علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره یک ، فروردین ماه ۹۸

تصفیه پساب واحد E-PVC پتروشیمی با استفاده از روش انعقاد الکتریکی

حسین حسینی [۱*]

pedram465@yahoo.com

علی اکبر عظمتی[۲]

سید محمد رضا موسوی نیا[۳]

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۱۵ **تاریخ پذیرش:۹۵/۵/۲۰**

چکیده

زمینه و هدف: انعقاد الکتریکی یک فرآیند الکتروشیمیایی می‌باشد که برای تصفیه پساب و خالص سازی آب موثر می‌باشد. در این پژوهش از روش انعقاد الکتریکی که براساس تبادل الکترونی، لخته‌سازی و شناورسازی اقدام به حذف آلودگی‌ها می‌کند برای تصفیه پساب واحد E-PVC پتروشیمی اروند استفاده گردید.

روش بررسی: بخش عمده آلودگی‌های این واحد شامل ذرات جامد معلق، ذرات جامد حل شده و اکسیژن می‌باشد. در این کار تحقیقاتی یک واحد ناپیوسته و یک واحد پیوسته انعقاد الکتریکی ساخته شد. با استفاده از نرم افزار Design Expert 7 طراحی آزمایش انجام شده و داده‌های حاصل تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از آنالیز نشان می‌دهد که عامل‌های چگالی جریان، تعداد الکترودها و pH به ترتیب مهم‌ترین عامل‌های تاثیرگذار بر پاسخ می‌باشند که در این بین چگالی جریان به عنوان مهم‌ترین عامل تاثیرگذار مطرح می‌باشد. پارامترهای زمان و فاصله الکترودها تاثیر کم‌تری در مقایسه با پارامترهای اصلی ذکر شده دارند. علاوه بر اهمیت عوامل، اثرات افزایشی یا کاهشی آن‌ها بر بازده نیز توسط نمودارهای پاسخ سطحی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که فرآیند انعقاد الکتریکی به راحتی می‌تواند آلاینده‌های مهم موجود در پساب واحد E-PVC را از بین ببرد.

بحث و نتیجه گیری: نتایج حاصل از آنالیز آزمایشگاهی پساب خروجی از واحد E-PVC، بیان‌گر عملکرد مناسب فرآیند انعقاد الکتریکی می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که فرآیند انعقاد الکتریکی به راحتی می‌تواند آلاینده‌های مهم موجود در پساب را از بین ببرد. عملکرد این فرآیند را می‌توان به‌صورت ذیل بیان نمود: حذف TSS: ٪۹۵-۸۴، TDS: ٪۸۰-۵۱، COD: ٪۹۲-۸۰، OD: ٪۹۵-۸۰ و TN و TP بیش از ٪۸۰.

واژه های کلیدی : تصفیه پساب واحدE-PVC، انعقاد الکتریکی ، پاسخ‌دهی سطحی، طراحی آزمایش.

۱- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آبادان، آبادان، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آبادان، آبادان، ایران

۳- گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ماهشهر، ماهشهر، ایران.

J.Env. Sci. Tech., Vol 21, No.1, March, 2019

Treatement of the Wastewater from E-PVC Unit in a Petrochemical Company Using Electrocoagulation Method

Hossein Hosseini[1*]
Pedram465@yahoo.com
Ali-Akabr Azemati[2]
Mohammad Reza Mousavinia[3]

Admission Date: August 10, 2016 Date Received: November 6, 2014

Abstract

Background and Objective: Electrocoagulation is an electrochemical process which is proven to be effective in water and wastewater treatment. In this research study, electrocoagulation method which was based on electron exchange, flocculation and flotation was used for the treatement of wastewater vrom E-PVC unit in Arvand Petrochemical Company.

Method: Most of the contaminants from this unit contain suspended solids, dissolved solids and chemical oxygen. In this study, the batch and continuous units of electrocoagulation process were built. The experimental design was carried out by Design Expert 7 software.

Findings: Results of the analysis show that density of flow, number of electrodes and PH are the most important parameters. Time and distance between electrodes are less effective than the original parameters listed. In addition, the increased or decreased effect on efficiency of the surface response is evaluated. Results showed that electrocoagulation process could conveniently remove major pollutants from the E-PVC unit.

Discussion and Conclusion: The experimental analysis of the wastewater from the E-PVC unit indicate the proper operation of the electrical coagulation process. These results indicate that the electrical coagulation process can easily remove significant pollutants from the wastewater. The function of this process can be expressed as TSS removal: 84-95%, TDS: 51-80%, COD: 80-92%, OD: 80-95%, and TN and TP over 80%.

Keywords: Wastewater treatment, E-PVC unit, Electrocoagulation, Surface response, Experimental design

1- Assistant Prof., Department of Chemical Engineering, Abadan Branch, Islamic Azad University, Abadan, Iran*(Corresponding Author).
2- Assistant Prof., Department of Mechanical Engineering, Abadan Branch, Islamic Azad University, Abadan, Iran.
3- Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran.

