



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب
دانشکده تحصیلات تکمیلی

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

عنوان :

تهیه‌ی آمیزه‌ی پلی تری متیلن ترفتالات/پلی اتیلن ترفتالات/ نانولوله‌های کربن به منظور
بررسی امکان پذیری دستیابی به الیاف نانوکامپوزیتی

استاد راهنما :

استاد مشاور :

نگارش:

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان مطالب
۱	چکیده
۲	مقدمه
۳	فصل اول : کلیات
۴	۱-۱) اهداف
۶	۲-۱) پیشینه تحقیق
۶	۳-۱) روش کار و تحقیق
۷	۴-۱) پیشینه‌ی تولید الیاف PET و PTT
۹	۵-۱) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی
۹	۵-۱-۱) ساختار بلوری و خصوصیات مکانیکی
۱۳	۵-۱-۲) خصوصیات رئولوژیکی
۱۵	۵-۱-۳) خصوصیات فرآیندی
۱۵	۶-۱) تأثیر سرعت ریسندگی بر ساختار و خواص الیاف
۱۵	۶-۱-۱) تأثیر سرعت ریسندگی بر خواص مکانیکی الیاف
۱۹	۶-۱-۲) تأثیر سرعت ریسندگی بر تکامل ساختاری الیاف
۲۱	۶-۱-۳) تأثیر سرعت کشش بر خواص حرارتی الیاف PET و PTT
۲۴	۶-۱-۴) تأثیر کشش بر خواص مکانیکی و حرارتی در درجه حرارت‌های مختلف
۲۸	۷-۱) کاربردهای PTT
۲۹	فصل دوم : آلیاژسازی، نانولوله‌های کربنی و نانوکامپوزیت‌های پلیمری برپایه‌ی آنها
۳۰	۱-۲) پیشگفتار فصل دوم
۳۲	۲-۲) سیستم‌های چند فازی پلیمری
۳۲	۲-۲-۱) تعاریف
۳۳	۲-۲-۲) اختلاط و آلیاژسازی
۳۳	۲-۲-۳) مکانیزم‌های اختلاط
۳۴	۲-۲-۴) انواع اختلاط
۳۴	۲-۲-۴-۱) اختلاط پراکنشی مذاب- مذاب
۳۵	۲-۲-۴-۲) ویژگی‌های عمومی مخلوط کننده‌های پراکنشی
۳۵	۲-۲-۴-۳) مخلوط کننده‌های داخلی ناپیوسته یا پیمانه‌ای

۳۹	۴-۲-۲ مخلوط کننده‌های پیوسته
۴۴	۳-۲ امتزاج‌پذیری مخلوط‌های پلیمری
۴۶	۴-۲ سازگارسازی آلیاژهای پلیمری
۴۶	۱-۴-۲ سازگارسازی غیرواکنشی
۴۷	۲-۴-۲ سازگارسازی واکنشی
۴۷	۵-۲ روش‌های مطالعه‌ی امتزاج‌پذیری مخلوط‌های پلیمری
۴۸	۱-۵-۲ روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری میزان سازگاری
۵۰	۶-۲ رئولوژی مخلوط‌های پلیمری
۵۳	۷-۲ نانولوله‌های کربن
۵۵	۱-۷-۲ خصوصیات ویژه‌ی نانولوله‌های کربنی
۵۹	۲-۷-۲ روش‌های تولید
۶۰	۳-۷-۲ فرآیند‌های خالص‌سازی
۶۱	۸-۲ کامپوزیت‌های نانولوله‌های کربنی - پلیمر
۶۱	۱-۸-۲ هدایت الکتریکی
۶۲	۲-۸-۲ تقویت خصوصیات مکانیکی
۶۲	۱-۲-۸-۲ مدل‌سازی کامپوزیت ماتریس پلیمری / پرکننده‌ی تقویت‌کننده
۶۵	۹-۲ اثر نانولوله‌های کربن بر بلورینگی PET و PTT
۶۶	۱۰-۲ عوامل مؤثر و نقش نانولوله‌های کربن در تقویت خصوصیات مکانیکی آمیزه‌ها
۶۸	۱۱-۲ نقش نانولوله‌های کربن در افزایش پراکنش فازی در آمیزه‌های پلیمری
۷۰	فصل سوم : تجربیات
۷۱	۱-۳ پیشگفتار فصل سوم
۷۱	۲-۳ مواد اولیه‌ی مورد استفاده
۷۲	۳-۳ رشد نانولوله‌های کربنی چند دیواره
۷۴	۴-۳ روش تهیه‌ی آمیزه‌ها
۷۴	۱-۴-۳ روش تهیه‌ی آمیزه‌های دو جزئی
۷۶	۲-۴-۳ روش تهیه‌ی آمیزه‌های سه جزئی
۷۸	۵-۳ تهیه‌ی الیاف به روش ذوب ریسی
۷۹	۶-۳ دستگاه‌ها و روش‌های تعیین مشخصه
۷۹	۱-۶-۳ طیف‌سنجی رامن
۸۰	۲-۶-۳ گرماسنجی روبشی تفاضلی

