

Effect of Magnetic Field on the Type and Amount of Monomers in Polyhydroxyalkanoate Copolymer

Marzie Fatehi and Seyed Ahmad Ataei*

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman,
P.O. Box: 7618891167, Kerman, Iran

Received 30 October 2013, accepted 28 May 2014

ABSTRACT

Many studies have been conducted on production of biodegradable polymers such as polyhydroxyalkanoates (PHAs) in overcoming the environmental problems due to the accumulation of synthetic plastics as waste materials and excessive activated sludge produced in municipal waste water treatment plants. In this study; the effect of magnetic field intensity of 5, 10, 15, 20, 25 and 50 milliTesla (mT) was investigated on the type and amount of monomers produced in the copolymer and PHA production in activated sludge and the results were compared simultaneously with the results of PHA production without the magnetic field (0 mT). The experimental procedure included the transfer of the activated sludge into the batch reactor, addition of sodium acetate, magnetic field generation by magnets, aeration for 30 h, sampling at definite timing, measurement of PHA by gas chromatography. In summary, this research indicated that, the maximum PHA content was produced at 20 mT which was equal to 0.75 g/L, whereas the lowest PHA content was observed at 50 mT (0.55 g/L). In addition, the magnetic field was influenced by the type and amount of monomer produced in PHA. The highest amount of valerate was observed at 50 mT, while this magnetic field decreased the amount of PHA (8.33%) compared to the control sample. Also, the maximum amount of butyrate monomer in the copolymer was observed at 5 and 20 mT, which were equal to 81% and 74%. According to the results obtained, the mass percentage of valerate in the control sample and those exposed to magnetic field with negative effects was more than the mass percentage of butyrate; an indication of better copolymers on the basis of their mechanical properties.

Keywords:

municipal wastewater,
activated sludge,
polyhydroxyalkanoate,
aeration,
magnetic field

(*)To whom correspondence should be addressed.

E-mail: ataei@uk.ac.ir

اثر میدان مغناطیسی بر نوع و مقدار مونومرها در کوپلیمر پلی‌هیدروکسی آلکانوات

مرضیه فاتحی، سید احمد عطائی*

کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی مهندسی، بخش مهندسی شیمی، صندوق پستی ۷۶۱۸۸۹۱۱۶۷

دریافت: ۹۲/۸/۸، پذیرش: ۹۳/۳/۷

چکیده

با هدف غلبه بر مشکلات زیست‌محیطی ناشی از تجمع پلاستیک‌های مصنوعی و دفع لجن فعال مازاد در تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری، پژوهش‌های متعددی در زمینه تولید پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیری چون پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها (PHAs) انجام شده است. در این پژوهش، اثر میدان‌های مغناطیسی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۵۰ mT بر نوع و درصد جرمی مونومرهای کوپلیمر PHA و مقدار تولید آن از لجن فعال در مقایسه با نمونه شاهد (بدون اعمال میدان مغناطیسی) ارزیابی شد. مراحل آزمون شامل انتقال لجن فعال به راکتور ناپیوسته، افزودن سدیم استات به‌عنوان منبع کربن، ایجاد میدان مغناطیسی، هوادهی به‌مدت ۳۰ h، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری زیست‌پلیمر بود. نتایج پژوهش نشان داد، بیشترین مقدار PHA در میدان ۲۰ mT تولید شده که معادل ۰/۷۵ g/L بود و کمترین مقدار تولید، ۰/۵۵ g/L در میدانی با شدت ۵۰ mT مشاهده شد. افزون بر این، میدان مغناطیسی بر نوع و مقدار مونومر تولید شده در کوپلیمر اثرگذار بوده است. حداکثر درصد جرمی والرات در میدان مغناطیسی ۵۰ mT مشاهده شد. در حالی که این میدان مغناطیسی باعث کاهش ۸/۳۳٪ مقدار تولید زیست‌پلیمر نسبت به نمونه شاهد شده است. همچنین، حداکثر درصد جرمی بوتیرات (۸۱٪) در میدان مغناطیسی ۵ mT حاصل شد. با توجه به نتایج این پژوهش، درصد جرمی والرات در نمونه شاهد و نمونه‌هایی که اعمال میدان مغناطیسی بر آنها اثری منفی (کاهش تولید کوپلیمر) داشته است، از درصد جرمی بوتیرات بیشتر بوده که دلیلی بر برتری کوپلیمر در این موارد از نظر خواص مکانیکی بر زیست‌پلیمر تولید شده در سایر نمونه‌هاست.

