

Process Performance with DC Current in Treatment of Poultry Slaughterhouse Wastewater Using Aluminum Electrodes

Zabihollah Yousefi¹,
Hossein Sahebian²,
Abdoliman Amouei³,
Reza Ali Mohammadpour⁴,
Ebrahim Zarei⁵

¹ Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

² MSc Student in Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

³ Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Biostatistics, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

⁵ Assistant Professor, Department of Basic Sciences, Farhangian University, Tehran, Iran

(Received February 26, 2018 ; Accepted February 24, 2018)

Abstract

Background and purpose: Poultry slaughterhouses produce high rates of polluted effluent. They can contaminate the environment if not treated properly. This study aimed at investigating the performance of electrocoagulation process with direct (DC) current in treatment of poultry slaughterhouse effluent using aluminum electrodes.

Materials and methods: This study was performed as an experimental study on a pilot scale on poultry slaughterhouse effluent. In this experiment, direct flow and four aluminum electrodes, which were spaced two centimeters apart, were used as monopole. We investigated the percentage of organic load waste removal (COD, BOD₅) and different pH changes, at 6, 12, and 18 V, and pH 3, 5, 7, and 9, and different reaction times (10, 30, 60, 90 min).

Results: The removal efficiency of COD and BOD₅ using DC current was optimally at 18 V and pH=7 that occurred in 45 min (84.86%, 88.93%, respectively). Final pH was found to be 8.47.

Conclusion: According to current findings, electrocoagulation process can be used as a combined process with high efficiency in removal of slaughterhouse effluent contaminants, so, using this technique can produce wastewater according to the standards.

Keywords: electrocoagulation, aluminum electrodes, effluent treatment, poultry slaughterhouses

J Mazandaran Univ Med Sci 2019; 29 (172): 53-66 (Persian).

* Corresponding Author: Abdoliman Amouei Faculty of Health, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran
(E-mail: iamouei1966@gmail.com)

کارایی فرآیند لخته سازی الکتریکی با جریان مستقیم در تصفیه پساب کشتارگاه مرغ با استفاده از الکترودهای آلومینیومی

ذبیح الله یوسفی^۱
حسین صاحبیان^۲
عبدالایمان عمویی^۳
رضاعلی محمدپور^۴
ابراهیم زارعی^۵

چکیده

سابقه و هدف: کشتارگاه مرغ از مراکز تولید فاضلاب با بار آلودگی بالا می باشد و در صورت عدم تصفیه مناسب می تواند آلودگی های فراوانی را در محیط ایجاد کند. مطالعه حاضر با هدف کارایی فرآیند لخته سازی الکتریکی با جریان مستقیم در تصفیه پساب کشتارگاه مرغ با استفاده از الکترودهای آلومینیومی انجام پذیرفت.

مواد و روش ها: این بررسی یک مطالعه تجربی در مقیاس آزمایشگاهی بوده که به صورت پایلوت بر روی پساب کشتارگاه مرغ انجام پذیرفت. در این آزمایش از جریان مستقیم و چهار الکترود آلومینیومی که با فاصله دو سانتی متر از هم به حالت تک قطبی قرار داشتند، استفاده شد سپس درصد حذف بار آلی پساب (COD و BOD₅) و تغییرات pH در اختلاف پتانسیل ۶، ۱۲ و ۱۸ ولت، pH ۳، ۵، ۷ و ۹ و مدت زمان واکنش ۱۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. **یافته ها:** نتایج نشان داد که راندمان حذف در حالت بهینه در اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت، pH برابر ۷ و زمان ۴۵ دقیقه، برای COD و BOD₅ به ترتیب برابر با ۸۴/۸۶ درصد و ۸۸/۹۳ درصد حاصل شد. هم چنین pH نهایی ۸/۴۷ به دست آمد. **استنتاج:** در مجموع می توان گفت که فرآیند لخته سازی الکتریکی می تواند به عنوان یک فرآیند ترکیبی با کارایی بالا در حذف بار آلی پساب کشتارگاه مرغ به کار رود. استفاده از این تکنیک می تواند پسایی منطبق بر استانداردهای تخلیه تولید نماید.

واژه های کلیدی: لخته سازی الکتریکی، الکترود آلومینیومی، تصفیه پساب، کشتارگاه مرغ

مقدمه

سبب کاهش سطح بهداشت عمومی جامعه و افزایش آلودگی های محیط زیستی شده است کشتارگاه ها می باشند (۲۰۱). آلودگی فاضلاب های ناشی از کشتارگاه ها، یکی از مشکلات عمده این صنعت در سراسر دنیا می باشد. یکی از بخش های این صنعت که دارای فاضلاب قابل

یکی از صناعی که علی رغم نظارت کارشناسان سازمان حفاظت محیط زیست بر کیفیت رعایت ضوابط محیط زیستی هم چنان موضوع آلودگی آن ها و ضرورت استقرار واحدهای صنعتی از سوی سازمانهای نظارتی و رسانه ها مطرح بوده و کم توجهی به توسعه این واحدها،

E-mail: iamouei1966@gmail.com

مؤلف مسئول: عبدالایمان عمویی: بابل: میدان گنج افروز، دانشگاه علوم پزشکی بابل، دانشکده بهداشت

۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بابل، بابل، ایران
۴. دانشیار، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۵. استادیار، گروه علوم پایه، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۷ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۷/۵/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۲/۱۵

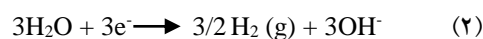
توجهی از لحاظ کیفیت و کمیت می‌باشد کشتارگاه طیور، تصفیه فاضلاب کشتارگاه طیور، تکنولوژی‌های است (۳). دفع غیر بهداشتی فاضلاب‌های کشتارگاهی، آلودگی محیط زیست و محصولات کشاورزی را در پی داشته اما آن چه به عنوان ملاک ارزیابی عملکرد این واحدها مورد توجه قرار گرفته، تنها میزان محصولات آن‌ها بوده و به ندرت به میزان بار آلودگی ناشی از فعالیت این صنعت و مخاطرات زیست محیطی آن‌ها توجه شده است. کشتارگاه طیور مقادیر انبوهی گوشت تولیدی به منظور مصرف مستقیم عرضه می‌کنند (۴،۵). فاضلاب کشتارگاه‌های طیور از فرایندهای مختلف مانند پیش‌پردازش، کشتار، خونریزی، بخارشویی، انجماد، ذخیره‌سازی و بسته‌بندی محصولات گوشتی مرغ تولید می‌شود. از مشخصه‌های فاضلاب این صنعت مقدار زیادی ترکیبات آلی قابل تجزیه زیستی مانند COD (Chemical Oxygen Demand) و BOD، (Biological Oxygen Demand) روغن و گریس، نیتروژن و فسفر به علت حضور جامدات معلق و ترکیبات کلوئیدی مانند خون، پروتئین، چربی و سلولز می‌باشد. ترکیب فاضلاب صنعت کشتار طیور از یک صنعت به صنعت دیگر متفاوت است. بنابراین، با توجه به پروتکل‌های زیست محیطی، این فاضلاب بایستی قبل از تخلیه به محیط زیست تصفیه شده و به سطح استاندارد برسد (۶). روش‌های متعددی برای تصفیه فاضلاب کشتارگاه مرغ وجود دارد که اکثر آن‌ها بر روی فرآیندهای بیولوژیکی مانند لجن فعال، حوضچه‌های تثبیت کننده، راکتورهای هوازی و بی‌هوازی و بیوفیلترهای بی‌هوازی متمرکز شده است. با این حال اگرچه این سیستم‌ها مؤثر و اقتصادی هستند اما اغلب نیاز به زمان ماند هیدرولیکی طولانی، منطقه بزرگ، تقاضای زیاد انرژی (برای هوادهی) داشته و مقدار زیادی لجن تولید می‌کنند (۴،۷،۸). هم چنین فرایندهای بی‌هوازی ممکن است به دلیل انباشت اسیدهای آلی در مراحل میانی، به ویژه تحت شرایط بارگذاری آلی بالا منجر به نارسایی فرایند تصفیه شود (۹). از دیگر فرایندهای

