



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب
دانشکده تحصیلات تکمیلی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “*M.Sc*”
مهندسی نساجی – شیمی نساجی و علوم الیاف

عنوان :

تهیه و مطالعه الیاف آلیاژی پلی تری متیلن ترفتالات/پلی پروپیلن تقویت شده با
نانولوله‌های کربنی به روش ذوب ریسی

استاد راهنما :

استاد مشاور :

نگارش

۱	چکیده
۲	مقدمه
۳	فصل اول : کلیات
۴	۱-۱) اهداف
۵	۲-۱) پیشینه تحقیق
۶	۳-۱) روش کار و تحقیق
۶	۴-۱) پیشینه‌ی تولید الیاف <i>PP</i> و <i>PTT</i>
۹	۵-۱) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی
۹	۱-۵-۱) ساختار بلوری و خصوصیات مکانیکی
۱۳	۲-۵-۱) خصوصیات رئولوژیکی
۱۴	۳-۵-۱) خصوصیات فرآیندی
۱۴	۶-۱) تأثیر سرعت ریسندگی بر ساختار و خواص الیاف
۱۴	۱-۶-۱) تأثیر سرعت ریسندگی بر خواص مکانیکی الیاف
۱۷	۲-۶-۱) تأثیر سرعت ریسندگی بر تکامل ساختاری الیاف
۱۹	۳-۶-۱) تأثیر سرعت کشش بر خواص حرارتی الیاف <i>PP</i> و <i>PTT</i>
۲۱	۴-۶-۱) تأثیر کشش بر خواص مکانیکی و حرارتی در درجه حرارت‌های مختلف
۲۵	۷-۱) کاربردهای <i>PTT</i>
۲۶	فصل دوم : آلیاژسازی، نانولوله‌های کربنی و نانوکامپوزیت‌های پلیمری برپایه‌ی آنها
۲۷	۱-۲) مقدمه‌ای بر آلیاژسازی و نانوکامپوزیت
۲۹	۲-۲) سیستم‌های چند فازی پلیمری
۲۹	۱-۲-۲) تعاریف
۳۰	۲-۲-۲) اختلاط و آلیاژسازی
۳۰	۳-۲-۲) مکانیزم‌های اختلاط
۳۱	۴-۲-۲) انواع اختلاط
۳۱	۱-۴-۲-۲) اختلاط پراکنشی مذاب- مذاب
۳۲	۲-۴-۲-۲) ویژگی‌های عمومی مخلوط کننده‌های پراکنشی

۳۲	۳-۴-۲-۲ مخلوط کننده‌های داخلی ناپیوسته یا پیمانه‌ای
۳۶	۴-۴-۲-۲ مخلوط کننده‌های پیوسته
۴۱	۳-۲ امتزاج‌پذیری مخلوط‌های پلیمری
۴۳	۴-۲ سازگارسازی آلیاژهای پلیمری
۴۳	۱-۴-۲ سازگارسازی غیرواکنشی
۴۴	۲-۴-۲ سازگارسازی واکنشی
۴۴	۵-۲ روش‌های مطالعه‌ی امتزاج‌پذیری مخلوط‌های پلیمری
۴۵	۱-۵-۲ روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری میزان سازگاری
۴۷	۶-۲ رئولوژی مخلوط‌های پلیمری
۵۰	۷-۲ نانولوله‌های کربن
۵۶	۱-۷-۲ خصوصیات ویژه‌ی نانولوله‌های کربنی
۵۶	۲-۷-۲ روش‌های تولید
۵۷	۳-۷-۲ فرآیند‌های خالص سازی
۵۸	۸-۲ کامپوزیت‌های نانولوله‌های کربنی - پلیمر
۵۸	۱-۸-۲ هدایت الکتریکی
۵۹	۲-۸-۲ تقویت خصوصیات مکانیکی
۶۱	۱-۲-۸-۲ مدل سازی کامپوزیت ماتریس پلیمری / پرکننده‌ی تقویت کننده
۶۳	۹-۲ اثر نانولوله‌های کربن بر بلورینگی <i>PP</i> و <i>PTT</i>
۶۳	۱۰-۲ عوامل مؤثر و نقش نانولوله‌های کربن در تقویت خصوصیات مکانیکی آمیزه‌ها
۶۵	۱۱-۲ نقش نانولوله‌های کربن در افزایش پراکنش فازی در آمیزه‌های پلیمری
۶۷	فصل سوم : تجربیات
۶۸	۱-۳ مقدمه‌ای بر فعالیت‌های تجربی
۶۸	۲-۳ مواد اولیه‌ی مورد استفاده
۶۹	۳-۳ روش تهیه‌ی آمیزه‌ها
۶۹	۱-۳-۳ روش تهیه‌ی آمیزه‌های دو جزئی
۷۰	۲-۳-۳ روش تهیه‌ی آمیزه‌های سه جزئی
۷۲	۴-۳ تهیه‌ی الیاف به روش ذوب ریسی
۷۳	۵-۳ دستگاه‌ها و روش‌های تعیین مشخصه
۷۳	۱-۵-۳ طیف‌سنجی رامان
۷۴	۲-۵-۳ گرماسنجی روبشی تفاضلی

