





شرکت آب و فاضلاب استان کردستان



دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کردستان

پایان نامه

دوره کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط

عنوان

مقایسه‌ی کارایی روش‌های انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون و میدان‌های مغناطیسی
ثابت در کنترل بالکینگ فرایندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب

اساتید راهنما

جناب آقایان دکتر اسمعیل قهرمانی / دکتر مهدی صفری

مشاوران علمی

جناب آقایان دکتر افشین ملکی / دکتر رضا رضایی

نگارنده

پریسا نصراللهی

سال ۱۴۰۴

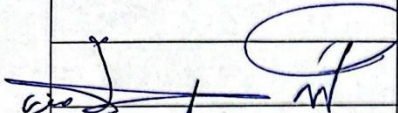
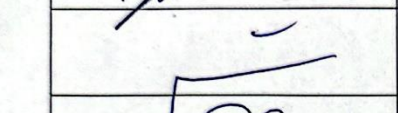
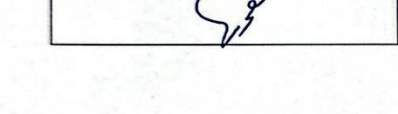
سبحان الله العظيم

صور تجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

با استعانت از خداوند متعال، جلسه‌ی دفاع از پایان نامه خانم **پریسا نصراللهی** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط به شماره دانشجویی 140217300 تحت عنوان: «مقایسه‌ی کارایی روش‌های انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون و میدان‌های مغناطیسی ثابت در کنترل بالکینگ فرایندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب» با حضور کمیته داوری پایان‌نامه در تاریخ ۱۴۰۴/۹/۱۸ در محل دانشکده بهداشت تشکیل شد و پایان‌نامه با نمره ۱۸ (عدد) هجده (حروف) و با درجه‌ی عالی مورد تصویب قرار گرفت.

خواهشمند است دستور فرمایید مراتب در پرونده و کارنامه دانشجو منعکس گردد.

نام و نام خانوادگی و محل امضای اعضای کمیته داوری

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر محمدزاد	استاد	
۲- استاد مشاور اول	دکتر فاطمه زینب	استاد	
۳- استاد مشاور دوم	دکتر افشین ملکی	استاد	
۳- داور خارجی			
۴- داور داخلی	میرزا محمدحسین		
۵- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده	شاید محمدی	استادیار	

مقدمه

این تفاهم نامه به منظور اجرای طرح تحقیقاتی و پژوهشی مشترک بین شرکت آب و فاضلاب استان کردستان به نشانی خیابان امام خمینی (استانداری)، جنب پست بانک، کد پستی 6613915471، تلفن: 08731042000 و نمابر: 08733177671 به نمایندگی خانم مهندس عاطفه کرمی، که در این تفاهم نامه "شرکت" نامیده می شود از یک طرف و دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کردستان به نشانی سنندج، بلوار پاسداران، روبروی هتل شادی، کد پستی: 6617713446، تلفن: 08733244990 و نمابر: 08733233600 به نمایندگی آقای دکتر اسمعیل قهرمانی که در این تفاهم نامه «دانشگاه» نامیده می شود از طرف دیگر، با شرایط ذیل منعقد و مبادله می گردد.

ماده 1- موضوع تفاهم نامه

موضوع تفاهم نامه عبارت است از اجرای طرح تحقیقاتی و پژوهشی مشترک با عنوان "مقایسه ی کارایی روش های انعقاد و لخته سازی، اکسیداسیون و میدان های مغناطیسی ثابت در کنترل بالکینگ فرایندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب"

ماده 2- اسناد و مدارک

این تفاهم نامه شامل اسناد و مدارک ذیل است:
الف- مصوبه صورتجلسه کمیته تحقیقات مورخ 1404/3/21 ب- تفاهم نامه حاضر ج- پروپزال طرح

ماده 3- مدت تفاهم نامه

مدت این تفاهم نامه از تاریخ 1404/4/1 لغایت 1405/4/1 به مدت 12 ماه می باشد. که با توافق طرفین قابل تمدید است.

ماده 4- اعتبار تفاهم نامه و نحوه پشتیبانی یا پرداخت

مبلغ کل اعتبار طرح 199580000 ریال می باشد که میزان مشارکت مالی دانشگاه 174580000 ریال (88/5 درصد) بابت هزینه انجام آزمایشات و خرید مواد آزمایشگاهی و ... می باشد و میزان مشارکت مالی شرکت 25000000 ریال (12/5 درصد) بابت هزینه صحافی و ایاب و ذهاب می باشد. حمایت غیر مالی شرکت به صورت پشتیبانی در استفاده از امکانات فنی، اطلاعات موجود و حمایت از نتایج طرح جهت اجرا در تصفیه خانه فاضلاب سنندج در صورت کسب نتایج مطلوب می باشد.

ماده 5- تعهدات، اختیارات متقابل و مشترک طرفین:

الف- تعهدات دانشگاه علوم پزشکی کردستان

1- تمامی مراحل اجرای طرح به صورت کامل منطبق و مناسب با پروپزال دریافتی و در راستای موضوع انجام گردد.



تفاهم نامه اجرای طرح تحقیقاتی و پژوهشی مشترک
دانشگاه علوم پزشکی کردستان و
شرکت آب و فاضلاب استان کردستان



- 2- کلیه مراحل اجرا می بایست توسط مجری طرح اصلی طرح انجام گرفته و از خدمات سایرین در اجرا و یا واگذاری طرح به غیر خودداری گردد.
- 3- نام شرکت آب و فاضلاب کردستان به عنوان حامی پروژه در صفحه اول طرح ذکر گردد.
- 4- محقق نسبت به ارائه نتایج و دستاوردها در کمیته تحقیقات شرکت اقدام نماید.
- 5- تعداد دو نسخه چاپی و الکترونیکی طرح به شرکت تحویل داده شود.
- 6- کلیه مسئولیت های قانونی، حقوقی و حوادث ناشی از کار و ... ناشی از حضور محقق در شرکت و محل تصفیه خانه و اماکن وابسته به شرکت به عهده دانشگاه بوده و پوشش بیمه ای لازم و کافی در این خصوص به عهده دانشگاه می باشد.
- 7- کلیه تدابیر احتیاطی و حفاظت فنی و ایمنی محل حضور مجری اصلی بر عهده دانشگاه می باشد.
- 8- دقت و کوشش لازم بر اساس متد فنی و استانداردهای لازم در اجرای طرح انجام گردد.
- 9- حفظ کامل اطلاعات اماکن و امکانات و آمار و ... شرکت بر عهده دانشگاه می باشد.

ب) تعهدات شرکت آب و فاضلاب استان کردستان

- 1- نسبت به در اختیار گذاشتن امکانات و اطلاعات مورد نیاز و تجهیزات و دستگاه (ر صورت نیاز) مرتبط با طرح به مجری اصلی در محل استقرار تا اتمام طرح اقدام نماید.
- 2- مجوزهای لازم جهت تردد و مراجعه مجری اصلی طرح در ساعات اداری به سایت های مورد نیاز صادر نماید.

ج) تعهدات مشترک طرفین

- 1- توزیع مالکیت معنوی و مادی نتایج طرح برای هر کدام از طرفین تفاهم نامه به نسبت مساوی (یک دوم برای هر طرف) می باشد.
- 2- انتقال، انتشار و یا ثبت قانونی نتایج حاصل از اجرای طرح با رضایت کتبی طرفین مجاز می باشد.
- 3- در مقالاتی که از نتایج طرح حاصل می شود و به چاپ خواهد رسید نام شرکت، سطح حمایت و محیط تحقیق در بخش تقدیر و تشکر ذکر گردد.

ماده 6- حل اختلاف:

در صورت بروز اختلاف در تفسیر و یا تغییر و یا نحوه اجرای تفاهم نامه، مراتب ابتدا با حضور ناظرین طرح و نمایندگان دفاتر حقوقی طرفین موضوع حل و فصل خواهد شد و در صورت عدم حل و فصل موضوع، جلسه ای با حضور نماینده دانشگاه و اعضای کمیته پژوهش و فناوری شرکت برگزار و تصمیم نهایی ملاک اقدام خواهد بود.



تفاهم نامه اجرای طرح تحقیقاتی و پژوهشی مشترک
دانشگاه علوم پزشکی کردستان و
شرکت آب و فاضلاب استان کردستان



ماده 7- حفظ محرمانگی

هر یک از طرفین متعهد می گردند که اطلاعات اخذ شده مربوط به طرف مقابل را کاملاً محرمانه تلقی کرده و بدون مجوز طرف مقابل در اختیار مراکز یا سازمان های دولتی و غیر دولتی و اشخاص دیگری قرار ندهند. این اطلاعات شامل دانش فنی، اسناد و مدارک، داده ها، نقشه ها و یا هر نوع مدرک دیگری است که از طرفین جهت پیشنهاد و اجراء طرح های تحقیقاتی ارائه گردد.

موارد ذیل خارج از حیطه اطلاعات محرمانه است:

- اطلاعاتی که برای عموم منتشر شده است.

- اطلاعاتی که قبل از انعقاد تفاهم نامه اخذ کرده باشند.

ماده 8- فسخ تفاهم نامه

در صورت وجود هر یک از شرایط ذیل با یک اعلان 91 روزه، هر یک از طرفین می توانند تفاهم نامه را فسخ نمایند.

1- در صورت تاخیر غیر موجه در انجام تعهدات

2- در صورت احراز عدم توانمندی هر یک از طرفین در اجرای تعهدات

3- در صورت عدم رعایت اهداف و ضوابط تفاهم نامه

ماده 9- تعداد نسخ و مفاد تفاهم نامه

این تفاهم نامه در 10 ماده و به تعداد دو نسخه تهیه و تنظیم گردیده که هر کدام حکم واحد دارند.

دکتر اسمعیل قهرمانی
هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان

مهندس عاطفه گرمی
معاون منابع انسانی و تحقیقات شرکت
آب و فاضلاب استان کردستان

وزارت نیرو
شرکت آب و فاضلاب استان کردستان

تقدیریم به؛

آنان که نتوان شدند تا ما به توانایی برسیم؛

موهایشان سپید شد تا ما روفید شویم؛

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنتر راهمان باشند ...

روح پدرم؛

مادرم؛

برادرم؛

استیدم؛

تَشْکُر و قَدْر دانی؛

از اساتید راهنمای ارجمند جناب آقایان دکتر اسمعیل قهرمانی، دکتر مهدی صفری پی‌گزارم؛ چرا که بدون راهنمایی‌ها و پیگیری‌های مصرانه ایشان انجام این مطالعه ممکن نبود...

از اساتید محترم مشاور جناب آقایان دکتر افشین ملکی و دکتر رضا رضایی برای راهنمایی‌هایشان پی‌گزارم...

از همکاری و مساعدت‌های مدیرعامل محترم شرکت آب و فاضلاب استان کردستان جناب آقای مهندس محمد فرهاد و همچنین زحمات و همکاری معاون محترم نیروی انسانی و تحقیقات سرکار خانم مهندس کرمی و مسئول محترم دفتر تحقیقات سرکار خانم دکتر بهمنی نهایت تشکر قدرانی خود را اعلام می‌دارم. انجام این پایان نامه بدون همکاری‌ها و مساعدت‌های این سازمان امکان پذیر نبود.

چکیده

مقدمه: بالکینگ یکی از مهم‌ترین مشکلات بهره‌برداری در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری به شمار می‌رود که موجب اختلال در ته‌نشینی، افزایش بار آلودگی پساب و کاهش راندمان کلی سیستم می‌شود. این مطالعه با هدف مقایسه کارایی سه روش کنترل بالکینگ شامل انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون و میدان‌های مغناطیسی ثابت و همچنین اثرات ترکیبی آن‌ها بر شاخص‌های عملکردی فرایند تصفیه بیولوژیک فاضلاب انجام شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از فاضلاب تصفیه‌خانه شهر سنندج انجام شد. نمونه‌ها شامل ۶۰ نمونه ۱ لیتری از لجن با SVI اولیه بالای ۲۰۰ بودند. آزمایشات در شرایط کنترل‌شده (pH 7، دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد) با استفاده از جار تست برای منعقدکننده‌ها (دوزهای ۵۰-۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، اکسیداسیون برای H_2O_2 (دوزهای ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و Cl_2 (دوزهای ۳، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) و O_3 (دوز ۳ گرم بر ساعت) و دستگاه میدان‌های مغناطیسی ثابت (شدت ۱-۳ میلی تسلا) اجرا شد. آنالیزهای SVI، MLSS و شمارش باکتری‌های رشته‌ای بر اساس روش‌های استاندارد در نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند. تحلیل آماری با نرم‌افزار SPSS، شامل آمار توصیفی (میانگین، انحراف استاندارد)، آزمون‌های t و ANOVA برای مقایسه گروه‌ها و رگرسیون برای روابط انجام گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بهینه‌ترین منعقدکننده‌ها از لحاظ شاخص حجمی لجن به ترتیب پلی‌آلومینیوم‌کلراید با دوز ۵۰ mg/l، آلوم با دوز ۵۰ mg/l و کلرید فریک با دوز ۱۰۰ mg/l بودند که در آن مقادیر SVI به ترتیب از ۲۵۰ ml/g به ۱۲۰ ml/g، از ۲۵۰ ml/g به ۱۲۴ ml/g و از ۲۷۴ ml/g به ۱۲۶ رسید. از بین اکسیدکننده‌های مختلف، کلر با غلظت ۵ mg/l بهینه‌ترین سطح SVI را ایجاد کرد که مقدار آن از ۲۵۸ ml/g به ۱۳۸ mg/l رسید. از بین شدت‌های مختلف میدان‌های مغناطیسی، بهینه‌ترین حالت از نظر تغییرات هر دو شاخص SVI و MLSS شدت ۳ میلی تسلا بود که SVI را از ۲۸۳ میلی‌لیتر بر گرم به مقدار بهینه ۱۵۰ میلی‌لیتر بر گرم رساند. از بین حالت‌های ترکیبی، بهینه‌ترین حالت تغییرات شاخص SVI مربوط به حالت‌های ترکیبی بهینه به ترتیب شامل ۱۰۰ mg/l کلرید فریک در ترکیب با شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا و ۵۰ mg/l پلی‌آلومینیوم‌کلراید در ترکیب با شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا بود. بیشترین کاهش تعداد کلونی باکتری‌های رشته‌ای مربوط به حضور همزمان دوز ۵۰ mg/l پراکسید هیدروژن به همراه شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا بود که تعداد کلونی از ۳۲۲ به ۱۶۶ عدد کلونی رساند. کمترین کاهش باکتری‌های مفید مربوط به حضور میدان‌های مغناطیسی با کاهش ۵ درصد بود.

نتیجه‌گیری: بهینه‌ترین حالت از بین منعقدکننده‌ها، مربوط به پلی‌آلومینیوم‌کلراید با دوز ۵۰ mg/l، از بین اکسیدکننده‌ها کلر با غلظت ۵ mg/l، و از بین شدت‌های مختلف میدان‌های مغناطیسی، شدت ۳ میلی‌تسلا بود. از بین حالت‌های ترکیبی، بهینه‌ترین حالت شامل ۱۰۰ mg/l کلرید فریک به همراه شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی‌تسلا بود. بیشترین کاهش تعداد کلونی باکتری‌های رشته‌ای مربوط به حضور همزمان دوز ۵۰ mg/l پراکسید هیدروژن با شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی‌تسلا بود و کمترین درصد کاهش باکتری‌های مفید مربوط به اثر میدان‌های مغناطیسی بود.

کلیدواژه‌ها: بالکینگ، لجن فعال، انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون، میدان‌های مغناطیسی، SVI،

MLSS

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات و مرور متون

۲	۱-۱- مقدمه.....
۳	۲-۱- بیان مسئله و اهمیت پژوهش.....
۵	۳-۱- مقدمه‌ای بر تصفیه فاضلاب و پدیده بالکینگ.....
۵	۱-۳-۱- مروری بر فرایندهای تصفیه فاضلاب.....
۶	۲-۳-۱- اهمیت تصفیه بیولوژیکی فاضلاب.....
۶	۳-۳-۱- تعریف و اهمیت پدیده بالکینگ.....
۷	۴-۳-۱- تأثیرات زیست‌محیطی و عملیاتی بالکینگ.....
۷	۱-۴-۱- اهداف پژوهش.....
۷	۱-۴-۱- هدف کلی.....
۷	۱-۴-۲- اهداف اختصاصی توصیفی.....
۸	۱-۴-۳- اهداف اختصاصی تحلیلی.....
۹	۵-۱- سوالات تحقیق.....
۹	۶-۱- فرضیات.....
۱۰	۷-۱- هدف کاربردی طرح.....
۱۰	۸-۱- متغیرهای تحقیق.....
۱۳	۹-۱- تصفیه فاضلاب.....
۱۴	۱۰-۱- سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی فاضلاب.....
۱۵	۱۱-۱- بالکینگ لجن: مکانیزم‌ها و علل.....
۱۷	۱۲-۱- روش‌های کنترل بالکینگ لجن.....
۱۷	۱۳-۱- انعقاد و لخته‌سازی در کنترل بالکینگ.....
۱۹	۱۴-۱- فرایندهای اکسیداسیون در کنترل بالکینگ.....
۲۰	۱۵-۱- میدان‌های مغناطیسی ایستا در کنترل بالکینگ.....
۲۱	۱۶-۱- نوآوری مطالعه.....
۲۲	۱۷-۱- مرور منابع.....

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲۷	۱-۲- مقدمه
۲۷	۲-۲- نوع مطالعه
۲۷	۳-۲- جامعه مورد مطالعه
۲۷	۴-۲- زمان و مکان انجام مطالعه
۲۷	۵-۲- حجم نمونه و روش نمونه‌گیری
۲۷	۶-۲- مواد و تجهیزات مورد استفاده
۲۹	۷-۲- روش جمع‌آوری اطلاعات
۳۲	۸-۲- تحلیل آماری

فصل سوم: یافته‌ها

۳۳	۱-۳- مقدمه
۳۴	۲-۳- تأثیر انواع منعقدکننده‌ها بر تغییرات SVI
۳۶	۳-۳- تأثیر انواع اکسیدکننده‌ها بر تغییرات SVI
۳۸	۴-۳- تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات SVI
۳۹	۵-۳- اثر ترکیب دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات SVI
۴۰	۶-۳- اثر ترکیب دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر تعداد کلونی

فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری

۴۴	۱-۴- مقدمه
۴۴	۲-۴- تأثیر انواع منعقدکننده‌ها بر تغییرات SVI
۴۶	۳-۴- تأثیر انواع اکسیدکننده‌ها بر تغییرات SVI
۴۸	۴-۴- تأثیر شدت میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات SVI
۴۹	۵-۴- اثر ترکیب دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات SVI
۵۰	۶-۴- اثر ترکیب دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر تعداد کلونی
۵۳	۷-۴- نتیجه‌گیری
۵۴	۸-۴- پیشنهادات کاربردی پژوهش
۵۵	۹-۴- پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده
۵۶	۱۰-۴- محدودیت‌های مطالعه و راه‌حل‌های آن
۵۸	فهرست منابع

فهرست جداول

عنوان جدول	صفحه
۲-۱- لیست مواد و تجهیزات مورد استفاده در مطالعه.....	۲۶
۱-۳- میزان SVI و MLSS در حضور دوزهای مختلف از منعقدکننده‌های متفاوت.....	۳۴
۲-۳- میزان SVI و MLSS در حضور دوزهای مختلف از اکسیدکننده‌های متفاوت.....	۳۶
۳-۳- میزان SVI و MLSS در حضور شدت‌های مختلف میدان‌های مغناطیسی.....	۳۸
۳-۴- میزان SVI و MLSS در حضور دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی.....	۳۹
۳-۵- تعداد کلونی‌های باکتری‌های رشته‌ای در حضور دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌ها.....	۴۰

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل	صفحه
۲-۱- رشد باکتری در محیط کشت بلاد آگار.....	۳۱
۳-۱- مقایسه اثر دوز منعقدکننده بر شاخص حجمی لجن در دوزهای مختلف.....	۳۵
۳-۲- مقایسه اثر دوز اکسیدکننده بر شاخص حجمی لجن در دوزهای مختلف.....	۳۷
۳-۳- مقایسه اثر شدت میدان‌های مغناطیسی بر شاخص حجمی لجن.....	۳۸
۳-۴- باکتری‌های رشته‌ای در حضور الف) میدان‌های مغناطیسی، ب) آلوم.....	۴۱

فصل اول:

کلیات و مرور متون

تصفیه فاضلاب برای حفاظت از محیط زیست و سلامت عمومی از طریق کاهش اثرات منفی پساب های صنعتی و شهری ضروری است. فرایندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب، به ویژه فرایند لجن فعال، به دلیل کارایی بالا در تجزیه آلاینده های آلی و کاهش تقاضای اکسیژن بیوشیمیایی به طور گسترده ای استفاده می شوند (۱). با این حال، پدیده بالکینگ لجن همچنان یک چالش مهم است که با ته نشینی ضعیف لجن به دلیل رشد بیش از حد باکتری های رشته ای یا تولید بیش از حد پلیمرهای خارج سلولی^۱ (EPS) مشخص می شود. این مشکل باعث کاهش کارایی فرایند، افزایش هزینه های عملیاتی و احتمال آلودگی محیط زیست می شود (۲). برای مقابله با این مشکل، روش های انعقاد و لخته سازی، اکسیداسیون و استفاده از میدان های مغناطیسی ثابت به عنوان روش های نویدبخش مطرح شده اند (۳). این پایان نامه کارایی این روش ها را در کنترل بالکینگ لجن مقایسه می کند و مکانیزم ها، عملکرد و کاربرد آن ها را در سیستم های تصفیه بیولوژیکی فاضلاب ارزیابی می کند.

بالکینگ لجن عمدتاً ناشی از رشد بیش از حد باکتری های رشته ای مانند میکروتریکس پارویکلا یا گونه های تیوتریکس است که فرایند لخته سازی و ته نشینی لجن را مختل می کنند (۴). روش های انعقاد و لخته سازی با افزودن مواد منعقدکننده شیمیایی مانند کلرید فریک یا پلی آلومینیوم کلرید، با خنثی سازی بارهای سطحی ذرات، تشکیل لخته های متراکم را تسهیل کرده و ته نشینی لجن را بهبود می بخشد. تحقیقات نشان داده اند که این مواد می توانند شاخص حجم لجن^۲ (SVI) را تا ۲۰ تا ۴۰ درصد کاهش دهند و کارایی کلاریفایر را بهبود بخشند (۵). با این حال، اثربخشی این روش ها به نوع ماده منعقدکننده، دوز، pH و ترکیب فاضلاب بستگی دارد که نیاز به بهینه سازی دقیق برای کاهش باقی مانده های شیمیایی و هزینه ها دارد (۶).

فرایندهای اکسیداسیون، مانند ازن زنی و فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته^۳ (AOPs)، با هدف قرار دادن باکتری های رشته ای و پلیمرهای خارج سلولی، فشردگی لجن را بهبود می بخشد (۷). ازن زنی با تجزیه اجزای آلی، ویسکوزیته لجن را کاهش داده و ته نشینی را بهبود می بخشد، به طوری که مطالعات کاهش SVI تا ۳۰ درصد را گزارش کرده اند (۸). علاوه بر این، فرایندهای AOP با تولید گونه های اکسیژن واکنش پذیر می توانند به صورت انتخابی باکتری های رشته ای را بدون تأثیر قابل توجه بر میکروارگانیسم های تشکیل دهنده لخته هدف قرار دهند (۷). با وجود کارایی بالا،

^۱ Extracellular Polymeric Substances

^۲ Sludge Volume Index

^۳ Advanced Oxidation Processes

روش‌های اکسیداسیون انرژی‌بر هستند و ممکن است محصولات جانبی مضرمانند برومات تولید کنند که نیاز به بررسی دقیق اثرات عملیاتی و زیست‌محیطی دارد (۹).

میدان‌های مغناطیسی ثابت یک رویکرد نوین و غیرشیمیایی برای کنترل بالکینگ لجن ارائه می‌دهند که با تأثیر بر فعالیت میکروبی و تولید EPS عمل می‌کنند (۱۰). این میدان‌ها با تغییر نفوذپذیری غشای سلولی و فرایندهای آنزیمی، رشد باکتری‌های رشته‌ای را مهار می‌کنند. مطالعه‌ای نشان داد که میدان‌های مغناطیسی ۲۰ میلی‌تسلا SVI را تا ۲۵ درصد از طریق مهار رشد میکروتریکس پارویکلا کاهش داد (۱۱). تحقیق دیگری نشان داد که میدان‌های مغناطیسی با تغییر انتقال یون و متابولیسم میکروبی، تجمع لخته‌ها را بهبود می‌بخشند. با این حال، مکانیزم‌های دقیق این روش هنوز به‌طور کامل شناخته نشده‌اند و شدت میدان و زمان قرارگیری نیاز به بررسی بیشتر دارند (۱۲).

هر یک از این روش‌های انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون و میدان‌های مغناطیسی، مزایا و چالش‌های خاص خود را دارند. روش انعقاد و لخته‌سازی به‌طور گسترده استفاده می‌شوند اما باقی‌مانده‌های شیمیایی تولید می‌کنند، اکسیداسیون مؤثر اما پرهزینه است و میدان‌های مغناطیسی پایدار هستند اما کمتر مطالعه شده‌اند (۱۳). مطالعات تطبیقی برای ارزیابی کارایی، مقیاس‌پذیری و اثرات زیست‌محیطی این روش‌ها در سیستم‌های واقعی تصفیه فاضلاب ضروری هستند (۱۴). این پایان‌نامه این روش‌ها را با استفاده از معیارهایی مانند SVI، سرعت ته‌نشینی و دینامیک جوامع میکروبی ارزیابی می‌کند تا تحلیل جامعی از عملکرد آن‌ها در کنترل بالکینگ لجن ارائه دهد.

