

حذف رنگ Reactive blue 19 از فاضلاب صنایع رنگرزی به وسیله فرآیند الکتروفتون

محمد ملکوتیان*^۱

m.malakootian@yahoo.com

مهدی اسدی^۲

امیر حسین محوی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۲۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۰

چکیده

زمینه و اهداف: با افزایش روزافزون مصرف آب و کمبود منابع، استفاده مجدد از فاضلاب به خصوص در صنایع جهت تامین بخشی از نیازهای آبی، مورد توجه قرار گرفته است. صنایع رنگ رزی جزء صنایع مصرف کننده زیاد آب به شمار رفته و مشکل عمده فاضلاب تولیدی آن ها، مواد رنگی فراوان و غیر قابل تجزیه بیولوژیکی بودن شان می باشد. روش های متداول حذف رنگ اغلب منجر به تولید حجم زیاد لجن می شوند که مشکلات تصفیه و دفع لجن را در پی دارد. الکتروفتون یک فرآیند اکسیداسیون پیشرفته می باشد که به شکل موثری میزان مواد آلی و رنگ را در پساب کاهش می دهد.

روش بررسی: در این روش، نمونه برداری از فاضلاب مطابق کتاب روش های استاندارد آزمایش های آب و فاضلاب انجام شد. سپس نمونه به درون سلول پایلوت الکتروشیمیایی ساخته شده منتقل و تاثیر پارامترهای مختلف از جمله میزان جریان الکتریکی، مقدار مصرفی یون های آهن، pH و زمان الکترولیز در راهبری فرآیند بررسی گردید.

یافته ها: نتایج حاصل نشان داد که در شدت جریان ۲۰ ولت برای غلظت رنگ ۱۰۰ mg/L و شدت جریان ۳۰ ولت برای غلظت رنگ ۲۰۰ mg/L به بالا، زمان ۴۵-۶۰ دقیقه، غلظت یون های آهن ۳/۰ mg/L و pH برابر ۴، حذف ۱۰۰ درصدی رنگ به دست آمد.

بحث: فرآیند الکتروفتون قادر به حذف رنگ Reactive Blue 19 با غلظت های متفاوت و بازده حداکثری حذف می باشد. بر اساس نتایج حاصل، شدت جریان الکتریکی و غلظت یون های آهن، پارامترهای موثر بر فرآیند الکتروفتون در حذف رنگ Reactive Blue 19 هستند و پارامترهای pH و زمان الکترولیز تاثیر کمتری بر کارایی فرآیند الکتروفتون در حذف رنگ Reactive Blue 19 دارند.

واژه های کلیدی: فرآیند الکتروفتون، اکسیداسیون پیشرفته، رنگ Reactive Blue 19، شدت جریان الکتریکی

۱- استاد مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط و گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران* (مسوول مکاتبات).

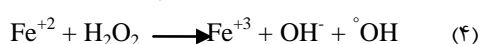
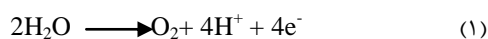
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران.

۳- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

مقدمه

فاضلاب تولیدی واحد های رنگ رزی، یک منبع مهم و قابل توجه آلودگی محیط زیست است (۱ و ۲). تعداد زیادی از این صنایع حد استاندارد تخلیه فاضلاب به منابع پذیرنده را رعایت ننموده و موجبات ایجاد عواقب جدی و وخیمی بر روی سیستم اکولوژیکی آب های پذیرنده می شوند (۳). نگرانی عمده زیست محیطی از فاضلاب این صنایع، مربوط به محتوای رنگ بسیار شدید و هم چنین میزان COD بالای آن ها است (۳). آلودگی این فاضلاب ها متناسب با رنگ موجود در فاضلاب، موجب کاهش نفوذ نور در آب های پذیرنده می شود (۴). مقدار عددی نسبت BOD_5 / COD نمایانگر میزان توانایی تجزیه بیولوژیکی مواد آلی است که در مورد فاضلاب های رنگی معمولا کمتر از ۰/۲۵ - ۰/۱ بوده و نشان دهنده این است که فاضلاب ها، حاوی مقادیر زیادی مواد آلی غیر قابل تجزیه بیولوژیکی هستند (۵). آلاینده های مقاوم در فاضلاب این صنایع اکثرا برای ارگانسیم های زنده سمی بوده و خاصیت بازدارندگی رشد آن ها را دارند (۶ و ۷). لذا تخلیه مداوم و مستمر این فاضلاب ها به منابع آبی موجب اختلال در زندگی موجودات آبی و یوتروفیکاسیون منابع آبی خواهد شد (۸). تاکنون فرایند های فیزیکی و شیمیایی مختلفی مانند ترسیب شیمیایی، جذب، الکتروکواگولاسیون و ... جهت تصفیه این فاضلاب ها استفاده شده است (۹ و ۱۰). یکی از مشکلات عمده این روش ها عدم تخریب آلاینده ها و تنها تبدیل آلودگی از یک فاز به فاز دیگر است. لذا نوع جدید و متفاوتی از آلودگی نمایان می شود که خود تصفیه اضافی را سبب می گردد (۱). فرایندهای اکسیداسیون الکتروشیمیایی یک روش نسبتا جدید و موثر، انتخابی، اقتصادی و یک متغیر پاک برای کاهش و حذف ترکیبات آلی با بارهای بالا به خصوص آلاینده های آلی مقاوم به تصفیه بیولوژیکی است (۶ و ۹). محصولات نهایی این فرایند ها که دارای تجهیزات ساده و راهبری آسان می باشد، آب و CO_2 است (۹). از دیگر مزیت های این فرایند ها زمان کوتاه انجام واکنش، تولید لجن بسیار کم، عدم مصرف مواد شیمیایی یا مصرف کم آن ها و توانایی تخریب آلاینده های مقاوم مانند ترکیبات آلی پلی آروماتیک است (۶ و ۱۰). در این میان، فرایند بر پایه فنتون به دلیل داشتن عملکرد بالا در تولید رادیکال های آزاد هیدروکسیل که دارای قدرت اکسیداسیون بالایی بعد از عنصر فلئور می باشند، کاربرد فراوانی داشته اند (۱۱). رادیکال های آزاد هیدروکسیل به شکل موثری با مواد آلی واکنش داده و آن ها را به سوی معدنی شدن هدایت می کند (۱۲ و ۱۳). فرایند هایی که در آن ها رادیکال های آزاد هیدروکسیل به وسیله انرژی الکتریکی تولید شود، فرایند های اکسیداسیون پیشرفته

