مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال بیستم،
شماره۱، صفحه ۵۸-۴۹، ۱۳۸۶
ISSN: 1016-3255

تولید الیاف پلیمری از آمیخته بطریهای PET بازیافتی و PP

Polymer Fibers Production from Blend of Recycled PET Bottles and PP

شیرین شفایی، نادره گلشن ابراهیمی*
تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پلیمر، صندوق پستی ۱۴۱۱۵/۱۴۳
دریافت: ۸۵/۲/۱۰، پذیرش: ۸۵/۹/۱۴

چکیده

رشد روزافزون مصرف بطریهای PET باعث توسعه روشهای مختلف برای بازیافت این مواد شده است. یکی از روشهای مقرون به صرفه برای این امر بازیافت مکانیکی است. در این پژوهش از طریق بازیافت مکانیکی، آمیخته الیافPP/PET با درصدهای متفاوت PET در دو گروه، دارای PET خالص و بازیافتی، به روش مذاب‌ریسی تولید شده است. خواص آمیخته‌ها با آزمونهای کشش، میکروسکوپی نوری و الکترونی بررسی شد. بر اساس آزمون کشش، استحکام کششی الیاف دارای PET بازیافتی کمتر از الیاف دارای PET خالص است، درحالی که ازدیاد طول تا پارگی آنها مقادیر بیشتری است. طبق تصاویر میکروسکوپ نوری و الکترونی، در هر دو گروه الیاف دارای PET خالص و بازیافتی، در ترکیب درصد میانی عدم انسجام در نمونه‌ها مشاهده می‌شود. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که خواص الیاف دارای PET بازیافتی با الیاف دارای PET خالص قابل رقابت است.

واژه‌های کلیدی

پلی‌اتیلن‌ترفتالات، بازیافت، پلی‌پروپیلن، مذاب ریسی، الیاف آمیخته

Key Words

polyethylene terephthalate, recycling, polypropylene, melt spinning, blend fibers

مقدمه

پلی‌اتیلن‌ترفتالات (PET) پلاستیک صنعتی مفید و کاربردی است که بعضی از خواص مهم آن عبارتند از: مقاومت در مقابل کربن دیوکسید، استحکام کششی زیاد، شفافیت، ماهیت غیرسمی و عدم اثر آن بر طعم مواد غذایی. این موارد باعث کاربرد گسترده آن در صنعت بسته‌بندی مواد به ویژه در ظرفها و بطریهای آب و مواد نوشیدنی شده است. استفاده از این پلیمر در سالهای اخیر به عنوان جایگزین شیشه و پلی‌وینیل‌کلرید، افزایش چشمگیری یافته است، به طوری که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۰۶ به ترتیب حدود ۸۰ و ۴۵ درصد از کل ظروف آب و مواد نوشیدنی از این

*مؤلف مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: ebrahimn@modares.ac.ir

پلیمر ساخته شود. اگرچه محصولات پلی‌اتیلن‌ترفتالات آسیبهای مستقیمی به طبیعت وارد نمی‌کنند، ولی افزایش مصرف آنها باعث وجود بیشتر PET در ضایعات شهرداری شده است. به همین دلیل، امروزه بازیافت این مواد به منظور حفظ محیط زیست و مزایای اقتصادی، اهمیت زیادی دارد [۱]. زیرا، بازیافت این محصولات ضمن حذف ضایعات پلاستیکی، تنها به ۳۰ درصد از انرژی لازم برای تولید رزین جدید در شرایط مشابه نیاز دارد [۲]. فرایندهای بازیافت ضایعات پلاستیکی شامل روشهای مکانیکی، شیمیایی و بازیافت انرژی است. امروزه به دلایل اقتصادی و جلوگیری از ایجاد مواد سمی، روش بازیافت مکانیکی ترجیح داده می‌شود. محصولاتی که از بازیافت مکانیکی بطریهای PET تهیه می‌شوند، اگرچه به دلیل مسائل بهداشتی برای کاربردهایی که در تماس با مواد غذایی هستند بکار نمی‌روند، اما در تولید محصولاتی مانند فیلمها، قطعات قالبگیری تزریقی، پارچه و الیاف کاربرد دارند [۳]. البته به دلیل امکان کاهش خواص در اثر فرایند کردن دوباره، PET بازیافتی برای تولید محصولاتی مانند الیاف استفاده می‌شود که نسبت به کالاهای اساسی نیاز به تجهیزات کمتری دارند [۴]. از طرف دیگر، به دلیل اینکه هزینه تولید و خواص محصولات تهیه شده از مواد بازیافتی با محصولات تولیدی از مواد خالص قابل مقایسه نیست، در صنعت بازیافت روش آمیخته‌سازی ضایعات با پلیمرهای خالص، که از لحاظ اقتصادی روشی مفید است، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵]. برای تولید الیاف نیز می‌توان از آمیخته ضایعات بطریهای PET، همراه با پلی‌اولفینها یا پلی‌استر خالص استفاده کرد. شایان ذکر است، اگرچه آمیخته‌سازی پلی‌اولفینها با پلاستیکهای مهندسی روشی اساسی برای بهبود خواص مکانیکی پلیمرهاست، ولی در اکثر موارد آمیخته دو پلیمر از نظر ترمودینامیکی امتزاج‌ناپذیرند. این امتزاج‌ناپذیری و ناسازگاری، خواص این مواد راکاهش می‌دهد [۶]. اما، به علت ماهیت قابل تغییر فاز پراکنده درآمیخته‌های امتزاج‌ناپذیر، شکل‌شناسی متفاوتی در طول فرایندهای درجا در این آمیخته‌ها ایجاد می‌شود که بعضی از آنها منجر به بهبود خواص آمیخته می‌شود [۷]. پژوهشها نشان می‌دهند که پلی‌پروپیلن(PP) و پلی‌اتیلن‌ترفتالات از جمله پلیمرهایی هستند که ضمن قابلیت لیف شدن، متبلور می‌شوند و در اثر اختلاط شدید رشته‌هایی با آرایش‌یافتگی زیاد و خواص مطلوب تولید می‌کنند. البته شکل و اندازه فاز پراکنده به وسیله پارامترهای کششهای عمودی و برشی و خواص رئولوژیکی آمیخته پلیمری طی فرایند مذاب‌ریسی قابل کنترل است [۸].