مقدمه

به‌دلیل آلوده شدن و کاهش منابع آبی، توسعه قابل توجهی در تکنولوژی‌های تصفیه آب و پساب در جهان در حال انجام است. منعقد و لخته‌سازی شیمیایی از جمله روش‌های مورد استفاده در سیستم‌های تصفیه آب جهت از بین بردن آلودگی‌ها از آب و پساب‌ها هستند. کاربرد اصلی آن‌ها در افزایش جداسازی ذرات در فرآیندهای ثانویه مانند فیلتراسیون، ته‌نشینی یا شناورسازی است. منعقدکننده‌های شیمیایی در هر دو نوع سیستم‌های تصفیه آب شهری و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد می‌توانند جداسازی چندین نوع از آلودگی‌ها از آب را افزایش دهند. چند نمونه از آلودگی‌هایی که می‌توانند جدا شوند عبارتند از مواد مغذی، فلزات سنگین سمی، مواد آلی طبیعی و غیره. اکثر منعقدکننده‌های مورد استفاده نمک‌های آهن و آلومینیوم مانند سولفات‌ها و کلریدها هستند. این نمک-های معدنی، با توجه به ویژگی‌های آب مانند pH و غلظت آنیون‌ها محصولات هیدرولیز متفاوتی را تشکیل می‌دهند. انعقاد سازی توسط الکتریسیته به‌عنوان یک جایگزین پیشرفته انعقاد سازی شیمیایی در جداسازی آلودگی‌ها از منابع آبی و آلودگی-ها پیشنهاد می‌شود. در این تکنولوژی، کاتیون‌های فلزی از طریق حل‌شدن الکترودهای فلزی، درون آب آزاد شده و باعث جداسازی آلودگی‌ها از آب می‌شوند. اما واکنش‌های جانبی دیگری مانند تخریب نمک‌های بر روی سطح که می‌تواند باعث کاهش شدید بازده جذب پس از گذشت زمان شوند نیز وجود دارند. انعقاد شیمیایی و EC دارای مکانیسم ناپایدارسازی مشترک هستند. به‌طور کلی بخش عمده آلودگی‌های موجود در منابع آب و پساب‌ها ذرات کلوییدی هستند که به‌علت پایداری‌شان در آب به راحتی با روش‌های مرسوم مانند فیلتراسیون، ته نشینی و معلق سازی جداسازی نمی‌شوند. به‌علت اندازه کوچک و سطح ویژه بالا، این ذرات خصوصیات ویژه‌ای دارند(۱). کلوییدها در آب‌های طبیعی و معمولا پساب‌ها حالت پخش شوندگی ندارند و دارای محدوده‌ی وسیعی از ذرات با اندازه‌های متفاوت هستند(۲). پایدارای و عدم پایداری کلوییدها در محلول‌ها نتیجه بار سطحی آن‌ها می‌باشد. سطح غوطه‌وری کلوییدها درون یک محلول می‌تواند به‌وسیله یونیزاسیون گروه‌های سطحی، جذب سطحی یون، حل شدن یون‌های جامد یا به‌وسیله جایگزینی یک شکل، تغییر پیدا کند. اکثر سطوح کلوییدها دارای گروه‌های عاملی قابل یونیزاسیون نظیر OH- ، COOH- و NH_2- هستند. بار سطحی به یونیزاسیون این گروه‌های عاملی وابسته بوده و روی pH محلول تاثیر می‌گذارد(۳). جذب سطحی اتم‌ها باعث ایجاد یک بار قوی بر روی بار سطحی ذرات می‌شود. انحلال جامدهای یونی در صورتی که انحلال آنیون‌ها و کاتیون‌ها از جامد نامساوی باشد می‌تواند سبب ایجاد بار برروی سطوح شود. هنگامی که بار بر روی سطوح ایجاد می‌شود، برروی یون‌های اطراف در محلول اثر می‌گذارد. یون‌های دارای بار مخالف به‌سوی سطح جذب می-شوند و یون‌های دارای بار هم‌نام از هم دور می‌شوند. این جداسازی بار روی سطوح ذرات باعث تشکیل دو لایه‌ای الکتریکی (EDL) می‌شود که در شکل ۱ نشان داده شده است (۴). این مکانیسم‌ها می‌توانند به مکانیسم اصلی که سبب ناپایداری آلودگی‌ها شده منجر شود. با مروری بر تحقیقات گذشته (۱۱-۵) می‌توان به این نتیجه رسید که فرآیند انعقاد الکتریکی، فرآیندی موثر و کارآمد برای حذف آلاینده‌ها و تصفیه پساب‌های صنعتی است. اما آن‌چه می‌بایست مورد توجه قرار گیرد بهینه‌سازی شرایط آزمایش و پارامترهای موثر برای پساب‌های صنعتی مختلف و شرایط عملیاتی متفاوت می‌باشد. هدف از این پژوهش، استفاده از روش انعقاد الکتریکی برای حذف آلاینده‌های پساب واحد E-PVC پتروشیمی اروند با در نظر گرفتن این پارامترها می‌باشد. لازم به ذکر است که برای تحلیل دقیق‌تر نتایج، کاهش تعداد آزمایشات از روش‌ها و نرم‌افزارهای طراحی آزمایش استفاده شد.

