

## بررسی تولید پلیمر PHA از لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری و تاثیر آن بر کاهش حجم لجن

مجید مسچی نظامی<sup>۱</sup>، حسین گنجی دوست<sup>۲</sup>، نادر مختارانی<sup>۳</sup>، بیتا آیتی<sup>۴</sup>

نویسنده مسئول: تهران، تقاطع بزرگراه چمران و آل احمد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده عمران و محیط زیست [h-ganji@modares.ac.ir](mailto:h-ganji@modares.ac.ir)

پذیرش: ۸۹/۰۹/۲۰

دریافت: ۸۹/۰۶/۲۷

### چکیده

**زمینه و هدف:** با توجه به این که لجن تولید شده در تصفیه خانه ها یکی از مشکلات عمده در زمینه محیط زیست است، کاهش حجم لجن تولیدی در اثر تشکیل پلیمر از اهداف این تحقیق بود.

**روش بررسی:** از یک راکتور *SBR* (هوازی - بی هوازی) به حجم ۱۰ لیتر جهت سازگاری میکروارگانیسم ها و از یک راکتور تولید پلیمر (*PPR*) به حجم ۱/۵ لیتر جهت تولید پلیمر استفاده شد. خوراک این سیستم از فاضلاب شهری به همراه غلظت های مختلف اسیدهای چرب فرار (استات و پروپیونات سدیم) تامین گشت و زمان های ماند سلولی ۵، ۷ و ۱۰ روز در میزان تولید پلیمر بررسی شد.

**یافته ها:** زمان ماند سلولی ۵ روز با اختلاف کمی از دو زمان دیگر پلیمر بیشتری تولید کرد و استات با غلظت  $3000 \text{ mg/L}$  در راکتور تولید پلیمر بیش ترین راندمان تولید *PHA* یعنی ۲۵ درصد وزن خشک سلول را نتیجه داد.

**نتیجه گیری:** تولید پلیمر از لجن فعال باعث کاهش حجم لجن شد که بیش ترین میزان کاهش حجم لجن با اعمال شرایط بهینه حاصل در روند تحقیق ۱۹ درصد بود.

**واژگان کلیدی:** پلی هیدروکسی آلکانوات ها، لجن فعال، فاضلاب شهری، کاهش حجم لجن، راندمان تولید *PHA*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دکترای مهندسی محیط زیست، استاد مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دکترای مهندسی محیط زیست، استادیار مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۴- دکترای مهندسی محیط زیست، دانشیار مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

## مقدمه

امروزه تجمع زباله های پلاستیکی در محیط زیست بسیار مورد توجه واقع شده است. پلاستیک ها نه تنها دهه های طولانی در طبیعت باقی می مانند بلکه در روند طولانی تجزیه، مواد سمی از خود تولید می نمایند. از میان پلاستیک های قابل تجزیه، گروهی تحت عنوان پلی هیدروکسی آلکانوات ها (PHAs) به علت تجزیه پذیری کامل و پایین بودن هزینه تولید نسبت به سایر پلیمرها بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند (۱). تخریب کامل یک کیسه بسته بندی از جنس پلی پروپیلن حدود ۹۰ سال به طول می انجامد در حالی که پلیمرهای زیست تخریب پذیری نظیر پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB) در شرایط مناسب کمپوست طی مدت زمان ۶ هفته ای به طور کامل تجزیه می شوند (۲-۴). تعداد متعددی باکتری، PHAs را به عنوان ذخایر کربن و انرژی تحت شرایط محدودیت مواد مغذی در حضور مقدار اضافی از منبع کربن، به صورت PHB و PHV (پلی هیدروکسی والرات) در داخل سلول های خود تولید و ذخیره می کنند که به صورت گرانول در داخل سلول انباشته می شود (۵). تحقیقات انجام شده بر روی PHAs، خاصیت زیست تخریب پذیری، سازگاری با سیستم های حیاتی، طبیعت پلی استری و خاصیت ترموپلاستیکی این پلیمر را نشان داده است. علاوه بر آن PHAs از منابع تجدیدپذیر مانند توده زیستی، اجزای گیاهان و جانوران تولید شده که این عوامل کاربردهای فراوان پلی هیدروکسی آلکانوات ها را توجیه می کند (۶). 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 گران تر از پلیمرهای مشتق شده از نفت می سازد. به منظور کاهش هزینه ها و در نتیجه کاربردی شدن بیش تر بیوپلیمرها تحقیقات در زمینه استفاده از منابع کربنی ارزان دنبال و طرح استفاده از کشت مخلوط و لجن فعال ارایه شد (۷). در حال حاضر پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB) و کوپلیمر هیدروکسی بوتیرات والرات (P(3HB-CO-3HV) تنها اعضای PHAs هستند که در مقیاس تجاری تولید می شوند. اگر چه