۸۱	۳-۶-۳ طیف سنج پراش اشعه X
۸۴	۳-۶-۴ رئومتر موئینه و رئومتر دینامیکی
۸۴	۳-۶-۴-۱ اصول رئولوژی
۸۶	۳-۶-۴-۲ اندازه گیری خواص جریان
۹۳	۳-۶-۵ میکروسکوپ الکترونی عبوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی
۹۴	۳-۶-۶ استحکام سنج
۹۵	فصل چهارم : نتایج و بحث
۹۶	۴-۱ پیشگفتار فصل چهارم
۹۶	۴-۲ آزمون‌های تعیین مشخصه‌ی آمیزه‌های دو جزئی PTT/PET
۹۶	۴-۲-۱ بررسی رفتار حرارتی آمیزه‌ی PTT/PET با استفاده از گرماسنجی تفاضلی روبشی
۱۰۵	۴-۲-۲ بررسی مورفولوژی آمیزه‌های PTT/PET با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی
۱۰۷	۴-۲-۳ بررسی ساختار بلوری آمیزه‌ی PTT/PET با استفاده از تفرق اشعه‌ی X زاویه‌ی باز
۱۱۰	۴-۲-۴ بررسی خواص رئولوژیکی آمیزه‌ی PTT/PET در حالت پایدار با استفاده از رئومتر موئینه
۱۱۶	۴-۲-۵ بررسی خواص رئولوژیکی آمیزه‌ی PTT/PET در حالت دینامیکی با استفاده از اسپکتروسکوپی دینامیکی مکانیکی
۱۱۸	۴-۲-۶ بررسی خواص مکانیکی تک- فیلامنت‌های تولیدی از آمیزه‌ی PTT/PET با استفاده از دستگاه استحکام سنج
۱۲۰	۴-۳ آزمون‌های تعیین مشخصه‌ی الیاف تولیدی از آمیزه‌های PTT/PET
۱۲۰	۴-۳-۱ بررسی رفتار حرارتی الیاف تولیدی از آمیزه‌های PTT/PET با استفاده از گرماسنجی تفاضلی روبشی
۱۳۰	۴-۳-۲ بررسی مورفولوژی الیاف تولیدی از آمیزه‌ی PTT/PET با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی
۱۳۴	۴-۳-۳ بررسی ساختار بلوری الیاف تولیدی از آمیزه‌ی PTT/PET با استفاده از تفرق اشعه‌ی X زاویه‌ی باز
۱۳۴	۴-۳-۴ بررسی خواص مکانیکی الیاف تولیدی از آمیزه‌ی PTT/PET با استفاده از دستگاه استحکام سنج
۱۳۶	۴-۴ تعیین مشخصه‌ی نانولوله‌های کربنی چند دیواره

