مجله سلامت و محیط، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره پنجم، شماره چهارم، پاییز ۱۳۹۱، صفحات ۴۱۵ تا ۴۲۶

کاربرد فرایند ترکیبی انعقاد شیمیایی ـ انعقاد الکتریکی در تصفیه فاضلاب کشتارگاه دام

ادریس بذرافشان[۱]، فردوس کرد مصطفی پور[۲]، مهدی فرزادکیا[۳]، کمال الدین اونق[۴]، حسین جعفری منصوریان[۵]
نویسنده مسئول: زاهدان، میدان مشاهیر، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط *ferdos_66@yahoo.com*

دریافت: ۹۱/۰۲/۰۳ پذیرش: ۹۱/۰۵/۰۱

چکیده

زمینه و هدف: *فاضلاب کشتارگاه شامل مقادیر متنوع و بالایی از مواد آلی (از جمله پروتیین‌ها، خون، چربی و تکه‌های گوشت) است. به منظور تولید یک پساب مناسب جهت تخلیه به محیط، روش‌های شیمیایی و الکتروشیمیایی به خصوص در مقیاس آزمایشگاهی برای حذف ترکیبات آلی از پساب کشتارگاه به کار گرفته شده است. مطالعه حاضر با هدف بررسی امکان تصفیه فاضلاب کشتارگاه دام، به وسیله فرایند ترکیبی انعقاد شیمیایی و انعقاد الکتریکی برای رسیدن به استانداردهای مورد نیاز انجام پذیرفت.*

روش بررسی: *در بررسی حاضر ابتدا فاضلاب تهیه شده از کشتارگاه دام پس از آنالیز اولیه، با استفاده از منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در دوزهای ۱۰۰–۲۵ mg/L در دستگاه جارتست مورد آزمایش انعقاد شیمیایی قرار گرفت و در ادامه غلظت آلاینده‌های فاضلاب (BOD_5، COD، TKN، TSS و کلیفرم‌های مدفوعی) اندازه‌گیری شد. سپس پساب حاصل به مرحله انعقاد الکتریکی منتقل شد و راندمان حذف پارامترهای ذکر شده در گستره پتانسیل الکتریکی V ۴۰ – ۱۰ طی مدت زمان min ۶۰ مورد بررسی قرار گرفت.*

یافته‌ها: *نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که کارایی فرایند انعقاد شیمیایی با استفاده از منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید (PAC)، با افزایش دوز تزریقی (۲۵ mg/L – ۱۰۰) افزایش می‌یابد به نحوی‌که حداکثر راندمان حذف در طی فرایند انعقاد شیمیایی برای پارامترهای، BOD_5،COD، TSS، TKN در دوز ۱۰۰ mg/L و به ترتیب معادل ۳۹/۵۸٪ و ۵۹/۹٪، ۵۸/۵۲٪، ۴۴/۷۸٪ حاصل شد. همچنین نتایج حاصل نشان داد که با افزایش پتانسیل الکتریکی و زمان واکنش نیز راندمان به صورت خطی افزایش می‌یابد به نحوی که حداکثر راندمان حذف در دوز ۱۰۰ mg/L منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید، در اختلاف پتانسیل V ۴۰ و زمان واکنش ۶۰min برای پارامترهای BOD_5،COD، TSS، TKN به ترتیب معادل ۹۳/۹۷٪ و ۸۲/۵۵٪، ۹۹/۲۵٪، ۹۹/۱۸٪ حاصل شد.*

نتیجه‌گیری: *در مجموع چنین استنباط می‌شود که فرایند ترکیبی انعقاد شیمیایی ـ انعقاد الکتریکی از کارایی بالایی در حذف آلاینده‌های موجود در فاضلاب کشتارگاه برخوردار است و استفاده از این تکنیک ترکیبی می‌تواند پسابی منطبق بر استانداردهای تخلیه تولید نماید.*

واژگان کلیدی: انعقاد شیمیایی، انعقاد الکتریکی، تصفیه فاضلاب کشتارگاه

۱– دکترای بهداشت محیط، دانشیار مرکز تحقیقات ارتقای سلامت و دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی زاهدان
۲– دکترای بهداشت محیط، استادیار مرکز تحقیقات ارتقای سلامت و دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی زاهدان
۳– دکترای بهداشت محیط، دانشیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۴– کارشناس ارشد بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان
۵– کارشناس ارشد بهداشت محیط، مربی مرکز تحقیقات ارتقای سلامت و دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی زاهدان

مقدمه

فاضلاب کشتارگاه‌های دام بیشتر از طریق استفاده آب در قسمت کشتار و شست‌وشوی لاشه حیوانات تولید می‌شود که این فاضلاب دارای مقادیر زیاد و متنوعی از مواد آلی است. آلاینده‌های اصلی موجود در فاضلاب کشتارگاه‌ها، ترکیبات آلی بوده که عمدتا شامل محتویات خون، چربی و روغن، مواد غذایی هضم نشده، مواد معلق، ادرار، پروتیین‌های محلول، مدفوع و ذرات کلوییدی و مواد ناشی از شست‌وشو (تجهیزات و سالن کشتار) است(۱و۲).

با توجه به این که زایدات خام کشتارگاه‌ها به طور معمول دارای مقادیر نسبتا بالایی از اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD_5) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) هستند. بنابراین ورود این زایدات به سیستم تصفیه فاضلاب شهری می‌تواند مشکلات زیادی را در امر راهبری و بهره‌برداری سیستم‌های تصفیه فاصلاب ایجاد نماید که بدین ترتیب تصفیه فاضلاب کشتارگاه‌ها به علت مقادیر بالای مواد آلی موجود در آنها ضرورتی اجتنلب ناپذیر است(۳).

تصفیه فاضلاب کشتارگاه‌ها توسط روش‌های مختلفی از جمله فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی (سیستم‌های هوازی و بی‌هوازی بیولوژیکی) و هم‌چنین سیستم‌های ترکیبی صورت می‌گیرد(۴و۷-۲). کاربرد فرایندهای تصفیه هوازی به علت نیاز به انرژی بالا برای هوادهی و تولید لجن فراوان تا حدودی محدود شده است. از طرفی، تصفیه بی‌هوازی فاضلاب کشتارگاه‌ها اغلب به طور آهسته انجام شده و عمدتا به دلیل تجمع مواد جامد معلق و چربی‌های شناور در راکتور دچار اختلال می‌شود که این اختلالات نیز منجر به کاهش فعالیت متانوژنیک و شست‌وشوی بیومس می‌شود(۸). با این وجود اگرچه فرایندهای بیولوژیکی در مواردی موثر و مقرون به صرفه است، ولی نیاز به زمان ماند هیدرولیکی طولانی، حجم زیاد راکتور و غلظت بالای بیومس خروجی تا حدودی از مطلوبیت این روش کاسته است.

