به نام خدا

۱۳۸۷ /۵۱/ ۴۰۵

۹۹۱۲۵

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکدهٔ فنی و مهندسی

بخش مهندسی شیمی

گروه بیوتکنولوژی

بکارگیری راکتور لوله ای برای هضم بی هوازی ضایعات غذایی

نگارش:

شهرزاد هرمزدی

استاد راهنما:

دکتر محسن نصرتی

استاد مشاور:

دکتر جعفر توفیقی داریان

۱۳۸۷ /۵/ ۲۵

آذر ۱۳۸۶

۹۹۱۶۵

۱۵۸۸۳

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

خانم شهرزاد هرمزدی پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان طراحی وساخت راکتور پلاگ برای هضم بی هوازی ضایعات غذایی** در تاریخ ۱۳۸٦/۹/۲۷ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محسن نصرتی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر جعفر توفیقی داریان	استاد	
استاد ناظر	دکتر سید عباس شجاع الساداتی	استاد	
استاد ناظر	دکتر سیدمحمدرضا علوی مقدم	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر سید عباس شجاع الساداتی	استاد	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

۹۹۱۶۵

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

حزری

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب دانشجوی رشته مقطع

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: شهرزاد هرمزدی

تاریخ و امضا:

هرمزدی

تقدیم به:

پدر ارجمندم

مادر مهربانم

و

برادر عزیزم

تشکر و قدردانی:

شکر خدای را که لحظه ای از حال بندگان خود غافل نمی باشد.

از استاد گرانمایه ام جناب آقای دکتر محسن نصرتی به دلیل راهنمایی ها و حمایت های ارزشمندشان، و از جناب آقای دکتر جعفر توفیقی داریان به دلیل مشورت های بی دریغ شان، کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از سرکار خانم فاطمه تیموری مسئول دلسوز آزمایشگاه بیوتکنولوژی، آقای امیر مقصودی و کلیه دوستانی که با حمایت هایشان مرا در انجام این پروژه یاری رساندند، بسیار سپاسگزارم.

چکیده

هضم بی هوازی، یکی از روش های تصفیهٔ زیستی پسماندهای آلی به شمار می رود که امروزه به دلیل تولید مواد سازگار با محیط زیست و بازیافت انرژی، نقش مهمی در پالایش و استفاده از مواد زائد مرطوب و بسیار تجزیه پذیر مانند ضایعات آشپزخانه ای ایفا می کند. در این پژوهش، یک راکتور لوله ای دو مرحله ای بفل دار در مقیاس آزمایشگاهی، به منظور مطالعهٔ تأثیر نرخ بارگذاری مواد آلی بر عواملی چون pH، جامدات کل (TS)، جامدات فرار (VS) و میزان نیاز اکسیژن شیمیایی (COD) ساخته شد. هضم بی هوازی پسماندهای آشپزخانه ای با مقادیر جامدات کل مختلف به همراه فضولات گاوی به صورت نیمه پیوسته و در شرایط مزوفیل طی ٤٠ روز مورد بررسی قرار گرفت. باقی ماندن pH در محدودهٔ ۷/۲۵– ٦/۳۸ نشان می دهد که عملکرد هاضم در طول فرآیند از ثبات خوبی برخوردار بوده است، به علاوه این راکتور TS را به میزان ٪۹۳، VS را به میزان ٪۹٦ و COD را به میزان ٪۸۷ کاهش داده است.

