

بررسی سازگار سازی الیاف آمیزه‌های PP/PET به وسیله سازگار کننده PP-g-MA

Compatibility Study of PP/PET Blend Fibers by PP-g-MA Compatibilizer

محمد رئوف دهکردی، نادره گلشن ابراهیمی*، مهرداد کوکی

تهران، دانشگاه تربیت مدرس، بخش مهندسی شیمی، گروه پلیمر، صندوق پستی ۱۴۱۵۵/۱۱۱

دریافت: ۱۰/۷/۱۵، پذیرش: ۸/۳/۸

چکیده

آمیژه PP/PET به علت اختلاف ضریب انحلال پذیری و عدم جاذبه بین پلیمر قطبی - غیرقطبی آمیزه‌ای ناسازگار است. برای ایجاد سازگاری لازم در آمیزه سازگار کننده‌های مختلف مصرف می‌شود که در این پژوهش از سازگار کننده PP-g-MA استفاده شده است. این سازگار کننده از واکنش شیمیایی و عمل پیوندزنی بین مالئیک انیدرید (MA)، دی کومیل پروکسید (DCP) و پلی پروپیلن پدید می‌آید. اثر افزایش غلظت DCP (در MA ثابت) باعث افزایش بازدهی پیوند زنی روی پلی پروپیلن و از طرف دیگر، افزایش غلظت MA (در DCP ثابت) موجب کاهش بازدهی پیوند زنی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که PP-g-MA باعث ریزتر شدن لیفچه‌های PET و نزدیکی فازها می‌شود. البته، باید توجه داشت که مصرف این سازگار کننده، بویژه در مقادیر زیاد، موجب افت خواص مکانیکی آمیزه می‌گردد.

واژه های کلیدی: ریسندگی مذاب، الیاف آمیزه‌ای، پلی پروپیلن، پلی اتیلن ترفتالات، سازگاری

Key Words: melt spinning, blend fibers, polypropylene, polyethylene terephthalate, compatibility

مقدمه

اگرچه اختلاط پلیمرها و آلیاژسازی مزایای زیادی دارد که از جمله می‌توان به اصلاح خواص پلیمرهای اولیه اشاره کرد، ولی مشکلاتی نیز به همراه دارد که عدم سازگاری در پلیمر یکی از این موارد است. سازگاری در آمیزه‌هایی که امتزاج پذیری ترمودینامیکی واقعی دارند به عنوان امتزاج پذیری در مقیاس مولکولی تعریف می‌شود. بنابراین، آمیزه‌هایی که به صورت تجاری سازگار در نظر گرفته می‌شوند، عمدتاً ناسازگارند و این در حالی است که پژوهشگران اکثر آمیزه‌های تجاری و آلیاژها را سازگار در نظر می‌گیرند. از سوی دیگر و با توجه به اینکه اکثر آنها شامل فاز پراکنده ریزند، آمیزه

سازگار نباید دارای علائمی مبنی بر جدایی فازی شدید باشد. این تعریف حوزه آمیزه‌های سازگار را بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد، ولی هنوز آمیزه‌هایی را، که جهت دستیابی به خواص فیزیکی بهینه دارای یک شکل شناسی بهبود یافته‌اند، شامل نمی‌شود. بنابراین، به صورت یک تعریف کلی می‌توان گفت که سازگاری عبارت از فرایندی است که در آن شکل شناسی یا سطح بین فازها به کمک روشهای فیزیکی یا شیمیایی بهبود یابد.

روشهای سازگارسازی مهم عبارتند از: (۱) استفاده از حلال مشترک، (۲) بدست آوردن امتزاج پذیری ترمودینامیکی، (۳) افزودن کوپلیمر شاخه‌ای یا دسته‌ای، (۴) افزودن پلیمر عاملدار یا

* مسئول مکاتبات، پیام نگار: ebrahimm@net1cs.modares.ac.ir

پلیمر واکنش پذیر، (5) شاخه زدن یا پلیمر شدن در جا و (6) استفاده از شبکه در هم نفوذ کننده (IPN).

از آنجا که پلی پروپیلن غیر قطبی و پلی اتیلن ترفتالات قطبی است و اختلاف زیادی بین ضریب انحراف پذیری آنها وجود دارد، این دو پلیمر ناسازگار و امتزاج ناپذیرند و پژوهشهایی روی سازگاری این دو پلیمر به وسیله سازگار کننده‌های مختلف صورت گرفته است. پلی پروپیلن علاوه بر خواص مطلوب، قیمت مناسب نیز دارد [۱،۲]. از این پلیمر بطور وسیع در تهیه لوازم مختلف زندگی روزمره، فرش، موکت، تورهای ماهیگیری، صافیهای خاص، بعضی پوششها و قطعات خودرو استفاده می‌شود [۳،۴]. این پلیمر فاقد خواصی چون رنگ پذیری، قطبیت، چسبندگی به فلزات و الیاف شیشه، خواص مکانیکی مطلوب و اشتعال پذیری است، بنابراین اصلاح این پلیمر برای دستیابی به محصولاتی با خواص بهتر اجتناب ناپذیر است و برای اصلاح آن روشهای زیادی پیشنهاد شده است [۴] که از آن جمله می‌توان آمیزه کاری با پلیمرهای دیگر و اصلاح شیمیایی پلی پروپیلن را نام برد.

در طی نیم قرن اخیر، آلیاژ و آمیزه کاری به عنوان یک علم و تخصص، گسترش و توسعه روزافزونی یافته است. آمیزه کاری پلیمرها این نتایج مطلوب را به همراه داشته است [۵،۶]: (۱) اصلاح فرایند پذیری، (۲) کاهش هزینه مواد خام و (۳) ایجاد تعادل مورد نظر در خواص پلیمرها.

کلیه موارد بالا امتیازی بزرگ برای آمیزه کاری بحساب می‌آیند. در آمیزه کاری، سازگاری پلیمرها یا یکدیگر جزء ملزومات اولیه است. سازگاری پلیمرهای امتزاج ناپذیر با یکی از روشهای زیر صورت می‌گیرد [۶]:

- افزودن جزء سازگار کننده به زنجیر یکی از پلیمرهای آمیزه، که با برهم کنش ویژه با پلیمر دیگر باعث ایجاد سازگاری در آمیزه می‌شود.

- آمیزه کاری اجزا با یک پلیمر عاملدار شده به عنوان سازگار کننده.