۱۳۶	۱-۴-۴ اسپکتروسکوپی رامان MWNT ها
۱۳۶	۲-۴-۴ بررسی مورفولوژی نانولوله‌های کربنی چند دیواره با استفاده از TEM و SEM
۱۳۸	۵-۴ آزمون‌های تعیین مشخصه‌ی آمیزه‌های نانوکامپوزیتی PTT/PET/MWNT
۱۳۸	۱-۵-۴ بررسی رفتار حرارتی آمیزه‌ی PTT/PET/MWNT با استفاده از گرماسنجی تفاضلی روبشی
۱۴۶	۲-۵-۴ بررسی مورفولوژی آمیزه‌های نانوکامپوزیتی PTT/PET/MWNT با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی
۱۵۱	۳-۵-۴ بررسی ساختار بلوری آمیزه‌ی PTT/PET/MWNT با استفاده از تفرق اشعه‌ی X زاویه‌ی باز
۱۵۵	۴-۵-۴ بررسی خواص رئولوژیکی آمیزه‌ی PTT/PET/MWNT در حالت پایدار با استفاده از رئومتر موئینه
۱۶۱	۵-۵-۴ بررسی خواص رئولوژیکی آمیزه‌ی PTT/PET/MWNT در حالت دینامیکی با استفاده از اسپکتروسکوپی دینامیکی مکانیکی
۱۶۵	۶-۴ آزمون‌های تعیین مشخصه‌ی الیاف تولیدی از آمیزه‌های نانوکامپوزیتی PTT/PET/MWNT
۱۶۵	۱-۶-۴ بررسی رفتار حرارتی الیاف تولیدی از آمیزه‌های نانوکامپوزیتی PTT/PET/MWNT با استفاده از گرماسنجی تفاضلی روبشی
۱۷۱	۲-۶-۴ بررسی مورفولوژی الیاف تولیدی از آمیزه‌ی PTT/PET/MWNT با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی
۱۷۳	۳-۶-۴ بررسی خواص مکانیکی الیاف تولیدی از آمیزه‌ی PTT/PET/MWNT با استفاده از دستگاه استحکام سنج
۱۷۵	فصل پنجم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۷۶	نتیجه‌گیری
۱۷۸	پیشنهادهات

فهرست مطالب

عنوان مطالب	شماره صفحه
منابع و مآخذ	۱۷۹
فهرست منابع فارسی	۱۷۹
فهرست منابع لاتین	۱۸۰
سایت های اطلاع رسانی	۱۸۴
چکیده انگلیسی	۱۸۵

فهرست جدول ها

شماره صفحه	عنوان
۱۰	جدول ۱-۱ داده‌های شبکه‌ی بلوری PTT ، PET و PBT
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 PTT با دیگر الیاف
۲۷	جدول ۴-۱ خواص مکانیکی الیاف PTT و PET در سرعت‌های مختلف
۲۷	جدول ۵-۱ خواص حرارتی الیاف PTT در سرعت‌های مختلف
۲۷	جدول ۶-۱ خواص حرارتی الیاف PET در سرعت‌های مختلف
۴۲	جدول ۱-۲ مقایسه انواع اکسترودرهای دوپیچه
۴۷	جدول ۲-۲ مقایسه ضخامت سطح مشترک سیستم های ناسازگار با سیستم‌های سازگار شده واکنشی و سازگار شده با افزودن کوپلیمر
۵۸	جدول ۳-۲ برخی از نتایج آزمایشگاهی مدول ینگ SWNT
۵۸	جدول ۴-۲ برخی از نتایج آزمایشگاهی استحکام کششی SWNT
۷۵	جدول ۱-۳ کد و درصد وزنی آمیزه‌های دو جزئی PTT/PET
۷۸	جدول ۲-۳ کد و درصد وزنی آمیزه‌های نانوکامپوزیتی PTT/PET/ MWNT
۱۰۹	جدول ۱-۴ پیک‌های شاخصه‌ی اشعه‌ی X و درجه‌ی کلی تبلور PTT, PET و آمیزه‌هایشان
۱۱۱	جدول ۲-۴ مقادیر n و K برای PTT و آمیزه‌های PTT/PET در درجه حرارت ۲۳۵ °C و ۲۴۵ °C
۱۱۲	جدول ۳-۴ مقادیر n و K برای PTT و آمیزه‌های PTT/PET در درجه حرارت ۲۳۵ °C و ۲۴۵ °C
۱۲۴	جدول ۴-۴ شاخصه‌های غیرهمدمای بلورینگی برای الیاف تولیدی از آمیزه‌های PTT/PET در فرآیند گرمایش
۱۲۵	جدول ۵-۴ شاخصه‌های غیرهمدمای بلورینگی برای الیاف تولیدی از آمیزه‌های PTT/PET در فرآیند سرمایش
۱۴۰	جدول ۶-۴ پارامترهای غیرهمدمای بلورینگی برای نانوکامپوزیت‌های PTT/PET/MWNT در فرآیند حرارت‌دهی
۱۴۲	جدول ۷-۴ شاخصه‌های غیرهمدمای بلورینگی برای نانوکامپوزیت‌های PTT/PET/MWNT در فرآیند سرمایش
۱۵۴-۱۵۲	جدول ۸-۴ شاخصه‌های ساختاری شبکه‌ی بلوری در آمیزه های نانوکامپوزیتی PTT/PET/CNT

