

## تصفیه فاضلاب سنتتیک حاوی رنگ راکتیو آبی ۱۹ با استفاده از فرایند الکترولیز

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۷/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۳۰

### چکیده

رضا علی فلاح زاده<sup>۱</sup>، محمد تقی قانعیان<sup>۲</sup>، محبوبه دهواری<sup>۳\*</sup> و رعنا مهدوی فر<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم شهید صدوقی، یزد، ایران  
<sup>۲</sup> دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشیار و مدیر گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران  
<sup>۳</sup> کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران  
<sup>۴</sup> کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست- آب و فاضلاب، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

\* نویسنده مسئول: کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران

۰۹۳۸-۱۱۴۹۶۵۱  
E-mail: mahboobehdehvari@yahoo.com

**مقدمه:** دفع فاضلاب تصفیه نشده صنایع نساجی به محیط زیست با توجه به آلاینده‌های سمی، مواد آلی و رنگ‌های موجود در آن‌ها برای سلامت انسان و سایر موجودات، مضر می‌باشد. از طرفی روش‌های متداول تصفیه فاضلاب صنعت نساجی اغلب گران و فاقد کارایی مطلوب می‌باشند. در این تحقیق، کارایی فرآیند الکترولیز با استفاده از الکتروود گرافیتی در حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ از فاضلاب سنتتیک مورد مطالعه قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها:** این مطالعه بصورت تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده است. برای انجام آزمایش، از یک راکتور از جنس پلکسی گلاس با حجم مفید ۳ لیتر که به دو الکتروود گرافیتی مجهز شده بود، استفاده گردید. تأثیر پارامترهای بهره‌برداری مانند ولتاژ، غلظت اولیه رنگ و مقدار کل جامدات محلول (TDS) مورد بررسی قرار گرفت. غلظت رنگ در نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر UV-vis در طول موج ۵۹۲ نانومتر تعیین گردید.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اولیه رنگ از ۱۰ به ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف از ۹۸/۶٪ به ۵۶٪ کاهش می‌یابد. مطابق با نتایج بدست آمده، با کاهش مقدار ولتاژ، راندمان حذف رنگ کاهش می‌یابد. در شرایط بهینه (ولتاژ ۲۴ ولت، غلظت اولیه ۱۰ mg/L رنگ راکتیو آبی ۱۹، مقدار TDS برابر ۳۵۰۰ mg/L و زمان ۲ دقیقه)، راندمان حذف رنگ برابر ۹۸/۶ درصد بوده است.

**نتیجه‌گیری:** فرآیند الکترولیز با استفاده از الکتروود گرافیت، روشی مناسب جهت حذف رنگ راکتیو آبی از فاضلاب رنگی صنایع نساجی است.

**کلمات کلیدی:** الکترولیز، الکتروود گرافیت، رنگ راکتیو آبی ۱۹

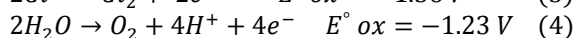
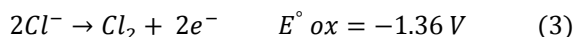
### مقدمه

حاصل از صنایع نساجی علاوه بر تأثیر روی جنبه زیباشناختی آب‌های پذیرنده، موجب کاهش فرآیند فتوستنز شده که ممکن است برای آبزیان سمی باشد. رنگ‌ها سمی و سرطانزا بوده و ممکن است باعث اختلال در عملکرد کلیه‌ها، مغز و سیستم اعصاب مرکزی انسان شوند.<sup>۱</sup>

رنگ‌ها ترکیبات آلی بوده که به علت داشتن ساختار شیمیایی حاوی حلقه‌های آروماتیکی در مقابل روش‌های حذف متداول، مقاوم بوده و از قابلیت تجزیه‌پذیری زیستی کمی برخوردار می‌باشند.<sup>۲</sup> تمایل

ازای تولید هر ۱ کیلوگرم منسوجات، ۱۰۰ تا ۲۰۰ لیتر آب مصرف می‌شود که در نهایت سبب تولید حجم زیادی فاضلاب رنگی می‌شود<sup>۱</sup> که قبل از تخلیه به محیط می‌بایست مورد تصفیه قرار گیرد. مصرف رنگ‌های آلی در صنایع نساجی رو به افزایش است و در حال حاضر، استفاده از این مواد بیش از ۷۰۰۰۰۰ تن در سال است.<sup>۲</sup> رنگی بودن فاضلاب ناشی از صنایع نساجی مهمترین مشخصه این‌گونه فاضلاب‌ها می‌باشد.<sup>۳</sup> تخلیه فاضلاب‌های رنگی

