

تصفیه پساب نساجی حاوی مواد رنگزای بازیکی به روش انعقاد الکتریکی

نادر جعفرزاده^۱ نظام‌الدین دانشور^۲

(دریافت ۸۴/۷/۲۸ پذیرش ۸۵/۲/۹)

چکیده

روزانه میلیون‌ها لیتر از پسابهای رنگی توسط صنایع نساجی تولید می‌شود که باعث بروز مسائل زیست محیطی شده‌اند. یکی از روشهای مؤثر جهت تصفیه پسابهای صنایع رنگرزی، استفاده از روشهای الکتروشیمیایی و در رأس آنها انعقاد الکتریکی می‌باشد. در این روش با اعمال جریان برق به دو یا چندین الکترود فلزی (آهن یا آلومینیوم) شناور در نمونه مورد تصفیه، لخته‌های هیدروکسید فلزی تولید می‌شوند که قابلیت جذب سطحی مواد آلاینده را داشته و باعث ترسیب آنها و تصفیه فاز آبی می‌شوند. کار پژوهشی حاضر، مطالعه تصفیه پساب رنگی حاوی مواد رنگزای بازیکی شرکت پشم و پتوی نقش جهان تبریز با استفاده از روش انعقاد الکتریکی می‌باشد. آزمایشها در یک راکتور ناپیوسته و با استفاده از الکترودهای آهن صورت گرفته و تأثیر دانسیته جریان الکتریکی و زمان الکترولیز به عنوان دو پارامتر مؤثر در فرآیند انعقاد الکتریکی مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی کارایی این روش در تصفیه پساب مورد مطالعه، میزان کاهش COD و کاهش شدت رنگ پساب بعد از پایان هر بار تصفیه اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایشها نشان دادند که برای ۲۵۰ میلی‌لیتر از پساب، با اعمال دانسیته جریانهای $9.0-8.0 \text{ A/m}^2$ و زمان الکترولیز ۸ دقیقه، تقریباً ۹۴ درصد از شدت رنگ و ۸۲ درصد از میزان COD پساب کاسته می‌شود. تحت شرایط فوق انرژی الکتریکی مورد نیاز حدود 1.2 kWh/m^3 و جریان مؤثر حدود 1.03 A درصد محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: صنایع نساجی، مواد رنگزای بازیکی، تصفیه پساب، انعقاد الکتریکی، کاهش COD.

Treatment of Textile Wastewater Containing Basic Dyes by Electrocoagulation Process

Nader Djafarzadeh¹, Nezammadin Daneshvar²

(Received Oct. 20, 2005 Accepted Apr. 29, 2006)

Abstract

Textile wastewaters from dyeing and finishing processes in the textile industry have been a serious environmental problem for years. Electrocoagulation (EC) as an electrochemical method was developed to overcome the drawbacks of conventional textile wastewater treatment technologies. EC technique uses a direct current source between metal electrodes immersed in polluted water. The electrical current causes the dissolution of metal plates including iron or aluminum into wastewater. The metal ions can form wide ranges of coagulated species and metal hydroxides that destabilize and aggregate the suspended particles or precipitate and adsorb dissolved contaminants. This paper studies the treatment of wastewater at Nagshejahan textile factory in Tabriz containing basic dyes by electrocoagulation using iron electrode in batch electrochemical cell and the effect of operational parameters such as current density and time duration of electrolysis. In addition, electrical energy consumption and current efficiency were also studied. To evaluate the efficiency of this method for treating the mentioned wastewater, color and COD reduction were measured after each treatment. The results showed that applying optimum current densities of $80-100 \text{ Am}^{-2}$ and electrolysis time of 8 minutes for 250 mL of the wastewater, the color and COD reduced around 94% and 82%, respectively. Also, in the above mentioned conditions, the electrical energy consumption and Current efficiency were figured at about 1.2 kWh/m^3 and 103%, respectively.

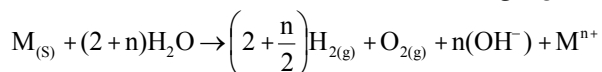
Keywords: Textile Industry, Basic Dyes, Wastewater Treatment, Electrocoagulation, COD Reduction.

1- Graduate Student of Applied Chemistry, Tabriz University
n.jafarzadeh@gmail.com

2- Professor of Applied Chemistry, Tabriz University

۱- کارشناس ارشد شیمی کاربردی، دانشگاه تبریز
n.jafarzadeh@gmail.com

۲- استاد گروه شیمی کاربردی، دانشگاه تبریز



به علت مزیت‌هایی همچون نامحلول بودن هیدروکسیدهای آهن و یا آلومینیوم در آب و قیمت ارزان این دو فلز نسبت به سایر فلزات دارای خواص مشابه، در فرآیند انعقاد الکتریکی از صفحات الکترودی از جنس این دو فلز استفاده می‌شود. با توجه به مطالعات صورت گرفته قبلی [۵]، الکترود آهن نسبت به الکترود آلومینیوم، نتایج بهتری در نقش آند برای تصفیه پسابهای نساجی همراه دارد. با وجود الکترود آهنی، تحت واکنش اکسایش در آند، یون‌های Fe^{3+} و Fe^{2+} تولید شده و با یون‌های OH^- تولید شده از الکترود کاتدی طی واکنش کاهش، در حالت کلی هیدروکسید آهن به فرم $Fe(OH)_n$ تولید می‌شود ($n = 2$ یا 3) [۵ و ۲].

