

# بررسی تأثیر میدان مغناطیسی در میزان تولید پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات در لجن فعال

مرضیه فاتحی<sup>۱</sup>، سیداحمد عطایی<sup>۲\*</sup>

۱. کارشناس ارشد مهندسی شیمی - گرایش محیط‌زیست، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان. Fatehi\_marzie@yahoo.com

۲. استادیار مهندسی شیمی، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۴

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۶/۲۷

## چکیده

با هدف غلبه بر مشکلات زیست‌محیطی ناشی از تجمع پلاستیک‌های مصنوعی و لجن تولیدشده در تصفیه‌خانه‌ها، پژوهش‌های متعددی در زمینه تولید پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر انجام شده است. پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات‌ها (Polyhydroxyalkanoates) مشهورترین عضو خانواده بیوپلیمرها محسوب می‌شوند که به‌منزله منبع کربن و انرژی در میکروارگانیسم‌ها تجمع می‌یابند. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر میدان مغناطیسی در فرایند تولید پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات (PHA) در لجن فعال انجام شده است. میدان مغناطیسی در فرایند تولید PHA از لجن فعال تأثیرگذار است به طوری که در برخی شدت‌های میدان مغناطیسی تولید این بیوپلیمر نسبت به نمونه شاهد (بدون میدان مغناطیسی) افزایش و در برخی کاهش یافته است. آزمایش‌های این تحقیق در دو مرحله انجام شده‌اند. در مرحله اول، مدت زمان هوادهی لجن فعال در فرایند تولید این بیوپلیمر برای نمونه شاهد بهینه‌سازی شد که معادل ۳۰ ساعت بود. در مرحله دوم، تأثیر میدان مغناطیسی در کاهش یا افزایش تولید این بیوپلیمر بررسی شد. تأثیر میدان‌های مغناطیسی با شدت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌تسلا در راکتور ناپیوسته تولید بیوپلیمر در ۳۰ ساعت بررسی شد. نتایج نشان دادند که میدان‌هایی با شدت ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌تسلا تأثیر مثبتی در تولید PHA داشتند در حالی که میدان‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌تسلا سبب کاهش تولید PHA نسبت به نمونه شاهد شده‌اند. میزان تولید PHA در نمونه شاهد و میدان‌های مغناطیسی ۵، ۲۰ و ۵۰ میلی‌تسلا به ترتیب ۰/۶، ۰/۷۳، ۰/۷۵ و ۰/۵۵ گرم بر لیتر بوده است. علاوه بر این، نتایج نشان‌دهنده تأثیرگذاری میدان مغناطیسی در نوع و میزان مونومرهای تولیدشده در کوپلیمر PHA بودند. به طوری که در میدان‌های مغناطیسی ۲۰ و ۵۰ میلی‌تسلا درصد جرمی هیدروکسی‌والرات (HV) در کوپلیمر (HB-co-HV) به ترتیب برابر با ۲۶ و ۲۶ بوده است.

## کلیدواژه

پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات، زمان هوادهی، لجن فعال، میدان مغناطیسی.

## ۱. سرآغاز

علت زیست‌تخریب‌پذیری کامل به‌منزله جایگزین مناسبی برای پلاستیک‌های معمولی مورد توجه قرار گرفته‌اند. PHAs ترکیبات درون‌سلولی‌اند که به‌منزله منبع کربن و انرژی در سلول ذخیره می‌شوند. ذخیره این بیوپلیمر در شرایط رشد نامتعادل از قبیل محدودیت نیتروژن، فسفر، اکسیژن و در حضور منبع کربن اضافی صورت می‌گیرد

پلی‌استرها از عمده پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر به شمار می‌روند که تولید آن‌ها به روش‌های شیمیایی و زیستی امکان‌پذیر است. پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات‌ها (PHAs) ماکرومولکول‌های پلی‌استر طبیعی‌اند که از طریق گروه وسیعی از میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند و به تازگی به

در حکم بازدارنده برای تولید عمل کند (گنجی‌دوست و همکاران، ۱۳۸۳).

