

رنگ زدایی از فاضلاب نساجی با استفاده از فرایند الکتروشیمیایی در حضور پراکسید هیدروژن و پلی آلومینیوم کلراید

فرشید قنبری^۱ گیتی کاشی^۲ حمیده دین پژوه^۳
شیما عرب‌نیا^۳ فیاض مهدی‌پور^۳

(دریافت ۹۱/۳/۳۰ پذیرش ۹۱/۱۱/۹)

چکیده

این تحقیق به منظور ارزیابی اثر استفاده از پراکسید هیدروژن و پلی آلومینیوم کلراید بر فرایند الکتروشیمیایی در حذف رنگ از فاضلاب نساجی صورت گرفت. در این تحقیق فرایند الکتروشیمیایی در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از الکترودهای مس انجام شد و اثر متغیرهای شدت جریان (۴۰۰-۱۰۰ میلی آمپر)، pH (۳-۱۰)، غلظت پراکسید هیدروژن (۰/۰۲-۰/۰۵ مول) و غلظت پلی آلومینیوم کلراید (۲۰۰-۵۰ میلی گرم در لیتر) بر رنگ‌زدایی و معدنی‌سازی بررسی شد. شرایط بهینه الکتروشیمیایی در حضور پراکسید هیدروژن در pH معادل ۳، غلظت پراکسید هیدروژن ۰/۰۱ مول و شدت جریان ۳۰۰ میلی‌آمپر و برای فرایند الکتروشیمیایی در حضور پلی‌آلومینیوم کلراید pH معادل ۷، غلظت پلی‌آلومینیوم کلراید ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و شدت جریان ۳۰۰ میلی‌آمپر به دست آمد. نتایج نشان داد که فرایند الکتروشیمیایی در حضور پراکسید هیدروژن مؤثرتر از پلی‌آلومینیوم کلراید است. حداکثر انرژی مصرفی فرایند الکتروشیمیایی در حضور پراکسید هیدروژن و پلی‌آلومینیوم کلراید به ترتیب ۳/۹۱ و ۳/۵۲ کیلووات ساعت بر متر مکعب بعد از ۵۰ دقیقه بود. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که فرایند الکتروشیمیایی، یک فرایند مؤثر و قابل اعتماد در حذف رنگ و مواد آلی از فاضلابهای رنگی است.

واژه‌های کلیدی: حذف رنگ، فرایند الکتروشیمیایی، الکتروود مس، فاضلاب رنگی

Decolorization of Textile Wastewater by Electrochemical Process in the Presence of Hydrogen peroxide and Poly Aluminum Chloride

F. Ghanbari¹ G. Kashi² H. Dinpajouh³
S. Arabnia³ F. Mehdipour³

(Received June 19, 2012 Accepted Jan. 28, 2013)

Abstract

This study was undertaken to evaluate the effectiveness of application of H₂O₂ and PAC in conjunction with electrochemical process in the removal of color from real textile wastewater. The experiments of electrochemical process were performed in the lab scale using copper electrodes. The influence of applied current (100- 400mA), pH (3-10), dosage of H₂O₂ (0.005- 0.02 M) and dosage of PAC (50- 200 mg/L) on decolorization and mineralization were evaluated. The optimum conditions were obtained at a pH of 3, with 0.01 M H₂O₂ and applied current 300mA for the electrolysis with H₂O₂ and pH of 7, 100 mg/L PAC and applied current 300mA

1. M.Sc. Student of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran (Corresponding Author) 09359639311 Ghanbari.env@gmail.com
2. Ph.D. of Environmental Health, Faculty Member of Islamic Azad University, Tehran Medical Branch, Tehran
3. M.Sc. Student of Environmental Eng., Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran
4. M.Sc. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran

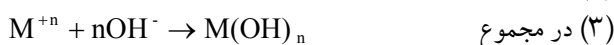
- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران (نویسنده مسئول) ۰۹۳۵۹۶۳۹۳۱۱ Ghanbari.env@gmail.com
- ۲- دکترای بهداشت محیط، هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران پزشکی، تهران
- ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران
- ۴- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران

for the electrolysis with PAC. The results displayed that electrochemical process in presence of H_2O_2 was more effective than PAC as an additive. The maximum of energy consumptions were 3.52 and 3.91 kWh/m³ for electrochemical process with H_2O_2 and PAC after 50min, respectively. Finally, it can be concluded that electrochemical process is an effective and reliable process for the removal of color and organic compounds from colored wastewater.

Keywords: Color Removal, Electrochemical Process, Copper Electrode, Colored Wastewater.

