بررسی کارایی استفاده از فرایند انعقادالکتریکی در حذف کدورت،COD، دترجنت و فسفات از پساب کارواش

افشین تکدستان [۱] علی‌اکبر عظیمی [۲] ژیلا سالاری [۳]

(دریافت ۸۹/۲/۸ پذیرش ۸۹/۱۱/۲۶)

چکیده

هدف از این مطالعه ارزیابی راندمان حذف COD، کدورت، دترجنت و فسفات از پساب کارواش توسط فرایند انعقاد الکتریکی بود. این بررسی یک مطالعه تجربی در مقیاس آزمایشگاهی بود که به‌شکل پایلوت به انجام رسید. یک مخزن شیشه‌ای به حجم ۳ لیتر(حجم مؤثر ۲لیتر) حاوی ٤ الکترود صفحه‌ای آهن و آلومینیوم با آرایش‌های AL-Fe،AL-AL و Fe-Fe به‌منظور مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. الکترودها به‌روش دو قطبی به یک منبع تغذیه به‌منظور تبدیل جریان برق متناوب به مستقیم متصل شدند. نمونه‌ها به‌صورت روزانه از کارواش‌های مختلف در سطح شهر جمع‌آوری شدند. pH اولیه نمونه‌ها بین ۷ تا ۹ گزارش شد و در ابتدا آزمایش‌هایی بر روی نمونه اولیه انجام شد. درصد حذف در مقادیر pH برابر۳، ۷ و ۱۱ در گستره پتانسیل الکتریکی ۱۰،۲۰ و ۳۰ ولت در زمان‌های واکنش ۳۰،٦۰ و ۹۰ دقیقه و با فواصل میانی ۲ سانتی‌متر تعیین مقدار شد. نتایج حاصله نشان داد که راندمان حذف COD در pH بهینه ۳ و ولتاژ ۳۰ و زمان ماند ۹۰ دقیقه با الکترود آهن به بیش از ۹۳ درصد رسید. همچنین ظرفیت حذف این فرایند برای دترجنت در pH بهینه ۷ و ولتاژ ۳۰ و زمان ماند ۹۰ دقیقه با الکترود آهن ۹٤ درصد بود. بالاترین بازده حذف فسفات و کدورت در pH بهینه ۷ و بعد از طی زمان ماند ۹۰ دقیقه با ولتاژ ۳۰ و با الکترودهای آلومینیوم به بیش از ۹۹ درصد رسید. با توجه به‌نتایج به‌دست آمده، انرژی الکتریکی مصرفی در استفاده از الکترودهای آلومینیوم کمتر از آرایش‌های دیگر است ولی از آنجایی که قیمت فلز آلومینیوم نسبت به آهن گران‌تر است و اختلاف زیادی بین انرژی الکتریکی مصرفی الکترود آهن و آلومینیوم وجود ندارد و همچنین راندمان حذف COD و دترجنت با الکترود آهن بیشتر است، لذا استفاده از آهن به‌عنوان الکترود، اقتصادی‌تر است. نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان این روش را به‌عنوان یک روش مطمئن و مناسب برای تصفیه پساب کارواش، به‌کار برد و با توجه به راندمان بالای حذف، می‌توان پساب خروجی را با اطمینان در محیط تخلیه کرد.

واژه‌های کلیدی: پساب کارواش، انعقاد الکتریکی، زمان الکترولیز،حذف دترجنت، حذف COD ، انرژی مصرفی

The Use of Electrocoagulation Process for Removal of Turbidity, COD, Detergent and Phosphorus from Carwash Effluent

Afshin Takdastan[1] *Aliakbar Azimi[2]* *Zhila Salari[3]*

(Received Apr. 28, 2010 Accepted Feb. 15, 2011)

Abstract

This study evaluated the efficiency of Electrical coagulation process in removal of COD, turbidity, detergent and phosphate from carwash effluent. An experimental study in laboratory scale was carried out and a glass tank with volume of 3 liters (effective volume of 2 liters) containing 4 electrode-page iron and aluminum (AL-AL, AL-Fe, Fe-Fe) were used. Electrodes were connected to a power supply with using bipolar method to convert alternative electricity to direct current. Daily samples were collected from different carwash effluents. Initial pH of samples were reported between 7 to 9.At first different tests were performed on primary samples. Percentage of removal was calculated in range pH and electrical potential of 11, 7, 3 and 30, 20, 10 volts respectively. Reaction times were set 90, 60, 30 minutes with middle intervals of 2 cm. The results showed the efficiency of COD removal in the optimum range of pH=3, voltage of 30 and retention time of 90 minutes

1. Assist. Prof. of Environmental Health Eng., Member of Environment Tech. Research Center, Jondishapoor University of Medical Sciences, Ahwaz
2. Assist. Prof. of Civil Eng., Islamic Azad University, Ahar Branch
3. M.Sc. of Environmental Eng., Khuzestan University, Sciences and Research Branch, Ahwaz (Corresponding Author) (+98 722) 4226520 zhila_salari@yahoo.com