تأثیرات میدان مغناطیسی در فرایندهای بیولوژیکی چون تصفیه فاضلاب توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. تحقیقات متعددی در زمینه تأثیر میدان مغناطیسی در حذف COD<sup>۱</sup> از فاضلاب‌های خانگی و صنعتی انجام شده است که همگی گویای رابطه مهم بین نوع فاضلاب و شدت میدان مغناطیسی‌اند (Hattori, et al., 2001. Jagadeesh, et al., 2006. Kerzemieniewski, et al., 2003). برخی تحقیقات نیز از افزایش فعالیت باکتری‌ها در معرض میدان مغناطیسی خبر می‌دهند و تأثیر میدان مغناطیسی در کشت‌های مخلوطی چون فاضلاب را بیشتر از کشت‌های خالص می‌دانند (Yavuz and Celebi., 2000). مطالعات انجام‌شده در این زمینه معمولاً نتایجی متناقض داشتند. برخی مطالعات اثر منفی میدان مغناطیسی را نشان می‌دهند (Gerencser, et al., 1962) و برخی دیگر حاکی از آثار مثبت‌اند (Li, et al., 2007). چن و همکارانش در سال ۲۰۰۸ تأثیر میدان‌های مغناطیسی با شدت ۷، ۲۱ و ۴۲ میلی‌تسلا را در تولید PHA از زنجیره‌های کوتاه اسیدهای چرب فرار تحت شرایط تغذیه پویای هوازی (ADF)<sup>۲</sup> مطالعه کردند (Chen and Li., 2008). در این تحقیق مخلوط استات، پریونات و بوتیرات با نسبت‌های مشخص به‌منزله منبع کربن استفاده شده بود. نتایج این آزمایش‌ها نیز نشان‌دهنده تأثیر دوگانه میدان مغناطیسی در فرایند تولید بود که به شدت میدان مغناطیسی بستگی داشت. آن‌ها مشاهده کردند که مقدار PHA تولیدشده در میدان ۲۱ میلی‌تسلا به میزان ۱۶ درصد بیشتر از نمونه شاهد بوده است.

هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر میدان‌های مغناطیسی مختلف در فرایند تولید پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات در مدل جمعیتی متفاوت بوده است. لجن فعال جمع‌آوری‌شده از واحد تصفیه فاضلاب شهرستان کرمان به راکتور ناپیوسته منتقل و در میدان‌های با شدت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌تسلا قرار گرفته است.

(Nezami, et al., 2011. Suriyamongkol, et al., 2007). تقریباً ۱۵۰ نوع از خانواده PHA شناسایی شده است. از مهم‌ترین اعضای این خانواده می‌توان به هیدروکسی والرات (HV) و هیدروکسی بوتیرات (HB) اشاره کرد که در مقیاس تجاری تولید می‌شوند (خسروی‌دارانی و واشقانی‌فراهانی، ۱۳۸۴).

در حالت کلی مواد آلی در محیط کشت طی فرایند هیدرولیز و اسیدوژنس به اسیدهای چرب فرار تبدیل می‌شوند سپس، این اسیدها از طریق میکروارگانیسم‌ها به مصرف می‌رسند و به صورت گرانول‌های PHA ذخیره می‌شوند (Xu, et al., 2010). با اینکه پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات‌ها به‌منزله بهترین جانشین پلیمرهای مشتق‌شده از نفت شناخته می‌شوند، هزینه تولید تجاری آن‌ها مانع اصلی تولید صنعتی آن‌ها به شمار می‌رود.

امروزه تصفیه بیولوژیکی فرایند رو به گسترش است و مقادیر بالایی لجن فعال مازاد تولید می‌کند که به دفع نیاز دارند. لجن فعال مازاد محتوی باکتری‌هایی است که توانایی تولید PHA را دارند. تولید PHA از لجن فعال مزایایی چون تولید نسبتاً ارزان این بیوپلیمر، کاهش حجم لجن و کاهش هزینه‌های تصفیه فاضلاب را به دنبال دارد. بنابراین، می‌توان ادعا کرد که تولید این بیوپلیمر از لجن فعال مازاد امری مقرون به صرفه خواهد بود (Dionisi, et al., 2009. Hong, et al., 2010. Tian, et al., 2004).

مینگ و همکارانش در جهت کاهش هزینه‌های تولید PHA و دفع لجن اضافی، امکان استفاده از اسیدهای چرب فرار تخمیری به‌منزله منبع کربن اضافی برای سنتز این بیوپلیمر را بررسی کردند. از نتایج این تحقیق می‌توان به مناسب شناخته‌شدن اسیدهای چرب فرار تولیدشده حاصل از تخمیر لجن فعال مازاد به‌منزله منبع کربن برای تولید PHA اشاره کرد (Mengmeng, et al., 2009). عوامل متعددی از جمله غلظت سوبسترا، دمای عملیات، pH محیط، میزان هوادهی و محرک‌های آنزیمی در تولید PHA تأثیرگذارند و نامناسب بودن هر یک از این شرایط می‌تواند

مدت ۲ ساعت و افزودن ۱ میلی لیتر آب ۲ بار تقطیر به نمونه‌ها بود. پس از انجام این مراحل در نمونه‌ها سه فاز جداگانه تشکیل شد. فاز رویی فاز آبی حاوی اسید سولفوریک، فاز میانی حاوی بقایای باکتری‌ها و فاز زیرین فاز آلی حاوی متیل استر هیدروکسی آلکانوات بود. برای اندازه‌گیری میزان بیوپلیمر تولیدشده ۲ میکرولیتر از فاز آلی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به دستگاه کروماتوگرافی گازی (model Varian CP 3800) تزریق شد که به آشکارساز یونی (FID) و ستون (Capillary cp – sil 8 cp, 30m×1μm) مجهز بود. دمای محل تزریق و آشکارساز به ترتیب ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد بود. ستون ۱ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد باقی ماند، سپس دما با نرخ  $1^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  تا دمای ۱۵۰ درجه افزایش یافت و ۱ دقیقه در این دما باقی ماند. کوپلیمر PHA حاوی ۱۲ درصد جرمی پلی‌هیدروکسی والراتاز شرکت سیگما به‌منزله استاندارد استفاده شد.

