

# کاربرد پلی لاکتیک اسید در بسته‌بندی‌های غذایی و ارتقای خواص عبوردهی آن

میثم شعبانیان<sup>۱\*</sup>، فاطمه مانی<sup>۲</sup>، خلیل فقیهی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله: تیر ماه ۱۳۹۵

تاریخ پذیرش مقاله: مهر ماه ۱۳۹۵

## چکیده

امروزه در صنایع غذایی مبحث ارتقای کیفیت بسته‌بندی محصولات در کانون توجه تحقیقات قرار دارد. در این مطالعه به برخی از پژوهش‌های صورت پذیرفته در این عرصه و با رویکرد بسته‌بندی مواد غذایی به وسیله پلی لاکتیک اسید پرداخته شده است. کاربرد اصلی بسته‌بندی پلی لاکتیک اسید محدود به مواد غذایی خام و زمان ماندگاری آن‌ها بین سه تا پنج روز حتی در شرایط یخچال می‌باشد. کاربرد وسیع‌تر پلی لاکتیک اسید برای دیگر محصولات غذایی، بستگی به امکان بهبود خاصیت عبوردهی آن و به طور خاص کاهش تراوایی بخار آب و گازها است. در این راستا سه روش بکارگیری پلیمر، پلیمر پوشش داده شده و مخلوط پلیمری مناسب جهت بهبود خواص عبوردهی مناسب شرح داده شده است. ارتقای خواص عبوردهی در بسته‌بندی مواد غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد به نحوی که از ورود گازها و بخارات مضر به درون بسته‌بندی و خروج مواد مورد نیاز محتویات درون بسته‌بندی جلوگیری به عمل آید. در سه روش ذکر شده فوق، پلی لاکتیک اسید به عنوان ماده پایه بسته‌بندی می‌باشد و با پیاده‌سازی پوشش‌های مختلف و یا ترکیب آن با پلیمری مناسب، خواص عبوردهی بسته‌بندی بهبود یافته است. خواص عبوردهی پلی لاکتیک اسید در برابر نفوذ اکسیژن و بخار آب که عوامل حیاتی در ماندگاری محصولات غذایی می‌باشند، مناسب نیست، لذا از روش‌های متفاوتی برای بهبود خواص عبوردهی پلی لاکتیک اسید در بسته‌بندی استفاده شده است:

- ✓ استفاده از نانو ساختارهای هیبریدی آلی / معدنی به عنوان پوششی برای پلی لاکتیک اسید
- ✓ روش آمیزه‌های پلیمری فیلم پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید با نسبت‌های مختلف
- ✓ استفاده از نانو کامپوزیت‌های پلی لاکتیک اسید / سیلیکات

## واژه‌های کلیدی

پلی لاکتیک اسید<sup>۴</sup> (PLA)، بسته‌بندی، عبوردهی گاز، کامپوزیت<sup>۵</sup>

### ۱- مقدمه

پلیمرها ممکن است از منابع فسیلی و یا تجدیدپذیر به دست آیند و با توجه به منشأ خود، تخریب‌پذیری متفاوتی خواهند داشت. از دهه ۱۹۸۰، برنامه‌های تحقیقاتی بر روی مواد با ارزش بر پایه مواد تجدید شندی مطرح شده است. که در نتیجه تقاضای گسترده‌تر برای مواد بسته‌بندی

۱- عضو هیئت علمی پژوهشگاه استاندارد.

(\*) نویسنده مسئول: m.shabanian@standard.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی دانشگاه اراک (rana.m1370@gmail.com).

۳- عضو هیئت علمی گروه شیمی دانشگاه اراک (k-faghihi@araku.ac.ir).

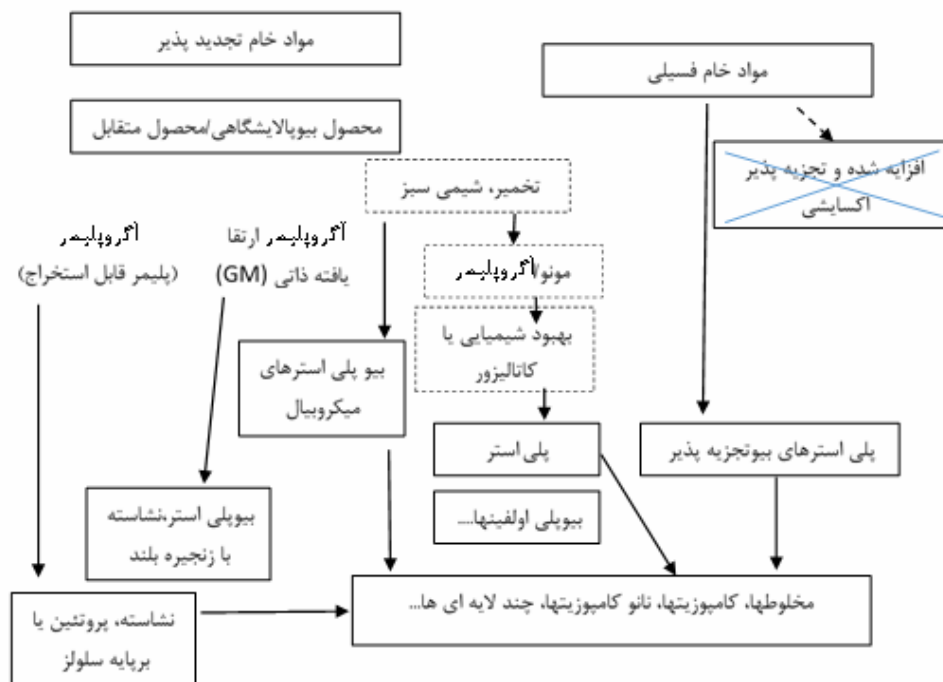
4- Poly Lactic Acid (PLA)

5- Composite

کربن / اکسیژن (O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>) بالایی به همراه ضریب گذردهی گازی بالایی هستند. بیوپلاستیک‌ها می‌توانند با کاغذ یا بیوپلی‌استرها<sup>۴</sup> برای افزایش مقاومت مکانیکی ترکیب شوند و قادر هستند اتمسفر اصلاح شده مورد نیاز را جهت ماندگاری بیشتر میوه‌ها و سبزی‌های تازه فراهم کنند. پلی‌استرهای<sup>۵</sup> قابل استخراج غیرمعمول توسط میکرو ارگانیسم‌ها یا پایگاه‌های اصلاح شده ژنتیکی نیز تولید شده‌اند. شکل (۱) بیوپلاستیک‌های بر مبنای پروتئین به عنوان شبکه دربرگیرنده با رهایش کنترل شدهٔ عامل‌های

سازگار با محیط زیست با ویژگی‌های نوین مانند تجزیه‌پذیری بیولوژیکی<sup>۱</sup>، انعطاف‌پذیری فیزیکی یا شیمیایی و آزادسازی یا جذب کنترل شده می‌باشد.

هدف از طراحی این مواد جدید، همخوانی بیشتر با محیط زیست نسبت به پلاستیک‌های معمول بوده است که این مواد به عنوان بیوپلاستیک‌ها<sup>۲</sup> در نظر گرفته شده‌اند. راه‌های مختلف برای به دست آوردن بیوپلاستیک‌ها (که به صورت تجاری موجود و یا تحت توسعه است) در (شکل ۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- بیوپلاستیک‌های واقعی، تجاری یا تحت توسعه [۱]

ضدمیکروبی فعال جهت ماندگاری غذایی استفاده می‌شوند. سرعت رهایش و در نتیجه فعالیت ضدمیکروبی آن‌ها می‌تواند با توجه به فرآیند اتصال شبکه‌ای شدن القایی به صورت فیزیکی و یا وارد سازی نانو ذرات به منظور انطباق بر زنجیرهٔ توزیع مواد غذایی تنظیم شود.