الکتروشیمیایی ($EAOP_s$)^۱ نامیده می شوند (۱۴). این فرایند ها در سال های اخیر به عنوان فناوری های دوستدار محیط زیست و فرایند های پاک در تصفیه انواع فاضلاب ها مورد استفاده قرار گرفته اند (۱۵ و ۱۶). در این روش به دلیل سرعت بالای انجام واکنش ها، اندازه واحد ها بسیار کوچک شده و به دلیل سهولت اجرا و هم چنین بازده و کارایی بالا برای تصفیه انواع پساب های صنعتی قابل استفاده اند (۱۷ و ۱۸). قابلیت تجزیه بیولوژیکی فاضلاب هایی که با این روش تصفیه شده اند، افزایش قابل توجهی می یابد (۱۹). در فرایند الکتروفنتون که از روش های غیر مستقیم الکتروشیمیایی است، رادیکال های آزاد هیدروکسیل که دارای یک الکترون جفت نشده بوده و دارای عمر کوتاهی هستند، به کمک نیروی الکتریکی و در یک محیط ملایم اسیدی و در محل انجام آزمایشات تولید می شوند و دیگر مشکلات مربوط به ذخیره و حمل H_2O_2 وجود نخواهد داشت و هزینه های مصرف مواد شیمیایی نیز کاهش چشمگیری خواهد یافت (۲۰ و ۲۱). با شروع واکنش ها و الکترولیز آب (واکنش ۱)، در کاتد واکنش احیاء اکسیژن صورت می گیرد که طی آن H_2O_2 نیز تولید می شود (واکنش ۲). با افزودن یون های فروس به نمونه نیز یون های فریک تولید می شود (واکنش ۳) و به این ترتیب با واکنش H_2O_2 با یون های Fe^{2+} مطابق واکنش ۴، رادیکال آزاد هیدروکسیل تولید می شود و اکسیداسیون شیمیایی آغاز می گردد (۱).



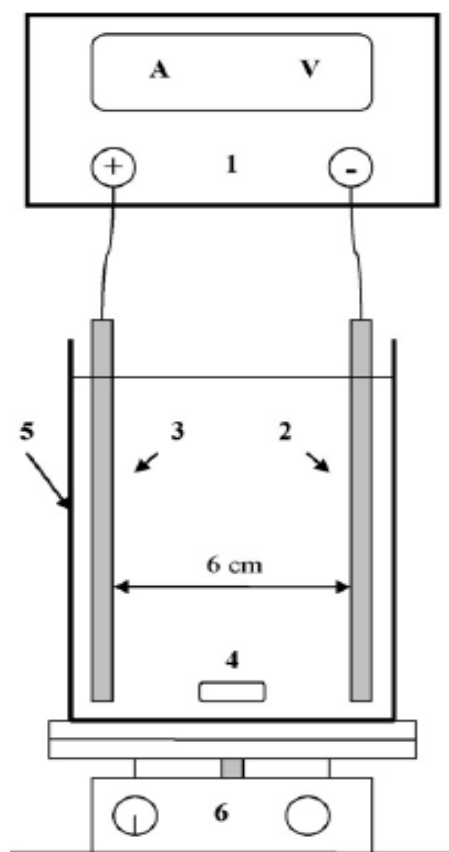
از فرایند الکتروفنتون تاکنون در تصفیه فاضلاب های صنعتی مختلفی استفاده شده است. در سال ۲۰۰۷، Carlos و همکاران از فرایند الکتروفنتون جهت معدنی سازی آلاینده های آلی استفاده نمودند که در آن از Goethite به عنوان منبع یون آهن استفاده گردید و طی آن بازده معدنی سازی ۹۵ درصد به دست آمد (۱۷). هم چنین Panizza و همکاران در سال ۲۰۰۱ مطالعه ای بر روی حذف آلاینده های آلی از فاضلاب صنعتی انجام دادند که طی آن عوامل فنتونی به وسیله فرایند الکتروشیمیایی تولید شد و حذف رنگ ۸۹ درصد و حذف COD برابر ۸۷ درصد و غلظت پهنه آهن برابر ۳ میلی مول به دست آمد (۱۵). در مطالعه Kurt و همکاران در سال ۲۰۰۷، تصفیه فاضلاب کارخانه دباغی توسط فرایند الکتروفنتون بررسی شد که طی آن در pH برابر ۳، جریان ۱۵ وات و مقدار ماده

