بسم الله الرحمن الرحيم

٩٤١٧٥

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران- محیط زیست

تولید PHA از لجن فعال با خوراک فاضلاب شهری

مصطفی جعفرپور

استاد راهنما:

دکتر حسین گنجی‌دوست

اساتید مشاور:

دکتر نادر مختارانی

دکتر بیتا آیتی

۱۳۸۷ /۲/ ۵

فروردین ۱۳۸۶

۹۲۱۷۵

بسمه تعالی

تاییدیه هیات داوران

آقای مصطفی جعفرپور پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان تولید پلی هیدروکسی الکانو آتها** (PHAS) **از لجن فعال با فاضلاب شهری** در تاریخ ۱۳۸٦/۱/۲٦ 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 عمران – محیط زیست پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر حسین گنجی دوست	استاد	
استاد مشاور	دکتر نادر مختارانی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر بیتا آیتی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر احمد خدادادی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر منوچهر وثوقی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر احمد خدادادی	استادیار	

این نسخه به عنوان پایان نامه مورد تایید است.
امضای استاد راهنما:

۹۳۱۷۵

آیین نامه چاپ پایان نامه (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:

ماده۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی 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 عمران است که در سال ۱۳۸۶ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر حسن تقی دوست مشاور سرکار خانم / جناب آقای دکتر نادر حسنارانی و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر بیتا آبین 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 می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگا می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالعه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهند به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل و جه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروشو تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب مصطفی جعفرپور دانشجوی رشته عمران- مصطریت مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی مصطفی جعفرپور

تاریخ و امضاء:

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

مقدمه:با عنایت به سیاست های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت وکرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی ومعنوی دانشگاه و پژوهشگران لازم است اعضای هیات علمی دانشجویان دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح درمورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان نامه وساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است موارد ذیل را رعایت نمایید:

ماده۱: حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هر گونه بهره‌برداری ازآن 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 می‌باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما نویسنده مسئول 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.

ماده۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره های ملی، منطقه‌ای و بین المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح های 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 رسید ه و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هر گونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

۸۹/۱۲/۱۳

تقدیم به

بهترین‌های زندگیم، پدر و مادر عزیزم

خواهران و برادران مهربانم

و دوستان خوبم

با سپاس از:

دکتر حسین گنجی‌دوست

دکتر نادر مختارانی

دکتر بیتا آیتی

دکتر احمد خدادادی

دکتر احمد بادکوبی

و

از زحمات بی شائبه دوستان عزیزم، آقایان **مهندس آرش کیایی**، **مهندس ایزد بنی‌مصطفی** و **مهندس آرش شاه‌منصوری** که در طی انجام این پایان‌نامه از هیچ‌گونه مساعدتی دریغ ننمودند صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم.

مصطفی جعفرپور

فروردین ۱۳۸۶

چکیده

در سالهای اخیر، نگرانی عمومی در مورد اثرات زیان‌آور مواد پلاستیکی پتروشیمی در محیط افزایش یافته است. ساختن پلاستیک‌های سازگار با محیط زیست نظیر بیوپلاستیک‌ها واقعیتی است که می‌تواند ما را در حل مشکل آلودگی حاصل از پلاستیک‌های تجزیه‌ناپذیر کمک کند. از میان پلاستیکهای قابل تجزیه که تاکنون تهیه گردیده، پلی‌هیدروکسی‌آلکانوآت‌ها به علت قابلیت تجزیه‌پذیری کامل، پایین بودن هزینه تولید و همچنین سادگی فرایند نسبت به سایر پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر مورد توجه قرار گرفته است. به منظور کاهش قیمت PHA، راهبرد جدید تولید PHA، استفاده از کشت مخلوط باکتریها است و کشت مخلوط لجن فعال در دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است.

با توجه به مشکلات موجود در دفع پسماندهای پلاستیکی و دفع لجن مازاد تصفیه خانه فاضلاب شهری و همچنین کاهش هزینه تولید، امکان تولید PHA توسط لجن فعال تصفیه کننده فاضلاب شهری و تعیین شرایط بهینه برای افزایش تولید PHA موضوع این تحقیق قرار گرفت.