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

فهرست شکل‌ها

عنوان	شماره صفحه
شکل ۱-۱ نحوه‌ی تولید PDO	۸
شکل ۲-۱ نحوه‌ی تهیه‌ی پلی‌اتیلن ترفتالات از ترفتالیک اسید و دی‌متیل ترفتالات	۸
شکل ۳-۱ نحوه‌ی تهیه‌ی PTT از ۱ و ۳- پروپان دی ال ترفتالیک اسید	۸
شکل ۴-۱ موقعیت‌های اتمی زنجیرهای PTT در یک سل واحد بلوری	۱۰
شکل ۵-۱ ساختمان بلوری پلی‌اتیلن ترفتالات	۱۰
شکل ۶-۱ منحنی تنش-کرنش و برگشت‌پذیری الاستیک پلیمر PTT (کرترا)	۱۱
شکل ۷-۱ قابلیت برگشت‌پذیری الاستیک PTT، PET و نایلون ۶،۶	۱۲
شکل ۸-۱ مقایسه‌ی خصوصیات کششی PTT، PET و نایلون ۶ بر مبنای ASTM D-882	۱۲
شکل ۹-۱ مقایسه‌ی نرخ انتقال بخار آب بر مبنای ASTM F-1249	۱۳
شکل ۱۰-۱ نماهای تابع توانی ویسکوزیته‌ی مذاب	۱۴
شکل ۱۱-۱ ویسکوزیته‌ی مذاب در برابر نرخ برشی، برای گریدهایی از پلیمر PTT	۱۴
شکل ۱۲-۱ اثر سرعت ریسندگی بر استحکام مخصوص الیاف PET	۱۵
شکل ۱۳-۱ تأثیر سرعت ریسندگی بر مدول ینگ الیاف PET	۱۵
شکل ۱۴-۱ منحنی‌های تنش-کرنش الیاف PTT ریسیده شده با سرعت‌های برداشت مختلف	۱۶
شکل ۱۵-۱ استحکام مخصوص و مدول اولیه‌ی الیاف PTT به عنوان تابعی از سرعت برداشت	۱۶
شکل ۱۶-۱ تأثیر سرعت ریسندگی بر ازدیاد طول الیاف PET	۱۷
شکل ۱۷-۱ اثر سرعت ریسندگی بر ازدیاد طول الیاف PTT	۱۷
شکل ۱۸-۱ اثر سرعت ریسندگی بر جمع‌شدگی حرارتی الیاف PET	۱۸
شکل ۱۹-۱ اثر سرعت ریسندگی بر جمع‌شدگی حرارتی الیاف PTT	۱۸
شکل ۲۰-۱ ضریب شکست مضاعف و دانسیته‌ی الیاف PTT به عنوان تابعی از سرعت برداشت	۱۹
شکل ۲۱-۱ تأثیر سرعت ریسندگی بر ضریب شکست مضاعف الیاف PET	۱۹
شکل ۲۲-۱ الگوهای تداخلی پلاریزاسیون موازی الیاف PTT	۲۰
شکل ۲۳-۱ الگوهای WAXD الیاف PTT در سرعت‌های برداشت مختلف	۲۱
شکل ۲۴-۱ نمودارهای DSC برای الیاف PET در سرعت‌های مختلف	۲۲
شکل ۲۵-۱ ترموگرام‌های DSC برای الیاف PTT در سرعت‌های مختلف	۲۲
شکل ۲۶-۱ درجه حرارت بلورینگی سرد و درجه حرارت ذوب به عنوان تابعی از سرعت برداشت	۲۳

