



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد
مهندسی عمران - مهندسی محیط زیست

نقش تولید پلیمر PHA در کاهش حجم لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری

مجید مسچی نظامی

استاد راهنما:

دکتر حسین گنجی دوست

استاد مشاور:

دکتر نادر مختارانی

دکتر بیتا آیتی

به نام ایزد یکتا

تو ای همیشه نغمه خوارم، تو ای محرم ترین یارم

به نام نامی مادر همیشه دوست دارم

نوازش کن مرا مادر که فرزند تو شکینه

کی می خوا بعد از این تو قلب من جای تو نشینه



تقدیم به

مادرم که روحش شاد باد



تقدیر و تشکر

پاس بی کران پروردگار یکتار که، هستی مان، بخشد و به طریق علم و دانش، رهنمونان شد و به، همشینی رهروان علم و دانش
مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت. اکنون در آستانه راهی نوبه پاس نعمت های بی حد
پروردگار بر خود لازم می دانم پاس گزار تمام عزیزانی باشم که در برابر سختی ها و ناملایمات روزگار یارم نمودند.

مراتب پاس صمیمانه خود را از اساتید گرامی

دکتر حسین کنجی دوست

دکتر نادر مختارانی

دکتر میتا آیتی

دارم که در تمام مراحل انجام پایان نامه، همواره مشوق و پشتیبان بر ایتم بود و بار، بنموده های ارزنده خود را احکاشای اینجانب
شدند.

و پاس فراوان از خانواده مهربانم به خاطر حمایت هایشان، از، همسر فدکارم لعیاسیروس رضائی به خاطر همراهی مداومشان و
همچنین از سرکار خانم دکتر کتایون عمیدی راد و آقای سید موسی قریشیان به خاطر محبت های بی دریغشان و تمامی عزیزانی که
در انجام این پروژه مرایاری کردند صمیمانه تشکر می نمایم.

چکیده

تجمع زباله‌های پلاستیکی در زمینه محیط زیست بسیار مورد توجه واقع شده‌اند. این پلاستیک‌ها نه تنها دهه‌های طولانی در طبیعت باقی می‌مانند بلکه در روند پروسه تجزیه شدن، مواد سمی از خود تولید می‌کنند. از میان پلاستیک‌های قابل تجزیه گروهی تحت عنوان PHAs به علت قابلیت تجزیه پذیری کامل و پایین بودن هزینه تولید نسبت به سایر پلیمرها بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. اصلی ترین مانع در برابر تولید تجاری و کاربرد PHA در محصولات مصرفی، هزینه بالای تخمیر میکروبی است که آن را ۵ تا ۱۰ برابر گرانتر از پلیمرهای مشتق شده از نفت می‌سازد. به منظور کاهش هزینه‌ها و در نتیجه کاربردی شدن بیشتر بیوپلیمرها تحقیقات در زمینه استفاده از منابع کربنی ارزان دنبال شد و طرح استفاده از کشت مخلوط و لجن فعال ارائه گشت.

در این تحقیق اثر زمان‌های ماند سلولی مختلف، غلظت منبع کربنی، تاثیر اسیدهای چرب فرار در خوراک فاضلاب شهری بر راندمان تشکیل پلیمر و نسبت‌های C:N مختلف در تشکیل پلی هیدروکسی آلکانواتها بررسی شد. همچنین با توجه به اینکه یکی دیگر از مشکلات عمده در زمینه محیط زیست لجن تولید شده در تصفیه‌خانه‌ها می‌باشد، کاهش حجم لجن تولیدی در اثر تشکیل پلیمر از اهداف دیگر این تحقیق بود.

در این تحقیق از یک راکتور SBR (هوازی-بی‌هوازی) جهت سازگاری میکروارگانیسم‌ها و از یک راکتور هوازی جهت تولید پلیمر استفاده شد. خوراک این سیستم از فاضلاب شهری به همراه اسیدهای چرب فرار تامین گشت.