پژوهشهای در زمینه الیاف کوتاه تهیه شده از PET بازیافتی[۲،۹] کامپوزیتهای ریزلیفچه‌ای حاصل از آمیخته PP/PET [۶،۱۰] و الیاف پیوسته تهیه شده از آمیخته PET خالص و بازیافتی [۱۱] انجام شده است.

در این پژوهش، از ضایعات بطریهای مواد نوشیدنی با PP برای تهیه الیاف پیوسته استفاده شده و خواص این محصول با الیاف حاصل از آمیخته‌های دارای PET خالص مقایسه شده است.

تجربی

مواد

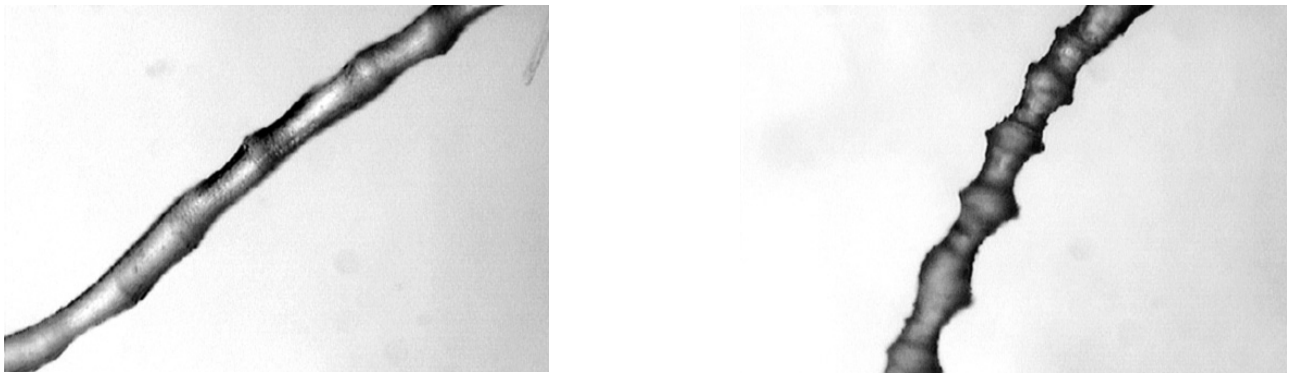
پلی‌پروپیلن مورد استفاده در این پژوهش، محصول شرکت پتروشیمی اراک با نام تجاری V۳۰S و شاخص جریان مذاب برابر با ۱۵ g/۱۰min و پلی‌اتیلن‌ترفتالات مصرفی محصول شرکت Sabic عربستان از نوع بطری با گرانروی ذاتی ۰/۸۲-۰/۸۵ است. پلی‌اتیلن‌ترفتالات بازیافتی با دمای ذوب ۲۴۸°C از بطریهای نوشابه شرکت زمزم تهیه و با آسیاب به چیپس تبدیل شد. همچنین، برای جلوگیری از تخریب مواد حین ریسندگی، ایرگانوکس نوع $B_{۲۱۵}$ ساخت شرکت Ciba به مواد پلیمری اضافه شده است.

دستگاهها و روشها

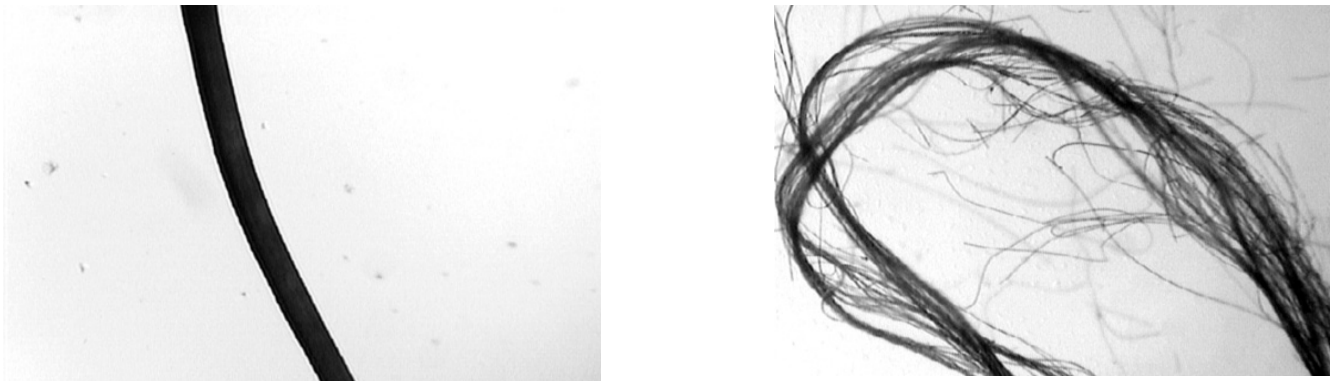
دراین پژوهش، برای تهیه الیاف از آمیخته‌ها، دستگاه آزمایشگاهی مذاب ریسی بکار گرفته شد. این دستگاه شامل اکسترودر افقی با L/D برابر ۳۰ است که در ارتفاع دو متری تعبیه شده است. مارپیچ اکسترودر دارای طراحی خاصی است به نحوی که با کاهش عمق و ایجاد برش زیاد می‌توان اختلاط مناسبی که لازمه تهیه آمیخته‌های پلیمری است، ایجاد کرد. با توجه به ماهیت PET، امکان تهیه لیف از دانه‌های نوع بطری با دستگاه یاد شده میسر نشد. بنابراین، این مواد پس از پودر شدن با آسیاب، مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور جلوگیری از آثار تخریبی آبکافت که به علت رطوبت ایجاد می‌شود، چیپسهای PET بازیافتی به مدت ۶ h در دمای ۱۳۰°C و پودرهای PET خالص به مدت ۲۴ h در دمای ۱۱۰°C

جدول ۱ ترکیب درصد PET در آمیخته‌های PP/PET.

