

بررسی کارایی فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H_2O_2 به منظور حذف رنگ‌زای راکتیو نارنجی ۱۲۲ از فاضلاب صنایع نساجی

طیبه ندیری^۱ (M.Sc.)، محمدحسن احرام‌پوش^۲ (Ph.D.)، محمد ملکوتیان^{۳*} (Ph.D.)

۱- گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

۲- گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۳- مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

چکیده

هدف: تخلیه فاضلاب نساجی به محیط، علاوه بر جنبه‌های زیباشناختی، ایجاد مشکلات جدی زیست محیطی می‌نماید با کوپل نمودن روش الکتروکواگولاسیون با فرآیند UV/H_2O_2 به منظور حذف رنگ و COD از فاضلاب نساجی، هدف از تحقیق، بررسی عوامل مؤثر بر کارایی فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H_2O_2 و تعیین شرایط بهینه در حذف رنگ و COD از فاضلاب نساجی حاوی رنگ راکتیو ۱۲۲ می‌باشد.

مواد و روش‌ها: تحقیق تجربی، که در سه ماه پایانی سال ۱۳۹۴ در مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان انجام گرفت. کارایی حذف رنگ و COD از محلول سنتتیک در شرایط مختلف (۳، ۶، ۹) pH، زمان (۲۰، ۳۰، ۴۰، ۱۰ دقیقه)، شدت جریان (۲۰، ۴۰، ۶۰ آمپر در متر مربع) و غلظت اولیه H_2O_2 (۲۰، ۴۰، ۸۰ میلی‌مول بر لیتر) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها تحت شرایط بهینه به روی فاضلاب واقعی نیز انجام گرفت. یافته‌ها: بیش‌ترین راندمان حذف رنگ ۹۸٪ و بیش‌ترین راندمان حذف COD ۸۵/۵٪ از محلول سنتتیک در شرایط بهینه pH معادل ۶، شدت جریان $60 A/m^2$ ، زمان واکنش ۲۰ دقیقه و غلظت اولیه H_2O_2 برابر ۲۰ میلی‌مول بر لیتر به دست آمد. در شرایط بهینه راندمان حذف رنگ و COD در نمونه فاضلاب واقعی برابر ۹۲٪ و ۶۵/۵٪ به دست آمد.

نتیجه‌گیری: کوپل نمودن فرآیند الکتروکواگولاسیون با UV/H_2O_2 با توجه به مصرف مواد شیمیایی کم‌تر، عدم تولید محصولات جانبی باقی‌مانده، حجم کم لجن تولیدی و راندمان نسبتاً بالای حذف روشی مؤثر در حذف رنگ راکتیو نارنجی ۱۲۲ از فاضلاب نساجی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H_2O_2 ، رنگ راکتیو، فاضلاب نساجی

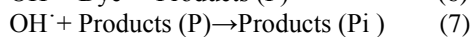
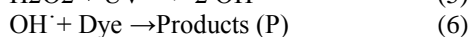
مقدمه

که حتی در غلظت‌های بسیار پایین هم قابل رویت است [۳، ۲]. رنگ‌زاهای راکتیو دسته‌ای از رنگ‌زاهای هستند، که به طور عمده جهت رنگ‌رزی الیاف به ویژه پارچه‌های کتان استفاده می‌شوند [۴]. به دلیل تمایل بیش‌تر این رنگ‌زاهای به واکنش با آب در مقایسه با هیدروکسیل موجود در الیاف کتان یا سلولزی، تثبیت رنگ‌زاهای راکتیو روی الیاف کم است و

فاضلاب تولیدی از صنایع نساجی، یک منبع مهم و قابل توجه آلودگی محیط زیست به‌شمار می‌آید [۱]. غلظت مواد رنگی در فاضلاب این صنایع نسبت به دیگر مواد شیمیایی کم‌تر است. اما شدت رنگ این فاضلاب‌ها به دلیل وجود مواد رنگی باقی‌مانده در فاضلاب صنایع نساجی به حدی بالاست،

الجزایر، Kabdaşlı و همکاران در سال ۲۰۰۹ در ترکیه، مطالعه بذرافشان و همکاران در سال ۲۰۱۴ در ایران، رحمانی و سمرقندی در سال ۲۰۰۹ همگی به منظور حذف رنگ از فاضلاب نساجی متمرکز شده است [۲۷،۲۶،۲۵،۱۷].

روش‌های اکسیداسیون پیشرفته بر مبنای تولید رادیکال آزاد هیدروکسیل OH⁻ که قوی‌ترین عدد اکسیداسیون را در بین گندزداها دارا می‌باشد و می‌تواند تمامی آلاینده‌های آلی را تخریب و سرانجام به CO₂ و آب اکسید نماید [۲۸]. فرآیند UV/H₂O₂ یکی از فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته است، که پراکسید هیدروژن، اشعه‌ی UV را در طول موج ۲۵۴ نانومتر یا کم‌تر جذب می‌نماید و رادیکال آزاد هیدروکسید تولید می‌نماید. اکسیداسیون رنگ به کمک فرآیند UV/H₂O₂ از روابط (۵ و ۶ و ۷) پیروی می‌کند [۳۰،۲۹].