تصفیه فاضلاب کشتارگاه طیور، تکنولوژی‌های فیزیکوشیمیایی از قبیل شناورسازی با هوای محلول، ترسیب، انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون پیشرفته (UV/H₂O₂, UV/O₃) را می‌توان نام برد. این تکنولوژی‌ها نیز با این که کارآمد بوده ولی معایبی هم چون نیاز به مواد شیمیایی، هزینه بهره برداری و نگهداری بالا و افزایش لجن تولیدی و مشکلات دفع آن را دارند (۵). با توجه به مواردی مانند هزینه کلی شامل اجرا و بهره برداری، قابلیت اجرا از نوع تکنولوژی به کاررفته و شرایط محیطی، مشخصات بهره برداری، تجهیزات مورد نیاز، سطح تکنولوژی محل، تاثیر تغییرات ظرفیت فاضلاب و توسعه آینده سیستم و درجه تصفیه، بایستی روش‌هایی راه اندازی شود که با توجه به غلظت بالای فاضلاب کشتارگاه راندمان بسیار بالایی داشته باشد و عملیات بهره‌برداری و نگهداری آن ساده باشد (۱۰،۱۱). یکی از این تکنولوژی‌ها فرآیند لخته‌سازی الکتریکی می‌باشد. تکنولوژی الکتروشیمیایی اساساً یک فرآیند الکترولیتیکی است که شامل ناپایدارسازی آلاینده‌های معلق، امولسیون یا حل شده در محیط‌های آبی از طریق کاربرد جریان الکتریکی می‌باشد (۱۲،۱۳). سه فرآیند اصلی در این تکنولوژی اتفاق می‌افتد: ۱- واکنش الکترولیت در سطح آند. ۲- تشکیل منعقدکننده در فاز آبی. ۳- جذب آلاینده‌های کلوئیدی یا محلول بر روی منعقدکننده و حذف از طرق رسوب دهی یا شناورسازی.

آلومینیوم یا آهن معمولاً به عنوان الکترود استفاده می‌شوند و کاتیون‌های آن‌ها توسط انحلال آند قربانی پس از به کارگیری جریان مستقیم تولید می‌شوند. یون‌های فلزی تولید شده در سلول الکتروشیمیایی برای تولید یون‌های هیدروکسید فلزی براساس واکنش‌های شماره ۱ تا ۳ هیدرولیز می‌شوند و حلالیت هیدروکسیدهای فلزی تشکیل شده بستگی به pH و قدرت یونی دارد. وقتی که از فلز آلومینیوم به عنوان الکترود استفاده می‌شود، واکنش‌ها به شرح ذیل است: (۱۶-۱۴).



و در کاتد:



حذف در اختلاف پتانسیل ۴۰ ولت و زمان ۶۰ دقیقه به دست آمد (۲۳).

در مطالعه‌ای با هدف بررسی اثربخشی فرآیند الکتروکواگولاسیون با الکترودهای مس برای ضد عفونی کردن فاضلاب کشتارگاه مرغ نشان داده شد که حداکثر راندمان حذف کلیفرم کل برابر ۱۰۰ درصد در اختلاف پتانسیل ۳۰ ولت و زمان واکنش ۱۰ دقیقه به دست آمد (۲۴).

مطالعه تصفیه الکتروشیمیایی با استفاده از الکترودهای میله‌ای آهنی برای حذف COD از فاضلاب کشتارگاه مرغ نشان داد که الکتروکواگولاسیون به ویژه پراکسی-الکتروکواگولاسیون با استفاده از H_2O_2 ، در نهایت می‌تواند COD را از ۸۸۰ میلی‌گرم بر لیتر به ۴۲۵ میلی‌گرم بر لیتر کاهش دهد و به عنوان جایگزین مناسب در تصفیه فاضلاب کشتارگاه مرغ استفاده شود (۲۵).

در مطالعه دیگری تصفیه فاضلاب کشتارگاه مرغ با الکترودهای آهن و آلومینیوم نشان داد که بیشترین مقدار حذف COD برابر ۹۵/۶ درصد با الکترودهای آلومینیوم به دست آمد و در شرایط مشابه با الکترودهای آهن به میزان ۹۵/۳ درصد روغن و چربی حذف شد (۲۶).

در مطالعه‌ای با هدف بررسی امکان تصفیه فاضلاب کشتارگاه گاو، طی فرآیند الکتروکواگولاسیون با الکترودهای آلومینیوم جهت کاهش غلظت COD برابر ۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و کدورت NTU ۲۹۰ پایین‌تر از حد مجاز تخلیه انجام گرفت و نتایج نشان داد که تحت شرایط مطلوب راندمان حذف برای COD و کدورت به ترتیب ۹۳ درصد و ۹۶ درصد به دست آمد (۲۷).

تکنولوژی لخته‌سازی الکتریکی در مقایسه با سایر روش‌های تصفیه مزایایی از جمله تجهیزات ساده، بهره‌برداری ساده، عدم اضافه کردن مواد شیمیایی، حجم کم لجن تولیدی، زمان ماند کم، ته‌نشینی سریع لخته‌های تولیدی، آبرگیری ساده لجن تولیدی و هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری کم دارد (۲۸، ۲۹). در صنایعی مانند کشتارگاه‌ها به دلیل این که تعداد و نوع

در این فرآیند به علت آزاد شدن گازهای هیدروژن از کاتد و اکسیژن از آنند عمل شناورسازی نیز انجام می‌گیرد. علاوه بر این میزان جذب هیدروکسیدهای تولیدی توسط این فرآیند ۱۰۰ برابر بیش‌تر از هیدروکسیدهایی است که به وسیله‌ی فرآیندهای شیمیایی تولید می‌شود (۱۸، ۱۷). در مطالعه‌ای تصفیه فاضلاب کشتارگاه با الکترودهای آهن و آلومینیوم برای حذف COD در شرایط بهینه انجام شد و نشان داد که الکترودهای آلومینیوم برای حذف COD عملکرد بهتری نسبت به الکترودهای آهنی داشته است (۱۹).

در مطالعه‌ای از فرآیند الکتروکواگولاسیون به عنوان تصفیه ثالثیه فاضلاب صنعت کاغذسازی برای حذف مواد آلی محلول و COD استفاده شد که به ترتیب به میزان ۴۶ درصد و ۶۸ درصد کاهش حاصل شد (۲۰). در مطالعه‌ای شیرابه تولیدی از محل دفن زباله توسط فرآیند لخته‌سازی الکتریکی مورد تصفیه قرار گرفت و سولفات و COD آن به ترتیب به میزان ۹۵ درصد و ۵۹ درصد کاهش یافت (۲۱).

در مطالعه دیگری روش لخته‌سازی الکتریکی در حذف همزمان فسفات، نترات و COD پساب رختشوی‌خانه با استفاده از الکترودهای آهنی در شش PH مختلف انجام گردید و مشخص شد که PH، پارامتر موثر در کارایی حذف فاکتورهای مذکور می‌باشد. بهترین کارایی حذف آلاینده در PH=۷ به دست آمد (۲۲).

