مقاله پژوهشی
مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان
دوره ۱۸، مهر ۱۳۹۸، ۶۳۶-۶۲۳

بهینه‌سازی فرآیند انعقاد و لخته سازی در تصفیه فاضلاب صنایع غذایی: یک مطالعه آزمایشگاهی

طاهره زارعی محمودآبادی[۱]، پروانه طالبی[۲]، محمد حسن احرامپوش[۳]، ماهرخ جلیلی[۴]

دریافت مقاله: ۹۷/۷/۳ ارسال مقاله به نویسنده جهت اصلاح: ۹۷/۸/۱۴ دریافت اصلاحیه از نویسنده: ۹۷/۱۲/۱۵ پذیرش مقاله: ۹۸/۱/۲۸

زمینه و هدف: فاضلاب‌های صنایع غذایی دارای بار آلودگی بالایی می‌باشد که در نتیجه مصرف آب در مراحل مختلف، تولید می‌گردد. در صورت عدم مدیریت و نظارت کافی بر تصفیه فاضلاب صنایع غذایی، می‌تواند به عنوان یک منبع آلاینده محیط زیستی محسوب شود. هدف این مطالعه بهینه‌سازی فرآیند انعقاد و لخته سازی برای تصفیه فاضلاب صنایع غذایی بود.

مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر از نوع آزمایشگاهی بود. در این مطالعه از سولفات آلومینیوم و پلی‌آلومینیوم کلراید به عنوان منعقدکننده و از پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی C-270 و آنیونی A-300 به عنوان کمک منعقدکننده استفاده شد. سپس بهینه‌سازی پارامترهای pH (۱۰/۵- ۴/۵)، غلظت منعقدکننده (۸۰۰-۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و کمک منعقدکننده (۸-۳ میلی‌گرم بر لیتر) با محاسبه راندمان حذف کدورت، کل جامدات معلق و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصله با استفاده از ضریب هم‌بستگی پیرسون آنالیز گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در pH بهینه برابر با ۸/۵، غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پلی‌آلومینیوم کلراید در ترکیب با ۵ میلی‌گرم بر لیتر از پلی‌الکترولیت کاتیونی C-270 راندمان حذف برای کدورت، TSS و COD به ترتیب ۹۸/۷۵، ۹۸/۵ و ۸۲/۴ درصد بود.

نتیجه‌گیری: می‌توان نتیجه گرفت که فرآیند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از پلی‌کلرید آلومینیوم و پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی C-270 کارایی مناسبی در تصفیه پساب با این شرایط را دارد و با کاهش مواد آلی می‌تواند به عنوان یک مرحله پیش تصفیه قبل از تصفیه بیولوژیکی به کار رود.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، انعقاد، صنایع غذایی، سولفات آلومینیوم، پلی‌آلومینیوم کلراید، پلی‌الکترولیت

۱- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
۲- (نویسنده مسئول) کارشناس مسئول آزمایشگاه شیمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
تلفن: ۰۳۵-۳۱۹۲۰۵۶ دورنگار: ۰۳۵-۳۸۲۰۹۱۱۹، پست الکترونیکی: apf_sts_1381@yahoo.com
۳- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
۴- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده پیراپزشکی ابرکوه، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]

مقدمه

صنایع تولید مواد غذایی، جزء صنایعی هستند که آب در چرخش فعالیت آن‌ها نقش اساسی دارد. از دغدغه‌های مهم کارخانه‌جات تهیه مواد غذایی، تأمین آب کافی و مناسب می باشد [۲-۱].

اهم مصرف آب در صنایع غذایی شامل شست‌وشوی مواد خام، شست‌وشو و نظافت تجهیزات، سالن تولید و وسایل کار است [۳]. در نتیجه حجم زیادی فاضلاب تولید می‌شود که از لحاظ کمیت و کیفیت به مقدار قابل توجهی متغیر می‌باشد [۵-۴].

فاضلاب تولیدی از صنایع غذایی حاوی مقادیر زیادی از جامدات معلق، چندین فرم شیمیایی نیتروژن، چربی‌ها، پروتئین ها، روغن ها و انواع مواد آلی، فسفر، کلر و سایر مواد شیمیایی مورد استفاده در تمیز کردن و اهداف بهداشتی می باشد [۷-۶].

فاضلاب صنایع غذایی در مقایسه با فاضلاب شهری دارای غلظت بالایی از مواد آلی و مغذی می‌باشد [۸]. به طوری‌که پارامترهای COD (Chemical Oxygen Demand) و BOD_5 (Biological Oxygen Demand) برای فاضلاب صنایع غذایی ۱۰ یا حتی ۱۰۰ برابر بیش‌تر از فاضلاب شهری است [۹].

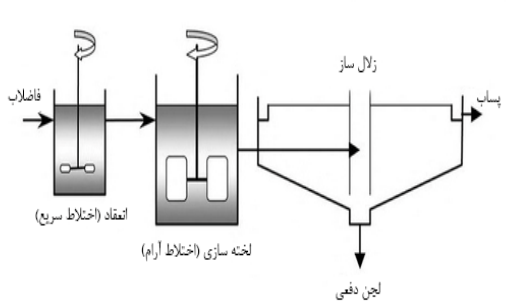
به منظور تصفیه فاضلاب صنایع غذایی روش‌های مختلفی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. به کارگیری هر یک از این روش‌ها به عوامل مختلفی مانند نوع صنعت، حجم و مشخصات فاضلاب تولید شده و سطح تکنولوژی موجود بستگی دارد. از جمله روش‌های تصفیه فاضلاب صنایع غذایی می‌توان به روش‌های فیزیکوشیمیایی [۱۰]، فرایندهای غشایی [۱۱] و روش‌های بیولوژیکی هوازی و بی‌هوازی [۱۲] اشاره کرد. هر کدام از این روش‌ها دارای معایب و مشکلاتی می‌باشند. فرآیندهای غشایی در مقیاس بزرگ بسیار گران هستند [۱۱] و از جمله معایب روش‌های بیولوژیکی شامل مصرف بالای انرژی، هزینه بالا و نیاز به زمین وسیع می‌باشد [۲۱-۱۳]. فرآیند انعقاد و لخته سازی در میان روش‌های فیزیکی و شیمیایی به طور گسترده در تصفیه فاضلاب صنایع برای حذف جامدات معلق و مواد کلوئیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در برخی موارد از فرآیند انعقاد و لخته‌سازی برای بهبود تصفیه‌پذیری فاضلاب نیز به کار برده می‌شود [۱۴].

