مقاله پژوهشی

تهیه بسته‌بندی‌های آنتی‌باکتریال و زیست تخریب‌پذیر بر پایه پلی‌لاکتیک اسید

زهرا طلوعی [1×]، عبدالرسول ارومیه‌ای [2]

تاریخ دریافت مقاله: تیرماه ۱۳۹۷

تاریخ پذیرش مقاله: خردادماه ۱۳۹۸

چکیده

بسته‌بندی‌های ضدمیکروبی به دلیل توانایی در مهار میکروارگانیسم‌های آلوده‌کننده غذا و در نتیجه حفظ کیفیت محصول علاوه بر افزایش زمان ماندگاری در تأمین نیازهای مشتری بسیار موفق بوده و مورد توجّه قرار گرفته‌اند. در این پروژه، فیلم‌های ضدمیکروبی و زیست تخریب‌پذیر بر پایه پلی‌اتیلن سبک خطی / پلی‌اتیلن سبک / پلی‌لاکتیک اسید حاوی پتاسیم سوربات به روش فیلم دمشی تهیه شدند. ابتدا آمیزه پلی‌اتیلن سبک خطی/ پلی‌اتیلن سبک به همراه درصدهای مختلفی از پلی‌لاکتیک اسید (۱۰و۲۰و۳۰٪) و ۳جزء درصد سازگارکننده پلی‌اتیلن مالئیک انیدرید تهیه و بر اساس نتایج حاصل از آزمون خواص مکانیکی نمونه حاوی ۲۰ درصد پلی‌لاکتیک اسید به عنوان بهینه انتخاب شد. در مرحله بعدی از ٤ جزء درصد پتاسیم سوربات به عنوان عامل ضدمیکروب برای تهیه فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر و ضدمیکروب استفاده و فیلم‌ها به روش فیلم دمشی تهیه شدند. نتایج آزمون خواص مکانیکی نشان داد که حضور پتاسیم سوربات باعث بهبود استحکام کششی از ۷/۹۳ به ۱۱/۷۱ مگاپاسکال و ازدیاد طول تا پارگی از ۲۸۲/۵۷ به ۵۵۱/۵۷ درصد شده است.همچنین نتایج آزمون میکروبی ۷۲ ساعته نشان دادند که فیلم‌های حاوی ٤ جزء درصد پتاسیم سوربات در برابر باکتری استافیلوکوکوس اورئوس و قارچ اسپرژیلوس نایجر کاملاً فعالیت ضد باکتریایی داشته و با اثرگذاری بر روی آنزیم‌های ضروری در رشد میکروارگانیسم‌ها مانع از رشد آن‌ها شده است. همچنین نتایج زیست تخریب‌پذیری ۲ ماهه برای فیلم های بر پایه پلی‌اتیلن سبک خطی /پلی‌اتیلن سبک و فیلم حاوی ۲۰٪ پلی‌لاکتیک اسید و فیلم حاوی ٤ جزء در صد پتاسیم سوربات نشان دادند که با افزودن ۲۰٪ پلی‌لاکتیک اسید و ٤ جزء در صد پتاسیم سوربات میزان زیست تخریب‌پذیری فیلم‌ها پس از گذشت ۲ ماه به ترتیب ۱/۱۱ ٪ و ۲/۰۷ ٪ بهبود یافته است که پیش بینی می‌شود این روند با گذشت مدّت زمان بیشتر ادامه یابد.

واژه‌های کلیدی

بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر، بسته‌بندی‌های ضدمیکروبی، پلی‌اتیلن سبک خطی، پلی‌اتیلن سبک، پلی‌لاکتیک اسید

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد-گروه مهندسی پلیمر- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

(× نویسنده مسئول: Marsa.Tolouei1993@gmail.com)

۲- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب (oromia2000@yahoo.com).

۱- مقدمه

بسته‌بندی از گذشته تا امروز در صنایع مختلف ازجمله صنایع غذایی اهمیت ویژه‌ای داشته و به عنوان یکی از مراحل مهم فرآوری محصول به حساب می‌آید. بسته‌بندی علاوه بر حفظ کیفیت ماده غذایی و حفاظت از آن‌ها در برابر اثرات مخرب محیط خارجی از جمله میکروارگانیسم‌های موجود در محیط، به عنوان ابزاری برای معرفی محصول، وسیله‌ای برای ارتباط با مشتری در افزایش فروش محصول، و به حداقل رساندن ضایعات مواد غذایی نقش بسزایی دارد. این در حالی است که با افزایش تقاضای مشتری و پیچیده‌تر شدن نیازهای جامعه امروز بسته‌بندی‌های متداول به تدریج جایگاه قبلی خود را از دست داده و بسته‌بندی‌های فعال در حال جایگزینی با بسته‌بندی‌های آلومینیومی، شیشه‌ای، کاغذی و پلاستیکی هستند[۱].

