



تهیه کوپلیمر استیرن - مالتیک انیدرید استری شده و بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی آمیخته‌های آن با پلی اتیلن خطی سبک

محمد علی سمسارزاده*، حجت ماهی حسن آبادی

تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پلیمر، صندوق پستی ۱۴۱۱۵/۱۴۳

دریافت: ۸۶/۴/۳، پذیرش: ۸۶/۱۲/۱۵

چکیده

در این پژوهش خواص فیزیکی و مکانیکی، آمیخته پلی اتیلن خطی سبک (LLDPE) با کوپلیمر استیرن - مالتیک انیدرید استری شده (ESMA) بررسی شد. کوپلیمر استیرن - مالتیک انیدرید (SMA) با واکنش رسوبی تولید شد. سپس، کوپلیمر تولید شده به کمک ۱- دکانول در حلال متیل اتیل کتون استری شد. در طیف FTIR نمونه استری شده پیوندهای مربوط به گروه‌های انیدرید از بین رفته و در عوض پیوندهای مربوط به گروه‌های استری و اسیدی مشخص شده‌اند. رفتار گرمایی دو نمونه به کمک DSC و TGA بررسی شد. برای SMA تک پیک در دمای ۱۴۳°C مشاهده شد. اما، برای ESMA پیک پهنی ظاهر شد که نشان گر رفتار گرمایی متفاوت دو نمونه است. نمودار TGA دو نمونه نشان می‌دهد که ESMA در دو مرحله تخریب می‌شود، در حالی که ESMA در یک مرحله تخریب شد. LLDPE با درصدهای مختلفی از ESMA در مخلوط‌کن داخلی آمیخته شد. با دستگاه قالب‌گیری فشاری از نمونه‌ها فیلم تهیه گردید. با افزایش مقدار ESMA در آمیخته‌ها مدول نمونه‌ها افزایش پیدا کرد، در حالی که مقدار کشش تا شکست و استحکام کششی کاهش یافت. نتایج آزمون‌های اندازه‌گیری زاویه تماس و قرار دادن نمونه‌ها در محلول بافر (pH=8) نشان دادند که با افزایش مقدار ESMA در آمیخته‌ها آب دوستی و انحلال‌پذیری آمیخته‌ها افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی

خواص گرمایی،
استیرن مالتیک انیدرید استری شده،
پلی اتیلن،
خواص مکانیکی، آمیخته

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

semsarzadeh@modares.ac.ir

Preparation of Esterified Styrene-maleic Anhydride Copolymer and Investigation of Physical and Mechanical Properties of Its Blends with LLDPE

M.A. Semsarzadeh* and H. Mahi Hassanabadi

Polymer Engineering Group, Faculty of Engineering, Tarbiat Modarres University,

P.O. Box: 14115/143, Tehran, Iran

Received 24 June 2007; accepted 5 March 2008

Abstract

Linear low density polyethylene (LLDPE) was blended with esterified styrene-maleic anhydride (ESMA) and its physical and mechanical properties were studied. Styrene-maleic anhydride (SMA) copolymer was synthesized by precipitation reaction. Then, SMA was esterified by 1-decanol in methylethyl ketone solvent. From the FTIR spectrum of ESMA it is evident that the corresponding peaks of anhydride groups have disappeared and on the other hand, the acidic and ester groups are observed. Thermal behavior of SMA and ESMA was studied by DSC and TGA. In DSC micrograph, a single peak at 143°C was observed for SMA, while for ESMA a broad peak appeared, showing the different thermal characteristics of two samples. TGA micrograph showed that SMA was degraded in one stage, while, two stages of weight loss were observed for ESMA. LLDPE was blended with different amounts of ESMA in an internal mixer. Films of various blends were produced by pressure molding. Tensile modulus of the blends shows improvements by increasing the ESMA fractions of the system. On the other hand the tensile strength and elongation-at-break for various blends decreased with increasing ESMA content. Contact angle measurement and incubation in a buffer solution (pH=8) showed that hydrophilicity and water solubility were increased along with ESMA content of the blends.

