

## کارایی روش الکتروکواگولاسیون در حذف رنگ اریو کروم بلاک تی از پساب

محمد رضا سمرقندی<sup>۲</sup>

علیرضا رحمانی<sup>۱</sup>

(دریافت ۸۷/۳/۶ پذیرش ۸۷/۱۱/۹)

### چکیده

هدف از انجام این تحقیق بررسی تصفیه پذیری پسابهای رنگی با استفاده از روش الکتروکواگولاسیون بود. به همین منظور از رنگ اریو کروم بلاک تی به عنوان شاخص رنگ استفاده گردید. در این تحقیق چگونگی حذف یا کاهش رنگ با استفاده از الکترودهای آهن و آلومینیوم، در زمانهای مختلف الکترولیز (۰ تا ۳۰ دقیقه) و نیز ولتاژهای مختلف (۱۰، ۲۰ و ۳۰ ولت) و با فاصله الکترودها ۲ و ۴ سانتی متر و pHهای ۳/۵، ۷ و ۱۱ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که کارایی حذف رنگ با زمان تماس و ولتاژ رابطه مستقیم و با افزایش pH و فاصله الکترودها رابطه معکوس دارد. همچنین این پژوهش بیانگر این بود که کارایی حذف رنگ در pH برابر ۳/۵ و در ولتاژ ۳۰ ولت و با استفاده از جفت الکترودهای آهن و آلومینیوم و در فاصله زمانی ۳۰ دقیقه به ترتیب ۹۶ و ۸۶ درصد است.

**واژه‌های کلیدی:** الکتروکواگولاسیون، رنگ، آهن، آلومینیوم، ولتاژ، فاصله الکترودها، pH.

## Electrocoagulation Treatment of Color Solution Containing Colored Index Eriochrome Black T

Ali Reza Rahmani<sup>1</sup>

Mohammad Reza Samarghandi<sup>2</sup>

(Received May 28, 2007 Accepted Jan. 28, 2008)

### Abstract

The purpose of this study was to conduct an experimental investigation of decolorization of effluents by the electrocoagulation method. Removal of Eriochrome black T from solution in a batch system was investigated using different voltages (10, 20, 30 volt), electrodes (Al, Fe), electrode distances (2, 4 cm), electrolysis times (0 to 30 min.), and pH levels (3.5, 7, 11). Experimental results showed that removal efficiency depended on electrolysis time and applied current. The experiments carried out at 30V and pH=3.5 further revealed that color removal efficiencies of Fe and Al electrodes over a period of 30 minutes were 96% and 86%, respectively.

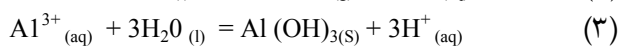
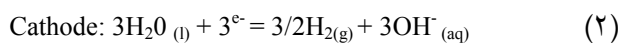
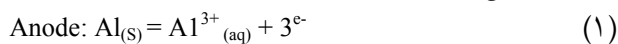
**Keywords:** Electrocoagulation, Color, Fe, Al, Voltage, Electrode Distance, pH.

1. Assoc. Prof. of Environmental Health, Faculty of Public Health, Hamedan University of Medical Sciences
2. Assist. Prof. of Environmental Health, Faculty of Public Health Hamedan University of Medical Sciences (Corresponding Author) (+98 811) 8255963 Samar3468@yahoo.com

- ۱- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان
- ۲- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان (نویسنده مسئول) ۸۲۵۵۹۶۳ (۸۱۱) Samar3468@yahoo.com

## ۱- مقدمه

مقایسه با تصفیه با سولفات آلومینیوم یا کلرورفریک مزایای متعددی دارد. در این حالت Al / Fe بدون اضافه شدن سولفات به آب به کار گرفته می‌شود و همچنین نیازی به تأمین قلیائیت برای انجام واکنش نیست. در نتیجه حذف آییون‌ها، Al و Fe با درجه خلوص بالاتری در دسترس قرار می‌گیرند و در دز کمتری استفاده می‌شوند و در نتیجه حجم لجن نیز کاهش می‌یابد. تنظیم دز Al / Fe در آب به سادگی با کنترل مقدار جریان الکتریسیته امکان‌پذیر است [۱، ۲، ۸، ۱۰ و ۱۴]. در استفاده از الکترودهای آهن و آلومینیوم نوع واکنش‌هایی که اتفاق می‌افتد یکسان است. واکنش‌های Al در زیر مشاهده می‌شود



هریک از واکنش‌های فوق با کاهش وزن الکترودها به کار گرفته شده و حجم و نوع ترکیب هیدروژن جمع‌آوری شده، ارزیابی می‌گردد. یون آلومینیوم تولید شده با آب وارد واکنش شده و هیدروکسیدهای نامحلول شکل می‌گیرد و به این ترتیب ناپایداری کلونیدها اتفاق می‌افتد. به منظور تکمیل عملیات تصفیه با استفاده از روش الکتروکوآگولاسیون، فرایندهای جداسازی از قبیل ته‌نشینی، شناورسازی، فیلتراسیون و غیره نیز ضروری خواهد بود [۴ و ۸].

