مقایسه کارایی فرآیند انعقاد الکتروشیمیایی و فرآیند اکسیداسیون الکتریکی در تجزیه رنگ دی آزو ACID BLUE113 از محلول های آبی

محمدرضا سمرقندی[۱]، امیر شعبانلو[۱]، جمال مهرعلی پور*[۱]، مهسا کوکبیان[۲]، بهاره عسگری سروش[۲]

۱) گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

۲) کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۲۶

چکیده

مقدمه: پساب‌های رنگی با ورود به محیط، باعث بر هم خوردن جنبه‌های زیباشناختی و اکولوژیکی می گردد، ایجاد پدیده اوتریفیکاسیون در آب‌های سطحیاز بارزترین این مشکلات است. این فرآیندها با استفاده از جریان الکتریکی باعث تجزیه آلاینده‌ها می‌شوند. هدف از این مطالعه مقایسه کارایی فرآیند انعقاد الکتروشیمیایی(EC) و فرآیند اکسیداسیون الکتریکی(EO)در تجزیه رنگ AB113 از محیط‌های آبی بود.

مواد و روش ها: در این مطالعه تجربی، حذفرنگ AB113باغلظت‌هایمختلف، توسط فرآیندEC و فرآیندEO به فاصله دو سانتیمتر از هم مورد مطالعه قرار گرفتند. تاثیر پارامترهای(۹-۵)pH، ولتاژ ۳۰-۱۰ ولت(با محدوده آمپر ۳-۱ آمپر) و غلظت اولیه رنگ(۵۰۰-۵۰ میلی گرم در لیتر) در مدت زمان بهینه هر فرآیند مورد بررسی و سنجشغلظترنگ با روشذکرشده درکتاباستانداردمتدصورتگرفت.

یافته های پژوهش: نتایج به دست آمده بیانگر این است که هر دو فرآیند کارایی بالایی در تجزیه رنگ دارند. در شرایط بهینه فرآیند انعقاد الکتروشیمیایی(ولتاژ ۳۰ ولت، جریان ۳ آمپر، pH=5، غلظت اولیه ۵۰ میلی گرم در لیتر و مدت زمان ۴۰ دقیقه) و فرآیند الکتروشیمیایی(ولتاژ ۳۰ ولت، با جریان ۳آمپر، pH=7،غلظت اولیه ۵۰ میلی گرم در لیتر و زمان واکنش ۵۰ دقیقه) راندمان حذف به ترتیب ۹۳/۷۳و ۹۵/۷۵ درصد به دست آمد. با تغییر شرایط آزمایش راندمان تجزیه در هر دو فرآیند کاهش پیدا می‌کند.

بحث و نتیجه گیری: فرآیندهای مذکور، کارایی مناسبی در حذف رنگ آزوی AB113 دارد. pH، ولتاژ، غلظت اولیه رنگ و نوع الکترودها نقش تعیین کننده‌ای در راندمان فرآیندها دارند. تغییر هر یک از پارامترها باعث تغییر در راندمان تجزیه رنگی-شود.

واژه‌های کلیدی: فرآیند انعقاد الکتروشیمیایی، فرآیند اکسیداسیون الکتروشیمیایی، رنگ AB113

*نویسنده مسئول: گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

Email: jamalmehralipour@yahoo.com

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-08]