مکانیسم حذف آلاینده‌ها بدین صورت است که $Fe(OH)_n(s)$ ‌های تشکیل شده در فاز آبی به صورت یک سوسپانسیون ژلاتینی باقی مانده و قادر خواهند بود آلودگی‌های پساب را به وسیله کمپلکس کردن یا نیروهای جاذبه الکتروستاتیکی (جذب سطحی) که در ادامه منجر به پدیده انعقاد می‌شود، حذف کنند. در مکانیسم تشکیل کمپلکس‌های سطحی، آلودگی‌ها به صورت یک گونه شیمیایی با کاتیون‌های آهن هیدراته تشکیل کمپلکس داده و با رسوب‌گذاری یا شناور شدن در سطح محلول که در نهایت منجر به ایجاد لجن می‌شود، باعث حذف آلاینده‌ها می‌شوند [۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷].

فرآیند انعقاد الکتریکی یکی از روش‌های موفقیت‌آمیز برای تصفیه پساب‌های ناشی از کاربرد انواع مختلف مواد رنگزا و نیز آب‌های حاوی مقادیر کم این مواد رنگزا در صنعت نساجی می‌باشد [۳، ۴، ۵، ۶ و ۷].

از نقطه نظر ویژگی‌های ساختاری و شیمیایی، رنگ‌ها به گروه‌های مواد رنگزای آزو، آنتراکینون، خمی، ایندیگوئید، پلی متین، فتالوسیانین، نیترو و نیتروزو تقسیم‌بندی می‌شوند. این مواد رنگزا با توجه به نوع کاربردشان به دو گروه تقسیم بندی می‌شوند:

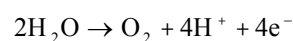
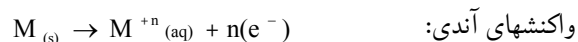
الف) گروه اول که شامل: مواد رنگزای اسیدی، مستقیم، بازیک و دیسپرس^۳ می‌باشند. ب) گروه دوم که شامل رنگ‌های: خمی، گوگردی، راکتسو، اجزا آزوئیک با ترکیبات آن، مواد رنگزای اینگرین و پگمنت‌ها می‌باشند [۸]. یک ماده رنگزای بازیک طبق تعریف انجمن رنگرزان و نقاشان انگلستان (SDC)^۴، ماده‌ای کاتیونیک است که به طور ذاتی نسبت به انواع اسیدی الیاف آکریلیک و پنبه دندان‌دار با تانن، تمایل به جذب دارد و از

به لحاظ رشد فزاینده جمعیت به همراه گسترش صنعت و کشاورزی، آب سالم در جهان دچار کمبود شده، در نتیجه ضرورت تصفیه و بازیابی مجدد آب‌های مصرفی اهمیت خاصی پیدا کرده است. از میان صنایع مختلف، صنعت نساجی، در جهان و در کشور ما به شدت گسترش یافته است و از این میان واحدهای رنگرزی صنایع نساجی به علت مصرف هزاران نوع مواد شیمیایی رنگزا، از آلاینده‌های اصلی محیط زیست می‌باشند. در صنایع مذکور مقدار قابل توجهی آب مصرف می‌شود و به این ترتیب حجم زیادی پساب رنگی تولید می‌گردد که حاوی ترکیبات آلی مقاوم و سمی می‌باشد.

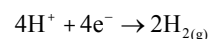
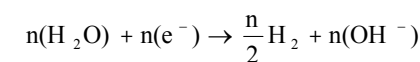
روش‌های مرسوم برای تصفیه پساب‌های نساجی عبارت‌اند: فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی، فرآیندهای تصفیه فیزیکوشیمیایی، روش‌های اکسایش پیشرفته^۱ (AOP) و فرآیندهای تصفیه الکتروشیمیایی که شامل روش‌های استفاده از اکسایش-کاهش شیمیایی و انعقاد الکتریکی^۲ می‌باشد [۱].

فرآیند انعقاد الکتریکی به لحاظ داشتن ویژگی‌هایی همچون وسعت عمل برای تصفیه انواع پساب‌های صنعتی، طراحی ساده سیستم، هزینه کم راه‌اندازی و بهره‌برداری، عدم نیاز به مواد شیمیایی خاص و تولید اندک لجن جانبی یکی از تأثیرگذارترین روش‌های تصفیه آب و پساب محسوب می‌گردد و در سال‌های اخیر به طور گسترده‌ای برای تصفیه انواع پساب‌های صنایع رنگرزی مورد استفاده قرار گرفته است [۲ و ۳].

