



## بررسی کارایی فرآیند اکسیداسیون پیشرفته به روش پراکسون به منظور حذف رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸ از محیط‌های آبی

محمد ملکوتیان<sup>۱،۲\*</sup>، خدیجه گل میرزایی<sup>۲</sup>

۱- استاد، مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران، صندوق پستی: ۷۶۱۷۵-۵۳۱

۲- گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران، صندوق پستی: ۷۶۱۷۵-۵۳۱

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران، صندوق پستی: ۷۶۱۷۵-۵۳۱

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۲۰ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۴/۹/۲۰

### چکیده

در مطالعه حاضر اکسیداسیون رنگزاهای از پساب‌های رنگی نساجی توسط ازن/پراکسید هیدروژن مورد ارزیابی قرار گرفت. رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸ مورد نظر برای آزمایش بود. اکسیداسیون رنگزای توسط ازن/پراکسید هیدروژن از طریق طیف‌سنجی مطالعه شد. حداکثر بازده حذف رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸ در شرایط بهینه شامل  $pH=9$  زمان تماس ۳۰ دقیقه، غلظت اولیه رنگ ۱۰۰ ppm و غلظت بهینه ۰٫۰۰۵ مولار پراکسید هیدروژن در غلظت ازن ثابت ۰٫۰۴ گرم در ساعت با فشار ۰٫۵ بار در محلول سنتتیک ۹۷٫۰۹٪ به دست آمد. در شرایط بهینه بازده حذف در محلول واقعی (فاضلاب نساجی یزدباف) ۸۷٫۵۶٪ بود. سیستم ازن/پراکسید هیدروژن کارایی مناسبی در حذف رنگ مورد نظر داشت. با توجه به بازده بالا در شرایط واقعی می‌توان جهت حذف آلاینده‌های مقاوم در صنایع مختلف استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: پراکسید هیدروژن، رادیکال هیدروکسیل، ازن، نساجی یزدباف.

## Evaluating the Performance of Advanced Oxidation Process by Pyroxene Method for Removal of Reactive Red 198 in Aquatic Environments

M. Malakootian<sup>1,2\*</sup>, Kh. Golmirzaee<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Environmental Health Engineering Research Center and Department of Environmental Health, Kerman University of Medical Sciences, P.O.Box: 76175-531, Kerman, Iran.

<sup>2</sup> Department of Environmental Health, School of Public Health, Kerman University of Medical Sciences, P.O.Box: 76175-531, Kerman, Iran.

Received: 07-02-2015

Accepted: 10-06-2015

Available online: 11-12-2015

### Abstract

Present study oxidation of dyes from dye effluents by  $O_3/H_2O_2$  was investigated. Reactive red 198 (RR198) examined as a target dye. Dye oxidation measured by spectrophotometer. The maximum removal efficiency in optimum conditions including  $pH=9$ , contact time=30 minutes, the initial concentration of dye=100 ppm,  $H_2O_2$  concentration=0.005 molar,  $O_3$  concentration = 0.04 g/hr were 97.09% and 87.56% for synthetic solution and actual wastewater (wastewater from Yazdbaft textile) respectively.  $O_3/H_2O_2$  had good efficiency in dye removal. This method with respect to high efficiency in actual condition could be used in dye removal from various industries. J. Color Sci. Tech. 9(2015), 199-205©. Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Hydrogen peroxide, Hydroxyl radical, Ozone, Yazdbaft textile.

## ۱- مقدمه

ملکوتیان و همکارانش در سال ۲۰۱۳ در ایران طی بررسی کارایی فرآیند اکسیداسیون پیشرفته در حذف سیانید از محلول‌های آبی نشان دادند که حضور آب‌اکسیژنه در فرآیند، کارایی سیستم را بالا می‌برد [۷]. رضایی منفرد و همکارانش در سال ۲۰۱۳ طی بررسی تأثیر روش‌های اکسیداسیون پیشرفته بر حذف رنگ از فاضلاب صنایع نساجی، نشان دادند که درصد حذف رنگ برحسب نوع روش و زمان متفاوت هست [۴]. رحمانی و همکارانش در ایران در سال ۲۰۱۱ کارایی فرآیندهای اکسیداسیون فوتوشیمیایی پیشرفته در حذف رنگ‌های بازیگ بنفش ۱۶ و رنگزای راکتیو قرمز ۱۲۰ از محیط آبی مورد بررسی قرار دادند و نتایجی را به دست آوردند که نشان داد تابش امواج فرابنفش به‌تنهایی قادر به حذف کامل رنگ‌های مذکور نبوده و نیاز به کاربرد روش تلفیقی فرابنفش/پراکسید هیدروژن می‌باشد [۸]. در تحقیقی طی اکسیداسیون رنگ‌های راکتیو با استفاده از کربن فعال/پراکسید هیدروژن از پساب‌های رنگی، به نتایج قابل توجهی دست یافتند [۹]. قانعیان و همکارانش در سال ۲۰۱۰ طی مطالعه‌ای کاربرد ازن‌زنی در حذف رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸، در شرایط مختلف آزمایش به نتایجی دست یافتند و بر حذف رنگ‌های محلول در آب توسط ازن تأکید نمودند [۲].