در این تحقیق از یک راکتورSBR هوازی – بی‌هوازی برای خو دادن میکروارگانیسمها و از یک راکتور منقطع هوازی برای غنی سازی میکروارگانیسم‌ها استفاده شده است. اثر چهار پارامتر شامل زمان ماند سلولی، زمان هوادهی، وجود اسید چرب فرار در فاضلاب شهری و منبع کربن برای غنی سازی میکروارگانیسم‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است.

ابتدا با انجام آزمایشات اولیه میزان مصرف استات و پروپیونات توسط لجن فعال به ترتیب در محدوده $mgC.L^{-1}.g^{-1}$ SS ۳۲-۳۰ و ۱۷-۱۵ و مدت زمان فرایند تولید پلیمر ۲۴ ساعت تعیین گردید.

در آزمایشات اصلی برای طراحی آزمایشات از روش تاگوچی استفاده شده است. برای هر یک از این چهار پارامتر سه سطح در نظر گرفته شده و ۹ ترکیب آزمایشی اجرا و نتایج آزمایشات با نرم افزار QUALITEK-4 آنالیز شده است. زمان ماند سلولی ۱۰ روز، زمان هوادهی ۳ ساعت، فاضلاب شهری همراه با استات و استات به عنوان منبع کربن در راکتور تولید پلیمر به عنوان شرایط بهینه تعیین گردید. نتایج حاصل از روش تاگوچی نشان می‌دهد که در شرایط بهینه، لجن فاضلاب شهری قادر به تولید PHA تا ۱۲/۶٪ وزن سلولی می‌باشد.

کلید واژه‌ها: لجن فعال، پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات‌ها، زمان هوادهی، زمان ماند سلولی، تاگوچی

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۲

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته

۲-۱- پلی‌هیدروکسی آلکانوآتها ۹

۲-۲- بیوسنتز PHA ۱۲

۲-۳- استراتژی فرمانتاسیون ۱۳

۲-۳-۱- تولید PHA در الکالیجنز اتروفوس ۱۵

۲-۳-۲- تولید PHA در الکالیجنز لاتوس ۱۸

۲-۳-۳- تولید PHA توسط متیلتروفها ۱۹

۲-۳-۴- تولید PHA توسط انواع پسودوموناس ۲۰

۲-۳-۵- تولید PHA با اشرشیا کلی ۲۱

۲-۴- تولید PHA با کشت مخلوط ۲۳

۲-۴-۱- متابولیسم تولید PHA با کشت مخلوط ۲٤

۲-۴-۱-۱- PAO/GAO ۲٤

۲-۴-۱-۲- سیستم میکروفیلیک-هوازی ۲٦

۲-۴-۱-۳- چرخه فراوانی و قحطی ۲۷

۲-۵- تولید PHA از مواد غذایی ارزان ۲۹

۲-۶- تولید PHA توسط گیاهان ۳۹

۲-۷- تولید PHA با باکتری نوترکیب ٤۲

۲-۸- تعیین مقدار پلی هیدروکسی آلکانوآتها ٤٤

۲-۹- زیست تخریب پذیری PHA ٤٦

۲-۱۰- خصوصیات ٤۸

۲-۱۱- کاربردها ٥٤

۲-۱۲- تولید تجاری و اقتصاد PHA ٥٦

۲-۱۳- پلاستیکهای زیست تخریب پذیر دیگر ٥۸

۲-۱۴- چشم‌انداز تولید PHA ٥۹

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- راکتورهای مورد استفاده و نحوه راه اندازی..... ۶۳

