



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب

دانشکده تحصیلات تکمیلی
گروه نساجی ، گرایش شیمی نساجی و علوم الیاف
سمینار کارشناسی ارشد

عنوان :

الیاف نانوکامپوزیتی بر مبنای نانوتیوب های کربن

استاد راهنما :

نگارش :

۱	چکیده
۲	مقدمه
۳	فصل اول : نانوتیوب های کربن ، ساختار ، خصوصیات ، روش های تولید و تخلیص
۴	۱-۱ پیشگفتار فصل اول
۴	۲-۱ مواد کربنی
۴	۱-۲-۱ الماس و گرافیت
۵	۲-۲-۱ ویسکرها های گرافیتی کربن
۵	۳-۲-۱ دوده
۶	۳-۱ فولرین ها و نانوتیوب های کربن
۶	۱-۳-۱ تاریخچه ی فولرین ها
۶	۲-۳-۱ ساختار نانوتیوب های کربن و نقایص موجود
۱۰	۳-۳-۱ خصوصیات ویژه ی نانوتیوب های کربنی
۱۲	۴-۱ روش های تولید
۱۲	۱-۴-۱ تشریح عمومی
۱۲	۲-۴-۱ اسلوب (مکانیزم) رشد
۱۴	۳-۴-۱ تخلیه قوس الکتریکی
۱۸	۱-۳-۴-۱ تولید SWNT
۲۱	۱-۳-۴-۱ تولید MWNT
۲۳	۴-۴-۱ تبخیر (برداشت) لیزری
۲۶	۱-۴-۴-۱ MWNT در برابر SWNT
۲۷	۲-۴-۴-۱ تولید مقادیر زیاد SWNT
۲۷	۳-۴-۴-۱ روش پالس های فوق العاده سریع از یک لیزر الکترون آزاد (FEL)
۲۸	۴-۴-۴-۱ روش پودر- لیزر با موج پیوسته
۲۹	۵-۴-۱ رسوب گذاری (چگالش) بخار شیمیایی
۳۲	۱-۵-۳-۱ رسوب گذاری بخار شیمیایی تقویت شده با پلاسما
۳۳	۲-۵-۴-۱ رسوب گذاری بخار شیمیایی - حرارتی

۳۴	۳-۵-۴-۱ رسوب گذاری بخار شیمیایی کاتالیتیکی با الکل
۳۴	۴-۵-۴-۱ رشد فاز بخار
۳۵	۵-۵-۴-۱ رسوب گذاری بخار شیمیایی به کمک ایروژل
۳۵	۶-۵-۴-۱ رسوب گذاری بخار شیمیایی حرارتی به کمک لیزر
۳۶	۷-۵-۴-۱ فرآیند CoMoCat
۳۷	۸-۵-۴-۱ فرآیند تسهیم نامتناسب CO در فشار بالا (HiPco)
۳۸	۶-۴-۱ تولید با شعله
۳۹	۵-۱ تولید دسته های کربن نانوتیوب همراستا و مرتب
۴۱	۶-۱ تخلیص
۴۱	۱-۶-۱ تشریح کلی
۴۲	۲-۶-۱ روش های خالص سازی
۴۲	۱-۲-۶-۱ اکسیداسیون
۴۳	۲-۲-۶-۱ اصلاح اسیدی
۴۳	۳-۲-۶-۱ بازپخت
۴۳	۴-۲-۶-۱ اولتراسونیک
۴۳	۵-۲-۶-۱ تصفیه ی مغناطیسی
۴۵	۶-۲-۶-۱ میکروفیلتراسیون
۴۵	۷-۲-۶-۱ برش
۴۵	۸-۲-۶-۱ ایجاد عاملیت
۴۵	۹-۲-۶-۱ کروماتوگرافی
۴۷	۷-۱ خصوصیات نانوتیوب های کربن
۴۷	۱-۷-۱ خواص مکانیکی
۵۱	۲-۷-۱ خواص الکتریکی
۵۲	۳-۷-۱ خواص دیگر
۵۳	۸-۱ کاربردها
۵۵	فصل دوم : الیاف نانوکامپوزیتی تولید شده از روش ذوب ریسی
۵۶	۱-۲ پیشگفتار فصل دوم
۵۶	۲-۲ کامپوزیت های CNT- پلیمر

- ۵۶ ۱-۲-۲ هدایت الکتریکی
- ۵۷ ۱-۲-۲-۱ پراکنش افزودنی های رسانا در ماتریس های پلیمری
- ۵۸ ۲-۱-۲-۲ مقاومت الکتریکی به عنوان تابعی از بارگذاری برای مواد افزودنی با اشکال متفاوت
- ۵۹ ۳-۱-۲-۲ افزودنی های رسانا
- ۶۱ ۴-۱-۲-۲ مزایای استفاده از نانوتیوب های کربنی به عنوان افزودنی رسانا
- ۶۳ ۲-۲-۲ هدایت حرارتی
- ۶۴ ۳-۲-۲ تقویت خصوصیات مکانیکی
- ۶۴ ۱-۳-۲-۲ مدل سازی کامپوزیت ماتریس پلیمری / پرکننده (فیلر) تقویت کننده
- ۶۷ ۳-۲-۲ الیاف مرکب تولیدی از روش ذوب ریسی
- ۶۷ ۱-۳-۲ الیاف کربن نانو کامپوزیتی
- ۶۷ ۱-۳-۲-۱ الیاف کربن مرکب تولیدی از قیر ایزوتروپیک / SWNT
- ۷۰ ۲-۱-۳-۲ الیاف کربن تولیدی از قیر مزوفاز / MWNT
- ۷۴ ۲-۳-۲ الیاف مرکب پروپیلن / SWNT
- ۷۵ ۱-۲-۳-۲ آرایش یافتگی نانوتیوب در جریان ریسندهی الیاف
- ۷۵ ۲-۲-۳-۲ دیسپرس نمودن نانوتیوب ها در پلیمر
- ۷۸ ۳-۲-۳-۲ تأثیر زمان اولتراسونیک و انتخاب حلال
- ۷۹ ۴-۲-۳-۲ استحکام حقیقی در برابر استحکام نظری
- ۸۱ ۳-۳-۲ الیاف مرکب پلی کربنات / MWNT
- ۸۲ ۱-۳-۳-۲ بررسی همراستایی نانوتیوب های کربن در راستای محور لیف با اسپکتروسکوپی رامان و میکروسکوپ الکترونی عبوری
- ۸۵ ۴-۳-۲ الیاف مرکب نایلون / MWNT
- ۹۱ **فصل سوم : الیاف نانو کامپوزیتی تولید شده از روش Dry-Jet-Wet**
- ۹۲ ۱-۳ پیشگفتار فصل سوم
- ۹۲ ۲-۳ دیسپرسیون نانوتیوب های کربن
- ۹۷ ۳-۳ ریسندهی dry-jet wet
- ۹۷ ۴-۳ الیاف مرکب PBO / SWNT
- ۹۸ ۱-۴-۳ روش کلی فرآیند تولید و آزمایشات صورت گرفته به منظور بررسی خصوصیات
- ۱۰۰ ۲-۴-۳ نتایج ، بحث و بررسی