واژه‌های کلیدی

فاضلاب شهری،
لجن فعال،
پلی‌هیدروکسی آلکانوات،
هوادهی،
میدان مغناطیسی

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

ataei@uk.ac.ir

مقدمه

تاکنون انواع مختلفی از پلیمرهای زیست تخریب پذیر شناسایی شده و بر تعداد آنها روز به روز افزوده می شود. پلی استرها بزرگترین گروه پلیمرهای زیست تخریب پذیرند [۱]. پلی هیدروکسی آلکانواتها (PHA) درشت مولکولهای پلی استر طبیعی هستند که با گروه گسترده ای از میکروارگانیسمها تولید می شوند و به عنوان جایگزینی مناسب برای پلاستیکهای معمولی مورد توجه قرار گرفته اند. PHAها از ۳-هیدروکسی مونومرهای اسید چرب تشکیل شده اند که به عنوان ذرات گلیکوژنی در میکروارگانیسمها بدون آثار زیان بار برای میزبان سنتز و ذخیره می شوند [۲،۳].

گستره وسیعی از میکروارگانیسمها قابلیت ذخیره سازی این زیست پلیمر را در شرایط نامطلوب رشد از قبیل محدودیت نیتروژن، منیزیم، فسفات و اکسیژن در مجاورت مقادیر کربن اضافی به عنوان منبع کربن و انرژی دارند [۴]. در حالت مازاد، بستر (substrate) کربنی خارجی میکروارگانیسم برای تولید PHA تحریک می شود. پس از زوال بستر، میکروارگانیسم پلیمر ذخیره شده را به عنوان منبع انرژی و کربن مصرف می کند [۵]. در حالت کلی، زباله های کربنی خام برای تبدیل به اسیدهای چرب فرار شبیه استات، پروپیونات و بوتیرات نیازمند آبکافت اولیه و اسیدزدایی هستند. سپس، میکروارگانیسم این اسیدهای فرار را به عنوان خوراک مصرف می کند و PHA تولید می شود [۶]. از مشهورترین اعضای خانواده PHA می توان به پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB) و پلی هیدروکسی والرات (PHV) اشاره کرد. مسیر متابولیکی تولید این زیست پلیمرها کاملاً شبیه هم است، اما با آنزیمهای متفاوتی انجام می شود [۵].

پلی هیدروکسی آلکانواتها به دلایلی چون تخریب پذیری کامل در شرایط مناسب کمپوست طی مدت زمان شش ماه تا یک سال، داشتن تمام خواص پلاستیکهای رایج، تولید از منابع تجدید پذیر و سادگی فرایند تولید نسبت به سایر پلیمرهای زیست تخریب پذیر بسیار مورد توجه قرار گرفته اند [۷]. اما، زیاد بودن هزینه های تولید این زیست پلیمر مانع اصلی تولید تجاری آن است.

با گسترش تصفیه زیستی فاضلابها و تولید مقادیر زیادی لجن فعال که نیازمند صرف وقت و هزینه برای دفع آن است و با توجه به مشکلات زیست محیطی ناشی از تجمع و دفع پلاستیکهای مصنوعی می توان تولید PHA از لجن فعال را فرایندی مقرون به صرفه دانست [۸]. لجن فعال تولید شده در تصفیه خانه ها حاوی بسیاری از میکروارگانیسمهای شناخته شده برای تولید PHA است. استفاده از کشت های مخلوطی چون لجن فعال مازاد، افزون بر آسان کردن فرایند، باعث کاهش هزینه های تولید PHA نیز می شود [۹،۱۰]. این پلیمر

کاربرد گسترده ای در زمینه های مختلف علوم پزشکی و دامپزشکی، صنایع دارویی و بسته بندی، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت و سلامتی بشر دارد. ساده ترین کاربرد آنها در بسته بندی ظروف غذا و بطری های نوشابه، فیلم های پلاستیکی و کیسه هاست. همچنین، خاصیت زیست تخریب پذیری PHAs و سازگاری آنها با سامانه های حیاتی سبب شده است تا از آنها در رهایش کنترل شده داروها، مهندسی بافت و دامپزشکی استفاده شود. بنابراین، با توجه به فواید گفته شده از کاربرد این زیست پلیمر تولید ارزان آن بسیار مورد توجه است. در سال های اخیر، مطالعات بسیاری در زمینه تولید PHA با استفاده از فاضلاب های شهری و صنعتی انجام شده و اثر پارامترهای مختلفی از قبیل دما، غلظت های متفاوت اسیدهای چرب فرار، زمان ماند سلولی و هوادهی بر فرایند تولید این زیست پلیمر بررسی شده است [۱۱-۱۵].

