دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران- مهندسی محیط زیست

مقایسه عملکرد سیستم های تماس دهنده بیولوژیکی دوار (RBC) متداول با تماس دهنده بیودرام دوار در تصفیه فاضلاب محتوی هیدروکینون

فرید خلیل آریا

استاد راهنما:

دکتر بیتا آیتی

استاد مشاور:

دکتر حسین گنجی دوست

زمستان ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحیم
الحمد لله رب العالمین الرحمن الرحیم مالک یوم الدین
اهدنا الصراط المستقیم صراط الذین انعمت علیهم غیر المغضوب علیهم ولا الضالین

تقدیم به پدر و مادرم

در آغاز سخن لازم میدانم از استاد گرانقدرم سرکار خانم بیتا آیتی که با نهایت صبر و شکیبایی راهنمایی این تحقیق را برعهده داشتند و زحمات زیادی در به ثمر رسیدن آن متقبل شدند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از استاد مشاور محترم آقای دکتر گنجی‌دوست به خاطر ارائه نظرات سودمند و راه گشا و مشاوره‌های ارزشمندشان سپاسگذاری می نمایم.

همچنین از اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر خدادادی و جناب آقای دکتر مختارانی که در محضرشان شاگردی نموده‌ام کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در نهایت از کلیه عزیزانی که در طول انجام این تحقیق از مساعدتهایشان بهره‌مند بودم کمال تشکر را می‌نمایم علی‌الخصوص تمامی دوستان عزیزم در آزمایشگاه مهندسی محیط‌زیست دانشگاه تربیت مدرس که در طول این تحقیق بنده را یاری نمودند.

چکیده

ترکیبات فنلی موادی هستند که در آنها یک حلقه آروماتیک مستقیماً به یک یا چند گروه هیدروکسیل متصل باشد. یکی از مهم ترین این ترکیبات هیدروکینون می باشد که کاربرد گسترده ای در صنایع عکاسی، آرایشی و بهداشتی، لاستیک سازی، آنتی اکسیدان و تولید ترکیبات شیمیایی و کشاورزی دارد و به دلیل وجود در فاضلاب صنایع مذکور و داشتن اثرات سمیت، استفاده از سیستم تصفیه ای کارآمد برای حفظ محیطزیست امری لازم و اجتناب ناپذیر می باشد.

در این تحقیق قابلیت دو سیستم RBC متداول و RBC با سبد محتوی آکنه در حذف این آلاینده مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. سیستم RBC متداول مورد استفاده دو مرحله‌ای با ظرفیت تقریبی هر راکتور ۳ لیتر محتوی ۲۷ دیسک پلکسی‌گلاس با قطر ۱۵ cm در حالیکه بیودرام یک مرحله‌ای بوده و در آن از آکنه‌های پلی استایرن Bee-cell 2000 با سطح ۶۵۰ m^2/m^3 استفاده شده‌است. سطح ایجاد شده توسط دیسک‌های سیستم RBC با آکنه‌های بیودرام برابر و در حدود ۲ m^2 بود.

در این پژوهش راندمان و کارایی تماس دهنده بیولوژیکی دوار در تصفیه فاضلاب محتوی هیدروکینون در محدوده غلظت تا ۵۰۰۰mg/L بررسی و نتایج آن با کارایی RBC با سبد محتوی آکنه‌های حامل بیوفیلم از نوع Bee-cell 2000 مقایسه شده‌است. نتایج حاکی از راندمان بهتر RBC متداول نسبت به RBC دوار محتوی این نوع آکنه‌ها می‌باشد به نحوی که راندمان حدود ۹۳ درصد در COD ورودی ۸۰۰ mg/L برای RBC متداول و حدود ۸۸ درصد در همین محدوده غلظت ورودی در سیستم RBC با سبد محتوی آکنه به دست آمد. این نتایج برای غلظت COD ورودی ۱۰۰۰ mg/L، زمان ماند ۲۴ ساعت برای هر راکتور و سرعت چرخش ۵ rpm با بار هیدرولیکی L/m^2d ۱/۵ به دست آمد. همچنین در این تحقیق سایر پارامترها مانند سرعت چرخش، بار هیدرولیکی، اثر شوک آلی و اکسیژن محلول نیز بررسی شده‌است.

