

# اثر نسبت اجزا و سازگار کننده بر خواص

## رئولوژیکی، شکل شناسی و گرمایی آلیاژ پلی پروپیلن - نایلون ۶

Effect of Mixing Ratio and Compatibilizer on Rheological, Morphological and Thermal Properties of Polypropylene-Nylon 6 Alloy

مهدی افشاری<sup>۱\*</sup>، محمد حقیقت کیش<sup>۱</sup>، حسین نازکدست<sup>۲</sup>، عبدالرسول ازومیه ای<sup>۲</sup>

۱- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی بساچی؛ ۲- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پلیمر؛ ۳- پژوهشگاه پسر ایران، صندوق پستی ۱۴۹۹۵-۱۱۵

دریافت: ۷۹/۲/۲۳، پذیرش: ۸۰/۸/۲۴

### چکیده

آلیاژها با نسبت اجزای مختلف پلی پروپیلن و نایلون ۶ (۵۰:۵۰ تا ۱۰۰ درصد وزنی) با مقادیر متفاوت (۱ تا ۱۰ درصد وزنی) پلی پروپیلن حامل دار شده با مالئیک انهیدرید به عنوان سازگار کننده با استفاده از یک مخلوطکن آزمایشگاهی سرعته ای تهیه شدند. خواص رئولوژیکی، شکل شناسی و گرمایی آلیاژها اندازه گیری شد. خواص رئولوژیکی آلیاژها در سرعتهای برش کم و زیاد به مقدار و اندازه ذرات فاز پراکنده (نایلون ۶) بستگی دارد. با افزایش مقدار سازگار کننده به علت توزیع برهم گشت بین فازی گرانروی آلیاژ افزایش می یابد. با افزایش مقدار نایلون ۶، اندازه و اندازه ذرات فاز پراکنده افزایش می یابد و در آلیاژ دارای ۵۰ درصد وزنی نایلون ۶ ساختار بهم پیوسته مشاهده می گردد. اندازه ذرات فاز پراکنده در محلول سازگار کننده کم می شود. نتایج گرمایی جوشی نشان می دهد که درجه تبلور نایلون ۶ با افزایش مقدار سازگار کننده کاهش می یابد. با ازن هیدروسیل زیر فرکانس انتقال فوری وجود پیوند بین نایلون ۶ و سازگار کننده رابطه می شود.

واژه های کلیدی: آلیاژ، شکل شناسی، سازگار کننده، امتزاج پذیری، خواص رئولوژیکی

*Key Words: alloy, morphology, compatibilizer, Immiscible, rheological properties*

### مقدمه

طوری که امروزه آلیاژهای پلیمری در بسیاری از کاربردهای مهندسی جایگزین مواد سنتی همچون فلزات و سرامیکها شده است. علاوه بر این، در دهه اخیر توجه زیادی به آلیاژها برای تولید فیلم در صنایع بسته بندی و همچنین الیاف آلیاژی شده است [۱].

آلیاژهای پلیمری بسته به درجه سازگاری اجزای آنها با یکدیگر می توانند امتزاج پذیر یا امتزاج ناپذیر باشند. بر اساس نتایج گزارش شده [۲] آلیاژهای با اجزای امتزاج ناپذیر خواص فیزیکی-مکانیکی جدیدی

آلیاژسازی پلیمرها به عنوان روشی مناسب برای تولید مواد پلیمری با خواص متفاوت در سازه های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. این روش از مزایایی همچون تولید موادی با خواص ویژه بدون نیاز به سنتز پلیمرهای جدید، افزایش دامنه مصرف پلیمرها، بازگردانی ضایعات مواد پلیمری و در نهایت نسبت کمتر هزینه به قیمت برخوردار است. به

\*سئول مکاتب، پانگاکار: mendi\_afshari@yahoo.com

رئولوژیکی و رابطه آن با شکل‌شناسی آلیاژ پلی‌پروپیلن و نایلون ۶ انجام شده است. به همین دلیل، در این مطالعه ابتدا شرایط مناسب فرایند (دما و سرعت چرخنده مخلوط کن آزمایشگاهی مرحله‌ای) تعیین و پس از تهیه آلیاژها در نسبت اجزای مختلف نایلون ۶ در مجاورت پلی‌پروپیلن عامل‌دار شده با مالئیک انیدرید به عنوان سازگار کننده خواص رئولوژیکی، شکل‌شناسی و گرمایی آلیاژها مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف این مقاله بررسی اثر مقدار و اندازه ذرات فاز پراکنده بر خواص رئولوژیکی آلیاژ و تفسیر رفتار مشاهده شده با استفاده از شکل‌شناسی آلیاژ است. خواص گرمایی و شاخص جریان مذاب آلیاژها اندازه‌گیری و برای توجیه خواص آلیاژها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

## تجربی

### مواد

پلی‌پروپیلن از نوع تک‌آرایش با چگالی  $0.92 \text{ g/cm}^3$  و شاخص جریان مذاب  $10 \text{ g/10min}$  از شرکت پتروشیمی اراک با نام تجاری ۷۳۰۵ و نایلون ۶ با چگالی  $1.14 \text{ g/cm}^3$  و شاخص جریان مذاب  $10 \text{ g/10min}$  از شرکت پارسیلون خرم‌آباد برای تولید الیاف تهیه شد. چون در ادامه پژوهش تولید الیاف از آلیاژها مورد نظر بود، بنابراین از پلی‌پروپیلن و نایلون ۶ از نوع مناسب برای تولید الیاف استفاده شد. از پلی‌پروپیلن عامل‌دار شده با مالئیک انیدرید PP-g-MAH با چگالی  $0.91 \text{ g/cm}^3$ ، شاخص جریان مذاب  $10 \text{ g/10min}$  و درصد عامل‌دار بودن  $1/5$  درصد ساخت شرکت بونی رویال کیمیکال با نام تجاری POLY BOND ۳۱۵۰ استفاده شد. ضدآکنده ایرگلوکس ۱۰۱۰ از شرکت سیبا-گابگی (به مقدار  $1/1$  درصد وزنی آلیاژ) مورد استفاده قرار گرفت.

### دستگاهها

برای آلیاژسازی یک مخلوط‌کن آزمایشگاهی مرحله‌ای با نام Rheomixer System ۹۰ ساخت هکه بکار گرفته شد. همچنین، برای تعیین خواص رئولوژیکی از یک دستگاه رئومتر موپین ساخت اینسترون مدل ۳۲۱۱ برای اندازه‌گیری شاخص جریان مذاب نمونه‌ها از دستگاه Melt Flow Indexer مدل ۱۰ ساخت انگلستان برای بررسی شکل‌شناسی از میکروسکوپ الکترون پوشی ساخت کمبریج مدل استرئوسکی ۳۶۰، برای اندازه‌گیری خواص گرمایی از دستگاه DSC ساخت پلیمرلاب و برای طیف‌نمایی FTIR از دستگاه طیف‌سنجی زیرقرمز انتقال فوریه ساخت Bomem استفاده شد.

نشان می‌دهند. از طرفی، نحارب پژوهشگران نشان می‌دهد که رفتار و خواص مکانیکی این گونه آلیاژهای پلیمری به میزان زیادی بستگی به شکل‌شناسی فازی آنها دارد [۳]. شکل‌شناسی این سیستمها به هنگام آلیاژسازی به وسیله پارامترهای مهمی مانند نسبت گرماییها و اجزاء برهم‌کنش بین سطحی، میدان جریان و شرایط فرایند در حین اختلاط کنترل می‌شود [۳-۷].

