



بررسی عملکرد فرآیند الکتروفنتون برای حذف رنگ از فاضلاب واقعی نساجی براساس

شاخص ADMI

اکبر اسلامی^۱، مهسا مرادی^۲، فرشید قنبری^{۳*}، حسین راعی شکتایی^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۷۳۹

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۷۳۹

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۳ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۸ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۲/۹/۲۰

چکیده

فرآیند الکتروفنتون با تولید الکتروشیمیایی یون فرو و افزودن پراکسید هیدروژن برای تصفیه فاضلاب واقعی نساجی مورد بررسی قرار گرفت. اثر عواملی همچون چگالی جریان، غلظت پراکسید هیدروژن و زمان واکنش بر روی حذف رنگ و COD/ارزیابی گردید. همچنین انرژی مصرفی و مقدار یون فرو تولیدی نیز محاسبه شد. نتایج نشان داد که ۶۷٫۹٪ رنگ‌زدایی با ۴۵ دقیقه الکترولیز، اعمال چگالی جریان ۱۱٫۲۵ میلی آمپر بر سانتی متر مربع و ۷۳ میلی مولار پراکسید هیدروژن حاصل گردید. علاوه بر این در این شرایط انرژی مصرفی به ازای هر کیلوگرم COD حذف شده برابر ۸٫۳۷ کیلو وات ساعت بود. در نهایت دو روش اندازه گیری، ADMI و جذب حداکثر در طول موج ۴۰۰ نانومتر برای رنگ‌زدایی فاضلاب واقعی نساجی با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: فاضلاب نساجی، حذف رنگ، الکتروفنتون، ADMI.

Study on Performance of Electro-Fenton for Color Removal from Real Textile Wastewater Based on ADMI

A. Eslami, M. Moradi, F. Ghanbari*, H. Raei Shaktaee

Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences,
P.O.Box: 4739, Tehran, Iran.

Received: 22-04-2012

Accepted: 18-03-2013

Available online: 11-12-2013

Abstract

The Electro-Fenton process with applied H_2O_2 and electro-generated ferrous ion was investigated for treatment of real textile wastewater. The effects of various factors such as current density, H_2O_2 dosage and reaction time on color and COD removal from real textile wastewater were evaluated. Likewise, the amounts of energy consumption and generation of ferrous ion were calculated. The results indicated that the application of $11.25 mA/cm^2$ current density with $73 mM H_2O_2$ provided 67.9% decolorisation within 45min of electrolysis time. Moreover, in this condition, energy consumption was 8.37 KWh/kg of COD. Finally, the ADMI method and maximum absorbance at wavelength of 400nm as two methods of color measurement were compared for decolorisation of real textile wastewater. J. Color Sci. Tech. 7(2013), 173-180©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Textile wastewater, Color removal, Electro-Fenton, ADMI.

۱- مقدمه

الکتروفنتون با تولید یون فرو در محیط، در حقیقت فرآیند ترکیبی است که مزایای هر دو فرآیند الکتروشیمیایی (الکتروکوگولاسیون) و اکسیداسیون فنتون را دارا می‌باشد [۹، ۶].



استفاده از این روش برای تصفیه فاضلاب‌های صنایع مختلف از جمله دباغی [۱۱]، شیرابه محل دفن [۹] و روغن‌کشی زیتون [۱۲] نیز گزارش شده است. در زمینه اندازه‌گیری رنگ در فاضلاب‌های حاوی ماده رنگزا روش ADMI^۱ به دلیل اینکه مستقل از تهرنگ فاضلاب می‌باشد، به عنوان مناسب‌ترین روش برای اندازه‌گیری رنگ فاضلاب شناخته شده است. با این حال، از روش ADMI به دلیل روابط پیچیده و ضرایب خاص آن برای بیان میزان رنگ فاضلاب کمتر استفاده شده است. در این مطالعه رنگ‌زدایی با شاخص ADMI و معدنی‌سازی فاضلاب نساجی با استفاده از فرآیند الکتروفنتون با الکترودهای آهن به منظور تولید یون فرو، مورد بررسی قرار گرفت و اثرات عوامل چگالی جریان، غلظت پراکسید هیدروژن، زمان و انرژی مصرفی نیز ارزیابی گردید.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

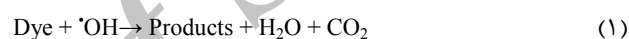
مواد شیمیایی به کار رفته شامل اسید سولفوریک غلیظ، کلروپلاتینات پتاسیم، دی کرومات پتاسیم، سولفات نقره، سولفات جیوه و فرو سولفات آمونیوم همگی از شرکت مرک خریداری شد. به منظور تهیه محلول‌ها از آب دوبار تقطیر استفاده گردید.