این سیستم با زمان‌های ماند سلولی ۵، ۷ و ۱۰ روز بررسی شد و زمان ماند سلولی ۵ روز با اختلاف کمی از دو زمان دیگر پلیمر بیشتری تولید کرد. همچنین راندمان حذف COD در SRT_5 به ۹۵ درصد رسید. به منظور بررسی منبع کربنی و تاثیر غلظت آن در تشکیل پلیمر، از استات و پروپیونات سدیم در غلظت‌های مختلف استفاده شد که در نهایت استات با غلظت 3000 mg/L در راکتور تولید پلیمر و وجود میزان ۱۰۰ درصد آن در راکتور SBR بیشترین راندمان تولید PHA را نتیجه داد. همچنین با بررسی نسبت‌های مختلف C:N مشخص شد که بیشترین درصد تولید پلیمر به بالاترین نسبت یعنی $C:N=160:1$ مربوط گشت. در این تحقیق حداکثر راندمان تولید پلیمر تحت شرایط بهینه حاصل از روند تحقیق $33/4$ درصد وزن خشک سلول نتیجه شد.

در آزمایشات انجام شده تولید پلیمر از لجن فعال باعث کاهش حجم لجن شد که بیشترین میزان کاهش حجم لجن با اعمال شرایط بهینه $28/5$ درصد بود.

کلمات کلیدی:

پلی هیدروکسی آلکانوات‌ها، لجن فعال، فاضلاب شهری، کاهش حجم لجن، راندمان تولید PHA

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	پیشگفتار.....
۳	فصل اول: کلیات
۴	۱-۱- مقدمه.....
۴	۲-۱- پلیمر PHAs.....
۶	۳-۱- تشکیل پلی هیدروکسی آلکانواتها.....
۷	۴-۱- تجزیه پذیری مواد PHA در طبیعت.....
۸	۵-۱- ذخیره پلیمر در میکروارگانیسمها.....
۱۰	۶-۱- کاربردهای PHAs.....
۱۰	۱-۶-۱- استفاده از PHAs در کشاورزی.....
۱۱	۲-۶-۱- استفاده از PHAs در پزشکی و داروسازی.....
۱۱	۳-۶-۱- استفاده از PHAs در بسته بندی و تولید ظروف.....
۱۱	۷-۱- تخمیر پلی هیدروکسی آلکانواتها.....
۱۲	۱-۷-۱- رالستونیا تروفا.....
۱۳	۲-۷-۱- باسیلوس مگاتریوم و آکالیپتوز لاتوس.....
۱۳	۳-۷-۱- اشرشیا کلی نو ترکیب.....
۱۳	۸-۱- تولید تجاری و اقتصاد PHA.....
۱۴	۹-۱- مواد خام اولیه برای تولید صنعتی PHA.....
۱۵	۱-۹-۱- تولید PHA از مواد غذایی ارزان.....
۱۶	۲-۹-۱- کشت مخلوط.....
۱۷	فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده
۱۸	۱-۲- مقدمه.....
۱۸	۲-۲- تاریخچه‌ی تحقیقات در زمینه تولید PHA.....
۱۹	۳-۲- تولید PHA در کشت خالص.....

۱۹	۱-۳-۲- تولید پلی هیدروکسی بوتیرات از شیر نیشکر
۲۰	۲-۳-۲- تولید پلی هیدروکسی بوتیرات از آب پنیر
۲۰	۳-۳-۲- تولید پلی هیدروکسی بوتیرات از شیر خرما
۲۱	۴-۳-۲- تولید پلیمر از پسابهای شیمیایی
۲۱	۵-۳-۲- تولید پلی هیدروکسی بوتیرات از متانول
۲۳	۶-۳-۲- تولید پلی هیدروکسی بوتیرات از دی اکسید کربن
۲۳	۴-۲- متابولیسم تولید PHA در کشت مخلوط
۲۳	۱-۴-۲- GAO/PAO
۲۴	۲-۴-۲- سیستم میکروفیلیک- هوازی
۲۵	۳-۴-۲- الگوی خوراک دهی جهت ذخیره پلیمر
۲۵	۵-۲- تولید پلیمر از لجن فعال
۲۵	۱-۵-۲- تولید PHB از لجن فاضلاب صنایع غذایی
۲۸	۲-۵-۲- تولید PHA از فاضلاب کارخانه کاغذ سازی
۳۰	۳-۵-۲- سایر تحقیقات
۳۲	۴-۵-۲- بررسی تولید پلی هیدروکسی آلکانواتها در راکتور لجن فعال
۳۴	۵-۵-۲- اثر اسیدهای چرب فرار بر تولید PHA با استفاده از لجن فعال
۳۴	۶-۵-۲- تولید PHA از لجن فعال با خوراک فاضلاب شهری
۳۴	۶-۲- هدف از انجام این تحقیق
۳۶	فصل سوم: روش تحقیق
۳۷	۱-۳- مقدمه
۳۷	۲-۳- سیستم‌های مورد استفاده
۳۷	۱-۲-۳- سیستم SBR
۳۹	۲-۲-۳- راکتور تولید پلیمر
۴۱	۳-۳- روش راه اندازی سیستم‌ها
۴۴	۴-۳- روش تحقیق
۴۴	۱-۴-۳- بررسی اثر SRT در میزان پلیمر تشکیل شده