مطالعه‌ای با هدف استفاده از فرآیند لخته‌سازی الکتریکی با کمک الکترودهای آهن و آلومینیوم برای حذف فلوراید از محیط آبی انجام شد. چندین پارامتر، مانند غلظت فلوراید، PH و اختلاف پتانسیل اعمال شده و زمان واکنش برای دستیابی به ظرفیت حذف بیش‌تر مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیش‌ترین ظرفیت

دستگاه مبدل برق آزمایشگاهی (Power Supply) مدل RAYANNIK RN-3003D ساخت کشور ایران که قابل تنظیم در اختلاف پتانسیل و شدت جریان مختلف (در محدوده صفر تا ۶۰ ولت و صفر تا ۳ آمپر) که می تواند جریان AC را به DC تبدیل نماید، استفاده شد. تصویر شماره ۱ شمای واقعی از پایلوت مورد استفاده را نشان می دهد:



تصویر شماره ۱: شمای واقعی از پایلوت مورد استفاده

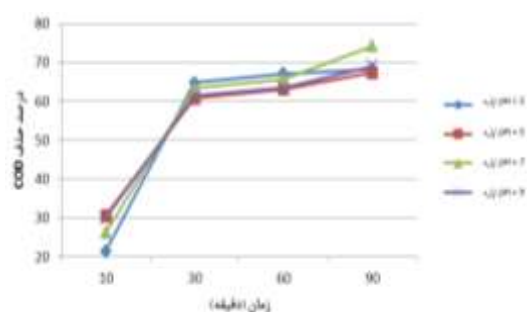
۱- منبع تغذیه، ۲- مولتی متر، ۳- الکترودها (آند و کاتد)،
۴- مگنت، ۵- کنترل کننده همزن مغناطیس
نمونه های پساب کشتارگاه از اواخر تابستان تا اواخر زمستان ۱۳۹۶، به روش مرکب از پساب خروجی کشتارگاه قبل از عملیات کلرزنی با روش های مبتنی بر استاندارد برداشته شده و در مدت زمان کم تر از ۶ ساعت به آزمایشگاه منتقل شد و پس از تنظیم pH (۹٫۷، ۵٫۳) در هر آزمایش به میزان ۷۰۰ سی سی پساب به درون سلول الکتروشیمیایی تزریق می شد سپس جریان الکتریکی با اختلاف پتانسیل های ۱۸، ۱۲ و ۶ ولت برقرار شده و در فواصل زمانی ۹۰، ۶۰، ۳۰ و ۱۰ با سرعت چرخش همزن ۱۵۰ دور در دقیقه، به میزان ۱۵۰ ml از میانه راکتور نمونه برداشته می شد. لازم به ذکر است که قبل از نمونه گیری در هر بار آزمایش به مدت ۱۵ دقیقه جهت ته نشینی فلوک ها زمان صرف شد. نمونه ها در دمای ۴۰°C نگهداری و در پایان مطابق با روش های مندرج در کتاب روش های استاندارد برای آزمایش آب

کشتار متغیر می باشد و امکان به وجود آمدن شوک به تصفیه خانه بر اثر ورود فاضلاب وجود دارد این روش با مزیت هایی که دارد می تواند به عنوان یک روش تصفیه تکمیلی مورد استفاده قرار گیرد. به همین دلیل هدف از این مطالعه ارزیابی کارایی فرآیند لخته سازی الکتریکی با جریان مستقیم به عنوان تصفیه تکمیلی پساب کشتارگاه مرغ جهت حذف مواد آلی (COD و BOD₅)، با استفاده از الکترودهای آلومینیومی بوده است.

مواد و روش ها

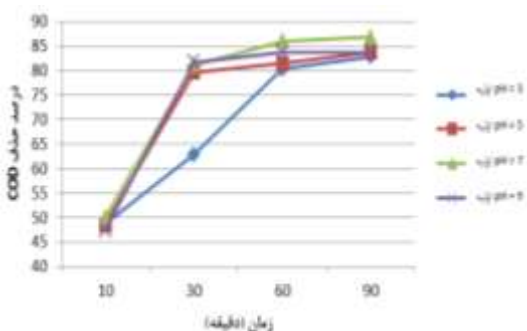
کشتارگاه صنعتی مرغ واقع در شهرستان بابل، روستای بیشه سر (شرکت بابل طیور) در اواخر سال ۱۳۸۸ در زمینی به مساحت ۳۰ هزار متر مربع به بهره برداری و تولید رسیده است. این کشتارگاه ظرفیت کشتار و بسته بندی ۴۰۰۰ قطعه مرغ گوشتی در ساعت همراه با واحد مستقل قطعه بندی مرغ و بسته بندی دارا می باشد که در حال حاضر به طور متوسط روزانه ۱۵۰۰۰ مرغ کشتار شده و ۱۰۰ متر مکعب آب مصرف می شود. این کشتارگاه دارای تصفیه خانه فاضلاب با سیستم لجن فعال از نوع هوادهی گسترده می باشد. پساب خروجی از این فرآیند نیز در زمین های کشاورزی دفع می شود. نمونه های پساب مورد استفاده در راکتور الکتروکواگولاسیون بعد از فرایند لجن فعال (بعد از حوضچه ته نشینی) به کار رفته در این کشتارگاه برداشته شد. در این مطالعه سلول الکتروکواگولاسیون از یک راکتور با مخزن شیشه ای نشکن به حجم یک لیتر و مقاوم در برابر خوردگی ساخته شد. الکترودها در این راکتور از جنس آلومینیوم به ابعاد ۱۲cm × ۵ × ۰/۲ و به فاصله ۲ cm از هم به حالت تک قطبی (اتصال تمام الکترودها به قطب های مثبت و منفی) قرار گرفتند. حدود ۵ سانتی متر از طول الکتروود داخل پساب قرار می گرفت. ضمناً روی صفحه الکتروود، بخشی که داخل پساب بود، ۶ منفذ دایره ای به قطر ۰/۸ سانتی متر برای چرخش بهتر پساب ایجاد شد. سطح موثر الکتروود ۵۰cm² بود. در این آزمایشات از

مختلف مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در تصاویر شماره ۱ تا ۹ نشان داده شده است. تصویر شماره ۱ راندمان حذف COD در اختلاف پتانسیل ۶ ولت را نشان می‌دهد که با گذشت زمان راندمان حذف COD افزایش می‌یابد که بیش‌ترین راندمان حذف مربوط به $\text{pH} = 7$ در زمان ۹۰ دقیقه و کم‌ترین راندمان حذف مربوط به $\text{pH} = 3$ در زمان ۱۰ دقیقه بوده که به ترتیب برابر با ۷۴/۲۹ درصد و ۲۱/۴۳ درصد می‌باشد.



تصویر شماره ۱: درصد حذف COD در اختلاف پتانسیل ۶ ولت در pH و زمان های مختلف

تصویر شماره ۲ راندمان حذف COD در اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر شماره ۲ مشاهده می‌شود با گذشت زمان راندمان حذف COD افزایش می‌یابد که بیش‌ترین راندمان حذف مربوط به $\text{pH} = 7$ در زمان ۹۰ دقیقه و کم‌ترین راندمان حذف مربوط به $\text{pH} = 9$ در زمان ۱۰ دقیقه بوده که به ترتیب برابر با ۸۶/۸۶ درصد و ۴۷/۴۳ درصد می‌باشد.



تصویر شماره ۲: درصد حذف COD در اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت در pH و زمان های مختلف

و فاضلاب (۳۰) از نظر pH نهایی، BOD_5 و COD، با دوبار تکرار (جهت اخذ دقت لازم) تعیین مقدار می‌شدند. راندمان (%R) حذف بارآلی نیز با استفاده از معادله شماره ۴ محاسبه می‌شد:

$$R\% = [(C_0 - C_1) / C_0] \times 100 \quad (4)$$

که در آن C_0 و C_1 به ترتیب غلظت آلاینده قبل و بعد از فرآیند تصفیه می‌باشد (۳۱). COD با استفاده از رآکتور COD و خوانش مستقیم با دستگاه اسپکتروفتومتر HACH DR5000 ساخت کشور آلمان و رآکتور گرمایی COD مدل HACH DRB200 ساخت آمریکا، BOD_5 به روش یدومتریک (وینک لر) و pH با استفاده از متر N120 مدل CORNING ساخت کشور آمریکا اندازه‌گیری شد. هم‌چنین برای انجام محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Excel و SPSS استفاده شد و آزمون تحلیل واریانس جهت بررسی تفاوت متغیرهای تحقیق با زمان، اختلاف پتانسیل و pH‌های مختلف انجام پذیرفت.

یافته ها

خصوصیات فاضلاب خام و پساب بعد از حوضچه ته‌نشینی و قبل از فرایند کلرزنی در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود کارایی فرایند لجن فعال در حذف COD فاضلاب کشتار گاه ۸۶ درصد و BOD_5 برابر ۸۷ درصد بوده است.