۲-۲- روش کار

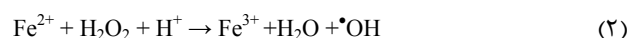
نمونه فاضلاب واقعی صنعت نساجی از کارخانه‌ای در شهرستان ابهر واقع در استان زنجان گرفته و در ظرف تیره، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. کیفیت اولیه فاضلاب مورد مطالعه به شرح زیر می‌باشد: $\text{COD} = 1730 \pm 50 \text{ mg/l}$ ، $\text{BOD}_5 = 320 \text{ mg/l}$ ، حداکثر جذب در طول موج ۴۰۰ نانومتر برابر ۱،۱۲، $\text{pH} = 6,55$ و هدایت الکتریکی برابر ۵۰۶ میکروموس بر سانتی‌متر.

شکل ۱، شمایی از راکتور الکتروفنتون مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مطالعه مورد نظر، در مقیاس آزمایشگاهی و در یک سل ۲۵۰ میلی‌لیتری برای ۲۰۰ میلی‌لیتر الکترولیت (فاضلاب نساجی) انجام شد. در داخل سل الکتروشیمیایی، یک جفت الکتروده آهن با ابعاد ۴×۵ سانتی‌متر (سطح مؤثر) و با فاصله ۳ سانتی‌متر به عنوان آند و کاتد که به یک منبع تغذیه (5A, 60V Zhaoxin) متصل شده بود، استفاده گردید.

فرآیندهای تصفیه متداول شامل تصفیه بیولوژیکی و تصفیه فیزیکی-شیمیایی برای تصفیه فاضلاب نساجی چندان موثر نمی‌باشند. فرآیندهای بیولوژیکی به علت عدم تجزیه‌پذیری بیولوژیکی مواد رنگزا، وجود حلقه‌های آروماتیک و سمیت بسیاری از رنگزاهای آلی برای میکروارگانیسم، کارایی چندانی ندارند. فرآیندهای فیزیکی-شیمیایی نیز به علت داشتن مشکلاتی از قبیل احیای جاذب‌ها، تولید لجن ناشی از فرآیند انعقاد و تبدیل ماده رنگزا از فاز مایع به جامد و عدم تخریب ساختار این مواد، در تصفیه فاضلاب نساجی چندان موفق نبوده‌اند [۳-۱]. در چند دهه اخیر روش‌های اکسیداسیون پیشرفته توانسته‌اند به صورت چشمگیری بر این مشکلات غلبه کنند و خود را به عنوان فرآیندی نوپهور در تصفیه آب و فاضلاب مطرح کنند. این فرآیندها براساس تولید رادیکال هیدروکسیل به عنوان یک اکسیدکننده غیرانتخابی و قوی می‌باشند که قادر به معدنی‌سازی آلاینده مقاوم مانند مواد رنگزا و تبدیل آنها به محصولات جانبی، دی اکسید کربن و آب می‌باشند (رابطه ۱) [۶-۴].



احتمالاً متداول‌ترین فرآیند اکسیداسیون پیشرفته فرآیند اکسیداسیون فنتون می‌باشد که از ترکیب پراکسید هیدروژن با یون فرو (Fe^{2+}) در شرایط اسیدی به وجود می‌آید. این فرآیند به علت سهولت در بهره‌برداری، سریع بودن واکنش و هزینه نه چندان زیاد آن به شدت مورد توجه قرار گرفته است. این فرآیند در رابطه‌های ۲ و ۳ آورده شده است [۶، ۷].



به منظور افزایش کارایی این فرآیند امروزه فرآیند الکتروشیمیایی در غالب فرآیند الکتروفنتون به کمک این روش آمده‌اند [۸]. فرآیندهای الکتروفنتون به طور کلی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: ۱- الکتروفنتون با تولید در محیط پراکسید هیدروژن ۲- الکتروفنتون با افزودن پراکسید هیدروژن خارج از راکتور. در دسته اول با احیای کاتدی اکسیژن محلول پراکسید هیدروژن در محیط تولید شده و در واکنش با یون فرو رادیکال هیدروکسیل تولید می‌کند. در دسته دوم از یک آند آهن به عنوان منبع یون فرو استفاده می‌شود و یون فرو به طور پیوسته در محیط تولید شده و به منظور تولید رادیکال هیدروکسیل از پراکسید هیدروژن به عنوان عامل اکسیدکننده استفاده می‌شود [۶، ۹، ۱۰]. از مزایای این روش الکتروفنتون، احیای کاتدی یون فریک و در نتیجه، باز تولید یون فرو می‌باشد. فرآیند