امروزه، بررسیها نشان می‌دهد که PP و PET بویژه الیاف آنها بطور گسترده‌ای به شکل ضایعات دفع می‌گردند، بنابراین بازیافت آنها منطقی بنظر می‌رسد. البته، مخلوط این دو پلیمر ناسازگار است و احتیاج به سازگار کننده دارد. از این رو، سازگاری مثلا الیاف در فرایند بازیافت مثل قالیچه‌ها و کناره‌ها اهمیت زیادی پیدا می‌کند [۷]. سازگاری در هر حالت نیاز به بررسی دارد تا از نظر مقدار سازگار کننده، نوع آن و واکنشهای صورت گرفته اطلاعات کافی بدست آید. در این پژوهش سعی شده است که پدیده سازگاری در این الیاف آمیزه‌ای مورد بررسی قرار گیرد.

تجربی

مواد

مواد مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از:

پلی پروپیلن با علامت تجاری V۳۰S ساخت پتروشیمی اراک با دمای ذوب 165°C و شاخص جریان مذاب $10\text{ min} / 10\text{g}$ ، پلی اتیلن ترفتالات با علامت تجاری Bottle grade ساخت شرکت سایبک عربستان با دمای ذوب 256°C ، مالتیک انیدرید ساخت شرکت مرک آلمان، آغازگر DCP ساخت شرکت مرک آلمان با دمای ذوب 43°C ، پایدار کننده Irganox B_{۲۱۵} ساخت شرکت سیسیاگیگی با دمای ذوب 170°C و پلی پروپیلن پیوند خورده خارجی ساخت شرکت آلدريج آمریکا با دمای ذوب 156°C .

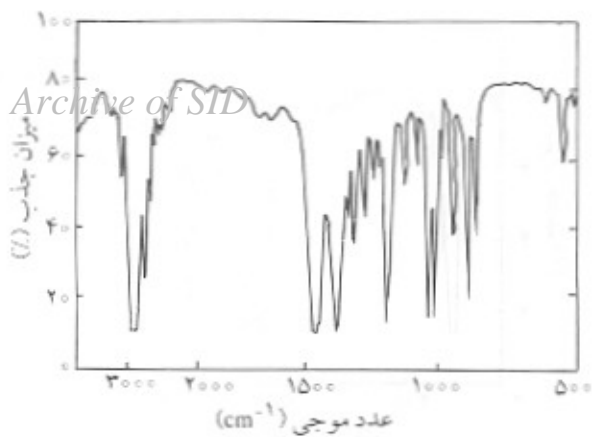
دستگاهها

برای تهیه الیاف از آمیزه‌ها، دستگاه ریسندگی مذاب آزمایشگاهی تک پیچه با طراحی خاص که عمل اختلاط و ذوب را همزمان انجام می‌دهد بکار گرفته شد. برای عاملدار کردن پلی پروپیلن از اکسترودر فوق با سرعت پیچ 18 rpm و دمای ثابت گرمایی 190°C و برای ریسندگی مذاب آمیزه‌ها با همان سرعت پیچ و دمای نواحی گرمایی به ترتیب 245°C ، 250°C و 260°C استفاده شد. سرعت جمع کننده الیاف روی بوبین 160 m/min بوده است.

برای طیف سنجی نمونه‌ها از دستگاه طیف سنج زیر قرمز (IR) ساخت شرکت شیمادزوی آلمان استفاده شد. برای انجام آزمایش IR، از نمونه‌های پلی پروپیلن پیوند خورده فیلم نازکی تحت فشار 100 bar و دمای 190°C با استفاده از پرس 80 تن تهیه شد و پس از نگهداری فیلمها به مدت دو روز در آن خلاء و دمای 110°C طیف IR برداشت شد. برای اندازه گیری شاخص جریان مذاب (MFI) دستگاه پلاستومر 2000 ساخت ایران بکار گرفته شد. همچنین برای آزمون کشش الیاف از دستگاه اینسترون مدل TM-SM ساخت آلمان در محدوده $1-2\text{ mm/min}$ استفاده شد. برای بررسی خواص گرمایی دستگاه گرماسنج پویشی تفاضلی ساخت شرکت پلیمرلاب انگلیس و برای شکل شناسی آمیزه‌ها میکروسکوپ الکترون پویشی مدل JEOL-۸۲۰ ساخت تروژ بکار برده شد.

روشها

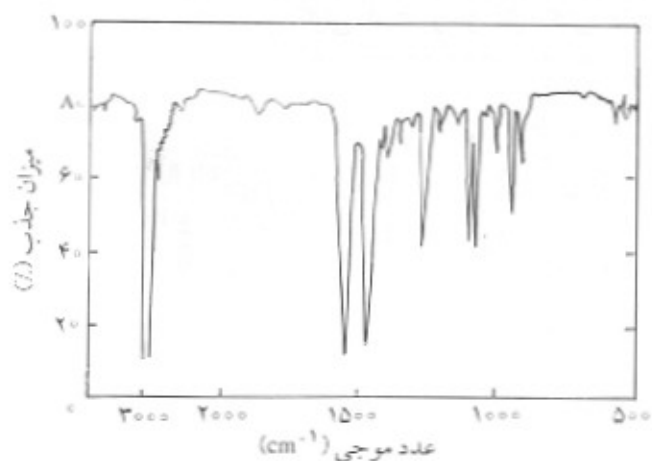
ترکیب مورد استفاده برای تهیه سازگار کننده (پلی پروپیلن عاملدار شده) در دو حالت MA ثابت و DCP ثابت، در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده نمونه بهینه، پلی پروپیلن پیوند خورده ppg۲ است. ترکیب آمیزه‌هایی که از افزودن مقادیر مختلف



شکل ۱- طیف زیر قرمز (IR) پلی پروپیلن خاص.

است.

در مقایسه شکلهای ۲ و ۳ با شکل ۱ همان طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش مالئیک انیدرید از ۲ phr به ۶ phr (در غلظت ثابت ۰/۱ phr از DCP)، پیک عاملدار شدن کوچکتر شده است. از آنجا که سطح زیر این پیک متناسب با درصد مالئیک انیدرید واکنش داده است، در نتیجه با افزایش MA مقدار انیدرید واکنش داده کاهش می‌یابد. بنابراین، بهترین حالت ۲phr مالئیک انیدرید است. از طرف دیگر، با افزایش DCP از ۰/۱phr به ۰/۸phr (در غلظت ثابت ۲ phr مالئیک انیدرید) ملاحظه می‌شود که پیک IR در طول موج 1780 cm^{-1} بزرگتر شده و سطح زیر آن افزایش یافته است (مقایسه شکلهای ۲ و ۴)، که این حاکی از تشدید واکنش در اثر افزودن DCP است که باعث ایجاد رادیکالهای آزاد می‌شود و بازده واکنش MA با آن را افزایش می‌دهد.