مواد پلاستیکی بر پایه فسیل تجزیه‌پذیر زیستی<sup>۶</sup> [مواد

مواد پلیمری با منشأ زیستی مانند نشاسته، سلولز یا پروتئین‌ها در طی روش‌های ریخته‌گری یا فرآوری ترموپلاستیک<sup>۳</sup> به دست می‌آیند. حساسیت آن‌ها نسبت به تغییرات محیطی مانند دما می‌تواند نشانگر تغییرات ایجاد شده در مواد غذایی باشد. این مواد همچنین خصوصیات جالب توجهی در خصوص ویژگی‌های انتقال جرم از خود نشان می‌دهند، آن‌ها عمدتاً دارای نسبت انتخابی دی اکسید

- 4- Biopolysters
- 5- Biopolysters
- 6- Biodegradable

- 1- Biological
- 2- Bioplastic
- 3- Thermoplastic

پلاستیکی بر پایه فسفیل (پلی استرها) [به منظور ارتقای فرآیندهای مناسب مانند خواص مکانیکی، عبوردهی، نوری و تجزیه پذیری نیز توسعه یافتند. با ترکیب کردن این مواد پلاستیکی با پلیمرهای زیستی یا پلی استرهای دارای منبع بیولوژیکی برای تشکیل مخلوط یا کامپوزیت نتایج قابل قبولی به دست آمده است که این امر می‌تواند راه‌حل مناسبی برای بهینه‌سازی هزینه‌های تولید و هماهنگ‌سازی خواص عبوردهی و مکانیکی باشد.

بجز پلیمرهای معمول، پلیمرهای دارای منبع زیستی توسط سنتز<sup>۱</sup> شیمیایی مونومرهای<sup>۲</sup> به دست آمده از مواد اولیه قابل تجدید، نیز تولید می‌شوند. که امروزه این پلیمرها شامل بیو پلی استرها، بیوپلی‌اولفین‌ها<sup>۳</sup> و بیوالاستومرها<sup>۴</sup> می‌شوند. برخی از این پلیمرها هنوز تحت توسعه هستند و برخی دیگر نیز مانند پلی لاکتیک اسید (PLA) در حال حاضر در فرمولاسیون<sup>۵</sup> مواد بسته‌بندی وارد شدند و به تولید تجاری رسیدند.

علاوه بر تجدیدپذیر بودن آنها به عنوان مزیت اقتصادی و عملکرد قوی، برخی از این پلیمرهای دارای منبع بیولوژیکی (به عنوان مثال پلی استرها) قابل تجزیه نیز می‌باشند (مانند PLA) [۱ و ۴].

در تحقیقات جدید از نشاسته ذرت و دیگر مواد نشاسته‌ای، ماده‌ای تجدید شدنی به نام لاکتیک اسید تهیه شد که به راحتی به پلی لاکتیک اسید (PLA) قابل تبدیل می‌باشد. در (جدول ۱) برخی مواد رایج پلیمری با ویژگی مناسب که برای بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند آورده شده و با پلی لاکتیک اسید (PLA) مقایسه شده‌اند و به وضوح قابل مشاهده است که پلی لاکتیک اسید (PLA) می‌تواند کاربرد صنعتی داشته باشد [۲]. خواص مکانیکی پلی لاکتیک اسید (PLA) بسیار شبیه به خواص گزارش شده برای پلی استایرن<sup>۶</sup> (PS) است. برای رفع شباهت بین دو ماده مذکور باید خواص سبز در مورد پلی لاکتیک اسید (PLA) و مقداری از کاربردهای آن در حوزه بسته‌بندی غذایی بیان شود [۳].

جدول ۱- خواص عملکردی اکثر مواد پلیمری معمول در مقایسه با خواص PLA [۲]

پلیمر	استحکام کششی (Mpa)	مدول کششی (Gpa)	دمای شکستگی حرارتی (C در 1.8 Mpa)
LDPE <sup>1</sup>	۱۷-۶	۰,۲-۰,۱	۵۰-۲۰
HDPE <sup>2</sup>	۳۷-۲۰	۱,۲۴-۰,۴۱	۹۰-۴۰
PET <sup>3</sup>	۷۰	۴,۱-۲,۸	۹۰-۸۰
PS <sup>4</sup>	۵۲-۴۰	۳,۱	۹۹-۶۹
PA6 <sup>5</sup>	۸۳-۶۲	۲,۸-۱,۲	۸۰-۶۰
PP	۳۸-۳۳	۱,۵-۱,۱	۱۰۰-۵۰
PLA*	۴۰-۶۰	۴-۳	۷۰-۶۰

۱- پلی اتیلن با چگالی کم

۲- پلی اتیلن با چگالی بالا

۳- پلی اتیلن ترفتالات

۴- پلی استایرن

۵- پلی آمید ۶

\* داده‌ها از NatureWorks® LLC. صفحات داده‌های تخصصی

- 1- Synthesis
- 2- Monomer
- 3- Polyolfin
- 4- Bio elastomers
- 5- Formulation

6- Polystyrene

پوشش‌ها بر روی فیلم‌های پلی لاکتیک اسید (PLA) برای بسته‌بندی مواد غذایی پیاده‌سازی شده‌اند تا خواص عبوردهی آن نسبت به اکسیژن و بخار آب بهبود یابد. همه پوشش‌های آماده شده، لایه‌های چگال و همگنی بودند و دارای چسبندگی مناسبی به سطوح مواد پایه می‌باشند. نفوذپذیری لایه‌های پوششی حدود ۰/۱ مقادیر نفوذپذیری فیلم‌های پلی لاکتیک اسید (PLA) بدون پوشش بودند. ویژگی آبدوستی پوشش اجازه کاهش چشمگیر در نفوذپذیری بخار آب را نمی‌دهد. شفافیت مناسب مواد پوششی، استفاده از آن‌ها را بدون خدشه‌دار شدن خواص مطلوب فیلم پایه پلی لاکتیک اسید ممکن می‌سازد [۱۲].

## ۲-۲- آمیزه‌های پلیمری فیلم پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید (PP/PLA) با نسبت‌های مختلف

آمیزه‌های پلیمری یک روش ساده جهت ارتقا و بهبود خواص پلیمرهای خالص است. آمیزه‌های پلیمری امکان کاربرد پلیمر را به عنوان بسته‌بندی منسوجات و همچنین صنایع مهندسی ارتقا می‌بخشد. ویژگی‌های آمیزه‌های پلیمری به دلیل عدم امتزاج بین پلیمرهای خالص محدود هستند. جهت حل این مشکل غالباً از سازگارکننده‌ها به عنوان افزودنی‌ها جهت ارتقای سازگاری آمیزه‌های غیرقابل امتزاج استفاده می‌شود.