- شکل ۱-۲۷ درصد بلورینگی الیاف PTT به عنوان تابعی از سرعت برداشت ۲۴
- 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 PET, PTT ۲۷
- شکل ۱-۳۲ مقایسه‌ی تأثیر سرعت‌های مختلف ریسندگی بر دانسیته‌ی درهم رفتگی الیاف PET و PTT 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 ماریپیچ متداول (الف) انتقال (EZ) (ب) Kneading کانال بسته (GS) ۴۱
- شکل ۲-۷ المانهای ماریپیچ Staggering ۴۱
- (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 ۴۴
- (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 کایرالیته متفاوت ۵۴

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

- شکل ۴-۱ ترموگرام‌های DSC بلورینگی سرد و متعاقب آن مذاب برای نمونه‌های PTT، PET و آمیزه‌های سردشده‌ی آن‌ها که برای نرخ حرارت‌دهی $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ ثبت شده است ۹۷
- شکل ۴-۲ T_g مشاهده شده برای نمونه‌های PTT، PET و آمیزه‌های آن‌ها به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه. ۹۸
- شکل ۴-۳ T_{cc} برای PET، PTT و آمیزه‌هایشان به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه. ۹۹
- شکل ۴-۴ گراف‌های بلورینگی مذاب DSC برای PTT، PET و آمیزه‌هایشان که بر مبنای نرخ کاهش درجه حرارت $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ ثبت شده است ۱۰۰
- شکل ۴-۵ شاخصه‌ی T_{mc} برای نمونه‌های PTT، PET و آمیزه‌هایشان به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه. ۱۰۱
- شکل ۴-۶ شاخصه‌ی T_{cm} ذوب بلورهای PTT و / یا PET برای نمونه‌های PTT، PET و آمیزه‌هایشان (پس از فرآیند بلورینگی سرد) به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه. ۱۰۲
- شکل ۴-۷ ترموگرام‌های ذوب متعاقب برای نمونه‌های PTT، PET و آمیزه‌هایشان پس از بلورینگی مذاب در نرخ کاهش درجه حرارت $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$. ۱۰۳
- شکل ۴-۸ شاخصه‌ی T_{mm} مشاهده‌شده‌ی نمونه‌های PTT، PET و آمیزه‌هایشان به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه. ۱۰۴
- شکل ۴-۹ ریزنگار (SEM) سطح شکست ترد نمونه‌ی PET ۱۰۵
- شکل ۴-۱۰ ریزنگار (SEM) سطح شکست ترد نمونه‌های آلیاژی PTT/PET با نسبت وزنی ۵۰/۵۰ ۱۰۵
- شکل ۴-۱۱ ریزنگار (SEM) سطح شکست ترد نمونه‌های آلیاژی PTT/PET با نسبت وزنی ۶۰/۴۰ ۱۰۶
- شکل ۴-۱۲ ریزنگار (SEM) سطح شکست ترد نمونه‌های آلیاژی PTT/PET با نسبت وزنی ۷۰/۳۰ ۱۰۶
- شکل ۴-۱۳ ریزنگار (SEM) سطح شکست ترد نمونه‌های آلیاژی PTT/PET با نسبت وزنی ۸۰/۲۰ ۱۰۶
- شکل ۴-۱۴ ریزنگار (SEM) سطح شکست ترد نمونه‌های آلیاژی PTT/PET با نسبت وزنی ۹۰/۱۰ ۱۰۷
- شکل ۴-۱۵ ریزنگار (SEM) مربوط به سطح شکست ترد نمونه‌ی PTT ۱۰۷
- شکل ۴-۱۶ الگوهای WAXD برای PTT، PET و آمیزه‌هایشان پیش از بلورینگی غیرهمدمای از حالت مذاب در سل DSC با نرخ سرمایش $1^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ ۱۰۸
- شکل ۴-۱۷ درجه‌ی ظاهری تبلور برای آمیزه‌ها به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه ۱۰۹
- شکل ۴-۱۸ تغییرات تنش برشی در برابر نرخ برش PTT و آمیزه‌های PTT/PET در درجه حرارت 235°C ۱۱۱