شکل ۲- طیف زیر قرمز (IR) پلی پروپیلن عاملدار شده با ۲ phr مالئیک انیدرید و ۰/۱ phr DCP (ppg۲).

جدول ۱- ترکیب اجزای سازگار کننده مورد استفاده برای دستیابی به شرایط بهینه.

نمونه	مقدار MA(phr)	مقدار DCP(phr)
PPg۱	۱	۰/۱
PPg۲	۲	۰/۱
PPg۳	۴	۰/۱
PPg۴	۶	۰/۱
PPg۵	۸	۰/۱
PPg۶	۲	۰/۴
PPg۷	۲	۰/۸
PPg۸	۲	—

پلی پروپیلن پیوندخورده بهینه (ppg۲) به مخلوط (۹۵/۵) PP/PET بدست می‌آیند در جدول ۲ آمده است. نمونه BI در این جدول نمونه ای است که در آن از پلی پروپیلن پیوندخورده خارجی استفاده شده است. در ضمن، در همه مراحل آمیزه کاری برای تثبیت شرایط ۰/۵phr پایدار کننده افزوده شده است. برای تیتراسیون از روش تیتراسیون اسیدوباز [۲۸،۹] استفاده شد و مقدار کمی مالئیک انیدرید واکنش داده محاسبه شد.

نتایج و بحث

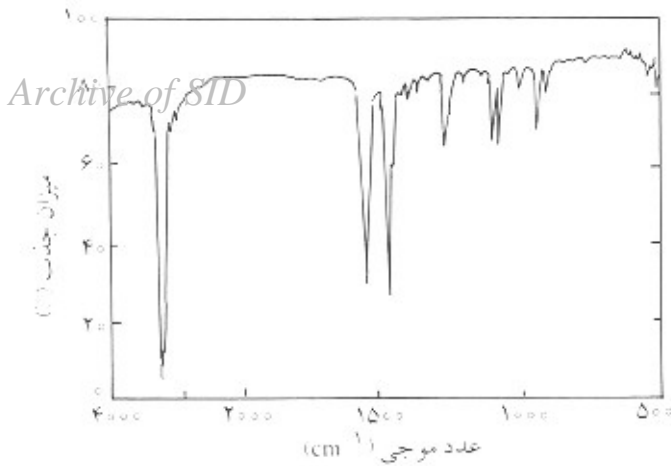
تهیه سازگار کننده

تمام نمونه‌های عاملدار شده در طول موج 1780 cm^{-1} پیک خاصی را نشان می‌دهند که دلیل عاملدار شدن پلی پروپیلن

جدول ۲- ترکیب آمیزه‌ها برای ساخت الیاف آمیزه‌ای PP/PET/PPg۲.

نمونه	مقدار سازگار کننده (%)
B۱	(PPg۲) ۰
B۲	(PPg۲) ۲/۵
B۳	(PPg۲) ۵
B۴	(PPg۲) ۷
BI	(PP پیوند خورده خارجی) ۲/۵

* ترکیب آمیزه (۹۵/۵) PP/PET و مقدار پایدار کننده ۰/۵ است.

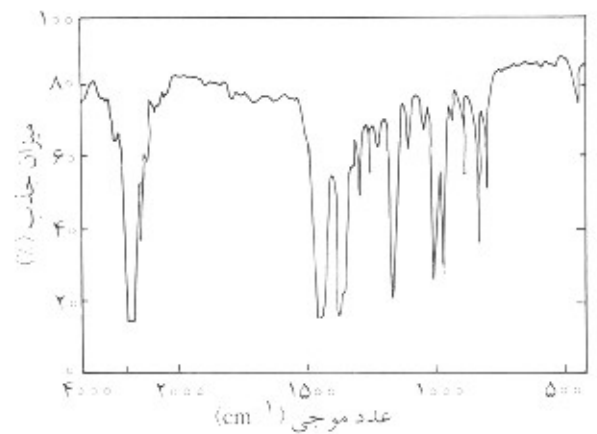


شکل ۵- طیف زیر قرمز (IR) پلی پروپیلن عاملدار شده با ۲ phr مالئیک انیدرید وبدون DCP (ppg₈).

اندکی دارد، بنابراین روی نمونه ها تیتراسیون انجام شد تا از نظر کمی نیز نتایج بدقت بررسی شود.

نتایج تیتراسیون و تکرارپذیری آن در جدول ۳ ارائه شده است. در غلظت ثابت DCP، بیشترین بازدهی پیوندزنی متعلق به نمونه ppg₆ است. بدین علت که در اثر انحلال پذیری کم مالئیک انیدرید در پلی پروپیلن، DCP و مالئیک انیدرید فازی مجزا تشکیل می دهد و مالئیک انیدرید در این فاز پلیمر می شود [۱۲، ۱۱، ۲]. رنگ نمونه ها نیز به همین دلیل تغییر می یابد و به قهوه ای تیره میل می کند [۲]. DCP پس از شکسته شدن به دو رادیکال، برای پایداری یک هیدروژن از PP دریافت می کند و برای پایداری پلی پروپیلن، این هیدروژن از کربن نوع سوم گرفته می شود. از طرف دیگر، در طیف IR بدون DCP، هیچ پیکی در ۱۷۸۰ cm⁻¹ مشاهده نمی شود که این خود دلیلی بر عدم آغاز واکنش با حمله رادیکال DCP به PP است. با افزایش DCP (در غلظت ثابت MA)، بازده پیوندزنی پلی پروپیلن افزایش می یابد زیرا زنجیرهای پلیمری بیشتری شکسته می شود و رادیکالهای آزاد زیادتری برای واکنش ایجاد می گردد و محیط مساعدی برای واکنش مالئیک انیدرید به وجود می آید (شکلهای ۶ و ۷) [۲].

در شکلهای ۸ و ۹ شاخص جریان مذاب نشان داده شده است. در این نمودارها نیز روند بالا تکرار می شود و گواه مطالب یاد شده است. در نهایت، شرایط مساعد برای ایجاد سازگار کننده، ۱۹۰ °C، سرعت پیچ ۱۸ rpm و مقدار پروکسید و مالئیک انیدرید ۰/۸ phr و ۲ phr به ترتیب تشخیص داده شد.