مزیت مهم این فرآیند سادگی آن است. پراکسید هیدروژن می‌تواند به راحتی به سیستم اضافه شود. و به علت حلالیت بالا هیچ محدودیتی از نظر انتقال جرمی ندارد. سرانجام این ترکیب می‌تواند آلاینده‌ها را بدون تولید لجن شیمیایی کاهش دهد. کثیری و همکاران در ایران در سال ۲۰۱۲ [۳۱] Mitrović و همکاران در سال ۲۰۱۱ در کشور صربستان [۳۲] با استفاده از روش UV/H₂O₂ موفق به حذف رنگ از فاضلاب نساجی شدند. هدف از این تحقیق، بررسی عوامل موثر بر عمل‌کرد فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ و تعیین شرایط بهینه در حذف رنگ و COD از فاضلاب صنایع نساجی حاوی رنگ راکتیو نارنجی ۱۲۲ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مطالعه تجربی است که در سه ماه پایانی سال ۱۳۹۴ بر روی نمونه سنتتیک و نمونه واقعی کارخانه زرین بافت کرمان در مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان انجام پذیرفت. نمونه فاضلاب واقعی از خروجی واحد رنگرزی لیاف کتان زرین بافت کرمان

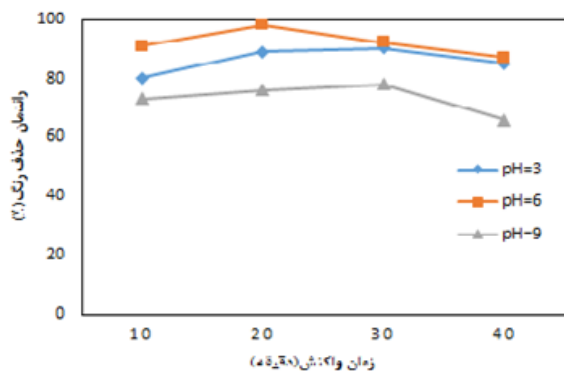
مقدار زیادی از این رنگ‌ها به صورت تثبیت نشده وارد فاضلاب می‌شود [۵]. محتوای رنگ بسیار شدید و هم‌چنین میزان COD بالای فاضلاب این صنایع نگرانی عمده‌ی زیست محیطی را به همراه دارد [۶]. تخلیه مداوم و مستمر این فاضلاب‌ها به منابع آبی موجب یوتریفیکاسیون و اختلال در زندگی موجودات آبی خواهد شد، آلاینده‌های مقاوم در این فاضلاب‌ها برای ارگانیسم‌های زنده سمی و خاصیت بازدارندگی رشد آن‌ها را دارد. سیستم‌های بیولوژیکی متداول قادر به تصفیه این فاضلاب‌ها نمی‌باشند [۸،۷]. جهت رنگ‌زدایی فاضلاب‌های رنگی روش‌های متفاوتی مطرح است که از جمله می‌توان به ترسیب، تعویض یون، انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون پیشرفته، جذب، ازن زنی، فیلتراسیون غشایی و استخراج مایع-مایع اشاره نمود [۹،۱۰،۱۱،۱۲]. بیش‌تر روش‌های ذکر شده، هزینه‌ی بهره‌برداری و نگهداری بالایی دارند و به همین دلیل استفاده از آن‌ها برای تصفیه پساب‌های رنگی در بسیاری از کشورها مقرون به صرفه نیست. فرآیند انعقاد الکتریکی، یک فرآیند سازگار با محیط زیست است، که هزینه تجهیزات و بهره‌برداری پایین، راندمان بالا در حذف COD و رنگ، کدورت و مواد جامد محلول و کاهش تولید لجن از مزایای استفاده از این فرآیند می‌باشد [۱۳،۱۴]. در فرآیند الکتروکواگولاسیون با استفاده از برقراری جریان الکتریسیته بین الکترودهای فلزی غوطه‌ور در فاضلاب هیدروکسیدهای فلزی از آند حاصل می‌شود. و منجر به ناپایداری آلاینده‌ها از طریق تشکیل ذراتی با قدرت انحلال پایین، می‌شوند [۱۵]. حباب‌های هیدروژن تولیدی لخته‌ها را شناور نموده و جداسازی آن‌ها را از فاضلاب تصفیه شده آسان می‌سازد [۱۶].

فرآیند الکتروکواگولاسیون به‌طور موفقیت‌آمیزی به‌منظور تصفیه فاضلاب صنایعی از قبیل صنایع کاغذسازی، تولید روغن زیتون و دباغی، رختشوی خانه، تولید چیپس سیب‌زمینی، حذف سختی از آب، و به‌طور گسترده‌ای برای رنگ‌زدایی فاضلاب‌های متنوع نساجی استفاده شده است [۲۴-۱۷]. مطالعه‌ی Aoudj و همکاران در سال ۲۰۱۰ در

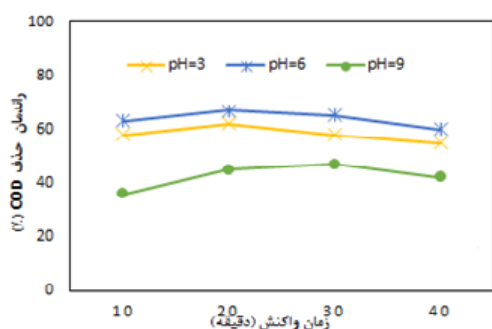
نمونه‌برداری‌ها و آزمایشات بر اساس روش‌های مندرج در کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب (ورژن ۲۰۱۳) اندازه‌گیری شد [۳۳]. به منظور دقت و صحت نتایج هر کدام از آزمایش‌ها ۳ بار تکرار گردیدند و به صورت میانگین گزارش شد. و راندمان حذف رنگ و COD محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Spss نسخه ۲۰ انجام شد.

نتایج

نتایج حاصل از تاثیر pH محلول بر کارایی فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H_2O_2 به منظور حذف رنگ در شکل ۱ و حذف COD در شکل ۲ آمده است.



شکل ۱: تاثیر pH بهینه بر فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H_2O_2 بمنظور حذف رنگ از فاضلاب نساجی.