وسایل و مواد آزمایش: اندازه گیری جذب نور توسط دستگاه Spectrophotometer UV-Vis (Philips Model PU) و 8740 pH متر (متروم مدل ۶۹۱) انجام شد. سلول الکتروشیمیایی استوانه ای، دارای حجم ۵۰۰ ml و دو الکتروود آند از جنس آهن و کاتد از جنس کربن گرافیت با قطر ۶ میلی متر بود که با فاصله ۶ سانتی متر از یک دیگر قرار داشتند و به دستگاه تولید الکتریسیته (DC power) متصل گردیده است. در شکل ۱ دیاگرام سلول الکتروشیمیایی فرایند الکتروفنتون مشخص گردیده است. از سولفات آهن هفت آب (FeSO₄.7H₂O) و سولفات سدیم ساخت شرکت مرک آلمان نیز استفاده گردید.

اکسیدان ۱/۶۷ mg/L، حذف ۹۵ درصد COD به دست آمد (۳). در سال ۲۰۰۷، Hammami و همکاران تخریب رنگ Direct Orange 61 توسط فرآیند الکتروفنتون و به کمک الکتروود های کربنی را بررسی نمودند که طی آن در شرایط بهینه فرایند، ۹۸ درصد حذف رنگ به دست آمد (۹). هدف از انجام این مطالعه، بررسی حذف رنگ Reactive Blue 19 از فاضلاب صنایع رنگ رزی توسط فرآیند الکترو فنتون و یافتن شرایط بهینه حذف رنگ از فاضلاب صنایع رنگرزی به وسیله این فرایند بود.

روش بررسی

این مطالعه از نوع تجربی است که در آزمایشگاه پژوهشی، مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط گروه بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان انجام گرفت.



۱. منبع تولید انرژی الکتریکی
۲. الکتروود کاتد (کربن)
۳. الکتروود آند (آهن)
۴. آهنربای مغناطیسی
۵. سلول الکتروشیمیایی
۶. هم زن مغناطیسی

شکل ۱- دیاگرام سلول الکتروشیمیایی فرایند الکتروفنتون

یافته ها

نتایج حاصل از تاثیر تغییرات pH بر کارایی حذف رنگ: به منظور بررسی اثر pH در میزان حذف رنگ، نمونه های حاوی رنگ در سه محدوده pH مورد آزمایش قرار گرفتند. جدول حذف رنگ در pH های مختلف را نشان می دهد. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص گردید که راندمان کلی فرایند در pH های اسیدی نسبت به pH قلیایی برتری محسوس دارد، اما در غلظت رنگ ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر و با ثابت بودن بقیه عوامل بازده حذف رنگ در pH های قلیایی در مقایسه با pH های اسیدی اندکی بیشتر است. در نمونه فاضلاب خام نیز میزان حذف رنگ در pH برابر ۴ بیشتر از pH های قلیایی است. در نتیجه، در محدوده pH مورد آزمایش (۴-۱۰) و در حالت های بهینه بازده حذف ۹۰-۱۰۰ درصد قابل دستیابی است.

جدول ۱- میزان حذف رنگ در PH های مختلف (شرایط

فرآیند: زمان تماس = ۶۰min، شدت جریان ۳۰ ولت، غلظت

یون آهن ۰/۳ mg/L)

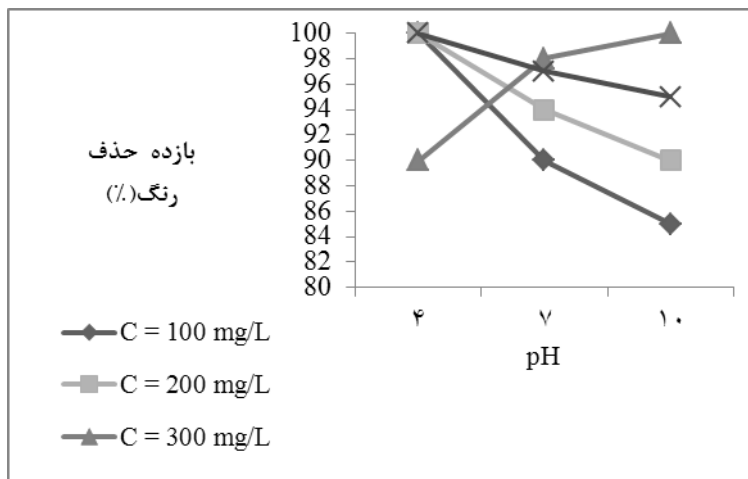
pH			غلظت رنگ
۱۰	۷	۴	
۹۵	۹۷	۱۰۰	۴۰ mg/L (فاضلاب خام)
۸۵	۹۰	۱۰۰	۱۰۰ mg/L
۹۰	۹۵	۱۰۰	۲۰۰ mg/L
۱۰۰	۹۸	۹۰	۳۰۰ mg/L