فرآیند انعقاد الکتریکی اساساً یک واکنش الکترولیز است که اجرای واکنش‌های الکتروشیمیایی در آن مستلزم اعمال پتانسیل الکتریکی مناسب بین دو و یا چند الکترود (از جنس آهن و یا آلومینیوم) جهت انجام واکنش در سطح مشترک الکترود و محلول، از طریق یک منبع الکتریکی خارجی است. در این فرآیند، عامل حذف آلاینده‌ها (لخته‌های هیدروکسیدهای آهن یا آلومینیوم) با اعمال جریان الکتریکی به الکترودهای صفحه‌ای شناور در نمونه مورد تصفیه، طی واکنش اکسایش-کاهش زیر تولید می‌شود [۴].



واکنش‌های کاتدی:



³ Disperse

⁴ Society of Dyers and Colorists

¹ Advanced Oxidation Processes

² Electorcoagulation

است. چرا که پساب رنگی این کارخانه، به دلیل اثرات مضر ناشی از آلاینده‌ها، برای محیط زیست اطراف خطرناک می‌باشد. به این منظور تأثیرات پارامترهای دانسیته جریان الکتریکی و مدت زمان برقراری جریان به عنوان دو عامل اصلی فرآیند تصفیه، مورد مطالعه قرار گرفتند.

۲- مواد و روشها

دستگاهها و مواد به کار برده شده در مراحل مختلف آزمایش عبارت بودند از: دستگاه اسپکتروفتومتر تک شعاعی (WPA-S2000, England)، منبع تغذیه جریان الکتریکی (ADAK PS808, Iran)، دستگاه آون (Iran, Shime)، الکترودهای آهنی (ST 37) به ابعاد ۵×۵ سانتی‌متر، ویال‌های مخصوص اندازه‌گیری COD، انواع وسایل شیشه‌ای و یک نمونه از پساب تازه کارخانه نساجی نقش جهان تبریز. ویژگیهای عمومی پساب قبل از تصفیه در جدول ۱ نشان داده شده است. جدول ۲ نیز مشخصات مواد رنگزای بازیگ مورد استفاده در این کارخانه را نشان می‌دهد.

پرمصرف‌ترین مواد رنگزا برای رنگرزی الیاف آکرلیک می‌باشد. این مواد در محلول آبی یونیزه شده و کاتیون‌های رنگی تولید می‌کنند. از خواص برجسته مواد رنگزای بازیگ ثبات نوری و قدرت شویندگی بالا، قابلیت جذب خوب بر روی الیاف آکرلیک و درخشندگی زیاد می‌باشد [۸].

کار پژوهشی حاضر، مطالعه تصفیه پساب شرکت پشم و پتوی نقش جهان تبریز حاوی سه ماده رنگزای بازیگ^۱ قرمز قلیایی^۲، زرد قلیایی^۳ و آبی قلیایی^۴، به روش انعقاد الکتریکی می‌باشد. از این مواد رنگزا در کارخانه نساجی نقش جهان تبریز جهت رنگرزی الیاف آکرلیک، در تولید پتو استفاده می‌شود و به طور متوسط روزانه حدود ۲۰۰ لیتر از پساب حاوی این مواد رنگزا تولید می‌شود که ظاهراً بدون انجام عملیات تصفیه، پس از حمل مستقیماً به محیط زیست اطراف تخلیه می‌گردد.

هدف اصلی از این مطالعه بررسی امکان تصفیه پساب این کارخانه با استفاده از روش انعقاد الکتریکی در مقیاس آزمایشگاهی

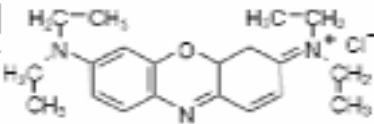
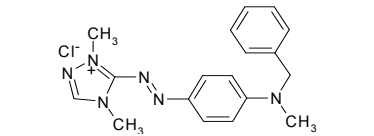
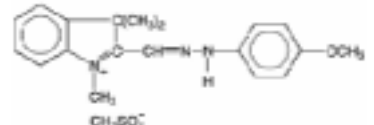
⁵ Vial