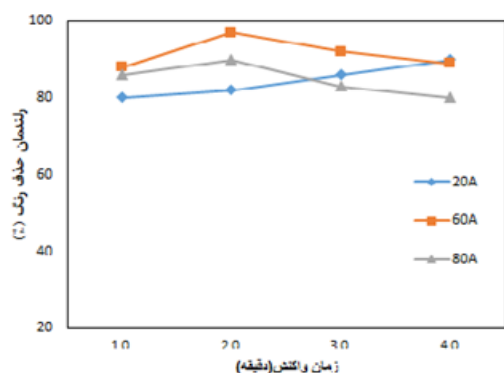


شکل ۲: تاثیر pH بهینه در فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با H_2O_2/UV بمنظور حذف COD از فاضلاب نساجی.

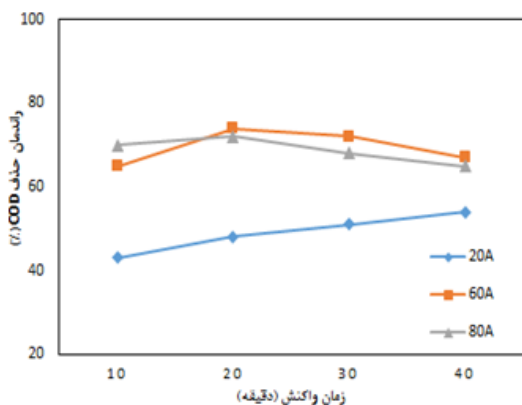
در شدت جریان ۲۰ دقیقه، غلظت اولیه H_2O_2 معادل ۲۰ میلی‌مول بر لیتر، pH بهینه در حذف رنگ و COD برابر ۶ به دست آمد. نتایج حاصل از تاثیر زمان الکترولیز بر کارایی

جمع‌آوری و در دمای ۴ درجه سلسیوس برای انجام آزمایش‌ها نگهداری شد. ابتدا یک راکتور ناپیوسته شامل ۵۱۲ میلی‌لیتری ($8 \times 8 \times 8$ سانتی‌متر) از جنس Plexiglass ساخته شد و چهار عدد الکتروده صفحه‌ای از جنس آلومینیوم با ابعاد ($4 \times 8 \times 0.1$ سانتی‌متر) داخل آن قرار گرفتند. راکتور در محفظه‌ای که یک لامپ UV با توان ۳۰ وات در آن تعبیه شده بود قرار داشت. به منظور جلوگیری از خروج اشعه UV جدار خارجی محفظه راکتور با پوشش آلومینیومی پوشانیده شد. به منظور ارزیابی تاثیر روش کوپل نمودن الکتروکواگولاسیون با UV/H_2O_2 بر کارایی حذف رنگ و COD، از محلول سنتتیک، نمونه‌ها در pH (۳، ۶، ۹)، غلظت اولیه H_2O_2 (۸۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰ Mm/L)، زمان (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ دقیقه) و شدت جریان (۲۰، ۶۰، ۸۰ آمپر در مترمربع) توسط منبع برق جریان مستقیم تحت الکترولیز قرار گرفتند. محلول اسید کلریدریک رقیق (۱۵٪ وزنی) جهت تمیز نمودن سطح الکترودها قبل از کاربرد استفاده شد. همزن مغناطیسی (مدل IKA) برای یکنواخت کردن نمونه درون راکتور مورد استفاده قرار گرفت. کلرو سدیم با غلظت ۸/۵ میلی‌مول بر لیتر جهت کاهش مصرف انرژی و تامین هدایت الکتریکی استفاده شد. جهت تنظیم pH نمونه‌ها از اسید سولفوریک و سود با غلظت ۰/۱ مولار استفاده شد. بعد از هر مرحله آزمایش برای بهبود ته‌نشینی لخته‌ها محتویات راکتور سانتریفیوژ (۴۰۰۰ دور، به مدت ۵ دقیقه) شد. سپس حداکثر میزان جذب نور در محلول صاف شده توسط دستگاه Spectrophotometer UV-Vis (Philips Model PU 8740) در طول موج ۵۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. تنظیم pH نمونه‌ها توسط pH متر (متروم مدل ۶۹۱) انجام شد.

کیفیت نمونه فاضلاب واقعی از نظر pH، BOD، COD، هدایت الکتریکی، و میزان یون کلراید تعیین شد. و در شرایط بهینه میزان حذف رنگ و COD در نمونه واقعی تعیین شد. جهت اندازه‌گیری COD نمونه‌ها از دستگاه پرتابل اندازه‌گیری نمونه‌ها (Hunna instrument) استفاده گردید. کلیه مواد شیمیایی مصرفی از شرکت مرک آلمان تهیه گردید. کلیه

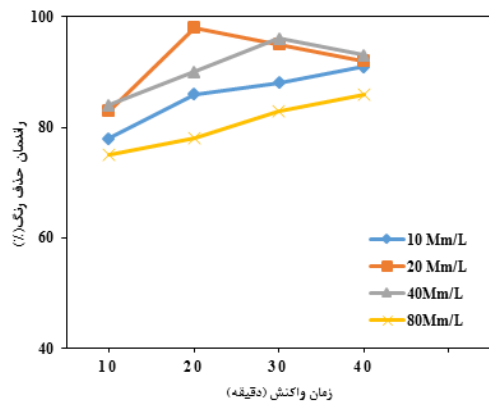


شکل ۵: تاثیر شدت جریان بهینه در فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ بمنظور حذف رنگ از فاضلاب نساجی.



