

A study on the evaluation of Electrocoagulation Efficiency in Wastewater Treatment of Dairy Industry in the form of a Continuous Flow (Case Study of Sewage from Sabah Cheese Factory in Gonbade Kavooos)

ABSTRACT

Background & objective: Today, with the development, the need for water in the production processes is increasing and so we have sewage with high level of pollution. This study aimed at determining the effectiveness of electrocoagulation for treatment of dairy industry wastewater in a continuous flow (case study wastewater of Sabah cheese factory Gonbad-e Qabus).

Materials & Methods: This study was descriptive and analytical with experimental approach. The samples were collected from Sabah dairy factory and put into the electrocoagulation reactor with continuous flow. At retention times of 20, 40 and 60 minutes with an electric current of voltages 20, 40 and 60 were purged. The samples were carried to the laboratory and various tests of COD, BOD, pH, turbidity, nitrate and phosphate were done. Then the results were compared and analyzed.

Results: The mean of COD, BOD, nitrates, phosphorus and turbidity was 4933 ± 231 , 600 ± 50 , 48.6 ± 14.8 , 28 ± 0.7 mg/L and 1329 ± 297.6 NTU respectively. The most removal efficiency of these parameters during the study was 84.62, 66.67, 55, 54.2 and 85.1 percent respectively.

Conclusion: This study showed that electrocoagulation process as a pre-treatment process can remove organic matters, turbidity and nutrients. It can also reduce organic load and increase wastewater biodegradability and it can be an effective option for treating wastewater effectively and thereby preventing pollution in our environment and water resources.

Keywords: Electrocoagulation, Wastewater, Dairy industry, Continuous flow

► **Citation:** Sadeghi M, Khosravi K, Khezri SM, Bay A. A study on the evaluation of Electrocoagulation Efficiency in Wastewater Treatment of Dairy Industry in the form of a Continuous Flow (Case Study of Sewage from Sabah Cheese Factory in Gonbade Kavooos). *Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2015;1 (4) : 266-274.

Mahdi Sadeghi

* Assistant professor of Environmental Health Engineering, Environmental Health Research Center, School of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran. (Corresponding Author)
mahdikargar1@gmail.com

Kaveh Khosravi

MSc Student of Environmental Engineering, Department of Environmental Health, Faculty of Electrical, computer and Environment engineering, West Tehran Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Seyed Mostafa Khezri

Associated professor of Environmental Engineering, College of Electrical, computer and Environment engineering, West Tehran Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abotaleb Bay

MSc of Environmental Engineering, PhD Student of Environmental Health, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Received: 20 January 2016

Accepted: 10 February 2016

بررسی کارایی الکتروکواگولاسیون در تصفیه فاضلاب صنایع لبنی به صورت جریان پیوسته (مطالعه موردی فاضلاب ورودی کارخانه پنیر صباح گنبد کاووس)

مهدی صادقی

* دکترای مهندسی بهداشت محیط، استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران. (نویسنده مسئول)
mahdikargar1@gmail.com

کاوه خسروی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده برق، کامپیوتر و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران

سید مصطفی خضری

دکترای مهندسی محیط زیست، دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده برق، کامپیوتر و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران

ابوطالب بای

کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشجوی دکترای بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: امروزه به دلیل گسترش روزافزون صنایع و نیاز گسترده به آب در فرایند تولید، انواع فاضلاب‌ها با بار آلودگی بالا تولید می‌شوند. لذا این مطالعه با هدف تعیین کارایی الکتروکواگولاسیون در تصفیه فاضلاب صنایع لبنی به صورت جریان پیوسته (مطالعه موردی فاضلاب ورودی کارخانه پنیر صباح گنبد کاووس) طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: مطالعه به صورت توصیفی تحلیلی با رویکرد آزمایشگاهی انجام شد. نمونه‌ها از فاضلاب ورودی کارخانه پنیر صباح برداشت و وارد راکتور الکتروکواگولاسیون با جریان پیوسته شد و در زمانهای ماند مختلف ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه و جریان الکتریسیته با ولتاژهای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ ولت آزمایشات COD، BOD، کدورت، نیترات، فسفات انجام و نتایج حاصله آنالیز گردید.

یافته‌ها: میانگین COD، BOD، نیترات، فسفات و کدورت به ترتیب در فاضلاب کارخانه صباح به طور متوسط برابر 4933 ± 231 ، 600 ± 50 ، $48/6 \pm 14/8$ ، $28 \pm 0/7$ میلی گرم در لیتر و NTU $1329 \pm 297/6$ بود. بیشترین میزان حذف این پارامترها در طول انجام مطالعه با توجه به زمان واکنش و میزان پتانسیل الکتریکی به ترتیب $84/62$ ، $66/67$ ، 55 ، $54/2$ و $85/1$ درصد بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج مشخص شد که فرایند انعقاد الکتریکی به عنوان فرایند پیش تصفیه می‌تواند باعث حذف مواد آلی، کدورت، مواد مغذی، کاهش بار آلی و افزایش تجزیه پذیری فاضلاب گردد و می‌تواند به عنوان گزینه‌ای مؤثر جهت تصفیه مؤثر فاضلاب‌ها، جلوگیری از آلودگی محیط زیست، منابع آب و حفاظت از آنها مد نظر قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: الکتروکواگولاسیون، فاضلاب، صنایع لبنی، جریان پیوسته.