آمیزه‌های پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید با نسبت‌های وزنی معین تهیه گردید. (از مالئیک انیدرید<sup>۸</sup> پیوند زده شده به PP به عنوان سازگارکننده برای آمیزه پلیمری (PP/PLA) استفاده شده است) تأثیر نسبت‌های وزنی پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید (PP/PLA) بر روی خواص فیلم‌های آمیزه پلیمری سازگار شده با مالئیک انیدرید که با پلی پروپیلن (PP) در نسبت‌های وزنی مختلف ۱۰۰:۰، ۶۰:۴۰، ۵۰:۵۰، ۴۰:۶۰ پیوند زده شده و مورد بررسی قرار گرفت. فیلم‌های آمیزه شده توسط روش مخلوط کردن در حالت ذوب و تشکیل فیلم ریخته‌گری آماده شد. طبق

یا اینکه با تغییر شکل دادن بیشتر با کوپلیمریزاسیون<sup>۱</sup> [۴] ترکیباتی ایجاد می‌شود تا بتواند خواص مناسبی از پلی لاکتیک اسید (PLA) از قبیل انعطاف‌پذیری و یا پایداری دوره طولانی را ایجاد کند [۵].

عوامل نامبرده نقش تعیین‌کننده‌ای در ماندگاری محصولات غذایی بسته‌بندی شده حساس به فرآیندهای اکسایشی<sup>۲</sup> دارند که معمولاً نیازمند بسته‌بندی اصلاح شده اتمسفری<sup>۳</sup> (MAP) برای ماندگاری موردنظر می‌باشند [۶ و ۱۱].

کاهش عبوردهی اکسیژن از پلی لاکتیک اسید (PLA) یک راه ممکن برای توسعه این کاربردها در تولیدات بسته‌بندی اصلاح شده اتمسفری (MAP) است. کاهش میزان تبادل رطوبت می‌تواند پدیده‌های نرم شدن یا خشک شدن را کاهش و از این طریق ماندگاری مواد غذایی حساس به تغییرات رطوبت را افزایش دهد.

## ۲- روش‌های اصلاح خواص عبوردهی پلی لاکتیک اسید (PLA) برای بسته‌بندی

در این مطالعه سه روش بهبود خواص عبوردهی پلی لاکتیک اسید (PLA) در بسته‌بندی مورد بررسی قرار گرفته است که به شرح ذیل می‌باشد.

### ۲-۱- نانوساختارهای هیبریدی آلی / معدنی به عنوان پوششی برای پلی لاکتیک اسید (PLA)

پوشش‌های هیبریدی آلی / معدنی بر پایه پلی (۴-کاپرولاکتون<sup>۴</sup> PCL)، پلی (اتیلن اکساید<sup>۵</sup> PEO) یا پلی (لاکتیک اسید PLA) به عنوان فاز آلی و سیلیکا<sup>۶</sup> از تترا اتوکسی سیلان<sup>۷</sup> (Si/SiO<sub>2</sub>) به عنوان فاز معدنی به وسیله روش سل-ژل تهیه شدند.

- 1- Copolymerization
- 2- Oxidation
- 3- Modified Atmosphere Packaging
- 4- Capro lactone
- 5- Polyethylene Oxide
- 6- Silica
- 7- Tetra Ethoxy Silane

8- Maleic Anhydride

نتایج به دست آمده از طیف<sup>۱</sup> (FTIR) تعامل بین پلیمرها و ماده تطبیق داده شده تأیید شد. تحقیقات ریخت شناسی به وضوح حالت سامانه دو فازی بین پلی لاکتیک اسید (PLA) و پلی پروپیلن (PP) قابل مشاهده بود. افزودن محتوای پلی لاکتیک اسید (PLA) از ۴۰ به ۶۰ درصد وزنی منجر به کاهش دمای ذوب و کریستالیزه<sup>۲</sup> شدن به ترتیب از ۱۵۸ به ۱۵۴ درجه سانتی‌گراد و از ۳۸ به ۳۱ درصد شده است. همچنین خواص کششی، استقامت، توانایی کششی و مدول یانگ<sup>۳</sup> مربوطه آن با افزایش محتوای پلی لاکتیک اسید (PLA) افزایش یافت درحالی که افزایش طول آن در نقطه شکست به شدت کاهش پیدا کرد و از ۵۰۰٪ (پلی پروپیلن) به کمتر از ۵۰٪ (مخلوط ماده‌ها- بلند<sup>۴</sup>) رسید. نتایج به دست آمده نشان دادند که مشارکت پلی لاکتیک اسید (PLA) در پلی پروپیلن (PP) باعث افزایش تراوایی بخار آب شده در حالی که تراوایی اکسیژن کاهش یافته است. آزمون‌های ریخت‌شناسی، حرارتی، مکانیکی و عبوردهی نشان دادند که مخلوط (PP/PLA) یک مخلوط غیرقابل امتزاج خاص و یک ماده جدید است [۱۳].

### ۲-۳- استفاده از نانوکامپوزیت‌های پلی لاکتیک اسید (PLA) / سیلیکات

در راستای کاهش مشکل دفع مواد زاید و زباله‌های جامد و به منظور کاهش وابستگی به پلاستیک‌های بر پایه نفت جهت مواد بسته‌بندی، پلیمرهای ترموپلاستی<sup>۵</sup> قابل کمپوست<sup>۶</sup> شدن و تجزیه‌پذیر بیولوژیکی مورد نیاز هستند. پلی لاکتیک اسید (PLA) پلیمر بسیار حساس و تحت تأثیر عوامل بیرونی مثل هوازدگی می‌باشد که از منابع صد درصد تجزیه‌پذیر به دست می‌آید. سه نوع از نانوکامپوزیت‌های (PLA) حاوی ۱، ۳ و ۵ درصد از نانو

کلی<sup>۷</sup>، به منظور مطالعه تأثیر محتوای نانو کلی بر روی قابلیت فیلم شوندگی کامپوزیت‌ها و خواص فیلم‌ها، با یکدیگر تهیه شده و نتایج آنالیزهای مربوطه بررسی گردید. آنالیز<sup>۸</sup> (DSC) صورت پذیرفته حاکی از کاهش دمای کریستالیزه شدن و افزایش دمای ذوب ناشی از حضور نانو کلی‌ها بود. آنالیز<sup>۹</sup> (TGA) نیز بهبود دمای تجزیه برای همه نانوکامپوزیت‌ها را نشان داد [۱۴].

خواص مکانیکی فیلم نانوکامپوزیت نشان داد که افزایش طول تا میزان ۳ درصد از محتوای نانوکلی قابل مشاهده است، در حالی که افزایش مقاومت کششی و مدول یانگ فقط تا محتوای حدود ۱ درصد از نانو کلی قابل دستیابی بود [۱۴]. فیلم‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده (با داشتن حدود ۳ درصد نانوکلی) خواص بهتری از عبوردهی اکسیژن و بخار آب را در مقایسه با پلی لاکتیک اسید (PLA) خالص از خود نشان دادند [۱۴].

### ۳- خواص عبوردهی پلی لاکتیک اسید (PLA) اصلاح شده

پس از آماده‌سازی پلی لاکتیک اسید با بکارگیری سه روش ذکر شده برای بسته‌بندی، خواص عبوردهی هر یک مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج آن‌ها به شرح ذیل می‌باشد.

