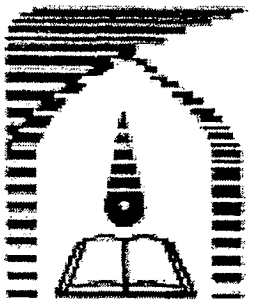
١٠٩٩٧٨

۸۷/۱/۱۰۸۹۹۵
۸۸/۲/۲



دانشگاه تربیت مدرس

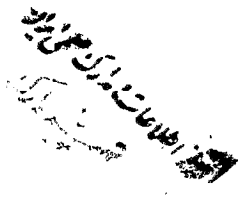
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی- بیوتکنولوژی

بررسی تجزیه زیستی پلی اتیلن طی فرایند تولید کمپوست

نگارش:

زهرا صاحب نظر



استاد راهنما:

دکتر سید عباس شجاع الساداتی

۱۳۸۸ /۱۱/ ۱۸

استاد مشاور:

دکتر محسن نصرتی

اسفند ۱۳۸۶

۱۰۹۹۷۸

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

خانم زهرا صاحب نظر پایان نامه ۹ واحدی خود را **با عنوان تجزیه زیستی پلی اتیلن با تاکیدبرفرآیند کمپوستینگ** در تاریخ ۱۳۸۶/۱۲/۲۵ 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 سید عباس شجاع السادات	استاد	
استاد مشاور	دکتر محسن نصرتی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سمیره هاشمی نجف آبادی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر منوچهر وثوقی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر سمیره هاشمی نجف آبادی	استادیار	

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

امضای استاد راهنما:

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

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 هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها/ 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 پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی می‌باید به نام دانشگاه بوده و **استاد راهنما** نویسنده **مسئول مقاله** باشند.

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

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ 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 ۱۳۸٤/٤/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.۱۳۸٤/٦/پ

بسمه تعالی

آیین نامه چاپ پایان نامه تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس مبین بخشی از فعالیت های علمی- پژوهشی دانشگاه است بنابر این به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه ، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد زیل متعهد می شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامهٔ کارشناسی ارشد نگارنده در رشتهٔ مهندسی شیمی گرایش بیوتکنولوژی است که در سال ۱۳۸۶ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر سیدعباس شجاع الساداتی، مشاوره جناب آقای دکتر محسن نصرتی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده۵ دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده۶ اینجانب زهرا صاحب نظر دانشجوی رشته مهندسی شیمی گرایش بیوتکنولوژی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

زهرا صاحب نظر

۸۶/۱۲/۲۵

تقدیم به:

پدر و مادر بزرگوارم

آنان که به من آموختند و

هر آنکه از این مجموعه بهره ای برد.

خدایا به من زیستنی عطا کن که در لحظه مرگ بر بی ثمری لحظه ای که برای زیستن گذشت حسرت نخورم.

دکتر علی شریعتی

سپاس خدای را که بر ما منت نهاد تا خوشه چین دانش بی انتهای او شویم.

تحقیق انجام شده مرهون راهنمایی و حمایت بی دریغ همه جانبه استاد گرانقدر جناب آقای دکتر شجاع السادات می باشد. ضمن قدردانی از این استاد فرهیخته، امیدوارم پس از سال ها علم آموزی در محضر این بزرگوار، رسم شاگردی را به خوبی آموخته باشم.

از همراهی جناب آقای دکتر نصرتی که از مشاوره و کمک های بی دریغشان استفاده نمودم کمال تشکر را دارم.

همچنین از اساتید ناظر محترم جناب آقای دکتر وثوقی و سرکار خانم دکتر هاشمی قدردانی می نمایم.

از کمک های سرکار خانم مهندس محمدطاهری که تحقیق حاضر ماحصل ادامه تلاش های گذشته ایشان بوده است نیز کمال تشکر را دارم.