۱- مقدمه

در صنعت نساجی، حجم زیادی آب استفاده می‌شود. این حجم بالای آب پس از پایان فرایندها به فاضلاب تبدیل می‌شود و تصفیه آن پیش از تخلیه به منابع آبی پذیرنده، ضروری است [۱ و ۲]. مواد رنگزای مصرفی در صنعت نساجی، منجر به تغییرات قابل توجهی در ویژگی‌های فاضلاب تولیدی از جمله رنگ، غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، غلظت جامدات محلول و نوسانات pH می‌شوند [۳]. پساب رنگی از مقاومت شیمیایی زیادی نسبت به تصفیه متداول برخوردار است و نیز عوامل ضد باکتری و ضد قارچ که معمولاً در رنگهای نساجی استفاده می‌شود، نسبت به تجزیه بیولوژیکی مقاوم هستند. همچنین در آب پذیرنده منجر به کاهش کیفیت زیباشناختی آب، فتوسنتز و انحلال گازها به دلیل کاهش شفافیت آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها می‌شود [۲ و ۴]. علاوه بر این ممکن است دارای مواد سمی و سرطان‌زا باشد. با توجه به ضوابط سختگیرانه اعمال شده توسط سازمان محیط زیست، حذف رنگ از پساب نساجی قبل از تخلیه، به‌عنوان چالش بزرگی برای صنعت نساجی محسوب می‌شود. در سالهای اخیر، علاقه به استفاده از فرایندهای الکتروشیمیایی برای حذف آلاینده‌های آلی از فاضلابهای سمی رو به افزایش است [۵]. این فرایند برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی از مزایای متعددی از قبیل سادگی، ایمن بودن و سازگاری با محیط زیست برخوردار است [۶]. انجام این فرایند نیازمند اعمال جریان الکتریکی بین الکترودهای صفحه‌ای مستغرق در الکترولیت است، به طوری که در آند واکنش اکسیداسیون و در کاتد واکنش احیا انجام می‌گیرد. اگر الکترود آند از جنس فلز M باشد، واکنش‌های ۱ تا ۳ در طول الکترولیز اتفاق می‌افتد [۵ و ۷]



روشهای الکتروشیمیایی می‌توانند برای تصفیه پسابهای دارای فلزات سنگین، صنعت روغن‌کشی زیتون، ترکیبات آلی طبیعی، اورتو فسفات‌ها، شیرابه محل دفن، ترکیبات دارویی و ماده رنگزای بازیگ مورد استفاده قرار گیرند [۸-۱۴].

در بیشتر تحقیقات انجام گرفته با روشهای الکتروشیمیایی، استفاده از فرایند انعقاد الکتریکی با الکترودهای آلومینیوم و آهن برای حذف رنگ از پساب نساجی انجام شده است. کان و همکاران در مطالعه‌ای بر روی فاضلاب نساجی با استفاده از الکترود آلومینیوم در فرایند انعقاد الکتریکی، به راندمان حذف بیش از ۶۰ درصد COD دست یافتند [۳]. همچنین ترکیب دو فرایند شیمیایی و فرایند الکتروشیمیایی به صورت همزمان بر کارایی تصفیه فاضلاب نیز می‌افزاید. به طوری که در مطالعه تزکان و همکاران به منظور تصفیه فاضلاب روغن‌کشی زیتون، از ترکیب فرایند الکتروکواگولاسیون با الکترود آهن و PAC و H_2O_2 استفاده کردند و به کارایی حذف ۶۲ تا ۶۸ درصد COD دست یافتند [۹].

تاکنون مطالعه‌ای مبنی بر عملکرد یون مس تولیدی به صورت الکتروشیمیایی به عنوان عامل منعقدکننده و همچنین عملکرد یون مس به عنوان کاتالیزور در حضور پراکسید هیدروژن و عملکرد آن در حضور PAC انجام نشده است. مطالعات بسیاری درباره عملکرد یون آهن در ترکیب با پراکسید هیدروژن وجود دارد اما مطالعات کمتری مبنی بر عملکرد دیگر فلزات واسطه به ویژه مس برای تصفیه مواد آلی انجام شده است. در مطالعه حاضر از الکترودهای مس به عنوان آند و کاتد برای فرایند الکتروشیمیایی به منظور رنگزدایی فاضلاب نساجی استفاده شد و عملکرد یون مس به عنوان عامل منعقدکننده ارزیابی شد و همچنین کارایی فرایند الکتروشیمیایی با تولید یون مس در تلفیق با کاربرد مواد شیمیایی پراکسید هیدروژن و پلی آلومینیوم کلراید (PAC) ارزیابی شد و اثر پارامترهای مختلف از جمله pH، شدت جریان، غلظت پراکسید هیدروژن، غلظت PAC و زمان واکنش مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روشها

۲-۱- تهیه پساب رنگی و مواد شیمیایی مورد نیاز

پساب رنگی که حاوی مخلوطی از رنگهای دیسپرس قرمز و زرد کاتیونی بود، از کارخانه نساجی واقع در استان مرکزی جمع‌آوری و در ظرف تیره در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد. تمام مواد مصرفی در این پژوهش از شرکت مرک^۱ خریداری شد. درجه خلوص پراکسید هیدروژن و PAC به ترتیب ۳۰ درصد و

¹ Merck

در پایان هر آزمایش الکترودها توسط آب مقطر به مدت ۱ دقیقه آب‌کشی شدند.

$$\text{Removal efficiency (\%)} = \left(1 - \frac{C_t}{C_{t_0}}\right) \times 100 \quad (4)$$