۳-۱-۱- سامانه SBR به منظور خو دادن میکروارگانیسمها جهت تولید پلیمر..... ۶۳

۳-۱-۲- راکتور تولید پلیمر..... ۶۴

۳-۲- روش تطبیق میکروارگانیسمها..... ۶۵

۳-۳- اندازه گیری پارامترها..... ۶۶

۳-۳-۱- اندازه گیری مقدار PHAs..... ۶۶

۳-۳-۲- روش استخراج پلیمر..... ۷۰

۳-۳-۳- روش اندازه گیری استات و پروپیونات..... ۷۱

۳-۳-۴- سایر آزمایشها..... ۷۲

۳-۴- روش طراحی مورد استفاده..... ۷۲

۳-۴-۱- روش تاگوچی..... ۷۲

۳-۴-۲- مزایا و محدودیتها در روش تاگوچی..... ۷۳

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و بحث

۴-۱- مشخصات فاضلاب شهری مورد استفاده..... ۷۷

۴-۲- آزمایشهای اولیه..... ۷۸

۴-۲-۱- نرخ مصرف استات..... ۷۸

۴-۲-۲- نرخ مصرف پروپیونات..... ۷۹

۴-۲-۳- مدت فرایند در راکتور تولید پلیمر..... ۸۰

۴-۳- آزمایشهای اصلی..... ۸۲

۴-۳-۱- تعیین متغیرها و سطوح مربوط..... ۸۲

۴-۳-۲- طراحی آرایه متعامد مناسب..... ۸۳

۴-۳-۳- نتایج آزمایشها..... ۸۴

۴-۳-۴- تجزیه و تحلیل نتایج..... ۹۶

۴-۳-۴-۱- محاسبه عملکرد میانگین..... ۹۶

۴-۳-۴-۲- کیفیت هدف و تعیین خصوصیت آن..... ۹۸

۴-۳-۴-۳- تحلیل واریانس نتایج (ANOVA)..... ۹۹

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

۴-۳-۴-۴- شرایط بهینه تولید PHA ۹۹

فصل پنجم: جمع‌بندی و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه گیری ۱۰٤

۵-۲- پیشنهادها ۱۰۵

منابع و مراجع ۱۰۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول(۲-۱): برخی ترکیبات مهم پلی هیدروکسی آلکانوآت ها ۱۲