ملکوتیان و همکارانش در سال ۲۰۰۹ در ایران طی بررسی حذف فنل به روش اکسیداسیون پیشرفته از محلول‌های آبی نتایج قابل قبولی به دست آوردند [۱۰]. رسل<sup>۴</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۹ در اسپانیا با روش اکسیداسیون پیشرفته (ازن با پراکسید هیدروژن) برای حذف کل کربن آلی از محلول‌های آبی انجام دادند که بازده حذف قابل توجهی به دست آوردند [۱۱].

پرکوسکی<sup>۵</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۳ در لهستان بر حذف کامل رنگ از فاضلاب کارخانه رنگ‌سازی با اکسیداسیون پیشرفته تأکید نموده‌اند [۱۲]. پرگالیگول<sup>۶</sup> نیز در فرآیند ازن‌زنی سه نوع رنگزای رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸ به روش پراکسون<sup>۷</sup> (ازن/پراکسید هیدروژن) می‌باشد.

## ۲- بخش تجربی

## ۲-۱- مواد

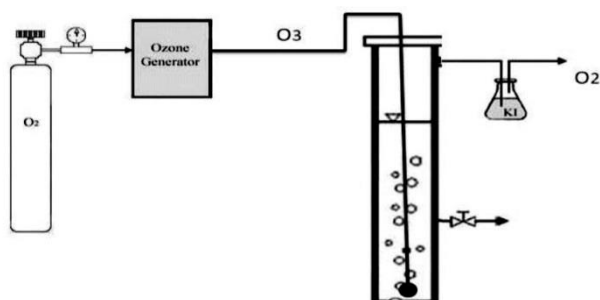
مطالعه تجربی است که در بازه زمانی فروردین لغایت آذرماه سال ۹۳ در مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان انجام شد.

میزان تولید رنگ در جهان در حدود یک میلیون تن تخمین زده می‌شود که در صنایع متعدد نظیر تولید مواد آرایشی، چرم، کاغذ و صنایع نساجی مصرف می‌شود [۱]. حدود ۵۰٪ رنگ‌های راکتیو<sup>۱</sup>، ۲۰٪-۸ رنگ‌های پراکنده<sup>۲</sup> و ۱٪ رنگ‌دانه‌ها<sup>۳</sup> مورد استفاده از طریق پساب خروجی به محیط تخلیه می‌شوند [۲]. مصرف ترکیبات رنگی در فرآیندهای صنعتی منجر به تولید حجم زیادی از پساب‌های رنگی می‌شود [۱]. این نوع فاضلاب‌ها معمولاً سمی، مقاوم به تجزیه زیستی و پایدار در محیط زیست می‌باشند [۲]. رنگ‌ها همچنین سبب ممانعت از انتقال کامل نور به داخل آب شده و در نتیجه موجب کاهش عمل فوتوسنتز و متعاقب آن کاهش اکسیژن محلول در آب می‌گردند [۳]. استانداردهای بین‌المللی زیست‌محیطی (ISO14000,1996) در مورد تخلیه پساب‌های رنگی از نظر قانونی بسیار شدیدتر شده است. روش‌های تصفیه زیستی، شیمیایی و فیزیکی مختلف برای تصفیه پساب‌های نساجی استفاده شده است [۴]. این روش‌ها معمولاً تولید مقادیر قابل توجهی لجن می‌نمایند که مشکلات زیست‌محیطی دیگری را به دنبال خواهد داشت و در غلظت‌های کم، سینتیک واکنش کند بوده و میزان غلظت باقی‌مانده رنگ هنگام تخلیه خیلی بیشتر از حد مجاز خواهد بود [۳] و همچنین روش‌های زیستی متداول برای حذف اغلب رنگ‌های سنتتیک به دلیل ساختار حلقوی پیچیده و ماهیت مقاوم رنگ مؤثر نیستند. از این رو در سال‌های اخیر فرآیند اکسیداسیون پیشرفته که بر مبنای تولید رادیکال‌های آزاد و فعال هیدروکسیل می‌باشند به دلیل قدرت بالای اکسایش با پذیرش علمی نسبتاً گسترده‌ای روبرو شده‌اند. مزیت اصلی روش فرآیند اکسیداسیون پیشرفته سرعت بالای فرآیند و بهره‌وری است [۴]. در میان انواع فرآیندهای اکسیداسیون شیمیایی برای تصفیه رنگ و پساب‌خانه رنگ، ازن‌زنی مزایایی دارد،