Key Words

thermal properties,
sterified styren-maleic anhydride,
polyethylene,
mechanical properties, blend

(* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: semsarzadeh@modares.ac.ir

مقدمه

پلی اتیلن‌ها پرمصرف‌ترین پلیمرها در جهان هستند. این مواد به دلیل خواص و قیمت مناسب در صنایع مختلفی از جمله صنایع بسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. اما به دلیل خواص سطحی نامناسب در کاربردهایی نظیر چاپ، چسب و مواد تخریب‌پذیر استفاده نمی‌شوند [۲]. کارهای بسیار زیادی نظیر اصلاح با شعله و هاله، پرتودهی، پلاسما و پیوندزنی برای اصلاح خواص پلی اتیلن انجام گرفته است [۳]. آمیخته‌سازی پلی اتیلن با ماده‌ای اصلاح‌کننده به دلیل آسانی و ارزانی فرایند، به ویژه از نظر صنعتی روشی جالب توجه است. اما، برای اصلاح‌کننده‌های کوچک مولکول احتمال خروج این مواد از سامانه پلیمری وجود دارد. یکی از اصلاح‌کننده‌هایی که امروزه برای تخریب‌پذیری پلی اتیلن به کار برده می‌شود، نشاسته است [۴، ۵]. اما، برای نشاسته مشخص شده است که وقتی مقدار آن در سامانه افزایش می‌یابد، خواص مکانیکی به مقدار بسیار زیادی افت می‌کند [۶]. بنابراین برای بهبود خواص پلی اتیلن، انتخاب اصلاح‌کننده‌ای مناسب امری حیاتی است. به طور کلی، افزودنی مناسب باید ضمن بهبود خواص سطحی روی خواص مکانیکی اثر منفی قابل ملاحظه‌ای نداشته باشد. کولپمر استیرن - مالئیک انیدرید (SMA) کولپمری پرمصرف در صنایع مختلف است [۷]. اکثر کولپمرهای SMA که کمتر از ۲۵ درصد مالئیک انیدرید دارند، به عنوان افزودنی برای بهبود خواص مواد استیرنی به کار برده می‌شوند. کولپمرهایی که درصد بیشتری جزء انیدرید دارند، برای سایر کاربردها نظیر صنایع پوشش دهی و محملی به کار برده می‌شوند. به دلیل وجود گروه‌های آروماتیک و انیدریدی، ساختار مولکولی SMA به راحتی قابلیت اصلاح شدن دارد. آب‌دوستی و آب‌گریزی این کولپمر به راحتی با تغییر نسبت انیدرید به استیرن تغییر می‌کند. با توجه به ساختار مولکولی، این کولپمر می‌تواند خواص سطحی پلی اتیلن را بهبود بخشد. کولپمرهای SMA و مشتقات آن به دلیل داشتن خواص چسبندگی مناسب، گسترده‌گی شیمیایی و فراورش آسان، افزودنی‌های مناسبی برای بهبود خواص پلی اتیلن‌ها هستند. همچنین، با توجه به این که این کولپمر گرمانرم است، انتظار می‌رود، افت خواص مهندسی پلی اتیلن بعد از آمیخته‌کاری با این کولپمرها در مقایسه با آمیخته‌های پلی اتیلن - نشاسته که جزء نشاسته یک پرکننده سخت است، کمتر باشد. با توجه به این که در ساختار SMA پیوندهای هیدروژنی وجود دارند، سازگاری پلی اتیلن با این کولپمرها کم است. برای افزایش سازگاری پلی اتیلن با SMA، می‌توان این کولپمر را با الکلی بلندزنجیر استری کرد [۸]. در این کار، کولپمر SMA تولید شد. سپس، با الکلی بلند زنجیر استری و خواص آنها با هم مقایسه شد. در

ادامه آمیخته‌سازی این کولپمر با LLDPE مورد بررسی قرار گرفت.

تجربی

مواد

در این پژوهش از LLDPE (MFI=۲g/۱۰min و $T_b=۱۲۶^\circ\text{C}$) محصول پتروشیمی تبریز به عنوان رزین، استیرن، مالئیک انیدرید، پترولیوم اتر ($T_b=۵۰^\circ\text{C}$)، ۱-دکانول، زایلن، متیل اتیل کتون و بنزوئیل پروکسید تهیه شده از شرکت Bayer استفاده شد.

دستگاه‌ها

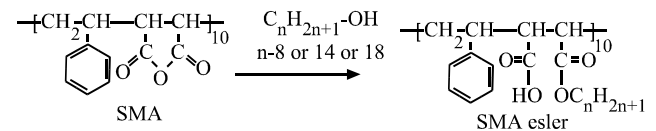
از یک ظرف شیشه‌ای سه دهانه مجهز به چگالی، دماسنج و هم‌زن مغناطیسی به عنوان ظرف واکنش استفاده شد. طیف سنج FTIR مدل TGA، PLT107، DSC، FYIR BIO ROAD FTS-۷، TLSTA 1500 و برای آمیخته‌سازی LLDPE و SMA، مخلوط‌کن داخلی (برابندر) ساخت آلمان به کار گرفته شد. برای آزمون‌های مکانیکی از دستگاه Instron بر اساس آزمون استاندارد ASTM D638 [۹] و از دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس مدل G10 استفاده شد.

