

بنام خداوند جان و



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

**تصفیه پساب کارخانه تولید خمیرمایه نانوائی
به روش ترکیبی انعقاد الکتریکی و راکتور زیستی غشایی**

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - فرآیندهای جداسازی

محمد رضا خاوری کاشانی

اساتید راهنما

دکتر مرتضی صادقی

دکتر کیخسرو کریمی



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی – فرآیندهای جداسازی آقای محمدرضا خاوری
تحت عنوان

**تصفیه پساب کارخانه تولید خمیرمایه نانوائی
به روش ترکیبی انعقاد الکتریکی و راکتور زیستی غشایی**

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای پایان نامه دکتر مرتضی صادقی

۲. استاد راهنمای پایان نامه دکتر کیخسرو کریمی

۳. استاد داور دکتر احمد محب

۴. استاد داور دکتر ارجمند مهربانی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر مرتضی صادقی

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج
مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های
ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه
متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

قومی متفکرند اندر ره دین *** قومی به گمان فتاده در راه یقین

می ترسم از آن که بانگ آید روزی *** کای بی خبران راه نه آنست و نه این!

(خیام)

حکیمی پسران را پند همی داد که جانان پدر، هنر آموزید که ملک و دولت دنیا، اعتماد را
نشاید و سیم و زر در سفر بر محل خطر است، یا دزد به یک بار ببرد یا خواجه به تفاریق بخورد
اما هنر چشمه زاینده است و دولت پاینده و گر هنرمند از دولت بیفتد غم نباشد که هنر در نفس
خود دولت است. هر کجا که رود قدر بیند و در صدر نشیند و بی هنر لقمه چیند و سختی بیند.

وقتی افتاد فتنه‌ای در شام *** هر کس از گوشه‌ای فرا رفتند

روستا زادگان دانشمند *** به وزیری پادشا رفتند

پسران وزیر ناقص عقل *** به گدایی به روستا رفتند

(گلستان سعدی، باب هفتم)

تشکر و قدردانی

از پدر و مادر عزیزم، به خاطر تمام تلاش‌ها و فداکاری‌هایشان تشکر و سپاس‌گزاری می‌نمایم.

از تلاش‌ها، راهنمایی‌ها و محبت‌های استاد عزیزم جناب آقای دکتر صادقی صمیمانه تشکر می‌نمایم.

از استاد گرامی جناب آقای دکتر کریمی که در طول انجام این پژوهش از نظرها و راهنمایی‌های ارزشمندشان

بهره‌مند شدم سپاس‌گزاری می‌نمایم.

هم‌چنین از جناب آقای دکتر احمد محب و جناب آقای دکتر ارجمند مهربانی که داوری این پایان‌نامه را قبول

زحمت کردند، تشکر می‌نمایم.

در پایان از دوست عزیزم، جناب آقای مهندس حسین نوری به خاطر همه دوستی، مهربانی و کمک‌های بی‌دریغش

صمیمانه تشکر می‌نمایم.

تقدیم به مادر و پدری بخشنده‌تر از باران

فهرست نام‌ها

نام	برگ
فهرست نام‌ها.....	هشت
فهرست جدول‌ها.....	۵د
فهرست شکل‌ها.....	یازده
چکیده.....	۱

۱- فصل نخست: مقدمه

۱-۱- پیش‌زمینه.....	۲
۲-۱- بیان طرح پژوهش.....	۴
۳-۱- سازمان‌دهی پایان‌نامه.....	۵

۲- فصل دوم: پایه‌های نظری و مروری بر پژوهش‌های پیشین

۱-۲- فناوری انعقاد الکتریکی.....	۷
۱-۱-۲- پیشینه.....	۷
۲-۱-۲- پایه‌های نظری.....	۷
۳-۱-۲- برتری‌های انعقاد الکتریکی.....	۹
۴-۱-۲- کاستی‌های انعقاد الکتریکی.....	۱۰
۵-۱-۲- الکترودها و واکنش‌ها.....	۱۰
۶-۱-۲- حالت ناپیوسته و پیوسته.....	۱۲
۷-۱-۲- تاثیر عامل‌های فرآیندی گوناگون بر انعقاد الکتریکی.....	۱۳
۲-۲- انعقاد شیمیایی.....	۱۷
۳-۲- انعقاد الکتریکی در برابر انعقاد شیمیایی.....	۱۸
۴-۲- فرآیندهای ترکیبی تصفیه پساب.....	۱۹
۵-۲- فرآیند تصفیه زیستی.....	۲۰
۶-۲- فناوری راکتور زیستی غشایی.....	۲۱
۱-۶-۲- آرایش کلی راکتور زیستی غشایی.....	۲۱
۲-۶-۲- برتری‌ها و کاستی‌های سامانه‌های راکتور زیستی غشایی.....	۲۲
۳-۶-۲- انواع ماژول‌ها و غشاهای مورد استفاده در راکتور زیستی غشایی.....	۲۳
۴-۶-۲- شرایط فرآیندی.....	۲۴
۵-۶-۲- گرفتگی غشا در راکتور زیستی غشایی.....	۲۶
۶-۶-۲- عامل‌های موثر بر گرفتگی در راکتور زیستی غشایی.....	۲۶
۷-۶-۲- روش‌های کاهش گرفتگی غشا در راکتور زیستی غشایی.....	۲۸
۷-۲- مروری بر پژوهش‌های پیشین.....	۲۹

۳۵..... ۸-۲- نتیجه گیری.....