واکنش آندی:



فرآیند الکترولیز توسط الکتروود گرافیت دارای مزایایی شامل عدم خوردگی الکتروود، کاهش هزینه، راندمان بالا و عدم نیاز به گندزدایی نهایی می‌باشد. لذا این مطالعه با هدف حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ با استفاده از فرآیند الکترولیز توسط الکتروود گرافیت از فاضلاب سنتتیک در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد و شرایط بهینه عملیاتی جهت حذف مطلوب با توجه به ولتاژ مورد استفاده، تعیین گردید.

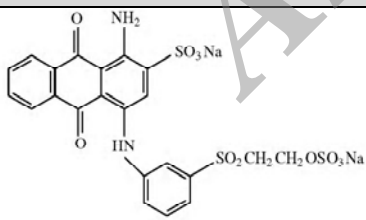
### مواد و روش‌ها

در این تحقیق، کارایی فرآیند الکترولیز جهت حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه یک مطالعه تجربی بوده که در مقیاس آزمایشگاهی و بصورت پیوسته (Continues) بر روی فاضلاب سنتتیک انجام شده است.

### مواد شیمیایی و وسائل مورد استفاده

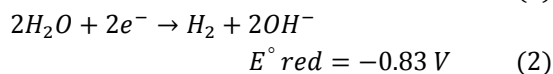
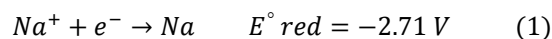
در این مطالعه از رنگ راکتیو آبی ۱۹ (RB19) ساخت شرکت دای استار آلمان (DyStar, Germany) به عنوان رنگزا استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱. ویژگی‌های اصلی رنگ RB19<sup>۱۴</sup>

ویژگی	مقدار
ساختار شیمیایی	
نام تجاری	Remazol Brilliant Blue R
فرمول شیمیایی	C <sub>22</sub> H <sub>16</sub> O <sub>11</sub> N <sub>2</sub> S <sub>3</sub> Na <sub>2</sub>
وزن مولکولی	۶۲۶/۵ g/mol
طول موج حداکثر جذب	۵۹۲ nm

رنگ‌ها به ترکیب با آب در مقایسه با الیاف سلولزی بیشتر می‌باشد که سبب می‌شود مقدار زیادی از آنها تثبیت نشده و به فاضلاب تولیدی وارد شوند.<sup>۵</sup> تاکنون روش‌های گوناگونی جهت حذف این رنگ‌ها از فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله این روش‌ها می‌توان به انعقاد شیمیایی، جذب بر روی کربن فعال، فرآیندهای غشایی و تجزیه نوری اشاره کرد.<sup>۵</sup> اما اغلب این روش‌ها دارای مشکلات اساسی می‌باشند. برای مثال روش جذب با کربن فعال، اقتصادی نبوده و فرآیند احیاء آن، همچنین دفع زائدات آن، هزینه‌بر بوده و دشوار می‌باشد.<sup>۱۰،۹</sup> فتواکسیداسیون با UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و UV/TiO<sub>2</sub> نیز به افزودن مواد شیمیایی اضافی نیاز دارد که هزینه‌بر می‌باشد. روش کواگولاسیون و الکتروکواگولاسیون نیز سبب تولید لجن زیادی می‌شود که دفع آن، مشکل است.<sup>۱۱</sup>

