

رنگ‌زدایی محلولهای آبی حاوی رنگهای راکتیو با استفاده از تابش باریکه الکترونی یونیزه کننده

عباس بهجت^۱ محمدرضا پارسایان^۲ فاطمه انوری^۲
منیره خیرخواه^۲ محمودرضا تهامی^۳

(دریافت ۸۶/۱۰/۲۰ پذیرش ۸۸/۲/۸)

چکیده

فاضلاب صنایع نساجی، معمولاً دارای مقادیر قابل توجهی از مواد رنگی سمی است. تحقیقات نشان می‌دهد که رنگها به‌ویژه رنگهای راکتیو آزو به سادگی تخریب نمی‌شوند، به همین علت قبل از تخلیه فاضلاب در محیط زیست، لازم است که این مواد حذف شوند. در این تحقیق تخریب پذیری محلول آبی رنگهای راکتیو آزو ۱۳۳٪ Remazol blue و Remazol red توسط باریکه الکترونی با انرژی ۱۰ مگا الکترون ولت در دزهای ۱، ۳، ۵، ۸ و ۱۱ کیلوگری (kGy) مورد بررسی قرار گرفت. محلول آبی از رنگهای راکتیو مذکور با غلظت ۵۰ ppm تهیه گردید. نمونه‌های تهیه شده در ظروف از جنس پلی‌استایرنی توسط باریکه الکترونی تولید شده از شتاب‌دهنده الکترون، پرتودهی شدند. تغییرات طیف جذبی، pH و اکسیژن شیمیایی مورد نیاز برای تخریب اکسیداسیونی (COD) نمونه‌ها، قبل و بعد از پرتودهی اندازه‌گیری گردید. درجه رنگ‌زدایی و درصد حذف COD نمونه‌ها نیز محاسبه شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در دز ۱ کیلوگری نوارهای جذبی هر دو رنگ به شدت کاهش یافته به طوری که بیش از ۸۳ درصد رنگ‌زدایی حاصل گردید. در انرژی ۳ کیلوگری این مقادیر بین ۹۳ تا ۹۶ درصد متغیر بود. کاهش بار آلی ترکیبات رنگی با افزایش دز تابشی در نتایج pH و COD نیز به وضوح مشاهده شد. pH محلولها بعد از پرتودهی با دز ۱۱ کیلوگری برای رنگهای Remazol blue ۱۳۳٪ و Remazol red به ترتیب ۴۲/۲۵ درصد و ۴۸/۵۹ درصد کاهش یافت. درصد کاهش COD محلول رنگهای مذکور در دز جذبی ۱ کیلوگری، به ترتیب ۲۰ درصد و ۱۸ درصد و در دز جذبی ۱۱ کیلوگری به ترتیب ۶۰ درصد و ۷۲ درصد محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: رنگهای راکتیو، تابش باریکه الکترونی، رنگ‌زدایی.

Dicolorization of Reactive Dyes in Aqueous Solutions Using Ionizing Electron Beam Radiation

Abbas Behjat¹ Mohammadreza Parsaiaian² Fatemeh Anvari²
Monireh Kheirkhah² Mahmoudreza Tahami³

(Received Jan. 10, 2008 Accepted Apr. 28, 2009)

Abstract

Experiments were carried out to study the effects of high-energy electron beam irradiation on reactive azo dyes (Remazol blue 133%, and Remazol red) which are widely used in Yazd textile plants. Laboratory scale experiments were carried out using advanced 10 MeV electron beam accelerator service in Yazd Radiation Processing Center (YRPC). The irradiation dose was varied over 1, 3, 5, 8, and 11 kGy. Dicoloration of the prepared dye solution was monitored by comparing the absorption spectra of the samples before and after irradiation. Mineralization of the dye solutions were estimated by measuring COD and PH of the irradiated samples. Our results show a color removal efficiency of 83% in from different samples by applying 1 kGy irradiation dose. This value increases by up to 96%

1. Prof., Physics Department, Yazd University, Yazd (Corresponding Author) (+98 351) 8211670 abehjat@yazduni.ac.ir

2. Lab. Instructor, Yazd Radiation Processing Center, AEOL, Yazd

3. Dosimeter Technical Staff Member, Yazd Radiation Processing Center, AEOL, Yazd

۱- استاد دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، (نویسنده مسئول) (۰۳۵۱) ۸۲۱۱۶۷۰ abehjat@yazduni.ac.ir

۲- کارشناس ارشد شیمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها، سازمان انرژی اتمی، یزد

۳- کارشناس دزیمتری، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها، سازمان انرژی اتمی، یزد

under 3kGy irradiation. pH and COD values decrease with increasing absorbed doses. COD removals for Remazol blue 133% and Remazol red samples were calculated as 20% and 18% for an absorbed dose of 1 kGy and 60% and 72% for an absorbed dose of 11 kGy, respectively.