۳۵..... ۹-۲- بیان هدف پژوهش.....

۳- فصل سوم: مواد و روش ها

۳۸..... ۱-۳- طراحی آزمایش به روش رویه پاسخ.....

۳۹..... ۲-۳- سامانه های آزمایشگاهی.....

۳۹..... ۱-۲-۳- شرح سامانه انعقاد الکتریکی.....

۴۱..... ۲-۲-۳- شرح سامانه راکتور زیستی غشایی.....

۴۳..... ۳-۲-۳- ویژگی های پساب کارخانه خمیرمایه.....

۴۴..... ۳-۳- پایه های نمونه گیری.....

۴۴..... ۱-۳-۳- شاخص های اندازه گیری.....

۴۶..... ۲-۳-۳- تعیین کیفیت جریان های ورودی و خروجی.....

۴- فصل چهارم: نتیجه ها و ارزیابی

۴۹..... ۱-۴- فرآیند انعقاد الکتریکی.....

۵۰..... ۱-۱-۴- ارزیابی آماری.....

۵۱..... ۲-۱-۴- تاثیر عامل های فرآیندی بر بازدهی حذف COD و کدورت.....

۵۹..... ۳-۱-۴- بهینه سازی فرآیند انعقاد الکتریکی.....

۶۰..... ۲-۴- راکتور زیستی غشایی.....

۶۰..... ۳-۴- کیفیت جریان خروجی از راکتور زیستی غشایی.....

۶۱..... ۱-۳-۴- حذف COD.....

۶۳..... ۲-۳-۴- حذف BOD₅.....

۶۴..... ۳-۳-۴- کاهش کدورت.....

۶۶..... ۴-۳-۴- تغییر غلظت MLSS.....

۶۷..... ۵-۳-۴- تغییر اکسیژن محلول و pH.....

۶۹..... ۶-۳-۴- نسبت مواد مغذی به میکروارگانیسم (F/M).....

۵- فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۷۲..... ۱-۵- نتیجه گیری.....

۷۳..... ۲-۵- پیشنهادها.....

۷۴..... پیوست I- ارزیابی خطا.....

۷۷..... مرجع ها.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۲-۱ سازوکار فرآیند انعقاد الکتریکی ۱۲
- شکل ۲-۲ حالت‌های پیوسته و ناپیوسته انعقاد الکتریکی ۱۳
- شکل ۲-۳ دو نوع آرایش مورد استفاده در راکتورهای زیستی غشایی: الف) شناور، ب) جریان کنارگذر ۲۲
- شکل ۲-۴ عامل‌های موثر بر گرفتگی غشا در فرآیند راکتور زیستی غشایی ۲۷
- شکل ۳-۱ طرح کلی سامانه انعقاد الکتریکی ۴۱
- شکل ۳-۲ طرح کلی راکتور زیستی غشایی آزمایش ۴۲
- شکل ۳-۳ غشا و مازول غشایی الیاف تو خالی به کار رفته در راکتور زیستی غشایی ۴۳
- شکل ۴-۱ تاثیر چگالی جریان روی بازدهی حذف COD ۵۴
- شکل ۴-۲ تاثیر چگالی جریان و زمان فرآیند روی حذف COD ۵۴
- شکل ۴-۳ تاثیر چگالی جریان، زمان فرآیند و pH بر بازدهی حذف COD ۵۵
- شکل ۴-۴ تاثیر زمان فرآیند انعقاد الکتریکی بر بازدهی حذف کدورت ۵۶
- شکل ۴-۵ تاثیر چگالی جریان، زمان فرآیند و pH روی بازدهی حذف کدورت ۵۸
- شکل ۴-۶ داده‌های بهینه‌سازی نرم‌افزار برای فرآیند انعقاد الکتریکی ۵۹
- شکل ۴-۷ نمودار سه بعدی بهینه‌سازی فرآیند انعقاد الکتریکی ۵۹
- شکل ۴-۸ تغییر غلظت COD جریان خوراک، تراوش و مخلوط درون راکتور در راکتور زیستی غشایی با زمان ۶۱
- شکل ۴-۹ نمودارهای بازده حذف COD راکتور زیستی و کل فرآیند ۶۲
- شکل ۴-۱۰ نمودارهای تغییر غلظت BOD_5 جریان‌های خوراک و تراوش در راکتور زیستی غشایی با زمان ۶۳
- شکل ۴-۱۱ نمودار بازدهی حذف BOD_5 در راکتور زیستی غشایی با زمان ۶۴
- شکل ۴-۱۲ نمودارهای تغییر جریان‌های خوراک و تراوش در راکتور زیستی غشایی با زمان ۶۵
- شکل ۴-۱۳ نمودار بازدهی حذف کدورت در راکتور زیستی غشایی با زمان ۶۶
- شکل ۴-۱۴ نمودار تغییر غلظت MLSS راکتور زیستی غشایی در روزهای گوناگون با زمان ۶۶
- شکل ۴-۱۵ نمودار تغییر اکسیژن محلول درون راکتور زیستی با زمان ۶۸
- شکل ۴-۱۶ نمودار تغییر pH محلول راکتور زیستی غشایی با زمان ۶۸
- شکل ۴-۱۷ نمودار تغییر مواد مغذی نسبت به میکروارگانیزم (F/M) در راکتور زیستی با زمان ۷۰