کلمات کلیدی: RBC، RBC با سبد محتوی آکنه، هیدروکینون، آروماتیک، COD

فهرست مطالب

فصل ۱-کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲-تصفیه فاضلاب ۱

۱-۳-روش های تصفیه بیولوژیکی ۳

۱-۴-تصفیه هوازی با رشد معلق ۴

۱-۵-تصفیه هوازی با رشد چسبیده ۵

۱-۶-تماس دهنده های بیولوژیکی چرخان ۶

۱-۶-۱-مزایا و معایب سیستم های RBC ۸

۱-۶-۲-عوامل موثر بر سیستم های RBC ۹

۱-۶-۳-RBC با سبد محتوی آکنه ۱۶

۱-۷-مقایسه سیستم RBC با دیگر سیستمهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب ۱۸

فصل ۲-مشخصات و اثرات هیدروکینون ۲۱

۲-۱- مقدمه ۲۲

۲-۲-ترکیبات فنلی ۲۰

۲-۳-خصوصیات هیدروکینون ۲۰

۲-۴-منابع تولید ۲۲

۲-۵-کاربردهای هیدروکینون ۲۲

۲-۶-سینتیک و متابولیسم ۲۳

۲-۷-گزینه های مختلف حذف هیدروکینون در یک سیستم تصفیه بیولوژیکی ۲۴

۲-۷-۱-بررسی فراریت هیدروکینون از محیط آبی ۲۴

۲-۷-۲-بررسی امکان جذب سطحی هیدروکینون توسط میکروارگانیسمها ۲۵

۲-۷-۳-تجزیه بیولوژیکی هیدروکینون ۲۵

۲-۸-اثرات بر روی اکوسیستمهای طبیعی ۲۶

۲-۹-اثرات بهداشتی هیدروکینون ۲۶

۲-۱۰-تجزیه در محیط زیست ۲۷

۲-۱۱-ماندگاری و تجمع بیولوژیکی ۲۸
فصل ۳-مطالعات کتابخانه‌ای ۲۰
۳-۱- مقدمه ۳۲
۳-۲-مطالعات انجام شده بر روی هیدروکینون ۲۹
۳-۲-۱-تجزیه بیولوژیکی ۲۹
۳-۲-۲-تجزیه غیر بیولوژیکی ۳۰
۳-۳-مطالعات انجام شده بر روی سیستم RBC ۳۱
۳-۴-مطالعات انجام شده بر روی سیستمهای بیودرام (RBC حاوی آکنه) ۳۵
۳-۵-خلاصه ای از مطالعات انجام شده ۳۷
۳-۶-هدف از انجام این تحقیق ۴۰
فصل ۴-روش تحقیق، مواد و تجهیزات مورد استفاده ۴۱
۴-۱- مقدمه ۴۵
۴-۲-ساخت پایلوت ۴۱
۴-۳-مشخصات مدیاها ۴۴
۴-۴-راه اندازی بیوراکتورها ۴۶
۴-۵-سازگار نمودن میکروارگانیسم ها با فاضلاب سنتزی ۴۶
۴-۶-بررسی اثر افزایش بار آلی بر راندمان حذف ۴۷
۴-۷-بررسی اثر بار هیدرولیکی بر راندمان حذف ۴۷
۴-۸-بررسی تاثیر تغییر سرعت بر راندمان حذف ۴۸
۴-۹-بررسی سینتیک حذف هیدروکینون و تغییرات غلظت در طول راکتورها ۴۸
۴-۱۰-شوک دهی به سیستم و بررسی راندمان تصفیه ۴۸
۴-۱۱-بررسی فراریت هیدروکینون از آب ۴۹
۴-۱۲-رابطه غلظت هیدروکینون با غلظت COD ۴۹
۴-۱۳-انجام آزمایش NMR ۴۹
۴-۱۴-پارامترهای اندازه گیری و کنترل شده ۴۹
۴-۱۵-وسایل و تجهیزات مورد استفاده ۵۱

۴-۱۶-ترکیبات شیمیایی مورد استفاده ۵۱
فصل ۵-بحث و نتیجه گیری ۴۲
۵-۱- مقدمه ۵۸
۵-۲-بررسی راندمان حذف در دوره راه اندازی ۵۳
۵-۳-بررسی راندمان حذف در دوره سازگاری ۵۴
۵-۴-بررسی اثر افزایش بار آلی ۵۵
۵-۴-۱-بررسی اثر افزایش بار آلی بر راکتورهای RBC ۵۶
۵-۴-۲-بررسی اثر افزایش بار آلی بر راکتور بیودرام ۵۶
۵-۴-۳-مقایسه اثر افزایش بار آلی بر دو سیستم ۵۶
۵-۵-بیوفیلم تشکیل شده بر روی حاملها و دیسکها ۵۸
۵-۶-بررسی اثر افزایش بار آلی بر میزان اکسیژن محلول در خروجی راکتورها ۵۹
۵-۷-بررسی اثر افزایش بار هیدرولیکی بر سیستمها ۶۰
۵-۸-نتایج حاصل از تغییر سرعت چرخش دیسکها ۶۰
۵-۹-بررسی تغییرات راندمان حذف در طول زمان ۶۱
۵-۱۰-بررسی تغییرات راندمان حذف در طول راکتورها ۶۲
۵-۱۱-تعیین نسبت BOD_5/COD ۶۳
۵-۱۲-بررسی فراریت هیدروکینون از آب ۶۴
۵-۱۳-بررسی شوک آلاینده بر راندمان پایلوتها ۶۴
۵-۱۴-بررسی تجزیه بیولوژیکی هیدروکینون بوسیله آزمایش NMR ۶۵
۵-۱۵-مقایسه نتایج تحقیق با سایر تحقیقات ۶۸
فصل ۶-جمع‌بندی و پیشنهادات ۷۰
۶-۱- مقدمه ۷۵
۶-۲- نتایج ۷۵
۶-۳-پیشنهادات ۷۳
مراجع و منابع ۷۷
پیوستها ۸۴