آثار زیستی میدان مغناطیسی روی میکروارگانیسمها توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. میدان مغناطیسی برای اهداف متفاوت و مزیت های مهمی چون بازیافت پروتئین، تصفیه سلول، تحریک آنزیم، همخوانی با رنگ نگاری، کشت های سلولی جانوری و گیاهی و فرایندهای تصفیه زیستی فاضلاب استفاده می شود [۱۶]. برخی پژوهش ها حاکی از افزایش فعالیت باکتری ها در معرض میدان مغناطیسی است و اثر این میدان را بر کشت های مخلوطی چون فاضلاب بیشتر از کشت های خالص می دانند [۱۷].

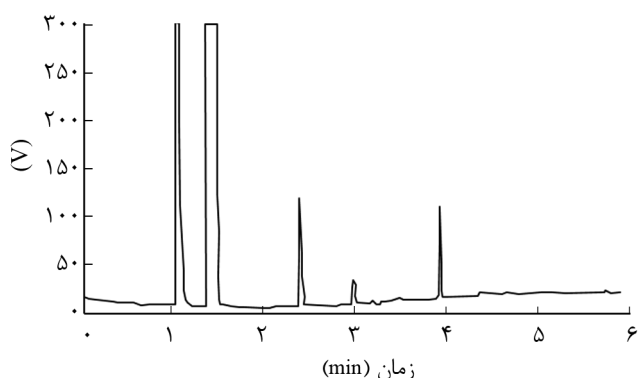
مطالعاتی در زمینه اثر میدان مغناطیسی بر عملکرد میکروارگانیسمها و فعالیت آنزیمها وجود دارد، اما نتایج معمولاً متناقض بوده اند. برخی مطالعات اثر منفی میدان مغناطیسی را نشان می دهند، در حالی که برخی دیگر حاکی از افزایش رشد هستند. اثر مثبت یا منفی میدان به شدت آن و نوع میکروارگانیسم بستگی دارد. Fojt و همکاران دریافتند، دوام باکتری اشیریشیاکلی (*E. Coli*) با افزایش شدت میدان مغناطیسی کاهش و در فرایند تخمیر گلوکوز، سرعت مصرف گلوکوز و تولید اتانول با افزایش شدت میدان مغناطیسی افزایش می یابد [۶،۸].

تاکنون، اثر قرارگیری در معرض میدان مغناطیسی بر میکروارگانیسمهای تولیدکننده PHA به طور جدی بررسی نشده است. Hong و همکاران اثر میدان هایی با شدت ۰، ۷، ۲۱، ۴۲ mT را بر فرایند تولید بررسی کردند. نتایج نشان داد، میدان مغناطیسی بسته به شدت آن می تواند بر فرایند تولید آثار مثبت و منفی داشته باشد [۱۸].

در پژوهش حاضر، اثر میدان های مغناطیسی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۵۰ mT بر لجن فعال مازاد جمع آوری شده از واحد تصفیه فاضلاب شهرستان کرمان بررسی و با نمونه شاهد مقایسه شد. از جمله اهداف این پژوهش می توان به بررسی اثر میدان مغناطیسی با شدت های

پس از هوادهی، مقادیر مشخصی از لجن فعال برای اندازه‌گیری مقدار پلیمر به لوله‌های ویژه درب‌دار منتقل شد. لجن فعال نمونه‌برداری شده از راکتور به مدت ۳۰ min با سرعت ۶۰۰۰ rpm در فرایند جداسازی مرکزگیز قرار گرفت. پس از دورریختن مایع رویی، مواد ته‌نشین شده حاصل برای عملیات اندازه‌گیری مقدار تولید محصول مدنظر (PHA) آماده شدند. روش اندازه‌گیری زیست‌پلیمر تولید شده طبق روش ارائه شده در پژوهش عطایی و همکاران بود [۱۹]. ابتدا، به نمونه ته‌نشین شده حاصل از مرحله پیشین (مرحله آماده‌سازی اولیه نمونه‌ها) و نمونه استاندارد (۲ mg از PHA استاندارد) ۲ mL کلروفرم (برای انتقال زیست‌پلیمر از فاز آبی به فاز آلی) و ۱ mL متانول اسیدی (برای تضعیف دیواره سلولی، آبکافت سلول‌ها و تبدیل زیست‌پلیمر به متیل استر هیدروکسی آلکانوات) حاوی ۰/۴ g/L بنزوئیک اسید (به‌عنوان استاندارد داخلی) افزوده شد. سپس، نمونه‌ها به مدت ۲ h در دمای ۱۰۰°C گرمادهی شدند. برای این کار از راکتور COD مدل WTW استفاده شد. هدف از گرمادهی، شکست کامل دیواره سلولی و خروج زیست‌پلیمر از سلول است. لوله‌های حاوی نمونه‌ها به گونه‌ای بودند که کلروفرم تبخیر شده در دمای ۱۰۰°C از آنها خارج نمی‌شد.