مقدمه

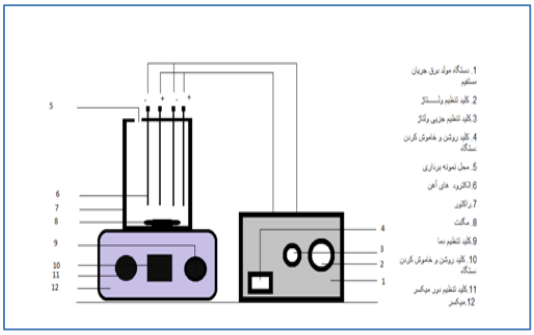
با توجه به گسترش روزافزون تولید فاضلاب های صنعتی، آلوده شدن منابع آب، از معضلات مهم محسوب می گردد. بسیاری از صنایع مانند صنایع تولید مواد آرایشی و بهداشتی، چرم سازی، چاپ و نساجی، پساب رنگی تولید می کنند(۱). سالانه در حدود $۱۰^{۶}$ تن رنگ در جهان تولید می گردد(۲). رنگ ها دارای ساختار مولکولی پیچیده، اغلب سمی، سرطان زا، موتاسیون، غیر قابل تجزیه بیولوژیک و پایدار می باشند که با ورود به محیط زیست اثرات سویی ایجاد می کنند(۳). صنعت نساجی یکی از بزرگ ترین مصرف کننده های رنگ در جهان شناخته شده است، به طوری که حدود ۲۰-۱۰ درصد از کل رنگ مصرفی دنیا، در صنعت نساجی مصرف می شود(۴). فاضلاب های رنگی با ورود به محیط زیست، باعث بر هم خوردن جنبه های زیباشناختی و اکولوژیکی می گردد، ایجاد پدیده اوتریفیکاسیون در آب های سطحی از بارزترین این مشکلات است. فاضلاب رنگی این صنایع مشکلات متعددی از لحاظ بهره برداری در تصفیه خانه های فاضلاب به وجود می آورند به طوری که تخلیه مستقیم فاضلاب صنعت نساجی به داخل مجاری فاضلاب رو و یا در محیط، سبب تشکیل لایه های لجن حاوی الیاف می گردد، وجود مواد رنگزا، پاک کننده ها و چسب ها در فاضلاب نساجی به دلیل قابلیت تجزیه پذیری بیولوژیکی بسیار کم آن ها در عملیات تصفیه بیولوژیکی اختلال ایجاد می نماید. بعضی از این ترکیبات، نمک هایی از مشتقات حلقه بنزن هستند که سرطانزا می باشند. نیتروژن و فسفر مواد رنگزا نیز باعث رشد جلبک ها شده و مشکل شکوفایی جلبکی را در آب های پذیرنده موجب می گردند(۳،۵). از رنگی که استفاده و کاربرد زیادی در صنایع به ویژه صنایع نساجی دارد می توان به رنگ ACID BLUE 113 (AB113) اشاره کرد. رنگ AB 113 به عنوان یک رنگ دی آزو شناخته می شود که دارای دو گروه آزو در ساختار شیمیایی خود می باشد. علت انتخاب این رنگ فراوانی مصرف و کاربرد گسترده آن در صنایع نساجی کشور می باشد(۶). از روش هایی که برای حذف رنگ استفاده شده است روش - های بیولوژیکی هوازی مانند لجن فعال، روش های بی هوازی مانند UASB، استفاده از قارچ ها و اکتینومیست ها، اکسیداسیون شیمیایی مانند کاربرد فرآیند فنتون و کاربرد هیپوکلریت، فرآیند احیاء مانند کاربرد Fe^{0}، اکسیداسیون پیشرفته مانند O_3/UV-O_3/H_2O_2-$O_3/UV/H_2O_2$، تجزیه نوری مانند TiO_2/UV و فتوفنتون، فرآیند جذب روی کربن فعال و بیوجذب، فرآیندهای غشایی مانند کاربرد میکروفیلترها و نانوفیلترها می باشند(۹-۷). در سال های اخیر توجه به تکنولوژی های الکتروشیمیایی جهت استفاده در تصفیه آب و فاضلاب افزایش یافته است(۱۰). مکانیسم موجود در فرآیندهای الکتروشیمیایی به ویژه فرآیند اکسیداسیون الکتریکی(EO) ایجاد عوامل اکسیدکننده مانند رادیکال هیدروکسید با بهره گیری از جریان الکتریکی است(۱۱). از این فرآیند به تازگی در حذف و تجزیه پساب های حاوی رنگ استفاده شده است. این فرآیند آلاینده ها را در سلول های الکتریکی با دو مکانیسم عمده که شامل اکسیداسیون مستقیم در الکترود کاتد و واکنش شیمیایی با تولید گونه های الکترون و تولید رادیکال های هیدروکسید با جذب شیمیایی است تجزیه می‌کند(۱۲). فرآیند انعقاد الکتروشیمیایی(EC) دارای کارایی بالایی در حذف آلودگی های آلی، معدنی و پاتوژن ها دارد. این فرآیند برای ناپایدار کردن ذرات سوسپانسیون، معلق و آلاینده های محلول می باشد. فرآیند انعقاد الکتروشیمیایی از صفحات جفت شده فلزی تشکیل شده است که طبق اصول الکتروشیمی کاتد به عنوان اکسیدکننده و آند به عنوان احیاء کننده عمل می کند. صفحات رسانای فلزی به عنوان الکترود قربانی به کار می روند و ممکن است کاتد و آند از یک جنس یا از جنس های مختلف باشند. در فرآیند انعقاد الکتروشیمیایی توسط فرآیند الکتروشیمیایی عواملی مانند یون های آهن، آلومنیوم و سایر فلزات تولید می شوند که باعث خنثی شدن بار الکتریکی آلاینده ها و ذرات کلوئیدی و حذف آن ها می شود. از مزایای این فرآیند می توان به حجم کم لجن تولیدی، عدم نیاز به مواد شیمیایی، نیاز به فضای کوچک، هزینه سرمایه گذاری اندک و کاربرد راحت آن اشاره نمود(۱). فرآیند EC در ۳ مرحله انجام می گیرد. مرحله اول انعقاد است که با کمک الکترود آند صورت می گیرد. در مرحله بعد اکسیداسیون صورت می گیرد که شامل ناپایدارسازی آلودگی، معلق سازی مواد و شکست امولوسیونی است. در مرحله سوم ذرات ناپایدار برای تشکیل فلوک با هم ترکیب می شوند. مکانیسم ناپایدارسازی در این فرآیند شامل فشردگی لایه دوبل الکتریکی، جذب، خنثی کردن شارژ، به دام انداختن در رسوبات و پل زنی بین ذرات می باشد(۱۳). استفاده از فناوری فوق به دلیل عدم استفاده از مواد شیمیایی، بالا بودن عمر واحدهای مورد استفاده، راهبری و نگهداری آسان، تولید لجن کمتر و کاهش هزینه ها در مقایسه با فرآیندهای متداول تصفیه آب با استفاده از مواد منعقدکننده بیشتر مورد توجه قرار گرفته است(۱).

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-08]

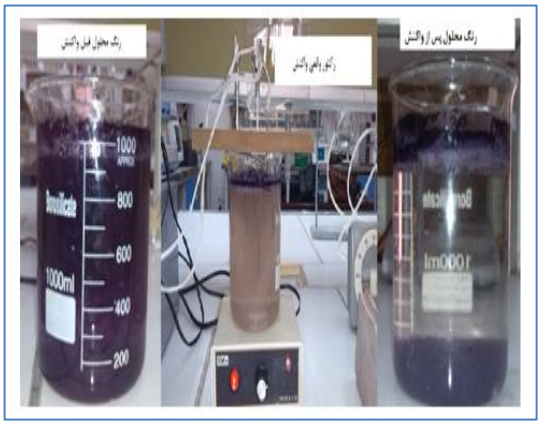
خطایی و همکاران طی مطالعاتی که در سال ۲۰۰۹ انجام دادند حذف رنگ C.I.acid blue 9 توسط فرآیند الکتروکواگولاسیون را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه پارامترهای شدت جریات الکتریکی، pH اولیه و زمان واکنش مورد بررسی قرارگرفته است و نشان می دهد که برای محلول حاوی ۱۲۰ میلی گرم در لیتر AB9 زمانی که pH برابر ۶، شدت جریان ۲۵ آمپر در مترمربع و زمان واکنش ۸ دقیقه است راندمان حذف تقریباً ۹۸ درصد است(۱۴). هم چنین در مطالعه ای که توسط یوسف یاویز و همکاران در سال ۲۰۱۴ انجام داده اند کارایی فرآیند الکتروکواگولاسیون با الکترودهای آهن و آلومنیوم را در حذف رنگ Basic Red 29 مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در شرایط بهینه واکنش در مدت زمان کوتاهی کارایی فرآیند بیش از ۹۵ درصد بود(۱۵). هدف از این مطالعه مقایسه کارایی فرآیند EC و فرآیند ECO در حذف رنگ AB113 از محیط های آبی با استفاده از الکترودهای استیل، آلومنیوم و تیتانیوم بود. در این مطالعه که در دو بخش انجام گرفت در فرآیند EC کاتد از جنس تیتانیوم و آند از جنس آلومنیوم و در فرآیند EO کاتد از جنس تیتانیوم و آند از جنس استیل بودند.