۱- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط و عضو مرکز تحقیقات فناوری‌های زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز
۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر
۳- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه علوم تحقیقات خوزستان، اهواز (نویسنده مسئول) ۴۲۲۶۵۲۰ (۰۷۲۲) zhila_salari@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

with iron electrode was more 93% also the capacity of detergent removal for this process in optimum pH of 7, voltage of 30 retention time of 90 minutes with iron electrode was 94%. The highest phosphate and turbidity removal efficiency in pH of 7 after 90 minutes retention time, voltage of 30, with aluminum electrode reached more than 99%. According to the results obtained electrical energy consumption in aluminum electrodes was less than others. However aluminum is more expensive than iron and the difference in energy consumption between iron and aluminum can be ingnored. Apart from that COD and detergent removal efficiency of iron electrodes is higher than aluminum electrodes therefore, using iron as the electrode is more economical and recommended. Altogether it was found that this method can be use as a safe and convenient method for treating carwash effluent and according to the high removal efficiency of process, effluent can be discharged safely into the environment.

Keywords: Carwash Effluent, Electrocoagulation, Electrolysis Time, Detergent Removal, COD Removal, Energy Consumption.

۱- مقدمه

امروزه ورود بی‌رویه مواد شوینده به منابع آبهای سطحی و زیرزمینی موجب بروز مشکلات زیست‌محیطی عدیده ای از جمله پدیده یوتریفیکاسیون[1] و تولید کف شده است [۱و ۲]. اکثر مواد شوینده به کندی تجزیه پذیر بوده و امکان شکسته شدن سریع آنها در تصفیه‌خانه‌های متعارف وجود ندارد. بنابراین و به‌دلیل مهیا بودن شرایط، به‌ویژه در حوض‌های هوادهی و اختلاط، کفی تولید می شود که به‌دلیل حجم زیاد، در فرایند تصفیه ایجاد اختلال کرده و نیز باعث ایجاد مخاطراتی برای کارگران تصفیه‌خانه می‌شود. بنابراین تصفیه پسابهای حاوی فسفر و درجنت به‌دلیل جلوگیری از آلودگی محیط زیست، جلوگیری از تخریب منابع آبهای سطحی و زیرزمینی و بهبود عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۲ و ۳].

در سالهای اخیر تحقیق بر روی کاربرد مستقیم الکتریسیته در تصفیه آب و فاضلاب به‌دلیل سازگاری با محیط و امکان تصفیه مایعات، گازها و جامدات، توسعه یافته و به‌عنوان یک روش جذاب برای کواگولاسیون[2] یا ته‌نشینی، تحت عنوان روش الکتروکوگولاسیون[3]/ الکتروشیمیایی شناخته شده است [۴-۸]. از جمله ویژگی‌های این روش می‌توان به کاربرد آسان، تجهیزات ساده، زمان ماند کوتاه، کاهش یا حذف تجهیزات، اضافه نمودن مواد شیمیایی و کاهش حجم لجن اشاره کرد. انعقاد الکتریکی فرایندی است مشتمل بر ایجاد لخته‌های[4] هیدروکسید فلزی درون فاضلاب در اثر انحلال الکتریکی آندهای قابل انحلال که معمولاً از جنس آهن یا آلومینیوم هستند. این روش در قرن بیستم با موفقیت محدودی روبرو بود. ولی اخیراً به‌دلیل برقراری محدودیتهای محیط زیستی بیشتر در مورد فاضلاب‌های خروجی، مقبولیت یافته است [۵، ۹ و ۱۰].

در روش انعقاد الکتریکی، جریان الکتریسیته مستقیم از طریق الکترودهای آهنی/ آلومینیومی غوطه‌ور در آب، عبور داده می‌شود [۵ ، ۶ و ۱۱]. در این سیستم یون‌های الکترود قربانی از طریق الکترولیت انتقال داده می‌شوند. آلاینده‌های نامطلوب از طریق واکنش‌های شیمیایی و رسوب و یا توسط انعقاد مواد کلوئیدی جدا می‌گردند. این مواد سپس توسط شناور شدن الکترولیتی یا به‌واسطه ته‌نشینی و فیلتراسیون جدا می‌شوند. مکانیسم اتفاق افتاده در انعقاد الکتریکی مشابه با واکنش انعقاد و تصفیه با نمک AL است. مکانیسم غالب تقریباً مبادله پارامترهای عملیاتی و انواع آلاینده‌ها خواهد بود. در واکنش ۱ جریان از بین الکترودهای فلزی عبور می کند و فلز M به کاتیون M^{n+} اکسید می‌شود و به‌طور همزمان تبدیل آب به گاز هیدروژن و یون هیدروکسیل طبق واکنش ۲ صورت می‌گیرد. الکتروکواگولاسیون به این صورت کاتیون‌های فلزی را به‌طور الکتروشیمیایی با مصرف آندهای قربانی (معمولاً آلومینیوم یا آهن) در محل وارد می کند

$$M \rightarrow M^{n+} + ne^- \quad (۱)$$

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2 \quad (۲)$$

کاتیون‌های هیدرولیز شده در آب با تعیین نوع غالب توسط pH محلول، تشکیل هیدروکسید می‌دهند. معادلات زیر نشان دهنده این امر در ارتباط با الکترود آلومینیوم هستند [۱۲].