Keywords: Reactive Dyes, Electron Beam Radiation, Decolorization.

۱- مقدمه

صنایع نساجی و بافندگی از قدمت دیرینه‌ای در ایران برخوردار است. فاضلابهای این صنایع به لحاظ دارا بودن مواد رنگی سمی، مقاوم و تخریب‌ناپذیر، همواره موجب نگرانی شده‌اند. خروجی فاضلابهای صنایع نساجی معمولاً با میزان رنگ، جامدات معلق، مواد آلی کلرینه شده، مواد تعلیق‌کننده، بعضی از فلزات سنگین، همچنین pH متغیر و COD آنها شناخته می‌شود [۱]. در مورد رنگهای راکتیو نگرانی‌های محیطی به‌ویژه به دلیل مواد جدید به وجود آمده در اثر تخریب، مانند آمین‌های آروماتیکی که بسیار سرطان‌زا هستند، وجود دارد [۲ و ۳]. مطالعات زیادی نشان داده است که رنگها به‌ویژه رنگهای راکتیو آزو به سادگی تخریب نمی‌شوند و باید قبل از تخلیه در محیط زیست، حذف شوند. در گذشته، این فاضلابها با جذب روی کربن فعال شده و یا به وسیله انعقاد سازی، تصفیه می‌شدند. در این روشها آلاینده، فقط از فاز آبی به فاز جامد منتقل می‌شود. با استفاده از پرتوهای فرابنفش^۱ و به همراه آب اکسیژنه و برخی یون‌های فلزی نیز می‌توان به حذف برخی از رنگ‌زاهای آلی مبادرت نمود [۴-۹]. امکان استفاده از پرتوهای یون‌ساز دیگر مانند پرتو گاما نیز به منظور تصفیه فاضلابهای صنعتی گزارش شده است [۱۰-۱۳]. مطالعات اولیه در این تحقیق در ارتباط با امکان سنجی رنگ‌زدایی به وسیله پرتوهای الکترونی نشان داد که تعداد بسیاری از رنگهای محلول در آب با استفاده از این باریکه‌های الکترونی یونیزه کننده، رنگ‌زدایی می‌شوند [۱۴]. علت این امر تأثیر بسزای پرتوهای الکترونی بر محلولهای آبی رنگ‌زا و اکسید کردن آنهاست. به این ترتیب که ابتدا مولکول‌های آب توسط باریکه الکترونی یونیزه می‌شوند و تعدادی یون، مولکول برانگیخته و گونه‌های رادیکالی آزاد به وجود می‌آید [۱۵]. میل به واکنش شیمیایی قوی آنها سبب واکنش‌های شیمیایی بعدی می‌گردد. مقدار دز دریافتی لازم برای تخریب کامل یک رنگ بیشتر به ساختار مولکولی رنگ، واکنش‌پذیری آن نسبت به محصولات تجزیه‌ای آب، حضور اکسیژن و یا عوامل اکسید کننده، همچنین pH و غلظت محلول بستگی دارد. گزارشهای منتشر شده از سوی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی در دهه گذشته حاکی از فعالیتهای تحقیقاتی وسیع در کشورهای مختلف جهان به منظور به

کارگیری پرتوهای یونیزان از جمله باریکه الکترونی در تصفیه پسابهای صنعتی است [۱۶]. در این بررسی محلولهای آبی از دو رنگ راکتیو مورد استفاده در صنایع نساجی یزد، تهیه گردید و با باریکه الکترونی با دزهای ۱ تا ۱۱ کیلوگری پرتو دهی شد. تغییرات طیف جذبی، COD، و pH نمونه‌ها قبل و بعد از پرتو دهی، اندازه‌گیری شد. درصد رنگ‌زدایی نمونه‌ها و حذف COD پس از پرتو دهی با هدف مشاهده میزان تأثیر پرتو دهی الکترونی بر روی محلولهای رنگی مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روشها