ازن به سرعت به رادیکال‌های آزاد تجزیه شده و با پیوندهای دوگانه موجود در رنگ از طریق واکنش مستقیم و واکنش غیرمستقیم (رادیکال‌های آزاد) حمله می‌نماید، ازن به‌صورت انتخابی واکنش می‌دهد و آلاینده‌ها را از بین می‌برد، مانع تولید لجن دارای پتانسیل بالا برای حذف رنگ و کاهش مواد آلی هست [۵، ۶]. ازن اکسیدانی قدرتمند که برای حذف آلاینده از پساب صنایع به‌طور گسترده استفاده می‌شود [۶]. با تولید رادیکال‌های آزاد می‌توان آلاینده‌ها را با بازده بیشتری حذف نمود که در این میان با به کار بردن پراکسید هیدروژن توأم با ازن کارایی سیستم ازن/پراکسید هیدروژن افزایش می‌یابد.

4- Rosal  
5- Perkowski  
6- Pergiligul  
7- Pyroxene

1- Reactive  
2- Dispers  
3- Pigment



شکل ۱: شمایی راکتور و تجهیزات مورد نیاز.

با به دست آوردن شرایط بهینه، آزمایش بر روی نمونه واقعی (کارخانه نساجی یزدباف) انجام گرفت. ازن مورد نیاز توسط دستگاه ژنراتور ازن آردای فرانسه<sup>۳</sup> با ظرفیت اسمی ۵ gr/h با استفاده از کمپرسور هوا با فشار ۰٫۵ بار به عنوان گاز ورودی تولید شد، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آمار توصیفی انجام گرفت

### ۳- نتایج و بحث

#### تأثیر pH بر کارایی سیستم ازن‌زنی

نتایج حاصل از تأثیر pH در فرآیند اکسیداسیون سیستم ازن‌زنی در غلظت ۱۰۰ گرم بر لیتر، رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸ در pHهای (۹٫۷،۴) در شکل ۲ آورده شده است.

- 1- Reactor
- 2- Plaksyglass
- 3- ARDA France

رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸ از شرکت الوان ثابت خریداری شده که ویژگی‌های رنگ موردنظر در جدول ۱ آورده شده است و سایر مواد شیمیایی مورد استفاده، محصول مرک آلمان می باشد، که اسیدسولفوریک با درصد خلوص ۹۸ درصد، پراکسید هیدروژن با حجم آبی ۳۵ درصد می باشد

#### ۲-۲- روش کار

برای اندازه‌گیری میزان ازن وارد شده به سیستم، ازن وارد دو ظرف حاوی یدید پتاسیم شده و غلظت ازن تزریقی به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد [۱۴]. رنگ محلول مادر با غلظت ۱۰۰۰ mg/l تهیه شد، غلظت‌های موردنظر در آزمایش (۲۵۰، ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) به حجم یک لیتر توسط رقیق‌سازی محلول مادر تهیه شد، تنظیم pH محلول در مقادیر (۴٫۹،۷) به وسیله افزودن هیدروکسید سدیم و اسیدسولفوریک انجام گرفت. سپس تهیه محلول پراکسید هیدروژن به حجم ۱۰ میلی‌لیتر با غلظت‌های (۰٫۱، ۰٫۰۱، ۰٫۰۰۱، ۰٫۰۰۵، ۰٫۰۰۰۵ مولار) و نمونه در زمان‌های (دقیقه ۳۰، ۲۰، ۱۰) مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌های تهیه شده وارد ظرف<sup>۱</sup> شده و ازن به میزان ۰٫۴ گرم بر ساعت به راکتور تزریق شد و غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن نیز افزوده شد. ازن خروجی از ظرف وارد محلول یدید پتاسیم شد و نمونه‌ها با طول موج ۵۱۸ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج دو پرتوی UV-vis1800(Shimadzu, Japan) اندازه‌گیری شد.