تعداد زیادی از مواد شیمیایی ممکن است به عنوان منعقدکننده به کار روند تا از طریق کاهش نیروهایی که کلوئیدها را از هم دور نگه می‌دارد سوسپانسیون را ناپایدار نمایند. این کاهش بار برای لخته سازی ضروری است [۱۶-۱۵].

آن‌ها هم از لحاظ اقتصادی و تکنیکی قابل صرفه هستند. در حال حاضر سولفات آلومینیم و پلی‌آلومینیوم کلراید رایج ترین منعقد کننده‌های مورد استفاده در زمینه تصفیه فاضلاب‌های صنعتی می‌باشند که در ترکیب با پلی‌الکترولیت های مختلف گزارش شده‌اند [۱۷]. شکل ۱ شماتیک کلی فرآیند انعقاد ـ لخته‌سازی و ته‌نشینی فاضلاب را نشان می دهد.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]



شکل ۱- شماتیک فرآیند انعقاد شیمیایی [۱۸]

پلی‌الکترولیت‌ها در مرحله لخته سازی، عملیات ناپایدار سازی را از طریق جذب در سطح ذره کلوئیدی و ایجاد پل‌های اتصالی ذره- پلیمر- ذره انجام می‌دهند [۱۹]. از پلی الکترولیت‌ها به عنوان کمک منعقد کننده جهت بهبود عملکرد منعقدکننده‌ها می‌توان استفاده نمود. کمک منعقدکننده‌ها با ایجاد پل بین ذرات ریز لخته حاصل از کار منعقدکننده‌ها، آن‌ها را به صورت لخته‌های درشت و سنگین در آورده، عمل ته‌نشینی را سرعت می‌بخشند [۲۰].

از جمله مطالعات انجام شده در زمینه تصفیه فاضلاب صنایع غذایی می‌توان به مطالعه Amuda و همکاران که تحت عنوان تصفیه فاضلاب صنایع آشامیدنی با استفاده از ترکیب کلراید فریک و پلی‌الکترولیت غیریونی انجام شد، نام برد. آن‌ها در pH بهینه برابر ۹ با اضافه کردن ۳۰۰ میلی‌گرم کلرید فریک به راندمان حذف ۹۵ و ۹۷ درصد به ترتیب برای COD و TSSدست یافتند. در ادامه با اضافه کردن ۲۵ میلی‌گرم پلی‌الکترولیت به ۱۰۰ میلی‌گرم کلرید فریک، راندمان حذف ۹۱ و ۹۷ درصد به ترتیب برای COD و TSS به‌دست آمد [۲۱]. هم‌چنین Azimi در بررسی عملکرد فرآیند لجن فعال تلفیقی با بستر ثابت در تصفیه فاضلاب صنایع غذایی شهرک صنعتی آمل تحت شرایط راهبری موجود در تصفیه خانه، راندمان حذف بین ۹۸ تا ۹۹ درصد برای COD به‌دست آمد [۲۲].

بنابراین تصفیه فاضلاب صنایع غذایی دارای اهمیت بسیار زیادی است، نه تنها برای جلوگیری از مشکلات زیست محیطی و تأمین شرایط بهداشتی برای زندگی مردم و حفظ و ارتقاء سلامتی آن‌ها بلکه با استفاده مجدد از پساب تصفیه شده می‌توان در کاهش مصرف آب در صنایع غذایی گام مؤثری برداشت. لذا این مطالعه با هدف تعیین شرایط بهینه برای فرآیند انعقاد و لخته سازی با استفاده از منعقدکننده‌های سولفات آلومینیوم و پلی‌آلومینیوم کلراید به همراه پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی C-270 و آنیونی A-300 به عنوان کمک منعقدکننده برای تصفیه فاضلاب صنایع غذایی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از نوع تجربی - آزمایشگاهی بود که در سال ۱۳۹۶ انجام شد. برای انجام این پژوهش، کارخانه صنایع غذایی آرمیتا واقع در شهر یزد به منظور نمونه برداری انتخاب گردید. مواد غذایی تولیدی در این کارخانه شامل: انواع مختلف سالاد الویه (گوشت، مرغ و کالباس)، سالاد فصل و خوراک سوسیس می‌باشد. محل برداشت نمونه از حوضچه جمع‌آوری فاضلاب خروجی از خط تولید به صورت مرکب و در طول یک شیفت کاری انجام گرفت. نمونه‌های جمع‌آوری شده با حفظ زنجیره سرما (۴ درجه سانتی‌گراد) به آزمایشگاه انتقال داده شد و سپس آزمایشات بر اساس

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]

روش‌های ارائه شده در کتاب استاندارد متد جهت انجام آزمایشات آب و فاضلاب انجام شد [۲۳].

نمونه‌های فاضلاب برای تعیین pH، هدایت الکتریکی (Electrical conductivity)، کل جامدات معلق (Total suspended solids)، کل جامدات محلول (Total dissolved solids)، کدورت، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی پنج روزه (BOD_5) مورد بررسی قرار گرفتند. pH و EC فاضلاب با استفاده از مولتی پارامتر HACH مدل HQ40 ساخت آمریکا، TSS و TDS بر اساس روش وزن سنجی که در بخش روش‌های 2540-D و 2540-C استاندارد توضیح داده شده است. اندازه‌گیری COD به روش هضم برگشتی باز (Open Reflux Method) بخش 5220-B استاندارد متد انجام شد. سنجش BOD_5 نیز با روش 5220-D صورت گرفت [۲۳].

در این مطالعه اسیدکلریدریک و هیدروکسید سدیم یک نرمال ساخت مرک آلمان جهت تنظیم pH مورد استفاده قرار گرفتند. از منعقدکننده‌های سولفات آلومینیوم و پلی‌آلومینیوم کلراید ساخت شرکت مرک آلمان به عنوان منعقدکننده و پلیمرهای کاتیونی C-270 و آنیونی A-300 ساخت شرکت AquaTech سوئیس به عنوان کمک منعقدکننده استفاده شدند. محلول ۱۰ درصد از هر منعقدکننده و ۰/۱ درصد از هر کمک منعقدکننده آماده گردید و به جارتست در غلظت‌های مورد نیاز تزریق شد.