از کارشناس محترم آزمایشگاه بیوتکنولوژی دانشکده فنی دانشگاه تربیت مدرس سرکار خانم تیموری و دوستان محترمی که در این راه پشتیبان من بودند سپاسگزارم.

و در پایان از خانواده عزیزم که در پیمودن مسیر زندگی همواره مشوق من بوده اند قلباً سپاسگزارم.

امید است که تمامی این عزیزان همواره موفق و سربلند باشند.

چکیده

همزمان با افزایش ضایعات پلاستیکی و ایجاد مشکلات زیست محیطی، پژوهش در زمینه حذف این نوع ضایعات با روش های جدید از جمله روش های زیستی توسعه یافته است. پژوهش های انجام شده در گروه بیوتکنولوژی دانشگاه تربیت مدرس منجر به شناسایی چندین گونه ریزسازواره با توانایی تجزیه پلی اتیلن شده است. ریزسازواره های مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از: *آسپرژیلوس ترئوس*، *آسپرژیلوس فومیگاتوس* و *فوزاریم سولانی*. در پژوهش حاضر، تجزیه زیستی پلی اتیلن توسط این ریزسازواره ها در خلال فرآیند تولید کمپوست مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا فرآیند کمپوست در مقیاس آزمایشگاهی راه اندازی و بهینه سازی شد. از ارلن یک لیتری عایق شده حاوی ۴۰۰ گرم مواد اولیه کمپوست استفاده شد. رطوبت اولیه، نسبت C/N و pH به ترتیب برابر ٪۴۰، ۲۵ و ۷ تنظیم شد. برای بررسی پیشرفت صحیح فرآیند تولید کمپوست از تغییر مقدار کربن آلی کل، دما، رطوبت و pH استفاده شد. آنالیز کربن آلی کل، کاهش قابل ملاحظه ای (٪۱۶/۵) را در میزان کربن آلی مواد کمپوست نشان داد که بیانگر توانایی رشد قارچ های جداشده در فرایند تولید کمپوست است. افزایش دما برابر ۱۵ درجه سانتیگراد است. رطوبت به دلیل تنفس سلولی افزایش یافته و pH نیز به دلیل تبدیل نیتروژن مواد کمپوست به آمونیاک افزایش می یابد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی برای بررسی تغییرات سطحی صفحات پلی اتیلنی تهیه شد. نتایج حاکی از عدم تجزیه زیستی پلی اتیلن طی فرایند تولید کمپوست بود. به منظور بررسی توانایی ریزسازواره ها در تجزیه پلی اتیلن، مخلوط قارچ های جدا شده به فرایند تولید کمپوست اضافه شد. تمام قارچ ها قادر به رشد در این شرایط نبوده و تنها یکی از این قارچ ها رشد کرد. بنابراین، شرایط مناسب رشد (رطوبت و pH) این قارچ ها در فرایند تولید کمپوست سترون مورد بررسی قرار گرفت. در شرایط سترون نیز پلی اتیلن با همان شرایط به ترکیب مواد کمپوست اضافه شد. نتایج نشان داد شرایط مناسب رشد *آسپرژیلوس ترئوس*، *آسپرژیلوس فومیگاتوس* و *فوزاریم سولانی* به ترتیب عبارتند از pH=۷ و٪۴۰ = رطوبت، pH=۷ و٪۵۰ = رطوبت و pH=۵ و٪۷۰ = رطوبت است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی فرسایش قابل توجهی را در سطح پلی اتیلن بعد از ۱۰۰ روز تماس با *آسپرژیلوس ترئوس* و *آسپرژیلوس فومیگاتوس* نشان داد. نتایج حاصل از آزمایش های طیف سنجی نشان داد، گروه های کربونیل تشکیل شده روی پلی اتیلن تحت پیش تیمار نوری بعد از تماس با قارچ های *آسپرژیلوس ترئوس* و *آسپرژیلوس فومیگاتوس* به مدت ۱۰۰ روز

کاهش یافته است. این نتایج نشان می دهد تجزیه زیستی با مصرف گروه های کربونیل توسط قارچ آغاز می شود. با توجه به نتایج موجود، پیش تیمار نوری، تجزیه زیستی پلی اتیلن را آسان نموده و قارچ های *آسپرژیلوس ترئوس* و *آسپرژیلوس فومیگاتوس* قادر به تجزیه پلی اتیلن در محیط کمپوست سترون هستند.