قیمت PHA هم چنان بسیار بالاست ولی پیشرفت های حاصل در زمینه تخمیر، تصفیه و هم چنین گسترش زنجیره باکتری های برتر با پیشرفت در زمینه DNA، باعث کاهش قیمت PHA در حد پلی استرهای دیگر خواهد شد (۸). قیمت بیوپلیمرها در سال ۲۰۰۷ در اروپا ۱۱/۸\$/Kg بود، درحالی که لازم است این رقم به ۵\$/Kg برسد تا در مقایسه با پلیمرهای سنتزی مانند پلی پروپیلن با قیمت ۱\$/Kg قابل رقابت باشد (۹).

مهم ترین فاکتور در افزایش هزینه تولید، قیمت مواد غذایی (منبع کربنی) است. به منظور کاهش هزینه ها، چندین سویه میکروبی مصرف کننده منبع کربن ارزان قیمت و استراتژی های تخمیری توسعه یافته اند. در هر حال غلظت و درصد پلیمر به طور قابل ملاحظه ای کم تر از مواقعی است که از منبع کربن خالص استفاده می شود. بنابراین لازم است که راهکارهای تخمیری موثرتر برای تولید این پلیمرها از منابع کربنی ارزان توسعه یابند (۱۰). استفاده از کشت مخلوط و منبع کربنی ارزان هزینه تولید PHA را کاهش می دهد. ظرفیت حداکثر برای ذخیره PHA و نرخ تولید آن بستگی به سوبسترا و شرایط عملکرد سیستم دارد. ایده استفاده از کشت مخلوط در تولید PHA از شناسایی نقش PHA به عنوان یک واسطه متابولیک در پروسه های میکروبی در تصفیه فاضلاب ناشی شد (۱۱). در ادامه به بخشی از نتایج تحقیقات انجام شده اشاره می شود: Mengmeng و همکارانش در سال ۲۰۰۹ امکان تولید PHA توسط لجن فعال با منبع کربنی اسیدهای چرب فرار تخمیری را بررسی و به میزان ۵۶/۵ درصد وزن خشک لجن، PHA تولید کردند (۱۲).

Khardenavis و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۹ به بررسی استفاده از شیر قند به عنوان یک سوبسترای ارزان در تولید PHB پرداختند. شیر قند حاوی مقادیر بالای COD بیش از ۵۰۰۰۰ mg/L می باشد و می تواند منبع کربنی مناسبی برای تولید پلیمر باشد. کشت مخلوط باکتری ها به صورت لجن فعال از تصفیه خانه فاضلاب صنایع لبنی و صنایع غذایی به منظور تولید PHA مورد مطالعه قرار گرفت و ۳۱ درصد وزن خشک

زیادی از مواد مغذی، مقدار کمی عناصر کمیاب و تعدادی از پاتوژن است که به طور متوسط در سراسر دنیا ۲۰ الی ۴۰ کیلوگرم لجن خشک به ازای هر نفر در سال تولید می شود (در تصفیه خانه های هوازی به ازای هر کیلوگرم COD حذف شده طی عمل تصفیه، متوسط ۰/۴ کیلوگرم VSS لجن تولید می شود). با توجه به هزینه بالای تصفیه و دفع لجن مازاد که حدود ۲۵ الی ۶۰ درصد کل هزینه بهره برداری تخمین زده می شود، امروزه نیاز شدید به گسترش تکنولوژی هایی جهت کاهش تولید لجن مازاد تصفیه خانه ها و یا گزینه هایی برای دفع، نظیر بازیافت ترکیبات ارزشمند و یا تولید انرژی از لجن مازاد احساس می شود. از جمله راهکارهای کاهش حجم لجن که در دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است شامل استفاده از ازن و کلر، امواج التراسونیک، کرم ها و ماهی های لجن خوار و تصفیه حرارتی می باشد (۱۷). لذا با توجه به تولید پلیمر PHA در این تحقیق، به بررسی کاهش حجم لجن تولیدی در اثر تشکیل پلیمر پرداخته شد.