از میان فرایندهای فیزیکی و شیمیایی، واحد شناورسازی با هوای محلول (Dissolved Air Flotation :DAF) و انعقاد لخته‌سازی به طور گسترده‌ای برای حذف مواد جامد معلق (Total Suspended Solids: TSS)، کلوییدها، و چربی‌ها از فاضلاب کشتارگاه مورد استفاده قرار گرفته است (۶). از طرفی حداکثر راندمان حاصل در طی فرایند انعقاد شیمیایی فاضلاب کشتارگاه با افزودن نمک‌های آلومینیوم و ترکیبات پلیمری معادل ۷۵-۴۵ ٪ برای اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) گزارش شده است(۹و۱۰). معمولا پلی آلومینیوم کلراید (PAC) به عنوان منعقدکننده با انعقاد ذرات کوچک به ذرات بزرگ‌تر می‌تواند با کمک رسوب و یا فیلتراسیون، جداسازی ذرات را انجام دهد. بهره‌وری بالا و هزینه نسبتا پایین در مقایسه با منعقدکننده‌های دیگر سبب افزایش کاربرد منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در طی سال‌های اخیر شده است(۱۱و۱۲).

در عین حال روش‌های الکتروشیمیایی مانند اکسیداسیون الکتریکی و انعقاد الکتریکی به طور گسترده به عنوان روشی موثر و مناسب برای تصفیه انواع مختلفی از فاضلاب‌ها نظیر فاضلاب کشتارگاه مرغ و دام و فاضلاب‌های حاوی فلزات سنگین پیشنهاد و مورد استفاده قرار گرفته است(۱۳). سازگاری با محیط زیست، بهره‌وری انرژی بالا، ایمنی، کارایی به صورت خودکار و بهینه بودن از لحاظ هزینه از جمله مزایای این روش‌ها محسوب می‌شود (۱و۱۷-۱۴).

در فرایند انعقاد الکتریکی ماده منعقدکننده در محل و از طریق اکسیداسیون الکترولیتی یک آند از جنس مناسب تولید می‌شود. به عبارتی این فرایند سبب تولید کاتیون‌های فلزی به طریقه الکتروشیمیایی، با استفاده از آندهای مصرف شدنی (معمولا آهن یا آلومینیوم) می‌شود. هیدرولیز کاتیون در آب سبب تشکیل یک هیدروکسید $Al(OH)_3$ همراه با گونه‌های غالب متناسب با pH محلول می‌شود. سپس آلاینده‌های موجود از جمله ترکیبات آلی محلول در محیط بر اساس مکانیسم‌هایی از قبیل به دام افتادن ذرات در رسوبات و انعقاد جارویی، ته‌نشینی، شناوری‌سازی و جذب سطحی حذف می‌شوند (۱۷-۱۴).

در تحقیق حاضر کارایی فرایند انعقاد شیمیایی با استفاده از منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید (PAC) و به دنبال آن فرایند انعقاد الکتریکی با استفاده از الکترودهای آلومینیومی در تصفیه فاضلاب کشتارگاه دام زاهدان بررسی شده است. هدف از این تحقیق بررسی امکان تصفیه فاضلاب کشتارگاه دام توسط

فرایند ترکیبی انعقاد شیمیایی و انعقاد الکتریکی برای رسیدن به محدوده استاندارد مجاز تخلیه آلاینده‌ها در ایران برای فاضلاب‌های صنعتی و همچنین بررسی اثر متغیرهای عملیاتی نظیر دوز منعقدکننده، پتانسیل الکتریکی و زمان واکنش در کارایی حذف آلاینده‌های مورد سنجش است.

مواد و روش‌ها

جمع آوری نمونه

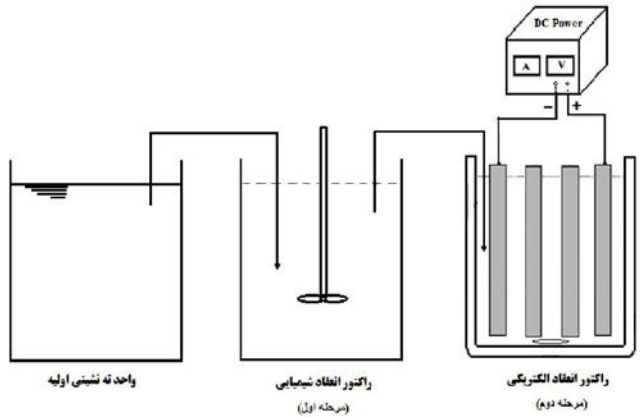
فاضلاب مورد استفاده در این مطالعه که در طی سال‌های ۹۰-۱۳۸۹ انجام پذیرفت از یک واحد کشتارگاه دام محلی با ظرفیت کشتار حدود ۱۰۰ راس گاو در هر روز، با فاضلاب تولیدی روزانه حدود $60\ m^3$ در شهر زاهدان تهیه شده است. در فاضلاب کشتارگاه دام مورد بررسی، مواد جامد درشت با استفاده از یک سری آشغالگیر و در انتها توسط صافی با اندازه منافذ حدود ۲mm گرفته شد. نمونه‌هایی به حجم تقریبی ۴ L (۴۸ نمونه) از حوضچه یکنواخت‌سازی، در ظروف مخصوص نمونه‌برداری جمع‌آوری و تا زمان آنالیز در دمای $4\ ^0C$ نگه‌داری گردید. مدت زمان ذخیره‌سازی نمونه‌ها تحت شرایط استاندارد قبل از شروع آزمایش بسته به نوع آزمایش از یک روز تا یک هفته متغیر بود.