- شکل ۴-۱۹ تغییرات تنش برشی در برابر نرخ برش PTT و آمیزه‌های PTT/PET در درجه حرارت ۲۴۵ °C ۱۱۱
- شکل ۴-۲۰ تغییرات ویسکوزیته در برابر نرخ برش برای PTT و آمیزه‌های PTT/PET در درجه حرارت ۲۳۵ °C ۱۱۲
- شکل ۴-۲۱ تغییرات ویسکوزیته در برابر درصد وزنی PTT در آمیزه در درجه حرارت ۲۳۵ °C در نرخ‌های برشی مختلف ۱۱۳
- شکل ۴-۲۲ تغییرات ویسکوزیته در برابر درصد وزنی PTT در آمیزه در درجه حرارت ۲۴۵ °C در نرخ‌های برشی مختلف ۱۱۴
- شکل ۴-۲۳ جریان فعال سازی انرژی در برابر نرخ برشی ۱۱۴
- شکل ۴-۲۴ جریان فعال سازی انرژی در برابر درصد وزنی PTT در آمیزه ۱۱۵
- شکل ۴-۲۵ نمودار جریان خواص ویسکوالاستیک PTT ۱۱۶
- شکل ۴-۲۶ نمودار جریان خواص ویسکوالاستیک PET ۱۱۶
- شکل ۴-۲۷ نمودار جریان خواص ویسکوالاستیک PTT۵۰/PET۵۰ ۱۱۷
- شکل ۴-۲۸ نمودار جریان خواص ویسکوالاستیک PTT۷۰/PET۳۰ ۱۱۸
- شکل ۴-۲۹ استحکام ویژه‌ی تک فیلامنت‌های PTT، PET و آمیزه‌های PTT/PET ۱۱۸
- شکل ۴-۳۰ ازدیاد طول تا حد پارگی تک فیلامنت‌های PTT، PET و آمیزه‌های PTT/PET ۱۱۹
- شکل ۴-۳۱ کرنش در پارگی تک فیلامنت‌های PTT، PET و آمیزه‌های PTT/PET ۱۱۹
- شکل ۴-۳۲ ترموگرام‌های DSC بلورینگی سرد و متعاقب آن مذاب برای الیاف PTT، PET و آمیزه‌های سردشده‌ی آنها که برای نرخ حرارت‌دهی $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ ثبت شده است ۱۲۰
- شکل ۴-۳۳ T_g مشاهده شده برای الیاف PTT، PET و آمیزه‌های آنها به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه. ۱۲۱
- شکل ۴-۳۴ T_{cc} برای الیاف PET، PTT و آمیزه‌هایشان به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه ۱۲۱
- شکل ۴-۳۵ گراف‌های بلورینگی مذاب DSC برای الیاف PTT، PET و آمیزه‌هایشان که بر مبنای نرخ کاهش درجه حرارت $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ ثبت شده است ۱۲۳
- شکل ۴-۳۶ شاخصه‌ی T_{mc} برای الیاف PET، PTT و آمیزه‌هایشان به عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه ۱۲۶
- شکل ۴-۳۷ شاخصه‌ی T_{cm} ذوب بلورهای الیاف PTT و / یا PET برای نمونه‌های PTT، PET و آمیزه‌هایشان (پس از فرآیند بلورینگی سرد) به‌عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه ۱۲۷
- شکل ۴-۳۸ ترموگرام‌های ذوب متعاقب برای الیاف PTT، PET و آمیزه‌هایشان پس بلورینگی مذاب در نرخ کاهش درجه حرارت $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$. ۱۲۸
- شکل ۴-۳۹ شاخصه‌ی T_{mm} مشاهده‌شده‌ی الیاف PTT، PET و آمیزه‌هایشان (پس از فرآیند بلورینگی مذاب) به عنوان تابعی از ترکیب درصد آمیزه. ۱۲۹
- شکل ۴-۴۰ ریزنگار (SEM) سطح شکست الیاف PTT/PET با نسبت وزنی ۹۰/۱۰ ۱۳۰

