بسم الله الرحمن الرحيم
إنه من سليمان وإنه

دانشکده فنی

گروه مهندسی نساجی

گرایش شیمی‌نساجی و علوم‌الیاف

ساخت و تعیین مشخصه‌های نانوساختارهای کشسان برپایه پلی‌یورتان‌ها

از

سید مجتبی علیزاده دربندی

استادان راهنما

دکتر مهدی نوری

دکتر جواد مختاری

اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۰

تقدیم به

مادر عزیزتر از جانم

و روح پدر مهربانم

که موفقیت‌هایم را در تمام مراحل زندگی مدیون ایشان هستم.

از استادان راهنما، آقایان مهدی نوری و جواد مختاری عضو هیأت علمی دانشکده فنی دانشگاه گیلان، که در انجام هرچه بهتر پروژه به من کمک، یاری و مشورت رساندند، سپاسگزارم.

همچنین از افراد، مراکز علمی و آزمایشگاه‌های ذیل که در انجام آزمایش‌ها نهایت همکاری را داشتند، کمال تشکر را دارم:

- مدیریت محترم گروه مهندسی نساجی دانشکده فنی دانشگاه گیلان (جناب آقای دکتر وحید متقی‌طلب)
- آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) پژوهشگاه صنایع رنگ ایران (جناب آقای مهندس امینی‌فضل)
- آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) دانشگاه ایران (جناب آقای دکتر پیرحاجاتی)
- آزمایشگاه فیزیک الیاف گروه مهندسی نساجی دانشکده فنی دانشگاه گیلان
- آزمایشگاه شیمی نساجی گروه مهندسی نساجی دانشکده فنی دانشگاه گیلان

اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۰

فهرست جدول‌ها ..... ح
فهرست شـــکل‌ها ..... د
فهرست طرح‌ها ..... ش
فهرست علائم اختصاری ..... ص

چکیده فارسی ..... ع
چکیده انگلیسی ..... غ

فصل ۱ - مروری بر منابع و مقالات ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- الاستومرهای ترموپلاستیک ۳
۱-۳- پلی‌یورتان ۵
۱-۳-۱- شیمی پلی‌یورتان ۵
۱-۳-۱-۱- ساختار پلی‌یورتان ۵
۱-۳-۱-۲ واکنش‌های شیمیایی پایه ۵
۱-۳-۲- تولید و کاربرد پلی‌یورتان ۷
۱-۳-۲-۱- انواع پلی‌یورتان ۹
۱-۳-۲-۱-۱- مواد برپایه پلی‌یورتان با کاربردهای در زمینه پزشکی ۱۲
۱-۴- نانو لوله‌های کربنی (کربن نانوتیوب‌ها) ۱۴
۱-۴-۱- آلوتروپ‌های کربن ۱۴
۱-۴-۲- ساختار نانولوله‌های کربنی ۱۴
۱-۴-۳- خواص و کاربردهای نانولوله‌های کربنی ۱۶
۱-۴-۴- روش‌های اصلی آماده‌سازی ۱۸
۱-۴-۵- کاربردها ۱۹
۱-۴-۵-۱- کاربرد به‌عنوان تقویت‌کننده در کامپوزیت‌ها ۲۰
۱-۴-۵-۲- استفاده در نمایشگرهای تشعشع میدانی ۲۰
۱-۴-۵-۳- استفاده از نانولوله‌های تک‌دیواره در صنعت الکترونیک ۲۰
۱-۴-۵-۴- ساختار توخالی نانولوله و کاربرد به‌عنوان ذخیره‌کننده و پیل سوختی ۲۱
۱-۵- الکتروریسی؛ تعاریف و تاریخچه آن ۲۱
۱-۵-۱- پلیمرهای طبیعی و مصنوعی الکتروریسی شده تا کنون ۲۵
۱-۵-۲- فرآیند الکتروریسی ۲۸
۱-۵-۲-۱- دستگاه الکتروریسی ۲۸
۱-۶-۳- پارامترهای محلول موثر در الکتروریسی نانوالیاف ۲۹
۱-۶-۳-۱- پارامترهای محلول ۲۹
۱-۶-۳-۱-۱- غلظت ۲۹
۱-۶-۳-۱-۲- وزن مولکولی ۲۹
۱-۶-۳-۱-۳- ویسکوزیته ۲۹
۱-۶-۳-۲- پارامترهای فرآیند ۳۰
۱-۶-۳-۲-۱- ولتاژ اعمالی ۳۰
۱-۶-۳-۲-۲- سرعت تغذیه/سرعت جریان محلول ۳۰

