



دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم

پایان نامه کارشناسی ارشد

ساخت و ارزیابی آزمایشگاهی سامانه ترکیبی تصفیه شیرابه لندفیل زباله شهری

سعید قنبری آزاد پاشاکی

اردیبهشت ۱۳۹۷



دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده کشاورزی
پایان نامه کارشناسی ارشد

ساخت و ارزیابی آزمایشگاهی سامانه ترکیبی تصفیه شیرابه لندفیل زباله شهری

سعید قنبری آزاد پاشاکی

استادان راهنما
دکتر مهدی خجسته پور
دکتر محمدعلی ابراهیمی نیک

استاد مشاور
دکتر عباس روحانی

اردیبهشت ۱۳۹۷



دانشگاه گیلان، گروه مهندسی مکانیک یوسیستم

از این پایان نامه کارشناسی ارشد توسط سید قبری آزادپناهی، دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی کانفراسیون کشاورزی - بازیافت و مدیریت پسماند تاریخ ۱۳۹۷/۰۲/۲۵ در حضور هیات داوران دفاع گردید. پس از بررسی های لازم، هیات داوران این پایان نامه را با نمره عدد ۹۹/۹۴ حروف نوزده و نود و چهار صد و با درجه عالی مورد تایید قرار داد.

عنوان پایان نامه: ساخت و ارزیابی آزمایشگاهی سازه ترکیبی تصفیه شیرابه نذیل زباله شهری

سمت در هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	گروه	دانشگاه	امضاء
داور	دکتر محمدرضا بیاتی	استادیار	مهندسی مکانیک یوسیستم	فردوسی مشهد	
داور	دکتر سیدهادی ابراهیمی	استادیار	علوم دامی	فردوسی مشهد	
استاد راهنما	دکتر مهدی خجسته پور	دانشیار	مهندسی مکانیک یوسیستم	فردوسی مشهد	
استاد راهنما	دکتر محمدعلی ابراهیمی نیک	استادیار	مهندسی مکانیک یوسیستم	فردوسی مشهد	
استاد مشاور	دکتر عباس روحانی	استادیار	مهندسی مکانیک یوسیستم	فردوسی مشهد	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر حسین بانژاد	دانشیار	علوم و مهندسی آب	فردوسی مشهد	
مدیر گروه	دکتر محمدحسین آق خانی	استاد	مهندسی مکانیک یوسیستم	فردوسی مشهد	

تعهد نامه

عنوان پایان نامه: ساخت و ارزیابی آزمایشگاهی سامانه ترکیبی تصفیه شیرابه لندفیل زباله شهری

اینجانب سعید قنبری آزاد پاشاکی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیزاسیون - بازیافت و مدیریت پسماند، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تحت راهنمایی دکتر مهدی خجسته پور و دکتر محمدعلی ابراهیم نیک متعهد می شوم:

- نتایج ارائه شده در این پایان نامه حاصل مطالعات علمی و عملی اینجانب بوده، مسئولیت صحت و اصالت مطالب مندرج را به طور کامل بر عهده می گیرم.
- در خصوص استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد نظر استناد شده است.
- مطالب مندرج در این پایان نامه را اینجانب یا فرد دیگری به منظور اخذ هیچ نوع مدرک یا امتیازی تاکنون به هیچ مرجعی تسلیم نکرده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد. مقالات مستخرج از پایان نامه، ذیل نام دانشگاه فردوسی مشهد (Ferdowsi University of Mashhad) به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت خواهد شد.
- در خصوص استفاده از موجودات زنده یا بافت های آن ها برای انجام پایان نامه، کلیه ضوابط و اصول اخلاقی مربوطه رعایت شده است.

تاریخ

نام و امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد و بدون اخذ اجازه کتبی از دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست.
- استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