روش‌ها

تهیه و استری کردن کولپمر SMA

این کولپمر با واکنش رادیکالی بین استیرن ($r_1 = ۰/۰۸۱$) و مالئیک انیدرید ($r_2 = ۰/۰۷۴$) با نسبت ۱:۱M در مجاورت بنزوئیل پروکسید (BPO) به عنوان شروع‌کننده و زایلن به عنوان حلال در دمای ۸۰°C تولید می‌شود. واکنش در شرایط هم‌زدن پیوسته و جو نیتروژن انجام گرفت. مخلوط شروع‌کننده و مونومرها به آرامی وارد راکتور شدند و سپس دما به ۸۰°C افزایش یافت. برای اطمینان از تکمیل شدن واکنش، به مدت ۳h واکنش در شرایط هم‌زدن قرار گرفت. مقدار مواد مورد استفاده شامل ۵/۵g استیرن، ۴/۷g مالئیک انیدرید، ۱۰۰mL حلال و ۱ درصد وزنی بنزوئیل پروکسید. طی واکنش ذرات SMA به شکل ذرات سفیدرنگی در ته ظرف واکنش رسوب می‌کنند. پس از جداسازی پلیمر تولید شده، در محلول پترولیوم اتر شست و شو داده شد. سپس، در دمای محیط خشک شد. برای بهبود سازگاری SMA با LLDPE، با استفاده از الکلی بلند زنجیر SMA استری شد. واکنش استری شدن SMA (۵g)، که در طرح ۱ نشان داده شده است، با استفاده از ۱-دکانول (۳/۹g) در مجاورت متیل اتیل کتون (MEK) (۱۰۰mL) به عنوان حلال و در شرایط هم‌زدن پیوسته انجام شد. SMA استری شده (ESMA) با تقطیر MEK جداسازی و سپس به وسیله پترولیوم اتر شست و شو داده شد.

نظر گرفته شده، می‌توان با اطمینان گفت پلیمر تولیدی کوپلیمری جانشینی است. طیف‌های FTIR برای SMA و ESMA در شکل ۱ نشان داده شده است. پیک‌های ظاهر شده در محدوده‌های ۱۸۵۶ و 1778 cm^{-1} پیک‌های مشخصه SMA است که مربوط به جذب کربونیل گروه‌های انیدریدی در حلقه‌های پنج تایی است. پیک 1224 cm^{-1} مربوط به گروه‌های C-O-C در انیدرید حلقوی و پیک‌های پهن ظاهر شده در محدوده 3000 cm^{-1} مربوط به گروه‌های -OH است که نشان‌دهنده آب کافت احتمالی مقداری از SMA است. ظهور پیک کوچکی در 1730 cm^{-1} که نشان‌گر گروه کربونیل در کربوکسیلیک اسید است، این ایده را تقویت می‌کند. در طیف FTIR برای ESMA پیک‌های قوی در نواحی ۲۹۲۵ و 2855 cm^{-1} ظاهر شده‌اند که دلیل وجود گروه‌های (CH_2) در الکل‌های آلیفاتیک پیوند خورده و تشکیل COOH است. همچنین، کاهش شدت پیک‌ها در ۱۷۷۸ و 1855 cm^{-1} استری شدن SMA را نشان می‌دهند. به علاوه پیک ظاهر شده در 1731 cm^{-1}



طرح ۱ - واکنش استری شدن استیرن - مالئیک انیدرید.

رفتار گرمایی

برای بررسی رفتار گرمایی، قبل از آزمون نمونه‌ها برای مدت ۴۸ h در شرایط یکسان قرار گرفتند (در آزمایشگاه و در گرم‌خانه خلاء). سرعت افزایش دما $10^\circ\text{C}/\text{min}$ بود.

آمیخته‌سازی و خواص آمیخته‌ها

LLDPE با درصدهای وزنی مختلفی از ESMA (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) در مخلوط‌کن داخلی در دمای 170°C با سرعت ۵۰ rpm به مدت ۱۲ min آمیخته شد. با استفاده از دستگاه قالب‌گیر فشاری در دمای 170°C از نمونه‌ها ورق تولید شد. آزمون‌های مکانیکی طبق استاندارد ASTM D 638 انجام شد. نمونه‌ها برای آزمون تنش - کرنش با سرعت کششی $50\text{ mm}/\text{min}$ کشیده شدند، برای هر نمونه سه مرتبه این آزمون انجام گرفت و مقدار میانگین هر داده محاسبه شد.