۱-۶-۳-۲-۳- انواع مختلف جمع‌کننده ۳۰
۱-۶-۳-۲-۴- فاصله نوک سوزن تا جمع‌کننده ۳۰
۱-۶-۳-۲-۵- نوع حلال مورد استفاده ۳۰
۱-۶-۳-۳- پارامترهای محیطی موثر در الکتروریسی ۳۲
۱-۷- انواع نانوالیاف ۳۳
۱-۷-۱- نانوالیاف پلیمری ۳۴
۱-۷-۲- نانوالیاف کربنی ۳۴
۱-۷-۳- نانوالیاف معدنی ۳۴
۱-۸- تعیین مشخصه‌های نانوالیاف ۳۵
۱-۸-۱- تعیین ویژگی‌های مکانیکی ۳۵
۱-۹- کاربردهای نانوالیاف ۳۶
۱-۹-۱- کاربردهای نانوالیاف در فیلتراسیون ۳۷
۱-۹-۲- کاربردهای نانوالیاف در مهندسی بافت ۳۷
۱-۹-۲-۱- داربست‌های مهندسی بافت ۳۸
۱-۹-۳- کاربردهای پوششی نانوالیاف برای بهبودیابی زخم ۳۸
۱-۹-۴- کاریردهای نانوالیاف در دارورسانی و رهایش تدریجی دارو ۳۹
۱-۱۰- کاربردهای بالقوه نانوالیاف ۳۹
۱-۱۱- دورنمای الکتروریسی و نانوالیاف ۴۰
۱-۱۲- تهیه فیلم، الیاف و نانوالیاف و نانوساختارهای بر پایه پلی‌یورتان ۴۱
۱-۱۳- تهیه فیلم، الیاف و نانوالیاف و نانوساختارهای کامپوزیتی برپایه پلی‌یورتان ۵۲
۱-۱۴- کامپوزیت پلی‌یورتان/نانولوله کربنی ۵۷
۱-۱۴-۱- خواص مکانیکی کامپوزیت پلی‌یورتان/نانولوله کربنی ۵۷
۱-۱۴-۲- خواص الکتریکی کامپوزیت‌های پلیمر/نانولوله کربنی ۵۷
۱-۱۵- تهیه فیلم نانوالیاف و نانوساختارهای کامپوزیتی بر پایه پلی‌یورتان/نانولوله کربنی ۵۸

فصل ۲- تجربیات ۶۳
۲-۱- مواد ۶۴
۲-۲-تهیه محلول الکتروریسی ۶۴
۲-۳- الکتروریسی پلی‌یورتان/نانولوله کربنی ۶۵
۲-۴- دستگاه‌ها و روش‌های مورد استفاده جهت تهیه و آنالیز نمونه‌ها ۶۶
۲-۴-۱- ترازوی دیجیتال ۶۶
۲-۴-۲- سانیکیتور ۶۶
۲-۴-۳- بررسی ویسکوزیته محلول‌های الکتروریسی ۶۶
۲-۴-۴- بررسی قطر و مورفولوژی نانوساختارها ۶۷
۲-۴-۵- میکروسکوپ الکترونی عبوری ۶۷
۲-۴-۶- طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه ۶۸
۲-۴-۷- بررسی خواص حرارتی نانوالیاف ۶۸
۲-۴-۸- بررسی رسانایی نانوساختارها ۶۹
۲-۴-۸-۱- بررسی رسانایی نانوساختارها در هنگام کشش تک‌محوری ۶۹

۲-۴-۸-۲- بررسی رسانایی وب نانوالیاف در اثر کشش‌های دوره‌ای ۷۱
۲-۴-۹- بررسی استحکام نانوساختارها ۷۱
۲-۴-۹-۱- بررسی خواص مکانیکی نانوساختارها توسط تست مکانیکی دوره‌ای ۷۱

فصل ۳- نتایج و بحث ۷۲
۳-۱- بررسی نانوساختارها توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی ۷۳
۳-۱-۱- بررسی اثر تغییر ولتاژ اعمالی بر قطر نانوالیاف پلی‌یورتان/نانولوله کربنی ۷۳
۳-۱-۲- بررسی اثر تغییر در مقدار نانولوله کربنی در نانوکامپوزیت بر قطر نانوالیاف پلی‌یورتان/ نانولوله کربنی ۷۷
۳-۱-۲-۱- تأثیر تغییرات درصد نانولوله کربنی بر میانگین قطر و انحراف معیار قطر نانوالیاف ۸۱
۳-۲- بررسی ویسکوزیته محلول‌های پلیمری ۸۲
۳-۳- بررسی نانوساختارها توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری ۸۴
۳-۴- مطالعه طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه ۸۷
۳-۵- بررسی خواص مکانیکی، استحکام و حداکثر تنش نانوساختارهای پلی‌یورتان/نانولوله کربنی ۹۰
۳-۶- بررسی خواص مکانیکی نانوساختارها توسط تست مکانیکی دوره‌ای ۹۷
۳-۷- بررسی خواص حرارتی نانوالیاف پلی‌یورتان/ نانولوله کربنی چنددیواره ۹۸
۳-۷-۱- سیکل رفت ۹۸
۳-۷-۲- سیکل برگشت ۹۹
۳-۸- بررسی رسانایی نانوالیاف پلی‌یورتان/ نانولوله کربنی چنددیواره ۱۰۲
۳-۸-۱- محاسبه تغییرات رسانایی وب نانوالیاف با افزایش در درصد نانولوله کربنی در محلول پلیمری ... ۱۰۲
۳-۸-۲- بررسی تغییرات رسانایی وب نانوالیاف با تغییر در میزان کشش ۱۰۴
۳-۸-۳- بررسی تغییرات رسانایی و مقاومت الکتریکی وب نانوالیاف PU/MWNT در اثر کشش با سرعت $۷۰\ mm/min$ ۱۰۷
۳-۸-۴- بررسی تغییرات رسانایی و مقاومت الکتریکی وب نانوالیاف PU/MWNT با افزایش طول ۴۰٪ ۱۰۸
۳-۸-۵- بررسی تفاوت بین مقادیر رسانایی و مقاومت الکتریکی وب نانوالیاف PU/MWNT ۱۰۸
۳-۸-۵-۱- بررسی تفاوت بین مقادیر رسانایی و مقاومت الکتریکی وب نانوالیاف PU/MWNT در درصد ازدیاد طول‌های متفاوت ۱۰۸
۳-۸-۵-۲- بررسی تفاوت بین مقادیر رسانایی و مقاومت الکتریکی وب نانوالیاف PU/MWNT در سرعت‌های کشش متفاوت ۱۰۹
۳-۹- بررسی حساسیت کششی وب نانوالیاف PU/MWNT در درصدهای مختلف نانولوله کربنی . ۱۱۰
۳-۱۰- بررسی تغییرات مقادیر رسانایی و مقاومت الکتریکی وب نانوالیاف PU/MWNT دراثر کشش‌های دوره‌ای ۱۱۱