تصفیه شیمیایی (انعقاد) پساب کشتارگاه

تمام ترکیبات شیمیایی مورد استفاده از جمله پلی آلومینیوم کلراید (PAC) در این مطالعه از نوع آزمایشگاهی ساخت شرکت مرک بودند. پلی آلومینیوم کلراید ($Al_{12}Cl_{12}(OH)_{24}$) به دلیل استفاده گسترده در واحدهای تصفیه فاضلاب برای حذف مواد جامد به عنوان یک منعقدکننده موثر و ارزان قیمت، در این مطالعه نیز برای انجام فرایند انعقاد و لخته‌سازی انتخاب گردید. غلظت پلی آلومینیوم کلراید مورد استفاده در این مطالعه با توجه به بررسی متون صورت گرفته و غلظت معمول مصرفی در فرایندهای تصفیه آب و فاضلاب در گستره ۱۰۰- ۲۵ mg/L (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰) قرار داشت. آزمایش انعقاد شیمیایی در ظروف شیشه‌ای مخصوص جارتست (مدل VELP TLT6) در دمای آزمایشگاه (حدود 20^0C) انجام پذیرفت. پس از وارد نمودن نمونه فاضلاب به درون ظروف (با حجم ۲ L)، منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید با دوز معین افزوده می شد. اختلاط سریع نمونه‌ها با شدت ۱۵۰ rpm برای ۲min و به دنبال آن اختلاط کند با سرعت ۵۰ rpm برای ۲۰ min انجام شد و در ادامه نیز فاضلاب مورد سنجش به مدت ۳۰min جهت ته‌نشینی و تشکیل لخته‌ها در شرایط سکون قرار داده شد. نمونه‌ها از میانه ظروف برداشت و نمونه‌های برداشت شده از نظر پارامترهای مختلف جهت تعیین کارایی مرحله اول تصفیه (انعقاد شیمیایی) در حذف آلاینده‌ها مورد آنالیز قرار گرفت و مایع رویی عبوری از مرحله اول جهت سپری نمودن مرحله دوم تصفیه (انعقاد الکتریکی) به راکتور مربوط منتقل گردید.

تصفیه الکتروشیمیایی پساب کشتارگاه

تصفیه الکتروشیمیایی پساب کشتارگاه (پساب خروجی از مرحله انعقاد شیمیایی) در یک راکتور شیشه‌ای از جنس بوکال انجام پذیرفت. راکتور مورد نظر از نوع دو قطبی، دارای چهار عدد صفحه فلزی از جنس آلومینیوم و به صورت موازی (شکل ۱) و مشبک (به منظور جریان بهتر پساب مورد مطالعه بین دو طرف الکترود برای افزایش کارایی فرایند انعقاد) با ابعاد حدود ۲۰cm× ۱۴ (سطح فعال حدود $240\ cm^2$) و ضخامت حدود ۲mm بود. فاصله بین الکترودها ثابت و معادل ۲/۵ cm و ابعاد راکتور ۱۵cm ×۱۵ ×۲۵ (عرض × طول × عمق) با حجم موثر ۲L بود. از یک منبع تامین برق با ورودی ۲۲۰ V و خروجی متغیر(۱۰V، ۲۰، ۳۰ و ۴۰) با حداکثر جریان ۵A (مدل TPR6405-2D) به عنوان منبع جریان مستقیم استفاده شد. نمونه‌های مختلف ۲۵ mL در فواصل ۱۵ min برای مدت یک ساعت برداشت شده و سپس برای تعیین غلظت پارامترهای مورد نظر از جمله BOD_5، COD، TSS، TKN و کلیفرم کل و مدفوعی مورد آنالیز قرار گرفت. با توجه به این که در طی فرایند انعقاد الکتریکی، یک لایه اکسید در سطح آند تشکیل می‌شود، بنابراین برای غلبه بر غیرفعال شدن الکترودها در آند، الکترودها بعد از هر آزمایش با محلول رقیق HCl (۵ V/V٪) شست‌وشو داده شد و پس از آبکشی با آب مقطر در نهایت به طور دقیق توزین شدند. تعیین وزن ابتدایی و انتهایی الکترودها با هدف محاسبه میزان الکترود مصرفی انجام پذیرفت. از طرفی میزان برق مصرفی در طی فرایند انعقاد الکتریکی با ثبت مقدار شدت جریان عبوری و نیز با در نظر گرفتن مقدار ولتاژ برق



شکل۱ : طرح شماتیک راکتور انعقاد شیمیایی ـ انعقاد الکتریکی مورد استفاده در تصفیه فاضلاب کشتارگاه دام

با توجه به روابط تجربی موجود محاسبه شد. آزمایش‌ها به صورت سه بار تکرار انجام پذیرفت و تمامی داده‌ها با کمک نمودارها و جداول و به صورت میانگین نمایش داده شده است. خاطر نشان می‌شود از نرم افزار Excel جهت محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید.

آزمایش‌ها

مقادیر آلاینده‌های COD، BOD_5، هدایت الکتریکی، pH، کل جامدات (TS)، کل جامدات معلق (TSS)، کل نیتروژن کجلدال (TKN) مطابق با روش استاندارد تعیین شد(۱۸). CODبا استفاده از راکتور COD و خوانش مستقیم با دستگاه اسپکتروفتومتر(DR/5000, HACH, USA) و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی پنج روزه (BOD_5) به روش فشارسنجی (مانومتریک) با سنجش میزان مصرف اکسیژن ((BSB-Controller Model 620 T (WTW)) اندازه‌گیری شد. pH و هدایت الکتریکی با استفاده از pH متر مدل E520 (Metrohm Herisau, Switzerland) و هدایت‌سنج مدل CONSORT C 831 اندازه‌گیری شد. هم‌چنین روش محتمل‌ترین تعداد (MPN) با روش تخمیر ۱۵ لوله ای برای شمارش باکتری‌های کلیفرم کل (TC) و کلیفرم مدفوعی (FC) مورد استفاده قرار گرفت(۱۸).

جدول ۱: مشخصات فاضلاب خام کشتارگاه مورد مطالعه

پارامتر	فاضلاب خام (انحراف معیار ± میانگین)	فاضلاب ته نشین شده (پس از ۲۴ ساعت)	استاندارد ایران
تعداد نمونه‌ها	۴۸	۴۸	--
pH	۷/۳۱ ± ۰/۱۲	۷/۴۴ ± ۰/۱۶	۶/۵–۸/۵
COD (mg/L)	۵۸۱۷ ± ۴۷۳	۴۱۵۹ ± ۲۸۱	۶۰
BOD_5 (mg/L)	۲۵۴۳ ± ۳۶۲	۲۲۰۴ ± ۱۷۷	۳۰
TSS (mg/L)	۳۲۴۷ ± ۸۴۵	۱۱۷۲ ± ۸۴	۶۰
TKN (mg/L)	۱۳۷ ± ۱۲	۹۲ ± ۱۲	--
چربی، روغن و گریس(mg/L)	۳۴ ± ۹	۳۲ ± ۷	۱۰
هدایت الکتریکی (µs/cm)	۹۱۴۰ ± ۱۵۱۲	۹۰۶۱ ± ۱۴۰۰	--
کلیفرم کل (تعداد در ۱۰۰ mL)	$۲/۸ \times ۱۰^۹$	$۲/۳ \times ۱۰^۹$	۱۰۰۰
کلیفرم مدفوعی (تعداد در ۱۰۰ mL)	$۱/۹ \times ۱۰^۸$	$۱/۷ \times ۱۰^۸$	۴۰۰