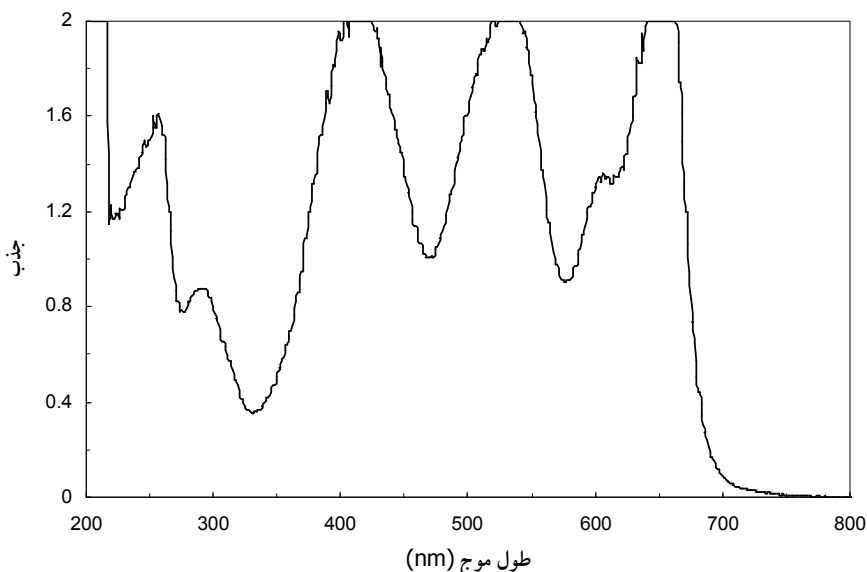
- ¹ Basic Dyes
- ² C.I. Basic Red 46 (BR46)
- ³ C.I. Basic Yellow 13 (BY13)
- ⁴ C.I. Basic Blue 3 (BB3)

جدول ۱- مشخصات عمومی پساب کارخانه نقش جهان

پارامتر	کمیت
رنگ	تیره
pH اولیه	۶/۱۵
هدایت الکتریکی، میکروزیمنس بر سانتی‌متر	۶/۳۵
TDS، میلی‌گرم بر لیتر	۲۷۶۰
COD اولیه، میلی‌گرم بر لیتر	۳۹۴۰

جدول ۲- مشخصات مواد رنگزای بازیگ مورد استفاده در کارخانه نقش جهان

مواد رنگزا	ساختار شیمیایی	ماکزیم طول موج (nm)	گروه شیمیایی	وزن مولکولی (gmol ⁻¹)
BB3		۶۵۴	Monoxazine	۳۵۹/۹
BR46		۵۳۱	Monoazo	۳۵۷/۵
BY13		۴۱۵	Methine	۴۱۹



شکل ۱- طیف جذبی پساب مورد مطالعه در ناحیه UV-Vis

سه نقطه اوج بیشینه در طول موجهای حوالی ۴۱۵، ۵۳۰ و ۶۵۴ نانومتر به ترتیب مربوط به مواد رنگزای زرد قلیایی ۱۳، قرمز قلیایی ۴۶ و آبی قلیایی ۳ بوده و ناشی از انتقالات الکترونی $\pi \rightarrow \pi^*$ گروههای ایجاد کننده رنگ در مواد رنگزا می‌باشند. بعد از انجام هر آزمایش نیز به منظور اندازه‌گیری کاهش شدت رنگ پساب، طیف جذبی آن به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر رسم می‌شد. در سیستم‌های تصفیه پسابهای صنعتی، برای ارزیابی کارایی روش به کار برده شده از میزان کاهش COD به عنوان معیار اندازه‌گیری استفاده می‌شود. به همین منوال در این پژوهش نیز، بعد از پایان هر بار تصفیه طی فرآیند انعقاد الکتریکی، میزان کاهش COD با استفاده از روشهای استاندارد اسپکتروفتومتری (روش آمپول^۲) اندازه‌گیری شد [۹].

۳- نتایج

۳-۱- تأثیر دانسیته جریان الکتریکی بر کاهش شدت رنگ پساب
شکل ۲، تأثیر دانسیته جریان الکتریکی بر کاهش شدت رنگ پساب طی مدت زمان الکترولیز ۸ دقیقه را نشان می‌دهد.

۳-۲- تأثیر دانسیته جریان الکتریکی بر کاهش COD و میزان انرژی الکتریکی مصرفی

در شکل ۳، تأثیر دانسیته جریان الکتریکی بر کاهش مقدار COD و میزان انرژی الکتریکی مصرفی در مدت زمان الکترولیز ۸ دقیقه، نشان داده شده است. جدول ۳ مقدار محاسبه شده میزان آهن