نتایج حاصل از تاثیر غلظت رنگ بر کارایی فرایند: نتایج حاصل از تغییرات غلظت رنگ در شرایط بهینه آزمایش (زمان تماس = ۶۰min، شدت جریان ۳۰ ولت، غلظت یون آهن ۰/۳ mg/L) در شکل ۲ نشان داده شده است. این نتایج مشخص می کند که افزایش غلظت رنگ تاثیری در راندمان فرایند ندارد. به طور مثال در غلظت رنگ ۳۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر و نمونه فاضلاب خام و تحت شرایط بهینه حاصل از آزمایشات، حداکثر بازده به دست می آید و بنابراین می توان نتیجه گرفت که در شرایط بهینه مورد آزمایش غلظت رنگ Reactive Blue 19 عامل تاثیرگذاری بر کارایی فرایند الکتروفتون نیست.

آماده سازی نمونه ها: نمونه فاضلاب خام به مقدار ۱۰۰ لیتر از واحد رنگ رزی زرین بافت کرمان که به صورت مخزن فلزی استوانه ای است، برداشت شد و به محیط آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه فاضلاب برداشت شده در زمان نمونه گیری فقط حاوی رنگ Reactive Blue 19 بود. برای تعیین غلظت رنگ در نمونه فاضلاب خام ابتدا با استفاده از پودر رنگ غلظت های مختلف و مشخصی از محلول رنگی آماده و میزان جذب آن ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۵۰۰ نانومتر خوانده و نمودار منحنی استاندارد رسم گردید. سپس میزان جذب نور در فاضلاب خام اندازه گیری و با استفاده از منحنی استاندارد غلظت رنگ در فاضلاب خام که حدود ۴۰ میلی گرم بر لیتر بود به دست آمد. علاوه بر فاضلاب خام، نمونه های سنتتیک با استفاده از پودر رنگ و با سه غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت.

روش انجام آزمایش: ابتدا نمونه فاضلاب را درون سلول الکتروشیمیایی منتقل و سپس جهت شروع واکنش های فرآیند فنتون، مقدار لازم از ماده کاتالیزور Fe^{3+} به نمونه اضافه گردید. پس از آن با برقرار نمودن جریان الکتریکی در سلول، عمل الکترولیز محلول و به این ترتیب، واکنش اکسیداسیون الکترو فنتون آغاز شد. جهت بالا بردن قدرت یونی و افزایش هدایت الکتریکی محلول، ماده الکترولیت Na_2SO_4 به مقدار ۰/۵ مول به محلول اضافه گردید. بعد از انجام مراحل آزمایش و در زمان های مشخص شده، از سلول الکتروشیمیایی نمونه لازم برداشت و سپس غلظت رنگ باقی مانده در آن محاسبه شد (۲۲). در محدوده غلظت های استفاده شده در این مطالعه، ارتباط خطی بین غلظت رنگ و جذب نور در طول موج مورد آزمایش مشاهده گردید. کلیه نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel رسم شد.

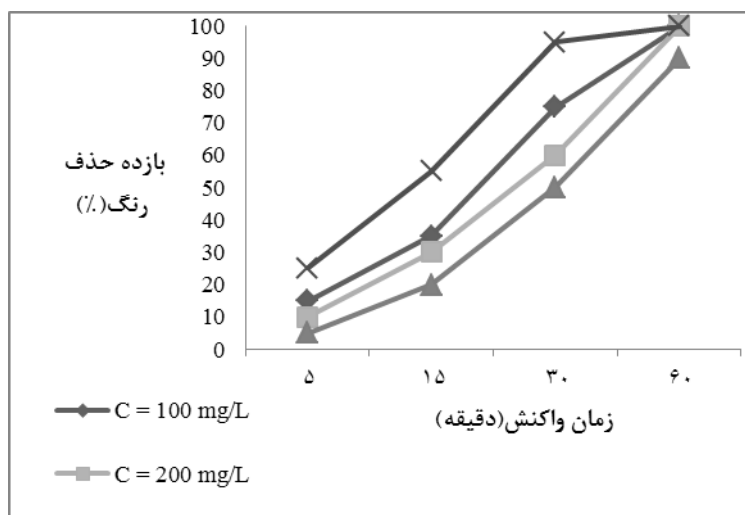
دامنه متغیرهای مورد بررسی: آزمایشات در سه محدوده pH قلیایی (۱۰)، خنثی (۷) و اسیدی (۴)، غلظت آهن مصرفی در سه محدوده ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ میلی گرم بر لیتر، زمان انجام واکنش در ۴ سطح ۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه، شدت جریان الکتریکی در سه محدوده متفاوت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ولت و میزان رنگ نیز در سه غلظت متفاوت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر به همراه فاضلاب خام انجام شد که در این میان میزان بهینه پارامترهایی چون میزان جریان الکتریکی، مقدار مصرفی یون های آهن، pH و زمان الکترولیز در راهبری فرایند تعیین گردید.