### مواد و روش ها

در این تحقیق از دو سیستم مختلف برای انجام آزمایش ها استفاده شد. سیستم اول به حجم ۱۰ لیتر که به صورت ناپیوسته در سیکل های بی هوازی - هوازی عمل می کرد، راکتورهای ناپیوسته متوالی (SBR) بود. سیستم ۱/۵ لیتری دوم راکتور تولید پلیمر (PPR) بود که در فاز هوازی عمل کرده و راندمان بالاتری در تولید PHA داشت. هوادهی سیستم توسط پمپ و سنگ های هوادهی انجام گرفت و لجن مورد نیاز این دو راکتور در واقع همان لجن فعال تصفیه خانه بود. خوراک مورد استفاده در سیستم SBR نیز از فاضلاب شهری تامین شد. راکتور SBR به صورت پیوسته و در سیکل ۶ ساعت (۴ سیکل در شبانه روز)، ۱۵ دقیقه زمان جهت پر شدن مخزن، یک ساعت جهت مرحله بی هوازی، ۳ ساعت جهت مرحله هوازی، ۶۰ دقیقه برای ته نشینی و در نهایت ۱۵ دقیقه به منظور تخلیه فاضلاب تصفیه شده مورد استفاده قرار گرفت

لجن، PHB تولید شد (۱۳). پلی هیدروکسی آلکانوات ها می توانند توسط لجن فعال و با استفاده از گلیکوژن و پلی فسفات به عنوان منبع انرژی تحت شرایط کنترل شده ای تولید شوند. لجن فعال با میزان فسفات ۲، ۶ و ۸ درصد و با مقدار گلیکوژن ۳۳ درصد در محدوده مختلف ۸ - ۶ pH، به منظور تولید پلیمر توسط Kasemsap و Wantawin در سال ۲۰۰۷ به کار گرفته شد و بیش ترین مقدار PHA در pH معادل ۸ و فسفات ۸ درصد به میزان ۵۱ درصد گزارش شد (۱۴).

در تحقیق انجام شده در سال ۱۳۸۳، امکان تولید پلی هیدروکسی آلکانوات ها در راکتور لجن فعال در مقیاس آزمایشگاهی بررسی و از سیستم لجن فعال بی هوازی - هوازی در راکتور SBR با زمان ماند هیدرولیکی ۱۰ h و زمان ماند سلولی ۵ روز برای سازگاری میکروارگانیسم ها به منظور تولید پلیمر استفاده شد. در شرایط pH خنثی و طی فرایند هوازی افزایش غلظت PHA در درون سلول بررسی گشت. در سیستم مورد مطالعه حداکثر غلظت پلیمر تولیدی ۱۷ درصد وزنی جامدات خشک لجن به دست آمد که از این مقدار ۱۴ درصد مربوط به تری هیدروکسی بوتیرات و حدود ۳ درصد مربوط به تری هیدروکسی والرات بود (۱۵). در تحقیق دیگری اثر چهار پارامتر شامل زمان ماند سلولی، زمان هوادهی، وجود اسید چرب فرار در فاضلاب و منبع کربن برای غنی سازی میکروارگانیسم ها مورد مطالعه قرار گرفت و در نهایت با توجه به شرایط بهینه راندمان ۱۲/۶ درصدی تولید پلیمر به دست آمد (۱۶).

با توجه به مطالعات انجام شده و نیاز به تحقیقات بیش تر در زمینه بیوپلیمرها و پارامترهای مختلف و موثر در تشکیل آنها به منظور بهینه کردن و رسیدن به راندمان های تولید بالاتر و در نتیجه کاهش قیمت این پلیمرها در مقایسه با پلیمرهای مشتق شده از نفت، در این تحقیق اثر زمان های ماند سلولی مختلف، غلظت منبع کربنی، تاثیر اسیدهای چرب فرار در خوراک فاضلاب شهری بر راندمان تشکیل پلیمر بررسی شد.

لجن خام تولید شده در تصفیه خانه های فاضلاب ترکیبی از ذرات جامد آلی و غیرآلی، آب (بیش از ۹۵ درصد)، محتوی

و در هر سیکل میزان ۶ لیتر فاضلاب را تصفیه و سپس تخلیه می‌کرد. این سیستم به صورت خودکار و با زمان سنج‌های مشخص عمل می‌نمود. با توجه به تحقیقات انجام شده (۱۸ و ۱۶) مشخص شد که فاضلاب شهری به تنهایی قادر به تولید درصد بالای پلیمر نمی‌باشد در نتیجه در این تحقیق فاضلاب شهری با COD متوسط  $300 \text{ mg/L}$  با استات سدیم به میزان  $342 \text{ mg/L}$  (با استات سدیم  $100 \text{ mgC/L}$ ) که اسید چرب فرار می‌باشد و در تولید PHA موثر است، مخلوط شده و به عنوان خوراک در راکتور تزریق گشت. لجن مورد نیاز به منظور پلیمر سازی در طی مرحله هوادهی از سیستم SBR به میزان ۱ لیتر خارج و وارد راکتور تولید پلیمر تحت عنوان PPR می‌شد و با مقادیر COD مورد نظر با منبع کربنی اسیدهای چرب فرار به مدت ۲۴ ساعت تحت هوادهی قرار می‌گرفت و هر ۶ ساعت یک بار یعنی در زمان‌های  $T_0, T_{12}, T_{18}, T_{24}$  نمونه‌گیری جهت بررسی میزان تولید PHA انجام می‌شد و در پایان ۲۴ ساعت سیستم PPR به طور کامل تخلیه و برای نمونه بعدی لجن آماده می‌شد. سیستم با زمان ماند هیدرولیکی (HRT) ۱۰ hr راه‌اندازی شد و تحت زمان ماند سلولی (SRT) ۵، ۷ و ۱۰ روز مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به درصد تولید پلیمر در زمان‌های ماند سلولی بررسی شده SRT بهینه تعیین و بر سیستم اعمال شد. شماتیک سیستم مورد استفاده در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱: شمای کلی سیستم شامل مخزن تامین فاضلاب (ب) راکتور SBR (ج) جعبه های برق (د) راکتور PPR و لوله های ورودی و خروجی