1- American Dye Manufactures Institute

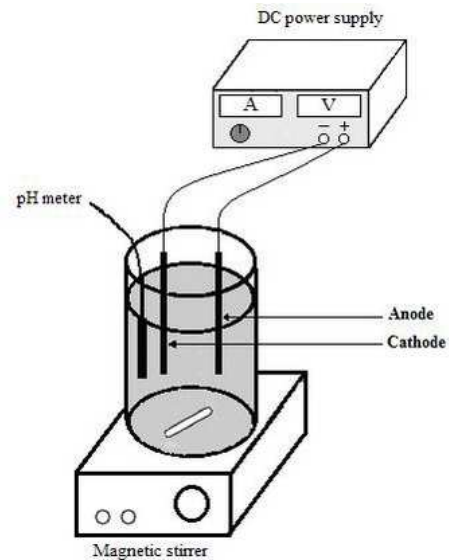
چگالی جریان $3,75 \text{ mA/cm}^2$ و در شکل ۲ نشان داده شده است. براساس شکل ۲، در چگالی جریان $3,75 \text{ mA/cm}^2$ و غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن (۲۹، ۴۳، ۵۸ و ۷۳ میلی‌مولار)، با افزایش زمان واکنش، میزان تجزیه و در نتیجه درصد حذف رنگ و COD، افزایش می‌یابد. در رابطه با بازده حذف رنگ، با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن از ۲۹ تا ۵۸ میلی‌مولار میزان تجزیه افزایش یافته است، در حالی که رسیدن غلظت پراکسید هیدروژن به ۷۳ میلی‌مولار، کاهش تجزیه و حذف رنگ را به دنبال دارد. طبق واکنش فنتون، با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن، مقدار رادیکال هیدروکسیل در محیط افزایش یافته و به دنبال آن، میزان تجزیه و بازده حذف افزایش می‌یابد. از طرفی پراکسید هیدروژن در مقادیر بیش از حد، با رادیکال هیدروکسیل واکنش داده و مانع از انجام واکنش میان مواد آلی و رادیکال هیدروکسیل می‌گردد (رابطه ۶) [۱۶، ۱۷].



بیشترین میزان کارایی با چگالی جریان $3,75 \text{ mA/cm}^2$ ، در غلظت ۵۸ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن و زمان ۶۰ دقیقه به دست آمده است که در این شرایط، بازده‌های حذف رنگ و COD به ترتیب ۶۴ و ۶۳ درصد بوده است.

۳-۲- اثر چگالی جریان بر کارایی حذف رنگ و COD

در تمام فرآیندهای الکتروشیمیایی، چگالی جریان مهم‌ترین عامل کنترل سرعت واکنش است. چگالی جریان و زمان الکترولیز به عنوان دو عامل اصلی، تعیین‌کننده میزان مصرف انرژی و حذف آلاینده می‌باشند. همچنین افزایش چگالی جریان با افزایش فلز تولیدی ناشی از حل شدن آنند نیز همراه است [۱۸]. اثر چگالی جریان بر کارایی حذف رنگ و COD در شکل‌های ۳ و ۴ آمده است. چهار سطح از چگالی جریان برای کارایی فرآیند مورد بررسی قرار گرفتند. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، با افزایش چگالی جریان، رنگ‌زدایی نیز افزایش یافته است که می‌تواند ناشی از تولید یون فرو از آند باشد که در واکنش با پراکسید هیدروژن، رادیکال هیدروکسیل تولید می‌کند و زنجیره واکنش فنتون شکل می‌گیرد. با توجه به قانون فارادی با افزایش زمان و چگالی جریان بر میزان یون فرو افزوده می‌شود، این فرضیه مطرح است که با افزایش زمان و یا چگالی جریان، میزان یون فرو تولیدی متناسب با میزان مورد نیاز برای واکنش با پراکسید هیدروژن تغییر کند و یا بیشتر از مقدار مورد نیاز باشد که یون فرو مازاد ممکن است با رادیکال هیدروکسیل واکنش داده و از کارایی فرآیند بکاهد (رابطه ۷) [۱۹، ۶]. در دو شکل ۳ و ۴، در چگالی جریان $3,75 \text{ mA/cm}^2$ و $6,25$ و $8,75 \text{ mA/cm}^2$ ، کارایی حذف افزایش یافته اما در چگالی جریان $11,25$ و $14,75 \text{ mA/cm}^2$ بعد از زمان ۴۵



شکل ۱: طرح شمایی آزمایش الکتروفتون.

به منظور اختلاط و همگن بودن نمونه، یک هم‌زن مغناطیسی به کار برده شد. تمامی آزمایشات در دمای محیط انجام گردید و در هر آزمایش، ۲۰۰ میلی‌لیتر فاضلاب به کار برده شد. با توجه به اینکه فرآیند فنتون در $\text{pH}=3$ بیشترین کارایی را دارد [۶، ۱۳]، در ابتدا pH فاضلاب با استفاده از اسید سولفوریک نرمال بر روی ۳ تنظیم گردید. پیش از انجام فرآیند الکترولیز، H_2O_2 در غلظت‌های ۲۹، ۴۳، ۵۸ و ۷۳ میلی‌مولار به صورت قطره‌ای به نمونه اضافه گردید. سپس به منظور تولید یون فرو شدت جریان‌های مختلفی به سیستم وارد شد. در پایان زمان واکنش، برای رسوب دادن آهن سه ظرفیتی، pH نمونه با استفاده از NaOH بر روی ۹ تنظیم شد. در نهایت، قبل از انجام آنالیز بر روی نمونه، به منظور جلوگیری از تداخل ناشی از H_2O_2 باقی مانده در آزمایش COD، H_2O_2 باقی‌مانده با استفاده از روش حرارتی حذف گردید [۱۴]. قبل از اندازه‌گیری، تمامی نمونه‌ها از صافی واتمن شماره ۴۲ عبور داده شد.