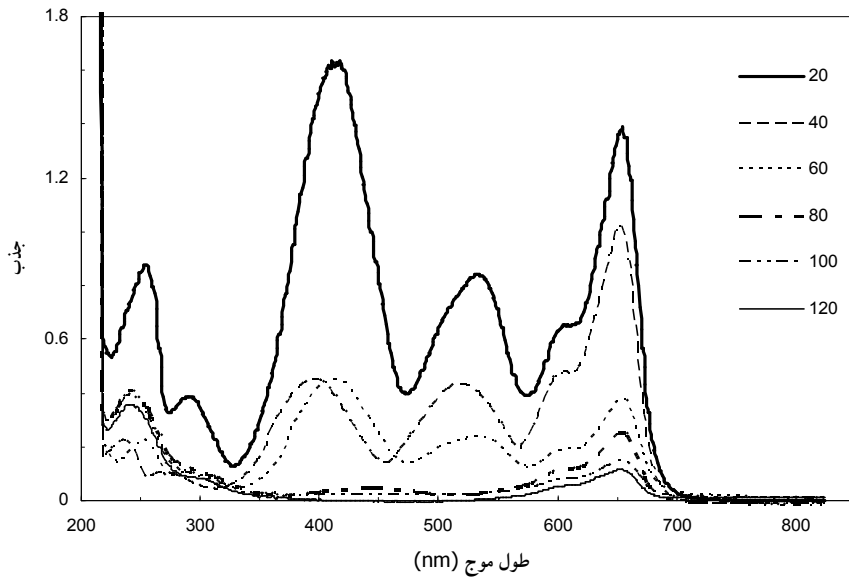
تمامی آزمایشها در دمای آزمایشگاه، در داخل یک راکتور ناپیوسته^۱ و با نمونه پسابی به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر صورت گرفت. روش آزمایش بدین صورت بود که الکترودهای آهنی که به فاصله ۲ سانتی‌متر از همدیگر در داخل نمونه پساب غوطه‌ور شده بودند، با سیمهای رابط به منبع تغذیه متصل شده و با اعمال شدت جریان ثابت تشکیل یک پیل الکترولیزی را می‌دادند. طی مدت زمان معین، واکنشهای الکتروشیمیایی صورت گرفته در این سل باعث تولید لخته‌های هیدروکسید آهن قهوه‌ای رنگ می‌شدند. در پایان هر مدت زمان معین، جریان برق قطع شده و محتویات سل به یک استوانه مدرج ریخته می‌شد. لخته‌های هیدروکسید آهن تولیدی، ابتدا اندازه کوچکی داشته و در سراسر محلول پراکنده بودند، ولی بعد از مدتی این لخته‌ها به همدیگر پیوسته، لخته‌های حجیمی را به وجود آورده و به علت داشتن وزن مخصوص کمتر از آب، در بالای استوانه قرار می‌گرفتند؛ در حین حرکت لخته‌ها به سمت بالا، قسمت اعظم مواد رنگزا جذب لخته‌ها شده و حذف می‌شدند.

بعد از زمان ۲۰ دقیقه، از محلول نمونه‌برداری شده و میزان کاهش شدت رنگ و کاهش COD پساب اندازه‌گیری می‌شد. تعداد آزمایشها در بررسی هر پارامتر ۵ الی ۶ آزمایش بود و هر آزمایش سه بار تکرار شد. نتایج مربوط به کاهش شدت رنگ کاملاً مشابه بود ولی نتایج مربوط به کاهش COD اندکی تفاوت نشان می‌داد که به صورت میانگین گزارش شده است.

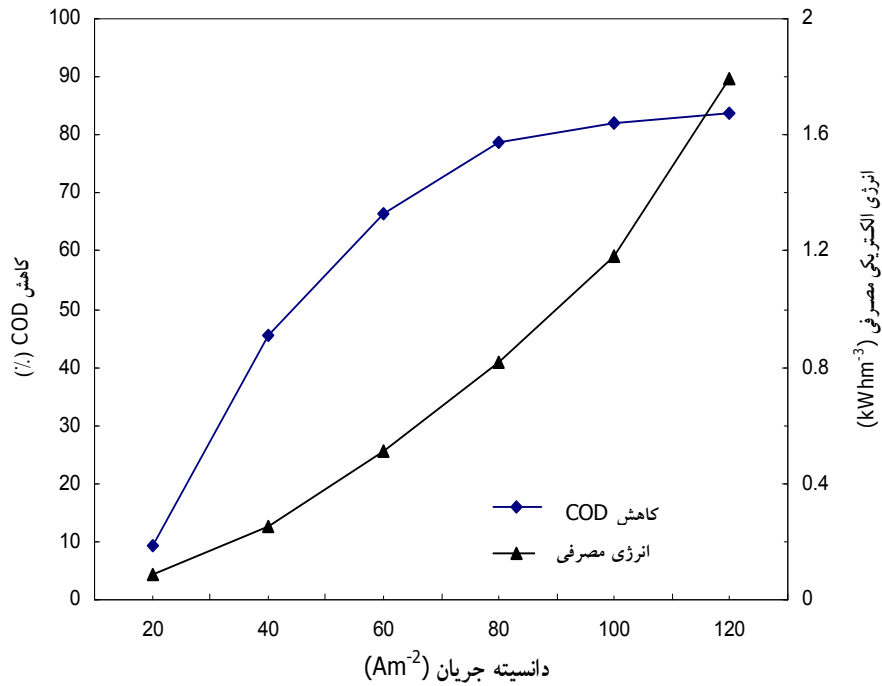
شکل ۱ طیف جذبی پساب را قبل از تصفیه در ناحیه UV-Vis نشان می‌دهد که به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر رسم شده، وجود

² Ampoule Method

¹ Batch



شکل ۲- تأثیر دانسیته جریان الکتریکی بر کاهش شدت رنگ پساب در مدت زمان ۸ دقیقه



شکل ۳- تأثیر دانسیته جریان بر کاهش COD و میزان انرژی الکتریکی مصرفی در مدت زمان ۸ دقیقه