فرآیند ازن‌زنی در یک ظرف آزمایشگاهی استوانه‌ای شکل از جنس پلکسیگلاس<sup>۲</sup> با ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر و قطر ۵ سانتی‌متر انجام گرفت که در شکل ۱ به صورت شمایی راکتور و تجهیزات مورد نیاز آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات شیمیایی و فیزیکی رنگزای راکتیو قرمز.

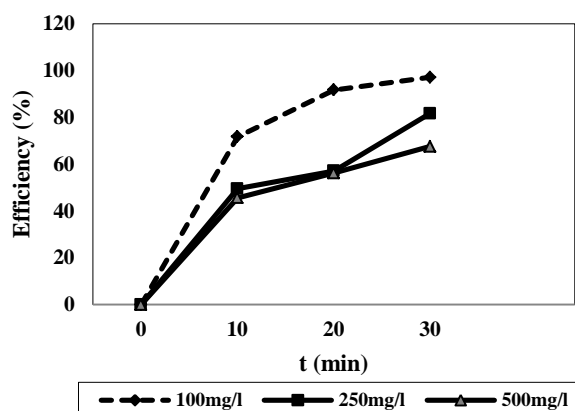
ساختار شیمیایی	نوع رنگ	فرمول شیمیایی	وزن مولکولی (gr/mol)	طول موج بیشینه جذب (nm)	ایندکس رنگ
	منوآزو	C <sub>27</sub> H <sub>18</sub> CLN <sub>7</sub> Na <sub>4</sub> O <sub>15</sub> S <sub>5</sub>	۹۶۷٫۵	۵۱۸	C.I:Reactive Red 198, C.I.18221

جدول ۲: نتایج غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن بر بازده حذف رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸.

غلظت $H_2O_2$ (مولار)	غلظت ازن (گرم بر لیتر)	pH	بازده حذف در ۳۰ دقیقه (%)
۰,۱	۰,۰۴	۹	۷۹,۹۲
۰,۰۱	۰,۰۴	۹	۸۳
۰,۰۰۱	۰,۰۴	۹	۹۳,۲۳
۰,۰۰۵	۰,۰۴	۹	۹۷,۰۹
۰,۰۰۰۵	۰,۰۴	۹	۹۰,۹۸
*	۰,۰۴	۹	۹۰,۷۵

با توجه به نتایج با افزایش غلظت رنگ حذف رنگ کاهش می‌یابد به نحوی که حذف رنگ در زمان ۳۰ دقیقه در غلظت ۰,۱۰۰، ۰,۲۵۰، ۰,۵۰۰ در pH=۹ به ترتیب ۹۷,۰۹، ۸۱,۶۶، ۶۷,۵۹ می‌باشد که بیشینه بازده در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸، ۹۷,۰۹٪ به دست آمد.

نتایج حاصل از کیفیت شیمیایی محلول واقعی (فاضلاب کارخانه نساجی یزدباف) و همچنین نتایج مربوط به میزان حذف از محلول واقعی در شرایط بهینه در جدول ۳ آمده است.

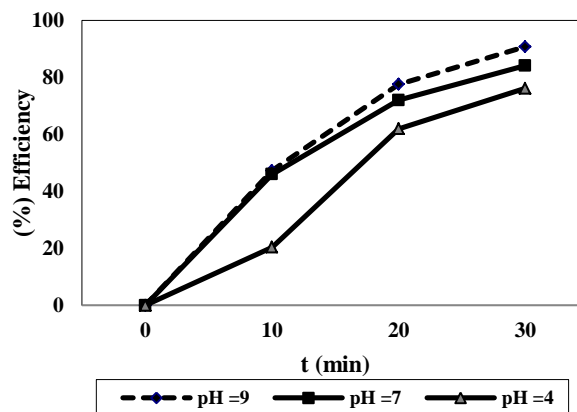


شکل ۳: تأثیر غلظت‌های مختلف رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸ بر کارایی سیستم ازن/پراکسید هیدروژن

[ $O_3$ ]=۰,۰۴ gr/hr, [ $H_2O_2$ ]=مولار ۰,۰۰۵, pH=۹.