۱۰۴	۵-۳ الیاف مرکب PAN/SWNT
۱۰۴	۱-۵-۳ روش کار کلی و تهیه ی دوپ ریسندگی
۱۰۵	۱-۵-۳ دوپ SWNT/PAN ، بدون تکمیل اسیدی
۱۰۶	۲-۱-۵-۳ تکمیل SWNT ها با اسید نیتریک
۱۰۶	۳-۱-۵-۳ دوپ SWNT/PAN تکمیل شده با اسید نیتریک
۱۰۷	۴-۱-۵-۳ ریسیدن الیاف SWNT/ PAN
۱۰۸	۵-۱-۵-۳ الیاف مرکب SWNT/ PAN های عامل دار شده با بنزونیتریل
۱۱۰	۲-۵-۳ الیاف مرکب SWNT/ PAN
۱۱۰	۱-۲-۵-۳ خصوصیات ساختاری
۱۱۲	۲-۲-۵-۳ آنالیز مکانیکی دینامیک و آزمون کشش
۱۱۴	۳-۲-۵-۳ آنالیز ترمومکانیکی (جمع شدگی)
۱۱۵	۴-۲-۵-۳ آنالیز ترموگراویمتری الیاف SWNT/PAN عامل دار شده با بنزونیتریل
۱۱۶	۵-۲-۵-۳ DSC
۱۱۶	۶-۲-۵-۳ طیف FTIR
۱۱۷	۷-۲-۵-۳ طیف رامان
۱۱۹	۸-۲-۵-۳ طرح WAXD
۱۲۱	۳-۵-۳ آرایش یافتگی لیف مرکب SWNT/PAN
۱۲۱	۱-۳-۵-۳ آرایش یافتگی SWNT ها
۱۲۲	۲-۳-۵-۳ آرایش یافتگی مولکولی PAN
۱۲۳	۴-۵-۳ مدول لیف SWNT/PAN
۱۲۵	فصل چهارم : الیاف نانو کامپوزیتی نانوتیوب کربن- پلی آنیلین
۱۲۶	۱-۴ پیشگفتار فصل چهارم
۱۲۶	۲-۴ انگیزش
۱۳۰	۳-۴ ساختار شیمیایی پلی آنیلین
۱۳۱	۱-۳-۴ حلالیت پلی آنیلین
۱۳۲	۲-۳-۴ تجمع و ژلینه شدن محلول PANi
۱۳۳	۳-۳-۴ حلالیت PANi دوپ شده با اسیدسولفوریک در اسید آلی
۱۳۵	۴-۴ کامپوزیت های SWNT-CEP

- ۱۳۶ ۵-۴ نگاهی اجمالی به مقالات در زمینه‌ی تولید الیاف PANi
- ۱۳۸ ۶-۴ تشریح روند تولید الیاف مرکب و آزمایشات لازم جهت بررسی خصوصیات
- ۱۳۸ ۱-۶-۴ آماده سازی محلول ریسندگی با استفاده از شیوه‌ی ex-situ
- ۱۴۰ ۲-۶-۴ تعیین مشخصات محلول ریسندگی
- ۱۴۰ ۱-۲-۶-۴ آنالیز مقدماتی
- ۱۴۰ ۲-۲-۶-۴ تفرق نوری دینامیک (DLS)
- ۱۴۱ ۳-۲-۶-۴ ویسکومتری
- ۱۴۲ ۴-۲-۶-۴ اسپکتروسکوپی UV-Vis و UV-Vis-NIR
- ۱۴۲ ۳-۶-۴ تشریح کلی فرآیند ریسندگی
- ۱۴۲ ۱-۳-۶-۴ دستگاه ریسندگی
- ۱۴۴ ۲-۳-۶-۴ کشش
- ۱۴۵ ۴-۶-۴ روش های تعیین مشخصات لیف جامد
- ۱۴۵ ۱-۴-۶-۴ تعیین هدایت الکتریکی به وسیله‌ی دستگاه Four point-probe
- ۱۴۶ ۲-۴-۶-۴ ولتامتری چرخه ای
- ۱۴۷ ۳-۴-۶-۴ آزمایش ویسکوالاستیسیته
- ۱۴۷ ۴-۴-۶-۴ اسپکتروسکوپی رامان
- ۱۴۸ ۷-۴ تولید و بررسی خصوصیات و پارامترهای لیف مرکب PANi(Leucoemeraldine base) -SWNT با فرآیندی دو مرحله ای
- ۱۴۸ ۱-۷-۴ آزمایشات
- ۱۴۸ ۱-۱-۷-۴ مواد و واکنشگرها
- ۱۴۹ ۲-۱-۷-۴ مقایسه‌ی توانای NMP و DMPU برای دیسپرس نمودن SWNTها
- ۱۴۹ ۳-۱-۷-۴ تأثیر افزودن پلی‌آنیلین بر درجه‌ی تجمع یافتن SWNT
- ۱۴۹ ۴-۱-۷-۴ استفاده از DMPU برای دیسپرس نمودن SWNTها در غلظت‌های بالا
- ۱۴۹ ۵-۱-۷-۴ آماده‌سازی مخلوط‌های ریسندگی
- ۱۵۰ ۶-۱-۷-۴ فرآیند رسیدن الیاف
- ۱۵۰ ۱-۶-۱-۷-۴ اثر حمام انعقاد
- ۱۵۰ ۲-۶-۱-۷-۴ تأثیر سرعت برداشت
- ۱۵۱ ۷-۱-۷-۴ تأثیر مقدار CNT
- ۱۵۱ ۸-۱-۷-۴ فرآیندهای تکمیلی پس از رسیدن الیاف

- ۱۵۱ ۲-۷-۴ نتایج ، بحث و بررسی
- ۱۵۱ ۱-۲-۷-۴ تعیین خصوصیات SWNTها
- ۱۵۱ ۱-۱-۲-۷-۴ آنالیز مقدماتی
- ۱۵۱ ۲-۱-۲-۷-۴ اسپکتروسکوپی رامان توده‌ای از SWNTها
- ۱۵۲ ۲-۲-۷-۴ تعیین مشخصات دیسپرسیون‌های SWNT
- ۱۵۲ ۱-۲-۲-۷-۴ UV- مرئی- اسپکتروسکوپی NIR
- ۱۵۳ ۲-۲-۲-۷-۴ تفرق نوری دینامیک
- ۱۵۵ ۳-۲-۲-۷-۴ ویسکوزیته‌ی دیسپرسیون‌های SWNT/DMPU
- ۱۵۶ ۳-۲-۷-۴ ویسکومتری محلول ریسندگی PANi(LEB)-SWNT-DMPU
- ۱۵۹ ۴-۲-۷-۴ تأثیر پارامترهای ریسندگی بر مورفولوژی لیف PANi/SWNT
- ۱۵۹ ۱-۴-۲-۷-۴ تأثیر حلال در حمام انعقاد بر مورفولوژی لیف نوریس
- ۱۶۰ ۲-۴-۲-۷-۴ تأثیر سرعت برداشت بر مورفولوژی
- ۱۶۱ ۵-۲-۷-۴ درجه حرارت‌های انتقال حرارت در الیاف نوریس
- ۱۶۲ ۶-۲-۷-۴ کشش حرارتی
- ۱۶۳ ۷-۲-۷-۴ خصوصیات مکانیکی الیاف PANi/SWNT که تحت کشش حرارتی قرار گرفته است
- ۱۶۶ ۸-۲-۷-۴ انعطاف پذیری الیاف مرکب PANi/SWNT
- ۱۶۷ ۹-۲-۷-۴ اسپکتروسکوپی رامان الیاف مرکب PANi/SWNT
- ۱۷۰ ۱۰-۲-۷-۴ خصوصیات الکتریکی الیاف PANi/SWNT
- ۱۷۰ ۱-۱۰-۲-۷-۴ خصوصیات الکتریکی الیاف PANi/SWNT پیش از دوپینگ اسیدی
- ۱۷۲ ۲-۱۰-۲-۷-۴ خصوصیات الکتریکی الیاف PANi/SWNT پس از دوپینگ اسیدی
- ۱۷۳ ۱۱-۲-۷-۴ ولتامتری چرخه‌ای الیاف مرکب PANi/SWNT