### ۳. نتایج

در این پژوهش، لجن فعال از سیستم تصفیه‌خانه پساب شهری کرمان با مشخصات نشان‌داده‌شده در شکل ۱ تهیه شده است. در این سیستم زمان ماند هیدرولیکی (HRT)<sup>۳</sup> ۱۰ ساعت و زمان ماند لجن حدود ۵ روز در نظر گرفته شد.

## ۲. مواد و روش بررسی

### ۱.۲. راکتور ناپیوسته

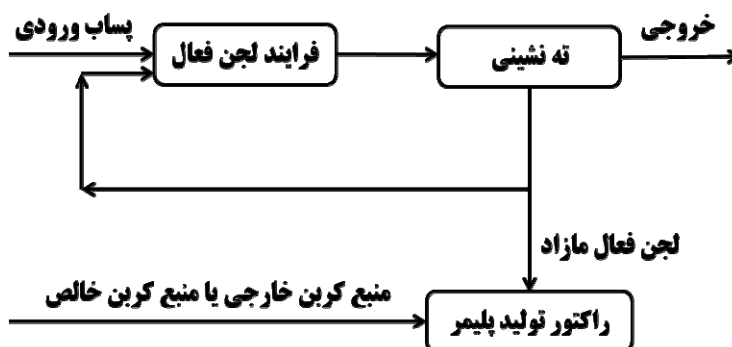
لجن فعال از واحد تصفیه فاضلاب شهرستان کرمان تهیه و مشخصات آن در قسمت نتایج ارائه خواهد شد. در این تحقیق از راکتور ناپیوسته با حجم عملیاتی ۱ لیتر و در دمای محیط استفاده شده است. پس از انتقال لجن فعال به راکتور، سدیم استات به‌منزله خوراک با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به راکتور افزوده شد.

### ۲.۲. تولید میدان مغناطیسی

میدان‌های مغناطیسی مورد نظر از طریق آهن‌ربای دائمی تولید شدند و شدت تولیدشده درون راکتور از طریق تسلا متر اندازه‌گیری شد.

### ۳.۲. روش‌های تجزیه‌ای

پس از هوادهی در زمان بهینه‌شده مقادیر مشخصی از لجن فعال به لوله‌های مخصوص دردار منتقل شد. سپس، این نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه با شدت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و پس از دورریختن مایع رویی، مواد ته‌نشین شده طبق روش ذکرشده در تحقیق عطایی و همکاران- برای اندازه‌گیری میزان PHA تولیدشده آماده‌سازی شدند (Ataei, et al., 2008). مراحل آماده‌سازی شامل افزودن ۲ میلی‌لیتر کلروفرم و ۱ میلی‌لیتر متانول اسیدی حاوی اسید بنزوئیک (به‌منزله استاندارد داخلی) به نمونه‌ها، حرارت‌دهی در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به



شکل ۱. نمودار تولید PHA با لجن فعال تصفیه‌خانه پساب شهری

مشخصات لجن فعال در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات اولیه لجن فعال مازاد

SRT <sup>4</sup> (day)	COD (ppm)	BOD <sup>5</sup> (ppm)	pH	نسبت C:N:P
۵	۵۴۸۵	۱۲۸۶	۷/۵۵	۲۴:۰/۱۴:۱

جدول ۲ نیز حاوی برخی مشخصات کیفی لجن است.

