ORIGINAL ARTICLE

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

Zabiholllah Yousefi[1],
Hossein Sahebian[2],
Abdoliman Amouei[3],
Reza Ali Mohammadpour[4],
Ebrahim Zarei[5]

[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, BOD_5) 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 BOD_5 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: electrcoagulation, 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)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و نهم شماره ۱۷۲ اردیبهشت سال ۱۳۹۸ (۶۶-۵۳)

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 می‌تواند 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 روش‌ها: 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 BOD_5)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.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که راندمان حذف در حالت بهینه در اختلاف پتانسیل۱۲ ولت،pH برابر ۷ و زمان ۴۵ دقیقه، برای COD و BOD_5 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 می‌توان گفت که فرآیند لخته سازی الکتریکی می‌تواند به عنوان یک فرآیند ترکیبی با کارایی بالا در حذف بارآلی پساب کشتارگاه به کار رود. استفاده از این تکنیک می‌تواند پسابی منطبق بر استانداردهای تخلیه تولید نماید.

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

مقدمه

یکی از صنایعی که علی‌رغم نظارت کارشناسان سازمان حفاظت محیط زیست بر کیفیت رعایت ضوابط محیط زیستی هم‌چنان موضوع آلودگی آن‌ها و ضرورت استقرار واحدهای صنعتی از سوی سازمانهای نظارتی و رسانه‌ها مطرح بوده و کم‌توجهی به توسعه این واحدها، سبب کاهش سطح بهداشت عمومی جامعه و افزایش آلودگی‌های محیط زیستی شده است کشتارگاه‌ها می‌باشند(۲،۱). آلودگی فاضلاب‌های ناشی از کشتارگاه‌ها، یکی ازمشکلات عمده این صنعت در سراسر دنیا می‌باشد. یکی از بخش‌های این صنعت که دارای فاضلاب قابل

مولف مسئول: عبدالایمان عموئی: بابل: میدان گنج افروز، دانشگاه علوم پزشکی بابل، دانشکده بهداشت E-mail: iamouei1966@gmail.com
۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجوئی، 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 :۱۳۹۷/۵/۲۷ تاریخ تصویب : ۱۳۹۷/۱۲/۱۵

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

توجهی از لحاظ کیفیت و کمیت می‌باشد کشتارگاه طیور 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 آن ها 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(۵،۴). 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 تثبیت‌کننده، 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(۸،۷،۴). هم چنین فرایندهای بی هوازی 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 هم‌چون 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 روش هایی راه اندازی شود که با توجه به غلظت بالای فاضلاب کشتارگاه راندمان بسیار بالایی داشته باشد و عملیات بهره‌برداری و نگهداری آن ساده باشد(۱۱،۱۰). یکی از این تکنولوژی‌ها فرآیند لخته‌سازی الکتریکی می‌باشد. تکنولوژی الکتروشیمیایی اساسا یک فرآیند الکترولیتیکی است که شامل ناپایدارسازی آلاینده‌های معلق،امولسیون یا حل شده در محیط‌های آبی از طریق کاربرد جریان الکتریکی می‌باشد(۱۳،۱۲). 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).

در آند : (۱) $Al \longrightarrow Al^{3+}{}_{(aq)} + 3e^-$

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

و در کاتد:

$$3H_2O + 3e^- \longrightarrow 3/2\, H_2\,(g) + 3OH^- \quad (۲)$$

$$Al^{3+}{}_{(aq)} + 3H_2O \longrightarrow Al(OH)_3 + 3H^+ \quad (۳)$$

در این فرآیند به علت آزاد شدن گازهای هیدروژن از کاتد و اکسیژن از آند عمل شناورسازی نیز انجام می‌گیرد. علاوه براین 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 الکترود آلومینیوم برای حذف COD عملکرد بهتری نسبت به الکترود آهنی داشته است(۱۹).