تمام آنالیزهای آزمایشگاهی بر اساس کتاب روش‌های استاندارد انجام گردید. برای اندازه‌گیری رنگ فاضلاب روش کاهش جذب در حداکثر طول موج و همچنین روش ADMI با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis DR 5000، که تمام معادلات و ضرایب آن بر روی دستگاه از قبل توسط شرکت هاچ نصب گردیده بود، به کار برده شد. پارامتر COD نیز با استفاده از روش تقطیر برگشتی اندازه‌گیری گردید [۱۵].

۳- نتایج و بحث

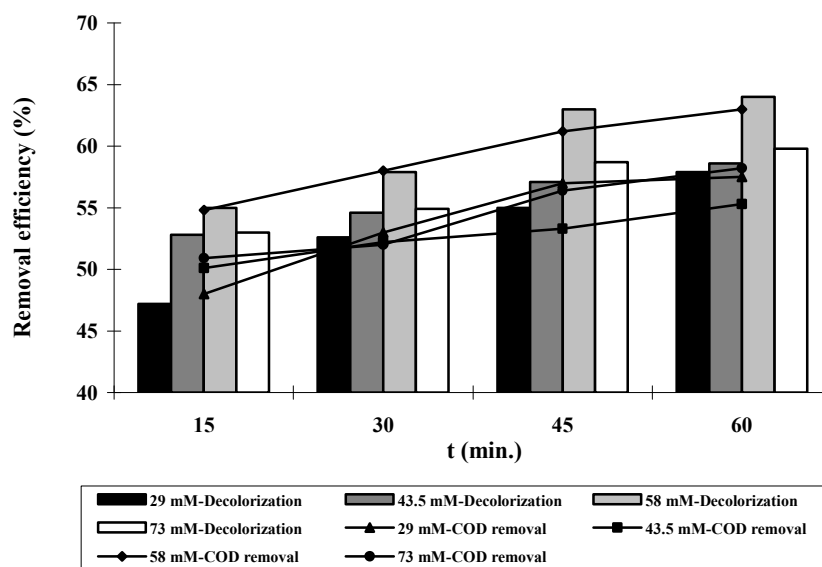
۳-۱- اثر غلظت H_2O_2 بر کارایی حذف رنگ و COD

اثر غلظت پراکسید هیدروژن بر کارایی حذف رنگ و COD، با اعمال

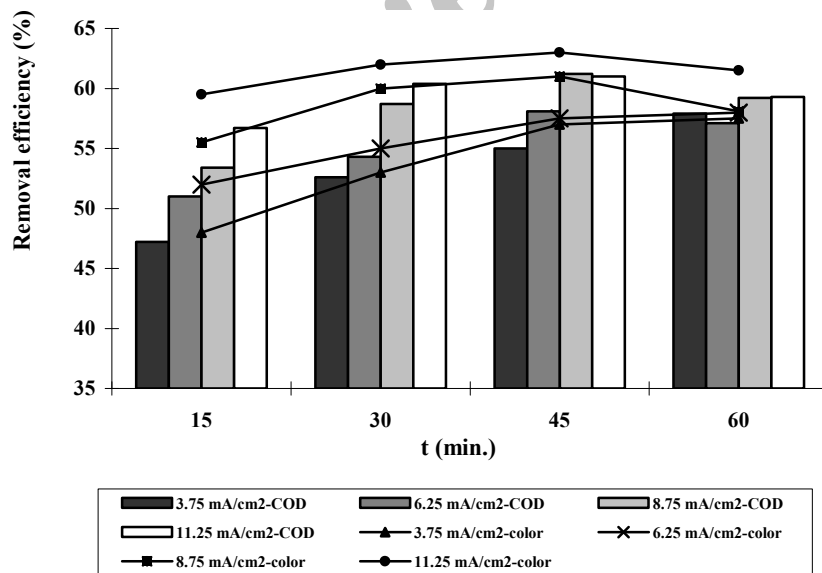
در شکل ۴، در شرایط بهینه در زمان ۴۵ دقیقه و در چگالی جریان 11.25 mA/cm^2 و غلظت پراکسید هیدروژن 73 میلی مولار کارایی 67.9% درصد کاهش رنگ با شاخص ADMI حاصل گردید.

$$\text{Fe}^{2+} + \cdot\text{OH} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^- \quad (7)$$