◀ **استناد:** صادقی م، خسروی س، بای ا. بررسی کارایی الکتروکواگولاسیون در تصفیه فاضلاب صنایع لبنی به صورت جریان پیوسته (مطالعه موردی فاضلاب ورودی کارخانه پنیر صباح گنبد کاووس). *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. زمستان ۱۳۹۴؛ ۱(۴): ۲۶۶-۲۷۴.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۱

مقدمه

رودخانه‌ها و منابع آب به دلیل تخلیه کنترل نشده پسابهای صنعتی و دیگر فعالیتهای تخریبی و فرایندهای طبیعی همواره در معرض انواع آلودگی قرار دارند. هر روزه میلیونها لیتر فاضلاب از طریق کارخانه‌ها و مراکز صنعتی وارد رودخانه‌ها، دریاها و منابع خاک می‌گردد و محیط زندگی انسان و دیگر موجودات زنده اعم از گیاهان و جانوران را آلوده می‌سازد (۱).

با توجه به گستردگی صنایع لبنی و کارخانجات شیر پاستوریزه در کشور، جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست می‌بایست گامی در راستای تصفیه پسابهای تولیدی برداشته شود. فاضلاب صنایع شیر شامل غلظت بالایی از اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD) و کل نیتروژن کج‌دال (TKN) به ترتیب بالاتر از ۱۱۰۰۰، ۵۹۰۰ و ۷۲۰ میلی گرم بر لیتر می‌باشد (۲-۳). همچنین این فاضلاب‌ها معمولاً حاوی شیر و آمونیم (از اسید آمینو) و فسفات (از کازئین) است، بنابراین حاوی فاکتورهای اوتروفیکاسیون در منابع طبیعی است. اوتروفیکاسیون ممکن است باعث صدمه و تغییر اکوسیستم آبی و تهدیدی بر سلامت موجودات آبی باشد و همچنین باعث صدمه به اقتصاد اجتماعی که به آنها وابسته است، که مدیریت و کنترل این عوامل آلاینده نسبت به جبران صدمه وارده به اکوسیستم، کم هزینه تر است (۴).

در مورد فاضلابهای غیرقابل تجزیه راه حل مطرح شده تلفیق فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی می‌باشد که در مرحله اول در فرایند شیمیایی ترکیبات سمی و یا غیرقابل تجزیه بیولوژیکی تا جایی که دیگر اثر ممانعت کنندگی نداشته باشند حذف می‌شوند (۵).

در سالهای اخیر تحقیق بر روی کاربرد مستقیم الکتریسته در تصفیه آب و فاضلاب به دلیل سازگاری با محیط و امکان تصفیه مایعات، گازها و جامدات، توسعه یافته و به عنوان یک روش جذاب برای کواگولاسیون یا ته نشینی، تحت عنوان روش الکتروکواگولاسیون شناخته شده است (۱، ۶-۷). الکتروکواگولاسیون یا انعقاد الکتریکی فرایند تولید مواد منعقدکننده

در محل با استفاده از تجزیه الکتریکی الکترودهای آلومینیوم یا آهن و تولید یونهای فلزی در آند و گاز هیدروژن در کاتد است. در این روش با استفاده از جریان الکتریکی و نصب الکترودهای شیمیایی از جنس آلومینیوم، آهن و غیره که به صورت آند و کاتد عمل می‌کنند ذرات کلوئیدی موجود در محیط آب یا فاضلاب از طریق تولید بارهای مثبت الکتریکی از لحاظ الکتریکی، خنثی شده و در نتیجه تولید Al^{3+} و Fe^{3+} و غیره، فرآیند لخته‌سازی فراهم می‌گردد و از لحاظ راندمان تصفیه و حذف انواع آلاینده‌های محیط زیستی از بازده بسیار مطلوبی برخوردار بوده است (۸). در روش انعقاد الکتریکی، جریان الکتریسته مستقیم از طریق الکترودهای آهنی-آلومینیومی غوطه ور در آب، عبور داده می‌شود. در این سیستم یونهای الکترود قربانی از طریق، الکترولیت انتقال داده می‌شوند. آلاینده‌های نامطلوب از طریق واکنشهای شیمیایی و رسوب و یا توسط انعقاد مواد کلوئیدی جدا می‌گردند. این مواد سپس توسط شناور شدن الکترولیتی یا به واسطه ته نشینی و فیلتراسیون جدا می‌شوند. مکانیسم اتفاق افتاده در انعقاد الکتریکی مشابه با واکنش انعقاد و تصفیه با نمک AL است (۹-۱۱).