روش بررسی

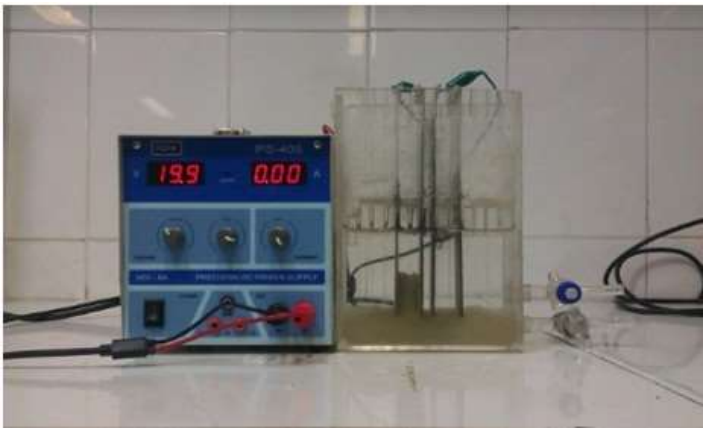
بخش عمده آلودگی‌های این واحد شامل ذرات جامد معلق، ذرات جامد حل شده و اکسیژن می‌باشد. در این کار تحقیقاتی یک واحد ناپیوسته و یک واحد پیوسته انعقاد الکتریکی ساخته شد. با استفاده از نرم افزار Design Expert7 طراحی

آزمایش انجام شده و داده‌های حاصل تحلیل شدند. برای بررسی فرآیند انعقاد سازی سعی شده است تا با استفاده از فرآیند ناپیوسته عملکرد آن مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور با استفاده از صفحات پلکسی گلس، راکتور مورد نظر ساخته شد. نمونه ساخته شده در شکل ۱ نشان داده شده است. الکترودها را به راحتی می‌توان در فواصل مختلفی در طول محفظه جابجا نمود و اثر فاصله را بر این الکترودها مورد مطالعه قرار داد. هر فاصله ۱cm می‌باشد که هر الکترود برای قرار گرفتن در این محفظه می‌بایست پس از عبور از زایده بالا از زایده میانی موازی خود نیز عبور کرده و تا نزدیکی کف محفظه حرکت داده شود.

شکل ۱- نمونه ساخته شده جهت انعقاد الکتریکی ناپیوسته

Figure 1. The prepared sample for electrocoagulation method.

برای جلوگیری از حرکت کامل الکترودها به سمت کف محفظه و ایجاد فاصله مناسب در کف محفظه جهت خروج حباب‌های هیدروژن و اکسیژن، الکترودها بالاتر از کف راکتور قرار می‌گیرند. نمای کلی فرآیند ناپیوسته در ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- دستگاه ناپیوسته انعقاد الکتریکی

Figure 2. The batch setup for electrocoagulation method

یافته‌ها

الکترودهایی که منعقدکننده را به درون آب آزاد می‌کنند، از آهن و آلومینیوم تشکیل شده‌اند. طبق معادلات (۱) و (۲) کاتیون‌های آلومینیوم و آهن در آند حل می‌شوند.

$$Fe(S) \rightarrow Fe\ n+(aq) + ne- \quad (۱)$$

$$Al(S) \rightarrow Al^{3+}(aq) + 3e^{-} \quad (۲)$$

در محیط‌های آبی معمولی و شرایط فرآیند EC، آهن می‌تواند به صورت یون‌های دو ظرفیتی و سه ظرفیتی حل شود، در صورتی که آلومینیوم می‌تواند فقط به صورت سه ظرفیتی حل شود. در کاتد نیز واکنش ذیل انجام می شود:

$$2H_2O + 2e^{-} \rightarrow H_2 + 2OH \quad (۳)$$

علاوه بر حل شدن فراورده‌های آلومینیوم و آهن، دیگر واکنش-های الکتروشیمیایی نیز ممکن است در سیستم EC اتفاق افتد که عبارتند از:

- تولید هیدروژن در کاتدها
- افزایش pH به علت تشکیل یون هیدروکسیل و یا مصرف یون‌های هیدرونیوم
- کاهش یون‌های فلزی در کاتد

پارامترهای متفاوتی در فرآیندEC جهت تصفیه آلودگی‌ها از پساب تأثیر دارند. پارامترهای شناخته شده در این زمینه عبارتند از:

- جنس الکترودها
- pH محلول
- چگالی جریان
- زمان تصفیه یا بار الکتریکی اضافه شده بر واحد حجم
- پتانسیل الکترودها
- غلظت آنیون‌ها
- دیگر پارامترها شامل شرایط هیدرودینامیکی و فاصله داخلی بین الکترودها

در این بخش ابتدا پساب واحد E-PVC پتروشیمی اروند مورد آنالیز قرار گرفته تا میزان و نوع آلودگی‌های آن کاملاً تعیین گردد. سپس با استفاده از فرآیند انعقاد سازی الکتریکی، حذف آلودگی در طی یک فرآیند ناپیوسته سنجیده شد. برای اندازه‌گیری عمل‌کرد فرآیند پارامترهای مختلفی مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند که عبارتند از:

- بازده انعقاد سازی: چگالی نوری یکی از پارامترهای قابل اندازه‌گیری در تصفیه پساب است که می‌تواند به عنوان عامل اندازه‌گیری در تصفیه پساب مورد استفاده قرار گیرد. چگالی نوری یک ماده با چگالی فیزیکی آن ماده متفاوت است. چگالی فیزیکی ماده نسبت جرم به حجم ماده می‌باشد. چگالی نوری یک ماده به گرایش اتم‌های آن ماده برای حفظ انرژی جذب شده از یک موج الکترومغناطیس می‌باشد. هرچه چگالی نوری ماده‌ای کم‌تر باشد، حرکت یک موج در خلال آن ماده کندتر صورت می‌گیرد. برای اندازه‌گیری این پارامتر، نمونه مورد نظر پیش از تصفیه و پس از عملیات توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفته و با استفاده از رابطه ذیل میزان بازده انعقاد سازی اندازه‌گیری می‌شود (ASTM E662-09) :