۴۵	.....۲-۴-۳- بررسی میزان اسیدهای چرب فرار در خوراک راکتور SBR
۴۶	.....۳-۴-۳- بررسی غلظت سوبسترا در راکتور تولید پلیمر
۴۷	.....۴-۴-۳- بررسی اثر تغییر نسبت استات به پروپیونات در راکتور تولید پلیمر
۴۸	.....۵-۴-۳- بررسی نسبت C:N در راکتور تولید پلیمر
۵۰	.....۵-۳- اندازه گیری پارامترها
۵۰	.....۱-۵-۳- اندازه گیری مقدار PHAs
۵۰	.....۳-۵-۱-۱- تجهیزات مورد استفاده در اندازه گیری PHAs
۵۱	.....۳-۵-۱-۲- روش کار در اندازه گیری PHAs
۵۴	.....۳-۵-۲- سایر آزمایشات
۵۵	..... فصل چهارم: بحث و نتایج
۵۶	.....۴-۱- مقدمه
۵۶	.....۴-۲- مشخصات فاضلاب شهری مورد استفاده
۵۷	.....۴-۳- راه اندازی سیستم با SRT ₅
۵۹	.....۴-۴- راه اندازی سیستم با SRT ₇
۶۱	.....۴-۵- راه اندازی سیستم با SRT ₁₀
۶۲	.....۴-۶- تعیین SRT بهینه جهت ادامه کار سیستم
۶۳	.....۴-۷- نسبت بهینه اسیدهای چرب فرار در خوراک راکتور SBR
۶۶	.....۴-۸- تاثیر غلظت سوبسترا در راکتور PPR
۷۱	.....۴-۹- بررسی اثر تغییر نسبت استات به پروپیونات در PPR
۷۳	.....۴-۱۰- بررسی نسبت C:N در تولید پلیمر
۷۷	..... فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۷۸	.....۵-۱- مقدمه
۷۸	.....۵-۲- نتیجه گیری
۷۹	.....۵-۳- پیشنهادات
۸۱	..... مراجع
۹۲	..... واژگان فارسی به انگلیسی

فهرست شکل ها

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۱ فرمول ساختار عمومی PHAs ۵
- شکل ۲-۱ PHA انباشته شده به صورت گرانول در داخل باکتری ۶
- شکل ۳-۱ چرخه کربن PHAs ۸
- شکل ۴-۱ طرح شماتیکی از تشکیل PHA در سلول باکتری ۹
- شکل ۱-۲ طرح شماتیک پروسه تولید PHA ۲۶
- شکل ۲-۲ پایلوت ساخته شده به منظور تولید PHA ۲۷
- شکل ۳-۲ (۱) راکتور تخمیر فاضلاب (۲) راکتور انتخابی (۳) راکتور اصلی (۴) زلال ساز (۵) پمپ برگشت لجن ۲۸
- شکل ۴-۲ نتایج میزان تولید پلیمر در قالب نمودار ۲۹
- شکل ۵-۲ گرانول های پلیمر تشکیل شده در باکتری های فیلامنتوس ۳۰
- شکل ۶-۲ PHA تشکیل شده توسط لجن فعال الف) نمودار مصرف سوبسترا و تولید پلیمر ب) سلول های حاوی PHA ۳۱
- شکل ۷-۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی از میکروارگانیزم های سیستم SBR ۳۳
- شکل ۸-۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی از میکروارگانیزم های سیستم تولید پلیمر ۳۳
- شکل ۱-۳ شمایی از سیستم SBR ۳۸
- شکل ۲-۳ سیستم SBR مورد استفاده ۳۹
- شکل ۳-۳ الف) شمایی از راکتور تولید پلیمر. ب) تصویری از راکتور تولید پلیمر ۴۰
- شکل ۴-۳ مخزن ذخیره فاضلاب شهری به حجم ۲۴ لیتر ۴۱
- شکل ۵-۳ جعبه برق مورد استفاده به منظور عملیات اتوماتیک سیستم ۴۲
- شکل ۶-۳ محل تزریق اسیدهای چرب فرار جهت پلیمرسازی در سیستم PPR ۴۳
- شکل ۷-۳ شمای کلی سیستم شامل مخزن تامین فاضلاب، راکتور SBR، جعبه های برق، راکتور PPR، لوله های ورودی و خروجی ۴۳
- شکل ۸-۳ دیاگرام مربوط به تعیین SRT بهینه ۴۵
- شکل ۹-۳ دیاگرام مربوط به تعیین میزان درصد استات و پروپیونات بهینه در راکتور SBR ۴۶
- شکل ۱۰-۳ دیاگرام مربوط به تعیین میزان غلظت استات و پروپیونات بهینه در راکتور تولید پلیمر ۴۷