مواد و روش ها

این مطالعه تجربی با رویکرد کاربردی در یک راکتور ناپیوسته و با استفاده از پودر رنگ AB113 با درجه خلوص ۹۹/۸ درصد ساخت شرکت الوان رنگ واقع در استان همدان انجام شد. جهت انجام مطالعه ابتدا رنگ AB113 با غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر به عنوان محلول مادر از حل کردن ۱ گرم از پودر این رنگ در آب مقطر تهیه گردید. محلول های رنگی در غلظت های مورد نیاز از محلول مادر تهیه گردید. پایلوت مورد استفاده از جنس پلکسی گلاس به حجم مفید ۱ لیتر مجهز به دستگاه مولد جریان مستقیم الکتریسیته(DC) مدل PS-405 ساخت شرکت ADAK چین است. تعداد ۴ الکترود از جنس های آلومینیوم، استیل و تیتانیوم با ابعاد ۲۰×۲×۲ میلی متر به فاصله ۲ سانتی متر(۱۶)، از هم به صورت غوطه ور در راکتور تعبیه شده بودند. در فرآیند EC دو الکترود تیتانیوم به عنوان کاتد و دو الکترود آلومنیوم(تیتانیوم–آلومنیوم) به عنوان آند به صورت یک در میان استفاده شد و در فرآیند EO، دو الکترود تیتانیوم به عنوان کاتد و دو الکترود استیل به عنوان آند(تیتانیوم–استیل) با آرایش یک در میان مورد به صورت تک قطبی آزمایش قرار گرفت. دستگاه مولد انرژی با قابلیت تولید جریان الکتریسیته در مقادیر متغیر(۱۰،۲۰،۳۰ ولت) مورد استفاده قرار گرفت. سنجش غلظت رنگ موجود در نمونه های اولیه و تصفیه شده با فرآیند مذکور پس از سانتریفوژ کردن با استفاده از سانتریفوژ مدلsigma301 با روش ذکر شده در کتاب استاندارد متد با دستگاه اسپکتروفوتومتر(DR 5000) در طول موج ۵۶۸ نانومتر صورت گرفت(۱۷). شمای کلی راکتور در شکل شماره ۱ و تصاویر واقعی از محفظه واکنش و محلول قبل و بعد واکنش در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. هم چنین اسکن طول موج و ساختار شیمیایی رنگAB113 در شکل شماره ۳ نشان داده شده است.



شکل شماره ۱. شمای راکتور مورد استفاده.



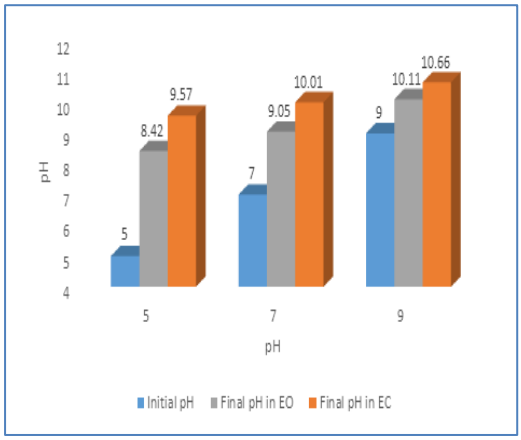
شکل شماره ۲. نمای واقعی از راکتور واکنش و رنگ محلول قبل و بعد از انجام فرآیندها.

یافته های پژوهش

در مطالعه حاضر فرآیند EC و فرآیند EO در تجزیه رنگ AB113 از محیط های آبی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. تاثیر پارامترهای مختلف از قبیل pH اولیه محیط، زمان الکترولیز، ولتاژ جریان و غلظت اولیه رنگ ورودی به محفظه واکنش در این فرآیندها مورد بررسی قرار گرفت که در زیر به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-08]

تعیین تاثیر pH اولیه محیط(pH_i) بر راندمان حذف(AB113): در این مرحله از مطالعه، تاثیرگذاری pH محیط بر کارایی فرآیندهای مذکور مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله از آزمایش غلظت اولیه رنگ ۵۰ میلی گرم در لیتر و جریان ورودی ۲۰ ولت در نظر گرفته شد. نتایج این مرحله از انجام آزمایشات حاکی از آن است که حداکثر راندمان تجزیه رنگ در فرآیند EC در pHi برابر با ۵ و مدت زمان ۴۰ دقیقه به دست آمد و در فرآیند EO در pH محیط برابر ۷ و زمان واکنش ۵۰ دقیقه به دست آمد. راندمان تجزیه رنگ در فرآیند EC و فرآیند EO به ترتیب ۹۱/۷۸ و ۹۲/۶۵ درصد به دست آمد. و در نتیجه pH برابر ۵ به عنوان pH بهینه برای فرآیند EC و pH برابر ۷ برای فرآیند EO در مدت زمان های تعیین شده در نظر گرفته شد و در ادامه آزمایشات از این pH ها استفاده شد. همان طور که نمودارها نشان می دهد با تغییر مقدار pH محیط از حد بهینه در هر دو فرآیند درصد تجزیه رنگ کاهش می - یابد به طوری که در فرآیند EC کمترین راندمان حذف مربوط به pH برابر ۹ است که راندمان ۸۱ درصد است و در فرآیند EO کمترین راندمان مربوط به pH برابر ۵ است که تنها ۵۴ درصد راندمان دارد. در انتها نیز میزان نهایی pH محیط تحت عنوان pH_f اندازه گیری شد که در نمودار شکل شماره ۳ نشان داده شده است. همان گونه که از نمودار مشخص است هر دو فرآیند باعث ایجاد شرایط قلیایی در محیط شده اند.