این مطالعه با تلفیق داده‌های تجربی و ادبیات اخیر، به دنبال ارتقای درک کنترل بالکینگ لجن و راهنمایی اپراتورهای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در انتخاب استراتژی‌های بهینه است. نتایج این پژوهش به توسعه فرایندهای تصفیه فاضلاب پایدار و کارآمد کمک خواهد کرد و تعادل بین عملکرد، هزینه و ملاحظات زیست‌محیطی را برقرار می‌کند. این پایان‌نامه از طریق مقایسه دقیق انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون و میدان‌های مغناطیسی ثابت، به دنبال ارائه بینش‌های عملی برای بهبود فرایندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب است.

۱-۲- بیان مسئله و اهمیت پژوهش

رشد روزافزون جمعیت و گسترش صنایع، موجب افزایش تولید فاضلاب و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از آن می‌شود. از آنجایی که هر مترمکعب فاضلاب تصفیه نشده می‌تواند ۴۰ تا

۶۰ مترمکعب آب آشامیدنی را آلوده کند، احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و پایش مداوم عملکرد این تصفیه‌خانه‌ها جهت تصفیه و دفع بهداشتی فاضلاب امری بسیار ضروری است (۱۵). در میان روش‌های مختلف تصفیه فاضلاب، سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی مانند لجن فعال به دلیل هزینه کمتر، عملکرد ساده‌تر و راندمان بالاتر به‌طور گسترده در تصفیه فاضلاب شهری استفاده می‌شوند (۱۶). واکنش‌های اصلی فرایندهای بیولوژیک در حوضچه‌های هوادهی و ته‌نشینی ثانویه انجام می‌شود. در حوضچه هوادهی واکنش‌های بیوشیمیایی باعث حذف کربن آلی، نیتروژن و فسفات از فاضلاب می‌شوند (۱۷). میکروارگانیسم‌های متنوعی همانند باکتری‌ها، قارچ‌ها، تک‌سلولی‌ها، جلبک‌ها و متازواها در این فرایند نقش دارند، اما باکتری‌ها که تقریباً ۹۵ درصد از کل جمعیت این میکروارگانیسم‌ها را تشکیل می‌دهند، نقش اصلی را در حذف مواد آلی و مغذی در فرایندهای بیولوژیک برعهده دارند (۱۸). در حوضچه ته‌نشینی ثانویه جداسازی فیزیکی لجن از فاضلاب اتفاق می‌افتد که امری بسیار ضروری است (۱۹). تقریباً ۴۰ تا ۶۰ درصد هزینه‌های ساخت یک تصفیه‌خانه فاضلاب به مدیریت تصفیه و دفع لجن مربوط می‌شود (۲۰). از جمله مشکلات بهره‌برداری حوضچه‌های ته‌نشینی ثانویه می‌توان به بالا بودن حجم لجن، رشد پراکنده لخته‌ها، شناور شدن لجن، ایجاد لخته‌های ریز و سبک، کف نوک‌اردا، شوک‌های آلی و هیدرولیکی و مدیریت لجن مازاد اشاره کرد (۲۱-۲۳). درصد عمده مشکلات مربوط به مدیریت لجن ناشی از حجیم شدن لجن بر اثر پدیده بالکینگ می‌باشد (۲۴).

رشد بیش از حد باکتری‌های رشته‌ای در حوضچه ته‌نشینی ثانویه که حجیم شدن یا بالکینگ نامیده می‌شود، عملکرد فرایندهای بیولوژیک را با مشکل روبه‌رو می‌کند (۲۵). بیش از نیمی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در سطح دنیا به‌صورت دائم یا موقت با پدیده بالکینگ مواجه هستند (۲۶). از عوامل مؤثر بر پدیده بالکینگ می‌توان به ارتباطات میکروبی ناشی از تراکم جمعیت بالای باکتری‌های رشته‌ای (۲۷)، تولید پلی‌ساکارید خارج سلولی توسط میکروارگانیسم‌ها، نسبت کاتیون‌های یک و دو ظرفیتی در کاهش آب‌گریزی سطحی سلول و تشکیل لخته‌های نامناسب (۲۸)، وجود بار آلی زیاد، نسبت پایین غذا به میکروارگانیسم (F/M)، زمان نگهداری طولانی مدت مواد جامد (SRT)، کاهش مواد مغذی، سطح اکسیژن محلول پایین، pH کم و سطح سولفید بالا اشاره کرد (۲۹). بالکینگ رشته‌ای می‌تواند باعث مشکلات متعددی همچون خروج لجن از سرریز حوضچه ته‌نشینی ثانویه و کاهش کیفیت پساب، شستشوی لجن، کاهش کیفیت ته‌نشینی لجن و به دنبال آن کاهش غلظت لجن برگشتی و لجن دفعی، افزایش هزینه‌های پمپاژ، تغلیظ، هضم و آبیگری لجن و در موارد شدید اختلال کل سیستم شود (۳۰، ۳۱).

برای کنترل و پیشگیری از پدیده بالکینگ روش‌های متنوعی طراحی و اجرا شده است که می‌توان آن‌ها را بطور کلی به دو دسته روش‌های اختصاصی و غیراختصاصی تقسیم‌بندی کرد (۳۲). روش‌های اختصاصی شامل فرایندهایی است که شرایط مناسب برای رشد باکتری‌های رشته‌ای را از بین می‌برد، مانند استفاده از انتخاب‌گرهای بیولوژیکی (۳۳)، اصلاح رژیم هیدرولیکی و افزایش میزان هوادهی؛ این روش‌ها برای کنترل بالکینگ به مدت زمان نسبتاً طولانی نیاز دارند و همچنین هزینه تأسیسات سیستم را افزایش می‌دهند (۳۱). روش‌های غیراختصاصی شامل استفاده از اکسیدکننده‌هایی مانند ازن، پراکسید هیدروژن، کلر و منعقدکننده‌هایی همچون نمک‌های آهن است (۳۴). باید در نظر داشت که برای استفاده از این روش‌ها لازم است عوارض جانبی در نظر گرفته شود، مثلاً کلر می‌تواند بالکینگ را کاهش دهد اما ممکن است میکروارگانیسم‌های حذف‌کننده مواد مغذی را نیز تحت تأثیر قرار دهد یا باعث ایجاد محصولات جانبی همچون تری‌هالومتان‌ها یا باکتری‌های رشته‌ای مقاوم به کلر شود. در مورد ازن، پراکسید هیدروژن و محصولات مشابه آنها مسئله محصولات جانبی مضر، بو، کف شیمیایی و هزینه بالا مطرح است. پلیمرها و مواد منعقدکننده همچون نمک‌های آهن نیز انعقاد و لخته‌سازی باکتری‌های رشته‌ای را از بین نمی‌برد (۲۹، ۳۵، ۳۶). استفاده از میدان‌های مغناطیس ثابت در فرایندهای تصفیه فاضلاب باعث بهبود جداسازی جامدات از فاز مایع و افزایش فعالیت باکتری‌ها در فاضلاب می‌شود (۳۷).

علیرغم تحقیقات بسیاری که در زمینه کنترل بالکینگ انجام شده است؛ به نظر می‌رسد بروز این پدیده در تصفیه خانه‌های فاضلاب همچنان یک مشکل ادامه دار است؛ همچنین با توجه به گسترش روز افزون این پدیده و مشکلات و هزینه‌های تحمیل شده حاصل از آن به تصفیه خانه‌ها ضرورت استفاده از یک روش کارآمد برای کنترل و حذف بالکینگ بیش از پیش احساس می‌شود. لذا هدف ما در این مطالعه بررسی کارایی روش‌های انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون و میدان‌های مغناطیسی در کنترل بالکینگ فرایندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب می‌باشد.

۳-۱- مقدمه‌ای بر تصفیه فاضلاب و پدیده بالکینگ

۳-۱-۱- مروری بر فرایندهای تصفیه فاضلاب

تصفیه فاضلاب برای کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از افزایش تولید فاضلاب‌های شهری و صنعتی ضروری است. فرایندهای تصفیه شامل مراحل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی هستند که هر کدام نقش خاصی در حذف آلاینده‌ها دارند (۳۸). سیستم‌های بیولوژیکی مانند لجن

فعال به دلیل کارایی بالا در حذف مواد آلی و مواد مغذی، به طور گسترده در تصفیه خانه های شهری استفاده می شوند (۳۹).

فرایندهای تصفیه فاضلاب با چالش هایی مانند افزایش بار آلی و مدیریت لجن مواجه هستند. بالکینگ لجن یکی از مشکلات اصلی است که می تواند کیفیت پساب را کاهش داده و هزینه های عملیاتی را افزایش دهد (۴۰). فناوری های نوین مانند استفاده از بیوراکتورهای غشایی در حال توسعه هستند تا این مشکلات را کاهش دهند (۴۱).

توسعه فناوری های پایدار در تصفیه فاضلاب به کاهش اثرات زیست محیطی کمک می کند. استفاده از روش های غیرشیمیایی مانند میدان های مغناطیسی در کنار روش های سنتی می تواند کارایی سیستم ها را بهبود بخشد (۴۲). این رویکردها به ویژه در تصفیه خانه هایی با بار آلی بالا مؤثر هستند (۴۳).

۲-۳-۱- اهمیت تصفیه بیولوژیکی فاضلاب

تصفیه بیولوژیکی به دلیل توانایی در حذف مواد آلی و مغذی با هزینه های نسبتاً پایین، یکی از مهم ترین روش های تصفیه فاضلاب است. این روش از میکروارگانیسم ها برای تجزیه آلاینده ها استفاده می کند (۴۴). سیستم لجن فعال به عنوان پرکاربردترین روش بیولوژیکی، در بیش از ۷۰ درصد تصفیه خانه های شهری استفاده می شود (۴۵).

این روش به دلیل سادگی عملیات و انعطاف پذیری در برابر تغییرات بار ورودی، برای تصفیه فاضلاب های شهری و صنعتی مناسب است. با این حال، مشکلاتی مانند بالکینگ می تواند کارایی آن را کاهش دهند (۴۶). بهینه سازی شرایط عملیاتی مانند نرخ هوادهی می تواند این مشکلات را کاهش دهد (۴۷).

پایداری زیست محیطی تصفیه بیولوژیکی به دلیل مصرف انرژی پایین تر نسبت به روش های شیمیایی، مورد توجه قرار گرفته است. تحقیقات اخیر بر توسعه سیستم های بیولوژیکی پیشرفته مانند بیوراکتورهای غشایی متمرکز شده اند (۴۸). این سیستم ها می توانند کارایی حذف آلاینده ها را بهبود بخشند (۴۹).

۳-۳-۱- تعریف و اهمیت پدیده بالکینگ

بالکینگ لجن به رشد بیش از حد باکتری های رشته ای در سیستم های لجن فعال اشاره دارد که باعث کاهش ته نشینی لجن و افزایش جامدات معلق در پساب می شود. این پدیده می تواند کیفیت

پساب را به شدت کاهش دهد (۵۰). بالکینگ در بیش از ۵۰ درصد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری به صورت دوره‌ای یا دائمی رخ می‌دهد (۵۱).

اهمیت بالکینگ در تأثیر آن بر عملکرد تصفیه‌خانه‌ها و هزینه‌های عملیاتی نهفته است. خروج لجن از حوضچه ته‌نشینی می‌تواند استانداردهای زیست‌محیطی را نقض کند (۵۲). کنترل بالکینگ نیازمند درک دقیق مکانیزم‌های میکروبی و محیطی است. روش‌های نوین مانند استفاده از میدان‌های مغناطیسی می‌توانند به عنوان جایگزینی برای روش‌های شیمیایی مورد استفاده قرار گیرند. این روش‌ها پتانسیل کاهش اثرات زیست‌محیطی را دارند (۵۳).

۴-۳-۱- تأثیرات زیست‌محیطی و عملیاتی بالکینگ

بالکینگ لجن می‌تواند با افزایش جامدات معلق در پساب، به آلودگی منابع آب منجر شود. این مشکل می‌تواند اکوسیستم‌های آبی را تهدید کند (۵۴). تخلیه پساب با کیفیت پایین همچنین می‌تواند جریمه‌های زیست‌محیطی را برای تصفیه‌خانه‌ها به دنبال داشته باشد (۵۵).

از نظر عملیاتی، بالکینگ باعث افزایش هزینه‌های پمپاژ، تغلیظ، و آبگیری لجن می‌شود. این پدیده می‌تواند فرایندهای دفع لجن را پیچیده‌تر کند (۵۶). تحقیقات نشان داده‌اند که بالکینگ می‌تواند راندمان سیستم‌های لجن فعال را تا ۲۰ درصد کاهش دهد (۵۷). برای کاهش تأثیرات زیست‌محیطی و عملیاتی بالکینگ، استفاده از روش‌های پایدار مانند میدان‌های مغناطیسی و بهینه‌سازی شرایط عملیاتی توصیه می‌شود. این روش‌ها می‌توانند اثرات منفی را کاهش داده و پایداری سیستم را بهبود بخشند (۵۸). تحقیقات آینده باید بر راهکارهای ترکیبی برای مدیریت بهتر بالکینگ متمرکز شوند.

۴-۱- اهداف پژوهش

۴-۱-۱- هدف کلی

تعیین و مقایسه اثر روش‌های انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون و میدان‌های مغناطیسی ثابت در کنترل بالکینگ فرایندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب

۴-۱-۲- اهداف اختصاصی توصیفی

۱. تعیین مقدار شاخص حجمی لجن (SVI) قبل و بعد مداخله با منعقدکننده‌ها بصورت مجزا و ترکیبی با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی.

۲. تعیین مقدار جامدات معلق در مایع مخلوط لجن^۱ (MLSS) قبل و بعد مداخله با منعقدکننده‌ها بصورت مجزا و ترکیبی با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی.
۳. تعیین تعداد باکتری‌های رشته‌ای قبل و بعد مداخله با منعقدکننده‌ها بصورت مجزا و ترکیبی با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی
۴. تعیین مقدار شاخص حجمی لجن (SVI) قبل و بعد مداخله با اکسیدکننده‌ها بصورت مجزا و ترکیبی با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی
۵. تعیین مقدار جامدات معلق در مایع مخلوط لجن (MLSS) قبل و بعد مداخله با اکسیدکننده‌ها بصورت مجزا و ترکیبی با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی
۶. تعیین تعداد باکتری‌های رشته‌ای قبل و بعد مداخله با اکسیدکننده‌ها بصورت مجزا و ترکیبی با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی
۷. تعیین مقدار شاخص حجمی لجن (SVI) قبل و بعد مداخله با میدان‌های مغناطیسی
۸. تعیین مقدار جامدات معلق در مایع مخلوط لجن (MLSS) قبل و بعد مداخله با میدان‌های مغناطیسی

۹. تعیین تعداد باکتری‌های رشته‌ای قبل و بعد مداخله با میدان‌های مغناطیسی

۱-۴-۳- اهداف اختصاصی تحلیلی

۱. تعیین اثر نوع منعقدکننده بر تغییرات بالکینگ.
۲. تعیین اثر دوز منعقدکننده بر تغییرات بالکینگ
۳. تعیین اثر نوع اکسیدکننده بر تغییرات بالکینگ.
۴. تعیین اثر دوز اکسیدکننده بر تغییرات بالکینگ.
۵. تعیین اثر شدت میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات بالکینگ.
۶. تعیین اثر ترکیب دوزهای بهینه منعقدکننده‌ها با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات بالکینگ.
۷. تعیین اثر ترکیب دوزهای بهینه اکسیدکننده‌ها با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات بالکینگ.

¹ Mixed Liquor Suspended Solids

۱-۵- سوالات تحقیق

- ۱- مقدار شاخص حجمی لجن (SVI) قبل و بعد مداخله با منعقدکننده‌ها بصورت مجزا و ترکیبی با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی چقدر است؟
- ۲- مقدار جامدات معلق در مایع مخلوط لجن (MLSS) قبل و بعد مداخله با منعقدکننده‌ها بصورت مجزا و ترکیبی با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی چقدر است؟
- ۳- تعداد باکتری‌های رشته‌ای قبل و بعد مداخله با منعقدکننده‌ها بصورت مجزا و ترکیبی با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی چقدر است؟
- ۴- مقدار شاخص حجمی لجن (SVI) قبل و بعد مداخله با اکسیدکننده‌ها بصورت مجزا و ترکیبی با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی چقدر است؟
- ۵- مقدار جامدات معلق در مایع مخلوط لجن (MLSS) قبل و بعد مداخله با اکسیدکننده‌ها بصورت مجزا و ترکیبی با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی چقدر است؟
- ۶- تعداد باکتری‌های رشته‌ای قبل و بعد مداخله با اکسیدکننده‌ها بصورت مجزا و ترکیبی با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی چقدر است؟
- ۷- مقدار شاخص حجمی لجن (SVI) قبل و بعد مداخله با میدان‌های مغناطیسی چقدر است؟
- ۸- مقدار جامدات معلق در مایع مخلوط لجن (MLSS) قبل و بعد مداخله با میدان‌های مغناطیسی چقدر است؟
- ۹- تعداد باکتری‌های رشته‌ای قبل و بعد مداخله با میدان‌های مغناطیسی چقدر است؟

۱-۶- فرضیات

- ۱- نوع منعقدکننده بر تغییرات بالکینگ اثر دارد.
- ۲- دوز منعقدکننده بر تغییرات بالکینگ اثر دارد.
- ۳- نوع اکسیدکننده بر تغییرات بالکینگ اثر دارد.
- ۴- دوز اکسیدکننده بر تغییرات بالکینگ اثر دارد.
- ۵- شدت میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات بالکینگ اثر دارد.
- ۶- ترکیب دوزهای بهینه منعقدکننده‌ها با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات بالکینگ اثر دارد.

۷- ترکیب دوزهای بهینه اکسیدکننده‌ها با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات بالکینگ اثر دارد.

۱-۷- هدف کاربردی طرح / نحوه استفاده از یافته‌ها در آینده

ارائه راهکارهای مؤثر برای کنترل و کاهش مشکل بالکینگ در فرایندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب از طریق ارزیابی روش‌های مختلف شیمیایی، اکسیداسیونی و فیزیکی (میدان‌های مغناطیسی) و ترکیب آن‌ها، به‌منظور بهبود کارایی تصفیه، کاهش هزینه‌های عملیاتی، و جلوگیری از اختلالات عملکردی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب.

۱-۸- متغیرهای تحقیق و تعریف عملیاتی آن‌ها

ردیف	عنوان متغیر	نوع متغیر		کمی		کیفی		تعریف علمی عملی	نحوه اندازه‌گیری
		مستقل	وابسته	پایسته	گسسته	اسمی	ر.به‌ای		
۱	نوع مواد منعقدکننده	*				*		نوع مواد منعقدکننده به ترکیبات شیمیایی گفته می‌شود که از طریق خنثی‌سازی بار سطحی ذرات معلق و ایجاد پل‌های شیمیایی، موجب تشکیل لخته‌ها و بهبود فرایند ته‌نشینی در تصفیه فاضلاب می‌شوند.	مشاهد های
۲	دوز مواد شیمیایی منعقدکننده	*		*				به مقدار مشخصی از ماده شیمیایی منعقدکننده گفته می‌شود که به یک حجم معین از فاضلاب یا آب اضافه می‌شود تا ذرات کلوییدی را ناپایدار کرده و باعث	مشاهد های-ترازوی دیجیتال

	تسهیل فرایند ته نشینی شود.								
مشاهد های	اکسیدکننده ها مواد شیمیایی هستند که با پذیرش الکترون ها از آلاینده ها، باعث اکسیداسیون آن ها می شوند. این مواد در فرایندهای تصفیه فاضلاب برای تجزیه مواد آلی، معدنی و آلاینده ها استفاده می شوند. اکسیدکننده ها با تولید رادیکال های آزاد یا واکنش مستقیم با آلاینده ها، باعث کاهش بار آلودگی و بهبود کیفیت فاضلاب می شوند.	*					*	نوع مواد اکسیدکننده	۳
کیت کلرسنجی - دستگاهی - محاسباتی	به مقدار مشخصی از یک ماده شیمیایی اکسیدکننده گفته می شود که به یک حجم معین از فاضلاب یا آب اضافه می شود تا فرایند اکسیداسیون را انجام دهد. این مقدار معمولاً بر حسب میلی گرم بر لیتر (mg/L) بیان می شود.				*		*	دوز مواد اکسیدکننده	۴

دستگاه ه گاوس متر	شدت میدان‌های مغناطیسی ثابت نشان‌دهنده قدرت میدان‌های مغناطیسی است که بر حسب تسلا یا میلی تسلا بیان می‌شود.				*	*	شدت میدان‌های مغناطیسی ثابت	۵
محاسبه تی	شاخص حجمی SVI - Sludge Volume Index (مقدار حجم اشغال‌شده توسط یک گرم لجن معلق پس (MLSS خشک) از ۳۰ دقیقه ته‌نشینی است که بر حسب میلی لیتر بر بیان (mL/g گرم) می‌شود				*	*	شاخص حجمی لجن (SVI)	۶
محاسبه باتی	اصطلاح MLSS به مواد جامد معلق در مایع مخلوط (Mixed Liquor) در فرایندهای تصفیه فاضلاب اشاره دارد. MLSS شامل مواد آلی و معدنی معلق در پساب تصفیه‌خانه‌ها است و معمولاً برای کنترل و پایش کارایی فرایندهای بیولوژیک در تصفیه فاضلاب				*	*	غلظت جامدات معلق در مایع مخلوط (MLSS)	۷

	اندازه‌گیری می‌شود و معمولاً بر حسب میلی گرم در لیتر (mg/L) بیان می‌شود.								
محیط کشت - شمارش تعداد کلونی	تعداد باکتری‌های رشته‌ای بیانگر مقدار و تراکم باکتری‌های رشته‌ای موجود در لجن تصفیه‌خانه فاضلاب است. این باکتری‌ها می‌توانند بر ته‌نشینی لجن تأثیر گذاشته و موجب بالکینگ رشته‌ای شوند. تعداد آن‌ها معمولاً بر حسب تعداد رشته در هر بزرگنمایی میکروسکوپی یا نسبت درصدی در زیست‌توده لجن گزارش می‌شود.			*	*			تعداد باکتری‌های رشته‌ای	۸

۹-۱- تصفیه فاضلاب

تصفیه فاضلاب یک فرآیند حیاتی برای مدیریت چالش‌های زیست‌محیطی ناشی از صنعتی شدن سریع و افزایش تولید زباله در قرن بیست و یکم است (۵۹). ارزیابی کیفیت فاضلاب برای تضمین ایمنی محیط زیست و حفظ محیط زیست بسیار مهم است (۶۰). حدود ۸۰ درصد از بیماری‌ها ناشی از آب هستند که بر ضرورت راه‌حل‌های مؤثر برای تصفیه تأکید می‌کند. فاضلاب را می‌توان به چندین نوع، از جمله رواناب طوفان، فاضلاب خانگی، کشاورزی و صنعتی، با تمرکز ویژه بر پساب‌های صنعتی آلی و معدنی طبقه‌بندی کرد (۵۹). تصفیه‌خانه‌های فاضلاب متعارف اغلب به دلیل ترکیب پیچیده، غلظت بالای آلاینده‌های آلی، شوری بالا و سمیت بیولوژیکی فاضلاب دارویی، در حذف مؤثر داروها با مشکل مواجه هستند (۶۱).

روش‌های مختلفی در تصفیه فاضلاب به کار گرفته می‌شود، از فناوری‌های سنتی گرفته تا پیشرفته. رویکردهای سنتی شامل تصفیه اولیه و ثانویه است. فناوری‌های پیشرفته شامل روش‌هایی مانند فوتوکاتالیز، فیلتراسیون غشایی و فرآیندهای الکتروشیمیایی می‌شوند (۵۹). سایر تکنیک‌های پیشرفته شامل بیوراکتورهای غشایی، سیستم‌های الکتروشیمیایی، بیوفیلترهای نیترات‌زدا و فناوری‌های ضد عفونی هستند (۶۲). سیستم‌های بیولوژیکی همچنان انتخاب اصلی برای حذف مواد مغذی از فاضلاب شهری هستند و بیوراکتورهای مختلفی بر اساس اهداف تصفیه، محیط بیوشیمیایی و رشد میکروبی طبقه‌بندی می‌شوند (۶۳). هر کدام از فرآیندهای فیزیوشیمیایی، شیمیایی و بیولوژیکی مزایا و معایب خاص خود را دارند (۶۱).

۱۰-۱- سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی فاضلاب

۱۰-۱-۱- اصول فرایند لجن فعال

فرایند لجن فعال بر اساس تجزیه بیولوژیکی مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها در محیط هوای عمل می‌کند. این فرایند در حوضچه‌های هوادهی انجام می‌شود و مواد آلی به دی‌اکسیدکربن و زیست‌توده تبدیل می‌شوند. باکتری‌ها نقش اصلی را در این فرایند ایفا می‌کنند (۶۴).

فرایند لجن فعال به دلیل انعطاف‌پذیری و کارایی بالا، به‌طور گسترده در تصفیه فاضلاب‌های شهری استفاده می‌شود. با این حال، مشکلاتی مانند بالکینگ می‌توانند عملکرد آن را مختل کنند. بهینه‌سازی پارامترهای عملیاتی مانند نرخ هوادهی می‌تواند این مشکلات را کاهش دهد (۶۵). پیشرفت‌های اخیر در فرایند لجن فعال شامل استفاده از فناوری‌های نظارتی پیشرفته برای کنترل شرایط عملیاتی است. این فناوری‌ها می‌توانند کارایی حذف آلاینده‌ها را بهبود بخشند. استفاده از روش‌های غیرشیمیایی مانند میدان‌های مغناطیسی نیز در حال بررسی است (۶۶، ۶۷).