۱۰۰× چگالی نوری اولیه/ (چگالی نوری نهایی- چگالی نوری اولیه)- بازده انعقاد سازی

- آنالیز پساب خروجی: علاوه بر اندازه‌گیری نوری پارامترهای دیگری نیز مورد بررسی قرار گرفتند که عبارتند از: ذرات جامد معلق کل[1] ذرات جامد محلول[2] نیتروژن و فسفر کل[3] اکسیژن مورد نیاز[4]. این پارامترها جزء مهم‌ترین آلاینده‌های شیمیایی و فیزیکی می‌باشند که اندازه‌گیری آن‌ها نقش مهمی را در ارزیابی تصفیه پساب خواهد داشت.

برای بررسی دقیق‌تر عوامل موثر بر فرآیند تصفیه و کاهش تعداد آزمایش‌ها و هزینه آنها و کاهش زمان از روش‌های طراحی آزمایش‌ها استفاده شد. از مهم‌ترین پارامترهای موثر در

1- Total Suspended Solids (TSS)
2- Total Dissolved Solids (TDS)
3- Total Nitrogen & Total Phosphorus (TN & TP)
4- Chemical Oxygen Demand (COD)

روش انعقاد سازی الکتریکی می‌توان به pH پساب، شدت جریان، جنس الکترودها، فاصله الکترودها، دمای پساب، زمان انجام فرآیند و زمان استراحت اشاره نمود. برای طراحی و تحلیل آزمایشات از نرم افزار Design Expert استفاده شد. در این نرم افزار از روش D-Optimal برای بررسی عوامل موثر استفاده گردید. با توجه به بررسی تجربی و همچنین بررسی منابع در این زمینه، شرایط عملیاتی ویژه ای انتخاب گردید. سپس محدوده این شرایط بسط داده شد. در روش D-optimal آن‌چه در مورد سطوح پارامترها مورد استفاده قرار می‌گیرد سطوح ابتدایی و انتهایی آن می‌باشد. در پارامتر چگالی جریان مقادیر A/m^2 ۲۰ و ۷/۹ به‌ترتیب به‌عنوان نقاط ابتدایی و انتهایی انتخاب شدند. در پارامتر زمان ۲ و۱۰ دقیقه و در پارامتر pH مقادیر ۷ و ۱۰ انتخاب شدند. برای پارامترهای کیفی فاصله و تعداد الکترودها، هر کدام در دو سطح ناپیوسته ۱ و ۲ می‌بایست مورد ارزیابی قرار گیرند. مقادیر و بازه‌های فوق با استفاده از مقادیر موجود در مراجع انتخاب شدند. با استفاده از روش D-optimal نرم افزار فوق ۲۹ آزمایش را پیشنهاد می-کند. از بین این آزمایشات ۱۹ اجرا به‌عنوان اجرای اصلی و ۵ اجرا به عنوان نقاطی که در بین این ۱۹ اجرا موجود نبودند و با استفاده از روش‌های آماری بدست می‌آیند و ۵ اجرا نیز به عنوان تکرار انتخاب شدند که مجموعا ۲۹ اجرا می‌بایست مورد آزمایش قرار گیرند. در صورت عدم استفاده از روش طراحی آزمایشات می‌بایست طبق ۱۰۸ آزمایش انجام می‌شد. پساب واحد E-PVC در ابتدا مورد آنالیز قرار گرفت تا میزان آلاینده‌های شیمیایی و فیزیکی آن تعیین گردد که نتایج آن در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱- نتایج آنالیز پساب ورودی به واحد تصفیه پساب

Table 1. The results of input wastewater to wastewater treatment unit.

پارامتر	مقدار	واحد
جامدات معلق کل (TSS[1])	۵۸۹۰	mg/L
اسیدیته (pH)	۶/۹	-
جامدات محلول کل (TDS[2])	۱۲۸۶	mg/L
فسفات کل (TP[3])	۴/۹۸	mg/L
نیترات (TN[4])	۵/۵۶	mg/L
اکسیژن شیمیایی مورد نیاز (COD[5])	۵۵۹	mg/L
کدورت (۷۵۰ nm)	۰/۹۸	-

1- Total Suspended Solids
2- Total Dissolved Solids
3- Total Phosphor
4- Total Nitrate
5- Chemical Oxygen Demand

همان‌طور که در جدول فوق نشان داده شده است، بخش عمده‌ای از آلودگی‌ها مربوط به جامدات معلق کل، جامدات محلول کل و اکسیژن محلول است. برای اندازه‌گیری بازده فرآیند، پارامتر چگالی نوری به‌عنوان یک پاسخ موثر و کارآمد انتخاب شد. این پاسخ که به راحتی و به‌سرعت توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری می‌شود معیار خوبی برای حذف آلاینده‌های آلی و غیر آلی است. گواه این امر نیز تطابق نتایج حاصل از اندازه‌گیری آنالیز پساب و اندازه‌گیری چگالی نوری می‌باشد. در ابتدای آزمایشات نتایج حاصل از آنالیز پساب با اندازه‌گیری چگالی نوری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بیان‌گر آن است که با کاهش غلظت آلاینده‌ها، چگالی نوری کاهش می‌یابد. در واقع یک رابطه خطی بین غلظت آلاینده‌ها و چگالی نوری برقرار می‌باشد. پساب ورودی به فرآیند تصفیه پساب، پس از انجام عملیات و عبور از واحدهای شفاف‌سازی، تصفیه الکتریکی و ته‌نشین‌سازی از فرآیند خارج شده و مورد آنالیز قرار می‌گیرد. این آنالیز برای ارزیابی عملکرد واحد می‌باشد که ترکیبات و میزان آلودگی باقی مانده در پساب خروجی اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به آلاینده‌هایی که در پساب ورودی مشخص شد، در انتها نیز همان پارامترها مجددا مورد آزمایش قرار گرفتند تا اثرات آن‌ها به‌طور کامل مشخص گردد. بنابراین در طی چندین مرحله از پساب خروجی نمونه برداری شد که نتایج آن در جدول زیر ارایه شده است.