فصل پنجم : الیاف خالص از نانوتیوب های کربن

- ۱۷۵ ۱-۵ پیشگفتار فصل پنجم
- ۱۷۶ ۲-۵ ریسندگی Electrophoretic
- ۱۷۷ ۳-۵ ریسندگی مستقیم الیاف نانوتیوب کربن از تولید رسوب گذاری بخار شیمیایی
- ۱۸۲ ۴-۵ الیاف تولیدی از دیسپرسیون SWNT
- ۱۸۲ ۱-۴-۵ تهیه و ارزیابی دیسپرسیون نانوتیوب های کربن
- ۱۸۲ ۱-۱-۴-۵ دیسپرسیون SWNT به کمک سطح فعال

۱۸۸	۲-۱-۴-۵ دیسپرسیون SWNT به کمک پلیمر
۱۹۰	۳-۱-۴-۵ بررسی کمی دیسپرسیون SWNT
۱۹۳	۲-۴-۵ ژل ریزی الیاف مرکب PVA/SWNT
۱۹۷	۳-۴-۵ ریسندگی به وسیله ی حمام دوار
۲۰۲	۴-۴-۵ تولید الیاف نانوتیوب کربن بصورت پیوسته به روش انعقاد جریانی (Flocculation)
۲۱۰	۵-۵ الیاف تولیدی از دیسپرسیون اسیدهای قوی / SWNT

فصل ششم: ریسندگی حالت جامد نخ های خالص از نانوتیوب های کربن

۲۱۷	۱-۶ پیشگفتار فصل ششم
۲۱۸	۲-۶ تولید نخ خالص به صورت مستقیم از جنگل واره ی (جنگلسان) MWNT
۲۳۰	۳-۶ ورقه های قوی ، شفاف و چندکار کردی نانوتیوب های کربن
۲۳۹	۴-۶ طنابی بافته های نانوتیوب کربن
۲۴۰	۱-۴-۶ ساخت نخ های نانوتیوب کربن با دستگاه ریسندگی مداوم جدید Mark3
۲۴۳	۲-۴-۶ بافتن 3-D نخ های کربن نانوتیوب
۲۴۴	۳-۴-۶ آزمون های کششی نخ ها و طناب بافته های نانوتیوب کربن
۲۴۹	۴-۴-۶ ساخت کامپوزیت از نخ و طناب بافته ی نانوتیوب کربن
۲۵۱	۵-۴-۶ آزمون کششی کامپوزیت های نخ و طناب بافته ی نانوتیوب کربن
۲۵۳	۶-۴-۶ بحث و بررسی
۲۵۴	۵-۶ تحریک الکتروشمیایی نخ های نانوتیوب کربن
۲۵۵	۱-۵-۶ روش آزمایش
۲۵۶	۲-۵-۶ تحریک
۲۶۱	۳-۵-۶ مدول یانگ به عنوان تابعی از حالت اکسیداسیون

نتیجه گیری کلی

۲۶۳	پیوست
۲۶۴	مراجع فارسی
۲۶۶	مراجع لاتین
۲۶۷	چکیده لاتین
۲۷۵	

فهرست جدول ها

شماره صفحه

عنوان جدول

جداول فصل اول

- جدول ۱-۱ چندین محدوده ی قطر در درجات حرارت مختلف ۳۷
- جدول ۲-۱ خلاصه ای از اصلی ترین روش های تولید و کارایشان ۳۹
- جدول ۳-۱ خلاصه ای از روش های مختلف بکار رفته برای تخلیص نانوتیوب ها و کارایی آنها ۴۶-۴۷
- جدول ۴-۱ برخی از نتایج آزمایشگاهی مدول یانگ SWNT ۵۰
- جدول ۵-۱ برخی از نتایج آزمایشگاهی استحکام کششی SWNT ۵۱

جداول فصل دوم

- جدول ۱-۲ شرایط آزمایشگاهی استفاده شده برای ذوب ریسی الیاف قیر حاوی ۰،۰۱، ۰،۳wt% ۷۱
- از MWNT ها

- جدول ۲-۲ استحکام الیاف به عنوان تابعی از بارگذاری نانوتیوب ها ۷۸
- جدول ۳-۲ نتایج DSC برای نایلون خالص و نایلون ۱wt% MWNT ۸۷

جداول فصل سوم

- جدول ۱-۳ خصوصیات مکانیکی الیاف مرکب PBO و PBO/SWNT . ۱۰۰
- جدول ۲-۳ شرایط ریسندهی برای الیاف مرکب SWNT/PAN ۱۰۷
- جدول ۳-۳ پیک های جذب FTIR و عوامل مربوط به پلی اکریلونیتریل Exlan ۱۱۰
- جدول ۴-۳ خصوصیات کششی الیاف PAN و SWNT/PAN ۱۱۲
- جدول ۵-۳ خصوصیات کششی الیاف مرکب عامل دار شده ۱۱۴
- جدول ۶-۳ مقادیر پیک $I_{\nu}(\varphi)$ باند G از الیاف/SWNT ۱۱۸
- جدول ۷-۳ داده های شبکه ی PAN در الیاف PAN و SWNT/PAN ۱۲۰
- جدول ۸-۳ پارامترهای شبکه ی الیاف SWNT/PAN عامل دار شده ۱۲۱
- جدول ۹-۳ خصوصیات مکانیکی رشته های SWNT ۱۲۳
- جدول ۱۰-۳ مقایسه ی داده های آزمایشی و مقادیر پیش بینی شده ی نظری ۱۲۴

جداول فصل چهارم

- جدول ۱-۴ طراحی منسوجات الکترونیکی بر مبنای تجهیزات و عملکرد ۱۲۹
- جدول ۲-۴ محدوده ی ویسکوزیته و اسپیندل ۱۴۲

- جدول ۳-۴ فرمولاسیون محلول‌های ریسندگی مرکب PANi(LEB)-SWNT-DMPU ۱۵۰
- جدول ۴-۴- آنالیز مقدماتی SWNT های تخلیص شده‌ی تولیدی از روش Hipco در CNI (PO257) ۱۵۱
- جدول ۴-۵ ضرایب و نماهای تابع برای محلول PANi با مقادیر مختلف SWNT در DMPU ۱۵۸
- جدول ۴-۶ نمونه‌ای از قطر، دنیبر و دانسیته‌ی الیاف PANi/SWNT با مقادیر مختلفی از SWNT ۱۶۳
که تحت ۲x کشش حرارتی قرار گرفته است.
- جدول ۴-۷ اثر میزان بارگذاری SWNT ها بر خصوصیات مکانیکی الیاف PANi/SWNT پیش از ۱۶۴
دوپینگ اسیدی.
- جدول ۴-۸ اثر میزان بارگذاری SWNT ها بر خصوصیات مکانیکی الیاف PANi/SWNT پس از ۱۶۵
دوپینگ با MSA برای ۲۴ ساعت
- جدول ۴-۹ مدول الاستیک مؤثر دسته‌های SWNT جای گرفته در ماتریس PANi دوپ نشده و دوپ شده ۱۶۶
- جدول ۴-۱۰ عوامل ایجاد کننده ی باندهای طیف رامان ۱۶۸
- جدول ۴-۱۱ تأثیر دمای خشک کردن بر هدایت الکتریکی الیاف PANi/SWNT با مقادیر مختلف از ۱۷۳
SWNT پس از دوپینگ اسیدی که تحت ۲x کشش قرار گرفته است