جدول ۳- مقادیر محاسبه شده میزان آهن مصرفی در آند و جریان مؤثر در مدت زمان ۸ دقیقه

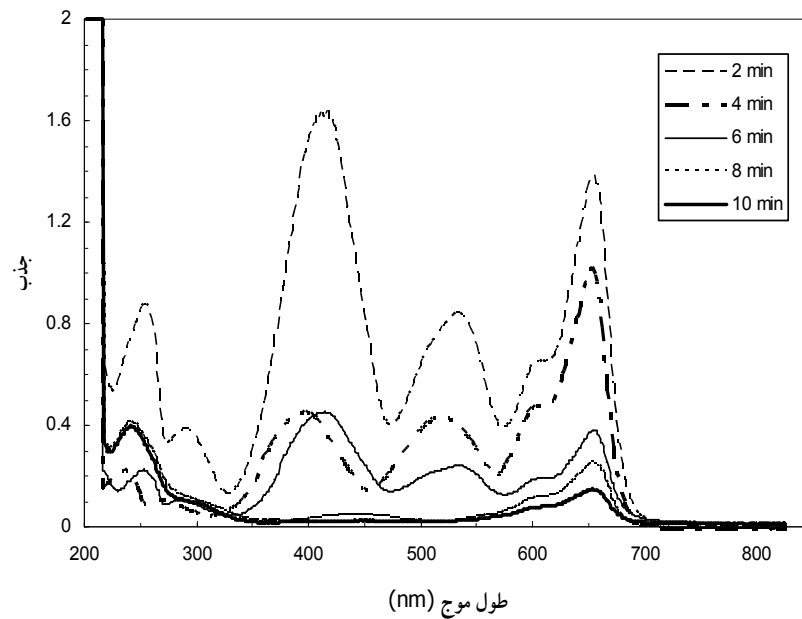
دانسیته جریان (Am^{-2})	۱۲۰	۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	
جرم تجربی آهن مصرفی در آند (mg)	۸۹	۷۲	۵۸	۴۳	۲۸	۱۳	
جرم تنوری آهن مصرفی در آند (mg)	۸۳/۶	۶۹/۷	۵۵/۷	۴۱/۸	۲۷/۹	۱۳/۹	
جریان مؤثر (%)	۱۰۵/۵	۱۰۳/۴	۱۰۲/۳	۱۰۰/۶	۱۰۰/۵	۹۳/۴	

۳-۴- تأثیر زمان الکترولیز بر کاهش COD و میزان انرژی الکتریکی مصرفی

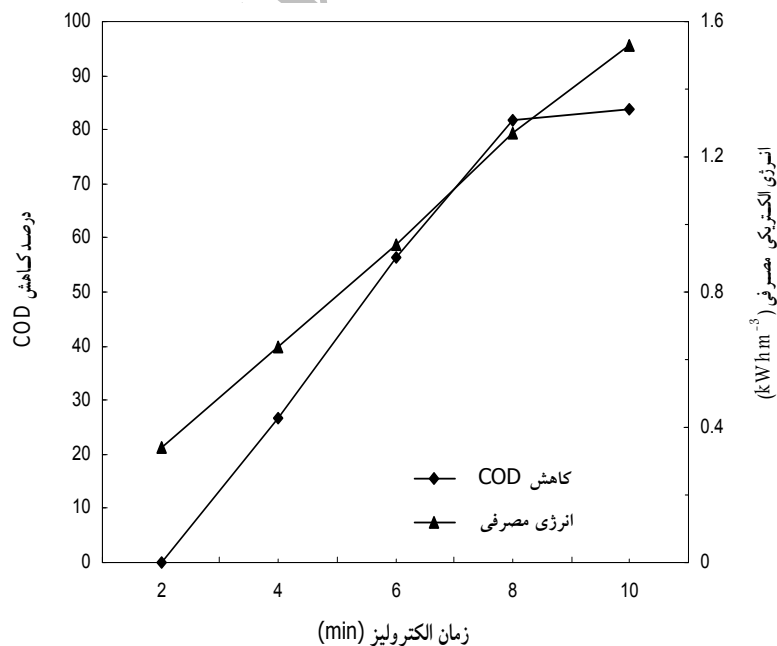
شکل ۵، تأثیر زمان بر میزان کاهش COD پساب و نیز انرژی الکتریکی مصرفی را در دانسیته جریان ثابت 100 Am^{-2} نشان می‌دهد. جدول ۴ نیز مقادیر محاسبه شده میزان آهن مصرفی در آند و جریان مؤثر در دانسیته جریان ثابت 100 Am^{-2} و مدت زمانهای ۲ الی ۱۰ دقیقه را نشان می‌دهد.

مصرفی در آند و جریان مؤثر در مدت زمان ۸ دقیقه و برای دانسیته جریانهای 20 Am^{-2} الی 120 Am^{-2} را نشان می‌دهد.