جدول ۲: تاثیر دوز مصرفی منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در حذف آلاینده‌های فاضلاب کشتارگاه دام مورد مطالعه

مقدار	درصد حذف آلاینده ها توسط فرایند انعقاد شیمیایی				
PAC (mg/L)	BOD_5	COD	TSS	TKN	کلیفرم مدفوعی
۲۵	۲۹/۸۱	۳۶/۸۴	۴۵/۴۷	۲۶/۴۰	۹۹/۸۲
۵۰	۳۵/۵۷	۴۶/۷۵	۵۱/۷۸	۳۱/۳۰	۹۹/۸۴
۷۵	۴۰/۵۱	۵۱/۱۴	۵۶/۵۴	۳۵/۱۳	۹۹/۸۷
۱۰۰	۴۵/۸۶	۵۸/۶۶	۶۲/۸۰	۴۱/۲۶	۹۹/۸۷

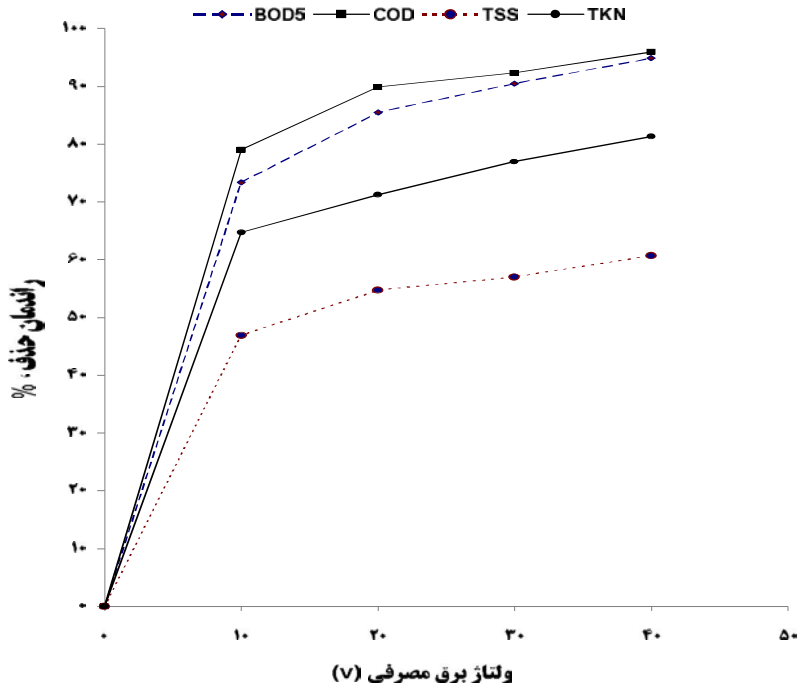
یافته‌ها

مشخصات فاضلاب مورد مطالعه

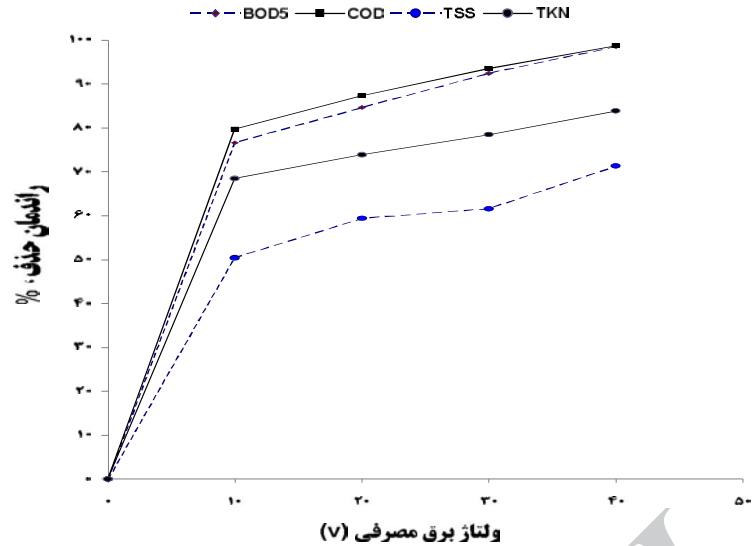
مشخصات فاضلاب خام قبل از هر گونه تصفیه و پس از ته‌نشینی h ۲۴ در آزمایشگاه (شکل ۱) به همراه استاندارد تخلیه پساب در مجاری فاضلابرو در جدول ۱ ارایه شده است. نتایج حاصل از مطالعه حاضر بیان‌گر کاهش قابل ملاحظه مقادیر آلودگی طی مدت زمان ته‌نشینی است. در عین حال مقادیر موجود در این جدول نشان می‌دهد که پارامترهای BOD_5،COD و غلظت روغن و گریس بسیار بیشتر از مقادیر توصیه شده است. در نتیجه با توجه به مقادیر بالای آلودگی، تصفیه فاضلاب کشتارگاه امری کاملا ضروری به نظر می‌رسد.

کاربرد فرایند انعقاد شیمیایی

یافته‌های حاصل از اعمال فرایند انعقاد شیمیایی با استفاده از منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در حذف آلاینده‌های مورد بررسی (BOD_5، COD، TSS، TKN و کلیفرم کل و مدفوعی) از فاضلاب کشتارگاه دام با کمک جدول ۲ نشان داده شده است. بررسی این یافته‌ها نمایان‌گر آن است که با افزایش غلظت منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید، راندمان حذف آلاینده‌های فاضلاب کشتارگاه نیز افزایش یافته است.