برهم‌کنش بین سطحی در تعیین شکل‌شناسی و خواص مکانیکی محصولات آلیاژی از اهمیت زیادی برخوردار است، بطوری که برای سیستمهای مختلف آلیاژی سازگار کننده‌های مخصوص طراحی و بکار گرفته شده است [۸].

فرایند سازگارسازی با سه هدف زیر انجام می‌شود [۹]

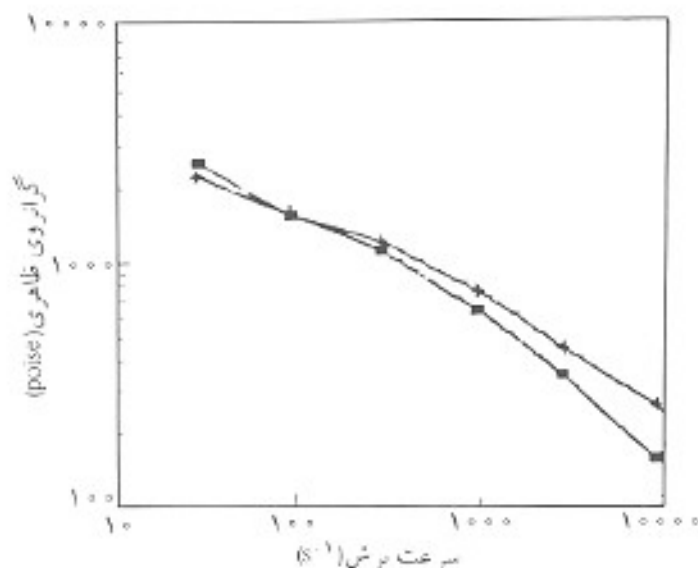
- تقویت برهم‌کنش بین سطحی یا کاهش گشتش بین سطحی که منجر به پراکندگی بهتر یک فاز در فاز دیگر می‌شود.
- ب- پایدار کردن شکل‌شناسی در برابر تنش یا کرنشها و
- ج- تقویت چسبندگی بین فازی در حالت جامد که منجر به بهبود خواص مکانیکی می‌شود.

یکی از آلیاژهای مهم که در طول دو دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است، آلیاژهای پلی‌پروپیلن و نایلون ۶ است. با اختلاط پلی‌پروپیلن و نایلون ۶ محدوده گسترده‌ای از خواص مثل مقاومت شیمیایی خوب، جذب آب کم، مقاومت در برابر ضربه، پایداری ابعادی، نفوذپذیری کم و خواص مکانیکی و گرمایی مناسب و فرایندپذیری بهتر ایجاد می‌شود.

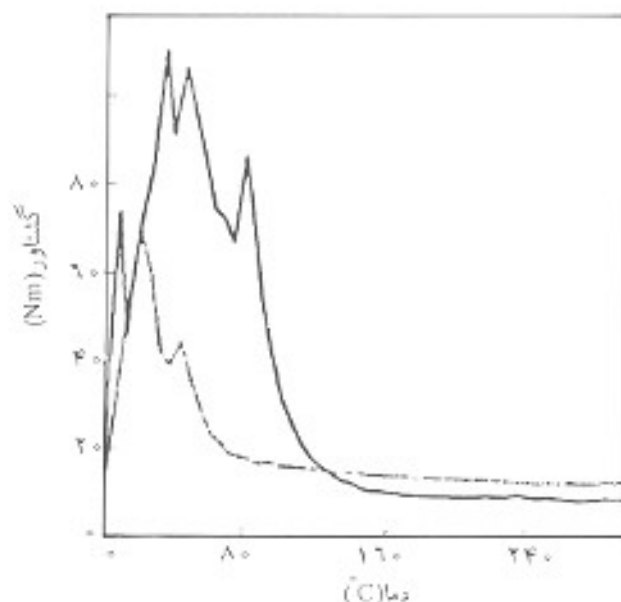
با توجه به رشد روزافزون مصرف پلی‌پروپیلن در جهان و گسترش دامنه مصرف آن در کاربردهایی مانند ماتریس برای مواد تقویت کننده، پوشش روی فلزات و استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن در مصارف پوشاک و صنعتی، اصلاح بعضی از خواص آن ضرورت پیدا می‌کند [۱۰-۱۳].

اثر نسبت اجزای آلیاژ پلی‌پروپیلن و نایلون ۶ روی نیلور [۱۴]، اندازه ذرات فاز پراکنده [۱۵]، خواص مکانیکی -دینامیکی [۱۶]، گرانروی برشی [۱۶] و خواص مکانیکی [۱۷، ۱۸] بررسی شده است. کارهای انجام شده در زمینه اثر سازگار کننده بر شکل‌شناسی، خواص مکانیکی همچون استحکام، ازدیاد طول تا پارگی، مدول، مقاومت در برابر ضربه و خواص دینامیکی مخلوط پلی‌پروپیلن و نایلون ۶ متمرکز شده است. مقدار سازگار کننده در مخلوط، درصد عامل‌دار شدن پلی‌پروپیلن با مالئیک انیدرید و مقایسه سازگار کننده‌های مختلف عنوانهای مقالات پژوهشی را تشکیل می‌دهد [۹، ۱۰، ۱۲-۱۴، ۱۹، ۲۳].

با توجه به مجموعه مقالات در دسترس مشخص می‌شود که مطالعات کمی روی اثر نسبت اجزا و سازگار کننده بر خواص



شکل ۲- نمودار گرانروی - سرعت برش پلی پروپیلن و نایلون ۶ در دمای  $23^{\circ}\text{C}$  (●) نایلون ۶ و (■) پلی پروپیلن.



شکل ۱- نمودار گشتاور-زمان پلی پروپیلن و نایلون ۶ در دمای  $23^{\circ}\text{C}$  و سرعت چرخنده ۶۰ rpm (-) نایلون ۶ و (---) پلی پروپیلن.

این روشی شد دور چرخنده به گونه‌ای انتخاب شود که در آن اختلاف گشتاور (گرانروی) پلی پروپیلن و نایلون ۶ کمترین مقدار باشد. مشاهده شد که در این سرعت (۶۰ rpm) اختلاف گرانروی پلی پروپیلن و نایلون ۶ کمتر است و نسبت گرانروی آنها به یک نزدیکتر می‌شود. جدول ۱ نسبت اجزای مخلوط در آلیاژها را نشان می‌دهد.

تعیین مشخصات آلیاژهای تهیه شده

خواص رئولوژیکی آلیاژها با استفاده از رئومتر موین یا حدیده موین به طول ۲ in، قطر ۰/۵ in و زاویه ورودی  $90^{\circ}$  در دمای  $23^{\circ}\text{C}$  مورد ارزیابی قرار گرفت.

شاخص جریان مذاب نمونه‌ها در دمای  $23^{\circ}\text{C}$  و وزنه  $2/15\text{ kg}$  طبق روش استاندارد ASTM ۱۲۳۸ اندازه‌گیری شد.

مورفولوژی نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترون پویشی بررسی و تصاویر از سطح شکسته شده نمونه در نیتروژن مایع تهیه شده است. سطح نمونه‌ها با طلا پوشش داده شد.