مراحل بهینه‌سازی آزمایشات با استفاده از دستگاه جارتست ساخت شرکت HACH کشور آمریکا (مدل ۴۰۲-۷۷۹۰) انجام شد. بعد از خارج کردن نمونه از یخچال با دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت چند ساعت در درجه حرارت آزمایشگاه قرار گرفت تا به دمای محیط برسد. تمام آزمایشات در دمای اتاق (21 ± 2 °C) انجام شد. جهت بهینه‌سازی pH، دوز منعقدکننده و دوز کمک منعقدکننده آزمایشات در سه مرحله انجام گرفت.

مرحله اول: در ابتدا جهت تعیین pH بهینه، نمونه‌هایی از مقادیر مساوی فاضلاب با استفاده از هیدروکسید سدیم و اسید کلریدریک یک نرمال، pH آن‌ها بر روی (۴/۵، ۵/۵، ۶/۵، ۷/۵، ۸/۵ ، ۹/۵ و ۱۰/۵) تنظیم گردید. سپس غلظت ثابتی از منعقدکننده مورد نظر (۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به آن‌ها افزوده و به کمک دستگاه جارتست به هم زده شد و در پایان اختلاط ۳۰ دقیقه زمان ته نشینی برای نمونه‌ها در نظر گرفته و سپس pH بهینه با سنجش راندمان حذف برای پارامترهای کدورت، TSS و COD برای هر نمونه تعیین گردید.

مرحله دوم: به نمونه‌ها با pH بهینه به‌دست آمده از مرحله قبل، غلظت‌های مختلف منعقدکننده (۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ ، ۷۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به صورت همزمان افزوده شد سپس با سنجش راندمان حذف برای پارامترهای کدورت، TSS، COD میزان غلظت بهینه تعیین گردید.

مرحله سوم: در این مرحله به نمونه‌های فاضلاب با شرایط بهینه به‌دست آمده از قبل (pH و غلظت بهینه منعقدکننده)، غلظت‌های مختلف پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی C-270 و آنیونی A-300 (۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ میلی‌گرم بر لیتر) به طور

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]

جداگانه به نمونه‌ها اضافه شد و غلظت بهینه با توجه به پارامترهای نامبرده مشخص گردید. در این مطالعه، سرعت و زمان اختلاط برای اختلاط سریع و اختلاط آرام به ترتیب ۱۰۰ دور در دقیقه به مدت ۶۰ ثانیه و ۴۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد [۲۴].

رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با SPSS نسخه ۲۳ با استفاده از ضریب هم‌بستگی پیرسون (Pearson) انجام شد. سطح معنی داری در آزمون، ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

میانگین پارامترهای فیزیکی-شیمیایی فاضلاب خام صنعت غذایی مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فاضلاب صنعت غذایی مورد مطالعه در این تحقیق

پارامترها	واحد	میانگین	انحراف معیار
pH	_	۳/۲	۱/۱۵
هدایت الکتریکی (EC)	µS/cm	۳۳۰۰۰	۷۰۰
کل جامدات محلول (TDS)	mg/L	۱۶۵۵۰	۹۵/۳۹
کدورت	NTU	۱۲۰۰	۱۰۰
کل جامدات معلق (TSS)	mg/L	۱۳۲۵	۷۵/۰۵
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)	mg/L	۲۴۲۵۰	۸۰۸/۲
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (BOD_5)	mg/L	۱۱۱۰۰	۳۵۳/۳

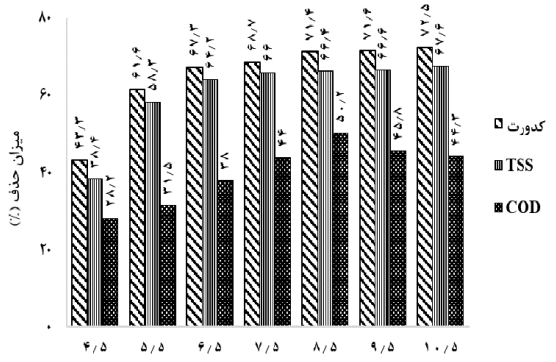
نمودارهای ۱ و ۲ نتایج حاصل از آزمایشات تأثیر pH در فرآیند انعقاد و لخته‌سازی بر راندمان حذف کدورت، TSS و COD با استفاده از منعقدکننده‌های سولفات آلومینیوم و پلی‌آلومینیوم کلراید را نشان می‌دهد. با آنالیز نتایج به‌دست آمده مشخص می‌گردد که با افزایش pH راندمان حذف آلاینده‌های مورد نظر افزایش داشته است. این افزایش تا pH برابر ۸/۵ برای آلاینده‌های مورد بررسی به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در مورد استفاده از سولفات آلومینیوم با افزایش pH، راندمان حذف برای کدورت و TSS به افزایش جزئی و برای COD روند نزولی و برای پلی‌آلومینیوم کلراید با افزایش pH، راندمان حذف برای کدورت، TSS و COD روند نزولی مشاهده می‌گردد. به طوری که حداکثر راندمان حذف کدورت، TSS و COD در pH برابر ۸/۵ برای سولفات آلومینیوم (غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به ترتیب ۷۱/۴، ۶۶/۴ و ۵۰/۲ درصد و برای پلی‌آلومینیوم کلراید (غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به ترتیب ۸۳/۳، ۸۲/۱۸ و ۵۶ درصد به‌دست آمد.