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲ مثال‌هایی از فرآیندهای زیستی ۲۱
- جدول ۲-۲ برتری‌ها و کاستی‌های راکتورهای زیستی غشایی ۲۳
- جدول ۳-۲ جنس غشاهای پلیمری مورد استفاده در راکتور زیستی غشایی ۲۴
- جدول ۱-۳ ویژگی‌های الکترودها و راکتور انعقاد الکتریکی ۴۰
- جدول ۲-۳ ویژگی‌های ماژول غشایی آزمایش ۴۳
- جدول ۳-۳ ویژگی‌های پساب ورودی ۴۳
- جدول ۴-۳ روش‌های ارزیابی شاخص‌های مورد نظر و دستگاه‌های به کار رفته در آزمایش‌ها ۴۶
- جدول ۱-۴ نتیجه‌های تعیین بازه مورد بررسی چگالی جریان در آزمایش‌ها ۴۹
- جدول ۲-۴ نتیجه‌های ارزیابی واریانس (ANOVA) برای پاسخ‌ها برای الکتروالومینیوم ۵۰
- جدول ۳-۴ روش مرکزی برای سه عامل مورد بررسی در آزمایش‌ها ۴۹
- جدول ۴-۴ مقایسه میان پژوهش کوبیا و دلپینار و پژوهش حاضر در میزان جریان مصرفی برای حذف COD ۵۷
- جدول ۵-۴ شرایط کارکرد راکتور زیستی غشایی ۶۰
- جدول ۶-۴ نتیجه‌های راکتور زیستی غشایی برای جریان خروجی از فرآیند انعقاد الکتریکی به عنوان خوراک ۶۱
- جدول ۷-۴ مقایسه‌ای میان پژوهش قسمتی روی پساب خمیرمایه و پژوهش حاضر ۷۰

چکیده

در تصفیه پساب‌های صنعتی، گاهی استفاده از دو یا چندین روش لازم می‌شود. انعقاد الکتریکی به‌وسیله تجزیه الکتریکی آند فلزی، توانایی تولید لخته‌های هیدروکسیدهای فلزی در جریان پساب را دارد و راکتور زیستی غشایی توانایی تولید جریان خروجی با کیفیت بالا را دارد. بنابراین ترکیب این دو روش در مقایسه با روش‌های تصفیه تک‌می‌تواند ما را به یک بازدهی حذف آلودگی بالاتر راهبری کند. در این پژوهش ابتدا کارکرد موثر روش انعقاد الکتریکی در تصفیه پساب کارخانه خمیرمایه با استفاده از الکتروود آلومینیوم (Al) مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام آزمایش‌ها از طراحی آزمایش‌ها به‌روش رویه پاسخ مرکزی استفاده شد و تاثیر عامل‌های pH، چگالی جریان و زمان فرآیند روی بازدهی حذف COD و کدورت مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش در فرآیند انعقاد الکتریکی، COD و کدورت پساب خام ورودی از حدود ۹۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۲۷۰۰ NTU به ترتیب به حدود ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۲۷۳ NTU کاهش یافت و بیشترین بازده حذف COD و کدورت برای این فرآیند به ترتیب ۵۸٪ و ۹۰٪ به دست آمد. به‌عنوان نتیجه بهینه‌سازی، بیشترین بازدهی حذف COD و کدورت در شرایط بهینه شامل pH ۵/۵، چگالی جریان ۱۹ میلی‌آمپر بر سانتی‌متر مربع و زمان ۳۸/۸ دقیقه، به ترتیب ۵۲٪ و ۸۹٪ به دست آمد. سپس پساب پیش تصفیه شده با فرآیند انعقاد الکتریکی، به‌عنوان خوراک به راکتور زیستی غشایی هوایی که از قبل با پساب خمیرمایه سازگار شده بود، وارد شد. آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی مورد نظر مانند COD، BOD₅، کدورت در طول فرآیند، اندازه‌گیری شدند. در فرآیند راکتور زیستی غشایی، در مدت زمان ۲۶ روز COD، BOD و کدورت جریان ورودی به راکتور از حدود ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، ۱۰۱۱ میلی‌گرم بر لیتر و ۲۸۹ NTU به ترتیب به حدود ۱۲۲۹ میلی‌گرم بر لیتر، ۲۵۳ میلی‌گرم بر لیتر و ۲/۷۲ NTU کاهش یافت و بیشترین بازده حذف COD، BOD و کدورت برای پساب پیش تصفیه شده با فرآیند انعقاد الکتریکی به ترتیب ۷۰٪، ۷۵٪ و ۹۹٪ به دست آمد. در این دوره هم‌چنین COD مخلوط درون راکتور نیز به‌صورت منظم اندازه‌گیری شد و بیشترین بازدهی حذف COD برای تصفیه زیستی درون راکتور (بدون حضور غشا) ۶۵٪ به دست آمد و تفاوت میان COD مخلوط درون راکتور و جریان تراوش یافته از غشا به‌طور میانگین ۴٪ به دست آمد که نشان‌دهنده برتری فرآیند راکتور زیستی غشایی به فرآیند لجن فعال رایج در تصفیه پساب می‌باشد. میانگین بار آلی راکتور زیستی غشایی در مقدار ۳/۱ کیلوگرم COD بر متر مکعب در روز قرار گرفت. غلظت جامدهای معلق مایع مخلوط (MLSS) در راکتور زیستی غشایی در بازه ۲۹۰۰ و ۶۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر قرار گرفت. زمان ماند هیدرولیکی راکتور زیستی غشایی از لحاظ نظری ۲۴ ساعت در نظر گرفته شد. در فرآیند ترکیبی انعقاد الکتریکی-راکتور زیستی غشایی، بیشترین بازده حذف COD و کدورت به ترتیب ۸۷٪ و ۹۹٪ به دست آمد که با توجه به ویژگی‌های پساب خمیرمایه و مشکل‌های فراوان در زمینه تصفیه این پساب، نشان‌دهنده کارآمدی روش ترکیبی استفاده شده در این پژوهش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: انعقاد الکتریکی، راکتور زیستی غشایی، روش رویه پاسخ، پساب خمیرمایه، روش‌های ترکیبی