$$AL^{3+} + H_2O \rightarrow ALOH^{2+} + H^+ \quad (۳)$$

$$ALOH^{2+} + H_2O \rightarrow AL(OH)_2^+ + H^+$$

$$AL(OH)_2^+ + H_2O \rightarrow AL(OH)_3^0 + H^+$$

$$AL(OH)_3^0 + H_2O \rightarrow AL(OH)_4^- + H^+$$

مطالعات در خصوص استفاده از انعقاد الکتریکی در تصفیه پساب در طی دهه اخیر افزایش یافته و در سالیان اخیر بیشتر به جنس

[1] Utrification
[2] Coagulation
[3] Electrocoagulation
[4] Floc

Archive of SID
www.SID.ir

الکترودهای مصرفی وعوامل مؤثر پرداخته شده است. سیوربا و همکاران[1] در تحقیقی اثر مواد فعال سطحی به‌عنوان ماده آلی فاضلاب مصنوعی را بر آلومینیوم به‌عنوان ماده الکترود بررسی کردند [۱۱]. جی و همکاران[2] یک فرایند دوقطبی الکتروانعقاد و الکتروشناوری جدید را برای تصفیه فاضلاب خشکشویی ارائه کردند. در این فرایند، الکتروانعقاد و الکتروشناوری به‌طور همزمان در یک راکتور انجام گرفتند. پارامترهای اجرایی از قبیل pH اولیه، زمان ماند هیدرولیکی (HRT) و شدت جریان مورد بررسی قرار گرفتند [۱۳]. ایردمز و همکاران[3] از روش تاگوچی برای تعیین شرایط بهینه حذف فسفات از فاضلاب توسط انعقاد الکتریکی با الکترودهای آلومینیومی تخت استفاده کردند. بازده حذف پیش‌بینی شده و آزمایشگاهی فسفات از فاضلاب توسط الکتروانعقاد با الکترودهای آلومینیومی تخت به‌ترتیب ۹۹/۹ و ۱۰۰درصد بود [۷]. اوندر و همکاران[4] امکان حذف مواد فعال سطحی (سورفاکتانت‌ها) را از محلول مدل و نمونه آب آلوده با روش انعقاد الکتروشیمیایی و با استفاده از یون‌های Fe^{2+} از یک آند محلول بررسی کردند. در این آزمایش‌ها میزان بازده حذف مواد فعال سطحی با غلظت اولیه ۱۰میلی‌گرم در لیتر، به ۱۰۰درصد رسید [۱۴]. محوی و همکاران قابلیت استفاده از فرایند انعقاد الکتریکی با استفاده از الکترودهای آلومینیومی را در حذف فلز سنگین کروم در محیط‌های آبی بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن بود که بالاترین راندمان حذف یون کروم در pH برابر ۳ و اختلاف پتانسیل ۴۰ ولت حاصل می‌شود [۵]. رحمانی و همکاران کارایی روش انعقاد الکتریکی در حذف رنگ اریوکروم‌بلاک‌تی از پساب را بررسی کردند. این پژوهش بیانگر این بود که کارایی حذف رنگ در pH برابر ۳/۵ و ولتاژ ۳۰ و با استفاده از جفت الکترودهای آهن و آلومینیوم و در فاصله زمانی ۳۰ دقیقه به‌ترتیب ۹۶ و ۸۶ درصد بود [۴].

هدف اصلی در این تحقیق بررسی امکان استفاده از فرایند انعقاد الکتریکی با الکترود آهن و آلومینیوم در حذف کدورت، COD، درجنت و فسفات از پساب کارواش بود. در این تحقیق تأثیر نوع الکترود با آرایش‌های مختلف، ولتاژ، pH و زمان ماند مورد بررسی قرار گرفت.

۲ - مواد و روشها

مطالعه حاضر یک مطالعه آزمایشگاهی است که در سال ۱۳۸۸ به‌صورت طرح پایلوت در محل آزمایشگاه شیمی دانشگاه علوم تحقیقات خوزستان، به‌منظور بررسی تأثیر جریان الکتریسیته پیوسته بر روی آلودگی شوینده‌ها در نمونه‌های پساب کارواش انجام شد. در این تحقیق، تأثیر متغیرهای جنس الکترود، ولتاژ، زمان ماند و pH بر کارایی حذف مشاهده شد. نمونه‌های پساب از کارواش‌های مختلف در سطح شهر جمع‌آوری و پس از انتقال به آزمایشگاه، آزمایش‌های COD، فسفات، درجنت و کدورت بر روی نمونه‌های اولیه انجام و غلظت اولیه آنها مشخص شد. به‌منظور تنظیم pH محلول اولیه از اسید سولفوریک و هیدروکسیدسدیم ۰/۱ نرمال استفاده شد. پارامترهای انتخابی برای فرایند الکتروکواگولاسیون شامل نوع الکترود، زمان ماند، pH اولیه و ولتاژ در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- پارامترهای مورد ارزیابی و محدوده آنها