چکیده

همواره مدیریت و دفع مواد زائد شهری یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های زیست‌محیطی بوده که اکنون به مشکل جهانی تبدیل شده است. دفن زباله‌ها در لندفیل منجر به تولید شیرابه حاوی مقادیر زیاد مواد آلی، آمونیاک، مواد نیتروژن‌دار، فلزات سنگین، کلر آلی، نمک‌های معدنی و ویروس‌ها و باکتری‌ها می‌گردد. یک راه حل بالقوه و مقرون به‌صرفه برای تصفیه شیرابه لندفیل زباله شهری استفاده از فرایندهای ترکیبی می‌باشد. بنابراین، راکتورهای بی-هوازی از نوع دومرحله‌ای اختلاط کامل با زمان ماند هیدرولیک به ترتیب ۵ و ۱۵ روز و حجم مفید ۱۰ و ۳۰ لیتر، هوازی از نوع ته‌نشینی و لاگون هوادهی-ته‌نشینی (با زمان ماند هیدرولیک به ترتیب ۴ ساعت، ۷ روز و ۴ ساعت و حجم مفید ۲، ۱۴ و ۲ لیتر) و راکتور شیمیایی با حجم ۱۲ لیتر در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شد. در این سامانه ترکیبی ساخته شده، تصفیه شیرابه تازه لندفیل مشهد طی سه فرایند هضم دومرحله‌ای بی‌هوازی، هوازی و انعقاد شیمیایی به مدت ۵ ماه مورد بررسی قرار گرفت. سامانه تصفیه قابلیت کنترل دقیق فاکتورهای عملیاتی فرایند هضم بی‌هوازی از جمله هوابندی کامل، دما، همزن مکانیکی، سامانه همزنی (سرعت و مدت زمان همزنی)، سامانه اندازه‌گیری بیوگاز، شاخص‌های اندازه‌گیری ارتفاع مواد، سامانه پشتیبان دما و سامانه پمپاژ و هوادهی دومحوره را همراه با قابلیت پرتابل بودن دارا می‌باشد. برای ارزیابی عملکرد دستگاه، آزمایشات به صورت پیوسته با دبی ثابت ۲ لیتر در روز و در شرایط دمایی مزوفیلیک انجام شد. پس از دوره شروع، میزان بارگذاری آلی از ۰/۰۷ تا $2/65 \text{ kgCOD/m}^3.\text{day}$ افزایش یافت. نتایج آزمایشات نشان داد که نرخ بارگذاری قابل قبول $\text{kgCOD/m}^3.\text{day}$ ۲/۰۵ می‌باشد که در آن راندمان حذف اکسیژن‌خواهی شیمیایی مجموع راکتور دومرحله‌ای، هوازی، شیمیایی و کل سامانه تصفیه به ترتیب ۹۳، ۳۷، ۵۰ و ۹۷/۸٪ بدست آمد. راندمان حذف اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی در کل سامانه نیز برابر ۹۸/۱۱٪ حاصل شد. با این حال نیتروژن آمونیاکی و قلیائیت در راکتور دومرحله‌ای بی‌هوازی به ترتیب ۳۱/۲۸ و ۱۵/۱۸٪ افزایش یافت در حالی که این پارامترها در راکتورهای هوازی (به میزان ۵۰/۳ و ۵۷/۲۳٪) و شیمیایی (به میزان ۸۸/۵۵ و ۸۸٪) سیری نزولی داشتند. مقادیر کدورت نرخ بهینه در راکتورهای بی‌هوازی، افزایشی (۱۸/۷٪) ولی در راکتورهای هوادهی و شیمیایی به ترتیب برابر ۷۲/۱ و ۹۸/۹٪ کاهش یافت. درصد متان نیز تحت شرایط پایدار در راکتورهای بی‌هوازی اول و دوم به ترتیب ۷۶/۴ و ۸۱/۳٪ بود. از فرایند ترکیبی بیولوژیک-شیمیایی می‌توان به‌عنوان فرایندی موثر برای تجزیه و حذف مواد آلاینده آلی استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: اکسیژن خواهی شیمیایی، تصفیه شیرابه، روش انعقاد شیمیایی، هضم بی‌هوازی-هوازی، متان.

«... ویزکیم ویعلمم الکتاب والحکمہ...»

«یارب دل مارا توبہ رحمت جان ده درد همه رابه صابری دمان ده»

این بنده چه داند که چه می باید جست داندۀ تویی هرآنچه دانی آن ده»

ماحصل آموخته ایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما، آموختم و هرچه بگو شتم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را پاس نتوانم بگویم.

امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

کران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم کوزه غبار خشکیان را بزداید.

بوسه بر دستان پر مهرتان.

از استاد کرامیم جناب آقای دکتر مهدی خجسته پور و دکتر محمد علی ابراهیمی نیک بسیار سپاسگزارم چرا که بدون راهنمایی های ایشان تاین این

پایان نامه بسیار مشکل می بود.

از جناب دکتر عباس روحانی به دلیل یاریها و مشاوره های بی شش داشت ایشان که بسیاری از سختیها را برایم آسانتر نمودند، سپاسگزارم.

فهرست مطالب

فصل اول - مقدمه

- ۱-۱-۱- پیش گفتار..... ۱
- ۲-۱- اهمیت مساله..... ۲
- ۳-۱- فرضیات..... ۷
- ۴-۱- اهداف..... ۷