رنگ‌زاهای تجاری با نامهای 133% Remazol blue و Remazol red از کارخانجات نساجی یزد تهیه شد. محلول آبی رنگهای راکتیو مذکور با غلظت ۵۰ ppm با استفاده از آب دو بار تقطیر شده تهیه گردید. ۵ نمونه از هر رنگ در ظروف پلی‌استایرنی با ظرفیت ۶۰ سانتی‌متر مکعبی به‌عنوان ظرف آزمایش تحت پرتو دهی با باریکه الکترونی با دزهای تابشی ۱، ۳، ۵، ۸ و ۱۱ کیلوگری قرار گرفتند. با توجه به عدم تأثیر افزایش دز تابشی در رنگ‌زدایی بیشتر، در آزمایش‌های مقدماتی محدوده پرتو دهی ۱ تا ۱۱ کیلوگری برای این نمونه رنگ در نظر گرفته شد. پرتو دهی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه شتاب دهنده الکترون مدل TT200 ساخت شرکت آی بی ام^۲ بلژیک موجود در پژوهشکده کاربرد پرتوها واحد یزد انجام شد. مشخصات دستگاه شتاب دهنده مورد استفاده و نحوه پرتو دهی در مطالعه بهجت و همکاران آمده است [۱۵]. میزان دز دریافتی نمونه‌ها نیز توسط فیلم‌های مخصوص دزیمتری CTA^۳ که بر روی ظروف حاوی نمونه نصب می‌شد، با روش اسپکتروسکوپی اندازه‌گیری شد. طیف جذبی نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-vis ساخت شرکت شیمادزو^۴ مدل ۱۲۰۱، اکسیژن شیمیایی مورد نیاز برای تخریب اکسیداسیونی (COD) به روش کرومیک اسید و pH محلولها توسط دستگاه HI 9812 pH/EC/TDS شرکت هانا^۵ کشور ایتالیا اندازه‌گیری گردید.

با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-vis طیف جذبی و جذب محلولها در طول موج بیشینه در شرایط قبل و بعد از

² IBM

³ Cellulose Triacetate (CTA)

⁴ Shimadzu

⁵ Hanna

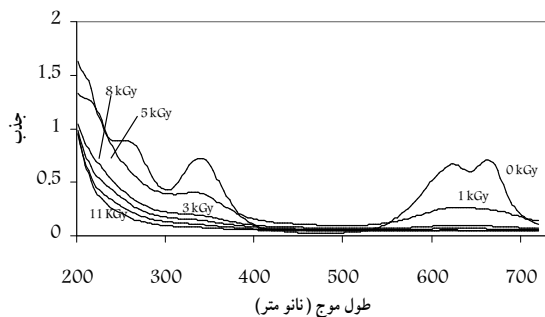
¹ Ultra Violet (UV)

جدول ۱- تغییرات جذب، pH و COD رنگ Remazol Blue
 133% بر حسب دز پرتو دهی

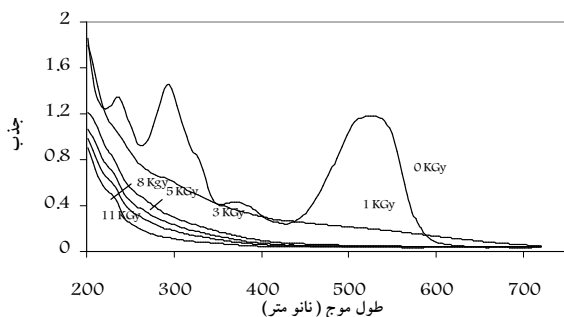
pH	COD (mg/L)	درصد جذب در ۶۶۴ نانومتر	دز (کیلوگری)
۷/۱	۵۵	۰/۷۰۲	۰
۶/۷	۴۵	۰/۲۴۶	۱
۵/۳	۳۵	۰/۰۹۱	۳
۴/۳	۲۵	۰/۰۶۵	۵
۴/۲	۱۵	۰/۰۵۲	۸
۴/۱	۱۵	۰/۰۴۷	۱۱

