [۳۰]. در تحقیق Bui Xuan Thanh و همکاران بر روی حذف مواد آلی غیر قابل تجزیه از بیوراکتور نفوذ غشایی با روش  $H_2O_2/O_3$  نتایج حاکی از آن است که روند اکسیداسیون با پراکسون ( $H_2O_2/O_3$ ) ۵۳ درصد رنگ را در pH ۸/۵ به مدت ۲۵ دقیقه حذف نموده است، در حالی که با اکسیداسیون  $UV/O_3$  رنگ را در ۲۵ دقیقه به میزان ۵۴ درصد حذف کرده است [۳۱]. مطالعه Hajir Khan و همکاران روی پساب با رنگ C1-5B نشان داده است که روش  $UV/O_3$  قادر به حذف رنگ تا ۵۱ درصد بود اما افزایش قابل توجهی (۹۶ درصد) در حذف رنگ با افزایش زمان به ۶۰ دقیقه با تابش نور UV به دست آمد که بیانگر این است که با افزایش زمان درصد حذف نیز افزایش می یابد [۳۲]. هم چنین، در مطالعه Taner yonar و همکاران بر روی پساب نساجی، بهترین نتیجه درصد حذف رنگ با استفاده از فرآیند  $O_3/UV/H_2O_2$  ۹۹ درصد بود و با روش  $UV/H_2O_2$  حذف رنگ در زمان ۶۰ دقیقه ۹۶ درصد و pH بهینه برای این روش برابر ۳ بوده است و در روش  $UV/O_3$  بعد از ۶۰ دقیقه حذف رنگ به میزان ۹۸ درصد رسیده و pH بهینه برای این

## References:

- [1] Daneshvar N, Salari D, Khataee AR. Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water: investigation of the effect of operational parameters. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* 2003; 157: 111-6.
- [2] Gharbani P, Tabatabaie SM, Mehrizad A. Removal of Congo red from textile wastewater by ozonation. *Environ Sci Tech* 2008; 5(4): 495-500.
- [3] Tantak NP, Chaudhari S. Degradation of azo dyes by sequential Fenton's oxidation and aerobic biological treatment. *J Hazard Mater* 2006; B136: 698-705.
- [4] Selcuk H, Meric S. Ozone Pre-Oxidation of A Textile Industry Wastewater for Acute Toxicity Removal. *Global NEST J* 2006; 8(2): 95-102.
- [5] Muhammad A, Shafeeq A, Butt MA, Rizvi ZH, Chughtai MA, Rehman S. Decolorization and Removal of COD and BOD from Raw and Biotreated Textile dye Bath Effluent Through Advanced Oxidation Processes (AOPS). *Brazilian J Chem Eng* 2008; 25(03): 453-9.
- [6] Hassani AH, Mirzayee R, Nasser S, Borghei M, Gholami M, Torabifar B. Nanofiltration process on dye removal from simulated textile wastewater. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 2008; 5(3): 401-8.
- [7] Muthukumar M, Karupiah MT, Raju GB. Electrochemical removal of CI Acid orange 10 from aqueous solutions. *Sep Purif Technol* 2007; 55(2): 198-205.
- [8] Daneshvar N, Khataee AR, Djafarzadeh N. The use of artificial neural networks (ANN) for modeling of decolorization of textile dye solution containing C. I. Basic Yellow 28 by electrocoagulation process. *J Hazard Mater* 2006; B137: 1788-95.
- [9] Song S, He Z, Qiu J, Xu L, Chen J. 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* 2007; 55: 238-45.
- [10] Tapalad T, Neramittagapong A, Neramittagapong S, Boonmee M. Degradation of Congo Red Dye by Ozonation. *Chiang Mai J Sci* 2008; 35(1): 63-8.
- [11] Abo-Farha SA. Comparative Study of Oxidation of Some Azo Dyes by Different Advanced Oxidation Processes: Fenton, Fenton-Like, Photo-Fenton and Photo-Fenton-Like. *J Am Sci* 2010; 6(10): 128-42.
- [12] Rehman MSU, Ahmad N, Yasar A, Sawar M, Muhammad A. Application of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV & UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> systems for the post treatment of biotreated industrial wastewater. *Environ Agric Food Chem* 2006; 5(6): 1575-82.
- [13] Mohan SV, Rao NC, Prasad KK, Karthikeyan J. Treatment of simulated Reactive Yellow 22 (Azo) dye effluents using Spirogyra species. *Waste Manag* 2002; 22(6): 575-82.
- [14] Solmaz SKA, Birgul A, Ustun GE, Yonar T. Colour and COD removal from textile effluent by coagulation and advanced oxidation processes. *Coloration Technol* 2006; 122: 102-9.
- [15] Gao BY, Yue QY, Wang Y, Zhou WZ. Color removal from dye-containing wastewater by magnesium chloride. *Environ Manage* 2007; 82(2): 167-72.
- [16] Caliman AF, Cojocaru C, Antoniadis A, Poullos I. Optimized photocatalytic degradation of Alcian Blue 8 GX in the presence of TiO<sub>2</sub> suspensions. *J Hazard Mater* 2007; 144(1-2): 265-73.
- [17] Rezaee A, Ghaneian MT, Khavanin A, Hashemian SJ, Moussavi G. Photochemical oxidation of reactive Blue 19 dye (RB19) in textile wastewater by UV/K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> process. *Environ Health Sci Eng* 2008; 5(2): 95-100.
- [18] Ozdemir C, den MKO, Sahinkaya S, Kalipci E. Color Removal from Synthetic Textile Wastewater by Sono-Fenton Process. *Clean: Soil, Air, Water* 2011; 39(1): 60-7.
- [19] Mostafaei G, Dehghani R, Hasanzadeh M, Mousavi G. A comparison between advanced O<sub>3</sub>/UV and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV oxidation processes for the treatment of municipal solid waste leachate. *Feyz* 2011; 16(1): 71-8 [in Persian]
- [20] Peres JA, Beltrán de Heredia J, Domínguez JR. Integrated Fenton's reagent coagulation/flocculation process for the treatment of cork processing wastewaters. *J Hazard Mater* 2004; 107(3): 115-21.
- [21] Kos L, Perkowski J. Decolouration of Real Textile Wastewater with Advanced Oxidation Processes. *Fibres & Textiles* 2003; 114(43): 81-5.
- [22] APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater: Washington DC, USA: American Public Health Association; 2005.
- [23] Georgiou D, Melidis P, Aivasidis A, Gimouhopoulos K. Degradation of azo reactive dyes by ultraviolet radiation in the presence of hydrogen peroxide. *Dyes Pigment* 2002; 52: 69-78.
- [24] Kalra SS, Mohan S, Sinha A, Singh G. Advanced Oxidation Processes for Treatment of Textile and Dye Wastewater: A Review. 2<sup>nd</sup> International Conference on Environmental Science and Development 2011; 4: 271-5.
- [25] Khan H, Ahmad N, Yasar A, Shahid R. Advanced Oxidative Decolorization of Red CI-5B: Effects of Dye Concentration, Process Optimization and Reaction Kinetics. *J Environ Stud* 2010; 19(1): 83-92.
- [26] Crittenden JC, HU S, Hand DW, SARAH. A Kinetic model for H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV process in A completely mixed batch reactor. *Wat Res* 1999; 33(10): 2315-28.