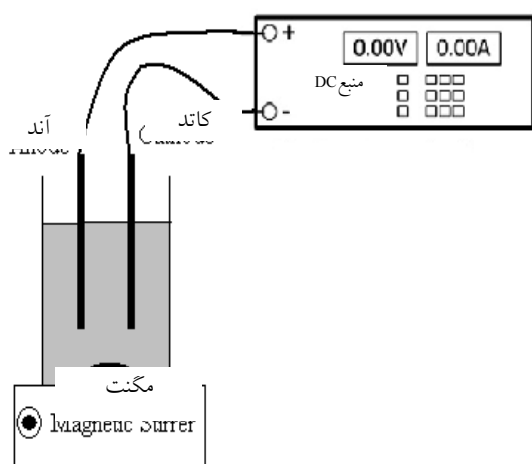
که در آن C_t و C_{t_0} به ترتیب غلظت COD پس از الکترولیز در زمان t و غلظت COD اولیه در زمان صفر است. انرژی مصرفی به ازای حجم فاضلاب تصفیه شده، با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد

$$E = \frac{U \times I \times t}{V} \quad (5)$$

که در آن U اختلاف پتانسیل بر حسب ولت، I شدت جریان بر حسب آمپر، t زمان بر حسب ساعت، V حجم فاضلاب بر حسب لیتر و E انرژی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت بر مترمکعب است [۵]. میزان تولید کاتیون مس در الکترولیت (الکتروده مصرفی) با استفاده از رابطه ۶ (بر اساس قانون فارادی) محاسبه شد

$$m = \frac{M \times I \times t}{zF} \quad (6)$$

که در آن m جرم مس آزاد شده بر حسب گرم، I شدت جریان بر حسب آمپر، t زمان بر حسب ثانیه، F ثابت فارادی (96485 C/mol)، M وزن مولکولی ($63/5$ گرم) و Z ظرفیت فلز است [۵].



شکل ۱- شمایی از راکتور ناپیوسته سل الکتروشیمیایی مورد استفاده در این مطالعه

۳۵ درصد بود.

۲-۲- آماده سازی سلول الکتروشیمیایی

در این مطالعه از یک بشر با حجم ۸۰۰ میلی‌لیتر به عنوان سل الکتروشیمیایی استفاده شد. دو الکتروده مس هر کدام به ابعاد $110 \times 40 \times 10$ میلی‌متر با سطح مؤثر ۴۸ سانتی‌متر مربع و فاصله بین الکتروده ۲۰ میلی‌متر به عنوان آند و کاتد درون سل الکتروشیمیایی قرار گرفتند و به یک منبع جریان برق مستقیم دیجیتال با توان تولید جریان الکتریکی ۲ آمپر و ۲۰ ولت متصل شدند. به منظور تمیز نمودن سطح الکترودها پیش از کاربرد آنها از محلول اسید کلریدریک ۱۵ درصد استفاده شد. شکل ۱ راکتور ناپیوسته را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که حجم فاضلاب مورد استفاده در هر سری از آزمایش‌ها ۶۰۰ میلی‌لیتر بود.

۲-۳- روش آزمایش

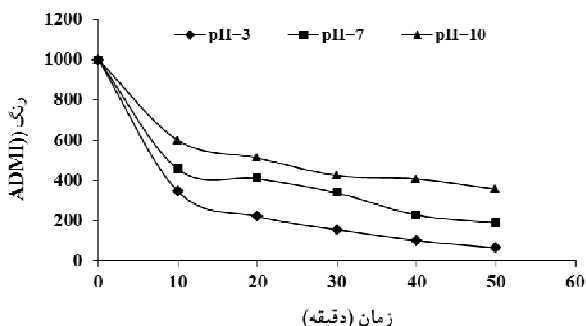
به منظور ارزیابی اثر جریان مستقیم بر کارایی حذف، نمونه‌ها در pH ۳، ۷، ۱۰ و زمان ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دقیقه و شدت جریان‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌آمپر تحت عمل الکترولیز قرار گرفتند. به منظور بررسی اثر مواد شیمیایی بر کارایی فرایند الکتروشیمیایی، محلول H_2O_2 با غلظت‌های ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مول و PAC با غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر قبل از شروع فرایند به نمونه اضافه شد. کلیه آزمایش‌ها در دمای آزمایشگاه (۲۲-۲۰ درجه سلسیوس) انجام شد. برای یکنواخت نمودن نمونه‌ها از یک همزن مغناطیسی مدل آیکا^۱ و به منظور تنظیم pH از دستگاه pH متر مدل کورنینگ^۲ ۱۲۰ و محلول اسید سولفوریک و سود ۱ نرمال استفاده شد. پس از گذشت زمان هر ۱۰ دقیقه از میان راکتور نمونه‌گیری انجام می‌شد و بلافاصله به منظور اندازه‌گیری رنگ، نمونه‌ها از صافی شماره ۴۲ واتمن عبور داده می‌شدند. مقدار حذف ترکیبات آلی با شاخص COD مورد ارزیابی قرار گرفت. اندازه‌گیری پارامتر رنگ و COD به ترتیب با روش ADMI و رنگ سنجی توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل هیچ DR5000^۳ طبق دستورالعمل‌های موجود در کتاب روش‌های استاندارد برای انجام آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام گرفت. به منظور رفع تداخل پراکسید هیدروژن باقیمانده در آزمایش COD از تیوسولفات سدیم استفاده شد [۱۵]. راندمان حذف COD در این تحقیق تحلیلی - کاربردی به وسیله رابطه ۴ محاسبه شد. همچنین