۷۴	۳-۵-۳ طیف سنج پراش اشعه X
۷۴	۳-۵-۴ میکروسکوپ الکترونی عبوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی
۷۵	۳-۵-۵ استحکام سنج
۷۶	فصل چهارم : نتایج و بحث
۷۷	۴-۱ مقدمه
۷۷	۴-۲ آزمون‌های تعیین مشخصه‌ی آمیزه‌های دو جزئی PTT/PP
۷۷	۴-۲-۱ بررسی رفتار حرارتی آمیزه‌ی PTT/PP با استفاده از گرماسنجی تفاضلی روبشی
۸۵	۴-۲-۲ بررسی مورفولوژی آمیزه‌های PTT/PP با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی
۸۸	۴-۲-۳ بررسی ساختار بلوری آمیزه‌ی PTT/PP با استفاده از تفرق اشعه‌ی X زاویه‌ی باز
۹۰	۴-۲-۴ بررسی خواص رئولوژیکی آمیزه‌ی PTT/PP در حالت پایدار با استفاده از رئومتر موئینه
۹۶	۴-۲-۵ بررسی خواص رئولوژیکی آمیزه‌ی PTT/PP در حالت دینامیکی با استفاده از اسپکتروسکوپی دینامیکی مکانیکی
۹۸	۴-۲-۶ بررسی خواص مکانیکی تک-فیلامنت‌های تولیدی از آمیزه‌ی PTT/PP با استفاده از دستگاه استحکام سنج
۱۰۰	۴-۳ آزمون‌های تعیین مشخصه‌ی الیاف تولیدی از آمیزه‌های PTT/PP
۱۰۰	۴-۳-۱ بررسی رفتار حرارتی الیاف تولیدی از آمیزه‌های PTT/PP با استفاده از گرماسنجی تفاضلی روبشی
۱۱۰	۴-۳-۲ بررسی مورفولوژی الیاف تولیدی از آمیزه‌ی PTT/PP با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی
۱۱۴	۴-۳-۳ بررسی ساختار بلوری الیاف تولیدی از آمیزه‌ی PTT/PP با استفاده از تفرق اشعه‌ی X زاویه‌ی باز
۱۱۵	۴-۳-۴ بررسی خواص مکانیکی الیاف تولیدی از آمیزه‌ی PTT/PP با استفاده از دستگاه استحکام سنج
۱۱۶	۴-۴ تعیین مشخصه‌ی نانولوله‌های کربنی چند دیواره
۱۱۶	۴-۴-۱ اسپکتروسکوپی رامان $MWNT$ ها
۱۱۷	۴-۴-۲ بررسی مورفولوژی نانولوله‌های کربنی چند دیواره با استفاده از SEM و TEM

۱۱۸	۵-۴ آزمون‌های تعیین مشخصه‌ی آمیزه‌های نانوکامپوزیتی <i>PTT/PP/MWNT</i>
۱۱۹	۱-۵-۴ بررسی رفتار حرارتی آمیزه‌ی <i>PTT/PP/MWNT</i> با استفاده از گرماسنجی تفاضلی روبشی
۱۲۶	۲-۵-۴ بررسی مورفولوژی آمیزه‌های نانوکامپوزیتی <i>PTT/PP/MWNT</i> با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی
۱۳۱	۳-۵-۴ بررسی ساختار بلوری آمیزه‌ی <i>PTT/PP/MWNT</i> با استفاده از تفرق اشعه‌ی X زاویه‌ی باز
۱۳۵	۴-۵-۴ بررسی خواص رئولوژیکی آمیزه‌ی <i>PTT/PP/MWNT</i> در حالت پایدار با استفاده از رئومتر موئینه
۱۴۱	۵-۵-۴ بررسی خواص رئولوژیکی آمیزه‌ی <i>PTT/PP/MWNT</i> در حالت دینامیکی با استفاده از اسپکتروسکوپی دینامیکی مکانیکی
۱۴۶	۶-۴ آزمون‌های تعیین مشخصه‌ی الیاف تولیدی از آمیزه‌های نانوکامپوزیتی <i>PTT/PP/MWNT</i>
۱۴۶	۱-۶-۴ بررسی رفتار حرارتی الیاف تولیدی از آمیزه‌های نانوکامپوزیتی <i>PTT/PP/MWNT</i> با استفاده از گرماسنجی تفاضلی روبشی
۱۵۰	۲-۶-۴ بررسی مورفولوژی الیاف تولیدی از آمیزه‌ی <i>PTT/PP/MWNT</i> با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی
۱۵۴	۳-۶-۴ بررسی خواص مکانیکی الیاف تولیدی از آمیزه‌ی <i>PTT/PP/MWNT</i> با استفاده از دستگاه استحکام سنج
۱۵۶	فصل پنجم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۵۷	نتیجه‌گیری
۱۵۸	پیشنهادهات

فهرست مطالب

عنوان مطالب	شماره صفحه
منابع و مآخذ	۱۶۰
فهرست منابع فارسی	۱۶۰
فهرست منابع لاتین	۱۶۱
سایت های اطلاع رسانی	۱۶۶