- شکل ۳-۱۱- دیاگرام مربوط به تعیین میزان درصد استات و پروپیونات بهینه در راکتور تولید پلیمر..... ۴۸
- شکل ۳-۱۲- دیاگرام مربوط به تعیین نسبت بهینه C:N در راکتور تولید پلیمر..... ۴۹
- شکل ۴-۱- راندمان حذف COD و رشد MLSS در SRT₅..... ۵۷
- شکل ۴-۲- درصد تولید PHA در SRT₅..... ۵۸
- شکل ۴-۳- میزان تغییرات MLSS قبل و بعد از استخراج پلیمر در SRT₅..... ۵۸
- شکل ۴-۴- طرح شماتیکی از تغییرات حجم لجن..... ۵۹
- شکل ۴-۵- راندمان حذف COD و رشد MLSS در SRT₇..... ۶۰
- شکل ۴-۶- درصد تولید PHA در SRT₇..... ۶۰
- شکل ۴-۷- میزان تغییرات MLSS قبل و بعد از استخراج پلیمر در SRT₇..... ۶۰
- شکل ۴-۸- راندمان حذف COD و رشد MLSS در SRT₁₀..... ۶۱
- شکل ۴-۹- درصد تولید PHA در SRT₁₀..... ۶۱
- شکل ۴-۱۰- میزان تغییرات MLSS قبل و بعد از استخراج پلیمر در SRT₁₀..... ۶۲
- شکل ۴-۱۱- درصدهای حاصل از تولید PHA و کاهش حجم لجن در SRT های مختلف..... ۶۲
- شکل ۴-۱۲- درصد تولید PHA در نسبت استات ۷۵ درصد..... ۶۴
- شکل ۴-۱۳- میزان تغییرات MLSS قبل و بعد از استخراج پلیمر در نسبت استات ۷۵ درصد..... ۶۴
- شکل ۴-۱۴- درصد تولید PHA در نسبت استات ۵۰ درصد..... ۶۴
- شکل ۴-۱۵- میزان تغییرات MLSS قبل و بعد از استخراج پلیمر در نسبت استات ۷۵ درصد..... ۶۵
- شکل ۴-۱۶- درصد تولید PHA در نسبت استات ۲۵ درصد..... ۶۵
- شکل ۴-۱۷- میزان تغییرات MLSS قبل و بعد از استخراج پلیمر در نسبت استات ۲۵ درصد..... ۶۵
- شکل ۴-۱۸- درصد تولید PHA در نسبت های مختلف استات..... ۶۶
- شکل ۴-۱۹- درصد تولید 3HB در غلظت های مختلف استات..... ۶۷
- شکل ۴-۲۰- درصد تولید 3HV در غلظت های مختلف استات..... ۶۷
- شکل ۴-۲۱- درصد تولید PHA در غلظت های مختلف استات..... ۶۷
- شکل ۴-۲۲- درصد تولید 3HB در غلظت های مختلف پروپیونات..... ۶۸
- شکل ۴-۲۳- درصد تولید 3HV در نسبت های مختلف پروپیونات..... ۶۸
- شکل ۴-۲۴- درصد تولید PHA در غلظت های مختلف پروپیونات..... ۶۸