شکل ۲: درصد حذف آلاینده‌ها در طی فرایند انعقاد الکتریکی (دوز منعقدکننده mg/L ۲۵، زمان واکنش min ۶۰ و pH= ۷/۴)

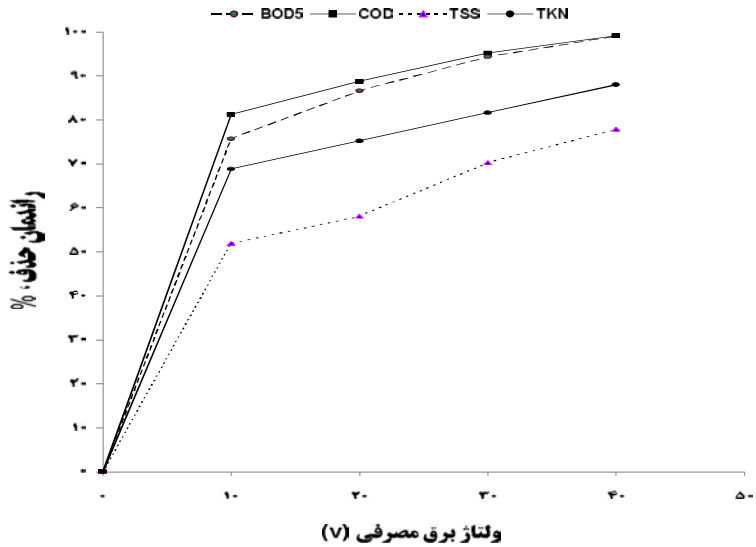


شکل ۳: درصد حذف آلاینده‌ها در طی فرایند انعقاد الکتریکی (دوز منعقدکننده ۵۰ mg/L، زمان واکنش ۶۰ min و pH= ۷/۴)

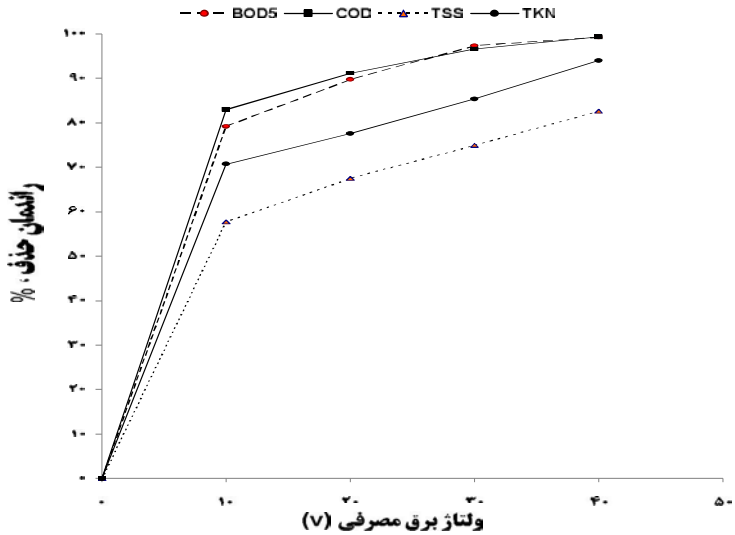
کاربرد فرایند انعقاد الکتریکی

هم‌چنین نتایج حاصل از فرایند انعقاد الکتریکی با استفاده از الکترودهای آلومینیومی در محدوده اختلاف پتانسیل ۴۰V-۱۰، پس از کاربرد فرایند انعقاد شیمیایی، در حذف آلاینده‌های پساب کشتارگاه دام به کمک شکل‌های ۶- ۲ نشان داده شده است. بررسی این شکل‌ها نشان می‌دهد که با افزایش ولتاژهای برق مصرفی و زمان تماس راندمان حذف آلاینده‌های پساب کشتارگاه نیز افزایش یافته است.

با توجه به این که یکی از جنبه‌های اقتصادی بودن فرایند، میزان انرژی و الکترود مصرفی در طی فرایند است، بنابراین میزان الکترود آلومینیومی مصرفی (g) و نیز انرژی برق مصرفی درطی ولتاژهای مختلف در هنگام استفاده از پلی آلومینیوم کلراید در فرایند انعقاد شیمیایی ـ انعقاد الکتریکی در قالب جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان ولتاژ برق مصرفی و تا حدودی افزایش منعقدکننده مصرفی، میزان مصرف الکترود آلومینیومی و انرژی الکتریکی افزایش می‌یابد.



شکل ۴: درصد حذف آلاینده‌ها در طی فرایند انعقاد الکتریکی (دوز منعقدکننده mg/L ۷۵، زمان واکنش ۶۰ min و pH= ۷/۴)

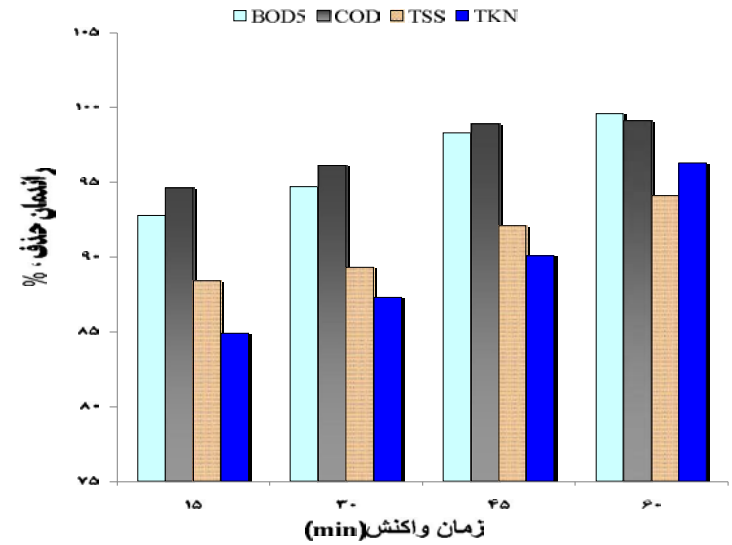


شکل ۵: درصد حذف آلاینده‌ها در طی فرایند انعقاد الکتریکی (دوز منعقدکننده mg/L ۱۰۰، زمان واکنش min ۶۰ و pH= ۷/۴)

بحث

فرایند ته‌نشینی مقدماتی یک روش تصفیه موثر در حذف جامدات قابل ته‌نشینی بدون افزودن هرگونه ترکیب شیمیایی است. در مطالعه حاضر در واحد ته‌نشینی برای پارامترهای BOD_5, COD, TSS, TKN راندمان حذفی معادل ۳۲/۸، ۶۳/۹، ۲۸/۵ و ۱۳/۳ ٪ حاصل شد. از طرفی راندمان حذف معادل ۱۰/۵۳ ٪ برای کلیفرم‌های مدفوعی مشاهده گردید. بدین ترتیب بیشترین راندمان حذف برای پارامتر TSS حاصل گردیده است. نتایج مشابه توسط محققین Amuda و Alade در سال ۲۰۰۶ گزارش شده است (۱۱).