#### ۳-۱- خواص عبوردهی مربوط به پلی لاکتیک اسید پوشش داده شده با هیبرید آلی/معدنی

هنگامی برای یک پوشش بازدارندگی بالا نسبت به اکسیژن و رطوبت در نظر گرفته می‌شود که سرعت انتقال اکسیژن<sup>۱۰</sup> (OTR) از آن کمتر از  $3 \text{ cm}^3/24 \text{ h, m}^2$  (در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و ۰٪ رطوبت نسبی) و سرعت انتقال

1- Fourier Transform Infrared

2- Crystallized

3- Young

4- Blend

5- Thermoplastic

6- Compost

7- Nano-General

8- Analyze Differential Scanning Calorimetry

9- Therapeutic Goods Administration

10- Oxygen Gas Transmission Rate

کاهش سرعت انتقال اکسیژن (OTR) برای همه نمونه‌های پوشش داده شده و فیلم‌های بدون پوشش در (جدول ۲) آورده شده است. حداکثر کاهش سرعت انتقال اکسیژن (OTR) به دست آمده (۰/۴۸٪) برای پوشش هیبریدی با پایه پلی لاکتیک اسید (PLA) نمی‌تواند به عنوان حالتی کاملاً مؤثر برای به دست آوردن بازدارندگی بالا در برابر فرآیندهای اکسایش در نظر گرفته شود، ولی این دستاورد، اجازه کاربردهایی در محصولات با طول عمر متوسط به همراه بسته‌بندی اصلاح شده اتمسفری (MAP) (مانند گوشت تازه، ماهی و پنیر) را می‌دهد. قابل ذکر است که این کاهش سرعت انتقال اکسیژن (OTR) با پوشش‌هایی به ضخامت حدود ۲/۵ میکرومتر به دست آمد و با توجه به چسبندگی نسبتاً خوبی که پوشش‌دهنده‌ها از خود نشان دادند، امکان بهبود بیشتر آن با افزایش ضخامت پوشش‌دهنده وجود دارد.

در حقیقت با در نظر گرفتن ضخامت لایه پوششی که بین ۴۷۵ - ۴۵۰ و ۶۱۰ - ۵۵۰ نانومتر (میانگین ۵۰۰ نانومتر) و ضخامت لایه پلی لاکتیک اسید (PLA) حدود ۳۰ میکرومتر بوده است، امکان تخمین عبوردهی لایه‌های خالص پوششی از طریق رابطه ۱ برای ماده‌های لایه‌ای به دست می‌آید:

رابطه ۱:

$$Q_{\text{total}} = \frac{L_{\text{total}}}{P_{\text{total}}} = \frac{L_1}{P_1} + \frac{L_2}{P_2}$$

بخار آب<sup>۱</sup> (WVTR) کمتر از  $5 \text{ gr} / 24 \text{ h, m}^2$  (در شرایط دمایی ۳۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰٪) برای فیلم ضخیم ۲۵ میکرومتر باشد. سرعت انتقال اکسیژن (OTR) و انتقال بخار آب (WVTR) بین ۲۰ تا ۵۰ نیز می‌تواند تا حدی در بسته‌بندی غذا خصوصاً موادی که ماندگاری آن‌ها بستگی به دمای پایین نگهداری دارد به همراه شرایط خاص بسته‌بندی مانند بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده (MAP) در نظر گرفته شود. با توجه به این که سرعت انتقال اکسیژن (OTR) فیلم پلاستیکی پلی لاکتیک اسید (PLA) پوشش داده نشده در مطالعات ارائه شده حدود ۱۱۵ واحد (در حالتی که ضخامت ۳۰ میکرومتر باشد) در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد واضح است که این ماده برای محیط یا محصولات غذایی با ماندگاری طولانی مناسب نیست و کاهش زیاد سرعت انتقال اکسیژن (OTR) می‌تواند نشان‌دهنده بهبود مناسب برای خواص عبوردهی آن نیز باشد. پوشش‌های هیبریدی<sup>۲</sup> آلی / معدنی در حال حاضر به دلیل داشتن قابلیت ارتقای خواص عبوردهی مواد پلاستیکی در مقابل اکسیژن، دی اکسید کربن و نیتروژن نیز شناخته شده‌اند. داده‌های سرعت انتقال اکسیژن (OTR) برای فیلم پلی لاکتیک اسید (PLA) تجاری بهبود داده نشده (با ضخامت ۳۰ میکرومتر) و فیلم مشابه که یک طرف آن پوشش هیبریدی دارد در (جدول ۲) گزارش شده است.

جدول ۲- مقادیر OTR فیلم‌های PLA بدون پوشش و نمونه‌های دارای پوشش آلی/معدنی [۱۲]

کاهش OTR (%)	مقادیر OTR $\text{cm}^3 / 24 \text{ h, m}^2$ در ۲۳ درجه سانتی‌گراد	ضخامت پوشش	
		ضخامت نمونه پوشش داده شده (میکرومتر) و انحراف معیار	ضخامت پوشش (μm) و انحراف معیار برای شش اندازه‌گیری
۱۲	۱۰۱ ± 3	۳۰،۵۵ ± ۰،۰۳	۰،۵۵ ± ۰،۰۳
۹	۱۰۵ ± ۱	۳۰،۴۷ ± ۰،۰۲	۰،۴۷ ± ۰،۰۲
۶	۱۰۸ ± ۵	۳۰،۶۱ ± ۰،۰۷	۰،۶۱ ± ۰،۰۷
۲۲	۹۰ ± ۲	۳۰،۷۹۸ ± ۰،۱۲	۰،۷۹۸ ± ۰،۱۲
۳۲	۷۸ ± ۱	۳۱،۲۸۲ ± ۰،۱۵	۱،۲۸۲ ± ۰،۱۵
۴۸	۶۰ ± ۲	۳۲،۵۴۳ ± ۰،۱۲	۲،۵۴۳ ± ۰،۱۲
-	۱۱۵	۳۰،۰۰	-
			فیلم PLA

1- Water Vapor Transmission Rate

2- Hybride

آزمایش استاندارد ASTM D<sup>1</sup> 3985-05 (سرعت انتقال اکسیژن (OTR) را به صورت میزان اکسیژن عبورکننده در واحد سطح برحسب واحد زمان و شرایط آزمایش تعریف می‌کند و بر حسب واحد  $cm^3 / 24 h, m^2$  بیان می‌شود.

P به صورت نسبی از سرعت انتقال اکسیژن (OTR) به اختلاف بین فشار جزئی اکسیژن در دو طرف فیلم تعریف و بر حسب واحد  $cm^3 / 24 h, bar$  بیان می‌شود. همچنین در این آزمایش تفاوت بین فشار جزئی اکسیژن در دو طرف فیلم ۰/۲۰۹ بار مشخص شده است.

رابطه ۱ که برای بسته‌بندی‌های چند لایه‌ای استفاده می‌شود و همچنین برای محاسبه نفوذپذیری تمام لایه‌ها از نفوذپذیری لایه تشکیل‌دهنده نیز کاربرد دارد. با استفاده از این رابطه نفوذپذیری پوشش خالص به صورت مستقل و همچنین میزان تأثیر آن در نفوذپذیری عمومی اکسیژن قابل محاسبه است. در (جدول ۳) مقادیر نفوذپذیری هیبریدهای آلی/ معدنی توسط رابطه (۱) محاسبه و نمایش داده شده‌اند و همچنین با عبوردهی پلیمرهای متناظر آن‌ها مقایسه شده‌اند. از نتایج مشخص است که پوشش‌های هیبریدی آلی/ معدنی به عنوان مانع اکسیژن تأثیر بسیار بیشتری نسبت به فازهای آلی خالص پلی لاکتیک اسید (PLA)، پلی کاپرولاکتون<sup>۲</sup> (PCL) و پلی اتیلن اکساید (PEO) دارند.