آمیخته	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
PET خالص	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	-	-	-	-	-
PET بازیافتی	-	-	-	-	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰



(الف) (ب)



(ج) (د)

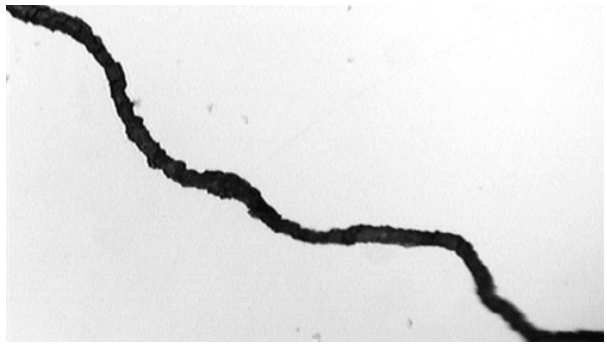
شکل ۱ تصویر میکروسکوپ نوری از سطح طولی لیف آمیخته دارای مقادیر مختلف PET خالص: (الف)۱۰ درصد وزنی، (ب)۲۰ درصد وزنی، (ج)۳۰درصد وزنی و (د)۴۰درصد وزنی.

درون گرمخانه خلأ قرار گرفتند [۱۲،۱۳]. سپس، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن‌ترفتالات در دو گروه آمیخته‌های خالص و بازیافتی (جدول۱) همراه با پایدارکننده که مقدار آن برای تمام نمونه‌ها ۰/۵ phr بوده است، مخلوط و وارد اکسترودر شدند. سرعت پیچ برای تمام نمونه‌ها ۱۱ rpm و دمای نواحی گرمایی از قیف تا حدیده برای نمونه‌های دارای پلی‌اتیلن‌ترفتالات خالص به ترتیب ۲۱۰، ۲۴۰، ۲۵۵ و ۲۱۰°C و برای نمونه‌های دارای پلی‌اتیلن‌ترفتالات بازیافتی۲۱۰، ۲۴۰، ۲۴۵و ۲۱۰°C انتخاب شد. امکان تهیه آمیخته الیاف دارای ۵۰ درصد وزنی PET خالص نبود. همچنین، به علت عدم امکان تولید پیوسته لیف دارای ۵۰ درصد وزنی PET بازیافتی، مقادیر کمی از این نمونه، برای آزمونهای مختلف تهیه شد. سرعت دستگاه جمع‌کننده الیاف روی بوبین ۱۶۰ m/min تنظیم شد. به منظور بررسی ریزساختار و شکل شناسی آمیخته‌ها از میکروسکوپ نوری(OM) مدل BM۲۲L ساخت داخل و همچنین میکروسکوپ الکترون پویشی(SEM) مدل Philips XL۳۰ ساخت هلند استفاده شد. برای بررسی ریزساختار الیاف با میکروسکوپ نوری، پس از جداسازی فاز پیوسته PP به وسیله زایلن جوشان، تصاویری از نمونه‌ها تهیه شد [۶،۱۴،۱۵]. برای آزمونهای کشش، دستگاه Instron مدل TM-SM ساخت آلمان بکار گرفته شد. اندازه‌گیری شاخص جریان مذاب مواد، به وسیله دستگاه Plastometer مدل ۲۰۰۰ ساخت داخل انجام شد.

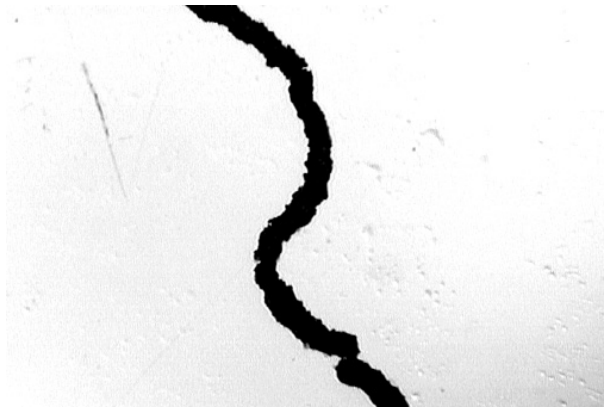
نتایج وبحث

مطالعات میکروسکوپ نوری

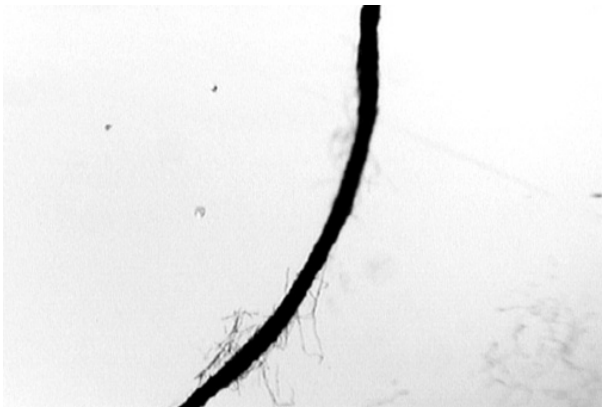
برای بررسی شکل‌شناسی آمیخته، پس از جداسازی فاز پیوسته PP از



(الف)



(ب)



(ج)

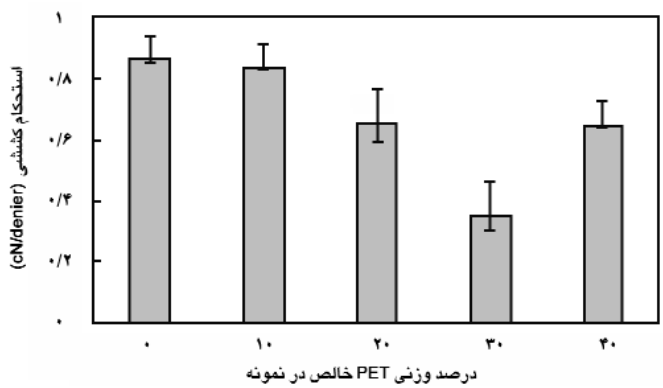
(د)

(ه)

شکل ۲ تصویر میکروسکوپ نوری از سطح طولی لیف آمیخته دارای مقادیر مختلف PET بازیافتی: (الف) ۱۰ درصد وزنی و (ب) ۲۰ درصد وزنی، (ج) ۳۰ درصد وزنی، (د) ۴۰ درصد وزنی و (ه) ۵۰ درصد وزنی.