۱۰-۱-۲- نقش میکروارگانیسم‌ها در تصفیه بیولوژیکی

میکروارگانیسم‌ها، به‌ویژه باکتری‌ها، نقش کلیدی در تجزیه مواد آلی و حذف مواد مغذی در سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی دارند. باکتری‌ها حدود ۹۵ درصد جمعیت میکروبی را تشکیل می‌دهند. تنوع میکروبی به کارایی فرایند کمک می‌کند (۶۸، ۶۹). باکتری‌های رشته‌ای مانند نوکاردیا^۱ می‌توانند باعث بالکینگ شوند، درحالی‌که باکتری‌های فلوک‌ساز به ته‌نشینی لجن کمک می‌کنند. تعادل بین این دو نوع باکتری برای عملکرد سیستم حیاتی است. تحقیقات اخیر بر استفاده از روش‌های کنترلی برای مدیریت این تعادل متمرکز شده‌اند (۷۰، ۷۱).

1. Nocardia

فناوری‌های جدید مانند توالی‌یابی ژنومی می‌توانند به درک بهتر دینامیک میکروبی کمک کنند. این ابزارها امکان شناسایی گونه‌های خاص و بهینه‌سازی فرایند را فراهم می‌کنند. استفاده از روش‌های غیرشیمیایی نیز می‌تواند تعادل میکروبی را حفظ کند (۷۲، ۷۳).

۳-۱۰-۱- اجزای کلیدی سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی

سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی شامل حوضچه‌های هوادهی و ته‌نشینی ثانویه هستند. حوضچه هوادهی محل واکنش‌های بیوشیمیایی است که مواد آلی را تجزیه می‌کند. حوضچه ته‌نشینی لجن را از پساب جدا می‌کند (۷۴، ۷۵). عملکرد این اجزا به شرایط عملیاتی مانند نرخ هوادهی و زمان ماند جامدات بستگی دارد. اختلالاتی مانند بالکینگ می‌توانند جداسازی لجن را مختل کنند. بهینه‌سازی این شرایط می‌تواند کارایی سیستم را بهبود بخشد (۷۶، ۷۷).

استفاده از فناوری‌های نوین مانند میدان‌های مغناطیسی می‌تواند جداسازی در حوضچه ته‌نشینی را بهبود بخشد. این روش‌ها با تغییر خواص فلوک‌ها، ته‌نشینی را تسهیل می‌کنند. تحقیقات آینده باید بر یکپارچه‌سازی این فناوری‌ها متمرکز شوند (۷۸).

۴-۱۰-۱- عوامل مؤثر بر کارایی تصفیه بیولوژیکی

عوامل محیطی مانند سطح اکسیژن محلول، pH، و نسبت غذا به میکروارگانیسم (F/M) بر کارایی تصفیه بیولوژیکی تأثیر می‌گذارند. کمبود اکسیژن می‌تواند باعث بالکینگ شود. این عوامل باید به دقت کنترل شوند (۷۹). نسبت کاتیون‌های تک‌ظرفیتی به دوظرفیتی می‌تواند ساختار فلوک‌ها را تغییر داده و ته‌نشینی را مختل کند. این نسبت باید بهینه شود تا از بالکینگ جلوگیری شود. ابزارهای نظارتی پیشرفته می‌توانند به مدیریت این عوامل کمک کنند (۸۰).

روش‌های غیرشیمیایی مانند میدان‌های مغناطیسی می‌توانند با بهبود فعالیت میکروبی، کارایی سیستم را افزایش دهند. این روش‌ها به کاهش وابستگی به مواد شیمیایی کمک می‌کنند (۸۱).

۱۱-۱- بالکینگ لجن: مکانیزم‌ها و علل

۱-۱۱-۱- تعریف و ویژگی‌های بالکینگ لجن

بالکینگ لجن به دلیل رشد بیش از حد باکتری‌های رشته‌ای رخ می‌دهد که باعث تشکیل فلوک‌های سبک و کاهش ته‌نشینی می‌شود. این پدیده کیفیت پساب را کاهش می‌دهد. باکتری‌هایی مانند اسفروتیلوس ناتانس^۱ از عوامل اصلی بالکینگ هستند (۲۱).

ویژگی‌های بالکینگ شامل افزایش شاخص حجمی لجن (SVI) و پراکندگی فلوک‌ها است. این مشکل می‌تواند به خروج لجن از حوضچه ته‌نشینی منجر شود. شناسایی ویژگی‌های بالکینگ برای انتخاب روش‌های کنترلی مناسب ضروری است (۸۲). روش‌های نوین مانند میدان‌های مغناطیسی می‌توانند با تغییر ساختار فلوک‌ها، ویژگی‌های بالکینگ را بهبود بخشند. این روش‌ها پتانسیل کاهش اثرات منفی را دارند (۸۳).

۲-۱۱-۱- نقش باکتری‌های رشته‌ای در بالکینگ

باکتری‌های رشته‌ای مانند نوکاردیا و میکروتریکس پارویسلا با تولید پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی، ساختار فلوک‌ها را تضعیف کرده و باعث بالکینگ می‌شوند. این باکتری‌ها در شرایط کمبود اکسیژن یا مواد مغذی رشد می‌کنند. شناسایی این باکتری‌ها برای کنترل بالکینگ ضروری است (۸۴).

تعادل بین باکتری‌های رشته‌ای و فلوک‌ساز برای عملکرد سیستم لجن فعال حیاتی است. افزایش جمعیت باکتری‌های رشته‌ای می‌تواند به کاهش ته‌نشینی منجر شود. روش‌های کنترلی مانند انتخاب‌گرهای بیولوژیکی می‌توانند این تعادل را بهبود بخشند. فناوری‌های توالی‌یابی ژنومی می‌توانند به شناسایی گونه‌های رشته‌ای و مدیریت آن‌ها کمک کنند. این ابزارها امکان طراحی استراتژی‌های کنترلی دقیق‌تر را فراهم می‌کنند. استفاده از روش‌های غیرشیمیایی نیز می‌تواند اثرات منفی این باکتری‌ها را کاهش دهد (۸۵).

۳-۱۱-۱- عوامل محیطی و عملیاتی مؤثر بر بالکینگ

عوامل محیطی مانند کمبود اکسیژن، pH پایین، و بار آلی بالا می‌توانند رشد باکتری‌های رشته‌ای را تشدید کنند. این عوامل تعادل میکروبی را مختل می‌کنند. کنترل این عوامل برای جلوگیری از بالکینگ ضروری است (۳۴). نسبت پایین غذا به میکروارگانیسم (F/M) و زمان ماند طولانی جامدات (SRT) می‌توانند به بالکینگ منجر شوند. این شرایط باکتری‌های رشته‌ای را رقابتی‌تر می‌کنند. بهینه‌سازی این پارامترها می‌تواند از بالکینگ جلوگیری کند (۸۶). همچنین

1. Sphaerotilus natans

نسبت کاتیون‌های تک‌ظرفیتی به دوظرفیتی نیز بر تشکیل فلوک‌ها تأثیر می‌گذارد. این نسبت می‌تواند هیدروفوبیسیته فلوک‌ها را کاهش دهد (۸۷).

۴-۱۱-۱- پیامدهای بالکینگ لجن

بالکینگ لجن می‌تواند کیفیت پساب را کاهش داده و استانداردهای زیست‌محیطی را نقض کند. خروج لجن از حوضچه ته‌نشینی به آلودگی منابع آب منجر می‌شود (۸۸). از نظر عملیاتی، بالکینگ هزینه‌های پمپاژ، تغلیظ، و آبگیری لجن را افزایش می‌دهد. این مشکل می‌تواند فرایندهای دفع لجن را پیچیده‌تر کند. تحقیقات نشان داده‌اند که بالکینگ می‌تواند راندمان سیستم را تا ۲۰ درصد کاهش دهد (۵۶، ۸۹).

۱۲-۱- روش‌های غیر خاص برای کنترل بالکینگ

روش‌های غیر خاص شامل استفاده از مواد شیمیایی مانند کلر، ازن، و منعقدکننده‌ها برای کنترل سریع بالکینگ هستند. این روش‌ها با تخریب باکتری‌های رشته‌ای یا بهبود ته‌نشینی عمل می‌کنند. کلر به دلیل دسترسی آسان، پرکاربرد است (۳۳).

این روش‌ها اگرچه سریع هستند، اما می‌توانند محصولات جانبی مضر مانند تری‌هالومتان‌ها تولید کنند. ازن و پراکسید هیدروژن نیز هزینه‌های بالایی دارند. مدیریت دقیق دوز مواد شیمیایی برای کاهش اثرات منفی ضروری است (۹۰، ۹۱).

فناوری‌های غیرشیمیایی مانند میدان‌های مغناطیسی به‌عنوان جایگزین‌های پایدار مورد توجه قرار گرفته‌اند. این روش‌ها اثرات زیست‌محیطی کمتری دارند و می‌توانند هزینه‌های بلندمدت را کاهش دهند. تحقیقات آینده باید بر ترکیب روش‌های غیر خاص و خاص متمرکز شوند (۹۲).

۱۳-۱- انعقاد-لخته‌سازی در کنترل بالکینگ

۱-۱۳-۱- اصول انعقاد و لخته‌سازی

انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از مواد شیمیایی مانند نمک‌های آهن و آلومینیوم، بار سطحی ذرات را خنثی کرده و فلوک‌های بزرگ‌تر و متراکم‌تر تشکیل می‌دهد. این فرایند ته‌نشینی لجن را بهبود می‌بخشد. پلیمرهای کاتیونی نیز در این روش پرکاربرد هستند (۹۳).

انعقاد با کاهش هیدروفوبیسیته سطح سلول‌ها، فلوک‌های سبک ناشی از بالکینگ را متراکم می‌کند. این روش در شرایط اضطراری مؤثر است. انتخاب نوع منعقدکننده و دوز آن برای جلوگیری از اثرات منفی ضروری است (۹۴).

۲-۱۳-۱- منعقدکننده‌های رایج (نمک‌های آهن، نمک‌های آلومینیوم، پلیمرها)

نمک‌های آهن و آلومینیوم به دلیل توانایی در خنثی‌سازی بار و تشکیل فلوک‌های متراکم، در کنترل بالکینگ پرکاربرد هستند. پلیمرهای کاتیونی نیز به دلیل کارایی بالا استفاده می‌شوند. این مواد ته‌نشینی لجن را بهبود می‌بخشند (۹۵).

نمک‌های آهن مانند کلرید آهن به دلیل هزینه پایین و دسترسی آسان ترجیح داده می‌شوند، اما ممکن است لجن اضافی تولید کنند. پلیمرهای سنتزی نیز می‌توانند کارایی را افزایش دهند. انتخاب منعقدکننده به نوع فاضلاب بستگی دارد (۹۶).

منعقدکننده‌های طبیعی مانند پلی‌ساکاریدهای زیستی در حال توسعه هستند تا اثرات زیست‌محیطی را کاهش دهند. این مواد می‌توانند جایگزین پایداری برای منعقدکننده‌های شیمیایی باشند (۹۷).

۳-۱۳-۱- مکانیزم‌های انعقاد و لخته‌سازی در مدیریت لجن

انعقاد و لخته‌سازی با خنثی‌سازی بار سطحی ذرات و تشکیل پل‌های پلیمری، فلوک‌های بزرگ‌تر و متراکم‌تر ایجاد می‌کند. این فرایند باکتری‌های رشته‌ای را به دام می‌اندازد. این مکانیزم ته‌نشینی لجن را بهبود می‌بخشد (۹۸). این روش با کاهش پراکندگی فلوک‌ها، شاخص حجم لجن را کاهش می‌دهد. این اثر به‌ویژه در شرایط بالکینگ شدید قابل توجه است. با این حال، دوز بیش‌ازحد منعقدکننده‌ها می‌تواند تعادل میکروبی را مختل کند (۹۹).

۴-۱۳-۱- مزایا و محدودیت‌های انعقاد و لخته‌سازی

انعقاد و لخته‌سازی به دلیل سرعت عمل بالا و هزینه نسبتاً پایین، در کنترل بالکینگ مؤثر است. این روش می‌تواند شاخص حجم لجن را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد. کاربرد آسان آن در تصفیه‌خانه‌ها نیز یک مزیت است (۱۰۰).

با این حال، این روش می‌تواند حجم لجن را افزایش داده و نیاز به مدیریت پسماندهای شیمیایی را ایجاد کند. باقی‌مانده مواد شیمیایی در پساب نیز یک نگرانی زیست‌محیطی است. این محدودیت‌ها کاربرد گسترده آن را محدود می‌کنند. توسعه منعقدکننده‌های طبیعی می‌تواند این

محدودیت‌ها را کاهش دهد. این مواد اثرات زیست‌محیطی کمتری دارند و پایداری سیستم را بهبود می‌بخشند (۱۰۰).

۱۴-۱- فرایندهای اکسیداسیون در کنترل بالکینگ

۱۴-۱-۱ اصول اکسیداسیون شیمیایی در تصفیه فاضلاب

اکسیداسیون شیمیایی با استفاده از موادی مانند کلر، ازن، و پراکسید هیدروژن، باکتری‌های رشته‌ای را تخریب کرده و بالکینگ را کنترل می‌کند. این روش با اکسید کردن ساختارهای سلولی عمل می‌کند. کلر به دلیل دسترسی آسان، پرکاربرد است (۱۰۱).

ازن به دلیل قدرت اکسیداسیون بالا، می‌تواند پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی را تخریب کرده و ته‌نشینی لجن را بهبود بخشد. این روش در شرایط بالکینگ شدید مؤثر است. با این حال، هزینه‌های عملیاتی بالا یک محدودیت است (۸۴). اکسیداسیون پیشرفته مانند فتوشیمیایی می‌تواند اثرات زیست‌محیطی را کاهش دهد. این روش‌ها کارایی بالایی دارند اما نیاز به زیرساخت‌های پیشرفته دارند (۱۰۲).

۱۴-۱-۲ اکسیدکننده‌های رایج در کنترل بالکینگ

کلر به دلیل هزینه پایین و دسترسی آسان، یکی از رایج‌ترین اکسیدکننده‌ها برای کنترل بالکینگ است. این ماده با تخریب باکتری‌های رشته‌ای، ته‌نشینی را بهبود می‌بخشد. با این حال، تولید تری‌هالومتان‌ها یک نگرانی زیست‌محیطی است (۱۰۳).

ازن به دلیل قدرت اکسیداسیون بالا، در کنترل بالکینگ مؤثر است اما هزینه‌های عملیاتی آن بالاست. این ماده می‌تواند ساختار فلوک‌ها را بهبود بخشد. پراکسید هیدروژن نیز گزینه‌ای مناسب است اما نیاز به دوز بالا دارد (۱۰۴).

تحقیقات اخیر بر توسعه اکسیدکننده‌های پایدار مانند پراکسیدهای زیستی متمرکز شده‌اند. این مواد اثرات زیست‌محیطی کمتری دارند. ترکیب این اکسیدکننده‌ها با روش‌های غیرشیمیایی می‌تواند کارایی را افزایش دهد (۱۰۵).

۱۴-۳- مکانیزم‌های اکسیداسیون در کنترل باکتری‌های رشته‌ای

اکسیداسیون با تخریب غشای سلولی باکتری‌های رشته‌ای، رشد آن‌ها را محدود می‌کند. این فرایند پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی را نیز تخریب می‌کند. کلر و ازن در این مکانیزم مؤثر هستند (۱۰۶).

ازن با اکسید کردن ترکیبات آلی، ساختار فلوک‌ها را متراکم‌تر می‌کند. این اثر به‌ویژه در شرایط بالکینگ شدید قابل توجه است. پراکسید هیدروژن نیز می‌تواند مشابه عمل کند اما نیاز به مدیریت دقیق دارد (۱۰۷).

اکسیداسیون پیشرفته می‌تواند با تولید رادیکال‌های آزاد، کارایی تخریب باکتری‌های رشته‌ای را افزایش دهد. این روش‌ها اثرات زیست‌محیطی کمتری دارند (۱۰۸).

۴-۱۴-۱- مزایا و محدودیت‌های فرایندهای اکسیداسیون

اکسیداسیون شیمیایی به دلیل سرعت عمل بالا، در کنترل اضطراری بالکینگ مؤثر است. کلر و ازن می‌توانند شاخص حجم لجن را به سرعت کاهش دهند. این روش در تصفیه‌خانه‌های با بار آلی بالا کاربرد دارد (۱۰۹).

با این حال، تولید محصولات جانبی مضر مانند تری‌هالومتان‌ها و هزینه‌های بالای ازن از محدودیت‌های این روش هستند. این مشکلات می‌توانند استانداردهای زیست‌محیطی را نقض کنند. مدیریت دقیق دوز اکسیدکننده‌ها ضروری است (۱۱۰). اکسیداسیون پیشرفته مانند روش فتوشیمیایی می‌تواند این محدودیت‌ها را کاهش دهد. این روش‌ها کارایی بالا و اثرات زیست‌محیطی کمتری دارند. ترکیب این روش‌ها با فناوری‌های غیرشیمیایی می‌تواند پایداری را بهبود بخشد (۱۱۱).

۱۵-۱- میدان‌های مغناطیسی ایستا در کنترل بالکینگ

۱-۱۵-۱- اصول کاربرد میدان‌های مغناطیسی ایستا در تصفیه فاضلاب

میدان‌های مغناطیسی ایستا با تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی فلوک‌ها، ته‌نشینی لجن را بهبود می‌بخشند. این روش غیرشیمیایی است و اثرات زیست‌محیطی کمتری دارد. این فناوری در سیستم‌های لجن فعال کاربرد دارد (۱۱۲).

این روش با افزایش فعالیت آنزیمی میکروارگانیسم‌ها، تجزیه مواد آلی را بهبود می‌بخشد. میدان‌های مغناطیسی همچنین ویسکوزیته لجن را کاهش می‌دهند. شدت و مدت‌زمان میدان‌های مغناطیسی عوامل کلیدی در کارایی آن هستند (۱۱۳).

میدان‌های مغناطیسی می‌توانند شاخص حجم لجن را به‌طور قابل توجهی کاهش دهند. این روش به دلیل پایداری زیست‌محیطی، آینده روشنی دارد (۱۱۴).

۲-۱۵-۱- مکانیزم‌های اثر در سیستم‌های بیولوژیکی

میدان‌های مغناطیسی با تغییر نفوذپذیری غشای سلولی، فعالیت آنزیمی میکروارگانیسم‌ها را افزایش می‌دهند. این اثر تجزیه مواد آلی را بهبود می‌بخشد. این روش همچنین ساختار فلوک‌ها را متراکم‌تر می‌کند (۱۱۴).

این روش با کاهش ویسکوزیته لجن، جداسازی فاز جامد-مایع را تسهیل می‌کند. این اثر به‌ویژه در شرایط بالکینگ مؤثر است. شدت میدان‌های مغناطیسی باید بهینه شود تا از اثرات منفی جلوگیری شود. میدان‌های مغناطیسی می‌توانند رشد باکتری‌های رشته‌ای را محدود کنند. این روش پتانسیل بالایی برای کاربرد در مقیاس صنعتی دارد. ترکیب این روش با سایر فناوری‌ها می‌تواند کارایی را افزایش دهد (۱۱۵).

۳-۱۵-۱- کاربردهای میدان‌های مغناطیسی ایستا در سیستم‌های لجن فعال

میدان‌های مغناطیسی ایستا در سیستم‌های لجن فعال برای بهبود ته‌نشینی و کاهش شاخص حجم لجن استفاده می‌شوند. این روش می‌تواند کیفیت پساب را بهبود بخشد. کاربرد آن در تصفیه‌خانه‌های شهری در حال بررسی است (۱۱۶).

این روش با افزایش فعالیت میکروبی، راندمان حذف مواد آلی را بهبود می‌بخشد. این اثر به‌ویژه در فاضلاب‌های با بار آلی بالا قابل توجه است. با این حال، مقیاس‌پذیری این فناوری هنوز یک چالش است (۱۱۷).

این روش می‌تواند هزینه‌های عملیاتی را در مقایسه با روش‌های شیمیایی کاهش دهد. این مزیت آن را به گزینه‌ای پایدار تبدیل می‌کند. ترکیب این روش با انعقاد می‌تواند کارایی را افزایش دهد (۶).

۴-۱۵-۱- مزایا و محدودیت‌های میدان‌های مغناطیسی ایستا

میدان‌های مغناطیسی ایستا به دلیل عدم نیاز به مواد شیمیایی، اثرات زیست‌محیطی کمتری دارند. این روش می‌تواند هزینه‌های بلندمدت را کاهش دهد. بهبود ته‌نشینی لجن نیز یک مزیت کلیدی است (۱۱۸).

با این حال، نیاز به تجهیزات پیشرفته و مصرف انرژی بالا از محدودیت‌های این روش هستند. مقیاس‌پذیری آن در تصفیه‌خانه‌های بزرگ هنوز چالش‌ساز است. بهینه‌سازی شدت میدان‌های مغناطیسی می‌تواند این مشکلات را کاهش دهد (۱۱۹).

۱۶-۱- نوآوری مطالعه

این مطالعه با تمرکز بر مقایسه و تحلیل جامع روش‌های مختلف کنترل بالکینگ لجن، از جمله انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون شیمیایی و میدان‌های مغناطیسی ایستا، رویکردی نوآورانه ارائه

می‌دهد. برخلاف بسیاری از تحقیقات پیشین که معمولاً بر یک روش خاص متمرکز بوده‌اند، این پژوهش به‌طور یکپارچه این سه روش را در کنار یک‌دیگر بررسی می‌کند تا کارایی، هزینه، و اثرات زیست‌محیطی آن‌ها را در شرایط مختلف فاضلاب مقایسه کند. این رویکرد یکپارچه امکان شناسایی بهترین ترکیب روش‌ها برای سناریوهای عملیاتی متنوع را فراهم می‌کند و به بهینه‌سازی فرایندهای تصفیه فاضلاب در مقیاس صنعتی کمک می‌کند.

یکی از جنبه‌های نوآورانه این مطالعه، تأکید بر استفاده از فناوری‌های غیرشیمیایی مانند میدان‌های مغناطیسی ایستا به‌عنوان جایگزینی پایدار برای روش‌های شیمیایی سنتی است. در حالی که روش‌های شیمیایی مانند انعقاد و اکسیداسیون به دلیل سرعت عمل بالا پرکاربرد هستند، اما تولید محصولات جانبی مضر و لجن اضافی چالش‌های زیست‌محیطی ایجاد می‌کند. این پژوهش با بررسی پتانسیل میدان‌های مغناطیسی در بهبود ته‌نشینی لجن و کاهش وابستگی به مواد شیمیایی، راهکاری نوین برای مدیریت پایدار لجن ارائه می‌دهد. این رویکرد نه تنها اثرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد، بلکه می‌تواند هزینه‌های بلندمدت عملیاتی را نیز بهینه کند.

مهم‌ترین نوآوری این مطالعه بررسی وضعیت میکروارگانیسم‌های مفید است. در این مطالعه با بررسی روش‌های مختلف و اثر آن‌ها بر میکروارگانیسم‌های رشته‌ای و همچنین میکروارگانیسم‌های مفید، علاوه بر کارایی کاهش بالکینگ، اثرات منفی بر میکروارگانیسم‌های مفید هم بررسی شد.

نوآوری دیگر این مطالعه در پیشنهاد استفاده از روش‌های ترکیبی برای کنترل بالکینگ است. با ترکیب روش‌های شیمیایی (مانند انعقاد) و غیرشیمیایی (مانند میدان‌های مغناطیسی)، این پژوهش به دنبال دستیابی به تعادل بین کارایی بالا و پایداری زیست‌محیطی است. این رویکرد ترکیبی، که کمتر در مطالعات قبلی بررسی شده، می‌تواند راه‌حلی انعطاف‌پذیر برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با ویژگی‌های متنوع ارائه دهد. علاوه بر این، این مطالعه با شناسایی خلأهای دانش موجود، مانند اثرات بلندمدت این روش‌ها بر تنوع میکروبی و مقیاس‌پذیری آن‌ها، زمینه را برای تحقیقات آینده هموار می‌کند و به توسعه فناوری‌های نوین در مدیریت فاضلاب کمک می‌کند.

۱۷-۱- مرور منابع

۱- در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۳ توسط مهرور و همکاران تحت عنوان "ارزیابی سیستم‌های ترکیبی بیولوژیکی-اکسیداسیون پیشرفته برای کنترل بالکینگ در فاضلاب صنعتی، انجام شد، طراحی پایلوت شامل دو راکتور موازی؛ یکی با فرایند لجن فعال و دیگری با ترکیب لجن فعال و

اکسیداسیون با ازن. پارامترهای COD، SVI، و تنوع میکروبی با استفاده از PCR^۱ و میکروسکوپ بررسی شدند. زمان ماند، دوز ازن، و نرخ هوادهی به صورت متغیر تنظیم شد. نتایج مطالعه نشان داد راکتور ترکیبی توانست COD را تا ۹۵٪ حذف کند و SVI را از ۲۱۰ به ۹۰ mL/g کاهش دهد. تنوع میکروبی در سیستم ترکیبی بیشتر بود و رشد باکتری‌های رشته‌ای کنترل شد (۱۲۰).

۲- در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۲ توسط خدیر و همکاران تحت عنوان "بررسی ساختار فلوک‌های میکروبی تحت تأثیر میدان‌های مغناطیسی" انجام شد، از میکروسکوپ نوری و الکترونی برای بررسی قطر و تراکم فلوک‌ها، مقایسه دو راکتور با و بدون میدان‌های مغناطیسی، تحلیل آماری با استفاده از آزمون واریانس استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که فلوک‌ها در راکتور مغناطیسی متراکم‌تر، یکنواخت‌تر و با ته‌نشینی سریع‌تر بودند. قطر متوسط فلوک‌ها ۲۵٪ افزایش یافت (۳۶).