پارامتر	محدوده	واحد
pH	۳ و ۷، ۱۱	-
زمان راهبری	۳۰ و ۶۰، ۹۰	دقیقه
ولتاژ	۱۰ و ۲۰، ۳۰	ولت
نوع الکترود	AL-Fe ،Fe-Fe، Al-Al	---

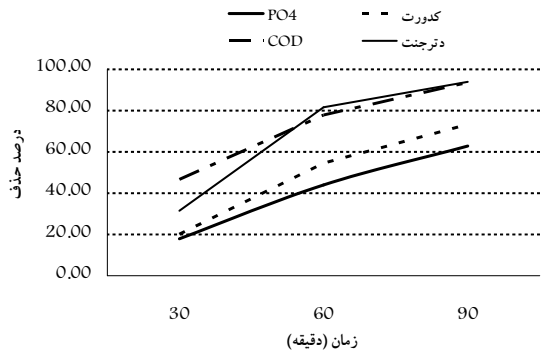
به‌منظور انجام آزمایش از یک راکتور در مقیاس آزمایشگاهی با ابعاد ۱۵cm×۱۵cm×۱۵cm ساخته شده از شیشه با ضخامت ۱۰ میلی‌متر استفاده شد. الکترودهای آهن و آلومینیوم با ابعاد ۱۲cm×۱۰cm×۲mm به‌طور عمودی و با فاصله ۲سانتی‌متر از هم قرار داشتند و انتهای هر یک از آنها به منبع تغذیه برق مستقیم DC متصل بود. اختلاط فاضلاب به کمک همزن مغناطیسی با سرعت ثابت ۱۰۰ rpm انجام می‌گردید. از اسید کلریدریک با درصد وزنی ۱۵ برای تمیز کردن الکترودها قبل از شروع آزمایش‌ها استفاده شد. آزمایش‌ها در دامنه ولتاژ ۱۰، ۲۰ و ۳۰ با آرایش‌های AL-AL ، Fe-AL و Fe-Fe، در دامنه pH برابر ۱۱ ، ۷ و ۳ و فواصل ۲ سانتی‌متر با زمان تماس ۳۰،۶۰ و ۹۰ برای هر سری از جفت الکترودها انجام پذیرفت. در این آزمایش‌ها با توجه به ولتاژ عبوری، شدت جریان بین ۰/۵تا ۲ آمپر متغیر بود. در هر سری از آزمایش‌ها در زمان‌های مشخص شده، از مایع داخل راکتور نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها برای انجام آزمایش پارامترهای مذکور آماده شدند و بعد از فیلتر شدن، توسط دستگاه اسپکتوفتومتر UV- DR5000 محصول شرکت هچ[5] با طول موج های مشخص شده توسط دستگاه تعیین مقدار شدند. همچنین میزان کدورت توسط دستگاه کدورت‌سنج اندازه‌گیری شد.

[1] Ciorba et al.
[2] Ge et al.
[3] Irdemez et al.
[4] Onder et al.
[5] HACH

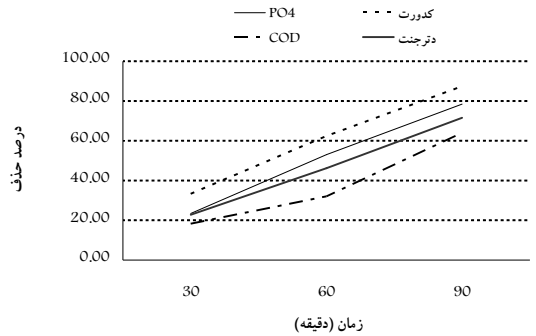
Archive of SID
www.SID.ir

۳- نتایج و بحث

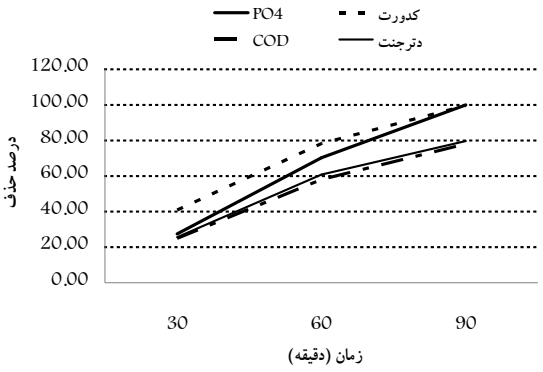
در این تحقیق تأثیر متغیرهای ولتاژ، زمان تماس، نوع الکترود و pH در کاهش دترجنت، فسفات، کدورت و COD مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در شکلهای ۱، ۲ و ۳ نتایج حاصل از آرایش‌های گوناگون تحت شرایط بهینه نشان داده شده است.