با توجه به این که وجود اسیدهای چرب فرار در راکتور SBR، راندمان تولید PHA را بالا می‌برد، در مرحله بعد درصد بهینه دو اسید چرب فرار، استات و پروپیونات تحت زمان ماند سلولی بهینه حاصل شده از مرحله قبل مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه آزمایشات مقادیر با نسبت های مختلف استات و پروپیونات در PPR تزریق و با توجه به پلیمر تولید شده مقادیر بهینه حاصل شد.

نکته قابل ذکر این که از کلیه خروجی راکتورها در پایان هر سیکل به حجم لازم نمونه، جهت تکرار آزمایش‌ها برای ۳ بار، نمونه برداری صورت می‌گرفت. هم چنین تمام آزمایش‌ها در روند تحقیق مطابق با روش‌های بیان شده در کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب (۱۹) و وسایل و تجهیزات موجود در آزمایشگاه مهندسی محیط زیست انجام پذیرفت و پارامترهای pH، میزان مواد معلق در مایع مخلوط (MLSS)، COD،  $BOD_5$  و تولید PHA با اندازه‌گیری تری هیدروکسی بوتیرات (۳HB) و تری هیدروکسی والرات (۳HV) مورد بررسی قرار گرفت.

#### الف. مواد و تجهیزات

برخی مواد شیمیایی مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌ها به قرار زیر بوده است:

کلروفرم به منظور استخراج PHA و ساخت محلول استاندارد و محلول مادر

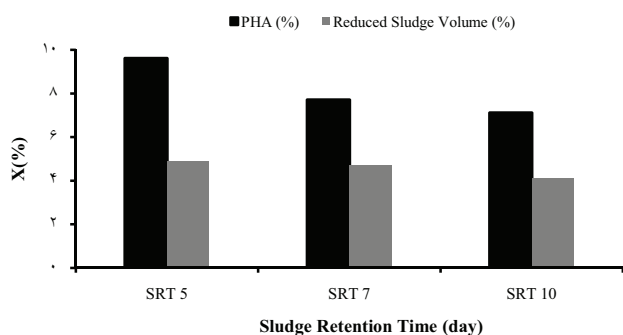
۳HB و کوپلیمر ۳HB و ۳HV جهت ساخت محلول استاندارد

متانول اسیدی به منظور تهیه محلول استاندارد جهت استخراج و اندازه‌گیری PHA تولیدی: ۲۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک و ۵۰ میلی‌گرم بنزوئیک اسید در یک بشر ۵۰۰ سی‌سی به ۱۵۰ میلی‌لیتر متانول اضافه شد و پس از سرد شدن محلول تا دمای محیط حجم محلول به ۲۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

محلول آمونیاک ۱۴ درصد به منظور خالص‌سازی پلیمر استخراج شده: مقداری آمونیاک ۲۸ درصد را برداشته و حجم آن به دو برابر افزایش یافت.

(شکل ۲) مشخص شد SRT های مختلف تاثیر چندانی در کاهش حجم لجن نداشته و این پارامتر در هر سه مورد تقریباً یکسان بوده است.

در تحقیق انجام شده توسط Chua و همکارانش در سال ۲۰۰۳ SRT در مدت زمان ۳ و ۱۰ روز مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت SRT بیشترین میزان تولید پلیمر را نتیجه داد (۷).