تجزیه گرمایی نمونه‌ها با دستگاه گرماسنجی پویشی تفاضلی (DSC) با سرعت گرمادهی  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  از دمای صفر تا  $250^{\circ}\text{C}$  و زمان ۵ min در دمای  $250^{\circ}\text{C}$  انجام شد. سپس نمونه‌ها با سرعت  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  تا دمای معمولی سرد شد. وزن نمونه‌ها ۶-۸ mg بود. درصد تبلور هر جزء نمونه‌ها از تقسیم کردن گرمای ذوب بر گرمای ذوب پلی پروپیلن یا نایلون ۶ صد در صد بلوری ( $\Delta H_{\text{PP/PAH}}(\text{N}_6)$ ) و با در نظر گرفتن کسر وزنی هر جزء به ترتیب ۵۰ و ۵۵ Cal/g [۶] محاسبه شده است.

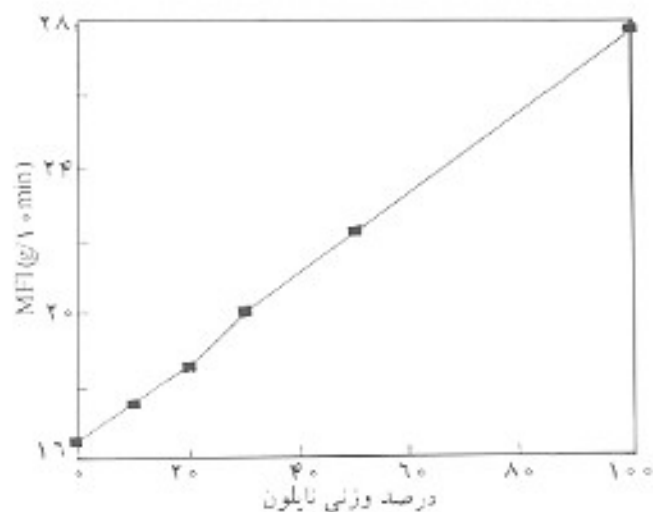
روشها

آلیاژسازی

آلیاژها با استفاده از یک مخلوط‌کن آزمایشگاهی مرحله‌ای با حجم ۳۰۰ ml، ضریب پرشدن ۸/۵، دمای  $23^{\circ}\text{C}$ ، سرعت چرخنده ۳۰، ۴۵ و ۶۰ rpm و زمان ۵ min تهیه شد. قبل از انجام عملیات اختلاط نایلون ۶ به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای  $80^{\circ}\text{C}$  خشک شد. یک نمونه از نمودارهای گشتاور بر حسب زمان در سرعت ۶۰ rpm بدست آمده از دستگاه مخلوط‌کن آزمایشگاهی در شکل ۱ نشان داده شده است. از آنجا که گشتاور معیاری از گرانروی است، از

جدول ۱- نسبت اجزا در آلیاژها.

شماره نمونه	PP (W%)	N6 (W%)	PP-g-MAH (W%)
۸۱	۱۰۰	۰	۰
۸۲	۰	۱۰۰	۰
۸۳	۸۵	۱۰	۵
۸۴	۷۵	۲۰	۵
۸۵	۶۵	۳۰	۵
۸۶	۴۵	۵۰	۵
۸۷	۸۰	۲۰	۰
۸۸	۷۷/۵	۲۰	۲/۵
۸۹	۷۰	۲۰	۱۰



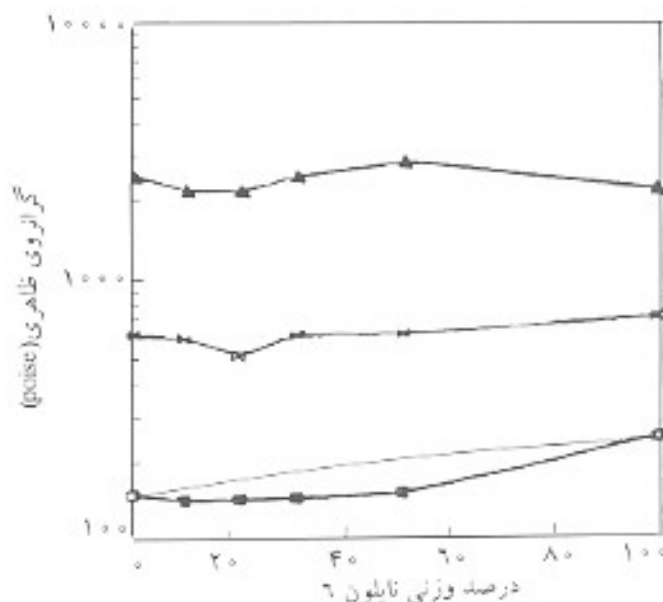
شکل ۵- شاخص جریان مذاب بر حسب مقدار نایلون ۶ در آلیاژ PP/N۶/PP-g-MAH.

$4000-40000 \text{ cm}^{-1}$  برداشت شد.

### نتایج و بحث

نمودار گرانروی - سرعت برش پلی پروپیلن و نایلون ۶ در دمای  $230^\circ\text{C}$  در شکل ۲ آمده است. این دما به عنوان دمای اختلاط انتخاب شد. منحنی پلی پروپیلن و نایلون ۶ در این دما یکدیگر را در محدوده سرعت برش  $100 \text{ s}^{-1}$  قطع می کنند، یعنی در این محدوده از سرعت برش، گرانروی مساوی دارند. همان طور که ملاحظه می گردد نمونه های خالص پلی پروپیلن و نایلون ۶ رفتاری از نوع قانون توانی نشان می دهند، با این تفاوت که شاخص رفتار جریان پلی پروپیلن است. با توجه به نتایج کار پژوهشگران دیگر، در نسبت گرانروی یک اندازه ذرات فاز پراکنده به حداقل می رسد [۲۴]. این موضوع در تهیه آلیاژها مورد توجه قرار گرفت. بدین ترتیب که آلیاژها در بیشترین سرعت برش (سرعت چرخنده  $60 \text{ rpm}$ ) تهیه شد. چون، در این سرعت چرخنده، اختلاف گرانروی پلی پروپیلن و نایلون ۶ کمتر است و نسبت گرانروی به یک نزدیکتر می شود. به بیان دیگر، این نتایج مبنایی برای انتخاب دور چرخنده های مخلوط کن برای تهیه آلیاژها شد. در این پژوهش، تلاش بر این است که اندازه ذرات فاز پراکنده کوچک باشد، زیرا در ادامه پژوهش همان طور که قبلا اشاره شد، تولید لیاف با ساختار ماتریس-لیفچه مورد توجه است.