کلید واژه ها: تجزیه زیستی، پلی اتیلن، فرایند تولید کمپوست، *آسپرژیلوس ترئوس*، *آسپرژیلوس فومیگاتوس*، *فوزاریم سولانی*.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته ۴

۲-۱- پلی اتیلن ۵

۲-۱-۱- انواع پلی اتیلن ۵

۲-۱-۱-۱- پلی اتیلن با دانسیته پایین (کم چگال) ۶

۲-۲- تولید مواد پلاستیکی و آمار تولید ضایعات پلاستیکی در ایران ۷

۲-۳- روش های حذف ضایعات پلاستیکی ۹

۲-۳-۱- دفن کردن ۹

۲-۳-۲- سوزاندن ۹

۲-۳-۳- بازیافت ۹

۲-۳-۳-۱- مشکلات بازیافت پلاستیک و جنبه های سلامتی آن در شهر تهران ۱۰

۲-۴- مروری بر فرایند کمپوست ۱۱

۲-۴-۱- تاریخچه تهیه کمپوست ۱۳

۲-۴-۲- تعریف کمپوست ۱۴

۲-۴-۳- انواع کمپوست ۱۴

۲-۴-۴- خصوصیات کمپوست ۱۴

۲-۴-۵- ویژگی ها و موارد مصرف کمپوست ۱۵

۲-۴-۶- سازوکار تولید کمپوست ۱۶
۲-۴-۶-۱- روش هوازی ۱۶
۲-۴-۶-۲- روش بی هوازی ۱۷
۲-۴-۷- سازوکار بیوشیمیایی ۱۸
۲-۴-۸- میکروبیولوژی ۱۹
۲-۴-۹- الگوی دما – زمان ۲۰
۲-۴-۱۰- عوامل مؤثر بر تخمیر ۲۲
۲-۴-۱۰-۱- هوادهی ۲۳
۲-۴-۱۰-۱-۱- میزان هوادهی مورد نیاز و سازوکار های آن ۲۳
۲-۴-۱۰-۲- میزان رطوبت ۲۴
۲-۴-۱۰-۲-۱- کنترل رطوبت ۲۵
۲-۴-۱۱- نسبت C/N ۲۶
۲-۴-۱۲- تخلخل ۲۸
۲-۴-۱۳- اندازه ذرات ۲۹
۲-۴-۱۴- میزانpH ۲۹
۲-۴-۱۵- سایر عناصر ضروری برای عملیات تخمیر ۲۹
۲-۴-۱۶- یکنواخت کردن ۳۰
۲-۵- تولید و بهینه سازی فرایند کمپوست در مقیاس آزمایشگاهی ۳۰

۲-۵-۱- ترکیب کمپوست ۳۰
۲-۵-۲- روش انجام عملیات تولید کمپوست ۳۱
۲-۵-۲-۱- تجهیزات ۳۱
۲-۵-۲-۲- فرایند کمپوست ۳۲
۲-۵-۲-۲-۱- وارد کردن مواد خام به راکتور ۳۲
۲-۵-۲-۲-۲- تنظیم رطوبت مواد کمپوست ۳۲
۲-۵-۲-۲-۳- هوادهی ۳۳
۲-۵-۲-۲-۴-تنظیم pH محیط کمپوست ۳۳
۲-۵-۳- آنالیز متغیرها در حین فرآیند تولید کمپوست ۳۳
۲-۶- تجزیه زیستی پلی اتیلن ۳۳
۲-۶-۱- مروری بر پژوهش های انجام شده در زمینه تجزیه زیستی پلی اتیلن ۳۶
۲-۶-۲- تجزیه پلی اتیلن در محیط کمپوست ۳۸
فصل سوم: مواد و روش ها ۴۰
۳-۱- مواد ۴۱
۳-۲- روش ها ۴۲
۳-۲-۱- آماده سازی پلی اتیلن ۴۲
۳-۲-۱-۱- ساخت ورق پلی اتیلن ۴۲
۳-۲-۱-۲- آزمایش های پیش تیمار صفحات پلی اتیلن ۴۳