جدول۲- نتایج آنالیز پساب پس از فرآیند انعقاد الکتریکی

Table 2. The results of wastewater analysis after electrocoagulation process.

شماره آزمایش	نوع آنالیز	مقدار	واحد
۳	جامدات معلق کل (TSS)	۶۲۰	mg/L
	اسیدیته (pH)	۷/۴	-
	جامدات محلول کل (TDS)	۲۰۵	mg/L
	فسفات کل (TP)	۱≥	mg/L
	نیترات (TN)	۱≥	mg/L
	اکسیژن شیمیایی مورد نیاز (COD)	۱۱۳	mg/L
	کدورت (۷۵۰ nm)	۰/۲	-
۱۷	جامدات معلق کل (TSS)	۵۱۸	mg/L
	اسیدیته (pH)	۷/۲	-
	جامدات محلول کل (TDS)	۱۶۷	mg/L
	فسفات کل (TP)	۱≥	mg/L
	نیترات (TN)	۱≥	mg/L
	اکسیژن شیمیایی مورد نیاز (COD)	۹۸	mg/L
	کدورت (۷۵۰ nm)	۰/۱۵	-
۲۰	جامدات معلق کل (TSS)	۳۹۰	mg/L
	اسیدیته (pH)	۷/۳	-
	جامدات محلول کل (TDS)	۱۱۱	mg/L

	فسفات کل (TP)	۱≥	mg/L
	نیترات (TN)	۱≥	mg/L
	اکسیژن شیمیایی مورد نیاز (COD)	۶۹	mg/L
	کدورت (۷۵۰ nm)	۰/۱۱	-
۲۵	جامدات معلق کل (TSS)	۲۵۵	mg/L
	اسیدیته (pH)	۷/۳	-
	جامدات محلول کل (TDS)	۶۴	mg/L
	فسفات کل (TP)	۱≥	mg/L
	نیترات (TN)	۱≥	mg/L
	اکسیژن شیمیایی مورد نیاز (COD)	۴۴	mg/L
	کدورت (۷۵۰ nm)	۰/۰۵	-

برای ارزیابی و اطمینان از شرایط بهینه، فرآیند تصفیه بار دیگر در شرایط بهینه حاصل از تحلیل نتایج انجام شد که نتایج آن در جدول زیر نشان داده شده است. این آزمایش به‌صورت دو بار تکرار انجام شده و نتایج گزارش شده به صورت میانگین داده‌های حاصل است.

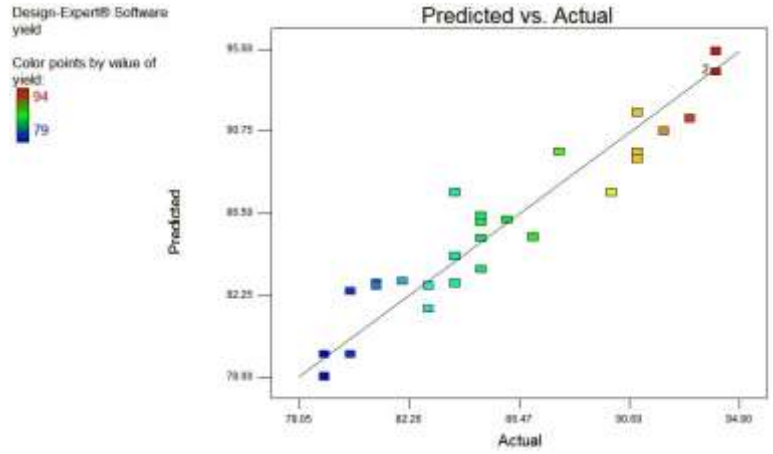
جدول۳- نتایج آنالیز پساب خروجی پس از انجام آزمایشات در شرایط بهینه

Table 3. The results of exit wastewater after experiments in optimized conditions.