منحنی گرانروی - ترکیب درصد نایلون ۶ در سرعت های برش

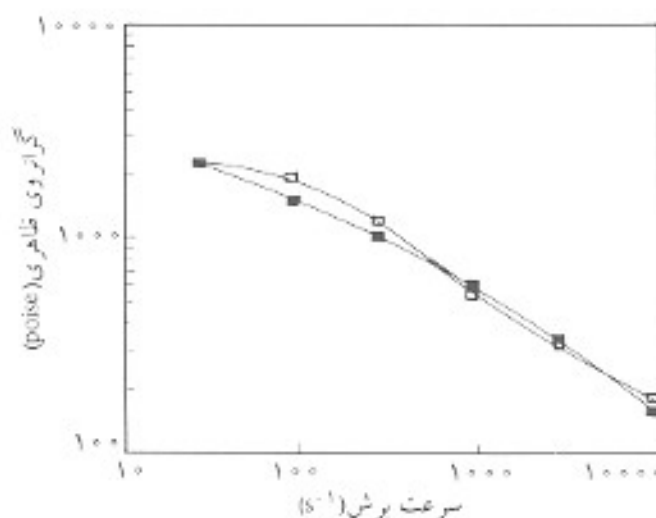


شکل ۳- نمودار گرانروی - ترکیب درصد نایلون ۶ در آلیاژ در سرعت های برش:  $1000 \text{ s}^{-1}$  (●) و  $100 \text{ s}^{-1}$  (○) و  $10 \text{ s}^{-1}$  (▲).

$$X_{C,N6} = (\Delta H_{f,N6} / \Delta H_{f,N6}^0) 100 / W_{N6}$$

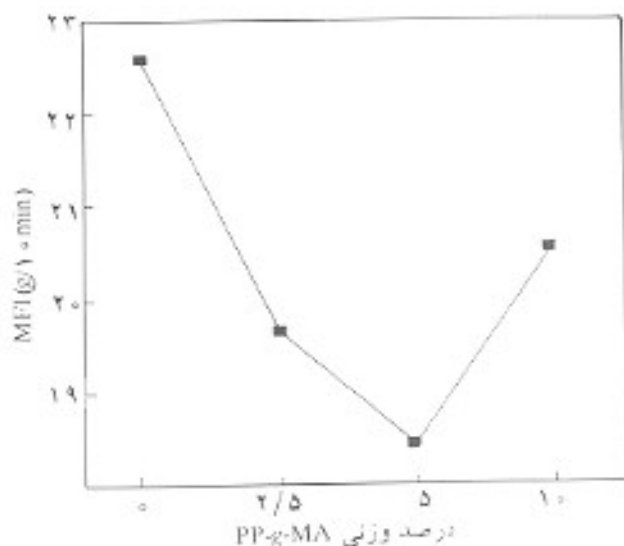
$$X_{C,PP} = (\Delta H_{f,PP} / \Delta H_{f,PP}^0) 100 / W_{PP}$$

برای طیف نمایی FTIR فیلمهایی با ضخامت  $0.1 \text{ mm}$  به وسیله پرس آزمایشگاهی در دمای ذوب تهیه و طیفها با استفاده از یک دستگاه طیف سنجی زیر قرمز انتقال فوری در محدوده



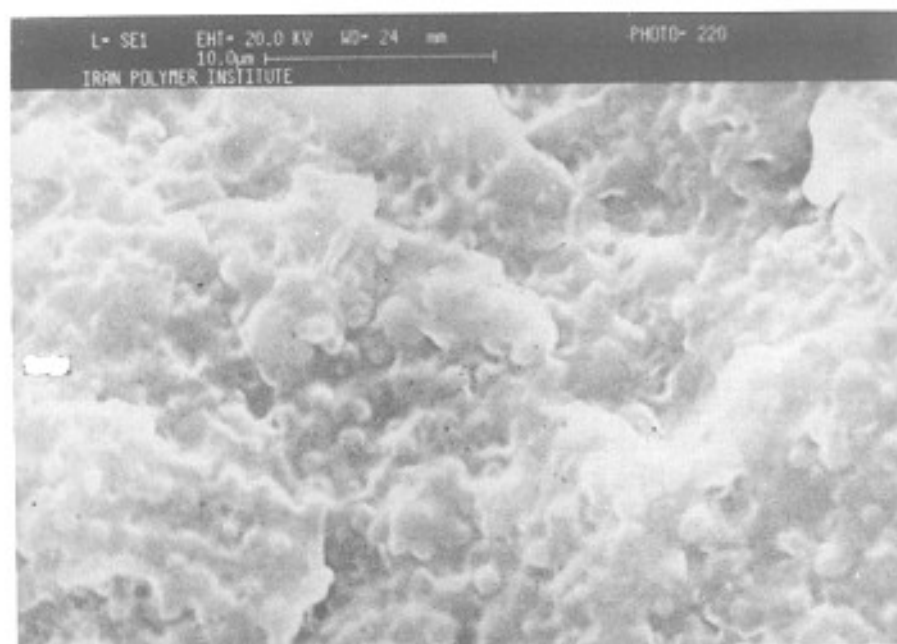
شکل ۴- نمودار گرانروی - سرعت برش در آلیاژ با درصد های مختلف PP/N۶/PP-g-MAH:  $75/20/5$  (○) و  $77/5/20/2/5$  (■).

به علت افزایش کشش ذرات در جهت جریان درون لوله موین نوجیه کرده است. نتیجه می شود که در سرعت برش  $10 \text{ s}^{-1}$  اگر مقدار نایلون از ۲۰ درصد بیشتر باشد، شکل شناسی بهم پیوسته (co-continuous) یا درهم گیر (interlocked) وجود دارد، ولی در سرعت های برش بیشتر حتی در ۵۰ درصد نایلون نیز شکل شناسی ماتریس - فاز پراکنده مشاهده می شود. به عبارت دیگر، با افزایش سرعت برش سیستم برای تمام ترکیب درصدها به سمت شکل شناسی ماتریس پراکنده میل می کند. به همین دلیل در سرعت برش  $1000 \text{ s}^{-1}$  نمودار گرانروی کمی انحراف منفی نشان می دهد و انحراف منفی در سرعت برش  $10000 \text{ s}^{-1}$  محسوس تر می شود. در سرعت های برش کم گرانروی به مقدار کمی تحت تاثیر تغییر شکل فطره است و در سیستم، گرانروی به وسیله اندازه ذرات و برهم کش دو فاز معین می شود. بنابراین، در سرعت های برش کم با افزایش مقدار فاز پراکنده، ممکن است گرانروی مخلوط بیشتر از گرانروی متوسط دو جزء باشد. با توجه به مقادیر گرانرویها در سرعت های برش مختلف مشخص می شود که افزایش گرانروی در سرعت های برش کم با افزایش مقدار نایلون ۶ در آلیاژ بیشتر از سرعت های برش زیاد است. از این رو، برای ایجاد ساختار بهم پیوسته یا مشاهده پدیده معکوس شدن فازی خواص رئولوژیکی آلیاژ اهمیت بسزایی دارد. پارک و همکاران [۱۶] در سرعت برش  $10 \text{ s}^{-1}$  انحراف مثبت و در سرعت برش  $100 \text{ s}^{-1}$  انحراف مثبت-منفی و در سرعت های برش بیشتر  $1000 \text{ s}^{-1}$  انحراف منفی مشاهده کردند.