فهرست جدول ها

شماره صفحه	عنوان
۱۰	جدول ۱-۱ داده‌های شبکه‌ی بلوری <i>PBT</i> و <i>PET</i> ، <i>PTT</i>
۱۱	جدول ۲-۱ خصوصیات فیزیکی و الکتریکی برخی از پلیمرهای خانواده‌ی پلی‌استر، نایلون و پلی کربنات
۱۳	جدول ۳-۱ مقایسه‌ی خواص مکانیکی الیاف <i>PTT</i> با دیگر الیاف
۲۷	جدول ۴-۱ خواص مکانیکی الیاف <i>PTT</i> و <i>PP</i> در سرعت‌های مختلف
۲۷	جدول ۵-۱ خواص حرارتی الیاف <i>PTT</i> در سرعت‌های مختلف
۲۷	جدول ۶-۱ خواص حرارتی الیاف <i>PP</i> در سرعت‌های مختلف
۴۲	جدول ۱-۲ مقایسه انواع اکسترودرهای دوپیچه
۴۷	جدول ۲-۲ مقایسه ضخامت سطح مشترک سیستم‌های ناسازگار با سیستم‌های سازگار شده واکنشی و سازگار شده با افزودن کوپلیمر
۵۸	جدول ۳-۲ برخی از نتایج آزمایشگاهی مدول یانگ <i>SWNT</i>
۵۸	جدول ۴-۲ برخی از نتایج آزمایشگاهی استحکام کششی <i>SWNT</i>
۷۵	جدول ۱-۳ کد و درصد وزنی آمیزه‌های دو جزئی <i>PTT/PP</i>
۷۸	جدول ۲-۳ کد و درصد وزنی آمیزه‌های نانوکامپوزیتی <i>PTT/PP/MWNT</i>
۱۰۹	جدول ۱-۴ پیک‌های شاخصه‌ی اشعه‌ی <i>X</i> و درجه‌ی کلی تبلور <i>PTT</i> ، <i>PP</i> و آمیزه‌هایشان
۱۱۱	جدول ۲-۴ مقادیر <i>n</i> و <i>K</i> برای <i>PTT</i> و آمیزه‌های <i>PTT/PP</i> در درجه حرارت $^{\circ}C$ ۲۳۵ و $^{\circ}C$ ۲۴۵
۱۱۲	جدول ۳-۴ مقادیر <i>n</i> و <i>K</i> برای <i>PTT</i> و آمیزه‌های <i>PTT/PP</i> در درجه حرارت $^{\circ}C$ ۲۳۵ و $^{\circ}C$ ۲۴۵
۱۲۴	جدول ۴-۴ شاخصه‌های غیرهمدمای بلورینگی برای الیاف تولیدی از آمیزه‌های <i>PTT/PP</i> در فرآیند گرمایش
۱۲۵	جدول ۵-۴ شاخصه‌های غیرهمدمای بلورینگی برای الیاف تولیدی از آمیزه‌های <i>PTT/PP</i> در فرآیند سرمایش
۱۴۰	جدول ۶-۴ پارامترهای غیرهمدمای بلورینگی برای نانوکامپوزیت‌های <i>PTT/PP/MWNT</i> در فرآیند حرارت‌دهی
۱۴۲	جدول ۷-۴ شاخصه‌های غیرهمدمای بلورینگی برای نانوکامپوزیت‌های <i>PTT/PP/MWNT</i> در فرآیند سرمایش

۱۵۴-۱۵۲	جدول ۴-۸ شاخصه‌های ساختاری شبکه‌ی بلوری در آمیزه‌های نانوکامپوزیتی <i>PTT/PP/CNT</i>
۱۵۴	جدول ۴-۹ مقادیر X_c^{WAXD} محاسبه شده برای نمونه‌ی خام و نمونه‌های نانوکامپوزیتی
۱۵۶	جدول ۴-۱۰ مقادیر n و K برای آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی
۱۶۷	جدول ۴-۱۱ شاخصه‌های بدست آمده از فرآیند بلورینگی غیرهمدمای برای الیاف تولیدی از آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی <i>PTT/PP/MWNT</i> در فرآیند حرارت‌دهی
۱۶۸	جدول ۴-۱۲ پارامترهای غیرهمدمای بلورینگی برای نانوکامپوزیت‌های <i>PTT/PP/MWNT</i> در فرآیند سرمایش