جدول(۲-۲): تولید PHA با باکتریهای مختلف ٤۳

جدول(۲-۳): میکروارگانیسم های تجزیه کننده PHA و محیط رشد آنها ٤۷

جدول(۲-۴): مقایسه خصوصیات پلیمرها ۵۰

جدول(۲-۵): اثر قیمت مواد غذایی و بازده تولید بر قیمت محصول ۵٦

جدول(۳-۱): حداقل زمان منظور شده برای تطبیق میکروارگانیسم ها پس از تغییر شرایط ٦٦

جدول(۴-۱): مشخصات فاضلاب شهری مورد استفاده ۷۸

جدول(۴-۲): نرخ مصرف استات ۷۹

جدول(۴-۳): نرخ مصرف پروپیونات ۸۰

جدول(۴-۴): میزان بهره دهی در مدت زمان فرایند تولید PHA ۸۲

جدول(۴-۵): متغیرهای مورد مطالعه و سطوح آنها ۸۳

جدول(۴-۶): شرایط آزمایشها در آرایه متعامد L_9 ..... ۸۳

جدول(۴-۷): شرایط مختلف ترکیب آزمایشی اول، دوم و سوم ۸٤

جدول(۴-۸): شرایط مختلف ترکیب آزمایشی چهارم، پنجم و ششم ۸۵

جدول(۴-۹): شرایط مختلف ترکیب آزمایش هفتم، هشتم و نهم ۹۲

جدول(۴-۱۰): نتایج آزمایشها در آرایه متعامد L_9 ..... ۹۲

جدول(۴-۱۱): میانگین پاسخ سطوح متغیرها ۹۷

جدول(۴-۱۲): تجزیه و تحلیل آماری آرایه متعامد L_9 به روش آنالیز واریانس ۹۹

جدول(۴-۱۳): شرایط بهینه تولید PHA ۱۰۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل(۲-۱): ساختار شیمیایی پلی هیدروکسی آلکانوآت های تولید شده در باکتری ها..... ۱۰
شکل(۲-۲): متابولیسم تولید PHA در سیستم PAO/GAO ۲۶
شکل(۲-۳): مسیر تولید PHA در شرایط فراوانی و قحطی ۲۸
شکل(۳-۱): سیستم تولید PHA با لجن فعال تصفیه کننده فاضلاب..... ۶۲
شکل(۳-۲): راکتور SBR..... ۶۴
شکل(۳-۳): راکتور تولید پلیمر..... ۶۵
شکل(٤-۱): تغییرات غلظت استات نسبت به زمان ۷۹
شکل(٤-۲): تغییر غلظت پروپیونات نسبت به زمان ۸۰
شکل(٤-۳): نتایج آزمایش تعیین زمان فرایند تولید پلیمر..... ۸۱
شکل(٤-٤): نتایج آزمایش اول..... ۸۶
شکل(٤-۵): نتایج آزمایش دوم ۸۷
شکل(٤-۶): نتایج آزمایش سوم ۸۸
شکل(٤-۷): نتایج آزمایش چهارم ۸۹
شکل(٤-۸): نتایج آزمایش پنجم ۹۰
شکل(٤-۹): نتایج آزمایش ششم..... ۹۱
شکل(٤-۱۰): نتایج آزمایش هفتم ۹۳
شکل(٤-۱۱): نتایج آزمایش هشتم..... ۹٤
شکل(٤-۱۲): نتایج آزمایش نهم ۹۵
شکل(٤-۱۳): اثر متغیرها بر بازدهی تولید PHA..... ۹۷
شکل(٤-۱٤): پیش بینی میزان تولید PHA در شرایط بهینه با در نظر گرفتن سهم هر متغیر در بهبود کیفیت..... ۱۰۱

۱

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

امروزه با افزایش جمعیت و پیشرفت تکنولوژی و در راستای آن افزایش مصرف در جوامع، مصرف انواع پلاستیک که توسط واحدهای پتروشیمی تولید می‌شود افزایش چشمگیری داشته است. پلیمرهای مصنوعی به خاطر ساختارشان در شکلهای مختلف و با مقاومتهای گوناگون تولید می‌شوند. آنها وزن مولکولی متفاوت از ۵۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰ دالتون[1] را دارا می‌باشند.[۶] پلاستیک‌ها به سادگی قالب‌ریزی می‌شوند و به شکلهای مختلف و دلخواهی شامل رشته‌ها و فیلم‌های باریک ساخته می‌شوند. آنها مقاومت شیمیایی بالا و خاصیت کم و بیش الاستیک دارند بنابراین در بسیاری از کالاهای مصرفی و پایدار مورد استفاده قرار می‌گیرند و یک کالای مهم در افزایش راحتی و کیفیت زندگی شده‌اند. پلاستیک‌ها بخش اساسی از اغلب صنایع از خودرو سازی تا پزشکی هستند و امروزه در بسته‌بندی جایگزین شیشه و کاغذ گردیده‌اند. پلی‌اتیلن، پلی‌وینیل‌کلرید و پلی‌استایرن بیشترین استفاده را در بین پلاستیک‌های تولیدی دارند. پلاستیک‌های پتروشیمی چندین خصوصیت خوب نظیر مقاومت، سبکی، دوام و مقاومت در برابر تجزیه را دارا می‌باشند. اما همین خواص بسیار مطلوب آنها امروزه تبدیل به بزرگترین مشکل شده‌اند. آنها از منابع تجدیدناپذیر نظیر مواد پتروشیمی تولید می‌شوند و با چرخه طبیعی کربن ناسازگارند زیرا غیر قابل تجزیه هستند. پلاستیک‌ها در برابر تجزیه میکروبی مقاوم هستند. به نظر می‌رسد که اندازه مولکولی زیاد باعث مقاومت این مواد شیمیایی در برابر زیست تخریب پذیری و ماندن آنها در خاک برای یک مدت طولانی می‌باشد.