فصل ۴- نتیجه‌گیری ۱۱۳

پیشنهادات ۱۱۸

منابع و مراجع ۱۱۹

ضمائم ۱۲۷
تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) ۱۲۸
نتایج و نمودارهای به‌دست آمده از آزمون‌های مکانیکی ۱۴۷
ویسکوزیته محلول‌های ریسندگی ۱۷۸
وزن نمونه‌های بررسی شده در تست‌های مکانیکی ۱۸۸
جدول داده‌های ایمنی ماده پلی‌یورتان ۱۸۹
جدول داده‌های ایمنی ماده نانولوله کربنی ۱۹۲
جدول داده‌های ایمنی ماده دی‌متیل فرمامید ۱۹۶
خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلیمر/نانولوله کربنی ۲۰۳
خواص الکتریکی کامپوزیت‌های پلیمر/نانولوله کربنی ۲۰۶

۱-۱ فروش پلی‌یورتان در بازار سال ۱۹۹۶ ایالات متحده آمریکا ۸
۱-۲ دی ایزوسیانات‌های مورد استفاده در چسب‌های PUR ۱۱
۱-۳ ترکیب سطح (٪) از پلی‌یورتان عمل شده با نیتروژن پلاسما برای زمانهای متفاوت در معرض پرتو قرار گرفته‌شده بوسیله آنالیز XPS ۱۲
۱-۴ پلیمرهای مختلف به کار گرفته شده در الکتروریسی. روش‌های تعیین خواص و کاربردهای آنها ۲۶
۱-۵ ویژگی‌های حلال‌های مختلف مورد استفاده در الکتروریسی ۳۱
۱-۶ حلال‌های مختلف استفاده شده در الکتروریسی ۳۱
۱-۷ پارامترهای الکتروریسی (محلول، فرآیند و محیط) و تأثیرشان بر مورفولوژی الیاف ۳۳
۱-۸ شرایط سنتز PUC ۴۳
۱-۹ مشخصات PUC و نانوالیاف تهیه شده از آنها ۴۴
۱-۱۰ ترکیبات پلی‌یورتان ۴۵
۱-۱۱ خواص فیزیکی-مکانیکی پلی‌یورتان‌ها ۴۸
۱-۱۲ خواص استحکامی الیاف مختلط پودر ابریشم/پلی‌یورتان ۵۱
۲-۱ مقادیر ولتاژ و درصد نانولوله کربنی و شماره نمونه‌های محلول‌های پلیمری ۶۵
۲-۲ وزن نمونه‌های تهیه شده برای بررسی توسط DSC ۶۹
۳-۱ بررسی تأثیر تغییرات ولتاژ بر قطر نانوالیاف ۷۵
۳-۲ بررسی تأثیر تغییرات درصد نانولوله کربنی در محلول پلیمری بر قطر نانوالیاف ۸۰
۳-۳ بررسی تغییرات خواص مکانیکی نانوالیاف با تغییر در درصد نانولوله کربنی ۹۱
۳-۴ بررسی تغییرات خواص مکانیکی نانوالیاف با تغییر در ولتاژ ۹۴
۳-۵ مقادیر میانگین وزن، نیروی پارگی و حداکثر تنش در نمونه‌های وب نانوالیاف ۹۶
۳-۶ مقادیر مدول اولیه و تنش و تغییرات آن در آزمون دوره‌ای استحکام مکانیکی ۹۷
۳-۷ پارامترهای آنالیز حرارتی وب نانوالیاف پلی‌یورتان و پلی‌یورتان/نانولوله کربنی در سیکل رفت ۹۸
۳-۸ پارامترهای آنالیز حرارتی وب نانوالیاف پلی‌یورتان و پلی‌یورتان/نانولوله کربنی در سیکل برگشت ۱۰۰
۳-۹ تغییرات مقادیر حداقلی و حداکثری شار حرارتی و دماهای مربوط به آن ۱۰۰
۳-۱۰ مقادیر مقاومت و رسانایی الکتریکی وب نانوالیاف و محلول الکتروریسی پلی‌یورتان/نانولوله کربنی ۱۰۳
۳-۱۱ بیشترین و کمترین مقادیر و تغییرات رسانایی الکتریکی برای وب نانوالیاف پلی‌یورتان/نانولوله کربنی ۱۰۶