¹ Aika

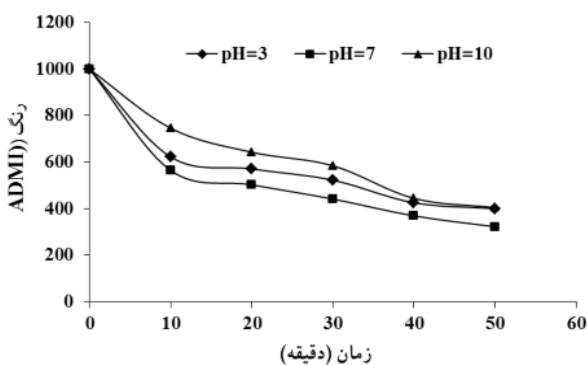
² Corning 120

³ DR5000-Hach

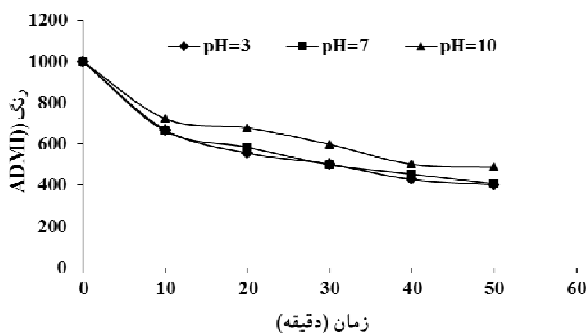
کمتری دارد و مستقل از pH عمل می‌کند. شکل ۴ نشان می‌دهد که یون مس تولیدی به تنهایی کارایی بسیار کمتری دارد و قادر به حذف رنگ محلول از پساب و تشکیل لخته‌هایی برای جذب مواد آلی نیست. بنابراین بقیه آزمایش‌ها تنها در حضور مواد H_2O_2 و PAC انجام شد.



شکل ۲- اثر pH بر حذف رنگ در حضور غلظت ۰/۰۱ مول H_2O_2 (شدت جریان ۲۰۰ میلی آمپر)



شکل ۳- اثر pH بر حذف رنگ در حضور غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر PAC (شدت جریان ۲۰۰ میلی آمپر)



شکل ۴- اثر pH بر حذف رنگ بدون اضافه کردن ماده شیمیایی (شدت جریان ۲۰۰ میلی آمپر)

۳-۳- اثر شدت جریان بر کارایی حذف رنگ

برای بررسی اثر شدت جریان بر کارایی فرایند الکتروشیمیایی آزمایش‌ها در ۴ مقدار شدت جریان ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰

۳- نتایج و بحث

۳-۱- کیفیت اولیه فاضلاب

جدول ۱ کیفیت فاضلاب نساجی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. نسبت پایین BOD_5/COD نشان دهنده عدم تجزیه پذیری بیولوژیکی فاضلاب است.

جدول ۱- جدول کیفیت فاضلاب نساجی

| پارامتر | واحد | مقدار |
|----------------|-------|-------|
| COD | mg/L | ۹۰۵ |
| رنگ فاضلاب | ADMI | ۹۹۸ |
| pH | - | ۴/۱۰ |
| BOD_5 | mg/L | ۱۱۰ |
| هدایت الکتریکی | mS/cm | ۲/۴۵ |

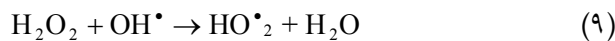
۳-۲- اثر pH بر کارایی حذف رنگ

به منظور بررسی اثر pH بر کارایی فرایند الکتروشیمیایی، سه مقدار pH در محدوده اسیدی، خنثی و قلیایی مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در حضور H_2O_2 مقدار رنگ زدایی با افزایش pH کاهش می‌یابد. این پدیده به دلیل ناپایداری H_2O_2 در شرایط قلیایی است که منجر به تجزیه H_2O_2 به آب و اکسیژن شده و از کارایی فرایند کاسته می‌شود. علاوه بر این، بهترین pH برای تولید رادیکال هیدروکسیل ناشی از ترکیب یون مس تولیدی از آنند و H_2O_2 معادل ۳ است (واکنش ۷). این واکنش بر اساس مطالعه هابر و وایس واکنش شبه فتون نام دارد و به صورت زنجیره‌ای ادامه می‌یابد (واکنش ۸). رادیکال OH^\bullet تولیدی و متعاقب آن هیدروپروکسیل ناشی از واکنش ۸ به عنوان دو اکسید کننده اصلی مواد آلی در این فرایند عمل می‌کنند و به تجزیه مواد رنگی در فاضلاب منجر می‌شوند [۱۶ و ۱۷]. بنابراین بهترین عملکرد pH در حضور پراکسید هیدروژن معادل ۳ است که طبق مطالعات انجام شده بیشترین میزان تولید رادیکال هیدروکسیل در این pH دیده شده است [۱۷].