جدول شماره ۱: خصوصیات فاضلاب خام و پساب کشتار گاه بابل طیور

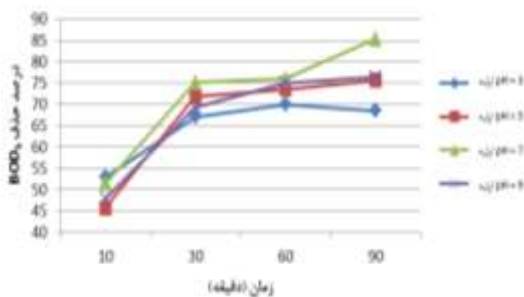
پارامتر	تعداد نمونه	فاضلاب خام			پساب		
		حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر
pH	۴۸	۶/۸	۶/۸۵۰/۰۲	۶/۹	۷	۷/۲۰/۱۱	۷/۴
COD(mg/l)	۴۸	۱۶۶۴	۲۵۰۰±۴۵۴	۳۲۰۸	۲۱۴	۳۵۰±۶۲	۴۳۹
BOD_5 (mg/l)	۴۸	۱۰۱۶	۱۲۰۰±۱۲۰	۱۳۸۴	۱۱۹	۱۵۰±۱۹	۱۹۱
کلورت	۴۸	۳۵۲	۳۹۵±۲۴	۴۳۸	۵۳	۶۵±۹	۸۱
EC	۴۸	۲۰۷۲	۲۲۵۰±۱۰۵	۲۴۳۵	۱۹۱۵	۲۰۲۵±۶۰	۲۱۳۵
TSS(mg/l)	۴۸	۱۰۷۴	۱۴۱۲±۱۸۵	۱۶۵۸	۱۲۴	۱۶۴±۲۲	۱۹۶

راندمان حذف COD، BOD_5 و میزان تغییرات pH با کاربرد جریان مستقیم در pH، ولتاژها و زمان های

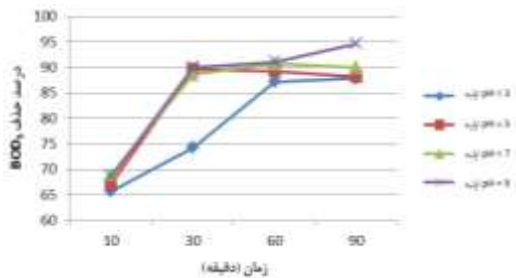
تصویر شماره ۷، تغییرات pH را در اختلاف پتانسیل ۶ ولت نشان می‌دهد. همان‌طور که از تصویر مشاهده می‌شود با افزایش زمان فرآیند تصفیه، pH اولیه پساب افزایش می‌یابد.

تصویر شماره ۸ بیانگر تغییرات pH در اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان فرآیند تصفیه، pH اولیه پساب افزایش می‌یابد.

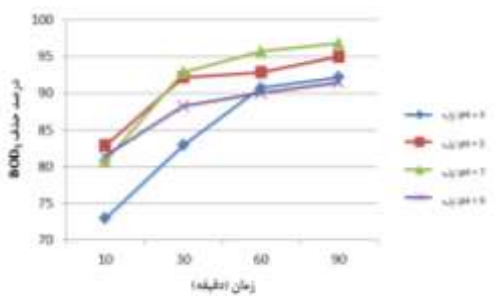
تصویر شماره ۹ بیانگر تغییرات pH در اختلاف پتانسیل ۱۸ ولت می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان فرآیند تصفیه، pH اولیه پساب افزایش می‌یابد.



تصویر شماره ۴: درصد حذف BOD₅ در اختلاف پتانسیل ۶ ولت در pH و زمان های مختلف

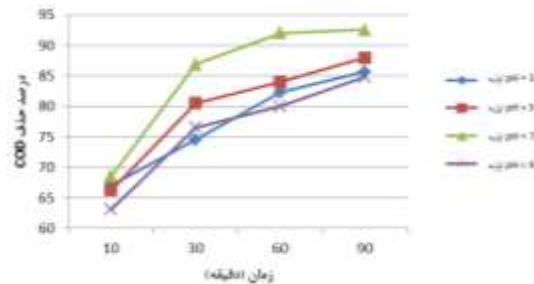


تصویر شماره ۵: درصد حذف BOD₅ در اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت در pH و زمان های مختلف



تصویر شماره ۶: درصد حذف BOD₅ در اختلاف پتانسیل ۱۸ ولت در pH و زمان های مختلف

تصویر شماره ۳ راندمان حذف COD در اختلاف پتانسیل ۱۸ ولت را نشان می‌دهد. با گذشت زمان راندمان حذف COD افزایش می‌یابد که بیش‌ترین راندمان حذف مربوط به pH=۷ در زمان ۹۰ دقیقه و کم‌ترین راندمان حذف مربوط به pH=۹ در زمان ۱۰ دقیقه بوده که به ترتیب برابر با ۹۲/۵۷ درصد و ۶۳/۱۴ درصد می‌باشد.



تصویر شماره ۳: درصد حذف COD در اختلاف پتانسیل ۱۸ ولت در pH و زمان های مختلف

تصویر شماره ۴ راندمان حذف BOD₅ در اختلاف پتانسیل ۶ ولت را نشان می‌دهد که با گذشت زمان راندمان حذف BOD₅ افزایش می‌یابد که بیش‌ترین راندمان حذف مربوط به pH=۷ در زمان ۹۰ دقیقه و کم‌ترین راندمان حذف مربوط به pH=۵ در زمان ۱۰ دقیقه بوده که به ترتیب برابر با ۸۵/۴۳ درصد و ۴۵/۷۱ درصد می‌باشد.

تصویر شماره ۵ راندمان حذف BOD₅ در اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت را نشان می‌دهد. با گذشت زمان راندمان حذف BOD₅ افزایش می‌یابد که بیش‌ترین راندمان حذف مربوط به pH=۹ در زمان ۹۰ دقیقه و کم‌ترین راندمان حذف مربوط به pH=۳ در زمان ۱۰ دقیقه بوده که به ترتیب برابر با ۹۴/۶۴ و ۶۵/۷۱ درصد می‌باشد.

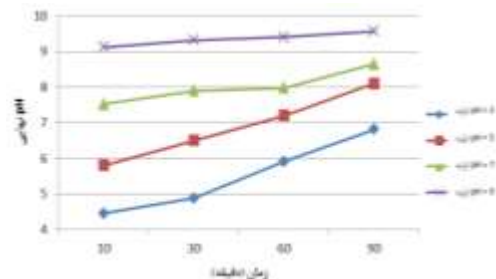
تصویر شماره ۶ راندمان حذف BOD₅ در اختلاف پتانسیل ۱۸ ولت را نشان می‌دهد. با گذشت زمان راندمان حذف BOD₅ افزایش می‌یابد که بیش‌ترین راندمان حذف مربوط به pH=۷ در زمان ۹۰ دقیقه و کم‌ترین راندمان حذف مربوط به pH=۳ در زمان ۱۰ دقیقه بوده که به ترتیب برابر با ۹۶/۷۹ درصد و ۷۲/۸۶ درصد می‌باشد.

در این مطالعه میانگین تغییرات شدت جریان بر حسب آمپر نیز بررسی شد که نتایج حاصل شده در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود شدت جریان با افزایش زمان واکنش، افزایش می یابد.

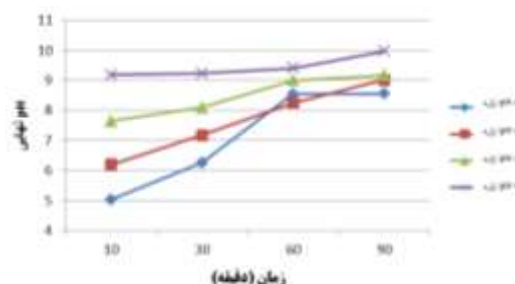
با مشاهده نتایج فوق، آزمایش در شرایط بهینه در اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت، pH برابر ۷ با زمان ۴۵ دقیقه انجام پذیرفت که در نتیجه میزان حذف COD و BOD₅ به ترتیب برابر با ۸۴/۸۶ درصد و ۸۸/۹۳ درصد حاصل شد. هم چنین خروجی برابر با ۸/۴۷ گریدید.