از یک طرف پلیمرها به دلیل داشتن ویژگی‌های مطلوب از جمله شکل ظاهری، خواص فیزیکی، مکانیکی و فرایندپذیری بیشترین سهم را در صنعت بسته‌بندی سنتی مخصوصاً بسته‌بندی مواد غذایی به خود اختصاص داده‌اند. این مهم در حالی است که مصرف روز افزون پلاستیک‌های مصنوعی در بسته‌بندی مواد غذایی باعث بروز مشکلات زیست محیطی به دلیل زیست تخریب‌پذیر نبودن این پلیمرها شده است. به منظور غلبه بر مشکلات زیست محیطی حاصل از بسته‌بندی‌های پلیمری، پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر به عنوان گزینه جایگزین مورد توجّه قرار گرفته‌اند. [۲]

از طرف دیگر، تقاضای روز افزون برای محصولات غذایی کمتر فرآوری شده و با کیفیت، جهانی شدن تجارت مواد غذایی و در نتیجه آن توزیع مواد غذایی به نقاط مختلف دنیا چالش‌های عمده‌ای را در ارتباط با حفظ کیفیت و ایمنی مواد غذایی و همچنین جلوگیری از فساد مواد غذایی در فاصله زمانی بین تولید محصول تا رسیدن به دست مشتری پیش روی تولیدکنندگان بسته‌بندی محصولات قرار داده است. به علاوه، ظهور میکروارگانیسم‌های بیماری‌زایی که از راه دهان وارد بدن می‌شوند، باعث انجام تحقیقاتی جهت جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌های داخل بسته‌بندی و در نتیجه حفظ کیفیت و افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی شده است. در این راستا، بسته‌بندی‌های ضدمیکروبی[1] به عنوان بسته‌بندی‌هایی که می‌توانند نقش مهمی در افزایش زمان ماندگاری و حفظ تازگی مواد غذایی داشته باشند توجّهات زیادی را به خود جلب کرده‌اند.[۳]

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

برای تهیه آمیزه‌ها از پلی‌اتیلن سبک خطی با شاخص جریان مذاب g/10min ۹۰/۰۰ و چگالی g/cm^3 ۰/۹۲ و پلی‌اتیلن سبک ساخت شرکت پتروشیمی شازند اراک استفاده شده است. پلی‌لاکتیک اسید بکار رفته در این پژوهش دارای شاخص جریان مذاب g/10min ۶ و چگالی g/cm^3 ۰/۰۲ ± ۱/۲۵ محصول شرکت چیمیکاس[2] کشور اتریش است. همچنین برای ایجاد سازگاری بین فاز پلی‌اتیلن و پلی‌لاکتیک اسید از سازگارکننده پلی‌اتیلن مالئیک انیدرید با شاخص جریان مذاب g/10min ۰/۴ و دارای ۱/۷ درصد مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی‌اتیلن و ساخت شرکت کارابان[3] کشور ایران استفاده شده است. پتاسیم سوربات استفاده شده به عنوان ماده ضدمیکروب نیز دارای وزن مولکولی ۱۵۰/۲۲wt و ساخت شرکت کرانگین[4] کشور کره است.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- آماده‌سازی آمیزه LLDPE/LDPE/PLA

ابتدا، تمامی مواد از جمله پلی‌اتیلن سبک خطی، پلی‌اتیلن سبک، پلی‌لاکتیک اسید، پتاسیم سوربات و