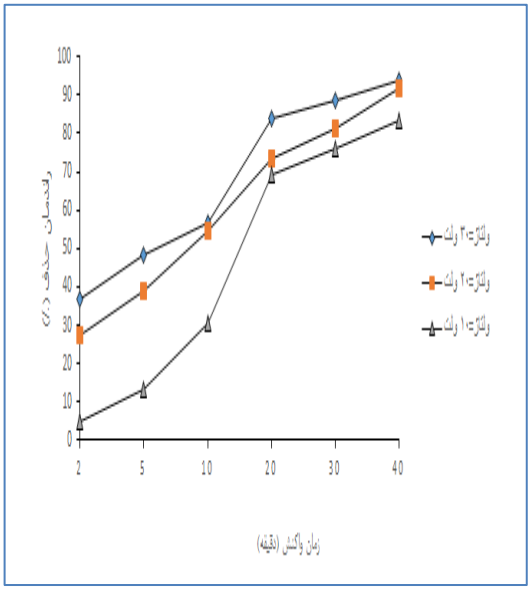
شکل شماره ۳. pH نهایی محیط در فرآیند EC و EO در حذف رنگ AB113 (ولتاژ ۲۰ ولت، غلظت اولیه ۵۰ میلی گرم در لیتر).

تعیین تاثیر ولتاژ جریان بر راندمان حذف(AB113): در این پژوهش پس از تعیین pH بهینه محیط، کارایی فرآیند EC و فرآیند EO در ولتاژ جریان ۳۰-۱۰ ولت و با کنترل آمپر مورد بررسی قرار گرفت و نتایج این مرحله از آزمایشات به ترتیب در شکل های شماره ۴ و ۵ نشان داده شده است. همان طور که مشخص است در غلظت ورودی ثابت ۵۰ میلی گرم بر لیتر از رنگ و در pH بهینه به دست آمده در هر حالت(زمان الکترولیز بهینه ۴۰ دقیقه برای فرآیند EC و زمان الکترولیز بهینه ۵۰ دقیقه برای فرآیند EO)، با افزایش ولتاژ اعمال شده راندمان تجزیه رنگ به صورت قابل ملاحظه ای افزایش یافته است به طوری که بالاترین راندمان در ولتاژ ۳۰ ولت در فرآیند EC با ۹۳/۷۳ درصد کاهش در غلظت اولیه رنگ و ۹۵/۷۵ درصد کاهش غلظت اولیه رنگ در فرآیند EO حاصل شد و از طرفی پایین ترین راندمان در شرایطی حاصل شد که مقدار ولتاژ تنظیم شده در فرآیند معادل ۱۰ ولت با ۸۳ و ۸۷ درصد کاهش در غلظت اولیه رنگ به ترتیب در فرآیند EC و فرآیند EO مشاهده شد. هم چنین در این مطالعه میزان انرژی مصرفی به واسطه ولتاژ و آمپراژ مصرفی توسط رابطه شماره ۱ تعیین شد(۱۸).

رابطه شماره ۱:
$$EE/V = \frac{U \times 1 \times t}{V_r}$$

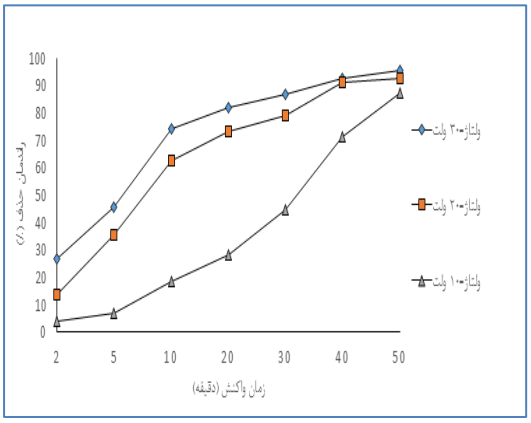
در این رابطه U میزان ولتاژ مصرفی بر حسب ولت، I شدت جریان الکتریکی کاربردی بر حسب آمپراژ، t زمان واکنش در داخل راکتور بر حسب دقیقه، V_r حجم راکتور بر حسب لیتر و میزان انرژی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت بر مترمکعب خواهد بود.

در فرآیند EC برابر ۱۸۰۰ کیلووات بر ساعت بر مترمکعب و در فرآیند EO برابر ۲۲۵۰ کیلووات بر ساعت بر حسب کیلوگرم آلاینده انرژی مصرف شده است.



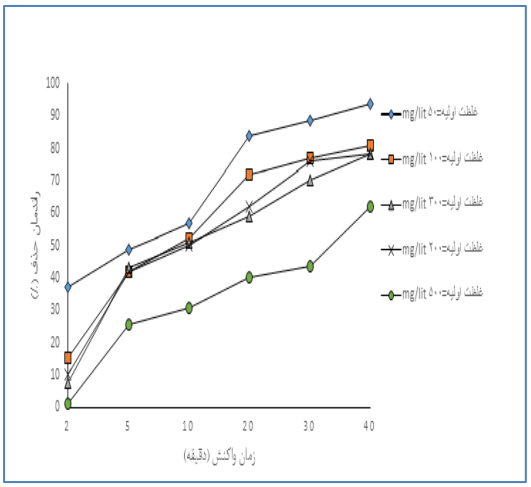
شکل شماره ٤. تاثیر ولتاژ ورودی بر کارایی فرآیند EC در حذف رنگ AB113 (pH=5، غلظت اولیه ۵۰ میلی گرم در لیتر).