جدول ۳: ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی فاضلاب کارخانه نساجی یزدباف.

pH	کدورت NTU	بنزن (mg/l)	شوینده (mg/l)	نیکل (mg/l)	سرب (mg/l)	کرم (mg/l)	هدایت الکتریکی ( $\mu s/cm$ ) EC	اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (mg/l) BOD	کل مواد معلق (mg/l) TSS	کل مواد محلول (mg/l) TDS	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (mg/l) COD
۱۱	۶۴۰	۱۵۲	۱۲۰	۱۶	۳۰	۲۰	۴۸۴۰	۲۸۰-۳۲۰	۲۲۰۰	-۱۰۷۰۰ ۹۳۰۰	۶۶۲-۳۲۸۰



شکل ۲: تأثیر pH بر فرآیند اکسیداسیون رنگزای راکتیو قرمز (غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رنگ غلظت ازن ۰,۰۴ گرم بر ساعت)

با توجه به نتایج با افزایش pH بازده حذف رنگ نیز افزایش می‌یابد به نحوی که حذف رنگ در زمان تماس ۳۰ دقیقه در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در pHهای ۹، ۷، ۴ به ترتیب به ۷۶,۱۵، ۸۴,۱۴، ۹۰,۷۵ درصد رسیده است که در pH=۹ حداکثر بازده ۹۰,۷۵٪ هست.

#### تأثیر غلظت $H_2O_2$ بر کارایی فرآیند ازن زنی:

نتایج حاصل از تأثیر غلظت پراکسید هیدروژن در فرآیند اکسیداسیون سیستم ازن زنی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸ در جدول ۲ آورده شده است در غلظت ۰,۰۰۵ مولار پراکسید هیدروژن حداکثر بازده ۹۷,۰۹٪ شد.

#### تأثیر غلظت‌های رنگزای راکتیو قرمز بر کارایی فرآیند ازن/پراکسید هیدروژن

نتایج حاصل از تأثیر غلظت‌های مختلف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در pH=۹ بر روی کارایی فرآیند پراکسون در شکل ۳ ذکر شده است.

اکسیداسیون رنگرها با استفاده از ازن /پراکسید هیدروژن در مقادیر مختلف pH از مدل سنتتیکی درجه یک پیروی می کند.

در مطالعه ای یانگ<sup>۲</sup> و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در تایوان طی تحقیق بر روی حذف نیتروبنزن به روش ازن زنی کاتالیزوری به این نتیجه رسیدند، سرعت حذف نیتروبنزن توسط ازن در pH=۲ بسیار پایین بوده ولی با افزایش pH میزان حذف نیز افزایش یافت [۱۶]. که با نتایج حاصل از این مطالعه مطابقت دارد.

نتایج مطالعه قانعیان و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در ایران در حذف رنگزای راکتیو قرمز به روش ازن زنی و مطالعه کپا<sup>۳</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۸ در لهستان طی مطالعه حذف سیانید به روش ازن /پراکسید هیدروژن، حداکثر بازده در pH قلیایی به دست آوردند [۱۷]، که با نتایج حاصل از این مطالعه هم خوانی دارد. [۲۰]. در سیستم پراکسون رادیکال های هیدروکسیل به وسیله سازوکار زنجیره ای واکنش های بین ازن و پراکسید هیدروژن تولید می شود [۱۸].

#### تأثیر غلظت پراکسید هیدروژن بر کارایی فرآیند ازن زنی

از آنجایی که پراکسید هیدروژن تنهایی اکسیدانت خوبی برای بسیاری از آلودگی ها نیست و بایستی با اشعه UV و نمک های فلزات خاص یا ازن ترکیب و نتایج مطلوب تری به دست می آید [۱۹]. تولید رادیکال هیدروکسیل توسط فرآیند اکسیداسیون پیشرفته نوبدبخش ابزاری برای از بین بردن مقاومت ترکیبات آلی است. بنابراین ازن توأم با پراکسید هیدروژن نتایج مطلوب تری را نشان می دهد. اما یافتن غلظت بهینه آن دشوار است. زیرا رادیکال های خورنده<sup>۴</sup> نیز در طی فرآیندهایی در غلظت های بالای پراکسید هیدروژن تولید شده که مانع اکسیداسیون آلاینده می شود [۲۰].