1- Antimicrobial Packaging
2- Chemiekas
3- Karaban Co.
4- Krangin

پلی‌اتیلن مالئیک انیدرید به منظور رطوبت‌زدایی در خشک‌کن ۸۰ °C به مدّت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. سپس، به منظور تهیه آمیخته اولیه پلی‌اتیلن سبک خطی، پلی‌اتیلن سبک را به نسبت ۸۰/۲۰ در اکسترودر دو مارپیچه همسوگرد برابندر[1] ساخت کشور آلمان واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی با نسبت L/D برابر با ۴۰ و دارای ۶ منطقه حرارتی (۱۹۵- ۱۹۰- ۱۸۰-۱۷۰-۱۶۵-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد) و با دور ۸۰ rpm مخلوط گردید. پس از آماده‌سازی مخلوط پلی‌اتیلن سبک خطی و پلی‌اتیلن سبک مجدداً با استفاده از اکسترودر دو مارپیچه همسوگرد برابندر در شرایط فرآیند یکسان با مرحله قبل به مخلوط‌های تهیه شده در مرحله قبل درصدهای مختلفی از پلی‌لاکتیک اسید (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) به همراه ۳ جزء درصد پلی‌اتیلن مالئیک انیدرید اضافه شد و مخلوط‌های حاوی پلی‌اتیلن سبک خطی و پلی‌اتیلن سبک را به نسبت ۸۰/۲۰ همراه با درصدهای مختلف پلی‌لاکتیک اسید تهیه شد. پس از تعیین ترکیب درصد بهینه از میان مخلوط‌های تهیه شده در مرحله قبل با استفاده از آزمون خواص مکانیکی، مقدار ۴ جزء درصد پتاسیم سوربات به مخلوط بهینه اضافه شد و آمیزه ضدمیکروبی نهایی تهیه گردید. ترکیب درصد آمیخته‌های تهیه شده در (جدول ۱) آورده شده است.

جدول ۱- ترکیب درصد آمیخته‌های تهیه شده

کد نمونه‌ها	LLDPE/ LDPE (۸۰/۲۰) (٪)	PLA (٪)	PE-g-MA (phr)	KS (phr)
مرجع	۱۰۰	۰	۰	۰
۱	۹۰	۱۰	۳	۰
۲	۸۰	۲۰	۳	۰
۳	۷۰	۳۰	۳	۰
٤	۸۰	۲۰	۳	٤

پس از تهیه آمیخته‌های LLDPE/LDPE/PLA برای تولید فیلم‌های ضدمیکروبی از دستگاه اکسترودر تک مارپیچه برابندر ساخت کشور آلمان با دور ۴۵ rpm و محدوده دمایی ۱۹۰-۱۸۵ -۱۸۰-۱۷۰-۱۶۵-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد نمونه‌های فیلم با ضخامت میانگین ۰/۰۵۰ میلی‌متر تهیه شدند.

۲-۲-۲- آزمون خواص مکانیکی

آزمون خواص مکانیکی روشی برای بررسی رفتار مواد تحت تنش کششی است. از نتایج حاصل از آزمون کشش می‌توان استحکام کششی، مدول یانگ، ازدیاد طول تا پارگی پلیمرها را یافت. ابتدا نمونه‌ها در اندازه‌های ۱۰× ۱ سانتی‌متر برش داده شدند و در دمای ۲۳ °C با سرعت ۵۰ mm/min در دستگاه QC-515B-LA محصول کشور تایوان و بر اساس استاندارد ASTM D882 تحت تنش کششی قرار داده شدند. برای هر نمونه آزمون ۵ بار تکرار گردید و داده‌های گزارش شده میانگین نتایج ۵ بار تکرار است.

۲-۲-۳- آزمون‌های میکروبی

۲-۲-۳-۱- آزمون ضدباکتریایی[2]

این آزمون به منظور اندازه‌گیری فعالیت ضد باکتریایی فیلم LLDPE/LDPE/PLA حاوی ۴ جزء درصد پتاسیم سوربات در برابر باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس و ای کولی[3] انجام شده است. نمونه‌های فیلم مرجع و فیلم حاوی ۴ جزء درصد پتاسیم سوربات پس از آماده‌سازی و قرارگیری در محیط کشت به مدّت ۲۴ ساعت در مجاورت باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی نام برده قرار داده شدند. به منظور کشت باکتری‌ها روی فیلم‌های پلیمری ابتدا غلظت نیم مک فارلند[4] $1/5\times10^8$ CFU/ml از

1- Brabender

2- Antibacterial
3- E. coli
4- 0.5 McFarland

باکتری‌های اس- اورئوس[1] و ای کولی تهیه و پس از رقیق‌سازی به غلظت 1.5×10^{6} CFU/ml با فیلم پلیمری حاوی ۴ جزء درصد پتاسیم سوربات و فیلم مرجع بر روی محیط استاندارد مولر هینتون آگار[2] برده شده و پس از گرمخانه‌گذاری به مدّت ۷۲ ساعت در دمای ۳۷°C نتایج گزارش شدند.