مطالعات متعددی در زمینه کاربرد الکتروکواگولاسیون در حذف آلاینده‌های مختلف انجام شده است. از جمله Rahmani و همکاران کاربرد روش الکتروشیمیایی در حذف COD از پساب را مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد در ولتاژ ۳۰ ولت و زمان ۶۰ دقیقه، درصد حذف COD برابر ۷۴ درصد بود (۱۲). Sostar-Turk و همکاران جهت تصفیه فاضلاب رختشوی خانه بوسیله روشهای کواگولاسیون و فیلتر غشایی انجام شد مشخص گردید به دلیل جداسازی بهتر مواد با روش فیلتر غشایی مصرف مواد شیمیایی در مقایسه با روش کواگولاسیون و روشهای جذب کاهش می‌یابد (۱۳). الکتروکواگولاسیون یک روش موثر و سریع در تصفیه املاح محلول در آب است که عامل منعقد کننده با مکانیسم تعویض یونی بوسیله صفحه آند صورت می‌گیرد در این فرایند هیچ گونه ماده شیمیایی منعقد کننده به آب افزوده نمی‌شود (۱۴). کاربرد روش الکتروکواگولاسیون دارای معایبی از قبیل مصرف برق، ایجاد

(اندازه گیری نیترات ($4500N$) و فسفات روش مولیبدات آمونیوم ($4500P-C$), کل جامدات به روش وزن سنجی در درجه حرارت $103^\circ C$ (B-2130), کدورت به روش نفلومتری (B-2130) و COD به روش تیترومتری ($5220C$), BOD_5 به روش تیریمتری اندازه گیری اکسیژن محلول ($5210B$) ذکر شده در استاندارد متد اندازه گیری شد (۱۵). زمان انجام نمونه برداری بهار و تابستان سال ۱۳۹۴ بوده و نمونه‌ها از محل تصفیه خانه فاضلاب کارخانه صبح برداشت شده و پارامترهای EC و pH در محل نمونه برداری توسط دستگاه قابل حمل HACH sension۱۵۶ ساخت شرکت HACH اندازه گیری شد و سایر پارامترها پس از انتقال نمونه‌ها به طور استاندارد به آزمایشگاه دانشکده بهداشت اندازه گیری شد.

طراحی راکتور

در این مطالعه از یک واحد الکتروشیمیایی شامل منبع تغذیه و صفحات الکترودهای آهن و آلومینیوم درمقیاس آزمایشگاهی و فاضلاب خانم صنایع لبنی (کارخانه لبنی صبح) استفاده شد. فاضلاب خام از یک مخزن با حجم مشخص به صورت مداوم و با دبی مشخص وارد راکتور اصلی شده و از طرف دیگر خارج گردید (جریان مداوم) که در این حالت به شرایط واقعی در محیط تصفیه خانه بسیار نزدیکتر بود.

تجهیزات مربوط به واحد الکتروشیمیایی شامل منبع تغذیه (مبدل جریان متناوب به جریان مستقیم) و صفحات الکترودهای

لایه اکسید شده بر روی الکتروود و کاهش راندمان و غیره می‌باشد که در طراحی باید مورد نظر قرار گیرد (۱۴).

با توجه به اهمیت تصفیه فاضلاب و حفظ محیط زیست از آلودگی، این تحقیق با هدف پیش تصفیه فاضلاب صنایع لبنی و تأثیر جریان الکتریکی و زمان الکترولیز در حذف کل اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی، نیترات، فسفات و کدورت طراحی و اجرا گردید.

روش کار

مطالعه حاضر یک مطالعه توصیفی تحلیلی با رویکرد تجربی و آزمایشگاهی بود. جامعه آماری فاضلاب ورودی کارخانه شیر صبح واقع در شهرک صنعتی آقچلی گنبد کاووس بوده که از آن نمونه برداری به صورت لحظه‌ای انجام شد و وارد راکتور شده و تحت واکنش الکتروکواگولاسیون قرار گرفت. مخزنی به حجم کل ۳۰ لیتر و حجم مفید ۲۰ لیتر به عنوان مخزن اولیه نگهداری پساب تعبیه گردیده و از این مخزن فاضلاب با دبی‌های مشخص (۱ لیتر، نیم لیتر و 0.33 لیتر در دقیقه) وارد راکتور با صفحات فلزی آهن و آلومینیوم شد. در شرایط مختلف عملکردی، زمان ماند (۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه و اختلاف پتانسیل الکتریکی (۲۰، ۴۰ و ۶۰ ولت- شدت جریان برابر $1/66$ ، $3/33$ و ۵ آمپر) از فاضلاب داخل راکتور نمونه گیری به عمل آمد. اندازه گیری pH توسط pH متر و اندازه گیری نیترات و فسفات به روش اسپکتروفتومتری



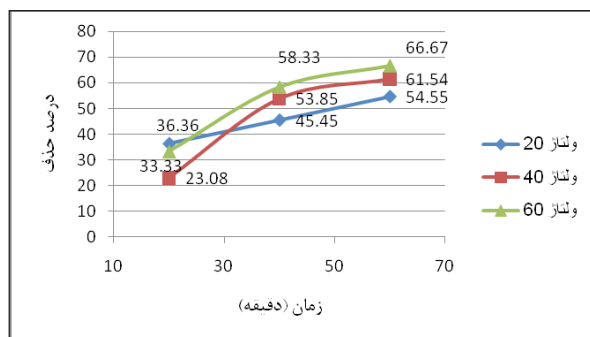
شکل ۱: نمای از راکتور استفاده شده در مطالعه

به زمان واکنش و میزان و لتاژ مقدار آن کاهش یافت. جدول ۲ میزان حذف COD در مراحل مختلف انجام مطالعه را نشان می‌دهد. بیشترین میزان حذف برابر ۸۴/۶۲ درصد بود که در مدت زمان ۶۰ دقیقه و پتانسیل الکتریکی ۶۰ ولت به دست آمد.