تیزاویوی<sup>۵</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۶ در تونس طی تحقیق بر روی تصفیه شیرابه لندفیل با ازن و ترکیب ازن با پراکسید هیدروژن نشان دادند که با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن، میزان حذف آلاینده افزایش نمی یابد [۱۸] که نتایج به دست آمده از این مطالعات با نتایج مطالعه حاضر هم خوانی دارد.

#### تأثیر غلظت های رنگزای راکتیو قرمز بر کارایی فرآیند ازن /پراکسید هیدروژن

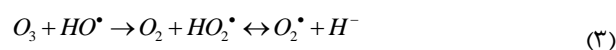
افزایش غلظت اولیه رنگ باعث کاهش بازده حذف آن می گردد به طوری که در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر حذف رنگ در دقایق ابتدایی کامل می شود اما میزان حذف رنگ در غلظت های ۲۵۰

بازده حذف رنگزای راکتیو قرمز در نمونه واقعی ۸۷٫۵۶٪ شد. میزان حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ موجود در نمونه واقعی حاصل شد که بازده کمتر از نمونه مصنوعی<sup>۱</sup> دارد

#### تأثیر pH بر کارایی سیستم ازن توأم با پراکسید هیدروژن

ازن مواد آلی موجود در آب را از طریق سازوکار واکنش مستقیم (اثر ازن مولکولی بر گروه های عامل خاص از آلاینده ها) و واکنش غیرمستقیم (تجزیه ازن و تولید رادیکال هیدروکسیل) تخریب می کند [۱۴]. واکنش مولکول ازن انتخابی بوده و تنها قادر است با گروه های عامل خاص از قبیل پیوندهای دوگانه وارد واکنش شود و به دلیل اینکه مولکول رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸ در گروه کروموفوری خود دارای یک پیوند دوگانه N=N است. واکنش با آن تقریباً به سرعت رخ داده و باعث حذف سریع رنگ در محلول می گردد.

واکنش های اکسیداسیون ازن تا حدودی کند و انتخابی است. بنابراین در صورتی که سرعت عملکرد ازن به اندازه کافی زیاد نباشد می توان از فرآیندهایی استفاده کرد که منجر به تولید رادیکال می شوند [۱۵]. تجزیه ازن در آب کاملاً به pH وابسته بوده و با بالا رفتن آن تسریع می گردند. ازن در شرایط قلیایی نسبت به شرایط اسیدی با سهولت بیشتری به رادیکال های هیدروکسیل تبدیل می شود زیرا یون های هیدروکسیل نقش آغازکننده واکنش های زنجیره ای تجزیه ازن و تولید رادیکال های هیدروکسیل را ایفا می کنند. میزان کارایی تجزیه مواد آلی در pH قلیایی (pH>۹) تقریباً مشابه میزان حذف در ازن زنی کاتالیزوری هست [۱۶]. واکنش های زنجیره ای پنج مرحله ای تجزیه ازن در آب که منجر به تشکیل رادیکال های هیدروکسیل می شوند عبارتند از [۱۳]:



دلیل اینکه فرآیند ازن / پراکسید هیدروژن در pH ۹ نتیجه می دهد این است که در pH بالا حتی در غلظت های خیلی کم پراکسید هیدروژن به یون های HO<sub>2</sub><sup>o</sup> جدا شده که می تواند باعث تجزیه مؤثرتر ازن به یون HO<sup>o</sup> می 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 می دهد [۸]. نتایج نشان داده است که سرعت

2- Yang  
3- Kapa  
4- Scavenger  
5- Tizaoui

1- Synthetic

ترکیبات آلی از قبیل شوینده و بنزن موجود در فاضلاب واکنش می‌دهد. در واکنش غیرمستقیم رادیکال‌های هیدروکسیل تولید شده از ازن و پراکسید هیدروژن با تمام ترکیبات موجود در فاضلاب علاوه بر رنگ با فلزات و ترکیبات آلی نیز واکنش می‌دهد که باعث افت بازده در نمونه واقعی می‌گردد [۲۰، ۷].