شکل ۲- تغییرات غلظت رنگ بر کارایی فرایند در pH های مختلف

دقیقه و در غلظت های مختلف رنگ، بیش از ۵۰ درصد راندمان حذف به دست می آید و در پایان زمان ۶۰ دقیقه و در شرایط بهینه فرایند، تا ۱۰۰ درصد حذف رنگ صورت می گیرد. در نمونه های فاضلاب خام نیز در شرایط بهینه و بعد از گذشت زمان ۳۰ دقیقه، ۹۰ درصد و در زمان ۳۵ دقیقه تمام رنگ موجود در نمونه حذف می گردد.

نتایج حاصل از تاثیر زمان واکنش بر کارایی فرایند: شکل ۳ تاثیر زمان واکنش در شرایط بهینه آزمایش (شدت جریان ۳۰ ولت، غلظت یون آهن 0.3 mg/L و $\text{pH}=4$) را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، در زمان های کمتر از ۱۵ دقیقه میزان حذف رنگ بسیار پایین است، اما با گذشت زمان و در نتیجه تولید بیشتر رادیکال های هیدروکسیل، میزان حذف رنگ به طور چشمگیری افزایش می یابد، به گونه ای که در بیشتر حالات آزمایش بعد از گذشت زمان ۳۰



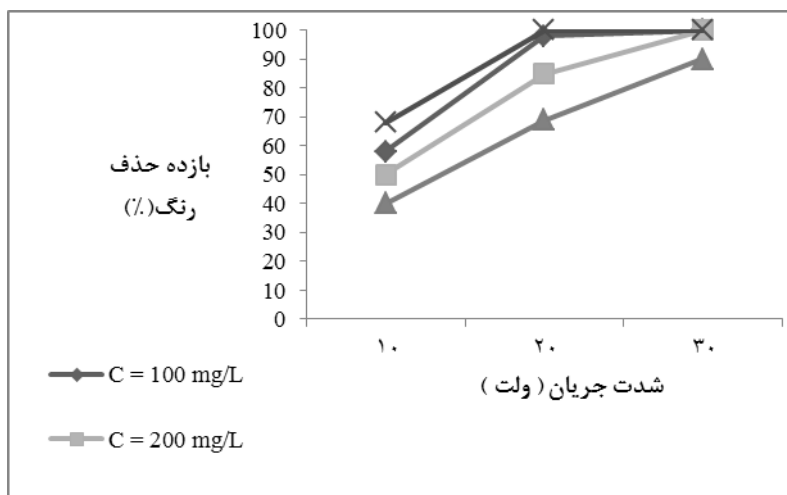
شکل ۳- تغییرات زمان واکنش بر کارایی فرایند

(۱۰ ولت)، برای هیچ کدام از غلظت های رنگ و نمونه فاضلاب خام، حداکثر حذف رنگ به دست نمی آید. در شدت جریان ۲۰ ولت در نمونه فاضلاب خام به حذف ۱۰۰ درصدی رنگ و در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر رنگ به حذف ۹۸ درصد می رسیم، اما برای

نتایج حاصل از شدت جریان بر کارایی فرایند همان طور که در شکل ۴ (شرایط فرایند: زمان تماس = ۶۰ min، غلظت یون آهن mg/L 0.3 و $\text{pH}=4$) مشاهده می شود، با افزایش شدت جریان، میزان حذف رنگ به طور چشمگیری افزایش می یابد. در شدت جریان های پایین

در بهترین شرایط ۹۸ و ۱۰۰ درصد به دست می آید. در مجموع با فراهم نمودن شرایط بهینه آزمایش، رنگ تا غلظت های ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و در شدت جریان ۲۰ ولت، حداکثر حذف رنگ قابل دستیابی است و در غلظت رنگ بالاتر از ۲۰۰ نیز در شرایط بهینه و شدت جریان ۳۰ ولت، حذف ۱۰۰ درصدی رنگ نیز حاصل می شود.

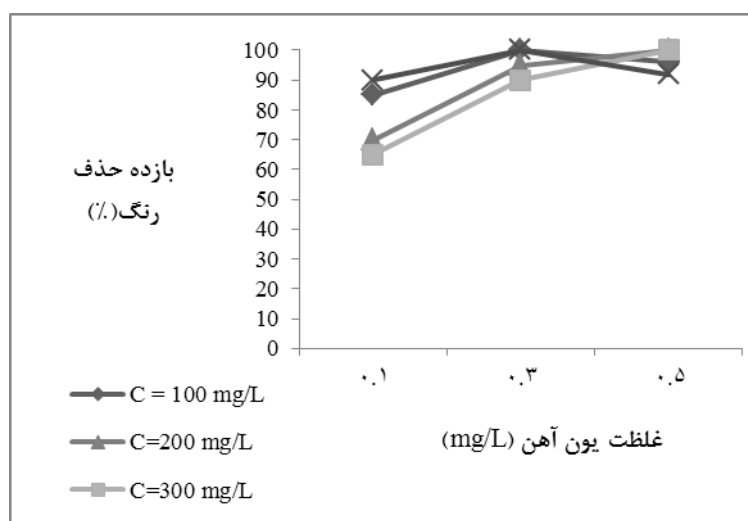
غلظت های بیشتر رنگ هنوز بازده حداکثری به دست نمی آید. در شدت جریان ۳۰ ولت در تمام غلظت ها حذف حداکثری رنگ به دست می آید. به طور مثال در شدت جریان ۱۰ ولت و غلظت رنگ ۱۰۰ میلی گرم، میزان حذف رنگ در بهترین شرایط ۵۸ درصد و به همین ترتیب در شدت جریان های ۲۰ و ۳۰ ولت میزان حذف رنگ