پارامتر	مقدار	واحد
جامدات معلق کل (TSS)	۲۲۸	mg/L
اسیدیته (pH)	۷/۳	-
جامدات محلول کل (TDS)	۵۶	mg/L
فسفات کل (TP)	۱≥	mg/L
نیترات (TN)	۱≥	mg/L
اکسیژن شیمیایی مورد نیاز (COD)	۴۰	mg/L
کدورت (۷۵۰ nm)	۰/۰۴	-

بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که عامل‌های چگالی جریان، تعداد الکترودها و pH به‌ترتیب مهم‌ترین عامل‌های تاثیرگذار بر پاسخ می‌باشند که در این بین چگالی جریان به‌عنوان مهم‌ترین عامل تاثیرگذار مطرح است. اشاره نکردن به پارامترهای زمان و فاصله الکترودها دلیل بر عدم تاثیرگذاری این پارامترها بر فرآیند نبوده بلکه تاثیر آن‌ها در مقایسه با پارامترهای اصلی ذکر شده بسیار جزیی بوده و گاهی در مقیاس با آن‌ها قابل اغماض می‌باشد. همچنین برهم‌کنش‌های مابین پارامترهای تعداد الکترودها - PH و فاصله الکترودها - PH نیز به‌عنوان تاثیرگذارترین عوامل مطرح می‌باشند. در ادامه نتایج پیش بینی شده و نتایج واقعی حاصل از آزمایش مورد بررسی قرار می‌گیرند که در شکل ۳ نشان داده شده است.

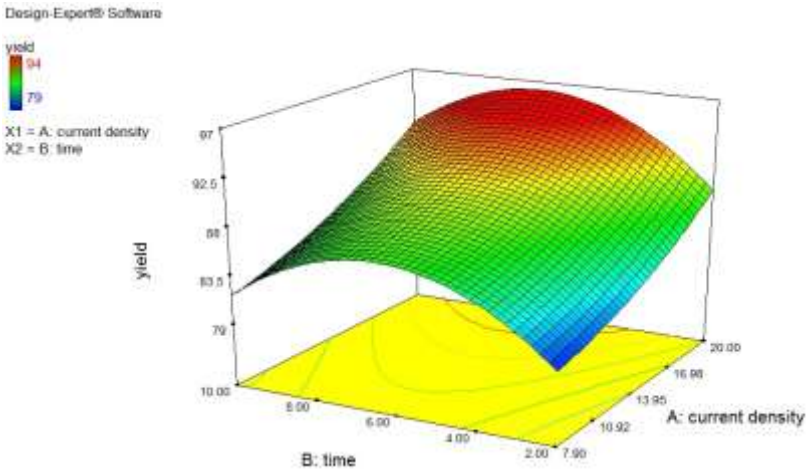


شکل۳- مقایسه نتایج حاصل از پیش بینی و نتایج واقعی

Figure 3. The comparison between the predicted and actual results.

همان‌طوری‌که در شکل فوق نشان داده شده است داده‌های حاصل از آزمایش و داده‌های پیش بینی شده توسط مدل تطابق خوبی داشته که این تطابق در کل داده‌ها مشاهده می‌شود. تنها یک نقطه در این نمودار وجود دارد که این تطبیق در آن به خوبی صورت نگرفته که این امر را می‌توان به عوامل مختلفی از جمله خطاهای آزمایش نسبت داد. بنابراین با اطمینان بالایی می‌توان از مدل‌های ارایه شده برای پیش بینی نتایج استفاده نمود.

آن‌چه روش پاسخ دهی سطحی را به آشکارا از سایر مدل‌های طراحی آزمایشات متمایز می‌سازد بررسی اثر بین عوامل مختلف می‌باشد که در نرم افزار Design Expert این ویژگی به خوبی توسط اشکال سه بعدی ارایه می‌شود که نتایج آن در شکل‌های ذیل نشان داده شده است.

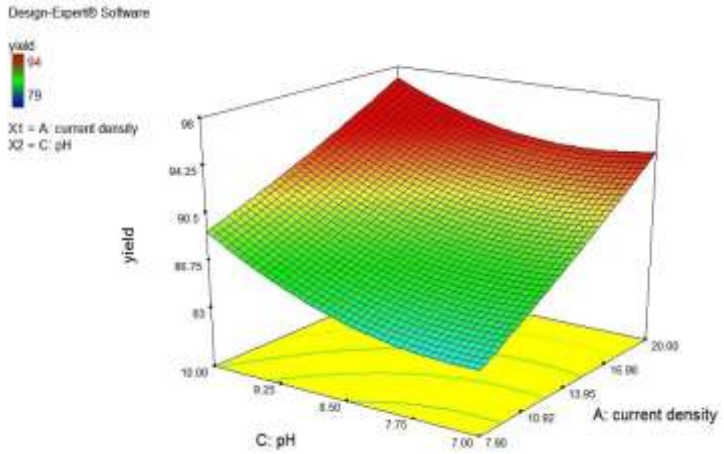


شکل ۴- بررسی تاثیر هم‌زمان چگالی جریان - زمان بر بازده با استفاده از روش پاسخ دهی سطحی

Figure 4. The effect of current density - time on efficiency using response surface method.

نقاط قرمز بر روی نمودار بیش‌ترین بازده و نقاط آبی رنگ کم‌ترین بازده را دارا می‌باشند و نقاطی با رنگ‌های فی مابین بازده‌های متوسط را نشان می‌دهد. در مجموع همان‌طور که از شکل ۴ پیداست می‌بایست جهت افزایش بازده و دست‌یابی به بازده بالا چگالی جریان را افزایش داد. اما از طرفی می‌بایست جنبه‌های اقتصادی فرآیند را نیز مد نظر قرار داد. بدیهی است که افزایش چگالی جریان و زمان انجام فرآیند مصرف انرژی فرآیند را افزایش داده و هزینه تمام شده تصفیه هر مترمکعب پساب را افزایش می‌دهد. لذا می‌بایست تا حد ممکن فرآیند را در بازه‌های زمانی و چگالی جریان مناسب که در آستانه بازده