جدول ۲: مقدار و میزان حذف COD در مراحل مختلف انجام مطالعه

ردیف	پارامتر	زمان واکنش (دقیقه)	مقدار COD ((mg/L	درصد حذف
۱	فاضلاب خام	-	۴۸۰۰	-
۲	پتانسیل الکتریکی ۲۰ ولت- شدت جریان ۱/۶۶ آمپر	۲۰	۴۰۰۰	۱۶/۶۷
		۴۰	۳۲۰۰	۳۳/۳۳
		۶۰	۲۴۰۰	۵۰
۳	فاضلاب خام	-	۴۸۰۰	-
۴	پتانسیل الکتریکی ۴۰ ولت- شدت جریان ۱/۳۳ آمپر	۲۰	۳۲۰۰	۳۳/۳۳
		۴۰	۲۴۰۰	۵۰
		۶۰	۱۶۰۰	۶۶/۶۷
۵	فاضلاب خام	-	۵۴۰۰	-
۶	پتانسیل الکتریکی ۶۰ ولت- شدت جریان ۵ آمپر	۲۰	۲۴۰۰	۵۳/۸۵
		۴۰	۱۶۰۰	۶۹/۲۳
		۶۰	۸۰۰	۸۴/۶۲

میزان BOD در فاضلاب کارخانه صبحا به طور متوسط برابر 50 ± 60 میلی گرم در لیتر بود. در طول انجام مطالعه با توجه به زمان واکنش و میزان پتانسیل الکتریکی مقدار آن کاهش یافت. بیشترین میزان حذف برابر ۶۶/۶۷ درصد بود که در مدت زمان ۶۰ دقیقه و پتانسیل الکتریکی ۶۰ ولت به دست آمد. نمودار ۱ اثر زمان و پتانسیل الکتریکی در حذف BOD را نشان می‌دهد.



نمودار ۱: اثر زمان و پتانسیل الکتریکی در حذف BOD

آهن و آلومینیم به اندازه ۲۵ سانتی متر (۱۷/۳ سانتی متر در معرض فاضلاب قرار داده می‌شود) و ضخامت ۲-۳ میلی متر و فاصله ۳ سانتی متر از هم در یک راکتور شیشه‌ای با ابعاد $30 \times 30 \times 30$ سانتی متر، به حجم مفید ۲۷ لیتر، به حجم موثر ۲۰ لیتر فاضلاب و ۷ لیتر فضای آزاد نصب شد. ارتفاع موثر الکترودها در فاضلاب ۱۷/۳ سانتی متر بود. در هر سری از آزمایشات از ۴ الکترو کاتد و ۴ الکترود آند که به صورت یک در میان استفاده شد. ۵ سانتی متر از کف منطقه لجن بوده و شیر خروجی بالای این منطقه نصب شد و ۷/۷ سانتی متر بالای راکتور به عنوان منطقه آزاد در نظر گرفته شد (۱۶). شکل ۱ نمایی از راکتور مورد استفاده و لجن ناشی از بهره برداری آن را نشان می‌دهد.

یافته‌ها

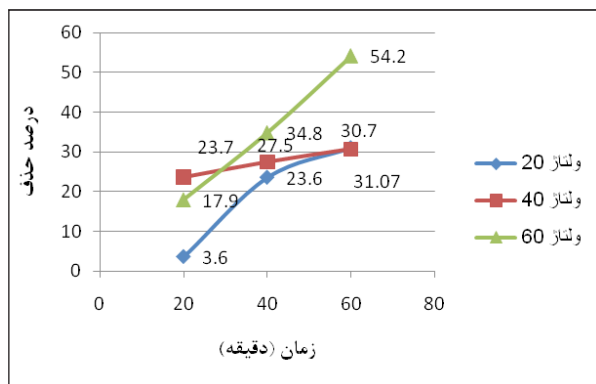
کیفیت فاضلاب خام کارخانه لبنی صبحا مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۱ مشخصات کیفی فاضلاب کارخانه لبنی صبحا را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج مشخص می‌شود که فاضلاب این صنعت جزء فاضلاب‌های قوی می‌باشد. همچنین از نسبت BOD/COD که به طور متوسط ۰/۱۱ می‌باشد مشخص می‌شود که فاضلاب خام در ابتدا قابلیت تجزیه بیولوژیکی ندارد.