امروزه تجمع پلاستیک‌های سخت تجزیه‌پذیر در محیط یک مسئله جهانی شده است. بر طبق یک برآورد بیش از ۱۰۰ میلیون تن پلاستیک در سال تولید می‌شود. مصرف سرانه پلاستیک در ایالات متحده ۸۰ کیلوگرم، در کشورهای اروپایی ۶۰ کیلوگرم است. ۴۰ درصد از ۷۵ بیلیون

[1] - Dalton

پوند پلاستیک تولیدی در سال در لندفیل‌ها دفن می‌شود. چندین صد هزار تن از پلاستیک‌ها به محیط‌های دریایی و نواحی اقیانوسی ریخته می‌شوند.[۵۰]

راه‌حلهای مدیریت پسماندهای پلاستیک شامل کاهش از منبع، سوزاندن، بازیافت و تجزیه نوری یا زیستی می‌باشد. اما بیشتر این راه حلها نیز مشکلات مربوط به خود را دارند.

یک راه حل برای تجزیه پلاستیک‌های تجزیه ناپذیر سوزاندن آنهاست. اما این روش علاوه بر گران بودن بسیار خطرناک نیز است. مواد شیمیایی مضر نظیر کلرید هیدروژن و سیانید هیدروژن در طول سوزاندن آزاد می‌شوند. سیائید هیدروژن از پلاستیک‌های با پایه اکریلونیتریل شکل می‌گیرد که برای سلامتی بسیار خطرناک می‌باشد. روش دیگر، بازیافت است که بسیار سخت و کسل‌کننده است. مرتب کردن و جدا کردن گستره وسیعی از مواد پلاستیکی تخلیه شده یک فرآیند وقت‌گیر است. بعلاوه وجود گستره وسیعی از افزودنی‌ها نظیر مواد رنگی (رنگدانه‌ها)، پوشش‌ها و پرکننده‌ها (فیلرها) استفاده از مواد بازیافتی و کاربرد آنها را محدود می‌کند.

در سالهای اخیر، نگرانی عمومی در مورد اثرات زیان آور مواد پلاستیکی پتروشیمی در محیط افزایش یافته است. این مسئله چندین کشور را برای توسعه پلاستیک‌های زیست تخریب پذیر به تکاپو انداخته است. جایگزینی پلاستیک‌های تجزیه‌ناپذیر با تجزیه‌پذیر اصلی‌ترین موضوع مورد توجه تصمیم‌گیران و صاحبان صنایع پلاستیک است. ساختن پلاستیک‌های سازگار با محیط زیست نظیر بیوپلاستیک‌ها واقعیتی است که می‌تواند ما را در حل مشکل آلودگی حاصل از پلاستیک‌های تجزیه‌ناپذیر کمک کند.

سه نوع از پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر تولید شده در طی چند دهه اخیر عبارتند از: پلاستیک‌های قابل تجزیه با نور، نیمه زیست تخریب پذیر و زیست تخریب پذیر کامل.[۵۰]

پلاستیک‌های قابل تجزیه با نور، گروه‌های حساس نوری دارند که مستقیما در ساختار پلیمر به عنوان یک ماده افزودنی شرکت کرده‌اند. تشعشع ماوراء بنفش ممتد (چندین هفته تا

ماه‌ها) می‌تواند ساختار پلیمری آنها را تجزیه و برای تجزیه زیستی آماده کند. اما لندفیل‌ها فاقد نور خورشید هستند و بنابراین آنها غیرقابل تجزیه باقی می‌مانند.

پلاستیک‌های نیمه زیست تخریب پذیر پلاستیک‌هایی با پیوند نشاسته است که نشاسته برای نگه داشتن پاره‌های کوتاه پلی‌اتیلن به همدیگر در ساختار پلاستیک شرکت می‌کند. ایده موجود در تولید این گونه پلاستیک‌ها این است که وقتی در لندفیل دفن می‌شوند، باکتریهای خاک، نشاسته را تجزیه می‌کنند و پاره‌های پلیمر آزاد می‌شوند اما پاره‌های پلی‌اتیلن غیر قابل تجزیه باقی می‌مانند.

نوع سوم پلاستیک‌های زیست تخریب پذیر که جدید و امیدبخش است توسط باکتری‌ها به شکل بیوپلیمر مصرف می‌شود. این گروه شامل پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات‌ها[1](PHA)، پلی‌لاکتیدها(PLA)، پلی‌استرهای آلیفاتیک، پلی‌ساکاریدها و کوپلیمرها و مخلوط آنها می‌باشد.