فهرست جداول

جدول ۱-۱ مهمترین روش‌ها و سطوح مختلف تصفیه فاضلاب ۲
جدول ۲-۱ خصوصیات هیدروکینون ۲۱
جدول ۲-۲- داده های تجربی برای ماندگاری هیدروکینون ۲۸
جدول ۳-۱- مشخصات پایلوت استفاده شده تحقیق Alemzadeh و Vossoughi ۳۱
جدول ۳-۲- مشخصات پایلوت استفاده شده در تحقیق Alemzadeh و همکاران ۳۲
جدول ۳-۳- مشخصات پایلوت استفاده شده در تحقیقIsrani و همکاران ۳۳
جدول ۳-۴- مشخصات پایلوت استفاده شده در تحقیقTexeira و Oliveira ۳۳
جدول ۳-۵- مشخصات پایلوت استفاده شده در تحقیق Najafpoor و همکاران ۳۴
جدول ۳-۶- مشخصات پایلوت استفاده شده در تحقیق موسوی ۳۴
جدول ۳-۷- مشخصات پایلوت استفاده شده در تحقیق Sirianuntapiboon و Srikattanaprom ۳۶
جدول ۳-۸- مشخصات پایلوت استفاده شده در تحقیق ناهید و همکاران ۳۷
جدول ۳-۹- نتایج تحقیقات مختلف بر روی تاثیر سرعت چرخش بر عملکرد سیستم های RBC ۳۸
جدول ۳-۱۰- نتایج تحقیقات مختلف بر روی تاثیر تغییرات بار آلی و هیدرولیکی بر عملکرد ۳۹
جدول ۴-۱- مشخصات پایلوت و موتور ۴۲
جدول ۴-۲- مشخصات سیستم RBC متداول ۴۳
جدول ۴-۳ مشخصات سیستم RBC با سبد محتوی آکنه ۴۳
جدول ۴-۴- مشخصات فنی مدیاهای RBC متداول ۴۵
جدول ۴-۵- مشخصات فنی مدیاهای RBC با سبد محتوی آکنه ۴۵
جدول ۴-۶- انواع آزمایشات و دستورالعملهای مربوطه ۵۰
جدول ۵-۱- نتایج آزمایش COD و BOD_5 برای تعیین نسبت BOD_5/COD ۶۳
جدول ۵-۲- مقایسه تحقیقات مختلف انجام شده روی حذف مواد آروماتیک در سیستمهای RBC ۶۹