جدول ۱: مشخصات فاضلاب خام کارخانه لبنی صبحا

ردیف	پارامتر	واحد	ماکزیمم	می نیمم	میانگین $\pm$ انحراف معیار
۱	COD	mg/L	۵۲۰۰	۴۸۰۰	4933 ± 231
۲	BOD	mg/L	۶۵۰	۵۵۰	600 ± 50
۳	هدایت الکتریکی	$\mu\text{S}/\text{cm}$	۲۲۸۰	۲۰۷۰	2180 ± 105
۴	کدورت	NTU	۱۶۴۰	۱۰۴۷	1329 ± 297
۵	pH	-	۶/۹۴	۶/۶۷	6.76 ± 0.15
۶	فسفات	mg/L	۲۸/۷	۲۷/۳	28 ± 0.7
۷	نیترات	mg/L	۶۵/۱	۳۶/۳	48 ± 14
۸	کل جامدات	mg/L	۳۵۵۰	۳۰۵۰	3233 ± 275

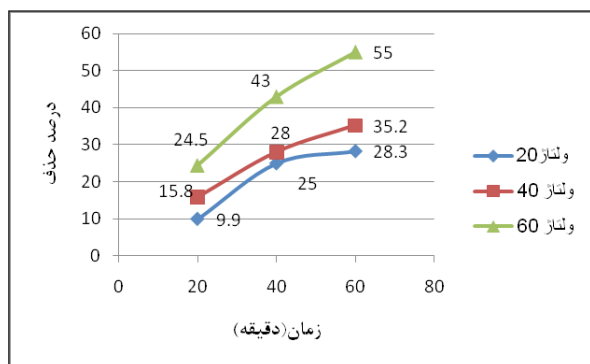
میزان COD در فاضلاب کارخانه صبحا به طور متوسط برابر 4933 ± 231 میلی گرم در لیتر بود. در طول انجام مطالعه با توجه

۶۰ دقیقه و پتانسیل الکتریکی ۶۰ ولت به دست آمد. نمودار ۴ اثر زمان و پتانسیل الکتریکی در حذف فسفر را نشان می‌دهد.



نمودار ۴: اثر زمان و پتانسیل الکتریکی در حذف فسفر

میزان نیترات در فاضلاب کارخانه صباح به طور متوسط برابر $48/6 \pm 14/8$ میلی گرم در لیتر بود. در طول انجام مطالعه با توجه به زمان واکنش و میزان پتانسیل الکتریکی مقدار آن کاهش یافت. بیشترین میزان حذف برابر ۵۵ درصد بود که در مدت زمان ۶۰ دقیقه و پتانسیل الکتریکی ۶۰ ولت به دست آمد. نمودار ۵ اثر زمان و پتانسیل الکتریکی در حذف نیترات را نشان می‌دهد.



نمودار ۵: اثر زمان و پتانسیل الکتریکی در حذف نیترات

بحث

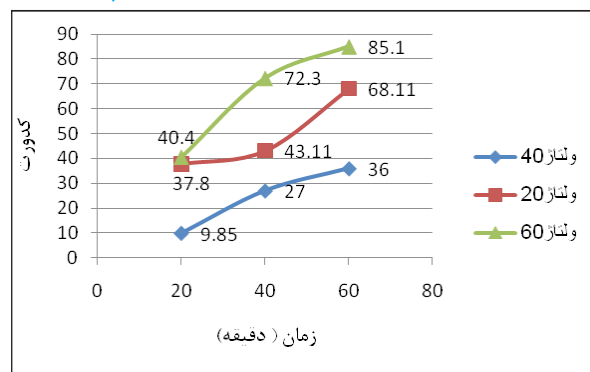
فاضلاب‌های تولیدی توسط صنایع در صورتی که به شیوه صحیح تصفیه نشوند می‌تواند اثرات نامطلوب زیست محیطی داشته باشد. این فاضلاب‌ها می‌تواند علاوه بر آلودگی آب‌های زیرزمینی، تبعات زیست محیطی دیگری از جمله آلودگی آب‌های سطحی، تغییر هدایت هیدرولیکی آبخوان و آلودگی منابع معدنی را نیز

نسبت BOD/COD در طول انجام مطالعه افزایش یافت. هر چه میزان زمان و پتانسیل الکتریکی بیشتر می‌شد این نسبت هم افزایش می‌یافت. این نسبت در فاضلاب خام به طور متوسط ۰/۱۱۶ بود. نمودار ۲ نسبت BOD/COD در مراحل مختلف انجام مطالعه را نشان می‌دهد.

میزان کدورت در فاضلاب کارخانه صباح به طور متوسط برابر $1329 \pm 297/6$ NTU بود. در طول انجام مطالعه با توجه به زمان واکنش و میزان ولتاژ مقدار آن کاهش یافت. بیشترین میزان حذف برابر ۸۵/۱ درصد بود که در مدت زمان ۶۰ دقیقه و پتانسیل الکتریکی ۶۰ ولت به دست آمد. نمودار ۳ اثر زمان و پتانسیل الکتریکی در حذف کدورت را نشان می‌دهد.