جدول ۲- تغییرات جذب، pH و COD رنگ Remazol Red
 بر حسب دز پرتو دهی

pH	COD (mg/L)	درصد جذب در ۵۲۸ نانومتر	دز (کیلوگری)
۷/۱	۵۰	۱/۱۷۶	۰
۴/۲	۴۰	۰/۱۹۹	۱
۳/۹	۳۰	۰/۰۵۱	۳
۳/۸	۲۵	۰/۰۴۴	۵
۳/۷	۲۵	۰/۰۴	۸
۳/۶۵	۲۰	۰/۰۳۸	۱۱



شکل ۱- طیف جذبی محلول آبی رنگ 133% Remazol Blue با دزهای جذبی ۰ تا ۱۱ کیلوگری



شکل ۲- طیف جذبی محلول آبی رنگ Remazol Red با دزهای جذبی ۰ تا ۱۱ کیلوگری

پرتو دهی اندازه گیری شد. pH و COD نمونه ها نیز در همان شرایط تعیین شدند.

غلظت ماده رنگزای تجزیه نشده و میزان کدورت محلولها در

جذب بیشینه طبق روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند [۵]

$$\frac{C_A}{C_A^0} \times 100 = \frac{TCV}{(TCV)_{t=0}} \times 100 \quad (1)$$

$$TCV = A(\lambda)1000d^{-1} \quad (2)$$

که در آنها:

$A(\lambda)$ جذب در طول موج بیشینه، d طول سل

کوآرتز (10mm)، TCV کدورت، $(TCV)_{t=0}$ کدورت در زمان اولیه

و C_A و C_A^0 به ترتیب غلظتهای ماده رنگزا قبل و بعد از پرتو دهی

می باشد.

درصد رنگ زدایی و حذف COD محلولهای رنگی به ترتیب با

روابط زیر تعریف می گردند:

$$\text{درصد رنگ زدایی} = \left(1 - \frac{C_A}{C_A^0}\right) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{درصد حذف COD} = \left(\frac{COD_0 - COD_i}{COD_0}\right) \times 100 \quad (4)$$

که در آنها:

COD_0 و COD_i به ترتیب مقدار COD محلول رنگی قبل و

بعد از پرتو دهی می باشد.

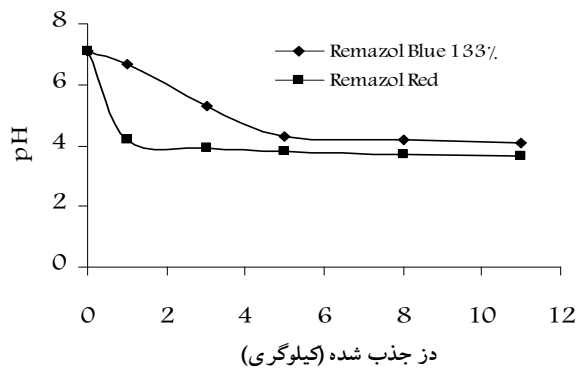
۳- نتایج

نتایج حاصل از پرتو دهی رنگهای مورد آزمایش بر حسب دزهای مختلف در جدولهای ۱ و ۲ ارائه شده است. طیف جذبی محلول آبی رنگهای 133% Remazol blue و Remazol red با غلظت ۵۰ ppm قبل و بعد از پرتو دهی در دزهای دریافتی ۰، ۱، ۳، ۵، ۸ و ۱۱ کیلوگری در شکلهای ۱ و ۲ نشان داده شده است.

رنگ Remazol blue دارای نوارهای جذبی قوی در طول موجهای ۶۶۴، ۶۲۴، ۳۴۲ و ۲۶۰ نانومتر است. نوارهای جذبی Remazol red نیز در طول موجهای ۵۲۸، ۲۹۴ و ۲۳۷ نانومتر ظاهر شده است. همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود، این نوارهای جذبی با افزایش دز دریافتی تا ۳ کیلوگری به سرعت کاهش می یابد و این روند در دزهای دریافتی بعدی نیز با سرعت کمتر ادامه می یابد.