کلمات کلیدی: هضم بی هوازی، ضایعات غذایی، فرآیند دو مرحله ای، راکتور پلاگ

فهرست مطالب صفحه

مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

تعاریف و کلیات ٦

۲-۱- هضم بی هوازی ۷

۲-۱-۱- تاریخچهٔ هضم بی هوازی در جهان ۷

۲-۱-۲- تاریخچهٔ هضم بی هوازی در ایران ۸

۲-۱-۳- مزایای هضم بی هوازی ۸

۲-۱-٤- معایب هضم بی هوازی ۹

۲-۱-۵- مقایسهٔ هضم بی هوازی با هضم هوازی ۱۰

۲-۱-٦- ترکیب فرآیند هضم هوازی و بی هوازی ۱۱

۲-۲- میکروبیولوژی هضم بی هوازی ۱۲

۲-۲-۱- هیدرولیز ۱۳

۲-۲-۲- اسید زایی ۱٤

۲-۲-۳- استات زایی ۱۵

۲-۲-٤- متان زایی ۱۵

۲-۲-۵- سایر باکتری ها ۱۷

۲-۳- عوامل موثر بر هضم بی هوازی ۱۷

۲-۳-۱- شرایط عملیاتی ۱۸

۲-۳-۱-۱- پیش تصفیه ۱۸

۲-۳-۱-۱-۱- اندازه ذرات ۱۸

۲-۳-۱-۲- راه اندازی راکتور..... ۱۹
۲-۳-۱-۳- دما..... ۱۹
۲-۳-۱-۳-۱- مقایسهٔ هضم بی هوازی ترموفیل و مزوفیل..... ۲۰
۲-۳-۱-٤- pH..... ۲۲
۲-۳-۱-٥- قلیائیت..... ۲۳
۲-۳-۱-٦- اسیدهای چرب فرار..... ۲۳
۲-۳-۱-۷- زمان ماند هیدرولیکی..... ۲٥
۲-۳-۱-۸- نرخ بارگذاری مواد آلی..... ۲٦
۲-۳-۱-۹- مواد معلق و کف..... ۲۷
۲-۳-۱-۱۰- همزدن..... ۲۷
۲-۳-۲- خصوصیات خوراک..... ۲۹
۲-۳-۲-۱- جامدات فرار..... ۲۹
۲-۳-۲-۲- محتوای رطوبت..... ۲۹
۲-۳-۲-۳- تجزیه پذیری ضایعات..... ۲۹
۲-۳-۲-٤- چربی..... ۳۰
۲-۳-۲-٥- نسبت کربن به نیتروژن..... ۳۱
۲-۳-۲-٥-۱- هضم همزمان..... ۳۲
۲-۳-۲-٦- آمونیاک..... ۳۳
۲-۳-۲-۷- نمک طعام..... ۳٤
۲-٤- تولید بیوگاز و ترکیبات آن..... ۳٥
۲-٤-۱- راندمان تولید متان..... ۳٥

۲-٤-۱-۱- راندمان تئوری بیوگاز و متان..... ۳۵
۲-٤-۱-۲- راندمان واقعی متان..... ۳۷
۲-۵- راکتورهای مورد استفاده در هضم بی هوازی..... ۳۸
۲-۵-۱- تقسیم بندی بر اساس تعداد مراحل..... ۳۸
۲-۵-۱-۱- تک مرحله ای..... ۳۸
۲-۵-۱-۲- چند مرحله ای..... ۳۹
۲-۵-۲- تقسیم بندی بر اساس نحوه خوراک دهی..... ٤۲
۲-۵-۲-۱- خوراک دهی ناپیوسته..... ٤۲
۲-۵-۲-۲- خوراک دهی پیوسته..... ٤۲
۲-۵-۳- تقسیم بندی بر اساس میزان جامدات..... ٤۳
۲-۵-٤- تقسیم بندی بر اساس شکل و عملکرد راکتور..... ٤۳
۲-۵-٤-۱- هاضم کاملاً همزده..... ٤٤
۲-۵-۵-۲- هاضم پلاگ..... ٤۵
۲-۵-۵- طراحی راکتورهای بی هوازی..... ٤٦
۲-۵-٦-۱- موازنهٔ جرم راکتور پلاگ ایده آل..... ٤٦
۲-۵-۵-۱- عوامل موثر در طراحی هاضم های بی هوازی..... ٤۷
۲-۵-۵-۱-۱- زمان ماند هیدرولیکی..... ٤۷
۲-۵-۵-۱-۲- نرخ بارگذاری..... ٤۷
مواد و روش ها..... ۵٤
۳-۱- سوبسترا و مایه تلقیح..... ۵۵
۳-۱-۱- ضایعات غذایی..... ۵۵