فصل دوم - بررسی منابع

- ۱-۲- استراتژی مدیریت شیرابه لندفیل و اجزای زباله..... ۸
- ۱-۲-۱- گردش دوباره شیرابه به داخل توده پسماند لندفیل..... ۹
- ۱-۲-۲- تبخیر شیرابه..... ۹
- ۱-۲-۳- تصفیه در لاگون یا مرداب..... ۱۰
- ۱-۲-۴- تخلیه به تصفیه‌خانه فاضلاب..... ۱۰
- ۱-۲-۵- تصفیه پساب و شیرابه..... ۱۱
- ۲-۲- روش‌های تصفیه منفرد..... ۱۲
- ۱-۲-۲- روش‌های بیولوژیک تصفیه شیرابه..... ۱۲
- ۱-۲-۲-۱- فرایندهای بی‌هوازی تصفیه شیرابه..... ۱۳
- ۱-۲-۲-۱-۱- عوامل موثر در تولید بیوگاز..... ۱۶
- ۱-۲-۲-۲- فرایندهای هوازی تصفیه شیرابه لندفیل..... ۱۷
- ۱-۲-۲-۳- فرایندها و راکتورهای متداول در تصفیه پساب..... ۱۸
- ۱-۲-۲-۳-۱- راکتور جریان اختلاط کامل (CSTR)..... ۱۸
- ۱-۲-۲-۳-۲- راکتور بی‌هوازی جریان رو به بالا (UASB)..... ۱۸
- ۱-۲-۲-۳-۳- فرایندهای رشد معلق در تصفیه هوازی شیرابه لندفیل..... ۱۹
- ۱-۲-۲-۴- تالاب‌های ساخته شده (CW)..... ۲۱
- ۱-۲-۲-۵- راکتورهای منقطع یا ناپیوسته متوالی (SBR)..... ۲۱
- ۱-۲-۲-۶- فرایندهای رشد چسبیده - برج‌های زیستی (BT)..... ۲۲
- ۱-۲-۲-۷- دیسک‌های بیولوژیکی گردان (RBC)..... ۲۳
- ۲-۲-۲- فرایندهای فیزیکی-شیمیایی..... ۲۳
- ۳-۲- روش‌های ترکیبی..... ۲۵

- ۴-۲- پیشینه پژوهش ۲۵
- ۴-۲-۱- راکتورهای بی‌هوازی، هوازی و شیمیایی ۲۵
- ۴-۲-۲- راکتور ترکیبی بی‌هوازی-هوازی، انعقاد ۳۲

فصل سوم: مواد و روش‌ها

- ۳-۱- سامانه تصفیه بی‌هوازی-هوازی و شیمیایی ۳۸
- ۳-۱-۱- مجموعه راکتورها ۳۹
- ۳-۱-۲- مخازن ذخیره بیوگاز و گرم کننده راکتور بی‌هوازی ۴۰
- ۳-۱-۳- سامانه همزن الکتریکی ۴۳
- ۳-۲- مواد خام مورد آزمایش ۴۳
- ۳-۲-۱- شیرابه لندفیل زباله شهری ۴۳
- ۳-۲-۲- ماده تلقیحی (اینوکلوم) ۴۴
- ۳-۳- تجهیزات و ابزار اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد آزمایشی ۴۵
- ۳-۳-۱- دستگاه اندازه‌گیری اسیدیته (pH) ۴۵
- ۳-۳-۲- اندازه‌گیری مقدار متان تولید در بیوگاز ۴۵
- ۳-۳-۳- اندازه‌گیری غلظت اکسیژن محلول (DO) ۴۶
- ۳-۴- اندازه‌گیری میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) ۴۷
- ۳-۵- اندازه‌گیری اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی (BOD) ۴۸
- ۳-۶- اندازه‌گیری کدورت ۴۹
- ۳-۷- درصد جامدات کل (TS) ۵۰
- ۳-۸- درصد جامدات فرار و ثابت (VS) ۵۰
- ۳-۹- غلظت فلزات سنگین ۵۱
- ۳-۱۰- قلیائیت و نیترون آمونیاکی ۵۲
- ۳-۴- مراحل کارکرد سامانه تصفیه ۵۳
- ۳-۴-۱- مرحله راه‌اندازی راکتور بی‌هوازی دومرحله‌ای ۵۳
- ۳-۴-۲- مرحله بارگذاری پیوسته ۵۴
- ۳-۴-۳- مخزن ته‌نشینی و راکتور هوازی ۵۶
- ۳-۴-۴- راکتور شیمیایی ۵۷

فصل چهارم - نتایج و بحث

۱-۴	ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی بستر سامانه تصفیه	۵۹
۲-۴	کارایی حذف COD و BOD ₅ سامانه تصفیه	۶۴
۱-۲-۴	کارایی حذف COD و BOD ₅ در راکتور بی‌هوازی دو مرحله‌ای	۶۴
۲-۲-۴	کارایی حذف COD و BOD ₅ در راکتورهای هوازی	۶۹
۳-۲-۴	کارایی حذف COD و BOD ₅ در راکتور شیمیایی	۷۵
۳-۴	تغییرات pH و درجه حرارت	۷۹
۴-۴	تغییرات نیتروژن آمونیاکی و قلیائیت	۸۱
۱-۴-۴	تغییرات نیتروژن آمونیاکی و قلیائیت در راکتور بی‌هوازی دومرحله‌ای	۸۱
۲-۴-۴	تغییرات نیتروژن آمونیاکی و قلیائیت در راکتورهای هوازی	۸۶
۳-۴-۴	تغییرات نیتروژن آمونیاکی و قلیائیت در فرایند شیمیایی- انعقاد	۹۱
۵-۴	تولید بیوگاز و متان راکتورهای بی‌هوازی در غلظت‌های مختلف شیرابه لندفیل	۹۳
۶-۴	راندمان حذف فلزات سنگین در سامانه تصفیه	۹۷
۷-۴	راندمان حذف کدورت در سامانه تصفیه	۱۰۳

فصل پنجم- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱-۵	نتیجه‌گیری	۱۰۶
۲-۵	پیشنهادهای	۱۰۸
	منابع	۱۰۹
	پیوست‌ها	۱۲۷