در مطالعه ای 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 فرایند 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 لخته سازی الکتریکی در حذف همزمان فسفات، نیترات و COD پساب رختشوی خانه 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 الکترود 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 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 الکترود آهن و آلومینیوم نشان داد که بیش ترین مقدار حذف COD برابر ۹۵/۶ درصد با الکترود آلومینیوم به دست آمد و در شرایط مشابه با الکترود 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 الکترود 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، آبگیری ساده لجن تولیدی و هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری کم دارد(۲۹،۲۸). در صنایعی مانند کشتارگاه‌ها به دلیل این‌که تعداد و نوع

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

کشتار متغیر می‌باشد و امکان به وجود آمدن شوک به تصفیه خانه بر اثر ورود فاضلاب وجود دارد این روش با مزیت‌هایی که دارد می‌تواند به عنوان یک روش تصفیه تکمیلی مورد استفاده قرار گیرد. به‌همین دلیل هدف از این مطالعه ارزیابی کارایی فرآیند لخته‌سازی الکتریکی با جریان مستقیم به عنوان تصفیه تکمیلی پساب کشتارگاه مرغ جهت حذف مواد آلی (BOD_5 و COD)، با استفاده از الکترودهای آلومینیومی بوده است.

مواد و روش‌ها

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 بهره‌برداری و تولید رسیده است. این کشتارگاه ظرفیت کشتار و بسته‌بندی ۴۰۰۰ قطعه مرغ گوشتی در ساعت همراه با واحد مستقل قطعه‌بندی مرغ و بسته‌بندی دارا می‌باشد که در حال حاضر به طور متوسط روزانه ۱۵۰۰۰ مرغ کشتار شده و ۱۰۰ مترمکعب آب مصرف می‌شود. این کشتارگاه دارای تصفیه خانه فاضلاب با سیستم لجن فعال از نوع هوادهی گسترده می‌باشد. پساب خروجی از این فرآیند نیز در زمین‌های کشاورزی دفع می‌شود. نمونه‌های پساب مورد استفاده در راکتور الکتروکواگولاسیون بعد از فرایند لجن فعال (بعد از حوضچه ته‌نشینی) به کار رفته در این کشتارگاه برداشته شد. در این مطالعه سلول الکتروکواگولاسیون از یک رآکتور با مخزن شیشه‌ای 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 قطب‌های مثبت و منفی) قرار گرفتند. حدود ۵ سانتی‌متر از طول الکترود داخل پساب قرار می‌گرفت. ضمنا روی صفحه الکترود، بخشی که داخل پساب بود، ۶ منفذ دایره‌ای به قطر ۰/۸ سانتی‌متر برای چرخش بهتر پساب ایجاد شد. سطح موثرهر الکترود $50cm^2$ بود. در این آزمایشات از 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 می‌تواند جریان AC را به DC تبدیل نماید، استفاده شد. تصویر شماره ۱ شمای واقعی از پایلوت مورد استفاده را نشان می‌دهد:



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

نمونه‌های پساب کشتارگاه از اواخر تابستان تا اواخر زمستان ۱۳۹۶، به روش مرکب از پساب خروجی کشتارگاه قبل از عملیات کلرزنی با روش‌های مبتنی بر استاندارد برداشته شده و در مدت زمان کم‌تر از ۶ ساعت به آزمایشگاه منتقل شد و پس از تنظیم pH (۹،۷،۵،۳) در هر آزمایش به میزان ۷۰۰سی‌سی پساب به درون سلول الکتروشیمیایی تزریق می‌شد سپس جریان الکتریکی با اختلاف پتانسیل‌های ۱۸، ۱۲ و ۶ ولت برقرار شده و در فواصل زمانیmin ۹۰ و ۶۰، ۳۰، ۱۰ و با سرعت چرخش همزن ۱۵۰ دور در دقیقه، به میزان ۱۵۰ml از میانه راکتور نمونه برداشته می‌شد. لازم به ذکر است که قبل از نمونه‌گیری در هر بار آزمایش به مدت ۱۵ دقیقه جهت ته‌نشینی فلوک‌ها زمان صرف شد. نمونه‌ها در دمای 4^oc نگهداری و در پایان مطابق با روش‌های مندرج در کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش آب

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

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 ازمعادله شماره۴ محاسبه می‌شد:

$$R\% = [(C_0-C_1)/C_0] \times 100 \quad (۴)$$

که در آن C_0 و C_1 به ترتیب غلظت آلاینده قبل و بعد ازفرآیند 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 pH متر N120 مدل CORNING ساخت کشور آمریکا اندازه‌گیری شد. هم چنین برای انجام محاسبات آماری و تجزیه وتحلیل 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.