- شکل ۴-۴۱ ریزنگار (SEM) سطح شکست الیاف PTT/PET با نسبت وزنی ۸۰/۲۰ ۱۳۰
- شکل ۴-۴۲ نمایی ترسیمی از زنجیره‌ی مولکولی PTT و PET ۱۳۱
- شکل ۴-۴۳ ریزنگار (SEM) سطح شکست الیاف PTT/PET با نسبت وزنی ۷۰/۳۰ ۱۳۲
- شکل ۴-۴۴ ریزنگار (SEM) سطح شکست الیاف PTT/PET با نسبت وزنی ۶۰/۴۰ ۱۳۳
- شکل ۴-۴۵ ریزنگار (SEM) سطح شکست الیاف PTT/PET با نسبت وزنی ۵۰/۵۰ ۱۳۳
- شکل ۴-۴۶ الگوهای WAXD برای الیاف تولیدی از آمیزه‌های PTT/PET. ۱۳۴
- شکل ۴-۴۷ استحکام ویژه‌ی الیاف PTT، PET و آمیزه‌های PTT/PET ۱۳۵
- شکل ۴-۴۸ کرنش در حد پارگی الیاف PTT، PET و آمیزه‌های PTT/PET ۱۳۵
- شکل ۴-۴۹ مدول اولیه‌ی الیاف PTT، PET و آمیزه‌های PTT/PET ۱۳۵
- شکل ۴-۵۱ طیف رامان از توده‌ای از MWNT ها ۱۳۶
- شکل ۴-۵۲ ریزنگار TEM از نانولوله‌های کربنی چند دیواره ۱۳۷
- شکل ۴-۵۳ ریزنگار SEM از نانولوله‌های کربنی چند دیواره ۱۳۷
- شکل ۴-۵۴ ترموگرام‌های DSC بلورینگی سرد و متعاقب آن مذاب برای نمونه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی سردشده‌ی آن‌ها که برای نرخ حرارت‌دهی $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ ثبت شده است ۱۳۹
- شکل ۴-۵۵ گراف‌های بلورینگی مذاب DSC برای نمونه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی که بر مبنای نرخ کاهش درجه حرارت $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ ثبت شده است ۱۴۱
- شکل ۴-۵۶ روند تغییرات درصد بلورینگی به میزان بارگذاری نانولوله‌های کربن ۱۴۴
- 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. ۱۴۵
- شکل ۴-۵۸ ریزنگار SEM سطح شکست شکست ترد آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۰/۵ درصد وزنی MWNT ۱۴۶
- شکل ۴-۵۹ ریزنگار SEM سطح شکست شکست ترد آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۱ درصد وزنی MWNT ۱۴۷
- شکل ۴-۶۰ ریزنگار SEM سطح شکست شکست ترد آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۲ درصد وزنی MWNT ۱۴۸
- شکل ۴-۶۱ ریزنگار SEM سطح شکست شکست ترد آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۴ درصد وزنی MWNT ۱۴۸
- شکل ۴-۶۲ دو مدل پیشنهادی برای توجیه رفتار MWNT ها در آمیزه‌ی PTT/PET ۱۵۰
- شکل ۴-۶۳ الگوهای WAXD برای آمیزه‌ی خام PTT/PET و آمیزه‌های نانو کامپوزیتی ۱۵۲