۳-۲-۲- تهیه بانک اسپور ۴۴
۳-۲-۲-۱- تولید اسپور ۴۴
۳-۲-۲-۲- شمارش اسپور ۴۵
۳-۲-۳- فرآیند کمپوست ۴۵
۳-۲-۳-۱- آماده سازی مواد کمپوست ۴۵
۳-۲-۳-۲- راه اندازی فرایند کمپوست ۴۷
۳-۲-۴- اضافه کردن ریزسازواره ها به فرایند کمپوست ۴۹
۳-۲-۴-۱- روش آماده سازی سامانه کمپوست برای کشت قارچ ها ۵۰
۳-۲-۴-۲- بارگذاری ارلن ها ۵۱
۳-۳- روش های آنالیز ۵۳
۳-۳-۱- آنالیز عوامل فرایندی کمپوست ۵۳
۳-۳-۱-۱- تغییرات فیزیکی مواد کمپوست ۵۳
۳-۳-۱-۲- روش اندازه گیری دما ۵۳
۳-۳-۱-۳- روش اندازه گیری pH ۵۳
۳-۳-۱-۴- روش اندازه گیری رطوبت ۵۴
۳-۳-۱-۴- روش اندازه گیری کربن آلی کل (TOC) ۵۴
۳-۳-۱-۴-۱- روش اکسیداسیون کربن آلی مواد کمپوست توسط دی کرومات پتاسیم ۵۴
۳-۳-۱-۴-۲- روش کوره ۵۷

۳-۳-۱-۵- تعیین فلور میکروبی ۵۷
۳-۳-۲- آنالیز پلی اتیلن بعد از فرایند کمپوست ۵۷
۳-۳-۲-۱- طیف سنجی مادون قرمز ۵۷
۳-۳-۲-۱-۱- محدوده جذب و ماهیت انتقالات الکترونی که باعث جذب می شود ۵۷
۳-۳-۲-۱-۲- ویژگی های عمومی طیف های مادون قرمز ۵۸
۳-۳-۲-۲- میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۹
فصل چهارم: نتایج و بحث ۶۲
۴-۱- نتایج بهینه سازی فرآیند تولید کمپوست ۶۳
۴-۱-۱- تغییر فیزیکی مواد کمپوست ۶۳
۴-۱-۲- تغییر رطوبت طی فرآیند تولید کمپوست ۶۳
۴-۱-۳- تغییر دما طی فرآیند تولید کمپوست ۶۴
۴-۱-۴- تغییر pH طی فرآیند تولید کمپوست ۶۵
۴-۱-۵- تغییرات کربن آلی کل (TOC) طی فرآیند تولید کمپوست ۶۷
۴-۲- نتایج مناسب سازی شرایط رشد قارچ ها در محیط کمپوست سترون شده ۶۸
۴-۲-۱- تنظیم pH مواد اولیه کمپوست ۶۸
۴-۲-۲- تغییرات ظاهری طی فرآیند تولید کمپوست ۶۸
۴-۲-۲- تغییرات رطوبت طی فرآیند تولید کمپوست ۷۱
۴-۲-۳- تغییر دما طی فرآیند تولید کمپوست ۷۳