یک تک لیف، تصاویری با بزرگنمایی ۱۶۰ از نمونه‌ها تهیه شد که در شکلهای ۱ و ۲ آورده شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در نمونه‌های دارای PET خالص، با افزایش مقدار PET تا ۳۰ درصد وزنی، نمونه‌ها به کمترین مقدار انسجام می‌رسند. نتایج حاصل از پژوهشهای انجام شده که وجود لیفچه‌هایی با نسبت منظر زیاد را در ۴۰ درصد وزنی از PET نشان می‌دهد، مؤید این مطلب است [۶]. با افزودن مقادیر بیشتر PET، لیف مجدداً انسجام و یکنواختی را بدست آورده است. بنابراین، به نظر می‌رسد که در ترکیب درصد میانی از PET، شکل‌شناسی لیف به دلیل ناسازگاری دو جزء آمیخته، تغییر کرده است.

درنمونه‌های دارای PET بازیافتی(شکل ۲) نیز با افزایش مقدار PET، ابتدا انسجام نمونه‌ها از بین رفته به طوری که ریزساختار نمونه‌ها در شکل ۲ (د) به لیفچه‌های PET با نسبت منظر زیاد تبدیل شده است. با توجه به ضخیم شدن این رشته‌ها در ترکیب درصد وزنی ۵۰ از PET، به نظر می‌رسد که انسجام لیف مجدداً تا حدودی تأمین شده است. علت این مسئله همان‌طور که ذکرشد، ناسازگاری دو جزء آمیخته است که باعث تغییرساختار لیف و خواص آمیخته شده است [۱۴].



شکل ۳ استحکام کششی الیاف آمیخته دارای PET خالص.

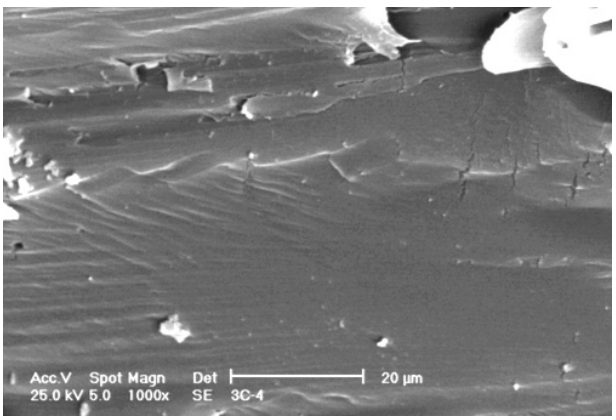
با مقایسه تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه‌های دارای PET خالص و بازیافتی می‌توان نتیجه گرفت که در هر دو گروه، با افزایش مقدار PET انسجام لیف ابتدا از بین رفته، سپس مجدداً بهبود یافته است. تفاوت عمده بین این دو لیف، تغییر ریزساختار در ترکیب درصدهای کمتر از PET خالص نسبت به PET بازیافتی است. علت این مسئله کاهش جرم مولکولی PET بازیافتی در اثر فرایندهای گرمایی است که باعث کاهش گرانروی آن می‌شود [۱۰،۱۱،۱۶]. شاخص جریان مذاب PET خالص و بازیافتی که به ترتیب ۷/۲ و ۹/۷۵ g/۱۰min است، مؤید این مطلب است. با توجه به اینکه شاخص جریان مذاب PP معادل ۱۵ g /۱۰ min است، کاهش گرانروی PET بازیافتی باعث می‌شود که در محدوده شدت برشهای بکار رفته، نسبت گرانروی دو جزء آمیخته به یک نزدیک شود. نتایج پژوهشها نشان می‌دهد که در آمیخته‌های پلیمری با نزدیک شدن نسبت گرانروی به سمت یک، پخش مناسب و یکنواخت‌تری از فاز پراکنده انجام می‌شود [۸]. به همین علت در آمیخته‌های دارای PET بازیافتی نسبت به آمیخته‌های دارای PET خالص تا درصدهای بیشتری از این ماده، انسجام لیف حفظ شده است.

نکته قابل توجه دیگر، قرار گرفتن فاز PP در دیواره لیف، در هر دو گروه نمونه‌های حاوی PET خالص و بازیافتی است. زیرا، با جداسازی PP در نمونه های دارای درصدهای بیشتر از آن، دیواره لیف کاملاً از بین رفته است. با افزایش مقدار PET و درنتیجه کاهش درصدPP، دیواره لیف منسجم‌تر شده است (مقایسه شکلهای ۱ (الف)و(د)). علت آن است که با جریان یافتن آمیخته ناسازگار دارای اجزایی با گرانروی متفاوت در یک مسیر استوانه‌ای، جزء دارای گرانروی کمتر در دیواره و جزء دارای گرانروی بیشتر در مرکز قرار می‌گیرند [۱۵].

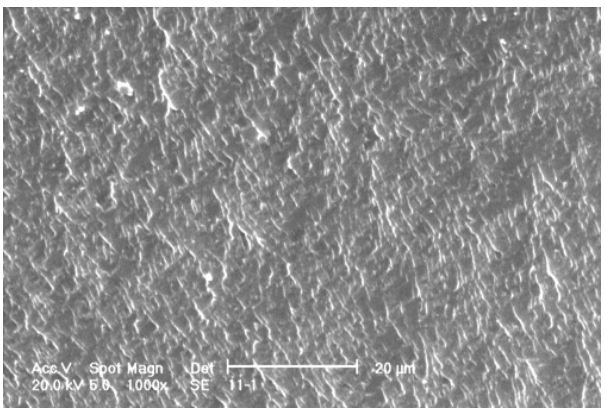
خواص مکانیکی

استحکام کششی

الیاف دارای *PET* خالص: استحکام کششی آمیخته‌های مذاب ریسی شده دارای PET خالص در شکل ۳ آورده شده است. لازم به ذکر است که اعداد مربوط به استحکام کششی، حاصل محاسبه حداکثر نیرو بر چگالی خطی الیاف است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با ازدیاد درصد وزنی PET در آمیخته، استحکام کششی الیاف ابتدا کاهش، سپس افزایش می‌یابد. اگرچه انتظار می‌رود با ازدیاد درصد وزنی PET، استحکام کششی آمیخته افزایش یابد، اما به طور کلی خواص آمیخته‌های ناسازگار یا نسبتاً سازگار، اغلب از متوسط خواص پلیمرهای خالص کمتر است. این مسئله در مورد آمیخته‌های PP/PET نیز صادق است [۱۴]. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، کمترین مقدار استحکام