آزمون تخریب در محلول بافر

برای ساخت محلول بافر با pH برابر با ۸ از سیتریک اسید و سدیم فسفات استفاده شد. نمونه‌های دمبلی شکل از فیلم‌های آمیخته‌ها آماده و درون محلول قرار گرفتند. تمام محلول‌ها درون گرم‌خانه خلاء گذاشته شدند. نمونه‌ها به شکل دوره‌ای وزن شدند و مقدار تغییرات وزن (درصد) طبق معادله (۱) محاسبه شد:

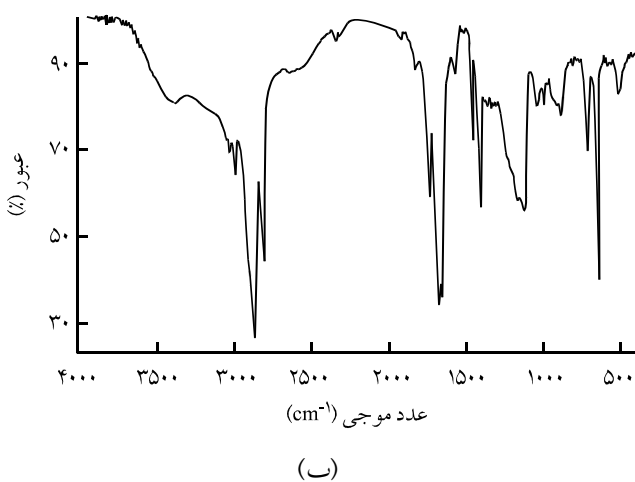
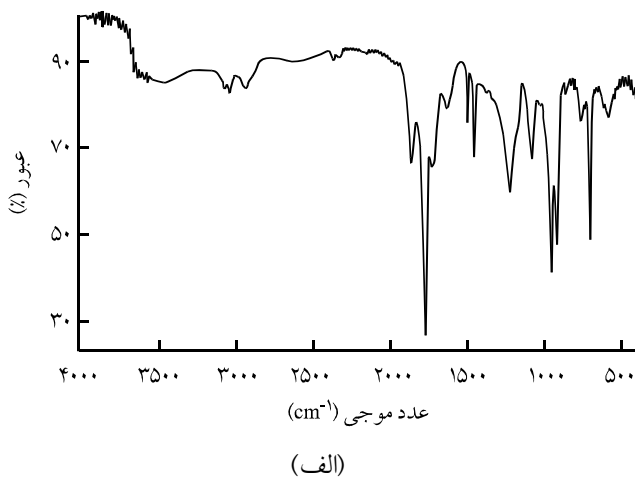
$$\%Mt = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad (1)$$

که در آن Mt درصد تغییرات وزن، W_w و W_d به ترتیب وزن نمونه‌ها قبل و بعد از قرار گرفتن در محلول است. این کار براساس استاندارد ASTM D570 انجام داده شد.

نتایج و بحث

شناسایی

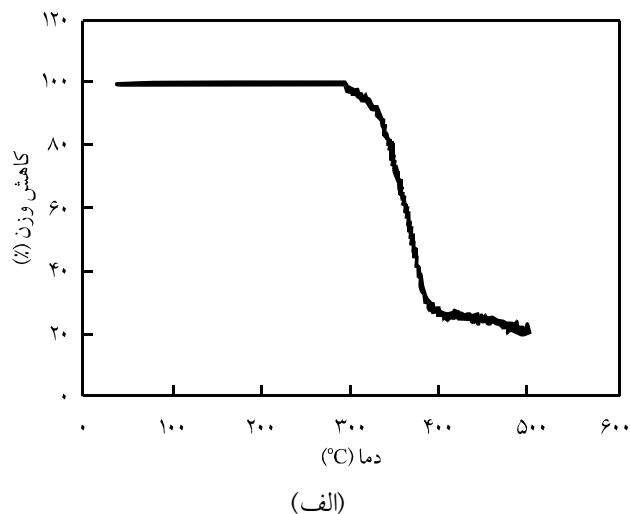
با توجه به نسبت‌های استوکیومتری گزارش شده برای واکنش بین استیرن ($r=0/08$) با مالئیک انیدرید ($r=0/07$) [۱۰] و ترکیب واکنشی در