تصفیه پساب

فصل نخست

مقدمه

۱-۱- پیش زمینه

آب یکی از منابع ضروری برای بقای تمام گونه‌های شناخته شده حیات می‌باشد. افزایش نیاز به آب و مصرف بیش از اندازه آن در جهان، با کم شدن منابع آب تازه همراه شده است. گسترش صنایع گوناگون و هم‌چنین رشد جمعیت، منجر به بحران جهانی آب در آینده ای نه چندان دور خواهد شد. از چالش‌های مهم پیش روی بیشتر کشورهای جهان، فراهم نمودن آب تمیز جهت فعالیت‌های گوناگون انسانی از قبیل نوشیدن، کشاورزی و صنعت و هم‌چنین تامین نیازهای رشد جمعیت می‌باشد [۱].

بنابراین نیازمندی به تصفیه پساب و استفاده دوباره از آن در بخش‌های گوناگون، در کشورهای گسترش یافته و هم‌چنین در حال گسترش، منجر به ایجاد فشارهای زیست محیطی در اثر ایجاد قوانین سخت گیرانه برای افزایش کیفیت مناسب جریان پساب خروجی از واحدهای تولیدی می‌باشد. از این رو توجه بسیار زیادی به فناوری‌های جدید در زمینه تصفیه پساب شده است که امکان اصلاح و استفاده از پساب تصفیه شده را فراهم می‌نمایند [۲].

برتری‌های کاربرد روش‌های الکتروشیمیایی در تصفیه پساب شامل: سازگاری با محیط زیست، انعطاف‌پذیری، کارآمدی انرژی، امنیت، گزینش‌پذیری، قابل مکانیزه شدن و نزدیک به صفره می‌باشند [۳]. در سال‌های اخیر انعقاد الکتریکی^۱ بیش از سایر روش‌های الکتروشیمیایی و با موفقیت در تصفیه پساب‌های گوناگون به کار رفته است. توانایی این روش در تولید لخته هیدروکسیدهای فلزی در پساب می‌باشد تا به وسیله تجزیه الکتریکی آند تمیز شوند. این هیدروکسیدهای فلزی بارهای الکتروستاتیک روی جامدهای معلق را خنثی می‌کنند تا تراکم یا انعقاد را آسان کنند و جداسازی از فاز آبی را نتیجه دهند [۴,۵].

گاهی در صنعت به دلیل آلودگی زیاد پساب‌ها کاربرد یک روش، به تنهایی برای تصفیه مناسب نیست و نیازمندی به تصفیه کارآمد پساب، کاربرد روش‌های ترکیبی را ایجاب می‌کند. به همین دلیل کاربرد یک روش زیستی غشایی به دنبال روش انعقاد الکتریکی، از نظر بازدهی تصفیه می‌تواند بسیار سودمند باشد.