۳- در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۲ توسط سیلانپا^۲ و همکاران تحت عنوان "ارزیابی مقایسه‌ای میدان‌های مغناطیسی و اکسیداسیون در کنترل بالکینگ لجن" انجام شد، آزمایش پایلوت با سه راکتور: میدان‌های مغناطیسی، اکسیداسیون با ازن، و کنترل. بررسی پارامترهای SVI، تعداد باکتری‌های رشته‌ای، و ته‌نشینی با استفاده از میکروسکوپ و آزمون‌های آماری ANOVA استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد میدان‌های مغناطیسی باعث کاهش SVI تا ۱۰۰ mL/g شد، در حالی که اکسیداسیون تا ۱۳۰ mL/g کاهش داد. رشد رشته‌ای‌ها در راکتور مغناطیسی کمتر بود (۱۲۱).

۴- در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۰ توسط لوه^۳ و همکاران تحت عنوان "انعقاد با کمک میدان‌های مغناطیسی در تصفیه فاضلاب" انجام شد، آزمایش جار تست با آلوم در حضور و غیاب میدان‌های مغناطیسی، بررسی اندازه فلوک، نرخ ته‌نشینی، و کدورت. طراحی آزمایش فاکتوریل برای بررسی اثرات متقابل انجام گرفت. نتایج مطالعه نشان داد میدان‌های مغناطیسی باعث افزایش اندازه فلوک‌ها تا ۳۰٪ و کاهش زمان ته‌نشینی شد. کدورت نهایی در سیستم مغناطیسی ۲۰٪ کمتر بود (۱۲۲).

۵- در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۰ توسط روهانا^۴ و همکاران تحت عنوان "بهینه‌سازی پارامترهای انعقاد برای کنترل بالکینگ در سیستم‌های لجن فعال" انجام شد، از آلوم و پلی‌آلومینیوم کلراید در آزمایش جار تست، بررسی pH، دوز، و زمان اختلاط. مدل‌سازی با استفاده از

¹ polymerase chain reaction

² Sillanpää

³ Loh

⁴ Rohana

شبکه عصبی مصنوعی و طراحی پاسخ سطح استفاده شد. بهترین عملکرد در pH ۶,۵ و دوز ۴۰ mg/L مشاهده شد SVI. تا ۸۵ mL/g کاهش یافت. پلی آلومینیوم کلراید عملکرد بهتری نسبت به آلوم داشت (۱۲۳).

۶- زیدی^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۹ در مورد تأثیر میدان‌های مغناطیسی ثابت بر مهار تورم لجن رشته‌ای در فرایند لجن فعال کار کردند. آن‌ها دو راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) را تحت شرایط اکسیژن محلول کم راه‌اندازی کردند تا رشد میکروارگانیسم‌های رشته‌ای را تحریک کنند. راکتور A (SBRA) تحت تأثیر میدان‌های مغناطیسی با شدت ۸۸/۰ میلی تسلا قرار گرفت، در حالی که راکتور B (SBRB) به عنوان سیستم کنترل عمل کرد. نتایج نشان داد که لخته‌های لجن در SBRA به‌طور مطلوب رشد کرده و شاخص حجم لجن (SVI) به کمتر از ۱۰ میلی لیتر بر گرم کاهش یافت. همچنین، لجن فعال تحت تأثیر میدان‌های مغناطیسی احتمال کمتری برای حضور میکروارگانیسم‌های رشته‌ای نشان داد. این شواهد تأیید کردند که استفاده از میدان‌های مغناطیسی روشی کارآمد برای مهار تورم لجن رشته‌ای در سیستم‌های لجن فعال است (۱۲۴).

۷- ژانگ^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی میکروبی لجن‌های حجیم شده در سیستم‌های زیست محیطی گودال با بارگذاری لجن بسیار کم و زمان نگهداری طولانی پرداختند. آن‌ها از تکنیک توالی‌یابی با توان بالا برای تحلیل لجن‌های حجیم‌شده جمع‌آوری‌شده از تصفیه خانه شهر چانگجی چین استفاده کردند. نسبت BOD به COD ورودی ۰/۴۶ است و شاخص حجمی لجن (SVI) در محدوده ۱۶۲ تا ۲۵۰ میلی لیتر بر گرم بود. ژانر باکتریایی (Saprospiraceae_norank) با فراوانی نسبی ۱۳/۳۹ تا ۲۸/۸۳ درصد به‌عنوان غالب، شناسایی شد که برای اولین بار به‌عنوان عامل اصلی حجیم شدن لجن معرفی شد. در بخش قارچ‌ها، Trichosporon با فراوانی ۱۶/۹۵ تا ۲۴/۹۸ درصد غالب بود. مطالعه نشان داد که عواملی مانند سایر آلاینده‌های ورودی، بارگذاری لجن فوق‌العاده کم (کمتر از ۰/۰۲ وزن COD بر وزن MLSS در روز) و زمان ماند بالا (۴۰ روز) نقش اساسی در حجیم شدن لجن دارند. نتایج می‌تواند برای کنترل این پدیده و بهبود بهره‌وری‌های تصفیه خانه‌ها باشد (۱۲۵).

۸- نیلسون^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۸ در مورد تأثیر ازن بر قابلیت زیستی باکتری‌های رشته‌ای در لجن فعال کار کردند. آن‌ها در یک آزمایش در مقیاس کامل از دوزهای ۳، ۴ و ۴/۸ گرم ازن بر کیلوگرم مواد جامد معلق (TSS) در لجن برگشتی تصفیه‌خانه استفاده کردند و مشاهده کردند که

1. Zidi

2. Zhang

3. Nilsson

حجم لجن رقیق شده بین ۷ تا ۳۵ درصد کاهش یافت. آزمایش‌های میکروسکوپی نشان دادند که ازن باعث غیرفعال شدن باکتری‌های رشته‌ای خارج از ساختار فلوک شد و نوع *Microthrix parvicella* نسبت به ازن حساس‌تر از نوع ۰۰۴۱ بود. علاوه بر این، بررسی‌ها نشان دادند که ازن تأثیری بر تولید متان در فرایند هضم بی‌هوازی نداشت و حذف آلاینده‌های میکروبی نیز به دلیل دوز ناکافی ازن مشاهده نشد. این نتایج نشان داد که برای کنترل تورم لجن ناشی از نوع ۰۰۴۱، دوزهای بالاتری از ازن مورد نیاز است (۱۲۶).

۱۰- در مطالعه‌ای که توسط فن و همکاران در سال ۲۰۱۸ تحت عنوان "مقایسه روش‌های شیمیایی و فیزیکی برای کنترل بالکینگ لجن" انجام شد، آزمایش با کلر، پراکسید هیدروژن و میدان‌های مغناطیسی در راکتورهای موازی، بررسی SVI، ساختار فلوک، و کیفیت پساب بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد کلر باعث کاهش سریع SVI اما افزایش سمیت شد. میدان‌های مغناطیسی کاهش تدریجی و پایدار SVI را فراهم کرد. پراکسید عملکرد متوسط داشت (۱۲۷).

۱۱- در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۸ توسط تندویی و همکاران تحت عنوان "استراتژی‌های یکپارچه برای کنترل بالکینگ در سیستم‌های لجن فعال متعارف" انجام شد، ترکیب انتخابگرهای آنوکسیک، میدان‌های مغناطیسی، و دوزدهی پلی‌آلومینیوم کلراید در راکتورهای پایلوت، بررسی تنوع میکروبی، SVI، و ته‌نشینی بررسی شد. نتایج مطالعه نشان داد، ترکیب سه‌گانه باعث کاهش SVI تا ۷۵ mL/g و حذف کامل *Kouleothrix* شد. همچنین ته‌نشینی پایدار و یکنواخت حاصل شد (۱۲۸).

۱۲- در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۵ توسط سیویور^۱ و همکاران تحت عنوان "اکولوژی میکروبی باکتری‌های رشته‌ای در بالکینگ و کف فاضلاب" انجام شد، نمونه‌برداری از تصفیه‌خانه‌های مختلف، بررسی باکتری‌های رشته‌ای با روش FISH و PCR، تحلیل آماری با PCA انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد، *Kouleothrix* و *Microthrix parvicella* عامل اصلی بالکینگ و کف بودند که میدان‌های مغناطیسی و انتخابگرهای آنوکسیک باعث کاهش آن‌ها شدند (۱۲۹).

فصل دوم:

مواد و روش‌ها

۲-۱- مقدمه

در این فصل به بررسی مواد و تجهیزات مورد استفاده، روش‌های انجام مطالعه و نحوه انجام آزمایشات پرداخته شده است.

۲-۲- نوع مطالعه

این تحقیق یک مطالعه توسعه‌ای بود که به صورت تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد.

۲-۳- جامعه مورد مطالعه

مایع مخلوط ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سنندج (باتوجه به بررسی‌های به عمل آمده دارای بالکینگ می‌باشد).

۲-۴- زمان و مکان انجام مطالعه

این مطالعه در مهرماه سال ۱۴۰۳ تا تیرماه ماه سال ۱۴۰۴ در آزمایشگاه‌های دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کردستان انجام شد.

۲-۵- حجم نمونه و روش نمونه‌گیری

۲-۵-۱- حجم نمونه

حجم نمونه با توجه به تنوع روش‌های مورد بررسی و تعداد آزمایش‌ها محاسبه شد. در این مطالعه سه نوع منعقدکننده (کلرید فریک، سولفات آلومینیوم، پلی‌آلومینیوم کلراید) هر کدام در چهار دوز مختلف (۱۲ آزمایش)، سه نوع اکسیدکننده کلر، پراکسید هیدروژن هر کدام در چهار دوز و ازن در یک دوز (۹ آزمایش)، میدان‌های مغناطیسی در سه شدت (۳ آزمایش) و در نهایت ترکیب دوز بهینه هر روش با میدان‌های مغناطیسی (۶ آزمایش) بررسی شد که در مجموع ۳۰ آزمایش در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن ۲ بار تکرار برای هر آزمایش به منظور افزایش دقت و قابلیت تحلیل آماری، تعداد کل آزمایش‌ها ۶۰ بار بود که با در نظر گرفتن یک لیتر نمونه برای هر آزمایش، حجم کل نمونه در این مطالعه ۶۰ لیتر فاضلاب بود.

۲-۵-۲- روش نمونه‌گیری

برای این مطالعه نمونه‌های فاضلاب از مایع مخلوط ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سنندج به‌عنوان نمونه‌های اولیه برای آزمایش‌ها جمع‌آوری شدند. نمونه‌گیری در زمان‌های مختلف انجام شد تا شرایط مختلف عملیاتی و ویژگی‌های فاضلاب در نمونه‌ها نمایان شود. سپس نمونه‌ها برای آزمایش‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفتند.

- معیار ورود

فاضلاب مورد استفاده از نوع فاضلاب شهری دارای فرایند تصفیه بیولوژیکی بود و نمونه‌ها از تصفیه‌خانه‌هایی انتخاب شدند که وجود بالکینگ رشته‌ای در آن‌ها تشخیص داده شد (SVI بالای ۱۵۰ میلی‌لیتر در گرم)

- معیار خروج

اگر SVI فاضلاب موردنظر از ۱۵۰ میلی‌لیتر بر گرم کمتر بود نمونه از تحقیق حذف می‌شد.

۶-۲- مواد و تجهیزات مورد استفاده

در جدول ۱-۲- لیست مواد و ابزار مورد استفاده در این مطالعه آمده است.

جدول ۱-۲- لیست مواد و تجهیزات مورد استفاده در مطالعه

ردیف	ماده آزمایشگاهی	فرمول شیمیایی	شرکت سازنده	کشور سازنده
۱	سولفات آلومینیوم	$Al_2 (SO_4)_3$	شرکت پاک آزما زیست	ایران
۲	پلی آلومینیوم کلراید	$Al_2Cl (OH)_5$	شرکت اطلس شفا یاب غرب	ایران
۳	کلرید فریک	$FeCl_3$	شرکت پاک آزما زیست	ایران
۴	کلر	Cl_2	شرکت بهارستان	ایران
۵	پراکسید هیدروژن	$H_2 O_2$	شرکت اطلس شفا یاب غرب	ایران
۶	شیشه پلکسی با حجم ۲ لیتر	-	شرکت صمدی	ایران
۷	کاغذ صافی - دوازده و نیم سانت مش ۴۲	-	شرکت اطلس شفا یاب غرب	ایران
۸	لام	-	شرکت صمدی	ایران
۹	کیت رنگ آمیزی گرم	-	شرکت بهار	ایران
۱۰	بلاد محیط کشت	-	شرکت	ایران

	آگار		ایبریسکو	
۱۱	محیط کشت اکتینومایسس آگار	-	شرکت ایبریسکو	ایران
۱۲	آنتی بیوتیک سیکلوهاگزامید	-	شرکت ایبریسکو	ایران
۱۳	پلیت ۱۰ سانتی متری	-	سینا کلون	ایران
۱۴	دستکش لاتکس	-	شرکت صمدی	ایران
۱۵	پنبه	-	شرکت صمدی	ایران
۱۶	الکل	-	شرکت صمدی	ایران

۲-۷- روش جمع آوری اطلاعات

۱-۲-۷- جمع آوری نمونه فاضلاب:

نمونه‌های مورد بررسی از مایع مخلوط ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سنندج که دارای مشکل بالکینگ است گرفته شد. نمونه‌گیری از چندین نقطه مختلف از حوضچه ته‌نشینی به صورت تصادفی انجام شد تا داده‌های به دست آمده نمایانگر کل سیستم باشد. برای هر آزمایش، ۱ لیتر از نمونه فاضلاب جمع‌آوری شد و نمونه‌ها بلافاصله پس از جمع‌آوری به آزمایشگاه منتقل شده و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد تا از تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی جلوگیری شود.

۲-۲-۷- اندازه‌گیری پارامترهای اولیه:

پارامترهای SVI، MLSS و تعداد باکتری‌های رشته‌ای قبل از مداخله اندازه‌گیری شد.

۱-۲-۲-۷- اندازه‌گیری MLSS:

نمونه‌برداری: نمونه‌ای از مخلوط مایع را از خروجی حوض هوادهی جمع‌آوری کردیم. حجم نمونه ۵۰-۱۰۰ میلی‌لیتر بود. فیلتراسیون: نمونه از کاغذ واتمن ۱،۵ میکرون عبور داده شد. فیلتر پیش از استفاده در دمای ۱۰۳-۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک کرده و وزن شد.

خشک کردن: فیلتر حاوی جامدات در کوره در دمای ۱۰۳-۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت خشک شد تا رطوبت کاملاً حذف شود. وزن کردن: فیلتر خشک‌شده وزن شد. تفاوت وزن فیلتر پس از خشک کردن با وزن اولیه فیلتر، جرم جامدات معلق را نشان می‌دهد (۱۳۰).

محاسبه غلظت: $MLSS (mg/L) = \text{جرم جامدات بر حسب } (mg) / (\text{حجم نمونه بر حسب } L)$.

۲-۷-۲-۲-۲- اندازه گیری SVI:

نمونه برداری: نمونه ای از مخلوط مایع از خروجی حوض هوادهی جمع آوری شد.

ته نشینی: ۱ لیتر از نمونه در یک سیلندر مدرج ۱۰۰۰ میلی لیتری ریخته و به مدت ۳۰ دقیقه اجازه داده شد تا ته نشین شود.

حجم لجن ته نشین شده (SV30) بر حسب mL/L اندازه گیری شد (۱۳۰-۱۳۲).

$$SVI \text{ (mL/g)} = (SV30 \text{ in mL/L}) \times 1000 / MLSS \text{ (mg/L)}$$

$$SVI = (\text{percentage of settleable matter} \times 10000) / MLSS \text{ (mg/L)}$$

۲-۷-۳-۱- اعمال روش های مداخله ای:

۲-۷-۳-۱-۱- آزمایش انعقاد و لخته سازی:

به منظور بررسی عملکرد فرآیند انعقاد و لخته سازی، از سه نوع منعقدکننده شامل آلوم، پلی آلومینیوم کلراید و کلرید فریک در دوزهای ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر استفاده شد. آزمایش ها با استفاده از دستگاه جار تست در شرایط آزمایشگاهی انجام گرفت. فرآیند اختلاط شامل سه مرحله اختلاط سریع با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ ثانیه جهت پخش یکنواخت منعقدکننده در محلول، مرحله اختلاط آرام با سرعت ۴۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه به منظور تشکیل و رشد لخته ها، و در نهایت مرحله ته نشینی به مدت ۳۰ دقیقه برای جداسازی لخته ها از فاز مایع انجام شد. تمامی آزمایش ها در دمای محیط و در pH اولیه ی نمونه ها انجام شدند و در نهایت تاثیر منعقد کننده ها بر بالکینگ مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۷-۳-۲-۲- آزمایش اکسیداسیون:

برای بررسی کارایی فرآیندهای اکسیداسیون، از سه نوع اکسیدکننده شامل ازن، پراکسید هیدروژن و کلر استفاده شد. فرآیند ازن زنی به مدت ۳۰ دقیقه در راکتور ازن زنی با دوز تولیدی ۳ گرم بر ساعت انجام گرفت. در فرآیند اکسیداسیون مربوط به پراکسید هیدروژن، نمونه ها در چهار دوز ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر به مدت ۳۰ دقیقه در تماس با اکسیدکننده قرار گرفتند. به طور مشابه، فرآیند کلرزنی نیز با استفاده از چهار دوز متفاوت ۳، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم بر لیتر کلر و در مدت زمان ۳۰ دقیقه انجام شد. کلیه آزمایش های اکسیداسیون در دمای محیط و تحت شرایط کنترل شده ی آزمایشگاهی صورت گرفتند.

۲-۷-۳-۳-۱- آزمایش میدان های مغناطیسی:

به منظور بررسی اثر میدان‌های مغناطیسی بر کنترل پدیده بالکینگ، شدت‌های مختلف میدان‌های مغناطیسی در مقادیر ۱، ۲ و ۳ میلی‌تسلا به مدت ۳۰ دقیقه مورد استفاده قرار گرفتند. برای این منظور، نمونه‌های فاضلاب در راکتور میدان‌های مغناطیسی طراحی شده قرار داده شدند. راکتور شامل دو استوانه مدرج یک‌لیتری بود که در اطراف هر استوانه، سیم لاک‌ی به صورت منظم به دور یک ورق آهن گالوانیزه به عنوان پایه نگهدارنده سیم‌ها پیچیده شد. پس از قرار دادن استوانه مدرج در داخل سیم‌پیچ، خروجی سیم‌ها به منبع تغذیه مستقیم متصل گردید. با اعمال جریان برق از طریق منبع تغذیه، میدان‌های مغناطیسی یکنواخت در اطراف نمونه‌ها ایجاد شد. آزمایش‌ها برای هر شدت میدان به صورت جداگانه و در شرایط دمای محیط انجام شدند.

۴-۳-۷-۲- آزمایش‌های ترکیبی بهینه:

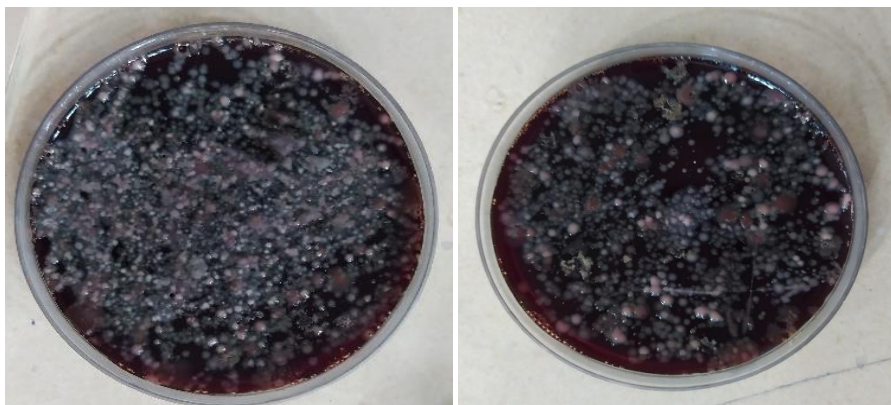
سپس دوز بهینه هریک از روش‌ها همراه با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی جهت افزایش راندمان مورد بررسی قرار گرفت.

۴-۳-۷-۲- ارزیابی تغییرات پس از مداخله:

معیارهای ارزیابی اثربخشی روش‌های مختلف برای کنترل بالکینگ شامل شاخص حجمی لجن (SVI) جهت بررسی میزان ته‌نشینی لجن، غلظت مواد جامد معلق (MLSS) برای بررسی غلظت زیست‌توده در فرایند بیولوژیک و تشخیص باکتری‌های رشته‌ای به عنوان شاخص میکروبی برای ارزیابی شدت بالکینگ بعد از مداخله اندازه گیری شد.

- تشخیص باکتری‌های رشته‌ای: از هر نمونه ۶ رقت تهیه شد و از هر رقت، مقدار ۱۰ لاند نمونه را بر روی محیط کشت‌های بلاد آگار (شکل ۲-۱) و اکتینومایسس آگار کشت داده شد و میزان رشد باکتری‌ها را در هر رقت، قبل و بعد از مداخله مقایسه شد، همچنین از روش رنگ‌آمیزی گرم نیز برای بررسی مقایسه نمونه‌ها قبل و بعد از مداخله استفاده شد.

- شمارش تعداد کلونی‌ها: از روش کلونی کانتر جهت شمارش تعداد کلونی استفاده شد.



۵-۷-۲- ثبت داده‌ها:

تمام داده‌های مربوط به پارامترهای اولیه، دوزهای اعمال‌شده، تغییرات SVI، MLSS و باکتری‌های رشته‌ای به‌دقت ثبت شد. داده‌ها در قالب جداول و نمودارها سازمان‌دهی شده تا تحلیل نتایج آسان‌تر شود.

۲-۸- تحلیل آماری:

در این مطالعه در ابتدا از آمارهای توصیفی مانند میانگین و انحراف معیار جهت توصیف داده‌ها در مقدار پایه استفاده شد.

به‌منظور مقایسه هر یک از پارامترهای شاخص حجمی لجن (SVI)، غلظت جامدات معلق در مایع مخلوط (MLSS) و تعداد باکتری‌های رشته‌ای قبل و بعد اضافه کردن منعقدکننده‌ها، اکسیدکننده‌ها و میدان‌های مغناطیسی از آزمون آماری T زوجی استفاده شد، در صورت نرمال نبودن داده‌ها از معادل ناپارامتریک آن استفاده شد.

همچنین به منظور تعیین اثر نهایی منعقدکننده‌ها، اکسیدکننده‌ها و میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات پارامترهای شاخص حجمی لجن (SVI)، غلظت جامدات معلق در مایع مخلوط (MLSS) و تعداد باکتری‌های رشته‌ای از آزمون آنوا (ANOVA) یا روش‌های رگرسیونی استفاده شد که در آن مقدار هر یک از پارامترهای شاخص حجمی لجن (SVI)، غلظت جامدات معلق در مایع مخلوط (MLSS) و تعداد باکتری‌های رشته‌ای در مقدار پایه در نظر گرفته شد.

فصل سوم:

یافته‌ها

۱-۳- مقدمه

داده‌های مطالعه انجام شده شامل اهداف ذکر شده در فصل اول پس از جمع آوری توسط نرم افزار SPSS و EXLE تحلیل شد که نتایج این داده‌ها شامل مقدار شاخص حجمی لجن، مقدار جامدات معلق، و تعداد باکتری های رشته‌ای قبل و بعد از مداخله با هر کدام از روش‌های استفاده از منعقدکننده‌ها، اکسیدکننده‌ها و میدان‌های مغناطیسی در این فصل آمده است.

۳-۲- تأثیر انواع منعقدکننده‌ها بر تغییرات SVI

در جدول ۳-۱ تأثیر انواع منعقدکننده‌های آلوم، پلی‌آلومینیوم کلراید و کلرید فریک در هر یک از دوزهای صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر بر شاخص حجمی لجن و جامدات معلق در مایع مخلوط لجن آمده است.