۳-۱-۲- فضولات گاوی ۵۵
۳-۱-۳- مواد شیمیایی و تجهیزات مورد استفاده ۵۵
۳-۲- روشهای آزمایشگاهی ۵۶
۳-۲-۱- اندازه گیری TS ۵۶
۳-۲-۲- اندازه گیری TSS ۵۷
۳-۲-۳- اندازه گیری TVS ۵۷
۳-۲-۵- اندازه گیری COD ۵۷
۳-۲-۶- اندازه گیری درصد چربی ۵۹
۳-۲-۷- اندازه گیری درصد پروتئین ۶۰
۳-۲-۸- اندازه گیری اسیدهای چرب فرار ۶۲
۳-۲-۹- مدل های آزمایشگاهی ساخته شده ۶۳
۳-۲-۹-۱- بیوراکتور پلاگ ۶۳
۳-۲-۹-۲- هاضم های یک لیتری ناپیوسته ۶۵
۳-۲-۹-۲-۱- حرارت دهی به هاضم های یک لیتری ناپیوسته ۶۶
۳-۲-۱۰- آزمایش های انجام شده ۶۷
نتایج و بحث ۷۳
جمع بندی و پیشنهادها ۸۵
۵-۱- جمع بندی ۸۶
۵-۲- پیشنهادها ۸۶
فهرست منابع ۸۷
واژه نامه ۹۳

فهرست جدول ها

جدول ۲-۱: تفاوت میکروبیولوژیکی هضم هوازی و بی هوازی..... ۱۰

جدول ۲-۲: مزایا و معایب هضم هوازی و بی هوازی..... ۱۰

جدول ۲-۳: مقایسهٔ هضم بی هوازی در شرایط ترموفیل و مزوفیل..... ۲۰

جدول ۲-٤: شاخص پایداری هضم بر اساس نسبت اسیدهای چرب فرار به قلیائیت..... ۲۳

جدول ۲-۵: اثر نیتروژن آمونیاکی بر هضم بی هوازی..... ۳٤

جدول ۲-٦: راندمان تولید متان از برخی ضایعات غذایی..... ۳۵

جدول ۲-۷: محتوای لیگنین برخی ضایعات برحسب جامدات فرار..... ۳۷

جدول ۲-۸: مزایای راکتورهای دو مرحله ای نسبت به راکتورهای تک مرحله ای..... ٤۱

جدول ۲-۹: ثابت های واکنش تجزیهٔ مواد غذایی..... ٤۷

جدول ۳-۱: مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایش ها..... ۵۵

جدول ۳-۲: تجهیزات مورد استفاده..... ۵٦

جدول ۳-۳: تهیهٔ محلول های استاندارد برای اندازه گیری COD به روش کالریمتری..... ۵۸