با توجه به کارایی ضعیف روش‌های متداول تصفیه فاضلاب جهت حذف رنگ‌ها، همچنین عدم تجزیه زیستی مطلوب آن‌ها، لازم است تا روش‌های دیگری به منظور حذف این رنگ‌ها از فاضلاب، معرفی و کارایی آنها مورد بررسی قرار گیرد. از جمله این روش‌ها می‌توان فرآیند الکتروشیمیایی را نام برد. این فرآیند جهت حذف و کنترل انواع آلاینده‌ها نظیر فسفر و همچنین جهت کشتن و غیرفعال شدن باکتری‌ها و قارچ‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.<sup>۱۳،۱۲</sup> تعدادی از محققین، راندمان حذف رنگ از فاضلاب را توسط تجزیه الکتروشیمیایی با ماهیت‌های متفاوت الکتروود آند مانند کربن، فیبر کربن فعال و الکتروودهای آهن مورد بررسی قرار داده‌اند. تکنولوژی‌های الکتروشیمیایی مزایای متعددی دارند از جمله سازگاری با محیط زیست، سهولت راه‌اندازی، ایمن بودن، سادگی و ارزانی نسبی، تولید لجن کمتر و دانسیته بالاتر.<sup>۱۳</sup> طی فرآیند الکترولیز از طریق مقدار جریان الکتریکی بین الکتروودها در اثر واکنش‌های آندی و کاتدی، یون کلر، هیدروکسیل و هیدروژن تولید شده که موجب حذف آلاینده‌ها می‌شود. واکنش‌هایی که طی فرآیند الکترولیز با استفاده از الکتروود گرافیت (مقاوم در برابر خوردگی) در محل کاتد و آند به وقوع می‌پیوندد عبارت است از:<sup>۱۲</sup>

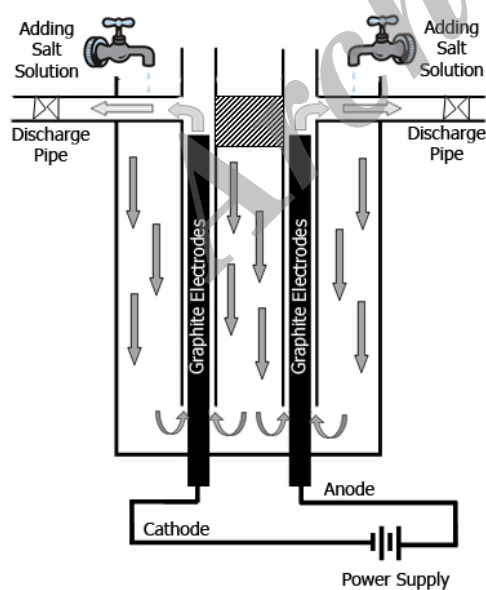


TDS مورد نظر به راکتور وارد شد. میزان جریان ورودی محلول به راکتور طوری تنظیم گردید که مدت زمان بالا آمدن سطح مایع درون راکتور و خروج آن از طریق لوله‌های تعبیه شده بر روی الکترودها، ۲ دقیقه باشد. با عبور پساب از خروجی مورد نظر، غلظت رنگ باقیمانده با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Visible در طول موج ۵۹۲ nm مورد سنجش قرار گرفت. آزمایشات بصورت دو بار تکرار انجام شده و میانگین آن در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که میزان انحراف معیار نسبی (RSD) داده‌ها کمتر از ۱/۹ درصد بود که حاکی از میزان تکرارپذیری بالای داده‌ها بود. با توجه به اینکه در حین عمل الکترولیز، گرافیت در هیچ نوع واکنشی شرکت نمی‌کند، لذا هیچ نوع فرایند احیائی برای آن در نظر گرفته نمی‌شود.

### یافته‌ها

#### تأثیر میزان ولتاژ

نتایج حاصل از تأثیر پتانسیل الکتریکی اعمال شده (ولتاژ) در نمودار ۱ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ولتاژ، راندمان حذف رنگ افزایش یافته است. بطوری‌که در ولتاژهای ۶، ۱۲ و ۲۴ ولت، راندمان حذف رنگ به ترتیب برابر ۳۸/۲، ۸۵/۴ و ۹۸/۶ درصد بود.



شکل ۱. راکتور با جریان پیوسته

در این مطالعه، تأثیر متغیرهایی همچون میزان ولتاژ (۶، ۱۲ و ۲۴ ولت)، غلظت اولیه رنگزا (۱۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و غلظت‌های متفاوت کل جامدات محلول (۳۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر روی راندمان حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ توسط فرایند الکترولیز مورد بررسی قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری میزان ولتاژ و جریان مصرفی از مولتی‌متر (-DEC RE330 FC. Taiwan) و جهت اندازه‌گیری TDS از روش استاندارد وزن‌سنجی استفاده شد. برای اندازه‌گیری غلظت رنگ از اسپکتروفوتومتر UV-Visible (SP-3000 Plus، ژاپن) در طول موج ۵۹۲ نانومتر استفاده گردید.