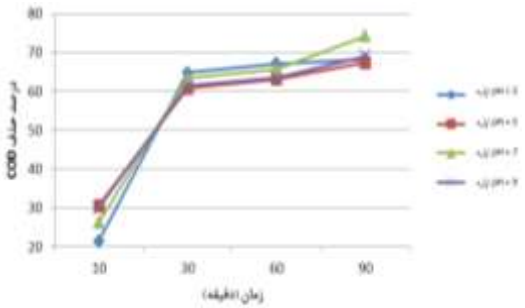
یافته ها

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

جدول شماره ۱: خصوصیات فاضلاب خام و پساب کشتارگاه بابل طیور

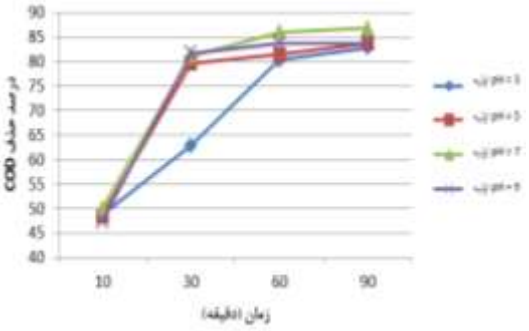
پارامتر	تعداد نمونه	فاضلاب خام			پساب		
		حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر
pH	۴۸	۶/۸	۶/۸۵±۰/۰۲	۶/۹	۷	۷/۲±۰/۱۱	۷/۴
COD(mg/l)	۴۸	۱۶۴۴	۲۵۰۰±۴۵۴	۳۲۰۸	۲۱۴	۳۵۰±۶۲	۴۳۹
BOD_5(mg/l)	۴۸	۱۰۱۶	۱۲۰۰±۱۲۰	۱۳۸۴	۱۱۹	۱۵۰±۱۹	۱۹۱
کدورت	۴۸	۳۵۲	۳۹۵±۲۴	۴۳۸	۵۳	۶۵±۹	۸۱
EC	۴۸	۲۰۷۲	۲۲۵۰±۱۰۵	۲۴۳۵	۱۹۱۵	۲۰۲۵±۶۰	۲۱۳۵
TSS(mg/l)	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 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 پتانسیل۶ ولت را نشان می‌دهد که 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=۳ در زمان ۱۰ دقیقه بوده که به ترتیب برابر با ۷۴/۲۹درصد و ۲۱/۴۳ درصد می باشد.



تصویر شماره ۱: درصد حذف COD در اختلاف پتانسیل۶ ولت در pH و زمان های مختلف

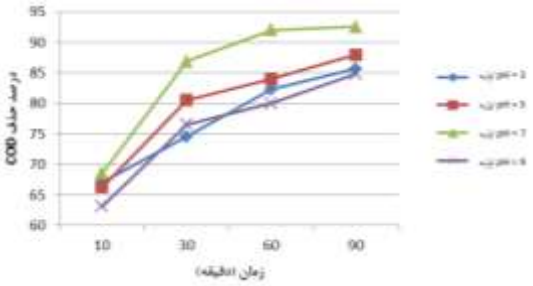
تصویر شماره ۲ راندمان حذف COD در اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر شماره ۲ مشاهده می‌شود با گذشت زمان راندمان حذف COD افزایش می‌یابد که بیش‌ترین راندمان حذف مربوط به pH =۷ در زمان ۹۰ دقیقه و کم‌ترین راندمان حذف مربوط به pH=۹ در زمان ۱۰ دقیقه بوده که به ترتیب برابر با ۸۶/۸۶ درصد و۴۷/۴۳ درصد می‌باشد.