۳-۱۲ مقادیر تفاوت بین رسانایی و مقاومت الکتریکی وب نانوالیاف PU/MWNT با ازدیاد طول‌های ۲۰٪ و ۴۰٪ نسبت به طول اولیه ۱۰۸
۳-۱۳ مقادیر تفاوت بین رسانایی الکتریکی و مقاومت الکتریکی وب نانوالیاف PU/MWNT در سرعت‌های کشش $۲۰\frac{mm}{min}$ و ۷۰ ..... ۱۰۹

۱-۱ مورفولوژی دو فازی در الاستومرهای ترموپلاستیک: نواحی بلوری (جزء سخت) و غیربلوری (جزء نرم). تصویر (a) شماتیک و TEM (b) ۴

۱-۲ میله جراحی بر پایه پلی‌یورتان (a) تصویر ماکروسکوپی (قطر خارجی حدوداً ۴ میلی‌متر) (b) تصویر SEM از سطح مقطع ۱۳

۱-۳ آلوتروپ‌های مختلف کربن ۱۴

۱-۴ ساختار نانولوله کربنی تک‌دیواره (SWNT) و نانولوله کربنی چنددیواره (MWNT) ۱۵

۱-۵ شکل‌گیری نانولوله‌ها از صفحات گرافیت ۱۵

۱-۶ فولرن و انواع مختلف نانولوله کربنی تک‌دیواره ۱۶

۱-۷ تصاویر (الف) SEM و (ب) TEM نانولوله‌های کربنی ۱۹

۱-۸ تصویر شماتیک دستگاه الکتروریسی ۲۸

۱-۹ متغیرها در فرآیند الکتروریسی. T و P، دما و فشار ۳۲

۱-۱۰ نیروهای وارد شده بر یک تک نانولیف الکتروریسی شده در سرتاسر دو صفحه موازی ۳۳

۱-۱۱ کاربردهای پتانسیلی نانوالیاف ۳۹

۱-۱۲ تصویر SEM و ماکروسکوپی از نانووب الکتروریسی شده ۴۰

۱-۱۳ تصاویر AFM نانوالیاف بدست آمده از محلول‌های با چهار غلظت: (a) ۳/۸، (b)۵/۲، (c) ۱۰/۱ و (d) ۱۲/۸ wt% ۴۲

۱-۱۴ تصویر SEM از نانوالیاف (a) PUC۳، (b) PUC۵، (c) PUC۷، (d) PUC۱۰ ..... ۴۴

۱-۱۵ ترموگرام DSC دو گونه از PU زیست تجزیه‌پذیر، منحنی بالا رفتار حرارتی M530B و منحنی پایین رفتار حرارتی M530M ۴۶

۱-۱۶ منحنی DSC پلی‌یورتان (a) PU-۴۷ و (b) PU-۹۰: منحنی ۱ قبل از خالص‌سازی و منحنی ۲ بعد از خالص‌سازی ۴۸

۱-۱۷ منحنی DSC از پلی‌یورتان درجه پزشکی: منحنی ۱ Pellethane ۲۳۶۳-۸۰A و منحنی ۲ Pellethane ۲۳۶۳-۵۵D ۴۸

۱-۱۸ منحنی دوره‌ای استحکام لایه نانوالیاف پلی‌یورتان‌های حفظ‌کننده حالت ۵۰

۱-۱۹ منحنی DSC از الیاف پلی‌یورتان تغییرفاز دهنده SMP-MWNT با محتوای متفاوت از نانولوله کربنی چنددیواره ۵۳

۱-۲۰ اثر تغییرات درصد نانولوله کربنی بر کیفیت سطح لیف: (a) ۰، (b) ۱، (c) ۳، (d) ۵ و (e) ۷ .wt% ۵۳

۱-۲۱ منحنی DSC کامپوزیت پلی‌یورتان/نانولوله کربنی چنددیواره در درصدهای مختلف نانولوله کربنی ۵۴

۱-۲۲ تصاویر SEM از نانوالیاف Pellethane ۲۱۰۳-۸۰AE از محلول wt.% ۷ در DMF. (a) تصویر سطحی از وب الکتروریسی شده، (b)-(d) نمای سطح مقطع از وب الکتروریسی شده شکسته شده ۵۴

۱-۲۳ تصاویر SEM از Pellethane ۲۱۰۳-۸۰AE الکتروریسی شده از محلول wt.% ۷ در دی‌متیل فرمامید. (a) ٪۰ ازدیاد طول، (b) ≈۱۰۰٪ ازدیاد طول (فلش، جهت کشش) ۵۵

۱-۲۴ نانوالیاف Pellethane ۲۱۰۳-۸۰AE الکتروریسی شده منظم‌شده ۵۵

۱-۲۵ تصاویر کامپوزیت EPDM شامل wt.% ۵ از نانولوله کربنی چنددیواره ۵۷

۱-۲۶ تصویر TEM از کامپوزیت شامل wt.% ۵ از نانولوله کربنی چنددیواره بعد از اختلاط مذاب ۵۹