تجزیه و تحلیل آماری

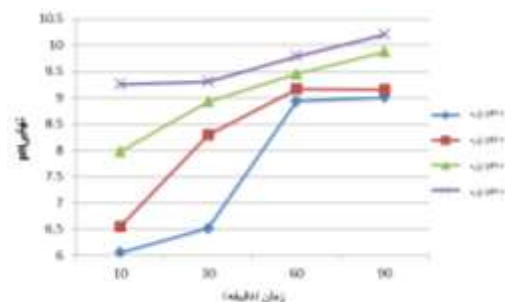
در این مطالعه آزمون تحلیل واریانس جهت بررسی تفاوت متغیرهای تحقیق با زمان، اختلاف پتانسیل و pH های مختلف انجام پذیرفت که نتایج آن در جدول شماره ۳ نشان می دهد که متغیرهای COD و BOD₅ با pH های متفاوت رابطه معناداری مشاهده نشده است. هم چنین نشان می دهد متغیر pH نهایی با pH اولیه، زمان و اختلاف پتانسیل های متفاوت رابطه معنادار دار و متغیر COD و BOD₅ با زمان و ولتاژهای متفاوت رابطه معنادار وجود دارد (شرط $P < 0.05$ برقرار است).



تصویر شماره ۷: تغییرات pH اولیه پساب در اختلاف پتانسیل ۶ ولت در زمان های مختلف



تصویر شماره ۸: تغییرات pH اولیه پساب در اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت در زمان های مختلف



تصویر شماره ۹: تغییرات pH اولیه پساب در اختلاف پتانسیل ۱۸ ولت در زمان های مختلف

جدول شماره ۲: میانگین تغییرات شدت جریان بر حسب آمپر در ولتاژ، pH و زمان های مختلف

شدت جریان (A)	pH	زمان (دقیقه)	اختلاف پتانسیل (V)	شدت جریان (A)	pH	زمان (دقیقه)	اختلاف پتانسیل (V)	شدت جریان (A)	pH	زمان (دقیقه)	اختلاف پتانسیل (V)
۱/۴۸۰	۳	۱۰	۱۸	۰/۸۳۶	۳	۱۰	۱۲	۰/۳۸۱	۳	۱۰	۶
۱/۳۱۰	۵	۱۰	۱۸	۰/۸۴۰	۵	۱۰	۱۲	۰/۳۸۰	۵	۱۰	۶
۱/۲۲۰	۷	۱۰	۱۸	۱/۲۲۰	۷	۱۰	۱۲	۰/۳۵۰	۷	۱۰	۶
۱/۲۶۰	۹	۱۰	۱۸	۰/۸۸	۹	۱۰	۱۲	۰/۳۷۰	۹	۱۰	۶
۱/۵۰۰	۳	۳۰	۱۸	۰/۸۳۰	۳	۳۰	۱۲	۰/۳۸۱	۳	۳۰	۶
۱/۴۲۰	۵	۳۰	۱۸	۰/۹۳۰	۵	۳۰	۱۲	۰/۳۸۳	۵	۳۰	۶
۱/۱۸۰	۷	۳۰	۱۸	۰/۷۵۰	۷	۳۰	۱۲	۰/۳۴۰	۷	۳۰	۶
۱/۱۰۰	۹	۳۰	۱۸	۰/۸۶۴	۹	۳۰	۱۲	۰/۳۶۰	۹	۳۰	۶
۱/۴۳۶	۳	۶۰	۱۸	۰/۸۴۰	۳	۶۰	۱۲	۰/۳۷۷	۳	۶۰	۶
۱/۳۵۰	۵	۶۰	۱۸	۰/۸۶۰	۵	۶۰	۱۲	۰/۳۶۰	۵	۶۰	۶
۱/۲۰۰	۷	۶۰	۱۸	۰/۷۲۰	۷	۶۰	۱۲	۰/۳۲۷	۷	۶۰	۶
۱/۳۶۰	۹	۶۰	۱۸	۰/۸۵۰	۹	۶۰	۱۲	۰/۳۵۰	۹	۶۰	۶
۱/۴۲۰	۳	۹۰	۱۸	۰/۸۴۰	۳	۹۰	۱۲	۰/۳۷۵	۳	۹۰	۶
۱/۳۶۰	۵	۹۰	۱۸	۰/۸۵۰	۵	۹۰	۱۲	۰/۳۶۲	۵	۹۰	۶
۱/۲۴۰	۷	۹۰	۱۸	۰/۷۴۰	۷	۹۰	۱۲	۰/۳۳۷	۷	۹۰	۶
۱/۴۵۰	۹	۹۰	۱۸	۰/۸۵۰	۹	۹۰	۱۲	۰/۳۵۰	۹	۹۰	۶

جدول شماره ۳: آزمون تحلیل واریانس بررسی تفاوت متغیرهای مطالعه با pHهای متفاوت

پارامتر	متغیر	حداقل	انحراف معیار \pm میانگین	فاصله اطمینان ۹۵ درصد		F	سطح معنی داری
				حداکثر	حد پایین		
pH	زمان	۴/۴۵	$6/742 \pm 1/637$	۹/۰۰۰	۵/۷۰۱	۷/۷۸۳	۰/۰۴۳
		۵/۸۰	$7/615 \pm 1/201$	۹/۱۶	۶/۸۵۱	۸/۳۷۸	
		۷/۵۲	$8/366 \pm 0/721$	۹/۸۷	۷/۹۰۸	۸/۸۲۴	
		۸/۰۰	$8/694 \pm 2/758$	۱۰/۲۰	۶/۹۴۱	۱۰/۴۴۷	
		۹/۴۵	$7/044 \pm 1/626$	۹/۲۵	۶/۰۱۰	۸/۰۷۷	
pH نهایی	زمان	۴/۸۸	$7/636 \pm 1/396$	۹/۳۲	۶/۷۴۹	۸/۵۲۴	۰/۰۶۳
		۵/۰۰	$7/732 \pm 2/653$	۹/۷۸	۶/۰۴۶	۹/۴۱۸	
		۶/۸۱	$9/00 \pm 0/926$	۱۰/۲۰	۸/۴۱۶	۹/۵۹۳	
		۶/۰۰	$6/856 \pm 2/381$	۹/۵۷	۵/۵۸۷	۸/۱۲۵	
		۱۲/۰۳	$8/136 \pm 1/359$	۹/۹۷	۷/۴۱۲	۸/۸۶۱	
pH	ولتاژ	۲۱/۴۳	$6/191 \pm 1/832$	۸۵/۷۱	۵۵/۸۶۱	۷۸/۵۲۱	۰/۰۲۲
		۳۰/۵۷	$6/523 \pm 1/704$	۸۸/۰۰	۵۸/۶۷۴	۸۰/۳۷۱	
		۲۶/۲۹	$7/281 \pm 1/932$	۹۲/۵۷	۶۰/۳۳۶	۸۵/۲۸۴	
		۳۰/۰۰	$6/876 \pm 1/675$	۸۴/۸۶	۵۸/۰۳۹	۷۹/۴۸۲	
		۲۱/۴۳	$4/735 \pm 1/645$	۶۸/۵۷	۵۸/۱۲۴	۳۶/۵۹۰	
COD	زمان	۶۰/۸۶	$7/280 \pm 9/503$	۸۶/۸۶	۷۸/۹۱۹	۶۶/۸۴۲	۰/۰۰۰
		۶۳/۱۴	$7/748 \pm 9/845$	۹۲/۰۰	۸۳/۶۸۳	۷۱/۱۷۳	
		۶۷/۴۳	$8/619 \pm 8/539$	۹۲/۵۷	۸۶/۰۴۴	۷۵/۱۹۳	
		۲۱/۴۳	$5/609 \pm 1/702$	۷۴/۲۹	۶۵/۵۲۲	۴۶/۶۵۷	
		۴۷/۴۳	$7/305 \pm 1/546$	۸۶/۸۶	۸۱/۲۸۴	۶۴/۸۲۲	
pH	ولتاژ	۶۳/۱۴	$9/571 \pm 9/300$	۹۲/۵۷	۸۴/۵۲۷	۷۴/۶۱۵	۰/۰۰۰
		۵۲/۸۶	$7/611 \pm 1/210$	۹۲/۱۴	۶۸/۳۱۸	۸۳/۷۰۴	
		۴۵/۷۱	$8/326 \pm 1/632$	۹۵/۰۰	۷۱/۲۲۰	۸۹/۴۳۳	
		۵۱/۴۳	$8/269 \pm 1/315$	۹۶/۷۹	۷۴/۳۳۱	۹۱/۰۴۸	
		۴۷/۸۶	$8/327 \pm 1/365$	۹۴/۶۴	۷۱/۶۵۰	۸۹/۰۰۵	
BOD ₅	زمان	۴۵/۷۱	$6/505 \pm 1/329$	۸۲/۸۶	۷۳/۹۱۱	۵۷/۱۰۰	۰/۰۰۰
		۶۷/۱۴	$8/127 \pm 9/621$	۹۲/۸۶	۸۷/۹۴۰	۷۵/۷۱۴	
		۷۰/۰۰	$8/171 \pm 8/856$	۹۵/۷۱	۹۰/۷۹۸	۷۹/۵۴۴	
		۶۸/۵۷	$8/850 \pm 8/824$	۹۶/۷۹	۹۲/۴۵۷	۸۱/۲۴۴	
		۴۵/۷۱	$6/720 \pm 1/702$	۸۵/۴۳	۷۳/۸۵۶	۶۱/۳۸۴	
ولتاژ	زمان	۶۵/۷۱	$8/235 \pm 1/338$	۹۴/۶۴	۸۸/۶۹۱	۷۷/۷۸۰	۰/۰۰۰
		۷۲/۸۶	$8/660 \pm 6/642$	۹۶/۷۹	۹۲/۲۰۰	۸۵/۱۲۱	