۲-۲-۳-۲- آزمون قارچی

در آزمون فعالیت قارچی فیلم ضدمیکروبی حاوی ۴ جزء درصد پتاسیم سوربات به عنوان مادهٔ متوقّف‌کننده رشد قارچ آسپرژیلوس نایجر[3] مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های فیلم به ابعاد $3\times3\ cm^2$ آماده شدند. قارچ‌ها بر روی محیط کشت اختصاصی سابورودکستروز آگار[4] قرار داده شدند و از کشت ۶ روزه محیط مذکور، سوسپانسیون اسپور در سرم فیزیولوژی استریل حاوی توین ۸۰[5] ساخته شد و سپس به صورت چمنی روی محیط مولر هینتون آگار شامل فیلم ضد میکروب به مدّت ۷۲ ساعت در دمای ۲۸°C کشت داده شد و سپس اسپورهای قارچی شمارش گردیدند.

۲-۲-۳-۳- آزمون زیست تخریب‌پذیری

آزمون زیست تخریب‌پذیری برای نمونه‌های فیلم حاوی ۲۰٪ پلی‌لاکتیک اسید و نمونه حاوی ۴ جزء درصد پتاسیم سوربات در سیستم لجن فعال (نسبت ۵۰/۵۰ از فاضلاب خانگی و آب مقطر) انجام گرفت. ابتدا نمونه‌های فیلم در ابعاد $1\times4\ cm^2$ برش داده شدند. سپس نمونه‌ها وزن شده و در سیستم لجن فعال قرار داده شدند و سپس در ماه‌های اول، دوم و سوم نمونه‌ها از سیستم لجن خارج شده و پس از شست‌وشو در خشک‌کن در دمای ۱۰۰°C خشک گردید و در دسیکاتور[6] به مدّت ۱ ساعت خنک شده سپس توزین گردیدند.

آزمون زیست تخریب‌پذیری با سه بار تکرار انجام شد.

درصد زیست تخریب پذیری = (وزن اولیه - وزن ثانویه /وزن اولیه) × ۱۰۰

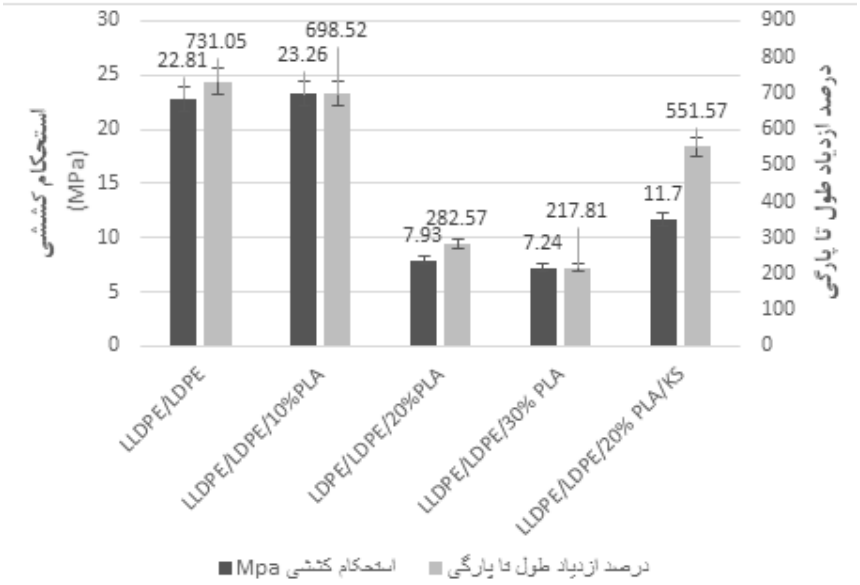
۳- نتایج و بحث

۳-۱- خواص مکانیکی

همانطور که در (شکل ۱) قابل مشاهده است، با افزایش درصد پلی‌لاکتیک اسید در نمونه‌های مختلف میزان استحکام کششی و ازدیاد طول تا پارگی، روند کاهشی را نشان می‌دهند. طبق قانون مخلوط‌ها با اضافه شدن پلی‌لاکتیک اسید با خواص کششی ضعیف از جمله شکنندگی و درصد پایین ازدیاد طول تا نقطه پارگی خواص مخلوط نهایی تحت تأثیر پلی‌لاکتیک اسید افت می‌کند. تا ترکیب ۱۰٪ پلی‌لاکتیک اسید و این کاهش بسیار ناچیز است که این پدیده می‌تواند به دلیل برهمکنش و گره خوردگی‌های زنجیر و بلورینگی القایی پلی لاکتیک اسید در شبکه پلی‌اتیلن خطی و پلی‌اتیلن سبک خطی در طول فرآیند فیلم دمشی باشد. با افزایش درصد پلی‌لاکتیک اسید، همان طور که مشخص است، افت شدیدی در خواص مکانیکی مخلوط اتّفاق افتاده و خواص نهایی مخلوط به سمت خواص پلی‌لاکتیک اسید می‌رود و پلی‌لاکتیک اسید نقش اصلی و کلیدی خود را در تعیین خواص کششی مخلوط نهایی ایفا می‌کند. از میان مخلوط‌های تهیه شده فیلم حاوی ۲۰ درصد پلی‌لاکتیک اسید به عنوان بهینه انتخاب شده و به منظور ساخت فیلم ضدمیکروب و زیست تخریب‌پذیر با ۴ جزء درصد پتاسیم سوربات مدنظر قرار گرفت.