۱-۲۷ تصاویر TEM از نانوالیاف کامپوزیتی الکتروریسی شده در غلظت‌های نانولوله کربنی از (A) ۴، (B) ۵، (C) ۷/۵ و (D) ۱۰ wt. %، (E) جزئیات «نانوسیم»، نشان‌دهنده تک نانولوله با نظم بسیار بالا در طول محور نانولیف. خط‌های مقیاس برابر ۱۰۰ نانومتر ۵۹

۱-۲۸ رسانایی حجمی کامپوزیت پلی‌یورتان/نانولوله کربنی چنددیواره بعد از اختلاط مذاب ۶۰

۱-۲۹ تصاویر SEM از نانوالیاف کامپوزیتی الکتروریسی شده در غلظت‌های نانولوله کربنی از (A) ۴، (B) ۵، (C) ۷/۵ و (D) ۱۰ wt.%. الیاف الکتروریسی شده از محلول در غلظت‌های پلی‌یورتان از (A) ۱۵، (B) ۱۴، (C) ۱۳و (D) ۱۲ wt.% می باشد. خط‌های مقیاس برابر ۱ میکرومتر ۶۰

۱-۳۰ تصاویر FESEM از نانوالیاف برپایه PU، (A) بدون و (B) با نانولوله کربنی چنددیواره (بدون اصلاح‌سازی سطح) ۶۱

۱-۳۱ شمای جزئی ساختار شبه‌وب از نانوالیاف با MWNT (A) تصویر FESEM از ساختار شبه‌وب (MWNT بدون اصلاح سطحی) (B) تصویر TEM از ساختار شبه‌وب (MWNT با اصلاح سطحی)، نمای جزئی از الیاف ظریف به خوبی جاسازی شده ساختار شبه‌وب در نانوالیاف پلی‌یورتان/MWNT شامل تک MWNT ۶۱

۲-۱ تصویر دستگاه سانیکیتور ۶۶

۲-۲ تصویر دستگاه ویسکومتر Brookfiled (DVII+) ۶۷

۲-۳ تصویر دستگاه میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل Zeiss (LEO) 1455 VP-SEM ساخت شرکت Angstrom Scientific Inc. (Germany) ۶۷

۲-۴ تصویر دستگاه میکروسکوپ الکترونی عبوری مدل LEO906 ساخت شرکت Carl Zeiss (Germany) ۶۸

۲-۵ تصویر دستگاه طیف سنجی FT-IR مدل IR560F ساخت شرکت Nicolet Magana (USA) ۶۸

۶-۲ تصویر شماتیک برای اندازه‌گیری خواص الکتریکی وب نانوالیاف PU/MWNT تحت کشش تک‌محور یک و چند دوره‌ای ۷۰
۳-۱ تصویر SEM و نمودار توزیع قطری نانوالیاف تهیه شده از محلول ۱۵٪ پلی‌یورتان با ۱۵٪ از MWNT در ولتاژ ۸ کیلوولت ۷۳
۳-۲ تصویر SEM و نمودار توزیع قطری نانوالیاف تهیه شده از محلول ۱۵٪ پلی‌یورتان با ۱۵٪ از MWNT در ولتاژ ۱۰ کیلوولت ۷۴
۳-۳ تصویر SEM و نمودار توزیع قطری نانوالیاف تهیه شده از محلول ۱۵٪ پلی‌یورتان با ۱۵٪ از MWNT در ولتاژ ۱۲ کیلوولت ۷۴
۳-۴ تغییرات قطر نانوالیاف حاصل از محلول دارای ۱۵٪ MWNT بر حسب تغییر در ولتاژ ۷۵
۳-۵ تغییرات میانگین قطر نانوالیاف حاصل از محلول‌های دارای ۰٪ تا ۲۵٪ MWNT بر حسب تغییر در ولتاژ ۷۶
۳-۶ تغییرات انحراف معیار قطر نانوالیاف حاصل از محلول‌های دارای ۰٪ تا ۲۵٪ MWNT بر حسب تغییر در ولتاژ ... ۷۷
۳-۷ تصویر SEM و نمودار توزیع قطری نانوالیاف تهیه شده از محلول ۱۵٪ پلی‌یورتان با ۰٪ از MWNT در ولتاژ ۱۰ کیلوولت ۷۷
۳-۸ تصویر SEM و نمودار توزیع قطری نانوالیاف تهیه شده از محلول ۱۵٪ پلی‌یورتان با ۴٪ از MWNT در ولتاژ ۱۰ کیلوولت ۷۸
۳-۹ تصویر SEM و نمودار توزیع قطری نانوالیاف تهیه شده از محلول ۱۵٪ پلی‌یورتان با ۶٪ از MWNT در ولتاژ ۱۰ کیلوولت ۷۸
۳-۱۰ تصویر SEM و نمودار توزیع قطری نانوالیاف تهیه شده از محلول ۱۵٪ پلی‌یورتان با ۸٪ از MWNT در ولتاژ ۱۰ کیلو ولت ۷۹
۳-۱۱ تصویر SEM و نمودار توزیع قطری نانوالیاف تهیه شده از محلول ۱۵٪ پلی‌یورتان با ۱۵٪ از MWNT در ولتاژ ۱۰ کیلوولت ۷۹
۳-۱۲ تصویر SEM و نمودار توزیع قطری نانوالیاف تهیه شده از محلول ۱۵٪ پلی‌یورتان با ۲۵٪ از MWNT در ولتاژ ۱۰ کیلوولت ۸۰
۳-۱۳ تغییرات میانگین قطر نانوالیاف حاصل از محلول‌های دارای ۰٪ تا ۲۵٪ MWNT بر حسب تغییر در درصد نانولوله کربنی در ولتاژ ۱۰ kV ۸۱
۳-۱۴ تغییرات انحراف معیار قطر نانوالیاف حاصل از محلول‌های دارای ۰٪ تا ۲۵٪ MWNT بر حسب تغییر در درصد نانولوله کربنی در ولتاژ ۱۰ kV ۸۲