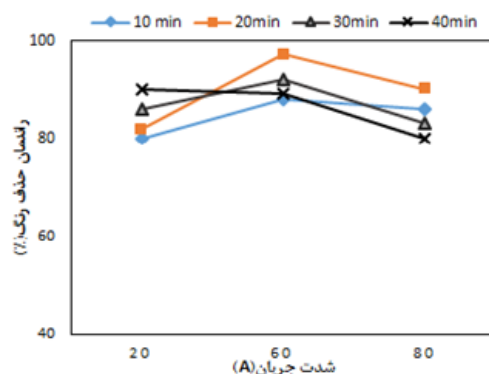
شکل ۶: تاثیر شدت جریان بهینه در کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ بمنظور حذف COD از فاضلاب نساجی.

شدت جریان بهینه ۶۰ آمپر، برای حذف رنگ و COD توسط فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ در مدت زمان ۲۰ دقیقه به دست آمد. نتایج حاصل از تاثیر غلظت اولیه H₂O₂ بر کارایی فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ به منظور حذف رنگ در شکل ۷ و حذف COD در شکل ۸ آمده است.

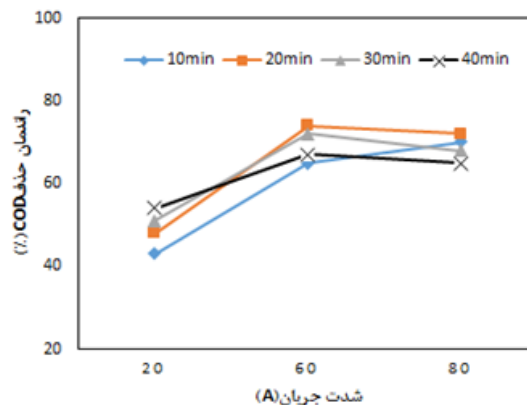


شکل ۷: تاثیر میزان غلظت H₂O₂ بهینه در فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ بمنظور حذف رنگ از فاضلاب نساجی.

فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ به منظور حذف رنگ در شکل ۳ و حذف COD در شکل ۴ آمده است.



شکل ۳: تاثیر زمان بهینه بدست آمده در فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ در حذف رنگ از فاضلاب نساجی.



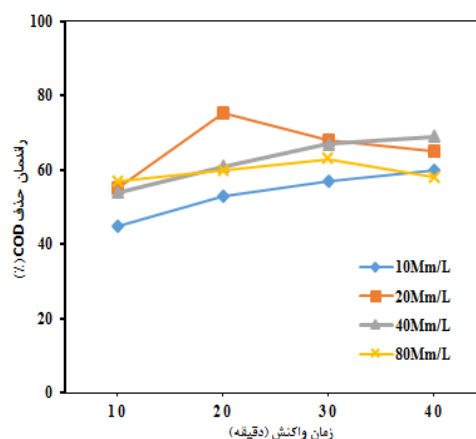
شکل ۴: تاثیر زمان واکنش بر کارایی فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ بمنظور حذف COD

مدت زمان بهینه ۲۰ دقیقه برای حذف رنگ و COD توسط فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ در شدت جریان برابر با ۶۰ آمپر به دست آمد. نتایج حاصل از تاثیر شدت جریان بر کارایی فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ به منظور حذف رنگ در شکل ۵ و حذف COD در شکل ۶ آمده است.

راندمان حذف رنگ و COD در نمونه واقعی در شرایط بهینه (pH=۶، شدت جریان ۶۰ آمپر بر متر مربع، غلظت اولیه مصرفی معادل ۲۰ میلی مول بر لیتر و مدت زمان ۲۰ دقیقه) توسط فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ به ترتیب برابر ۹۲٪، ۶۵/۵٪ به دست آمد.

بحث و نتیجه گیری

در روش الکتروکواگولاسیون راندمان حذف رنگ و COD از محلول سنتتیک، با افزایش pH از ۳ به ۷ افزایش و با افزایش pH از ۷ به ۹ کاهش یافت. تغییرات کارایی فرآیند در اثر تغییرات pH به ماهیت واکنش بین یون‌های آلومینیوم و هیدروکسید وابسته است [۳۴]. زمانی که pH فرآیند بین ۳ تا ۹ باشد، یون‌ها AL^{3+} و OH^- ، گونه‌های مونومریک مانند $AL(OH)_2^+$ و $AL(OH)_2^{2+}$ و گونه‌های پلیمریک $AL_6(OH)_{15}^{3+}$ و $AL_7(OH)_{17}^{4+}$ و $AL_{13}(OH)_{34}^{5+}$ را تولید می‌نمایند، که سرانجام به $AL(OH)_3(s)$ نامحلول توسط فرآیندهای ترسیب/پلیمریزاسیون تغییر شکل می‌دهند [۱]. لخته‌های $AL(OH)_3(s)$ مساحت سطحی بزرگ‌تری دارند، که برای جذب ترکیبات آلی محلول و به دام انداختن ذرات کلوئیدی مفیدند [۲۰]. در فرآیند الکتروکواگولاسیون زمانی که pH محلول اسیدی باشد، تراکم عوامل منعقدکننده موثر مانند $AL(OH)_2^+$ و $AL(OH)_3^+$ بیش تر است که منجر به کارایی بالاتر فرآیند الکتروکواگولاسیون می‌گردد. کارایی فرآیند الکتروکواگولاسیون در حذف رنگ و COD در شرایطی که pH محلول خنثی باشد کاهش می‌یابد. زیرا در pH خنثی، $AL(OH)_3$ به $AL(OH)_4^+$ محلول که ظرفیت رنگ‌زدایی کمی دارد، تغییر شکل می‌یابد [۳۵]. کارایی فرآیند الکتروکواگولاسیون در حذف رنگ و COD در شرایطی که pH محلول قلیایی باشد، نسبت به حالت pH خنثی افزایش می‌یابد. دلیل آن این است که، در pH قلیایی، انواع مختلفی از گونه‌های منعقدکننده موثر تولید می‌شود. که نسبت به حالت خنثی قدرت اکسیداسیون بالاتری دارند. در فرآیند UV/H₂O₂ راندمان حذف رنگ و COD در شرایط اسیدی بالاتر است.