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ سیستم دیسکهای بیولوژیکی چرخان متداول ۷
شکل ۱-۲- نمونه یک RBC با سبد محتوی حاملهای بیوفیلم ۱۷
شکل ۱-۳- نمونه یک RBC با سبد محتوی مکعبهای فوم پلیاورتان ۱۷
شکل ۱-۴- نمونه یک RBC با برسهای حامل بیوفیلم ۱۸
شکل ۱-۵- نمونه یک RBC با تیوبهای مشبک حامل بیوفیلم ۱۸
شکل ۲-۱- ساختار مولکولی هیدروکینون ۲۱
شکل ۲-۲- روند متابولیک هیدروکینون تحت شرایط هوازی ۲۵
شکل ۲-۳- مراحل مختلف تجزیه بیهوازی هیدروکینون ۲۶
شکل ۴-۱- پایلوت ساخته شده در آزمایشگاه مهندسی محیطزیست ۴۲
شکل ۴-۲- الف- موتور و گیربکس تامین کننده دوران ، ب- اینورتر متصل به موتور ، ج- پمپها ۴۲
شکل ۴-۳- بیوفیلم تشکیل شده الف- مدیاهای راکتور RBC با سبد، ب- دیسکها ۴۴
شکل ۴-۴- مدیاهای Bee-cell 2000 مورد استفاده در راکتور بیودرام ۴۵
شکل ۴-۵- روند تغییرات بار آلی در مراحل راه اندازی، سازگاری و افزایش بار آلی ۴۷
شکل ۵-۱- نمودار تغییرات راندمان حذف راکتورهای RBC متداول در دوره راه اندازی ۵۳
شکل ۵-۲- نمودار تغییرات راندمان حذف راکتور RBC با سبد محتوی آکنه در دوره راه اندازی ۵۴
شکل ۵-۳- نحوه تغییرات راندمان حذف راکتورهای RBC متداول در دوره سازگاری ۵۵
شکل ۵-۴- نحوه تغییرات راندمان حذف راکتور RBC با سبد محتوی آکنه در دوره سازگاری ۵۵
شکل ۵-۵- نحوه تغییرات راندمان حذف راکتورهای RBC متداول در دوره افزایش بار آلی ۵۷
شکل ۵-۶- نحوه تغییرات راندمان حذف راکتور RBC با سبد محتوی آکنه در دوره افزایش بار آلی ۵۷
شکل ۵-۷- مقایسه تغییرات راندمان حذف COD بر اثر افزایش بار آلی ۵۸
شکل ۵-۸- بیوفیلم تشکیل شده بر روی دیسکهای RBC متداول ۵۸
شکل ۵-۹- بیوفیلم تشکیل شده بر روی حاملهای بیوفیلم داخل سبد ۵۹
شکل ۵-۱۰- تغییرات میزان اکسیژن محلول خروجی راکتورها در اثر افزایش بار آلی ۵۹
شکل ۵-۱۱- مقایسه اثر تغییر بار هیدرولیکی بر راندمان حذف سیستمها ۶۰
شکل ۵-۱۲- مقایسه اثر تغییر سرعت چرخش بر راندمان حذف سیستمها ۶۱
شکل ۵-۱۳- نحوه تغییرات راندمان حذف راکتورهای RBC متداول در طول زمان ۶۲
شکل ۵-۱۴- نحوه تغییرات راندمان حذف راکتور RBC محتوی آکنه در طول زمان ۶۲
شکل ۵-۱۵- نحوه تغییرات راندمان حذف در طول راکتورها ۶۳
شکل ۵-۱۶- نحوه کاهش غلظت COD محلول هیدروکینون بر اثر هوادهی ۶۴
شکل ۵-۱۷- تغییرات راندمان حذف راکتورها در اثر اعمال شوک آلی ۶۵
شکل ۵-۱۸- طیف ورودی به سیستمها در غلظت ۸۰۰ mg/L ۶۶
شکل ۵-۱۹- طیف ورودی به سیستمها در غلظت ۱۶۰۰ mg/L ۶۶

شکل ۵-۲۰- طیف خروجی راکتورهای RBC متداول در غلظت ۸۰۰ mg/L ۶۷
شکل ۵-۲۱- طیف خروجی راکتور RBC با سبد محتوی آکنه در غلظت ۸۰۰ mg/L ۶۷
شکل ۵-۲۲- طیف خروجی راکتورهای RBC متداول در غلظت ۱۶۰۰ mg/L ۶۷
شکل ۵-۲۳- طیف خروجی راکتور RBC با سبد محتوی آکنه در غلظت ۱۶۰۰ mg/L ۶۸

پیشگفتار

امروزه یکی از دغده‌های اصلی هر کشور رسیدن به استانداردهای زیست محیطی در صنایع مختلف است تا با به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی، از محصولات آنها در جهت رفع نیازهای خود استفاده نمایند. در کشور ایران با توجه به وجود صنایع متنوع و لزوم توسعه پایدار بدون در نظر گرفتن استانداردهای زیست محیطی اثرات مخربی بر پیکره محیط زیست وارد خواهد شد.

سیستم دیسک‌های بیولوژیکی چرخان (RBC) که اولین بار در سال ۱۹۰۰ در آلمان مورد استفاده قرار گرفت، پس از مقبولیت استفاده از پلی‌استایرن، استفاده تجاری از این سیستم به دلیل مزایای خود به سرعت در کشورهای مختلف در تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی گسترش یافت. ولی در سالهای اخیر به دلیل بالا رفتن هزینه‌های انرژی و ارائه سیستمهای جدیدتر تصفیه فاضلاب استفاده از این سیستم رو به کاهش می‌باشد. لذا ارائه روشهایی برای ارتقای کارایی و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری سیستمهای RBC ضروری می‌نماید.

ترکیبات فنلی موادی هستند که در آنها یک حلقه آروماتیک مستقیماً به یک یا چند گروه هیدروکسیل متصل باشد. یکی از مهم ترین این ترکیبات هیدروکینون می باشد که کاربرد گسترده ای در صنایع عکاسی، آرایشی و بهداشتی، لاستیک سازی، آنتی اکسیدان و تولید ترکیبات شیمیایی و کشاورزی دارد و به دلیل وجود در فاضلاب صنایع مذکور و داشتن اثرات سمیت، استفاده از سیستم تصفیه ای کارآمد برای حفظ محیط‌زیست امری لازم و اجتناب ناپذیر می باشد.