فهرست شکل‌ها

عنوان

شماره صفحه

۸	شکل ۱-۱ نحوه‌ی تهیه‌ی <i>PTT</i> از ۱ و ۳- پروپان دی ال ترفتالیک اسید
۱۰	شکل ۲-۱ موقعیت‌های اتمی زنجیرهای <i>PTT</i> در یک سل واحد بلوری
۱۱	شکل ۳-۱ منحنی تنش-کرنش و برگشت‌پذیری الاستیک پلیمر <i>PTT</i> (کرترا)
۱۲	شکل ۴-۱ قابلیت برگشت‌پذیری الاستیک <i>PTT</i> , <i>PP</i> و نایلون ۶,۶
۱۲	شکل ۵-۱ مقایسه‌ی خصوصیات کششی <i>PTT</i> , <i>PP</i> و نایلون ۶ بر مبنای <i>ASTM D-882</i>
۱۳	شکل ۶-۱ مقایسه‌ی نرخ انتقال بخار آب بر مبنای <i>ASTMF-1249</i>
۱۴	شکل ۱۰-۱ نماهای تابع توانی ویسکوزیته‌ی مذاب
۱۴	شکل ۱۱-۱ ویسکوزیته‌ی مذاب در برابر نرخ برشی، برای گریدهایی از پلیمر <i>PTT</i>
۱۵	شکل ۱۲-۱ اثر سرعت ریسندگی بر استحکام مخصوص الیاف <i>PP</i>
۱۵	شکل ۱۳-۱ تأثیر سرعت ریسندگی بر مدول یانگ الیاف <i>PP</i>
۱۶	شکل ۱۴-۱ منحنی‌های تنش-کرنش الیاف <i>PTT</i> ریسیده شده با سرعت‌های برداشت مختلف
۱۶	شکل ۱۵-۱ استحکام مخصوص و مدول اولیه‌ی الیاف <i>PTT</i> به عنوان تابعی از سرعت برداشت
۱۷	شکل ۱۶-۱ تأثیر سرعت ریسندگی بر ازدیاد طول الیاف <i>PP</i>
۱۷	شکل ۱۷-۱ اثر سرعت ریسندگی بر ازدیاد طول الیاف <i>PTT</i>
۱۸	شکل ۱۸-۱ اثر سرعت ریسندگی بر جمع‌شدگی حرارتی الیاف <i>PP</i>
۱۸	شکل ۱۹-۱ اثر سرعت ریسندگی بر جمع‌شدگی حرارتی الیاف <i>PTT</i>
۱۹	شکل ۲۰-۱ ضریب شکست مضاعف و دانسیته‌ی الیاف <i>PTT</i> به عنوان تابعی از سرعت برداشت
۱۹	شکل ۲۱-۱ تأثیر سرعت ریسندگی بر ضریب شکست مضاعف الیاف <i>PP</i>
۲۰	شکل ۲۲-۱ الگوهای تداخلی پلاریزاسیون موازی الیاف <i>PTT</i>
۲۱	شکل ۲۳-۱ الگوهای <i>WAXD</i> الیاف <i>PTT</i> در سرعت‌های برداشت مختلف
۲۲	شکل ۲۴-۱ نمودارهای <i>DSC</i> برای الیاف <i>PP</i> در سرعت‌های مختلف
۲۲	شکل ۲۵-۱ ترموگرام‌های <i>DSC</i> برای الیاف <i>PTT</i> در سرعت‌های مختلف
۲۳	شکل ۲۶-۱ درجه حرارت بلورینگی سرد و درجه حرارت ذوب به عنوان تابعی از سرعت برداشت
۲۴	شکل ۲۷-۱ درصد بلورینگی الیاف <i>PTT</i> به عنوان تابعی از سرعت برداشت

- شکل ۱-۲۸ درجه تبلور الیاف *PET* به عنوان تابعی از سرعت برداشت ۲۴
- شکل ۱-۲۹ منحنی‌های تنش-کرنش *PTT* در درجه حرارت‌های مختلف کشش ۲۵
- شکل ۱-۳۰ منحنی‌های تنش-کرنش *PTT* در درجه حرارت‌های مختلف کشش ۲۶
- شکل ۱-۳۱ مقایسه‌ی تأثیر سرعت‌های مختلف ریسندگی بر بلورینگی الیاف *PP*، *PTT* ۲۷
- شکل ۱-۳۲ مقایسه‌ی تأثیر سرعت‌های مختلف ریسندگی بر دانسیته‌ی درهم رفتگی الیاف *PTT* و *PP* ۲۸
- شکل ۲-۱ نمایشی از یک نوع مخلوط‌کن ناپیوسته داخلی، *ram* و چند نوع مخلوط‌کن با چرخنده‌های متفاوت ۳۶
- شکل ۲-۲ نمونه‌ای از تغییر گشتاور اندازه‌گیری شده بر حسب زمان ۳۷
- شکل ۲-۳ ناحیه اختلاط *Pineapple* ۳۹
- شکل ۲-۴ ناحیه اختلاط شکا فدار ۴۰
- شکل ۲-۵ ناحیه اختلاط مدوک ۴۰
- شکل ۲-۶ المان‌های مارپیچ متداول (الف) انتقال (*EZ*) (ب) *Kneading* کانال بسته (*GS*) (ج) (*KE*) *Kneading* ۴۱
- شکل ۲-۷ المانهای مارپیچ *Staggering* (الف) حلقه مانع (ب) اتصال کوئیدر و اکسترودر تخلیه از طریق دا ۴۱
- شکل ۲-۸ اکسترودرهای هم جهت و غیر هم جهت ۴۲
- شکل ۲-۹ اکسترودرهای جفت شده ۴۲
- شکل ۲-۱۰ اکسترودرهای جفت نشده ۴۳
- شکل ۲-۱۱ مناطق اختلاط و انتقال ۴۳
- شکل ۲-۱۲ شکل‌های قرارگیری مختلف دیسک‌های نیدردار (الف) جلوبرنده ۴۵° (ب) معکوس ۴۵° (ج) جلوبرنده ۶۰° ۴۴
- شکل ۲-۱۳ دیاگرام فازی برای محلول‌های پلیمری دو جزئی که رفتار *LSCT* و *USCT* دارند ۴۵
- شکل ۲-۱۴ انواع مهم و اساسی وابستگی ویسکوزیته آلیاژ به ترکیب درصد ۵۱
- شکل ۲-۱۵ چهار نوع وابستگی ویسکوزیته به غلظت در آمیزه‌های پلیمری ۵۲
- شکل ۲-۱۶ اشکال مختلف کربن ۵۳
- شکل ۲-۱۷ چند نوع از *SWNT* ها با کایرالیتهی متفاوت ۵۴