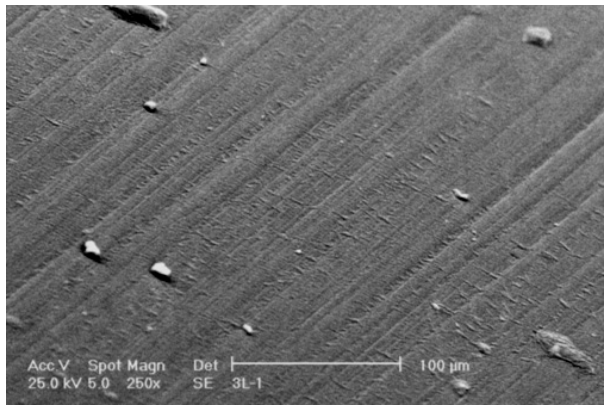


(الف)

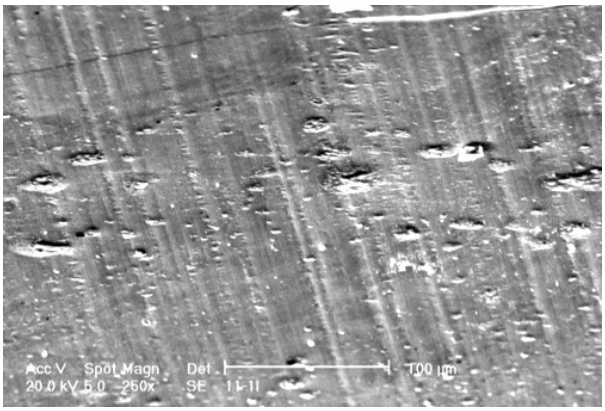


(ب)

شکل۴ تصاویر SEM از سطح شکست لیف آمیخته دارای مقادیر مختلف PET خالص: (الف)۱۰ درصد وزنی و (ب)۴۰ درصد وزنی.



(الف)



(ب)

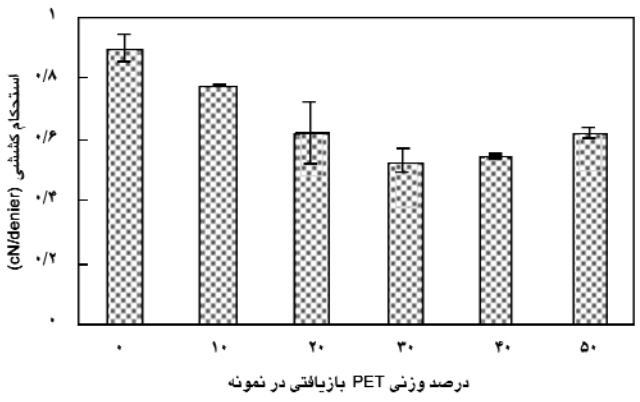
شکل۵ تصاویر SEM از سطح طولی لیف آمیخته دارای مقادیر مختلف PET خالص: (الف)۱۰ درصد وزنی و (ب)۴۰ درصد وزنی.

کششی الیاف متعلق به نمونه دارای ۳۰ درصد وزنی PET است. این امر به دلیل تغییر شکل‌شناسی لیف در این درصد وزنی است. در پژوهشهای انجام شده [۶،۸،۱۷] خواص مکانیکی لیف با توجه به ریزساختار تبیین شده است. مسئله قابل توجه دیگر این است که اگرچه با ازدیاد مقدار PET تا ۴۰ درصد وزنی، استحکام کششی افزایش یافته است، اما بیشترین مقدار استحکام کششی آمیخته‌ها مربوط به نمونه دارای ۱۰ درصد وزنی PET است. با توجه به نتایج SEM سطوح شکست نمونه‌های حاوی ۱۰ و ۴۰ درصد وزنی PET خالص (شکل ۴) می‌توان نتیجه گرفت که در نمونه PP/PET(۹۰/۱۰) بر اثر اختلاط مناسبتر، چسبندگی دو فاز نسبت به نمونه دارای ۴۰ درصد وزنی PET افزایش یافته است. این امر باعث می‌شود که در نمونه با ۱۰ درصد وزنی PET، نیرو بهتر بتواند از روی ذرات PET عبور کند. درنتیجه، تمرکز تنش کاهش و استحکام کششی افزایش می‌یابد [۱۷،۱۸].

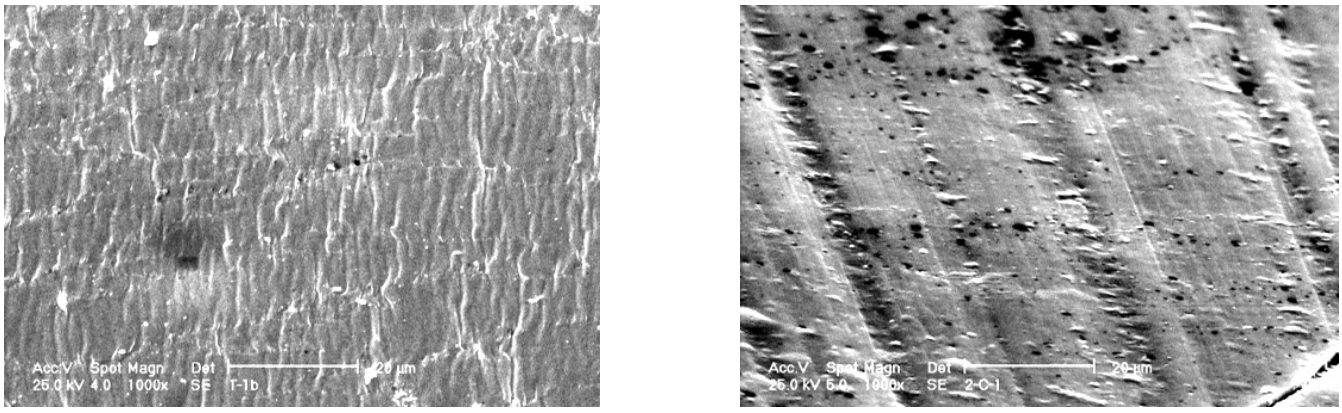
تصاویر SEM سطوح طولی الیاف دارای ۱۰ و ۴۰ درصد وزنی از PET خالص(شکل ۵) نشان دهنده یکنواخت‌تر بودن سطح نمونه دارای ۱۰ درصد وزنی از PET خالص است. همچنین، در این نمونه به علت چسبندگی و در هم فرورفتگی زیاد دو فاز، دو پلیمر به خوبی در جهت کشش آرایش یافته‌اند. این در حالی است که وجود برخی برآمدگیها در سطح لیف PP/PET (۶۰/۴۰) یکنواختی، چسبندگی و در هم فرورفتگی کمتر اجزای آن را تأیید می‌کند.