- شکل ۴-۶۴ تغییرات تنش برشی در برابر نرخ برش آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیت در درجه حرارت 235°C ۱۵۵
- شکل ۴-۶۵ تغییرات تنش برشی در برابر نرخ برش آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیت در درجه حرارت 245°C ۱۵۶
- شکل ۴-۶۶ تغییرات ویسکوزیته در برابر نرخ برش آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی در درجه حرارت 235°C ۱۵۷
- شکل ۴-۶۷ تغییرات ویسکوزیته در برابر نرخ برش آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی در درجه حرارت 245°C ۱۵۷
- شکل ۴-۶۸ ویسکوزیته در برابر میزان بارگذاری MWNT در آمیزه‌های نانوکامپوزیتی در درجه حرارت 235°C در نرخ‌های برشی مختلف ۱۵۸
- شکل ۴-۶۹ ویسکوزیته در برابر میزان بارگذاری MWNT در آمیزه‌های نانوکامپوزیتی در درجه حرارت 245°C در نرخ‌های برشی مختلف ۱۵۹
- شکل ۴-۷۰ جریان فعال سازی انرژی در برابر میزان بارگذاری MWNT ها ۱۵۹
- شکل ۴-۷۱ جریان فعال سازی انرژی در برابر نرخ برش آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی ۱۶۰
- شکل ۴-۷۲ نمودار ویسکوزیته‌ی مرکب برحسب فرکانس زاویه‌ای آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیت‌های PTT/PET/MWNT ۱۶۲
- شکل ۴-۷۳ نمودار مدول ذخیره‌ی آمیزه‌های نانوکامپوزیت‌های PTT/PET/MWNT ۱۶۳
- شکل ۴-۷۴ نمودار مدول اتلافی آمیزه‌های نانوکامپوزیت‌های PTT/PET/MWNT ۱۶۳
- شکل ۴-۷۵ نمودار $\tan\delta$ برحسب بسامد زاویه‌ای برای آمیزه‌های نانوکامپوزیت‌های PTT/PET/MWNT ۱۶۴
- 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 ۱۶۶
- شکل ۴-۷۷ T_g مشاهده شده برای الیاف تولیدی از آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی به‌عنوان تابعی از درصد MWNT ۱۶۷
- 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 ۱۶۸
- شکل ۴-۷۹ ریزنگار SEM سطح شکست شکست ترد الیاف تولید از آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۰/۵ درصد وزنی MWNT ۱۷۰
- شکل ۴-۸۰ ریزنگار SEM سطح شکست شکست ترد الیاف تولید از آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۱ درصد وزنی MWNT ۱۷۱
- شکل ۴-۸۱ ریزنگار SEM سطح شکست شکست ترد الیاف تولید از آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۲ درصد وزنی MWNT ۱۷۲
- شکل ۴-۸۲ ریزنگار SEM سطح شکست شکست ترد الیاف تولید از آمیزه‌ی نانوکامپوزیتی با ۱۷۲

۰/۵ درصد وزنی MWNT

۱۷۴ شکل ۴-۸۳ استحکام ویژه‌ی الیاف تولیدی از آمیزه‌ی خام و آمیزه‌های نانوکامپوزیتی

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

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

چکیده:

PTT دارای خصوصیتی مابین PET و 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 کارتاحد پارگی بالا، پلی (تری متیلن 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 بهره برداری 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 شده ی پلی (تری متیلن ترفتالات) به همراه پلی اتیلن ترفتالات 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.