جدول ۳-۱- میزان SVI و MLSS در حضور دوزهای مختلف از منعقدکننده‌های متفاوت

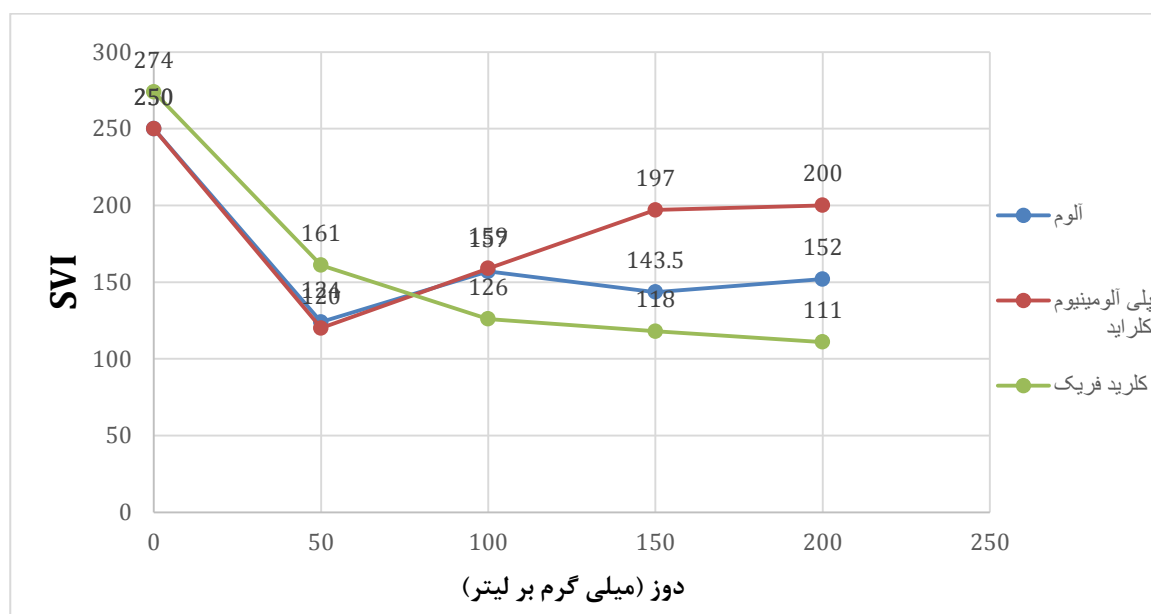
نوع منعقدکننده	دوز (میلی گرم بر لیتر)	SVI (ml/g)	MLSS (g/l)
آلوم	بدون مداخله	۲۵۰	۳/۴۷
آلوم	۵۰	۱۲۴	۴/۰۲
آلوم	۱۰۰	۱۵۷	۴
آلوم	۱۵۰	۱۴۳/۵	۳/۹
آلوم	۲۰۰	۱۵۲	۳/۶
پلی آلومینیوم کلراید	بدون مداخله	۲۵۰	۳/۴۷
پلی آلومینیوم کلراید	۵۰	۱۲۰	۴
پلی آلومینیوم کلراید	۱۰۰	۱۵۹	۳/۹
پلی آلومینیوم کلراید	۱۵۰	۱۹۷	۳/۷
پلی آلومینیوم کلراید	۲۰۰	۲۰۰	۳/۶
کلرید فریک	بدون مداخله	۲۷۴	۳/۱
کلرید فریک	۵۰	۱۶۱	۴/۲
کلرید فریک	۱۰۰	۱۲۶	۴/۲

کلرید فریک	۱۵۰	۱۱۸	۴/۳
کلرید فریک	۲۰۰	۱۱۱	۴/۵

براساس جدول ۳-۱ از بین منعقدکننده‌های مختلف، بهینه‌ترین شاخص حجمی لجن مربوط به منعقدکننده کلریدفریک با دوز ۲۰۰ mg/l با SVI برابر با ۱۱۱ ml/g بود اما چون دوز ۲۰۰ mg/l، غلظت بالایی است، بنابراین دوز ۱۰۰ mg/l به عنوان بهینه‌ترین دوز جهت دستیابی به شاخص حجمی لجن بهینه (۱۲۶ ml/g) مربوط به منعقدکننده کلریدفریک در نظر گرفته شد. همچنین از بین دوزهای مختلف آلوم بهینه‌ترین دوز برای SVI ۵۰ mg/l و برای پلی آلومینیوم کلراید نیز ۵۰ mg/l بود که با رنگ سبز مشخص شده‌اند.

با در نظر گرفتن همزمان SVI و حفظ MLSS بهینه‌ترین منعقدکننده‌ها به ترتیب پلی آلومینیوم کلراید با دوز ۵۰ mg/l، آلوم با دوز ۵۰ mg/l و کلرید فریک با دوز ۱۰۰ mg/l بود.

در شکل ۳-۱ مقایسه اثر انواع منعقدکننده در دوزهای مختلف بر شاخص حجمی لجن آمده است.



شکل ۳-۱- مقایسه اثر دوز منعقدکننده بر شاخص حجمی لجن در دوزهای مختلف

براساس شکل ۳-۱، نمودار دوز کلریدفریک نسبت به دوز نزولی بود به‌طوری که غلظت‌های بالاتر کلریدفریک منجر به ایجاد SVI پایین‌تری شدند و بهینه‌ترین منعقدکننده برای SVI با در نظر گرفتن

دوزهای پایین منعقدکننده، منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید با دوز ۵۰ mg/l و پس از آن، آلوم با دوز ۵۰ mg/l و سپس کلریدفریک با دوز ۱۰۰ mg/l بود.

۳-۳- تأثیر انواع اکسیدکننده‌ها بر تغییرات SVI

در جدول ۲-۳ تأثیر انواع اکسیدکننده‌های ازن، کلر و پراکسید هیدروژن در دوزهای مختلف بر شاخص حجمی لجن و جامدات معلق در مایع مخلوط لجن آمده است.

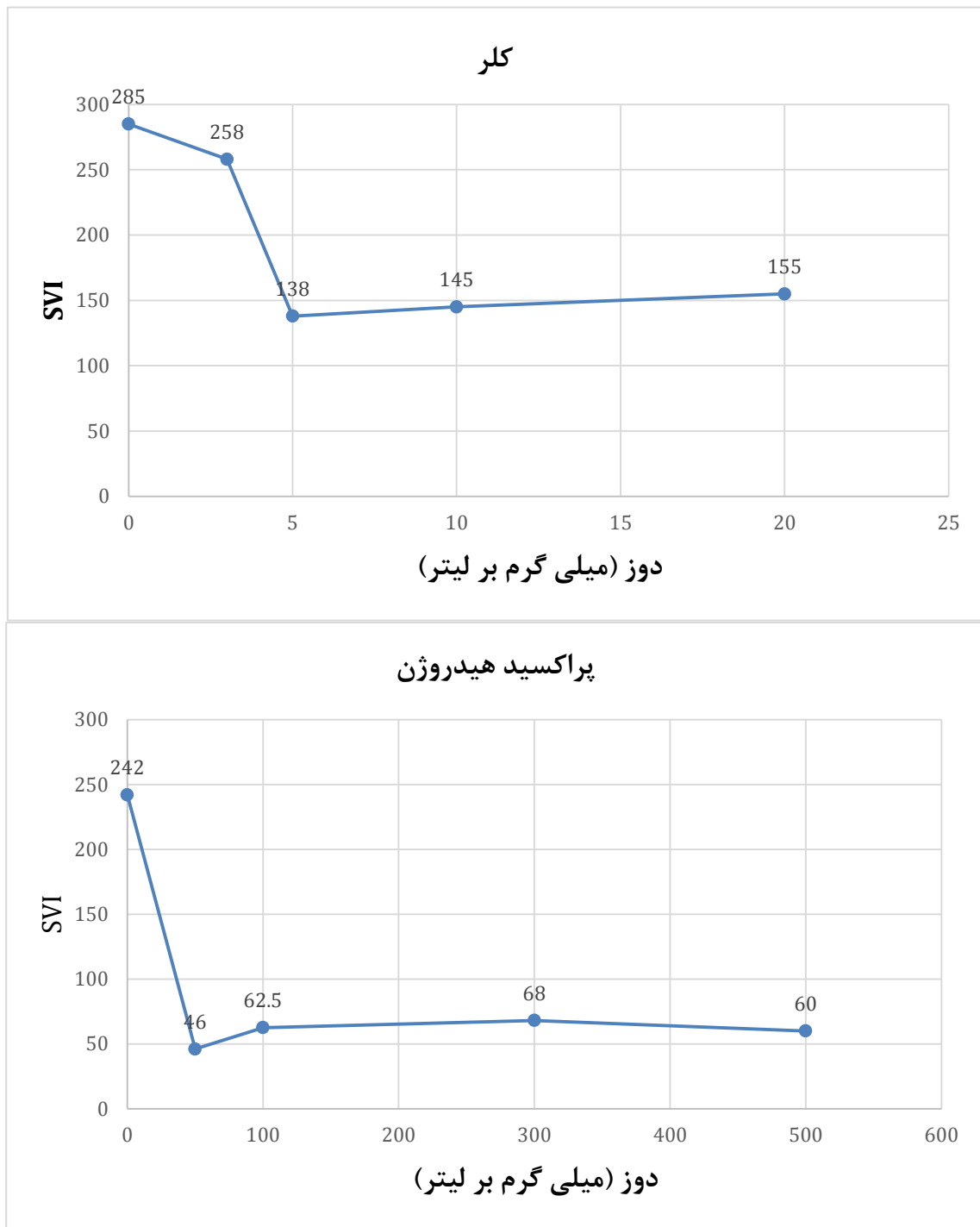
جدول ۲-۳- میزان SVI و MLSS در حضور دوزهای مختلف از اکسیدکننده‌های متفاوت

نوع اکسیدکننده	دوز	SVI (ml/g)	MLSS (g/l)
ازن	بدون مداخله	۲۸۵	۳/۳
ازن	۳ (گرم بر ساعت)	۲۸۰	۳
کلر	بدون مداخله	۲۸۵	۳/۳
کلر	۳ (میلی گرم بر لیتر)	۲۵۸	۳
کلر	۵ (میلی گرم بر لیتر)	۱۳۸	۲/۹
کلر	۱۰ (میلی گرم بر لیتر)	۱۴۵	۲/۹
کلر	۲۰ (میلی گرم بر لیتر)	۱۵۵	۲/۷
پراکسید هیدروژن	بدون مداخله	۲۴۲	۳/۶
پراکسید هیدروژن	۵۰ (میلی گرم بر لیتر)	۴۶	۳/۵
پراکسید هیدروژن	۱۰۰ (میلی گرم بر لیتر)	۶۲/۵	۳/۲
پراکسید هیدروژن	۳۰۰ (میلی گرم بر لیتر)	۶۸	۲/۸
پراکسید هیدروژن	۵۰۰ (میلی گرم بر لیتر)	۶۰	۲/۵

براساس جدول ۲-۳ از بین اکسیدکننده‌های مختلف، کلر با غلظت ۵ mg/l بهینه ترین سطح SVI را ایجاد کرد که برابر با ۱۳۸ mg/l بود و با رنگ سبز مشخص شده است.

در شکل ۲-۳ مقایسه اثر انواع اکسیدکننده در دوزهای مختلف بر شاخص حجمی لجن آمده است.

براساس شکل ۲-۳ از بین اکسیدکننده‌های مختلف کلر با غلظت ۵ mg/l بیشترین کاهش در شاخص SVI را داشت.



شکل ۲-۳- مقایسه اثر دوز اکسیدکننده بر شاخص حجمی لجن در دوزهای مختلف

۳-۴- تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات SVI

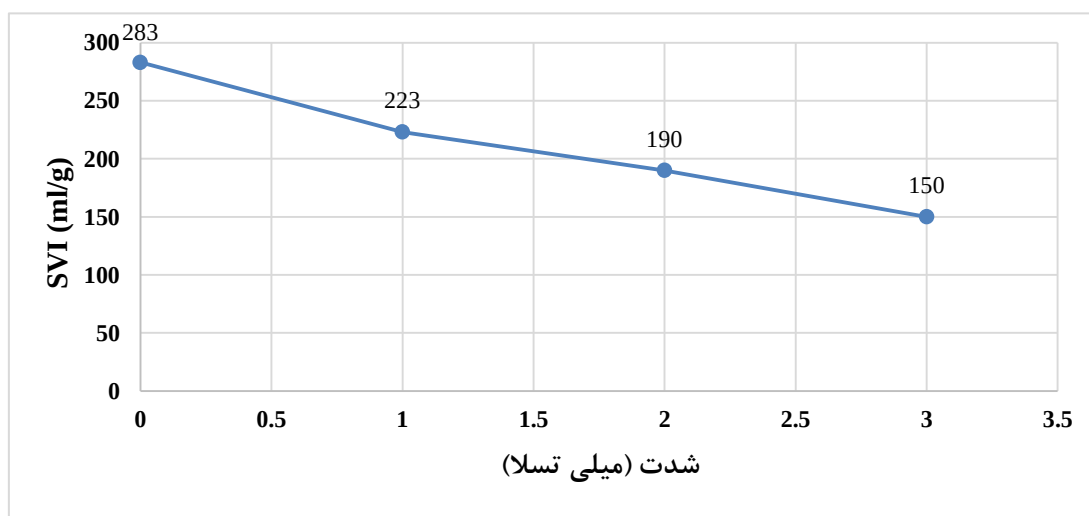
در جدول ۳-۳ تأثیر میدان‌های مغناطیسی با شدت‌های مختلف بر شاخص حجمی لجن و جامدات معلق در مایع مخلوط لجن آمده است.

جدول ۳-۳- میزان SVI و MLSS در حضور شدت‌های مختلف میدان‌های مغناطیسی

میدان‌های مغناطیسی	شدت (میلی تسلا)	SVI (ml/g)	MLSS (g/l)
میدان‌های مغناطیسی	بدون مداخله	۲۸۳	۲/۹
میدان‌های مغناطیسی	۱	۲۲۳	۳
میدان‌های مغناطیسی	۲	۱۹۰	۲/۹
میدان‌های مغناطیسی	۳	۱۵۰	۳

براساس جدول ۳-۳ بهینه‌ترین SVI توسط میدان‌های مغناطیسی با شدت ۳ میلی تسلا ایجاد شد که برابر با ۱۵۰ ml/g بود.

در شکل ۳-۳ مقایسه اثر شدت میدان‌های مغناطیسی بر شاخص حجمی لجن آمده است.



شکل ۳-۳- مقایسه اثر شدت میدان‌های مغناطیسی بر شاخص حجمی لجن

براساس شکل ۳-۳- از بین شدت‌های مختلف میدان‌های مغناطیسی، دوز ۳ میلی‌تسلا بیشترین کاهش در شاخص SVI را داشت که برابر با ۱۵۰ ml/g بود.

۳-۵- اثر ترکیب دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات SVI

در جدول ۳-۴- مقایسه اثر ترکیب دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر شاخص حجمی لجن و جامدات معلق در مایع مخلوط لجن آمده است.

جدول ۳-۴- میزان SVI و MLSS در حضور دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی

ترکیب بهینه	دوز بهینه	SVI (ml/g)	(g/l) MLSS
SVI ورودی و MLSS ورودی	بدون مداخله	۲۸۳	۳
آلوم + میدان‌های مغناطیسی	۳+۵۰	۱۱۸	۳/۹
پلی‌آلومینیوم کلراید + میدان‌های مغناطیسی	۳+۵۰	۱۱۲/۵	۴
کلریدفریک + میدان‌های مغناطیسی	۳+۱۰۰	۱۰۷	۴/۲
ازن + میدان‌های مغناطیسی	۳+۳	۱۷۰	۲/۵
کلر + میدان‌های مغناطیسی	۳+۵	۱۲۰	۲/۹
پراکسید هیدروژن + میدان‌های مغناطیسی	۳+۵۰	۴۱	۲/۹

براساس جدول ۳-۴، بهینه‌ترین حالت تغییرات شاخص SVI مربوط به حالت‌های ترکیبی بهینه به ترتیب شامل ۱۰۰ mg/l کلریدفریک ترکیب با شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی‌تسلا، ۵۰ mg/l پلی‌آلومینیوم کلراید ترکیب با شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی‌تسلا، ۵۰ mg/l آلوم ترکیب با شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی‌تسلا و ۵ mg/l کلر ترکیب با شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی‌تسلا بود که با رنگ سبز مشخص شده است. همچنین در تمام حالت‌ها، استفاده ترکیبی از دوزهای بهینه منجر به کاهش میزان شاخص SVI و قرار گرفتن آن در رنج مطلوب شد.

۳-۶- اثر ترکیب دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر تعداد کلونی باکتری‌های رشته‌ای

در جدول ۳-۵- مقایسه اثر ترکیب دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر تعداد کلونی‌های باکتری‌های رشته‌ای آمده است.

جدول ۳-۵- تعداد کلونی‌های باکتری‌های رشته‌ای در حضور دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌های

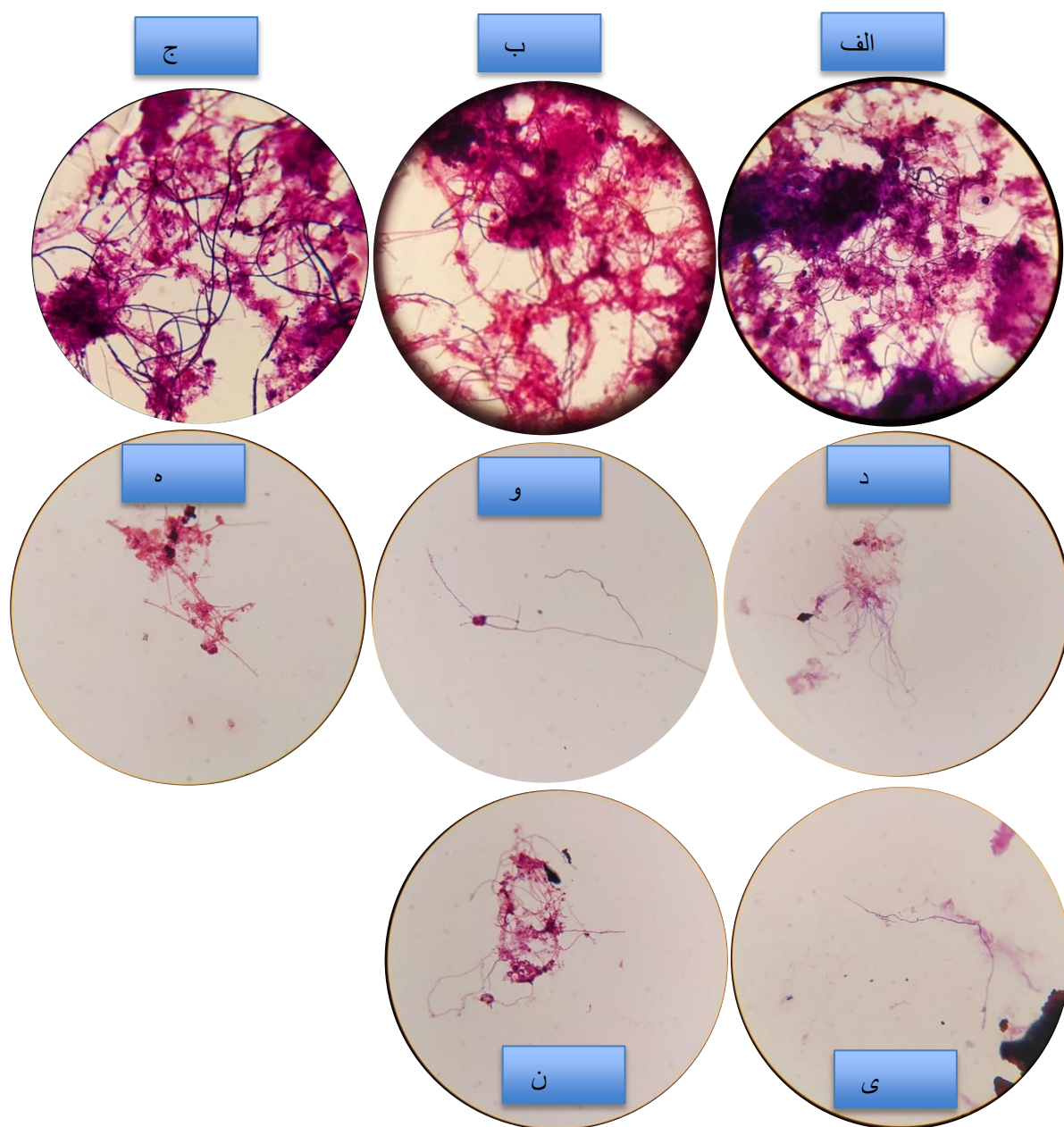
مغناطیسی

ترکیب بهینه	دوز بهینه	تعداد کلونی باکتری رشته‌ای	درصد کاهش باکتری‌های مفید
بدون مداخله	۰	۳۲۲	۰
آلوم	۵۰	۲۷۳	۲۲٪ تا ۲۸٪
آلوم + میدان‌های مغناطیسی	۳+۵۰	۲۲۵	۲۵٪ تا ۳۰٪
پلی آلومینیوم کلراید	۵۰	۲۴۵	۲۰٪ تا ۲۵٪
پلی آلومینیوم کلراید + میدان‌های مغناطیسی	۳+۵۰	۲۲۰	۲۵٪ تا ۳۰٪
کلریدفریک	۱۰۰	۲۶۳	۱۵٪ تا ۲۰٪
کلریدفریک + میدان‌های مغناطیسی	۳+۱۰۰	۲۱۹	۲۰٪ تا ۲۵٪
ازن + میدان‌های مغناطیسی	۳+۳	۲۱۰	۱۰٪ تا ۱۵٪
کلر	۵	۲۰۶	۲۵٪ تا ۳۰٪
کلر + میدان‌های مغناطیسی	۳+۵	۲۰۳	۳۰٪ تا ۳۵٪
پراکسید هیدروژن	۵۰	۱۹۸	۳۰٪ تا ۳۵٪
پراکسید هیدروژن + میدان‌های مغناطیسی	۳+۵۰	۱۶۶	۳۵٪ تا ۴۰٪
میدان‌های مغناطیسی	۳	۲۸۰	۵٪

براساس جدول ۳-۵- بیشترین تعداد کلونی باکتری‌های رشته‌ای مربوط به حضور میدان‌های مغناطیسی با شدت ۳ میلی تسلا و برابر با ۲۸۰ عدد کلونی بود که با رنگ قرمز مشخص شده است. همچنین کمترین تعداد کلونی باکتری‌های رشته‌ای مربوط به حضور همزمان دوز ۵۰ mg/l پراکسید هیدروژن به علاوه شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا که برابر با ۱۶۶ عدد کلونی بود. همچنین بیشترین کاهش باکتری‌های مفید مربوط به اثر همزمان پراکسید هیدروژن به علاوه میدان‌های مغناطیسی و برابر با ۳۵٪ تا ۴۰٪ درصد کاهش بود و کمترین درصد کاهش باکتری‌های مفید مربوط

به اثر میدان‌های مغناطیسی با ۵٪ (رنگ سبز) بود. به‌طور میانگین اکسیدکننده‌ها ۳۰٪ کاهش باکتری مفید ایجاد کردند که پراکسید هیدروژن بیشترین مقدار را نشان داد (۳۰٪ تا ۳۵٪)، منعقدکننده‌ها به‌طور میانگین ۱۰٪ تا ۲۰٪ کاهش باکتری مفید ایجاد کردند و میدان‌های مغناطیسی درصد کاهش بسیار پایینی در حد ۵٪ ایجاد کرد.

تصاویر این باکتری‌های رشته‌ای در شکل ۳-۴ آمده است.



شکل ۳-۴- باکتری‌های رشته‌ای، الف) نمونه رقیق شده و اصلی فاضلاب بدون مداخله، ب) میدان‌های مغناطیسی، ج) کلریدفریک + میدان‌های مغناطیسی، د) کلر، و) کلر + میدان‌های مغناطیسی، ه) پراکسید هیدروژن، ی) پراکسید هیدروژن + میدان‌های مغناطیسی، ن) ازن + میدان‌های مغناطیسی

شکل ۳-۴- فراوانی باکتری‌های رشته‌ای در نمونه رقیق شده و اصلی فاضلاب بدون مداخله، در حضور میدان‌های مغناطیسی، کلریدفریک به همراه میدان‌های مغناطیسی، کلر، کلر به همراه میدان‌های مغناطیسی، پراکسید هیدروژن، پراکسید هیدروژن به همراه میدان‌های مغناطیسی، ازن به همراه میدان‌های مغناطیسی را نشان می‌دهد.

فصل چهارم:

بحث و

نتیجه‌گیری

در این فصل در مورد نتایج به دست آمده در فصل قبل و علت این نتایج بحث شده و دلایلی منطقی برای این نتایج با توجه به مطالعات پیشین آورده شده است.

۴-۲- تأثیر انواع منعقدکننده‌ها بر تغییرات SVI

براساس جدول ۱-۳ و شکل ۱-۳، از بین منعقدکننده‌های مختلف، بهینه‌ترین شاخص حجمی لجن به ترتیب مربوط به منعقدکننده‌های پلی‌آلومینیوم‌کلراید با دوز ۵۰ mg/l، آلوم با دوز ۵۰ mg/l و کلریدفریک با دوز ۱۰۰ mg/l بود که در آن مقادیر SVI به ترتیب برابر با ۱۲۰ ml/g، ۱۲۴ ml/g و ۱۲۶ بود.

افزایش دوز منعقدکننده‌های پلی‌آلومینیوم‌کلراید و آلوم بیشتر از ۵۰ mg/l موجب افزایش شاخص SVI شد. در حالی که دوزهای بالاتر کلریدفریک موجب کاهش شاخص SVI شد.

با در نظر گرفتن همزمان SVI و حفظ MLSS بهینه‌ترین منعقدکننده‌ها به ترتیب پلی‌آلومینیوم‌کلراید با دوز ۵۰ mg/l، آلوم با دوز ۵۰ mg/l و کلریدفریک با دوز ۱۰۰ mg/l بود.

بهبودهای مشاهده شده در SVI با مکانیسم‌های شناخته شده انعقاد و لخته‌سازی سازگار است، که در آن منعقدکننده‌ها باعث ناپایداری ذرات و تجمع آن‌ها شده و ایجاد لخته‌های بزرگتر و قابل ته‌نشینی‌تر را افزایش می‌دهند. مطالعات مشابه، اثربخشی این منعقدکننده‌ها را در کنترل حجیم شدن و بهبود ته‌نشینی لجن نشان داده‌اند. برای مثال، نشان داده شده است که پلی‌آلومینیوم‌کلراید (PAX-14) به طور قابل توجهی مقادیر بالای SVI را کاهش داده و مشکلات ایجاد کف را کنترل می‌کند، به ویژه هنگامی که توسط *Microthrix parvicella* ایجاد شود (۱۳۳). تحقیقات دیگری نشان داد که پلی‌آلومینیوم‌کلراید و پلیمرهای کاتیونی در بهبود خواص ته‌نشینی لجن فعال بسیار کارآمد هستند و منجر به ایجاد لخته‌های قوی‌تر و فشرده‌تر می‌شوند (۱۳۴). در مورد آلوم، کاربرد آن با بهبود ویژگی‌های لجن نیز مرتبط دانسته شده است. به عنوان مثال، مطالعه‌ای در مورد کنترل حجیم شدن با استفاده از منعقدکننده‌های فلزی، از جمله آلوم، گزارش داد که آلوم در کاهش SVI نقش داشته است، به طوری که آلوم به تنهایی موجب کاهش ۳۴/۹۴٪ SVI شده بود (۶). کلریدفریک نیز به عنوان یک منعقدکننده مؤثر برای کاهش SVI شناسایی شده است، و مطالعات نشان می‌دهد که توانایی آن در کنترل حجیم شدن در غلظت‌های مختلف وجود دارد (۶).