الیاف دارای *PET* بازیافتی: استحکام کششی آمیخته‌های مذاب ریسی شده دارای PET بازیافتی در شکل ۶ آورده شده است. این اعداد حاصل حداکثر نیرو بر چگالی خطی الیاف است. همان طور که ملاحظه می‌شود، مشابه الیاف آمیخته دارای PET خالص، با ازدیاد درصد وزنی PET در آمیخته استحکام کششی الیاف ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

علت این امر تغییر شکل‌شناسی لیف است[۶]. زیرا، طبق تصاویر میکروسکوپ نوری در ۴۰ درصد وزنی PET بازیافتی انسجام لیف از بین رفته و در مقادیر کمتر و بیشتر از این مقدار یکنواختی بیشتری در لیف مشاهده می‌شود. در این الیاف نیز، بیشترین مقدار استحکام کششی مربوط به نمونه دارای ۱۰ درصد وزنی PET است. این امر با توجه به تصاویر SEM قابل توجیه است. در این تصاویر، سطوح شکست نمونه‌های دارای۱۰و۴۰ درصد وزنی PET بازیافتی (شکل ۷) بیانگر برهمکنش، سازگاری و اختلاط نسبتاً مناسبتر بین دو جزء آمیخته در نمونه (۹۰/۱۰) PP/PET است. این درحالی است که در نمونه دارای ۴۰ درصد وزنی PET بازیافتی، وجود بریدگیها در سطح شکست،



شکل ۶ استحکام کششی الیاف آمیخته دارای PET بازیافتی.



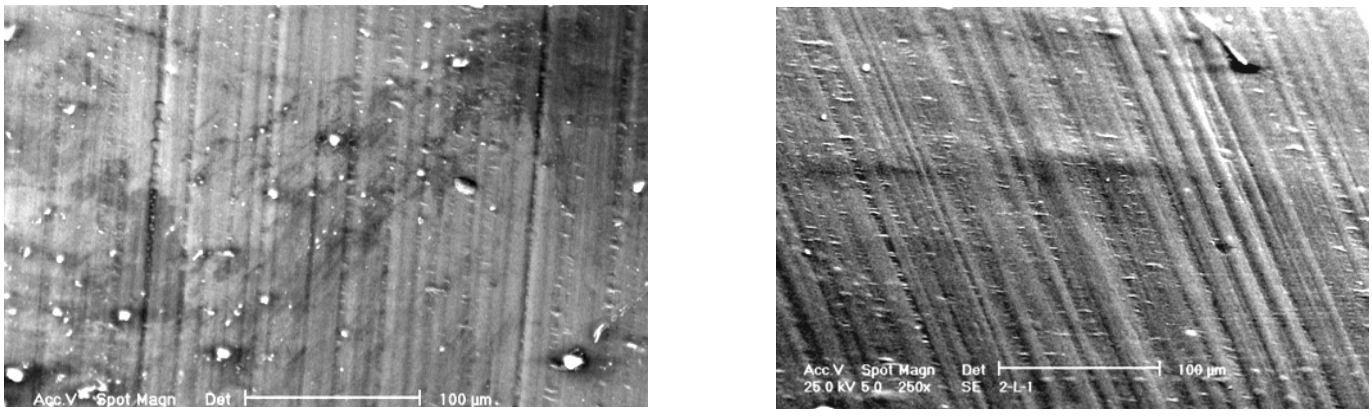
(ب) (الف)

شکل۷ تصاویر SEM از سطح شکست لیف آمیخته دارای مقادیر مختلف PET بازیافتی: (الف)۱۰ درصد وزنی و (ب)۴۰ درصد وزنی.

نشان‌دهنده چسبندگی کمتر دو فاز و وجود نقاط ضعیف در سطح شکست نمونه است. این تمایز در ریزساختار دو آمیخته باعث افزایش استحکام کششی نمونه با ۱۰ درصد وزنی PET بازیافتی می‌شود. در پژوهشهای انجام شده [۱۸] نیز تبیین خواص مکانیکی نمونه دارای ۳۰ درصد وزنی PET بازیافتی با توجه به تصاویر میکروسکوپی انجام شده است.

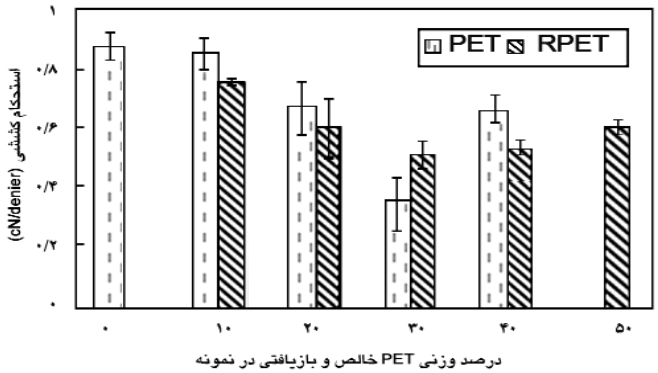
تصاویر SEM سطوح طولی الیاف دارای PET بازیافتی (شکل ۸) نشان دهنده آن است که الیاف یاد شده نسبت به الیاف دارای PET خالص، ضمن چسبندگی مناسب‌تر، در جهت کشش آرایش یافتگی مطلوب‌تری دارد. علت این مسئله کاهش گرانروی در نمونه‌های دارای PET بازیافتی است که باعث سهولت ریسندگی و یکنواختی بیشتر الیاف می‌شود.

مقایسه الیاف دارای *PET* خالص و بازیافتی: به منظور مقایسه استحکام کششی الیاف آمیخته دارای PET خالص و PET بازیافتی، مقادیر این کمیت برای هر دو نوع نمونه در شکل ۹ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود استحکام کششی الیاف آمیخته شامل PET خالص در همه ترکیب درصدها، به جز نمونه دارای ۳۰ درصد وزنی PET خالص، از الیاف آمیخته شامل PET بازیافتی بیشتر است. علت این مسئله، شکست زنجیرهای PET بازیافتی طی فرایندهای گرمایی و مکانیکی است، که باعث کاهش استحکام کششی PET بازیافتی و در نهایت کاهش استحکام نمونه می‌شود [۱۰]. علت کاهش استحکام کششی الیاف دارای ۳۰ درصد وزنی PET خالص، ناسازگاری آمیخته و تغییر شکل‌شناسی لیف در این ترکیب درصد است. اگرچه این تغییر شکل‌شناسی در نمونه های دارای PET بازیافتی نیز رخ می‌دهد، ولی به علت نزدیک شدن نسبت گرانرویها به عدد یک در این گروه، چسبندگی دو فاز بیشتر می‌شود و اثر تغییر شکل‌شناسی کاهش می‌یابد.