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
شکل ۱-۱..... ۲	نمایی از تخلیه و دفن زباله در لندفیل جدید زباله شهری مشهد در میامی
شکل ۲-۱..... ۳	نمایی از تجمع و نفوذ شیرابه به محیط در لندفیل زباله شهری مشهد در میامی
شکل ۱-۲..... ۱۲	روش‌های تصفیه شیرابه لندفیل زباله
شکل ۲-۲..... ۱۶	مراحل کلیدی فرآیند بیوشیمیایی هضم بی هوازی
شکل ۳-۲..... ۱۶	عوامل موثر بر تولید بیوگاز در فرایند هضم بی‌هوازی
شکل ۱-۳..... ۳۸	شماتیک سامانه بی‌هوازی دومرحله‌ای - هوازی تصفیه شیرابه لندفیل
شکل ۲-۳..... ۳۹	شماتیک سامانه تصفیه بی‌هوازی شیرابه لندفیل
شکل ۳-۳..... ۴۰	شماتیک سامانه تصفیه هوازی شیرابه لندفیل
شکل ۴-۳..... ۴۱	سامانه گرمایش راکتورهای بی‌هوازی
شکل ۵-۳..... ۴۲	مانیتورینگ خودکار سامانه تصفیه
شکل ۶-۳..... ۴۲	شماتیک مخازن نگهداری بیوگاز سامانه بی‌هوازی
شکل ۷-۳..... ۴۳	سامانه همزن خودکار الکتریکی
شکل ۸-۳..... ۴۴	نمونه شیرابه جمع‌آوری شده از لندفیل زباله
شکل ۹-۳..... ۴۴	وضعیت نامناسب تجمع شیرابه لندفیل
شکل ۱۰-۳..... ۴۶	دستگاه pH متر مدل DR359TX
شکل ۱۱-۳..... ۴۷	اندازه‌گیری بیوگاز تولیدی
شکل ۱۲-۳..... ۴۷	دستگاه Do متر محلول مدل WTW ۳۲۰۵
شکل ۱۳-۳..... ۴۸	دستگاه اندازه‌گیری COD
شکل ۱۴-۳..... ۴۹	دستگاه BOD متر مدل BOD Trak II
شکل ۱۵-۳..... ۵۰	دستگاه کدورت‌سنج مدل TU-2016 با واحد NTU
شکل ۱۶-۳..... ۵۲	دستگاه پلاسمای جفت شده القایی (ICP)
شکل ۱۷-۳..... ۵۵	مخزن تغذیه راکتور بی‌هوازی دومرحله‌ای
شکل ۱۸-۳..... ۵۸	دستگاه جار تست مورد استفاده
شکل ۱-۴..... ۶۴	مقدار تغییرات COD خروجی سامانه بی‌هوازی دومرحله‌ای (کل تیمارها)
شکل ۲-۴..... ۶۹	مقدار تغییرات COD ورودی و خروجی سامانه هوازی (کل تیمارها)
شکل ۳-۴..... ۷۲	راندمان حذف COD و BOD در طول بارگذاری سامانه ترکیبی بی‌هوازی-هوازی

شکل ۴-۴. نسبت BOD_5/COD ورودی و خروجی در سامانه ترکیبی بی‌هوازی-هوازی	۷۵
شکل ۴-۵. راندمان حذف COD و BOD در طول بارگذاری بهینه راکتور شیمیایی-انعقاد	۷۶
شکل ۴-۶. تغییرات درجه حرارت نرخ‌های بارگذاری آلی در کل سامانه تصفیه	۸۰
شکل ۴-۷. تغییرات pH در نرخ‌های بارگذاری آلی سامانه تصفیه	۸۰
شکل ۴-۸. تغییرات نیتروژن آمونیاکی در طول سامانه تصفیه راکتور بی‌هوازی دومرحله‌ای	۸۳
شکل ۴-۹. تغییرات قلیائیت در طول سامانه تصفیه راکتور بی‌هوازی دومرحله‌ای	۸۴
شکل ۴-۱۰. تغییرات نیتروژن آمونیاکی در طول سامانه تصفیه لاگون هوازی	۸۷
شکل ۴-۱۱. تغییرات قلیائیت در طول سامانه تصفیه لاگون هوازی	۸۸
شکل ۴-۱۲. تغییرات قلیائیت و نیتروژن آمونیاکی در نرخ بارگذاری بهینه	۹۲
شکل ۴-۱۳. میزان بیوگاز تولیدی راکتورهای بی‌هوازی در نرخ بارگذاری ناپیوسته	۹۳
شکل ۴-۱۴. میزان بیوگاز تولیدی راکتورهای بی‌هوازی در بارگذاری پیوسته	۹۴
شکل ۴-۱۵. راندمان حذف فلزات سنگین در طول بارگذاری راکتور بی‌هوازی اول	۹۸
شکل ۴-۱۶. راندمان حذف فلزات سنگین در طول بارگذاری راکتور بی‌هوازی دوم	۹۸
شکل ۴-۱۷. راندمان حذف فلزات سنگین در طول بارگذاری راکتور هوادهی	۱۰۱
شکل ۴-۱۸. راندمان حذف فلزات سنگین در غلظت بهینه کلروفریک	۱۰۲
شکل ۴-۱۹. راندمان حذف کدورت سطوح مختلف کلروفریک	۱۰۴