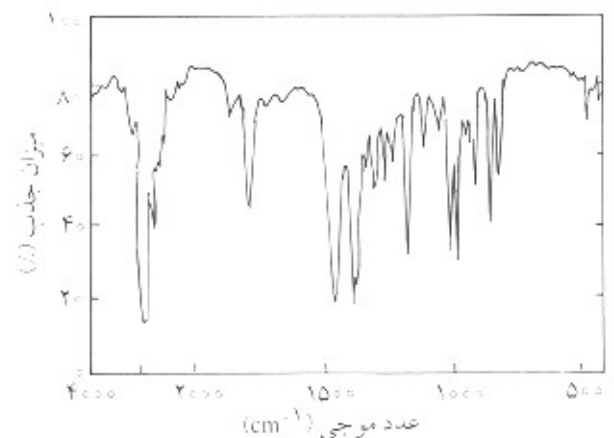


شکل ۳- طیف زیر قرمز (IR) پلی پروپیلن عاملدار شده با ۶ phr مالئیک انیدرید و ۰/۸ phr DCP (ppg₆).

واکنش MA با PP یک واکنش شکست β (β -scission)

است که با شکسته شدن پروکسید به دو رادیکال شروع می شود. پروکسید به پلی پروپیلن حمله کرده یک هیدروژن می گیرد و پلی پروپیلن رادیکالی ایجاد می کند. این مولکول با شکست β تجزیه می شود و با MA واکنش می دهد. این واکنش در حالت مذاب و در مجاورت پروکسیدها بر کلیه واکنشهای دیگر (واکنش مستقیم MA با زنجیر پلی پروپیلن رادیکالی) غالب است. واکنش مستقیم MA با زنجیر PP رادیکالی بدون شکست β فقط در حالت محلول یا جامد صورت می گیرد [۱۰].

نمونه بدون پروکسید که فقط با مالئیک انیدرید تهیه شده بود (ppg₈) هیچ پیکی در طول موج ۱۷۸۰ cm⁻¹ نشان نمی دهد (شکل ۵) که دلالت بر این دارد که پروکسید نقش کلیدی و اولیه را در شروع واکنش ایفا می کند [۶]. از آنجا که روش IR روش کیفی است و از نظر کمی دقت



شکل ۴- طیف زیر قرمز (IR) پلی پروپیلن عاملدار شده با ۲ phr مالئیک انیدرید و ۰/۸ phr DCP (ppg₂).

Archive of SDP_1 (cc) V_1	SDP_2 (cc) V_2	(cc) V_3	(%) R_4	(%) R_5	(%) R_6	(%) R_{ave}	نمونه
۱/۷	۱/۸	۱/۷	۰/۰۸۳	۰/۰۸۸	۰/۰۸۳	۰/۰۸۵±۰/۰۰۳	PPg۱
۲/۸	۲/۹	۲/۸	۰/۱۳۷	۰/۱۴۲	۰/۱۳۷	۰/۱۳۹±۰/۰۰۳	PPg۲
۲/۲	۲	۲/۱	۰/۱۰۸	۰/۰۹۸	۰/۱۰۳	۰/۱۰۳±۰/۰۰۵	PPg۳
۰/۹	۰/۹	۱/۰	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۹	۰/۰۴۶±۰/۰۰۳	PPg۴
۰/۸	۰/۸	۰/۷	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۰/۰۳۴	۰/۰۳۷±۰/۰۰۳	PPg۵
۲/۸	۲/۹	۲/۸	۰/۱۳۷	۰/۱۴۲	۰/۱۳۷	۰/۱۳۹±۰/۰۰۳	PPg۲
۵/۱	۵/۱	۵/۱	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰±۰/۰۰۰	PPg۶
۱۰/۱	۱۰/۱	۱۰/۱	۰/۴۹۵	۰/۴۹۵	۰/۵۰۵	۰/۴۹۸±۰/۰۰۶	PPg۷
۰/۴	۰/۵	۰/۵	۰/۰۲۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۲±۰/۰۰۳	PPg۸

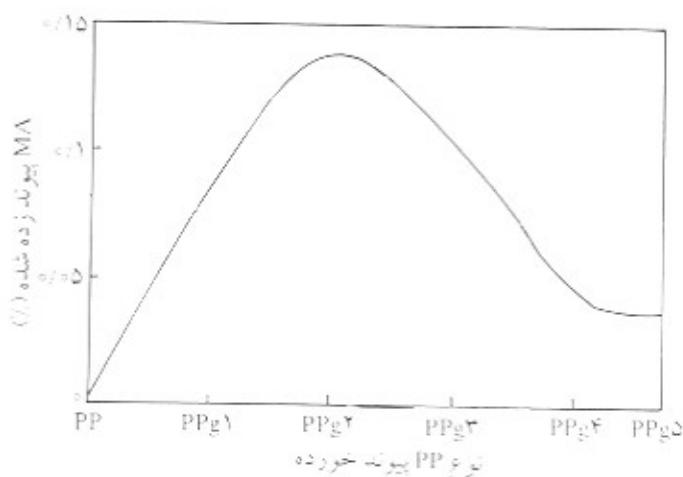
توضیح: R_4 ، R_5 و R_6 بر ترتیب مقدار مالئیک انیدرید واکنش داده در آزمایش اول، دوم و سوم و V_1 ، V_2 و V_3 به ترتیب حجم باز مصرفی در آزمایش اول، دوم و سوم و R_{ave} مقدار متوسط مالئیک انیدرید واکنش داده است.

نتایج آمیزه‌کاری و ریستدگی مذاب الیاف

میزان بلورینگی

داده‌های استخراج شده از نمودارهای DSC برای PP و الیاف آمیزه‌ای سازگار شده (شکل‌های ۱۰ تا ۱۳) در جدول ۴ ارائه شده است. میزان بلورینگی نمونه‌ها با استفاده از فرمول زیر بدست آمد [۱۴، ۱۳]:

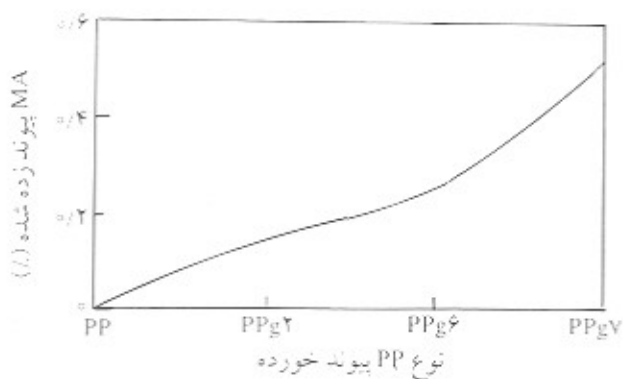
$$X_c = \frac{\Delta H_m}{x \cdot \Delta H_m^0} \quad (۱)$$



شکل ۶- نمودار تغییرات بازدهی عاملدار کردن PP بر حسب غلظت MA.