۳-۱۵ ویسکوزیته محلول الکتروریسی PU/MWNT با درصدهای مختلف نانولوله کربنی ۸۲
۳-۱۶ تغییرات مقدار ویسکوزیته بر حسب تغییرات درصد نانولوله کربنی ۸۳
۳-۱۷ تصاویر TEM نانوالیاف پلی‌یورتان حاوی ۰٪ وزنی نانولوله کربنی (نمونه شاهد) تهیه شده در ولتاژ ۸kV ۸۴
۳-۱۸ تصاویر TEM نانوالیاف پلی‌یورتان حاوی ۲٪ وزنی نانولوله کربنی تهیه شده در ولتاژ ۸ kV ۸۵
۳-۱۹ تصاویر TEM نانوالیاف پلی‌یورتان حاوی ۲٪ وزنی نانولوله کربنی تهیه‌شده در ولتاژ ۸ kV و نانوسیم در امتداد نانوالیاف ۸۵
۳-۲۰ تصاویر TEM نانوالیاف پلی‌یورتان حاوی ۶٪ وزنی نانولوله کربنی تهیه شده در ولتاژ ۸ kV ۸۶
۳-۲۱ تصاویر TEM نانوالیاف پلی‌یورتان حاوی ۸٪ وزنی نانولوله کربنی تهیه شده در ولتاژ ۱۲ kV ۸۶
۳-۲۲ طیف‌های FT-IR به‌دست آمده از نمونه‌های وب نانوالیاف PU خام و PU/MWNT با مقادیر ۲٪، ۸٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ از نانولوله کربنی. الف- وجود پیک کربنیل (C=O) پیک مربوط به حرکت ارتعاشی ساختار کربن در نانولوله کربنی ب- وجود پیک ضعیف کربنیل آزاد (C=O) و پیک گروه کربنیل در طول موج ۱۶۲۷ Cm^{-1} ۸۹
۳-۲۳ طیف‌های FT-IR به‌دست آمده از نمونه‌های وب نانوالیاف PU خام و PU/MWNT با مقادیر ۲٪، ۸٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ از نانولوله کربنی. وجود پیک مربوط به کشش پیوند C-O و پیک مربوط به پیوند C-H در جزء بوتان دی‌ال در زنجیره پلیمری پلی‌یورتان ۸۹
۳-۲۴ طیف‌های FT-IR به‌دست آمده از نمونه‌های وب نانوالیاف PU خام و PU/MWNT با مقادیر ۲٪، ۸٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ از نانولوله کربنی از طول موج ۴۰۰ تا ۱۸۰۰ Cm^{-1} ۹۰
۳-۲۵ تغییرات مدول اولیه برحسب افزایش درصد نانولوله کربنی ۹۲
۳-۲۶ تغییرات تنش برحسب افزایش درصد نانولوله کربنی ۹۲
۳-۲۷ تغییرات ازدیاد طول برحسب افزایش درصد نانولوله کربنی ۹۲
۳-۲۸ تغییرات نیروی پارگی وب نانوالیاف در اثر افزایش درصد ازدیاد طول برای درصدهای مختلف نانولوله کربنی در ولتاژ ۱۰kV ۹۳
۳-۲۹ تغییرات مدول اولیه برحسب افزایش ولتاژ در ۸٪ از نانولوله کربنی ۹۴
۳-۳۰ تغییرات تنش برحسب افزایش ولتاژ در ۸٪ از نانولوله کربنی ۹۴
۳-۳۱ تغییرات ازدیاد طول برحسب افزایش ولتاژ در ۸٪ از نانولوله کربنی ۹۴