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲. محدوده نسبت تجزیه پذیری شیرابه لندفیل	۱۳
جدول ۲-۲. نمونه عملیات واحد فیزیکی مورد استفاده در تصفیه پساب	۲۴
جدول ۳-۲. پردازش پساب و شیرابه لندفیل در فرایندهای بی‌هوازی	۳۰
جدول ۴-۲. پردازش پساب و شیرابه لندفیل در فرایندهای هوازی	۳۰
جدول ۵-۲. پردازش پساب و شیرابه لندفیل در فرایند شیمیایی-انعقاد	۳۱
جدول ۶-۲. پردازش پساب و شیرابه زباله در راکتورهای ترکیبی بیولوژیک و بیولوژیک-شیمیایی	۳۵
جدول ۱-۳. مواد لازم برای نگهداری نمونه‌ها	۴۵
جدول ۲-۳. آزمایشات و روش انجام آن‌ها برای تصفیه شیرابه لندفیل زباله	۵۳
جدول ۳-۳. برنامه زمان بندی جهت اندازه گیری پارامترهای موثر سامانه تصفیه شیرابه لندفیل	۵۶
جدول ۴-۳. پارامترهای عملیاتی سامانه هضم بی‌هوازی-هوازی	۵۷
جدول ۵-۳. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شیرابه مورد استفاده در بخش شیمیایی	۵۸
جدول ۱-۴. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شیرابه لندفیل زباله شهری	۶۰
جدول ۲-۴. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شیرابه لندفیل زباله شهری	۶۱
جدول ۳-۴. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی تیمارهای مورد آزمایش	۶۳
جدول ۴-۴. مقدار ورودی و درصد حذف COD و BOD ₅ سامانه تصفیه بی‌هوازی دومرحله‌ای	۶۵
جدول ۵-۴. پردازش پساب در فرایندهای بی‌هوازی	۶۸
جدول ۶-۴. مقدار ورودی و درصد حذف COD و BOD ₅ سامانه تصفیه هوازی	۷۰
جدول ۷-۴. پردازش شیرابه لندفیل و پساب در فرایندهای هوازی	۷۲
جدول ۸-۴. پردازش شیرابه لندفیل و پساب در فرایندهای بی‌هوازی-هوازی	۷۳
جدول ۹-۴. نسبت تجزیه پذیری زیستی سامانه بی‌هوازی-هوازی تصفیه شیرابه لندفیل زباله شهری	۷۴
جدول ۱۰-۴. پردازش شیرابه لندفیل در فرایند شیمیایی-انعقاد	۷۷
جدول ۱۱-۴. راندمان حذف COD و BOD ₅ سامانه ترکیبی بیولوژیک-شیمیایی	۷۸
جدول ۱۲-۴. پردازش پساب و شیرابه زباله در راکتورهای ترکیبی جهت تصفیه	۷۹
جدول ۱۳-۴. تغییرات نیتروژن آمونیاکی در نرخ بارگذاری مختلف سامانه بی‌هوازی دومرحله‌ای	۸۵
جدول ۱۴-۴. تغییرات نیتروژن آمونیاکی در نرخ بارگذاری مختلف سامانه لاگون هوازی	۸۸
جدول ۱۵-۴. تغییرات قلیائیت در نرخ بارگذاری مختلف سامانه لاگون هوازی	۹۱

جدول ۴-۱۶. تغییرات قلیائیت و نیتروژن آمونیاکی در نرخ بارگذاری بهینه	۹۲
جدول ۴-۱۷. میانگین بیوگاز و متان تولیدی و درصد آن در نرخ‌های مختلف بارگذاری سامانه تصفیه بی‌هوازی	۹۵
جدول ۴-۱۸. غلظت ورودی و خروجی فلزات سنگین در راکتور بی‌هوازی دومرحله‌ای	۹۹
جدول ۴-۱۹. غلظت ورودی و خروجی فلزات سنگین در راکتور هوادهی	۱۰۰
جدول ۴-۲۰. غلظت ورودی و خروجی فلزات سنگین در راکتور هوادهی	۱۰۲
جدول ۴-۲۱. راندمان حذف فلزات سنگین به روش منعقدکننده‌های شیمیایی	۱۰۳
جدول ۴-۲۲. تغییرات قلیائیت و نیتروژن آمونیاکی در نرخ بارگذاری بهینه	۱۰۴
جدول ۴-۲۳. راندمان حذف کدورت به روش منعقدکننده‌های شیمیایی	۱۰۵