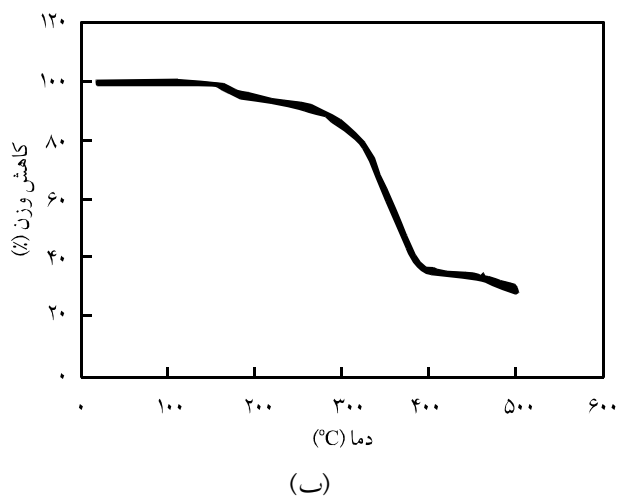
شکل ۱ - طیف FTIR: (الف) SMA و (ب) ESMA.

آمیخته سازی و خواص مکانیکی

نمودار گشتاور و دما بر حسب زمان برای آمیخته حاوی ۳۰ درصد ESMA در شکل ۴ نشان داده شده است همان طور که مشاهده می شود، بعد از ورود مواد به هم زن، گشتاور به طور ناگهانی افزایش یافته است همراه با فرایند هم زدن گشتاور کاهش می یابد و در نهایت بعد از گذشت تقریباً ۱۰ min از زمان ورود مواد به هم زن حالتی یکنواخت برای آمیخته پیدا شده است که نشان می دهد آمیخته از این زمان کاملاً همگن شده است. در جدول ۱ خواص مکانیکی پلی اتیلن و آمیخته های آن با درصد های مختلف ESMA آورده شده است. همان طور که مشهود است، با افزایش مقدار ESMA در آمیخته ها مدول افزایش یافته است. از آنجا که ESMA در مقایسه با LLDPE شکننده تر است و دمای ذوب بالاتری نیز دارد، این امر طبیعی است. هر چند با افزایش مقدار ESMA در آمیخته ها استحکام کششی و کشش تا شکست کاهش پیدا کرده



(الف)



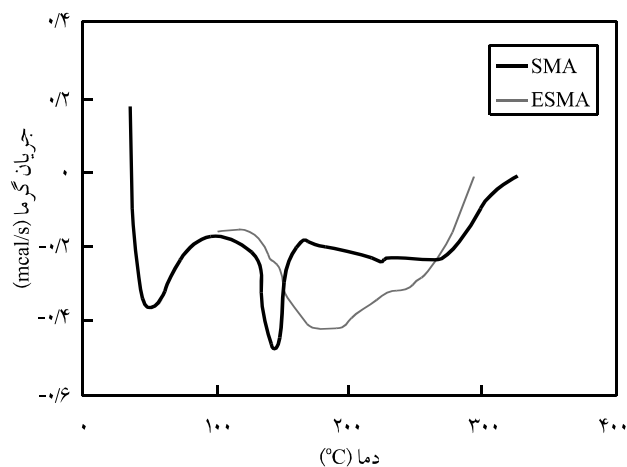
(ب)

شکل ۳ - نمودار TGA: (الف) SMA و (ب) ESMA.

این حالت برجسته تر شده است که نشان گر تشکیل کربونیل در کربوکسیلیک اسید است. با توجه به این شواهد تشکیل ESMA تأیید شده است.