تصویر شماره ۲: درصد حذف COD در اختلاف پتانسیل۱۲ ولت در pH و زمان های مختلف

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

تصویر شماره ۳ راندمان حذف COD در اختلاف پتانسیل۱۸ 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 پتانسیل۱۸ ولت در pH و زمان های مختلف

تصویر شماره ۴ راندمان حذف BOD_5 در اختلاف پتانسیل ۶ ولت را نشان می‌دهد که با گذشت زمان راندمان حذف BOD_5 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.

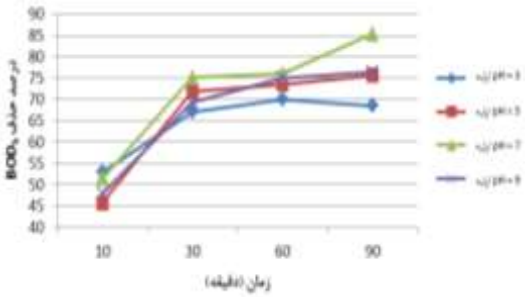
تصویر شماره ۵ راندمان حذف BOD_5 در اختلاف پتانسیل۱۲ ولت را نشان می‌دهد. با گذشت زمان راندمان حذف BOD_5 افزایش می‌یابد که بیش‌ترین راندمان حذف مربوط به pH =۹ در زمان ۹۰ دقیقه و کم‌ترین راندمان حذف مربوط به pH=۳ در زمان ۱۰ دقیقه بوده که به ترتیب برابر با ۹۴/۶۴ و ۶۵/۷۱ درصد می باشد.

تصویر شماره ۶ راندمان حذف BOD_5 در اختلاف پتانسیل۱۸ ولت را نشان می‌دهد. با گذشت زمان راندمان حذف BOD_5 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.

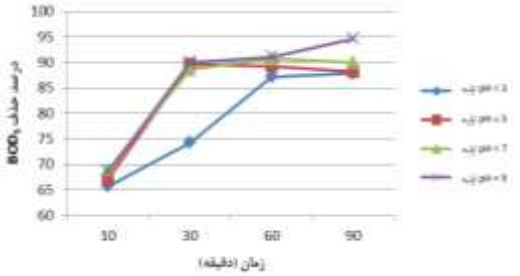
تصویر شماره ۷، تغییرات pH را در اختلاف پتانسیل ۶ ولت نشان می‌دهد. همان‌طور که از تصویر مشاهده می‌شود با افزایش زمان فرآیند تصفیه، pH اولیه پساب افزایش می‌یابد.

تصویر شماره۸ بیانگر تغییرات pH در اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان فرآیند تصفیه، pH اولیه پساب افزایش می‌یابد.

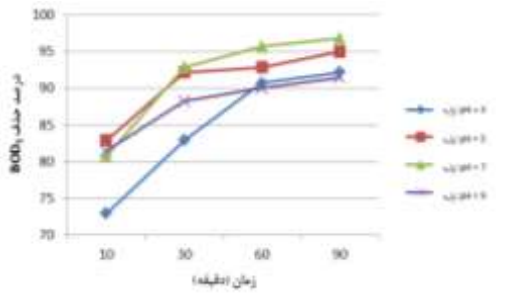
تصویر شماره۹ بیانگر تغییرات pH در اختلاف پتانسیل ۱۸ ولت می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان فرآیند تصفیه، pH اولیه پساب افزایش می‌یابد.