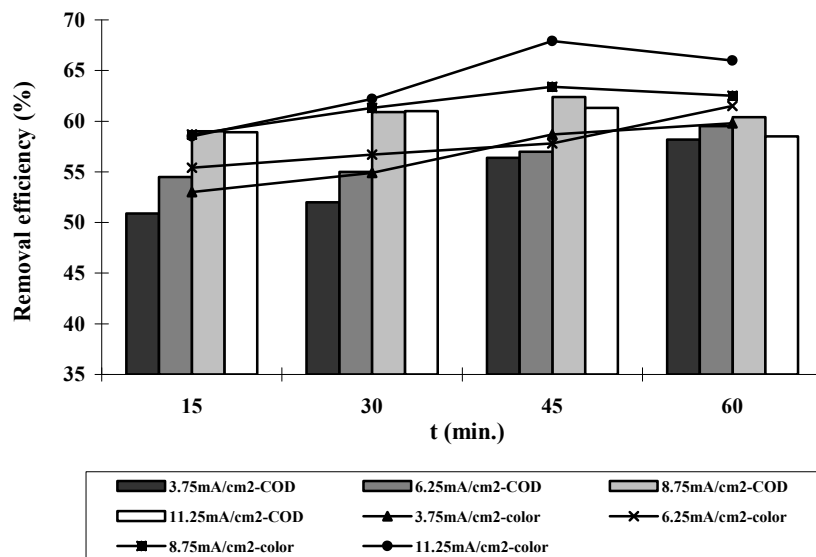
دقیقه با کاهش کارایی همراه است که علاوه بر مقدار زیاد یون فرو، می توان گفت که تشکیل کمپلکس های یون فرو با ترکیبات آلی به صورت لخته نیز می تواند از واکنش اصلی فنتون جلوگیری کند.



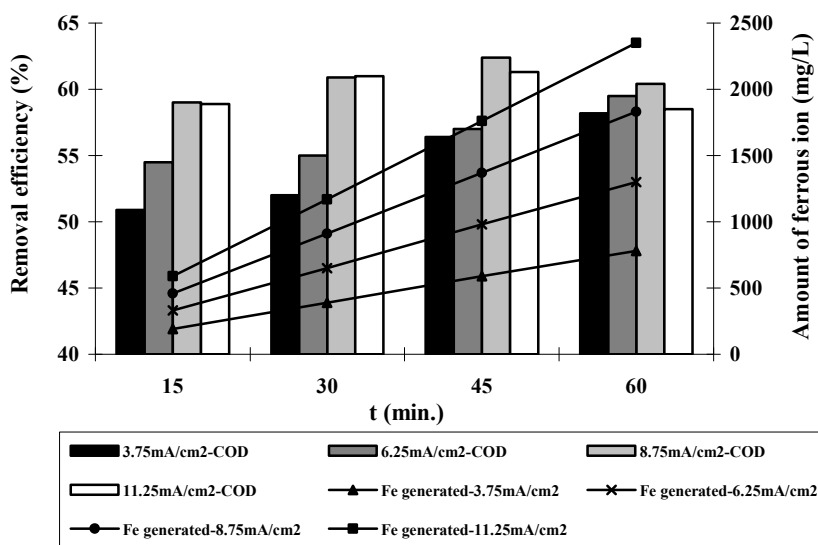
شکل ۲: میزان کارایی حذف رنگ (ADMI) و COD در غلظت های مختلف پراکسید هیدروژن (چگالی جریان 3.75 mA/cm^2).



شکل ۳: میزان کارایی حذف رنگ (ADMI) و COD در مقادیر مختلف چگالی جریان (غلظت پراکسید هیدروژن 29 میلی مولار).



شکل ۴: میزان کارایی حذف رنگ (ADMI) و COD در مقادیر مختلف چگالی جریان (غلظت پراکسید هیدروژن ۷۳ میلی مولار).



شکل ۵: مقدار یون فرو تولیدی در چگالی جریان های مختلف و تاثیر آن بر کارایی رنگ زدایی ADMI (غلظت پراکسید هیدروژن ۷۳ میلی مولار).

که در آن، W غلظت یون فرو (g/l)، I شدت جریان اعمالی (A)، t زمان واکنش (s)، Z ظرفیت یون فرو برابر با 2 ، F ثابت فارادی برابر با $96485 C/mol$ و V حجم الکتروولیت بر حسب لیتر می باشد [۲۰، ۲۱]. همان طور در شکل مشاهده می شود، در غلظت ۷۳ میلی مولار پراکسید هیدروژن، زمان ۴۵ دقیقه و چگالی جریان $8.75 mA/cm^2$ ، بیشترین کارایی حذف COD برابر با 62.4% در این سیستم مشاهده می شود. که مقدار یون فرو تولیدی در این شرایط از لحاظ تئوری برابر است با 1370 میلی گرم بر لیتر که این مقدار با نسبت مولی $Fe^{2+}/H_2O_2 = 0.33$ برابری می کند. در فرآیند فنتون و دیگر

۳-۳- مقدار یون فرو تولیدی در فرآیند الکتروشیمیایی

با توجه به قانون فارادی (رابطه ۸)، میزان آهن تولیدی در طول فرآیند به شدت وابسته به جریان و زمان می باشد. در شکل ۵، مقدار یون فرو تولیدی در چگالی جریان های مختلف در مقابل رنگ زدایی نشان داده شده است. در محدوده چگالی جریان $3.75 - 8.75 mA/cm^2$ ، میزان آهن تولیدی بر حسب یون فرو از 190 تا 2350 میلی گرم بر لیتر متغیر است.