راکتور زیستی غشایی^۲ یکی از جدیدترین فناوری‌ها در زمینه تصفیه پساب در سال‌های اخیر می‌باشد که به سرعت در حال رشد است. فناوری راکتور زیستی غشایی، فرآیند تصفیه زیستی لجن فعال^۳ و جداسازی فیزیکی غشایی را ترکیب می‌کند و امکان نیاز به تصفیه در گام‌های بعدی را حذف می‌نماید.

مرحله زیستی، آلودگی‌های آلی در پساب را در میان واکنش‌های میکروبی کاهش داده و فیلتراسیون غشایی میکروارگانسیم‌ها و ذره‌ها را از محلول جدا می‌کند. این فناوری با توجه به برتری‌های زیادی که دارد اغلب با روش‌های سنتی رایج در تصفیه مقایسه می‌گردد. تولید لجن کمتر، اشغال فضای کمتر دستگاه‌ها، کیفیت بالای جریان خروجی و توانایی مناسب در ضد عفونی کردن از برتری‌های فناوری راکتور زیستی غشایی می‌باشد و هم‌چنین یک فرآیند راکتور زیستی غشایی می‌تواند کارکرد مناسبی با کیفیت‌های گوناگون پساب ورودی داشته باشد [۶,۷]. دستگاه‌های راکتور زیستی غشایی می‌توانند با کنترل زمان ماند هیدرولیکی^۴ و زمان ماند لجن^۵ به‌طور مستقل کار کنند. به همین دلیل راکتور زیستی غشایی یک گزینه مناسب و قابل اطمینان برای کارهای صنعتی، خانگی و غیره می‌باشد [۲].

^۱ Electro Coagulation (EC)

^۲ Membrane Bio Reactor (MBR)

^۳ Activated Sludge Process (ASP)

^۴ Hydraulic Retention Time (HRT)

^۵ Solid Retention Time (SRT)

۱-۲- بیان طرح پژوهش

خمیرمایه نانوائی^۱ یا مخمر نان، یکی از صدها گونه مخمر شناسایی شده است که با نام علمی ساکارومیسس سرویه^۲ شناخته می‌شود. این ماده موجودی ذره‌بینی است که در نتیجه رشد آن در خمیر، گاز کربنیک و سایر مواد آلی تولید می‌شوند. گاز کربنیک تولید شده، باعث افزایش حجم، پوکی و تخلخل نان و سایر ترکیب‌های آلی شده که ارزش غذایی، عطر و طعم خوش نان را بالا می‌برد. برای تولید مخمر نانوائی از ملاس^۳ چغندر قند و نیشکر استفاده می‌شود، ملاس دارای ۴۵ تا ۵۰٪ قندهای قابل تخمیر، ۱۵ تا ۲۰٪ مواد غیر آلی قندی، ۱۰ تا ۱۵٪ خاکستر (مواد معدنی) و حدود ۲۰٪ آب می‌باشد [۸].

در تولید صنعتی خمیرمایه به‌طور کلی دو نوع پساب وجود دارند: یکی پساب با بار آلی بالا که از جداکننده‌های خمیرمایه و فرآیندهایی مانند فیلترهای چرخشی خلا ایجاد می‌شود و دیگری پساب با بار آلی کم تا متوسط که از کف‌شویی و تمیز کردن تجهیزات ایجاد می‌شود [۹].

در فرآیند تولید خمیرمایه، مواد گوناگون به عنوان ریز مغذی‌ها مانند ازت، فسفر و روی نقش مهمی ایفا می‌نمایند که نبود هر کدام باعث مشکل‌هایی چون رشد نارس یا رشد نکردن، افت فعالیت مخمر، آلودگی خط تولید و عامل‌هایی از این دست می‌گردد. پساب صنعت خمیرمایه نانوائی، منبع آلودگی فراوان است که به‌طور مشخص دارای رنگ قهوه‌ای تیره و وزن ملکولی بالا می‌باشد. فرآیند تولید خمیرمایه نانوائی، شامل فرآیندهای آماده‌سازی ملاس، تخمیر، جداسازی و خشک کردن می‌باشد [۱۰].

در هنگام تخمیر خمیرمایه نانوائی، قند موجود در ملاس به‌عنوان منبع کربن و انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما قسمت عمده‌ای از مواد غیر قندی ملاس به‌وسیله مخمر قابل جذب نیست که بدون تغییر وارد پساب می‌گردد، حاوی مقدارهای زیادی مواد آلی و رنگ است که برای محیط زیست مضر و خطرناک است و می‌تواند مشکل‌های زیست‌محیطی مهمی را پدید آورد. وجود رنگ قهوه‌ای تیره در پساب خروجی و هم‌چنین وجود مواد آلی آلاینده از ویژگی‌های پساب صنایع تولید مخمر نانوائی می‌باشد. این پساب بعد از تصفیه چند مرحله‌ای زیستی، هم‌چنان حاوی مقدار به‌نسبت بالایی از مواد آلاینده می‌باشد. این مواد آلاینده به‌طور عمده موادی هستند که به آهستگی مورد تجزیه زیستی قرار می‌گیرند و روش‌های زیستی رایج، روش‌های مناسبی برای تصفیه و حذف آن‌ها نمی‌باشند [۱۱، ۱۲].