تصویر شماره ٤: درصد حذف BOD_5 در اختلاف پتانسیل۶ ولت در pH و زمان های مختلف

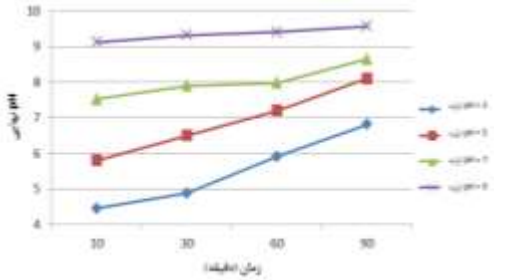


تصویر شماره ۵: درصد حذف BOD_5 در اختلاف پتانسیل۱۲ ولت در pH و زمان های مختلف

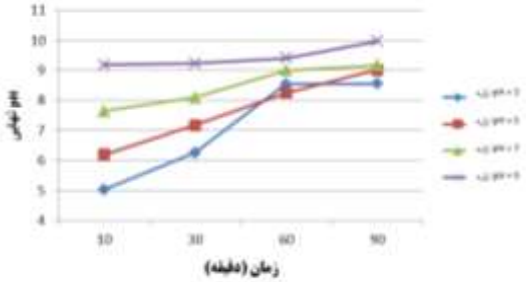


تصویر شماره ۶: درصد حذف BOD_5 در اختلاف پتانسیل۱۸ ولت در pH و زمان های مختلف

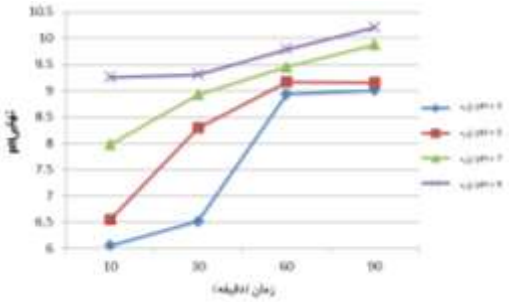
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]



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 ۱۲ولت در زمان های مختلف



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

در این مطالعه میانگین تغییرات شدت جریان برحسب 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 BOD_5 به ترتیب برابر با ۸۴/۸۶ درصد و ۸۸/۹۳ درصد حاصل شد. هم چنین pH خروجی برابر با ۸/۴۷ گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

در این مطالعه آزمون تحلیل واریانس جهت بررسی تفاوت متغیرهای تحقیق با زمان، اختلاف پتانسیل و pHهای مختلف انجام پذیرفت که نتایج آن در جدول شماره ۳ نشان داده شده است. جدول شماره ۳ نشان می‌دهد که متغیرهای COD و BOD_5 با pH های متفاوت رابطه معناداری مشاهده نشده است. هم‌چنین نشان می‌دهد متغیر pH نهایی با pH اولیه، زمان و اختلاف پتانسیل‌های متفاوت رابطه معناردار دار و متغیر COD و BOD_5 با زمان و ولتاژهای متفاوت رابطه معنادار وجود دارد (شرط $P<0/05$ برقرار است).

جدول شماره ۲: میانگین تغییرات شدت جریان برحسب 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