پس از پایان عملیات، لوله‌ها سرد و به هر یک از نمونه‌ها ۱ mL آب دوبار تقطیر افزوده شد و با استفاده از دستگاه همزن دورانی نمونه‌ها به مدت ۱ min به شدت تکان داده شدند. پس از انجام این مرحله، در نمونه‌ها سه فاز جداگانه تشکیل شد. فاز رویی فاز آبی حاوی سولفوریک اسید، فاز میانی حاوی بقایای باکتری‌ها و فاز زیری فاز آلی حاوی متیل استر هیدروکسی آلکانوات بود. نمونه استاندارد فقط شامل دو فاز آبی و آلی بود. پس از جداسازی دو فاز بالایی، فاز زیری (فاز آلی) برای تزریق به دستگاه رنگ‌نگاری گازی آماده شد. در شکل ۱ رنگ‌نگاشت نمونه استاندارد کوپلیمر P(HB/HV) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، در زمان‌های



شکل ۱- رنگ‌نگاشت نمونه استاندارد کوپلیمر P(HB/HV)

مختلف بر مقدار تولید PHA از لجن فعال در یک مدل جمعیتی متفاوت، نوع و درصد جرمی مونومرهای تشکیل‌دهنده کوپلیمر اشاره کرد.

تجربی

مواد

در این پژوهش، از کوپلیمر PHA (Sigma) که شامل ۱۲٪ وزنی پلی‌هیدروکسی‌والرات بود، به‌عنوان نمونه استاندارد برای اندازه‌گیری مقدار زیست‌پلیمر استفاده شد. سدیم استات (منبع کربن) و سایر مواد شیمیایی استفاده شده برای آزمون‌ها با خلوص آزمایشگاهی از شرکت Merck آلمان تهیه شدند.

دستگاه‌ها

برای اندازه‌گیری مقدار PHA از دستگاه رنگ‌نگار گازی (GC) مدل Varian CP 3800 با ستونی به مدل Capillary cp-sil 8 cp (طول ستون ۳۰ m و قطر داخلی آن ۱ μm) استفاده شد. سایر شرایط استفاده عبارت از دمای تزریق ۲۵۰°C، دمای آشکارساز ۲۸۰°C و دمای ستون ۸۰°C بود. ستون به مدت ۱ min در دمای ۸۰°C باقی ماند، سپس دما با سرعت ۲۵°C/min تا ۱۵۰°C افزایش یافت و ستون به مدت ۱ min دیگر نیز در این دما باقی ماند.

روش‌ها

برای تولید زیست‌پلیمر از راکتور ناپیوسته با حجم عملیاتی ۱ L استفاده شد. لجن فعال مازاد جمع‌آوری شده از واحد تصفیه فاضلاب کرمان (مشخصات اولیه لجن در جدول ۱ آمده است) پس از انتقال به راکتور در یک مرحله با سدیم استات با غلظت ۳۰۰۰ mg/L خوراک‌دهی شد. از آنجا که لجن فعال به تنهایی قابلیت تولید زیست‌پلیمر مدنظر را ندارد، بنابراین افزودن منبع کربن امری ضروری بود. انتخاب سدیم استات براساس ادعای Xu و همکاران [۶] مبنی بر معرفی استات به‌عنوان بهترین بستر کربنی برای تولید PHA بوده است. سپس، راکتور به مدت ۳۰ h با شدت ۱ L/min هوادهی شد. برای تولید میدان مغناطیسی از آهن‌رباهای دائم استفاده و شدت میدان تولید شده در راکتور با تسلا متر اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- مشخصات اولیه لجن فعال استفاده شده در آزمون.