شکل ۱- درصد حذف آلاینده ها در طی فرایند EC در شرایط بهینه ولتاژ و pH با الکترود آهن



شکل ۲- درصد حذف آلاینده‌ها در طی فرایند EC در شرایط بهینه ولتاژ و pH با الکترود آهن وآلومینیوم



شکل ۳- درصد حذف آلاینده‌ها در طی فرایند EC در شرایط بهینه ولتاژ و pH با الکترود آلومینیوم

۳-۱- تأثیر جنس و آرایش الکترودها

برای تعیین تأثیر نوع الکترود بر راندمان حذف، آزمایش‌ها از لحاظ ولتاژ، زمان ماند، pH و فاصله میان صفحات در شرایط یکسان انجام شدند و تنها با تغییر جنس صفحات، تأثیر این عامل مورد ارزیابی قرار گرفت. با انجام این آزمایش مشخص شد که نوع الکترود مصرفی در راندمان حذف COD، دترجنت، کدورت و فسفات مؤثر است. به‌طوری که الکترود مناسب به‌منظور دستیابی به بیشترین میزان حذف COD ، الکترودهای آهن است که بیشترین راندمان حذف دترجنت یعنی ۹۴درصد را به‌همراه دارد. در حالی که بیشترین راندمان حذف کدورت و فسفات به میزان ۱۰۰درصد زمانی به‌دست می‌آید که از الکترودهای آلومینیوم استفاده شود. در مطالعات شینگیل و همکاران[1] درصد حذف COD با الکترود آهن ۹۸درصد بود [۸]. ادهم و همکاران[2] با الکترود آلومینیوم به بازده حذف ۷۶ درصد برای COD رسیدند [۱۵]. در تحقیقات کوبارتی و همکاران بازده حذف ۵۴ درصد برای COD با الکترود آهن به‌دست آمد که با نتایج تحقیق حاضر منطبق بود. مطالعات اون و همکاران[3] نشان داده‌اند که الکترود آهن در حذف COD و کدورت مؤثرتر از الکترود آلومینیوم بوده است به‌طوری‌که بازده حذف COD در محدوده ۶۲ تا ۸۶ درصد بوده و میزان حذف کدورت به ۱۰۰درصد رسیده است [۱۲]. اوندر و همکاران[4] امکان حذف سورفکتانت‌ها را از آب آلوده با الکترود آهن بررسی کردند و به بازده حذف ۱۰۰درصد رسیدند [۱۴].

۳-۲- تأثیر ولتاژ

میزان حذف پارامترهای مورد نظر در ولتاژهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش شدت جریان و ولتاژ در کارایی تصفیه تأثیرگذار است. در مورد COD، حداکثر راندمان در pH اسیدی برای جفت الکترود آهن در طی ۹۰ دقیقه در ولتاژ ۳۰ نزدیک ۹۴درصد بود. با افزایش ولتاژ، پتانسیل انجام واکنش افزایش می‌یابد. با تأمین انرژی کافی، ترکیبات آلی در کاتد احیا و در آند اکسید شده و مولکول‌های کوچک‌تری شکل می‌گیرد. بعضی از این مولکول‌های کوچک و جامدات معلق از میان مولکول‌های $Fe(OH)_3$ و یا $AL(OH)_3$ گرفته شده و ضمن تشکیل لخته با مکانیسم‌های ته‌نشینی و یا شناورسازی، توسط گاز هیدروژن در کاتد جداسازی می‌شوند [۴، ۵ و ۶]. در مورد دترجنت، حداکثر راندمان در pH خنثی برای جفت الکترود آهن در طی ۹۰ دقیقه و

[1] Sengil et al.
[2] Adhoum et al.
[3] Un. et al.
[4] Onder et al.

Archive of SID
www.SID.ir

در ولتاژ ۳۰، تقریباً ۹۳درصد بود. در مورد فسفات حداکثر راندمان در pH خنثی در طی ۹۰ دقیقه و ولتاژ ۳۰ حدود ۱۰۰درصد بود که با یافته‌های ایردمز مطابقت داشت [۱۶]. کمترین راندمان هم مربوط به ولتاژ ۱۰ بود. این رفتار که راندمان تصفیه تا حدود زیادی تحت تأثیر ولتاژ است توسط برخی محققان به اثبات رسیده است. به‌عنوان مثال دروچی و همکاران[1] در مطالعه‌ای به بررسی راندمان حذف فلوراید از آب با استفاده از الکترودهای آلومینیوم پرداختند [۱۷]. ایشان مشاهده نمودند که با افزایش ولتاژ، مقدار Al^{3+} افزایش یافته و به موجب آن، یون‌های فلوراید به‌طور مؤثری حذف می‌شوند. همچنین در مطالعات رحمانی و سمرقندی که بر روی کارایی روش الکترو‌انعقاد در حذف COD از پساب صورت گرفت، مشخص شد که با افزایش ولتاژ، درصد حذف COD افزایش می‌یابد [۶]. لانگ چو و همکاران[2] امکان کاهش COD و کدورت را از فاضلاب در ولتاژ ۲۰ بررسی نموده و به‌ترتیب به راندمان ۹۰ و ۹۸درصد رسیدند [۱۸].