#### ۴- نتیجه‌گیری

اکسیداسیون رنگزا از پساب‌های رنگی نساجی توسط ازن/پراکسید هیدروژن با جزئیات ارزیابی گردید. اکسیداسیون رنگزا توسط ازن در حضور پراکسید هیدروژن نسبت به ازن در غیاب پراکسید هیدروژن کارایی خوبی را نشان داد. با انتخاب مقادیر بهینه پراکسید هیدروژن اثر افزایشی در تجزیه رنگزا مشاهده شد که این امر نیز عملکرد کاتالیزی ازن در تجزیه پراکسید هیدروژن به رادیکال‌های هیدروکسیل بسیار فعال می‌باشد. همچنین با افزایش غلظت رنگزا در محلول، درصد اکسیداسیون کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که اکسیداسیون رنگزاها توسط ازن/پراکسید هیدروژن با افزایش pH افزایش می‌یابد که این امر نیز به واسطه افزایش رادیکال هیدروکسیل در pH قلیایی می‌باشد. نتایج اکسیداسیون رنگزاها نشان دادند که رنگبری در عامل‌های عملیاتی گوناگون از مدل سینتیکی مرتبه اول پیروی می‌نماید.

#### تشکر و قدردانی

این پژوهش در مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان و با حمایت معاونت تحقیقات و فناوری این دانشگاه انجام یافته، بدین وسیله از مساعدت‌های آنان که هموارکننده انجام این پژوهش بوده است سپاسگزاری می‌نماید.

1- Esplugas

میلی گرم بر لیتر و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر در اواخر آزمایش حذف کمتر نشان می‌دهند. این پدیده می‌تواند به کاهش نسبت مولکول‌های ازن به مولکول‌های رنگ با افزایش غلظت اولیه رنگ مرتبط باشد و می‌تواند با افزایش زمان ازن‌زنی با افزایش غلظت ازن بازده را برای غلظت‌های بالا افزایش داد.

رضایی و همکارانش در سال ۲۰۱۱ در ایران طی بررسی حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ به روش اکسیداسیون پیشرفته به این نتیجه رسیدند که حذف رنگ در سیستم اکسیداسیون پیشرفته با افزایش غلظت اولیه رنگ کاهش می‌یابد. دلیل این امر آن است که با افزایش غلظت اولیه رنگ مولکول‌های رنگ بیشتری روی سطح پراکسید هیدروژن اکسید می‌شود [۳] که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. ضرابی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ در ایران در مطالعه‌ای جهت حذف رنگ اسید نارنجی ۷ و راکتیو سیاه ۵ توسط اکسیداسیون پیشرفته به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت هردو رنگ مورد مطالعه بازده کاهش می‌یابد [۲۱] که با مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. اسپلاگاس<sup>۱</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۱ در اسپانیا حذف فنل با انواع اکسیداسیون پیشرفته شامل:  $O_3, O_3/H_2O_2$ ,  $Fe^{2+}/H_2O_2$ ,  $UV/H_2O_2/O_3$ ,  $UV/H_2O_2$ ,  $UV/O_3$ ,  $UV$  را انجام دادند که نتایج حاکی از آن است که کمترین هزینه را ازن‌زنی دارد و ترکیب ازن با پراکسید هیدروژن نتایج بهتری را نشان می‌دهد [۲۲].

#### تفسیر نمونه واقعی

ازن دارای دو نوع واکنش مستقیم و غیرمستقیم است. واکنش مستقیم ازن با ترکیباتی می‌باشد که دارای پیوند دوگانه هستند. در واکنش غیرمستقیم با تولید هیدروکسیل با تمام ترکیبات موجود واکنش می‌دهد. در نمونه سنتتیک تمامی ازن و پراکسید هیدروژن صرف واکنش هیدروژن با رنگزای راکتیو قرمز می‌گردد. در نمونه واقعی (فاضلاب نساجی یزدباف) ازن و پراکسید هیدروژن تنها صرف حذف رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸ نمی‌گردد. ازن در واکنش مستقیم با

#### ۵- مراجع

1. GH. Ghanizade, GH. Askari. Removal of methylene blue using of wastewater synthetic bone ash. *Health Environ.* 2(2010),:104-113.
2. M. T. Ghaneian, M. H. Ehramposh, GH. Ghanizade, M. Askarshahi, M. Momtaz. Use of ozonation process in the removal of reactive red 198 in alkaline conditions. *Toloo-behdasht.* 29(2011), 11-21.
3. R. Rezaee, A. Maleki, M. SHirzadsibini, M. Rahimi, M. Mohammadi. Comparing the efficiency of photochemical and sonochemical processes combined with hydrogen peroxide removal aqueous dye Direct Blue 71 from aqueous. *Sci. J. Kurdistan University Med. Sci.* 16(2011),38-47.
4. M. R. Rezaee, M. B. Miranzadeh, M. Pourgholi, H. Akbari, R. Dehghani. Evaluating the efficiency of advanced oxidation methods on dye removal from textile wastewater. *fayz.* 17(2012), 32-39.
5. SKA. Solmaz, A. Birgul, GE.Ustun, T. Yonar. Colour and COD removal from textile effluent by coagulation and advanced oxidation processes. *Color. Technol.* 122(2006), 102-109.
6. V. Preethi, KP .Kalyani, K .Iyappan, C. Srinivasakannan, N .Balasubramaniam, N .Vedaraman. Ozonation of tannery effluent for removal of cod and color. *J. Hazard. Mater.* 166(2009), 150-154.
7. M. Malakootian, SH. Dowlatshahi, MH. cholicheh. Reviewing the photocatalytic processes efficiency with and