مطالعات در خصوص استفاده از روش الکتروکوآگولاسیون در تصفیه فاضلابهای رنگی به خصوص فاضلاب صنایع نساجی در طی دهه گذشته افزایش یافته و در سالیان اخیر بیشتر به بررسی جنس الکترودهای مصرفی و عوامل مؤثر در فرایند پرداخته شده است که به برخی از آنها اشاره می‌گردد. کن<sup>۴</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۳ حذف رنگ ریمازول رد<sup>۵</sup> را با استفاده از الکترودهای آلومینیوم با توجه به تأثیر هدایت الکتریکی محلول، شدت جریان الکتریکی و pH مورد بررسی قرار دادند [۲]. دانشور و همکاران در سال ۲۰۰۳ به حذف رنگ نارنجی<sup>۶</sup> با استفاده از الکترودهای آهن و عوامل مؤثر در فرایند پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که کارایی حذف رنگ در pH اولیه ۷/۵ تا ۸/۵ و با فاصله ۲ سانتی متر بین الکترودها، بیش از ۹۸ درصد بوده است [۵]. شین<sup>۷</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۴ تصفیه‌پذیری فاضلابهای رنگی را با استفاده از فرایندهای ترکیبی الکتروکوآگولاسیون با الکترودهای استنلس استیل<sup>۸</sup> و کربن به همراه جداسازی مغناطیسی مورد مطالعه قرار دادند [۴]. در پژوهش دیگری که دانشور و همکاران در سال

پسابهای رنگی تولید شده از صنایع مختلف معمولاً حاوی آلوده کننده‌هایی از جمله اسیدها، قلیاها، جامدات محلول، ترکیبات سمی و مواد رنگی هستند که حتی در غلظتهای کم نیز قابل اهمیت می‌باشند [۱]. در صورت تخلیه این فاضلابها به آبهای پذیرنده، ممکن است خطرات جدی برای موجوداتی که در آب زندگی می‌کنند و مصرف کنندگان از آب ایجاد شود [۲-۵]. فاضلابهای رنگی معمولاً با ترکیبی از روشهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی از جمله انعقاد و ته‌نشینی، صافی شنی کند، تبادل یون، اکسیداسیون بیولوژیکی، جذب بر روی کربن فعال و شناورسازی تصفیه می‌شوند [۱، ۶ و ۷].

در سالهای اخیر، تحقیق بر روی کاربرد مستقیم الکتریسیته در تصفیه آب و فاضلاب به دلیل سازگاری با محیط و امکان تصفیه مایعات، گازها و جامدات، توسعه یافته و به عنوان یک روش جذاب برای کوآگولاسیون<sup>۱</sup> یا ته‌نشینی، تحت عنوان روش الکتروکوآگولاسیون<sup>۲</sup> / الکتروشیمیایی شناخته شده است [۱، ۲، ۴ و ۸-۱۰]. از جمله ویژگی‌های روش الکتروشیمیایی می‌توان به کاربرد آسان، تجهیزات ساده، زمان ماند کوتاه، کاهش یا حذف تجهیزات، اضافه نمودن مواد شیمیایی و کاهش حجم لجن اشاره کرد. این روش می‌تواند به طور گسترده‌ای برای تصفیه پسابهای حاوی COD، BOD، مواد پروتئینی، روغن، مواد شوینده<sup>۳</sup> سنتتیک، رنگ و محلولهای حاوی فلزات سنگین به کار گرفته شود [۱، ۵، ۱۰ و ۱۱]. این روش نقاط ضعفی نیز دارد که از جمله می‌توان به مصرف انرژی الکتریکی، پلاریزه شدن سطح الکترودها، نیاز به پاک‌سازی آنها، خوردگی الکترودها و نیاز به تعویض آنها اشاره نمود.