نمودار ۲: نسبت BOD/COD در مراحل مختلف مطالعه

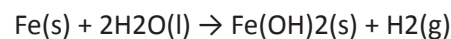
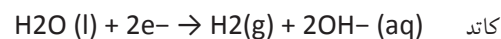
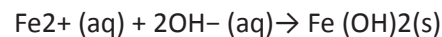
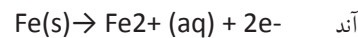


نمودار ۳: اثر زمان و پتانسیل الکتریکی در حذف کدورت

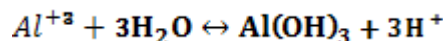
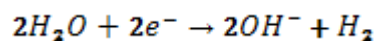
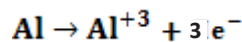
میزان فسفر در فاضلاب کارخانه صباح به طور متوسط برابر 28 ± 7 میلی گرم در لیتر بود. در طول انجام مطالعه با توجه به زمان واکنش و میزان پتانسیل الکتریکی مقدار آن کاهش یافت. بیشترین میزان حذف برابر ۵۴/۲ درصد بود که در مدت زمان

در پی داشته باشد. لذا فاضلاب‌ها قبل از دفع یا استفاده باید به طریق مناسب تصفیه گردد تا شدت آلودگی آن کاهش یابد. یکی از پارامترهایی که باید قبل از دفع به آن توجه نمود غلظت مواد مغذی و مواد آلی است چون حذف مواد مغذی با سیستم‌های متداول تصفیه فاضلاب ناپیچ می‌باشد.

در این مطالعه تأثیر الکترودهای آهنی و آلومینیوم در فرایند الکتروشیمیایی در ترکیبات آلی و کدورت در فاضلاب صنایع شیر مورد بررسی گرفت. معادلات زیر نشان دهنده فرایند الکتروشیمیایی یا استفاده از الکتروده آهنی است (۱).



معادلات زیر نشان دهنده فرایند الکتروشیمیایی یا استفاده از الکتروده آلومینیم است (۱).



در مجموع برای الکترودهایی از جنس آهن یون‌های فرو از طریق اکسیداسیون الکترولیتی الکتروده آند به داخل محلول رها شده و پس از واکنش با یون هیدروکسیل یون‌های مونومر و پلیمر هیدروکسیدهای فلزی تولید می‌کنند که این کاملاً به pH محلول بستگی دارد (۱، ۱۷). لخته‌های ایجاد شده توسط فرایند الکتروشیمیایی نسبت به لخته‌های شیمیایی خیلی بزرگ تر است و حاوی باند آبی کمتر، مقاومت به اسید و پایداری بیشتر است. گازهای تولیدی از الکترودهای آند و کاتد در مدت واکنش الکتروشیمیایی باعث عمل شناورسازی شده و حذف بهتر آلاینده‌ها را به دنبال دارد (۱۷).

با توجه به نتایج مطالعه مشخص شد که فاضلاب کارخانه لبنی صباح دارای فاضلاب با شدت قوی بوده و همچنین میزان نیترات و فسفر آن بالا است و فاضلاب خام آن به دلیل میزان COD بالا و

BOD پایین، قابلیت تجزیه بیولوژیکی پایین دارد. دلیل این مسئله ورود مستقیم مقدار زیادی آب پنی‌ر حاصل از تولید انواع پنیر به تصفیه خانه بوده که باعث افزایش میزان مواد آلی غیر قابل تجزیه بیولوژیک در فاضلاب می‌گردد. آب پنی‌ر تقریباً حاوی نیمی از مواد جامد موجود در شیر کامل می‌باشد. این مواد جامد شامل پروتئین با ارزش بیولوژیکی بالا، لاکتوز، مقادیر قابل توجهی ویتامین، مواد معدنی و چربی است (۱۸). این پساب‌ها عمدتاً از رقت‌های مختلف شیر (یا محصولات تغییر شکل یافته)، آب شستشو حاوی مواد شیمیایی اسیدی و قلیایی بعد از شستشوی بطری‌ها، مخازن، تجهیزات فرآیندی (ابزارها، پمپ‌ها) تشکیل می‌شوند (۱۹).

تأثیر متغیرهای مورد مطالعه

اثر انعقاد الکتریکی با استفاده از الکترودهای آهن و آلومینیوم بر روی حذف مواد آلی، مواد مغذی و کدورت به صورت تأثیر دانسیته جریان، تأثیر زمان واکنش مورد بررسی قرار گرفت که اثر این پارامترها به شرح ذیل است:

اثر دانسیته جریان:

دانسیته جریان به دلیل تعیین میزان کواگولانت تزریقی، یکی از مهم‌ترین پارامترها برای کنترل سرعت واکنش در فرایند انعقاد الکتریکی است (۲۰). با افزایش میزان شدت جریان الکتریکی و ولتاژ، زمان مورد نیاز برای رسیدن به راندمان‌های حذف مشابه کاهش می‌یابد و با کاهش میزان ولتاژ، زمان مورد نیاز افزایش می‌یابد. این امر به این دلیل است که با افزایش شدت جریان مقدار یون آزاد شده از الکترودها افزایش می‌یابد و در نتیجه رسوب بیشتری برای حذف آلاینده‌ها تشکیل می‌شود. همچنین با افزایش شدت جریان دانسیته حباب‌های تولیدی افزایش و اندازه حباب‌ها کاهش پیدامی‌کند. در نتیجه با افزایش جریان، آلاینده‌ها و لجن سریعتر حذف و شناور می‌شوند (۲۱-۲۲). با افزایش دانسیته جریان، راندمان حذف افزایش می‌یابد. جریان الکتریکی باعث ناپایدار و لخته شدن ناخالصی‌ها در محیط آبی شده و آلاینده‌ها به صورت رسوب از محیط خارج می‌شوند. این نتیجه به این واقعیت نسبت داده می‌شود که با افزایش جریان الکتریکی میزان

زمان الکترولیز غلظت یون‌های تولیدی افزایش یافته و در نتیجه آن لخته‌های هیدروکسید نیز افزایش خواهد یافت (۲۵).

نتیجه گیری:

در این مطالعه از الکترودهای آهن و آلومینیوم استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که فرایند انعقاد الکتریکی می‌تواند باعث افزایش حذف مواد آلی، مواد مغذی و کدورت شود. افزایش زمان باعث افزایش حذف COD، مواد مغذی و کدورت می‌شود. همچنین میزان تجزیه پذیری نیز افزایش می‌یابد. با افزایش میزان شدت جریان الکتریکی، زمان مورد نیاز برای رسیدن به راندمان‌های حذف مشابه کاهش می‌یابد و با کاهش میزان شدت جریان الکتریکی، زمان مورد نیاز افزایش می‌یابد. این امر به این دلیل است که با افزایش شدت جریان مقدار یون آزاد شده از الکترودها افزایش می‌یابد و در نتیجه رسوب بیشتری برای حذف آلاینده‌ها تشکیل می‌شود. همچنین با افزایش شدت جریان دانسیته حباب‌های تولیدی افزایش و اندازه حباب‌ها کاهش پیدامی‌کند. در نتیجه با افزایش جریان، آلاینده‌ها و لجن سریعتر حذف و شناور می‌شوند. در نتیجه شدت جریان بر راندمان فرایند تأثیر گذار است و باعث تجزیه مواد آلی و مواد دیر تجزیه می‌گردد. بنابراین در این حالت باعث حذف رنگ و کدورت فاضلاب شده و راندمان افزایش پیدامی‌کند. در نهایت مشخص شد که فرایند انعقاد الکتریکی به عنوان فرایند پیش تصفیه می‌تواند باعث حذف مواد آلی، کدورت، مواد مغذی، کاهش بار آلی و افزایش تجزیه پذیری فاضلاب گردد و می‌تواند به عنوان گزینه‌ای مؤثر جهت تصفیه مؤثر فاضلاب‌ها، جلوگیری از آلودگی محیط زیست، منابع آب و حفاظت از آنها مد نظر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان‌نامه با عنوان بررسی کارایی الکتروکاتالیزور در تصفیه فاضلاب صنایع لبنی به صورت جریان پیوسته (مطالعه موردی فاضلاب ورودی کارخانه لبنی صباح گنبد کاووس) در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ اجرا شده است.

ورود آلومینیوم به محلول و تولید اکسید آلومینیوم افزایش می‌یابد. هیدروکسید آلومینیوم بصورت رسوب تمایل به ته‌نشینی دارد و در حین ته‌نشینی آلاینده‌ها را بهتر حذف می‌نماید همچنین با افزایش ولتاژ، تراکم حباب‌ها بیشتر و اندازه آنها کمتر می‌گردد که این موضوع نیز در حذف پارامترها مؤثر است (۲۳).

نتایج حاصله از این آزمایش با نتایج حاصله از مطالعات مشابه توسط Bazrafshan و همکاران در تصفیه فاضلاب صنایع مختلف با استفاده از فرایند الکتروشیمیایی مطابقت دارد (۲۴). همچنین در مطالعه‌ای که توسط Al-Anbari و همکاران با استفاده از الکترودهای آهنی انجام شد به نتایج مشابه رسیدند (۲۱).

اثر زمان واکنش:

در زمان واکنش مقدار یون تولید شده نیازمند بارگذاری بیشتر است. اما این پارامتر به دلیل هزینه اقتصادی فرایند پایین نگه داشته می‌شود. از طرفی با کاهش میزان جریان الکتریسیته (شدت جریان)، زمان مورد نیاز برای دستیابی به راندمان‌های حذف مشابه بایستی افزایش یابد (۲۳). این امر در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد. این رفتار که راندمان تصفیه تا حدود زیادی تحت تأثیر بارگذاری جریان الکتریسیته است توسط برخی محققین به اثبات رسیده است. در این مطالعه با بررسی زمان ماند و شدت جریان در حذف COD، کدورت، نیترات و فسفر توسط فرایند انعقاد الکتریکی با استفاده از الکترودهای آهن و آلومینیوم نشان داده شد که با افزایش زمان واکنش میزان حذف افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین راندمان حذف برای کلیه موارد مورد مطالعه در مدت زمان ۶۰ و ولتاژ برابر ۴۰ ولت مشاهده شد.