(ب) (الف)

شکل۸ تصاویر SEM از سطح طولی لیف آمیخته دارای مقادیر مختلف PET بازیافتی: (الف)۱۰ درصد وزنی و (ب)۴۰ درصد وزنی.



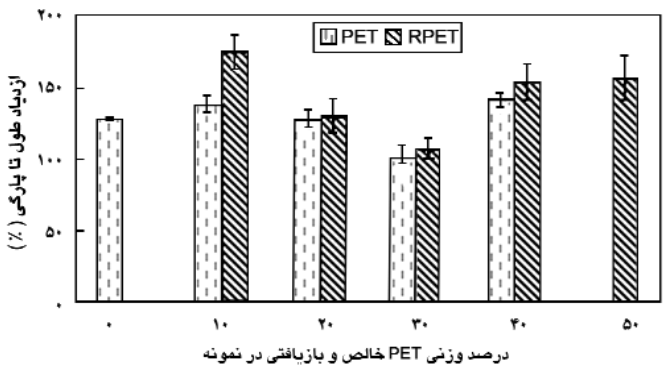
شکل ۹ مقادیر استحکام کششی الیاف آمیخته دارای PET خالص و بازیافتی.

ازدیاد طول تا پارگی

مقادیر ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌های دارای PET خالص و بازیافتی در شکل ۱۰ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در هر دو مورد ابتدا مقدار ازدیاد طول در نمونه با ۱۰ درصد وزنی PET نسبت به PP خالص افزایش یافته، سپس با وجود افزایش PET تا ۳۰ درصد، ازدیاد طول نمونه‌ها کاهش یافته است. البته با افزایش مقدار PET تا ۴۰ درصد وزنی، مجدداً ازدیاد طول تا پارگی در نمونه افزایش یافته است. علت این امر تغییر شکل‌شناسی است.

چسبندگی و تخریب از عوامل مؤثر بر ازدیاد طول تا پارگی در الیاف آمیخته است. تخریب اندکی در فاز PP آمیخته PP/PET مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار PET در آمیخته مقدار تخریب کاهش می‌یابد [۸]. طبق تصاویر میکروسکوپ الکترونی، چسبندگی اجزا در نمونه‌های با ۱۰ درصدوزنی PET خالص و بازیافتی (شکلهای ۷ (الف)و ۴ (الف))، مطلوبتر از نمونه‌های با ۴۰ درصد وزنی PET (شکلهای ۷ (ب) و ۴ (ب))است. بنابراین، درالیاف یاد شده تخریب عامل مؤثر بر مقدار ازدیاد طول تا پارگی است. در سایر الیاف اگرچه به دلیل افزایش مقدار PET، مقدار تخریب PP کاهش بیشتری می‌یابد، اما با توجه به تصاویر میکروسکوپ نوری به نظر می‌رسد در این نمونه‌ها چسبندگی ضعیف بین اجزا نسبت به جذب گرمای آمیخته به وسیله PET عامل مؤثرتری بوده است.

نکته قابل توجه دیگر، این که الیاف دارای PET خالص و بازیافتی از نظر ازدیاد طول تا پارگی روند مشابهی را نشان می‌دهند، ولی در تمام ترکیب درصدها، نمونه‌های دارای PET بازیافتی، ازدیاد طول تا پارگی بیشتری نسبت به نمونه‌های دارای PET خالص دارند. علت این امر کاهش گرانروی PET بازیافتی به دلیل فرایندهای گرمایی و مکانیکی است که باعث نزدیک شدن نسبت گرانرویها به عدد یک می‌شود. این امر اثر بسزایی در افزایش ازدیاد طول دارد [۱۹].



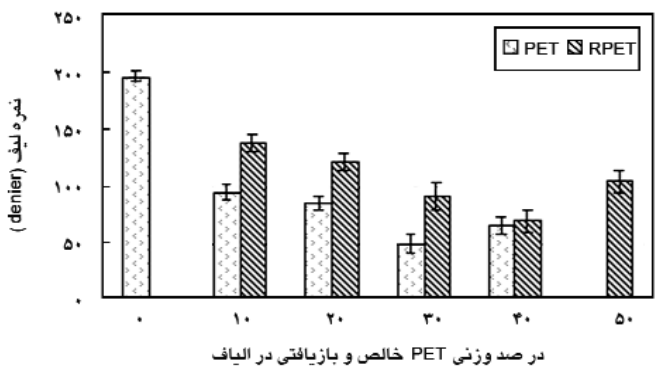
شکل ۱۰ مقادیر ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌های دارای PET خالص و بازیافتی.

نمره الیاف

خواص آمیخته بشدت به سازگاری اجزای آن وابسته است. به طوری که در آمیخته PP/PET خواص در یک ترکیب درصد میانی به حداقل مقدار می‌رسد [۱۴].

نمره الیاف دارای PET خالص و بازیافتی درشکل ۱۱ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در هر دو گروه نمره الیاف، با افزایش ترکیب درصد PET از یک مقدار حداقل عبور می‌کند. این مسئله به دلیل ناسازگاری دو جزء آمیخته است [۱۴].

نکته قابل توجه دیگر این است که در تمام ترکیب درصدها الیاف دارای PET بازیافتی نسبت به PET خالص، نمره بیشتری دارند. این مسئله می‌تواند به علت کاهش دمای نواحی گرمایی در مورد الیاف دارای PET بازیافتی باشد.



شکل۱۱ نمره الیاف دارای PET خالص و بازیافتی.

تعیین نمونه بهینه

با توجه به هدف این پژوهش که استفاده از حداکثر PET بازیافتی بوده است، نمونه با ۴۰ درصد وزنی PET که پس از نمونه (۹۰/۱۰) PP/PET بهترین نتایج کششی را نشان داده است، به عنوان نمونه بهینه در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که نمونه با ۵۰ درصد وزنی PET بازیافتی به علت عدم امکان تهیه پیوسته آن با دستگاه اکسترودر، حذف شد.