۳-۳۲ تغییرات نیروی پارگی در اثر افزایش درصد ازدیاد طول برای وب نانوالیاف حاوی ۸٪ نانولوله کربنی در ولتاژهای ۱۲ kV و ۱۰، ۸ ..... ۹۵
۳-۳۳ افزایش مقادیر حداکثر تنش و مدول اولیه با افزایش ولتاژ در مقادیر ۲٪ و ۴٪ از نانولوله کربنی چند دیواره در وب نانوالیاف ۹۷
۳-۳۴ کاهش مقادیر حداکثر تنش و مدول اولیه با افزایش ولتاژ در مقادیر ۱۰٪ و ۱۵٪ از نانولوله کربنی چنددیواره در وب نانوالیاف ۹۷
۳-۳۵ رفتار حرارتی نانوالیاف پلی‌یورتان (شاهد) و پلی‌یورتان/نانولوله کربنی در سیکل رفت ۹۹
۳-۳۶ رفتار حرارتی نانوالیاف پلی‌یورتان (شاهد) و پلی‌یورتان/نانولوله کربنی در سیکل برگشت ۱۰۰
۳-۳۷ رفتار حرارتی نانوالیاف پلی‌یورتان و تفاوت مقادیر حداقلی و حداکثری شار حرارتی و دمای مربوط به آن ۱۰۱
۳-۳۸ رفتار حرارتی نانوالیاف پلی‌یورتان/ (۶٪) نانولوله کربنی و تفاوت مقادیر حداقلی و حداکثری شار حرارتی و دمای مربوط به آن ۱۰۱
۳-۳۹ رفتار حرارتی نانوالیاف پلی‌یورتان/(۱۵٪) نانولوله کربنی و تفاوت مقادیر حداقلی و حداکثری شار حرارتی و دمای مربوط به آن ۱۰۲
۳-۴۰ تغییرات رسانایی الکتریکی محلول الکتروریسی پلی‌یورتان/نانولوله کربنی در اثر افزایش درصد نانولوله کربنی ۱۰۴
۳-۴۱ تغییرات رسانایی الکتریکی وب نانوالیاف پلی‌یورتان/نانولوله کربنی در اثر افزایش درصد نانولوله کربنی ۱۰۴
۳-۴۲ سیکل تغییرات ازدیاد طول در برابر زمان به منظور تعیین تغییرات رسانایی در اثر اعمال نیرو ۱۰۵
۳-۴۳ تغییرات رسانایی الکتریکی وب نانوالیاف پلی‌یورتان/(۸٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪) نانولوله کربنی با تغییرات ازدیاد طول در یک سیکل رفت و برگشت ۱۰۵
۳-۴۴ کاهش مقدار رسانایی الکتریکی وب نانوالیاف پلی‌یورتان/(۸٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪) نانولوله کربنی با کشش تا ۲۰٪ ازدیاد طول نسبت به طول اولیه ۱۰۶
۳-۴۵ تغییرات مقادیر رسانایی الکتریکی وب نانوالیاف پلی‌یورتان/(۸٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪) نانولوله کربنی با افزایش زمان در یک سیکل کشش با ۲۰٪ ازدیاد طول ۱۰۶
۳-۴۶ تغییرات مقادیر مقاومت الکتریکی وب نانوالیاف پلی‌یورتان/(۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪) نانولوله کربنی با افزایش زمان در یک سیکل کشش با سرعت $۷۰\ {mm}/{min}$ ۱۰۷
۳-۴۷ تغییرات مقادیر رسانایی الکتریکی وب نانوالیاف پلی‌یورتان/(۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪) نانولوله کربنی با افزایش زمان در یک سیکل کشش با سرعت $۷۰\ {mm}/{min}$ ۱۰۷

۳-۴۸ تغییرات مقادیر رسانایی الکتریکی وب نانوالیاف پلی‌یورتان/(۱۰٪)نانولوله کربنی با افزایش زمان در یک سیکل کشش با سرعت $۲۰\ mm/min$ ۱۰۸

۳-۴۹ تغییرات حساسیت کششی با ازدیاد طول برای مقادیر مختلف نانولوله کربنی در وب نانوالیاف PU/MWNT ... ۱۱۰

۳-۵۰ تغییرات مقادیر مقاومت الکتریکی وب نانو الیاف PU/MWNT با افزایش زمان در طی ۴ سیکل با سرعت کشش $۲۰ mm/min$ و ازدیاد طول ۲۰٪ نسبت به طول اولیه ۱۱۱

۳-۵۱ تغییرات مقادیر رسانایی الکتریکی وب نانو الیاف PU/MWNT با افزایش زمان در طی ۴ سیکل با سرعت کشش $۲۰ mm/min$ و ازدیاد طول ۲۰٪ نسبت به طول اولیه ۱۱۱

۱-۱ مکانیسم اتصال جزء نرم به جزء سخت در پلی‌یورتان ۴
۱-۲ ساختار اصلی سیستم‌های الاستومر پلی اتر-بلاک-آمید ترموپلاستیک ۵
۱-۳ گروه یورتان ۵
۱-۴ سه جزء تشکیل‌دهنده پلی‌یورتان ۵
۱-۵ پیوند یورتان ۶
۱-۶ واکنش‌های اصلی سنتز پلی‌یورتان ۶
۱-۷ واکنش دو مرحله‌ای ایزوسیانات با آب ۶
۱-۸ گروه اوره ۹
۱-۹ واکنش بین ایزوسیانات و ترکیبات حاوی هیدروکسیل ۱۰
۱-۱۰ واکنش بین آمین و ایزوسیانات ۱۰
۱-۱۱ واکنش بین آمین و ایزوسیانات در صورت وجود دو مولکول ایزوسیانات ۱۰
۱-۱۲ واکنش ایزوسیانات‌ها تحت هیدرولیز ۱۰
۱-۱۳ پلی‌یورتان قطعه‌شده برپایه ۴و۴-دی‌فنیل متان دی‌ایزوسیانات (MDI) و ۱و۴- بوتان دی‌ال (BDO) ۱۱
۱-۱۴ ساختار شیمیایی کوپلیمر پلی‌یورتان اوره. x=۲ و y=۸ و n=۲۸ ..... ۴۲
۱-۱۵ ساختار شیمیایی کوپلیمر بلوکه شده پلی‌یورتان: (a) نوع BD و (b) نوع ED ۴۵
۱-۱۶ کوپل کردن تری‌یدو بنزوئیل کلرید و N-(۲و۶-دی‌یدو کربوکسی فنیل)-(۳و۴و۵-تری‌یدو بنزآمید) با Tecoflex ۵۲
۱-۲ مراحل انجام آزمایش کالریمتری حرارتی پویشی ۶۹
۱-۳ پلی‌یورتان قطعه شده برپایه ۴و۴-دی‌فنیل متان دی‌ایزوسیانات (MDI) و ۱و۴-بوتان دی‌ال (BDO) ۸۸