ضریب هم‌بستگی بین متغیر pH با متغیرهای کدورت، TSS و COD با استفاده از سولفات آلومینیوم به ترتیب (r= ۰/۸۳، p= ۰/۰۲)، (r= ۰/۷۸، p= ۰/۰۳)، (r= ۰/۸۵، p= ۰/۰۱) و با استفاده از پلی‌آلومینیوم کلراید (r= ۰/۸۹، p= ۰/۰۰۷)، (r= ۰/۸۹، p= ۰/۰۰۷)، (r= ۰/۸۶، p= ۰/۰۱) به ترتیب به‌دست آمد که نشان دهنده معنی‌دار بودن رابطه بین pH و

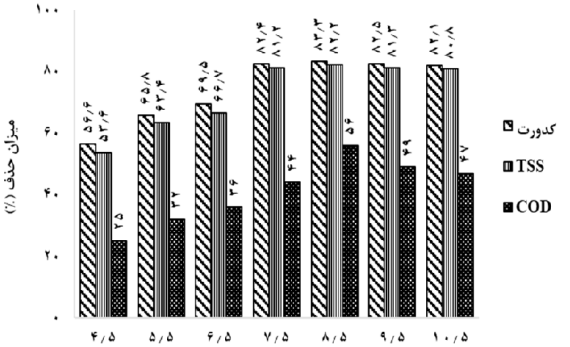
[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]

راندمان حذف کدورت، TSS و COD برای هر دو منعقد کننده می‌باشد.



نمودار ۱- تأثیر مقادیر مختلف pH بر راندمان حذف کدورت، TSS و COD توسط سولفات آلومینیوم به عنوان منعقدکننده غلظت ثابت برای منعقدکننده = ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)



نمودار ۲- تأثیر مقادیر مختلف pH بر راندمان حذف کدورت، TSS و COD توسط پلی‌آلومینیوم کلراید به عنوان منعقدکننده (غلظت ثابت برای منعقدکننده = ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)

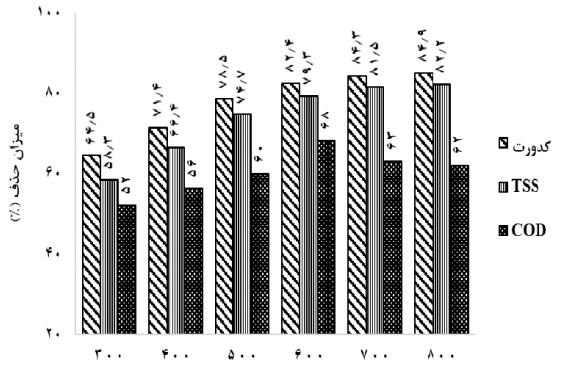
غلظت بهینه منعقدکننده به عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر تأثیرگذار، در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله غلظت‌های مختلف سولفات آلومینیوم و پلی‌آلومینیوم کلراید (۳۰۰ الی ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در شرایط بهینه pH برابر ۸/۵ آزمایش شد. نتایج حاصل از بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف منعقدکننده سولفات آلومینیوم و پلی‌آلومینیوم کلراید به ترتیب در نمودارهای ۳ و ۴ ارائه شده است. همان‌طور که در نمودارهای ۳ و ۴ مشاهده می‌گردد که با افزایش غلظت منعقدکننده‌ها میزان حذف آلاینده‌ها افزایش می‌یابد. این افزایش تا غلظت ۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای سولفات آلومینیوم و برای پلی‌آلومینیوم کلراید تا دوز ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ادامه دارد و در غلظت بالاتر راندمان حذف کدورت و TSS یک افزایش خیلی جزئی داشته که در ادامه کاهش مشاهده می‌گردد، اما COD به طور محسوسی روند کاهشی دارد. حداکثر راندمان حذف ۸۴/۳، ۸۱/۵ و ۶۸/۱ درصد به ترتیب برای کدورت، TSS و COD در غلظت ۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از سولفات آلومینیوم حاصل شد. هم‌چنین برای پلی‌آلومینیوم کلراید حداکثر راندمان حذف برای کدورت، TSS و COD به ترتیب ۸۷، ۸۴/۷ و ۷۲/۲ درصد در دوز ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. در نتیجه غلظت ۶۰۰ و ۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای سولفات آلومینیوم و پلی‌آلومینیوم کلراید به عنوان غلظت بهینه در نظر گرفته شد. پلی‌آلومینیوم کلراید نسبت به سولفات آلومینیوم در غلظت کم‌تر، بیش‌ترین راندمان را نشان داد. لذا پلی‌آلومینیوم کلراید به عنوان منعقد کننده برتر در این مطالعه انتخاب گردید.

ضریب هم‌بستگی بین متغیر غلظت با متغیرهای کدورت، TSS و COD با استفاده از سولفات آلومینیوم به ترتیب (r=۰/۹۴، p=۰/۰۰۴)، (r=۰/۹۴، p=۰/۰۰۴)، (r=۰/۷۵، p=۰/۰۸) و با استفاده از پلی‌آلومینیوم کلراید به ترتیب (r=۰/۸۳، p=۰/۰۳)، (r=۰/۸۳، p=۰/۰۴)، (r=۰/۸۶، p=۰/۰۲) به‌دست آمد که نشان دهنده معنی‌دار بودن رابطه بین غلظت

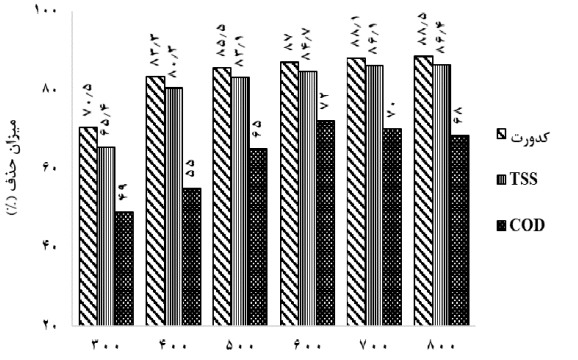
[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]

منعقدکننده و راندمان حذف کدورت، TSS و COD می‌باشد. اما در رابطه بین غلظت سولفات آلومینیوم و راندمان حذف COD ارتباط معنی‌دار مشاهده نگردید.