شکل ۸. تاثیر میزان غلظت H₂O₂ در کارایی فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ بمنظور حذف COD.

غلظت H₂O₂ بهینه ۲۰ میلی مول بر لیتر، برای حذف رنگ و COD توسط فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ به دست آمد. در مجموع شرایط بهینه به دست آمده از کارایی فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ در نمونه سنتتیک برابر با (pH=۶، شدت جریان ۶۰ آمپر بر متر مربع، غلظت اولیه مصرفی معادل ۲۰ میلی مول بر لیتر و مدت زمان ۲۰ دقیقه) حاصل شد.

نمونه فاضلاب واقعی. کیفیت نمونه فاضلاب واقعی مورد بررسی از نظر میزان جذب نور، میزان هدایت الکتریکی، COD، BOD، pH و یون کلراید و بیکربنات در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. مشخصات فاضلاب خام خروجی واحد رنگ‌رزی زرین بافت کرمان بمنظور بررسی کارایی فرآیند کوپل الکتروکواگولاسیون با UV/H₂O₂ به منظور حذف رنگ‌زای راکتیو نارنجی

پارامتر (واحد)	مقدار
طول موج حداکثر جذب (nm)	۵۰۰
هدایت الکتریکی (mS/cm)	۲۹۸
میزان جذب رنگ در طول موج ۵۰۰nm	۰/۸۹
BOD (mg/L)	۲۲۰
COD (mg/L)	۱۴۵۰
Cl ⁻ (mg/L)	۶۸
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	۶۷۵
pH	۵/۴

در شدت جریان ۰/۰۶۲۵ mA/cm² با نتایج حاصل از این مطالعه همخوانی دارد [۱۵]. آرامی و همکاران در ایران ۲۰۱۲ در ایران تحت شدت جریان ۴۰ A/m² موفق به حذف رنگ از فاضلاب نساجی توسط فرآیند الکتروکوآگولاسیون شدند که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر همخوانی دارد [۳۴].

راندمان حذف رنگ و COD توسط فرآیند UV/H₂O₂، ارتباط مستقیم با غلظت رادیکال فعال هیدروکسیل (OH[•]) دارد. پتانسیل اکسیداسیون رادیکال فعال هیدروکسیل (OH[•])، برابر با ۲/۸ الکترون ولت می‌باشد، این پتانسیل اکسیداسیون از پتانسیل اکسیداسیون پراکسید هیدروژن که ۱/۸ الکترون ولت می‌باشد، بالاتر است. بنابراین می‌تواند بسیاری از ترکیبات آلی را اکسید نماید [۴۱]. در فرآیند کوپل الکترو کوآگولاسیون با UV/H₂O₂، راندمان حذف رنگ و COD با افزایش زمان افزایش می‌یابد. میزان تاثیرگذاری زمان در فرآیند کوپل الکترو کوآگولاسیون با UV/H₂O₂، به میزان غلظت اولیه‌ی H₂O₂ و نیز غلظت رنگ بستگی دارد [۴۲]. راندمان حذف رنگ و COD در دقایق ابتدایی شروع واکنش بالاتر است. به دلیل این‌که، سرعت تجزیه H₂O₂ توسط اشعه UV افزایش می‌یابد. و تولید رادیکال‌های OH[•] بسیار بالاست. اما با افزایش بیش از حد زمان واکنش، غلظت رادیکال‌های OH[•] کاهش می‌یابد. بنابراین نسبت ماده اکسیدکننده به ماده اکسیدشونده کاهش می‌یابد، که باعث کاهش راندمان فرآیند کوپل الکترو کوآگولاسیون با UV/H₂O₂، در حذف رنگ و COD می‌شود [۴۳].

در فرآیند کوپل الکترو کوآگولاسیون با UV/H₂O₂ کارایی حذف رنگ و COD با افزایش غلظت رادیکال (OH[•]) افزایش یافت. بیش‌ترین اثر رنگبری و حذف COD در غلظت ۲۰ Mm/L از H₂O₂ مشاهده شد. دلیل آن این است که، در غلظت‌های پایین‌تر از ۲۰ Mm/L پراکسید هیدروژن، تولید رادیکال (OH[•]) ناکافی خواهد بود، که نتیجه آن کاهش راندمان حذف رنگ و مواد آلی می‌باشد. و در غلظت‌های بالاتر از ۲۰ Mm/L، به علت این‌که غلظت پراکسید هیدروژن زیاد می‌باشد، می‌تواند به عنوان حذف‌کننده رادیکال (OH[•])

در این شرایط H₂O₂ به دو رادیکال هیدروکسیل تجزیه می‌شود. و غلظت رادیکال آزاد هیدروکسیل به‌منظور حذف رنگ و تجزیه مواد آلی افزایش می‌یابد. اما با افزایش pH به دلیل کاهش غلظت رادیکال هیدروکسیل، راندمان حذف رنگ و COD کاهش می‌یابد [۳۷،۳۶]. نتایج Amer و همکاران در سال ۲۰۰۸ در مصر به منظور حذف رنگ از فاضلاب نساجی توسط فرآیند UV/H₂O₂، Alaton و همکاران در سال ۲۰۰۹ در ترکیه به روی تصفیه پساب نساجی توسط فرآیند الکتروکوآگولاسیون، Elmorsi و همکاران در سال ۲۰۱۰ در مصر بروی حذف رنگ از پساب نساجی توسط فرآیند UV/H₂O₂، Balla و همکاران در سال ۲۰۱۰ در مراکش به‌منظور حذف مخلوط رنگ‌های دیسپرس و راکتیو از فاضلاب نساجی، رحمانی و همکاران در سال ۲۰۰۹ در ایران در حذف رنگ اریوم کروم بلاک تی با استفاده از روش الکتروکوآگولاسیون همگی در شرایط اسیدی بیش‌ترین بازده حذف را داشته‌اند که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد [۳۸،۳۹،۲۸،۱۷،۱].