SRT (day)	COD (ppm)	BOD (ppm)	pH
۵	۵۴۸۵	۱۲۸۶	۷/۵۵

نتایج و بحث

سلولی اثر دارد. از آنجا که در فرایند زیستی تولید این زیست‌پلیمر، بستر برای سنتز PHA، تولید زیست‌توده، نگهداری و توزیع اکسیژن به‌عنوان آخرین پذیرنده الکترون مصرف می‌شود، از این رو کاهش مقدار بستر در فرایند تولید PHA موضوعی بدیهی است. ممکن است، میدان مغناطیسی بر زیاد سرعت مصرف بستر اثر گذاشته و میکروارگانیسم را زودتر از حد انتظار وارد مرحله خودخوری کند. همچنین، برخی دانشمندان اثر میدان مغناطیسی بر الگوی تکثیر ژن میکروارگانیسم را در لجن فعال تأیید کرده‌اند [۸]. شکل ۲ درصد کاهش و افزایش مقدار تولید زیست‌پلیمر را نسبت به نمونه شاهد نشان می‌دهد.

شاید بتوان کاهش مقدار تولید پلی‌هیدروکسی آلکانوات را در میدان‌های مغناطیسی ۱۰ و ۱۵ mT نسبت به میدان‌های مغناطیسی ۵ و ۲۰ mT به اثر شدت میدان مغناطیسی بر مصرف بستر نسبت داد. بدین گونه که میدان‌های مغناطیسی ۱۰ و ۱۵ mT باعث افزایش شدت مصرف بستر در مرحله ازدیاد مواد غذایی شده‌اند و در زمانی کمتر از ۳۰ h هوادهی میکروارگانیسم را وارد فاز خودخوری کرده‌اند. Xu و همکاران تغییر پارامترهای سینتیکی واکنش‌های زیستی را در معرض میدان‌های مغناطیسی مختلف نشان دادند [۶]. با توجه به نتایج این پژوهش و پژوهش حاضر می‌توان ادعا کرد، میدان‌های مغناطیسی ۵ و ۲۰ mT با اثر منفی بر سرعت ویژه مصرف (specific uptake rate) سدیم استات باعث کاهش سرعت مصرف نسبت به میدان‌های ۱۰ و ۱۵ mT شده‌اند.

دلیل دیگر کاهش مقدار تولید PHA در میدان‌های مغناطیسی ۱۰ و ۱۵ mT، می‌تواند اثر منفی این میدان‌ها بر فعالیت آنزیمی باشد. با توجه به شکل ۲ می‌توان گفت، میدان‌های مغناطیسی با شدت بیش از ۲۰ mT باعث کاهش تولید PHA در لجن فعال بررسی شده‌اند. اما، اثر شدت میدان مغناطیسی بر کشت‌هایی با ترکیبات متفاوت باید بررسی شود.

۲/۳۹، ۲/۹۶ و ۳/۸۸ min به ترتیب پیک‌های مربوط به هیدروکسی بوتیرات، هیدروکسی‌الرات و بنزوئیک اسید (استاندارد داخلی) را می‌توان مشاهده کرد.

اثر میدان‌های مغناطیسی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۵۰ mT بر مقدار و نوع مونومر تشکیل‌دهنده کوپلیمر P(HB/HV) در مقایسه با نمونه شاهد (بدون اعمال میدان مغناطیسی) بررسی شده است. شایان ذکر است، تمام آزمون‌های این پژوهش با سه مرتبه تکرار انجام شدند. جدول ۲ مقدار تولید کوپلیمر را در معرض میدان‌های مغناطیسی مختلف و نمونه شاهد در لجن فعال را پس از ۳۰ h هوادهی نشان می‌دهد.

با توجه به داده‌های جدول ۲ قرارگیری در معرض میدان مغناطیسی بر تولید PHA از لجن فعال اثرگذار بوده است. در برخی شدت‌های میدان مغناطیسی تولید این زیست‌پلیمر نسبت به نمونه شاهد (میدان مغناطیسی ۰ mT) افزایش و در برخی کاهش پیدا کرده است.

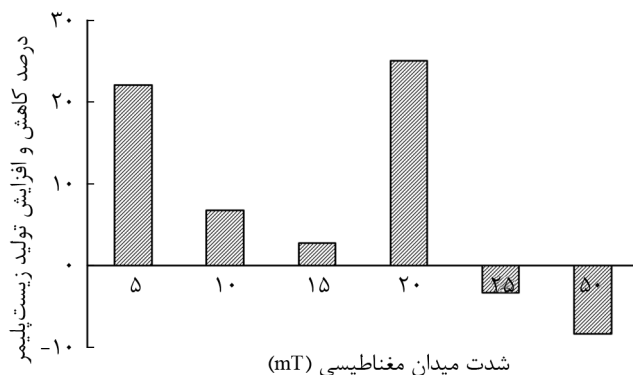
بیشترین مقدار تولید PHA مربوط به میدان‌های مغناطیسی با شدت ۵ و ۲۰ mT بوده که به ترتیب معادل ۰/۷۳ و ۰/۷۵ g/L است. قرارگیری در معرض میدان‌هایی به شدت ۲۵ و ۵۰ mT باعث کاهش مقدار تولید زیست‌پلیمر نسبت به نمونه شاهد شده است. کمترین مقدار PHA تولید شده در میدان مغناطیسی ۵۰ mT مشاهده می‌شود که معادل ۰/۵۵ g/L است.