- شکل ۴-۲۵- نمودار تغییرات MLSS قبل از استخراج پلیمر با خوراک دهی توسط پروپیونات.....۶۹
- شکل ۴-۲۶- نمودار تغییرات MLSS قبل از استخراج پلیمر با خوراک دهی توسط استات.....۶۹
- شکل ۴-۲۷- نمودار تغییرات MLSS با خوراک دهی توسط غلظت 3000 mg/L استات.....۷۰
- شکل ۴-۲۸- نمودار تغییرات MLSS با خوراک دهی توسط غلظت 1000 mg/L پروپیونات.....۷۰
- شکل ۴-۲۹- درصد تولید PHA و تغییرات MLSS در نسبت استات ۷۵ درصد.....۷۲
- شکل ۴-۳۰- درصد تولید PHA و تغییرات MLSS در نسبت استات ۵۰ درصد.....۷۲
- شکل ۴-۳۱- درصد تولید PHA و تغییرات MLSS در نسبت استات ۲۵ درصد.....۷۲
- شکل ۴-۳۲- درصد تولید PHA و کاهش حجم لجن در نسبت $C:N=20:1$۷۴
- شکل ۴-۳۳- درصد تولید PHA و کاهش حجم لجن در نسبت $C:N=40:1$۷۴
- شکل ۴-۳۴- درصد تولید PHA و کاهش حجم لجن در نسبت $C:N=80:1$۷۴
- شکل ۴-۳۵- درصد تولید PHA و کاهش حجم لجن در نسبت $C:N=120:1$۷۵
- شکل ۴-۳۶- درصد تولید PHA و کاهش حجم لجن در نسبت $C:N=160:1$۷۵
- شکل ۴-۳۷- درصد تولید PHA و کاهش حجم لجن در نسبت های مختلف $C:N$۷۶

فهرست جدول ها

صفحه

عنوان

جدول ۱-۱- کاربردهای متفاوت PHAs در صنایع گوناگون	۱۱
جدول ۱-۲- شرایط عملکرد دو پایلوت SBR در مراحل A، B و C	۱۵
جدول ۱-۴- مشخصات فاضلاب شهری مورد استفاده	۵۶
جدول ۲-۴- شرایط مختلف انجام آزمایش در SRT	۶۳
جدول ۳-۴- شرایط مختلف انجام آزمایش در PPR	۶۶
جدول ۴-۴- شرایط مختلف انجام آزمایش در PPR	۷۱
جدول ۵-۴- شرایط مختلف انجام آزمایش در PPR	۷۳
جدول ۶-۴- نتایج حاصل از تولید پلیمر محققان از کشت خالص و مخلوط	۷۶

پیشگفتار

پیشرفت تکنولوژی، رشد جوامع و در نتیجه افزایش مصرف، تجمع زباله به ویژه انواع پلاستیک‌ها را در بر داشته است. تجمع این مواد سخت تجزیه‌پذیر که گاهاً تا ۸۰۰ سال در طبیعت باقی می‌مانند، به عنوان یک مسئله جهانی مطرح شده و در صورت عدم ارائه راهکار عملی در از بین بردن و کاهش تولید آنها آلودگی گسترده‌ای را در آینده‌ای نه چندان دور شاهد خواهیم بود.

از جمله راه حل‌های مدیریت پسماندهای پلاستیکی می‌توان به کاهش در مبدا، سوزاندن و بازیافت اشاره کرد. بحث مدیریتی کاهش در مبدا نیاز به گسترش آگاهی عمومی و افزایش سطح فرهنگی جامعه دارد و با توجه به ویژگی‌های مطلوب و ارزان بودن پلاستیک‌ها، جایگزینی مواد با ساختاری تجزیه‌پذیرتر را می‌طلبد. مباحث سوزاندن و بازیافت نیز به عنوان پروسه‌هایی موثر در کاهش حجم زباله مطرح هستند هر چند سوزاندن ضایعات پلیمری سبب آلودگی هوا می‌شود و با توجه به نوع ماده اولیه در سنتز آنها، گازهایی همچون سیانید هیدروژن، کلرید هیدروژن و سایر گازهای خطرناک در محیط آزاد می‌شود که این طرح می‌بایست با ارتقاء دادن تکنولوژی‌های مربوطه، هم راستا با کارهای مدیریتی دیگر مورد توجه قرار گیرد.

پیشرفت علم راه کار جدیدی با ساخت ترکیبات مشابه با قابلیت تجزیه بیولوژیکی در از بین بردن اثرات تخریبی مواد پلاستیکی ارائه کرده که در دو دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تاکنون تعداد زیادی از پلاستیک‌های قابل تجزیه در جهان تولید شده که با محیط زیست سازگار می‌باشند ولی تولید انبوه آنها به علت عواملی چون بالا بودن نسبی قیمت سوبسترا و پایین بودن میزان تولید به صورت محدود انجام شده و باعث عدم رقابت این گروه از پلیمرها با پلاستیک‌ها شده است. بنابراین یافتن ترکیبی با مشخصات فیزیکی پلاستیک‌ها که قابل تجزیه در طبیعت بوده و از نظر اقتصادی قابل رقابت با پلاستیک‌ها باشند، به عنوان یک جایزین مناسب مطرح می‌باشد.