حفظ مقادیر بهینه MLSS، در کنار کاهش SVI، نشان می‌دهد که این منعقدکننده‌ها نه تنها ته‌نشینی لجن را افزایش می‌دهند، بلکه به حفظ زیست‌توده فعال در سیستم نیز کمک می‌کنند. همان‌طور که در تحقیقات دیگر گزارش شده است، قدرت و چگالی بهبود یافته، لخته مشاهده شده با افزودن منعقدکننده، جداسازی بهتر جامد-مایع را تسهیل کرده و از شستشوی جوامع میکروبی ضروری برای تصفیه جلوگیری می‌کند (۱۳۴).

این مطالعه نشان داد که افزایش دوز پلی‌آلومینیوم‌کلراید و آلوم بیش از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به افزایش شاخص SVI می‌شود. این پدیده را می‌توان به دوز بیش از حد نسبت داد، جایی که منعقدکننده بیش از حد می‌تواند منجر به برگشت بار و تثبیت مجدد ذرات شود، از لخته شدن مناسب جلوگیری کند و به طور بالقوه لجن را پراکنده کند (۱۳۳). دوزهای بالای پلی‌آلومینیوم‌کلراید (به عنوان مثال، بالای ۲۵۰ میکرولیتر در لیتر یا ۷ گرم Al^{3+}/kg MLSS) با افزایش باکتری‌های آزاد و کاهش فعالیت تک یاخته‌ها مرتبط است که می‌تواند بر ساختار لجن و قابلیت ته‌نشینی آن تأثیر منفی بگذارد (۱۳۳). این امر بر اهمیت شناسایی دوز بهینه برای جلوگیری از اثرات نامطلوب بر ویژگی‌های لجن تأکید می‌کند.

در مقابل، در نتایج ارائه شده، دوزهای بالاتر کلریدفریک باعث کاهش بیشتر شاخص SVI شدند. این رفتار نشان می‌دهد که کلریدفریک ممکن است در غلظت‌های بالاتر، در مقایسه با پلی‌آلومینیوم کلراید و آلوم، دامنه دوز مؤثر وسیع‌تری داشته باشد یا مکانیسم‌های عمل متفاوتی داشته باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که کلریدفریک در حذف آلاینده‌های مختلف و بهبود انعقاد مؤثر است، و مطالعات نشان می‌دهد که کلریدفریک در غلظت‌های ۲ تا ۴ گرم در لیتر، کارایی خود را در کاهش SVI و کنترل حجیم شدن نشان می‌دهد (۶). دوز بهینه کلریدفریک می‌تواند بسته به ویژگی‌های خاص فاضلاب و اهداف تصفیه متفاوت باشد (۱۳۵، ۱۳۶).

در نتیجه، یافته‌ها تأکید می‌کنند که پلی‌آلومینیوم‌کلراید، آلوم و کلریدفریک منعقدکننده‌های مؤثری برای کنترل حجیم شدن و بهینه‌سازی ویژگی‌های لجن در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب هستند و دوزهای بهینه خاصی برای هر کدام وجود دارد. اثرات وابسته به دوز مشاهده شده، که در آن پلی‌آلومینیوم‌کلراید و آلوم در دوزهای بالاتر SVI افزایش یافته در حالی که کلریدفریک همچنان SVI را بهبود می‌بخشد، نیاز به بهینه‌سازی دقیق دوز را برجسته می‌کند. این نتایج با نتایج مطالعات موجود در مورد مزایای انعقاد شیمیایی برای مدیریت لجن همسو است، در عین حال به رفتارهای متمایز منعقدکننده‌های مختلف تحت غلظت‌های مختلف نیز اشاره دارد (۱۳۷).

۳-۴- تأثیر انواع اکسیدکننده‌ها بر تغییرات SVI

براساس جدول ۲-۳ و شکل ۲-۳، از بین اکسیدکننده‌های مختلف، کلر با غلظت ۵ mg/l بهینه ترین سطح SVI را ایجاد کرد که برابر با ۱۳۸ mg/l بود. همچنین غلظت‌های بسیار بالای پراکسید هیدروژن (۵۰ mg/l و بالاتر) موجب کاهش شدید شاخص SVI (بین ۴۶ ml/g تا ۶۸ ml/g) شد. غلظت ۳ g/hr ازن اگرچه موجب کاهش شاخص SVI شد ولی این مقدار ناچیز و از ۲۸۵ ml/g (برای فاضلاب بدون اعمال ازن) تا ۲۸۰ ml/g بود.

مکانیسم کلر در کنترل حجم شدن لجن، در درجه اول شامل اکسیداسیون میکروارگانیسم‌های رشته‌ای است که به دلیل مورفولوژی خود اغلب بیشتر در معرض اکسیدان قرار می‌گیرند و در نتیجه رشد آن‌ها کاهش یافته و قابلیت ته‌نشینی لجن بهبود می‌یابد (۶). تحقیقات قبلی از استفاده از کلرزی برای کنترل حجم شدن لجن حمایت می‌کند، اگرچه دوز دقیق بسیار مهم است. به عنوان مثال، دوز اولیه کلر ۷/۹ میلی‌گرم $\text{Cl}_2 \cdot \text{gVSS}^{-1}$ برای کنترل حجم شدن لجن و در عین حال به حداقل رساندن تأثیر بر فعالیت متابولیکی لخته‌ها مناسب تشخیص داده شد (۱۳۸). با این حال، کلرزی بیش از حد می‌تواند منجر به اثرات نامطلوبی مانند تشکیل تری‌هالومتان‌ها، اختلال در لخته‌ها و تأثیرات منفی بر کیفیت آب رویی و حذف بیولوژیکی فسفر در دوزهای بالاتر (به عنوان مثال، ۴۰ میلی‌گرم بر گرم MLSS) شود (۱۳۸، ۱۳۹). SVI بهینه به دست آمده در این مطالعه با ۵ میلی‌گرم بر لیتر کلر، دوز متعادلی را نشان می‌دهد که به طور مؤثر ارگانیسم‌های رشته‌ای را هدف قرار می‌دهد بدون اینکه به طور جدی ویژگی‌های کلی لجن را به خطر بیندازد.

پراکسید هیدروژن تأثیر قابل توجهی بر قابلیت ته‌نشینی لجن، به ویژه در غلظت‌های بالاتر، نشان داد. غلظت‌های بسیار بالای پراکسید هیدروژن (۵۰ میلی‌گرم در لیتر و بالاتر) باعث کاهش شدید شاخص SVI، بین ۴۶ میلی‌لیتر در گرم و ۶۸ میلی‌لیتر در گرم شد. در مطالعه احسانی فر و همکاران، از پراکسید هیدروژن جهت کاهش حجم لجن استفاده شد. پراکسید هیدروژن به عنوان یک عامل اکسیدکننده قوی عمل می‌کند که قادر به تجزیه مواد آلی و اختلال بالقوه در ساختارهای سلولی میکروبی است (۱۴۰). کاهش مشاهده شده در MLSS با افزایش دوز پراکسید هیدروژن، نشان‌دهنده درجه‌ای از اکسیداسیون یا لیز زیست‌توده است، پراکسید هیدروژن در حالی که به کاهش SVI کمک می‌کند، می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر غیر انتخابی بر جامعه میکروبی نیز باشد

همچنین این نکته که SVI کمتر از ۷۰ میلی لیتر در گرم احتمال وقوع پدیده نوک-سوزنی (pin-floc) و ایجاد فلوک های ریز و سبک را افزایش می دهد، بسیار حائز اهمیت است (۱۴۱).

در مقایسه با کلر و پراکسید هیدروژن، استفاده از ازن با غلظت ۳ گرم در ساعت تنها منجر به کاهش ناچیزی در شاخص SVI شد و از ۲۸۵ میلی لیتر در گرم (بدون ازن) به ۲۸۰ میلی لیتر در گرم رسید. در حالی که ازن به دلیل عملکرد ضد میکروبی قوی و پتانسیل آن در کنترل حجیم شدن شناخته شده است (۱۳۸). اثربخشی ازن به شدت به دوز و روش کاربرد بستگی دارد. مطالعات نشان داده اند که دوز مداوم ازن با نرخ های خاص (به عنوان مثال، ۱، ۲ و ۴ گرم $O_3/kg MLSS \cdot d$) می تواند منجر به کاهش حدود ۵۰ میلی لیتر در گرم شاخص حجمی لجن نسبت به نمونه های کنترل بدون ازن شود و ازن زنی می تواند هنگام استفاده در چرخه لجن به جای استفاده مستقیم در حوضچه هوادهی، مؤثرتر باشد (۱۴۱). براساس مطالعات انجام شده دوز پایین ازن (۰/۰۸۵ گرم بر گرم $O_3/MLSS$) طی ۲۰ روز، با ایجاد اختلال در میسلیم رشته ای، SVI را به ۱۲۵ میلی لیتر بر گرم کاهش می دهد (۱۴۲). حداقل اثر مشاهده شده در مطالعه حاضر نشان می دهد که دوز ۳ گرم بر ساعت ازن ممکن است برای تأثیر قابل توجه بر ارگانسیم های رشته ای که باعث حجیم شدن می شوند، ناکافی بوده یا به طور بهینه اعمال نشده باشد.

با مقایسه سه اکسیدکننده، کلر با دوز ۵ میلی گرم بر لیتر، بهینه ترین سطح SVI را ارائه داد که نشان دهنده عملکرد برتر آن در شرایط آزمایش شده برای کنترل حجیم شدن است. غلظت های بالای پراکسید هیدروژن نیز در کاهش SVI مؤثر بود. همچنین پراکسید هیدروژن موجب کاهش قابل توجه MLSS شد که نشان دهنده تأثیر تهاجمی تر بر زیست توده کلی است. ازن، در دوز خاص مورد استفاده، اثربخشی محدودی نشان داد. کلر و ازن هر دو عوامل شیمیایی غیر انتخابی در نظر گرفته می شوند که بر میکروارگانسیم های رشته ای و تشکیل دهنده لخته تأثیر می گذارند، که مستلزم تعیین دقیق شرایط دوز بهینه برای به حداقل رساندن اثرات نامطلوب بر فرایند لجن فعال است (۱۳۸). نتایج نشان می دهد که اگرچه هر سه ماده اکسیدان هستند، مکانیسم های خاص، دوزهای بهینه و تأثیر کلی آنها بر ویژگی های لجن می تواند به طور قابل توجهی متفاوت باشد.

اثربخشی متفاوت اکسیدکننده ها را می توان به عوامل مختلفی نسبت داد، از جمله نوع خاص باکتری های رشته ای که باعث حجیم شدن می شوند، ویژگی های فاضلاب و پارامترهای عملیاتی تصفیه خانه. به عنوان مثال، برخی از باکتری های رشته ای مانند *Microthrix parvicella* به طور خاص چالش برانگیز هستند و ممکن است به استراتژی های کنترلی خاصی نیاز داشته باشند (133, 143).

ماهیت غیر انتخابی اکسیدان‌ها به این معنی است که باید تعادل بهینه بین مهار رشد رشته‌ای و حفظ میکروارگانسیم‌های مفید تشکیل دهنده لخته و فعالیت کلی میکروبی برقرار شود (۱۳۸). کاهش مشاهده شده در MLSS با افزایش دوزهای پراکسید هیدروژن و ازن، حتی اگر برای ازن ناچیز باشد، اهمیت بهینه‌سازی دوز را برای جلوگیری از اثرات مضر بر غلظت زیست توده و فعالیت متابولیکی لجن فعال برجسته می‌کند (۱۳۸، ۱۴۰).

۴-۴- تأثیر شدت میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات SVI

جدول ۳-۳ و شکل ۳-۳ نشان می‌دهند که کاربرد میدان‌های مغناطیسی ایستا (SMFs) به طور قابل توجهی بر شاخص حجمی لجن و جامدات معلق مایع مخلوط در فرایندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب تأثیر می‌گذارد. به طور خاص، شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی‌تسلا، SVI بهینه ۱۵۰ میلی‌لیتر بر گرم را ایجاد می‌کند. این یافته‌ها با مطالعات موجود که نشان می‌دهد SMF ها می‌توانند خواص فیزیکی و بیولوژیکی لجن فعال را افزایش دهند و منجر به بهبود راندمان تصفیه شوند، همسو است.

تحقیقات نشان داده است که SMF ها می‌توانند به طور مثبت بر رشد میکروبی و ویژگی‌های ته‌نشینی لجن تأثیر بگذارند. به عنوان مثال، عسگری و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که مواجهه با SMF ها می‌تواند سرعت رشد میکروبی را افزایش داده و ویژگی‌های ته‌نشینی لجن را در فرایندهای لجن فعال بهبود بخشد، که یافته‌های این مطالعه را در مورد SVI بهینه در ۳ میلی‌تسلا تأیید می‌کند (۱۱۶).

این مطالعه نشان داد که میدان‌های مغناطیسی تجمع ذرات کلوئیدی را افزایش می‌دهند که برای جداسازی مؤثر جامد-مایع در سیستم‌های تصفیه فاضلاب بسیار مهم است.

علاوه بر این، تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر کنترل حجیم شدن در مطالعات مختلف مستند شده است. جی و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که اعمال میدان‌های مغناطیسی در طول تصفیه فاضلاب به طور قابل توجهی باعث تحریک سازگاری لجن فعال و افزایش تجزیه زیستی آلاینده‌های آلی می‌شود و در نتیجه راندمان تصفیه بهبود می‌یابد (۱۴۴). که نشان می‌دهد مکانیسم‌هایی که SMF ها از طریق آن‌ها خواص لجن را افزایش می‌دهند، ممکن است شامل تجمع فیزیکی و تحریک بیولوژیکی جوامع میکروبی باشد.

نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که شدت‌های مختلف میدان‌های مغناطیسی می‌تواند منجر به تغییرات در SVI شود، به طوری که شدت ۳ میلی تسلا بیشترین کاهش را در SVI نشان می‌دهد. این مشاهده با یافته‌های وانگ و همکاران سازگار است. وانگ (۲۰۲۱)، که اثرات میدان‌های مغناطیسی بر تصفیه فاضلاب را بررسی کردند و خاطرنشان کردند که شدت‌های بهینه میدان می‌تواند جداسازی جامد-مایع را به طور قابل توجهی بهبود بخشد و فعالیت بیولوژیکی را افزایش دهد (۵۳). توانایی میدان‌های مغناطیسی در تأثیرگذاری بر پویایی جامعه میکروبی و افزایش ویژگی‌های ته‌نشینی لجن برای پرداختن به مسائل حجیم شدن در سیستم‌های لجن فعال بسیار مهم است.

۴-۵- اثر ترکیب دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات SVI

براساس جدول ۳-۴، بهینه‌ترین حالت تغییرات شاخص SVI مربوط به حالت‌های ترکیبی بهینه به ترتیب شامل ۱۰۰ mg/l کلریدفریک به همراه شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا، ۵۰ mg/l پلی‌آلومینیوم‌کلراید به همراه شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا، ۵۰ mg/l آلوم در ترکیب با شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا و ۵ mg/l کلر ترکیبی با شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا بود. همچنین در تمام حالت‌ها، استفاده ترکیبی از دوزهای بهینه منجر به کاهش میزان شاخص SVI و قرار گرفتن آن در رنج مطلوب شد. بهینه‌ترین حالت SVI و MLSS در حضور همزمان ۵ mg/l کلر + شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا اتفاق افتاد که به ترتیب برابر با ۱۲۰ ml/g و ۲/۹ g/l بود.

استفاده از کلریدفریک و PAC به عنوان منعقدکننده در مقالات به خوبی مستند شده است. در این مطالعات نشان داده شده است که کلریدفریک در کاهش کدورت و مواد جامد معلق در انواع مختلف فاضلاب مؤثر است و اغلب از سایر منعقدکننده‌ها مانند سولفات آلومینیوم بهتر عمل می‌کند (۱۴۵). یافته‌های فرج‌نژاد (۲۰۱۲) نشان داد PAC در مقایسه با کلریدفریک، لخته‌های بزرگتری تولید می‌کند و راندمان جداسازی را افزایش می‌دهد (۱۴۶).

نقش میدان‌های مغناطیسی در افزایش فرایندهای انعقاد و لخته‌سازی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. گزارش شده است که استفاده از میدان‌های مغناطیسی ایستا با افزایش تشکیل و ته‌نشینی لخته‌ها، عملکرد منعقدکننده‌ها را بهبود می‌بخشد (۱۴۷). این نتایج که کلریدفریک و PAC در شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا عملکرد بهینه‌ای دارند، از این

فرضیه پشتیبانی می‌کند که SMF ها می‌توانند به صورت هم‌افزایی فرایند انعقاد را افزایش دهند و منجر به نتایج بهتر تصفیه شوند.

علاوه بر این، نشان داده شده است که ترکیب انعقاد شیمیایی با میدان‌های مغناطیسی به طور مؤثری حجم‌گیری در سیستم‌های لجن فعال را کنترل می‌کند. جین-شیانگ (۲۰۱۰) دریافت که کلریدفریک به ویژه در تثبیت سرعت ته‌نشینی در سناریوهای حجم‌گیری لجن رشته‌ای مؤثر بوده و به کاهش قابل توجهی در SVI منجر شده است (۱۴۸). که با یافته‌های این مطالعه همسو است، به طوری که استفاده از میدان‌های مغناطیسی در کنار کلریدفریک منجر به بهبود مقادیر SVI شد.

از نظر MLSS، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب PAC و میدان‌های مغناطیسی منجر به غلظت بالاتر جامدات معلق شده است. این یافته توسط مطالعات قبلی که نشان داده‌اند PAC به دلیل توانایی‌اش در تشکیل لخته‌های بزرگتر و متراکم‌تر که با کارایی بیشتری ته‌نشین می‌شوند، در افزایش MLSS در سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی مؤثر است، تأیید می‌شود (۱۰۰). ویژگی‌های ته‌نشینی بهبود یافته لخته‌های PAC می‌تواند منجر به بهبود حفظ زیست توده در راکتور شود، که برای حفظ فرایندهای تصفیه بیولوژیکی مؤثر بسیار مهم است.

۴-۶- تأثیر ترکیب دوزهای بهینه با شدت بهینه میدان‌های مغناطیسی بر تعداد کلونی باکتری‌های رشته‌ای و باکتری‌های مفید

بر اساس جدول ۳-۵- بیشترین تعداد کلونی باکتری‌های رشته‌ای مربوط به حالت بدون مداخله (گروه کنترل) بود و پس از آن بیشترین تعداد باکتری رشته‌ای مربوط به گروه با حضور میدان‌های مغناطیسی با شدت ۳ میلی تسلا و برابر با ۲۸۰ عدد کلونی بود. یعنی شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا موجب کاهش تعداد کلونی باکتری‌های رشته‌ای شده است، اما راندمان آن در کاهش تعداد کلونی باکتری‌های رشته‌ای پایین‌تر از بقیه روش‌ها بود. همچنین کمترین تعداد کلونی باکتری‌های رشته‌ای مربوط به حضور همزمان دوز ۵۰ mg/l پراکسید هیدروژن به همراه شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا که برابر با ۱۶۶ عدد کلونی بود. کمترین درصد کاهش باکتری‌های مفید مربوط به اثر میدان‌های مغناطیسی با ۵٪ بود. به طور میانگین اکسیدکننده‌ها ۳۰٪ کاهش باکتری مفید ایجاد کردند که پراکسید هیدروژن بیشترین مقدار بود (۳۰٪ تا ۳۵٪)، منعقدکننده‌ها به طور میانگین ۱۰٪ تا ۲۰٪ کاهش باکتری مفید ایجاد کردند و میدان‌های مغناطیسی درصد کاهش بسیار پایینی در حد ۵٪ ایجاد کرد.

استفاده از میدان‌های مغناطیسی ایستا (۳ میلی تسلا) در این مطالعه، کاهش کلونی‌های باکتری‌های رشته‌ای را نشان داد، اگرچه راندمان آن در مقایسه با سایر روش‌ها کمتر بود. این یافته با برخی تحقیقات قبلی که نشان می‌دهند میدان‌های مغناطیسی ایستا می‌توانند بر جوامع میکروبی تأثیر بگذارند، همسو است. به عنوان مثال، مطالعات نشان داده‌اند که میدان‌های مغناطیسی ایستا می‌توانند میکروارگانیسم‌های رشته‌ای را مهار کنند و منجر به کاهش حضور چنین باکتری‌هایی در لجن فعال شوند (۱۲۴، ۱۴۹). مکانیسم‌های ایجاد این نتایج ممکن است شامل تغییراتی در سطوح سلول‌های میکروبی یا فعالیت‌های متابولیکی باشد، زیرا برخی تحقیقات نشان می‌دهند که میدان‌های مغناطیسی می‌توانند سطوح سلول‌های میکروبی را صاف کنند (۱۵۰) یا فعالیت دهیدروژناز و رشد زیست توده را در لجن فعال افزایش دهند (۱۵۱). با این حال، راندمان نسبتاً پایین مشاهده شده در این مطالعه در مقایسه با سایر روش‌ها نشان می‌دهد که شدت یا مدت زمان خاص میدان‌های مغناطیسی یا ویژگی‌های باکتری‌های رشته‌ای موجود، ممکن است نقش مهمی داشته باشند.

مؤثرترین کنترل کلونی‌های باکتری‌های رشته‌ای از طریق کاربرد همزمان پراکسید هیدروژن (۵۰ میلی گرم در لیتر) و میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا حاصل شد. این اثر هم‌افزایی را می‌توان به قدرت اکسیداتیو پراکسید هیدروژن نسبت داد که گونه‌های اکسیژن فعالی تولید می‌کند که قادر به آسیب رساندن به سلول‌های باکتریایی هستند (152, 153). مطالعات نشان داده‌اند که پراکسید هیدروژن باکتری‌های رشته‌ای را از بین می‌برد و شاخص حجم لجن را در سیستم‌های لجن فعال بهبود می‌بخشد (۱۵۴). میدان‌های مغناطیسی احتمالاً این عمل اکسیداتیو را افزایش داده یا حساسیت باکتری‌های رشته‌ای را به اکسیدان افزایش داده است. در حالی که مطالعات هم‌افزایی مستقیم روی H_2O_2 و میدان‌های مغناطیسی برای حجیم شدن رشته‌ای کمتر رایج است، تحقیقات در مورد سایر کاربردها نشان داده است که میدان‌های مغناطیسی می‌توانند اکسیدکننده‌ها را تولید کنند، و با روش‌های شیمیایی ترکیب شوند تا بر خواص لجن تأثیر بگذارند (155). رویکرد ترکیبی ممکن است محیطی خصمانه‌تر برای رشد رشته‌ای‌ها نسبت به هر یک از روش‌ها به تنهایی ایجاد کرده باشد.

با این حال، این افزایش اثربخشی در برابر باکتری‌های رشته‌ای به قیمت کاهش قابل توجه باکتری‌های مفید تمام شد، به طوری که ترکیب H_2O_2 + میدان‌های مغناطیسی باعث کاهش ۳۵ تا ۴۰ درصدی شد. پراکسید هیدروژن، به عنوان یک اکسیدان قوی، می‌تواند با القای استرس اکسیداتیو، میکروارگانیسم‌های مختلف، از جمله میکروارگانیسم‌های مفید، را به طور نامحسوس تحت تأثیر قرار دهد (۱۵۶). میدان‌های مغناطیسی، در حالی که به طور بالقوه برای برخی از فعالیت‌های میکروبی

مانند نیتریفیکاسیون مفید است (۱۱۳, ۱۵۷)، ممکن است در ترکیب با H_2O_2 ، استرس کلی بر جامعه میکروبی را افزایش داده و منجر به تأثیر گسترده‌تری بر گونه‌های مفید شود. این امر، یک بده بستان حیاتی در استراتژی‌های تصفیه ته‌اجمی را برجسته می‌کند، که در آن کنترل مؤثر ارگانیسم‌های مشکل‌ساز می‌تواند ناخواسته به اکوسیستم میکروبی کلی که برای تصفیه فاضلاب ضروری است، آسیب برساند.

در مقابل، میدان‌های مغناطیسی اعمال‌شده به صورت جداگانه منجر به کمترین کاهش باکتری‌های مفید، تنها با ۵ درصد کاهش شدند. این یافته با مطالعاتی که نشان می‌دهند میدان‌های مغناطیسی ایستا می‌توانند در برخی زمینه‌ها حتی فعالیت و رشد برخی از باکتری‌های مفید، مانند باکتری‌های اکسیدکننده آمونیاک را افزایش داده و محتوای کلی زیست‌توده را بهبود بخشند، سازگار است (۱۱۳, ۱۵۷). اکسیدکننده‌ها، به طور متوسط، باعث کاهش ۳۰ درصدی باکتری‌های مفید شدند، که پراکسید هیدروژن در بالاترین حد (۳۰٪ تا ۳۵٪) قرار داشت. منعقدکننده‌ها، در حالی که در حذف آلاینده‌ها و بهبود ته‌نشینی مؤثر بودند (۱۵۸, ۱۵۹)، باعث کاهش متوسط ۱۰٪ تا ۲۰٪ در باکتری‌های مفید شدند. این نشان می‌دهد که مکانیسم‌های حذف فیزیکی انعقاد و لخته‌سازی ممکن است در مقایسه با استرس اکسیداتیو شیمیایی ناشی از پراکسید هیدروژن، برای ساختار کلی جامعه میکروبی کمتر مخرب باشند.