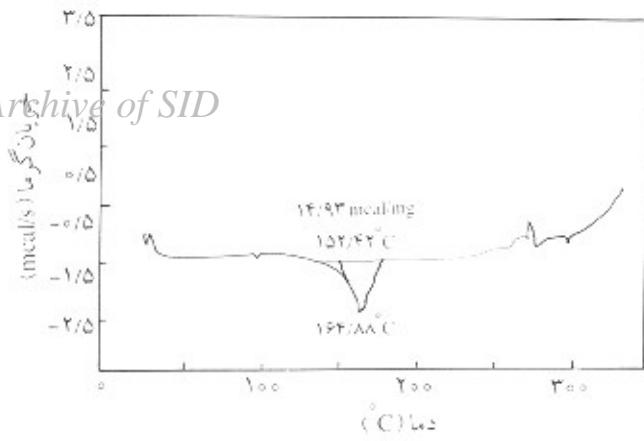
که در آن ΔH_m و ΔH_m^0 به ترتیب گرمای ذوب فاز ماتریس نمونه مورد آزمایش و حالت استاندارد (بلورینگی کامل) بوده و X درصد وزنی فاز ماتریس است ($\Delta H_m(PP) = 50 \text{ Cal/g}$).

همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش سازگار کننده موجب افزایش میزان بلورینگی پلی پروپیلن (تا B2) و سپس کاهش آن (تا B4) شده است. همچنین، با مقایسه عملکرد سازگار کننده تولیدی در آزمایشگاه و سازگار کننده خارجی خریداری شده ملاحظه می‌شود که میزان بلورینگی دو نمونه B1 و B2 بسیار نزدیک به یکدیگر است و می‌توان نتیجه گرفت که آمیزه سازگار شده تولیدی (B2) قابل رقابت با نمونه سازگار شده خارجی (B1) است. اصولاً تأثیر سازگار کننده بر ماتریس پلی پروپیلن بشدت به مقدار مالئیک انیدرید موجود در آن وابسته است. به ازای مقادیر زیاد

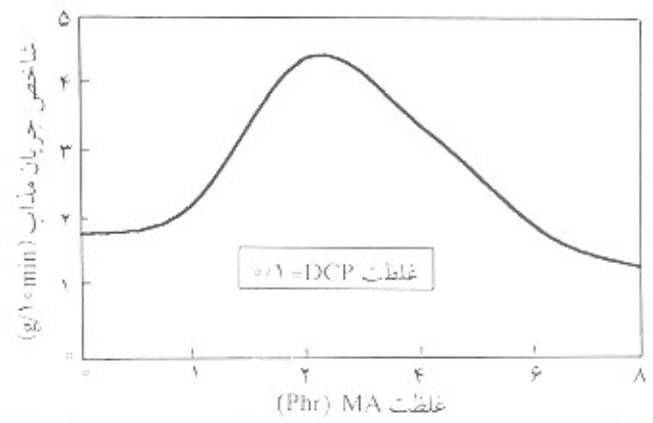


شکل ۷- نمودار تغییرات بازدهی عاملدار کردن PP بر حسب غلظت DCP.

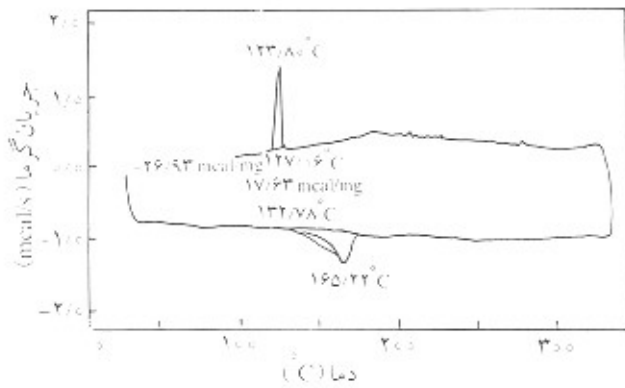
Archive of SID



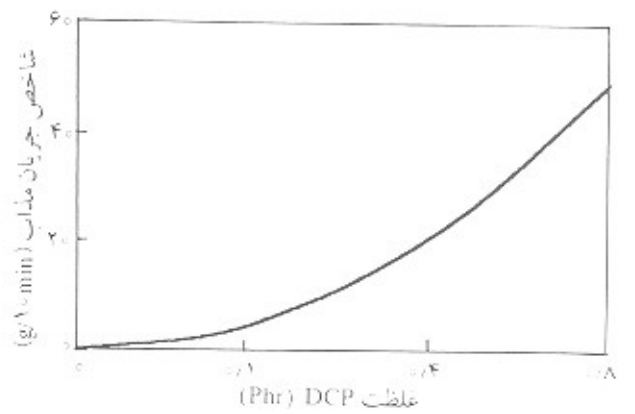
شکل ۱۱- گرمانگاشت DSC الیاف آمیزه‌ای (۹۰/۵) PP/PET بدون سازگار کننده (B1).



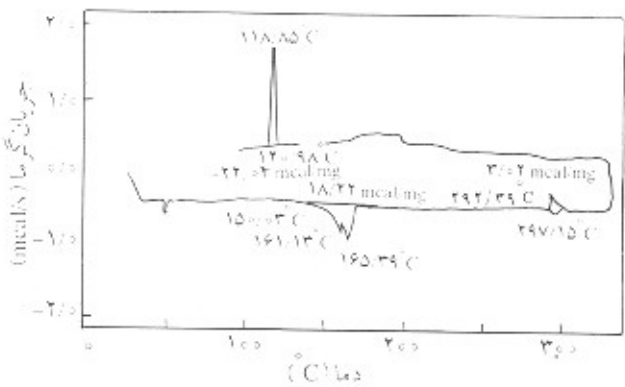
شکل ۸- نمودار تغییرات شاخص جریان مذاب بر حسب غلظت MA.