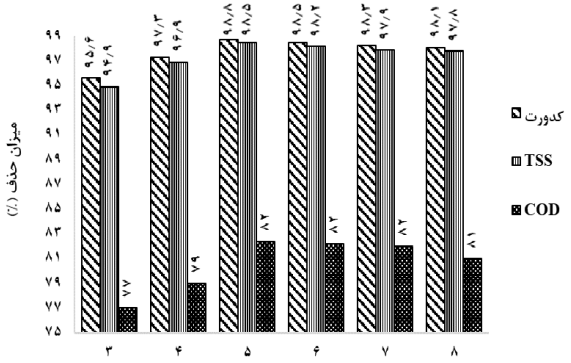
نمودار ۳- تأثیر غلظت‌های مختلف سولفات آلومینیوم بر راندمان حذف کدورت، TSS و COD در pH بهینه برابر ۸/۵



نمودار ۴- تأثیر غلظت‌های مختلف پلی‌آلومینیوم کلراید بر راندمان حذف کدورت، TSS و COD در pH بهینه برابر ۸/۵

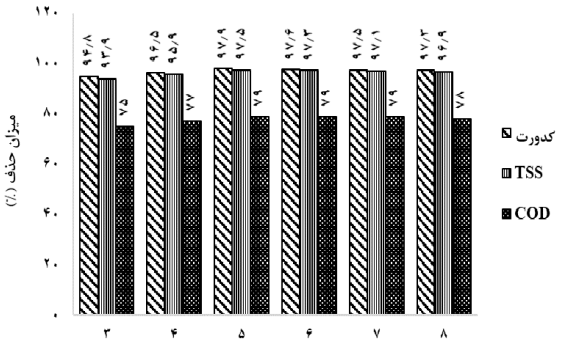
در این مرحله تأثیر غلظت‌های مختلف پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی C-270 و آنیونی A-300 (۳ الی ۸ میلی‌گرم بر لیتر) با شرایط بهینه pH برابر ۸/۵ و غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پلی‌آلومینیوم کلراید مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین غلظت بهینه پلی‌الکترولیت‌ها (C-270 و A-300) راندمان حذف کدورت، TSS و COD مورد توجه قرار گرفتند. که نتایج حاصل در نمودارهای ۵ و ۶ ارائه شده است. حداکثر راندمان حذف برای کدورت، TSS و COD در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر از پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی C-270 و آنیونی A-300 به ترتیب ۹۸/۷۵، ۹۸/۵ و ۸۲/۴ درصد و ۹۷/۹، ۹۷/۵ و ۷۹ درصد می‌باشد.

ضریب هم‌بستگی بین متغیر غلظت با متغیرهای کدورت، TSS و COD با استفاده از پلی‌الکترولیت کاتیونی C-270 به ترتیب (r=۰/۶۹، p=۰/۱)، (r=۰/۶۹، p=۰/۱)، (r=۰/۷، p=۰/۱) و با استفاده از پلی‌الکترولیت آنیونی A-300 به ترتیب (r=۰/۷، p=۰/۱)، (r=۰/۷۲، p=۰/۱)، (r=۰/۷، p=۰/۱) به‌دست آمد که نتایج نشان داد که بین غلظت پلی‌الکترولیت و راندمان حذف کدورت، TSS و COD رابطه معنی‌داری وجود نداشت. با توجه به نتایج ارائه شده در نمودارهای ۵ و ۶ چنین به نظر می‌رسد که پلی‌آلومینیوم کلراید در ترکیب با پلی‌الکترولیت کاتیونی عملکرد مناسب‌تری نسبت به پلی‌الکترولیت آنیونی در تصفیه فاضلاب صنعت غذایی داشته است. در نتیجه پلی‌الکترولیت کاتیونی C-270 به عنوان کمک منعقدکننده برتر در این مطالعه انتخاب گردید.



نمودار ۵- تأثیر غلظت‌های مختلف پلی‌الکترولیت کاتیونی C-270 بر راندمان حذف کدورت، TSS و COD (شرایط بهینه: pH= ۸/۵ غلظت پلی‌آلومینیوم کلراید= ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]



نمودار ۶- تأثیر غلظت‌های مختلف پلی‌الکترولیت آنیونی A-300 بر راندمان حذف کدورت، TSS و COD (شرایط بهینه: pH= ۸/۵، غلظت پلی‌آلومینیوم کلراید= ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)

بحث

pH محلول یکی از مهمترین پارامترها در فرآیند انعقاد و لخته سازی است [۲۵]. هر منعقدکننده دارای یک pH بهینه می‌باشد که در آن با غلظت مشخصی از منعقدکننده در کوتاه‌ترین زمان، بالاترین راندمان حذف آلاینده اتفاق می افتد. به عبارت دیگر کارآیی فرآیند انعقاد و لخته سازی توسط pH تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۲۶].

در این مطالعه pH بهینه برای سولفات آلومینیوم و پلی‌آلومینیوم کلراید برابر ۸/۵ به‌دست آمد. در محیط‌های اسیدی، آلومینیوم بیش‌تر به شکل Al^{3+} وجود دارد که منجر به جذب، ایجاد اتصال و چسبندگی بین کلوئیدها نمی‌گردد. در نتیجه راندمان انعقاد کاهش می‌یابد. برعکس در محیط های قلیایی گونه‌های پلیمری بر روی سطح ذرات کلوئیدی جذب شده و باعث تجمع ذرات کلوئیدی می‌گردد و راندمان انعقاد افزایش می‌یابد. در pHهای بالاتر از ۸/۵، آلومینیوم موجود در محلول بیش‌تر به شکل $Al(OH)_4$ دارای بار منفی می‌باشد، در نتیجه راندمان حذف COD به علت نیروی دافعه بین ذرات کلوئیدی دارای بار منفی در فاضلاب غذایی و یون های $Al(OH)_4$ کاهش می‌یابد [۲۷].

کاهش آلاینده‌ها در pH قلیایی به دلیل واکنش با یون های هیدروکسید که تشکیل فلوک‌های هیدروکسید را می-دهند، می‌باشد. این نتیجه در راستای یافته‌های به‌دست آمده از مطالعه Rahimi و همکاران در تصفیه فاضلاب صنایع شیر با استفاده از پلی‌آلومینیوم کلراید در pH بهینه برابر ۸ می باشد [۲۸]. در مطالعه Ayeche و همکاران با استفاده از آهک در تصفیه فاضلاب صنایع لبنی نشان دادند که با افزایش pH راندمان حذف COD کاهش می‌یابد که این نتیجه را به علت خواص بنیادی در ساختار نوع و یا غلظت آلاینده و ماده منعقدکننده دانستند [۲۹]. در مطالعه‌ای دیگر Vanerkar و همکاران در تصفیه فاضلاب صنایع غذایی با آلوم به pH بهینه ۶/۶ دست یافتند [۲۴].