جداول فصل پنجم

- جدول ۵-۱ پیش‌بینی نظری کسر حجمی در سطح اثر گذاری توزیع به‌عنوان تابعی از طول و قطر دسته ی ۱۹۱
SWNT
- جدول ۵-۲ خصوصیات مکانیکی لیف ژل ریزی شده ی PVA و PVA/SWNT ۱۹۵
- جدول ۵-۳ پارامترهای ساختاری الیاف ژل ریزی PVA و PVA/SWNT ۱۹۷
- جدول ۵-۴ مقایسه ی خصوصیات مکانیکی الیاف کرین نانوتیوب تولیدی در UTD با الیاف با کارایی ۲۰۵
بالا

جداول فصل ششم

- جدول ۶-۱ مقایسه‌ی نیروی پارگی برای هر نخ تک‌لا در نخ‌های نانوتیوب تابیده شده و طناب بافته‌های ۲۴۵
- جدول ۶-۲ خصوصیات مکانیکی اپوکسی با مقادیر مختلفی از اصلاح کننده ۲۵۰
- جدول ۶-۳ مقایسه ی خصوصیات مکانیکی نخ ، طناب بافته ی 3-D و کامپوزیت نانوتیوب ۲۵۲

اشکال فصل اول

- شکل ۱-۱ اشکال مختلف کربن ۴
- شکل ۲-۱ (a) بلور گرافیت و (b) بلور الماس ۵
- شکل ۳-۱ (a) ویسکرهای کربنی و (b) دوده ۵
- شکل ۴-۱ چند نوع از SWNT ها با کایرالیته متفاوت . تفاوت ساختاری به وضوح در انتهای باز لوله ها قابل مشاهده است . ۷
- شکل ۵-۱ بردار OA بردار کایرال نامیده شده است . این بردار به وسیله بردار $C_h = na_1 + ma_2$ و زاویه ی کایرال با محور زیگزاگ تعریف شده است . ۸
- شکل ۶-۱ تمامی ساختارهای ممکن برای SWNT ها می توانند از استقرار بردار کایرال در محدوده ی نشان داده شده در تصویر شکل گرفته باشند . ۸
- شکل ۷-۱ ساختارهای متفاوت MWNT ها . ۹
- شکل ۸-۱ (a) نمایی از یک ساختار Y-شاخه ای که نقایص آن به صورت آبی رنگ متمایز شده است . (b) تصویر STM (220 nm x 220 nm) از یک اتصال Y-شکل دو نانوتیوب . (c) تصویر SPM توپوگرافی از انشعاب Y-شکل نانوتیوب کربن . (d) تبدیل یک SWNT فلزی به یک SWNT نیمه رسانا . این تغییر در اثر الحاق پنج ضلعی ها و هفت ضلعی ها ایجاد شده است ۱۰
- شکل ۹-۱ تجسم ساز و کارهای رشد ممکن برای نانوتیوب های کربن ۱۳
- شکل ۱۰-۱ تصویر بیانگر وابستگی نانو ساختارهای کربن حاصل از تخریب حرارتی هیدروکربن به اندازه ی نانو ذرات فلزی است ۱۴
- شکل ۱۱-۱ نمایی از یک دستگاه تخلیه ی قوس الکتریکی ۱۶
- شکل ۱۲-۱ نمایی از استقرار الکتروود الف (روش های مرسوم ب) روش نوین تخلیه ی قوس ۲۰
- شکل ۱۳-۱ تجهیزات آزمایشی روش قوس انبر در فضای آزاد ۲۱
- شکل ۱۴-۱ نمایی ترسیمی از دستگاه تخلیه ی قوس در نیتروژن مایع ۲۲
- شکل ۱۵-۱ نمودار شماتیک سیستم تولید MWNT ها در میدان مغناطیسی ۲۲
- شکل ۱۶-۱ تصاویر SEM از MWNT های تولید شده ۲۳

- شکل ۱-۱۷ نمایشی شماتیک از سیستم پلاسما الکتروود دوآر ۲۳
- شکل ۱-۱۸ نمای ترسیمی از دستگاه تبخیر لیزری ۲۴
- شکل ۱-۱۹ شمایی از یک سیستم تولید SWNT به روش برداشت لیزری ۲۵
- شکل ۱-۲۰ تصویر TEM از یک دسته از SWNT های تولید شده با لیزر پیوسته ۲۶
- شکل ۱-۲۱ نمای ترسیمی از یک دستگاه تبخیر لیزری با پالس های فوق العاده سریع ۲۸
- شکل ۱-۲۲ (a) نمای اصلی از وضعیت دستگاه تولید SWNT از پودر-لیزر با موج پیوسته ۲۸
(b) HRTEM از مقطع عرضی یک دسته SWNT
- شکل ۱-۲۳ شمایی از نمودار جریان یک واحد تولید صنعتی SWNT به روش CVD ۳۲
- شکل ۱-۲۴ نمایشی از دستگاه CVD - پلاسما ۳۲
- شکل ۱-۲۵ نمایشی از دستگاه CVD حرارتی ۳۳
- شکل ۱-۲۶ دستگاه آزمایشگاهی ACCVD ۳۴
- شکل ۱-۲۷ نمای شماتیکی از دستگاه رشد فاز گاز ۳۵
- شکل ۱-۲۸ نمایشی از وضعیت دستگاه آزمایشگاهی CVD ی به کمک لیزر ۳۶
- شکل ۱-۲۹ دیاگرامی از دستگاه CoMoCat ۳۶
- شکل ۱-۳۰ طراحی اولیه ی یک راکتور لوله ای با جریان CO ۳۷
- شکل ۱-۳۱ توری که کاتالیست فلزی بر روی آن پوشش داده شده و در تولید از طریق شعله به کار می رود ۳۸
- شکل ۱-۳۲ نمایشی از تولید آرایه های همراستایی از MWNT بر روی سیلیکون متخلخل ۴۰
- شکل ۱-۳۳ آرایه های همراستایی از جنگلسان های MWNT ۴۱
- شکل ۱-۳۴ نمایشی از دستگاه تصفیه ی مغناطیسی ۴۳
- شکل ۱-۳۵ نمایشی از یک واحد میکروفیلتراسیون ۴۴
- شکل ۱-۳۶ تغییر مدول با قطر SWNT ۴۸
- شکل ۱-۳۷ بکارگیری AFM برای اندازه گیری مدول دسته ی SWNT ۴۹
- شکل ۱-۳۸ دانسیته ی حالت SWNT های (a) فلزی و (b) نیمه رسانا ۵۱
- اشکال فصل دوم**
- شکل ۱-۲ هدایت الکتریکی به عنوان تابعی از بارگذاری ۵۷
- شکل ۲-۲ شبکه های توزیع مواد افزودنی ۵۷
- شکل ۲-۳ مقاومت به عنوان تابعی از بارگذاری برای مواد افزودنی با اشکال متفاوت ۵۹
- شکل ۲-۴ هدایت الکتریکی پلی کربنات حاوی SWNT در قیاس با پلی کربنات حاوی MWNT ۶۰
- شکل ۲-۵ امکان به کارگیری SWNT ها به منظور استفاده در محافظ های EMI ۶۱