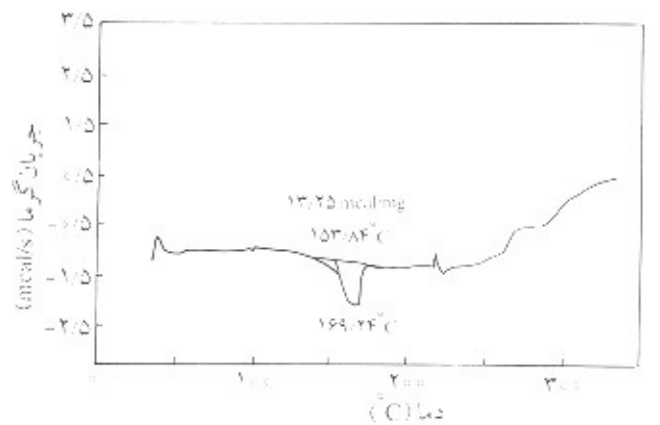
شکل ۱۲- گرمانگاشت DSC الیاف آمیزه‌ای (۹۰/۵) PP/PET با ۲/۵ phr سازگار کننده (B2).



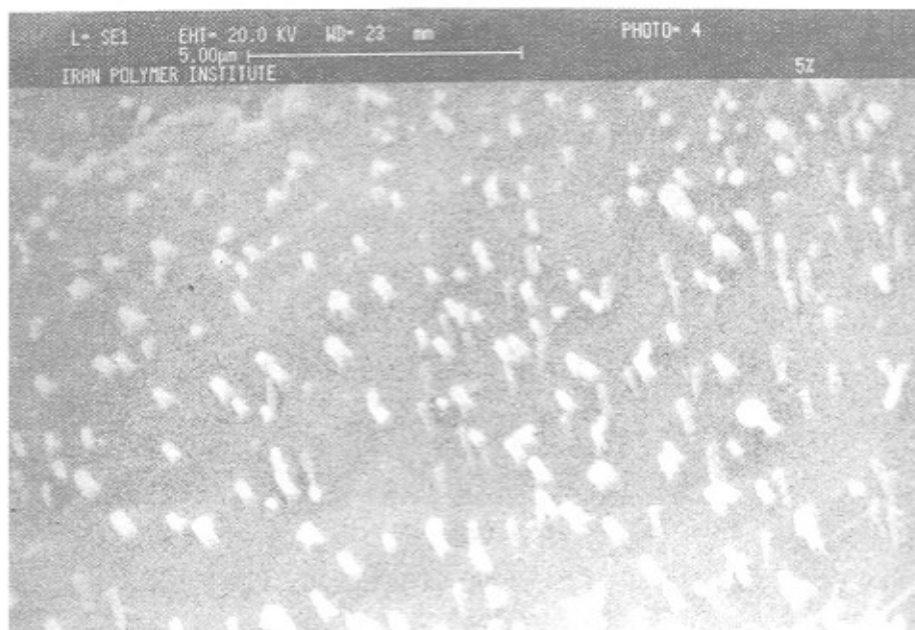
شکل ۹- نمودار تغییرات شاخص جریان مذاب بر حسب غلظت DCP.



شکل ۱۳- گرمانگاشت DSC الیاف آمیزه‌ای (۹۰/۵) PP/PET با ۲/۵ phr سازگار کننده خارجی (BI).



شکل ۱۰- گرمانگاشت DSC پلی پروپیلن خالص.



شکل ۱۴- تصویر میکروسکوپ الکترون پویشی الیاف آمیزه‌ای PP/PET بدون سازگار کننده (B1) با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰.

۰/۱۴ µm می دهد. قطر لیفچه‌ها در این حالت کمتر از نمونه سازگار نشده B4 (شکل ۱۴) است که این مطلب بیانگر کاهش کشش سطحی بین فاز ماتریس و متفرق بوده، که با چسبندگی دوفاز و نزدیکی آنها به یکدیگر همراه است [۱۶]. قطر لیفچه‌ها با افزایش مقدار سازگار کننده کاهش می یابد، به نحوی که در مرحله‌ای از آن فاز پراکنده را از فاز ماتریس نمی توان تشخیص داد [۱۷]. با افزایش غلظت سازگار کننده از ۲/۵ به ۷ phr (شکلهای ۱۵ و ۱۶) فاز پراکنده ریزتر شده، بطوری که با اضافه کردن ۷ phr سازگار کننده، فاز پراکنده از ماتریس قابل تشخیص نیست.

همان طور که از کلیه تصاویر پیداست، دستگاه مورد استفاده، اختلاط مناسبی را برای آمیزه سه جزئی فراهم آورده است، به نحوی که با ایجاد سرعت برش مناسب فاز پراکنده را بخوبی در فاز ماتریس

جدول ۴- نتایج حاصل از نمودارهای DSC.

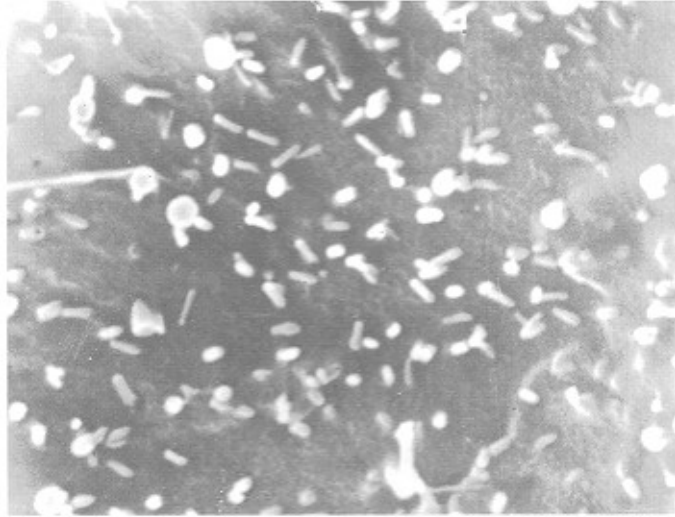
نمونه	میزان بلورینگی (%)	دمای بلورینگی (°C)	دمای ذوب (°C)
PP	۲۶/۵	—	۱۶۹
B1	۳۱/۴	۱۲۰	۱۶۵
B2	۳۷/۱	۱۲۴	۱۶۵
B3	۳۴/۰	۱۲۳	۱۶۴
B4	۳۳/۵	۱۲۳	۱۶۴
BI	۳۸/۵	۱۱۹	۱۶۵

مالنیک انیدرید موجود در سازگار کننده (بیش از ۰/۶ phr) در آمیزه، پدیده بلورینگی مجزا اتفاق می افتد، سازگار کننده و ماتریس به صورت دو فاز جدا متبلور شده و در نمودارهای DSC دو پیک T_m مشاهده می شود. این سیستم عمدتاً خواص ضعیفی نشان می دهد. در شرایطی که مقدار مالنیک انیدرید در سازگار کننده کم باشد (کمتر از ۰/۶ phr) پدیده هم بلوری اتفاق می افتد و سازگار کننده و ماتریس در دمای یکسان متبلور می شوند. در نمودارهای DSC این دسته از سازگار کننده‌ها یک T_m دیده می شود [۴] که این موضوع در نمونه‌های بالا مشاهده شده است. نکته قابل اهمیت این است که در کلیه نمونه‌های سازگار شده، هیچ تخریبی تا دمای ۳۱۰°C مشاهده نشد که این نیز نتیجه‌ای از سازگاری آمیزه‌هاست [۱۵]. تأثیر سازگار کننده در جلوگیری از تخریب را می توان با استفاده از نمودارهای DSC به شرح زیر بیان کرد. تخریب در نمودارهای PP خالص و آمیزه B1 (بدون سازگار کننده) به ترتیب از دماهای ۲۵۰ و ۳۰۰°C شروع می شود، در حالی که آمیزه‌های سازگار شده B2 تا B4 و BI تا حدود ۳۵۰°C نیز تخریب نشده‌اند.