تأثیر پذیری محلول رنگی در نواحی مرئی نسبت به نواحی غیر مرئی بیشتر است، به طوری که در نواحی مرئی در دز تقریبی ۵ کیلوگری به یک مقدار ثابت ۰/۰۴ می رسد. طیف جذبی محلولهای هر دو رنگ نشان می دهد که رنگهای راکتیو آزو در برابر پرتوهای الکترونی مقاوم نبوده و متناسب با دز دریافتی تخریب می شوند.

¹ Translucent Color Value



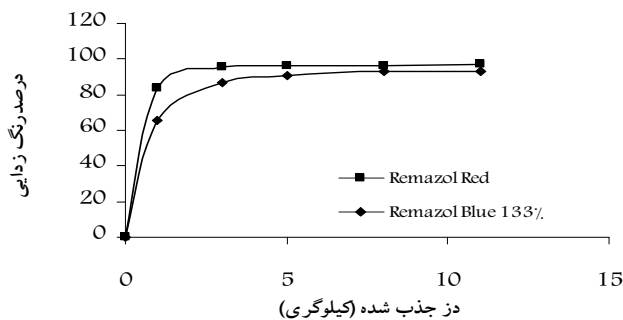
شکل ۵- تغییرات pH محلول‌های رنگی Remazol Blue و 133% Remazol Red در اثر پرتودهی

مورد بررسی قرار گرفت. در مقیاس آزمایشگاهی دو نمونه از محلول رنگ‌زاهای مختلف، با دزهای ۱ تا ۱۱ کیلوگری مورد پرتودهی با باریکه الکترونی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پرتودهی توسط باریکه الکترونی که برای اولین بار در ایران گزارش شد حاکی از کارایی بسیار بالا در تجزیه ترکیبات آلی با دزهای بسیار کم و رنگ‌زدایی حدود ۹۰ درصد با دزهای تابشی (کمتر از ۵ کیلوگری) بود. تحقیقات نشان داده است که رنگ‌زدایی و معدنی کردن رنگهای راکتیو توسط واکنش فوتو-فتون در حضور آب اکسیژنه و پرتو فرابنفش (۲۵۴ نانومتر) در شرایط بهینه رنگ‌بری پس از سی دقیقه انجام می‌شود و کاهش TOC تا ۷۶ درصد صورت می‌گیرد [۷]. این نتایج نشان داده است که نانو کامپوزیت Fe-Lap-RD به عنوان یک کاتالیست در حضور آب اکسیژنه و پرتو فرابنفش، کمک مؤثری در رنگ‌زدایی پساب دارد. در مطالعه‌ای که توسط لوپز^۱ انجام شد، رنگ‌زدایی با روش الکتروشیمیایی صورت پذیرفت. در این مطالعه محلول تصفیه شده، تحت تابش پرتوهای فرابنفش قرار گرفت و کاهش TOC به میزان ۸۱ درصد گزارش شد [۱۷]. فنگ و همکاران^۲ با استفاده از پرتوهای گاما به عنوان منبع یون‌ساز نشان داده اند که می‌توان با استفاده از روش ترکیبی میزان دز مورد نیاز برای تصفیه پساب صنایع را به میزان قابل توجهی کاهش داد [۱۸]. در این بررسی نشان داده شده است هنگامی که تابش دهی به تنهایی صورت می‌گیرد دز جذبی قابل توجهی مورد نیاز است، ولی با افزودن و شکستن باندهای کربن-کربن و حذف حلقه بنزن ترکیبات آروماتیک می‌توان دز جذبی مورد نیاز را کاهش داد. لذا استفاده از ازن و پرتو دهی گاما روش مناسبی برای تصفیه پساب صنایع معرفی شده است. تصفیه پسابهای رنگی و رنگ‌زاهای راکتیو با استفاده از

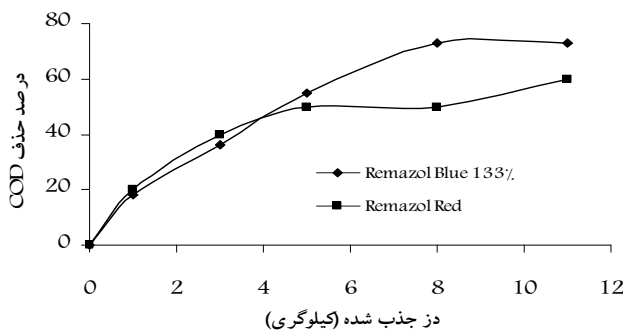
¹ Lopez

² Fang et al.