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-08]

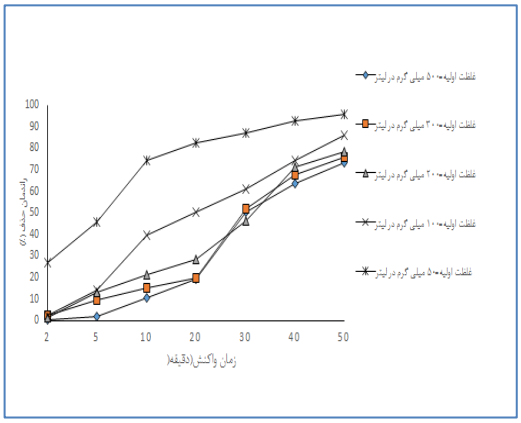


شکل شماره ۵. تاثیر ولتاژ ورودی بر کارایی فرآیند EO در حذف رنگ AB113 (pH=7، غلظت اولیه ۵۰ میلی گرم در لیتر).

تعیین تاثیر غلظت اولیه رنگ(AB113) بر راندمان حذف رنگ(AB113): در مطالعه حاضر در ادامه، آزمایشات در شرایط بهینه هر دو فرآیند بر روی نمونه های سنتتیک با غلظت های اولیه مختلف رنگ(۵۰۰-۵۰) انجام پذیرفت. نتایج حاصله از این مرحله از آزمایشات در شکل های شماره ۶ و ۷ نمایش داده شده است و همان طور که مشاهده می شود با افزایش غلظت اولیه آلاینده رنگ، حذف این ماده کاهش یافته است به طوری که بالاترین راندمان حذف رنگ در غلظت اولیه آلاینده ۵۰ میلی گرم بر لیتر معادل با ۹۳/۵۳ درصد پایین ترین راندمان حذف رنگ در غلظت اولیه ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر از این آلاینده برابر با ۶۲ درصد در فرآیند EC و بالاترین راندمان حذف در فرآیند EO در غلظت اولیه ۵۰ میلی گرم در لیتر با ۹۵/۷۵ درصد و پایین ترین راندمان حذف با غلظت ۵۰۰ میلی گرم در لیتر ۴۷ درصد مشاهده شد.

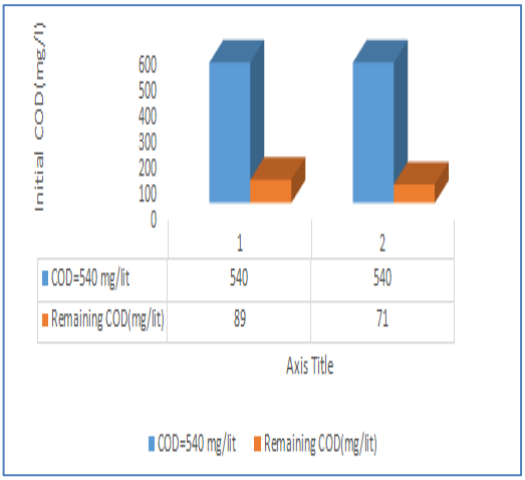


شکل شماره ٦. تاثیر غلظت اولیه رنگ بر کارایی فرآیند EC در حذف رنگ AB113 (pH=5، ولتاژ ۳۰ ولت).



شکل شماره ۷. تاثیر غلظت اولیه رنگ بر کارایی فرآیند EO در حذف رنگ AB113 (pH=7، ولتاژ ۳۰ ولت)

تعیین میزان کارایی فرآیندها در حذف COD در شرایط بهینه: در نهایت میزان COD حذف شده در شرایط بهینه هر دو فرآیند اندازه گیری شد. در این مطالعه غلظت اولیه COD در رنگ با غلظت اولیه ۵۰۰ میلی گرم در لیتر رنگ اسید بیلوی ۱۱۳ برابر ۵۴۰ میلی گرم در لیتر اندازه گیری شد. برای تخمین میزان حذف COD در فرآیند EC و فرآیند EO در شرایط بهینه هر حالت پس از انجام واکنش میزان COD اندازه گیری شد که به ترتیب برابر ۸۹ و ۷۱ میلی گرم در لیتر COD باقی مانده به دست آمد که به ترتیب ۸۳ و ۸۶ درصد راندمان حذف در شرایط بهینه می باشد(شکل شماره ۸).



شکل شماره ۸. میزان حذف COD در فرآیند انعقاد الکتروشیمیایی و فرآیند اکسیداسیون الکتریکی در شرایط بهینه.

بحث و نتیجه گیری

pH محیط در فرآیندهای مختلف به ویژه فرآیندهای شیمیایی و الکتروشیمیایی تاثیرگذاری مهمی بر روند اجرای

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-08]

فرآیندها دارد به گونه ای که در بسیاری از مطالعات به تاثیر قابل توجه pH محیط در فرآیندهای الکتروشیمیایی اشاره شده است(۱۵). لذا بدین منظور در این مطالعه اثر pH در دامنه(۹-۵) در فرآیند انعقاد الکتروشیمیایی و اکسیداسیون الکتروشیمیایی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل شماره ۴ قسمت الف و ب نشان داده شده است. دلیل انتخاب این دامنه از pH این است که طبق مطالعات مشابه که در باره فرآیندهای الکتروشیمیایی صورت گرفته است کارایی فرآیند در این دامنه از pH به دست آمده است(۱). در EC تمامی هیدروکسیل های فلزی تولیدی در طی فرآیند مانند $AL(OH)_3$ در محدوده pH ۸/۵-۵ به صورت غیر قابل حل در محیط های آبی هستند بنا بر این انتظار می رود که بالاترین راندمان حذف آلاینده در فرآیند EC در این محدوده pH رخ دهد که نتایج مطالعه حاضر نیز بیانگر این موضوع می باشد(۱۹). بر اساس مطالعه موسوی و همکاران، افزایش pH در محدوده ۸-۳ سبب افزایش کارایی حذف آلاینده از محیط آبی شده، اما افزایش یا کاهش pH از محدوده بهینه تعیین شده سبب کاهش کارایی فرآیند می شود(۲۰). لذا مطالعه حاضر با نتایج مطالعات موسوی و همکاران در خصوص حذف رنگ از محیط های آبی در فرآیند انعقاد الکتروشیمیایی مطابقت دارد. تاثیرگذارترین پارامتر در کارایی فرآیندهای الکتروشیمیایی، pH می باشد، در این فرآیندها، pH تاثیر مستقیم در میزان تولید $OH^{\bullet}$ در محلول دارد(۱۰). بر اساس روابط زیر واکنش های اصلی صورت گرفته در فرآیند EC و EO به ترتیب اشاره شده است. در فرآیند EC در بخش آند، کاتد و داخل راکتور واکنش های ۱ تا ۳ رخ می دهد(۱۵).