^۱ Baker's yeast

^۲ *Saccharomyces Cerevisiae*

^۳ Molasse

بیشتر ترکیب‌های رنگی در پساب خمیرمایه را ملانوییدین‌ها^۱ تشکیل می‌دهند. ملانوییدین‌ها پلیمرهایی با وزن ملکولی بالا (گستره‌ای از وزن ملکولی) و مقاوم در برابر تجزیه زیستی و عامل به‌وجود آورنده رنگ قهوه‌ای در پساب هستند، هم‌چنین عامل به‌وجود آورنده اکسیژن مورد نیاز شیمیایی^۲ COD و اکسیژن مورد نیاز زیست شیمیایی^۳ BOD باقی مانده در پساب نیز همین مواد می‌باشند [۱۳]. بنا به دلیل‌هایی که در بالا آمد، صنایع تولید خمیرمایه که از ملاس به عنوان ماده خام استفاده می‌کنند، با مشکل‌هایی در زمینه تخلیه پساب خروجی تصفیه شده رنگی خود به آب‌های سطحی و سایر منابع‌های پذیرنده مواجه هستند [۱۲].

در حال حاضر برای تصفیه پساب کارخانه خمیرمایه دزفول روش‌های رایج زیستی به‌کار می‌رود. با توجه به گزارش‌هایی که در مورد پساب خروجی و واحد تصفیه موجود در این کارخانه وجود دارد، پساب تصفیه شده خروجی از این واحد دارای کیفیت قابل قبول و در حد استاندارد زیست محیطی نمی‌باشد که میزان COD، BOD و همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، غلظت رنگ آن نیز بسیار بالا می‌باشد. به همین منظور، با توجه به توانایی روش‌های انعقاد الکتریکی و راکتور زیستی غشایی، در این پژوهش تلاش بر این بود که میزان آلودگی پساب خروجی از کارخانه خمیرمایه دزفول را به‌روش ترکیبی انعقاد الکتریکی-راکتور زیستی غشایی، به کم‌ترین مقدار ممکن کاهش دهیم.

۱-۳- سازمان‌دهی پایان‌نامه

این پایان‌نامه شامل ۵ فصل می‌باشد. فصل نخست پیش‌زمینه‌ای برای پایان‌نامه است. فصل دوم تعریف‌ها و مروری بر مقاله‌های مورد بررسی پایان‌نامه است. در فصل سوم طراحی آزمایش به‌روش رویه پاسخ، دستگاه‌های آزمایش، مواد و روش‌های آزمایش شرح داده شده‌اند. در فصل چهارم نتیجه‌های مربوط به کار آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. و در فصل پنجم، نتیجه کارهای انجام شده و پیشنهادهایی برای بهبود کار آورده شده است.

¹ Melanoidins

² Chemical Oxygen Demand (COD)

³ Biochemical Oxygen Demand (BOD)

فصل دوم

پایه‌های نظری و مروری بر پژوهش‌های پیشین

این فصل مروری بر پایه‌های نظری مربوط به موضوع این پایان‌نامه می‌باشد. بخش ۱-۲ شرحی بر فرآیند انعقاد الکتریکی می‌باشد که شامل پایه‌های فرآیند، عامل‌های فرآیندی و برتری‌ها و کاستی‌های انعقاد الکتریکی می‌شود. در بخش ۲-۲ توصیفی کوتاه از فناوری انعقاد شیمیایی ارائه شده است. در بخش ۳-۲ مقایسه‌ای میان انعقاد الکتریکی و شیمیایی ارائه شده است. بخش ۴-۲ اشاره‌ای کوتاه بر روش‌های ترکیبی تصفیه پساب دارد. بخش ۵-۲ مقدمه‌ای برای فرآیندهای تصفیه زیستی است. بخش ۶-۲ مروری کلی بر فناوری راکتور زیستی غشایی دارد که پایه‌های فرآیندی، انواع آن و همچنین برتری‌ها و کاستی‌های سامانه‌های راکتور زیستی غشایی را بیان کرده است. در پایان، بخش ۷-۲ خلاصه‌وار به کارهای انجام شده در زمینه تصفیه پساب خمیرمایه، انعقاد الکتریکی و شیمیایی و همچنین راکتور زیستی غشایی، در زمینه تصفیه پساب پرداخته است.