۳-۳- تأثیر زمان ماند

افزایش زمان انعقاد الکتریکی نقش بسزایی در انجام فرایند داشت. در طی الکترولیز در الکترود مثبت، واکنش آندی و در الکترود منفی واکنش‌های کاتدی اتفاق می‌افتد. یون‌های آزاد شده بار الکتریکی ذرات را خنثی نموده و به این ترتیب کواگولاسیون شکل می گیرد. کارایی حذف، مستقیماً بستگی به غلظت یون‌های تولیدی در الکترودها دارد. با افزایش زمان الکترولیز، غلظت یون‌های تولیدی افزایش یافته و در نتیجه لخته‌های هیدروکسید نیز افزایش می‌یابند [۴، ۷ و ۱۹]. همان گونه که در شکلهای ۱ تا ۳ دیده می‌شود با افزایش زمان ماند، کارایی حذف افزایش می‌یابد. البته این افزایش کارایی در زمان های ۳۰ تا ۶۰ دقیقه چشم‌گیرتر از ۶۰ تا ۹۰ دقیقه مشاهده شد.

۳-۴- تأثیر pH اولیه

آزمایش‌ها در pH ۳، ۷ و ۱۱ انجام شد. نتایج حاکی از این بود که به غیر از COD که در pH اسیدی راندمان حذف بالاتری داشت، بقیه موارد در pH خنثی بهتر عمل نمودند. در طی انجام الکترولیز زمانی که از الکترود آهن یا آلومینیوم استفاده می‌شود، به‌ترتیب یون آهن و آلومینیوم در آند و یون هیدروکسیل در کاتد تولید می‌شود [۵]. طبق تحقیقات انجام شده، محصولات ناشی از هیدرولیز از جمله AL^{3+} و Fe^{3+} در فرایندهای تشکیل لخته 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 [۲۰]. در مطالعات بایرامغلو[3] که بر روی فاضلاب کشتارگاه طیور با الکترود آلومینیوم انجام گرفته بود، در مدت زمان ۲۵ دقیقه و شدت جریان ۱۵۰ آمپر بر متر مکعب در pH اولیه ۳، راندمان حذف ۹۳ درصد به‌دست آمد [۲۱].

همچنین در مطالعات کوبایا و همکاران[4] که بر روی MCFsW انجام شد، میزان حذف COD در pH برابر ۵، با الکترود آلومینیوم ۹۳ درصد و میزان مصرف TOC درpH برابر ۵، با الکترود آلومینیوم ۷۸درصد به‌دست آمد [۲۲]. در مطالعات رحمانی و سمرقندی میزان حذف رنگ در pH برابر ۳/۵ و ولتاژ ۳۰ با الکترود آهن، ۹۶درصد و با الکترود آلومینیوم ۸۶ درصد به‌دست آمد [۶]. در مطالعه کوبایا و همکاران برای حذف رنگ پساب نساجی با استفاده از الکترود آلومینیوم در زمان تماس ۱۲ دقیقه، pH بهینه برابر ۶/۴ تعیین شد [۲۲]. در مطالعات ادهم و همکاران pH بهینه بین ۴ تا ۶ بوده که در این محدوده می‌توان فاضلاب کارخانه روغن زیتون را بدون نیاز به تنظیم pH با راندمان ۷۶ درصد حذف COD،۹۱ درصد پلی فنل‌ها و ۹۵ درصد رنگ در مدت زمان ۲۵ دقیقه تصفیه کرد [۱۵].

۴- بررسی میزان انرژی مورد نیاز الکتریکی به ازای هر متر مکعب پساب تصفیه شده

بیشترین هزینه راهبری انعقاد الکتریکی وابسته به انرژی مصرفی در طی فرایند انعقاد الکتریکی است. انرژی الکتریکی مصرف شده در انعقاد الکتریکی بر حسب kWh/m^3 از پساب تصفیه شده با رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$EE/V = \frac{U \times I \times t}{V_r} \qquad (۴)$$

که در این رابطه

U ولتاژ مصرفی در طی فرایند بر حسب ولت V، I شدت جریان کاربردی بر حسب آمپر A، t زمان واکنش بر حسب دقیقه و Vr حجم راکتور بر حسب لیتر است.

با توجه به اینکه یکی از پارامترهای مهم در انتخاب یک فرایند مناسب برای تصفیه، اقتصادی بودن فرایند است، بنابراین در فرایند EC این معیار نیز مورد بررسی قرار گرفت.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، انرژی الکتریکی مصرف شده در طی فرایند EC در شرایط بهینه برای الکترود آهن، آلومینیوم و

[1] Drouiche et al.
[2] Lung Chou et al.
[3] Bayramoglu
[4] Kobaya et al.