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

جدول شماره۳: آزمون تحلیل واریانس بررسی تفاوت متغیرهای مطالعه با pHهای متفاوت

پارامتر	متغیر		حداقل	انحراف معیار± میانگین	حداکثر	فاصله اطمینان ۹۵ درصد		F	سطح معنی داری
						حد پایین	حد بالا		
pH نهایی	pH	۳	۴/۴۵	۶/۷۴۲ ± ۱/۶۳۷	۹/۰۰۰	۵/۷۰۱	۷/۷۸۳	۲/۹۵۲	۰/۰۴۳
		۵	۵/۸۰	۷/۶۱۵ ± ۱/۲۰۱	۹/۱۶	۶/۸۵۱	۸/۳۷۸		
		۷	۷/۵۲	۸/۳۶۶ ± ۰/۷۲۱	۹/۸۷	۷/۹۰۸	۸/۸۲۴		
		۹	۸/۰۰	۸/۶۹۴ ± ۲/۷۵۸	۱۰/۲۰	۶/۹۴۱	۱۰/۴۴۷		
	زمان	۱۰	۴/۴۵	۷/۰۴۴ ± ۱/۶۲۶	۹/۲۵	۶/۰۱۰	۸/۰۷۷	۲/۶۱۶	۰/۰۶۳
		۳۰	۴/۸۸	۷/۶۳۶ ± ۱/۳۹۶	۹/۳۲	۶/۷۴۹	۸/۵۲۴		
		۶۰	۵/۰۰	۷/۷۳۲ ± ۲/۶۵۳	۹/۷۸	۶/۰۴۶	۹/۴۱۸		
		۹۰	۶/۸۱	۹/۰۰ ± ۰/۹۲۶	۱۰/۲۰	۸/۴۱۶	۹/۵۹۳		
	ولتاژ	۶	۴/۰۰	۶/۸۵۶ ± ۲/۳۸۱	۹/۵۷	۵/۵۸۷	۸/۱۲۵	۴/۱۸۳	۰/۰۲۲
		۱۲	۵/۰۳	۸/۱۳۶ ± ۱/۳۵۹	۹/۹۷	۷/۴۱۲	۸/۸۶۱		
		۱۸	۶/۰۵	۸/۵۷۰ ± ۱/۲۵۹	۱۰/۲۰	۷/۸۹۹	۹/۲۴۰		
COD	pH	۳	۲۱/۴۳	۶۷/۱۹۱ ± ۱۷/۸۳۲	۸۵/۷۱	۵۵/۸۶۱	۷۸/۵۲۱	۰/۲۱۰	۰/۸۸۹
		۵	۳۰/۵۷	۶۷/۵۲۳ ± ۱۷/۰۷۴	۸۸/۰۰	۵۸/۶۷۴	۸۰/۳۷۱		
		۷	۲۶/۲۹	۷۲/۸۱۰ ± ۱۹/۶۳۲	۹۲/۵۷	۶۰/۳۳۶	۸۵/۲۸۴		
		۹	۳۰/۰۰	۶۸/۷۶۰ ± ۱۶/۸۷۵	۸۴/۸۶	۵۸/۰۳۹	۷۹/۴۸۲		
		۱۰	۲۱/۴۳	۴۷/۳۵۷ ± ۱۶/۹۴۵	۶۸/۵۷	۵۸/۱۲۴	۳۶/۵۹۰		
	زمان	۳۰	۶۰/۸۶	۷۲/۸۸۰ ± ۹/۵۰۳	۸۶/۸۶	۷۸/۹۱۹	۶۶/۸۴۲	۲۰/۱۱۸	۰/۰۰۰
		۶۰	۶۳/۱۴	۷۷/۴۲۸ ± ۹/۸۴۵	۹۲/۰۰	۸۳/۶۸۳	۷۱/۱۷۳		
		۹۰	۶۷/۴۳	۸۰/۶۱۹ ± ۸/۵۳۹	۹۲/۵۷	۸۶/۰۴۴	۷۵/۱۹۳		
	ولتاژ	۶	۲۱/۴۳	۵۶/۰۹۰ ± ۱۷/۷۰۲	۷۴/۲۹	۶۵/۵۲۲	۴۶/۶۵۷	۱۱/۰۴۷	۰/۰۰۰
		۱۲	۴۷/۴۳	۷۳/۰۵۳ ± ۱۵/۴۴۶	۸۶/۸۶	۸۱/۲۸۴	۶۴/۸۲۲		
		۱۸	۶۳/۱۴	۷۹/۵۷۱ ± ۹/۳۰۰	۹۲/۵۷	۸۴/۵۲۷	۷۴/۶۱۵		
BOD_5	pH	۳	۵۲/۸۶	۷۶/۰۱۱ ± ۱۲/۱۰۷	۹۲/۱۴	۶۸/۳۱۸	۸۳/۷۰۴	۰/۵۲۳	۰/۶۶۹
		۵	۴۵/۷۱	۸۰/۳۲۶ ± ۱۴/۳۳۲	۹۵/۰۰	۷۱/۲۲۰	۸۹/۴۳۳		
		۷	۵۱/۴۳	۸۲/۶۹۰ ± ۱۳/۱۵۵	۹۶/۷۹	۷۴/۳۳۱	۹۱/۰۴۸		
		۹	۴۷/۸۶	۸۰/۳۲۷ ± ۱۳/۶۵۷	۹۴/۶۴	۷۱/۶۵۰	۸۹/۰۰۵		
		۱۰	۴۵/۷۱	۶۵/۵۰۵ ± ۱۳/۲۲۹	۸۲/۸۶	۷۳/۹۱۱	۵۷/۱۰۰		
	زمان	۳۰	۶۷/۱۴	۸۱/۸۲۷ ±۹/۶۲۱	۹۲/۸۶	۸۷/۹۴۰	۷۵/۷۱۴	۱۰/۸۳۳	۰/۰۰۰
		۶۰	۷۰/۰۰	۸۵/۱۷۱ ± ۸/۸۵۶	۹۵/۷۱	۹۰/۷۹۸	۷۹/۵۴۴		
		۹۰	۶۸/۵۷	۸۶/۸۵۰ ± ۸/۸۲۴	۹۶/۷۹	۹۲/۴۵۷	۸۱/۲۴۴		
	ولتاژ	۶	۴۵/۷۱	۶۷/۶۲۰ ± ۱۱/۷۰۲	۸۵/۴۳	۷۳/۸۵۶	۶۱/۳۸۴	۲۰/۰۳۴	۰/۰۰۰
		۱۲	۶۵/۷۱	۸۳/۲۳۵ ± ۱۰/۲۳۸	۹۴/۶۴	۸۸/۶۹۱	۷۷/۷۸۰		
		۱۸	۷۲/۸۶	۸۸/۶۶۰ ± ۶/۶۴۲	۹۶/۷۹	۹۲/۲۰۰	۸۵/۱۲۱		