از میان پلاستیک‌های قابل تجزیه گروهی تحت عنوان ¹PHAs به علت قابلیت تجزیه‌پذیری کامل

1 - Polyhydroxyalkanoates

و پایین بودن هزینه تولید بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. این ترکیبات توسط میکروارگانیزم‌های هوازی، غیرهوازی و دوزیستی قابل تجزیه بوده و به CO_2 و بخارات آب تبدیل می‌گردند.

یکی دیگر از مشکلات عمده در زمینه محیط زیست لجن تولید شده در تصفیه‌خانه‌ها می‌باشد. سیستم‌های بیولوژیکی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با افزایش حجم لجن در روند تصفیه و در نهایت مسائل مربوط به دفع لجن مازاد تولیدی مواجه هستند. روشهای کاهش حجم لجن بسیار مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، تولید پلیمر از لجن تصفیه‌خانه جهت مصارف صنعتی و به دنبال آن کاهش حجم لجن تولیدی از اهداف اصلی این تحقیق می‌باشد که در پنج فصل بررسی خواهد شد.

در فصل اول به مقدمه‌ای در مورد پلیمرهای زیست تخریب پذیر اشاره شده و در فصل دوم به مطالعات محققین مختلف در سالهای گذشته پرداخته شده است. در فصل سوم روش تحقیق، مشخصات پایلوت آزمایشگاهی، مواد و تجهیزات استفاده شده در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل چهارم نتایج تحقیق در قالب نمودارها و جداول مختلف تحلیل شده و در فصل پنجم جمع بندی و پیشنهاداتی ارائه شده است.

کلیات

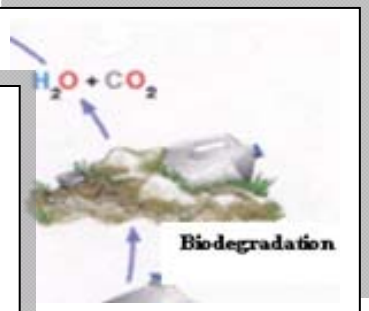
فصل اول

فصل اول

فصل اول

فصل اول

۱-۶- کاربرددهای PHAs
تحقیقات انجام شده بر
طبیعت پلی استری و



۱-۲- پلیمر PHAs

PHA پلاستیکی است

زیست بوده و درجه بالای

۱-۱- مقدمه

رشد جمعیت بشری منجر به تجمع مقادیر زیادی زباله تجزیه‌ناپذیر در سیاره ما شده است. تجمع زباله‌های پلاستیکی در محیط زیست بسیار مورد توجه واقع شده‌اند. این پلاستیک‌ها نه تنها دهه‌های طولانی در طبیعت باقی می‌مانند بلکه در روند پروسه تجزیه شدن، مواد سمی از خود تولید می‌نمایند. به این دلیل راه حل بیوپلیمرها ارائه شدند. استفاده از بیوپلاستیک‌ها، کاهش وابستگی به صنایع پتروشیمی و فسیلی را در پی خواهد داشت. جهان حدوداً ۱۴۰ میلیون تن پلاستیک در سال مصرف می‌کند و پروسه تولید این مواد پلاستیکی حدوداً ۱۵۰ میلیون تن سوخت فسیلی، که به سختی جایگزین می‌گردد، مصرف می‌کند (Suriyamongkol و همکاران، ۲۰۰۷).

در دو دهه اخیر بر روی انواع مواد با ساختارهای قابل تجزیه جهت جایگزینی ساختار تجزیه‌ناپذیر مواد پلاستیکی تحقیقات بسیاری انجام گرفته است و در این میان گروهی تحت عنوان PHAs^۱ به علت تجزیه پذیری ۱۰۰ درصد و پایین بودن هزینه تولید نسبت به سایر پلیمرها بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (مختارانی، ۱۳۸۳).