در روش الکتروکوآگولاسیون جریان الکتریسیته مستقیم از طریق الکترودهای آهنی/آلومینیومی غوطه‌ور در آب عبور داده می‌شود [۱۰ و ۱۲]. در این سیستم یون‌های الکترودهای قربانی از طریق الکترولیت انتقال داده می‌شوند. آلاینده‌های نامطلوب از طریق واکنش‌های شیمیایی و رسوب و یا توسط انعقاد مواد کلوئیدی جدا می‌شوند. این مواد سپس توسط شناور شدن الکترولیتی یا به واسطه ته‌نشینی و فیلتراسیون جدا می‌گردند. رنگ‌زدایی نیز در نتیجه اکسیداسیون آندی اتفاق می‌افتد. مکانیسم اتفاق افتاده در الکتروکوآگولاسیون مشابه با واکنش کوآگولاسیون و تصفیه با نمک Al است و تفاوت اصلی در چگونگی آزاد شدن یون نمک می‌باشد [۱۳]. تصفیه آب با تولید الکتروشیمیایی Al/Fe در

<sup>4</sup> Can

<sup>5</sup> Remazol Red 133

<sup>6</sup> Orange 2

<sup>7</sup> Shin

<sup>8</sup> Stainless Steel

<sup>1</sup> Coagulation

<sup>2</sup> Electro Coagulation

<sup>3</sup> Detergent

بود و از سویی دیگر این متغیرها بر انجام واکنش‌های الکتروشیمیایی تأثیر می‌گذارند.

به منظور انجام آزمایش‌ها از بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری استفاده شد و بعد از اضافه نمودن پساب رنگی، با استفاده از الکترودهای مختلف در زمان ماند، و ولتاژ و pH متغیر، جریان الکتروسیسته پیوسته برقرار گردید. قبل و بعد از اتمام هر مرحله، میزان رنگ نمونه تعیین گردید. نمونه‌های پساب مورد استفاده در این تحقیق به‌طور مصنوعی با اضافه نمودن ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، پودر اریوکروم بلاک تی با فرمول شیمیایی  $C_{20}H_{12}N_3NaO_7S$  ساخت شرکت مرک<sup>۵</sup> در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب آماده گردید و برای تنظیم pH در نمونه‌ها از اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم ساخت شرکت مرک استفاده شد. کیفیت آب مصرفی به‌کار گرفته شده به منظور ساخت محلول رنگی مطابق با جدول ۱ است.

جدول ۱- کیفیت آب مصرف شده به منظور آماده سازی محلول رنگی

مقدار	پارامتر کیفی	ردیف
۷/۴	pH	۱
۷۴۶	$(\mu s \text{ cm}^{-1})$ EC	۲
۷	$(\text{mg l}^{-1})$ Na	۳
۲۳	$(\text{mg l}^{-1})$ Cl	۴
۱۴۰	قلیائیت به صورت کربنات کلسیم، $(\text{mg l}^{-1})$	۵
۷/۵	$(\text{mg l}^{-1})$ DO	۶
۳۲۰	سختی کل به صورت کربنات کلسیم، $(\text{mg l}^{-1})$	۷

جنس الکترودهای مورد استفاده، آهن و آلومینیوم با ابعاد ۴ در ۱۵ سانتی‌متر انتخاب شد و از اسید کلریدریک با درصد وزنی ۱۵، برای تمیز کردن الکترودها قبل از شروع آزمایش‌ها استفاده گردید. در این آزمون‌ها از ترکیب جفت الکترودها به صورت (Al-Al) و (Fe-Fe) استفاده گردید. آزمایش‌ها در سه دامنه ولتاژ ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ولت، سه دامنه pH ۳/۵، ۷ و ۱۱، فاصله بین دو الکتروود ۲ و ۴ سانتی‌متر و در مراحل جداگانه و با زمان تماس تا ۳۰ دقیقه برای هر سری از جفت الکترودها انجام پذیرفت. در این آزمایش‌ها با توجه به ولتاژ عبوری، شدت جریان بین ۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌آمپر متغیر بود. در هر سری از آزمایش‌ها به صورت دوره‌ای یعنی هر ۵ دقیقه یک‌بار از زیر سطح مایع داخل بشر، نمونه‌برداری شد و بعد از فیلتر نمودن، میزان جذب نور توسط دستگاه کالریمتری مدل ۶۰۳۰ ساخت شرکت ژنوی<sup>۶</sup> در طول موجهای ۴۳۰ تا ۷۱۰ نانومتر مورد اندازه‌گیری شد. با توجه به قرائت‌های صورت گرفته طول موجی که بیشترین جذب در آن صورت گرفته بود انتخاب شد (۴۷۰ نانومتر)