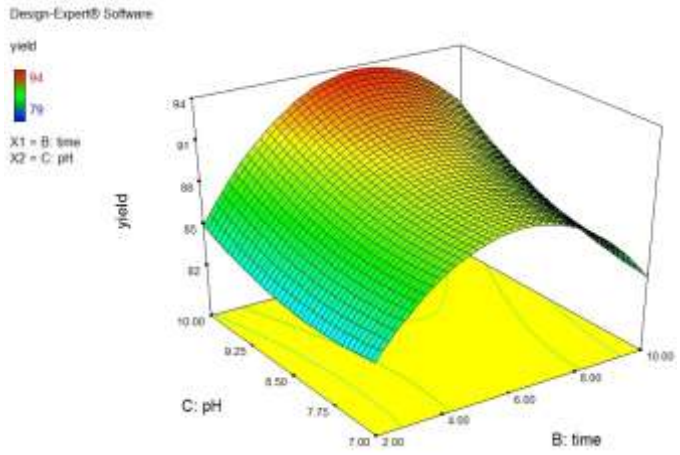
حداکثری می‌باشد اجرا نمود. بنابراین با توجه به نتایج حاصل، استفاده از فرآیند در چگالی‌های جریان متوسط رو به بالا و زمان‌های متوسط پیشنهاد می‌شود. در صورتی که زمان و چگالی جریان کم‌تر از این آستانه باشد بازده کم‌تر انتظار می‌رود. پس از آن تاثیر چگالی جریان و pH بر بازده فرآیند در شکل بررسی شده است.



شکل ۵- بررسی تاثیر هم زمان چگالی جریان - PH بر بازده با استفاده از روش پاسخ دهی سطحی

Figure 5. The effect of current density - PH on efficiency using response surface method.

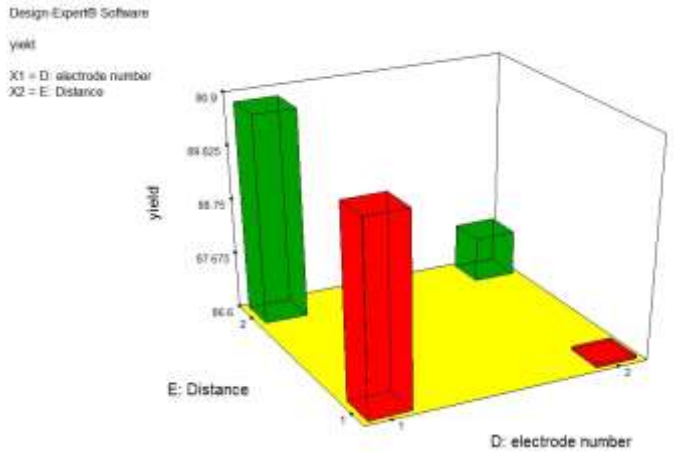
همان‌طور که شکل فوق نشان داده شده است با افزایش چگالی جریان بازده فرآیند افزایش می‌یابد. زمانی که چگالی جریان از مقادیر متوسط افزایش می‌یابد به تبع آن نیز بازده فرآیند افزایش می‌یابد. اما با نگاهی اجمالی به اثر pH بر بازده، این نکته نتیجه می‌شود که این افزایش بازده برای pH های بالا در چگالی جریان کم‌تر اتفاق می‌افتد. زمانی که pH پساب کم است می‌بایست چگالی جریان بالایی را به فرآیند تحمیل نمود تا بتوان بازده بالا را انتظار داشت اما زمانی که pH فرآیند بالاست در چگالی جریان متوسط و کمتر از آن می‌توان انتظار بازده بالا را داشت. بنابراین با توجه به ماهیت فرآیند و پساب و شرایط عملیاتی چگالی جریان را می‌توان تغییر داد. به‌طور مثال زمانی که پساب دارای pH بالایی باشد جهت کاهش هزینه‌های فرآیند و کاهش مصرف انرژی می‌توان از چگالی جریان نسبتا کم تا متوسط استفاده نمود یا زمانی که افزایش pH فرآیند، امری آسان باشد و یا هزینه‌های افزایش pH در مقابل افزایش بازده ناشی از آن ناچیز باشد می‌توان عملیات را در pH های بالا انجام داد. اما زمانی که پساب دارای pH پایینی باشد می‌بایست از چگالی جریان بالایی استفاده نمود تا بازده مناسب حاصل شود. لازم به تاکید است که همواره استفاده از pH و چگالی جریان مناسب با توجه به اقتصاد فرآیند و هزینه‌های عملیاتی تعیین می‌گردند. در ادامه تاثیر همزمان پارامترهای زمان و pH مورد بررسی قرار خواهد گرفت که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل۶- بررسی تاثیر هم زمان B-C بر بازده با استفاده از روش پاسخ دهی سطحی

Figure 6. The effect of B - C on efficiency using response surface method.