شکل ۲: درصد تولید PHA و کاهش حجم لجن در SRT های مختلف بدون اعمال شرایط بهینه

### ب. تاثیر اسید چرب فرار در تولید پلیمر

با توجه به این که وجود اسیدهای چرب فرار، راندمان تولید PHA را بالا می برد در مرحله بعد به بررسی تاثیر غلظت دو اسید چرب فرار، استات و پروپیونات (جدول ۱) در راکتور تولید پلیمر (PPR) تحت زمان ماند سلولی ۵ روز پرداخته شد. در کلیه آزمایش ها ۴۰ درصد از منبع کربن در لحظه  $T_0$  و باقی مانده به میزان مساوی پس از ۶، ۱۲ و ۱۸ ساعت به سیستم اضافه گردید. نتایج حاصل از تولید پلیمر تحت استات و پروپیونات طبق جدول ۱ به ترتیب در شکل های ۳ و ۴ ارائه شده است. همان گونه که مشخص است بیشترین میزان تولید PHA در مورد استات و پروپیونات به ترتیب در بار آلی ۳۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر اتفاق افتاده است که راندمان تولید پلیمر را به ترتیب به ۲۵ درصد و ۱۱/۵ درصد افزایش داده و تغییر منبع کربن از استات به پروپیونات در راکتور تولید پلیمر باعث کاهش میزان PHA شده است.

هم چنین جهت انجام آزمایش ها و تعیین پارامترها از لوازم و تجهیزات زیر استفاده گردید:

COD راکتور ساخت شرکت Hatch با ۱۶ جا لوله ای جهت آزمایش COD به روش آمپول  
اسپکتروفوتومتر مدل EZ Lambda ۱۵۰ دیجیتالی ساخت شرکت Perkin Elmer جهت تعیین میزان جذب در آزمایش COD  
دستگاه GC مدل Philips-PU4410-FID با مشخصات زیر:

Column: BP-1(SEG. Austria, 25m length, 220  $\mu$ m internal diameter, Less than 1 $\mu$ m film thickness)

Rate of carrier Gas (N<sub>2</sub>): 30 mL/min

Rate of compressed Air: 330 mL/min

Column Temperature: 70 °C

Ramp rate: 10 °C

Upper Temperature: 230 °C

Upper time: 0.5 min

Injection Temperature: 280 °C

Detector Temperature: 250 °C

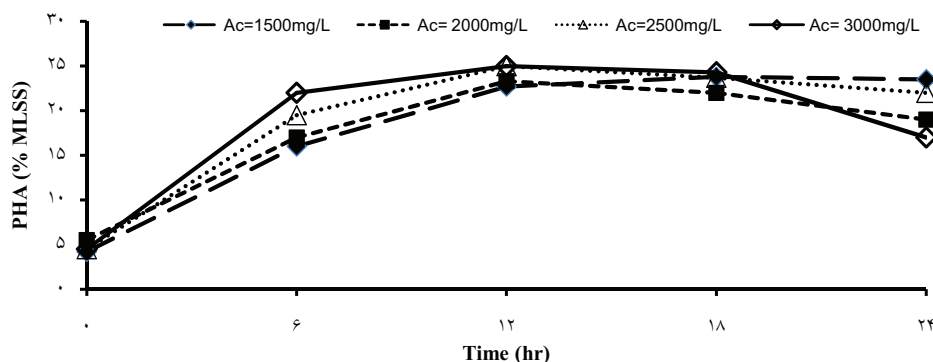
### بحث

#### الف. تعیین زمان ماند بهینه

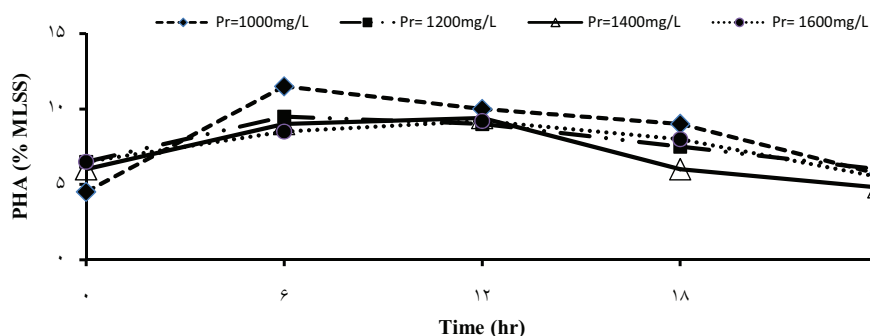
نتایج حاصل از تحقیق (شکل ۲) نشان داد که SRT در مدت زمان ۵ روز با اختلاف کمی از زمان های ماند دیگر بیشترین راندمان تولید پلیمر نزدیک به ۱۰ درصد را داشت. در توجیه این مطلب می توان گفت هر چه زمان ماند سلولی کم تر باشد تخلیه لجن بیش تری از سیستم انجام گرفته و در نتیجه غذای بیش تری در اختیار میکروارگانیسم ها قرار می گیرد و امکان تشکیل پلیمر در سلول ها بالا می رود. هم چنین طبق نتایج حاصل از بررسی میزان کاهش حجم لجن