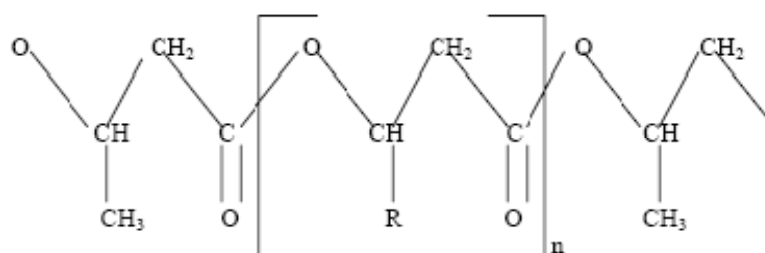
۱-۲- پلیمر PHAs

پلی هیدروکسی آلکانواتها (PHAs) دسته‌ای از پلی استرهای طبیعی هستند که در شرایط خاصی درون سیتوپلاسم گروهی از میکروارگانیسم‌ها تولید و ذخیره می‌شوند. این پلیمر غیر سمی و سازگار با محیط زیست بوده و درجه بالایی از پلیمریزاسیون را از خود نشان می‌دهد و غیر قابل حل در آب می‌باشد (جعفرپور، ۱۳۸۶). PHAs پلی استرهای هیدروکسی آلکانوات‌ها هستند که فرمول ساختار عمومی آن در شکل ۱-۱ آورده شده است (Khanna و Srivastava، ۲۰۰۵).

وزن مولوکولی این ترکیبات $3 \times 10^6 - 2 \times 10^5$ دالتون (Da) متغییر می‌باشد که بستگی به

1 - Polyhydroxyalkanoates

میکروارگانسیم‌ها و شرایط رشد آنها دارد و حاصل فرایند تخمیر هیدراتهای کربن و چربی‌ها هستند. بیش از ۱۲۰ نوع مونومر در این گروه قرار دارد. خواص مکانیکی آنها به نوع واحدهای مونومری و وزن ملکولی بستگی دارد. پلی‌هیدروکسی آلکانواتها خاصیت ترموپلاستیکی و یا الاستومری دارند، به طوری که با انجام عملیات حرارتی نرم و پس از سرد شدن مجدداً سفت و محکم می‌شوند. نقطه ذوب آنها در محدوده ۴۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Khanna و Srivastava ، ۲۰۰۵a).



n varies from 600 to 35000

R= hydrogen	Poly(3-hydroxypropionate)
R=methyl	Poly(3-Hydroxybutyrate)
R=ethyl	Poly(3-hydroxyvalerate)
R=propyl	Poly(3-hydroxyhexanoate)
R=pentyl	Poly(3-hydroxyoctanoate)
R=nonyl	Poly(3-hydroxydodecanoate)

شکل ۱-۱- فرمول ساختار عمومی PHAs (William و همکاران، ۱۹۹۹).

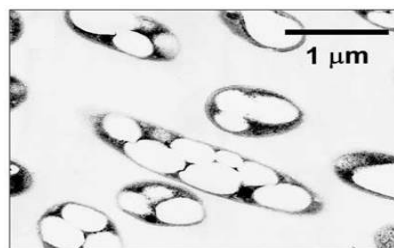
پلی‌هیدروکسی بوتیرات (PHB) و کوپلیمر هیدروکسی بوتیرات والرات P(HB-CO-HV) از اعضای مشهور گروه PHA هستند. ساده‌ترین کاربرد آنها بسته بندی ظروف غذا و بطریهای نوشابه، فیلم‌های پلاستیکی و کیسه‌ها است (Brandl و همکاران، ۱۹۹۰). همچنین خاصیت زیست‌تخریب پذیری PHAs و سازگاری آن با محیط زیست سبب شده که از این پلیمر در داروسازی و دامپزشکی استفاده شود (Kamaer و همکاران، ۱۹۹۹). با وجود کاربردهای بسیار متنوع این پلیمر در صنعت، قیمت زیاد آن در مقایسه با پلیمرهای پتروشیمی استفاده آن را در جهان محدود کرده است. ۳۵ درصد قیمت تمام شده پلیمر به منبع کربن و ۴۰ درصد به مراحل جداسازی آن مربوط می‌شود

(خسروی دارایی، ۱۳۸۳).