- without hydrogen peroxide in cyanide removal from aqueous solutions. *Mazand Univ Med Sci.* 23(2013), 69-74.
8. Z .Rahmani, M. Kermani, M. GHolmi, NM. Mahmoodi. Performance evaluation of advanced photochemical oxidation (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) and UV in BV16 and RR120 Dye removal from aqueous solution. *Toloo-e-behdasht.* 42(2013), 135-149.
  9. S. Khoramfar, M. Arami, H. Bahrami. Dye oxidation using activated carbon/hydrogen peroxide from textile colored wastewater. *J. Color Sci. Tech.* 6(2011), 115-124.
  10. M .Malakootian, M. Asadi. Efficiency of the oxidation process for the removal of phenol from aqueous solutions. *Water Wastewater.*3(2011), 46-52.
  11. R .Rosal, A .Rodriguez, JA. Perdigon-Melon, A. Petre, Garcia-Calvo E. Oxidation of dissolved organic matter in the effluent of a sewage treatment plant using ozone combined with hydrogen peroxide (O<sup>3</sup>/H<sub>2</sub> O<sub>2</sub>). *Chem. Eng. J.* 149(2009), 311-318.
  12. L .Kos, J. Perkowski. Decolouration of real textile wastewater with advanced oxidation processes. *Fibres Text. East. Eur.* 11(2003), 81-85.
  13. S. Pircalioglu, TA. Ozbelge. Comparison of non-catalytic and catalytic ozonation processes of three different aqueous single dye solutions with respect to powder copper sulfide catalyst. *Appl. Catalysis A.* 363(2009), 157-163.
  14. FJ .Beltran, FJ. Rivas, R. Montero-de-Espinosa. Catalytic ozonation of oxalic acid in an aqueous TiO<sub>2</sub> slurry reactor. *Appl. Catal. B.* 39(2002), 221-231.
  15. J .Nawrocki, B. Kasprzyk-Hordern. The efficiency and mechanisms of catalytic ozonation. *Appl. Catal. B.* 99(2010), 27-42.
  16. Y. Yang, J.Ma, Q Qin, X. Zhai. Degradation of nitrobenzene by nano-TiO<sub>2</sub> catalyzed ozonation. *J. Mol. Catal. A.* 267(2007), 41-48.
  17. U. Kepa, E. Stanczyk-Mazanek, L .Stepniak. The use of the advanced oxidation process in the ozone+ hydrogen peroxide system for the removal of cyanide from water. *Desalination.* 223(2008), 187-193.
  18. C .Tizaoui, L. Bouselmi, L. Mansouri, A. Ghrabi. Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems. *J. Hazard. Mater.* 140(2007), 316-324.
  19. M. Pera-Titus, V. Garcia-Molina, MA. Banos, J. Gimenez, S .Esplugas. Degradation of chlorophenols by means of advanced oxidation processes: a general review. *Appl. Catal. B.* 47(2004), 219-256.
  20. B-T .Oh, Y-S. Seo, D. Sudhakar, J-H. Choe, S-M. Lee, Y-J. Park, et al. Oxidative degradation of endotoxin by advanced oxidation process (O<sup>3</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> & UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). *J. Hazard. Mater.* 279(2014), 105-110.
  21. M .Zarrabi, AR. Rahmani, MR. Samarghandi, F. Barjaste. Investigation the Zero-Valent Iron (ZVI) performance in the presence of UV light and hydrogen peroxide on removal of azo dyes acid orange 7 and reactive black 5 from Aquatic Solutions. *Iran J. Health Environ.* 5(2012), 469-478.
  22. S. Esplugas, J. Gimenez, S. Contreras, E. Pascual, M. Rodríguez. Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation. *Water Res.* 36(2002), 1034-1042.