نتایج حاصل از مطالعه حاضر در خصوص فرایند انعقاد شیمیایی بیانگر آن است که راندمان حذف آلاینده‌های فاضلاب کشتارگاه دام با افزایش میزان منعقدکننده مصرفی (پلی آلومینیوم کلراید)، افزایش می‌یابد. هم‌چنین نتایج حاصل نشان داد که بیشترین میزان حذف آلاینده‌های فاضلاب کشتارگاه دام، در غلظت منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید معادل mg/L ۱۰۰ حاصل شده است. از طرفی بررسی یافته‌ها نشان می‌دهد که در هنگام کاربرد این منعقدکننده، حذف آلاینده‌های فاضلاب کشتارگاه دام، به صورت خطی افزایش می‌یابد که با داده‌های حاصل از مطالعات Al-Mutairi و همکارانش در سال ۲۰۰۶



شکل ۶: درصد حذف آلاینده‌ها در طی فرایند انعقاد الکتریکی در زمان‌های تماس مختلف (دوز منعقدکننده mg/L ۱۰۰، اختلاف پتانسیل V۴۰ و pH= ۷/۴)

مطابقت دارد. در تحقیق مذکور راندمان حذف TSS فاضلاب کشتارگاه با کمک منعقدکننده آلوم در غلظت‌های ۰-۴۰۰mg/L بررسی شده است که یافته‌های آن تحقیق نشان داده است که با افزایش منعقدکننده کارایی حذف TSS نیز افزایش یافته است و میزان حذف TSS به بالای ۹۹٪ با کاربرد ۴۰۰ mg/L آلوم رسیده است(۱۰). هم‌چنین نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات Yilmaz و همکارانش در سال ۲۰۰۷ و نیز مطالعات Bagga و همکارانش در سال ۲۰۰۸ درمورد کاربرد فرایند انعقاد شمیایی در حذف آلاینده‌ها مطابقت دارد(۱۹و۲۰).

نتایج حاصل از آنالیز اثر تغییرات زمان واکنش بر میزان حذف آلاینده‌ها از فاضلاب کشتارگاه دام در طی فرایند انعقاد شیمیایی- انعقاد الکتریکی (شکل ۶) بیان‌گر آنست که در طی فرایند انعقاد شیمیایی ـ انعقاد الکتریکی با افزایش زمان واکنش در طی ولتاژهای ۴۰v-۱۰، راندمان حذف آلاینده‌های پساب کشتارگاه دام افزایش می‌یابد. همچنین نتایج حاصل بیان‌کننده آن است که یک رابطه خطی بین زمان تماس و درصد حذف آلاینده‌های پساب کشتارگاه دام وجود دارد. در نتیجه می‌توان گفت که شرایط زمان تماس بهینه برای دستیابی به حداکثر میزان حذف آلاینده‌های پساب کشتارگاه دام بر اساس نتایج مطالعه حاضر، زمان تماس ۶۰ min است با توجه به این که مقادیر آلاینده‌های خروجی پساب کشتارگاه دام پس از طی فرایند ترکیبی انعقاد شیمیایی ـ انعقاد الکتریکی متناسب با استانداردهای متعارف تخلیه پساب است. از طرفی با مقایسه و بررسی نتایج حاصل از مطالعه حاضر می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در آغاز فرایند (زمان واکنش۱۵ min)، حذف آلاینده‌های پساب کشتارگاه دام سریع بوده و به تدریج از سرعت حذف آنها کاسته می‌شود. این امر توسط تئوری محلول‌های رقیق قابل تفسیر است؛ طبق این تئوری، در محلول‌های رقیق (زمان‌های واکنش بالاتر) تشکیل لایه پراکنده در نزدیکی الکترود سبب یک نرخ واکنش کُندتر می‌شود، اما در محلول‌های غلیظ (زمان‌های واکنش پایین‌تر) لایه پراکنده اثری بر روی نرخ انتشار یا مهاجرت یون‌های فلزی به سطح الکترود ندارد(۲۱). هم‌چنین نتایج به دست آمده از این مطالعه با یافته‌های مطالعه Asselin و همکارانش در سال ۲۰۰۸ مطابقت دارد. Asselin و همکارانش میزان حذف COD را با استفاده از الکترودهای آلومینیومی و آهنی با جریانA ۲ و در زمان‌های ۰-۹۰ min مورد بررسی قرار دادند و یافته‌های آنها نشان داد که با افزایش زمان تماس، میزان حذف COD_S نیز افزایش یافته است و در کاربرد هر دو الکترود راندمان حذف به بالای ۹۰٪ رسید(۱). هم‌چنین نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات Wang و همکارانش نیز مطابقت دارد. نتایج مطالعات‌شان بیان‌گر آنست که با افزایش زمان واکنش، کارایی حذف آلاینده‌های پساب نیز افزایش می‌یابد(۲۲).

اثر شدت جریان الکتریکی در فرایند انعقاد شیمیایی ـ انعقاد الکتریکی به خوبی قابل تشخیص است، به نحوی که نه تنها تعیین‌کننده نرخ مقدار منعقدکننده تزریقی به محلول است، بلکه در نرخ تولید حباب‌ها و اندازه و رشد فلاک‌های تولیدی نیز موثر است و راندمان تصفیه آلاینده ها توسط فرایند انعقاد شیمیایی ـ انعقاد الکتریکی را تحت تاثیر قرار می‌دهد(۲۳ و۲۴). از یافته‌های این مطالعه می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که برای یک زمان واکنش معین، با افزایش ولتاژ برق اعمال شده در فرایند، راندمان حذف نیز به طور قابل ملاحظه‌ای

جدول ۳: میزان مصرف الکترود آلومینیومی (برحسب g) در فرایند ترکیبی انعقاد شیمیایی ـ انعقاد الکتریکی در طی ولتاژهای مختلف و در زمان واکنش ۶۰ min

ولتاژ (v)	غلظت پلی آلومینیوم کلراید (mg/L)			
	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
۱۰	۰/۸	۰/۹	۰/۸	۱/۰
۲۰	۱/۴	۱/۳	۱/۴	۱/۶
۳۰	۲/۰	۲/۱	۲/۱	۲/۲
۴۰	۲/۵	۲/۵	۲/۶	۲/۶