جدول ۱: شرایط مختلف انجام آزمایش در PPR

متغیر	آزمایش اول	آزمایش دوم	آزمایش سوم	آزمایش چهارم
غلظت استات سدیم (mg/L)	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
غلظت پروپیونات سدیم (mg/L)	۱۰۰۰	۱۲۰۰	۱۴۰۰	۱۶۰۰



شکل ۳: درصد تولید PHA در نسبت های مختلف استات

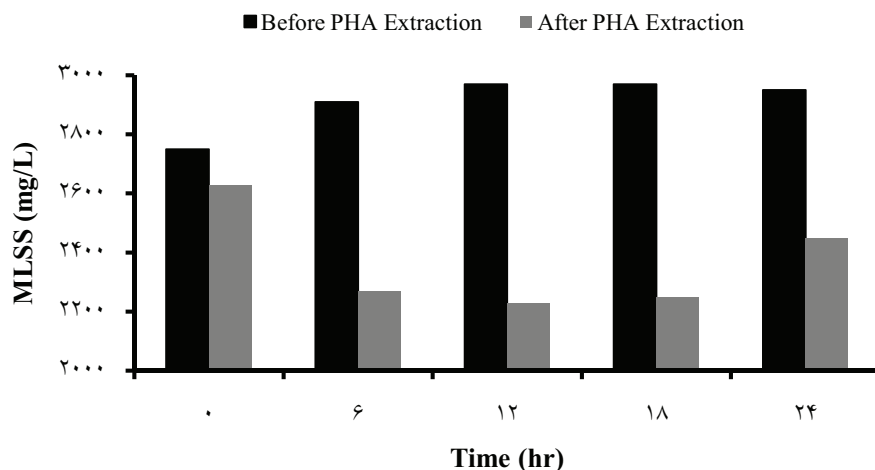


شکل ۴: درصد تولید PHA در نسبت های مختلف پروپیونات

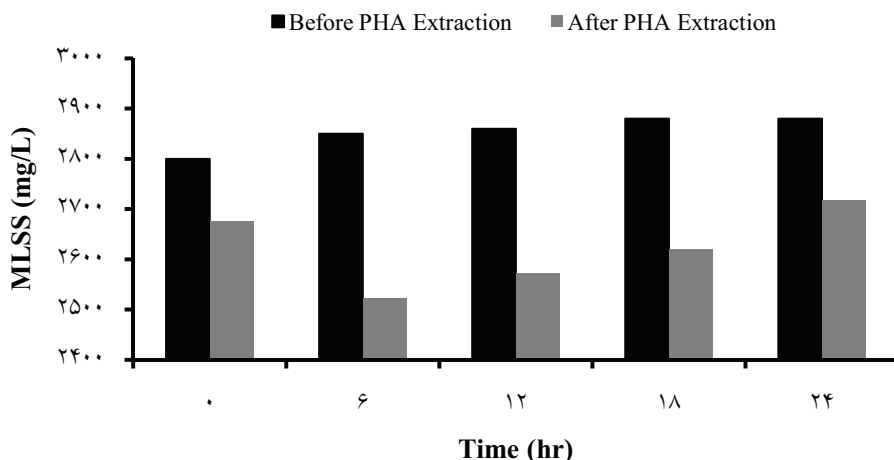
### ج. کاهش حجم لجن در اثر تولید پلیمر

به منظور بررسی میزان کاهش حجم لجن، نمودار تغییرات MLSS قبل و بعد از استخراج پلیمر در خوراک دهی با غلظت های ۳۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر به ترتیب توسط استات و پروپیونات در شکل های ۵ و ۶ ارایه شده است.

بر اساس نتایج بررسی اثر اسیدهای چرب فرار بر کیفیت و کمیت پلیمر تولیدی با استفاده از لجن فعال، وجود اسیدهای چرب فرار در ترکیبات خوراک راکتور ناپیوسته مرحله ای، در مقایسه با هنگامی که فقط از ساکاروز به عنوان منبع کربن استفاده می شد، افزایش ۹۰ الی ۱۳۰ درصدی بازده تولید پلیمر مشاهده گردید (۱۸).