- شکل ۶-۲ نمایشی از استقرار MWNT (بالا) و SWNT (پایین) در ماتریس ۶۲
- شکل ۷-۲ نمایشی از دستگاه ریسندگی با رشته‌سازی تک روزنه‌ای ۶۸
- شکل ۸-۲ نمونه‌ای از نمودار تنش- کرنش برای الیاف کربن مرکب با ۱ و ۵ wt% بارگذاری نانوتیوب ۶۹
- شکل ۹-۲ مقایسه‌ی (a) استحکام کششی، (b) مدول و (c) مقاومت الکتریکی الیاف کربن مرکب ۷۰
با ۱ و ۵ wt% بارگذاری نانوتیوب با مقادیر متناظر برای الیاف قیر ایزوتروپیک اصلاح‌نشده.
- شکل ۱۰-۲ ریزنگارهای SEM الیاف کربن تولیدی از قیر مزوفاز خالص ذوب‌ریسی شده در درجات ۷۲
حرارت متفاوت. (a) 297°C ، (b) 305°C و (c) 315°C .
- شکل ۱۱-۲ ریزنگارهای SEM الیاف کربن تولیدی از قیر مزوفاز حاوی مقادیر مختلفی از نانوتیوب‌های ۷۲
کربن چند دیواره. (a) $0.1\text{ wt}\%$ (b) $0.3\text{ wt}\%$ MWNT ها.
- شکل ۱۲-۲ ریزنگارهای SEM از الیاف کربن تولیدی از قیر مزوفاز حاوی $0.1\text{ wt}\%$ MWNT ها در ۷۳
درجه حرارت (a) 305°C و (b) 315°C .
- شکل ۱۳-۲ توزیع آرایش‌یافتگی منطقه‌ای/لایه‌ی گرافنی برای الیاف کربن تولیدی از (a-c): قیر مزوفاز و ۷۳
(d-f) قیر مزوفاز اصلاحی حاوی $0.1\text{ wt}\%$ از MWNT ها.
- شکل ۱۴-۲ ریزنگارهای SEM الیاف کربن تولیدی از قیر مزوفاز خالص پیش‌تر مخلوط‌شده‌ای که در ۷۴
درجه حرارت 305°C ذوب‌ریسی شده است.
- شکل ۱۵-۲ منحنی تنش- کرنش تکرار شده‌ی الیاف PP-D و الیاف PP-D-1%CNT که در 125°C ۷۷
پس از ریسندگی برای دستیابی به قطر $15\mu\text{m}$ با بالاترین نسبت کشش ممکن
- شکل ۱۶-۲ تأثیر زمان اختلاط به‌وسیله‌ی اولتراسونیک بر استحکام لیف. هر منحنی میانگینی از ۵ آزمایش ۷۸
کششی است.
- شکل ۱۷-۲ نمونه‌ای از منحنی‌های تنش- کرنش برای الیاف PP حلال- فرآوری شده که در 110°C با ۷۹
بیشینه نسبت کشش ممکن تحت عملیات کشش پس از ریسندگی قرار گرفته است
- شکل ۱۸-۲ استحکام‌های کششی مشاهده شده در برابر استحکام‌های کششی نظری ۸۰
- شکل ۱۹-۲ استحکام کششی مشاهده شده به صورت درصدی از بیشینه‌ی نظری به‌دست آمده از قانون ۸۰
اختلاط.
- شکل ۲۰-۲ شمایی از دستگاه ریسندگی نوع پیستونی ۸۲
- شکل ۲۱-۲ ریزنگارهای TEM نمونه‌های PC-2NT. (a) بلافاصله پس از اکستروژن (b) لیف ذوب‌ریسی ۸۳
شده با سرعت برداشت 400 m/min .

- شکل ۲-۲۲ TEM بخش‌های نازک برش خورده بیانگر همراستایی MWNT خمیده در الیاف با ۸۴
(a) سرعت برداشت ۵۰ m/min و (b) سرعت برداشت ۴۰۰ m/min است
- شکل ۲-۲۳ طیف PC-2NT موازی و عمود بر راستای لیف؛ (a) لیف اکستروژده شده بدون ذوب‌ریسی ۸۴
(b) لیف ذوب‌ریسی شده با سرعت برداشت ۴۰۰ m/min؛ طیف بالاتر: موازی با محور لیف؛
طیف پایین‌تر: عمود بر محور لیف.
- شکل ۲-۲۴ اسپکتروسکوپی رامان: نسبت‌های شدت باندهای D و G در هر دو راستای پلاریزاسیون ۸۵
موازی و عمود بر محور لیف.
- شکل ۲-۲۵ اسپکتروسکوپی رامان: نسبت‌های شدت موازی / عمود بر محور لیف از باند D و باند G ۸۵
- شکل ۲-۲۶ شمایی از دستگاه ریسندگی نایلون ۶/MWNT ۸۶
- شکل ۲-۲۷ منحنی‌های TGA (a) نایلون ۱%wt MWNT (b) نایلون خالص ۸۷
- شکل ۲-۲۸ تنش مهندسی در برابر کرنش مهندسی برای نایلون خالص و نایلون (1%wt) MWNT ۸۸
- شکل ۲-۲۹ ریزنگار FE-SEM بیانگر همراستایی نانوفازی MWNT ها است ۸۹
- اشکال فصل سوم**
- شکل ۳-۱ ساختارهای مواد دیسپرس کننده ای که به منظور دیسپرس نمودن CNT ها مورد استفاده ۹۵
قرار گرفته است
- شکل ۳-۲ (a) مونومر و ساختار پلیمری PmVP (b) آرایه های ممکن از PVP پیچ خورده حول یک ۹۶
SWNT
- شکل ۳-۳ ساختار PBO ۹۸
- شکل ۳-۴ ریزنگارهای نوری اریب پلاریزه از (a) ۱۴%wt از PBO در PPA (b) ۱۴%wt از ۱۰۰
PPA در PBO/SWNT (۹۰/۱۰)
- شکل ۳-۵ نمونه‌ای از منحنی تنش-کرنش برای الیاف PBO و PBO/SWNT (۹۰/۱۰) ۱۰۱
- شکل ۳-۶ جمع‌شدگی حرارتی در تنش ۲۵MPa در PBO و PBO/SWNT (۹۰/۱۰) در حالی که ۱۰۱
با $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ در نیتروژن حرارت داده شده است
- شکل ۳-۷ رفتار خزش الیاف PBO و PBO/SWNT (۹۰/۱۰) در درجه حرارت 400°C در ۱۰۲
تنش ۲۵۰MPa.
- شکل ۳-۸ تقلیل وزن PBO، PBO/SWNT (۹۰/۱۰) و SWNT در حالی که با $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ در ۱۰۲
نیتروژن حرارت داده شده است.
- شکل ۳-۹ تفرق WAX: (A) اسکن‌های نصف‌النهاری (B) استوایی الیاف PBO (a) ، ۱۰۳
(b) PBO/SWNT (۹۵/۵) و (c) PBO/SWNT (۹۰/۱۰)