مطالعات میکروسکوپی

تصاویر میکروسکوپ الکترون پویشی برخی از آمیزه‌ها در شکلهای ۱۴ تا ۱۶ مشاهده می شود.

همان طور که ملاحظه می شود، نمونه سازگار شده با ۲/۵ phr مالنیک انیدرید (شکل ۱۵) تشکیل لیفچه‌هایی با قطر حدود



شکل ۱۵- تصویر میکروسکوپ الکترون پوشی الیاف آمیزه‌ای PP/PET با ۲/۵ سازگار کننده (B۲) با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰.

بخش کرده است. خواص مکانیکی افت می‌کند بنابراین، بنظر می‌رسد که نمونه B۲ و مشابه آن B۱ از همه نمونه‌ها بهترند.

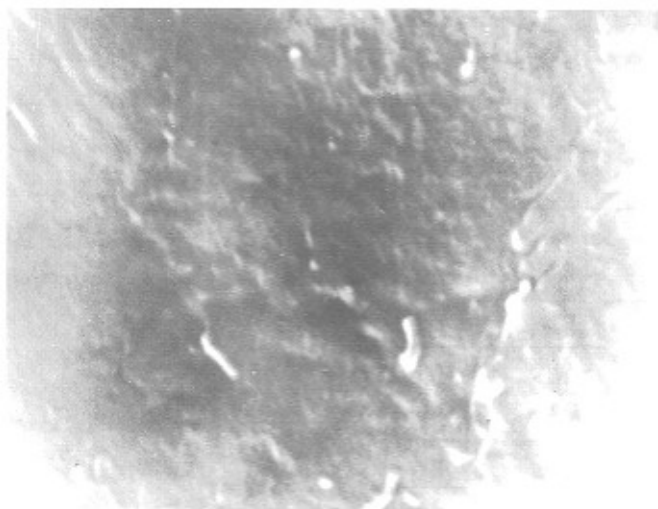
نتایج آزمون کشش

نتایج آزمون کشش و آزمون خواص مکانیکی الیاف آمیزه‌ای در شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ ارائه شده است.

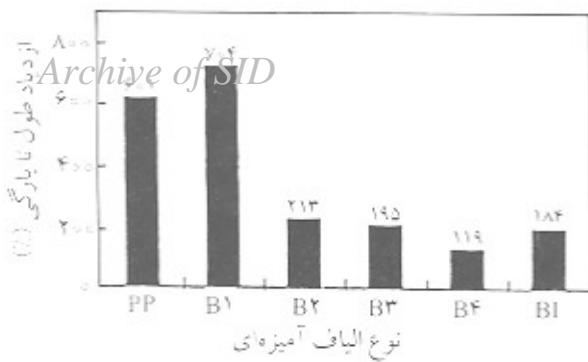
در شکل ۱۷ استحکام کششی الیاف نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش سازگار کننده به آمیزه PP/PET، استحکام کششی افت می‌کند. در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ نیز همین روند برای مدول یانگ و ازدیاد طول نا پارگی مشاهده می‌شود، که موارد یاد شده می‌تواند ناشی از سرعت سرمایش، نحوه عمل ریسندگی مذاب، شرایط عملیاتی یا ساختار مواد باشد. اما، می‌توان گفت که علی‌رغم بهبود شکل‌شناسی در درصد‌های بالای سازگار کننده،

چگالی خطی الیاف

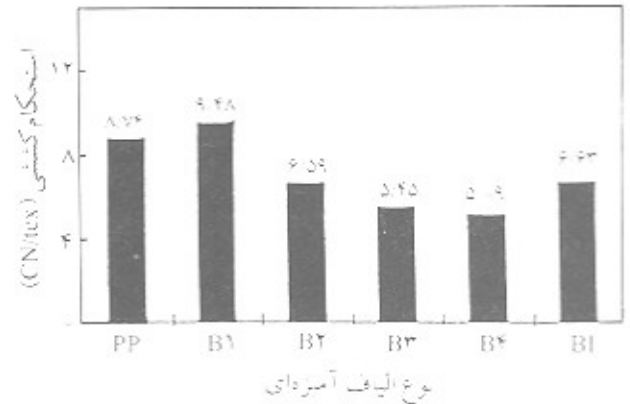
چگالی خطی اندازه‌گیری شده الیاف در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با سازگار سازی آمیزه چگالی خطی الیاف کاهش می‌یابد که نشان از اثر سازگار کننده در کاهش قطر ذرات پراکنده در فاز ماتریس دارد. از سوی دیگر، چون انعطاف‌پذیری با توان چهارم قطر لیف نسبت معکوس دارد [۱۸]، بنابراین با سازگار کردن الیاف PP/PET، انعطاف‌پذیری آنها نسبت به لیف پلی‌پروپیلن افزایش می‌یابد. پس کاهش چگالی خطی الیاف باعث انعطاف‌پذیری بیشتر



شکل ۱۶- تصویر میکروسکوپ الکترون پوشی الیاف آمیزه‌ای PP/PET با ۷ سازگار کننده (B۴) با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰.



شکل ۱۷- نمودار تغییرات استحکام کششی الیاف آمیزه‌ای.



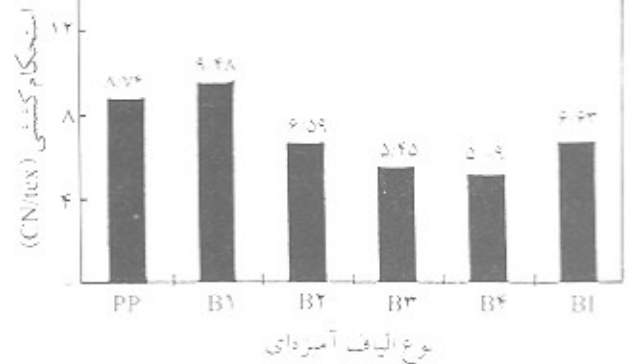
شکل ۱۹- نمودار تغییرات ازدیاد طول تا پارگی الیاف آمیزه‌ای.