رفتار گرمایی

در شکل ۲ نمودارهای DSC برای SMA و ESMA نشان داده شده است. همان طور که مشهود است، برای SMA نقطه گرماگیر در دمای ۱۴۳°C و برای ESMA در دمای ۱۷۳°C نشان گر دمای ذوب دو نمونه است. برای توجیه پهن بودن پیک ESMA می توان دو دلیل بیان کرد: ممکن است در فرایند استری شدن حلقه انیدرید مجموعه ای از گروه های استری و گروه های اسیدی تولید شده باشد (طرح ۱) که حساسیت های دمایی متفاوت بین این دو گروه منجر به پهن شدن پیک DSC شده است. اما، ایده دیگری که در این باره مطرح است این که حین فرایند گرمادهی در DSC واکنش های شبکه ای شدن اتفاق می افتد. پدیده شبکه ای شدن در فرایند گرمادهی SMA استری شده توسط ماریا سویتالا [۱۱] اثبات شده است. او دریافت که حین ذوب شدن بلورها و همراه با فرایند گرمادهی واکنش های شبکه ای شدن اتفاق می افتند. با توجه با این که واکنش های شبکه ای شدن، واکنش هایی گرماگیر هستند، باعث پهن شدن پیک گرماگیر برای کولیمر استری شده می شوند. نمودارهای TGA برای SMA و ESMA در شکل ۳ نشان داده شده اند. همان طور که مشهود است، درباره ESMA کاهش وزن محسوسی در فاصله دمایی ۱۴۰ تا ۲۵۰°C مشاهده می شود که این کاهش در مورد SMA دیده نمی شود. این امر به دی استری شدن و آزاد شدن دکانول مربوط می شود. کاهش وزن در محدوده ۲۸۰ تا ۴۲۰°C در هر دو نمونه مشاهده شده است که به واکنش های دی کربوکسیلیک، شکست حلقه انیدریدی و شکست حلقه های استیرنی مربوط است.

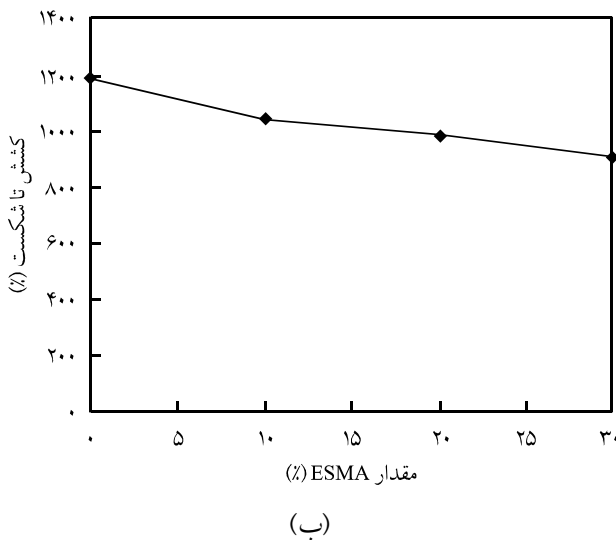
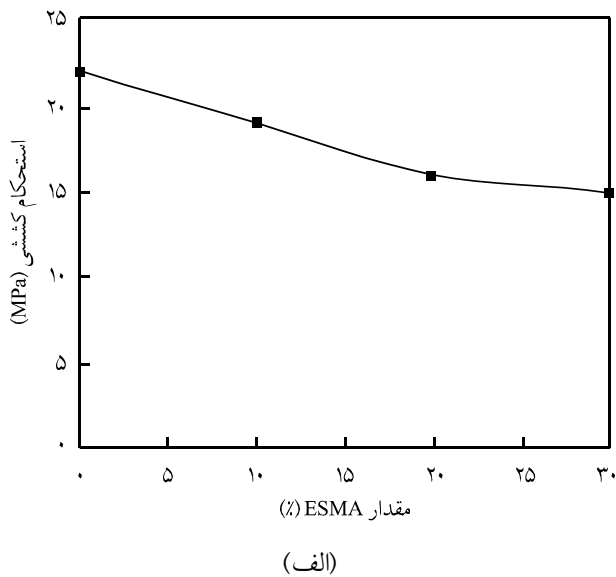


شکل ۲ - نمودار DSC برای SMA و ESMA.

جدول ۱- خواص مکانیکی LLDPE و آمیخته‌های مختلف آن.

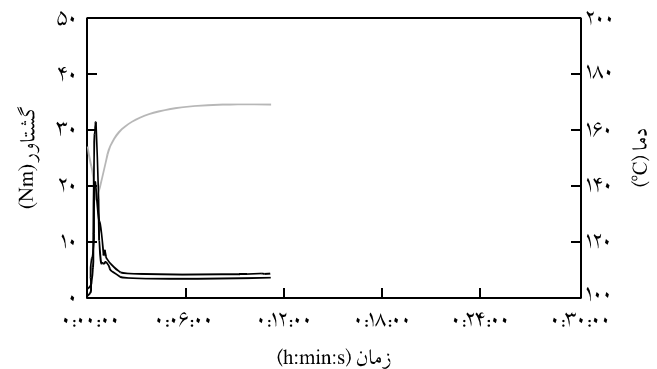
نمونه	LLDPE (wt%)	ESMA (wt%)	استحکام کششی (MPa)	مدول کششی (MPa)	کشش تا شکست (%)	تنش تسلیم (MPa)	کشش تسلیم (%)
۱	۱۰۰	۰	۲۲(۴/۶)*	۱۱۴(۵/۲)*	۱۲۰۰	۱۲(۱/۷)*	۲۲
۲	۹۰	۱۰	۱۹(۳/۳)	۱۱۸(۱۰)	۱۰۵۰	۱۱(۲/۷)	۱۹
۳	۸۰	۲۰	۱۷(۱/۲۵)	۱۴۱(۹/۲)	۹۹۰	۱۱(۲/۱)	۱۸
۴	۷۰	۳۰	۱۶(۲/۴)	۱۶۳(۱۵/۴)	۹۵۰	۱۰(۲)	۱۸