میدان مغناطیسی بر عملکرد آنزیمی، سرعت مصرف بستر در مرحله ازدیاد مواد غذایی (feast) و انحلال‌پذیری لیپیدی بستر در غشای

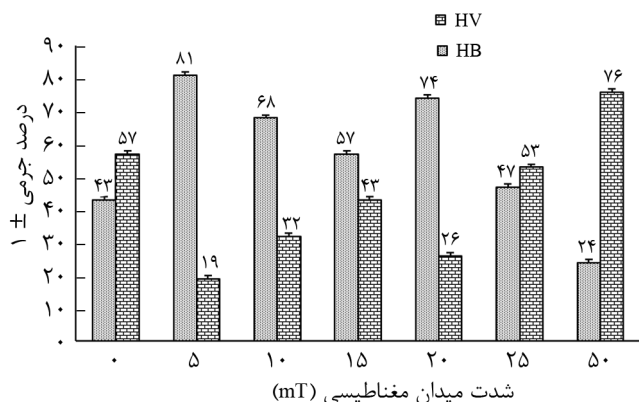
جدول ۲- مقدار تولید کوپلیمر P(HB/HV) در میدان‌های مغناطیسی مختلف و نمونه شاهد.

شدت میدان مغناطیسی (mT)	مقدار تولید کوپلیمر ± 0.1 (g/L)
۰	۰/۶
۵	۰/۷۳
۱۰	۰/۶۴
۱۵	۰/۶۱
۲۰	۰/۷۵
۲۵	۰/۵۸
۵۰	۰/۵۵

* نمونه شاهد



شکل ۲- درصد افزایش و کاهش مقدار زیست‌پلیمر در میدان‌های مغناطیسی مختلف در مقایسه با نمونه شاهد.



شکل ۳- درصد جرمی HB و HV در کوپلیمر PH(B/V) در میدان‌های مغناطیسی مختلف.

حداقل مقدار می‌رسد. بیشترین درصد جرمی HB و HV به ترتیب در میدان‌هایی با شدت ۵ و ۵۰ mT مشاهده شده است.

اگر چه میدان مغناطیسی ۵۰ mT موجب کاهش ۸/۳۳٪ تولید PHA در مقایسه با نمونه شاهد شده اما وقتی که هدف تولید بیشینه مونومر HV باشد، می‌توان اثر منفی این میدان را بر مقدار تولید PHA نادیده گرفت. با توجه به این موضوع که هر چه مقدار HV در کوپلیمر بیشتر باشد، خواص مکانیکی زیست‌پلیمر بهتر خواهد بود، بنابراین با در نظر گرفتن اهداف مهم تولید PHA می‌توان انتخاب شدت بهینه میدان مغناطیسی را مورد بحث قرار داد.

در میدان‌هایی با شدت ۵ و ۲۰ mT، بیشترین مقادیر درصد جرمی HB تولید شده است که معادل ۸۱ و ۷۴٪ هستند. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت، تحریک میکروارگانیسم‌ها با میدان مغناطیسی مناسب می‌تواند شیوه‌ای عملی برای افزایش تولید PHA یا مونومرهای ویژه این کوپلیمر از لجن فعال باشد.

نتیجه‌گیری

اعمال میدان مغناطیسی بر فرایند تولید PHA از لجن فعال اثرگذار بوده است. در برخی شدت‌های میدان مغناطیسی تولید این زیست‌پلیمر نسبت به نمونه شاهد (بدون میدان مغناطیسی) افزایش و در برخی کاهش پیدا کرده است. بیشترین مقدار تولید PHA مربوط به میدان‌های مغناطیسی با شدت ۵ و ۲۰ mT است که به ترتیب معادل ۰/۷۳ و ۰/۷۵ g/L است. کمترین مقدار PHA تولید شده در میدان مغناطیسی ۵۰ mT مشاهده می‌شود که معادل ۰/۵۵ g/L است. شدت میدان مغناطیسی بر درصد جرمی HB و HV تولید شده در