بر اساس روابط ۱ و ۲، حتی در دز کم ۱ کیلوگری رنگهای Remazol blue و Remazol red به ترتیب ۶۴/۹۵ درصد و ۸۳ درصد رنگ‌زدایی شدند. با استفاده از داده‌های موجود در جدولهای ۱ و ۲ و روابط ۳ و ۴ میزان رنگ‌زدایی و حذف COD نمونه‌های مختلف مورد آزمایش، برحسب دزهای دریافتی محاسبه گردید (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل ۳- درصد رنگ‌زدایی محلول رنگی Remazol Red و Remazol Blue 133% بر حسب دز جذب شده



شکل ۴- درصد حذف COD محلول رنگی Remazol Red و Remazol Blue 133% بر حسب دز جذب شده

همان‌طور که در طیف‌های جذبی نیز مشخص شده است، در دز دریافتی بیشینه ۱۱ کیلوگری نمونه آبی رنگ به میزان ۹۳ درصد و نمونه دیگر به میزان ۹۶/۵ درصد رنگ‌زدایی شدند. اما در دزهای کمتر از ۱۱ کیلوگری نیز رنگ‌زدایی به نحو مطلوبی صورت می‌پذیرد.

اثر پرتوهای الکترونی بر روی pH نمونه‌ها پیش و پس از پرتودهی اندازه‌گیری شد. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است به دلیل تولید آنیون‌های اسیدی آلی و غیرآلی در جریان پرتودهی توسط باریکه الکترونی، pH محلول‌های رنگی از ۷/۱ به ۴/۱ و ۳/۶۵ کاهش می‌یابد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش استفاده از پرتوهای یون‌ساز الکترونی با انرژی ۱۰ مگا الکترون ولت به عنوان یک روش مؤثر جهت رنگ‌زدایی

فرایند تابش فرابنفش و در حضور TiO_2/H_2O_2 نیز مورد بررسی قرار گرفته است [۱۹]. در این بررسی که دی اکسید تیتانیم و آب اکسیژنه به ترتیب به عنوان فوتو کاتالیست و اکسید کننده مورد استفاده قرار گرفته اند، نشان داده شده است که با افزایش غلظت آب اکسیژنه می توان میزان رنگبری را افزایش داد ولی هر محلول رنگی غلظت خاصی به دست می آید که بیش از آن حد، تأثیری بر میزان رنگبری نخواهد داشت. در این گزارش به میزان و یا درصد رنگزدایی اشاره ای نشده است. هانسو و همکاران^۱ با استفاده از تابش دهی محلول رنگی اشباع شده با اکسیژن تحت فشار ۳/۰ مگا پاسکال توسط پرتوهای الکترونی و دزهای جذبی ۵ تا ۱۴ کیلوگری نشان دادند که افزودن اکسیژن به محلول، باعث افزایش راندمان رنگبری شده است [۲۰]. دوارت و همکاران^۲ پیشنهاد کرده اند با روش ترکیبی با استفاده از تابش دهی توسط پرتوهای الکترونی (با انرژی ۱/۵ مگا الکترون ولت) و سپس تصفیه بیولوژیکی می توان ترکیبات آلی و رنگی باقی مانده در پساب صنایع را به کلی حذف نمود [۲۱]. در این روش با پرتودهی نمونه های مختلف پساب با دزهای ۵ تا ۲۰ کیلوگری حذف ترکیبات آلی به میزان ۹۹ درصد گزارش شده است و سپس با روش تصفیه بیولوژیکی باقی مانده ترکیبات آلی حذف گردیده است.

همان طور که در مقدمه نیز بیان شد روشهای متعددی به منظور رنگزدایی پسابهای رنگی پیشنهاد شده است و هم اکنون بسیاری از این روشها مورد استفاده قرار می گیرند. اما بررسی های انجام شده در خصوص کاربرد پرتوهای یون ساز قوی مانند باریکه الکترونی به دلیل کارایی و سرعت عمل آن در مقایسه با روشهای فوتو یونیزاسیون دیگر مانند استفاده از پرتوهای فرابنفش و یا پرتوهای گاما می تواند مورد توجه قرار گیرد.