۴-۲-۴- تغییر pH طی فرآیند تولید کمپوست ۷۵
۴-۲-۵- تغییر TOC طی فرآیند تولید کمپوست ۷۶
۴-۳- نتایج تجزیه زیستی پلی اتیلن ۷۹
۴-۳-۱- رشد قارچ بر روی ورق های پلی اتیلن ۷۹
۴-۳-۲- نتایج آنالیز نمونه های پلی اتیلن ۸۱
۴-۳-۲-۱- نتایج حاصل ازآزمایش های FT-IR ۸۱
۴-۳-۲-۲- نتایج آنالیز نمونه ها با میکروسکوپ الکترونی ۹۳
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهاد ها ۹۷
۵-۱- نتیجه گیری ۹۸
۵-۲- پیشنهادها ۹۹
مراجع ۱۰۱
فهرست واژگان ۱۱۱
فهرست واژگان انگلیسی به فارسی ۱۱۲
فهرست واژگان فارسی به انگلیسی ۱۱۵

فهرست جدول ها

جدول۲-۱- ریزسازواره های دخیل در فرآیند تولید کمپوست ۱۹

جدول ۲-۲- حداکثر رطوبت مورد نیاز جهت کمپوست شدن مواد مختلف ۲۵

جدول ۲-۳- مقدار N و C/N برای مواد مختلف ۲۸

جدول ۳-۱- مواد مصرفی درآ زمایش ها ۴۱

جدول ۳-۲- شرایط تهیه ورق های پلی اتیلن در دمای مختلف ۴۲

جدول ۳-۳- خصوصیات پلی اتیلن مورد استفاده ۴۳

جدول ۳-۴- شرایط اعمال شده برای عملیات پیش تیمار صفحات پلی اتیلن ۴۴

جدول ۳-۵- ترکیب مواد اولیه بکار برده شده برای تولید کمپوست ۴۶

جدول ۳-۶- نحوه محاسبه C/N مواد اولیه کمپوست ۴۶

جدول ۳-۷- شرایط کشت قارچ ها در محیط کمپوست سترون ۵۰

جدول ۳-۸- مشخصات آزمایش های رشد قارچ ها در محیط کمپوست سترون ۵۱

جدول ۴-۱- مشخصات آزمایش های رشد قارچ ها در محیط کمپوست سترون ۷۰

جدول۴-۲- مقایسه نتایج مصرف کربن آلی بوسیله قارچ ها طی فرآیند تولید کمپوست ۷۸

جدول۴-۳- شرایط رشد مناسب قارچ ها ۷۹

جدول ۴-۴- نتایج آنالیز آماری داده های درصد کاهش کربن آلی کل ۷۹

جدول ۴-۵- سطح زیر قله کربونیل در آنالیز طیف سنجی ۹۱

فهرست شکل ها

شکل ۲-۱- ساختار بسپار پلی اتیلن ۵

شکل۲-۲- درصد انواع زباله ها در زباله شهری تهران در سال ۱۹۹۹ ..... ۸

شکل۲-۳- درصد انواع زباله ها در زباله شهری تهران در سال ۱۹۹۹ ..... ۹

شکل۲-۴- شماتیک جریان تولید و استفاده از کمپوست..... ۱۲

شکل ۲-۵- نمودار تغییرات pH و دما با زمان..... ۲۲

شکل۲-۶- شمایی از تجهیزات آزمایشگاهی مورد نیاز برای تولید کمپوست ۳۲

شکل ۳-۱- اکسترودرتک ماردونه مجهز به سامانه تهیه فیلم ۴۲

شکل ۳-۲- شماتیک سامانه اولیه تولید کمپوست:..... ۴۷