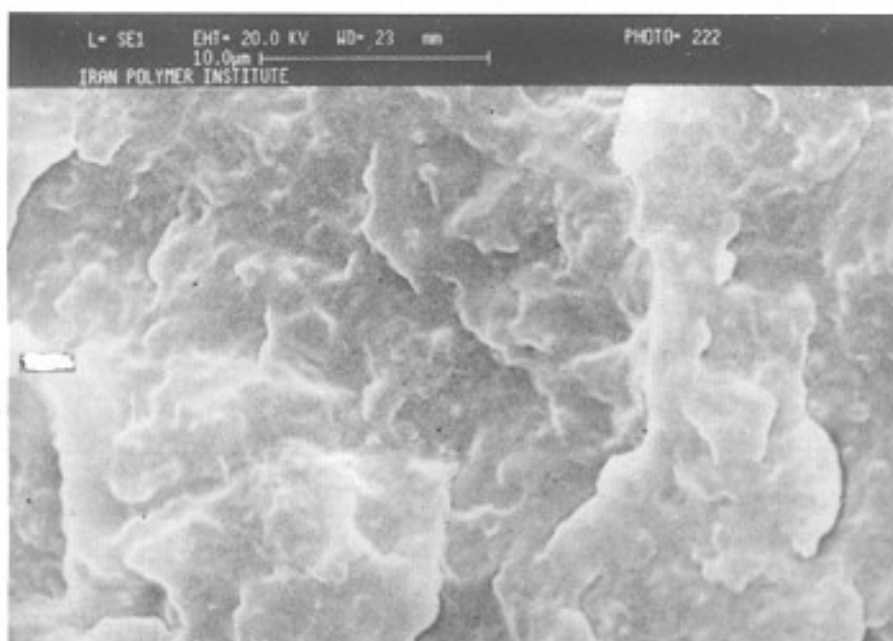


شکل ۶- شاخص جریان مذاب بر حسب مقدار پلی پروپیلن عامل دار شده با مالئیک انیدرید در آلیاژ دارای ۲۰ درصد وزنی نایلون ۶.

متفاوت برای نمونه آلیاژها در شکل ۳ نشان می دهد که در سرعت برش  $10 \text{ s}^{-1}$  منحنی گرانروی - ترکیب درصد نایلون ۶ در نمونه رفتار منفی-مثبت دارد و با افزایش سرعت برش انحراف منفی دارد که این انحراف با افزایش سرعت برش بیشتر می شود، چون با افزایش سرعت برش ذرات فاز پراکنده ریزتر می شود و این موضوع را همان [۲۵]



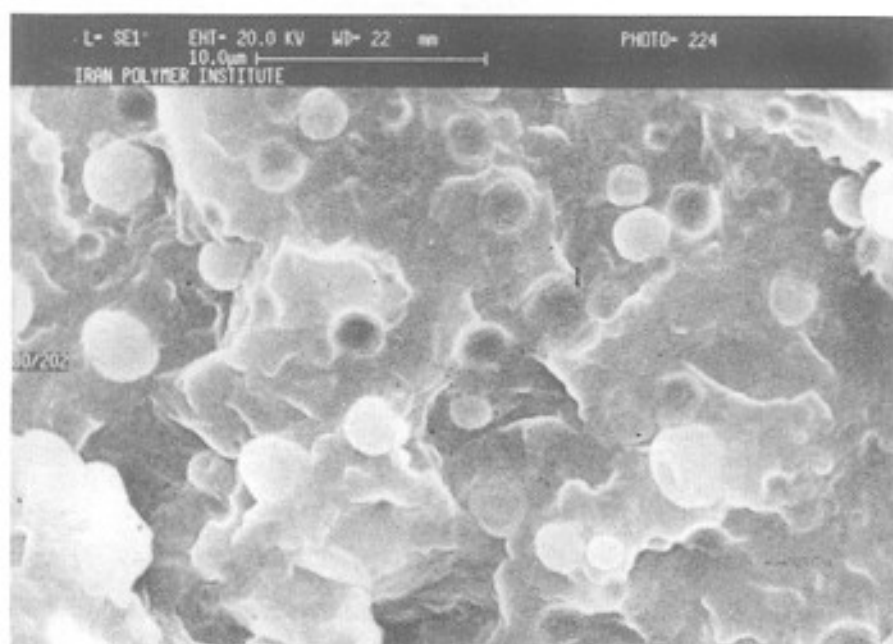
شکل ۷- تصویر میکروسکوپ الکترون پویشی آلیاژ ۵/۱۰/۸۵ (PP/PA/PP-g-MAH) با بزرگنمایی ۳۰۰۰.



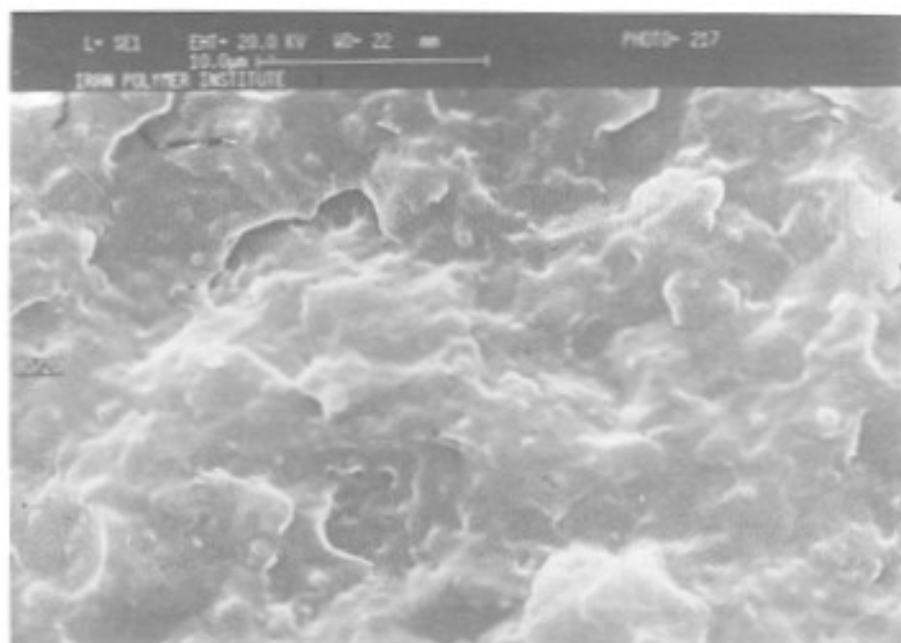
شکل ۸- تصویر میکروسکوپ الکترون پوشی آلیاژ ۴۵/۵۰/۵ (PP/N۶/PP-g-MAH) با بزرگنمایی ۳۰۰۰.

که با افزایش مقدار سازگار کننده (پلی پروپیلن عامل دار شده با مائیک انیدرید) در آلیاژ ۸۰/۲۰ گراتروی افزایش می‌یابد. علت آن تقویت برهم کنش ذرات و افزایش مقاومت در مقابل تغییر شکل جریان است.

در شکل ۴ تغییرات گراتروی ظاهری بر حسب سرعت برش برای آلیاژ ۸۰/۲۰ (PP/N۶) با مقادیر ۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد سازگار کننده نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود



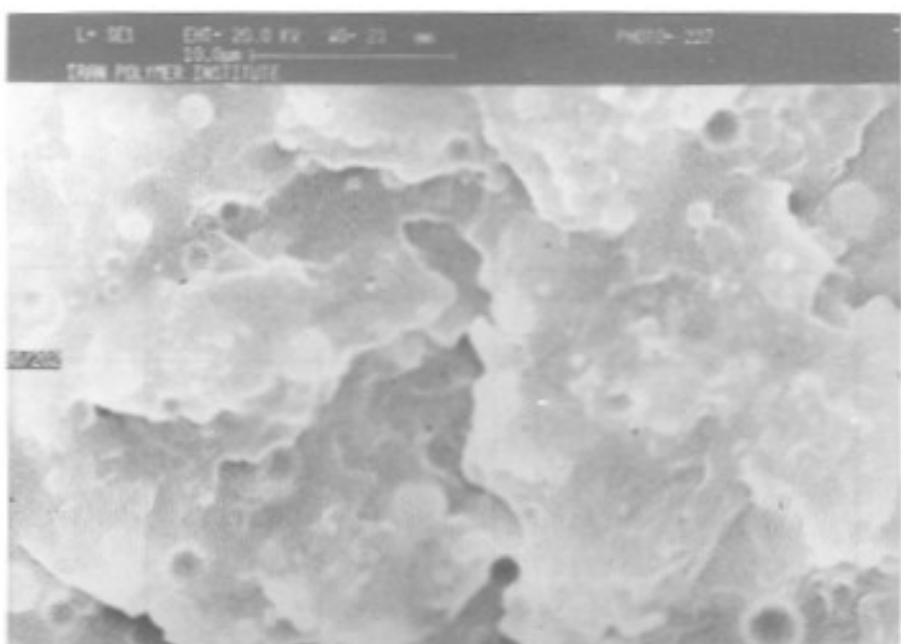
شکل ۹- تصویر میکروسکوپ الکترون پوشی آلیاژ ۸۰/۲۰ (PP/N۶) با بزرگنمایی ۳۰۰۰.