از طرف دیگر، حضور پتاسیم سوربات دارای گروه‌های عاملی استری و پیوند یونی در بستر پلی‌اتیلن سبک خطی و پلی‌اتیلن سبک و پلی‌لاکتیک اسید به عنوان

1- *S.aureus*
2- Mueller- Hinton Agar
3- Aspergillus niger
4- Saboraud Dextrose Agar
5- Tween 80
6- Desiccator



شکل ۱- نتایج آزمون کشش

یک پرکننده معدنی عمل کرده و باعث افزایش استحکام کششی شده است. از آنجایی که خواص مکانیکی آمیخته‌های ناهمگن پلیمری بسیار وابسته به چسبندگی بین سطحی و تنش منتقل شده در مرز مشترک دو فاز در آمیخته است حضور سازگارکننده مانع از بهم چسبیدن ذرات پتاسیم سوربات شده است. به عبارت دیگر، در نمونه‌های مشخص شده برهمکنش بین گروه‌های قطبی سازگارکننده مالئیک انیدرید و پتاسیم سوربات باعث افزایش چسبندگی و بهبود سازگاری آمیخته نهایی و توزیع بهتر ذرات پتاسیم سوربات در شبکه پلیمری شده که در نتیجه این بهبود سازگاری استحکام کششی افزایش یافته است. به علاوه افزودن پتاسیم سوربات به بستر پلیمری باعث بهبود ازدیاد طول تا پارگی شده است. این افزایش در میزان ازدیاد طول تا پارگی می‌تواند به دلیل برخی اثرات نرم‌کنندگی در اثر افزودن ذرات پتاسیم سوربات به شبکه پلیمری باشد که در نتیجه باعث افزایش خواص چقرمگی و تغییر در بلورینگی پلیمر می‌شود [۴]. از طرفی این احتمال نیز وجود دارد که قرارگیری ذرات پتاسیم سوربات بین زنجیره‌های پلیمری باعث ایجاد فاصله بین آن‌ها شده و در نتیجه حرکت زنجیره‌ها را تسهیل کرده و باعث افزایش ازدیاد طول تا پارگی شده است.

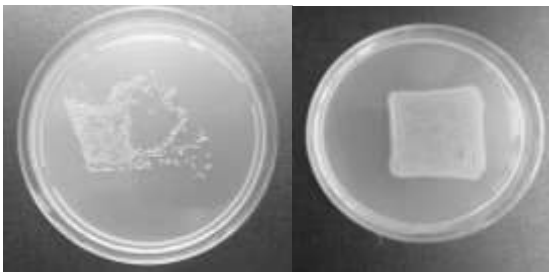
۳-۲- خواص ضد میکروبی

در (جدول ۲) نتایج رشد و عدم رشد دو نوع باکتری بر روی فیلم‌های مرجع و فیلم حاوی ۴ جزء درصد پتاسیم سوربات به عنوان ماده ضدمیکروب مشاهده شده است. طبق (جدول ۲) مشاهده می‌شود که در روز صفر آزمون باکتری‌های کشت داده شده روی فیلم‌های پلیمری پس از رقیق‌سازی برابر با (CFU/ml) ۱/۵×۱۰^{۶} بوده که این تعداد پس از گذشت ۷۲ ساعت برای فیلم مرجع (CFU/ml) ۱،۵ ×۱۰^{۶} گزارش شده است. همان طور که مشاهده می‌شود باکتری گرم منفی ای کولی پس از گذشت ۷۲ ساعت به طور کامل روی فیلم حاوی ۴ جزء درصد پتاسیم سوربات رشد کرده و تعداد باکتری‌های شمارش شده تغییری نکرده است در حالی که نتایج حاصل از شمارش باکتری‌های گرم مثبت اس اورئوس نشان می‌دهد که پتاسیم سوربات موجود در فیلم به طور موفقیت‌آمیزی باعث کاهش تعداد باکتری‌های رشد کرده به (CFU/ml) ۱×۱۰^{۴} شده است. از این رو، این طور نتیجه‌گیری می‌شود که عامل ضدمیکروب پتاسیم سوربات در بستر پلیمری LLDPE/LDPE/PLA در برابر باکتری گرم مثبت