یکی دیگر از پارامترهای مهم به منظور تعیین شرایط بهینه عملکرد در فرآیند انعقاد و لخته‌سازی، مقدار غلظت ماده منعقدکننده است. اساساً، غلظت ناکافی و یا غلظت بیش از حد منجر به عملکرد ضعیف تشکیل لخته می‌شود. لذا، برای کاهش هزینه‌های فرآیند تصفیه و تشکیل لجن مناسب و هم‌چنین برای به دست آوردن بهترین عملکرد در تصفیه، تعیین غلظت بهینه ماده منعقدکننده مهم می‌باشد [۳۰]. هنگامی که غلظت منعقدکننده بیش از حد بهینه، شود، بارهای مثبت در اطراف کلوئیدها برای پایدارسازی مجدد ذرات کلوئیدی تشکیل شده، در نتیجه ذرات کلوئیدی توسط

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]

مکانیسم لخته سازی پری کینتیک ایجاد شده نمی‌توانند حذف شوند، بنابراین کارآیی حذف کاهش می‌یابد [۳۱].

Kushwaha و همکاران در تصفیه فاضلاب لبنی به افزایش راندمان حذف COD با افزایش غلظت پلی‌آلومینیوم کلراید از ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند. در غلظت بهینه ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر راندمان حذف COD برابر ۶۹/۲ درصد بود و در غلظت‌های بالاتر از ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر راندمان حذف COD کاهش یافته است [۳۱]. میزان غلظت بهینه به‌دست آمده توسط پلی‌آلومینیوم کلراید در مطالعه Kushwaha نسبت به مطالعه حاضر کم‌تر می‌باشد که می‌تواند دلیل آن را حضور مقدار زیادتر مواد آلی موجود در پساب مورد مطالعه بیان کرد.

Yazdanbakhsh و همکاران تصفیه فاضلاب صنعت روغن گیری زیتون با استفاده از منعقدکننده‌های سولفات آلومینیوم و پلی‌آلومینیوم کلراید را مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد، بالاترین راندمان حذف TSS و COD به ترتیب ۹۹/۲، ۹۰/۲ و ۸۸/۳ درصد توسط پلی‌آلومینیوم کلراید در pH برابر ۱۰و در دوز ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد [۳۲].

مطالعات زیادی به وسیله پلی‌الکترولیت در ترکیب با منعقدکننده انجام شده است [۳۴-۳۳]. پلی‌الکترولیت‌ها با ایجاد پل بین فلوک‌های ریز حاصل از کار منعقد کننده‌ها، آن ها را به صورت لخته‌های درشت و سنگین در آورده، عمل ته نشینی را سرعت می دهد و حجم لجن نیز کاهش می‌یابد، هم‌چنین محدوده pH بهینه را گسترش داده و مقدار مصرف ماده منعقدکننده را بین ۶۰-۴۰ درصد کاهش می‌دهند. عملکرد لخته سازها در ابتدا به نوع لخته‌ساز استفاده شده، وزن مولکولی آن، طبیعت یونی، نوع مواد در سوسپانسیون فاضلاب و نوع فاضلاب بستگی دارد [۳۵-۲۰].

آنچه که از نمودارهای ۵ و ۶ مشاهده می‌گردد، راندمان حذف آلاینده‌ها با افزایش غلظت پلی‌الکترولیت‌ها افزایش یافته و این افزایش برای هر دو پلی‌الکترولیت در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر به حداکثر خود رسیده و در غلظت‌های بالاتر راندمان حذف برای کدورت، TSS و COD روند نزولی داشته است. در مطالعه Chong و همکاران با افزایش دوز پلیمرکاتیونی B ۱۲۰۰، مقدار حذف TSS کاهش یافت. که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. آن‌ها این کاهش راندمان حذف در غلظت‌های بالاتر از غلظت بهینه را به‌دلیل تعلیق مجدد ذرات با افزایش پلی‌الکترولیت دانسته‌اند [۳۶]. Vanerkar و همکاران تصفیه فاضلاب صنایع غذایی را با استفاده از آهک و پلی‌الکترولیت‌های آنیونی، کاتیونی و غیر یونی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد ماده منعقدکننده آهک در ترکیب با پلی‌الکترولیت آنیونی بهترین عملکرد را داشته است [۲۴].

در مطالعه Amuda جهت حذف مواد آلی و مواد معلق از فاضلاب صنایع آشامیدنی، پلی‌الکترولیت در میزان ۲۵ میلی گرم بر لیتر به همراه ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید فریک توانست باعث حذف ۹۱ و ۹۷ درصد از مواد آلی و جامدات معلق گردد که دلیل آن به علت مصرف بالای مواد شیمیایی جهت حذف این آلاینده‌ها و در نتیجه افزایش تعداد زیادی از

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]

ترکیبات حاصل از هیدرولیز ماده منعقدکننده نسبت داده شده که باعث افزایش سرعت رشد و تعداد لخته‌ها جهت حذف آلاینده‌ها گردید [۲۱].

مروری بر منابع در دسترس نشان داد که اطلاعات کمی بر سمیت پلی‌الکترولیت وجود دارد. به طور کلی به نظر می رسد که پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی نسبت به پلی‌الکترولیت های آنیونی سمی‌تر باشند. بنابراین لجن محتوی سمیت با فرم آلومینیوم و پلیمر کاتیونی نیاز به دفع با دقت بیش‌تری دارد [۳۷].