* اعداد داخل پرانتز مقادیر انحراف معیار است.



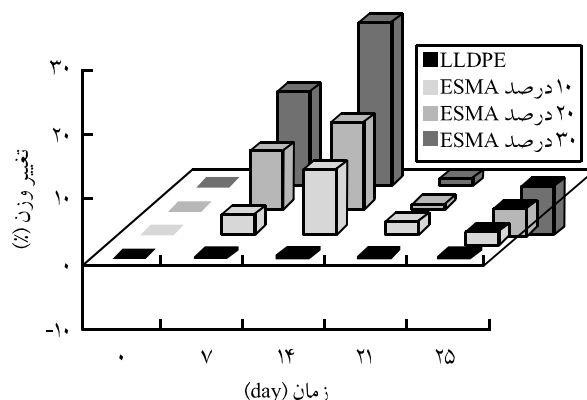
شکل ۵- نمودار تغییرات خواص مکانیکی برای آمیخته‌های مختلف: (الف) استحکام کششی و (ب) کشش تا شکست.

است (این امر نیز به دلیل شکننده تر بودن ESMA نسبت به LLDPE است)، ولی روند کاهش این خواص در درصد‌های بیشتر کاهش یافته است. در شکل ۵ تغییرات مقدار کشش تا شکست و استحکام کششی نمونه‌ها براساس مقدار ESMA نشان داده شده است. در درصد‌های بیشتر شیب نمودار (روند افت خواص) کاهش می‌یابد. همان‌طور که در ابتدا نیز گفته شد، در مورد سامانه‌های نشاسته - پلی اتیلن، از آن‌جا که نشاسته پرکننده‌ای سخت است، افت خواص در درصد‌های بیشتر بسیار بحرانی است. به عنوان مثال با افزودن ۱۰ درصد نشاسته به پلیمر، مقدار کشش تا شکست ۲۵ درصد کاهش می‌یابد و اگر از این مقدار بیشتر نشاسته وارد سامانه شود، افت خواص بسیار بحرانی می‌شود [۲]. عواملی نظیر ترک‌های بین سطحی، میل به تجمع در درصد‌های بیشتر و همچنین شکل‌های متفاوت ذرات نشاسته باعث این امر شده‌اند. در حالی که در این‌جا به دلیل ماهیت گرمانرم دو جزئی و از آن‌جا که آمیخته گرمانرم - گرمانرم تولید شده است، سازگاری بهتری در رفتار کششی دو جزئی مشاهده می‌شود. با توجه به این‌که در نقطه تسلیم مقدار کشش کم است، ESMA اثر زیادی روی خواص در این نقطه نگذاشته است.



شکل ۴- نمودار گشتاور بر حسب زمان و دما برای آمیخته حاوی ۳۰ درصد ESMA (نمونه ۴).

این دوره زمانی تغییر وزنی دیده نمی‌شود. آمیخته‌های حاوی ESMA روندی مشابه در کاهش وزن نشان می‌دهند. در توزین‌های اولیه، افزایش وزن در نمونه‌ها مشاهده می‌شود. این امر ناشی از جذب حلال و متورم شدن نمونه‌هاست. بعد از این دوره در نمونه‌ها کاهش وزن دیده می‌شود که نشان‌گر حل شدن نمونه‌ها در محلول است. در مدت زمان مشخصی، با افزایش مقدار ESMA تغییرات وزن نیز افزایش می‌یابد. با توجه به افزایش گروه‌های انیدریدی، احتمال در دسترس بودن گروه‌های انحلال‌پذیر بیشتر می‌شود، بنابراین مقدار تورم و انحلال نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۶ - تغییرات وزن LLDPE و آمیخته‌های LLDPE-ESMA در محلول بافر.