۲۰۰۴ انجام دادند. ترکیب الکترودهای آهن و استنلس استیل در حذف رنگ اسید رد ۱۴<sup>۱</sup> مورد مقایسه قرار گرفت. طبق نتایج حاصل از این تحقیق در محدوده عملیاتی pH بین ۸ تا ۹ در مدت زمان ۴ دقیقه و با فاصله الکترودی ۱ سانتی‌متر، کارایی حذف بیش از ۹۰ درصد به‌دست آمد. غلظت اولیه رنگ در این تحقیق ۵۰ ppm بود [۷]. مطالعه کویبا<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۶ بر روی پسابهای نساجی حاوی محلول رنگی با استفاده از الکتروود آلومینیوم بیشتر بر پارامترهای مؤثر بر هزینه فرایند متمرکز بود. طبق نتایج حاصل از این مطالعه با استفاده از الکترودهای آلومینیوم در pH اولیه ۶/۴ در مدت زمان ماند ۱۲ دقیقه کارایی حذف ۹۵ درصد رنگ حاصل شد [۱]. کاشفی اصل و همکاران در سال ۲۰۰۶ نیز تصفیه‌پذیری پساب حاوی رنگ اسید یلو ۳۶<sup>۳</sup> با استفاده از الکتروود آهن را مطالعه نمودند. طبق نتایج حاصل از این تحقیق که با فاصله الکترودی ۲/۵ سانتی‌متری، غلظت اولیه رنگ ۵۰ ppm، pH بهینه ۸ و در مدت زمان ۶ دقیقه انجام شده بود کارایی حذف ۸۳ درصد به‌دست آمد [۳].

هدف اصلی این تحقیق مطالعه امکان حذف و یا کاهش رنگ از فاضلاب و پساب با استفاده از روش الکتروکواگولاسیون بود. از آنجایی‌که استفاده از الکترودهای آهن و آلومینیوم در حذف رنگ مورد مقایسه قرار نگرفته است، در این تحقیق ضمن بررسی تأثیر نوع الکترودها، ولتاژ، زمان الکترولیز، فاصله بین الکترودها و pH نیز مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مواد و روشها

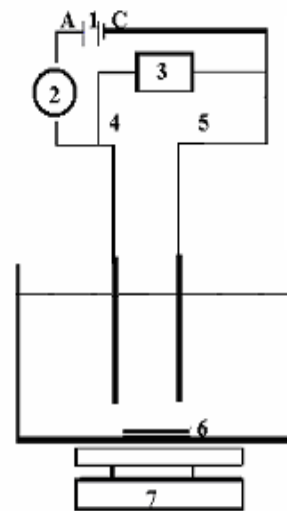
این تحقیق یک مطالعه توصیفی-تحلیلی کاربردی است که به منظور بررسی تأثیر جریان الکتروسیسته پیوسته بر روی شاخص آلودگی رنگی در نمونه‌های پساب انجام شده است. به دلیل سهولت دسترسی و قابلیت اندازه‌گیری با توجه به امکانات محقق، از رنگ اسیدی اریوکروم بلاک تی<sup>۴</sup> به عنوان شاخص رنگ خانواده رنگهای اسیدی استفاده گردید. بنابراین نتایج حاصل از این تحقیق به‌عنوان مبنایی برای حذف رنگهای مورد طبقه‌بندی در این خانواده قابل استفاده خواهد بود. بدیهی است برای هر ترکیب خاص از انواع رنگها، به آزمایش‌های پایلوت آن رنگ به‌طور مجزا نیاز است. در این تحقیق، تأثیر متغیرهای ولتاژ، زمان ماند و pH بر کارایی حذف رنگ توسط روش الکتروکواگولاسیون مورد بررسی قرار گرفت زیرا از یک سو در مطالعات صورت گرفته در این زمینه، تأثیر این متغیرها بر حذف آلاینده مورد مطالعه یعنی رنگ، گزارش گردیده

<sup>1</sup> Red 14  
<sup>2</sup> Kobya  
<sup>3</sup> Yellow 36  
<sup>4</sup> Eriochrome Black T

<sup>5</sup> Merck  
<sup>6</sup> Jenway

و با توجه به منحنی استاندارد رسم شده، غلظتها در این طول موج استخراج شد و با توجه به غلظت اولیه، کارایی حذف در مراحل مختلف محاسبه گردید [۱، ۲، ۳ و ۷].

از یک مبدل برق متناوب به پیوسته مدل HD 405 به منظور تأمین انرژی و از یک ولت متر و آمپر متر مدل کلمپ متر<sup>۱</sup> نیز برای اندازه‌گیری ولتاژ و شدت جریان استفاده شد. به منظور یکنواخت‌سازی نمونه‌های مورد استفاده در زمان انجام الکترولیز، از یک همزن مغناطیسی نیز استفاده گردید (شکل ۱). تمام آزمایش‌ها در محدوده درجه حرارت آزمایشگاه (حدود ۲۰ درجه سلسیوس) انجام پذیرفت. انجام کلیه آزمون‌ها در این تحقیق بر اساس روشهای ارائه شده در کتاب استاندارد متد انجام شده است [۱۵].