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل شده در این مطالعه مشخص شد که منعقد کننده پلی‌آلومینیوم کلراید در ترکیب با پلی‌الکترولیت کاتیونی C-270 قادر است قسمت اعظم آلاینده‌های موجود در پساب را کاهش دهد و راندمان حذف ۹۸/۷۵، ۹۸/۵ و ۸۲/۴ درصد برای کدورت، TSS و COD قابل دست‌یابی می‌باشد. هم‌چنین با توجه به نتایج به‌دست آمده پلی‌آلومینیوم کلراید در غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در ترکیب با ۵ میلی‌گرم بر لیتر از پلی‌الکترولیت کاتیونی C-270 در pH اولیه برابر ۸/۵ بهینه شد. از نتایج به‌دست آمده از این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که فرآیند انعقاد و لخته سازی کارایی مناسبی در تصفیه پساب با این شرایط را دارد و با کاهش مواد آلی می‌تواند به عنوان یک مرحله پیش تصفیه قبل از تصفیه بیولوژیکی به کار رود. از لحاظ محدودیت‌های موجود در این روش می‌توان به لجن تولید شده و در نتیجه دفع آن اشاره کرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله از طرح تحقیقاتی با کد ۵۵۸۳، تصویب شده در مرکز تحقیقات ژنتیک و مخاطرات محیطی دانشکده پیراپزشکی ابرکوه استخراج شده است. از دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد جهت حمایت مالی و تأمین امکانات آزمایشگاهی و هم‌چنین از سرکار خانم مهندس محبوبه شیرانیان مسئول آزمایشگاه پایلوت دانشکده بهداشت کمال تشکر و قدردانی را داریم.

References

[1] Thirugnanasambandham K, Sivakumar V, Prakash Maran J. Response surface modelling and optimization of treatment of meat industry wastewater using electrochemical treatment method. *J Taiwan Inst Chem Eng* 2015; 46: 160-7.

[2] Javid AH, Hassani AH, Gahvarband S. Quality and quantity of sewage from food industry and its impact on sewage treatment system performance (Case study: Minoo Valley factory). *Environ Sci Technol* 2015; 17(1): 37-47.[Farsi].

[3] García-Ballesteros S, Mora M, Vicente R, Sabater C, Castillo M, Arques A, et al. Gaining further insight into photo-Fenton treatment of phenolic compounds

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]

commonly found in food processing industry. *Chem Eng J* 2016; 288: 126-36.

[4] Anjum F, Gautam G, Edgard G, Negi S. Biosurfactant production through Bacillus sp. MTCC 5877 and its multifarious applications in food industry. *Bioresour Technol* 2016; 213: 262-9.

[5] Hanafie R. Variety and Characteristic of Processed Food Industry Based on Cassava. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2016; 9: 258-63.

[6] Meneses YE, Flores RA. Feasibility, safety, and economic implications of whey-recovered water in cleaning-in-place systems: A case study on water conservation for the dairy industry. *J Dairy Sci* 2016; 99(5): 3396-407.

[7] Gugała M, Zarzecka K, Sikorska A. Wastewater management in food processing enterprises–a case study of the Ciechanów dairy cooperative. *J Ecologi Eng* 2015; 16(1): 178-83.

[8] Kotsanopoulos K-V, Arvanitoyannis I-S. Membrane processing technology in the food industry: food processing, wastewater treatment, and effects on physical, microbiological, organoleptic, and nutritional properties of foods. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2015; 55(9): 1147-75.

[9] Kong X, Xu S, Liu J, Li H, Zhao K, He L. Enhancing anaerobic digestion of high-pressure extruded food waste by inoculum optimization. *J Environ Manage* 2016; 166: 31-37.

[10] Qasim W, Mane A. Characterization and treatment of selected food industrial effluents by coagulation and adsorption techniques .*Water Resour Ind* 2013; 4: 1-12.

[11] Guan Q, Wang H, Li J, Li X, Yang Y, Wang T. Optimization of an electrocatalytic membrane reactor for phenolic wastewater treatment by response surface methodology. *J Water Sustainability* 2013; 3(1): 17-28.

[12] Wang LK., Hung YT, Lo HH, Yapijakis C. Waste Treatment in the Food Processing Industry. CRC press. 2005; 1-344.

[13] Heaven MW, Wild K, Verheyen V, Cruickshank A, Watkins M, Nash D. Seasonal and wastewater stream variation of trace organic compounds in a dairy processing plant aerobic bioreactor. Bioresource technology 2011; 102 (17): 7727-36.

[14] Zarei Mahmoudabadi T, Ehrampoush MH, Yousofi H, Talebi P. Evaluation of the Coagulation and Flocculation Process Using Plantago major L. Seed Extract as a Natural Coagulant in Treating Paper and Paperboard Industry Wastewater. *J Environ Health Sci Eng* 2017; 3(2): 531-8.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]

[15] Jamali HA, Dindarloo K. Industrial wastewater treatment (volume First). First Edition. Hormozgan University of Medical Sciences & Health Services.2014; 1-285.

[16] Lee KE, Teng TT, Morad N, Poh BT, Mahalingam M. Flocculation activity of novel ferric chloride–polyacrylamide ($FeCl_3$-PAM) hybrid polymer. *Desalination* 2011; 266(1): 108-13.

[17] Li F, Jiang JQ, Wu S, Zhang B. Preparation and performance of a high purity poly-aluminum chloride. *J Chem Eng* 2010; 156(1): 9-64.

[18] Wang LK, Lo HH, Hung YT, Yapijakis C. Waste Treatment in the Food Processing Industry. CRC Press. 2006; 1-321.

[19] Hjorth M, Jørgensen BU. Polymer flocculation mechanism in animal slurry established by charge neutralization. *Water Res* 2012; 46(4): 1045-51.

[20] Bolto B, Gregory J. Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water Res* 2007;41(11):2301-24.

[21] Amuda O, Amoo I, Ajayi O. Performance optimization of coagulant/flocculant in the treatment of wastewater from a beverage industry. *J Hazard Mater* 2006; 129(1): 69-72.

[22] Azimi N, Taheriyoun M. The Performance of Integrated Fixed Film Activated Sludge in Wastewater Treatment of Food Industry (Case Study: Amol Industrial Park Wastewater Treatment Plant). *water and wastewater J* 2012; (3): 80-87. [Farsi].

[23] APHA, AWWA and WEF. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition. Washington DC: American Public Health Association. 2012.

[24] Vanerkar AP, Satyanarayan S, Satyanarayan S.Treatment of Food Processing Industry Wastewater by a Coagulation/Flocculation Process. *J Chem Phys Sci* 2013; 2: 63-72.