راندمان حذف رنگ و COD توسط فرآیند کوپل الکتروکوآگولاسیون با UV/H₂O₂، با افزایش شدت جریان، افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش راندمان حذف رنگ و COD با افزایش شدت جریان، حل شدن آلومینیوم در محلول و تولید اکسید آلومینیوم افزایش می‌یابد. اکسید آلومینیوم به‌صورت رسوب تمایل به ته‌نشینی دارد و در حین ته‌نشینی، آلاینده‌ها را بیش‌تر حذف می‌نماید [۴۰]. طی این مکانیسم‌ها یون‌های هیدروکسید، از احیاء آب در کاتد تشکیل می‌شوند. یون‌های هیدروکسید با یون‌های آلومینیوم تولید شده در آند واکنش داده، و سوسپانسیون ژلاتینی هیدروکسید آلومینیوم AL(OH)_n را تولید می‌نماید. این سوسپانسیون از طریق مکانیسم‌های کمپلکس‌سازی سطحی و جذب الکتروستاتیک آلاینده‌های رنگی در محلول را به دام انداخته، سپس توسط مکانیسم‌های فیزیکی جاروب کردن حذف می‌نماید. نتایج Khandegar و همکاران در سال ۲۰۱۳ در هند به منظور حذف رنگ Acid Red 131 توسط فرآیند الکتروکوآگولاسیون

معاونت تحقیقات و فناوری این دانشگاه انجام پذیرفته است. بدین وسیله از مساعدت‌های آنان که هموارکننده انجام این پژوهش بوده است، سپاس‌گزاری می‌نماید.

منابع

- [1] Balla W, Essadki A, Gourich B, Dassaa A, Chenik H, Azzi M. Electrocoagulation/electroflotation of reactive, disperse and mixture dyes in an external-loop airlift reactor. *J Hazard Mater* 2010; 184: 710-716.
- [2] Elemen S, Akcakoca-Kumbasar EP, Yapar S. Modeling the adsorption of textile dye on organoclay using an artificial neural network. *Dyes and Pigments* 2012; 95: 102-111.
- [3] Ghaly A, Ananthashankar R, Alhattab M, Ramakrishnan V. Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review. *J Chem Eng Proc Technol* 2014; 5: 182.
- [4] Waring DR, Hallas G. *The chemistry and application of dyes*: Springer Science & Business Media; 2013.
- [5] Ma L, Zhuo R, Liu H, Yu D, Jiang M, Zhang X, et al. Efficient decolorization and detoxification of the sulfonated azo dye reactive orange 16 and simulated textile wastewater containing reactive orange 16 by the white-rot fungus *Ganoderma sp. En3* isolated from the forest of Tzu-chin mountain in China. *Biochem Eng J* 2014; 82: 1-9.
- [6] Ferraz E, Umbuzeiro G, de Almeida G, Caloto Oliveira A, Chequer F, Zanoni MV, et al. Differential toxicity of disperse red 1 and disperse red 13 in the ames test, HepG2 cytotoxicity assay, and *Daphnia* acute toxicity test. *Environ Toxicol* 2011; 26: 489-497.
- [7] Saravanan M, Sambhamurthy NP, Sivarajan M. Treatment of acid blue 113 dye solution using iron electrocoagulation. *CLEAN-Soil, Air, Water* 2010; 38: 565-571.
- [8] Yazdanbakhsh AR, Kermani M, Komasi S, Aghayani E, Sheikhmohammadi A. Humic acid removal from aqueous solutions by peroxi-electrocoagulation process. *Ehem J* 2015; 2: 53-58.
- [9] Phalakornkule C, Polgumhang S, Tongdaung W, Karakat B, Nuyut T. Electrocoagulation of blue reactive, red disperse and mixed dyes, and application in treating textile effluent. *J Environ Manag* 2010; 91: 918-926.
- [10] Mahvi AH, Malakootian M, Heidari MR. Comparison of polyaluminum silicate chloride and electrocoagulation process, in natural organic matter removal from surface water in Ghochan. *Iran J Water Chem Technol* 2011; 33: 377. (Persian).
- [11] Malakootian M, Yousefi N, Fatehizadeh A. Survey efficiency of electrocoagulation on nitrate removal from aqueous solution. *Int J Environ Sci Technol* 2011; 8: 107. (Persian).
- [12] Momenzadeh R, Malakootian M, Yaghmaeian K. Efficiency of titanium dioxide photocatalytic activity in removing anionic surfactant of sodium dodecyl sulfate from waste water. *Koomesh* 2015; 16: 648-654. (Persian).
- [13] Akbal F, Camcı S. Copper, chromium and nickel removal from metalplating wastewater by electrocoagulation. *Desalination* 2011; 269: 214-222.
- [14] Roa-Morales G, Campos-Medina E, Aguilera-Cotero J, Bilyeu B, Barrera-Díaz C. Aluminum electrocoagulation with peroxide applied to wastewater from pasta and cookie processing. *Separa Purific Technol* 2007; 54: 124-129.