$$W = Itm/zFV \quad (8)$$

نشان داده شده است. طبق رابطه ذکر شده برای محاسبه انرژی مصرفی، بدیهی است که با افزایش زمان واکنش و چگالی جریان، مقدار مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد، در غلظت ۲۹ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن، در شرایط بهینه حذف رنگ با کارایی ۶۱٫۲٪ که در چگالی جریان 8.75 mA/cm^2 و زمان ۴۵ دقیقه به دست آمده، مقدار انرژی مصرفی 5.4 KWh به ازای کیلوگرم COD حذف شده بوده است. همچنین در شکل ۷ که مربوط به غلظت ۷۳ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن است، در بهترین کارایی حذف رنگ (۶۷٫۹٪) که در چگالی جریان 8.75 mA/cm^2 و زمان ۴۵ دقیقه حاصل شده، میزان مصرف انرژی 8.37 KWh/COD_r بوده است.

کاهش رنگ بر اساس دو روش اندازه‌گیری

روش‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری رنگ در منابع مختلف ذکر شده است. که در این میان روش ADMI به علت بیان کردن رنگ به صورت یک عدد واحد و مستقل از نوع رنگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با این حال در بیشتر مطالعات به علت سهولت اندازه‌گیری برای بیان بازده رنگ‌زدایی، از کاهش در حداکثر جذب در یک طول موج استفاده می‌شود [۲۲].

فرآیندهای وابسته به واکنش‌گر فنتون علاوه بر غلظت مورد نیاز H_2O_2 ، نسبت بین کاتالیزور و پراکسید هیدروژن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به اینکه در این سیستم یون فرو به طور الکتروشیمیایی تولید می‌شود و درحقیقت شدت جریان نقش منبع آهن یا یون فرو را بازی می‌کند که می‌توان گفت که در این سیستم با توجه به واکنش اصلی در فرآیند فنتون (واکنش ۷) غلظت پراکسید هیدروژن باید با شدت جریان به منظور تولید بهینه رادیکال هیدروکسیل در تناسب باشد.

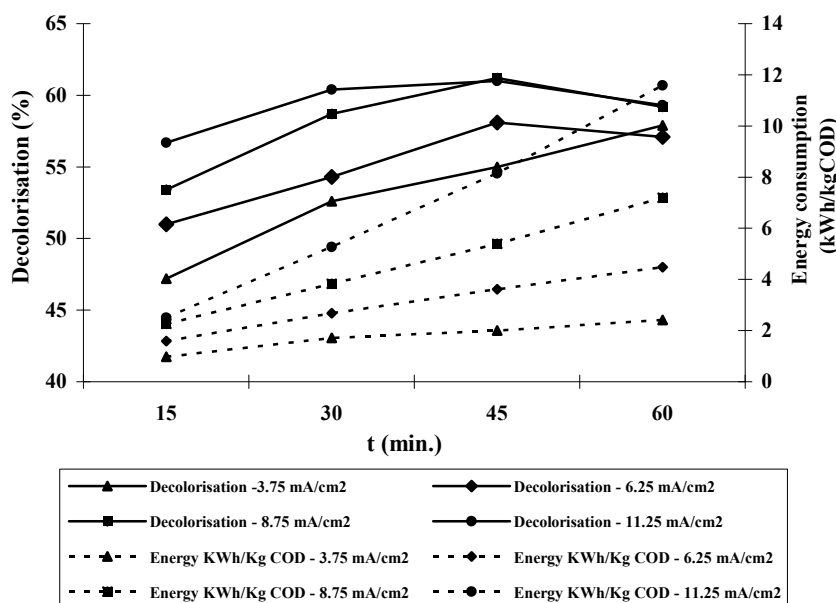
۳-۴- مصرف انرژی

انرژی مصرفی نیز یکی از عوامل مهم در فرآیندهای الکتروشیمیایی به شمار می‌رود که می‌تواند تاثیر زیادی بر توجیه‌پذیری به‌کارگیری فرآیندها داشته باشد. در این مطالعه، مقدار انرژی مصرفی از طریق رابطه ۹ محاسبه شده است [۸، ۱۱]:

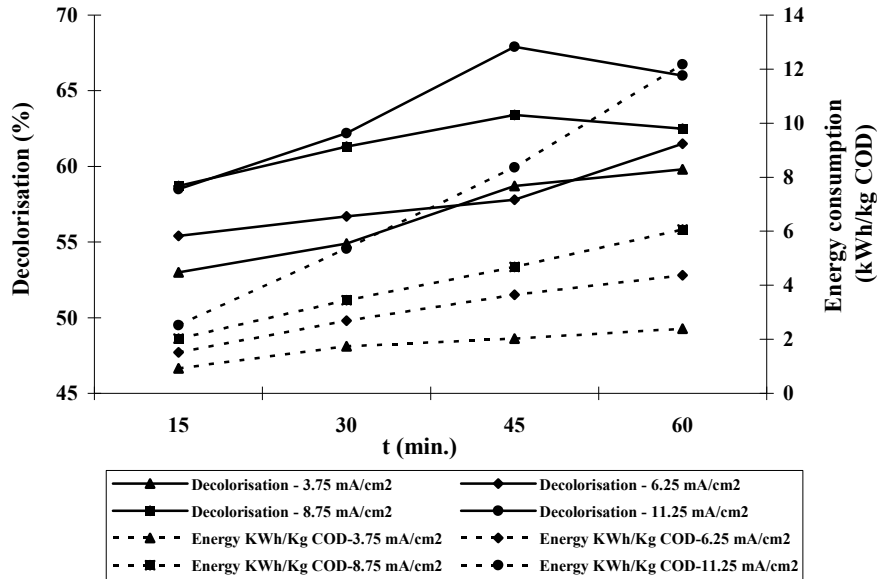
$$\text{Energy consumption (KW/Kg COD}_{\text{removed}}) = V \cdot I \cdot t / \text{COD}_{\text{removed}} \quad (9)$$

که در آن: $V =$ ولتاژ (v)، $I =$ شدت جریان (A) و $t =$ زمان واکنش (h) می‌باشد.

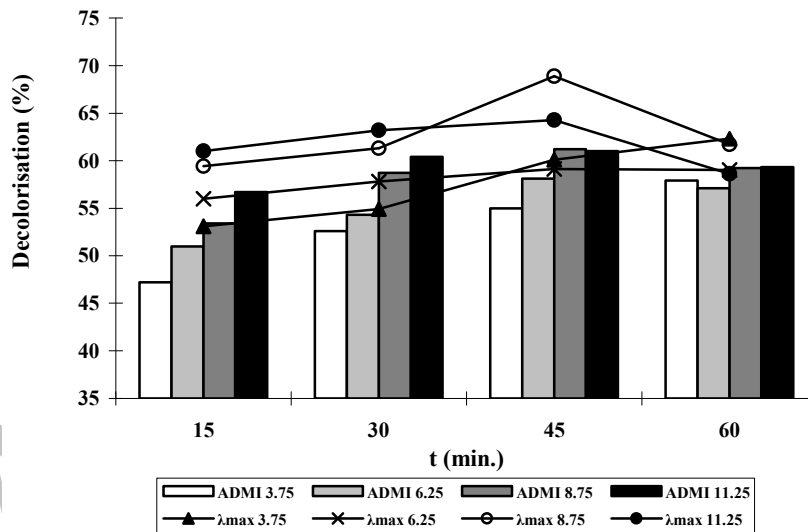
تاثیر چگالی جریان و زمان واکنش بر میزان انرژی مصرفی به ازای COD حذف شده و کارایی حذف رنگ، در شکل‌های ۶ و ۷



شکل ۶: تاثیر چگالی جریان و زمان واکنش بر میزان انرژی مصرفی به ازای COD حذف شده و کارایی حذف رنگ ADMI (غلظت پراکسید هیدروژن ۲۹ میلی‌مولار).



شکل ۷: تاثیر چگالی جریان و زمان واکنش بر میزان انرژی مصرفی به ازای COD حذف شده و کارایی حذف رنگ ADM1 (غلظت پراکسید هیدروژن ۷۳ میلی مولار).



شکل ۸: مقایسه رنگ زدایی براساس دو روش اندازه گیری در شدت جریان های متفاوت (λ=۴۰۰ nm).

می دهد. علاوه بر این برای تعیین استانداردهای خروجی پساب به محیط زیست مناسب تر است به طوری که این مقدار در قوانین ایالات متحده در محدوده ADM1 ۲۲۰-۱۲۰ برای تخلیه به آب های پذیرنده در نظر گرفته شده است [۲۳].

۴- نتیجه گیری

فرآیند الکتروفنتون با توجه به کارایی بالا در حذف رنگ و COD و

شکل ۸ ارتباط رنگ زدایی با هر دو روش را نشان می دهد، همان طور که در شکل ۸ ملاحظه می شود، رنگ زدایی با کاهش جذب در حداکثر طول موج تقریباً در تمام شرایط بیشتر از رنگ زدایی با شاخص ADM1 است. استفاده از شاخص ADM1 به علت نشان دادن عددی واحد برای تمام طیف نور مرئی از ۴۰۰-۷۰۰ nm و همچنین تغییر عددی آن نسبت به تولید رنگ ثانویه در طول موجی متفاوت از حداکثر جذب در یک طول موج، مزیت ویژه ای را از خود نشان

تشکر و قدرانی

از زحمات کارشناس آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه شهید بهشتی خانم مهندس میرشفیعیان و همچنین از آقای مهندس قدیمی که در امر نمونه برداری مساعدت نمودند، تشکر و قدرانی می‌گردد.