در این تحقیق دو هدف به طور همزمان مدنظر قرار گرفته شده است اول بررسی اثر تغییر حامل بیوفیلم از دیسک به سبد محتوی آکنه بر کارایی سیستم RBC و دوم قدرت تجزیه بیولوژیکی هیدروکینون در سیستم RBC که تا به حال تحقیق چندانی در این زمینه انجام نشده است. در جهت نیل به اهداف مذکور، این پایان نامه در ۶ فصل تنظیم گردیده که در ادامه توضیح مختصری درباره مطالب هر فصل آورده شده است.

در فصل اول تحقیق، به شرح مختصری درباره روشهای مختلف تصفیه فاضلاب و همچنین بررسی سیستم RBC، مزایا و معایب این سیستم و عوامل موثر بر کارایی آن پرداخته خواهد شد.

در فصل دوم معرفی هیدروکینون، خواص مختلف این ماده از نظر فیزیکی- شیمیایی، روش تولید، کاربرد در صنایع مختلف و اثرات زیانبار آن آورده شده است. در فصل سوم پس از معرفی روش‌های حذف هیدروکینون از فاضلاب، مطالعات کتابخانه‌ای به منظور شناخت کارایی سیستم RBC در تصفیه فاضلابهای صنایع مختلف انجام شده و در ادامه، آورده شده است.

در فصل چهارم ضمن ارائه نحوه ساخت و راه اندازی پایلوت آزمایشگاه، روند انجام آزمایشات، مواد و تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق بیان گردیده است و در فصل پنجم به بررسی نتایج حاصل از آزمایشات پرداخته شده است.

در انتها جمع بندی از آزمایشها و پیشنهادات جهت ادامه تحقیقات در فصل ششم ارائه گردیده است.

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

رشد روز افزون صنایع وگسترش رقابت‌های تجاری از یک سو و آشکار شدن اهمیت محیط‌زیست در توسعه‌ی پایدار از سوی دیگر حساسیت بشر امروزی را در انتخاب و ابتکار روش‌های گوناگون برای کنترل و حذف آلاینده‌های مختلف برانگیخته است. در این بین روش‌های بیولوژیکی تصفیه فاضلاب به دلیل سازگاری بیشتر با محیط‌زیست، هزینه‌ی کمتر و ... جایگاه ویژه‌ای دارند (Kermani و همکاران، ۲۰۰۸).

در این فصل پس از مرور روش‌های تصفیه فاضلاب، نقش تصفیه بیولوژیکی و به ویژه تصفیه بیوفیلمی روشن‌تر مطرح شده و در انتها راکتورهای RBC[1] معرفی شده و پس از مقایسه مزایا و معایب این راکتورها، عوامل موثر بر این نوع سیستم‌ها مورد بررسی اجمالی قرار می‌گیرد.

۱-۲- تصفیه فاضلاب

هدف از تصفیه فاضلاب، جداسازی مواد معلق و شناور، جداسازی مواد سمی محلول و نامحلول از فاضلاب نظیر فلزات سنگین، گندزدایی و از بین بردن میکروب‌ها و ارگانیسم‌های بیماریزا در فاضلاب و اکسید کردن مواد ناپایدار آلی و تبدیل آنها به مواد پایدار مانند نیترات‌ها، سولفات‌ها و فسفات‌ها و سپس ته‌نشینی و جداسازی آنها می‌باشد. تمام این اهداف در طبیعت و در مدت زمان نسبتاً طولانی، بطور خودبخود انجام می‌گیرد، لذا هدف از ساختن تأسیسات تصفیه‌خانه فاضلاب، سرعت بخشیدن به این کارها و کوتاه نمودن زمان تصفیه و از طرفی تکامل این روش‌ها و جلوگیری از آلوده شدن منابع طبیعی آب و محیط زیست می‌باشد.