رابطه شماره ۲ واکنش در بخش آند

$$Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}{}_{(aq)} + 3e^-$$

رابطه شماره ۳ واکنش در کاتد

$$3H_2O + 3e^- \rightarrow (3/2)H_{2(g)} + 3OH^-$$

رابطه شماره ۴ واکنش در محلول

$$Al^{3+}{}_{(aq)} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_{3(s)} + 3H^+$$

هم چنین در فرآیند EO در بخش آند، کاتد و محلول فرآیندهایی رخ می دهد که منجر به تولید رادیکال اکسیدکننده هیدروکسیل می گردد. روابط ریز بیان کننده این واکنش ها هستند(۱۰):

رابطه شماره ۵ واکنش در بخش کاتد

$$O_{2(aq)} + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O_{2(aq)}$$

رابطه شماره ۶ واکنش در بخش آند

$$M_{(s)} \rightarrow M^{2+} + 2e^-$$

رابطه شماره ۷ واکنش در محلول

$$H_2O_{2(aq)} + 2e^- \rightarrow 2OH$$

بنا بر روابط ارائه شده مشخص می گردد که عامل اصلی فرآیند EC تولید مواد منعقدکننده مانند آلومینیوم و ایجاد لخته سازی آلاینده ها و ته نشین شدن این آلاینده ها می باشد هر چند که در واکنش EC ممکن است رادیکال هیدروکسیل نیز تولید شود که این عامل به عنوان عامل فرعی در حذف آلاینده محسوب می گردد اما در فرآیند EO عامل اصلی تجزیه رنگ رادیکال هیدروکسیل تولید شده به صورت الکتریکی می باشد در رابطه شماره ۶ یون های فلزی غیر آلومینیوم و آهن می باشد که توانایی انجام انعقاد الکتریکی را ندارند. طی مطالعه یوسف یاویز و همکاران در سال ۲۰۱۴ pH فرآیند به عنوان یکی از پارامترهای اصلی مورد سنجش قرار گرفت که در سه pH ۳/۹۴، ۷ و ۹/۰۵ مطالعه انجام شده است که نتایج به دست آمده بیانگر نزدیک بودن کارایی فرآیند در حذف آلاینده در pH های مختلف می باشد(۱۵). از دیگر پارامترهای موثر در فرآیند الکتروشیمیایی تغییرات ولتاژ جریان است. این فاکتور از طریق تاثیر بر واکنش های سطح الکترود و میزان یون هایی که از سطح الکترود آزاد می شوند بر سرعت واکنش های انعقاد الکتروشیمیایی تأثیرگذار است(۲۱). بنا بر این تعیین ولتاژ بهینه در فرآیندهای الکتریکی امری ضروری است. با افزایش ولتاژ جریان اعمال شده در فرآیند EC و فرآیند EO، راندمان تجزیه ماده رنگ افزایش یافته است که دلیل افزایش راندمان را می توان تحت تأثیر واکنش هایی که ضمن انجام فرآیند در کاتد و آند به وقوع می پیوندد تفسیر نمود. در فرآیند EC در حالت احیاء آب یون های هیدروکسید تولید شده در کاتد در واکنش با یون های آلومینیوم تولیدی در آند، تولید سوسپانسیون هیدروکسید آلومینیوم نموده که می تواند از طریق مکانیسم های جذب سطحی یا ضمن ته نشینی لخته ها، رنگ توسط مکانیسم فیزیکی جاروب کردن حذف می شود و هم چنین سطح لخته های هیدروکسیدهای تولیدی با جذب ترکیبات محلول و کلوئیدی سبب به دام انداختن این ترکیبات و حذف آن ها از محیط های آبی به طریق رسوب دهی می شود. در فرآیند EO در سطح آند رادیکال هیدروکسید تولید می شود که به عنوان قوی ترین اکسیدکننده مطرح است و باعث تجزیه رنگ می شود(۲۱). نتایج به دست آمده در این مطالعه با نتایج مطالعات پوتیر و همکاران در خصوص حذف آرسنیک و COD و هم چنین دیگر مطالعات مشابه را به منظور حذف آلاینده های اسیدهیومیک، سیانید، سختی و... مطابقت دارد(۲۲). همان گونه که در قسمت قبل آمده شده

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-08]