* : $p < 0/05$

بحث

تأثیر pH

در این محدوده از pH عوامل منعقدکننده موثر مانند $Al(OH)_2^+$ و $Al(OH)_3$ بیش تر می باشد که منجر به کارایی بالای فرآیند شده است. بنابراین می توان گفت که فرایند لخته سازی الکتریکی با الکترودهای آلومینیوم در محدوده وسیعی از pH موثر است (۳۲). نتایج این مطالعه نشان داد که در pH برابر با ۷ یا به عبارتی pH های خنثی مقدار راندمان حذف بیش تر از pH های اسیدی و قلیایی می باشد.

هنگامی که از الکترودهای آلومینیومی استفاده می شود، یون های $Al^{3+}(aq)$ تولید شده بلافاصله واکنش های خود به خودی بیش تری را تحت تأثیر قرار خواهند داد تا هیدروکسیدها و پلی هیدروکسیدهای متفاوتی را تولید کنند (۳۳). در فرآیندهای جداسازی

یکی از پارامترهای مهم تأثیرگذار بر کارایی فرآیند لخته سازی الکتریکی، pH می باشد زیرا گونه های منعقدکننده در محلول را تعیین می کند. هنگامی که pH مطالعه بین ۴ تا ۹ باشد، یون های Al^{3+} و OH^- ، گونه های متنوع مونومریک مانند $Al(OH)^{2+}$ و $Al(OH)_2^{2+}$ و گونه های پلی مریک مانند $Al_6(OH)_{15}^{3+}$ ، $Al_7(OH)_{17}^{4+}$ و $Al_{13}O_4(OH)_{34}^{7+}$ را تولید می کند که سرانجام به $Al(OH)_3$ نامحلول از طریق کنتیک های ترسیب / پلیمراسیون تغییر شکل می دهند. لخته های $Al(OH)_3$ سطح بزرگ تری دارند که برای جذب ترکیبات آلی محلول و به دام انداختن ذرات کلوئیدی مناسب هستند.

شیمیایی یا الکتروشیمیایی، pH یک پارامتر مهم می باشد و بر تشکیل گونه های هیدروکسید فلزی و مکانیسم حذف یون ها و آلاینده ها تأثیر معنی داری دارد (۳۴).

در این مطالعه pH پساب خروجی پس از الکتروکواگولاسیون افزایش یافت که این افزایش، در pH اسیدی و اختلاف پتانسیل بالا زیاد و در pH قلیایی کم بود و در مورد الکترودهایی از جنس آلومینیوم، pH نهایی همیشه نسبت به pH اولیه بالاتر می باشد (تصویر شماره ۷، ۸ و ۹). آن چه از این مطالعه و مطالعات قبلی بر می آید فرایند الکتروکواگولاسیون می تواند به عنوان یک تعدیل کننده PH نیز عمل نماید (۳۵).

در مطالعه ای که تحت عنوان لخته سازی الکتریکی در حذف همزمان فسفات، نترات و COD پساب رختشوی خانه انجام شد، بهترین کارایی حذف آلاینده ها در $PH=7$ به دست آمد (۲۲).

در مطالعه دیگر تحت عنوان تصفیه فاضلاب کشتارگاه با استفاده از الکتروکواگولاسیون با افزایش pH، افزایش یافته و بالاترین راندمان در pH برابر ۷ حاصل شده بود که این با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (۲۵).

تأثیر اختلاف پتانسیل

اثر اختلاف پتانسیل در فرآیند الکتروکواگولاسیون به خوبی مشخص شده است به طوری که نه تنها تعیین کننده میزان غلظت کواگولانت تزریقی به محلول است، بلکه بر روی میزان تولید حباب ها و اندازه و رشد فلوک های تولیدی نیز موثر است که می تواند راندمان تصفیه فرآیند الکتروکواگولاسیون را تحت تأثیر قرار دهد (۳۶). اثر اختلاف پتانسیل بر روی حذف COD و BOD₅ پساب کشتارگاه مرغ مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که با افزایش میزان اختلاف پتانسیل راندمان حذف نیز افزایش می یابد. در اختلاف پتانسیل ۱۸ ولت و زمان تماس ۹۰ دقیقه، درصد های کاهش BOD₅ و COD به ترتیب برابر با ۹۶/۷۹ و

۹۲/۵۷ درصد بود. در این مطالعه با ثابت بودن اختلاف پتانسیل، شدت جریان با افزایش زمان واکنش، افزایش می یابد که این امر دستیابی به راندمان بالا را امکان پذیر می سازد (جدول شماره ۲).

پایین ترین راندمان حذف نیز در اختلاف پتانسیل ۶ ولت به دست آمد. این امر بیانگر این واقعیت است که در شرایط اختلاف پتانسیل بالا، مقدار آلومینیوم اکسید شده افزایش یافته که این باعث تولید مقادیر بیش تر رسوبات و لخته های هیدروکسید که میزان جذب بالایی دارند شده و به دنبال آن راندمان حذف افزایش یافته است. از طرفی اختلاف پتانسیل بالا باعث افزایش رهاسازی آلومینیوم به فاضلاب شده که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد (۱۶، ۶). با افزایش ولتاژ، دانسیته حباب ها افزایش یافته و اندازه آن ها کاهش می یابد و این امر باعث حذف سریع تر و بیش تر آلاینده ها می شود. سطح موثر و زمان ماند حباب های بزرگ کم تر از حباب های کوچک است لذا راندمان شناورسازی با افزایش دانسیته و کاهش اندازه حباب ها افزایش می یابد. با کاهش میزان اختلاف پتانسیل، زمان مورد نیاز برای رسیدن به راندمان های مشابه افزایش می یابد (۳۷). بذرافشان و همکاران در سال ۱۳۹۱ به بررسی اثرات اختلاف پتانسیل اعمال شده در یک فاضلاب لبی در فرآیند الکتروکواگولاسیون پرداختند. نتایج نشان داد که راندمان حذف COD، BOD₅ با افزایش اختلاف پتانسیل اعمال شده و زمان واکنش افزایش می یابد (۳۸). در مطالعه ای که توسط بذرافشان و همکاران در سال ۲۰۱۲ در مورد استفاده از فرآیند لخته سازی الکتریکی با استفاده از الکتروکواگولاسیون برای حذف فلوراید از محیط آبی انجام شد، چندین پارامتر، مانند غلظت فلوراید، PH و اختلاف پتانسیل اعمال شده و زمان واکنش برای دستیابی به ظرفیت حذف بیش تر مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش پتانسیل الکتریکی میزان تصفیه افزایش یافت (۲۳).