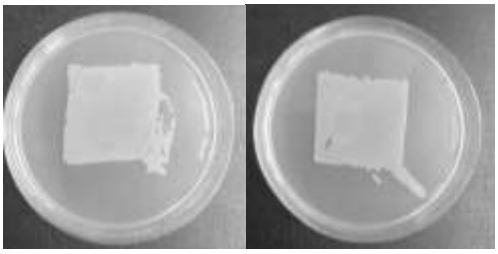
جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون میکروبی برای دو فیلم LLDPE/LDPE/20%PLA و LLDPE/LDPE/20%PLA/KS

رشد باکتری پس از ۷۲ ساعت		غلظت باکتری (CFU/ml)	باکتری
۱/۵×۱۰^۶	کنترل آزمایشگاهی	۱،۵×۱۰^۸	ای کولی
۱×۱۰^۶	LLDPE/LDPE/20%PLA		
۱×۱۰^۶	LLDPE/LDPE/20%PLA/KS		
۱/۵×۱۰^۶	کنترل آزمایشگاهی	۱،۵×۱۰^۸	اس-اورئوس
رشد باکتری پس از ۷۲ ساعت		**غلظت باکتری (CFU/ml)**	**باکتری**
۱/۵×۱۰^۶	کنترل آزمایشگاهی	۱/۵×۱۰^۸	ای کولی
۱×۱۰^۶	LLDPE/LDPE/20%PLA		
۱×۱۰^۶	LLDPE/LDPE/20%PLA/KS		
۱/۵×۱۰^۶	کنترل آزمایشگاهی	۱/۵×۱۰^۸	اس-اورئوس

اثر مطلوبی داشته و توانایی بـه تعویـق انـداختن فسـاد مـواد غذایی داخل بسته‌بندی را خواهد داشت(شکل ۳).



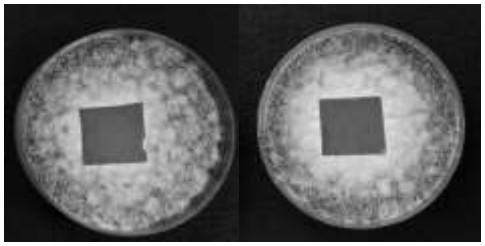
شکل ۲- مقایسه میزان باکتری استافیلوکوکوس اورئوس رشد کرده در سمت چپ: فیلم LLDPE/LDPE/20% PLA سمت راست: فیلم LLDPE/LDPE/20% PLA/KS



شکل ۳- مقایسه میران باکتری *E.coli* رشد کرده در سمت چپ: فیلم LLDPE/LDPE/20% PLA سمت راست: فیلم LLDPE/LDPE/20% PLA/KS

۳-۳- خواص ضد قارچی

به منظور بررسی فعالیت ضدقارچی فیلم ضدمیکروبی حاوی ۴ جزء درصد پتاسیم سوربات از آزمون قارچی استفاده شد. در این آزمون نمونه‌های فیلم پس از آماده‌سازی در مجاورت قارچ آسپرژیلوس نایجر[1] در محیط کشت سابوردکستروز آگار[2] به مدّت ۷۲ ساعت قرار داده شدند. و نتایج حاصل در (شکل ۴) آورده شده است. همان طور که در (شکل ۴) مشاهده می‌شود فیلم ضدمیکروب حاوی ۴جزء درصد پتاسیم سوربات به عنوان ماده متوقّف‌کننده رشد قارچ پس از گذشت ۷۲ ساعت کاملاً باعث متوقّف کردن رشد قارچ آسپرژیلوس نایجر در مقایسه با فیلم مرجع شده است و رشد قارچ را قبل از رسیدن به مرحله اسپورزایی متوقّف کرده است. وجود هاله عدم رشد تشکیل شده در اطراف فیلم ضدمیکروب کاملاً رهایش تدریجی پتاسیم سوربات و توقّف رشد قارچ آسپرژیلوس نایجر قبل از مرحله اسپورزایی را اثبات می‌کند. در حالی که در فیلم فاقد عامل ضدمیکروب اسپورهای قارچی قابل مشاهده هستند که این بدین معناست که قارچ آسپرژیلوس نایجر به طور کامل رشد کرده است.