۳-۳- تأثیر زمان الکترولیز بر کاهش شدت رنگ پساب
شکل ۴، تأثیر زمان الکترولیز بر کاهش شدت رنگ پساب در دانسیته جریان ثابت 100 Am^{-2} طی زمانهای ۲ الی ۱۰ دقیقه را نشان می‌دهد.



شکل ۴- تأثیر زمان الکترولیز بر کاهش شدت رنگ پساب در دانسیته جریان 100 Am^{-2}



شکل ۵- تأثیر زمان الکترولیز بر کاهش COD و میزان انرژی الکتریکی مصرفی در دانسیته جریان 100 Am^{-2}

جدول ۴- مقادیر محاسبه شده میزان آهن مصرفی در آند و جریان مؤثر در دانسیته جریان 100 Am^{-2}

زمان الکترولیز (min)	۲	۴	۶	۸	۱۰
جرم تجربی آهن مصرفی در آند (mg)	۱۷	۳۵	۵۳	۷۲	۹۱
جرم تئوری آهن مصرفی در آند (mg)	۱۷/۴۱	۳۴/۸۲	۵۲/۲۴	۶۹/۷	۸۷/۰۶
جریان مؤثر (%)	۹۷/۶۵	۱۰۰/۵	۱۰۱/۵	۱۰۳/۴	۱۰۴/۵

۴- بحث

۴-۱- تعیین دانسیته جریان الکتریکی مناسب و نحوه محاسبه جریان مؤثر

دانسیته جریان الکتریکی در یک سل الکتروشیمیایی عبارت است از پتانسیل الکتریکی اعمالی بر واحد سطح الکترود کاتد که در سیستم SI با واحد آمپر بر متر مربع بیان می‌شود. مطابق قانون فارادی $(w = \frac{M I t_{EC}}{n F})$ افزایش شدت جریان اعمالی باعث افزایش یون‌های فلزی خورده شده از سطح الکترود آند قریانی می‌شود [۶]. در این کار پژوهشی با افزایش دانسیته جریان الکتریکی از 20 Am^{-2} به 120 Am^{-2} ، غلظت هیدروکسیدهای آهن تولید شده (عامل اصلی تصفیه پساب) در سل الکتروشیمیایی، افزایش یافته و در نتیجه مطابق طیفهای جذبی به دست آمده (شکل ۲)، از شدت رنگ پساب کاسته شده است. با توجه به شکل ۲، دانسیته جریان 100 Am^{-2} در مدت زمان ۸ دقیقه، مناسب‌ترین دانسیته جریان برای تصفیه پساب می‌باشد و با توجه به شکل ۳ افزایش دانسیته جریان الکتریکی، باعث افزایش میزان حذف COD و نیز افزایش میزان انرژی الکتریکی مصرفی می‌شود. در مطالعات قبلی صورت گرفته بر روی پسابهای نساجی از نوع دیگر، نتایجی مشابه به دست آمده است، بدین معنی که با افزایش دانسیته جریان، میزان حذف مواد رنگزا و نیز میزان کاهش COD، افزایش پیدا کرده است [۷، ۶، ۵]. در فرآیند انعقاد الکتریکی، مخصوصاً برای واحدهای تصفیه آب یا پساب صنعتی در مقیاسهای بزرگ، میزان فلز مصرف شده در الکترود آند و انرژی الکتریکی مورد نیاز برای تصفیه دو پارامتر مذکور، حائز اهمیت اقتصادی هستند. میزان فلز، جریان مؤثر و الکتریسیته مصرف شده از روی قوانین فیزیکی حاکم در الکتروشیمی، به صورت تجربی قابل محاسبه می‌باشند. میزان الکتریسته مصرفی در فرآیند انعقاد الکتریکی مطابق قانون فیزیکی ژول از رابطه ۱ قابل محاسبه است.

$$E = U I t_{EC} \quad (1)$$

E : انرژی الکتریکی مصرفی (kWh/m^3)، U : ولتاژ اعمالی به سل (V) و I : شدت جریان عبور داده شده از مدار الکتریکی (A)

می‌باشند [۶]. میزان فلز مصرفی در آند به صورت تجربی، از اختلاف وزن الکترود، قبل و بعد از فرآیند انعقاد الکتریکی و به صورت تئوری از روی قانون فارادی رابطه ۲ قابل محاسبه است [۶].

$$\Delta M_{\text{theo}} = \frac{M I t}{n F} \quad (2)$$

ΔM_{theo} : جرم تئوری فلز مصرفی در آند (g)، M : جرم مولکولی فلز مورد استفاده (g/mol)، I : شدت جریان عبور داده شده از مدار الکتریکی (A)، n : تعداد الکترون‌های مبادله شده در سطح الکترودهای آند و کاتد، t_{EC} : زمان الکترولیز (s)، F : عدد فارادی ($F = 96487 \text{ C/mol}$).