[25] Zazouli MA, Taghavi M, Bazrafshan E. Influences of Solution Chemistry on Phenol Removal From Aqueous Environments by Electrocoagulation Process Using Aluminum Electrodes. *J Health Scope* 2012; 1(2): 66-70.

[26] Zazouli M, Yousefi Z. Removal of heavy metals from solid wastes leachates coagulation- flocculationprocess. *J Appl Sci* 2008; 8(11): 2142 - 47.

[27] Zheng H, Zhu G, Jiang S, Tshukudu T, Xiang X, Zhang P, et al. Investigations of coagulation–flocculation process by performance optimization, model prediction and fractal structure of flocs. *Desalination* 2011; 269(1-3): 148-56.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]

[28] Rahimi S, Alizadeh M, Kord Mostafapoor F, Bazrafshan E, Hoseinzadeh E,Taghavi M. Optimal Condition of Coagulation Process Using Poly Aluminium Chloride in Dairy Wastewater Treatment. *J Sabzevar Univ Med Sci* 2016; 23(1): 48-57.[Farsi].

[29] Ayeche R, Treatment by coagulation-flocculation of dairy wastewater with the residual lime of National Algerian Industrial Gases Company (NIGC-Annaba). *Energy procedia* 2012; 18: 147-56.

[30] Sarkar B, Chakrabarti P, Vijaykumar A, Kale V. Wastewater treatment in dairy industries-possibility of reuse. *Desalination* 2006; 195(1-3): 141-52.

[31] Kushwaha J-P ,Srivastava V-C, Mall I-D. Treatment of dairy wastewater by inorganic coagulants: Parametric and disposal studies. *Water Res* 2010; 44(20): 5867-74.

[32] Yazdanbakhsh A, Mahdipour F, Ghanbari F, Zamani A, Sharifimalaksari H, Safdari M. Survey and Comparison of Aluminum Sulfate and Poly Aluminum Chloride (PAC) in Olive Oil Mill Wastewater Treatment. *Tolooebehdasht* 2012; 11(2): 98-106. [Farsi].

[33] Irfan M, Butt T, Imtiaz N, Abbas N, Khan RA, Shafique A. The removal of COD, TSS and colour of black liquor by coagulation–flocculation process at optimized pH, settling and dosing rate. *ARAB J CHEM* 2017; 10: 2307-18.

[34] Haydar S, Aziz JA. Coagulation–flocculation studies of tannery wastewater using combination of alum with cationic and anionic polymers. *J Hazard Mater* 2009; 168(2): 1035-40.

[35] Eldemerdash U. Using Ceramic Materials for Enhanced Wastewater Treatment in Industrial Applications. *Ceram Int* 2011; 60: 100-4.

[36] Chong MF, Lee KP, Chieng HJ, Ramli IISB. Removal of boron from ceramic industry wastewater by adsorption–flocculation mechanism using palm oil mill boiler (POMB) bottom ash and polymer. *Water Research* 2009; 332-34: 43(13).

[37] Zarei Mahmudabadi T, Ebrahimi AA, Eslami H, Mokhtari M, Salmani MH, Ghaneian MT, et al. Optimization and economic evaluation of modified coagulat ion–flocculation process for enhanced treatment of ceramic-tile industry wastewater. *AMB Express* 2018; 8(1): 172.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]

Optimization of Coagulation and Flocculation Process in Wastewater Treatment of the Food Industry: A Laboratory Study

T. Zarei Mahmoudabadi[1], P. Talebi[2], M. H. Ehrampoosh[3], M. Jalili[4]

Received: 25/09/2018 Sent for Revision: 05/11/2018 Received Revised Manuscript: 06/03/2019 Accepted: 17/04/2019

Background and Objectives: Food industry wastewater has a high pollution load, which is due to water consumption at various stages. In the absence of adequate wastewater management and supervision of the food industry, this wastewater can be considered as a source of environmental pollution. This study aimed to optimize the coagulation and flocculation process for the treatment of food industry wastewater.

Materials and Methods: The present study was a laboratory study. Aluminum sulfate and poly aluminum chloride were used as coagulant and cationic poly-electrolytes C-270 and anion A-300 were used as coagulant aid. Then, the optimization of pH (4.5-10.5), coagulant concentration (300-800 mg/L) and coagulation aid (3-8 mg/L) were evaluated by calculating optimal removal efficiency of turbidity, total suspended solids and chemical oxygen demand. And the results were analyzed using Pearson's correlation coefficient.

Results: The results showed that at optimal pH (8.5), poly aluminum chloride concentration (600 mg/L) in combination with cationic poly-electrolyte C-270 (5 mg/L), removal efficiency for turbidity, TSS and COD parameters were 98.75%, 98.5%, and 82.4%, respectively.

Conclusion: It can be concluded that using poly aluminum chloride as a coagulant and cationic polyelectrolyte C-270 as a coagulant aid can be used as an appropriate pretreatment for reducing the organic load for food industry sewage.

Key words: Optimization, Coagulation, Food Industry, Aluminum sulfate, Poly-aluminum-chloride, Polyelectrolyte

Funding: This study was funded by Yazd University of Medical Sciences.

Conflict of interest: None declared.

Ethical approval: The Ethics Committee of Yazd University of Medical Sciences approved the study (IR.SSU.SPH. REC.1396.152).

How to cite this article: Zarei Mahmoudabadi T, Talebi P, Ehrampoosh MH, Jalili M. Optimization of Coagulation and Flocculation Process in Wastewater Treatment of the Food Industry: A Laboratory Study. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2019; 18 (7): 623-36. [Farsi]

1- *MSc in Environmental Health Engineering, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran ORCID: 0000-0003-2504-9399.*

2- *Expert in Charge of Chemical Lab, Dept. of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran, ORCID: 0000-0001-6097-9589*

(Corresponding Author) Tel: (035) 31492056, Fax :(035) 38209119, E-mail: apf_sts_1381@yahoo.com

3- *Professor, Dept. of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran ORCID: 0000-0002-0388-3211.*

4- *MSc, Dept. of Environmental Health Engineering, Abarkouh Paramedical School, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran, ORCID: 0000-0002-8397-4112.*

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1398.18.7.4.2]