در مطالعه دیگری که با عنوان پیش تصفیه فاضلاب رختشوی خانه بیمارستان با استفاده از فرآیند

الکتروکواگولاسیون انجام پذیرفت نتایج نشان داد که با افزایش اختلاف پتانسیل کارایی حذف COD افزایش یافته و بالاترین راندمان در اختلاف پتانسیل ۴۰ ولت حاصل شده بود (۳۹).

تأثیر زمان واکنش

مطابق قانون فارادی مدت الکترولیز در فرایند EC بر مقدار یون فلزی رها شده به داخل سیستم تأثیر گذاشته و باعث افزایش رهاسازی آن می شود (۲۲). در این مطالعه با بررسی تأثیر زمان واکنش در حذف COD و BOD₅ توسط فرایند EC با استفاده از الکترودهای صفحه‌ای آلومینیوم نشان داده شد که با افزایش زمان واکنش میزان حذف نیز افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین راندمان حذف نیز در زمان واکنش ۹۰ min به دست آمد. در ۱۰ دقیقه اول آزمایشات با جریان مستقیم در تمامی pH های ۳، ۵، ۷ و ۹ میزان حذف COD و BOD₅ با اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت، به ترتیب بالای ۴۷ درصد و ۶۵ درصد و با اختلاف پتانسیل ۱۸ ولت، بالای ۶۳ درصد و ۷۲ درصد بوده است که این امر می‌تواند بیانگر این باشد که در اختلاف پتانسیل‌های بالا بیشترین حذف در زمان‌های ابتدای فرآیند صورت می‌پذیرد.

قهرمانی و همکاران در سال ۲۰۱۲ مطالعه‌ای بر روی فاضلاب صنایع لبنی با استفاده از فرآیند لخته سازی الکتریکی با هدف بهینه‌سازی عوامل موثر بر فرآیند حذف COD انجام دادند. مشاهده شد که راندمان حذف با جنس الکترودها، زمان تماس و اختلاف پتانسیل به طور مستقیم رابطه دارد (۴۰).

در مطالعه‌ای که توسط ملکوتیان و همکاران در سال ۱۳۹۱ با عنوان بررسی کارایی فرآیند انعقاد الکتریکی در کاهش بار آلی شیرابه مرکز دفن شهر قم انجام شد، نشان داد که با افزایش زمان ماند میزان راندمان افزایش می‌یابد (۴۱). نتیجه این مطالعه به لحاظ زمان ماند با تحقیق عمویی و همکاران (زمان تماس ۸۰ دقیقه برای حذف فلزات سنگین از صنایع آبکاری و

گالوانیزه) نزدیک است (۴۲). به دلیل این که پساب این کشتارگاه بعد از مراحل تصفیه به آب‌های سطحی می‌ریزد می‌بایست منطبق با استانداردهای محیط زیست جهت تخلیه به آب‌های سطحی (COD تا ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر، BOD₅ تا ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH بین ۶/۵ تا ۸/۵) باشد (۴۳). به علاوه این مطالعه، از نظر کارآمدی روش الکتروکواگولاسیون برای ارتقای عملکرد و کارآئی تصفیه خانه‌های فاضلاب‌هایی که دارای رنگ هستند با تحقیق یوسفی و همکاران مطابقت دارد (۴۴). با توجه به یافته‌های این مطالعه می‌توان این گونه جمع‌بندی نمود که جریان مستقیم با شرایط زمان ۹۰ دقیقه، pH برابر با ۷ و اختلاف پتانسیل ۱۸ ولت دارای بالاترین میزان بازدهی حذف COD، BOD₅ به ترتیب به میزان ۹۲/۵۷ درصد، ۹۶/۷۹ درصد شد و pH انتهای آزمایش ۹/۸۷ بوده است. بهینه‌ترین حالت با شرایط pH برابر با ۷، اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت و زمان ۴۵ دقیقه حاصل شد که همه پارامترهای COD، BOD₅ و pH خروجی پساب بعد از مرحله تصفیه با فرآیند الکتروکواگولاسیون مطابق با استانداردهای محیط زیست، به ترتیب برابر با ۸۴/۸۶ درصد، ۸۸/۹۳ درصد و ۸/۴۷ حاصل شده است، بنابراین طبق نتایج، تصفیه تکمیلی پساب کشتارگاه مرغ با استفاده از فرآیند الکتروکواگولاسیون امکان‌پذیر و مطلوب است.

سپاسگزاری

نتایج این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی در قالب پایان‌نامه با کد ثبت شده ۳۰۲۵ و کد اخلاق IR.MAZUMS.REC.1397.3025 معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران بوده که با حمایت مالی دو دانشگاه علوم پزشکی مازندران و بابل به انجام رسیده است. لازم می‌دانیم از دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی بابل و همکار این تحقیق سرکار خانم هاجر طبری نیا کارشناس ارشد دانشکده بهداشت جهت همکاری صمیمانه‌شان تشکر و قدردانی نماییم.

References

- Jensen PD, Yap SD, Boyle-Gotla A, Janoschka J, Carney C, Pidou M, Batstone DJ. Anaerobic membrane bioreactors enable high rate treatment of slaughterhouse wastewater. *Biochem Eng J* 2015; 97: 132-141.
- Darijani A, Harvey D. A survey on environmental pollutants in effluent of slaughterhouses. *J Agric Sci Natur Resour* 2008; 15(1): 110-118 (Persian).
- Harsij M, Adineh H. The possibility of using poultry slaughterhouse wastewater for culture of common carp fish (*Cyprinus carpio*). *Journal Management Systems* 2017; 6(2): 11-19 (Persian).
- Yousefi Z, Behbodi M, Mohammadpour RA. Slaughterhouse wastewater treatment by combined anaerobic baffled reactor and anaerobic filter: study of OLR and HRT optimization in ABR/AF reactors. *Environ Health Eng Manag* 2018; 5(3): 137-142.
- Fernando Bustillo C, Lecompte A, Mehrvar M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and Advances. *J Environ Manage* 2015; 161: 287-302.
- Bazrafshan E, Mahvi AH, Nasser S, Shaieghi M. Performance evaluation of electrocoagulation process for diazinon removal from aqueous environments by using iron electrodes. *Journal of Environmental Health Science & Engineering* 2007; 4(2): 127-132.
- Liu Y, Kang X, Li X, Yuan Y. Performance of aerobic granular sludge in a sequencing batch bioreactor for slaughterhouse wastewater treatment. *Bioresource Technol* 2015; 190: 487-491.
- Al-Mutairi NZ, Al-Sharifi FA, Al-Shammari SB. Evaluation study of a slaughterhouse wastewater treatment plant including contact-assisted activated sludge and DAF. *De Salination* 2008; 225(1-3): 167-175.
- Eryuruk K, Tezcanun U, Bakir Ogutveren U. Electrocoagulation in a Plugflow Reactor: The Treatment of Cattle Abattoir Wastewater by Iron Rod Anodes. *Int J Environ Res* 2014; 8(2): 461-468.
- Bustillo-Lecompte CF, Mehrvar M, Quiñones-Bolaños E. Cost-effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobiceaerobic and UV/H₂O₂ Processes. *J Environ Manage* 2014; 134: 145-52.
- De Nardia IR, Fuzia TP, Del Nery V. Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater. *Resour Conserv Recycl* 2008; 52(3): 533-544.
- Adhoum N, Monser L, Bellakhal N, Belgaied JE. Treatment of electroplating wastewater containing Cu²⁺, Zn²⁺ and Cr(VI) by electrocoagulation. *J Hazard Mater* 2004; 112(3): 207-213.
- Bukhari AA. Investigation of the electrocoagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater. *Bioresour Technol* 2008; 99(5): 914-921.
- Escobar C, Soto-Salazar C, Toral MI. Optimization of the electrocoagulation process for the removal of copper, lead and cadmium in natural waters and simulated wastewater. *J Environ Manage* 2006; 81(4): 384-391.
- Can OT, Kobyas M, Demirbas E, Bayramoglu M. Treatment of the textile wastewater by