به طور کلی به منظور کاهش قیمت PHAs تحقیقات در زمینه های مختلفی مانند جداسازی و پرورش باکتری ها با قابلیت بهره دهی بالا و رشد مناسب با استفاده از منبع کربن ارزان قیمت، روشهای ارزان ولی موثر در استخراج PHAs، بهینه سازی شرایط تخمیر و محیط کشت، استفاده از روشهای کشت با تراکم سلولی بالا و انتقال ژن باکتری ها به گیاهان در حال انجام است (خسروی دارایی، ۱۳۸۳). در تولید PHAs با استفاده از کشت خالص تاکنون مطالعات زیادی انجام شده و شرایط لازم جهت تولید بهینه پلیمر تعیین گردیده است. اما در رابطه با تولید توسط کشت مخلوط^۱ مانند لجن فعال مطالعات انجام شده هنوز تکمیل نبوده و نیاز به انجام اقدامات جامع تری می باشد (مختارانی، ۱۳۸۳).

۳-۱- تشکیل پلی هیدروکسی آلکانواتها

تعداد متعددی باکتری، PHAs را به عنوان ذخایر کربن و انرژی تحت شرایط محدودیت مواد مغذی در حضور مقدار اضافی از منبع کربن، در داخل سلولهای خود تولید و ذخیره می کنند (Bhatt و همکاران، ۲۰۰۸). PHA بصورت گرانول در داخل سلول انباشته می شود. در نوعی از باکتری تعداد ۸ تا ۱۳ گرانول در هر سلول به قطر ۰/۲ تا ۰/۵ میکرومتر مشاهده می شود. در شکل ۱-۲ نمونه ای از این گرانول ها آورده شده است (مختارانی، ۱۳۸۳).



شکل ۱-۲- PHA انباشته شده به صورت گرانول در داخل باکتری (Sudesh و همکاران، ۲۰۰۰).

۴-۱ - تجزیه پذیری مواد PHA در طبیعت

تجزیه بیولوژیکی تخریب مواد در اثر فرایندهای بیولوژیکی می‌باشد. در اصطلاح اکولوژی، تجزیه بیولوژیکی برای چرخش مجدد مواد در طبیعت امری ضروری می‌باشد و مهمترین فرایند تولید مجدد مواد اولیه و حیاتی در طبیعت می‌باشد. با قطع این زنجیره، شبکه‌های حیاتی متوقف می‌شوند. تولید مواد مقاوم به تجزیه، سبب قطع این زنجیره و افزایش ضایعات در طبیعت شده و معضلی بزرگ برای جامعه بشری خواهد بود. مواد مقاوم به تجزیه، موادی هستند که طی زمان طولانی بدون تغییر شاخص در طبیعت انباشته می‌شوند. این ترکیبات غالباً ساختمان پیچیده‌ای داشته و اکثراً پلیمرهای مصنوعی آب‌گریز با شاخه‌های جانبی زیاد می‌باشند (Ossefort و Testroet، ۱۹۹۶).

تجزیه بیولوژیکی عمدتاً توسط آنزیم‌های میکروبی و یا تجزیه شیمیایی ناشی از میکروارگانیسم‌ها یا محصولات دفعی آنها حاصل می‌شود. سازوکار تجزیه بیولوژیکی پلیمرهای مختلف، متفاوت بوده و علاوه بر شرایط محیطی و متابولیسی به ساختمان مولکولی آنها وابسته می‌باشد (Ossefort و Testroet، ۱۹۹۶).

ساختار شیمیایی پلیمر اثر قابل توجهی در تجزیه بیولوژیکی آن دارد. پلی هیدروکسی آلکانواتها در عملیات تجزیه هوازی، به دی اکسید کربن و آب تبدیل می‌شود. در حالی که تجزیه بی هوازی آنها تولید متان و دی اکسید کربن می‌کند (Doi و Kumagai، ۱۹۹۲). روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری تجزیه بیولوژیکی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به اندازه‌گیری تغییرات حاصل در وزن بیوپلیمر، اندازه‌گیری میزان اکسیژن مصرفی و همچنین تولید گاز CO₂ اشاره کرد (Aminabhavi و Balunggi، ۱۹۹۰؛ حجازی، ۱۳۷۹ و Ali Shah و همکاران، ۲۰۰۸).

مهمترین خاصیت PHAs همان گونه که اشاره شد تجزیه کامل آنها می‌باشد. شکل ۱-۳ چرخه کربن PHAs را نشان می‌دهد. تخریب کامل یک کیسه بسته بندی از جنس پلی پروپیلن حدود ۹۰ سال به طول می‌انجامد، پلیمرهای زیست تخریب پذیری نظیر پلی هیدرکسی بوتیرات در شرایط مناسب کمپوست^۱ طی مدت زمان ۶ هفته‌ای به طور کامل تخریب می‌شوند (Schlegel و همکاران،

1 - Compost