* : p<۰/۰۵

بحث

تأثیر pH

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

در این محدوده از pH عوامل منعقدکننده موثر مانند $Al(OH)_2^+$ و $Al(OH)_3$ بیش‌تر می‌باشد که منجر به کارایی بالای فرآیند شده است. بنابراین می‌توان گفت که فرایند لخته‌سازی 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 می‌باشد.

هنگامی که از الکترودهای آلومینیومی استفاده می‌شود، یون‌های $Al^{3+}_{(aq)}$ تولید شده بلافاصله واکنش‌های خود به خودی بیش‌تری را تحت تأثیر قرار خواهند داد تا هیدروکسیدها و پلی هیدروکسیدهای متفاوتی را تولید کنند(۳۳). در فرآیندهای جداسازی

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

شیمیایی یا الکتروشیمیایی، pH یک پارامتر مهم می‌باشد و بر تشکیل گونه‌های هیدروکسید فلزی و مکانیسم حذف یون‌ها و آلاینده‌ها تأثیر معنی‌داری 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 می‌باشد (تصویر شماره ۷،۸و۹). آن چه از این مطالعه و مطالعات قبلی بر می‌آید فرایند الکتروکواگولاسیون می‌تواند به عنوان یک تعدیل‌کننده PH نیز عمل نماید(۳۵).

در مطالعه‌ای که تحت عنوان لخته‌سازی الکتریکی درحذف همزمان فسفات، نیترات و COD پساب رختشوی خانه انجام شد، بهترین کارایی حذف آلاینده‌ها در PH= ۷ به دست آمد(۲۲).

در مطالعه دیگر تحت عنوان تصفیه فاضلاب کشتارگاه با استفاده از الکترود آهن نتایج نشان داد که کارایی حذف COD 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 تاثیر قرار دهد(۳۶). اثر اختلاف پتانسیل بر روی حذف COD و BOD_5 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، درصدهای کاهش BOD_5 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 می‌یابد که این امر دستیابی به راندمان بالا را امکان‌پذیر می‌سازد (جدول شماره۲).