وجود اکسیژن در محلول می تواند موجب تولید ازن شود. در این بررسی، محلولهای رنگی داخل ظروف پتری در بسته ریخته شده بود و ظروف تقریباً پر بود و هوایی در بالای مایع وجود نداشت. در صورتی که محلول در هوای آزاد مورد تابش قرار گیرد

¹ Hosno et al.

² Duarte et al.

۶- مراجع

- 1- Rott, U., and Minke, R. (1999). "Overview of wastewater treatment and recycling in the textile processing industry." *Water Sci. Technol.*, 40 (1), 137-144
- 2- Ince, N. H., Stefan, M. I., and Bolton, J. R. (1997). "UV/ H_2O_2 degradation and toxicity reduction of textile azo dye: remazol Black-B, a case study." *J. Adv. Oxide. Technol.*, 2, 442-448.
- 3- Brown, M. A., and De Vito, S. C. (1993). "Predicting Azo dye toxicity." *Cirt. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 23 (3), 249-324.

و یا محلول با استفاده از نازل پاشیده شود، پرتوهای الکترونی به هنگام عبور از هوا و همچنین در حین عبور از محلول سبب برخورد به مولکول های هوا نیز می شوند که خود موجب تولید مقداری ازن می شود که می تواند اثر فزاینده ای را در رنگزدایی داشته باشد. به نظر می رسد با استفاده از روشهای ترکیبی مانند استفاده باریکه الکترونی و ازن، و یا باریکه الکترونی و روش بیولوژیکی بتوان به رنگزدایی و معدنی نمودن کامل پسابهای صنایع برای استفاده مجدد دست یافت.

نکته قابل توجه اینکه توسط فرایند تابش الکترونی، رنگزدایی اولیه بسیار مؤثر بدون کمک مواد شیمیایی و کاتالیست های دیگر انجام می گیرد که می تواند از نظر اقتصادی بسیار به صرفه باشد. پیش بینی می شود بسیاری از مزیت های دیگر از قبیل مساحت کم مورد نیاز برای نصب دستگاه شتاب دهنده، ایمنی، عدم ایجاد آلودگی های ثانویه و پسماند، عملکرد پیوسته و کنترل اتوماتیک دستگاه، بتواند مشکلات مربوط به سیستم های موجود را برطرف نماید و امکان رقابت با روشهای متداول را فراهم سازد. در حال حاضر هزینه بالای سرمایه گذاری اولیه، امکان رقابت با روشهای معمول و استفاده از این فناوری پیشرفته را به صورت تجاری در صنایع محتمل نمی نماید. ولی استفاده از تابش دهی الکترونی به عنوان یک روش بسیار مؤثر و سریع در آینده برای رنگزدایی مواد آلی موجود در پساب صنایع به خصوص صنایع نساجی بعید به نظر نمی رسد.

۵- تشکر و قدردانی

این پروژه با مشارکت مالی و حمایت شرکت آب و فاضلاب استان یزد همچنین کمک مالی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور صورت پذیرفته است. لذا به این وسیله از زحمات همه مسئولان تشکر و قدردانی می گردد. همچنین از مدیریت و پرسنل واحدهای دزیمتری و پرتودهی به خصوص آقایان مهندس قاسمی، مهندس پور صالح و مهندس بابایی نیز کمال امتنان دارد. از آقای محمد علی غفارزاده از مرکز تحقیقات مهندسی وابسته به دانشگاه یزد به دلیل همکاری در مراحل مختلف اجرای طرح نیز تشکر می نماید.