^{o}C	درجه سانتی گراد
µm	Micrometer
$\mu l/_{min}$	میکرو لیتر بر دقیقه
2, 4-DBDI	2, 4-Dibenzyl Diisocyanate
A	سطح
A	Hard Segment
AFM	Atomic Force Microscopy
Ag	Silver
$AgNO_3$	Silver Nitrate
B	نیروی پارگی
B	Soft Segment
BDO	Buthane Diol
BES	N, N-bis (2-Hydroxy Ethyl)-2-Amino Ethane-Solfunic Acid
CHDI	trans 1, 4- Cyclohexyl Diisocyanate
CNF	Carbon Nanofiber
CNT	Carbon Nanotube
COL	Collagen
Cp	Centipoise
CRE	Constant Rate Elongation
CVD	Chemical Vapour Deposition
DAP	2- Methyl 1, 5-Diamino Panthane
DBA	Dibuthyl Amin
DBTDL	Dibutyltin Vilaurate
DC	Direct Current
DCPTB	N-(2, 6-Diido Carboxy Phenyl)-3,4,5-tri Ido Benzamide)
DMA	Dynamic Mechanical Analysis
DMAc	N, N- Dimethyl Acetamide
DMF	Dimethylformamide
DMPA	Dimethyl Propionic Acid
DMSO	Dimethyl Sulfoxide
DSC	Diffrential Scanning Colerimetery
ECM	Extracellular Matrice

FESEM	Field Emission Scanning Electron Microscopy
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
g/cm^3	گرم بر سانتی متر مکعب
g/m^2	گرم بر متر مربع
gf	Gram Force
gpd	Gram per Denier
HA	Hialuronic Acid
HBPU	Hyper Branched Polyurethane
HDI	Hexamethylene Diisocyanate
HFIP	Hexa Fluoro Isopropanol
HMDI	bis (4-Isocyanatocyclohexyl) Methane
HMDI	Hexa Methylene 1, 6- Diisocyanate
HRSEM	High Resolution Scanning Electron Microscopy
IPA	Iso-Propanol (Propyl Alchol)
IPDI	Isophorone Diisocyanate
m^2/g	مترمربع بر گرم
mm/min	میلی‌متر بر دقیقه
M_W	Molecular Weight
MDEA	1, 4- Buthandiol, N-methyl Diethanol Amin
MDI	4, 4- Diphenyl Mehane DIisocyanate
MIDE	2, 2-(methylimino) Diethanol
MIT	Methylene Triphenyl Triisocyanate
mPCL/COL	Poly (ε-caprolactone)/Collagen
MSC	Marrow Stromal Cells
MWCNT	Multiwalled Carbon Nanotube
MWNT	Multiwalled Nanotube
N/mm^2	نیوتن بر میلی‌متر مربع
Nm	Nanometer
NMDA	N-Methyl Diethanol
NMR	Nuclear Magnetic Resonance

P	Pressure
PA	Polyamides
PBA	Poly (Buthylene adipate) Diol
PCIM	bis (4-Iso Cyanato Hexyl/Methane)
PCL	Poly (ε-Caprolactone Diol)
PCL-diol	Poly Caprolactone Diol
PDMS	Polydimethylsiloxane
PE	Polyether
PEA	Polyethylene Adipate
PEEUU	Polyether Esther Urethane (Urea)
PEO	Polyethylene Oxide
PEUU	Polyesther Urethane (Urea)
PEVA	Poly (Ethylene-co Vinyl Alchol)
PHMO	Poly Hexamethylene Oxide
PLA	Poly Lactic Acid
PLLA	Poly (l-Lactide)
PPDI	1, 4- Phenyl Diisocyanate
PS	Polyestyrene
PTHF	Poly Tetra Hydrofurane Polyether Polyol
PTMG	Poly (Tetra Methylene) Glycol
PTMO	Poly (Tetra Methylene Oxide) Diol
PU	Polyurethane
PUC	Polyurethane Cotionomer
PVA	Polyvinyl Alchol
PVA/CA	Poly (Vinyl Alchol)/Cellulose acetate
PVC	Poly (Vinyl Chloride)
R.P.M.	Revolutions Per Minute
$S.cm^{-1}$	Siemens per Centimeter
SAXS	Small Angle X-ray Scattering
SEM	Scanning Electron Microscopy
SF	Silk Fibroin
SMP	Shape Memory Polyurethane
SMPU	Shape Memory Polyurethane
SWCNT	Singlewalled Carbon Nanotube