- شکل ۳-۱۰ طیف رامان (a) SWNT، (b) لیف (PBO) ZylonHM و (c) لیف (۹۰/۱۰) PBO/SWNT. ۱۰۴
- شکل ۳-۱۱ تجهیزات آماده‌سازی دوپ SWNT/PAN ۱۰۵
- شکل ۳-۱۲ ریزنگارهای نوری دوپ SWNT/PAN (a) بدون تکمیل اسیدی SWNT، (b) تکمیل اسیدی SWNT با اسیدنیتریک ۱۰۶
- شکل ۳-۱۳ دستگاه ریسندگی لیاف ۱۰۸
- شکل ۳-۱۴ SWNT های عامل دار شده: (a) SWNT های JLH-II-085 و (b) SWNT های Js-2-88 ۱۰۸
- شکل ۳-۱۵ داده‌های ویسکوزیته‌ی پلی‌اکریلونیتریل Exlan ۱۰۹
- شکل ۳-۱۶ طیف FTIR نمونه پودری پلی‌اکریلونیتریل Exlan ۱۰۹
- شکل ۳-۱۷ ریزنگار نوری دوپ (a) PAN/JLH-II-085 و (b) PAN/JS-2-88 ۱۱۰
- شکل ۳-۱۸ تصاویر SEM (a) SWNT/PAN بدون تکمیل اسیدی، (b) SWNT/PAN با تکمیل اسیدی. ۱۱۱
- شکل ۳-۱۹ قرقره‌های لیاف (a) پلی‌اکریلونیتریل Exlan، (b) PAN/JLH-II-085 و (c) PAN/JS-2-88 ۱۱۱
- شکل ۳-۲۰ تصاویر SEM از لیاف عامل دار شده. (a) پلی‌اکریلونیتریل Exlan، (b) PAN/JLH-II-085 و (c) PAN/JS-2-88 ۱۱۱
- شکل ۳-۲۱ (a) مدول ذخیره‌ای لیاف PAN و لیاف SWNT/PAN، (b) مدول اتلافی لیاف PAN و لیاف SWNT/PAN ۱۱۳
- شکل ۳-۲۲ مدول تانژانتی اتلافی لیاف PAN و لیاف SWNT/PAN ۱۱۳
- شکل ۳-۲۳ (a) مدول ذخیره‌ای لیاف SWNT/PAN عامل دار شده با بنزونیتریل. (b) مدول تانژانتی اتلافی لیاف SWNT/PAN عامل دار شده ۱۱۴
- شکل ۳-۲۴ TMA لیاف PAN و SWNT/PAN ۱۱۴
- شکل ۳-۲۵ TMA از لیاف SWNT/PAN عامل دار شده با بنزونیتریل ۱۱۵
- شکل ۳-۲۶ آزمون TGA از لیاف SWNT/PAN عامل دار شده ۱۱۵
- شکل ۳-۲۷ DSC لیاف PAN و SWNT/PAN ۱۱۶
- شکل ۳-۲۸ طیف FTIR لیاف PAN و SWNT/PAN ۱۱۶
- شکل ۳-۲۹ ارتعاشات اتمی SWNT ها برای حالات (a) RBM و (b) باند G ۱۱۷
- شکل ۳-۳۰ طیف رامان لیاف SWNT/PAN ۱۱۸
- شکل ۳-۳۱ طیف رامان لیاف SWNT/PAN عامل دار شده ۱۱۹
- شکل ۳-۳۲ طرح‌های WAXD لیاف (a) PAN، (b) SWNT/PAN بدون تکمیل اسیدی و (c) SWNT/PAN تکمیل شده با اسید. ۱۱۹

شکل ۳-۳۳ (a) اسکن WAXD استوایی از الیاف SWNT/PAN. (b) اسکن WAXD محیطی از الیاف SWNT/PAN

شکل ۳-۳۴ طرح‌های WAXD الیاف عامل دار شده. (a) پلی اکریلونیتریل Exlan، (b) JLH-II-0851/PAN، JS-2-88/PAN،

شکل ۳-۳۵ (a) اسکن WAXD استوایی الیاف SWNT/PAN عامل دار شده. (b) اسکن WAXD محیطی از الیاف SWNT/PAN عامل دار شده

اشکال فصل چهارم

شکل ۴-۱ ساختار شیمیایی برخی پلیمرهای رسانا

شکل ۴-۲ (a) نمایی جامع از پلیمریزاسیون آنیلین (b) حالات اکسیداسیون متفاوت PANi

شکل ۴-۳ ساختار شیمیایی DMPU و NMP

شکل ۴-۴ پیوند هیدروژنی میان PANi (EB) با DMPU

شکل ۴-۵ برهمکنش زنجیر LEB با گروه کربونیل DMPU

شکل ۴-۶ برخی از دوپان‌های اسید سولفوریک مورد استفاده برای تولید لیف PANi به صورت یک مرحله‌ای

شکل ۴-۷ شمایی از واحد اولتراسونیک برای دیسپرس نمودن SWNT‌ها در حلال

شکل ۴-۸ شمایی از واحد اختلاط برای آمیزش PANi و دیسپرسیون SWNT

شکل ۴-۹ نمایی از دستگاه خط ریسندگی استفاده شده در این مطالعه (a) نمای کلی دستگاه (b) لوله (مجرای) فشار (c) غلتک برداشت و کشش (d) رشته‌ساز

شکل ۴-۱۰ دستگاه آزمایشگاهی استفاده شده برای ولتاژتری چرخه‌ای (a) طرحی از پیل (b) طرحی از دستگاه‌ها و ارتباط فی‌مابین.

شکل ۴-۱۱ طیف رامان از توده‌ای از SWNT‌ها

شکل ۴-۱۲ طیف UV-vis NIR (0.1%w/w) SWNT در (a) DMPU و (b) NMP پس از دو ساعت اولتراسونیک

شکل ۴-۱۳ توزیع قطر هیدرو دینامیک دسته‌های SWNT در DMPU برای زمان‌های مختلفی از فرآیند اولتراسونیک

شکل ۴-۱۴ تأثیر زمان رکود بر پایداری دیسپرسیون‌های SWNT و اثر PANi بر پایداری دیسپرسیون

شکل ۴-۱۵ توزیع قطر هیدرو دینامیک SWNT‌ها در DMPU (0.1%w/w) با حضور PANi (مربع) و بدون حضور PANi (مثلث وارونه).

- شکل ۴-۱۶ توزیع اندازه‌ی دسته SWNT ها در DMPU در غلظت‌های متفاوت (Δ) ۰/۰۵%w/w (O) و ۰/۱۰%w/w (□) و ۰/۲۰%w/w (□)
- شکل ۴-۱۷ ویسکومتری SWNT (۰/۲%w/w) در دیسپرسیون‌های DMPU پس از مدت زمان‌های متفاوت اولتراسونیک (a) ۳۰ دقیقه، (b) ۶۰ دقیقه، (c) ۱۲۰ دقیقه
- شکل ۴-۱۸ تغییرات ویسکوزیته‌ی محلول ریسندگی (PAni(LEB) ۱۰%w/w در DMPU شامل (a) ۰/۰۰%w/w، (b) ۰/۰۵%w/w، (c) ۰/۱۰%w/w، (d) ۰/۲۰%w/w) به نسبت حلال.
- شکل ۴-۱۹ تغییرات در ویسکوزیته‌ی محلول ریسندگی برمبنای ۱۰%w/w PAni(LEB) در
- شکل ۴-۲۰ ویسکوزیته در برابر مقدار SWNT ها در نرخ‌های برشی متفاوت
- شکل ۴-۲۱ تصاویر SEM از مقاطع عرضی PAni (a,b) و PAni/SWNT (۲/۰%w/w SWNT) (c,d) حمام انعقاد متشکل است از NMP ۱۰%w/w (a,c) در آب یا (b,d) آب.
- شکل ۴-۲۲ تصاویر SEM از مقاطع عرضی الیاف PAni/SWNT ریسیده شده با استفاده از سرعت‌های برداشت مختلف
- شکل ۴-۲۳ چرخه‌ی اول (خط ضخیم) و چرخه‌ی دوم (خط نازک) (حرارت‌دهی مجدد) منحنی آنالیز حرارتی DSC لیف نوریس پلی‌آنیلین (LEB) تحت اتمسفر N_2
- شکل ۴-۲۴ ریزنگارهای SEM از الیاف PAni/SWNT پس از کشش حرارتی، متشکل از (a) ۰/۰۱%w/w، (b) ۰/۰۵%w/w، (c) ۰/۱۰%w/w و (d) ۰/۲۰%w/w) به نسبت PAni
- شکل ۴-۲۵ منحنی‌های تنش-کرنش الیاف مرکب PAni/SWNT با مقادیر مختلف SWNT پیش از دوپینگ (خطوط ضخیم) و پس از دوپینگ برای ۲۴ ساعت در PAni (a,a'). MSA خالص، (b,b') PAni/SWNT (۰/۵%w/w)، (c,c') PAni/SWNT (۱/۰%w/w)، (d,d') PAni/SWNT (۲/۰%w/w)
- شکل ۴-۲۶ تصاویر SEM از سطح مقطع عرضی (a) PAni خالص، (b) PAni/SWNT (۲/۰%w/w)
- شکل ۴-۲۷ تصاویر SEM از الیاف مرکب PAni/SWNT تحت نیروی خمشی با مقادیر (a) ۰/۰۱%w/w، (b) ۰/۰۵%w/w، (c) ۰/۱۰%w/w، (d) ۰/۲۰%w/w
- شکل ۴-۲۸ طیف رامان (پیش از دوپینگ) از (a) SWNT‌های خالص و (e) PAni خالص و الیاف PAni/SWNT با مقادیر مختلف از (b) ۰/۵%w/w، (c) ۱/۰%w/w، (d) ۲/۰%w/w
- شکل ۴-۲۹ نمای فوق بیانگر برهمکنش احتمالی SWNT‌ها با PAni به واسطه‌ی حلقه‌های کوئینوئیدی انتهایی است.