فهرست علائم و اختصارها

معادل فارسی	معادل انگلیسی	علامت اختصاری
راکتور اختلاط کامل	Continuous Stirred Tank Reactor	CSTR
اکسیژن خواهی شیمیایی	Chemical Oxygen Demand	COD
اکسیژن خواهی بیولوژیکی	Biochemical Oxygen Demand	BOD
راکتور ناپيوسته توالی	Sequencing Batch Reactor	SBR
راکتور بی هوازی ناپيوسته توالی	Anaerobic Sequencing Batch Reactor	ASBR
لجن فعال	Activated Sludge	AS
راکتور بی هوازی بافل دار	Baffled Reactor Anaerobic	ABR
غشا یا فیلتر بی هوازی	Anaerobic Membrane	AM
جریان رو به بالا	Upflow Anaerobic Sludge Blanket	UASB
نرخ بارگذاری آلی	Organic Loading Rate	OLR
زمان ماند هیدرولیکی	Hydraulic Retention Time	HRT
استراتژی مدیریت لندفیل	Landfill Management Strategy	LMS
کل جامدات معلق	Total Suspended Solids	TSS
تالاب پیش ساخته	Constructed Wetland	CW
برج های زیستی	Bio-Tower	BT
دیسک بیولوژیک گردان	Rotating Biological Contactor	RBC
بخش آلی زباله جامد شهری	Organic Fraction of the Municipal Solid Waste	OFMSW
پسماند صنایع غذایی	Food Industry Waste	FIW
جامدات کل	Total Solid	TS
کلرید آهن یا کلروفریک	Iron(III) Chloride	FeCl ₃
آهن سولفات	Iron(III) Sulfate	Fe ₂ (SO ₄) ₃
آلومینیوم سولفات	Aluminium Sulfate	Al ₂ (SO ₄) ₃
کلسیم هیدروکسید	Calcium Hydroxide	Ca(OH) ₂
پلی آکریل آمید	Poly-Acrylamide	PAM
پلی آلومینیوم سیلیکات-کلرید	Poly-Aluminum-Silicate-Chloride	PASC
پلی آلومینیوم کلرید	Poly-Aluminium-Chloride	PACl
نیتروژن آمونیاکی	Ammonia Nitrogen	NH ₃ -N
جامدات فرار	Volatile Solid	VS

Alka	Alkalinity	قلیائیت
Mg	Magnesium	منیزیم
Mn	Manganese	منگنز
Zn	Zinc	روی
Cu	Copper	مس
Ni	Nickel	نیکل
Fe	Iron	آهن
Cd	Cadmium	کادمیوم
Cr	Chromium	کروم
Pb	Lead	سرب
NaOH	Sodium Hydroxide	سدیم هیدروکسید
CO ₂	Carbon Dioxide	کربن دی اکسید
CH ₄	Methane	متان
kg	Kilogram	کیلوگرم
m ³	Cubic Metre	مترمکعب
g	Gram	گرم
L	Litre	لیتر
mg	Mili gram	میلی گرم
Mm	Millimeter	میلی متر
pH	Potential of Hydrogen	اسیدیته

فصل اول - مقدمه

۱-۱- پیش گفتار

با افزایش جمعیت و پیشرفت‌های روزافزون فناوری نیاز بشر به مصرف انرژی و غذا هر روز در حال افزایش است. پیامد این دو مشکل اساسی، آلودگی محیط‌زیست و پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی را حادث می‌کند ([نوراللهی و همکاران، ۲۰۱۵](#)). از طرفی هم با توسعه شهرنشینی، پسماندهای شهری افزایش یافته و در صورت عدم مدیریت صحیح و مطلوب آن، مشکلات عدیده‌ای به وجود خواهد آمد ([جویستی، ۲۰۰۹](#)؛ [گررو و همکاران، ۲۰۱۳](#)). امروزه بخش قابل توجه‌ای از پسماندهای جامد شهری در لندفیل‌ها دفن می‌شود ([رؤ و یو، ۲۰۱۲](#)). لندفیل زباله، یکی از قدیمی‌ترین و ممکن‌ترین راه‌های انباشت پسماند در نقاط خارج از شهری و آخرین و متداول‌ترین مرحله برای زباله-هایی غیر قابل بازیافت و با کارایی ناچیز به شمار می‌رود ([زمان و لی‌من، ۲۰۱۱](#)؛ [الجارادین و پرسون، ۲۰۱۲](#)) که سبب شده سرمایه‌گذاری‌ها در این بخش به روشی مقرون به صرفه تبدیل گردد ([لنیر و همکاران، ۲۰۱۲](#)). در کشور ایران روزانه ۵۰ هزار تن پسماند تولید می‌شود که تنها ۸٪ مورد بازیافت، کمپوست و استفاده مجدد قرار گرفته و حدود ۹۲٪ باقی‌مانده با محتوی ۶۰-۷۰٪ بخش آلی به روش‌های مختلف در لندفیل‌ها دفن می‌شود ([سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، ۱۳۹۰](#)). مشهد نیز با کسب دومین شهر پرجمعیت ایران حدود ۱۹۰۰ تن در روز زباله تولید می‌کند که این مقدار در زمان اوج مسافر به ۲۵۰۰ تن در روز افزایش می‌یابد ([شکوه و همکاران، ۱۳۹۲](#)، [شهرداری مشهد، ۱۳۹۲](#)). روزانه ۱۰۰۰ تن زباله به صورت غیربهداشتی در لندفیل جدید مشهد دفن می‌شود. شکل ۱-۱ نمایی از تخلیه و دفن غیراصولی زباله در لندفیل مشهد را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱. نمایی از تخلیه و دفن زباله در لندفیل جدید زباله شهری مشهد در میامی