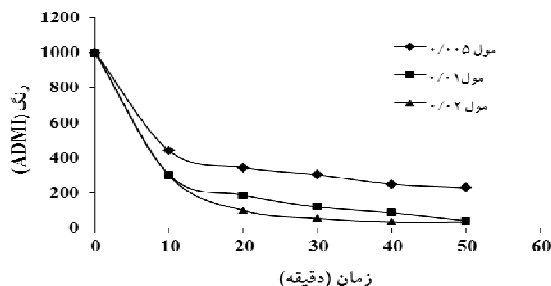


شکل ۳ اثر pH بر میزان کاهش رنگ در حضور PAC را نشان می‌دهد. در این شکل بهترین کارایی فرایند در pH خنثی مشاهده می‌شود که ناشی از عملکرد بهینه این ماده در pH معادل ۷ است. با توجه به ساختار مولکولی PAC، این ماده بعد از هیدرولیز، تولید مونومر و پلیمرهای آلومینیومی در محیط مایی کرده و سبب تولید لخته‌های سنگین تر در الکترولیت و متعاقب آن باعث کاهش رنگ فاضلاب می‌شود. اثر pH نیز بدون اضافه کردن مواد شیمیایی در شکل ۴ آورده شده است که در مقایسه با دو حالت دیگر کارایی

۰/۰۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۲ و میلی مولار در شرایط بهینه یعنی شدت جریان ۳۰۰ میلی آمپر و pH معادل ۳ انجام شد. همانطور که مشاهده می شود مقدار رنگ بر حسب ADMI در غلظت ۰/۰۰۵ میلی مولار H₂O₂ بعد از زمان واکنش ۵۰ دقیقه از ۹۹۸ به ۲۳۱ کاهش می یابد، در حالی که این مقدار برای غلظت ۰/۰۱ میلی مولار و ۰/۰۲ میلی مولار پراکسید هیدروژن به ترتیب ۴۴ و ۳۶ است. افزایش مقدار پراکسید هیدروژن به غلظت بیش از ۰/۰۱ میلی مولار تغییر چندانی در کارایی حذف رنگ ندارد. این پدیده می تواند ناشی از این باشد که با افزایش بیشتر غلظت H₂O₂، رادیکال های هیدروکسیل تولید شده در واکنش ۷ با پراکسید هیدروژن واکنش می دهند و خود پراکسید هیدروژن به عنوان جذب کننده رادیکال OH[•] عمل می کند و در نهایت منجر به تولید رادیکال های هیدروپروکسیل (HO[•]₂) می شود که در مقایسه با رادیکال OH[•]، از قدرت اکسیدکنندگی کمتری برخوردار است [۱۷، ۲۰، ۲۱].

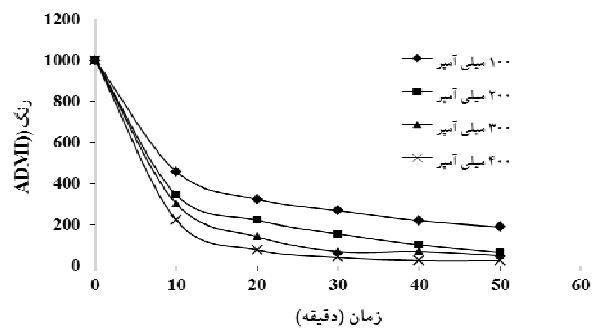


علاوه بر این غلظت بیش از اندازه پراکسید هیدروژن در طول فرایند الکترولیز، منجر به تجزیه خود به خودی این ماده می شود. این احتمال وجود دارد که پراکسید هیدروژن در آند به اکسیژن و یون هیدروژن تجزیه شود و از مقدار مؤثر آن کاسته شود. این پدیده در یافته های پژوهش ژانگ و همکاران نیز دیده شده است [۲۱]. شکل ۸ اثر مقدار غلظت PAC بر حذف رنگ در شرایط شدت جریان ۳۰۰ میلی آمپر و pH معادل ۷ در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود افزایش غلظت PAC از ۵۰ به ۱۰۰ میلی گرم در لیتر به افزایش رنگزدایی منجر می شود. ولی افزایش غلظت PAC از ۱۰۰ به ۲۰۰ میلی گرم در لیتر به افزایش رنگزدایی محسوسی منجر نمی شود. با توجه به این که افزایش غلظت PAC به افزایش لجن منجر می شود، غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر PAC در این مطالعه مناسب می باشد.

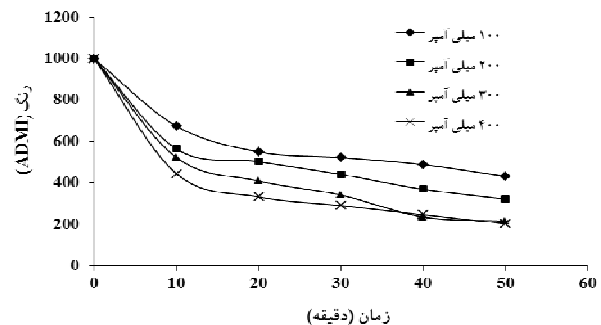


شکل ۷- اثر غلظت پراکسید هیدروژن بر حذف رنگ در شرایط شدت جریان ۳۰۰ میلی آمپر و pH معادل ۳