جریان مؤثر (Φ) عبارت است از نسبت بین جرم تجربی فلز مصرفی در آند با جرم تئوری فلز مصرفی، که از رابطه ۳ قابل محاسبه است.

$$\left(\Phi = \frac{\Delta M_{\text{exp}}}{\Delta M_{\text{theo}}} \right) \quad (3)$$

ΔM_{exp} : جرم تجربی فلز مصرفی در آند (g) و ΔM_{theo} جرم تئوری فلز مصرفی در آند (g) می‌باشند. از روی اختلاف وزن الکترود آند قبل و بعد از فرآیند انعقاد الکتریکی قابل محاسبه است.

۴-۲- تعیین زمان الکترولیز مناسب

زمان الکترولیز عبارت است از مدت زمان اعمال اختلاف پتانسیل مورد نظر در پیل الکترولیزی که باعث برقراری شدت جریان ثابتی در مدار الکتریکی می‌شود. افزایش زمان الکترولیز نیز مطابق قانون فارادی، باعث افزایش مقدار یون‌های آهن و هیدروکسید تولید شده در آند و کاتد می‌شود، در نتیجه غلظت هیدروکسید آهن افزایش می‌یابد. مطابق شکل ۴، افزایش زمان به ۸ دقیقه و بالاتر از آن در دانسیته جریان 100 Am^{-2} ، باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در ارتفاع طیف جذبی پساب، بعد از تصفیه شده است. با توجه به ثابت ماندن مقدار کاهش COD بعد از زمان ۸ دقیقه (شکل ۵) و برای جلوگیری از مصرف انرژی کمتر طی فرآیند انعقاد الکتریکی، زمان ۸ دقیقه به عنوان زمان بهینه الکترولیز در نظر

گرفته شد. در پژوهشهای مشابه نیز نتایج مشابه به دست آمده. بدین معنی که با افزایش زمان میزان حذف مواد رنگزا و نیز میزان حذف COD، افزایش پیدا کرده است [۵، ۶ و ۷].

۵- نتیجه گیری

فرآیند انعقاد الکتریکی از روشهای مؤثر در تصفیه پسابهای دارای مواد رنگی است که با تجهیزات ساده راه اندازی می شود و به علت عدم نیاز به مواد شیمیایی، هزینه بهره برداری کمتری دارد. این فرآیند با به کارگیری الکترودهای آهنی، روش مناسبی برای تصفیه پساب شرکت پشم و پتوی نقش جهان تبریز و دیگر پسابها و یا

محلولهای رنگی حاوی مواد رنگزای بازیگ زرد قلیایی ۱۳، قرمز قلیایی ۴۶ و آبی قلیایی ۳ می باشد. شواهد اسپکتروسکوپی و نتایج حاصل از آزمایشها نشان دادند که در تصفیه ۲۵۰ میلی لیتر از پساب رنگی شرکت نقش جهان تبریز، به کمک یک سل الکتروشیمیایی ساده، با اعمال دانسیته جریان الکتریکی 100 Am^{-2} ، به مدت ۸ دقیقه، در دمای حدود 300 K و زمان ماند رسوب به مدت ۲۰ دقیقه، بدون تغییر pH اولیه پساب، حدود ۹۵ درصد از شدت رنگ پساب و حدود ۸۲ درصد از میزان COD پساب کاسته می شود.

۶- مراجع

- ۱- تیبوت، تی.، ترجمه: دانشور، نظام الدین. (۱۳۸۳). *اصول کنترل کیفیت آب*، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز.
- 2- Yousuf, M., Mollah, A., Schennach, R., Parga, J.R., and Cocke, D.L. (2001). "Electrocoagulation (EC) – science and applications." *J. Hazard. Mater.*, B 84, 29–41.
- 3- Daneshvar, N., Ashassi-Sorkhabi, H., and Kasiri, M.B. (2004). "Decolorization of dye solution containing acid red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of different electrode connections." *J. Hazard. Mater.*, B 112, 55–62.
- 4- Parga, J.R., Cocke, J.L., Gomes, J.A., Kesmez, M., Irwin, G., Moreno, H., and Weir, M. (2005). "Arsenic removal via electrocoagulation from heavy metal contaminated groundwater in La Comarca Lagunera Mexico." *J. Hazard. Mater.*, B 124, 247–254.
- 5- Kobya, M., Can, O.T., and Bayramoglu, M. (2003). "Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes." *J. Hazard. Mater.*, B 100, 163–178.
- 6- Daneshvar, N., Oladegaragoze, A., and Djafarzadeh, N. (2006). "Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: Investigation of the effect of operational parameters." *J. Hazard. Mater.*, B 129, 116–122.
- 7- Daneshvar, N., Ashassi-Sorkhabi, H., and Tizpar, A. (2003). "Decolorization of orange II by electrocoagulation method." *J. Sep. Purif. Technol.*, 31, 153–162.
- ۸- خسروی، ع.، و قرنچیک، ک. (۱۳۷۴). *رنگرزی الیاف مصنوعی و استات سلولز*، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه امیرکبیر، ۶۵–۵۹.
- 9- Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., and Trussell, R.R. (1989). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 17th Ed., APHA, 5–16.