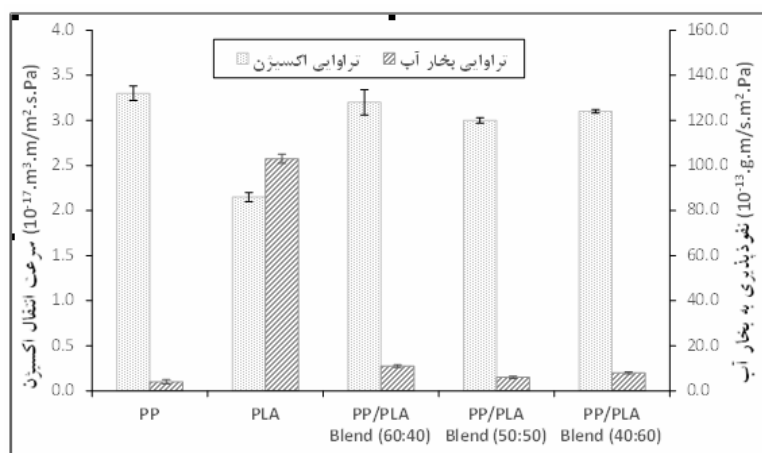
جدول ۳- نفوذپذیری اکسیژن پوشش‌های هیبریدی و فازهای آلی خالص مربوطه

مواد	نفوذپذیری ( $cm^3 cm^{-2} 24 h^{-1} atm^{-1}$ )
PEO	۱,۷۱
PCL	۱,۷۲
PLA	۱,۶۵۶
PEO-Si/SiO <sub>2</sub> <sup>۱</sup>	$۲,۲۳ * ۱۰^{-1} * ۰,۵۶ * ۱۰^{-1}$
PCL-Si/SiO <sub>2</sub>	$۲,۷۲ * ۱۰^{-1} \pm ۰,۵۳ * ۱۰^{-1}$
PLA-Si/SiO <sub>2</sub>	$۲,۴۳ * ۱۰^{-1} \pm ۰,۷۹ * ۱۰^{-1}$

۱- پلی اتیلن اکساید- سیلیکا

### ۳-۲- مطالعات عبوردهی آمیزه‌های پلیمری فیلم پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید (PP/PLA)

مطالعات عبوردهی آمیزه‌های پلیمری فیلم پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید (PP/PLA) هیچ گونه ارتقای چشمگیری در خواص عبوردهی بخار آب و اکسیژن را نشان نداده است. اختلاف زیادی بین تراوایی اکسیژن و بخار آب میان آمیزه پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید (PP/PLA) با مقادیر پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید (PP/PLA) خالص وجود ندارد (شکل ۲).



شکل ۲- خواص عبوردهی پلی پروپیلن، پلی لاکتیک اسید و نسبت اختلاف مخلوط‌های پلی پروپیلن/پلی لاکتیک اسید [۱۳]

1- American Society for Testing and Materials

2- Polycaprolactone

در (جدول ۴) مقادیر سرعت تراوایی اکسیژن (OTR) و بخار آب (WVTR) برای فیلم‌های نانو کامپوزیتی با ضخامت مختلف نشان داده شده است:

برای فیلم PNC3 مقادیر تراوایی اکسیژن (OTR) و بخار آب (WVTR) حدود ۳۷ و ۰/۳۳ درصد کاهش یافت، که نشان‌دهنده بیشترین بهبود در خواص عبوردهی در میان همه فیلم‌های نانو کامپوزیت می‌باشد. در تمام موارد فیلم نانو کامپوزیتی ۱۵ تا ۴۸ درصد کاهش در سرعت نفوذ اکسیژن (OTR) و ۴۰ تا ۵۰ درصد کاهش در سرعت نفوذ بخار آب (WVTR) را از خود نشان داده‌اند [۱۴].

#### ۴- بررسی خواص مکانیکی پلی لاکتیک اسید (PLA) اصلاح شده

پس از بررسی خواص عبوردهی، خواص مکانیکی پلی لاکتیک اسید (PLA) اصلاح شده نیز بررسی شد و نتایج به دست آمده از این مطالعات به شرح ذیل می‌باشد.

#### ۴-۱- خواص مکانیکی مربوط به پلی لاکتیک اسید پوشش داده شده با هیبرید آلی / معدنی

آزمایش‌های مکانیکی کششی طبق روش استاندارد گزارش شده در ASTM D-882 انجام شد [۱۶]. هدف، بررسی این موضوع بود که آیا تماس با حلال‌ها در طی فرآیند رسوب‌گذاری پوشش بر خواص مکانیکی زیر لایه پلی لاکتیک اسید (PLA) تأثیرگذار می‌باشد یا خیر؟

جدول ۴- ارتباط بین تراوایی، ضریب تراوایی و ضخامت

نمونه	پلی لاکتیک اسید/نانو کلی (درصد)	ضخامت فیلم (mm)	تراوایی اکسیژن	ضریب تراوایی اکسیژن	تراوایی آب	ضریب تراوایی آب
PLA/NC-0 <sup>1</sup>	۰	۰/۰۳۸	۱۵۸۶	۶۰/۱۱	۷۳/۸	۲/۸
PLA/NC-1	۱	۰/۰۴۲	۱۳۲۳	۵۵/۵۶	۵۹	۲/۴۷
PLA/NC-3	۳	۰/۰۵۷	۱۰۵۷	۶۰/۲۴	۴۵/۹	۲/۶۱
PLA/NC-5	۵	۰/۰۶۲	۱۱۳۱	۷۰/۱۲	۴۵	۲/۷۹

۱- پلی لاکتیک اسید/ نانو کلی

در حالت آمیزه پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید (PP/PLA) (نسبت 50:50) تراوایی اکسیژن و تراوایی بخار آب پایین‌تر از بقیه فرمولاسیون<sup>۱</sup> آمیزه این دو پلیمر پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید (PP/PLA) می‌باشد.

این نتایج احتمالاً به دلیل ساختار پخش‌شدگی مناسب آمیزه پلیمری پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید (PP/PLA) با نسبت 50:50 می‌باشد. در سامانه امتزاج ناپذیر، پخش شدن مناسب می‌تواند خواص عبوردهی بهتری را توسط افزایش طول مسیر مربوط به عبوردهی ارائه کند که باعث پراکندگی آن ماده در طول آمیزه می‌شود و مسیر عبور این ماده با کاهش گرادیان<sup>۲</sup> غلظت نفوذ پذیری طولانی‌تر شده که این باعث کاهش عبوردهی در آن ماده می‌شود [۱۳]. بدین ترتیب می‌توان از این روش برای کاهش عبور بخار در پلی لاکتیک اسید (PLA) استفاده کرد.

#### ۳-۳- خواص عبوردهی نانو کامپوزیت‌های پلی لاکتیک اسید (PLA) / سیلیکات

لایه‌های سیلیکات در نانو کامپوزیت‌های پلی لاکتیک اسید (PLA) مسیری پر پیچ و خم را تشکیل می‌دهند که مولکول‌های آب و اکسیژن، آن مسیر را به منظور عبور از فیلم طی می‌کنند. تئوری مسیر پر پیچ و خم بر اساس این فرضیه است که مولکول باید مسیر پیچیده‌تری را در هنگامی که لایه‌های سیلیکات درون شبکه پلیمر پراکنده هستند، طی کند [۱۵].