جدول ۳-٤: ضرایب تبدیل و درصد ازت برخی از مواد غذایی..... ٦۲

جدول ۳-۵: مشخصات اولیهٔ فضولات گاوی رقیق شده مورد استفاده در آزمایش دوم..... ٦۸

جدول ۳-٦: مشخصات اولیهٔ فضولات گاوی رقیق شده مورد استفاده در آزمایش سوم..... ٦۹

جدول ۳-۷: محتوای ارلن ها در آزمایش چهارم..... ٦۹

جدول ۳-۸: مشخصات خوراک ورودی به راکتور پلاگ در آزمایش ششم..... ۷۰

جدول ٤-۱: مشاهدات و نتایج آزمایش اول..... ۷٤

جدول ٤-۲: مشاهدات و نتایج آزمایش دوم..... ۷٤

جدول ٤-۳: مشاهدات و نتایج آزمایش سوم..... ۷۵

جدول ٤-٤: pH محتوای ارلن ها، یک روز بعد از شروع آزمایش..... ۷٦

جدول ٤-۵: حجم روزانهٔ بیوگاز تولید شده برحسب میلی لیتر در آزمایش چهارم..... ۷٦

فهرست شکل ها

شکل۲-۱: باکتری های شرکت کننده در فرآیند بی هوازی..... ۱۳

شکل۲-۲: زمان هضم در شرایط مزوفیل و ترموفیل..... ۲۱

شکل۲-۳: رابطهٔ بین زمان ماند هیدرولیکی و دما در هاضم های بی هوازی..... ۲۶

شکل۲-٤: همزدن به کمک همزن مکانیکی و جریان بیوگاز داخل راکتور همزده..... ٤٤

شکل۲-٥: همزدن محتویات راکتور پلاگ..... ٤٥

شکل۲-٦: حجم کنترل در راکتور پلاگ..... ٤٦

شکل۳-۱: طرز اتصال قطعات در روش سوکسله..... ٦۰

شکل۳-۲: جریان های ورودی و خروجی و نحوهٔ جریان از بفل ها..... ٦٥

شکل۳-۳: بیوراکتور پلاگ بفل دار ساخته شده..... ٦٥

شکل۳-٤: مدل آزمایشگاهی بیوراکتور یک لیتری ناپیوسته..... ٦٦

شکل۳-٥: مدل آزمایشگاهی هاضم های ناپیوسته با گرمکن الکتریکی..... ٦۷

شکل۳-٦: راکتور پلاگ در آزمایش اول..... ٦۸

شکل۳-۷: راکتور پلاگ در آزمایش ششم..... ۷۱

شکل۳-۸: خوراک دهی در آزمایش هفتم..... ۷۱

شکل٤-۱: حباب های درشت محبوس شده در لایهٔ سطحی..... ۷٥

شکل٤-۲: حباب های تشکیل شده در محفظهٔ آخر در آزمایش ششم..... ۷۷

شکل٤-۳: نمودار تغییرات pH خوراک و محفظهٔ آخر برحسب زمان..... ۷۸

شکل٤-٤: نمودار تغییرات TS خوراک، لجن و مایع خروجی برحسب زمان..... ۷۸

شکل٤-٥: نمودار تغییرات VS خوراک، لجن و مایع خروجی برحسب زمان..... ۷۹

شکل٤-٦: نمودار تغییرات COD خوراک، لجن و مایع خروجی برحسب زمان..... ۷۹

شکل٤-۷: حباب های درشت تولید شده در محفظهٔ آخر در روز یازدهم آزمایش هفتم..... ۸۰

شکل٤-۸: محل عبور بیوگاز از کف به سطح مایع داخل بدنهٔ بیوراکتور در آزمایش هفتم..... ۸۱

شکل٤-۹: لایه ای شدن محتویات در محفظهٔ اول..... ۸۱

شکل٤-۱۰: نمودار تغییرات pH خوراک ورودی و نمونهٔ خروجی از راکتور پلاگ با زمان..... ۸۲

شکل٤-١١: نمودار تغییرات TS خوراک ورودی و نمونهٔ خروجی از راکتور پلاگ با زمان..... ٨٢
شکل٤-١٢: نمودار تغییرات VS خوراک ورودی و نمونهٔ خروجی از راکتور پلاگ با زمان..... ٨٣
شکل٤-١٣: نمودار تغییرات COD خوراک ورودی و نمونهٔ خروجی از راکتور پلاگ با زمان..... ٨٣
شکل٤-١٤: نمودار تجمع متان در آزمایش هفتم..... ٨٤
شکل٤-١٥: محل قرارگیری اسیدهای چرب فرار در کروماتوگرام HPLC..... ٨٥
شکل٤-١٦: نمودار تغییرات اسیدهای چرب فرار با زمان..... ٨٥

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه یکی از معضلات جدی جوامع بشری، افزایش رو به رشد تولید ضایعات شهری، روستایی و صنعتی می باشد. در صورت عدم توجه کافی به نحوهٔ جمع آوری و دفن این مواد زائد، مشکلات فراوان زیست محیطی از جمله پراکندگی و رشد سریع بسیاری از باکتری ها، انگل ها و جانوران موذی، انتشار بوی ناخوشایند بر اثر فساد ضایعات تجزیه پذیر، نشر گازهای گلخانه ای، آلودگی آب های زیرزمینی و اسیدی شدن خاک بوسیلهٔ شیرابهٔ حاصل از فساد ضایعات در محل های دفن زباله به وجود خواهد آمد (Han and Shin 2004). در بیش تر کشورهای اروپایی مانند آلمان، به دلیل محدود بودن ظرفیت اماکن دفن زباله، از دفن ضایعات با محتوای جامدات فرار بیش از ٪۵ با اعمال قانون و افزایش مالیات جلوگیری به عمل می آید (Schober *et al.* 1999, Verma 2002). همچنین بسیاری از کشورهای اروپایی به دلیل گرانی منابع انرژی و قوانین سخت گیرانهٔ محیط زیستی به استفاده از روش زیستی هضم بی هوازی برای بازیافت و تصفیهٔ ضایعات روی آورده اند (Monnet 2003).