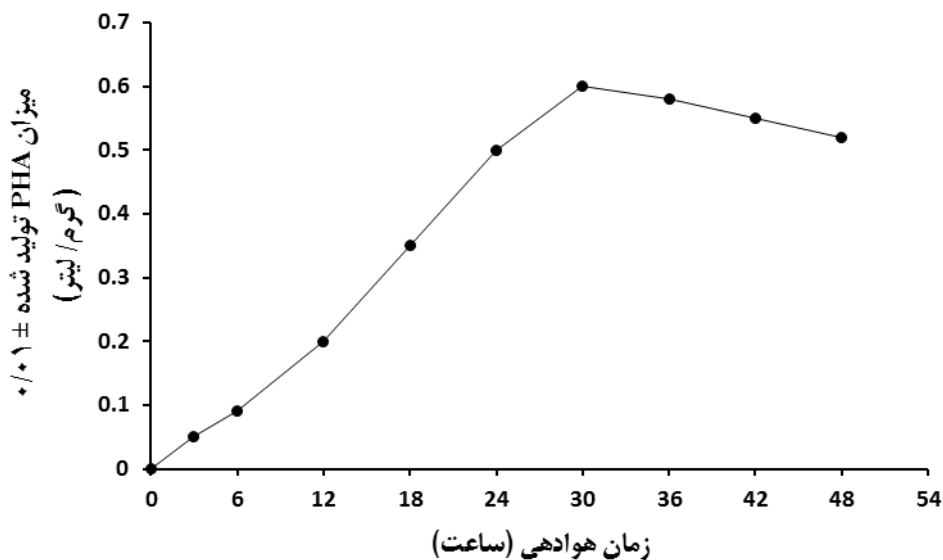
جدول ۲. مشخصات کیفی لجن

درصد ذرات جامد لجن	اندیس حجمی لجن (SVI)	نسبت VSS/TSS
۱/۳	۹۵-۹۰	۰/۷۵

می تواند بازدارنده تولید پلی هیدروکسی آلکانوات باشد. از این جهت، به منظور دستیابی به زمان هوادهی بهینه برای نمونه شاهد طی ۴۸ ساعت در فواصل منظم از راکتور تولید بیوپلیمر برای اندازه گیری میزان PHA نمونه برداری شد. نتایج حاصل از این مرحله در شکل ۲ آورده شده است.

در این قسمت ابتدا به نتایج حاصل از بهینه سازی زمان هوادهی برای نمونه شاهد، سپس به نتایج مربوط به تأثیر میدان مغناطیسی در فرایند تولید بیوپلیمر و مقایسه آن با نمونه شاهد خواهیم پرداخت.

همان طور که گفته شد میزان هوادهی و دسترسی میکروارگانیسم به اکسیژن به طور ناقص یا بیش از حد



شکل ۲. تأثیر زمان هوادهی در میزان تولید پلی هیدروکسی آلکانوات در نمونه شاهد

می شود. بنابراین، در زمان های کمتر از ۳۰ ساعت با افزایش زمان هوادهی میزان تولید PHA در میکروارگانیسم افزایش می یابد. بالاترین مقدار تولید بیوپلیمر در ۳۰ ساعت

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود با افزایش زمان تخمیر میکروارگانیسم ها با محدودیت مواد غذایی مواجه و شرایط برای تولید هرچه بیشتر بیوپلیمر فراهم

PHA مربوط به میدان‌های مغناطیسی با شدت ۲۰ و ۵ میلی‌تسلا (که به ترتیب معادل ۰/۷۵ و ۰/۳۳ گرم بر لیتر) و کمترین میزان تولید در میدان مغناطیسی ۵۰ میلی‌تسلا مشاهده می‌شود که معادل ۰/۵۵ گرم بر لیتر است.

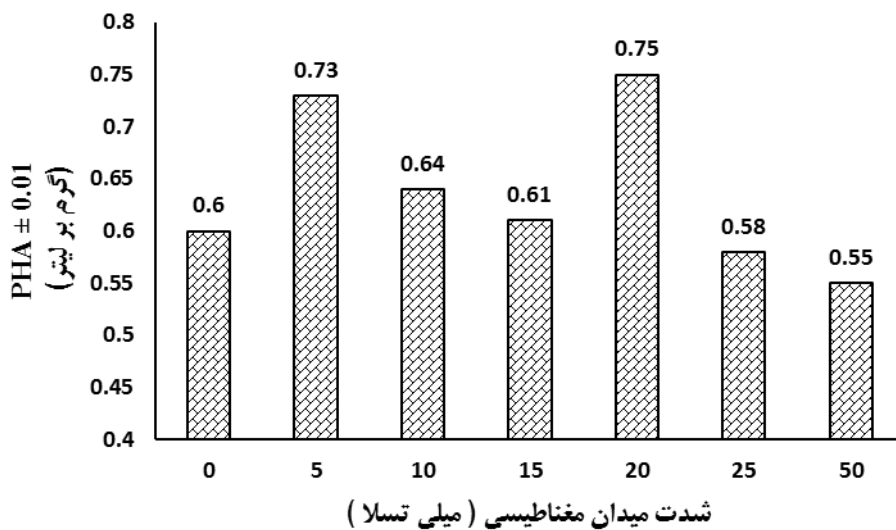
میدان مغناطیسی در عملکرد آنزیمی، شدت مصرف سوستر در مرحلهٔ ازدیاد مواد غذایی<sup>۷</sup> و انحلال‌پذیری لیپیدی سوستر در غشای سلولی تأثیر دارد. در فرایند بیولوژیکی تولید این بیوپلیمر سوستر برای سنتز PHA، تولید بیومس، نگهداری و توزیع اکسیژن به‌منزلهٔ آخرین پذیرندهٔ الکترون مصرف می‌شود بنابراین، کاهش میزان سوستر در فرایند تولید PHA امری آشکار است. شاید بتوان کاهش میزان تولید بیوپلیمر در میدان‌های مغناطیسی ۱۰ و ۱۵ میلی‌تسلا نسبت به میدان‌های مغناطیسی ۵ و ۲۰ میلی‌تسلا به تأثیر شدت میدان مغناطیسی در مصرف سوستر نسبت داد. بدین‌گونه که میدان‌های مغناطیسی ۱۰ و ۱۵ میلی‌تسلا سبب افزایش شدت مصرف سوستر در مرحلهٔ ازدیاد مواد غذایی شده‌اند و زودتر از حد انتظار میکروارگانسیم را وارد فاز خودخوری کرده‌اند. علت دیگر کاهش میزان تولید PHA در میدان‌های مغناطیسی ۱۰ و ۱۵ میلی‌تسلا می‌تواند تأثیر منفی این میدان‌ها در فعالیت آنزیمی باشد.