بررسی تاثیر افزایش زمان واکنش بر راندمان تصفیه، حاکی از افزایش حذف تمامی پارامترها با زمان می‌باشد (شکل ۲ تا ۶). این نتیجه با نتایج مطالعه مطالعه دالوند و همکاران در تصفیه فاضلاب سنتتیک حاوی رنگرای راکتیو ۱۹۸ (۲۵) و مطالعه بذرافشان و همکاران در حذف کادمیم از فاضلاب محلولهای آبکاری (۲۳) و حذف COD از پساب (۱۲) مطابق است. کارایی حذف مستقیماً بستگی به غلظت یون‌های تولیدی در الکترودها دارد. با افزایش

References:

1. Mollah MYA, Schennach R, Parga JR, Cocke DL. Electrocoagulation (EC) — science and applications. *Journal of Hazardous Materials*. 2001;84(1):29-41.
2. Panswad T, Chavalparit O, Sucharittham Y, Charoenwisedsin S. A bench-scale study on chromium recovery from tanning wastewater. *Water Science and Technology*. 1995;31(9):73-81.
3. Viraraghavan T, Wise D, Trantolo D. Pollution control in the dairy industry. *Process engineering for pollution control and waste minimization*. 1994:705-13.
4. Rajeshwari KV, Balakrishnan M, Kansal A, Lata K, Kishore VVN. State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2000;4(2):135-56.
5. Heinzle E, Stockinger H, Stern M, Fahmy M, Kut OM. Combined biological–chemical (ozone) treatment of wastewaters containing chloroguaiacols. *Journal of chemical technology and biotechnology*. 1995;62(3):241-52.
6. Rahmani AR, Samarghandi MR. Electrocoagulation treatment of color solution containing colored index Eriochrome Black T. *Journal of Water and Wastewater*. 2009;69:52-58.
7. Şengil İA. Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrodes. *Journal of Hazardous Materials*. 2006;137(2):1197-205.
8. Tunturi P. Electrochemical treatment of process Wastewater containing colloidal particles. 1976.
9. Deng Y, Englehardt JD. Electrochemical oxidation for landfill leachate treatment. *Waste Management*. 2007;27(3):380-88.
10. İrdemez Ş, Yıldız YŞ, Tosunoğlu V. Optimization of phosphate removal from wastewater by electrocoagulation with aluminum plate electrodes. *Separation and purification Technology*. 2006;52(2):394-401.
11. Mahvi AH, Bazrafshan E, Mesdaghinia AR, Naseri S, Vaezi F. Chromium (Cr+6) Removal from Aqueous Environments by Electrocoagulation Process Using Aluminum Electrodes. *water and wastewater Journal*. 2007;18(2):28-34.[Persian].
12. Rahmani A, Samarghandi MR. Electrochemical Removal of COD from Effluents. *water and wastewater Journal*. 2007;18(4):9-15. [Persian].
13. Sostar-Turk S, Petrinić I, Simonić M. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. *Resources, Conservation and Recycling*. 2005;44(2):185-96.
14. Malakutian M, Mahvi M, Heidari M, Mostafavi A. Comparison of polyaluminum silicate chloride and electrocoagulation process in natural organic matter removal from surface water. 2011.
15. Clesceri LSG, Eaton AE, Rice AD, Franson EW, Mary Ann H. Standard methods for the examination of water and wastewater. 2005 0875530478.
16. Sharma D. Treatment of dairy waste water by electro coagulation using aluminum electrodes and settling, filtration studies. *membranes*. 95:19.
17. Bukhari AA. Investigation of the electro-coagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater. *Bioresource Technology*. 2008;99(5):914-21.
18. Bakeri GR, Lotfi S. An overview of the process of membrane water purification cheese and factors affecting the performance of the membrane. *Second National Conference of Environmental Studies*. 2014, Hamadan, Iran.
19. Carvalho F, Prazeres AR, Rivas J. Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of the total environment*. 2013; 15:385-96.
20. Chen X, Chen G, Yue PL. Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation. *Separation and purification Technology*. 2000;19(1):65-76.
21. Al-Anbari RH, Albaidani J, Alfatlawi SM, Al-Hamdani TA, editors. Removal of Heavy Metals from Industrial Water Using Electro-Coagulation Technique. *Twelfth International Water Technology Conference*; 2008. Citeseer.
22. Koparal AS, Ögütveren ÜB. Removal of nitrate from water by electroreduction and electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*. 2002;89(1):83-94.
23. Bazrafshan E, Mostafapoor FK, Zazouli M, Eskandari Z, Jahed GR. Study on Removal of Cadmium from Plating Baths Wastewater by Electrochemical Precipitation Method. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2006;9:2107-11.
24. Bazrafshan E, Mahvi A. Removal of Cadmium from Aqueous Environments by Electrocoagulation Process Using Aluminum Electrodes. 2007.
25. Dalvand A, Gholami M, Ameri A, Mahmoodi N. Treatment of synthetic wastewater containing Reactive Red 198 by electrocoagulation process. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2011;4(1):11-22.