عمل نماید، و باعث کاهش غلظت رادیکال (OH^\cdot) در محلول شود، و در نتیجه راندمان حذف رنگ و COD کاهش یابد. نتایج حاصل از تحقیق متروپیک و همکاران در سال ۲۰۱۱ در صربستان به منظور حذف رنگ راکتیو نارنجی توسط فرآیند $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ [۳۲]. و هم‌چنین نتایج حاصل از پژوهش Guimaraes و همکاران در سال ۲۰۱۲ در برزیل به منظور حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ توسط فرآیند $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ با نتایج حاصل از مطالعه حاضر همخوانی دارد [۴۴].

راندمان حذف رنگ راکتیو نارنجی ۱۲۲ و COD، در فرآیند کوپل الکترو کوآگولاسیون با $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ در شرایط بهینه در نمونه سنتتیک به ترتیب ۹۸٪ و ۸۵٫۵٪ به دست آمد. و تحت شرایط بهینه به دست آمده، در نمونه واقعی راندمان حذف رنگ راکتیو نارنجی ۱۲۲ و COD به ترتیب ۹۵٪ و ۶۷٪ گزارش شد. علت کم شدن راندمان حذف رنگ و COD در محلول واقعی، حضور یون‌هایی مانند کلراید و بیکربنات در نمونه واقعی می‌باشد. این یون‌ها با رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل ترکیب شده، و آن‌ها را به رادیکال معدنی هیدروکسیل تغییر شکل می‌دهند، به دلیل این‌که قدرت رنگ‌زدایی و حذف COD توسط رادیکال معدنی هیدروکسیل به مراتب پایین‌تر از رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل می‌باشد، در نتیجه راندمان حذف رنگ راکتیو نارنجی ۱۲۲ و COD در نمونه واقعی کم‌تر از نمونه سنتتیک به دست آمد. در فرآیند کوپل الکترو کوآگولاسیون با $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ به علت مصرف کم شدت جریان الکتریکی و مواد شیمیایی، عدم تولید محصولات جانبی باقی‌مانده، و حجم کم لجن تولیدی و بازده بالا، روشی مؤثر در حذف رنگ راکتیو نارنجی ۱۲۲ از فاضلاب نساجی می‌باشد.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاصل پایان‌نامه دانشجویی در مقطع کارشناسی ارشد و جزو طرح‌های تحقیقاتی مصوب مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان با کد مصوب ۹۴/۲۱۲ می‌باشد که زیر نظر این مرکز و با حمایت