شکل٤- نتایج کشت قارچ آسپرژیلوس نایجر بر روی : سمت راست: فیلم LLDPE/LDPE/20% PLA/KS و سمت چپ : فیلم LLDPE/LDPE/20% PLA

۳-٤- خواص زیست تخریب‌پذیری

از آنجایی که هدف از انجام این پروژه تهیه فیلم‌های ضدمیکروبی با خاصیت زیست تخریب‌پذیری است،

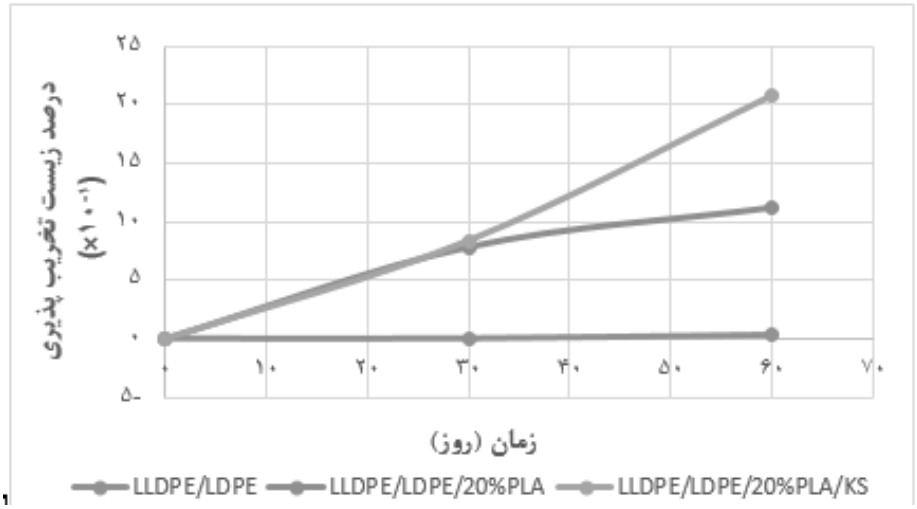
1- Aspergillus Niger
2- Sabordextrose Agar

بررسی میزان تخریب زیستی فیلم‌های ساخته شده بسیار اهمیت دارد. از این رو تأثیر ۲۰ درصد پلی‌لاکتیک اسید و ۴ جزء درصد پتاسیم سوربات بر روی فعالیت زیست تخریب‌پذیری فیلم‌های تهیه شده بررسی شده است و نتایج حاصل در (شکل ۵) آورده شده است.

همان طور که در (شکل ۵) قابل مشاهده است، پس از گذشت ۲ ماه نمونه حاوی ۲۰ درصد پلی‌لاکتیک اسید در محیط لجن فعال تخریب شده، این در حالی است که نمونه شاهد (LLDPE/LDPE) تخریب نشده است.

به طور کلی، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در زیست تخریب‌پذیری ساختار مولکولی، مورفولوژی[1] و وزن مولکولی پلیمر است. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر غذای میکروارگانیسم‌ها از جمله قارچ‌ها، کپک‌ها و باکتری‌ها محسوب می‌شوند. میکروارگانیسم‌ها با تولید آنزیم‌های داخل و خارج سلولی باعث شکست زنجیره‌های پلیمری و کاهش وزن مولکولی می‌شوند. در نتیجه بریدگی زنجیر، مولکول‌های کوچک تولید می‌شوند که به فرآیندهای متابولیسم سلولی وارد شده و باعث تولید انرژی زیاد و در نهایت آب، کربن دی اکسید و سایر پسمان‌های زیستی می‌شوند. پلی‌لاکتیک اسید به عنوان یک پلیمر زیست تخریب‌پذیر به دلیل داشتن ساختار مولکولی با شاخه‌های کوتاه به راحتی تحت تأثیر آنزیم‌های تخریب زیستی دچار بریدگی زنجیر شده و به تکّه‌های کوچک با وزن مولکولی پایین تقسیم شدi و در طبیعت تخریب می‌شود[۵]. از طرف دیگر، با افزودن پتاسیم سوربات با وجود اینکه پتاسیم سوربات هیچگونه خاصیت زیست تخریب‌پذیری ندارد و در این پژوهش صرفاً به عنوان ماده ضدمیکروب استفاده شده است، میزان زیست تخریب‌پذیری افزایش یافته است. این‌طور برداشت می‌شود که افزودن پتاسیم سوربات به دلیل تغییر ساختار مولکولی و مورفولوژی بستر LLDPE/LDPE/PLA باعث راحت‌تر شدن بریدگی زنجیر توسط میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه بهبود زیست تخریب‌پذیری فیلم ضدمیکروب شده است

انتظار می‌رود با گذشت زمان بیشتر میزان زیست تخریب‌پذیری فیلم ضدمیکروب نیز بیشتر شود.