شکل ۴- تغییرات شدت جریان بر کارایی فرآیند

و $\text{pH} = 4$ را نشان می دهد که مشاهده می شود در غلظت ۰/۳ میلی گرم بر لیتر یون های آهن و در غلظت های رنگ ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر و نمونه فاضلاب خام، حذف ۱۰۰ درصد رنگ و در غلظت رنگ ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر نیز حذف ۹۵ و ۹۰ درصد قابل حصول است. با افزایش غلظت یون های آهن به ۰/۵ میلی گرم بر لیتر، در غلظت های رنگ ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر و نمونه فاضلاب خام، بازده حذف رنگ کاهش یافته و در غلظت های بالاتر از ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر رنگ، بازده حذف رنگ افزایش می یابد.

نتایج حاصل از تاثیر مقدار یون های آهن بر کارایی فرآیند: در این مطالعه مشاهده گردید در غلظت یون های آهن ۰/۱ میلی گرم بر لیتر و تحت شرایط بهینه، حذف ۱۰۰ درصدی رنگ به دست نمی آید، اما در کارایی فرآیند بین غلظت ۰/۳ و ۰/۵ یون های آهن تفاوت بسیار کمی وجود دارد و حتی در برخی از شرایط بازده فرآیند در غلظت ۰/۳ یون های آهن نسبت به بازده در غلظت ۰/۵ یون های آهن بالاتر است. شکل ۵ رابطه غلظت یون آهن با بازده فرآیند در شرایط بهینه آزمایش (زمان تماس = ۶۰ min، شدت جریان ۳۰ ولت



شکل ۵- تغییرات غلظت یون آهن بر کارایی فرآیند

بحث

محیط آزمایش، شانس تماس یون های آهن با محصولات حد واسط تجزیه هیدروژن پراکساید افزایش می یابد و در نهایت روند تولید رادیکال هیدروکسیل در محیط افزایش و بنابراین بازده فرایند بهبود می یابد (۱۰). میزان حذف رنگ در زمان های ۶۰ دقیقه به حداکثر خود می رسد و در مدت زمان ۳۰ دقیقه به طور متوسط میزان حذف رنگ ۴۰ تا ۶۰ درصد می باشد. هم چنین با افزایش غلظت رنگ، زمان مورد نیاز برای رسیدن به درصد حذف مشابه رنگ بیشتر است. در مطالعه ای که khoufi و همکاران در تصفیه فاضلاب روغن زیتون به وسیله فرآیند الکتروفنتون انجام دادند، مشخص گردید که با افزایش زمان، کارایی فرآیند نیز افزایش می یابد و بعد از ۶۰ دقیقه از شروع فرایند، ۶۷ درصد کاهش سمیت به دست آمد (۲۰).

غلظت بهینه یون های آهن پارامتر بسیار مهم در فرآیند های الکترو فنتون و فنتون است، زیرا نقش اصلی در عوامل فنتونی را داراست. Fe^{2+} معمولاً به عنوان یک ماده کاتالیزور جهت بهبود هدایت الکتریکی محلول افزوده می شود و قدرت اکسیدکنندگی H_2O_2 تولید شده به روش الکتریکی را افزایش می دهد. نتایج مطالعه نشان داد که در pH های اسیدی میزان یون آهن کمتر و در pH های قلیایی میزان یون آهن بیشتری برای رسیدن به راندمان مشابه نیاز است. بنابراین با افزایش pH میزان یون آهن مورد نیاز بیشتر می شود. هم چنین در شدت جریان پایین، میزان یون آهن بیشتر و در شدت جریان بالاتر، میزان یون آهن کمتری برای رسیدن به راندمان مشابه مورد نیاز است. در پژوهشی که chou و همکاران در تصفیه فاضلاب حاوی هگزامین به وسیله این فرایند انجام دادند، مشخص شد که غلظت یون های آهن عامل تاثیر گذاری در کارایی فرایند می باشد (۲۱). در بیشتر شرایط آزمایش، غلظت یون های آهن 0.3 mg/L بسیار موثرتر بوده و بازده حذف بالاتری نسبت به غلظت 0.5 mg/L یون های آهن دارند که این امر به دلیل تاثیر معکوس یون های آهن بر اثر تشکیل کمپلکس با رادیکال های هیدروکسیل و کاهش میزان رادیکال های آزاد و کاهش بازده حذف رنگ می باشد. هم چنین با افزایش شدت جریان، میزان یون آهن مورد نیاز برای رسیدن به بازده مشابه کمتر است. بنابراین غلظت مناسب Fe^{2+} پارامتر تاثیر گذاری در واکنش الکتروفنتون می باشد. نتایج به دست آمده در مطالعه chiu و همکاران در حذف رنگ Reactive Black5 و مطالعه Boye و همکاران در حذف تری کلرو فنوکسی استیک اسید نیز موید همین موضوع است (۱۹ و ۵).

نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، روش اکسیداسیون الکتروفنتون توانایی حذف رنگ Reactive Blue 19 را در شرایط مختلف دارا بود و در غلظت های مورد آزمایش و در شرایط بهینه،

در این مطالعه میزان pH بهینه برابر با ۴ به دست آمد. مقدار pH اکسیداسیون ترکیبات آلی و تولید رادیکال های هیدروکسیل به طور مستقیم و غیر مستقیم اثر می گذارد و کارایی اکسیداسیون را تحت تاثیر قرار می دهد. بنابراین پایین بودن pH پساب ها در فرایند فنتون ضروری است. علت این است که رادیکال های هیدروکسی و کمپلکس های هیدروکسوفریک به مقدار زیادی در محیط اسیدی تشکیل می شوند (۸). در pH های پایین تر از ۲/۵، تشکیل $Fe(OH)^{2+}$ که با H_2O_2 به آرامی واکنش می دهد باعث کاهش مقدار رادیکال های OH^{\cdot} شده و در نتیجه بازدهی فرایند کاهش می یابد. در pH های قلیایی نیز Fe^{2+} به Fe^{3+} تبدیل شده و به صورت $Fe(OH)_3$ رسوب نموده و از چرخه کاتالیستی خارج می شود (۵). در غلظت های پایین رنگ (100 mg/L) در pH های اسیدی بازده فرایند به میزان اندکی بالاتر است اما در غلظت های رنگ بالا (300 mg/L) راندمان در pH های قلیایی نسبت به pH های اسیدی به میزان اندکی بیشتر است که عامل آن ویژگی ها و ساختار شیمیایی رنگ Blue 19 Reactive است. اما راندمان کلی فرآیند در pH های اسیدی نسبت به pH های قلیایی بیشتر می باشد. بنابراین در حذف رنگ Blue 19 به کمک فرآیند الکتروفنتون، pH عامل تاثیر گذار جدی در بازده فرآیند محسوب نمی شود. در مطالعه دانشور و همکاران که حذف رنگ OrganeII به وسیله فرآیند الکتروفنتون بررسی گردید، pH بهینه برابر ۳ به دست آمد و با افزایش pH، راندمان فرآیند کاهش یافت (۱). در مطالعه chiu و همکاران حذف رنگ Reactive Black5 به وسیله این فرایند بررسی و مشخص گردید که راندمان فرآیند در pH های اسیدی نسبت به pH های قلیایی بسیار بالاتر است (۵). با افزایش غلظت رنگ، زمان مورد نیاز برای حذف درصد مشخصی از رنگ نیز افزایش می یابد، به طوری که در غلظت های پایین رنگ (100 mg/L) و در شرایط بهینه فرآیند، در مدت زمان ۴۵ دقیقه می توان به بازده حذف رنگ بالای ۸۰ درصد دست یافت اما در غلظت های بالا (300 mg/L)، در پایان ۶۰ دقیقه زمان واکنش، همین میزان حذف رنگ به دست می آید. نتیجه مطالعه hammami و همکاران که در آن حذف رنگ organe16 به وسیله فرآیند الکتروفنتون بررسی شده بود نشان داد که غلظت رنگ تاثیر کمی در کارایی فرآیند دارد و تا ۹۸ درصد حذف رنگ به دست آمد (۸). این در حالی است که در مطالعه anotai و همکاران که تخریب آنیلین به وسیله فرآیند الکتروفنتون بررسی شد، مشخص گردید که با افزایش غلظت آنیلین، کارایی فرآیند کاهش می یابد (۱۶). زمان واکنش یکی از عوامل موثر در انجام فرآیند های اکسیداسیون پیشرفته است. با گذشت زمان میزان محصولات حد واسط ناشی از تجزیه هیدروژن پراکساید بیشتر شده و از طرفی با ایجاد اختلاط در