- combined electrocoagulation. *Chemosphere*. 2006; 62(2): 181-187.
16. Tezcan UnU, Koparal AS, Ogutveren UB. Electrocoagulation of vegetable oil refinery wastewater using aluminum electrodes. *J Environ Manage* 2009; 90(1): 428-433.
 17. Koby M, Hiza H, Senturka E, Aydinera C, Demirbas E. Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation. *Desalination* 2006; 190(1-3): 201-211.
 18. Mouedhen G, Fekia M, Wery MDP, Ayedi HF. Electrochemical removal of Cr(VI) from aqueous media using iron and aluminum as electrode materials: Towards a better understanding of the involved phenomena. *J Hazard Mater* 2009; 168(2-3): 983-991.
 19. Ozyonar Fuat, Karagozoglul B. Investigation of technical and economic analysis of electrocoagulation process for the treatment of great and small cattle slaughterhouse wastewater. *Taylor & Francis* 2014; 52(1-3): 74-87.
 20. Zodi S, Louvet J-N, Michon C, Potier O, Pons MN, et al. Electrocoagulation as a tertiary treatment for paper mill wastewater: Removal of non-biodegradable organic pollution and arsenic. *Sep Purif Methods* 2011; 81(1): 62-68.
 21. Lhan F, Kurt U, Apaydin O, Gonullu MT. Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. *J Hazard Mater* 2008; 154(1-3): 381-389.
 22. Razavi M, Saieedi M, Ebrahimi J. Comparison of the Cost and Efficiency of Aluminum and Iron Electrodes Application in the Removal of Phosphate, Nitrate and COD from Laundry Wastewater using Electrocoagulation Process. *IJHE* 2013; 6(3): 265-276.
 23. Bazrafshan E, Ownaghi K, Mahvi AH. Application of Electrocoagulation Process Using Iron and Aluminum Electrodes for Fluoride Removal from Aqueous Environment. *E-Journal of Chemistry* 2012; 9(4): 2297-2308.
 24. Zarei A, Biglari H, Mobini M, Dargahi A, Ebrahimzadeh G, Narooie MR, et al. Disinfecting Poultry Slaughterhouse Wastewater Using Copper Electrodes in the Electrocoagulation Process. *Pol J Environ Stud* 2018; 27(4): 1907-1912.
 25. Eryuruk K, Tezcan UnU, Ogutveren U B. Electrochemical treatment of wastewaters from poultry slaughtering and processing by using iron electrodes. *J Clean Prod* 2018; 172: 1089-1095.
 26. Godini K, Azarian G, Nematollahi D, Rahmani AR, Zolghadrnasab Hassan. Electrochemical treatment of Poultry Slaughterhouse Wastewater using Iron and Aluminium Electrodes. *Research Journal of Chemistry and Environment* 2012; 98-103.
 27. Khosa MK, Jamal MA, Mahmood Zia K, Saif MJ, Rehman FU, Bokhari TH, et al. Treatment of Cattle Slaughter House Wastewater by Electrocoagulation Method Using Aluminium Electrodes. *Asian Journal of Chemistry* 2014; 26(19): 6335-6338
 28. Bani-Melhem Kh, Smith E. Grey water treatment by a continuous process of an electrocoagulation unit and a submerged membrane bioreactor system. *Chem Eng Sci* 2012; 198-199: 201-210.
 29. Bouamraa F, Drouichea N, Dihya b, Ahmeda S, Lounicia H. Treatment of Water Loaded With Orthophosphate by Electrocoagulation. *Procedia Eng* 2012; 33: 155-162.
 30. Rice EW, Baird RB, Eaton LS. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22th ed. Washington DC. American Public Health Association. 2013

31. Kuokkanen V, Kuokkanen T, Ramo J, Lassi U. Electrocoagulation treatment of peat bog drainage water containing humic substances. *Water Research* 2015; 79: 79-87.
32. Ghanbari F, Mazaheri A, Mahdi pour F, Mir Shafieyan SD, Moradi M, Sharifi M, et al. Evaluation of electrocoagulation processeffect in decolorization of dyeing wastewater by using Al/Fe & Al/Cu electrodes. *Quarterly J Sabzevar Univ Med Sci* 2014; 20(5): 716-725.
33. Ozyonar F, Karagozoglu B. Operating Cost Analysis and Treatment of Domestic Wastewater by Electrocoagulation Using Aluminum Electrodes. *Polish J of Environ Stud* 2011; 20(1): 173-179.
34. Jafari Mansoorian H, Mahvi AH, Bazrafshan E, Jonidi Jafari A. Efficiency of the Electrocoagulation Process with Alternating and Direct Current for Eliminating Lead from Battery Industry Wastewater by Using Metal Iron and Stainless Steel Electrodes. *TB* 2013; 13(1):144-164.
35. Mahvi AH, Mosreghani M, Karimi K, Shirejian M. Performance of Electro-Coagulation Process For the Removal of Heavy Metals (Copper, Zinc and Cobalt) From Landfill Leachate in Tehran. *SJIMU* 2012; (21): 71-79.
36. Bazrafshan E, Mahvi AH. Removal of Cadmium from Aqueous Environments by Electrocoagulation process using Aluminum Electrodes. *ZJRMS* 2007; 9(1): 9-15.
37. Bazrafshan E, Mahvi AH, Naseri S, Mesdaghinia AR. Performance evaluation of electrocoagulation process for removal of chromium (VI) from synthetic chromium solutions using iron and aluminum electrodes. *Turkish J Eng Env Sci* 2008; 32: 59-66.
38. Bazrafshan E, Moein H, Kord Mostafapour F, Nakhaie Sh. Application of Electrocoagulation Process for Dairy Wastewater Treatment, Hindawi Publishing Corporation. *Journal of Chemistry* 2012; 2013: 640139.
39. Dehghani M, Shiehani Seresht S, Hashemi H. Treatment of hospital wastewater by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. *International Journal of Environmental Health Engineering* 2014; 3(1): 32-37 (Persian).
40. Ghahremani H, Bagheri S, Hassani SM, Khoshchehreh MR. Treatment of Dairy Industry Wastewater using an Electrocoagulation Process. *Advances in Environmental Biology* 2012; 6(7): 1897-1901.
41. Malakootian M, Izanloo H, Messerghany M, Emamjomeh MM. Electrocoagulation Efficiency in Removal of COD from the Qom Landfill Leachate, Iran. *IJHE* 2012; 5(2): 201-210 (Persian).
42. Amouei A, Borqhei M, Mohseni M, Goodarzi J, Faraji H. Removal of Chromium, Nickel, Zinc and Turbidity from Industrial Wastewater by Electrocoagulation Technology (Case Study: Electroplating and Galvanized Wastewater of Industrial Zone in Boomhen). *J Mazandaran Univ Med Sci* 2015; 24(120): 209-219 (Persian).
43. Department of Environment Islamic Republic of Iran. Environmental Criteria of Treated Waste Water and Return Flow Reuse. Iran, Office of Deputy for Strategic Supervision; 1994.
44. Yousefi Z, Zafarzadeh A, Ghezal AA. Application of Taguchi's experimental design method for optimization of Acid Red 18 removal by electrochemical oxidation process, *Environ Health Eng Manag* 2018; 5(4): 241-248.