شکل ۵: تغییرات MLSS قبل و بعد از استخراج پلیمر با خوراک دهی توسط غلظت ۳۰۰۰ mg/L استات



شکل ۶: تغییرات MLSS قبل و بعد از استخراج پلیمر با خوراک دهی توسط غلظت ۱۰۰۰ mg/L پروپیونات

پایانی آزمایش از بین رفتن توده میکروبی و در نتیجه کاهش تولید پلیمر را به دنبال داشت و هم چنین باعث کاهش MLSS قبل از استخراج پلیمر شد. در واقع زمانی که رشد قابل توجه میکروارگانیسم به علت نبود شرایط مناسب صورت نمی گیرد و از طرفی تولید بالای پلیمر در سیستم وجود دارد، پلیمر جایگزین میکروارگانیسم شده و MLSS مربوط به توده باکتری کاهش می یابد. در شکل ۷ طرح شماتیکی از تغییرات حجم لجن آورده شده است. در این شکل V بیانگر حجم اولیه

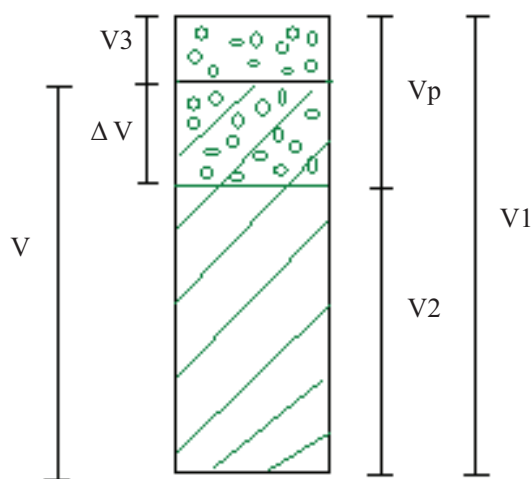
همان طور که مشاهده می شود میزان MLSS قبل از استخراج پلیمر در سیستم روند صعودی داشت که قسمت بیش تر این رشد به تولید پلیمر و ذخیره شدن آن در میکروارگانیسم ها مربوط می شد. با استخراج پلیمر و کسر آن میزان MLSS کاهش یافت و در واقع کم شدن میکروارگانیسم ها و حجم لجن مشاهده شد که علت این کاهش نبود شرایط مناسب و محدودیت مواد مغذی در PPR جهت رشد میکروارگانیسم ها بود. تشدید این شرایط نامناسب در ساعات

مغذی در حضور مقدار اضافی از منبع کربن، به صورت PHB و PHV (پلی هیدروکسی والرات) در داخل سلول های خود تولید و ذخیره می کنند که به صورت گرانول در داخل سلول انباشته می شود. به طوری که با افزودن اسید چرب فرار، راندمان تولید پلیمر به ۲۵ درصد رسید که کاهش حجم لجن به میزان ۱۹ درصد را به دنبال داشت. Khardenavis و همکارانش در سال ۲۰۰۹ موفق به تولید پلیمر با ۳۱ درصد وزن خشک لجن توسط شیره قند به عنوان یک سوپسترای ارزان و لجن فعال شدند (۱۳). البته میزان بالاتر تولید پلیمر در حدود ۵۱ درصد توسط لجن فعال و منابع کربنی گران تر مانند گلیکوژن و پلی فسفات گزارش شده است (۱۴) که فرایند تولید پلیمر را گران تر و قابلیت رقابت این محصول زیست تخریب پذیر را در مقابل سایر پلاستیک های تولیدی از مشتقات نفت کم تر می سازد.

لجن قبل از تولید پلیمر،  $V1$  حجم لجن بعد از تولید پلیمر و قبل از استخراج آن،  $V2$  حجم لجن بعد از استخراج پلیمر،  $V3$  حجم لجن رشد کرده که به پلیمر تبدیل شده،  $\Delta V$  میزان کاهش حجم لجن در اثر تولید پلیمر و  $Vp$  حجم پلیمر تولید شده می باشد. نتایج حاصل بیانگر کاهش حجم لجن در خوراک دهی توسط استات و پروپیونات به ترتیب به میزان ۱۹ و ۹/۹ درصد بود.

### نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق در مقیاس آزمایشگاهی نشان داد که امکان تولید پلی هیدروکسی آلکانوات ها از کشت مخلوط لجن فعال با منبع کربنی فاضلاب شهری و در پی آن کاهش حجم لجن وجود دارد زیرا تعداد متعددی باکتری، PHAs را به عنوان ذخایر کربن و انرژی تحت شرایط محدودیت مواد