میلی آمپر مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق شکل های ۵ و ۶، افزایش شدت جریان منجر به افزایش خوردگی آند و هیدروکسید فلزی می شود و در نتیجه کارایی حذف رنگ افزایش می یابد [۱۱ و ۱۸]. افزایش راندمان رنگ زدایی در شدت جریان ۱۰۰ میلی آمپر در مقایسه با ۴۰۰ میلی آمپر بسیار قابل توجه است. شدت جریان اعمالی بر کارایی فرایند و انرژی الکتریکی مصرفی فرایند نیز مؤثر است. بنابراین باید این مقدار در شرایط بهینه بیشترین کارایی را داشته باشد. با توجه به نتایج، بعد از شدت جریان ۳۰۰ میلی آمپر، تغییر زیادی در کارایی فرایند در هر دو شرایط حضور H₂O₂ و PAC مشاهده نشد. این نتایج با مطالعه انجام گرفته توسط ارسلان-لاتون و همکاران مطابقت دارد. ایشان اظهار داشتند که کارایی شدت جریان بعد از مقدار معینی تأثیر زیادی بر رنگ زدایی فاضلاب ندارد و باعث افزایش انرژی مصرفی شده و همچنین منجر به تولید بیشتر لجن می شود [۱۹].



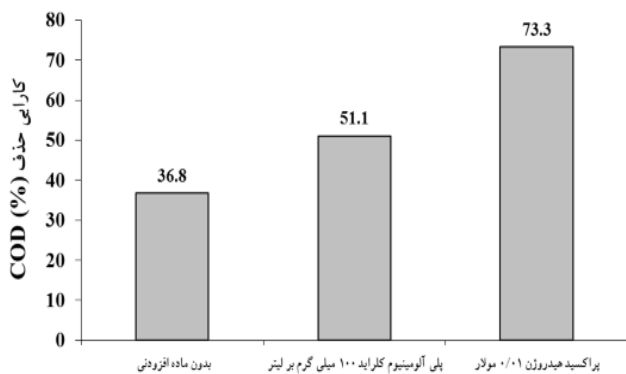
شکل ۵- اثر شدت جریان بر حذف رنگ در حضور غلظت ۰/۰۱ مول پراکسید هیدروژن و pH معادل ۳



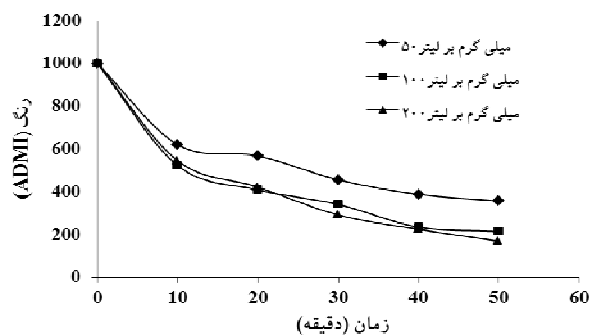
شکل ۶- اثر شدت جریان بر حذف رنگ در حضور غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر PAC و pH معادل ۷

۳-۴- اثر میزان غلظت پراکسید هیدروژن و PAC بر کارایی حذف رنگ

مطابق شکل ۷، برای بررسی اثر غلظت بهینه بر کارایی فرایند الکتروشیمیایی در حذف رنگ، آزمایش در حضور H₂O₂ انجام شد. تعیین غلظت مناسب H₂O₂ به منظور واپاشی مواد رنگزا از نظر عملیاتی و اقتصادی حائز اهمیت است. آزمایش با سه غلظت



شکل ۹- کارایی حذف COD در شرایط مختلف

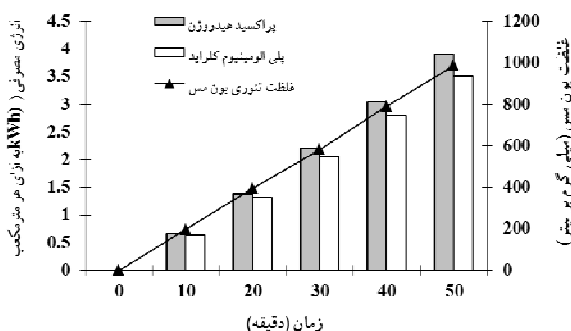


شکل ۸- اثر غلظت PAC بر حذف رنگ در شرایط شدت جریان ۳۰۰ میلی آمپر و pH معادل ۷

۳-۶- میزان انرژی مصرفی و کاتیون مس آزاد شده در فرآیند الکتروشیمیایی

در تمام واکنش‌های الکتروشیمیایی به علت استفاده از جریان الکتروسیسته، مصرف انرژی از اهمیت بسزایی برخوردار است. شکل ۱۰، انرژی مصرفی و غلظت کاتیون مس آزاد شده در حضور ۰/۱ مول پراکسید هیدروژن و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر PAC را نشان می‌دهد [۵ و ۲۵].

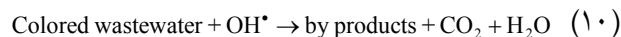
همان‌طور که شکل ۱۰ نشان می‌دهد، افزایش زمان، منجر به افزایش مصرف انرژی می‌شود. بعد از ۵۰ دقیقه زمان واکنش، مصرف انرژی برای الکترولیز با H_2O_2 و PAC به ترتیب برابر ۳/۹۱ و ۳/۵۲ کیلووات ساعت بر مترمکعب است. با وجود راندمان بالای پراکسید هیدروژن در حذف رنگ و COD این مقدار مصرف انرژی بیشتر نسبت به PAC از اهمیت زیادی برخوردار نیست. از طرفی در شکل ۱۰ مقدار تولید کاتیون مس در الکترولیت نیز آورده شده است [۵ و ۲۶]. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقدار کاتیون مس آزاد شده با انرژی مصرفی رابطه مستقیم دارد که ناشی از تأثیر مستقیم هر دو متغیر شدت جریان و زمان واکنش است.