شکل ۱۰- تصویر میکروسکوپ الکترون پوشی آلیاز ۷۵/۲۰/۵ (PP/N۶/PP-g-MAH) با بزرگنمایی ۳۰۰۰.

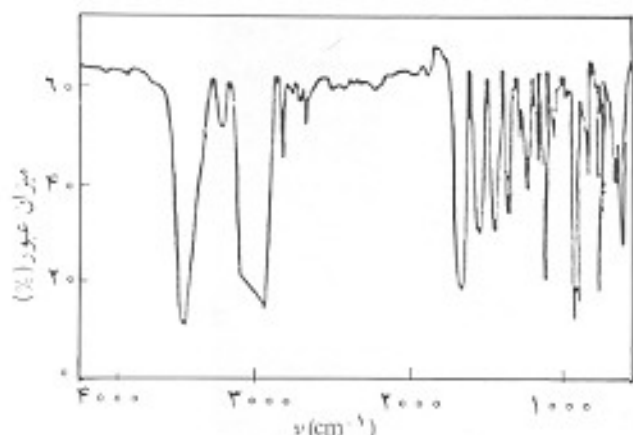
چسبندگی بین فازی بیشتر نمایان خواهد شد. از این رو، گرانروی بیشتر از گرانروی متوسط دو جزء است. نتایج اندازه‌گیری شاخص جریان مذاب در شکل ۵ نشان

ولی در ۵ و ۱۰ درصد سازگار کننده منحنیها تقریباً مشابه‌اند. افزایش گرانروی در سرعت‌های برش کم محسوس‌تر است، چون در سرعت‌های برش کم مقاومت در برابر نیروهای برشی بیشتر است و تقویت



شکل ۱۱- تصویر میکروسکوپ الکترون پوشی آلیاز ۷۰/۲۰/۱۰ (PP/N۶/PP-g-MAH) با بزرگنمایی ۳۰۰۰.

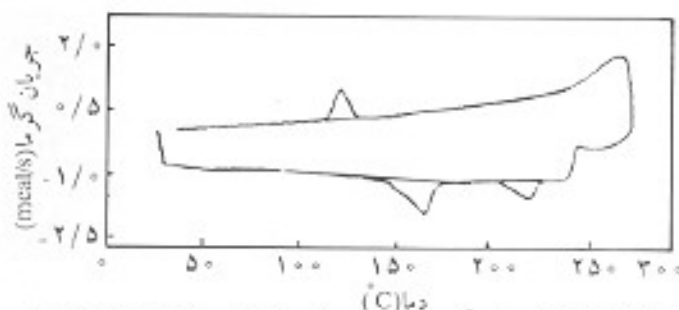




شکل ۱۳ - طیف زیرقرمز آلیاژ ۸۰/۲۰ (PP/N6).

شکستن نمونه در نیتروژن مایع، همان طور که در شکلها ملاحظه می شود، سطوح ناهموار می شود. با مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترون پوشی تهیه شده از آلیاژها مشخص می شود که با افزایش مقدار نایلون ۶ در آلیاژ تعداد ذرات فاز پراکنده و اندازه ذرات این فاز افزایش می یابد. ابعاد ذرات از حدود ۰/۵ تا حدود ۲/۵  $\mu m$  تغییر می کند. در آلیاژ ۴۵/۵۰/۵ در بعضی مناطق تشخیص فاز ماتریس از فاز پراکنده ممکن نیست و شکل شناسی بهم پیوسته ملاحظه می گردد. درشت شدن ذرات فاز پراکنده در ترکیب درصدهای بالای فاز پراکنده (بیشتر از ۳۰ درصد) و برهم کنش بین ذرات بر گرانیروی اثر می گذارد و همان طور که در شکل ۳ ملاحظه می شود منجر به انحراف مثبت نمودار گرانیروی - ترکیب درصد از رابطه خطی می شود.

شکلهای ۹ تا ۱۱ تصاویر میکروسکوپ الکترون پوشی نمونه های با ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد سازگار کننده را نشان می دهد. با در نظر گرفتن بزرگنمایی اندازه ذرات فاز پراکنده با افزایش مقدار سازگار کننده



شکل ۱۴ - نمودار گرماسنجی پوشی نفاضلی آلیاژ ۴۵/۵۰/۵ (PP/N6/PP-g-MAH).

می دهد که با افزایش مقدار نایلون ۶ در آلیاژها شاخص جریان مذاب افزایش می یابد، چون نایلون ۶ دارای شاخص جریان مذاب بیشتری نسبت به پلی پروپیلن است و با افزایش مقدار آن در آلیاژ شاخص جریان مذاب افزایش خواهد یافت.

نتایج اندازه گیری شاخص جریان مذاب در شکل ۶ نشان می دهد که با افزایش مقدار سازگار کننده از صفر تا ۵ درصد در آلیاژ دارای ۲۰ درصد نایلون ۶، شاخص جریان مذاب کاهش و در ۱۰ درصد افزایش یافته است. کاهش شاخص جریان مذاب با افزایش مقدار سازگار کننده تا ۵ درصد به علت افزایش برهم کنش پلی پروپیلن و نایلون ۶ و افزایش وزن مولکولی به علت تشکیل کوپلیمر PP-g-N6 است، اما در مقدار ۱۰ درصد، سازگار کننده درون هر فاز بطور مجزا قرار می گیرد و تشکیل فاز سومی را می دهد و موجب چسبندگی بین فازها نمی شود. نتایج مشابه توسط سات [۶] گزارش شده است.

ریزساختار

شکلهای ۷ و ۸ تصاویر میکروسکوپی آلیاژها را نشان می دهد. در اثر

جدول ۲ - نتایج حاصل از گرماسنجی پوشی نفاضلی.

شماره نمونه	دمای ذوب پلی پروپیلن (°C)	دمای ذوب نایلون ۶ (°C)	درصد تبلور پلی پروپیلن	درصد تبلور نایلون ۶
۸۱	۱۶۶/۱۷	-	۳۳/۲۴	-
۸۲	-	۲۲۳/۲۲	-	۲۷/۵۱
۸۳	۱۶۶/۵۵	-	۴۳/۴۶	-
۸۴	۱۶۷/۴۵	۲۲۰/۹۲	۴۱/۶۸	۲۶/۴۵
۸۵	۱۶۶/۶۳	۲۱۹/۲۰	۵۲/۵۵	۲۲/۶۶
۸۶	۱۶۶/۳۴	۲۲۰/۵۷	۷۰/۳۵	۲۱/۲۴
۸۷	۱۶۶/۴۸	۲۱۹/۰۹	۴۹/۹۷	۳۵/۱۸
۸۸	۱۶۷/۱۱	۲۲۰/۵۷	۵۰/۸۹	۲۷/۸۲
۸۹	۱۶۸/۵۹	۲۲۰/۳۳	۴۰/۶۸	۲۲



[۱۹] است.