- ۱- منبع برق مستقیم
- ۲- آمپر متر دیجیتال
- ۳- ولت متر دیجیتال
- ۴- آند
- ۵- کاتد
- ۶- میله مگنت
- ۷- دستگاه مخلوط کن مغناطیسی

شکل ۱- نمای رکتور طراحی شده در این تحقیق

### ۳- نتایج و بحث

حذف و یا کاهش رنگ با استفاده از فرایند الکتروکواگولاسیون از جمله روشهای رو به توسعه است. در این تحقیق حذف رنگ آریو کروم بلاک تی به عنوان یک شاخص رنگی با تأکید بر pH اولیه محلول، جنس جفت الکترودها و فاصله بین آنها، زمان ماند و ولتاژ در کارایی روش الکتروکواگولاسیون مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

#### ۳-۱- تأثیر pH اولیه محلول

pH اولیه محلول، مهم ترین فاکتور در عملیات رنگ زدایی توسط روش الکتروکواگولاسیون است [۱ و ۲]. در شکل ۲، تأثیر pH را با توجه به جنس جفت الکترودها و همچنین فاصله بین آنها در ولتاژ ثابت ۳۰ ولت، نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل نیز دیده

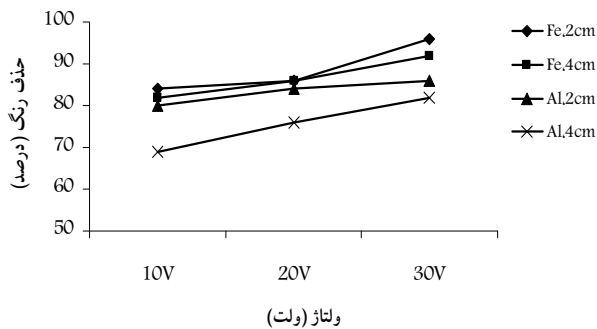
می‌شود pH اولیه محلول نقش بسیار مهمی در کارایی حذف رنگ دارد. نتایج نشان می‌دهد که برای هر دو جنس الکترودها و با فاصله‌های ۲ و ۴ سانتی متر در pHهای مورد مطالعه، افزایش pH باعث کاهش کارایی حذف رنگ می‌شود.

در طی انجام الکتروکواگولاسیون زمانی که از الکترودها آلومینیوم یا آهن استفاده می‌شود به ترتیب یون آلومینیوم و آهن در آند و یون هیدروکسید در کاتد تولید می‌گردد [۸، ۱۰ و ۱۴]. طبق تحقیقات انجام شده، محصولات ناشی از هیدرولیز از جمله  $Al^{3+}$  و  $Fe^{3+}$  فرایندهای تشکیل لخته<sup>۲</sup> و حذف آن نقش دارند. امکان تشکیل ترکیبات متنوعی از محصولات هیدرولیز نیز وجود دارد که ممکن است یک یا تعدادی از آنها در انجام فرایند دخالت داشته باشند [۲ و ۸]. توزیع نوع محصولات هیدرولیز به دلیل تشکیل هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم امکان جذب عوامل تولید رنگ در لخته‌های شکل گرفته را فراهم می‌کند. در حدود pH ۲ و ۳ با استفاده از الکترودها آلومینیوم، محصولات غالب  $Al^{3+}$  و  $Al(OH)_2$  است و با افزایش pH در محدوده ۴ تا ۹، محصول  $Al(OH)_3$  شکل می‌گیرد. زمانی که pH اولیه بالاتر از ۹ باشد، آنیون  $Al(OH)_4^-$  تولید می‌شود که این ماده نقش مؤثری در حذف نداشته و بنابراین کارایی کاهش می‌یابد [۱، ۷ و ۸]. انجام هیدرولیز تا حدودی باعث تغییر pH محلول به سمت خنثی شدن نیز خواهد شد [۱ و ۱۰]. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان اظهار نظر نمود که کارایی حذف تا pH برابر ۱۱ که مورد تحقیق بوده است، روند کاهشی داشته است. از آنجایی که در سایر مطالعات نیز در این محدوده pH تحقیقاتی صورت گرفته است، لذا حداکثر pH انتخاب شده در این مطالعه ۱۱ می‌باشد و امکان اظهار نظر قطعی در pH بالای ۱۱ مقدور نیست. نتایج مطالعات کن و همکاران نیز بر تغییرات pH با مطالعه حاضر مشابهت دارد [۲]. مطالعه کوبیا و همکاران، pH بهینه با استفاده از الکترودها Al را ۶/۴ در زمان تماس ۱۲ دقیقه برای حذف رنگ پساب نساجی به دست آورده است [۱ و ۱۰]. تحقیق کاشفی اصل و همکاران در خصوص حذف رنگ اسید یلو ۳۶ نشان می‌دهد که pH بهینه ۸ بوده و با افزایش آن کارایی حذف کاهش می‌یابد [۳]. پژوهشی که توسط دانشور و همکاران برای حذف رنگ اورنج ۲<sup>۳</sup> انجام شد نیز این مطلب را تأیید می‌کند [۵]. مطالعات پاتریسیا<sup>۴</sup> نشان می‌دهد که کارایی حذف رنگ در محیط‌های اسیدی و خنثی سه برابر بیشتر از محیط قلیایی است [۶].