مقایسه این نتایج با منابع موجود، هم ثبات و هم تفاوت‌های ظریفی را آشکار می‌کند. اثربخشی کلی اکسیدان‌هایی مانند پراکسید هیدروژن در کنترل باکتری‌های رشته‌ای به خوبی مستند شده است (۱۵۴). به طور مشابه، انعقاد-لخته‌سازی روشی است که به طور گسترده برای بهبود ته‌نشینی لجن و حذف آلاینده‌های مختلف استفاده می‌شود (۱۵۸, ۱۶۰). تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر جوامع میکروبی در منابع متنوع‌تر است، به طوری که برخی مطالعات افزایش فعالیت میکروبی را گزارش می‌دهند (۱۵۰, ۱۵۱) و برخی دیگر مهار انواع خاص رشته‌ای را نشان می‌دهند (۱۴۹). یافته‌های این مطالعه مبنی بر اینکه میدان‌های مغناطیسی به تنهایی تأثیر منفی کمی بر باکتری‌های مفید دارند، در حالی که همچنان اشکال رشته‌ای را کاهش می‌دهند، با این ایده همسو است که میدان‌های مغناطیسی ممکن است در مقایسه با اکسیدان‌های شیمیایی قوی، یک استراتژی کنترل انتخابی‌تر یا کمتر ته‌اجمی ارائه دهند. کاهش زیاد باکتری‌های مفید توسط ترکیب میدان‌های مغناطیسی و H_2O_2 ، تأثیر قوی و بالقوه وسیع‌الطیف چنین فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته یکپارچه‌ای را برجسته می‌کند.

۷-۴- نتیجه گیری

در این مطالعه به بررسی روش‌های مختلف کنترل حجم شدن لجن در فرایندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب پرداخته شد و کارایی منعقدکننده‌ها، اکسیدکننده‌ها و میدان‌های مغناطیسی ایستا به صورت جداگانه و ترکیبی ارزیابی شد. هدف اصلی، ارزیابی تأثیر این روش‌ها بر شاخص حجمی لجن (SVI)، جامدات معلق مایع مخلوط (MLSS) و جمعیت باکتری‌های رشته‌ای و مفید بود. نتایج به دست آمده بینش‌های مهمی را در مورد بهینه‌سازی استراتژی‌های تصفیه برای بهبود قابلیت ته‌نشینی لجن و پایداری کلی فرایند ارائه می‌دهد که مهم‌ترین نتایج به دست آمده شامل موارد زیر بود:

۱- بهینه‌ترین منعقدکننده‌ها از لحاظ شاخص حجمی لجن به ترتیب پلی‌آلومینیوم کلراید با دوز ۵۰ mg/l، آلوم با دوز ۵۰ mg/l و کلریدفریک با دوز ۱۰۰ mg/l بودند که در آن مقادیر SVI به ترتیب برابر با ۱۲۰ ml/g، ۱۲۴ ml/g و ۱۲۶ ml/g بود.

۲- از بین اکسیدکننده‌های مختلف، کلر با غلظت ۵ mg/l بهینه‌ترین سطح SVI را ایجاد کرد که برابر با ۱۳۸ mg/l بود.

۳- از بین شدت‌های مختلف میدان‌های مغناطیسی، بهینه‌ترین حالت از نظر تغییرات هر دو شاخص SVI و MLSS شدت ۳ میلی تسلا بود که SVI بهینه ۱۵۰ میلی لیتر بر گرم را ایجاد کرد.

۴- از بین حالت‌های ترکیبی، بهینه‌ترین حالت تغییرات شاخص SVI مربوط به حالت‌های ترکیبی بهینه به ترتیب شامل ۱۰۰ mg/l کلریدفریک به همراه شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا، ۵۰ mg/l پلی‌آلومینیوم کلراید ترکیب شده با شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا، ۵۰ mg/l آلوم به همراه شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا و ۵ mg/l کلر با شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا بود که در تمام حالت‌ها، استفاده ترکیبی از دوزهای بهینه منجر به کاهش میزان شاخص SVI و قرار گرفتن آن در رنج مطلوب شد.

۵- بیشترین تعداد کلونی باکتری‌های رشته‌ای مربوط به حالت بدون مداخله (گروه کنترل) بود و پس از آن بیشترین تعداد کلونی باکتری رشته‌ای مربوط به گروه با حضور میدان‌های مغناطیسی با شدت ۳ میلی تسلا و برابر با ۲۸۰ عدد کلونی بود.

۶- کمترین تعداد کلونی باکتری‌های رشته‌ای مربوط به حضور همزمان دوز ۵۰ mg/l پراکسید هیدروژن + شدت میدان‌های مغناطیسی ۳ میلی تسلا که برابر با ۱۶۶ عدد کلونی بود.

۷- بیشترین کاهش باکتری‌های مفید مربوط به اثر همزمان پراکسید هیدروژن + میدان‌های مغناطیسی و برابر با ۳۵٪ تا ۴۰٪ درصد کاهش بود.

۸- کمترین درصد کاهش باکتری‌های مفید مربوط به اثر میدان‌های مغناطیسی با ۵٪ بود.

۹- به طور میانگین اکسیدکننده‌ها ۳۰٪ کاهش باکتری مفید ایجاد کردند که پراکسید هیدروژن بیشترین مقدار بود (۳۰٪ تا ۳۵٪)، منعقدکننده‌ها به طور میانگین ۱۰٪ تا ۲۰٪ کاهش باکتری مفید ایجاد کردند و میدان‌های مغناطیسی درصد کاهش بسیار پایینی در حد ۵٪ ایجاد کرد.

۸-۴- پیشنهادات کاربردی پژوهش

۱- بهینه‌سازی عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری: استفاده از دوزهای بهینه منعقدکننده‌ها و اکسیدکننده‌ها برای کاهش بالکینگ و بهبود ته‌نشینی لجن در تصفیه‌خانه‌های بزرگ شهری.

۲- طراحی فرایندهای تصفیه در واحدهای صنعتی: کاربرد نتایج در صنایع غذایی، دارویی، نساجی و پتروشیمی برای انتخاب ترکیب مناسب مواد شیمیایی و میدان‌های مغناطیسی جهت کنترل لجن رشته‌ای.

۳- توسعه مدل‌های هوشمند کنترل فرایند: استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده برای آموزش الگوریتم‌های یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی و کنترل شاخص‌های SVI و MLSS در زمان واقعی.

۴- کنترل رشد باکتری‌های رشته‌ای: استفاده از ترکیب ازن و میدان‌های مغناطیسی برای کاهش تعداد کلونی‌های باکتری‌های رشته‌ای و جلوگیری از اختلال در ته‌نشینی.

۵- تدوین دستورالعمل‌های عملیاتی برای اپراتورها: تهیه راهنمای کاربردی برای اپراتورهای تصفیه‌خانه‌ها جهت انتخاب دوز مناسب مواد شیمیایی و تنظیم شدت میدان‌های مغناطیسی.

۶- طراحی تجهیزات تصفیه با قابلیت اعمال میدان‌های مغناطیسی: توسعه تجهیزات جدید با قابلیت اعمال میدان‌های مغناطیسی با شدت کنترل‌شده برای بهبود عملکرد ته‌نشینی و کاهش بالکینگ.

۷- کاهش مصرف انرژی و مواد شیمیایی: با انتخاب دوزهای بهینه، می‌توان مصرف مواد شیمیایی را کاهش داد و در نتیجه هزینه‌های عملیاتی و اثرات زیست‌محیطی را کم کرد.

۸- مطالعات زیست‌محیطی بر اثرات میدان‌های مغناطیسی: استفاده از نتایج برای بررسی اثرات بلندمدت میدان‌های مغناطیسی بر میکروارگانیسم‌های مفید و مضر در فرایندهای بیولوژیکی.

- ۹- طراحی پایلوت‌های تحقیقاتی برای روش‌های ترکیبی: استفاده از ترکیب منعقدکننده‌ها و میدان‌های مغناطیسی در پایلوت‌های تحقیقاتی جهت بررسی عملکرد در شرایط واقعی.
- ۱۰- آموزش در دوره‌های دانشگاهی و تخصصی: استفاده از نتایج به عنوان مطالعه موردی در دوره‌های مهندسی محیط زیست، مهندسی شیمی و مدیریت منابع آب.
- ۱۱- ارائه به سازمان‌های نظارتی و زیست‌محیطی: ارائه نتایج به سازمان‌های محیط زیست برای تدوین استانداردهای جدید در کنترل بالکینگ و بهینه‌سازی تصفیه فاضلاب.
- ۱۲- استفاده در پروژه‌های بین‌المللی مدیریت فاضلاب: کاربرد یافته‌ها در پروژه‌های همکاری بین‌المللی برای ارتقاء فناوری‌های تصفیه فاضلاب در کشورهای در حال توسعه.

۹-۴- پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده

- ۱- دوزهای مورد استفاده در این پژوهش با استناد به یافته‌های مطالعات پیشین انتخاب شد و در آزمون‌های اولیه نیز کارایی مطلوبی از خود نشان داد. با این حال، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده با توجه به ویژگی‌های کیفی فاضلاب، شرایط عملیاتی و اهداف فرایندی، امکان به‌کارگیری غلظت‌های پایین‌تر نیز مورد بررسی قرار گیرد.
- ۲- بررسی اثرات بلندمدت میدان‌های مغناطیسی بر ساختار میکروبی لجن فعال: مطالعه تغییرات جمعیت میکروبی، تنوع گونه‌ها و رفتار باکتری‌های رشته‌ای در مواجهه با میدان‌های مغناطیسی در دوره‌های زمانی طولانی.
- ۳- تحلیل سینتیکی واکنش‌های شیمیایی منعقدکننده‌ها در حضور میدان‌های مغناطیسی: بررسی تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر سرعت و مکانیسم واکنش‌های لخته‌سازی و ته‌نشینی.
- ۴- ارزیابی اثرات زیست‌محیطی استفاده مکرر از اکسیدکننده‌ها مانند کلر و پراکسید هیدروژن: تحلیل پسماندهای شیمیایی، سمیت احتمالی و تأثیر بر اکوسیستم‌های آبی اطراف تصفیه‌خانه‌ها.
- ۵- مقایسه عملکرد روش‌های ترکیبی در شرایط فاضلاب‌های صنعتی با بار آلودگی بالا: بررسی اثربخشی روش‌های پیشنهادی در تصفیه فاضلاب صنایع خاص مانند نساجی، داروسازی یا پتروشیمی.
- ۶- توسعه نانومنعقدکننده‌ها و بررسی عملکرد آن‌ها در کنترل بالکینگ: استفاده از فناوری نانو برای طراحی منعقدکننده‌های جدید با کارایی بالا و بررسی اثر آن‌ها بر شاخص‌های SVI و MLSS.

- ۷- مدل سازی عددی و شبیه سازی فرایندهای ترکیبی تصفیه با نرم افزارهای تخصصی: ایجاد مدل های دینامیکی برای پیش بینی رفتار سیستم در شرایط مختلف عملیاتی.
- ۸- بررسی اثرات میدان های مغناطیسی بر فعالیت آنزیمی و متابولیسم میکروارگانیسم ها: تحلیل تغییرات در تولید آنزیم ها، مصرف اکسیژن و نرخ تجزیه مواد آلی در حضور میدان های مغناطیسی.
- ۹- مطالعه تأثیر دمای محیط بر اثربخشی منعقدکننده ها و اکسیدکننده ها: بررسی عملکرد مواد شیمیایی در دماهای مختلف برای بهینه سازی شرایط عملیاتی در فصول مختلف سال.
- ۱۰- تحلیل اقتصادی و انرژی بر بودن روش های پیشنهادی در مقیاس صنعتی: بررسی هزینه های سرمایه گذاری، بهره برداری و مصرف انرژی برای روش های شیمیایی، فیزیکی و ترکیبی.
- ۱۱- بررسی امکان استفاده از منابع جایگزین برای تولید منعقدکننده های طبیعی یا زیستی: مطالعه استفاده از مواد گیاهی یا زیست توده برای تولید منعقدکننده های پایدار و کم هزینه.
- ۱۲- ارزیابی تأثیر روش های پیشنهادی بر کاهش تولید لجن مازاد و مدیریت آن: بررسی میزان تولید لجن، ویژگی های آن و امکان استفاده مجدد یا دفع بهینه.
- ۱۳- بررسی تعاملات بین منعقدکننده ها و مواد دارویی یا آلاینده های نوظهور در فاضلاب: تحلیل اثرات احتمالی مواد شیمیایی بر حذف داروها، هورمون ها و ترکیبات آلی پیچیده در فاضلاب های شهری.

۱۰-۴- محدودیت های مطالعه و راه حل های آنها

- ۱- سقف پایین بودجه اختصاص داده شده به این مطالعه.
راه حل: استفاده از گرنت های پژوهشی
- ۲- انجام آزمایش ها در مقیاس آزمایشگاهی که ممکن است نتایج آن با مقیاس صنعتی متفاوت باشد. راه حل: اجرای آزمایش های پایلوت در مقیاس نیمه صنعتی برای اعتبارسنجی نتایج در شرایط واقعی.
- ۳- اثرات زیست محیطی استفاده از مواد شیمیایی مانند کلر و پراکسید هیدروژن به طور کامل بررسی نشده اند.
راه حل: انجام آزمون های سمیت و ارزیابی اثرات زیست محیطی این مواد بر اکوسیستم های آبی.

- ۴- مدت زمان آزمایش‌ها نسبتاً کوتاه بود و رفتار بلندمدت سیستم تصفیه بررسی نشد.
راه‌حل: طراحی مطالعات طولانی‌مدت برای تحلیل پایداری روش‌ها و تغییرات تدریجی در عملکرد سیستم.
- ۵- ساختار میکروبی لجن فعال و تغییرات جمعیت میکروارگانیسم‌ها در اثر میدان‌های مغناطیسی به‌طور دقیق بررسی نشده‌اند.
راه‌حل: استفاده از روش‌های پیشرفته مانند توالی‌یابی ژنتیکی برای تحلیل دقیق‌تر جامعه میکروبی.
- ۶- عوامل محیطی مانند دما، pH و نوسانات بار آلودگی در تحلیل‌ها لحاظ نشده‌اند.
راه‌حل: کنترل و بررسی تأثیر این عوامل در طراحی آزمایش‌ها و تحلیل نتایج برای افزایش دقت.
- ۷- هزینه‌های اقتصادی روش‌های پیشنهادی در این مطالعه بررسی نشده‌اند.
راه‌حل: انجام تحلیل‌های هزینه-فایده برای ارزیابی عملی بودن روش‌ها در مقیاس اجرایی.
- ۸- تمرکز مطالعه فقط بر شاخص‌هایی مانند SVI و MLSS بوده و سایر شاخص‌های عملکردی نادیده گرفته شده‌اند.
راه‌حل: افزودن شاخص‌هایی مانند COD، BOD، TSS و نرخ حذف آلاینده‌ها در مطالعات آینده.
- ۹- تعاملات بین روش‌های فیزیکی و شیمیایی و اثرات هم‌افزایی یا تداخلی آن‌ها بررسی نشده‌اند.
راه‌حل: طراحی آزمایش‌های ترکیبی برای تحلیل دقیق‌تر تعاملات و بهینه‌سازی شرایط عملیاتی.

1. Tchobanoglous G, Burton F, Stensel HD. Wastewater engineering: treatment and reuse. American Water Works Association Journal. 2013;95(5):201.
2. Zou J, Pan J, Wu S, Qian M, He Z, Wang B, et al. Rapid control of activated sludge bulking and simultaneous acceleration of aerobic granulation by adding intact aerobic granular sludge. Science of the total environment. 2019;674:105-13.
3. Wanner J. Activated sludge: bulking and foaming control: CRC Press; 2014.
4. Eikelboom DH. Process control of activated sludge plants by microscopic investigation: IWA publishing; 2020.
5. Bratby J. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment: IWA publishing; 2016.
6. Asgari G, Seid-Mohammadi A, Khoshniyat R, Ghahramani E, Shabrandi H. Bulking control in complete-mixed activated sludge process using combination of metallic coagulants and static magnetic fields. Avicenna Journal of Environmental Health Engineering. 2022;9(1):9-17.
7. Troynikov O, Watson C, Jadhav A, Nawaz N, Kettlewell R. Towards sustainable and safe apparel cleaning methods: A review. Journal of Environmental Management. 2016;182:252-64.
8. Lu M, Wei X. Treatment of oilfield wastewater containing polymer by the batch activated sludge reactor combined with a zerovalent iron/EDTA/air system. Bioresource technology. 2011;102(3):2555-62.
9. Higashino M, Stefan HG. Non-linear effects on solute transfer between flowing water and a sediment bed. Water Research. 2021;45(18):6074-86.
10. Mojiri A, Vakili M, Farraji H, Aziz SQ. Combined ozone oxidation process and adsorption methods for the removal of acetaminophen and amoxicillin from aqueous solution; kinetic and optimisation. Environmental Technology & Innovation. 2019;15:100404.
11. Yavuz H, Celebi SS. Effects of magnetic field on activity of activated sludge in wastewater treatment. Enzyme and Microbial Technology. 2020;26(1):22-7.
12. Syamimi Zaidi N, Syafiuddin A, Sillanpää M, Burhanuddin Bahrodin M, Zhang Zhan L, Ratnasari A, et al. Insights into the potential application of magnetic field in controlling sludge bulking and foaming: A review. Bioresource Technology. 2022;358:127416.
13. Martins AM, Heijnen JJ, van Loosdrecht MC. Bulking sludge in biological nutrient removal systems. Biotechnology and bioengineering. 2014;86(2):125-35.
14. Bitton G. Wastewater microbiology: John Wiley & Sons; 2021.
15. Zareei S, Zareei A, Kanani B, Kakapour V, Zareei M, Nekouei Esfahani A. Evaluation of the Efficiency of Sanandaj Sewage Treatment Plan in the Purification of pollutants using Activated Sludge Method. Beyhagh. 2019;24(1):40-50.
16. Shi H-X, Wang J, Liu S-Y, Guo J-S, Fang F, Chen Y-P, et al. New insight into filamentous sludge bulking: potential role of AHL-mediated quorum sensing in deteriorating sludge floc stability and structure. Water Research. 2022;212:118096.

17. Sustarsic M. Wastewater Treatment: Understanding the Activated Sludge Process. *Chemical Engineering Progress*. 2009;105:26-9.
18. D'Antoni B, Iracà F, Romero M. Filamentous foaming and bulking in activated sludge treatments: causes and mitigation actions. *Panta Rei Water Solutions*: Fiesse, Italy. 2017.
19. Martins AM, Pagilla K, Heijnen JJ, van Loosdrecht MC. Filamentous bulking sludge—a critical review. *Water research*. 2004;38(4):793-817.
20. Takdastan A, Karimi F, Orooji N. Effect of Oxidic-settling anoxic process on operation parameters and biological excess sludge reduction in sequencing batch reactor activated sludge. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2018;28(162):128-40.
21. Lou I, Zhao Y. Sludge bulking prediction using principle component regression and artificial neural network. *Mathematical Problems in Engineering*. 2012;2012(1):237693.
22. Gerardi MH. *Settleability problems and loss of solids in the activated sludge process*: John Wiley & Sons; 2003.
23. Bafghi MF, Yousefi N. Role of *Nocardia* in activated sludge. *The Malaysian journal of medical sciences: MJMS*. 2016;23(3):86.
24. Nierychlo M, McIlroy SJ, Kucheryavskiy S, Jiang C, Ziegler AS, Kondrotaitė Z, et al. *Candidatus Amarolinea* and *Candidatus Microthrix* are mainly responsible for filamentous bulking in Danish municipal wastewater treatment plants. *Frontiers in microbiology*. 2020;11:1214.
25. Guo J, Peng Y, Wang S, Yang X, Wang Z, Zhu A. Stable limited filamentous bulking through keeping the competition between floc-formers and filaments in balance. *Bioresource Technology*. 2012;103(1):7-15.
26. Ma Y, Qiao Y, Zhang X, Ye L. Filamentous bacteria-induced sludge bulking can alter antibiotic resistance gene profiles and increase potential risks in wastewater treatment systems. *Environment International*. 2024;190:108920.
27. Li S, Wang L, Liu B, Wang L, Zhang X, Fei X. Insight into sludge bulking in a full-scale wastewater treatment plant: Quorum sensing, microbial community, and metabolic characteristics. *Environmental Technology & Innovation*. 2024;34:103562.
28. Esfahani MM, Soheili M. Pilot Control of Viscous Bulking in the Activated Sludge Treatment of Industrial Effluent from Soft Drink Plants. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian)*. 2007;18(2):46-52.
29. Xu S, Sun M, Zhang C, Surampalli R, Hu Z. Filamentous sludge bulking control by nano zero-valent iron in activated sludge treatment systems. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 2014;16(12):2721-8.
30. Lu X, Yan G, Fu L, Cui B, Wang J, Zhou D. A review of filamentous sludge bulking controls from conventional methods to emerging quorum quenching strategies. *Water Research*. 2023;236:119922.
31. Sahbaei A, Azimi A, Karbasi M, Babamir S. The Effect of Lime in Removal of Filamentous Bacteria and Control of Bulking. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian)*. 1999;10(2):31-8.
32. Ferreira V, Dias N, Pereira MO, Mota M, Nicolau A, editors. *Use of biocides in the control of filamentous bulking in activated-sludge*. BOOK OF ABSTRACTS OF.

33. Lyko S, Teichgräber B, Kraft A. Bulking control by low-dose ozonation of returned activated sludge in a full-scale wastewater treatment plant. *Water Science and Technology*. 2012;65(9):1654-9.
34. Sam T, Le Roes-Hill M, Hoosain N, Welz PJ. Strategies for controlling filamentous bulking in activated sludge wastewater treatment plants: The old and the new. *Water*. 2022;14(20):3223.
35. Caravelli A, Giannuzzi L, Zaritzky N. Effect of ozone on filamentous bulking in a laboratory scale activated sludge reactor using respirometry and INT-dehydrogenase activity. *Journal of Environmental Engineering*. 2006;132(9):1001-10.
36. Zaidi NS, Syafiuddin A, Sillanpää M, Bahrodin MB, Zhan LZ, Ratnasari A, et al. Insights into the potential application of magnetic field in controlling sludge bulking and foaming: a review. *Bioresource Technology*. 2022;358:127416.
37. Zaidi N. Application of magnetic field for reduction of sludge bulking in activated sludge system. *Universiti Teknologi Malaysia*. 2016.
38. Qu J, Wang H, Wang K, Yu G, Ke B, Yu H-Q, et al. Municipal wastewater treatment in China: Development history and future perspectives. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 2019;13(6):88.
39. Liu Y, Yuan L, Huang S, Huang D, Liu B. Integrated design of monitoring, analysis and maintenance for filamentous sludge bulking in wastewater treatment. *Measurement*. 2020;155:107548.
40. Mandal D, Mondal S, Biswas S, Seal S, Das S, Bagchi S, et al. Wastewater Treatment in India—A New Perspective. *Monitoring and Managing Multi-hazards: A Multidisciplinary Approach*: Springer; 2022. p. 277-92.
41. Al-Asheh S, Bagheri M, Aidan A. Membrane bioreactor for wastewater treatment: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2021;4:100109.
42. Lin L, Jiang W, Xu X, Xu P. A critical review of the application of electromagnetic fields for scaling control in water systems: mechanisms, characterization, and operation. *NPJ Clean Water*. 2020;3(1):25.
43. Di Costanzo N, Di Capua F, Cesaro A, Mascolo MC, Pirozzi F, Esposito G. Impact of high-intensity static magnetic field on chemical properties and anaerobic digestion of sewage sludge. *Waste and Biomass Valorization*. 2023;14(8):2469-79.
44. Stratton HM, Nittami T, Esteban NH, Petrovski S, Seviour RJ. Influence of season on the microbial population dynamics of activated sludge. *Journal of Applied Microbiology*. 2024;135(1):lxae014.
45. Lu X, Wang Z, Kong Z, Duan H, Zuo Z, Hu Z, et al. Upgrading waste activated sludge into valuable biosolids via an integrated biochemical approach. *Water Research X*. 2025;28:100325.
46. Banti DC, Tsangas M, Samaras P, Zorpas A. LCA of a membrane bioreactor compared to activated sludge system for municipal wastewater treatment. *Membranes*. 2020;10(12):421.
47. Cai X, Mao Y, Xu J, Tian L, Wang Y, Iqbal W, et al. Characterizing community dynamics and exploring bacterial assemblages in two activated sludge systems. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2020;104(4):1795-808.