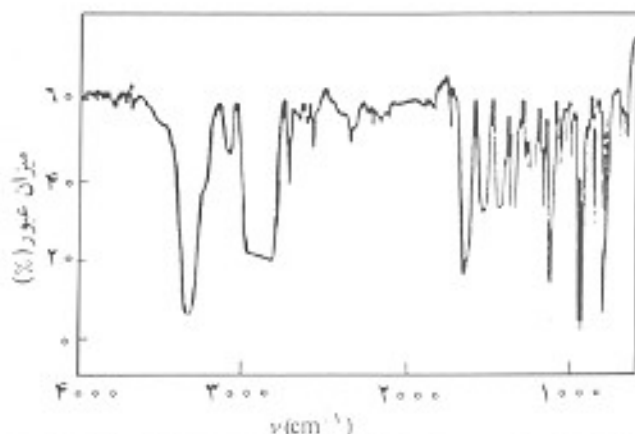
طیف‌سنجی زیر قرمز انتقال فوری (FTIR)

طیفهای زیر قرمز نمونه‌ها در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ ارائه شده است. طیفهای بدست آمده از آلیاژهای ۸۰/۲۰ (PP/N۶) با مقادیر متفاوت سازگار کننده ۰ و ۵ درصد نشان می‌دهد که با افزایش مقدار مالئیک انیدرید شدت پیک مربوط به کربونیل انیدرید  $1790\text{ cm}^{-1}$  افزایش می‌یابد. اما آنچه که نشان دهنده انجام واکنش بین گروه آمین انتهایی نایلون ۶ و گروه کربونیل انیدرید است در پیک  $3070\text{ cm}^{-1}$  (انصال آمید) نمایان می‌شود و شدت این پیک با افزایش مقدار پلی‌پروپیلن عامل‌دار شده با مالئیک انیدرید افزایش می‌یابد، که دلیل این افزایش سازگاری و انصال بین نایلون ۶ و سازگار کننده است. پیک  $1546\text{ cm}^{-1}$  مربوط به مخلوط پیوند آمید ۱ و ۱۱ است. با توجه به طیفها مشخص می‌شود که با افزایش مقدار پلی‌پروپیلن عامل‌دار شده با مالئیک انیدرید شدت این پیک افزایش می‌یابد و در ضمن پیک به سمت طول موجهای بیشتر انتقال می‌یابد. نتایج مشابه توسط مارکو و همکارانش [۲۹] گزارش شده است.

پیوند بین سازگار کننده و نایلون ۶ منجر به کاهش اندازه ذرات فاز پراکنده به علت کاهش کشش بین سطحی و افزایش گرانیوی به علت تقویت چسبندگی بین فازی می‌شود.

### نتیجه‌گیری

افزایش ترکیب درصد نایلون ۶ در آلیاژ تغییرات مشخصی را در خواص آلیاژ ایجاد می‌کند. نمودار گرانیوی - ترکیب درصد نایلون ۶ در سرعت برش  $10\text{ s}^{-1}$  انحراف منفی مثبت و در سرعتهای برش  $1000$  و  $10000\text{ s}^{-1}$  انحراف منفی نسبت به قانون خطی نشان می‌دهد که این انحراف با افزایش سرعت برش بیشتر می‌گردد. نمودار گرانیوی - ترکیب درصد در سرعتهای برش کم به اندازه ذرات فاز پراکنده بستگی دارد، بطوری که در درصدهای بالاتر از ۳۰ به دلیل درشت شدن اندازه ذرات فاز پراکنده و برهم کشش بین ذرات، انحراف مثبت مشاهده می‌شود. اثر مقدار نایلون ۶ بر گرانیوی در سرعتهای برش کم محسوستر است. وجود سازگار کننده به علت تشکیل انصال بین گروههای آمید انتهایی نایلون ۶ و پلی‌پروپیلن عامل‌دار شده با مالئیک انیدرید موجب تقویت چسبندگی بین فازی می‌شود. وجود سازگار کننده در آلیاژ منجر به افزایش گرانیوی می‌گردد. مشخص شد که برای تغییر ریزساختار خواص رئولوژیکی اجزای آلیاژ بسیار اهمیت



شکل ۱۴ - طیف زیر قرمز آلیاژ ۷۵/۲۰/۵ (PP/N۶/PP-g-MAH).

به ترتیب از حدود ۲/۵ mm به ۳/۳ mm تغییر می‌یابد. اما، اندازه ذرات در آلیاژ با ۵ و ۱۰ درصد سازگار کننده تفاوت چندانی با هم ندارند، یعنی افزایش بیش از حد سازگار کننده اثری بر اندازه ذرات فاز پراکنده ندارد. فیویس [۷] و راول [۲۶] نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند.

### تجزیه گرمایی

به عنوان نمونه نمودار بدست آمده از گرماسنجی پویسی تفاضلی آلیاژ ۸۶ در شکل ۱۲ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، آلیاژ تولید شده دو دمای ذوب متمایز از یکدیگر را در نواحی دماهای ذوب پلی‌پروپیلن و نایلون ۶ نشان می‌دهد. نتایج حاصل از گرماسنجی پویسی تفاضلی در جدول ۲ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار نایلون ۶ در آلیاژ دمای ذوب پلی‌پروپیلن تغییر چندانی نمی‌کند و نایلون ۶،  $2-3^{\circ}\text{C}$  کاهش نشان می‌دهد. درصد تبلور پلی‌پروپیلن افزایش و درصد تبلور نایلون ۶ کاهش می‌یابد. احتمالاً کاهش دمای ذوب نایلون ۶ در آلیاژ نسبت به نایلون ۶ خالص در نتیجه تشکیل کوپلیمر بین نایلون ۶ و سازگار کننده است [۲۷]. اما وارگا [۲۸] عقیده دارد که موقعیت دماهای ذوب و پیکهای تبلور مستقل از ترکیب درصد است و تنها شدت پیکها یعنی مساحت زیر منحنیها با نسبت اجزا تغییر می‌کند. نتایج آزمایشها در این پژوهش موافق با نتایج پارک [۱۶] نشان می‌دهد که موقعیت دمای ذوب نایلون ۶ تغییر می‌کند.