حدود ٪۷۰ از کل زباله های شهری را مواد فسادپذیر مانند پسماندهای غذایی تشکیل می دهند که به دلیل محتوای بالای جامدات فرار (٪۹۵- ۸۵) و رطوبت (٪۸۵- ۷۵) این مواد زائد، به عنوان آلاینده های عمدهٔ محیط زیست شناخته می شوند. با استفاده از روش هضم بی هوازی، تقریباً ٪۹۵ از مواد آلی موجود در ضایعات غذایی بوسیلهٔ باکتری های بی هوازی تجزیه می شوند که در انتها به بیوگاز[1] (حاوی ٪۷۰- ۶۰ متان، ٪۴۰- ۳۰ دی اکسید کربن و مقدار بسیار کمی از گازهایی دیگر مانند سولفید هیدروژن) تبدیل می شوند. این کاهش حجم که با تثبیت ٪۵ باقیماندهٔ مواد آلی همراه است، از مزایای هضم بی هوازی نسبت به روش هضم هوازی (کمپوست کردن) به شمار می رود. مواد تثبیت شده به عنوان کود غنی از مواد معدنی مورد استفاده قرار می گیرند. ضایعات غذایی دارای محتوای بالای انرژی (۴۲۴- ۹۴ ml CH_4/ dry weight برحسب نوع غذا) می باشند و بنابراین بازیافت انرژی از آن ها بوسیلهٔ تولید بیوگاز، در کاهش استفاده از سوخت های فسیلی مفید می باشد (Schober *et al.* 1999, Han and Shin 2004, Dearman and Bentham 2006).

[1] Biogas

هضم بی هوازی، معمولاً در راکتوری که هاضم[2] نامیده می شود، در شرایط کنترل شده انجام می شود و بیوگاز تولید شده پس از تصفیهٔ جزئی، ذخیره و به عنوان سوخت برای گرم کردن، پخت و پز، تولید الکتریسیته و غیره مورد استفاده قرار می گیرد. هضم بی هوازی ضایعات غذایی با تولید مقدار زیادی مواد واسطهٔ اسیدی (اسیدهای چرب فرار[3]) همراه است که باعث به هم خوردن تعادل هاضم و عدم ثبات آن می شود. مشکل ناپایداری فرآیند هضم این ضایعات، به کمک هضم همزمان با سوبسترای دیگری مانند فضولات گاوی[4] (یا لجن فاضلاب[5]) که دارای راندمان پایین تولید متان، اما با ثبات عملیاتی بالا می باشند، منتهی به یک فرآیند بی هوازی پایدار و با نرخ متان دهی بالا می شود (Schanbacher *et al.* 2005). انتخاب نوع هاضم، بر اساس نوع و غلظت خوراک، نحوهٔ نگه داری میکروارگانیسم ها در داخل هاضم، زمان ماند مورد نیاز برای هضم کامل خوراک و نحوهٔ اختلاط محتویات صورت می پذیرد (Spinosa *et al.* 2001). هاضم پلاگ (لوله ای)، به دلیل زمان ماند طولانی تر و اخلاط کم محتویات، برای هضم خوراک های غلیظ بسیار مناسب می باشد (Ewing 2004). همچنین با دومرحله ای کردن هاضم بوسیلهٔ بفل های جداکننده (که در این پروژه انجام گرفته است)، راندمان تولید متان، و ثبات و عملکرد هاضم بهبود خواهد یافت. در این تحقیق با تعبیه بفل هایی، راکتور لوله ای به یک راکتور دو مرحله ای تبدیل شده است و تغییرات نرخ بارگذاری بر هضم پسماندهای غذایی در آن مورد بررسی قرار گرفته است.