- شکل ۲-۱۸ بردار کایرال. OA بردار کایرال نامیده شده است . ۵۴
- شکل ۲-۱۹ تمامی ساختارهای ممکن برای $SWNT$ ها می توانند از استقرار بردار کایرال در محدوده ی نشان داده شده در تصویر شکل گرفته باشند . ۵۵
- شکل ۲-۲۰ تغییر مدول با قطر $SWNT$ ۵۶
- شکل ۲-۲۱ بکارگیری AFM برای اندازه گیری مدول دسته ی $SWNT$ ۵۷
- شکل ۲-۲۲ استحکام کششی بدست آمده برای چند نوع آمیزه ی پلیمری تقویت شده با CNT ها. ۶۷
- شکل ۲-۲۳ استحکام کششی بدست آمده برای پلیمرهای خالص. ۶۸
- شکل ۲-۲۴ نمای ترسیمی از فرآیند شکسته شدن ذرات پراکنش یافته به واسطه ی حضور CNT ها در آمیزه ۶۹
- شکل ۳-۱ سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده جهت تولید نانولوله های کربن ۷۳
- شکل ۳-۲ نمایی از دستگاه اکسترودر دو پیچیه ی همسوگرد در جریان فرآیند تولید یک تک فیلامنت سه جزئی ۷۵
- شکل ۳-۳ نمودارهای گشتاور - زمان نمونه های $PTT/MWNT$ که توسط نرم افزار دستگاه مخلوط کن داخلی ثبت شده است. ۷۶
- شکل ۳-۴ نمایی از دستگاه مخلوط کن داخلی (مدل برابندر) ۷۷
- شکل ۳-۵ اکسترودر تک پیچیه ی آزمایشگاهی و سیستم پیچش ۷۸
- شکل ۳-۶ دستگاه طیف سنجی رامان ۷۹
- شکل ۳-۷ نمایی شماتیک از یک ترموگرام DSC و پارامترهای قابل استنتاج از این ترموگرام ۸۰
- شکل ۳-۸ پراش پرتوی x توسط یک بلور ۸۲
- شکل ۳-۹ پهنای پیک در نصف ارتفاع ۸۲
- شکل ۳-۱۰ جریان آرام بین دو صفحه موازی ۸۴
- شکل ۳-۱۱ منحنی تنش برشی بر حسب نرخ کرنش ۸۵
- شکل ۳-۱۲ نمایی از دستگاه رئومتر موئینه ۸۷
- شکل ۳-۱۳ دستگاه اسپکتروسکوپی دینامیکی مکانیکی مدل $Paar Physica UDS 200$ ۸۷
- شکل ۳-۱۴ الف) میکروسکوپ الکترونی روبشی ب) دستگاه لایه نشانی طلا ۹۴

- شکل ۴-۱ ترموگرام‌های *DSC* بلورینگی سرد و متعاقب آن مذاب برای نمونه‌های *PP*، *PTT* و آمیزه‌های سردشده‌ی آن‌ها که برای نرخ حرارت‌دهی $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ ثبت شده است ۷۷
- شکل ۴-۲ T_g مشاهده شده برای نمونه‌های *PP*، *PTT* و آمیزه‌های آن‌ها به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه. ۷۸
- شکل ۴-۳ برای *PP*، *PTT* و آمیزه‌هایشان به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه. ۷۹
- شکل ۴-۴ گراف‌های بلورینگی مذاب *DSC* برای *PP*، *PTT* و آمیزه‌هایشان که بر مبنای نرخ کاهش درجه حرارت $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ ثبت شده است ۸۰
- شکل ۴-۵ شاخصه‌ی T_{mc} برای نمونه‌های *PP*، *PTT* و آمیزه‌هایشان به عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه. ۸۱
- شکل ۴-۶ شاخصه‌ی T_{cm} ذوب بلورهای *PTT* و یا *PP* برای نمونه‌های *PP*، *PTT* و آمیزه‌هایشان (پس از فرآیند بلورینگی سرد) به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه. ۸۲
- شکل ۴-۷ ترموگرام‌های ذوب متعاقب برای نمونه‌های *PP*، *PTT* و آمیزه‌هایشان پس بلورینگی مذاب در نرخ کاهش درجه حرارت $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$. ۸۳
- شکل ۴-۸ شاخصه‌ی T_{mm} مشاهده‌شده‌ی نمونه‌های *PP*، *PTT* و آمیزه‌هایشان به عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه. ۸۴
- شکل ۴-۹ ریزنگار (*SEM*) سطح شکست ترد نمونه‌ی *PP* ۸۵
- شکل ۴-۱۰ ریزنگار (*SEM*) سطح شکست ترد نمونه‌های آلیاژی *PTT/PP* با نسبت وزنی ۵۰/۵۰ ۸۵
- شکل ۴-۱۱ ریزنگار (*SEM*) سطح شکست ترد نمونه‌های آلیاژی *PTT/PP* با نسبت وزنی ۶۰/۴۰ ۸۶
- شکل ۴-۱۲ ریزنگار (*SEM*) سطح شکست ترد نمونه‌های آلیاژی *PTT/PP* با نسبت وزنی ۷۰/۳۰ ۸۶
- شکل ۴-۱۳ ریزنگار (*SEM*) سطح شکست ترد نمونه‌های آلیاژی *PTT/PP* با نسبت وزنی ۸۰/۲۰ ۸۶
- شکل ۴-۱۴ ریزنگار (*SEM*) سطح شکست ترد نمونه‌های آلیاژی *PTT/PP* با نسبت وزنی ۹۰/۱۰ ۸۷
- شکل ۴-۱۵ ریزنگار (*SEM*) مربوط به سطح شکست ترد نمونه‌ی *PTT* ۸۷
- شکل ۴-۱۶ الگوهای *WAXD* برای *PP*، *PTT* و آمیزه‌هایشان پیش از بلورینگی غیرهمدما از حالت مذاب در سل *DSC* با نرخ سرمایش $1^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ ۸۸
- شکل ۴-۱۷ درجه‌ی ظاهری تبلور برای آمیزه‌ها به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه ۸۹
- شکل ۴-۱۸ تغییرات تنش برشی در برابر نرخ برش *PTT* و آمیزه‌های *PTT/PP* در درجه حرارت 235°C ۹۱