- شکل ۴-۳۰ طیف رامان (پس از دوپینگ در محلول MSA برای ۲۴ ساعت و خشک کردن در 100°C) ۱۷۰
- شکل ۴-۳۱ رفتار اثرگذاری توزیع SWNT ها به عنوان پرکننده (فیلر) در ماتریس PANi پیش از دوپینگ ۱۷۰
- شکل ۴-۳۲ نمودار Log-Log هدایت الکتریکی با درصد وزنی کاهشی SWNT ۱۷۰
- شکل ۴-۳۳ طیف EPR الیاف مرکب PANi/SWNT پیش از دوپینگ، متشکل از مقادیر مختلفی از SWNT ها ۱۷۲
- شکل ۴-۳۴ ولتامتری چرخه‌ای (a) لیف PANi خالص (b) لیف مرکب PANi/SWNT (۲%w/w). ۱۷۴
- اشکال فصل پنجم**
- شکل ۵-۱ شمایی از دستگاه ریسندگی الکتروفوریتیک ۱۷۷
- شکل ۵-۲ (A) شمایی از فرآیند ریسندگی مستقیم (B) نمایی از شیوه‌ی برداشتی متفاوت که در درجه حرارتی پایین تر و خارج از ناحیه‌ی حرارتی کوره عمل می‌کند. ۱۷۹
- شکل ۵-۳ بیرون کشیده شدن نانوتیوب‌ها از ایروژل به صورت لیف بر روی اسپیندل ۱۸۰
- شکل ۵-۴ تصویری از باز شدن لیف پیچیده شده بر روی اسپیندل ۱۸۱
- شکل ۵-۵ نمایی از انتهای نانوتیوب‌های پیچیده شده بر روی قالب سیمی دایره‌ای ۱۸۱
- شکل ۵-۶ دیاگرام فازی سیستم آب/SWNT/SDS ۱۸۳
- شکل ۵-۷ تصویر نوری از دیسپرسیون یکنواخت SWNT/SDS ۱۸۳
- شکل ۵-۸ طرح SAXD فیلم SWNT/SDS/PVA (a) کشیده نشده (b) کشیده شده ۱۸۴
- شکل ۵-۹ پویش محیطی در $3/9\text{nm}$ فاصله‌ی d- از طرح SAXD فیلم SWNT/SDS/PVA ۱۸۴
- شکل ۵-۱۰ شمایی از آرایش مولکولی SDS بر روی سطح SWNT ۱۸۵
- شکل ۵-۱۱ طیف FTIR پلاریزه از ارتعاش کششی نامتقارن CH_2 در SDS ۱۸۶
- شکل ۵-۱۲ طیف FTIR پلاریزه از ارتعاش کششی در SDS ۱۸۶
- شکل ۵-۱۳ تصویر TEM با قابلیت تفکیک پذیری بالا از سیستم SWNT/SDS ۱۸۷
- شکل ۵-۱۴ شکل alewife (ماهی شکل) SWNT ها در دیسپرسیون مایه SDS ۱۸۷
- شکل ۵-۱۵ شکل گیری فیلمی فوق‌العاده نازک به واسطه‌ی چکاندن دیسپرسیون مایه SWNT/SDS در محلول PVA ۱۸۸
- شکل ۵-۱۶ ریزنگارهای نوری از دیسپرسیون‌های SWNT ۱۸۹
- شکل ۵-۱۷ طیف UV-vis از دیسپرسیون‌های SWNT مختلف ۱۸۹
- شکل ۵-۱۸ رفتار اثرگذاری توزیعی فیلم‌های مرکب PVA/SWNT ۱۹۲
- شکل ۵-۱۹ مطالعات میکروسکوپ الکترونی عبوری از دیسپرسیون PVA/SWNT ۱۹۳
- شکل ۵-۲۰ منحنی‌های تنش-کرنش (a) لیف ژل ریسی PVA و (b) لیف ژل ریسی PVA/SWNT ۱۹۵

- شکل ۵-۲۱ WAXD الیاف PVA(a) و PVA/SWNT(b) ۱۹۶
- شکل ۵-۲۲ $\tan \delta$ مکانیکی دینامیک الیاف PVA و PVA/SWNT ۱۹۶
- شکل ۵-۲۳ ریزنگار میکروسکوپ الکترونی از سطح ناحیه ی گسست لیف مرکب PVA/SWNT ۱۹۷
- شکل ۵-۲۴ دستگاه ریسندگی ابداع شده توسط Vigolo، Baughman و همکارانشان برای ریسیدن الیاف SWNT همراستا ۱۹۹
- شکل ۵-۲۵ تأثیر خشک کردن تحت کشش بر همراستایی ۲۰۱
- شکل ۵-۲۶ مقایسه ی خصوصیات مکانیکی لیف مرکب SWNT/PVA با تار عنکبوت Nephilia. ۲۰۲
- شکل ۵-۲۷ نموداری از خط ریسندگی ۲۰۴
- شکل ۵-۲۸ نموداری از خط شستشو و تبدیل لیف ژل مانند به لیف جامد به واسطه ی فرآیند قرقره به قرقره ۲۰۴
- شکل ۵-۲۹ خط ریسندگی - (A) فرآیند حمام چرخان فرانسوی . (B) اولین مرحله از فرآیند UTD ۲۰۵
- شکل ۵-۳۰ خط ریسندگی ابداع شده در دانشگاه UTD ۲۰۶
- شکل ۵-۳۱ نمودار خطی نرخ کرنش با تنش اعمالی که بیانگر جریانی نیوتونی است . ۲۰۷
- شکل ۵-۳۲ (a) تصویر میکروسکوپ الکترونی پوشش با تفکیک پذیری پایین (SEM) از لیف مرکب SWNT/PVA (شاخص مقیاس : $10 \mu\text{m}$. (b) ریزنگار مقطع عرضی لیف مرکب SWNT/PVA که بیانگر احاطه شدن کامل نانوتیوب ها با پلی وینیل الکل است. ۲۰۷
- شکل ۵-۳۳ ساز و کار سختی (a) تصویر بیانگر نظریه ی از هم باز شدن درگیری میان زنجیرهای PVA پیچ خورده در مجاورت نانوتیوب ها را نشان می دهد. (b) گراف TGA به دو نوع زنجیر PVA در الیاف مرکب اشاره دارد. ۲۰۸
- شکل ۵-۳۴ رفتار فازی پلیمرهای میله ای شکل صلب در محلول ۲۱۱
- شکل ۵-۳۵ فرآیند ریسندگی برای SWNT ها در اسیدسولفوریک ۱۰۲٪ (A) دستگاه اختصاصی برای اختلاط و اکستروود الیاف SWNT خالص (B) جریانی از دیسپرسیون SWNT که از لوله ی باریک خارج شده است. (C) قرقره ی ۳۰ متری از الیاف منعقد شده با آب. ۲۱۳
- شکل ۵-۳۶ تصاویر SEM از سیر تحول SWNT های تلخیص شده به الیاف پیوسته. ۲۱۴
- شکل ۵-۳۷ مدل تشریح کننده ی تورم رشته های SWNT در اسید سولفوریک . ۲۱۵
- شکل ۵-۳۸ داده های تفرق زاویه ی گسترده ی اشعه X. ۲۱۶
- اشکال فصل ششم**
- شکل ۶-۱ رابطه ی زاویه ی α با σ_y / σ_f در نخ هایی با الیاف استیپل ۲۱۹
- شکل ۶-۲ ریزنگار SEM درختسان قابل کششی از MWNT ها ۲۲۰