است میزان انرژی مصرفی بر اساس ولتاژ و آمپراژ مصرفی به دست آمده است و می توان برحسب انرژی در دسترس از فرآیندها بهره برد. همان طور که مشخص است فرآیند EO دارای راندمان بالاتری نسبت به فرآیند EC می باشد اما میزان انرژی بیشتری مصرف می کند و اگر بحث هزینه های مصرفی مطرح باشد فرآیند EC مقرون به صرفه تر است. از دیگر پارامتر تاثیرگذار در فرآیندهای EC غلظت اولیه آلاینده ورودی به راکتور است. در فرآیند EC اکسیدسیون الکترودهای آلومینیوم باعث آزاد شدن یون های سه ظرفیتی آلومینیوم در اثر هیدرولیز یون ها باعث تولید هیدروکسیل های مختلف از جمله($M(H_2O)_6^{3+}$)، ($M(OH)(H_2O)_5^{2+}$)، ($M(OH)^{2+}$)، ($M(OH)_3$)، ($M(OH)_4^-$) و ($M(OH)_5^{2-}$) و حتی پلیمرهای هیدروکسلی مانند($M_{13}(OH)_{32}^{7+}$) می شود. تمامی هیدروکسیل و پلیمرهای هیدروکسیلی تولیدی توانایی بالایی در حذف آلاینده های یونی مانند رنگ دارند و آن را به لخته تبدیل می کنند(۲۳). در غلظت های پایین رنگ هیدروکسیل های تولیدی به راحتی قادرند درصد بالایی از آلاینده موجود در محفظه واکنش را به لخته تبدیل کنند و در نهایت با ته نشینی از محیط های آبی جدا می شوند. با افزایش میزان غلظت آلاینده در محیط، از آن جایی که سایر پارامترها مانند ولتاژ جریان که عامل اصلی تولیدکننده هیدروکسیل های فلزی در فرآیندهای EC می باشد، ثابت هستند بنا بر این بدیهی است که ظرفیت حذف با افزایش غلظت آلاینده ورودی کاهش یابد. در مطالعه ایمران علی که در خصوص حذف آرسنیک با استفاده از فرآیند الکتروکواگولاسیون با الکترود آهن و آلومینیوم مشاهده شد که با افزایش غلظت اولیه آرسنیک، کارایی فرآیند در حذف این آلاینده کاهش می یابد(۲۴)، که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. در فرآیند EO عوامل اکسیدکننده مانند رادیکال هیدروکسید توسط جریان الکتریکی در سطع الکترود آند تولید می شود هم چنین بر اثر الکترولیز الکترولیت مصرفی(سدیم کلراید) یون های کلر تولید می شود که در فرآیند اکسیداسیون تاثیرگذار است(۲۵). پارامتر زمان واکنش نیز، یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر فرآیند انعقاد الکتروشیمیایی و اکسیداسیون الکتریکی است. در تمامی فرآیندهای الکتریکی با افزایش زمان الکترولیز، کارایی فرآیند افزایش پیدا می کند که در ابتدای فرآیند این افزایش کارایی دارای شیب تند و به مرور زمان به دلایل مختلف از جمله حذف بخش عمده ای از آلاینده در راکتور این افزایش کارایی دارای شیب ملایم و یا ثابت است. در فرآیندهای الکترولیز همان گونه که اشاره شد هیدروکسیل های فلزی در بخش آند تولید می شوند که عامل اصلی انعقاد الکتریکی هستند با آلاینده واکنش می دهند. با گذشت زمان از حالت بهینه رابطه متناسبی بین هیدروکسیل های تولیدی، هزینه اقتصادی جهت انجام فرآیند و میزان افزایش کارایی فرآیند حاصل نمی شود(۱).

نتایج مطالعه مذکور نشان می دهد فرآیند EC و فرآیند EO کارایی مناسبی در راستای حذف آلاینده ها به ویژه رنگ های اسیدی از جمله رنگ AB113 دارند که این فرآیندها تحت تاثیر پارامترهای مورد مطالعه قرار دارد به طوری که با تغییر هر کدام از این پارامترها، تغییر در راندمان حذف فرآیندها مشاهده می شود. با به دست آمدن نتایج و در کنار هم قرار دادن آن ها می توان بین فرآیند EO و EC مقایسه نسبی انجام داد. در فرآیند EC، pH بهینه ۵ و در فرآیند EO، pH بهینه ۷ تعیین شد که در صورت استفاده این فرآیندها در مقیاس عملی می توان بر اساس pH اولیه پساب تصمیم گیری نمود که از کدام فرآیند استفاده شود. هم چنین نتایج نشان داد که برای رسیدن به راندمان بالای ۹۰ درصد فرآیند EO به زمان بیشتری نیازمند است که باعث افزایش هزینه مصرف انرژی می گردد و تصمیم گیری در استفاده از فرآیندها به شرایط کاربری وابسته خواهد بود. هم چنین این فرآیندها دارای کارایی مناسبی در حذف COD می باشند که به عنوان یک معیار اساسی در تعیین کارایی فرآیند تصفیه می باشد. هم چنین این روش ها دارای کاستی هایی از جمله تولید لجن حاوی آلاینده در فرآیند EC و مصرف بالای انرژی در فرآیند EO می باشد ولی از جمله روش های موفق محسوب می شوند.

سپاسگزاری

این کار تحقیقاتی حاصل پروژه تحقیقاتی دانشجویی به شماره ۹۲۰۴۱۸۱۲۱۷ می باشد که معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی همدان حامی مالی این طرح بوده اند، لذا نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند مراتب تشکر و سپاسگزاری از آن معاونت را به جا آورند.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-08]