1- Formulation  
2- Gradient



جدول ۵- مدول یانگ، حداکثر فشار در نقطه شکست و حداکثر افزایش طول برای فیلم‌های PLA دارای پوشش و

بدون پوشش

نمونه	مدول یانگ (GPa)	تنش در نقطه شکست (MPa)	حداکثر افزایش طول (%)
PEO	3,42 ± 0,03	65,9 ± 2,2	2,2 ± 0,2
PEO	3,89 ± 0,05	75,6 ± 2,1	2,0 ± 0,6
PCL	3,56 ± 0,03	73,1 ± 1,5	3,2 ± 0,1
PCL	3,58 ± 0,04	95,8 ± 2,8	2,7 ± 0,1
PLA	3,36 ± 0,07	88,5 ± 2,1	2,7 ± 0,1
PLA	3,12 ± 0,28	77,1 ± 5,3	2,9 ± 0,3
PLA	3,36 ± 0,70	91,6 ± 1,9	2,5 ± 0,1
PLA	3,36 ± 0,26	73,7 ± 1,6	2,8 ± 0,4
زیرلایه PLA	3,48 ± 0,28	70,8 ± 1,4	3,0 ± 0,2

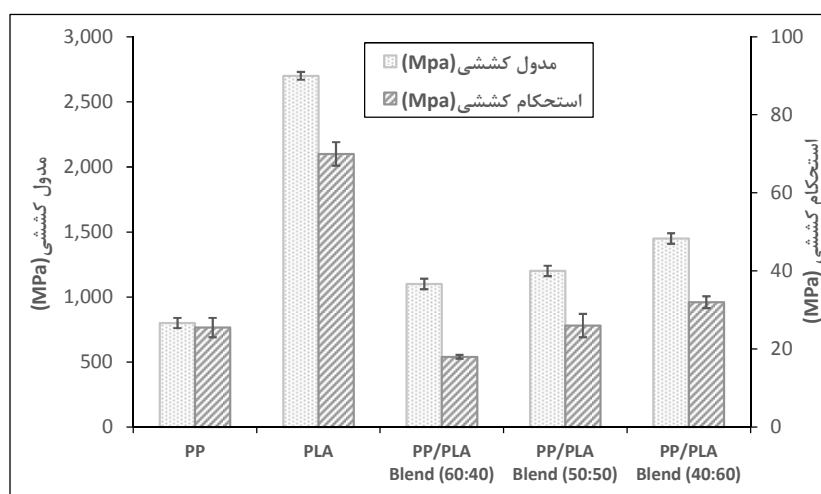
تبخیر بالای حلال آن‌ها می‌باشد. نکته حائز اهمیت در این مطالعات، آن است که خواص مکانیکی پلی‌لاکتیک اسید (PLA) در مقایسه با پلاستیک‌های معمول بر پایه نفت کاربرد گسترده‌تر این مواد را نشان می‌دهد [۱۲]

#### ۴-۲- خواص مکانیکی آمیزه‌های پلیمری فیلم

##### پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید (PP/PLA)

در (شکل ۳) تأثیر محتوای پلی لاکتیک اسید (PLA) بر روی مدول یانگ و استحکام کششی نشان داده شده است.

به این منظور نمونه‌های بدون پوشش پلی لاکتیک اسید (PLA) نیز به عنوان مواد مرجع مورد سنجش قرار گرفتند. مدول یانگ، تنش در شکست و حداکثر افزایش طول نمونه‌های مختلف اندازه‌گیری شد که در (جدول ۵) گزارش شده است. همانطور که از داده‌های آزمایش مکانیکی مشهود است هیچ گونه تغییر بنیادی در رفتار مکانیکی زیر لایه پلی لاکتیک اسید (PLA) که نشأت گرفته از رسوب پوشش باشد، مشاهده نشد، که بدین معنی است که تماس با حلال‌های محلول پوشش‌گذاری هیبریدی هیچ گونه شکنندگی به زیر لایه القا نمی‌کند که احتمالاً به دلیل سرعت



شکل ۳- مدول و استحکام کششی پلی پروپیلن، پلی لاکتیک اسید و نسبت اختلاف مخلوط پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید

فیلم آمیزه پلیمری، درصد افزایش طول در نقطه شکست کاهش می‌یابد که منجر به تغییر حالت از منعطف به شکننده می‌شود که این تغییر حالت مربوط به این است که پلی لاکتیک اسید (PLA) درصد افزایش کمی نسبت به پلی پروپیلن (PP) دارد و انطباق بین پلی پروپیلن (PP) و پلی لاکتیک اسید (PLA) بسیار پایین است. در نتیجه فازهای پلی پروپیلن (PP) در آمیزه‌های پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید (PP/PLA) کشش قابل توجهی در مقایسه با پلیمرهای خالص ندارد که این امر منجر به تقلیل افزایش طول در نقطه شکست می‌شود [۳۱ و ۳۲].

### ۵- خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های پلی لاکتیک اسید (PLA) / سیلیکات

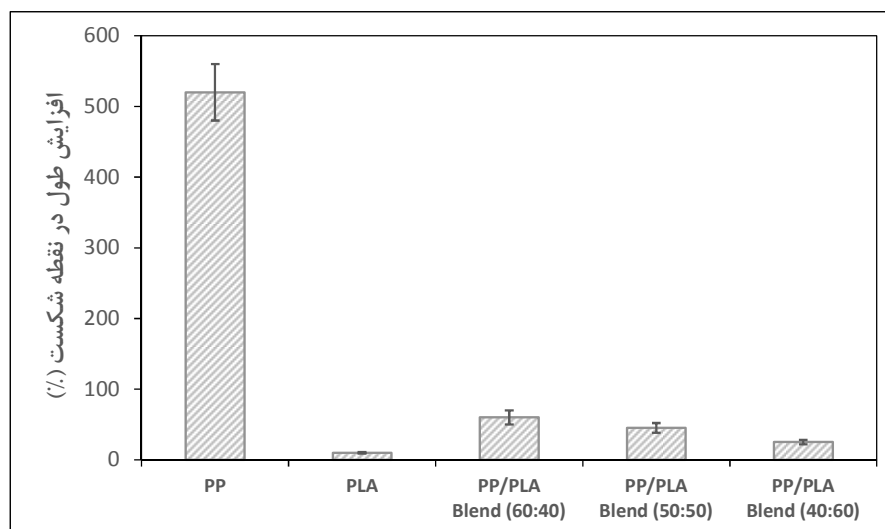
در این قسمت از مطالعه فیلم متورم پلی لاکتیک اسید (PLA) و فیلم متورم دیگری به نام<sup>۱</sup> (LLDPE) (بر پایه کوپلیمری از اکتان<sup>۲</sup>) به منظور مقایسه تهیه شدند. استحکام کششی و مدول کششی افزایش طول در نقطه شکست، اندازه‌گیری و برای نمونه در راستای جهت دستگاه و نمودار آن نسبت به محتوای نانو کلی ترسیم شد (شکل ۵).

در شکل مذکور روند افزایشی مدول یانگ با افزایش محتوای پلی لاکتیک اسید (PLA) نیز قابل مشاهده است. به طور کلی، استحکام کششی می‌تواند با مشارکت پلی لاکتیک اسید (PLA) در شبکه پلی پروپیلن (PP) نیز ارتقا یابد [۱۷].

یعنی با اضافه کردن پلی لاکتیک اسید (PLA) به پلی پروپیلن (PP)، خواص کششی آن بهبود قابل ملاحظه‌ای از خود نشان داد. کاهش استحکام کششی آمیزه‌ها در مقایسه با پلیمرهای خالص می‌تواند به دلیل عدم تطابق بین پلی پروپیلن (PP) غیرقطبی و پلی لاکتیک اسید (PLA) قطبی باشد.