از میان پلاستیکهای قابل تجزیه که تاکنون تهیه گردیده، پلی‌هیدروکسی‌آلکانوآت‌ها و کوپلیمر[2]های آن که بالغ بر چهل نوع ترکیب می‌باشند به علت قابلیت تجزیه‌پذیری کامل، پایین بودن هزینه تولید و همچنین سادگی فرایند نسبت به سایر پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر مورد توجه قرار گرفته است.[۲]

پلی‌هیدروکسی‌آلکانوآت‌ها (PHAs)، پلی‌استرهای ذخیره هستند که به عنوان گرانولهای درون سلولی توسط بسیاری از میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند. هنگامی که منابع کربن بصورت زیاد تامین شود و دیگر نوترینتها نظیر نیتروژن، گوگرد، فسفات، آهن، منگنز، پتاسیم یا اکسیژن محدود باشد، بسیاری از باکتریها PHA را به عنوان ذخیره کربن و انرژی در خود ذخیره می‌کنند.[۳۷،۵۵،۴۸] PHA توسط تعدادی باکتریهای گرم مثبت و گرم منفی از حداقل ۷۵ ژن مختلف سنتز می‌شود. PHA غیرذخیره‌ای که از نوع وزن مولکولی پایین است در غشاء

---

[1] - Poly Hydroxy Alkanoats
[2] - Co-Polymer

سیتوپلاسمی و سیتوپلاسم اشرشیا کلی[1]، مخمرها، گیاهان و حیوانات دیده شده است.[۶۴] PHA از مواد غذایی متفاوتی نظیر منابع تجدیدپذیر(ساکروز، نشاسته، سلولز، تری‌اسیل‌گلیسرول[2])، منابع فسیلی(متان، روغنهای معدنی، لیگنیت، زغال‌سنگ سخت[3])، محصولات فرعی(ملاس، آب‌پنیر، گلیسرول)، مواد شیمیایی(اسید پروپیونیک، اسید ۴- هیدروکسی‌بوتیریک) و دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود. از سال ۱۹۸۷ اطلاعات وسیعی بر روی متابولیسم، بیوشیمی و فیزیولوژی PHA با مطالعات ژنی مولکولی تکمیل شده است.[۵۰]

پلی‌هیدروکسی‌آلکانوآت‌ها توسط میکروارگانیسم‌ها نظیر باکتریها، قارچها و جلبکها به طور کامل به دی اکسید کربن و انرژی تبدیل می‌شود.[۴۵،۳۴] بهر حال این پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر و سازگار با محیط زیست در حال حاضر از نظر قیمت قابل رقابت با پلاستیکهای معمولی نیستند.

علی‌رغم جذابیت پلی‌هیدروکسی‌آلکانوآت‌ها به عنوان یک جانشین برای پلیمرهای مشتق از نفت، اصلی‌ترین مانع در برابر تولید تجاری و کاربرد PHA در محصولات مصرفی، هزینه بالای آن است. هزینه تولید این پلیمر بیش از ۱۰ برابر پلاستیکهای مصنوعی است که به دلیل هزینه بالای مواد خام (۴۰٪) و بازیافت محصولات (۲۶٪) می‌باشد.[۷۳] مهمترین فاکتور در افزایش هزینه تولید PHA قیمت مواد غذایی (اساساً منبع کربن) است.[۲۹] به منظور کاهش هزینه‌ها، چندین سویه میکروبی مصرف کننده منبع کربن ارزان قیمت و استراتژیهای تخمیری توسعه یافته‌اند. همچنین چندین گزارش در مورد تولید PHA از منابع کربن ارزان قیمت توسط میکروارگانیسم‌های وحشی[4] تولید کننده PHA وجود دارد. بهرحال، غلظت و درصد پلیمر بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مواقعی است که از منابع کربن خالص استفاده می‌شود. بنابراین لازم است

---

[1] - Escherichia coli
[2] - Triacylglycerol
[3] - Hard coal
[4] - Wild-Type

که راهکارهای تخمیری مؤثرتر برای تولید این پلیمرها از منابع کربن ارزان توسعه یابند.