شکل ۱۰- غلظت کاتیون مس آزاد شده و انرژی مصرفی در شدت جریان ۳۰۰ میلی آمپر در حضور غلظت ۰/۱ مول H_2O_2 (pH معادل ۳) و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر PAC (pH معادل ۷)

۳-۵- معدنی سازی فاضلاب نساجی با شاخص COD

کاهش رنگ پساب نساجی به تنهایی برای تخلیه پساب به محیط زیست کافی نیست. با توجه به اینکه در طول فرآیند امکان تشکیل ترکیبات جانبی نیز وجود دارد، پارامتر COD نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق شکل ۹ بیشترین کارایی حذف COD در حضور H_2O_2 به دست آمد (۷۳/۳ درصد). این افزایش کارایی را می‌توان به واپاشی مواد رنگزای موجود در فاضلاب توسط رادیکال‌های آزاد تشکیل یافته در طول فرآیند اکسیداسیون ناشی از واکنش شبه فنتون نسبت داد. رادیکال‌های آزاد به واپاشی مواد آلی مقاوم و تبدیل آنها به ترکیبات معدنی از جمله آب و دی اکسید کربن منجر می‌شود [۲۲]



همان‌طور که شکل ۹ نشان می‌دهد، مقدار راندمان حذف COD نیز در حضور PAC افزایش می‌یابد. در این فرآیند تنها بخشی از مواد محلول آلی پس از الکترولیز در حضور PAC تشکیل لخته داده و ته‌نشین می‌شوند. در حقیقت مواد آلی واپاشی نمی‌شوند بلکه تنها از محیط آبی به محیط جامد انتقال می‌یابند [۲۳]. علاوه بر این در مقایسه H_2O_2 و PAC، پراکسید هیدروژن علاوه بر کارایی بیشتر به عنوان ماده شیمیایی دوست‌دار محیط زیست که هیچ باقیمانده‌ای از خود به جا نمی‌گذارد، مورد توجه بیشتری قرار دارد [۲۴]. ال-ناس و همکاران در مطالعه‌ای که به منظور حذف COD با دانسیته جریان ۱۳ میلی‌آمپر بر سانتی‌متر مربع و سطح الکتروود ۴۸ سانتی‌متر مربع با زمان ۶۰ دقیقه با الکتروود آلومینیوم انجام دادند، تنها به راندمان ۶۳ درصد دست یافتند که در مقایسه با مطالعه حاضر علاوه بر انرژی مصرفی بیشتر، با توجه به اینکه کارایی ۷۳/۳ درصد با دانسیته جریان کمتر ($6/25 = \text{mA/cm}^2$) در حضور پراکسید هیدروژن حاصل شد، کارایی کمتری نیز داشته‌اند [۱۱].

الکتروشیمیایی در حضور پراکسید هیدروژن و PAC، استفاده از پراکسید هیدروژن نسبت به PAC در روش الکتروشیمیایی به دلیل تولید رادیکال هیدروکسیل و نقش کاتالیزوری یون مس، می‌تواند تأثیر بیشتری در حذف مواد آلی داشته باشد. همچنین این روش به دلیل زمان کم واکنش نسبت به دیگر روشهای تصفیه و متعاقب آن انرژی مصرفی مناسب، می‌تواند قابلیت بهره‌برداری در مقیاس‌های صنعتی را نیز داشته باشد.

۵- قدردانی

به این وسیله از زحمات آقای مجتبی قنبری که در امر نمونه‌برداری مساعدت نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

گستره مقدار کاتیون مس آزاد شده در شدت جریان ۳۰۰ میلی آمپر، ۹۸۷-۱۹۷ میلی‌گرم در لیتر است. این مقدار کاتیون مس آزاد شده به صورت هیدروکسید ته‌نشین شده و تولید لجن می‌کند. لجن ناشی از فرایندهای الکتروشیمیایی در مقایسه با فرایندهای شیمیایی به راحتی قابل آبگیری و بازیافت می‌باشند [۲۷].

۴- نتیجه‌گیری

همانطور که نتایج نشان داد فرایند الکتروشیمیایی با تولید یون مس به تنهایی قادر به حذف رنگ به طور کامل نیست. اما با افزودن موادی نظیر PAC و H_2O_2 ، کارایی فرایند در حذف رنگ افزایش چشمگیری می‌یابد. با توجه به نتایج و ارزیابی فرایند