افزایش می‌یابد. این امر بیان می‌کند که در شرایط ولتاژ بالا، مقدار آلومینیوم اکسید شده (تزریقی به محلول) افزایش یافته و نتیجه آن تولید مقادیر بیشتر رسوبات و لخته‌های هیدروکسید جهت حذف آلاینده‌ها است. خاطر نشان می‌شود که جذب آلاینده‌ها در لخته‌های هیدروکسید تولیدی و رسوب آنها از جمله مهم‌ترین مکانیسم‌های حذف در این فرایند محسوب می‌شود. هم‌چنین ثابت شده که با افزایش دانسیته جریان، دانسیته حباب‌ها افزایش و اندازه آنها کاهش می‌یابد و این امر حذف سریع‌تر و بیشتر آلاینده‌ها را به دنبال خواهد داشت(۲۵). به همین دلیل بررسی اثر ولتاژ یا اختلاف پتانسیل اعمال شده بر روی آلاینده‌های پساب کشتارگاه نشان داد که برای یک زمان واکنش معین، با افزایش ولتاژ برق اعمال شده در فرایند، راندمان حذف نیز به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. بررسی نتایج ارایه شده در این تحقیق بیان می‌دارد که بیشترین میزان حذف آلاینده‌های پساب کشتارگاه دام در ولتاژ معادل ۴۰V و غلظت ۱۰۰ mg/L منعقدکننده به وقوع پیوسته است. در مجموع با توجه به نکات ذکر شده، اختلاف پتانسیل معادل۴۰V و دوز منعقدکننده ۱۰۰ mg/L می تواند به عنوان ولتاژ و دوز منعقدکننده بهینه جهت حذف آلاینده‌های پساب کشتارگاه دام مد نظر قرار گیرد که در عین حال می‌تواند پسابی با کیفیتی قابل قبول و منطبق با استانداردهای تخلیه تولید نماید. در بررسی مطالعات دیگر، نتایج مطالعات Wang و همکارانش در سال ۲۰۰۹و نیز مطالعات Akbal و Camci در سال ۲۰۱۱بیان‌گر آنست که با افزایش ولتاژ مصرفی میزان حذف آلاینده ها نیز افزایش می‌یابد(۲۲و۲۶).

از بررسی یافته‌های این مطالعه (جدول ۳) چنین استنباط می‌شود که با افزایش ولتاژ برق مصرفی، کمیت الکترود مصرفی نیز افزایش می‌یابد و به عبارت دیگر رابطه مستقیمی بین ولتاژ برق مورد استفاده و مصرف الکترود وجود دارد. بدین ترتیب با افزایش مقدار ولتاژ برق مورد استفاده نرخ خوردگی الکترودها نیز افزایش می‌یابد. بیشترین میزان مصرف الکترودها در ولتاژ ۴۰ V و کمترین مصرف در ولتاژ ۱۰ V مشاهده شد. اما با این وجود نکته حایز اهمیت آنکه با افزایش ولتاژ برق مورد استفاده راندمان حذف نیز افزایش می‌یابد.

بررسی یافته‌های موجود در جدول ۴ با افزایش ولتاژ برق مصرفی، میزان جریان الکتریسیته مصرفی نیز افزایش می‌یابد، به نحوی که بیشترین میزان انرژی الکتریسیته مصرفی در ولتاژهای بالا حاصل شده است. هم‌چنین یافته‌های مندرج در این جدول بیان‌می‌کند که با افزایش غلظت اولیه منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید مصرفی میزان برق مصرفی روندی صعودی را طی کرده به نحوی که در غلظت اولیه ۱۰۰ mg/L پلی آلومینیوم کلراید به بیشترین مقدار خود می‌رسد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر حداکثر راندمان حذف آلاینده‌های حایز اهمیت در فاضلاب کشتارگاه با افزایش دوز منعقدکننده شیمیایی مورد استفاده (پلی آلومینیوم کلراید) و نیز افزایش ولتاژ جریان برق مصرفی افزایش یافت. بیشترین و کمترین راندمان حذف در طی فرایند انعقاد شیمیایی برای

جدول ۴: انرژی برق (الکتریکی) مصرف شده (برحسب kWh/g) در زمان ۶۰ min در طی ولتاژهای مختلف در هنگام استفاده از منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در فرایند انعقاد شیمیایی ـ انعقاد الکتریکی

ولتاژ (v)	غلظت پلی آلومینیوم کلراید (mg/L)			
	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
۱۰	۰/۰۰۹۷	۰/۰۱۰۳	۰/۰۱۰۸	۰/۰۱۱۲
۲۰	۰/۰۲۵۳	۰/۰۲۷۰	۰/۰۲۸۱	۰/۰۲۹۷
۳۰	۰/۰۴۹۵	۰/۰۵۲۴	۰/۰۵۵۰	۰/۰۵۷۰
۴۰	۰/۰۷۹۷	۰/۰۸۴۹	۰/۰۸۸۰	۰/۰۹۱۸

پارامترهای TKN و TSS معادل ۳۹/۵۸٪ و ۵۹/۹٪ و در طی فرایند انعقاد الکتریکی برای پارامترهای COD و TSS معادل ۹۹/۲۵٪ و ۸۲/۵۵٪ حاصل گردید. با توجه به نکات ذکر شده، اختلاف پتانسیل معادلV ۴۰، دوز منعقدکننده mg/L۱۰۰و مدت زمان واکنش ۶۰min می‌تواند به عنوان شرایط بهینه جهت حذف آلاینده‌های پساب کشتارگاه دام مورد نظر قرار گیرد.

در مجموع نتایج حاصل از مطالعه حاضر، کاربرد فرایند ترکیبی انعقاد شیمیایی و انعقاد الکتریکی از کارایی بالایی در حذف آلاینده‌های موجود در فاضلاب کشتارگاه دام برخوردار بوده و می‌تواند پسابی منطبق با استانداردهای تخلیه پساب تولید نماید که بدین ترتیب امکان تخلیه آن در محیط زیست با حداقل مخاطرات زیست محیطی فراهم است.

تشکر و قدردانی

نتایج این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی در قالب پایان نامه بوده (کد:۲۱۴۷– سال ۱۳۸۹) که با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی زاهدان به انجام رسیده است. لازم می دانیم از این معاونت، جهت همکاری صمیمانه‌شان تشکر و قدردانی نماییم.