به منظور کاهش قیمت PHA ، راهبرد جدید تولید PHA ، استفاده از کشت مخلوط باکتریها است و کشت مخلوط لجن فعال در دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته و تلاشهای بسیار زیاد و قابل توجه‌ای در این راه صرف شده است. ایده تولید PHA با استفاده از لجن فعال به این ترتیب شکل گرفت که PHA یک محصول واسطه متابولیکی در فرایند لجن فعال است.[۴۸،۱۴] PHA یکی از مواد ذخیره کننده کربن بسیار مهم در فرایند لجن فعال و فرایند «حذف بیولوژیکی پیشرفته فسفر»[1](EBPR) است. در فرآیند EBPR میکروارگانیسم‌ها در لجن فعال، از پلی‌فسفات به عنوان یک منبع انرژی استفاده می‌کنند تا مواد کربنی را در فعالیت بی‌هوازی مصرف کنند. مواد کربنی مصرف شده موقتاً به عنوان PHA ذخیره می‌شوند. هنگامی که وضعیت به هوازی تغییر می‌کند، PHA برای رشد مصرف می‌شود و پلی‌فسفات دوباره تولید می‌شود. میکروارگانیسم‌ها در فرایند EBPR باید خصوصیات حذف فسفر و تجمع PHA را دارا باشند. در مقایسه با فرایند کشت خالص، مزیت سیستم تولید PHA با لجن فعال، کاهش قیمت در توسعه کشت باکتریهای تولیدکننده PHA ، سادگی تجهیزات و ساختار و بازیافت مواد از پساب است.[۲۷،۱۰] در بسیاری از مطالعات انجام شده بر روی تولید PHA از لجن فعال، از فاضلاب مصنوعی استفاده شده است. ساتو و همکاران[۵۶] مقدار ٪۶۲ وزن خشک سلولی PHA ذخیره شده را گزارش کرده‌اند. در این تحقیق از لجن فعال استفاده شده است که در شرایط بی‌هوازی- هوازی رشد داده شده‌اند و در شرایط بی‌هوازی مقدار بسیار ناچیزی اکسیژن تامین شده است. همانطور که قبلا ذکر شد، بهینه سازی وضعیت عملکردی در فرایند لجن فعال برای افزایش توانایی تولید PHA بسیار مهم است همانگونه که برای کیفیت خروجی مطمئن لازم است. با توجه به تحقیقات انجام شده مشاهده شده است که وجود استات در فاضلاب باعث افزایش تولید PHA می‌شود.[۱۰] اسیدهای چرب

[1] - Enhanced Biological Phosphorous Removal (EBPR)

فرار که برای بیوسنتز PHA استفاده می‌شوند نقش مهمی در عملکرد EBPR دارد. با تخمیر پسابهای مختلف از جمله فاضلاب شهری می‌توان مقدار قابل توجهی اسید چرب فرار تولید نمود و به عنوان یک سوبسترای ارزان قیمت در تولید PHA مورد استفاده قرار داد.[۳۵] اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه، اسید استیک و پروپیونیک، اسیدهای چرب معمول حاضر در فاضلاب شهری سپتیک هستند.[۳۵]

با توجه به موارد فوق و با در نظر گرفتن مشکلات مربوط به دفع پسماندهای پلاستیکی و لجن مازاد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و در جهت کاهش هزینه‌های تولید پلیمرهای زیست تخریب پذیر، تولید PHA با استفاده از لجن فعال و تعیین عوامل موثر به عنوان موضوع این تحقیق انتخاب و اهداف اصلی از انجام این پژوهش به شرح زیر تعیین گردیده است:

۱- تولید PHA با استفاده از لجن فعال و تعیین بهره‌دهی و میزان تولید محصول؛

۲- بررسی اثر تغییر پارامترهای مختلف بر تولید PHA با استفاده از لجن فعال؛

۳- تعیین شرایط بهینه به منظور تولید حداکثر PHA با استفاده از لجن فعال.