#### روش انجام آزمایش

برای انجام آزمایش از یک راکتور استوانه‌ای شکل از جنس پلکسی گلاس با حجم مفید ۳ لیتر استفاده شد. دو عدد گرافیت به ارتفاع ۲۰ cm و ابعاد ۱cm × ۱cm از کف با فاصله ۴cm از یکدیگر درون راکتور نصب و آب‌بندی شد. سپس دو لوله از جنس PVC با قطر ۲ cm و طول ۳۰ cm از بالا بر روی الکترودها قرار گرفت. بطوری‌که فاصله انتهای لوله از کف ظرف، ۱cm بود. انتهای بالای این لوله‌ها به منظور بالا رفتن فاضلاب، باز بود. یک عدد خروجی به هر یک از لوله‌ها در فاصله ۲cm پایین‌تر از لبه بالایی راکتور جهت خروج پساب متصل شده بود، بطوری‌که فاضلاب پس از عبور از الکترودها و انجام فرایند الکترولیز، بدون اختلاط بطور مجزا از این لوله تخلیه می‌شد (شکل ۱).

#### نحوه انجام فرآیند

راه‌اندازی راکتور در هر مرحله با ۳ لیتر فاضلاب سنتتیک با غلظت اولیه ۱۰ mg/L رنگ راکتیو آبی ۱۹ صورت گرفت. محلول رنگ مورد نظر از طریق انحلال پودر رنگ در آب مقطر تهیه شده بود. جهت تأمین TDS مورد نظر، کلرید سدیم خالص در غلظت‌های ۵۰۰، ۳۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۵۰۰، ۳۰۰۰ و ۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به آب مقطر اضافه شد.

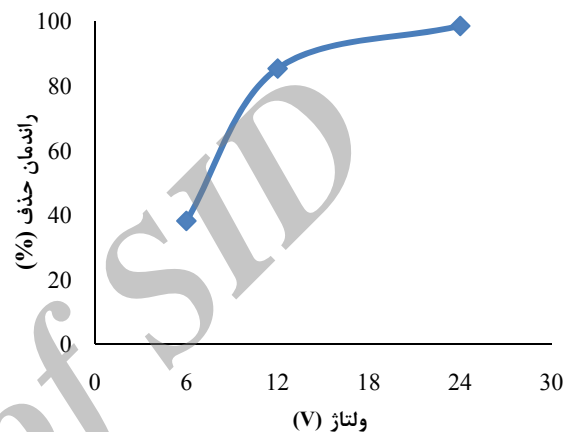
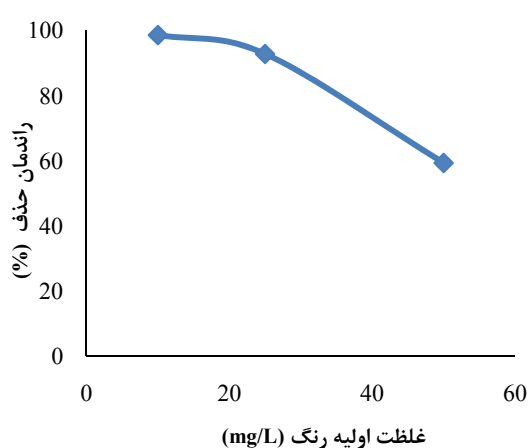
راکتور توسط سیم بصورت تک قطبی به منبع تغذیه جریان مستقیم برق متصل گردید و دستگاه ترانسفورماتور در ولتاژ مورد نظر روشن شد. سپس نمونه‌های تهیه شده از محلول رنگ با غلظت و

**تأثیر غلظت اولیه رنگزا**

از دیگر پارامترهای مورد بررسی در مطالعه حاضر، تأثیر غلظت اولیه رنگ راکتیو آبی ۱۹ بود. نتایج بدست آمده از بررسی این پارامتر در نمودار ۲ ارائه شده است. مطابق با نتایج بدست آمده با افزایش غلظت اولیه رنگ از ۱۰ به ۵۰ میلی گرم در لیتر، راندمان حذف از ۹۸/۶ درصد به ۵۶ درصد کاهش یافته است.