شکل ۵- نمودار تغییرات زیست تخریب‌پذیری پس از گذشت دوماه برای فیلم‌های LLDPE/LDPE و LLDPE/LDPE/20% PLA و LLDPE/LDPE/20% PLA/KS

1- Morphology

٤- نتیجه گیری

از میان آمیخته‌های تهیه شده با ترکیب درصدهای مختلف پلی لاکتیک اسید با توجّه به نتایج به دست آمده از آزمون خواص مکانیکی نمونه حاوی ۲۰ درصد پلی‌لاکتیک اسید به عنوان بهینه و به منظور تهیه فیلم ضد میکروب انتخاب شد. افزودن پتاسیم سوربات به عنوان ماده ضدمیکروب جهت ساخت بسته‌بندی‌های ضدمیکروب، خواص فیلم‌های تهیه شده از جمله استحکام کششی، ازدیاد طول تا پارگی، خواص میکروبی و قارچی و همچنین خواص زیست تخریب‌پذیری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از آنجایی که میزان اثرگذاری مواد ضدمیکروب از جمله پتاسیم سوربات متأثر از شبکه پلیمری، ترکیب درصد اجزا و ترکیب درصد ماده ضدمیکروب است. رسیدن به ترکیب درصد بهینه‌ای از تمام اجزا که در آن ترکیب درصد نه تنها فیلم خاصیت ضدمیکروبی خود را داشته باشد، بلکه سایر خواص از جمله خواص کششی و زیست تخریب‌پذیری نیز بهبود یافته باشد، از اهمیت بسیار بالایی در تهیه فیلم‌های بسته‌بندی ضدمیکروبی و زیست تخریب‌پذیر برخوردار است. به طور خاص در این پژوهش مشاهده شد که افزودن ۴ جزء درصد پتاسیم سوربات به بستر پلیمری LLDPE/LDPE/PLA باعث بهبود استحکام کششی از ۷/۹۳ به ۱۱/۷۱ و بهبود ازدیاد طول تا پارگی از ۲۸۲/۵۷ به ۵۵۱/۵۷ درصد شده است. این در حالی است که فیلم ضد-میکروب تهیه شده در برابر باکتری استافیلوکوکوس اورئوس و قارچ آسپرژیلوس نایجر کاملاً فعالیت ضدمیکروبی داشته و آزادسازی تدریجی پتاسیم سوربات به طور قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش تعداد کلونی‌های باکتریایی و توقّف رشد قارچ شده است. از طرف دیگر حضور پتاسیم سوربات به دلیل تغییر ساختار مولکولی و مورفولوژی زنجیره‌های پلیمری باعث بهبود زیست تخریب‌پذیری فیلم ضدمیکروب شده است. از این رو، از این فیلم‌ها می‌توان در ساخت بسته‌بندی‌های ضدمیکروب و زیست تخریب‌پذیر استفاده کرد.

٥- منابع

1. P. Atabaki, A Oromiehie (Ph.D.), M. Mehranpoor (Ph.D.),(2018) **"Preparation of Intelligence Antimicrobial Films based on Low Density Polyethylene and evaluation of its properties",** Department of Polymer Engineering, Islamic Azad university Science and Research Branch, Tehran.
2. D.S.Lee, K.L. Yam, and L.Piergiovanni, (2008). **"Food packaging and technology",** CRC press.
3. P. Appendini, J.H. Hotchkiss, (2002). **"A Review of antimicrobial food packaging",** Innovation food science & engineering technologies 3, 113-126.
4. H. Barzegar, M.H. Azizi, M. Barzegar, Z. Hamidi-Esfahani, . (2014**). "Effect of potassium sorbate on antimicrobial and physical properties of starch-clay nanocomposite films",** J. carbohydrate Polym. pp. 26-31.
5. M. Ghozali, P. Doni B. Sinaga, Sh. Maranata, E. N. Rohmah, (2016**). "Study and development of Linear low density polyethylene (LLDPE) and poly lactic acid (PLA) biodegradable compouns using compatibilizer LLDPE-g-MA",** World Chem. Eng. J. , vol.1, no.2, pp.11-16.

آدرس نویسنده

تهران- بلوار کریمخان - ابتدای پل حافظ - بعد از کوچه هورتاب- پلاک ۳۹۸- طبقه اول شرقی