Archive of SID
www.SID.ir

آهن-آلومینیوم به‌ترتیب ۲۷۰۰،۲۰۲۵،۲۳۶۲ کیلووات ساعت بر مترمکعب بوده است. با توجه به‌نتایج به‌دست آمده، انرژی الکتریکی مصرفی در استفاده از الکترودهای آلومینیوم کمتر از آرایش‌های دیگر است ولی از آنجایی که فلز آلومینیوم نسبت به آهن گران قیمت‌تر است و اختلاف زیادی بین انرژی الکتریکی مصرفی بین الکترود آهن و آلومینیوم وجود ندارد و همچنین راندمان حذف COD و دترجنت با الکترود آهن بیشتر است، استفاده از الکترود آهن اقتصادی‌تر است. از طرف دیگر انتظار می‌رفت در استفاده همزمان الکترودهای آهن و آلومینیوم به‌دلیل تولید توأم یون‌های AL^{3+} و Fe^{3+} راندمان حذف بیشتر باشد ولی نتایج خلاف این را نشان داد. به‌علاوه از نظر انرژی الکتریکی مصرفی نیز میزان مصرف الکترودهای آهن و آلومینیوم نسبت به آرایش‌های دیگر بالاتر بود.

۵- بررسی سرعت تجزیه COD، کدورت، فسفات و دترجنت با توجه به ثابت سرعت واکنش

سرعت واکنش برای بیان کاهش غلظت مواد واکنش دهنده و یا افزایش غلظت محصولات واکنش به‌کار می‌رود. سرعت واکنش تابع درجه حرارت، فشار و غلظت ماده واکنش‌گر است. واکنش‌ها ممکن است دارای درجه صفر، یک و یا دو باشند. محاسبه این ضرایب در این پژوهش حاکی از آن بود که درجه واکنش‌ها صفر است. در واکنش‌های درجه صفر، سرعت تغییر در غلظت ماده مورد نظر مستقل از غلظت آن است و بنابراین سرعت تغییر در غلظت ماده شرکت کننده در واکنش همیشه عدد ثابتی است.

با توجه به نتایج مشخص شد که ثابت سرعت واکنش فرایند برابر ۶/۱۳ (R^2=۰/۹۶۶) برای زوج الکترود Al-Fe و در زوج الکترودهای Fe-Fe و Al-Al به ترتیب۱۲/۴۷(R^2=۰/۹۵۳)و ۸/۴۸ (R^2=۰/۹۹۲) است که به این ترتیب، الکترود مناسب برای به‌دست آمدن بیشترین میزان حذف COD الکترود آهن است.

طبق نتایج، ضرایب K در آرایش‌های مختلف الکترود در حالت‌های Al-Fe، Fe-Fe و Al-Al در حذف دترجنت به‌ترتیب ۱/۷۶ (R^2=۰/۹۹)، ۲/۵۵ (R^2=۰/۹۵۶)و ۱/۳۶(R^2=۰/۹۸۷) هستند. بنابراین بیشترین راندمان حذف دترجنت زمانی به‌دست می‌آید که از الکترودهای آهن استفاده شود.

ضرایب K در آرایش‌های مختلف الکترود در حالتهای Al-Fe، Fe-Fe و Al-Al در حذف کدورت به ترتیب ۲/۳۳ (R^2=۰/۹۹۵)، ۱/۱۴(R^2=۰/۹۸۶)و ۲/۴۶ (R^2=۰/۹۸۱) است. بنابراین بیشترین راندمان حذف کدورت زمانی به‌دست می‌آید که از الکترودهای آلومینیوم استفاده شود.

ضرایب K در آرایش‌های مختلف الکترود در حالت های Al-Fe، Fe-Fe و Al-Al در حذف فسفات به ترتیب ۰/۱۱۴ (R^2=۰/۹۹۸)، ۰/۱۳۱ (R^2=۰/۹۹۴)و ۰/۲۱۹ (R^2=۰/۹۹۲) است. بنابراین بیشترین راندمان حذف فسفات زمانی به‌دست می‌آید که از الکترودهای آلومینیوم استفاده شود.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق چگونگی حذف آلاینده‌های COD، کدورت، دترجنت و فسفات از روش انعقاد الکتریکی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست آمده، کارایی حذف آلاینده‌ها با افزایش ولتاژ و زمان تماس رابطه مستقیم دارد. همچنین نتایج نشان داد که راندمان حذف COD در pH اسیدی با ولتاژ ۳۰ و با استفاده از الکترودهای آهن ۹۴درصد، راندمان حذف دترجنت در pH خنثی با ولتاژ ۳۰ و الکترود آهن ۹۴ درصد و راندمان حذف کدورت و فسفات در pH خنثی با ولتاژ ۳۰ و الکترود آلومینیوم ۱۰۰درصد است.