۲-۱- اهمیت مساله

در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران در نتیجه دفن پسماندهای مواد غذایی همراه با زباله‌های جامد شهری شیرابه و بیوگاز تولید شده ([کیم و همکاران، ۲۰۱۴](#)) و در اثر نفوذ باران و آب‌های سطحی به توده زباله، شکل‌گیری شیرابه تشدید می‌یابد ([جاستین و زاپانچیک، ۲۰۰۹](#)). شیرابه حاوی مقادیر زیاد مواد آلی، آمونیاک، مواد نیتروژن‌دار، فلزات سنگین، کلر آلی، نمک‌های معدنی و ویروس‌ها و باکتری‌ها می‌باشد. لازم به توضیح است که مقدار ترکیبات آلی موجود در شیرابه بیشتر از فاضلاب (۱۰ تا ۶۰ برابر فاضلاب خانگی) است ([احمد و لن، ۲۰۱۲](#)). این مواد سبب آلودگی خاک‌های اطراف لندفیل و آب‌های زیرزمینی و حتی سطحی می‌شود ([ان‌جی‌او و همکاران، ۲۰۰۹](#); [بخشوده و همکاران، ۲۰۱۷](#)). شیرابه لندفیل از توده زباله خارج و در قسمت تحتانی لندفیل تجمع می‌یابد. در نتیجه حجم زیادی از شیرابه آلوده تحت تاثیر مکانیزم‌های مختلف، شروع به نفوذ در داخل خاک‌های زیرین کرده و سبب آلودگی محیط‌زیست می‌گردد ([دی‌ایکونی و همکاران، ۲۰۰۶](#)). انتقال شیرابه به بالای توده زباله نیز ممکن است چشمه‌هایی از شیرابه را ایجاد و باعث آلودگی آب‌های سطحی، تخلیه اکسیژن محلول از منابع آبی و مرگ آبزیان حساس (برای مثال مرگ ماهیان در رودخانه جاجرود در دهه شصت)، تجمع پرندگان و حشرات گردد ([آدرمی و همکاران، ۲۰۱۱](#)). علاوه بر این، خاک‌های اطراف لندفیل به فلزات سنگینی هم‌چون آهن، منگنز، سرب، روی و غیره آلوده شده و سبب آلودگی شیمیایی بافت خاک، کاهش ظرفیت آب در خاک، از دسترس خارج شدن آب و سایر مواد مغذی و مرگ گیاه و نابودی موجودات زنده و مفید برای حاصل‌خیزی خاک می‌گردد ([هانگ و همکاران، ۲۰۰۲](#); [دسی‌دیری و همکاران، ۲۰۰۳](#)). زیرا زباله‌های صنعتی، الکترونیکی و زباله‌های معادن همراه با زباله‌های خطرناک شهری مانند باتری، رنگ، جوهر و غیره از منابع اصلی فلزات سنگین دفن می‌شود ([اُرس و اُونی، ۲۰۰۳](#)).

لندفیل مشهد نیز به صورت چندمنظوره و با زباله‌های دیگر نظیر نخاله‌های ساختمانی دفن می‌شود. سهم شیرابه - تولیدی لندفیل جدید مشهد نزدیک به ۱۲۰ متر مکعب در روز تخمین زده شده است (شهرداری مشهد، ۱۳۹۲). زیرا سامانه جمع‌آوری شیرابه و تعبیه پوشش‌های نفوذناپذیر در لندفیل مشهد اجرا نشده و این امر باعث تشدید تولید شیرابه به صورت دریاچه‌هایی در نقاط پایین دست لندفیل مطابق شکل ۱-۲ شده است.



شکل ۱-۲. نمایی از تجمع و نفوذ شیرابه به محیط در لندفیل زباله شهری مشهد در میامی

در حال حاضر روش‌های مختلفی جهت مدیریت و تصفیه شیرابه وجود دارد که باید از جهات اقتصادی و فنی مورد مطالعه قرار گیرد (گاو و همکاران، ۲۰۱۵). به دلیل متغیر بودن خصوصیات شیرابه، طراحی سامانه‌های تصفیه امری مشکل می‌باشد. زیرا سامانه‌های تصفیه براساس خصوصیات کمی و کیفی مشخص و ثابت طراحی می‌شوند و هر گونه تغییر در ترکیبات شیرابه ورودی سبب کاهش راندمان و یا از کار افتادن آن‌ها می‌گردد (باوه و همکاران، ۲۰۱۵). براین اساس تصفیه شیرابه یک فرایند پیچیده، پرهزینه و تحت تاثیر پارامترها و عوامل مختلفی می‌باشد (قاسمی و حاج علی فرد، ۱۳۹۴). زیرا از یک طرف هیچ پردازش واحدی برای کلیه گونه‌های شیرابه لندفیل وجود نداشته (باوه و همکاران، ۲۰۱۵) و از طرفی دیگر ترکیبات شیرابه بسته به نوع زباله، محل دفن، شرایط آب و هوایی، سن لندفیل، نوع خاک، درجه حرارت و مقدار رطوبت متغیر می‌باشد (سینگ و تانگ، ۲۰۱۳). بدین ترتیب پردازش مناسب شیرابه به چالشی جدی تبدیل شده که دولت‌های محلی با آن مواجه هستند (وو و همکاران، ۲۰۰۴) و در صورت عدم انتخاب فناوری مناسب ممکن است اثرات شدید زیست‌محیطی حادث شده (وکاری و همکاران، ۲۰۱۲؛ گِررو و همکاران، ۲۰۱۳) و سلامت انسان با رهاکردن شیرابه (چاتم-استیونس و همکاران، ۲۰۱۴) و انتشار آلوده‌کننده‌ها در اتمسفر (رابونی و همکاران، ۲۰۱۵) به خطر افتد. بنابراین حذف مواد آلی شیرابه بر اساس اکسیژن-