منابع

1. Asselin M, Drogui P, Benmoussa H, Blais JF. Effectiveness of electrocoagulation process in removing organic compounds from slaughterhouse wastewater using monopolar and bipolar electrolytic cells. Chemosphere. 2008;72:1727-33.
2. Tezcan UU, Altay U, Koparal AS, Ogutveren BU. Complete treatment of olive mill wastewaters by electrooxidation. Chemical Engineering Journal. 2008;139:445-52.
3. Alvarez R, Liden G. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. Renewable Energy. 2008;33:726-34.
4. Masse L, Masse DI. Effect of soluble organic, particulate organic and hydraulic shock loads on anaerobic sequencing batch reactors treating slaughterhouse wastewater at 20°C. Process Biochemistry. 2005;40(3-4):1225-32.
5. Torkian A, Eqbali A, Hashemian SJ. The effect of organic loading rate on the performance of UASB reactor treating slaughterhouse effluent. Resources, Conservation and Recycling. 2003;40(1):1–11.
6. Manjunath NT, Mehrotra I, Mathur RP. Treatment of wastewater from slaughterhouse by DAF-UASB system. Water Research. 2000;34(6):1930-36.
7. Palatsi J, Vinas M, Guivernau M, Fernandez B, Flotats X. Anaerobic digestion of slaughterhouse waste: Main process limitations and microbial community interactions. Bioresource Technology. 2011;102:2219-27.
8. Tezcan UU, Koparal AS, Ogutveren BU. Hybrid processes for the treatment of cattle-slaughterhouse wastewater using aluminum and iron electrodes. Journal of Hazardous Materials. 2009;164:580-86.
9. Cuetos MJ, Gomez X, Otero M, Moran A. Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: Influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). Biochemical Engineering Journal. 2008;40:99–106.
10. Al-Mutairi NZ, Hamoda MF, Al-Ghusain I. Coagulant selection and sludge conditioning in a slaughterhouse wastewater treatment plant. Bioresource Technology. 2004;95:115-19.

11. Amuda OS, Alade A. Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater. Desalination. 2006;196:22-31.
12. Hua Ch, Liu H, Qua J. Preparation and characterization of poly aluminum chloride containing high content of Al13 and active chlorine. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2005;260:109-17.
13. Yan M, Wang D, Yu J, Ni J, Edwards M, Qu J. Enhanced coagulation with poly aluminum chlorides: Role of pH/Alkalinity and speciation. Chemosphere. 2008;71:1665-73.
14. Bayramoglu M, Kobya M, Eyvaz M, Senturk E. Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater. Separation and Purification Technology. 2006;51:404-408.
15. 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 Journal Engineering Environmental Science. 2008;32(2):59-66.
16. Bazrafshan E, Mahvi AH, Naseri S, Shaighi M. Performance evaluation of electrocoagulation process for Diazinon removal from aqueous environment by using iron electrodes. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering. 2007;2(4):127-32.
17. Nouri J, Mahvi AH, Bazrafshan E. Application of Electrocoagulation Process in Removal of Zinc and Copper from Aqueous Solutions by Aluminum Electrodes. International Journal of Environmental Research. 2010;4(2):201-208.
18. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed. Washington DC: APHA; 1995.
19. Yilmaz AE, Boncukcuoglu R, Kocakerim MM. A quantitative comparison between electrocoagulation and chemical coagulation for boron removal from boron-containing solution. Journal of Hazardous Materials. 2007;149(2):475-81.
20. Bagga A, Chellam Sh, Clifford DA. Evaluation of iron chemical coagulation and electrocoagulation pretreatment for surface water microfiltration. Journal of Membrane Science. 2008;309(1-2):82–93.
21. Chaudhary A, Goswami N, Grimes S. Electrolytic removal of hexavalent chromium from aqueous solutions. Journal Chemical Technology and Biotechnology. 2003;78:877-83.
22. Wang CT, Chou WL, Kuo YM. Removal of COD from laundry wastewater by electrocoagulation/ electroflotation. Journal of Hazardous Materials. 2009;164(1):81–86.
23. Letterman R, Amirtharajah A, O'Melia C. Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies. 5th ed. New York: McGraw-Hill; 1999.
24. Holt PK, Barton GW, Wark M, Mitchell CA. A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2002;211(2-3):233-48.
25. Khosla NK, Venkatachalam S, Somasundaram P. Pulsed electrogeneration of bubbles for electroflotation. Journal of Applied Electrochemistry. 1991;21(11):986-90.
26. Akbal F, Camci S. Copper, chromium and nickel removal from metal plating wastewater by electrocoagulation. Desalination. 2011;269(1-3):214-22.

Application of Combined Chemical Coagulation-Electro Coagulation Process for Treatment of the Zahedan Cattle Slaughterhouse Wastewater

Edris Bazrafshan [1], *Ferdos Kord Mostafapour[1], Mahdi Farzadkia[2], Kamaledin Ownagh[1], Hossein Jaafari Mansurian[1]

[1]Department of Environmental Health , Health Promotion Research Center, Zahedan University of Medical Sciences, Sistan and Baluchestan, Iran

[2]Department of Environmental Health, School of Health Engineering,, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received; 21 April 2012 Accepted; 22 July 2012

ABSTRACT

Background and Objectives: Slaughterhouse wastewater contains various and high amounts of organic matter (e.g., proteins, blood, fat, and lard). In order to produce an effluent suitable for stream discharge, chemical coagulation and electrocoagulation techniques have been particularly explored at the laboratory pilot scale for organic compounds removal from slaughterhouse effluent. The purpose of this work was to investigate the feasibility of treating cattle-slaughterhouse wastewater by combined chemical coagulation and electrocoagulation process to achieve the required standards.

Materials and Methods: At present study, slaughterhouse wastewater after initial analysis was tested for survey of coagulation process using Poly aluminum chloride (PAC) at various doses (25-100 mg/L). Then we measured the concentrations of wastewater pollutants (BOD_5, COD, TKN, TSS and fecal Coliforms). Later, we transferred the effluent to the electrocoagulation unit and we evaluated the removal efficiency of pollutants in the range 10 to 40 volts of electric potential during 60 min.

Results: It was found that the efficiency of chemical coagulation process using poly-aluminum chloride (PAC) as coagulant increases with increasing doses (from 25 to 100 mg/L); we achieved maximum removal efficiency during the chemical coagulation for parameters of BOD5, COD, TSS, and TKN at 100 mg/L of PAC equivalent to 44.78%, 58.52%, 59.9%, and 39.58% respectively. Moreover, the results showed that with increasing the electric potential and reaction time, the yield increases linearly so that maximum removal efficiency at a dose of 100 mg/L PAC, an electrical potential of 40 volts and a reaction time of 60 minutes for the parameters BOD_5, COD, TSS, and TKN was 99.18% 99.25%, 82.55%, and 93.97% respectively.

Conclusion: The experiments demonstrated the effectiveness of combined chemical coagulation and electrocoagulation processes for pollutants removal from the slaughterhouse wastewaters. Consequently, this combined process can produce effluent compliance with the effluent discharge standards.

Keywords: Chemical coagulation, Electro coagulation, Slaughterhouse wastewater treatment

***Corresponding Author**: *ferdos_66@yahoo.com*
***Tel:** +98 541 24202983, **Fax:** +98 541 4100242*