پایین ترین راندمان حذف نیز در اختلاف پتانسیل ۶ ولت به دست آمد. این امر بیانگر این واقعیت است که درشرایط اختلاف پتانسیل بالا، مقدار آلومینیوم اکسید شده افزایش یافته که این باعث تولید مقادیر بیش‌تر رسوبات و لخته‌های 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 نمی‌باشد(۱۶،۶). با افزایش ولتاژ، دانسیته حباب‌ها افزایش یافته و اندازه آن‌ها کاهش می‌یابد و این امر باعث حذف سریع‌تر و بیش‌تر آلاینده‌ها می‌شود. سطح موثر و زمان ماند حباب‌های بزرگ کم‌تر از حباب‌های کوچک است لذا راندمان شناورسازی با افزایش دانسیته و کاهش اندازه حباب‌ها افزایش می‌یابد. با کاهش میزان اختلاف پتانسیل، زمان مورد نیاز برای رسیدن به راندمان‌های مشابه افزایش می‌یابد(۳۷). بذرافشان و همکاران در سال ۱۳۹۱ به بررسی اثرات اختلاف پتانسیل اعمال شده در یک فاضلاب لبنی در فرآیند الکتروکواگولاسیون پرداختند. نتایج نشان داد که راندمان حذف COD، BOD_5 با افزایش اختلاف پتانسیل اعمال شده و زمان واکنش افزایش می‌یابد(۳۸). در مطالعه ای که توسط بذرافشان و همکاران در سال ۲۰۱۲ در مورد استفاده از فرآیند لخته سازی الکتریکی با استفاده از الکترود 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 با افزایش پتانسیل الکتریکی میزان تصفیه افزایش یافت(۲۳).

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

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

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 تاثیر گذاشته و باعث افزایش رهاسازی آن می‌شود(۲۲). در این مطالعه با بررسی تاثیر زمان واکنش در حذف COD و BOD_5 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 min ۹۰ به دست آمد. در ۱۰ دقیقه اول آزمایشات با جریان مستقیم در تمامی pH های ۳، ۵، ۷ و ۹ میزان حذف COD و BOD_5 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 مطالعه ای برروی 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 الکترود، 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 عموئی 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 می بایست 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 الکتروکوآگولاسیون 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 این‌گونه 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، BOD_5 به ترتیب به میزان ۹۲/۵۷ درصد، ۹۶/۷۹ درصد شد و pH انتهای آزمایش ۹/۸۷ بوده است. بهینه ترین حالت با شرایط pH برابر با ۷، اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت و زمان ۴۵ دقیقه حاصل شد که همه پارامترهای COD، BOD_5 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 و۸/۴۷ حاصل شده است، بنابراین طبق نتایج، تصفیه تکمیلی پساب کشتارگاه مرغ با استفاده از فرآیند الکتروکوآگولاسیون امکان پذیر و مطلوب است.

سپاسگزاری

نتایج این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی در قالب پایان نامه 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 می دانیم از دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی بابل و همکار این تحقیق سرکار خانم هاجر طبری نیا کارشناس ارشد دانشکده بهداشت جهت همکاری صمیمانه شان تشکر و قدردانی نماییم.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

References

1. 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.
2. Darijani A, Harvey D. A survey on environmental pollutants in effluent of slaughterhouses. J Agric Sci Natur Resour 2008; 15(1): 110-118 (Persian).
3. 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).
4. 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.
5. 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.
6. Bazrafshan E, Mahvi AH, Nasseri 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Bukhari AA. Investigation of the electro-coagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater. Bioresour Technol 2008; 99(5): 914-921.
14. 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.
15. Can OT, Kobya M, Demirbas E, Bayramoglu M. Treatment of the textile wastewater by

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

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. Kobya 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, Karagozoglu 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

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

31. Kuokkanen V, Kuokkanen T, Ramo J, Lassi U. Electrocoagulation treatment of peat bog drainage water containing humic substances. Water Rsearch 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 ofdying 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, Shiebani 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 Leahate, 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, Ghezel 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.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]