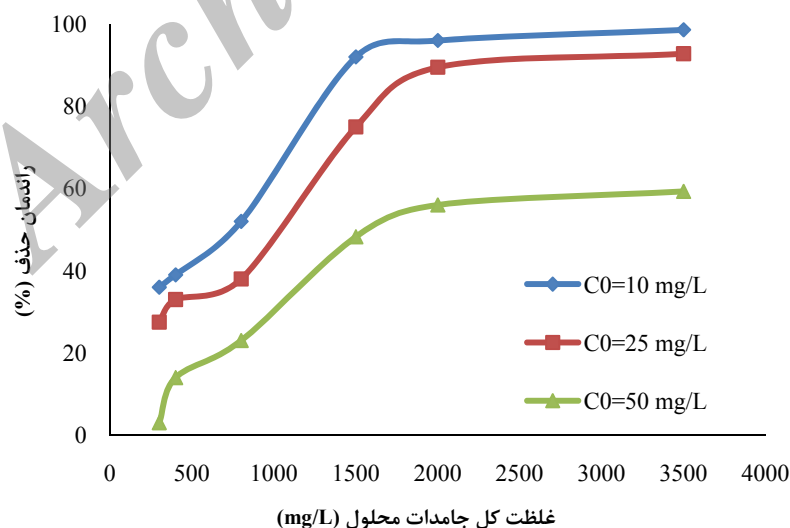
**تأثیر غلظت های متفاوت TDS**

نمودار ۳، تأثیر غلظت های متفاوت TDS را در مقدار حذف نشان می دهد. نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش مقدار TDS، راندمان حذف افزایش می یابد. بطوری که با افزایش مقدار TDS از ۳۰۰ به ۳۵۰۰ میلی گرم در لیتر، راندمان حذف رنگ در غلظت های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ به ترتیب از ۳۶٪ به ۹۸/۶٪، از ۲۷/۵٪ به ۹۲/۸٪ و از ۳٪ به ۵۹/۳٪ افزایش یافته است.



نمودار ۲. تأثیر غلظت اولیه رنگ بر کارایی فرآیند الکترولیز (میزان ولتاژ: ۲۴ ولت، TDS: ۳۵۰۰ mg/L، زمان: ۲ دقیقه)

نمودار ۱. تأثیر میزان ولتاژ بر کارایی فرآیند الکترولیز (غلظت اولیه رنگ: ۱۰ mg/L، TDS: ۳۵۰۰ mg/L، زمان: ۲ دقیقه)

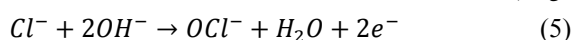


نمودار ۳. تأثیر میزان TDS بر کارایی فرآیند الکترولیز (غلظت اولیه رنگ: ۱۰ mg/L، میزان ولتاژ: ۲۴ ولت، زمان: ۲ دقیقه)

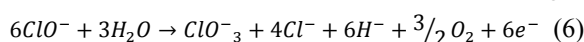
## بحث

۱. در آند

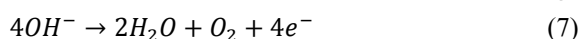
تشکیل هیپوکلریت:



تشکیل کلرات:

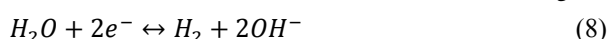


تکامل اکسیژن:



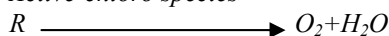
۲. در کاتد

تکامل هیدروژن:



در محلول یا نزدیک سطح آند، اکسیداسیون غیرمستقیم ترکیبات آلی رخ می دهد.

Active-chloro species



+ Chlorinated final product (9)

در طی الکترولیز یک محلول نمکی محصولاتی مانند  $H_2O_2$ ،  $O_2$ ،  $OH^\circ$ ،  $O^\circ$ ،  $ClOH^\circ$ ،  $OH^\circ$ ،  $O^\circ$ ،  $ClOH^\circ$  تولید می شود. رادیکال های پتانسیل های بالای اکسیداسیون می توانند اکسیدان های دیگر را تجزیه کنند و یا ترکیبات آلی را اکسید نمایند. اکسیدان های اولیه و ثانویه که از تخریب رادیکال ها تولید می شوند، عمر طولانی تری دارند و درون محیط دور از الکترودها، فرآیند اکسیداسیون را انجام داده و سبب حذف آلاینده ها می شوند.<sup>۲</sup> مسعودی نژاد و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه ای که جهت بررسی کارایی فرآیند الکترولیز در حذف رنگ ناشی از فنل فتالین و فنل رد انجام دادند، مشاهده نمودند که غلظت نمک با راندمان حذف رنگ رابطه مستقیم دارد که منطبق با نتایج این تحقیق است.<sup>۵</sup> شن و همکاران (۲۰۰۶) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.<sup>۱۸</sup>