نتیجه‌گیری

کوپلیمر استیرن - مالئیک‌انیدرید با واکنش رادیکالی استیرن و مالئیک‌انیدرید تولید شد. استری شدن این کوپلیمر ضمن بهبود سازگاری با پلی‌اتیلن، خواص تخریب‌پذیری بهتری را در آن ایجاد کرد. تخریب کوپلیمر استری شده، در دمای پایین‌تری در مقایسه با کوپلیمر اصلی شروع شد. نمودارهای DSC نشان داد که سازگاری مناسبی بین کوپلیمرهای استری شده و پلی‌اتیلن وجود دارد. هر چند استحکام کششی و مقدار کشش تا شکست در آمیخته‌ها با افزایش ESMA کاهش یافت، ولی این افت‌ها در مقایسه با سامانه‌های پلی‌اتیلن - نشاسته به ویژه در درصد‌های بیشتر ناچیز است. آزمون‌های زاویه تماس و تخریب در محلول بافر نشان دادند که ESMA به طور قابل ملاحظه‌ای خواص تخریبی و آب دوستی پلی‌اتیلن را افزایش داده است. با توجه به این نتایج، می‌توان از ESMA به عنوان ماده افزودنی مناسب و سازگار با پلی‌اتیلن برای بهبود خواص تخریبی نام برد.

مراجع

1. *Degradable Polymers: Principles and Applications*, Scott G. and Gilead D. (Eds.), Chapman and Hall, London, 31, 1995.
2. Albertson A., The Degradation of Polyethylene, *Appl. Polym. Sci.*, **25**, 16-55, 1989.
3. *Handbook of Polymer Degradation*, Hamid S.H. (Ed.), Marcel Dekker, New York, 421, 2003.
4. Raghavan D. and Emekalam A., Characterization of Starch-PE and Starch-PE-Polyacetic and Composites, *Polym. Degrad. Stab.*, **72**, 509-517, 2001.
5. Sharma N., Chang L.P., Chu Y.L., Ismail H., Ishiaku U.S. Mohd

آزمون‌های زاویه تماس و تخریب‌پذیری

در جدول ۱ نتایج تغییرات زاویه تماس آمیخته‌ها با آب در اثر افزودن ESMA به سامانه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار ESMA زاویه تماس به طور محسوسی کاهش می‌یابد. زاویه تماس از ۸۲ برای LLDPE به ۶۷ برای نمونه ۴ کاهش می‌یابد. وجود گروه‌های استری شده و با توجه به این که گروه‌های یاد شده در مقایسه با پیوندهای C-H و C-C موجود در LLDPE تمایل بیشتری به جذب آب دارند، روند کاهش طبیعی به نظر می‌رسد. با توجه به وجود گروه‌های استری در آمیخته می‌توان انتظار داشت، خواص تخریبی آن افزایش یابد. این امر جدا از بهبود خواص تخریب گرمایی است که در آزمون‌های گرمایی مشخص شد و به فرایندهای حل شدن و تسریع رشد میکرواورگانیزم‌ها مربوط می‌شود.

در شکل ۶ تغییرات وزن نمونه‌ها طی دوره‌های توزین به مدت ۲۵ روز نشان داده شده است. همان‌طور که مشهود است برای LLDPE در

- A. and Ishak Z.A., Study on the Effect of Pro-oxidant on the Thermo-oxidativ Degradation Behaviour of Sago Starch Filled Polyethylene, *Polym. Degrad. Stab.*, **71**, 381-393, 2001.
6. Nikazar M., Safari B., Bonakdarpour B. and Milani Z., Improved Biodegradability and Mechanical Strength of Starch-LDPE Blends through Formulation Modification, *Iran. Polym. J.*, **14**, 1050-1057, 2005.
7. Chen G., Zhang Y., Zhou X. and Xu J., Synthesis of Styrene-maleic Anhydride Copolymer Ester and their Surface Enriched Properties when Blending with Polyethylene, *Appl. Surf. Sci.*,

- 253, 1107-1110, 2006.
8. Malardier C., Vendeven T.G.M. and Whitehead M.A., Study of Water Conformation Around Hydrophilic and Hydrophobic Parts of Styrene Maleic Anhydride, *J. Macromol. Surf.*, **679**, 171-177, 2004.
9. Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastics, Annual Book of ASTM Standards, D 638, 8,01, 1981.
10. Stevens M.P., *Polymer Chemistry, An Introduction*, Oxford University, Oxford, 269-300, 1999.
11. Switala-Zeliazkow M., Thermal Degradation of Copolymers of Styrene with Dicarboxylic Acids I. Alternating Styrene-maleic Acid Copolymer, *Polym. Degrad. Stab.*, **74**, 579-584, 2001.