۶- مراجع

- 1-Rajkumar, D., Song, B. J., and Kim, J. G. (2007). "Electrochemical degradation of reactive blue19 in chloride medium for the treatment of textile dyeing wastewater with identification of intermediate compounds." *Dyes and Pigments*, 72 (1), 1-7.
- 2-Savi, I., and Butnaru, R. (2008). "Wastewater characteristics in textile finishing mills." *Environmental Engineering and Management Journal*, 7(6), 859-864.
- 3-Can, O. T., Kobya, M., Demirbas, E., and Bayramoglu, M. (2006). "Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation." *Chemosphere*, 62, 181-187.
- 4-Chatzisyemon, E., Xekoukoulotakis, N. P., Coz, A., Kalogerakis, N., and Mantzavinos, D. (2006). "Electrochemical treatment of textile dyes and dyehouse effluents." *J. of Hazardous Materials*, 137, 998-1007.
- 5-Martinez-Huitle, C. A., and Brillas, E. (2009). "Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: A general review." *Applied Catalysis B: Environmental*, 87, 105-145.
- 6-Rajeshwar, K., Ibanez, J. G., and Swain, G. M. (1994). "Electrochemistry and the environment." *J. of Applied Electrochemistry*, 24, 1077-1091.
- 7-Chen, G. (2004). "Electrochemical technologies in wastewater treatment." *Separation and Purification Technology*, 38, 11-41.
- 8-Al Aji, B., Yavuz, Y., and Koparal, A. S. (2012). "Electrocoagulation of heavy metals containing model wastewater using monopolar iron electrodes." *Separation and Purification Technology*, 86, 248-254.
- 9-Tezcan Un, U., Uger, S. Koparal, A. S., and Bakir Ogutveren, U. (2006). "Electrocoagulation of olive mill wastewaters." *Separation and Purification Technology*, 52, 136-141.
- 10-Vepsalainen, M., Pulliainen, M., and Sillanpaa, M. (2012). "Effect of electrochemical cell structure on natural organic matter (NOM) removal from surface water through electrocoagulation (EC)." *Separation and Purification Technology*, 99, 20-27.
- 11-Bouamra, F., Drouiche, N., Ahmad, D. S., and Louncic, H. (2012). "Treatment of water loaded with orthophosphate by electrocoagulation." *Procedia Engineering*, 33, 155-162.

- 12-Li, X., Song, J., Gou, J., Wang, Z., and Feng, Q. (2011). "Landfill leachate treatment using electrocoagulation." *Procedia Environmental Sciences*, 10, 1159-1164.
- 13-Arsand, D. R., Kummerer, K., and Martins, A. F. (2013). "Removal of dexamethasone from aqueous solution and hospital wastewater by electrocoagulation." *Science of the Total Environment*, 443, 351-357.
- 14- Jafarzadeh, N., N., and Daneshvar, N. (2006). "Treatment of textile wastewater containing basic dyes by electrocoagulation process." *J. of Water and Wastewater*, 85, 22-29. (In Persian)
- 15-APHA. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th Ed., APHA, AWWA, WEF, Washington, DC.
- 16-Haber, F., and Weiss, J. (1934). "The catalytic decomposition of hydrogen peroxide by iron salts." *Proceedings of the Royal Society*, 147, 332-351.
- 17- Pignatello, J. J., Oliveros, E., and MacKay, A. (2006). "Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the fenton reaction and related chemistry." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36(1), 1-84.
- 18- Cerqueira, A., Russo, C., and Marques, M. R. C. (2009). "Electroflocculation for textile wastewater treatment." *Brazilian J. of Chemical Engineering*, 26(4), 659-668.
- 19-Arslan-Alaton, I., Kabdasli, I., Vaedar, B., and Tunay, O. (2009). "Electrocoagulation of simulated reactive dye bath effluent with aluminum and stainless steel electrodes." *J. of Hazardous Materials*, 164, 1586-1594.
- 20- Jamshidi, N., Torabian, A., Nabi Bidhendi, Gh., Azimi, A.A., and Jafarzadeh, M. T. (2009). "Investigation of phenol removal in aqueous solutions using advanced photochemical oxidation (APO)." *J. of Water and Wastewater*, 72, 24-29. (In Persian)
- 21-Zhang, H., Zhang, D., and Zhou, J. (2006). "Removal of COD from landfill leachate by electro-Fenton method." *J. of Hazardous Materials*, 135, 106-111.
- 22- Torrades, F., Saiz, S., and Gacia-Hortal, J. A. (2011). "Using central composite experimental design to optimize the degradation of black liquor by Fenton reagent." *Desalination*, 268, 97-102.
- 23- Khataee, A. R., Vatanpour, V. and Amani Ghadim, A. R. (2009). "Decolorization of C.I. acid blue 9 solution by UV/Nano-TiO₂, fenton, fenton-like, electro-Fenton and electrocoagulation processes: A comparative study." *J. of Hazardous Materials*, 161, 1225-1233.
- 24-Pardieck, D. L., Bouwer, E. J., and Stone, A. T. (1992). "Hydrogen peroxide use to increase oxidant capacity for in situ bioremediation of contaminated soils and aquifers: A review." *J. of Contaminant Hydrology*, 9, 221-242.
- 25-Kobyas, M., Demirbas, E., Dedeli, A., and Sensoy, M. T. (2010). "Treatment of rinse water from zinc phosphate coating by batch and continuous electrocoagulation processes." *J. of Hazardous Materials*, 173, 326-334.
- 26-Ben Sasson, M., Calmano, W., and Adin, A. (2009). "Iron-oxidation processes in an electroflocculation (electrocoagulation) cell." *J. of Hazardous Materials*, 171, 704-709.
- 27-Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., and Cocke, D. L. (2001). "Electrocoagulation (EC)-science and applications." *J. of Hazardous Materials*, 84, 29-41.