شکل ۳-۳- سامانه اولیه تولید کمپوست..... ۴۷

شکل ۳-۴- ارلن عایق بندی استفاده شده برای تولید کمپوست ۴۸

شکل ۳-۵- شمایی از بهینه سازی فرایند کمپوست با استفاده از سامانه نهایی..... ۴۸

شکل ۳-۶- تصویر قطعات پلی اتیلن خارج شده از درون ارلن ها..... ۵۲

شکل ۳-۷- سامانه سنجش کربن آلی کل با روش دی کرومات پتاسیم ۵۶

شکل ۴-۱- تغییر فیزیکی مواد کمپوست..... ۶۳

شکل۴-۲- نمودار تغییر رطوبت در دو آزمایش با رطوبت اولیه ۴۰٪، ۵۰٪..... ۶۴

شکل ۴-۳- تغییرات دما طی فرایند تولید کمپوست در آزمایشگاه..... ۶۵

شکل ۴-۴- تغییرات pH طی فرآیند تولید کمپوست در شرایط مختلف رطوبت ۶۶

شکل۴-۵- تغییرات کربن آلی کل (TOC) طی فرآیند تولید کمپوست ۶۷

شکل۴-۶- خطی سازی pH مواد اولیه کمپوست با میزان هیدرو کلریدریک اسید اضافه شده ۶۸

شکل ۴-۷- مواد اولیه کمپوست به همراه مایه تلقیح قبل از گرماگذاری ۶۹

شکل ۴-۸- رشد قارچ ها بر روی مواد اولیه کمپوست بعد از گرماگذاری به مدت ۲۵ روز ۶۹

شکل ۴-۹- پیشرفت فرآیند تولید کمپوست بعد از گرماگذاری به مدت ۶۰ روز (تخمیر ثانویه)..... ۷۰

شکل ۴-۱۰ تغییرات رطوبت در آزمایش های شماره ۱ الی ۴ ..... ۷۲

شکل ۴-۱۱ تغییرات رطوبت در آزمایش های شماره ۵ الی ۸ ..... ۷۲

شکل ۴-۱۲ تغییرات رطوبت در آزمایش های شماره ۹ و ۱۰ ..... ۷۳

شکل های ۴-۱۳- تغییرات دما طی فرآیند تولید کمپوست در آزمایش های شماره ۱ الی ۴ ..... ۷۴

شکل های ۴-۱۴- تغییرات دما طی فرآیند تولید کمپوست در آزمایش های شماره ۵ الی ۸ ..... ۷۴

شکل های ۴-۱۵- تغییرات دما طی فرآیند تولید کمپوست در آزمایش های شماره ۹ و ۱۰ ..... ۷۵

شکل های ۴-۱۶- تغییرات pH طی فرآیند تولید کمپوست در آزمایش های شماره ۱ الی ۴ ..... ۷۵

شکل های ۴-۱۷- تغییرات pH طی فرآیند تولید کمپوست در آزمایش های شماره ۵ الی ۸ ..... ۷۶

شکل های ۴-۱۸- تغییرات pH طی فرآیند تولید کمپوست در آزمایش های شماره ۹ و ۱۰ ..... ۷۶

شکل های ۴-۱۹- تغییر TOC طی فرآیند تولید کمپوست در آزمایش های شماره ۱ الی ۴ ..... ۷۷

شکل های ۴-۲۰- تغییر TOC طی فرآیند تولید کمپوست در آزمایش های شماره ۵ الی ۸ ..... ۷۷

شکل های ۴-۲۱- تغییر TOC طی فرآیند تولید کمپوست در آزمایش های شماره ۹ و ۱۰ ..... ۷۸