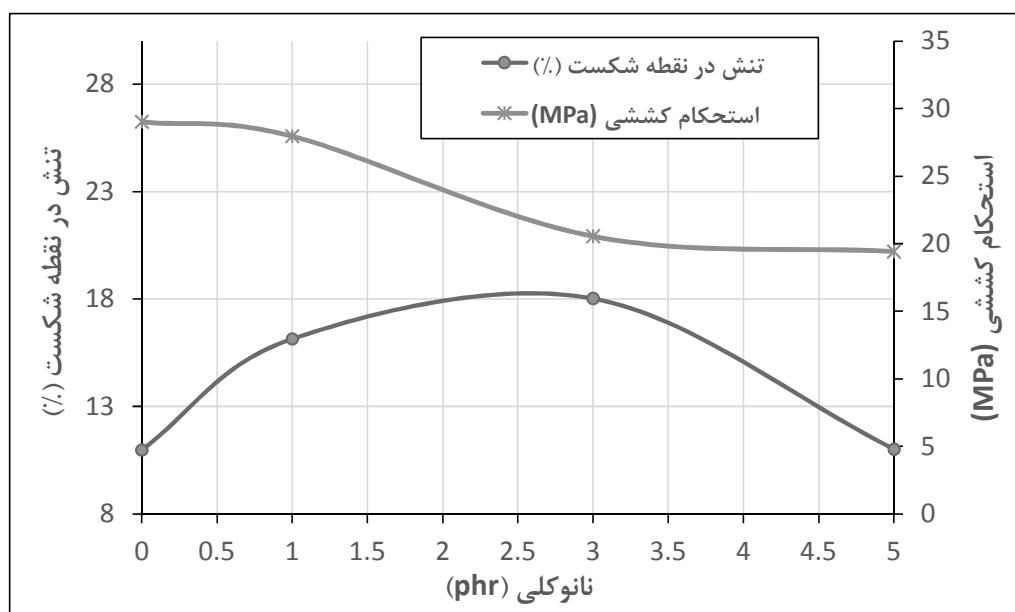
آمیزه پلیمری غیرقابل انطباق منجر به مرزهای مشخص بین دو فاز پلیمری می‌شود، که به تبع آن فشار اعمال شده نمی‌تواند به صورت مؤثری از میان سطح بین اجزا مخلوط شده منتقل گردد [۱۸ و ۳۰].

یافته‌های حاصل که نشان‌دهنده استحکام کمتر کششی آمیزه‌ها نسبت به پلیمرهای خالص است، می‌تواند در آمیزه‌های پلیمری امتزاج ناپذیر نیز مشاهده شود. با توجه به (شکل ۴)، با افزایش محتوای پلی لاکتیک اسید (PLA) در



شکل ۴- افزایش طول در نقطه شکست پلی پروپیلن، پلی لاکتیک اسید و نسبت اختلاف مخلوط پلی پروپیلن / پلی لاکتیک اسید

1- Linear Low Density Polyethylene  
2- Octene Copolymer



شکل ۵- خواص مکانیکی نانو کامپوزیت‌های PLA [۳۳]

افزایش در محتوای کلی منجر به کاهش استحکام کششی و مدول کششی با روندی یکنواخت می‌گردد. افزایش طول در این مطالعه تا مقدار بهینه‌ای افزایش یافت که این امر می‌تواند به دلیل چرخش صفحات نانو کلی در طول دستگاه و جهت‌های عمود بر آن باشد [۳۳].

### ۶- نتیجه‌گیری

به عنوان نتیجه در این مطالعه روش‌های متفاوتی برای اصلاح پلی لاکتیک اسید (PLA) و آماده‌سازی آن جهت بسته‌بندی محصولات صورت پذیرفت و خواص عبوردهی و مکانیکی آن‌ها نیز بررسی شد. در روش پوشش هیبریدی آلی / معدنی فیلم‌های پلی لاکتیک اسید (PLA) با استفاده از این پوشش‌ها می‌توانند با موفقیت ارتقا داده شوند و فاز معدنی بر پایه سیلیکا و فاز آلی بر پایه پلی اتیلن اکساید (PEO)، پلی کاپرولاکتون (PCL) و پلی لاکتیک اسید (PLA)، چسبندگی مناسبی را به سمت زیر لایه از خود نشان دادند و می‌توانند برای القای عملکردهای جدید فیلم‌های پلی لاکتیک اسید (PLA) در

شکل (۵)، فیلم متورم پلی لاکتیک اسید (PLA) استحکام کششی و مدول کششی (به ترتیب ۲۸ و ۱۳۱۰ مگاپاسکال) بیشتری نسبت به مقادیر مربوط به فیلم (LLDPE) (به ترتیب ۱۶ و ۸۰ مگاپاسکال) از خود نشان داده‌اند، ولی کرنش در نقطه شکست برای فیلم پلی لاکتیک اسید (PLA) (۱۱٪) نسبت به فیلم (LLDPE) (۵۰٪) بسیار کمتر می‌باشد.

در (جدول ۶) نشان داده شده که مشارکت نانو کلی در شبکه پلی لاکتیک اسید (PLA) باعث افزایش مدول در محتوای کلی می‌شود.

جدول ۶: خواص مکانیکی نانو کامپوزیت‌های (PLA)

نمونه	مدول کششی (MPa)	استحکام کششی (MPa)	افزایش طول (%)
PLA/NC-0	1310 ± 100	28.65 ± 0.5	11.66 ± 1.0
PLA/NC-1	1468 ± 80	28.09 ± 1.0	16.30 ± 0.5
PLA/NC-3	1061 ± 40	20.37 ± 1.1	17.98 ± 0.3
PLA/NC-5	884 ± 60	19.52 ± 1.0	10.98 ± 1.0

1- Megapascal

مقایسه با فیلم‌های پلی لاکتیک اسید (PLA) اولیه را نشان دادند.

بسته‌بندی هوشمند نیز بکار گرفته شوند و این نوع پوشش‌ها می‌توانند برای بهبود خواص عبوردهی مناسب باشند.

در روش دیگر، آمیزه‌های پلیمری پلی‌پروپیلن /

پلی لاکتیک اسید (PP/PLA) که با مالئیک انیدرید منطبق شده‌اند توسط روش مخلوط کردن با ذوب و شکل‌دهی فیلمی ریخته‌گری تهیه شدند. افزایش محتوای پلی لاکتیک اسید (PLA) باعث کاهش قابلیت کریستالیزه شدن فیلم‌های آمیزه پلیمری، افزایش خواص کششی مدول و استحکام کششی و باعث کم شدن افزایش طول در نقطه شکست می‌شود. نتایج جالب توجهی که از تراوایی بخار آب به دست آمده، نشان داده است که پلی لاکتیک اسید (PLA) می‌تواند تراوایی بخار آب را در فیلم‌های آمیزه پلیمری بهبود بخشد و همچنین خاصیت تجزیه‌پذیری بیولوژیکی پلی‌پروپیلن با مشارکت پلی لاکتیک اسید (PLA) بهبود می‌یابد. با توجه به ریخت‌شناسی نتایج عبوردهی، مکانیکی و حرارتی در آمیزه پلی‌پروپیلن / پلی لاکتیک اسید (PP/PLA) رفتار مشخصی از مخلوط پلیمرهای غیر قابل امتزاج از خود نشان می‌دهد. آمیزه پلیمری پلی‌پروپیلن / پلی لاکتیک اسید (PP/PLA) به نسبت ۵۰:۵۰ می‌تواند در صنایع دارویی و غیر دارویی بکار رود. فیلم آمیزه پلیمرها به عنوان یک مانع عمل می‌کند که رشد باکتریایی و میکروارگانیس‌ها<sup>۱</sup> را محدود کرده و می‌تواند در صنایع فعال در زمینه‌هایی از قبیل محیط‌های ایزوله شده بیمارستان‌ها، سامانه‌های درمانی و حفاظت آنتی‌میکروبی به کار گرفته شود.