۱-۲- فناوری انعقاد الکتریکی

۱-۱-۲- پیشینه

انعقاد الکتریکی در قرن بیستم در طول ۲۰ سال، به دلیل هزینه بالا، رشد آهسته‌ای داشت. اما با افزایش محدودیت‌های زیست‌محیطی پساب، مورد اهمیت بیشتری قرار گرفت. این تا حدودی به دلیل کاهش نسبی هزینه‌های کلی این فرآیند است. در دهه گذشته این فناوری به‌طور فزاینده‌ای برای تصفیه پساب‌های صنعتی در آمریکای جنوبی و اروپا به کار رفته است. انعقاد الکتریکی در آمریکای شمالی نیز برای تصفیه پساب صنایع خمیر و کاغذ و صنایع معدنی و فرآیندهای فلزی به کار رفته است. هم‌چنین انعقاد الکتریکی برای تصفیه پساب‌های حاوی مواد غذایی، پساب‌های روغنی، ذره‌های معلق، فلوئور زدایی آب، مواد شوینده و محلول‌های حاوی فلزات سنگین به کار رفته است. پژوهش‌های تجربی روی انعقاد الکتریکی برای تعریف عامل‌های فرآیندی پایه‌ای برای انواع گسترده آب‌های آلوده یا جریان‌های پساب انجام شده‌اند. این فناوری برای کمینه کردن مصرف انرژی الکتریکی و بیشینه کردن نرخ توان کارکردی جریان خروجی بهینه‌سازی شده است. این رویکرد که بینش کمی را برای سازوکارهای شیمیایی و فیزیکی پایه‌ای فراهم می‌کند اجازه مدل‌سازی فرآیند یا طراحی سامانه‌های بهبودیافته، کنترل فرآیند و بهینه‌سازی پایه‌ای فیزیکی-شیمیایی را نمی‌دهد [۱۵، ۱۴].

۲-۱-۲- پایه‌های نظری

انعقاد الکتریکی فرآیندی پیچیده است که شامل پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی زیادی است و الکترودهای فلزی را برای تامین یون‌ها در جریان پساب استفاده می‌کند. در یک فرآیند انعقاد الکتریکی یون‌های منعقدکننده در محل^۱ تولید می‌شوند و این شامل سه گام موفقیت آمیز می‌شود: (۱) تشکیل منعقدکننده‌ها به وسیله اکسایش الکترولیتی الکتروود فداشونده^۲ (۲) ناپایدارسازی آلوده‌کننده‌ها، ذره‌های ریز شناور و شکستن امولسیون (۳) جمع شدن فازهای ناپایدار شده برای تشکیل لخته‌ها [۳].

پس از انجام گام شماره ۱ یا تشکیل منعقدکننده‌ها در جریان پساب، این منعقدکننده‌ها با اختلاط ایجاد شده به وسیله همزن، درون محلول پخش می‌شوند تا منعقدکننده کافی در دسترس همه آلودگی‌های موجود در پساب قرار گیرد و امکان حذف آلودگی در تمام محلول به صورت یکنواخت وجود داشته باشد [۲۴]. اکنون سازوکار گام شماره ۲ به‌طور خلاصه شرح داده می‌شود:

^۱ In situ

^۲ Sacrificial electrode

ابتدا تراکم دولایه پخش شونده دور گونه‌های باردار، به وسیله برهم کنش یون‌های تولیدشده به وسیله اکسایش آند فداشونده صورت می‌گیرد.

سپس خنثی‌سازی بار گونه‌های یونی حاضر در پساب، به وسیله یون‌های مخالف تولیدشده با تجزیه الکتروشیمیایی آند فداشونده صورت می‌گیرد. این یون‌های مخالف، نیروهای دافعه الکتروستاتیک بین ذره‌ها را کاهش می‌دهند تا نیروهای جاذبه ون در والس غالب شوند و لخته‌ها تشکیل شوند. نتیجه، بار خالص صفر در فرآیند می‌باشد. لخته تشکیل شده به‌عنوان نتیجه انعقاد، یک توده لجن ایجاد می‌کند که ذره‌های کلوییدی را به دام می‌اندازد و به هم متصل می‌کند درحالی‌که در محیط آبی باقی می‌ماند [۳].

در انعقاد الکتریکی اکسیدهای فلزی و هیدروکسیدها، سطح‌های فعال را برای جذب آلودگی‌ها فراهم می‌کنند [۱۶].

در این فرآیند یک پتانسیل الکتریکی به آندهای فلزی وصل می‌شود که باعث دو واکنش جداگانه می‌شود [۳]:

(۱) الکتروود فلزی از آند تجزیه می‌شود و یون‌های فلزی تولید می‌کند که با سرعت به‌نسبت خوبی به هیدروکسیدهای فلزی پلیمری هیدرولیز می‌شوند. این هیدروکسیدهای فلزی گونه‌های منعقدکننده خیلی خوبی هستند. آندهای فلزی فداشونده برای تولید پیوسته هیدروکسیدهای پلیمری در نزدیکی آند استفاده می‌شوند. انعقاد وقتی صورت می‌گیرد که کاتیون‌های فلزی جذب ذره‌های با بار منفی می‌شوند. آلودگی‌های موجود در پساب، هم با واکنش‌های شیمیایی و رسوب و هم با چسبیدن فیزیکی و شیمیایی به مواد کلوییدی تولیدشده با فرسایش آند، تصفیه می‌شوند. سپس آن‌ها با شناورسازی الکتریکی یا ته‌نشین‌سازی و فیلتراسیون حذف می‌شوند.