- [30] Keen OS, Baik S, Linden KG, Aga DS, Love NG. Enhanced biodegradation of carbamazepine after UV/H₂O₂ advanced oxidation. *Environ Sci Technol* 2012; 46: 6222-6227.
- [31] Kasiri M, Khataee A. Removal of organic dyes by UV/H₂O₂ process: modelling and optimization. *Environ Technol* 2012; 33: 1417-1425.
- [32] Mitrović J, Radović M, Bojić D, Anđelković T, Purenović M, Bojić A. Decolorization of textile azo dye reactive orange 16 with UV/H₂O₂ process. *J Serb Chem Soc* 2012; 77: 465-481.
- [33] Spellman FR. Handbook of water and wastewater treatment plant operations: CRC Press; 2013.
- [34] Pajootan E, Arami M, Mahmoodi NM. Binary system dye removal by electrocoagulation from synthetic and real colored wastewaters. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 2012; 43: 282-290.
- [35] Şengil İA, Özacar M. The decolorization of CI Reactive Black 5 in aqueous solution by electrocoagulation using sacrificial iron electrodes. *J Hazard Mater* 2009; 161: 1369-1376.
- [36] Zuurro A, Fidaleo M, Lavecchia R. Response surface methodology (RSM) analysis of photodegradation of sulfonated diazo dye Reactive Green 19 by UV/H₂O₂ process. *J Environ Manag* 2013; 127: 28-35.
- [37] Racyte J, Rimeika M, Bruning H. pH effect on decolorization of raw textile wastewater polluted with reactive dyes by advanced oxidation with UV/H₂O₂. *Environ Prot Eng* 2009; 35: 167-178.
- [38] Elmorsi TM, Riyad YM, Mohamed ZH, El Bary HMA. Decolorization of mordant red 73 azo dye in water using H₂O₂/UV and photo-Fenton treatment. *J Hazard Mater* 2010; 174: 352-358.
- [39] Amin H, Amer A, Fecky A, Ibrahim I. Treatment of textile wastewater using H₂O₂/UV system. *Physicochemical. Problems of Mineral Processing* 2008; 42: 17-28.
- [40] Singh A, Srivastava A, Tripathi A, Dutt NN. Optimization of brilliant green dye removal efficiency by electrocoagulation using response surface methodology. *World J Environ Eng* 2016; 4: 23-29.
- [41] Basturk E, Karatas M. Decolorization of anthraquinone dye reactive blue 181 solution by UV/H₂O₂ process. *J photo Chem Photobio A Chem* 2015; 299: 67-72.
- [42] Chiu C, Moss CF. The role of the external ear in vertical sound localization in the free flying bat, *Eptesicus fuscus*. *J Acoust Soc Am* 2007; 121: 2227-2235.
- [43] Kalra SS, Mohan S, Sinha A, Singh G. Advanced oxidation processes for treatment of textile and dye wastewater: a review. 2nd International Conference on Environmental Science and Development, IACSIT Press, Singapore, 2011; 4: 271-275.
- [44] Guimaraes JR, Maniero MG, de Araujo RN. A comparative study on the degradation of RB-19 dye in an aqueous medium by advanced oxidation processes. *J Environ Manag* 2012; 110: 33-39.
- [15] Khandegar V, Saroha AK. Electrochemical treatment of textile effluent containing Acid Red 131 dye. *J Hazard Toxic Radio Waste* 2013; 18: 38-44.
- [16] Mollah MYA, Gomes JA, Das KK, Cocke DL. Electrochemical treatment of Orange II dye solution use of aluminum sacrificial electrodes and floc characterization. *J Hazard Mater* 2010; 174: 851-858.
- [17] Aoudj S, Khelifa A, Drouiche N, Hecini M, Hamitouche H. Electrocoagulation process applied to wastewater containing dyes from textile industry. *Chem Eng Proc* 2010; 49: 1176-1182.
- [18] Attour A, Touati M, Tlili M, Amor MB, Lapique F, Leclerc JP. Influence of operating parameters on phosphate removal from water by electrocoagulation using aluminum electrodes. *Sep Purif Technol* 2014; 123: 124-129.
- [19] El-Ashtouky EZ, Amin N. Removal of acid green dye 50 from wastewater by anodic oxidation and electrocoagulation—A comparative study. *J Hazard Mater* 2010; 179: 113-119.
- [20] Kabdaşlı I, Vardar B, Arslan-Alaton I, Tünay O. Effect of dye auxiliaries on color and COD removal from simulated reactive dyebath effluent by electrocoagulation. *Chem Eng J* 2009; 148: 89-96.
- [21] Malakootian M, Mansoorian H, Moosazadeh M. Performance evaluation of electrocoagulation process using iron-rod electrodes for removing hardness from drinking water. *Desalination* 2010; 255: 67-71.
- [22] Malakootian M, Yousefi N. The efficiency of electrocoagulation process using aluminum electrodes in removal of hardness from water. *Chem Eng J* 2009; 148: 89-96.
- [23] Sridhar R, Sivakumar V, Immanuel VP, Maran JP. Treatment of pulp and paper industry bleaching effluent by electrocoagulant process. *J Hazard Mater* 2011; 186: 1495-1502.
- [24] Hanafi F, Assobhei O, Mountadar M. Detoxification and discoloration of Moroccan olive mill wastewater by electrocoagulation. *J Hazard Mater* 2010; 174: 807-812.
- [25] Kobya M, Delipinar S. Treatment of the baker's yeast wastewater by electrocoagulation. *J Hazard Mater* 2008; 154: 1133-1140.
- [26] Rahmanian N, Jafari SM, Galanakis CM. Recovery and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater. *J Amer Oil Chem Soc* 2014; 91: 1-18.
- [27] Bazrafshan E, Mahvi AH. Textile wastewater treatment by electrocoagulation process using aluminum electrodes. *Iran J Health Sci* 2014; 2: 16-29.
- [28] Rahmani AR, Samarghandi MR. Electrocoagulation treatment of color solution containing colored index eriochrome black T. *J Water Wastewater* 2009; 69: 52-58.
- [29] Sirés I, Brillas E, Oturan MA, Rodrigo MA, Panizza M. Electrochemical advanced oxidation processes: today and tomorrow. A review. *Environ Sci Pollu Res* 2014; 21: 8336-8367.

Efficiency of electrocoagulation process coupled with UV/H₂O₂ to remove the orange reactive dye 122 from wastewater of textile industries

Tayebeh Nadri (M.Sc)¹, Mohammad Hassn Ehrampoush (Ph.D)², Mohammad Malakootian (Ph.D)^{1,3}

1 – Dept. of Environmental Health, School of Public Health, Kerman University of Medical Sciences Kerman, Iran

2 – Dept. of Environmental Health, School of Public Health, University of Medical Sciences Shahid Sadoughi Yazd, Yazd, Iran

3 - Environmental Health Engineering Research Center, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

(Received: 6 Oct 2016; Accepted: 29 Nov 2016)

Introduction: Besides aesthetic aspects, the discharge of textile wastewater into the environment create serious environmental problems as well. The objective of this research was to investigate the factors affecting the efficiency of the electrocoagulation process coupled with UV/H₂O₂ and determine the optimum conditions for dyes and COD removal from textile wastewater containing the orange reactive dye 122.

Materials and Methods: This experimental research was done at Environmental Health Engineering Research Center, Kerman University of Medical Sciences in 2014. In this research, the efficiency of Color removal and COD from synthetic solution under various conditions such as different pH (3, 6, 9), time (40, 30, 20, 10 minutes), flow (80, 20.60 amps per square meter) and initial concentration of H₂O₂ (80, 40, 20, 10 Mm/L) were measured. In addition, optimization experiments in real sewage have also been investigated.

Results: the obtained results showed that the maximum efficiency of dyes and COD removal from synthetic solution in optimal condition of pH=6, flow rate=60 A/m², initial concentration of H₂O₂ 20 Mm/L, and 20 minutes' reaction time was obtained 98% and 85.5% respectively. While, the maximum efficiency of dyes and COD removal from real wastewater samples was found 92% and 65.5% respectively.

Conclusion: Due to the use of fewer chemicals, non-residual products, low sludge production, and High efficiency of removal can be concluded that electrocoagulation process coupled with UV/ H₂O₂ is an effective method to remove the orange reactive dye 122 from wastewater of textile industries.

Keywords: Electrocoagulation process coupled with UV/H₂O₂, reactive dyes, textile wastewater.

* Corresponding author. Tel: +98 34 31325128

m.malakootian@yahoo.com