خواهی شیمیایی (COD^1)، اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی (BOD^2) و آمونیوم قبل از تخلیه به آب‌های طبیعی به‌منظور حفاظت محیط‌زیست و معیشت انسان ضروری خواهد بود (کامارودین و همکاران، ۲۰۱۵؛ بین و همکاران، ۲۰۱۷).

شیرابه لندفیل به دو نوع جوان و پیر طبقه‌بندی می‌شوند. شیرابه جوان معمولاً حاوی مقادیر زیاد اسیدهای چرب فرار است. این اسیدهای چرب فرار به راحتی قابل تجزیه بوده و اکسیژن‌خواهی شیمیایی بخش اعظمی از شیرابه جوان را تشکیل می‌دهد. بنابراین در این نوع شیرابه نسبت اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی به شیمیایی نسبتاً بالا است. امروزه روش‌های مختلفی برای تصفیه پساب و شیرابه از جمله تصفیه بیولوژیک، اکسیداسیون، انعقاد، شناورسازی، جذب و فرآیندهای پیشرفته ازن و نانوفیلترها بکار گرفته می‌شود (بوستیلو-لکومپته و مهرور، ۲۰۱۵) که در این میان استفاده از روش‌های بیولوژیکی جهت پردازش مناسب شیرابه توسط بسیاری از محققان مورد توجه قرار گرفته است (عزیز و همکاران، ۲۰۱۰؛ چی و همکاران، ۲۰۱۲؛ شاهی و همکاران، ۲۰۱۳؛ اسلامی و همکاران، ۲۰۱۷). در بین روش‌های بیولوژیک، هضم بی‌هوازی برای تصفیه شیرابه جوان و حاوی آلاینده‌های بالا مناسب‌تر بوده و مزایای هم‌چون نرخ بارگذاری آلی^۳ (OLR) بالاتر، هزینه‌های عملیاتی پایین‌تر و تولید بیوگاز قابل استفاده و مقرون به‌صرفه را ارائه می‌دهند (وو و همکاران، ۲۰۱۵؛ ور و پاور، ۲۰۱۶؛ ال گوهری و کامل، ۲۰۱۶). با این حال، غلظت خروجی نسبتاً بالا و عدم توانایی حذف آمونیاک، معایب فرآیندهای بی‌هوازی است (ال گوهری و کامل، ۲۰۱۶). فرآیندهای هوازی نیز برای شیرابه حاوی غلظت پایین و تخریب‌پذیری آسان مناسب می‌باشند که از جمله ویژگی‌های شیرابه پیر و تثبیت‌شده می‌باشد (سروانتس و همکاران، ۲۰۰۶). از طرفی هم فرآیندهای هوازی نیاز به زمان هوادهی طولانی و راکتور بزرگ‌تر داشته و تولید مقدار بیشتری لجن را به همراه دارند، اما سبب حذف آمونیاک در طی فرایند هوازی می‌شود (گری، ۲۰۱۰؛ پارازی‌رس و همکاران، ۲۰۱۲). هم‌چنین به‌منظور رعایت قوانین سخت‌گیرانه در استانداردهای تخلیه پساب، بکارگیری فرآیند هوازی جهت حذف بیشتر مواد آلی باقی‌مانده از پساب-های بی‌هوازی مورد نیاز است (چن و همکاران، ۲۰۰۸). در نتیجه استفاده از سامانه‌های ترکیبی بی‌هوازی و هوازی برای حذف هم‌زمان COD و آمونیوم، جذاب‌تر بوده و سبب بهره‌وری رضایت بخش و رفع بسیاری از مشکلات روش‌هایی است که به تنهایی جهت پردازش استفاده می‌شوند (لاموتا و همکاران، ۲۰۰۷؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸).

به‌عبارتی، کار اصلی فرآیند بی‌هوازی شیرابه، کاهش ترکیبات زیستی آلی و نیتروژن بوده تا هزینه‌های پردازش

1 . Chemical Oxygen Demand (COD)
 2 . Biochemical Oxygen Demand (BOD)
 3 . Organic Loading Rate (OLR)