هوادهی حاصل شده معادل ۰/۶ گرم بر لیتر است. بیش از ۳۰ ساعت هوادهی، میزان تولید PHA کاهش داشته است. این کاهش را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که با افزایش زمان هوادهی بیشتر از ۳۰ ساعت میکروارگانسیم‌ها به علت کاهش منبع کربن از ذخیرهٔ درون‌سلولی خود (PHA) استفاده می‌کنند و میزان پلیمرکاهش می‌یابد.

بنابراین، بهترین حالت از منحنی رشد، برای تولید PHA فاز سکون<sup>۸</sup> میکروارگانسیم‌هاست. به عبارت دیگر، لجن فعال این فاز در مقایسه با لجن فعالی که در فاز خودخوری قرار می‌گیرد توانایی تولید بیوپلیمر بیشتری دارد.

در مرحلهٔ دوم آزمایش‌ها، راکتور ناپیوسته تولید بیوپلیمر در میدان‌های مغناطیسی با شدت‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌تسلا قرار گرفتند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان بیوپلیمر تولیدشده در نمونه شاهد و نمونه‌های قرارگرفته در معرض میدان مغناطیسی در شکل ۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود قرارگیری در معرض میدان مغناطیسی در تولید PHA از لجن فعال تأثیرگذار بوده است. در برخی شدت‌های میدان مغناطیسی تولید این بیوپلیمر نسبت به نمونه شاهد افزایش و در برخی کاهش یافته است، به طوری که بالاترین میزان تولید



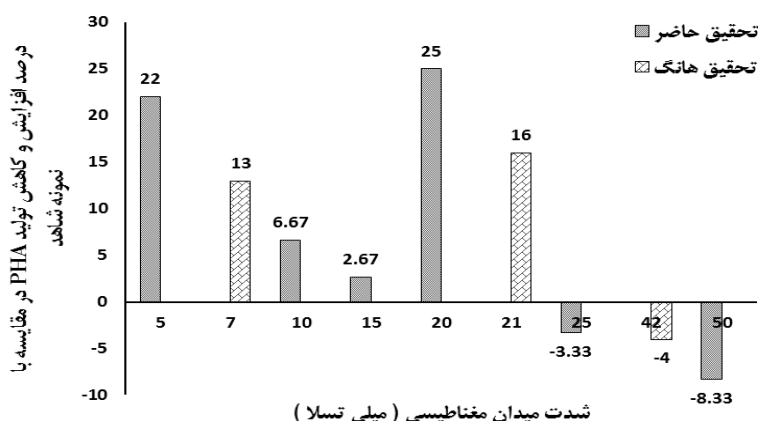
شکل ۳. میزان تولید PHA در نمونه شاهد و نمونه‌های در معرض میدان مغناطیسی

شایان یادآوری است که در تحقیق هانگ برخی شرایط انجام آزمایش‌ها با تحقیق حاضر متفاوت بوده است. اما در حالت کلی میدان‌های مغناطیسی با شدت کمتر از ۲۱ میلی‌تسلا اثر مثبتی در توانایی میکروارگانیسم‌ها در تولید PHA از لجن فعال دارند. در حالی که میدان‌های مغناطیسی با شدت بیشتر از ۲۱ میلی‌تسلا می‌توانند بازدارنده تولید PHA در این شرایط باشند. استفاده از کشت مخلوط لجن فعال فاضلاب شهری نقطه مشترک این تحقیقات است. در این صورت باید تأثیر میدان مغناطیسی در سایر کشت‌ها نیز آزمایش شود.

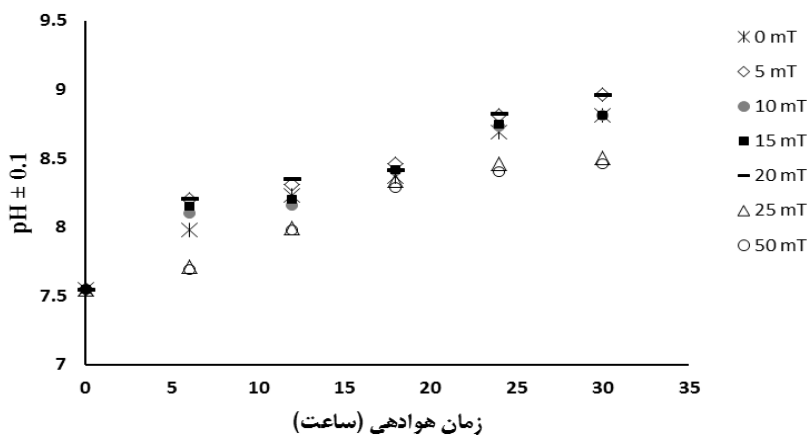
در این تحقیق تغییرات pH محیط راکتور طی فرایند تولید بیوپلیمر مطالعه شده که در شکل ۵ قابل مشاهده است.