- [27] Al-KDASL A, IDRIS A, SAED K, GUAN CT. Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes - A Review. *Global Nest Int J* 2004; 6(3): 222-30.
- [28] Hung-Yee S, Ching-Rong H. Degradation of commercial azo dyes in water using ozonation and UV enhanced ozonation process. *Chemosphere* 1995; 31: 3813-25.
- [29] Huang CR, Lin YK, Shu HY. Wastewater Decolorization And TOC-Reduction By Sequential Treatment. *Am. Dyestuff Rep* 1994. p. 15-8.
- [30] Arslan I, Isil AB, Tuhkanen IA. Advanced oxidation of synthetic dyehouse effluent by O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV processes. *Environ Technol* 1999; 20: 921-31.
- [31] Thanh BX, Quyen VTK, Dan NP. Removal of Non-Biodegradable Organic Matters from Membrane Bioreactor Permeate By Oxidation Processes. *J Water Sustain* 2011; 1(3): 289-99.
- [32] Khan H, Ahmad N, Yasar A, Shahid R. Advanced Oxidative Decolorization of Red CI-5B: Effects of Dye Concentration, Process Optimization and Reaction Kinetics. *J Environ Stud* 2010; 19(1): 83-92.
- [33] Yonar T, Yonar GK, Kestioglu K, Azbar N. Decolorisation of textile effluent using homogeneous photochemical oxidation processes. *Color Technol* 2005; 121: 258-64.
- [34] Perkowski J, Kos L. Decolouration of Model Dyehouse Wastewater with Advanced Oxidation Processes. *Fibres Text East Eur* 2003; 11(3): 67-71.
- [35] Azbar N, Yonar T, Kestioglu K. Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from a polyester and acetate fiber dyeing effluent. *Chemosphere* 2004; 55: 35-43.
- [36] Perkowski J, Ledakowicz S. Decomposition of Anthraquinone Dye in the Aqueous Solution during Advanced Oxidation Processes. *Fibres Textiles in Eastern Europe* 2002: 68-72.