ترتیب بررسی مطالب در فصول آتی به این صورت است: در فصل دوم این پایان نامه، مروری بر عوامل مؤثر در فرآیند هضم بی هوازی، و نیز راکتورهای متداول در این فرآیند و عملکرد آن ها انجام گرفته است. در فصل سوم، به روش های آزمایشگاهی مورد استفاده، مدل های آزمایشگاهی ساخته شده و آزمایش های انجام شده پرداخته شده است. در فصل چهارم نتایج و مشاهدات آزمایش ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند. در نهایت در فصل پنجم پیشنهاد هایی برای استفاده صنعتی از این راکتور ارائه شده است.

---

[2] Digester
[3] Volatile Fatty Acids
[4] Cow Dung
[5] Sewaage Sludge

فصل دوم

تعاریف و کلیات

۲-۱- هضم بی هوازی

فرآیند هضم، فرآیندی بیوشیمیایی است که مواد آلی را بوسیلهٔ واکنش شیمیایی به صورت محلول و قابل جذب برای سلول ارگانیسم ها در می آورد تا برای انجام فعالیتهای حیاتی خود، از آن ها بهره گیرند (Buekens 2005, Zaher *et al.* 2007). هضم بی هوازی[6] که به متان زایی بیولوژیکی[7] نیز شهرت دارد، فرآیندی است که به طور طبیعی در خاک، روده جانوران، باتلاق ها، مرداب ها، فاضلاب ها و اماکن دفن زباله انجام می شود (Buekens 2005, Wilkie 2005). این فرآیند، که در شرایط بدون اکسیژن به وقوع می پیوندد، محصولی به نام بیوگاز تولید می نماید که معمولاً حاوی ٪۷۰- ۵۵ متان و ٪۴۵-۳۰ دی اکسیدکربن و نیز مقادیر اندکی نیتروژن، هیدروژن، سولفید هیدروژن می باشد (Juanga 2005, Krich *et al.* 2005). در مقیاس صنعتی، ضایعات گوناگون در داخل راکتورهایی که هاضم نامیده می شوند، در شرایط بی هوازی هضم شده و بیوگاز حاصل، پس از پاکسازی مناسب به عنوان سوخت موتورها، توربین های گازی، پیل های سوختی، بویلرها، گرمکن های صنعتی و در تولید مواد شیمیایی قابل استفاده می باشد (Hackett *et al.* 2004, Bouallagui *et al.* 2005). سوبستراهایی که به طور معمول در هاضم های بی هوازی مورد استفاده قرار می گیرند شامل فضولات حیوانی، لجن فاضلاب، فاضلاب های با میزان BOD بالا و مواد آلی موجود در ضایعات جامد شهری (OFMSW)[8] می باشند (Buekens 2005). به طور معمول، ٪۶۰-۴۰ از مواد آلی موجود در ضایعات به بیوگاز تبدیل می شوند و باقی مانده (لجن) که حاوی جامدات بیولوژیکی تثبیت شده بی ضرر می باشد، به عنوان بهبود دهندهٔ خاک مورد استفاده قرار می گیرد (Spinosa and Vesilind 2001, Juanga 2005).

۲-۱-۱- تاریخچهٔ هضم بی هوازی در جهان

بر طبق مدارک تاریخی موجود، استفاده از فرآیند هضم بی هوازی در جهان به گذشته های بسیار دور باز می گردد. در سال ۱۸۵۹ با ساخت اولین واحد نیمه صنعتی هضم در بمبئی، استفاده از این فناوری در صنعت آغاز شد و در سال ۱۸۹۵، بیوگازی که از واحد تصفیهٔ فاضلاب بازیابی شده بود، به عنوان سوخت چراغ های خیابان اکستر انگلیس مورد استفاده قرار گرفت. در سال های اخیر،

---

[6] Anaerobic Digestion
[7] Biomethanization
[8] Organic Fraction of Municipal Solid Waste