- ۹۱ شکل ۴-۱۹ تغییرات تنش برشی در برابر نرخ برش PTT و آمیزه‌های PTT/PP در درجه حرارت $245^{\circ}C$
- ۹۲ شکل ۴-۲۰ تغییرات ویسکوزیته در برابر نرخ برش برای PTT و آمیزه‌های PTT/PP در درجه حرارت $235^{\circ}C$
- ۹۳ شکل ۴-۲۱ تغییرات ویسکوزیته در برابر درصد وزنی PTT در آمیزه در درجه حرارت $235^{\circ}C$ در نرخ‌های برشی مختلف
- ۹۴ شکل ۴-۲۲ تغییرات ویسکوزیته در برابر درصد وزنی PTT در آمیزه در درجه حرارت $245^{\circ}C$ در نرخ‌های برشی مختلف
- ۹۴ شکل ۴-۲۳ جریان فعال سازی انرژی در برابر نرخ برشی
- ۹۵ شکل ۴-۲۴ جریان فعال سازی انرژی در برابر درصد وزنی PTT در آمیزه
- ۹۶ شکل ۴-۲۵ نمودار جریان خواص ویسکوالاستیک PTT
- ۹۶ شکل ۴-۲۶ نمودار جریان خواص ویسکوالاستیک PP
- ۹۷ شکل ۴-۲۷ نمودار جریان خواص ویسکوالاستیک PTT_{50}/PP_{50}
- ۹۸ شکل ۴-۲۸ نمودار جریان خواص ویسکوالاستیک PTT_{70}/PP_{30}
- ۹۸ شکل ۴-۲۹ استحکام ویژه‌ی تک فیلامنت‌های PTT ، PP و آمیزه‌های PTT/PP
- ۹۹ شکل ۴-۳۰ ازدیاد طول تا حد پارگی تک فیلامنت‌های PTT ، PP و آمیزه‌های PTT/PP
- ۹۹ شکل ۴-۳۱ کرنش در پارگی تک فیلامنت‌های PTT ، PP و آمیزه‌های PTT/PP
- ۱۰۰ شکل ۴-۳۲ ترموگرام‌های DSC بلورینگی سرد و متعاقب آن مذاب برای الیاف PP ، PTT و آمیزه‌های سردشده‌ی آن‌ها که برای نرخ حرارت‌دهی $10^{\circ}C min^{-1}$ ثبت شده است
- ۱۰۱ شکل ۴-۳۳ T_g مشاهده شده برای الیاف PP ، PTT و آمیزه‌های آن‌ها به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه.
- ۱۰۱ شکل ۴-۳۴ T_{cc} برای الیاف PP ، PTT و آمیزه‌هایشان به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه
- ۱۰۳ شکل ۴-۳۵ گراف‌های بلورینگی مذاب DSC برای الیاف PP ، PTT و آمیزه‌هایشان که بر مبنای نرخ کاهش درجه حرارت $10^{\circ}C. min^{-1}$ ثبت شده است
- ۱۰۶ شکل ۴-۳۶ شاخصه‌ی T_{mc} برای الیاف PP ، PTT و آمیزه‌هایشان به عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه
- ۱۰۷ شکل ۴-۳۷ شاخصه‌ی T_{cm} ذوب بلورهای الیاف PTT و / یا PP برای نمونه‌های PP ، PTT و آمیزه‌هایشان (پس از فرآیند بلورینگی سرد) به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه
- ۱۰۸ شکل ۴-۳۸ ترموگرام‌های ذوب متعاقب برای الیاف PP ، PTT و آمیزه‌هایشان پس بلورینگی مذاب در نرخ کاهش درجه حرارت $10^{\circ}C. min^{-1}$.
- ۱۰۹ شکل ۴-۳۹ شاخصه‌ی T_{mm} مشاهده‌شده‌ی الیاف PP ، PTT و آمیزه‌هایشان (پس از فرآیند بلورینگی مذاب) به عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه.
- ۱۱۰ شکل ۴-۴۰ ریزنگار (SEM) سطح شکست الیاف PTT/PP با نسبت وزنی ۹۰/۱۰