روش‌های تصفیه فاضلابهای شهری و صنعتی را می‌توان بر اساس نوع فرایند تصفیه به سه گروه کلی فیزیکی (مکانیکی)، شیمیایی و بیولوژیکی تقسیم نمود. روش‌هایی که در آن‌ها از فرایندهای فیزیکی (روش‌هایی که ماهیت مواد آلاینده در آنها تغییر نمی‌کند) برای حذف آلاینده‌های پساب استفاده می‌شود، اصطلاحاً روش‌های فیزیکی نامیده می‌شوند. در تصفیه شیمیایی از واکنش‌های شیمیایی (روش‌هایی که ماهیت مواد آلاینده در آنها تغییر می‌کند) برای حذف آلاینده‌های پساب استفاده می‌شود. یکی دیگر از مهمترین و متداولترین روش‌های تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، استفاده از فرایندهای بیولوژیکی تصفیه است. هدف اصلی در این فرایند تبدیل مواد آلی به محصولات ثانویه با استفاده از میکروارگانیسم‌ها است به نحوی که محصولات تولید شده برای محیط زیست

[1] Rotating Biological Contactors

کم ضرر یا بی ضرر و یا قابل جداسازی باشند. در این فرایند انواع موجوات ریز ذره‌بینی از جمله باکتری‌ها، پروتوزئرها، روتیفرها، نماتدها، قارچ‌ها و جلبکها نقش فعالی ایفا می‌کنند. کاربردهای مهم این فرایند در تصفیه پسابها عبارتند از: حذف مواد آلی که معمولاً بر اساس کل کربن آلی[1] و کربن آلی فرار[2] سنجیده می‌شوند، پدیده نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون، حذف فسفر، تثبیت لجن، حذف و یا کاهش سایر آلاینده‌ها مانند برخی فلزات سنگین (ندافی، ۱۳۷۹). در جدول ۱-۱ مهمترین روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تصفیه پساب به طور خلاصه ارائه شده است.

جدول ۱-۱ مهمترین روش‌ها و سطوح مختلف تصفیه فاضلاب (آیتی، ۱۳۸۳؛ غنی‌زاده اردی، ۱۳۷۷؛ ترکیان و جعفرزاده، ۱۳۷۹؛ کی‌نژاد و ابراهیمی، ۱۳۸۲؛ ترکیان و عظیمی، ۱۳۸۰)

سطوح تصفیه فاضلاب	مقدماتی			آشغال‌گیری ، خرد کردن
	اولیه			حذف دانه و ذرات درشت
	ثانویه			سیستم‌های لجن‌فعال، برکه‌ها و لاگون‌ها، انواع سیستم‌های رشد چسبیده و واحدهای ته‌نشینی ثانویه و گندزدایی
	پیشرفته			فرآیندهایی که منجر به حذف فسفر و نیتروژن و مواد سمی می‌شوند.
فرآیندهای تصفیه فاضلاب	فیزیکی			آشغال‌گیری، خرد کردن، متعادل سازی، اختلاط، ته‌نشینی، شناورسازی و ...
	شیمیایی			رسوب‌دهی‌شیمیایی، تبادل‌یونی، اکسیداسیون شیمیایی، ضد عفونی کردن و...
	بیولوژیکی	هوازی	رشد معلق	فرایندهای لجن‌فعال اختلاط کامل، هوادهی ممتد، راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی(SBR) ، هوادهی مرحله‌ای، لاگون هوادهی، هضم هوازی
			رشد چسبیده	فیلتر چکنده (TF)[3]، دیسک‌های بیولوژیکی چرخان (RBC) و ...
			رشد ترکیبی	ترکیبی از فرایندهای رشد معلق و رشد چسبیده هوازی (به صورت سری)
		بی‌هوازی	رشد معلق	هضم بی‌هوازی، فرایند USAB
			رشد چسبیده	فیلتر بی‌هوازی
		آنوکسیک	رشد معلق	دنیتریفیکاسیون با رشد معلق
			رشد چسبیده	دنیتریفیکاسیون با بستر ثابت
		ترکیبی	رشد معلق و چسبیده	فرایندهای چند مرحله‌ای
	متفرقه			تصفیه زمینی، دفع در چاه‌های عمیق و...

[1] Total Organic Carbon (TOC)
[2] Volatile Organic Carbon (VOC)
[3] Trickling Filter

روش‌های تصفیه فاضلابی شهری و صنعتی را می‌توان بر اساس رژیم جریان ورودی و خروجی از راکتور به سه گروه تقسیم نمود که عبارتند از:

الف- جریان پیوسته[1]

ب- جریان منقطع[2]

ج- جریان نیمه منقطع[3]

در سیستم‌های مبتنی بر جریان پیوسته، جریان به طور مداوم از یک طرف سیستم وارد و از طرف دیگر خارج می‌شود. ولی در سیستم با جریان منقطع، ورود و خروج جریان مداوم نبوده و به صورت منقطع صورت می‌گیرد. سیستم‌های نیمه منقطع نیز از تلفیق دو سیستم فوق به وجود می‌آیند. هر یک از روش‌های تصفیه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌توانند از نظر رژیم جریان به یکی از سه حالت بالا باشند.

در ادامه روش تصفیه بیولوژیکی که مبنای تصفیه در این تحقیق می‌باشد شرح داده می‌شود.