Reference

1.Khandegar V, Saroha AK. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent–A review. J Environ Manage2013;128:949-63.
2.Kurade MB, Waghmode TR, Kagalkar AN, Govindwar SP. Decolorization of textile industry effluent containing disperse dye Scarlet RR by a newly developed bacterial-yeast consortium BL-GG. Chem Engin J 2012;184:33-41.
3.Pina F, Melo MJ, Laia CA, Parola AJ, Lima JC. Chemistry and applications of flavylium compounds: a handful of colours. Chem Soc Rev 2012;41:869-908.
4.Prola LD, Machado FM, Bergmann CP, de Souza FE, Gally CR, Lima EC, et al. Adsorption of Direct Blue 53 dye from aqueous solutions by multi-walled carbon nanotubes and activated carbon. J Environ manage 2013;130:166-75.
5.Li Y, Du Q, Liu T, Peng X, Wang J, Sun J, et al. Comparative study of methylene blue dye adsorption onto activated carbon, graphene oxide, and carbon nanotubes. Chem Engin Res Des 2013;91:361-8.
6.Mittal A, Thakur V, Mittal J, Vardhan H. Process development for the removal of hazardous anionic azo dye Congo red from wastewater by using hen feather as potential adsorbent. Desalin Water Treat2014;52:227-37.
7.Mittal J, Jhare D, Vardhan H, Mittal A. Utilization of bottom ash as a low cost sorbent for the removal and recovery of a toxic halogen containing dye eosin yellow. Desalin Water Treat 2013;22:1-12.
8.Murali V, Ong SA, Ho LN, Wong YS. Decolorization of methyl orange using upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor An investigation of co-substrate and dye degradation kinetics. Desalin Water Treat 2013;51:7621-30.
9.Nidheesh PV, Gandhimathi R, Ramesh ST. Degradation of dyes from aqueous solution by Fenton processes: a review. Environl Sci Poll Res2013;20:2099-132.
10.Palomino Romero JA, Cardoso Junior FSS, Figueiredo RT, Silva DP, Cavalcanti EB. Treatment of Biodiesel Wastewater by Combined Electroflotation and Electrooxidation Processes. Sep Sci Technol2013;48:2073-9.
11.Mondal B, Srivastava VC, Kushwaha JP, Bhatnagar R, Singh S, Mall ID. Parametric and multiple response optimization for the electrochemical treatment of textile printing dye-bath effluent. Sep Pur TechnoL 2013;109:135-43.
12.Vahid B, Khataee A. Photoassisted electrochemical recirculation system with boron-doped diamond anode and carbon nanotubes containing cathode for degradation of a model azo dye. Electrochima Acta 2013;88:614-20.
13.Anantha Singh TS, Ramesh ST. New Trends in electrocoagulation for the removal of dyes from wastewater. Environ Engin Sci. 2013;30:333-49.
14.Khataee A, Vatanpour V, Amani Ghadim A. Decolorization of CI Acid Blue 9 solution by UV/Nano-TiO< sub> 2</sub>, Fenton, Fenton-like, electro-Fenton and electrocoagulation processes: A comparative study. J Hazard Mater2009;161:1225-33.
15.Yavuz Y, Shahbazi R, Koparal AS, Öğütveren ÜB. Treatment of Basic Red 29 dye solution using iron-aluminum electrode pairs by electrocoagulation and electro-Fenton methods. Environ Sci Poll Res2014:1-7.
16.Samarghandi M, mehralipour J, shabanloo A, Poureshgh Y. Performance of Elecrocoagulation process in cyanid removal from synthetic wastewater by al electrod and using mgo as a coagulant aid. Quart J Sabzevar Uni MedSci2014;21:252-6.
17.Latkoczy C, Becker S, Ducking M, Gunther D, Hoogewerff JA, Almirall JR, et al. Development and evaluation

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-08]

of a standard method for the quantitative determination of elements in float glass samples by LA-ICP-MS. J Forens sci 2005;50:1327.
18.Ni'am MF, Othman F, Sohaili J, Fauzia Z. Removal of COD and turbidity to improve wastewater quality using electrocoagulant technique. Malaysi J Anal Sci2007;11:198-205.
19.Kushwaha JP, Srivastava VC, Mall ID. Organics removal from dairy wastewater by electrochemical treatment and residue disposal. Sep Pur Technol2010;76:198-205.
20.Moussavi G, Khosravi R, Farzadkia M. Removal of petroleum hydrocarbons from contaminated groundwater using an electrocoagulation process: Batch and continuous experiments. Desalin 2011;278:288-94.
21.Zhao H-Z, Sun Y, Xu L-N, Ni J-R. Removal of acid orange 7 in simulated wastewater using a three-dimensional electrode reactor: removal mechanisms and dye degradation pathway. Chemos2010;78:46-51.
22.Zodi S, Potier O, Michon C, Poirot H, Valentin G, Leclerc J, et al. Removal of arsenic and COD from industrial wastewaters by electrocoagulation. J Electrochem Sci Engin2011;1:55-65.
23.Körbahti BK, Tanyolaç A. Electrochemical treatment of simulated textile wastewater with industrial components and Levafix Blue CA reactive dye: optimization through response surface methodology. J Hazard Mater 2008;151:422-31.
24.Ali I, Khan TA, Asim M. Removal of arsenic from water by electrocoagulation and electrodialysis techniques. Sep Pur Rev 2011;40:25-42.
25.Khelifa A, Aoudj S, Moulay S, De P, Wery M. A one-step electrochlorination/electroflotation process for the treatment of heavy metals wastewater in presence of EDTA. Chem Engin Proce Intens 2013;70:110-6.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-08]

Comparison of Electro-Coagulation Process (EC) and Electro Oxidation (EO) Process for Degradation of Acid Blue Dye 113(AB113) from Aqueous Solutions

Samarghandi M[1], Shabanloo A[1], Mehralipour J[*1], Kokabian M[2], Asgari Sorosh B[2]

(Received: February 7, 2014 Accepted: August 17, 2014)

Abstract

Introduction: dye stuff effluents can disturb ecological and aesthetic aspects of environment; eutrification of surface waters is one of these most common problems. These processes cause pollutants decomposition through electrical current. The aim of this study was comparison between the effectiveness of the processes of electrochemical coagulation (EC) and electrical oxidation (EO) in degradation of AB113 dye from aqueous solutions.

Materials & Methods: in this experimental study, removal of AB113 dye was investigated at different concentrations in a 2 cm distance from each other, through processes EC and EO. Also, the effect of parameters pH (5-9), voltage (10-30 volt, range 1-3 A) and initial dye concentration (50-500 mg/L) was studied at the optimum time of each process. The assay of dye concentration was conducted according to the standard methods.

Findings: the results showed that both processes have high efficiency in dye degradation. At best conditions of EC (voltage=30 volt, pH=3, initial concentration=50 mg/L and time=40 min) and EO (voltage=30 volt, pH=7, initial concentration=50 mg/L and time=50 min), the efficiencies were 93.73 and 95.75%, respectively. By changing in conditions of experiment, the degradation efficiency decreases in these two processes.

Discussion & Conclusion: Both of these processes have suitable efficiency in azo dye AB113 removal. pH, voltage, initial dye concentration and electrode type play an important role in the efficiency of these processes, and a change in each of these parameters can change the efficiency of dye decomposition.

Keywords: Electrochemical Coagulation Process, Electrochemical Oxidation Process, AB113 Dye

1. Dept of Environmental Health, Faculty of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
2. Student Research Comitte , Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
** Correspondin author Email: jamalmehralipour@yahoo.com*

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-08]