شکل ۷: طرح شماتیکی از تغییرات حجم لجن



## منابع

1. Suriyamongkol P, Weselake R, Narine S, Moloney M, Shah S. Biotechnological approaches for the production of polyhydroxyalkanoates in microorganisms and plants -A review. *Biotechnology Advances*. 2007;25:148–75.
2. Schlegel HG, Gottschalk G, Von Bartha R. Formation and utilization of poly-beta-hydroxybutyric acid by Knallgas bacteria (*Hydrogenomonas*). *Nature*. 1961;191:463-500.
3. Nishida H, Tokiwa Y. Effects of higher order structure of PHB on its biodegradation. 1. Effects of heat treatment on microbial degradation. *Adv Biochem Eng*. 1992;46:1467-76.
4. Shimao M. Biodegradation of plastics. *Current Opinion in Biotech*. 2001;12:242- 47.
5. Bhatt R, Shah D, Patel KC, Trivedi U. PHA–rubber blends: Synthesis, characterization and biodegradation. *Bioresource Technology*. 2008;99:4615–20.
6. Siracusa V, Rocculi P, Romani S, Rosa MD. Biodegradable polymers for food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2008;19:634-43.
7. Chua ASM, Takabatake H, Satoh H, Mino T. Production of polyhydroxyalkanoates (PHA) by activated sludge treating municipal wastewater: Effect of pH, sludge retention time (SRT), and acetate concentration in influent. *Water Research*. 2003;37:3602–11.
8. Khanna S, Srivastava AK. Recent advances in microbial polyhydroxy alkanoates. *Process Biochemistry*. 2005;40:607–19.
9. Mudliar SN, Vaidya AN, Suresh Kumar M, Dahikar S, Chakrabarti T. Techno-economic evaluation of PHB production from activated sludge. *Clean Tech Environ Policy*. 2008;10:255-62.
10. Lee KM, Gilmore DF. Formulation and process modeling of biopolymer (polyhydroxyalkanoates: PHAs) production from industrial wastes by novel crossed experimental design. *Process Biochemistry*. 2005;40:229–46.
11. Salehizadeh H, Van Loosdrecht MCM. Production of polyhydroxy alkanoates by mixed culture: Recent trends and biotechnological importance. *Biotechnology Advances*. 2004;22:261-79.
12. Mengmeng C, Hong C, Qingliang Z, Shirley SN, Jie R. Optimal production of polyhydroxyalkanoates (PHA) in activated sludge fed by volatile fatty acids (VFAs) generated from alkaline excess sludge fermentation. *Bioresource Technology*. 2009;100:1399–405.
13. Khardenavis AA, Vaidya AN, Suresh Kumar M, Chakrabarti T. Utilization of molasses spentwash for production of bioplastics by waste activated sludge. *Waste Management*. 2009;29:2558–65.
14. Kasemsap C, Wantawin C. Batch production of polyhydroxyalkanoate by low-polyphosphate-content activated sludge at varying pH. *Bioresource Technology*. 2007;98:1020-27.
15. Ganjidoust H, Vasheghani Farahani E, Borghee M and Mokhtarani N. Investigation of polyhydroxyalkanoats (PHAs) production in activated sludge Reactor. *Iranian Journal of Polymer Science & Technology*. 2005;17(6):353–57.
16. Jafarpour M. Production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) by activated sludge using municipal wastewater [dissertation]. Tehran: Tarbiat Modares University; 2007.
17. Dick RI, Simmons DL, Hasit Y. Process integration in sludge management. *Water Sci Technol*. 1982;14:756-79.
18. Mokhtarani N, Ganjidoust H, Vasheghani Farahani E, Khaleghi Sarnamy M. Effect of VFAs in the production of Polyhydroxyalkanoates (PHAs) by activated sludge. *Iranian Journal of Polymer Science & Technology*. 2008;21(1):83–90.
19. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.

## **Investigation of PHA Polymer Production from Sludge of Municipal Wastewater Treatment Plant and Its Effect on Sludge Volume Reduction**

Meschi Nezami M.<sup>1</sup>, \*Ganjidoust H., Mokhtarani N., Ayati B.

Civil Environmental Engineering Faculty, Environmental Engineering Division, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received; 18 September 2010 Accepted; 11 December 2010

### **ABSTRACT**

**Backgrounds and Objectives:** Owing to the fact that the major environmental problem is production of surplus sludge in wastewater treatment plant, reducing the volume of produced sludge was objective of this research.

**Materials and Methods:** An anaerobic-aerobic SBR with working volume of 10 L was used to make micro-organism adapted and a polymer production reactor (PPR) with working volume of 1.5 L was used for producing polymer munisipal wastewater which contained different concentration of volatile fatty acids was considered as the feed source (acetate and propionate) and this system was evaluated with SRT of 5, 7 and 10 days.

**Results:** The maximum polymer production efficiency observed within 5 days (SRT=5 days) though this efficiency was not significant in comparison with the two others time courses study. In this research the maximum polymer production efficiency at optimum condition was 25% of the sludge dry weight.

**Conclusion:** Experiment revealed that producing polymer from activated sludge reduced the volume of sludge and the maximum reduced sludge volume was obtained 19%.

**Key word:** Poly-hydroxy alkanoates, Activated sludge, Municipal wastewater, Reduced sludge volume, Polymer production efficiency

---

\* **Corresponding Author:** *h-ganji@modares.ac.ir*

**Tel:** +98 21 82883332 **Fax:** +98 21 8288 4914