۱-۳-روش های تصفیه بیولوژیکی

انواع فرایندهای بیولوژیکی از لحاظ حضور اکسیژن عبارتند از:

- فرایندهای هوازی[4]: که در آن فعالیت بیولوژیکی در حضور اکسیژن انجام می‌شود.
- فرایندهای بی‌هوازی[5]: که در آن فعالیت بیولوژیکی در غیاب اکسیژن انجام می‌شود.
- فرایندهای غیرهوازی[6]: که در آن فعالیت بیولوژیکی در غیاب اکسیژن مولکولی انجام می‌شود.
- فرایندهای ترکیبی: (ترکیبی از فرآیندهای هوازی، بی‌هوازی و آنوکسیک)

انواع فرایندهای بیولوژیکی از لحاظ محیط رشد (بستر رشد) عبارتند از:

- رشد معلق[1]: که در آن موجودات ریز و ذره بینی به صورت ذرات معلق در مایع رشد می‌کند.

---

[1] Continuous Flow
[2] Batch Flow
[3] Semi Batch Flow
[4] Aerobic
[5] Anaerobic
[6] Anoxic

- رشد چسبیده[2]: که در آن موجودات ریز ذره بینی بر روی یک بستر ثابت از جنس سنگ، ترکیبات پلیمری و ... رشد می‌کنند.
- رشد ترکیبی: که در آن موجودات ریز ذره بینی هم به صورت معلق و هم به صورت چسبیده رشد می‌کنند.

۱-۴- تصفیه هوازی با رشد معلق

سیستم‌های اصلی تصفیه بیولوژیکی رشد معلق که در جداسازی مواد آلی کربن‌دار مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: لجن فعال[3]، لاگون‌های هوادهی[4]، راکتور ناپیوسته متوالی[5] و هضم هوازی[6] (ندافی، ۱۳۷۹). در این فرایندها میکروارگانیسم‌های مسئول تصفیه با یکی از روش‌های اختلاط به صورت معلق درون راکتور نگهداری می‌شوند. راکتورهای کشت میکروبی معلق از سه نوع اصلی تشکیل یافته‌اند (کی‌نژاد، ۱۳۸۲):

۱- اختلاط کامل[7] بدون جریان برگشتی

۲- اختلاط کامل با جریان لجن برگشتی

۳- جریان لوله‌ای[8] با لجن برگشتی

بسیاری از فرایندهای رشد معلق که در تصفیه فاضلابهای شهری و صنعتی به کار رفته‌اند، با اعمال غلظت مثبت اکسیژن محلول به فاضلاب همراه بوده‌اند (هوازی) اما در عین حال راکتورهای با فرایندهای رشد معلق هوازی (بدون حضور اکسیژن)، نیز به کار رفته‌اند چنین مواردی عمدتاً برای فاضلابهای صنعتی با غلظت ترکیبات آلی بالا و لجن آلی استفاده شده‌اند. معمول‌ترین روش تصفیه با رشد معلق، فرایند لجن فعال است.

---

[1] Suspended Growth
[2] Attached Growth
[3] Activated Sludge Process
[4] Aerated Lagoons
[5] Sequencing Batch Reactor
[6] Aerobic Digestion Process
[7] Complete Mix
[8] Plug Flow

۱-۵-تصفیه هوازی با رشد چسبیده

از فرایندهای تصفیه هوازی با رشد چسبیده معمولاً برای حذف مواد آلی موجود در فاضلاب استفاده می‌کنند. از مهمترین فرایندهای رشد چسبیده صافی‌های چکنده[۱] را می‌توان نام برد. در یک فرایند بیولوژیکی با فیلم ثابت، میکروارگانیسم‌ها به یک ماده جامد، جایی که به آنها غلظت نسبتاً بالایی از مواد آلی می‌رسد، می‌چسبند و تشکیل یک لایه زیستی به نام بیوفیلم می‌دهند. مواد نگهدارنده شامل شن، سنگ، پلاستیک، ماسه یا ذرات کربن فعال است. تصفیه فاضلاب از طریق میکروارگانیسم‌هایی که در لایه بیوفیلم قرار گرفته‌اند انجام می‌شود. اجزایی که بر روی یک بستر قرار می‌گیرد تا یک بیوفیلم را تشکیل دهد به صورت زیر می‌باشد (سبزعلی، ۱۳۸۴) :

بستر[۲] > بیوفیلم > فیلم مایع[۳]> لایه حجمی مایع[۴]