در نهایت، براساس نتایج این بخش می‌توان به اثر مثبت و منفی میدان مغناطیسی بر مقدار تجمع PHA در میکروارگانیسم اشاره کرد. در برخی مطالعات نظیر پژوهش Li و همکاران [۲۰] میدان مغناطیسی ۲۵ mT اثر مثبتی بر کشت آلگا داشته است. در حالی که نتایج این مطالعه حاکی از اثر منفی این میدان بر کشت مخلوط است. از مهم‌ترین دلایل اثر متفاوت میدان مغناطیسی بر فرایندهای زیستی، نظیر تولید PHA، می‌توان به شدت میدان مغناطیسی و نوع کشت اشاره کرد. نوع کشت به این دلیل اهمیت دارد که بسته به نوع میکروارگانیسم، میدان مغناطیسی می‌تواند آثار مثبت یا منفی بر فرایند زیستی داشته باشد. نتایج مطالعه Hong و همکاران نشان داد، کشت مخلوط در معرض میدان‌های مغناطیسی مختلف جمعیت میکروبی متفاوتی دارد [۸].

افزون بر اثر میدان مغناطیسی بر مقدار تولید PHA از لجن فعال، نتایج این مطالعه اثر این عامل را بر نوع مونومر و درصد مونومرها در کوپلیمر تولید شده به وسیله میکروارگانیسم‌ها نشان می‌دهد. شدت میدان مغناطیسی بر درصد جرمی HB و HV تولید شده اثر می‌گذارد. در این پژوهش، درصد جرمی HB و HV تولید شده در هر شدت میدان مغناطیسی متفاوت بوده است. از آنجا که فرایند زیست‌سنتز PHV و PHB کاملاً شبیه به هم، اما با آنزیم‌های متفاوت انجام می‌شود، می‌توان تفاوت در درصد HV در زنجیر زیست‌پلیمر در میدان‌های مغناطیسی مختلف را به تفاوت در اثرگذاری شدت میدان مغناطیسی بر آنزیم‌های مربوط به زیست‌سنتز آنها نسبت داد. در برخی از پژوهش‌های گذشته، اثر میدان مغناطیسی بر فعالیت آنزیم‌ها و واکنش‌های آنزیمی تأیید شده است [۱۷]. ممکن است، میدان مغناطیسی حرکت الکترون‌ها را در طول فرایندهای آنزیمی سرعت بخشد که نتیجه آن افزایش فعالیت برخی آنزیم‌هاست. طبق برخی از این مطالعات و نتایج این پژوهش، میدان مغناطیسی بر فعالیت آنزیم‌ها برای تولید PHA یا تحریک برخی آنزیم‌ها برای افزایش تولید مونومری ویژه در زنجیر این زیست‌پلیمر اثر دارد.

شکل ۳ درصد جرمی HV و HB را با فرض اینکه PHA تولید شده در هر میدان مغناطیسی به شکل کوپلیمر P(HB/HV) باشد، در میدان‌های مغناطیسی مورد آزمون نشان می‌دهد. از آنجا که نوع مونومر تشکیل‌دهنده کوپلیمر P(HB/HV) بر خواص مکانیکی زیست‌پلیمر اثرگذار است، ممکن است در برخی موارد تلاش برای افزایش تولید مونومری ویژه در کوپلیمر PHA دارای اهمیت بیشتری نسبت به بهینه‌سازی شرایط برای تولید هر چه زیاده‌تر زیست‌پلیمر PHA باشد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، درصد جرمی HB و HV در برخی شدت‌های میدان مغناطیسی به حداکثر و در برخی به

۵ mT مشاهده شد. در نهایت توصیه می‌شود، با توجه به رفتار متفاوت میکروارگانیسم‌ها در میدان‌های مغناطیسی مختلف، اثر میدان مغناطیسی بر کشت‌های مختلف به شکل جداگانه بررسی شود.

کوپلیمر نیز اثر می‌گذارد. در میدان‌هایی با شدت ۵ و ۲۰ mT بیشترین مقادیر درصد جرمی HB تولید شده است که معادل ۸۱ و ۷۴٪ درصد است. بیشترین و کمترین درصد جرمی HV به ترتیب در میدان‌هایی با شدت ۵۰ و