تخریب مواد رنگزا می‌تواند به عنوان یک روش پیشرو در تصفیه فاضلاب‌های واقعی نساجی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌گردد که برای تخلیه پساب نساجی به آب‌های پذیرنده و شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری، شاخص ADMI مد نظر قرار گرفته شود.

۵- مراجع

- M. A. Behnajady, N. Modirshahla, F. Ghanbary, A kinetic model for the decolorization of C.I. Acid Yellow 23 by Fenton process. *J. Hazard. Mater.* 148(2007), 98-102.
- A. Dalvand, M. Gholami, A. Joneidi, N. M. Mahmoodi, Investigation of electrochemical coagulation process efficiency for removal of reactive Red 198 from colored wastewater. *J. Color. Sci. Technol.* 3(2009), 97-105.
- A. B. dos Santos, F. J. Cervantes, J. B. Lier, Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresour. Technol.* 98(2007), 2369-2385.
- C. S. D. Rodrigues, L. M. Madieira, R. A. R. Boaventura, Treatment of textile effluent by chemical (Fenton's Reagent) and biological (sequencing batch reactor) oxidation. *J. Hazard. Mater.* 172(2009), 1551-1559.
- A. E. Papadopoulou, D. Fatta, M. Loizidou, Development and optimization of dark Fenton oxidation for the treatment of textile wastewaters with high organic load. *J. Hazard. Mater.* 146(2007), 558-563.
- J. J. Pignatello, E. Olivers, A. Mackey, advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the fenton reaction and related chemistry. *Crit. Rev. Env. Sci. Technol.* 36(2006), 1-84.
- Y. O. Kim, H. U. Nam, Y. R. Park, J. H. Lee, T. J. Park, T. H. Lee, Fenton oxidation process control using oxidation-reduction potential measurement for pigment wastewater treatment. *Korean J. Chem. Eng.* 21(2004), 801-805.
- C. A. Martinez-Huitle, E. Brillas, Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: A general review. *Appl. Catal., B.* 87(2009), 105-145.
- E. Atmaca, Treatment of landfill leachate by using electro-Fenton method. *J. Hazard. Mater.* 163(2009), 109-114.
- B. Ramesh Babu, K. Seeni Meera, P. Venkatesan, D. Sunandha, Removal of Fatty acids from palm oil effluent by combined electro-fenton and biological oxidation process. *Water Air Soil Pollut.* 211(2010), 203-210.
- U. Kurt, O. Apaydin, M. Talha Gonullu, Reduction of COD in wastewater from an organized tannery industrial region by Electro-Fenton process. *J. Hazard. Mater.* 143(2007), 33-47.
- S. Khoufi, F. Aloui, S. Sayadi, Treatment of olive oil mill wastewater by combined process Electro-Fenton reaction and anaerobic digestion. *Wat. res.* 40(2006), 2007-2016.
- M. Panizza, G. Cerisola, Electro-Fenton degradation of synthetic dyes. *Wat. res.* 43(2009), 3339-344.
- Y. Deng, Physical and oxidative removal of organics during Fenton treatment of mature municipal landfill leachate. *J. Hazard. Mater.* 146(2007), 334-340.
- APHA, Standard methods for examination of water and wastewaters, 20th Ed., American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, Washington, DC, 1998.
- L. Lu, Y. Ma, M. Kumar, J. Lin, Influence of pH and H₂O₂ dosage on the decomposition of carbofuran during the photo-Fenton process. *Sustain. Environ. Res.* 20(2010), 293-297.
- N. Daneshvar, V. Vatanpour, A. R. Khataee, M. H. Rasoulifard, M. Rastegar, Decolorization of mixture of dyes containing malachite green and orange II by fenton-like reagent. *J. Color. Sci. Technol.* 1(2008), 83-89.
- D. Ghosh, H. Solanki, M.K. Purkait, Removal of Fe(II) from tap water by electrocoagulation technique. *J. Hazard. Mater.* 155(2008), 135-143.
- C. T. Wang, W. L. Chou, M. H. Chung, Y. M. Kuo, COD removal from real dyeing wastewater by Electro-Fenton technology using an activated carbon fiber cathode. *Desalination.* 253(2010), 129-134.
- I. Arsalan-Alaton, M. Kobya, A. Akyol, M. Bayramoglu, Electrocoagulation of azo dye production wastewater with iron electrodes: process evaluation by multi-response central composite design. *Color. Technol.* 125(2009), 234-241.
- C. Phalakornkule, S. Polgumhang, W. Tongdaung, Performance of an electrocoagulation process in treating direct dye: batch and continuous upflow processes. *World Academy. Sci. Eng. Technol.* 57(2009), 227-282.
- C. M. Kao, M. S. Chou, W. L. Fang, B. W. Liu, B. R. Huang, Regulation colored textile wastewater by 3/31 wavelength admittance methods in Taiwan. *Chemosphere.* 44(2001), 1055-1063.
- O. J. Hao, H. Kim, P. C. Chiang, Decolorization of wastewater. *Crit. Rev. Env. Sci. Technol.* 30:4(2000), 449-505.