- 4-Voudrias, E., Fytianos, K., and Bozani, E. (2002). "Sorption-desorption isotherms of dyes from aqueous solutions and wastewaters with different sorbent materials." *J. Global Nest: the Int.*, 4(1), 75-83.
- 5- Szpyrkowicz, L., Juzzolino, C., and Kaul, S.N. (2001). "A comparative study on oxidation of disperse dyes by electrochemical process, Ozone, hypochlorite and fenton reagent." *Wat. Res.*, 35(9), 2129-2136.
- 6- Neamtu, M., Siminiceanu, I., Vfer Yediler, A., and Kettrup, A. (2002). "Kinetics of decolorization and mineralization of reactive azo dyes in aqueous solution by the UV/H₂O₂ oxidation." *Dyes and Pigments*, 53 (2), 93-99.
- 7- Feng, J., Hu, X., Yue, P.L., Zhu, H.Y., and Lu, G.Q. (2003). "Discoloration and mineralization of Reactive Red HE-3B by heterogeneous photo-Fenton reaction." *Water Research*, 37 (15), 3776-3784.
- 8- Kang, S.F., Liao, C.H., and Hung, H.P. (1999b). "Peroxidation treatment of dye manufacturing wastewater in the presence of ultraviolet light and ferrous ions." *J. Hazard Mater*, 65 (8) 317-333.
- ۹ - دانشور، ن.، ختائی، ع.، رسولی فرد، م. ح.، و سید دراجی، م. س. (۱۳۸۶). "بررسی حذف مواد آلی از فاضلاب های صنعتی با استفاده از سه روش UV/H₂O₂, UV/H₂O₂/Fe(II), UV/H₂O₂/Fe(III). م. آب و فاضلاب، ۶۱، ۳۴-۴۲.
- 10- Bao, H., Liu, Y., and Jia, H. (2002). "A study of irradiation in the treatment of wastewater." *Radiation Physics and Chemistry*, 63 (3), 633-636.
- 11-Solpan, D., and Guven, O. (2002). "Decoloration and degradation of some textile dyes by gamma irradiation." *Radiation Physics and Chemistry*, 65 (4), 549-558.
- 12- Sakumoto, A., and Miyata, T. (1984) "Treatment of wastewater by combined technique of radiation and conventional method." *Radiation Physics and Chemistry*, 24 (1), 99-115.
- 13- Agustin, N. M., Winari, A., and Surtipanti, S. (1995). "Radiation-induced degradation and decoloration of disperse dyes in water." *Russian Chemical Review*, 64(6), 569-598.
- ۱۴- بهجت، ع.، و دادفرنیا، ش. (۱۳۸۴). "بررسی کاربرد پرتوهای الکترونی به منظور رنگ زدایی فاضلابهای صنعتی، گزارش نهایی طرح پژوهشی، دانشگاه یزد.
- ۱۵- بهجت، ع.، مذهب، س. ع. ر.، خلیلی، م. ب.، و خورشور، ب.، زارعشاهی، ح.، و فلاح زاده، م. (۱۳۸۶). "روش نوین اکسیداسیون پیشرفته با استفاده از باریکه الکترون های پراورژی برای گندزدایی آب و پساب." م. آب و فاضلاب، ۶۱، ۶۰-۶۸.
- 16- IAEA-TECDOC-1407. (2003). "Status of industrial scale radiation treatment of wastewater and its future." *Proceedings of a consultants meeting held*, Daejon, South Korea, 13-16.
- 17- Lopez-Grimau, V., and Gutierrez, M.C.(2006). "Decolourisation of simulated reactive dyebath effluents by electrochemical oxidation assisted by UV light." *Chemosphere*, 62 (1)106-112.
- 18- Fang, X., and WU, J.(1999). "Some remarks on applying radiation technology combined with other methods to the treatment of industrial wastes." *Radiation Physics and Chemistry*, 55(4) 465-468.
- ۱۹- آرامی، م.، محمودی، ن.م.، و یوسفی، ن.(۱۳۸۳). "تصفیه پسابهای رنگی رنگزاهای راکتیو با فرایند تابش فرابنفش (UV) در حضور (TiO₂/H₂O₂). "مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس ملی مهندسی نساجی ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۸۰.
- 20- Hosono, M., Arai, H., Aizawa, M., Yamamoto, I., Shimizu, K., and Sugiyama, M. (1999). "Decoloration and degradation of azo dye in aqueous solution supersaturated with oxygen by irradiation of high-energy electron beams." *Appl. Radiat. Isot.*, 44 (9), 1199-1203.
- 21- Duarte, C.L., Sampa, M.H.O., Rela, R.P., Oikawa, H., Cherbakian, E.H., Sena, H.C., Abe, H., and Sciani, V.(2000). "Application of electron beam irradiation combined to conventional treatment to treat industrial effluents." *Radiation Physics and Chemistry*, 57 (3-6) 513-518.