در شکل فوق تاثیر هم‌زمان دو پارامتر زمان و pH بر بازده فرآیند مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است بیش‌ترین بازده در زمان‌های متوسط و pH های بالا اتفاق می‌افتد که تایید نتایج پیشین می‌باشد. زمانی که بخواهیم بازده بالایی از فرآیند را در زمان‌های متوسط داشته باشیم می‌بایست pH پساب در مقادیر آستانه تا بالا قرار داشته باشد. بدیهی است که در pH های پایین‌تر از مقدار آستانه بازده کاهش خواهد یافت. قابل توجه است که این pH آستانه تنها در زمان‌های متوسط قابلیت اجرایی داشته و در زمان‌های کم‌تر و یا بیش‌تر از این میزان نمی‌توان بازده بالا را متوقع بود. اما در زمان‌های اندکی کم‌تر و یا بیش‌تر از زمان متوسط بازده‌های نزدیک به بازده حداکثری حاصل خواهد شد. انتخاب هر کدام از مقادیر بهینه با توجه به ماهیت پساب و هزینه عملیاتی و فرآیندی انجام می‌گیرد. در ادامه دو پارامتر تعداد و فاصله الکترودها که به‌عنوان پارامترهای کیفی می‌باشند به‌صورت هم‌زمان مورد بررسی قرار می‌گیرند که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل۷- بررسی اثرات دو عامل کیفی تعداد و فاصله الکترودها

Figure 7. The effects of the number and spacing of the electrodes.

پارامترهای تعداد و فاصله الکترودها نمی‌توانند به‌صورت کمی و پیوسته بررسی شوند، بلکه این پارامترها می‌بایست به‌صورت کیفی و گسسته مورد بررسی قرار گیرند. در شکل فوق این اثرات به‌خوبی نشان داده شده است. زمانی که تعداد الکترودها در سطح ۱ (یک جفت الکترود) و فاصله آن‌ها در سطح ۲ (۲cm) باشند بازده فرآیند به‌صورت حداکثری خواهد بود.

کاهش فاصله به سطح ۱ تاثیری زیادی بر فرآیند نخواهد داشت اما باعث کاهش جزیی در میزان بازده خواهد شد. افزایش هم‌زمان در تعداد و فاصله الکترودها به‌دلیل نقش مهم تعداد الکترودها که میزان بازده را تحت تاثیر قرار می‌دهد منجر به کاهش بازده فرآیند خواهد داشت.

نتایج حاصل از آنالیز آزمایشگاهی پساب خروجی از واحد E-PVC، بیان‌گر عمل‌کرد مناسب فرآیند انعقاد الکتریکی می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که فرآیند انعقاد الکتریکی به راحتی می‌تواند آلاینده‌های مهم موجود در پساب را از بین ببرد. عملکرد این فرآیند را می‌توان به‌صورت ذیل بیان نمود: حذف TSS: ۸۴-۹۵٪، TDS: ۵۱-۸۰٪، COD: ۸۰-۹۲٪، OD: ۸۰-۹۵٪ و TN و TP بیش از ۸۰٪. نتایج حاصل از آنالیز بیان‌گر افزایش بازده فرآیند در صورت انجام فرآیند در حالت بهینه می‌باشد. بازده فرآیند برای چگالی نوری در این شرایط ۹۶٪ حاصل شد. نتایج حاصل از آنالیز نشان می‌دهد که عامل‌های چگالی جریان، تعداد الکترودها و pH به‌ترتیب مهم‌ترین عامل‌های تاثیرگذار بر پاسخ می‌باشند که در این بین چگالی جریان به عنوان مهم‌ترین عامل تاثیرگذار مطرح می‌باشد. باتوجه به نتایج ارایه شده در این کار تحقیقاتی می‌توان به این نتیجه رسید که فرآیند انعقاد الکتریکی، فرآیندی موثر و کارآمد برای حذف آلاینده‌ها و تصفیه پساب‌های صنعتی است.

Reference

1. Cosgrove, T., 2010. Colloid science: principles, methods and applications, New York: John Wiley & Sons, pp.45-78.
2. Crittenden, J.C., 2012. MWH's Water Treatment: Principles and Design, New York: Wiley, pp.3-45.
3. Bratby, J., 2006. Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment, Frankfurt: IWA Publishing, pp.12-46.
4. Scholz, F., 2009. Electroanalytical methods: guide to experiments and applications, Washington: Springer, pp.2-68.
5. Lakshmanan, D., Clifford, D.A., Samanta, G., 2010. Comparative study of arsenic removal by iron using electrocoagulation and chemical coagulation. Water Research, Vol. 19, pp. 5641-5652.
6. Kabdasli, I., Urguz, L., 2007. Comparison of electrocoagulation, coagulation and the Fenton process for the treatment of reactive dyebath effluent. Water Science & Technology, Vol. 55, pp. 125-134.
7. Roa-Morales, G., 2007. Aluminum electrocoagulation with peroxide applied to wastewater from pasta and cookie processing, Separation and Purification Technology, Vol. 54, pp. 124-129.
8. Świetlik, J., 2004. Reactivity of natural organic matter fractions with chlorine dioxide and ozone. Water Research, Vol. 38, pp. 547-558.
9. Boroski, M., Kromski, M., 2008. The effect of operational parameters on electrocoagulation–flotation process followed by photocatalysis applied to the decontamination of water effluents from cellulose and paper factories. Journal of Hazardous Materials, Vol.160, pp. 135-141.
10. Yu, M., Hi, H., Lee, M., 2005. Evaluation of bipolar electrocoagulation applied to biofiltration for phosphorus removal. Water Science & Technology, Vol. 51, pp. 231-239.
11. Modirshahla, N., Behnajady, M.A., Mohammadi, S., 2008. Investigation of the effect of different electrodes on the removal efficiency of 4-nitrophenol from aqueous solutions by electrocoagulation, Journal of Hazardous Materials, Vol.154, pp.778-786.