7. Oturan, M.A., Sires, I., Perocheau, S., 2008. Sonoelectro-Fenton process: A novel hybrid technique for the destruction of organic pollutants in water. *electroanalytical chemistry*, Vol.624 (1-2), pp. 329-322.
8. Bellakhal, N., Dachraoui, M., Oturan, M., 2006. Degredation of tartrazine in water by electro-fenton process. *De la Société Chimique de Tunisie*, Vol.8, pp. 223-228.
9. Hammami, S., Oturan, N., Bellakhal, N., 2007. Oxidative degradation of direct orange 61 by electro-Fenton process using a carbon felt electrode: Application of the experimental design methodology. *Electroanalytical Chemistry*, Vol. 610(1), pp. 75-84.
10. Kos, L., Perkowski, J., 2008. Decolouration of Real Textile Wastewater with Advanced Oxidation Processes. *Institute of Knitting Technology and Techniques ul. Piotrkowska*, vol. 270, pp.64-67.
11. Mantzavinos, D., kassinos, D., parsons, S.A., 2009. Applications of advanced oxidation processes in wastewater treatment. *Water research* .Vol.43, pp. 3901-3909.
12. Edalahi, M.C., Oturan, N., Bermond, A., 2004. Degredation of diuron by the electro-fenton process. *Environ chem Lett*, Vol. 1, pp. 233-236.
13. Radha, K.V., Sridevi, K., Kalaivani, k., 2009. Electrochemical oxidation for the treatment of textile industry wastewater. *Bioresource Technology*, Vol.100 (2), pp. 987-990.
14. Lingling, H., Kang, H., Lih shyu, H., 2007. Optimisation of a ultrasound-Assisted nanoscale Fe/fenton process for dye wastewater through a statistical experiment design method. *Environmental informatics archives* .Vol.5, pp.664-673.
15. Panizza, M., Cerisola, G., 2001. Removal of organic pollutants from industrial wastewater by electrogenerated Fenton's reagent. *water research*, Vol. 35(16), pp. 3987-3992.
16. Anotai, J., Chun, M., 2006. Kinetics of aniline degradation by Fenton and electro-Fenton processes. *Water research*, Vol.40 (9), pp. 1841-1847.
17. Carlos, M., Sánchez, S., 2007. Goethite as a more effective iron dosage source for mineralization of organic pollutants by electro-Fenton process. *Electrochemistry Communications*, Vol.9 (1), pp. 19-24.

حذف ۱۰۰ درصدی رنگ به دست آمد. بر اساس این نتایج، مهم ترین عامل در حذف رنگ Reactive Blue 19 به وسیله فرآیند الکتروفنتون، شدت جریان الکتریکی است، به طوری که با افزایش شدت جریان از ۱۰ به ۲۰ ولت بازده فرآیند به طور چشمگیری افزایش یافته و در ولتاژ ۳۰ حداکثر حذف رنگ به دست می آید. غلظت یون های آهن بعد از شدت جریان، دومین عامل تاثیر گذار در کارایی فرآیند است. هم چنین میزان حذف رنگ در pH های اسیدی نسبت به pH های قلیایی بیشتر است.

سپاس گزاری

این پژوهش حاصل از پایان نامه دانشجویی در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط می باشد که در مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان و با حمایت معاونت تحقیقات و فن آوری این دانشگاه به انجام رسیده است. بدینوسیله از همکاری تمامی عزیزان تشکر و قدردانی به عمل می آید.

منابع

1. Daneshvar, N., Vatanpour, S.A., Rasoulifard, M.H., 2008. Electro-Fenton treatment of dye solution containing Orange II: Influence of operational parameters. *Electroanalytical Chemistry*, Vol.615, pp.165-174.
2. Al-kdasi, A., Idris, A., Saed, K., Guan, C.T., 2004. Treatment of textile wastewater by advanced oxidation process. *Global Nest*, Vol.6 (3), pp.222-230.
3. Kurt, U., Apaydid, O., Talha Gonullu, M., 2007. Reduction of COD in wastewater from an organized tannery industrial region by Electro-Fenton process. *hazardous materials*, Vol. 1(2), pp.33-40.
4. Alinsafi, A., Khermis, M., Ponsa, M.N., 2005. Electro-coagulation of reactive textile dyes and textile wastewater. *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 44, pp. 461-470.
5. Chiou, CS., Chang, C.Y., Shie, J.L., 2006. Decoloration of reactive black 5 in aqueous solution by electro-fenton reaction. *environmental engineering and management*, Vol.16 (4), pp.243-248.
6. Ventura, A., Jacquet, G., Bermond, A., Camel, V., 2002. Electrochemical generation of the Fenton's reagent: application to atrazine degradation. *Water research*, Vol.36 (14), pp.3517-3522.

21. Chou, S., Huang, Y., Lee, S., 1999. Treatment of high strength hexamine-containing wastewater by electro-Fenton method. *Water research*, Vol. 33(3), pp.751-759.
22. APHA, AWWA, WEF.1998. Standard method for the examination of water wastewater. 20th Ed. Washington DC, USA, pp.67- 89
18. Virkutytea, J., Rokhina, E., 2009. Optimisation of Electro-Fenton denitrification of a model wastewater using a response surface methodology. *Bioresource Technology*, Vol. 101(5), pp.1440-1446.
19. Boye, B., Morieme, M., Brillas, E., 2003. Anodic oxidation, electro-fenton and photoelectro-fenton treatments of 2, 4, 5-trichlorophenoxyacetic acid. *Electroanalytical chemistry*, Vol. 557, pp. 135-146.
20. Khoufi, S., Aloui, F., Sayadi, S., 2006. Treatment of olive oil mill wastewater by combined process electro-Fenton reaction and anaerobic digestion. *water research*, Vol. 40(10), pp. 2007-2016.