در روش تهیه فیلم متورم پلی لاکتیک اسید (PLA) و نانو کلی توسط مخلوط‌سازی در حالت ذوب، نتایج حاصل از ارزیابی خواص مکانیکی و عبوردهی مورد بررسی قرار گرفت. خواص مکانیکی اندازه‌گیری شده حاکی از این مطلب است که با افزایش نانو کلی‌ها به میزان ۱ درصد مدول کششی و درصد افزایش طول شکست ارتقا و بهبود می‌یابد. همچنین فیلم‌های نانوکامپوزیت پلی لاکتیک اسید (PLA) با ۳ درصد از نانوکلی حدود ۳۳٪ بهبود در خواص عبوردهی اکسیژن و ۳۷٪ بهبود در خواص عبوردهی بخار آب در

## ۷- منابع

1. Guilbert S, "New Packaging Materials Based on Renewable Resources: Properties, Applications, and Prospects ", Food Engineering Interfaces, Food Engineering Series, Springer Science-Business Media, LLC 2011, DOI 10.1007/978-1-4419-7475-4\_26.
2. Witzke DR (1997) "Introduction to properties, Engineering, and prospects of polylactide polymers." Ph.D. Thesis, Michigan State University.
3. Grijpma DW (1993). "High impact strength poly(lactide): tough biodegradable materials." Ph.D. Thesis, Rijksuniversiteit Groningen
4. Soderga<sup>rd</sup> A (1998) "In: Pandalai SG (ed) Recent Res. Devel. in polymer science. Research Signpost," Trivandrum, pp 263–275.
5. Lemeier HJ et al (2001) J Memb Sci 190:243–251.
6. Haugaard VK et al (2003) Eur Food Res Technol 216:233–240.
7. Haugaard VK et al (2002) Eur Food Res Technol 214:423–428.
8. Frederiksen CS et al (2003) Eur Food Res Technol 217:61–69.
9. Holm VK, Mortensen G (2004) "In: Sonneveld K (ed) 14th IAPRI world conference on packaging," STFI/Packforsk, Stockholm, pp 376-379.
10. Holm VK et al (2006) Food Chem 97:401–410.
11. Tuil RV et al (2000) "In: Weber CJ (ed) Biobased packaging materials for the food industry—status and perspectives." KVL Copenhagen, pp 27–32.
12. Marco Iotti In: /Organic–Inorganic Hybrid Coatings for the Modification of Barrier Properties of Poly(lactic acid) Films for Food

## 1- Microorganisms

- succinate) and the compatibilizing effect on poly(butylene succinate) nanocomposites. eXPRESS Polymer Letters 2013;7:340-54.
22. Harnnecker F, Rosa D. dos Santos, Lenz DM. Biodegradable polyester-based blend reinforced with Curaua' fiber: thermal, mechanical and biodegradation behaviour. J Polym Environ 2012;20:237-44.
  23. Kim YF, Choi CN, Kim YD, Lee KY, Lee MS. (2004). **"Compatibilization of immiscible poly(l-lactide) and low density polyethylene blends."** Fibers and Polymers;5:270-4.
  24. Lorenzo MLD. (2003). **"Spherulite growth rates in binary polymer blends."** Prog. Polym. Sci.28:663-89.
  25. Groeninckx G, Vanneste M, Everaert V. Chapter 3 crystallization, (2002). **"Morphological structure, and melting of polymer blends. In: Utracki LA editor."** Polymer blends handbook, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p. 1-122.
  26. Al-Rawajfeh AE, Al-Salah HA, Al-Rhael I. (2006). **"Miscibility, crystallinity and morphology of polymer blends of polyamide-6/poly (hydroxybutyrate)."** Jordan Journal of Chemistry;1:155-70.
  27. Zhou S, Chen Y, Zou H, Liang M. Thermally conductive composites obtained by flake graphite filling immiscible polyamide/polycarbonate blends. Thermochimica Acta 2013;566:84-91.
  28. Abdelwahab MA, Flynn A, Chiou BS, Imam S, Orts W, Chiellini E. Thermal, (2012). **"Mechanical and morphological characterization of plasticized PLA-PHB blends."** Polymer Degradation and Stability;97:1822-8.
  - Packaging Applications/ DOI 10.1007/s10924-009-0120-4 / J Polym Environ (2009) 17:10-19.
  13. Nalin Ployetcharaa, Blend of polypropylene/poly(lactic acid) for medical packaging application: physicochemical, thermal, mechanical and barrier properties, 11th Eco-Energy and Materials Science and Engineering (11th EMSES)- Energy Procedia 56 (2014) 201 – 210.
  14. Satpal Singh1, Poly (L-LACTIC ACID)/LAYERED Silicate Nanocomposite Blown Film for Packaging Application: Thermal, Mechanical and Barrier Properties.
  15. Bharadwaj RK., Macromolecules 2001;34:9189.
  16. ASTM D882-00 (1997) Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting.
  17. Bijarimi M, Ahmad S, Rasid R. Mechanical, thermal and morphological properties of PLA/PP melt blends. International Conference on Agriculture, Chemical and Environmental Sciences (ICACES) 2012;Oct. 6-7.
  18. Choudhary P, Mohanty S, Nayak SK, Unnikrishnan L. Poly(L-lactide)/polypropylene blends: evaluation of mechanical, thermal, and morphological characteristics. Journal of Applied Polymer Science 2011;121:3223-37.
  19. Kusmono, Mohd Ishak ZA, Chow WS, Takeichi T, Rochmadi. Influence of SEBS-g-MA on morphology, mechanical, and thermal properties of PA6/PP /organoclay nanocomposites. European Polymer Journal 2008;44:1023-39.
  20. Sherman Hsu C.-P. Chapter 15 infrared spectroscopy. In: Settle FA, editor. Handbook of instrumental techniques for analytical chemistry United States of America: Prentice Hall PTR; 1997, p. 247-83.
  21. Phua YJ, Chow WS, Mohd Ishak ZA. Reactive processing of maleic anhydride-grafted poly(butylene

29. Bijarimi M, Ahmad S, Rasid R. (2012). "**Mechanical, Thermal and morphological properties of PLA/PP melt blends.**" International Conference on Agriculture, Chemical and Environmental Sciences (ICACES); Oct. 6-7.
30. Yao M, Deng H, Mai F, Wang K, Zhang Q, Chen F, Fu Q. (2011). "**Modification of poly(lactic acid)/ poly(propylene carbonate) blends through melt compounding with maleic anhydride.**" eXPRESS Polymer Letters; 5:937-49.
31. Reddy N, Nama D, Yang Y. (2008). "**Poly(lactic acid)/ polypropylene polyblend fibers for better resistance to degradation.**" Polymer Degradation and Stability; 93:233-41.
32. Raj B, Annadurai V, Somashekar, Raj M, Siddaramaiah. (2001). "**Structure-property relation in low-density polyethylene-starch immiscible blends.**" European Polymer Journal; 37:943-8.
33. Lin H, Freeman BD (2004) J Memb Sci 239:105–117.
34. Sinha Ray S, Bousmina M (2005) Prog Mater Sci 50:962–1079
35. NatureWorkBiopolymers technical data sheet (2007).

#### آدرس نویسنده

استان البرز - کرج - شهر صنعتی - میدان استاندارد  
- سازمان ملی استاندارد ایران - پژوهشگاه  
استاندارد - پژوهشکده شیمی و پتروشیمی -  
صندوق پستی ۱۳۹-۳۱۷۴۵.