نتیجه‌گیری

خواص مکانیکی الیاف آمیخته PP/PET به دلیل ناسازگاری اجزای آن، در ترکیب درصد ۳۰ از PET و در هر دو گروه دارای PET خالص و بازیافتی به حداقل می‌رسد.

با توجه به گرانروی کمتر PET بازیافتی نسبت به PET خالص، الیاف حاوی این ماده در ترکیب درصدهای بیشتر نیز انسجام را حفظ می‌کنند.

استحکام کششی آمیخته‌های PP/PET دارای PET بازیافتی، به علت شکست زنجیرهای PET حین فرایندهای گرمایی(تولید بطری) و مکانیکی(مرحله تولید چیپس)، از استحکام کششی نمونه‌های دارای PET خالص کمتر است. البته، فقط نمونه با ۳۰ درصد وزنی PET خالص، به دلیل تغییر شکل‌شناسی آن، از این امر مستثناست.

نسبت گرانروی دو جزء PP و PET بازیافتی، به علت گرانروی کمتر PET بازیافتی نسبت به PET خالص، به عدد یک نزدیکتر شده است. در نتیجه نمونه‌های دارای PET بازیافتی ازدیاد طول تا پارگی بیشتری نسبت به نمونه‌های با PET خالص دارند.

در هر دو گروه الیاف دارای PET خالص و بازیافتی و در ترکیب درصدهای کمتر از PET، کاهش مقدار تخریب PP به دلیل جذب مقداری از گرمای آمیخته به وسیله PET، باعث افزایش ازدیاد طول تا پارگی آمیخته می‌شود. اما، در ترکیب درصدهای بیشتر از PET چسبندگی کم دو فاز عامل مؤثرتری بوده که منجر به کاهش ازدیاد طول تا پارگی شده است.

مراجع

1. Chiu S.J. and Cheng W.H., Promotional Effect of Copper (II) Chloride on the Thermal Degradation of Poly(ethylene terephthalate), *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **56**, 131-143, 2000
2. Santos P. and Pezzin S.H., Mechanical Properties of Polypropylene Reinforced with Recycled-PET Fibers, *J. Mater. Process. Technol.*, **143-144**, 517-520, 2000.
3. Tsiourvas D., Tsartolia L. and Stassinopoulos A., A New Approach to Reclaimed PET Utilization-Blends of Recycled PET Suitable for Extrusion Blow-molding Technology, *Adv. Polym. Technol.*, **14**, 227-236, 1995.
4. Pegoretti A. and Penati A., Effects of Hygrothermal Aging on the Molar Mass and Thermal Properties of Recycled Poly(ethylene terephthalate) and its Short Glass Fibers Composites, *Polym. Degrad. Stab.*, **86**, 233-243, 2004.
5. Halim S.H. and Atiqullah M., Role of Blending Technology in Polyethylene Recycling, *Rev. Macromol. Chem. Phys.*, **35**, 495-515, 1995.
6. Friedrich K., Evstatiev M., Fakirov S., Evstatiev O., Ishii M. and Harrass M., Microfibrillar Reinforced Composites from PET/PP Blends: Processing, Morphology and Mechanical Properties, *Compos. Sci. Technol.*, **65**, 107-116, 2005.
7. Li Z.M., Yang W., Xie B.H., Yang S.Y., Yang M.B., Feng J.M. and HuangR., Effect of Compatibilization on the Essential Work of Fracture Parameters of In situ Microfiber Reinforced Poly(ethylene terephtalate)/Polyethylene Blend, *Mater. Res. Bull.*, **38**, 1867-1878, 2003.
8. Ebrahimi N.G. and Hasannezhad M., Investigation of the Properties of Produced Blend Fibers from Modified PP with PET, *Iran. J. Polym. Sci. Technol.*, **13**, 13-18, 2000.
9. Silva D.A., Betioli A.M., Gleize P.J.P., Roman H.R., Gomez L.A. and Ribeiro J.L.D., Degradation of Recycled PET Fibers in Portland Cement-based Materials, *Cement and Concrete Res.*, 1-6, 2005.
10. Golmohamadi A., *Investigation of Effective Parameters on Physical Properties of microfibrillar PP/PET Composite*, MSc Thesis, Polymer Engineering Department, Amir Kabir University of Tenchnology, 2004.
11. Ghasemi L., Review on Polyester Bottles and Fibers Recycling Process, Esfahan University of Tenchnology, 2002.
12. Smith D.N., Harrison L.M. and Simmons A.J., A Survey of Schemes in the United Kingdom Collecting Plastic Bottles for Recycling, *Resource Conservation and Recycling*, **25**, 17-34, 1999.

13. Matthews V., Overview of Plastics Recycling in Europe, Plastic, *Rubber Compos. Process. Appl.*, **19**, 197-204 , 1993.
14. Spreeuwers H.R. and Wvan der Pol G.M.W., AP-28, A Polymer Blend of Polypropylene and Polyethylene Terephthalate that Offends the Rules, *Plastic. Rubber Process. Appl*., **11**, 159-166, 1989.
15. Xiao W., Polypropylene/Poly(vinyl acetate) Blend Fiber, *J. Appl. Polym. Sci*., **52**, 1023-1030, 1994.
16. Fann D.M., Huang S.K. and Lee J.Y., Kinetics and Thermal Crystallinity of Recycled PET., Topographic study on Thermal Crystallinity of the Injection-molded Recycled PET, *J. Appl. Polym. Sci.*, **61**, 261-271, 1996.
17. Wser Y., Leterrier Y. and Manson J., Effect of Inclusions and Blending on the Mechanical Performance of Recycled Multilayer PP/PET/Siox Films, *J. Appl. Polym. Sci*., **78**, 910-918, 2000.
18. Hasannejad M., *Investigation of Effectivenss Factors on Melt Spinning of Modified Polypropylene with Poly(ethylene terephtalate)*, MSc Thesis, Polymer Engineering Group, Tarbiat Modares University, 1999.
19. Shafaei S. and Ebrahimi N.G., Comparison of Compatibilizer Effect on Blend Fibers Including Virgin and Recycled PET, *Iran. J. Polym. Sci. Technol*., **20**, 2, 2007 (In Press).