با توجه به شکل ۳ می‌توان گفت که میدان‌های مغناطیسی با شدت بیش از ۲۰ میلی‌تسلا سبب کاهش تولید PHA در لجن فعال مورد آزمایش شده‌اند. اما تأثیر شدت میدان مغناطیسی در کشت‌هایی با ترکیبات متفاوت باید بررسی شود. بنابراین، می‌توان به اهمیت شدت میدان مغناطیسی در تأثیرگذاری در فرایند بیوسنتز PHA اشاره کرد.

بر پایه این نتایج، میدان‌های مغناطیسی با شدت ۲۰ و ۵ میلی‌تسلا اثر مثبتی در تولید PHA از لجن فعال و میدان مغناطیسی ۵۰ میلی‌تسلا اثر بازدارنده‌ای در توانایی میکروارگانیسم‌ها در تولید این بیوپلیمر دارند. شکل ۴ مقایسه‌ای بین اطلاعات تحقیق حاضر و تحقیق هانگ چن و همکارانش (Chen, et al., 2008) را نشان می‌دهد.



شکل ۴. مقایسه اطلاعات حاصل از این تحقیق و تحقیق هانگ چن و همکارانش



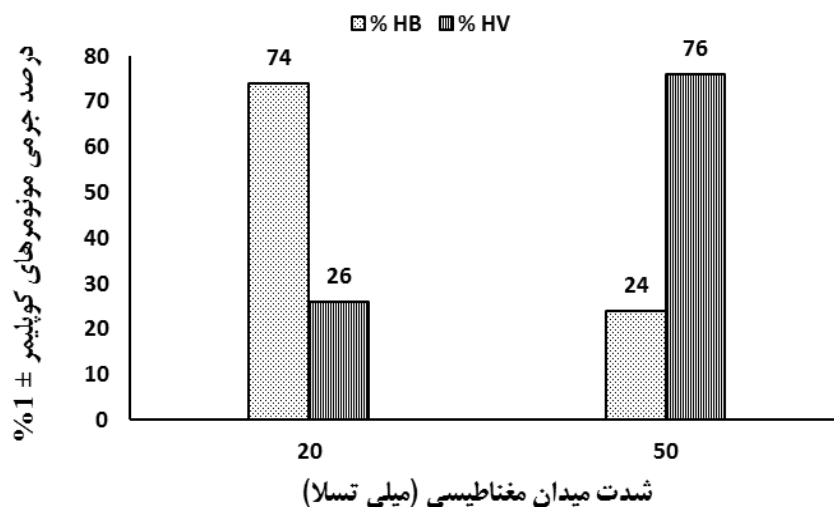
شکل ۵. تغییرات pH محیط راکتور طی فرایند تولید بیوپلیمر

مغناطیسی در نوع و درصد جرمی مونومرهای کوپلیمر PHA تأثیرگذار بوده است. در میدان‌های مغناطیسی ۲۰ و ۵۰ میلی‌تسلا درصد مونومر هیدروکسی‌بوتیرات (HB) و هیدروکسی‌والرات (HV) در کوپلیمر PHA مطالعه شدند و نتایج حاصل از آن در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

از آنجا که فرایند بیوسنتز پلی‌هیدروکسی‌والرات (PHV) و پلی‌هیدروکسی‌بوتیرات (PHB) کاملاً شبیه هم، اما با آنزیم‌های متفاوت صورت می‌گیرد، تفاوت درصد جرمی HV و HB در زنجیره کوپلیمر در میدان‌های مغناطیسی ۲۰ و ۵۰ میلی‌تسلا را می‌توان به تفاوت در اثرگذاری شدت میدان مغناطیسی در آنزیم‌های مربوط به بیوسنتز آن‌ها نسبت داد. در برخی از تحقیقات گذشته تأثیر میدان مغناطیسی در فعالیت آنزیم‌ها و واکنش‌های آنزیمی تأیید شده است. ممکن است میدان مغناطیسی حرکت الکترون‌ها را طی فرایندهای آنزیمی تسریع بخشد که نتیجه آن افزایش فعالیت برخی آنزیم‌هاست (Yavuz and Celebi., 2000). طبق برخی از این مطالعات و نتایج این تحقیق، می‌توان این‌گونه بیان کرد که میدان مغناطیسی در فعالیت آنزیم‌ها برای تولید PH یا تحریک برخی آنزیم‌ها برای افزایش تولید مونومری خاص در زنجیره این بیوپلیمر تأثیر دارد.

همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود pH نمونه‌ها در میدان‌های مغناطیسی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌تسلا که تأثیر مثبتی در تولید بیوپلیمر دارند نسبت به نمونه شاهد بیشتر است. برخی تحقیقات پیشین نشان داده‌اند که افزایش pH می‌تواند موجب بهبود تولید PHA شود (Kasemsap and Wantavin., 2007). در واقع میزان pH رابطه نزدیکی با شدت جذب اسیدهای چرب فرار حاصل از تخمیر منابع آلی از طریق میکروارگانیسم‌ها دارد. هنگامی که مولکول‌های اسید چرب فرار از طریق میکروارگانیسم‌ها جذب می‌شوند، تجزیه اسیدهای چرب فرار محیط درون سلولی میکروارگانیسم نیز اسیدی می‌شود. این امر دلیلی بر افزایش پروتون‌ها و کاهش نیروی محرک آن‌هاست. اسیدی شدن pH درون سلولی را می‌توان با مکانیزم حذف پروتون در سراسر غشای سیتوپلاسمی باکتری تنظیم کرد. افزایش pH به ایجاد اختلاف الکتریکی در غشای سلولی منجر شده است که میزان تخریب پلی‌فسفات و گلیکوژن درون سلولی را افزایش می‌دهد. در تحقیق حاضر، افزایش pH از مقدار اولیه تا مقادیر ۸/۸-۹/۳ شرایط را برای تولید هرچه بیشتر محصول (PHA) بهبود بخشیده است، زیرا در این حالت میکروارگانیسم‌ها به انرژی کمتری برای جذب استات نیاز دارند.

نتایج این تحقیق همچنین نشان دادند که میدان



شکل ۶. نوع و درصد جرمی مونومرهای HB و HV در کوپلیمر PHA

PHA انجام شده است که معمولاً نتایج متناقضی داشته‌اند. علت تناقض تأثیر میدان مغناطیسی در فرایند تولید این بیوپلیمر را می‌توان به شدت میدان مغناطیسی اعمال شده یا نوع میکروارگانیسم و ترکیبات متفاوت در لجن فعال هر تصفیه‌خانه مرتبط دانست. شدت میدان مغناطیسی از آن جهت حائز اهمیت است که می‌تواند اثر مثبت یا منفی در عملکرد آنزیم‌ها در مسیر متابولیسی تولید PHA یا توانایی میکروارگانیسم در ذخیره بیوپلیمر داشته باشد. نتایج این تحقیق نیز حاکی از تأثیر دوگانه میدان مغناطیسی در میزان تولید PHA بود. میدان‌های مغناطیسی با شدت کمتر از ۲۰ میلی‌تسلا سبب افزایش تولید و میدان‌های با شدت بیش از ۲۰ میلی‌تسلا کاهش تولید نسبت به نمونه شاهد را در پی داشتند. در نهایت با توجه به تأثیر میدان مغناطیسی در نوع و میزان مونومر تولید شده در کوپلیمر و هدف استفاده از میدان مغناطیسی (افزایش تولید کوپلیمر نسبت به نمونه شاهد یا افزایش تولید مونومری خاص در کوپلیمر بدون در نظر گرفتن تأثیر مثبت و منفی میدان مغناطیسی در میزان تولید) توصیه می‌شود تأثیر میدان‌های مغناطیسی متفاوت در هر کشت به صورت جداگانه بررسی شود.

#### یادداشت‌ها

1. Chemical Oxygen Demand
2. Aerobic Dynamic Feeding
3. Hydraulic Retention Time
4. Sludge Retention Time
5. Biological Oxygen Demand
6. Stationary
7. Feast

در برخی موارد تلاش برای افزایش تولید مونومری خاص در کوپلیمر PHA دارای اهمیت بیشتری نسبت به بهینه‌سازی شرایط برای تولید هرچه بیشتر بیوپلیمر PHA است. به طوری که هرچه درصد مونومر HV در کوپلیمر بیشتر باشد خواص مکانیکی بیوپلیمر تولید شده بهتر خواهد بود بنابراین، اگر هدف بهبود خواص مکانیکی بیوپلیمر باشد می‌توان میدان مغناطیسی ۵۰ میلی‌تسلا (با توجه به اینکه میزان تولید کوپلیمر را نسبت به نمونه شاهد ۸/۳۳ درصد کاهش داده است) را در مقایسه با میدان مغناطیسی ۲۰ میلی‌تسلا بهینه اعلام و از تأثیر منفی آن در تولید صرف نظر کرد.