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش غلظت اولیه رنگ، راندمان حذف رنگ کاهش می یابد. نتایج سایر مطالعات انجام شده نیز نشان داده است که در فرآیند الکتروشیمیایی در شرایط ثابت از نظر شدت جریان و زمان تماس، زمانی که غلظت اولیه آلاینده افزایش یافته، راندمان حذف کاهش می یابد. دلیل آن این گونه قابل

مطابق با نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر، با افزایش ولتاژ، راندمان حذف افزایش یافته است. افزایش راندمان حذف با افزایش ولتاژ بدلیل تخریب آلاینده های آلی در پساب در اثر اکسیداسیون الکتروشیمیایی و در نتیجه، تشکیل یک میدان الکتریکی قوی و تولید رادیکال های آزاد مانند  $H^+$ ،  $O^\circ$ ،  $OH^\circ$  و  $H_2O_2$  در ولتاژهای بالاتر می باشد.<sup>۱۵</sup> راندمان حذف پایین رنگ با کاهش ولتاژ بدلیل عدم تشکیل مقدار کافی رسوبات برای حذف بالای رنگ است. مسعودی نژاد و همکاران (۲۰۱۲) مطالعه ای تحت عنوان بررسی کارایی فرآیند الکترولیز با الکترودهای سه بعدی گرافیت در رنگ زدایی فنل فتالین و فنل رد از محیط آبی انجام دادند. این محققین طی مطالعه خود بدین نتیجه رسیدند که با افزایش ولتاژ، راندمان حذف افزایش می یابد. آنها بیان کردند که افزایش ولتاژ، پتانسیل آند را افزایش داده و در نتیجه اکسیداسیون آند و سرعت واکنش را افزایش می دهد.<sup>۵</sup> دانشور و همکاران (۲۰۰۳) نیز در مطالعه ای که جهت حذف رنگ نارنجی II با روش انعقاد الکتریکی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که حذف رنگ از فاضلاب با افزایش ولتاژ، رابطه مستقیم دارد.<sup>۱۶</sup> محوی و همکاران (۲۰۰۷) نیز طی مطالعه خود در مورد حذف فسفر با روش الکترولیز به نتایج مشابهی دست یافتند.<sup>۱۲</sup>

غلظت نمک موجود در محلول برای انجام فرآیند الکترولیز اهمیت خاصی دارد زیرا جریان الکترولیت را تعیین می کند و بر کارایی حذف آلاینده ها تأثیر می گذارد.<sup>۱۵</sup> هنگامی که غلظت نمک NaCl در محلول افزایش می یابد، هدایت الکتریکی و دانسیته جریان نیز افزایش یافته و در نتیجه از ولتاژ لازم برای تأمین دانسیته جریان معین و کاهش زمان واکنش، استفاده می شود. بنابراین انرژی الکتریکی مصرفی کاهش می یابد.<sup>۱۷</sup> همچنین افزایش غلظت نمک منجر به کاهش مقاومت و اختلاف پتانسیل محلول و افزایش اختلاف پتانسیل روی الکترودها می شود. بنابراین اختلاف پتانسیل بالاتر روی الکترودها منجر به تجزیه سریع تر آلاینده می گردد.<sup>۱۸</sup>

واکنش های اصلی که طی اکسیداسیون آندیک با ترکیبات آلی در حضور NaCl رخ می دهد عبارت است از:<sup>۱۵ و ۱۹</sup>

فرآیند الکترولیز با استفاده از الکتروود گرافیتی در شرایط بهینه عملیاتی (ولتاژ ۲۴ ولت، مقدار TDS برابر ۳۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، مدت زمان ۲ دقیقه) توانست ۹۸/۶٪ رنگ راکتیو آبی ۱۹ را حذف نماید. نتایج آزمایشات انجام شده نشان داد که راندمان حذف رنگ با افزایش ولتاژ و TDS، رابطه مستقیم و با افزایش غلظت رنگ، رابطه عکس دارد. بطور کلی نتایج تحقیق نشان داد که با توجه به مقدار ولتاژ مورد استفاده، سرعت بالای واکنش و عدم خوردگی الکتروود، روش الکترولیز جهت حذف رنگزای راکتیو موجود در فاضلاب در مقیاس آزمایشگاهی، روش مناسب و مؤثری می‌باشد.