که خواص مکانیکی محصول اهمیت کمتری دارد قابل استفاده است.

- با سازگاری الیاف آمیزه‌ای PP/PET می‌توان به چگالی خطی کمتری دست یافت که حاصل آن سبک شدن الیاف و انعطاف پذیری بیشتر آنهاست.

مراجع

- 1- J. Brandrup, E.H. Immergut and E. A. Grulke, (Eds), *Polymer Handbook*, (4th Ed), John Wiley & Sons, Inc, New York, 1999.
- 2- A. Hogt, "Modification of Polypropylene with Maleic Anhydride", *ANTEC'88*, The Society of Plastics Engineers, 1478-1480, Brookfield Center, 1988.
- 3- Lokensgard E., and Richardson T. L., *Industrial Plastics: Theory and Applications*, (3th Ed), Polymer Publishers Inc, 1997.
- 4- Huaha G. and Flat J.J., "Free Radical Grafting of Chemically Activated Maleic Anhydride onto Polypropylene by Reactive Extrusion", *ANTEC'94*, 3, The Society of Plastics Engineers, 2775-2778, Brookfield Center, 1994.
- 5- Harper C., *Handbook of Plastics, elastomer and composites*, (3th Ed.), McGraw Hill, 1996.
- 6- Xanthos M., and Young M.W., "Polypropylene/ Polyethylene Terephthalate Blends



شکل ۱۷- نمودار تغییرات استحکام کششی الیاف آمیزه‌ای.

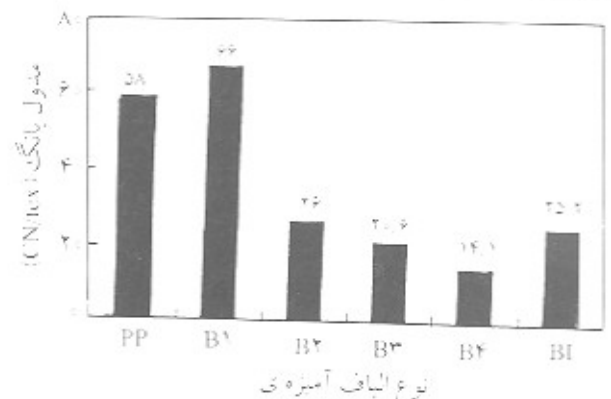
آنها می‌گردد.

جدول ۵- چگالی خطی الیاف آمیزه‌ای.

الیاف آمیزه‌ای	PP	B1	B2	B3	B4	BI
چگالی خطی (tex)	۲۴/۵۳	۲۴/۹۸	۲۰/۲۰	۱۷/۹۰	۸/۸۰	۱۲/۷۰

نتیجه‌گیری

- با پیوند زنی مالئیک انیدرید روی پلی‌پروپیلن، می‌توان خواص چسبندگی و آمیزه‌ای این پلیمر را بهبود بخشید.
- با افزایش مالئیک انیدرید (در غلظت ثابت DCP) بازده پیوند خوردگی کاهش می‌یابد و با افزایش DCP (در غلظت ثابت MA) بازده پیوند خوردگی افزایش نشان می‌دهد.
- با افزایش PP-g-MA به آمیزه PP/PET تغییر محسوسی در بلورینگی و شکل شناسی آمیزه مشاهده می‌شود، ولی به هر صورت خواص مکانیکی آمیزه تضعیف می‌شود. بنابراین، این روش (بازیافت الیاف جهت مصارف عمومی) برای مواردی



شکل ۱۸- نمودار تغییرات مدول بانگ الیاف آمیزه‌ای.

- Compatibilized Through Functionalization", *Polym. Eng. Sci.*, **30**, 6, 355-365, 1990.
- 7- Fuzessery S., "Grafted and Functionalized Plastic Resins for Recyclate and Multi-Polymer Compatibilizing", *Davos Recycle 92*, International Forum and Exposition, 10/6, 1-7, 1992.
- 8- Wong, B. and Baker W. E., "Melt Rheology of Graft Modified Polypropylene", *Polymer*, **38**, 11, 2781-2789, 1997.
- 9- Ho R. M. and Su A. C., "Functionalization of Polypropylene Via Melt Mixing", *Polymer*, **34**, 15, 3264-3269, 1993.
- 10- De Roover B., Sclavons M., and Carlier V., "Molecular Characterization of Maleic Anhydride-Functionalized Polypropylene", *J. Polym. Sci.: Part A, Polym. Chem.*, **33**, 829-842, 1995.
- 11- Malaika S. AL., *Reactive Modifiers for Polymers*, Blackie Academic & Professional, London, 1997.
- 12- Sclavons M. and Carlier V., "The Anhydride Content of Some Commercial PP-g-MA: FTIR and Titration", *J. Appl. Polym. Sci.*, **62**, 1205, 1996.
- 13- Utracki L.A., *Commercial Polymer Blends*, Chapman & Hall, Ltd, London, 1998.
- 14- Gupta V.B., Mondal S. A. and Bhuvanesh Y.C., "Spinning Speed-Throughput Rate Relationships for Polyester, Nylon and Polypropylene Fibers," *J. Appl. Polym. Sci.*, **65**, 9, 1773-1788, 1997.
- 15- Spreeuwes H.R., and Vanderpol M.W., "A Polymer Blend of Polypropylene and Poly(ethylene terephthalate) that Offends the Rules", *Plast. Rubber Process. Appl.*, **2**, 3, 159-166, 1989.
- 16- Liang Z. , Williams H.L., "Dynamic Mechanical Properties of Polypropylene-Polyamide Blends: Effect of Compatibilization," *J. Appl. Polym. Sci.*, **44**, 699-717, 1992.
- 17- Miettinen R. H., "Effects of Compatibilizers on the Properties of Polyamide/Polypropylene Blends", *Polym. Eng. Sci.*, **32**, 13, 868-877, 1992.
- 18- Duvall J., Sellitti C., Myers C., Hiltner A., and Baer E., "Interfacial Effects Produced by Crystallization of Polypropylene with PP-g-MA Compatibilizers, *J. Appl. Polym. Sci.*, **52**, 207-216, 1994.