(۲) هم‌چنین آب نیز در یک واکنش موازی هیدرولیز می‌شود و حباب‌های کوچک اکسیژن در آند و هیدروژن در کاتد تولید می‌شوند. این حباب‌ها، ذره‌های لخته‌شده را جذب می‌کنند و از راه نیروی شناوری طبیعی، آلوده‌کننده‌های لخته‌شده، روی سطح مایع شناور می‌شوند.

افزون بر این، واکنش‌های فیزیکی-شیمیایی زیر نیز ممکن است در سل انعقاد الکتریکی صورت گیرند [۳]:

- کاهش کاتدی ناخالصی‌های موجود در پساب
- خنثی‌سازی بار و انعقاد ذره‌های کلوییدی
- انتقال الکتروفورزی یون‌ها در محلول
- شناورسازی الکتریکی ذره‌های منعقدکننده با حباب‌های اکسیژن و هیدروژن تولیدشده در الکتروودها
- کاهش یون‌های فلزی در کاتد

انعقاد الکتریکی یک روش کارآمد برای تصفیه پساب می‌باشد، به این دلیل که جذب هیدروکسید روی سطح‌های معدنی در محل نسبت به هیدروکسیدهای پیش ترسیب شده، وقتی هیدروکسیدهای فلزی به‌عنوان منعقدکننده استفاده می‌شوند، صد بار بزرگ‌تر است. افزون بر این، حباب‌های هیدروژن تولید شده در کاتد، کفی را تشکیل می‌دهد که حاوی مواد آلی می‌باشد. به عبارتی حباب‌های گاز آلودگی‌ها را به سمت بالای محلول می‌برند، جایی که به آسانی می‌توانند جمع شوند و حذف شوند. به‌رحال کف سه‌فازی تشکیل شده با حباب‌های هیدروژن، به‌طور نسبی پایدار است و ماده جدا شده ممکن است پس از چند ساعت ته‌نشین شود. یون‌های فلزی می‌توانند با یون‌های هیدروکسید تولیدشده در کاتد واکنش دهند و هیدروکسیدهای نامحلولی را تولید کنند که آلودگی‌ها را جذب و از محلول حذف خواهند کرد [۱۷،۱۶]. چون لخته‌های شکل گرفته به‌وسیله انعقاد الکتریکی به‌نسبت بزرگ هستند، شامل آب کمتری هستند و پایدارتر هستند، بنابراین به‌وسیله فیلتراسیون به آسانی می‌توانند حذف شوند. این کار به آسانی و با هزینه کم قابل انجام است [۱۸].

حباب‌های تشکیل شده افزون بر این که هم زدن محلول را بر عهده دارند، اندازه این حباب‌ها نقش مهمی در فرآیند انعقاد الکتریکی و به‌ویژه فرآیند شناورسازی الکتریکی دارد. به‌طور کلی باور بر این است که حباب‌های کوچک‌تر سطح بیشتری را برای چسبیدن ذره‌ها در محیط آبی فراهم می‌کنند که جداسازی بهتری را نتیجه می‌دهند [۳].

۲-۱-۳- برتری‌های انعقاد الکتریکی

انعقاد الکتریکی به تجهیزهای ساده و کم حجمی نیاز دارد، برای حذف ذره‌ها بازدهی بالایی دارد، کنترل آن آسان است و می‌تواند برای هر حجمی از واحد تصفیه فاضلاب، طراحی شود [۱۹]. چون در این فرآیند هیچ افزودنی شیمیایی مورد نیاز نیست، امکان تولید آلوده‌کننده‌های بعدی را کاهش می‌دهد. این فرآیند به جریان کمی نیاز دارد و بنابراین می‌تواند با فرآیندهای سبز مانند خورشید، آسیاب‌های بادی و پیل‌های سوختی انجام شود و به همین دلیل برای مکان‌های روستایی با کمبود منبع‌های الکتریکی هم مناسب است [۲۰،۱۶]. این فرآیند یک روش دوست‌دار محیط زیست می‌باشد چون الکترون معرف محوری می‌باشد و به افزودن معرف‌ها و مواد شیمیایی نیازی ندارد. تولید لجن را تا حد زیادی کمینه خواهد کرد و سرانجام بعضی از مواد شیمیایی خطرناک به‌کار رفته به‌عنوان منعقدکننده در روش‌های تصفیه فاضلاب رایج را از بین خواهد برد. هم‌چنین پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که این فرآیند می‌تواند گونه‌های زنده را از آب حذف کند. فرآیند انعقاد الکتریکی می‌تواند ذره‌های کلوییدی کوچک را به‌طور موثری ناپایدار کند و در مقایسه با فرآیندهای دیگر، مقدارهای کمتری لجن تولید می‌کند [۲۱،۹].