تفسیر است که در شرایط هدایت الکتریکی محلول و ولتاژ ثابت، مقدار مشخصی از ترکیبات اکسیدکننده در محیط تولید می‌شود و این مقدار، قادر به حذف مقدار مشخصی از مولکول‌های آلاینده است<sup>۲۱ و ۲۲</sup>. دالوند و همکاران نیز در تحقیقی که در سال ۱۳۸۸ بر روی حذف رنگ راکتیو قرمز توسط فرآیند الکتروکوآگولاسیون انجام دادند، بدین نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت رنگ، راندمان حذف کاهش می‌یابد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.<sup>۲۳</sup>

## نتیجه گیری

## References

1. Bechtold T, Burtscher E, Hung Y. Treatment of textile wastes. In: Wang L, Hung Y, editors. Handbook of industrial and hazardous wastes treatment. 3rd ed. New York: Marcel Dekker; 2004.
2. Robinson T, McMullan G, Marchant R, Nigam P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. J Bio Technol. 2001;77:247-55.
3. Muthukumar M, Karupiah MT, Raju B. Electrochemical removal of CI Acid orange 10 from aqueous solutions. J Sep Purif Technol. 2007;55:198-205.
4. Mishra AK, Arockiadoss T, Ramaprabhu S. Study of removal of azo dye by functionalized multi walled carbon nanotubes. Chemical Engineering Journal 2010;162(3):1026-1034.
5. Ozdemir O, Turan M, Turan AZ, Faki A, Engin AB. Feasibility analysis of color removal from textile dyeing wastewater in a fixed-bed column system by surfactant-modified zeolite (SMZ). Journal of Hazardous Materials 2009;166(2-3):647-654.
6. Christie RM. Environmental Aspects of Textile Dyeing. England: WoodHead; 2007.
7. Dhaouadi H, M Henni F. Textile mill effluent decolorization using crude dehydrated sewage sludge. J. Chem. Eng. 2008;138:111-19.
8. Kobya M, Bayramoglu M, Eyvaz M. Technoeconomical evaluation of electrocoagulation for the textile wastewater using different electrode connections. J Hazard Mater. 2007;148:311-18.
9. Bayramoglu M, Eyvaz M, Kobya M. Treatment of the textile wastewater by electrocoagulation Economical evaluation. J Chem Eng. 2007;128:155-61.
10. Ugurlu M, Karaoglu M H, Kula I. Experimental investigation of chemical oxygen demand, lignin and phenol removal from paper mill effluents using three-phase three-dimensional electrode reactor. Journal of Environ. Stud. 2006;15(4):647-54.
11. Li Xu, Wei Wang, Mingyu Wang, Yongyi Cai. Electrochemical degradation of tridecane dicarboxylic acid wastewater with tantalum-based diamond film electrode. Journal of Desalination 2008;222:388-93.
12. Daneshvar N, Ashassi-Sorkhabi H, Tizpar A. Decolorization of orange II by electrocoagulation method. Journal of Separation and Purification Technology 2003;31:153-62.
13. Sengil I A, Ozacar M. The Decolorization of C.I reactive black 5 in aqueous solution by electrocoagulation using sacrificial iron electrodes. Journal of Hazardous Materials 2009; 161: 1369-76.
14. Vlyssides A G, Papaioannou D, Loizidou M, Karlis P, Zorpas A A. Testing an electrochemical method for treatment of textile dye wastewater. Journal of Waste Management 2000; 20: 569-74.
15. Massoudinejad M, Sharifi H, Mazaheri A, Investigation the Efficiency of Electrolysis Process using 3 Dimensional Graphite Electrodes for Decolonization of Phenolphthalein and Phenol red from Aqueous Environments, J. Health & Environ. 2012; 4: 355-66.
16. Song S, He Z, Qiu J, Chen X. Ozone assisted electrocoagulation for decolorization of C.I. Reactive Black 5 in aqueous solution: An investigation of the effect of operational parameters. Sep Purif Technol. 2007;55:238-45.
17. Mollah M, Pathak S, Patil P, Vayuvegula M. Treatment of orange II azo-dye by electrocoagulation (EC) technique in a continuous flow cell using sacrificial iron electrodes. J Hazard Mater. 2004;B109:165-71.
18. Dalvand A, Jonidi jafari A, Gholami M, Ameri A, Mahmoodi N, Treatment of Synthetic Wastewater Containing Reactive Red 198 by Electrocoagulation Process. J Health & Environ. 2011;1:11-22.