- ۱۱۰ شکل ۴-۴۱ ریزنگار (*SEM*) سطح شکست الیاف *PTT/PP* با نسبت وزنی ۸۰/۲۰
- ۱۱۱ شکل ۴-۴۲ نمایی ترسیمی از زنجیره‌ی مولکولی *PTT* و *PP*
- ۱۱۲ شکل ۴-۴۳ ریزنگار (*SEM*) سطح شکست الیاف *PTT/PP* با نسبت وزنی ۷۰/۳۰
- ۱۱۳ شکل ۴-۴۴ ریزنگار (*SEM*) سطح شکست الیاف *PTT/PP* با نسبت وزنی ۶۰/۴۰
- ۱۱۳ شکل ۴-۴۵ ریزنگار (*SEM*) سطح شکست الیاف *PTT/PP* با نسبت وزنی ۵۰/۵۰
- ۱۱۴ شکل ۴-۴۶ الگوهای *WAXD* برای الیاف تولیدی از آمیزه‌های *PTT/PP*.
- ۱۱۵ شکل ۴-۴۷ استحکام ویژه‌ی الیاف *PTT*، *PP* و آمیزه‌های *PTT/PET*
- ۱۱۵ شکل ۴-۴۸ کرنش در حد پارگی الیاف *PTT*، *PP* و آمیزه‌های *PTT/PP*
- ۱۱۵ شکل ۴-۴۹ مدول اولیه‌ی الیاف *PTT*، *PP* و آمیزه‌های *PTT/PP*
- ۱۱۶ شکل ۴-۵۱ طیف رامان از توده‌ای از *MWNT* ها
- ۱۱۷ شکل ۴-۵۲ ریزنگار *TEM* از نانولوله‌های کربنی چند دیواره
- ۱۱۷ شکل ۴-۵۳ ریزنگار *SEM* از نانولوله‌های کربنی چند دیواره
- ۱۱۹ شکل ۴-۵۴ ترموگرام‌های *DSC* بلورینگی سرد و متعاقب آن مذاب برای نمونه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی سردشده‌ی آن‌ها که برای نرخ حرارت‌دهی $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ثبت شده است
- ۱۲۱ شکل ۴-۵۵ گراف‌های بلورینگی مذاب *DSC* برای نمونه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی که بر مبنای نرخ کاهش درجه حرارت $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ثبت شده است
- ۱۲۴ شکل ۴-۵۶ روند تغییرات درصد بلورینگی به میزان بارگذاری نانولوله‌های کربن
- ۱۲۵ شکل ۴-۵۷ شاخصه‌ی T_{mc} مشاهده‌شده‌ی نمونه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی (پس از فرآیند بلورینگی مذاب) به عنوان تابعی از میزان بارگذاری *MWNT* ها.
- ۱۲۶ شکل ۴-۵۸ ریزنگار *SEM* سطح شکست شکست ترد آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۰/۵ درصد وزنی *MWNT*
- ۱۲۷ شکل ۴-۵۹ ریزنگار *SEM* سطح شکست شکست ترد آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۱ درصد وزنی *MWNT*
- ۱۲۸ شکل ۴-۶۰ ریزنگار *SEM* سطح شکست شکست ترد آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۲ درصد وزنی *MWNT*
- ۱۲۸ شکل ۴-۶۱ ریزنگار *SEM* سطح شکست شکست ترد آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۴ درصد وزنی *MWNT*
- ۱۳۰ شکل ۴-۶۲ دو مدل پیشنهادی برای توجیه رفتار *MWNT* ها در آمیزه‌ی *PTT/PP*
- ۱۳۲ شکل ۴-۶۳ الگوهای *WAXD* برای آمیزه‌ی خام *PTT/PP* و آمیزه‌های نانو کامپوزیتی
- ۱۳۵ شکل ۴-۶۴ تغییرات تنش برشی در برابر نرخ برش آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیت در

- درجه حرارت 235°C
- شکل ۴-۶۵ تغییرات تنش برشی در برابر نرخ برش آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیت در درجه حرارت 245°C ۱۳۶
- شکل ۴-۶۶ تغییرات ویسکوزیته در برابر نرخ برش آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی در درجه حرارت 235°C ۱۳۷
- شکل ۴-۶۷ تغییرات ویسکوزیته در برابر نرخ برش آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی در درجه حرارت 245°C ۱۳۷
- شکل ۴-۶۸ ویسکوزیته در برابر میزان بارگذاری *MWNT* ها در آمیزه‌های نانوکامپوزیتی در درجه حرارت 235°C در نرخ‌های برشی مختلف ۱۳۸
- شکل ۴-۶۹ ویسکوزیته در برابر میزان بارگذاری *MWNT* ها در آمیزه‌های نانوکامپوزیتی در درجه حرارت 245°C در نرخ‌های برشی مختلف ۱۳۹
- شکل ۴-۷۰ جریان فعال سازی انرژی در برابر میزان بارگذاری *MWNT* ها ۱۳۹
- شکل ۴-۷۱ جریان فعال سازی انرژی در برابر نرخ برش آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی ۱۴۰
- شکل ۴-۷۲ نمودار ویسکوزیته‌ی مرکب برحسب فرکانس زاویه‌ای آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیت‌های *PTT/PP/MWNT* ۱۴۲
- شکل ۴-۷۳ نمودار مدول ذخیره‌ی آمیزه‌های نانوکامپوزیت‌های *PTT/PP/MWNT* ۱۴۳
- شکل ۴-۷۴ نمودار مدول اتلافی آمیزه‌های نانوکامپوزیت‌های *PTT/PP/MWNT* ۱۴۳
- شکل ۴-۷۵ نمودار $\tan\delta$ برحسب بسامد زاویه‌ای برای آمیزه‌های نانوکامپوزیت‌های *PTT/PP/MWNT* ۱۴۴
- شکل ۴-۷۶ گراف‌های بلورینگی مذاب *DSC* برای الیاف تولیدی از آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی که بر مبنای نرخ کاهش درجه حرارت $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ ثبت شده است ۱۴۶
- شکل ۴-۷۷ T_g مشاهده شده برای الیاف تولیدی از آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی به‌عنوان تابعی از درصد *MWNT* ۱۴۷
- شکل ۴-۷۸ منحنی‌های بلورینگی مذاب *DSC* برای الیاف تولیدی از نمونه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی که بر مبنای نرخ کاهش درجه حرارت $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ ثبت شده است ۱۴۸
- شکل ۴-۷۹ ریزنگار *SEM* سطح شکست شکست ترد الیاف تولید از آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۰/۵ درصد وزنی *MWNT* ۱۵۰
- شکل ۴-۸۰ ریزنگار *SEM* سطح شکست شکست ترد الیاف تولید از آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۱ درصد وزنی *MWNT* ۱۵۱
- شکل ۴-۸۱ ریزنگار *SEM* سطح شکست شکست ترد الیاف تولید از آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۲ درصد وزنی *MWNT* ۱۵۳
- شکل ۴-۸۲ ریزنگار *SEM* سطح شکست شکست ترد الیاف تولید از آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۰/۵ درصد وزنی *MWNT* ۱۵۳
- شکل ۴-۸۳ استحکام ویژه‌ی الیاف تولیدی از آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی ۱۵۵