در نهایت نتیجه‌گیری می‌شود که فرایند انعقاد الکتریکی می‌تواند به‌عنوان یک روش مطمئن، قابل انعطاف، سریع، مؤثر و اقتصادی به‌منظور تصفیه پساب کارواش‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

۷- قدردانی

نویسندگان این مقاله از ریاست محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان به خاطر حمایت از این تحقیق و فراهم نمودن امکانات لازم و همچنین از آقای مهندس رحیمی به خاطر همکاری در انجام تحقیق تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۸- مراجع

1- Javid, A. H. (2008). "Survey of detergent removal methods from industrial wastewater and its standard." *J. of Environmental Technology and Science*, 3, 29-34 .(In Persian)

2- Shahmansori, M. R. (2006). "Investigation of detergent waste water treatment by coagulation process in lab scale." *J. of Yazd University of Medical Science*., 1, 62-65. (In Persian)

3- Rostami, A. (2003). "Study of surfactant wastewater treatment and its recovery." M.Sc. Thesis, Dept. of Chemistry, Sharif University of Tech., Tehran. (In Persian)

Archive of SID
www.SID.ir

4- Rahmani, A. (2009). "Efficiency of electrocoagulation for removal of Ario Chrome Black T color from wastewater." *J. of Water and Wastewater*, 69, 52-58. (In Persian)
5- Mahvi, A. H. (2009). "Survey of electrocoagulation process with Al electrode for Cr removal from aquatic environment." *J. of Water and Wastewater*, 62, 28-34.(In Persian)
6- Rahmani, A. (2009). "Survey of electrocoagulation process for COD removal from wastewater." *J. of Water and Wastewater*, 64 , 9-14.(In Persian)
7- Holt, P. K., Barton, G. W., Wark, M., and Mitchell, C. A. (2005). "The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology." *Chemosphere*, 59, 355-367.
8- Sengil, I. A., and Ozacar, M. (2006). "Treatment of dairy wastewater by electro coagulation using mild steel electrodes." *J. of Hazardous Materials*,137, 1197-1205.
9- Feng, C., Sugiura, N., Shimada, S., and maekawa, T. (2003). "Development of a high performance electrochemical wastewater treatment system." *J. of Hazardous Materials*, 103, 65-78.
10- Irdemez, S., Demiricioglu, N., Yildiz, Y. S., and Bingul, Z. (2006). "The effect of current density and phosphate concentration on phosphate removal from wastewater by electro coagulation using aluminum and iron plate electrodes." *Separation and Purification Technology*, 52, 218-222.
11- Ciorba, G. A., Radovan, C., Vlaicu, I., and pitulice, L. (2000). "Correlation between organic component and electrod material, consequences on electromechanical removal of surfactants from wastewater." *Electrochim Acta*, 46, 297-303.
12- Un, U. T., Ugur, S., Koparal, A. S., and Ogutveren, U. B. (2006). "Elecrocoagulation of olive mill wastewaters." *Separation and Purification Technology*, 52, 136-140.
13- Ge, J., Qu, J., Lei, P., and Liu, H. (2004). "New bipolar electrocoagulation-electroflotation process for the treatment of laundry wastewater." *Separation and Purification Technology*, 36, 33-39.
14- Onder, E., Koparal, A. S., and Ogutveren, U. B. (2007). "An alternative method for the removal of surfactants from water: Electrochemical coagulation." *Separation and Purification Technology*, 52, 527-532.
15- Adhoum, N. (2004). "Treatment of electroplating wastewater containing Cu^{2+} , Zn^{2+} and Cr (VI) by electrocoagulation." *J. of Hazard. Mater.*, 112 (3), 207-213
16- Irdemez, S., Yildiz, Y. S., and Tosunoglu, V. (2006). "Optimization of phosphate removal from wastewater by electrocoagulation with aluminum plate electrodes." *Separation and Purification Technology,* 52, 394-401.
17- Drouichen, N., Aoudj, S., Hecini, M., Ghaffour, N., Lounici, H., and Mameri, N. (2009). "Study on the treatment of photovoltaic wastewater using electorcoagulation fluoride removal with Aluminium electrodes characteristics of products." *J. of Hazard. Materials*, 169 (1-3), 65-69.
18- Lung Chou, W., Tawang, Ch., and Chang, Sh. (2009). "Study of COD and turbidity removal from real-CMP wastewater by Iron electrocoagulation and evaluation of specific energy consumption." *J. of Hazardous Material*, 168 (2-3), 1200-1207.
19- Mahvi, A. H. (2006). "Efficiency of detergent removal with activated sludge process in Shahrak Ghods wastewater treatment plant." *J. of Gonabad University of Medical Science*, 2, 37-41. (In Persian)
20- Irdemez, S., Demiricioglu, N., Yildiz, Y. S., and Bingul, Z. (2006). "The effect of current density and phosphate concentration on phosphate removal from wastewater by electro coagulation using aluminum and iron plate electrodes." *Separation and Purification Technology*, 52 (2), 218-223.
21- Bayramoglu, M., Kobya, M., Eyvaz, M., and Senturk, E. (2006). "Technical and economical analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater." *Separation and Purification Technology*, 51, 401-408.
22- Kobaya, M., Cftci, C., Bayramoglu, M., and Snsoy, M. T. (2008). "Study on the treatment of waste metal cutting fluids using electrocoagulation." *Separation and Purification Technology*, 60(3) , 285-291.

Archive of SID

www.SID.ir