<sup>2</sup> Flocc  
<sup>3</sup> Orange 2  
<sup>4</sup> Patricia

<sup>1</sup> Clamp Meter

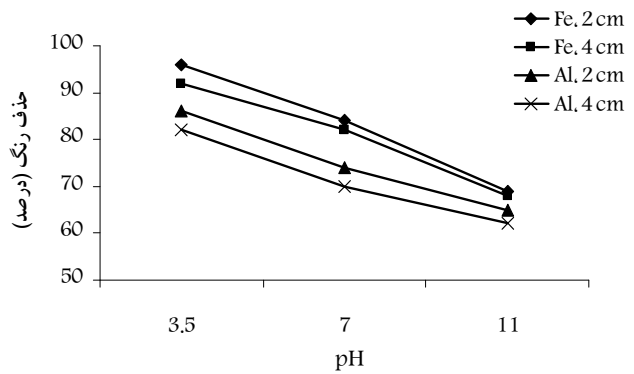
و مولکول‌های کوچک‌تری شکل می‌گیرند. بعضی از این مولکول‌های کوچک و جامدات معلق در مولکول‌های  $Fe(OH)_3$  و  $Al(OH)_3$  گرفته شده و ضمن تشکیل لخته با مکانیسم‌های ته‌نشینی و یا شناورسازی توسط  $H_2$  شکل گرفته در کاتد جداسازی می‌شوند [۱۰].



شکل ۴- مقایسه تأثیر ولتاژ بر کارایی حذف رنگ توسط جفت الکترودهای آهن و آلومینیوم در  $pH=3/5$  و در فاصله زمانی ۳۰ دقیقه

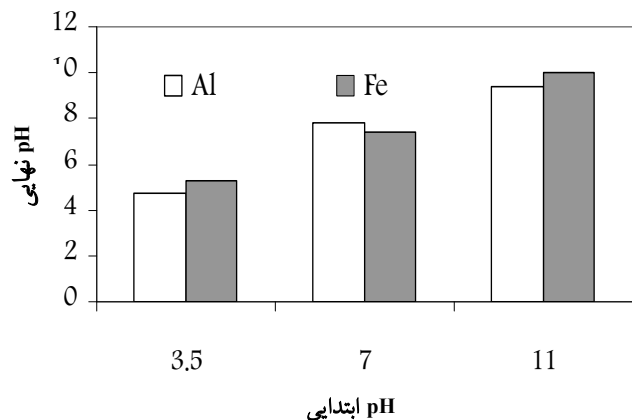
### ۳-۳- بررسی تأثیر زمان ماند

افزایش زمان الکترودکواگولاسیون نیز نقش بسزایی در انجام فرایند رنگ‌زدایی دارد [۲ و ۷]. در طی الکترولیز در الکترود مثبت واکنش‌های آندی و در الکترود منفی واکنش‌های کاتدی اتفاق می‌افتد. یون‌های آزاد شده بار الکتریکی ذرات را خنثی نموده و به این ترتیب کواگولاسیون شکل می‌گیرد. کارایی حذف رنگ، مستقیماً بستگی به غلظت یون‌های تولیدی در الکترودها دارد. با افزایش زمان الکترولیز غلظت یون‌های تولیدی افزایش یافته و در نتیجه آن لخته‌های هیدروکسید نیز افزایش خواهد یافت [۷ و ۱۰]. افزایش زمان الکترودکواگولاسیون در کلیه حالات مورد بررسی باعث افزایش کارایی حذف رنگ می‌گردد. با توجه به شکل ۵ همان‌گونه که دیده می‌شود با افزایش زمان فرایند، کارایی حذف نیز افزایش می‌یابد به گونه‌ای که کارایی الکترودکواگولاسیون در خصوص جفت الکترودهای آهن و آلومینیوم با فاصله ۲ سانتی‌متر از یکدیگر و در فاصله زمانی ۵ تا ۳۰ دقیقه در  $pH$  اسیدی به ترتیب ۴۲-۹۶ و ۳۸-۸۶ درصد به دست آمد. همچنین این نتایج نشان می‌دهد که پس از گذشت زمان ۲۰ دقیقه، شیب خط کارایی حذف نسبت به زمان قبل آن کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد. به بیان دیگر، پس از گذشت ۲۰ دقیقه با افزایش زمان، افزایش کارایی حذف چندان قابل ملاحظه نخواهد بود و از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه نیست. نتایج حاصل از مطالعه کویبا و همکاران در سال ۲۰۰۳ که در خصوص حذف رنگ پساب صنایع نساجی انجام شد، نشان می‌دهد که در مورد الکترود آلومینیوم در زمان ماند