شکل ۴-۲۲- تصاویر هیف های حاصل از رشد بر روی پلی اتیلن بوسیله میکروسکوپ اینورت ۸۰

شکل ۴-۲۳- تصاویر هیف های حاصل از رشد قارچ آسپرژیلوس فومیگاتوس بر روی قطعات پلی اتیلن با استفاده از میکروسکوپ نوری ۸۱
شکل ۴-۲۴- نمودار طیف پلی اتیلن قبل از پیش تیمار ۸۲
نمودار ۴-۲۵- بزرگنمایی طیف پلی اتیلن قبل از پیش تیمار در محدوده ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ ..... ۸۲
نمودار ۴-۲۶- طیف پلی اتیلن بعد از پیش تیمار با اشعه UV ۸۳
نمودار ۴-۲۷- بزرگنمایی طیف پلی اتیلن بعد از پیش تیمار با اشعه UV در ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ ..... ۸۴
شکل ۴-۲۸- طیف پلی اتیلن بعد از پیش تیمار با نور خورشید ۸۴
شکل ۴-۲۹- بزرگنمایی طیف پلی اتیلن بعد از پیش تیمار با نور خورشید در محدوده طول موج ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ ..... ۸۵
شکل ۴-۳۰- طیف پلی اتیلن بعد از پیش تیمار با اشعه UV و گرماگذاری درون سامانه کمپوست به مدت ۱۰۰ روز ۸۶
شکل ۴-۳۱- بزرگنمایی طیف پلی اتیلن بعد از پیش تیمار با اشعه UV و گرماگذاری درون سامانه کمپوست در محدوده طول موج ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ ..... ۸۶
شکل ۴-۳۲- طیف پلی اتیلن بعد از پیش تیمار با اشعه UV و گرماگذاری با قارچ آسپرژیلوس فومیگاتوس به مدت ۱۰۰ روز ۸۷
شکل ۴-۳۳- بزرگنمایی طیف پلی اتیلن بعد از پیش تیمار با اشعه UV و گرماگذاری با قارچ آسپرژیلوس فومیگاتوس در محدوده طول موج ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ ..... ۸۸

شکل ۴-۳۴- طیف پلی اتیلن بعد از پیش تیمار با اشعه UV و گرماگذاری با قارچ آسپرژیلوس فومیگاتوس به مدت ۱۰۰ روز ۸۹

شکل ۴-۳۵- بزرگنمایی طیف پلی اتیلن بعد از پیش تیمار با اشعه UV و گرماگذاری با قارچ آسپرژیلوس فومیگاتوس در محدوده طول موج ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ ..... ۸۹

شکل ۴-۳۶- طیف پلی اتیلن بعد از پیش تیمار با اشعه UV و گرماگذاری با قارچ فوزاریم سولانی به مدت ۱۰۰ روز ۹۰

شکل ۴-۳۷- بزرگنمایی طیف پلی اتیلن بعد از پیش تیمار با اشعه UV و گرماگذاری با قارچ فوزاریم سولانی در محدوده طول موج ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ ..... ۹۰

شکل ۴-۳۸- سطح زیر منحنی طیف سنجی در ناحیه cm^{-1}۱۷۰۰- cm^{2}۱۷۲۵ ..... ۹۲

شکل ۴-۳۹- تصویر SEM از صفحه پلی اتیلنی قبل از پیش تیمار با بزرگنمایی ۵۰۰۰ ..... ۹۳

شکل ۴-۴۰- تصویر SEM از صفحه پلی اتیلنی بعد از پیش تیمار با اشعه UV و گرماگذاری در سامانه کمپوست به مدت ۱۰۰ روز (بزرگنمایی ۵۰۰۰) ۹۳

شکل ۴-۴۱- تصویر SEM از صفحه پلی اتیلنی بعد از پیش تیمار با اشعه UV و گرماگذاری با قارچ آسپرژیلوس ترئوس به مدت ۱۰۰ روز (بزرگنمایی ۵۰۰۰) ۹۴

شکل ۴-۴۲- تصویر SEM از صفحه پلی اتیلنی بعد از پیش تیمار با اشعه UV و گرماگذاری با قارچ آسپرژیلوس فومیگاتوس به مدت ۱۰۰ روز (بزرگنمایی ۵۰۰۰) ۹۵

شکل ۴-۴۳- تصویر SEM از صفحه پلی اتیلنی بعد از پیش تیمار با اشعه UV و گرماگذاری با قارچفوزاریم سولانی به مدت ۱۰۰ روز (بزرگنمایی ۵۰۰۰) ۹۶