نتایج گرماسنجی پویسی تفاضلی در جدول ۲ نشان می‌دهد که با افزایش درصد پلی‌پروپیلن عامل‌دار شده با مالئیک انیدرید در آلیاژ دارای ۲۰ درصد نایلون ۶، درصد تبلور پلی‌پروپیلن و نایلون ۶ کاهش می‌یابد و دلیل آن تشکیل کوپلیمر بین سازگار کننده و نایلون ۶ است که از فرار گرفتن زنجیرهای مولکولی بطور متراکم جلوگیری می‌کند. نتایج حاصل موافق نتایج لی [۲۱] و بلنرام

7. Favis B. D., The effect of processing parameters on the morphology of an immiscible binary blend; *J. Appl. Polym. Sci.*; **39**, 285-300, 1990.
8. Gaylord N. G. and Mehta R., Peroxide-catalyzed grafting of maleic anhydride onto molten polyethylene in the presence of polar organic compound; *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.*; **A26**, 1189-98, 1988.
9. Utracki L. A.; *Commercial Polymer Blends*; Chapman & Hall, 1998.
10. Montiel A. G., Keskkula H. and Paul D. R., Impact modified nylon 6/polypropylene blends: I- morphology-property relationships; *Polymer*; **36**, 24, 4585-603, 1995.
11. Yeh J. T. and Jyan C. F., Effects of polyethylene on the morphology, barrier and impact properties of polyethylene/modified polyamide blends; *Polym. Eng. Sci.*; **38**, 9, 1482-90, 1998.
12. Montiel A. G., Keskkula H. and Paul D. R., Morphology of Nylon 6/polypropylene blends compatibilized with maleate polypropylene; *J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed.*; **B33**, 1751-67, 1995.
13. Beltrame P. L., Citterio C., Testa G. and Seves A., Oxygen permeation through films of compatibilized polyethylene/polyamide 6 blends; *J. Appl. Polym. Sci.*; **74**, 1941-49, 1999.
14. Beltrame P. L., Castelli A. and Canauz M., Effects of interfacial agent on the physico-chemical characteristics of poly(propylene)/polyamide 6 blends; *Macromol. Chem. Phys.*; **196**, 2751-66, 1995.
15. Liang B., White J. C., Spruiell J. E. and Goawami B. C., polypropylene/ Nylon 6 Blends: phase distribution morphology, rheological measurements, and structure development in melt spinning; *J. Appl. Polym. Sci.*; **28**, 2011-32, 1983.
16. Park S. J., Kim B. K. and Jeong H. M., Morphological, thermal and rheological properties of polypropylene/nylon-6, polypropylene/nylon-6/(maleic anhydride-g-polypropylene) and (maleic anhydride-g-polypropylene)/nylon-6; *Eur. Polym. J.*; **26**, 131-6, 1990.

دارند، بطوری که ساختار بهم پیوسته در ترکیب درصد ۴۵/۵۰/۵ را می‌توان در سرعت‌های برش کم مشاهده کرد، در حالی که با افزایش سرعت برش ساختار بهم پیوسته به ساختار ماتریس-فاز پراکنده تبدیل می‌شود. مقادیر ۵ و ۱۰ درصد سازگار کننده در آلیاژ دارای ۲۰ درصد نایلون ۶ منحنی‌های گرانی‌متری مشابهی دارند. تصاویر تهیه شده از ریزساختار به کمک میکروسکوپ الکترون پوششی نشان می‌دهد که وجود سازگار کننده باعث ریزشیدن ذرات پراکنده خواهد شد. نتایج گرماسنجی پوششی تفاضلی نشان می‌دهد که در مجاورت سازگار کننده درصد تبلور پلی‌پروپیلن و نایلون ۶ کاهش می‌یابد. طیف‌سنجی زیرقرمز انتقال فوری وجود پیوند بین سازگار کننده و نایلون ۶ را تایید می‌کند.

## مراجع

1. Utracki L. A., History of commercial polymer alloys and blends (from a perspective of the patent literature); *Polym. Eng. Sci.*; **35**, 1, 2-7, 1995.
2. Lin J. S., Sheu E. Y. and Jois Y. H. R., The effect of extruder temperature and maleated polypropylene on polypropylene/nylon-6,6 blend: small angle x-ray scattering study; *J. Appl. Polym. Sci.*; **55**, 655-66, 1995.
3. Hietaoja P. T., Holsti-Miettinen R. M., Seppala J. V. and Ikkala O. T., The effect of viscosity ratio on the phase inversion of polyamide 66/polypropylene blends; *J. Appl. Polym. Sci.*; **54**, 1613-23, 1994.
4. Vainio T. P. and Seppala V., The effect of mixer type and processing conditions on the morphology of polyamide/polypropylene blend; *Polym. Polym. Compos.*; **1**, 6, 427-37, 1993.
5. Macknight W. J., Lenz R. W., Musto P. V. and Somani R., Binary alloys of nylon 6 and ethylene-methacrylic acid copolymers: morphological, thermal and mechanical analysis; *J. Polym. Eng. Sci.*; **25**, 1124-34, 1985.
6. Sathe S. N., Devi S., Srinivasa G. S. and Rao K. V., Relationship between morphology and mechanical properties of binary and compatibilized ternary blends of polypropylene and nylon 6; *J. Appl. Polym. Sci.*; **61**, 97-107, 1996.

- polypropylene/polyamide-6 blends; *J. Appl. Polym. Sci.*; **56**, 1599-1605, 1995.
24. Wu S., Formation of dispersed phase in incompatible polymer blend: interfacial and rheological effects; *Polym. Eng. Sci.*; **27**, 335, 1987.
25. Han C. D.; *Multiphase Flow in Polymer Processing*; Academic, New York, 1981.
26. Raval H., Devi S., Singh Y. P. and Mehta M. H., Relationship between morphology and properties of polyamide-6 low-density polyethylene blends: effect of the addition of functionalized low-density polyethylene; *Polymer*; **32**, 3, 493-99, 1991.
27. Li H. and Hu G. H., The early stage of the morphology development of immiscible polymer blends during melt blending: compatibilized vs. uncompatibilized blends; *J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed.*; **B39**, 601-10, 2001.
28. Varga J., Breining A. and Ehrenstein G. W., Polymer blends fibrillar phase morphology prepared by self-reinforcing technique; *Int. Polym. Proc.*; **15**, 53-61, 2000.
29. Marco C., Eliss G., Gomez M. A., Fatou J. G., Arribas J. M., Compay I. and Fontecha A., Rheological properties, crystallization, and morphology of compatibilized blends of isotactic polypropylene and polyamide; *J. Appl. Polym. Sci.*; **65**, 2665-77, 1997.
17. Yamane H., Horiuchi T., Takahashi M. and Matsuo T., Tribological properties and morphology of polyamide/polyolefin blends; *Proceedings of the International Work Shops on Polymer Blends and Polymer Composites*, 8-11 July, Sydney, Australia, 94-9, 1997.
18. Li X., Chen M. and Huang Y., Polypropylene/polyamide 6 insitu composite; *Polym. J.*; **29**, 12, 975-82, 1997.
19. Beltrame P. L., Castelli A., Pasquanti M. D., Canetti M. and Seves A., Influence of interfacial agents on the physico-chemical characteristics of binary polyethylene/polyamide 6 and ternary polyethylene/ Polypropylene/ polyamide 6 blends; *J. Appl. Polym. Sci.*; **60**, 579-90, 1996.
20. Ide F. and Hasegawa A., Studies on polymer blend of nylon 6 and polypropylene or nylon 6 and polystyrene using the reaction of polymer; *J. Appl. Polym. Sci.*; **18**, 963-74, 1974.
21. Lee J. D. and Yang S. M., Effects of mixing procedures on properties of compatibilized polypropylene/nylon 6 blends; *Polym. Eng. Sci.*; **35**, 23, 1821-33, 1995.
22. Rosch J. and Mulhaupt R., Comparison of maleic anhydride-grafted poly(propylene) with maleic anhydride-grafted polystyrene-block-poly(ethylene-co-but-1-ene)-block-polystyrene as blend compatibilizers of poly(propylene)/polyamide-6 blends, *Makromol. Chem. Rapid Commun.*; **14**, 503-9, 1993.
23. Rosch J. and Mulhaupt R., Mechanical and morphological properties of elastomer-modified