شکل ۴-۸۴ کرنش در حد پارگی الیاف تولیدی از آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی

۱۵۵

شکل ۴-۸۵ مدول اولیه‌ی الیاف تولیدی از آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی

۱۵۵

چکیده:

پلی پروپیلن (*PP*) و سپس پلی اتیلن با اهمیت کمتر، مهم‌ترین الیاف الفینی را تشکیل می‌دهند. بیش از ۹۰٪ الیاف پلی الفینی را الیاف *PP* تشکیل می‌دهد. عدم امکان رنگرزی الیاف پلی پروپیلن به روش‌های متداول برای دیگر الیاف، باعث جلوگیری از رشد بیشتر این لیف مصنوعی گردیده است. پلی پروپیلن دارای دمای ذوب بالاتر (۱۶۵-۱۷۵ درجه سانتی گراد) در مقایسه با پلی اتیلن می‌باشد. از نقطه نظر استحکام و مقاومت در مقابل سایش، پلی پروپیلن با پلی اتیلن تفاوت زیاد ندارد. آسان بودن تولید این نوع الیاف و پایین بودن هزینه تولید از جمله دلایل بکارگیری این پلیمر در این تحقیق می‌باشد.

پلی تری متیلن ترفتالات (*PTT*) دارای خصوصیتی مابین پلی اتیلن ترفتالات (*PET*) و پلی بوتیلن ترفتالات (*PBT*) است به طوری که از ترکیبی غیرمعمول از شاخصه‌های برجسته‌ی *PET* و مشخصات فرآیندی *PBT* سود می‌برد. این شاخصه‌ها *PTT* را برای به کارگیری در قالب الیاف، فیلم‌ها و ترموپلاستیک‌های مهندسی بسیار مناسب ساخته است.

آمیزش پلیمرها، شیوه‌ای جذاب برای تولید مواد پلیمری جدید است که بدین شیوه بدون تولید موادی نو می‌توان به خصوصیتی مناسب دست یافت. علاوه بر آن مزایای دیگر آمیزش پلیمرها عبارتست از: تنوع‌پذیری، سادگی و هزینه‌های پایین. با توجه به خصوصیتی همچون استحکام و سختی خمشی پایین (و در نتیجه نرمی بالا)، استحکام لیفی قابل قبول و کارآلود پارگی بالا، پلی (تری متیل ترفتالات) به عنوان یکی از اجزاء آمیزه‌ی مورد تحقیق در نظر گرفته شده است.

علاوه بر موارد فوق تقویت مواد موجود با نانومواد همچون نانولوله‌های کربن موضوعاتی است که به دلیل بارگذاری نسبتاً کم با توجه به بهبود قابل ملاحظه‌ی خصوصیات، چندی است مورد توجه قرار گرفته است. تحقیقات اولیه در بهره‌برداری از خصوصیات ویژه‌ی نانولوله‌های کربن در الیاف مرکب با روش ذوب ریسی آغاز شده و اختلاط نانولوله‌های کربن با ماتریس‌های پلیمری مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور دستیابی به حداکثر قابلیت‌های ممکن، روش‌های گوناگونی برای توزیع بهینه‌ی نانولوله‌های کربن در ماتریس‌های پلیمری مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. توزیع نانولوله در ماتریس پلیمری و چسبندگی نانولوله با ماتریس، پارامترهایی مؤثر در ارتقاء استحکام محسوب می‌شوند. توزیع نانولوله‌های کربن در این روش‌ها غالباً با استفاده از اختلاط برشی صورت گرفته و در اغلب تحقیقات با ارتقاء خصوصیات الکتریکی و مکانیکی همراه بوده است. با توجه به محدودیت‌های ریسندگی، درصد بارگذاری نانولوله‌های کربن در تمامی موارد معمولاً کمتر از ۱۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این که نانولوله‌ها اندازه‌ای مشابه بلورها دارند، از همین رو احتمالاً همانند بلورها آرایش می‌یابند. به علاوه ممکن است نانولوله‌ها به عنوان هسته‌های ایجاد بلور ایفای نقش نمایند.

از همین رو در این طرح پلیمر اخیراً تجاری شده‌ی پلی (تری متیل ترفتالات) به همراه پلی پروپیلن و نانولوله‌های کربن به عنوان اجزاء تولید الیاف برگزیده شده و مطالعاتی در ارتباط با برهمکنش‌های ساختاری و خواص نهایی این آمیزه در قالب لیف صورت پذیرفته است.