48. Zaidi NS, Zhan LZ, Bahrodin MB, Hussein N, Awang NA, Kadier A. Improvement of biomass aggregation in sludge bulking by magnetic field application. *Environmental Quality Management*. 2022;32(1):151-8.
49. Sharma M, Yadav A, Mandal MK, Pandey S, Pal S, Chaudhuri H, et al. Wastewater treatment and sludge management strategies for environmental sustainability. *Circular economy and sustainability*: Elsevier; 2022. p. 97-112.
50. Li W-M, Liao X-W, Guo J-S, Zhang Y-X, Chen Y-P, Fang F, et al. New insights into filamentous sludge bulking: the potential role of extracellular polymeric substances in sludge bulking in the activated sludge process. *Chemosphere*. 2020;248:126012.
51. Bayo J, Angosto J, Serrano-Aniorte J, Cascales-Pujalte J, Fernández-López C, López-Castellanos J. Evaluation of physicochemical parameters influencing bulking episodes in a municipal wastewater treatment plant. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2006;95.
52. Wang J, Li Q, Qi R, Tandoi V, Yang M. Sludge bulking impact on relevant bacterial populations in a full-scale municipal wastewater treatment plant. *Process Biochemistry*. 2014;49(12):2258-65.
53. Wang Y, Gu X, Quan J, Xing G, Yang L, Zhao C, et al. Application of magnetic fields to wastewater treatment and its mechanisms: a review. *Science of the Total Environment*. 2021;773:145476.
54. Deepnarain N, Nasr M, Amoah ID, Enitan-Folami AM, Reddy P, Stenström TA, et al. Impact of sludge bulking on receiving environment using quantitative microbial risk assessment (QMRA)-based management for full-scale wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management*. 2020;267:110660.
55. Smith K, Guo S, Zhu Q, Dong X, Liu S. An evaluation of the environmental benefit and energy footprint of China's stricter wastewater standards: can benefit be increased? *Journal of Cleaner Production*. 2019;219:723-33.
56. Mentzer C, Drinkwater M, Pagilla KR. Investigation of direct waste- activated sludge dewatering benefits and costs in a water resource recovery facility. *Water Environment Research*. 2021;93(12):2998-3010.
57. Sołtysik DA, Bednarek IA, Loch TM, Gałka SE, Sypniewski DJ, Machnik GM, et al. Repetitive extragenic palindromic PCR (REP-PCR) as an alternative method for detection of bulking in activated sludge. *Polish Journal of Microbiology*. 2010;59(1):11.
58. Zaidi NS, Sohaili J, Muda K, Sillanpää M, Hussein N. Effect of magnetic field on biomass properties and their role in biodegradation under condition of low dissolved oxygen. *Applied Water Science*. 2021;11(7):114.
59. Khatkar S, Kaur P, Singh R, Pareek B. Waste Water Treatment and Future Perspectives. *Contemporary Advances in Science and Technology*. 2024;7(2):105-16.
60. Шахмoв Ж. ASSESSMENT OF PRODUCTION WASTEWATER CONDITION AND MAIN METHODS OF TREATMENT REALIZATION. *Вестник БКТУ*. 2024(3).
61. Li Z, Yang P, editors. Review on physicochemical, chemical, and biological processes for pharmaceutical wastewater. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; 2018: IOP Publishing.

62. Angelakis AN, Snyder SA. Wastewater treatment and reuse: Past, present, and future. MDPI; 2015. p. 4887-95.
63. Derco J, Žgajnar Gotvajn A, Guľašová P, Kassai A, Šoltýsová N. Nutrient removal and recovery from municipal wastewater. *Processes*. 2024;12(5):894.
64. Allende-Prieto C, Corral-Nieto FJ, Álvarez-Fuertes D, Sañudo-Fontaneda LA. Development of an experimental methodology to identify spatial variations in bulk material storage through radar images to reduce environmental impact in port infrastructures. *Heliyon*. 2025;11(10).
65. Naşcu I, Harja G, Stanese M, Naşcu I, editors. Alternating Aeration Control And Optimization In Activated Sludge Processes. 2024 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR); 2024: IEEE.
66. Verteletsky E, Yulmetova R, Volkov B, Rumyantsev D, editors. Automation of activated sludge quality monitoring in wastewater treatment using computer vision technology. E3S Web of Conferences; 2024: EDP Sciences.
67. Kong Y, Shen Z. Microorganism detection in activated sludge microscopic images using improved YOLO. *Applied Sciences*. 2023;13(22):12406.
68. Fischer H, Mille-Lindblom C, Zwirnmann E, Tranvik LJ. Contribution of fungi and bacteria to the formation of dissolved organic carbon from decaying common reed (*Phragmites australis*). 2006.
69. Dinh NT, Dat NT, Toan NK, Le Anh P. The roles of microalgae and bacteria in wastewater treatment. *Vietnam Journal of Biotechnology*. 2022;20(3):573-88.
70. Hocinat A, Ali-Khodja H, Boudemagh A. Capability of *Nocardia nova* found in activated sludge to use synthetic BTEX as sole source of carbon and energy. *International Journal of Environmental Studies*. 2019.
71. Nielsen PH, Thomsen TR, Nielsen JL. Bacterial composition of activated sludge-importance for floc and sludge properties. *Water Science and Technology*. 2004;49(10):51-8.
72. Forde BM, O'Toole PW. Next-generation sequencing technologies and their impact on microbial genomics. *Briefings in functional genomics*. 2013;12(5):440-53.
73. Zhou B, Wang C, Putzel G, Hu J, Liu M, Wu F, et al. An integrated strain-level analytic pipeline utilizing longitudinal metagenomic data. *Microbiology Spectrum*. 2024;12(11):e01431-24.
74. Pell M, Wörman A. Biological wastewater treatment systems. *Encyclopedia of ecology*. 2008;16:426-44.
75. Novikov A, Filimonov M, Dugin E, Golovanchikov A, editors. Modeling a biological wastewater treatment system. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; 2020: IOP Publishing.
76. Waqas S, Harun NY, Sambudi NS, Abioye KJ, Zeeshan MH, Ali A, et al. Effect of operating parameters on the performance of integrated fixed-film activated sludge for wastewater treatment. *Membranes*. 2023;13(8):704.
77. Ye J, Liang J, Wang L, Markou G, Jia Q. Operation optimization of a photo-sequencing batch reactor for wastewater treatment: study on influencing factors and impact on symbiotic microbial ecology. *Bioresource Technology*. 2018;252:7-13.

78. Zhang M-L, Ren Y-M, Li K-F, Wang J, Chen Z-B, Hou Z-Y. Biological Process with Magnetic Bacteria for Slaughter-house Wastewater Treatment. *China Water & Wastewater*. 2005;21(7):36-8.
79. Basuvaraj M, Fein J, Liss SN. Protein and polysaccharide content of tightly and loosely bound extracellular polymeric substances and the development of a granular activated sludge floc. *Water research*. 2015;82:104-17.
80. Higgins MJ, Tom LA, Sobock DC. Case study I: Application of the divalent cation bridging theory to improve biofloc properties and industrial activated sludge system performance—Direct addition of divalent cations. *Water environment research*. 2004;76(4):344-52.
81. Zhijun R, Pengfei W, Jiayu T, Zhiliu Z. Effects of a low-strength magnetic field on the characteristics of activated sludge for membrane fouling mitigation. *RSC advances*. 2019;9(16):9180-6.
82. Guang-ping Y, Jing-yang W, Ming-zhe Y, Yang Y, editors. Research on prediction method of sludge bulking based on ANN and grey Markov model. 2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER); 2015: IEEE.
83. Zaidi NS, Sohaili J, Hussein N, Bahrodin MB, editors. Enhanced Biomass Properties In Sludge Bulking: Impact of Static Magnetic Field. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2020: IOP Publishing.
84. Levén L, Wijnbladh E, Tuvešson M, Kragelund C, Hallin S. Control of *Microthrix parvicella* and sludge bulking by ozone in a full-scale WWTP. *Water Science and Technology*. 2016;73(4):866-72.
85. Gao S, Pan W, Niu L, Lu H, Wang X. Population Composition, Physiology and Ecology of Filamentous Bacteria in Activated Sludge. *Processes*. 2024;12(10):2156.
86. Keyvan Hosseini M, Liu L, Keyvan Hosseini P, Bhattacharyya A, Lee K, Miao J, et al. Review of hollow fiber (HF) membrane filtration technology for the treatment of oily wastewater: applications and challenges. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022;10(9):1313.
87. Sobock DC, Higgins MJ. Examination of three theories for mechanisms of cation-induced bioflocculation. *Water research*. 2002;36(3):527-38.
88. Costa TRAAD, Weber OB, Pestana CJ, Capelo-Neto J. Bioindicators assessing water quality and environmental impacts of water treatment plant sludge. *International journal of environment and sustainable development*. 2017;16(1):25-42.
89. Tuan P-A, Mika S, Pirjo I. Sewage sludge electro-dewatering treatment—A review. *Drying Technology*. 2012;30(7):691-706.
90. Krasner SW. The formation and control of emerging disinfection by-products of health concern. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2009;367(1904):4077-95.
91. Jasper JT, Yang Y, Hoffmann MR. Toxic byproduct formation during electrochemical treatment of latrine wastewater. *Environmental Science & Technology*. 2017;51(12):7111-9.

92. Ma F, Wang Q, Zhu X-S, Shan J, Du C, Sun J-W. Application status and development trend of magnetic technology in wastewater treatment. *China Water & Wastewater*. 2010;26(14):34-7.
93. Lekhlif B, Oudrhiri L, Zidane F, Drogui P, Blais J. Study of the electrocoagulation of electroplating industry wastewaters charged by nickel (II) and chromium (VI). *J Mater Environ Sci*. 2014;5(1):111-20.
94. Prakash N, Sockan V, Jayakaran P. Waste water treatment by coagulation and flocculation. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*. 2014;3(2):479-84.
95. Liang J, Zhang S, Huang J, Huang S, Zheng L, Sun S, et al. Comprehensive insights into the inorganic coagulants on sludge dewatering: comparing aluminium and iron salts. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2019;94(5):1534-50.
96. Maćczak P, Kaczmarek H, Ziegler-Borowska M, Węgrzynowska-Drzymalska K, Burkowska-But A. The use of chitosan and starch-based flocculants for filter backwash water treatment. *Materials*. 2022;15(3):1056.
97. Gautam S, Saini G. Use of natural coagulants for industrial wastewater treatment. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2020;6(4):553-78.
98. Wei H, Gao B, Ren J, Li A, Yang H. Coagulation/flocculation in dewatering of sludge: a review. *Water research*. 2018;143:608-31.
99. Cao X, Yu R, Wang X. Impact of Conditioning Agent Addition Sequence on Dewatering Performance of Advanced Anaerobic Digested Sludge. *Water*. 2024;16(5):695.
100. Teh CY, Budiman PM, Shak KPY, Wu TY. Recent advancement of coagulation–flocculation and its application in wastewater treatment. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2016;55(16):4363-89.
101. Tünay O. Developments in the application of chemical technologies to wastewater treatment. *Water science and technology*. 2004;48(11-12):43-52.
102. Oturan MA, Aaron J-J. Advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: principles and applications. A review. *Critical reviews in environmental science and technology*. 2014;44(23):2577-641.
103. Goldwyn PLP, Saseetharan M, Jayanthi J. Effect of chlorine in controlling the filamentous bulking in dairy activated sludge and its settling characteristics. 2010.
104. Nilsson F. Application of ozone in wastewater treatment: Oxidation of pharmaceuticals and filamentous bulking sludge. 2017.
105. Wang L, Hou H. Advancements in Photocatalytic H₂O₂ Production via Carbon Vacancy- Engineered g- C₃N₄. *ChemCatChem*. 2024;16(22):e202401099.
106. Moradinejad S, Glover CM, Mailly J, Seighalani TZ, Peldszus S, Barbeau B, et al. Using advanced spectroscopy and organic matter characterization to evaluate the impact of oxidation on cyanobacteria. *Toxins*. 2019;11(5):278.
107. Wijnblad E. Ozone technology for sludge bulking control: Institutionen för geovetenskap; 2007.

108. Wang JL, Xu LJ. Advanced oxidation processes for wastewater treatment: formation of hydroxyl radical and application. *Critical reviews in environmental science and technology*. 2012;42(3):251-325.
109. Fiessinger F, Richard Y, Montiel A, Musquere P. Advantages and disadvantages of chemical oxidation and disinfection by ozone and chlorine dioxide. *Science of the Total Environment*. 1981;18:245-61.
110. Hossen A, Ahmed F, Saha SS, Mondal MIH. Advantages of ozone disinfection method for water purification over chlorine disinfection. *Nat Resour Conserv Res*. 2023;6:2090.
111. Tao Y. Advanced Oxidation Processes for Water Purification Applications. *Int J Innov Entrep*. 2022;1(2).
112. Zaidi NS, Sohaili J, Muda K, Sillanpää M. Magnetic field application and its potential in water and wastewater treatment systems. *Separation & Purification Reviews*. 2014;43(3):206-40.
113. Filipič J, Kraigher B, Tepuš B, Kokol V, Mandić-Mulec I. Effect of low-density static magnetic field on the oxidation of ammonium by *Nitrosomonas europaea* and by activated sludge in municipal wastewater. *Food technology and biotechnology*. 2015;53(2):201.
114. Kovacs PE, Valentine RL, Alvarez PJ. The effect of static magnetic fields on biological systems: implications for enhanced biodegradation. *Critical reviews in environmental science and technology*. 1997;27(4):319-82.
115. Tenforde T. Interaction mechanisms and biological effects of static magnetic fields. Pacific Northwest Lab., Richland, WA (United States); 1994.
116. Asgari G, Seid-Mohammadi A, Shokoohi R, Samarghandi MR, Daigger GT, Malekolkalami B, et al. Exposure of the static magnetic fields on the microbial growth rate and the sludge properties in the complete-mix activated sludge process (a Lab-scale study). *Microbial Cell Factories*. 2023;22(1):195.
117. Niu C, Liang W, Ren H, Geng J, Ding L, Xu K. Enhancement of activated sludge activity by 10–50 mT static magnetic field intensity at low temperature. *Bioresource technology*. 2014;159:48-54.
118. Zieliński M, Dębowski M, Kazimierowicz J. The effect of static magnetic field on methanogenesis in the anaerobic digestion of municipal sewage sludge. *Energies*. 2021;14(3):590.
119. Wu H, Gao D, Wang S, Xu S, Ma T, Li L, editors. Design and optimization of large-scale single-crystal furnaces asymmetric hooked magnetic fields. *Journal of Physics: Conference Series*; 2022: IOP Publishing.
120. Johnson MB, Mehrvar M. Co-treatment of winery and domestic wastewaters in municipal wastewater treatment plants: Analysis of biodegradation kinetics and process performance impacts. *Sustainability*. 2023;15(8):6741.
121. Alam G, Ihsanullah I, Naushad M, Sillanpää M. Applications of artificial intelligence in water treatment for optimization and automation of adsorption processes: Recent advances and prospects. *Chemical engineering journal*. 2022;427:130011.
122. Loh Z-H, Doumy G, Arnold C, Kjellsson L, Southworth S, Al Haddad A, et al. Observation of the fastest chemical processes in the radiolysis of water. *Science*. 2020;367(6474):179-82.

123. Popat DS, Manohar G, Ramamurthy N, Babu RN, Mir NA, Jaywant RJ. Effect of vacuum tumbling on quality and economy of tandoori chicken prepared from commercial broiler chicken meat. 2017.
124. Zaidi NS, Muda K, Sohaili J, Hussein N, Loan LW, Sillanpää M. Potential of a static magnetic field to inhibit filamentous sludge bulking in activated sludge process. *Journal of Environmental Engineering*. 2019;145(3):04019001.
125. Zhang M, Yao J, Wang X, Hong Y, Chen Y. The microbial community in filamentous bulking sludge with the ultra-low sludge loading and long sludge retention time in oxidation ditch. *Scientific Reports*. 2019;9(1):13693.
126. Nilsson F, Davidsson Å, Falås P, Bengtsson S, Bester K, Jönsson K. Impact of activated sludge ozonation on filamentous bacteria viability and possible added benefits. *Environmental technology*. 2019.
127. Batinovic S, Wassef F, Knowler SA, Rice DT, Stanton CR, Rose J, et al. Bacteriophages in natural and artificial environments. *Pathogens*. 2019;8(3):100.
128. Tsai K-P, Uzun H, Chen H, Karanfil T, Chow AT. Control wildfire-induced *Microcystis aeruginosa* blooms by copper sulfate: Trade-offs between reducing algal organic matter and promoting disinfection byproduct formation. *Water research*. 2019;158:227-36.
129. Liu H, Gong P, Wang J, Clinton N, Bai Y, Liang S. Annual dynamics of global land cover and its long-term changes from 1982 to 2015. *Earth System Science Data*. 2020;12(2):1217-43.
130. Lipps WC, Braun-Howland EB, Baxter TE. Standard methods for the examination of water and wastewater 2023.
131. Wongburi P, Park JK. Prediction of Sludge Volume Index in a Wastewater Treatment Plant Using Recurrent Neural Network. *Sustainability*. 2022;14(10):6276.
132. Torfs E, Nopens I, Winkler M, Vanrolleghem PA, Balemans S, Smets IY. Settling tests. *Experimental methods in wastewater treatment*. 2016:235-62.
133. Roels T, Dauwe F, Van Damme S, De Wilde K, Roelandt F. The influence of PAX-14 on activated sludge systems and in particular on *Microthrix parvicella*. *Water Science and Technology*. 2002;46(1-2):487-90.
134. Mamais D, Kalaitzi E, Andreadakis A. Foaming control in activated sludge treatment plants by coagulants addition. 2011.
135. Sarparastzadeh H, Saeedi M, Naeimpoor F, Aminzadeh B. Pretreatment of municipal wastewater by enhanced chemical coagulation. 2007.
136. Yazdanbakhsh A, Mehdipour F, Eslami A, Maleksari HS, Ghanbari F. The combination of coagulation, acid cracking and Fenton-like processes for olive oil mill wastewater treatment: phytotoxicity reduction and biodegradability augmentation. *Water Science and Technology*. 2015;71(7):1097-105.
137. Chand S, Gorathoki M, Yadav Y. A State-of-The-Art Technical Review on Chemically Enhanced Primary Treatment Plant.
138. Caravelli A, Giannuzzi L, Zaritzky N. Effectiveness of chlorination and ozonation methods on pure cultures of floc-forming micro-organisms and activated sludge: A comparative study. *Water Sa*. 2006;32(4):585-95.

139. Chang W, Jou S, Chien C, He J. Effect of chlorination bulking control on water quality and phosphate release/uptake in an anaerobic-oxic activated sludge system. *Water Science and Technology*. 2004;50(8):177-83.
140. Ehsanifar M, Jonidi Jafari A, Shirzad Siboni M, Asadgol Z, Arfaeinia H. Effect of ozonation and hydrogen peroxide on reducing the volume and chemical oxygen demand of waste water treatment plants sludge. *Caspian Journal of Health Research*. 2018;3(1):15-9.
141. Mesquita DP, Amaral AL, Ferreira EC, Coelho MA. Study of saline wastewater influence on activated sludge flocs through automated image analysis. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*. 2009;84(4):554-60.
142. Van Leeuwen J. Bulking control with ozonation in a nutrient removal activated sludge system. *Water SA*. 1988;14(3):119-24.
143. Lü Y-T, Zhu C-S, Zhang X-Y, Xu C, Pan Y-B, Liu S, et al. Effect of Ozone Dosage on Sludge Settleability and Biological Nutrient Removal in SBR System. *Huan Jing ke Xue= Huanjing Kexue*. 2021;42(7):3400-4.
144. Knoop S, Kunst S. Influence of temperature and sludge loading on activated sludge settling, especially on *Microthrix parvicella*. *Water Science and Technology*. 1998;37(4-5):27-35.
145. Ji Y, Wang Y, Sun J, Yan T, Li J, Zhao T, et al. Enhancement of biological treatment of wastewater by magnetic field. *Bioresource technology*. 2010;101(22):8535-40.
146. Akinnawo SO, Ayadi PO, Temitope M. Chemical coagulation and biological techniques for wastewater treatment. *water resources*. 2023;5:10.
147. Farajnezhad H, Gharbani P. Coagulation treatment of wastewater in petroleum industry using poly aluminum chloride and ferric chloride. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*. 2012;13(1):306-10.
148. Shangguan Y, Qiu B, Ma Z, He L, editors. Application of Magnetic Coagulation Sedimentation Tank and Sand-adding High-efficiency Sedimentation Tank in Sewage Treatment. *E3S Web of Conferences*; 2025: EDP Sciences.
149. Ma X-G, Xue X-X, Ma Z-X, Cui W, Fu J-X. Study on effect influence of coagulant on filamentous sludge bulking. *Journal of Materials and Metallurgy*. 2010;9(2):154-8.
150. Zaidi NS, Muda K, Hussein N, Sillanpää M. Potential inhibition of filamentous microorganisms in sludge bulking by static magnetic field. *Int J Eng Technol (UAE)*. 2018;7(3):15-7.
151. Niu C, Geng J, Ren H, Ding L, Xu K, Liang W. The strengthening effect of a static magnetic field on activated sludge activity at low temperature. *Bioresource technology*. 2013;150:156-62.
152. Łebkowska M, Rutkowska-Narożniak A, Pajor E, Pochanke Z. Effect of a static magnetic field on formaldehyde biodegradation in wastewater by activated sludge. *Bioresource technology*. 2011;102(19):8777-82.
153. Adishkumar S, Kanmani S. Treatment of phenolic wastewaters in single baffle reactor by Solar/TiO₂/H₂O₂ process. *Desalination and Water Treatment*. 2010;24(1-3):67-73.
154. Barrera-Díaz CE, Frontana-Urbe BA, Roa-Morales G, Bilyeu BW. Reduction of pollutants and disinfection of industrial wastewater by an integrated system of copper

- electrocoagulation and electrochemically generated hydrogen peroxide. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. 2015;50(4):406-13.
155. Mayangsari DIE, Novembrianto R. Penggunaan Hidrogen Peroksida pada Kolam Lumpur Aktif Upaya Menghilangkan Filamentous dan Meningkatkan Nilai Index Pengendapan Bio Sludge di PT. X Industri Kertas Jawa Timur. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*. 2023;2(1):33-42.
156. Krzemieniewski M, Debowski M, Janczukowicz W, Pesta J. Effect of Sludge Conditioning by Chemical Methods with Magnetic Field Application. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2003;12(5).
157. Barrington DJ, Ghadouani A, Ivey G. Cyanobacterial and microcystins dynamics following the application of hydrogen peroxide to waste stabilisation ponds. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2013;17(6):2097-105.
158. Zieliński M, Cydzik-Kwiatkowska A, Zielińska M, Dębowski M, Rusanowska P, Kopańska J. Nitrification in activated sludge exposed to static magnetic field. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2017;228(4):126.
159. Ayed L, Ksibi IE, Charef A, Mzoughi RE. Hybrid coagulation-flocculation and anaerobic-aerobic biological treatment for industrial textile wastewater: pilot case study. *The Journal of the Textile Institute*. 2021;112(2):200-6.
160. Tasneem A, Sarker P, Uddin MK. Comparative efficacy of coagulation-flocculation and advanced oxidation process (AOP: Fenton) for textile wastewater treatment. *environment*. 2020;8:9.
161. Lucas MS, Teixeira AR, Jorge N, Peres JA. Industrial wastewater treatment by coagulation–flocculation and advanced oxidation processes: A review. *Water*. 2025;17(13):1934.

Comparison of the Efficiency of Coagulation-Flocculation, Oxidation, and Static Magnetic Fields in Controlling Bulking in Biological Wastewater Treatment Processes

Abstract

Introduction: Bulking is one of the most significant operational challenges in municipal wastewater treatment plants, causing disturbances in settling, increased effluent pollutant load, and reduced overall system efficiency. This study aimed to compare the effectiveness of three bulking control methods, including coagulation-flocculation, oxidation, and static magnetic fields, as well as their combined effects on the functional indicators of the biological wastewater treatment process.

Materials and Methods: The study was conducted at a laboratory scale using wastewater from the Sanandaj treatment plant. Sixty 1-liter sludge samples with an initial SVI above 200 mL/g were collected. Experiments were performed under controlled conditions (pH 7, temperature 25 °C) using jar tests for coagulants (doses 50–200 mg/L), oxidation using H₂ O₂ (doses 50, 100, 300, 500 mg/L), Cl₂ (doses 3, 5, 10, 20 mg/L), and O₃ (dose 3 g/h), and a static magnetic field device (intensities 1–3 mT). SVI, MLSS, and filamentous bacteria counts were measured according to standard methods. Statistical analysis was performed using SPSS, including descriptive statistics (mean, standard deviation), t-tests, ANOVA for group comparisons, and regression analysis for relationships.

Results: The results showed that the optimal coagulants in terms of sludge volume index were polyaluminum chloride at 50 mg/L, alum at 50 mg/L, and ferric chloride at 100 mg/L, which reduced SVI from 250 to 120 mL/g, 250 to 124 mL/g, and 274 to 126 mL/g, respectively. Among oxidants, chlorine at 5 mg/L achieved the optimal SVI, reducing it from 258 to 138 mL/g. For static magnetic fields, the optimal condition in terms of SVI and MLSS changes was an intensity of 3 mT, which reduced SVI from 283 to 150 mL/g. Among combined treatments, the most effective SVI reductions were observed with 100 mg/L ferric chloride combined with a 3 mT magnetic field and 50 mg/L polyaluminum chloride combined with a 3 mT magnetic field. The greatest reduction in filamentous bacteria colonies occurred with 50 mg/L hydrogen peroxide combined with a 3 mT magnetic field, reducing colony counts from 322 to 166. The least reduction in beneficial bacteria was observed under the magnetic field alone, with only a 5% decrease.

Conclusion: The optimal conditions were 50 mg/L polyaluminum chloride among coagulants, 5 mg/L chlorine among oxidants, and a 3 mT intensity among magnetic field treatments. Among combined treatments, the most effective condition was 100 mg/L ferric chloride with a 3 mT magnetic field. The greatest reduction in filamentous bacteria was observed with 50 mg/L hydrogen peroxide combined with a 3 mT magnetic field, whereas the least impact on beneficial bacteria was due to the magnetic field alone.

Keywords: Bulking, activated sludge, coagulation-flocculation, oxidation, magnetic fields, SVI, MLSS



**Water and Waste Water
Company of Kurdistan**



**Hamadan University of Medical Sciences
Faculty of Health Sciences**

A Dissertation Submitted for the Degree of Master in
Environmental Health Engineering

Title

Comparison of the Efficiency of Coagulation-Flocculation, Oxidation,
and Static Magnetic Fields in Controlling Bulking in Biological
Wastewater Treatment Processes

By

Parisa Nasrollahi

Supervisors

Dr. Esmail Ghahramani / Dr. Mahdi Safari

Consultants

Dr. Afshin Maleki / Dr. Reza Rezaei

Year: 2025