شکل ۲- مقایسه تأثیر  $pH$  بر کارایی حذف رنگ توسط جفت الکترودهای آهن و آلومینیوم در ولتاژ ۳۰ ولت، زمان فرایند ۳۰ دقیقه

در شکل ۳، تغییرات  $pH$  به دست آمده برای هر دو جفت الکترودهای Fe و Al با فاصله ۲ سانتی‌متر از همدیگر و در ۳۰ درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است. بنابراین بهترین عملیات رنگ‌زدایی در  $pH$  پایین‌تر از ۹ صورت می‌پذیرد [۵ و ۹].



شکل ۳- مقایسه تغییرات  $pH$  حاصل از الکترودکواگولاسیون در زمان تماس ۳۰ دقیقه با جفت الکترودهای Fe و Al

### ۲-۳- بررسی تأثیر ولتاژ

میزان حذف رنگ در ولتاژهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ولت مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که افزایش شدت جریان و ولتاژ در کارایی تصفیه تأثیرگذار است [۱، ۲ و ۷]. نتایج حاصل نشان می‌دهد که کارایی تصفیه به طور چشمگیری با افزایش ولتاژ، افزایش می‌یابد (شکل ۴). حداکثر کارایی مشاهده شده در  $pH$  اسیدی برای جفت الکترودهای آهن و آلومینیوم با فاصله ۲ سانتی‌متر و در طی ۳۰ دقیقه به ترتیب ۹۶ و ۸۶ درصد به دست آمد. با افزایش ولتاژ و شدت جریان، پتانسیل انجام واکنش الکترود نیز افزایش می‌یابد. با تأمین انرژی کافی، ترکیبات رنگی در کاتد احیا و در آند اکسید شده

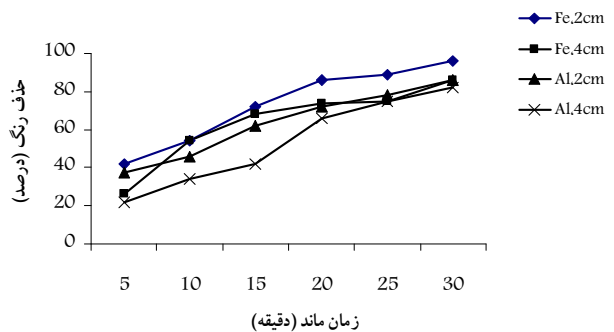
داراست که این موضوع با نتایج این تحقیق مطابقت دارد [۱۰]. همچنین کاهش فاصله بین الکترودها در خصوص جفت الکترودهای آهن تأثیر چندانی را در افزایش کارایی حذف رنگ نشان نمی‌دهد؛ در حالی که در خصوص جفت الکترودهای آلومینیوم، افزایش زمان تماس منجر به افزایش کارایی حذف رنگ خواهد شد [۵ و ۷].

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق چگونگی حذف رنگ اریو کروم بلاک تی به‌عنوان یک شاخص رنگی با استفاده از روش الکترودکواگولاسیون مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست آمده کارایی حذف رنگ با افزایش ولتاژ و زمان تماس رابطه مستقیم دارد. همچنین نتایج نشان داد که مؤثرترین فاکتور در کواگولاسیون، pH اسیدی است که با افزایش آن، کارایی سیستم کاهش می‌یابد. بهترین کارایی به‌دست آمده در pH برابر ۳/۵، ولتاژ ۳۰ و در فاصله زمانی ۳۰ دقیقه با استفاده از جفت الکترودهای آهن و آلومینیوم و با فاصله الکترودهای ۲ سانتی‌متری به ترتیب ۹۶ درصد و ۸۶ درصد به‌دست آمد. در مجموع با توجه به نتایج حاصله دیده می‌شود که از روشهای الکتروشیمیایی می‌توان به‌عنوان یک روش سازگار با محیط در تصفیه پسابهای رنگی استفاده نمود.

#### ۵- قدردانی

نویسندگان مقاله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی همدان به خاطر حمایت مالی از این تحقیق و فراهم نمودن امکانات لازم و همچنین از خانم مهندس ناظمی کارشناس محترم گروه مهندسی بهداشت محیط و خانم مریم محمدی‌نیا و شکوه السادات رهسپار به خاطر همکاری در انجام تحقیق تشکر و قدردانی می‌نمایند.