سیستم‌های بیوفیلمی می‌توانند در شرایط هوازی یا بی‌هوازی عمل کنند. مواد پرکننده راکتور نیز می‌تواند در حجم راکتور به صورت معلق (بستر شناور) [۵] یا به صورت ثابت (بستر غیر شناور) [۶] باشند. متابولیسم بیولوژیکی مواد آلی فاضلاب در سیستم‌های رشد میکروبی چسبیده به میزان قابل ملاحظه‌ای شبیه متابولیسم کشت میکروبی معلق است. ارگانیسم‌های بیولوژیکی که خودشان را به سطوح جامد محیط می‌چسبانند، اساساً از گروه‌های موجود در سیستم لجن فعال و بیشتر از نوع هتروتروف و باکتری‌های اختیاری هستند. ارگانیسم‌ها خودشان را به محیط چسبانده و باعث رشد لایه‌های متراکم چسبناک و با طبیعت ژل مانند می‌شوند. ناحیه مرزی بیوفیلم و مایع اطراف آن را لایه مرزی به نام لایه نفوذ مولکولی احاطه کرده که سوبسترا، اکسیژن و مواد مغذی از این لایه به داخل بیوفیلم نفوذ می‌کند. فاضلاب از سطح این لایه، با ضخامت اندک عبور می‌کند و مواد آلی محلول به علت وجود گرادیان غلظت در لایه به داخل لایه زنده نفوذ می‌کنند. ذرات و کلوئیدهای معلق ممکن است در سطوح چسبنده جائیکه به مواد محلول تجزیه می‌شوند، باقی بمانند. اکسیژن فاضلاب و اکسیژن هوای فضاهای خالی محیط، اکسیژن لازم برای واکنش‌های هوازی در سطح لایه زنده را فراهم می‌آورد. محصولات زائد از فرایندهای متابولیکی به طرف

---

[1] Trickling Filter
[2] Media
[3] Liquid Film
[4] Bulk Liquid
[5] Moving Bed
[6] Fixed Bed

بیرون انتقال می‌یابند و توسط آب یا جریان هوای متحرک فضاهای خالی بستر از محل دور می‌شوند. رشد لایه زنده محدود به یک جهت می‌باشد (به طرف بیرون از سطح جامد) هر قدر لایه ضخیم‌تر شود، گرادیان غلظت اکسیژن و غذا در لایه افزایش می‌یابد. در نهایت در سطح مشترک مدیا و لایه زنده هر دو متابولیسم بی‌هوازی و خود خوری رخ می‌دهد و مکانیسم اتصال ضعیف شده و عمل برشی فاضلاب در عرض لایه منجر به حرکت و شستن آن می‌شود. این فرایند تابعی از شدت بار هیدرولیکی و مواد آلی است و به نام لجن زدایی[1] معروف است. لایه زنده به سرعت در جای خالی شده ایجاد می‌شود. میزان حذف غذا در سیستم‌های رشد چسبیده بستگی به عوامل زیادی از جمله شدت جریان فاضلاب، میزان بار مواد آلی، شدت نفوذ غذا و اکسیژن به درون لایه زنده و دما دارد. عمق نفوذ اکسیژن عامل محدودکننده به حساب می‌آید. نواحی هوازی لایه زنده معمولاً دارای عمق ۰/۱ تا ۰/۲ میلیمتر است و ضخامت باقی‌مانده بی‌هوازی است (کی‌نژاد، ۱۳۸۲).

۱-۶- تماس‌دهنده‌های بیولوژیکی چرخان

اولین بار سیستم دیسک‌های بیولوژیکی چرخان در اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی برای تصفیه فاضلاب توسط Weigand مورد استفاده قرار گرفت. وسیله او عبارت از استوانه‌ای بود که از تخته‌های چوبی درست شده بود (Mathure و Patwardhan، ۲۰۰۵). گسترش کاربرد پلی استایرن سرآغاز کاربرد تجاری این سیستم بود که همراه با ساخت اولین RBC با مقیاس صنعتی در آلمان در سال ۱۹۵۸ بود (Rodgers و Zhan، ۲۰۰۳). اصلاحات مهمی در نوع مدیا و تجهیزات در طی دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ (Tchobanoglous و Burto، ۱۹۹۱؛ Grady و همکاران، ۱۹۹۹) رخ داد.

در طی سال‌ها سیستم‌های RBC با موفقیت در تصفیه ثانویه فاضلاب‌های شهری از واحدهای کوچک تا تصفیه-خانه‌های بزرگی که چندین میلیون لیتر در روز جریان دارند، استفاده شده‌است (Cortez و همکاران، ۲۰۰۸). این سیستم‌ها برای نیترات زدایی از فاضلاب شهری نیز به کار می‌روند. در این سیستم‌ها نیتریفیکاسیون با اکسیداسیون کربن یکجا انجام می‌شود و یا می‌توان نیتریفیکاسیون، دینیتریفیکاسیون و حذف فسفر در مراحل مجزا انجام داد. از

[1] Sloughing