بهینه اعلام کردن شدت میدان مغناطیسی خاص باید با توجه به مواردی چون نوع کشت، تمایل برای افزایش میزان تولید کوپلیمر PHA بدون در نظر گرفتن نوع و میزان مونومرهای آن یا افزایش تولید مونومری خاص در کوپلیمر بدون در نظر داشتن افزایش یا کاهش تولید کوپلیمر صورت گیرد.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در جهت رفع مشکلات زیست‌محیطی مربوط به پلاستیک‌های مشتق شده از فراورده‌های نفتی، حجم بالای لجن فعال تولید شده از تصفیه بیولوژیکی و هزینه‌های بالای تولید پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات باید شرایط تولید هرچه بیشتر این بیوپلیمر را فراهم کرد. تاکنون تحقیقات بسیار اندکی در زمینه تأثیر میدان مغناطیسی در فرایند تولید

#### منابع

- خسروی‌دارانی، ک. و اشقانی‌فراهانی، ا. ۱۳۸۴. انواع ریزسازواره و سامانه تولید پلیمر زیست تخریب‌پذیر پلی‌هیدروکسی‌بوتیرات. نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، دوره ۴، شماره ۱.
- گنجی‌دوست، ح. و اشقانی‌فراهانی، ا. برقی، م. مختارانی، ن. ۱۳۸۳. بررسی تولید پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات‌ها در راکتور لجن فعال. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال هفدهم، شماره ۶، صص ۳۵۳-۳۵۷.

Ataei, S.A., Vasheghani-Farahani, E., Shoj aosadati, S. A., Tehrani, H. A. 2008. Isolation of PHA-Producing Bacteria from Date Syrup Waste". Micromole. Symp. Vol.269. Pp. 11-16.

Chen, H., Li, X. 2008. Effect of static magnetic field on synthesis of polyhydroxyalkanoates from different short-chain fatty acids by activated sludge. Bio resource technology. Vol. 99. Pp. 5538-5544.



- Dionisi, D., Majone, M., Papa, V., Beccari, M. 2004. Biodegradable Polymers from Organic Acids by Using Activated Sludge Enriched by Aerobic Periodic Feeding. Published on line in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/bit.10910.
- Gerencser, V.F., Barnothy, M. F., Barnothy, J. M. 1962. Inhibition of bacterial growth by magnetic field. Nature Vol.196.Pp.539-541.
- Hattori, S., Watanabe, M., Endo, T., Togii, H., Sasaki, K. 2001. Effects of an external magnetic field on the sedimentation of activated sludge. World Journal of Microbiology and Biotechnology. Vol.17.No.3). Pp. 279-285.
- Hong, C., HaiBo, L., YunFeng, X. 2010. A cclimating PHA storage capacity of activated sludge with static magnetic fields. Enzyme and microbial technology. Vol. 46. Pp. 594-597.
- Jagadeesh, A. 2006. Investigation of the effect of magnetic field on the chemical oxygen demand removal of wastewater. Theses and dissertations, Ryerson University.
- Kasemsap, C., Wantawin, C. 2007. Batch production of poly hydroxyalkanoate by low-polyphosphate-content activated sludge at varying pH. Vol.12. No.5.Pp. 1020-1027.
- Krzemieniewski, M., Debowski, M., Janczukowicz, W., Pesta, J. 2003. Effect of sludge conditioning by chemical methods with magnetic field application. Polish Journal of Environmental Studies. Vol.12.No.5. Pp. 595-605.
- Li, Z.Y., Guo, S. Y., Li, L., Cai, M. Y. 2007. Effect of electromagnetic field on the batch cultivation and nutritional composition of *Spirulina platensis* in an air-lift photo bioreactor. Bio resource technology. Vol.98.Pp. 700-705.
- Mengmeng, C., Hong, C., Qingliang, Z., Shirley, S. N., Jie, R. 2009. Optimal production of PHAs in activated sludge fed by volatile fatty acids generated from alkaline excess sludge fermentation. Bio resource technology. Vol.100.Pp. 1399-1405.
- Nezami, M., Ganjidoust, H., Mokhtarani, N., Ayati, B. 2011. Investigation of PHA polymer production from sludge of municipal waste water treatment plant and its effect on sludge volume reduction. Iran J. Health & Environ. Vol.3.Pp.4.
- Suriyamongkol, P., Weselake, R., Narine, S., Moloney, M., Shah, S. 2007. Biotechnological approaches for the production of polyhydroxyalkanoates in microorganisms and plants – A review. Biotechnology Advance. Vol. 25. Pp. 148-175.
- Tian, P. Y., Shang, L., Ren, H., Mi, Y., Fan, D., Jiang, M. 2009. Biosynthesis of polyhydroxyalkanoates: Current research and development. African Journal of Biotechnology. Vol.8. Pp. 709-714.
- Xu, Z., Chen, H., Wu, H., Li, L. 2010. 7 mT static magnetic exposure enhanced synthesis of poly-3-hydroxybutyrate by activated sludge at low temperature and high acetate concentration. Process safety and environmental protection. Vol.88.Pp. 292-296.
- Yavuz, H.L., Celebi, S.S. 2000. Effects of magnetic field on activity of activated sludge in wastewater treatment. Enzyme and Microbial Technology. Vol. 26. Pp. 22-27.