شکل ۵- مقایسه تأثیر زمان ماند بر کارایی حذف رنگ توسط جفت الکترودهای آهن و آلومینیوم در pH=۳/۵ و در ولتاژ ۳۰ ولت

۲۰ دقیقه، حداکثر کارایی حذف ۶۵ درصد است و افزایش زمان ماند در کارایی حذف تأثیر چندانی نداشته است. همچنین در این مطالعه مشخص گردیده است که در مورد الکترود آهن در زمان تماس ۱۰ دقیقه حداکثر کارایی حذف ۷۳ درصد و افزایش زمان تماس تأثیری بر روی کارایی حذف ندارد [۱۰].

#### ۳-۴- تأثیر جنس و فاصله بین جفت الکترودها

نتایج حاصل از تأثیر جنس و فاصله بین جفت الکترودها در شکل‌های ۲ تا ۵ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که جفت الکترودهای آهن نسبت به جفت الکترودهای آلومینیوم کارایی نسبتاً بالاتری در حذف رنگ دارند. در مطالعات کویبا و همکاران که با الکترودهای آهن و آلومینیوم در تصفیه فاضلاب نساجی انجام گرفته است نیز الکترودهای آهن کارایی بالاتری را در حذف نشان می‌دهند. نتایج نشان داده است که الکترود آلومینیوم در pH برابر ۴ حداکثر ۶۵ درصد و الکترود آهن در این pH حداکثر کارایی حذف را داشته است. از سوی دیگر در pH برابر ۹ الکترود آلومینیوم حداکثر ۴۰ درصد اما الکترود آهن ۷۰ درصد کارایی حذف را نشان داده است. بنابراین نتایج می‌توان دریافت که الکترود آهن در pH قلیایی کارایی بیشتری را نسبت به الکترود آلومینیوم

#### ۶- مراجع

- 1- Kobya, M., Demirbas, E., Can, O.T., and Bayramoglu, M. (2006b). "Treatment of levafix orange textile dye solution by electrocoagulation." *J. of Hazardous Materials*, 132, 183-188.
- 2- Can, O. T., Bayramoglu, M., and Kobya, M. (2003). "Decolorization of reactive dye solutions by electrocoagulation using Aluminum electrodes." *Ind. Eng. Chem. Res.*, 42, 3391-3396.
- 3- Kashefialasl, M., Khosravi, M., Marandi, R., and Seyyedi, K. (2006). "Treatment of dye solution containing colored index acid yellow 36 by electrocoagulation using iron electrodes." *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 2(4), 365-371.

- 4- Shin, S.H., Kim, Y.H., Jung, S.K., Suh, K. H., Kang, S. G., Jeong, S.K., and Kim, H. G. (2004). "Combined performance of electrocoagulation and magnetic separation processes for treatment of dye wastewater." *Korean J. Chem. Eng.*, 21(4), 806-810.
- 5- Daneshvar, N., Ashassi-Sorkhabi, H., and Tizpar, A. (2003). "Decolorization of orange 11 by electrocoagulation method." *Separation and Purification Tech.*, 31, 153-162.
- 6- Patricia, A., C., Boralle, N., Stradiotto, N. R., Furlan, M., and Zanoni, M. V. B. (2004). "Decolourization of anthraquinone reactive dye by electrochemical reduction on reticulated glassy Carbon electrode." *J. Braz. Chem. Soc.*, 15(4), 587-594.
- 7- Daneshvar, N., Ashassi-Sorkhabi, H., and Kasiri, M. (2004b). "Decolorization of dye solution containing Acid Red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of different electrode connections." *J. of Hazardous Materials*, 112, 55-62.
- 8- Bayramoglu, M., Kobya, M., Can, O., T. and Sozbir, M. (2004). "Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater." *Separation and Purification Technology*, 37, 117-125.
- 9- Janssen, L. J. J., and Koene, L. (2002). "The role of electrochemistry and electrochemical technology in environmental protection." *J. Chemical Engineering*, 85, 137-146.
- 10- Kobya, M., Can, O. T., and Bayramoglu, M. (2003b). "Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes." *J. of Hazardous Materials*, 100, 163-178.
- 11- Sengil, I. A., and Ozacar, M. (2006b). "Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrodes." *J. of Hazardous Materials*, 137, 1197-1205.
- 12- Han, M., Song, J., and Kwon, A. (2002). "Preliminary investigation of electrocoagulation as a substitute for chemical coagulation." *J. of Water Supply*, 2(5-6), 73-76.
- 13- Donini, J.C. (1994). "The operating cost of electrocoagulation." *The Canadian J. of Chemical Eng.*, 72, 1007-1012.
- 14- Can, O.T., Kobya, M., Demirbas E., and Bayramoglu, M. (2006). "Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation." *Chemosphere*, 62, 181-187.
- 15- Glesceria, L. A., Greenberg E., and Eaton. A. D.(1998). *Standard method for the examination of water and wastewater*, 20<sup>th</sup> Ed., APHA, WEF, USA.