مراجع

1. Khosravi-Darani K. and Vasheghani-Farahani E., Species of Microorganism and Production System of Biodegradable Polymer, Poly hydroxybutyrate, *J. Chem. Chem. Eng.*, **24**, 1-19, 2005.
2. Mokhtari-Hosseini Z.B., Vasheghani-Farahani E., and Shojaostadi S.A., Enhancement of Poly(β -hydroxybutyrate) Production Frommethanol by Methylobacterium Exorquens Using Mixed Substrates, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **23**, 397-404, 2011.
3. Ganjidoust H., Vasheghani-Farahani E., Borgheei M., and Mokhtarani N., Investigation of Polyhydroxyalkanoates (PHAs) Production in Activated Sludge Reactor, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **17**, 353-357, 2005.
4. Chee J.V., Yoga S.S., Lau N.S., Ling S.C., Abed R.M.M., and Sudesh K., Bacterially Produced Polyhydroxyalkanoate (PHA): *Converting Renewable Resources into Bioplastics, Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, Méndez-Vilas A. (Ed.), 1395-1404, 2010.
5. Suriyamongkol P., Weselake R., Narine S., Moloney M., and Shah S., Biotechnological Approaches for the Production of Polyhydroxyalkanoates in Microorganisms and Plants - A Review, *Biotechnol. Adv.*, **25**, 148-175, 2007.
6. Xu Z., Chen H., Wu H., and Li L., 7 mT Static Magnetic Exposure Enhanced Synthesis of Poly-3-hydroxybutyrate by Activated Sludge at Low Temperature and High Acetate Concentration, *Process Saf. Environ. Protect.*, **88**, 292-296, 2010.
7. Naik S., Gopal S.K.V., and Somal P., Bioproduction of Polyhydroxyalkanoates from Bacteria: A Metabolic Approach, *World J. Microbiol. Biotechnol.*, **24**, 2307-2314, 2008.
8. Hong C., Haibo L., and Yun Feng X., Acclimating PHA Storage Capacity of Activated Sludge with Static Magnetic Fields, *Enzyme Microb. Technol.*, **46**, 594-597, 2010.
9. Albuquerque M.G.E., Torres C., Bengtsson S., Werker A., and Reis M.A.M., Biopolymer Production by Mixed Microbial Cultures from Sugar Cane Molasses, *4th European Bioremediation Conference*, ID 086, 2004.
10. Mokhtarani N., Ganjidoust H., Vasheghani-Farahani E., and Khaleghi-Sarnami M., Effect of Fatty Acids on the Production of Polyhydroxyalkanoates by Activated Sludge, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **21**, 83-90, 2008.
11. Meschi Nezami M., Ganjidoust H., Mokhtarani N., and Ayati B., Investigation of PHA Polymer Production from Sludge of Municipal Wastewater Treatment Plant and Its Effect on Sludge Volume Reduction, *Iran J. Health Environ.*, **3**, 451-460, 2011.
12. Ganjidoust H., Mokhtarani N., Ayati B., and Jafar Pour M., Production of Polyhydroxyalkanoate from Activated Sludge by Municipal Wastewater, *J. Chem. Chem. Eng.*, **29**, 169-177, 2010.
13. Salehizadeh H., Some Investigations on PHA Production Using Activated Sludge as Inoculum, *Iran. J. Chem. Eng.*, **2**, 56-63, 2005.
14. Chinwetkitvanich S., Randall C.W., and Panswad T., Simultaneous COD Removal and PHA Production in an Activated Sludge System under Different Temperatures, *Eng. J.*, **13**, 2009.
15. Liu H.Y., VanderGheynst J.S., Darby J.L., Thompson D.L., Green P.G., and Loge F.G., Factorial Experimental Designs for Enhancement of Concurrent Poly(hydroxyalkanoate) Production and Brewery Wastewater Treatment, *Water Env. Res.*, **83**, 36-43, 2011.
16. Jagadeesh A., *Investigation of the Effect of Magnetic Field on the Chemical Oxygen Demand Removal of Wastewater*, Theses and Dissertations, Ryerson University, 2006.
17. Yavuz H.L. and Celebi S.S., Effects of Magnetic Field on Activity of Activated Sludge in Wastewater Treatment, *Enzyme Microb. Tech.*, **26**, 22-27, 2000.
18. Chen H. and Li X., Effect of Static Magnetic Field on Synthesis of Polyhydroxyalkanoates from Different Short-Chain Fatty

- Acids by Activated Sludge, *Bioresource Technol.*, **99**, 5538-5544, 2008.
19. Ataei S.A., Vasheghani-Farahani E., Shojaosadati S.A., and Tehrani A.H., Isolation of PHA-Producing Bacteria from Date Syrup Waste, *Macromol. Sympos. Wiley Online Library*, **269**, 11-16, 2008.
20. Li Z.Y., Guo S.Y., Li L., and Cai M.Y., Effect of Electromagnetic Field on the Batch Cultivation and Nutritional Composition of *Spirulina Platensis* in an Air-Lift Photo Bioreactor, *Bioresource Technol.*, **98**, 700-705, 2007.