- شکل ۳-۶ ریزنگار میکروسکوپ الکترونی فرآیند کشش از درختسان CNT ای را نشان می دهد که ۲۲۱ CNT ها به صورت مداوم از جنگلسان جدا شده و نواری شبکه ای را شکل می دهند.
- شکل ۴-۶ تصاویر SEM در بزرگنمایی های مختلف از نخ نانوتیوب کربن در فرآیند کشیدن و تابانیدن ۲۲۲ همزمان در جریان رسیدن از یک درخت نانوتیوب .
- شکل ۵-۶ تصاویر SEM مقایسه ای از (a) نخ پنبه (مقیاس $100\mu\text{m}$ و با بزرگنمایی $9\mu\text{m}$) و (B) نخ ۲۲۳ MWNT (مقیاس $5\mu\text{m}$)
- شکل ۶-۶ تصاویر SEM از (A) نخ تک لا، (B) نخ دولا، (C) نخ چهار لا، (F) نخ بیست لای MWNT، ۲۲۴ به همراه (D) نخ بافته شده و (E) نخ گره زده شده .
- شکل ۷-۶ منحنی تنش-کرنش برای دو نخ تک لای CNT رسیده شده از جنگلسانی با ارتفاع $550\mu\text{m}$. ۲۲۵
- شکل ۸-۶ گره زدن نخ MWNT ۲۲۶
- شکل ۹-۶ خصوصیات مکانیکی نخ های MWNT. ۲۲۸
- شکل ۱۰-۶ گسیل نور به واسطه ی فسفرسانس از نخ نانوتیوبی که در شکل زیرین نشان داده شده است ۲۳۰ نانوتیوب های بیرون زده از سطح نخ گسیل الکترونی را بهبود می بخشند
- شکل ۱۱-۶ تبدیل جنگلسان MWNT به ورقه ها و شکل دهی این ورقه ها ۲۳۲
- شکل ۱۲-۶ خصوصیات الکتریکی و نوری ورقه ی MWNT ۲۳۴
- شکل ۱۳-۶ کاربردهای ورقه به عنوان منبع تابشی پلاریزه و برای اتصال میکروویوی پلاستیک ها. ۲۳۷
- شکل ۱۴-۶ ساختار فیبریلی نانو وب های (nanoweb) متراکم شده ۲۳۹
- شکل ۱۵-۶ طرح و نمایی از دستگاه ریسندگی نوع ۳ ابداع شده در UTD ۲۴۱
- شکل ۱۶-۶ SEM نخ ۵ لا. ۲۴۲
- شکل ۱۷-۶ (a) دستگاه 3TEX برای بافتن 3-D نخ های کربن نانوتیوب ؛ (b) ۳۶ سر از نخ های چندلای ۲۴۳ نانوتیوب کربن در دستگاه 3TEX
- شکل ۱۸-۶ (a) روند ساخت اولین طناب بافته ی 3-D از نخ های ۵ لای نانوتیوب کربن ؛ ۲۴۴ (b) طناب بافته ی 3-D تولید شده ای به طول ۶cm ؛ (c) تصاویر SEM از طناب
- شکل ۱۹-۶ (a) روند ساخت دومین طناب بافته ی 3-D از نخ های ۵ لای نانوتیوب کربن به طول ۵۰cm ؛ ۲۴۴ (b) تصاویر SEM بخش هایی از طناب
- شکل ۲۰-۶ منحنی های نیرو-ازدیاد طول برای نخ ها و طناب بافته های 3-D نانوتیوب های کربن ۲۴۵
- شکل ۲۱-۶ (a) به کارگیری روش Scion Image برای تعیین قطر نخ ۵ لا، (b) ۱۷ تا از ۳۶ عدد کلی ۲۴۷ مورد بررسی قرار گرفته و طناب بافته های نانوتیوب 3-D

- شکل ۶-۲۲ اندازه گیری های مساحت پنج نخ ۵ لا داخل کامپوزیت با نرم افزار Scion Image ۲۴۸
- شکل ۶-۲۳ منحنی های تنش - کرنش برای نخ های ۵ لا ، نخ های ۲۵ لا و طناب بافته ی 3-D ۲۴۹
- شکل ۶-۲۴ سطوح پارگی نخ های نانوتیوب در طناب بافته ی 3-D ۲۴۹
- شکل ۶-۲۵ دستگاه پخت برای نمونه های کامپوزیتی یافته شده ۲۵۱
- شکل ۶-۲۶ منحنی های تنش - کرنش برای کامپوزیت های متفاوتی از نخ نانوتیوب کربن ۲۵۲
- شکل ۶-۲۷ یون هایی با بارهای مخالف در اثر اعمال ولتاژ در یک الکتروولت جذب الکترودهای CNT شده اند ، که در نتیجه ی چنین شرایطی طول پیوندهای C-C تغییر کرده و تحریک رخ می دهد
- شکل ۶-۲۸ نخ CNT نصب شده در گیره ی آنالیزور عضله ای ASI ۲۵۵
- شکل ۶-۲۹ دستگاه آزمایشگاهی برای اندازه گیری تحریک نخ ها ۲۵۶
- شکل ۶-۳۰ (a) کرنش، (b) ولتاژ الکتروودکاری، (c) جریان پیل و (d) بار انتقالی در جریان ولتامتری چرخه ای نخ MWNT در ۰/۲M TBAP در استونیتریل برای نیروی کششی اعمالی ۱۱MPa. ۲۵۷
- شکل ۶-۳۱ منحنی کرنش - بار اسمی بر هر اتم کربن ۲۵۸
- شکل ۶-۳۲ ولتاموگرام چرخه ای از نخ تک لایه ۲۵۹
- شکل ۶-۳۳ دنباله های پالسی ولتاژ اعمال شده در برابر Ag/Ag^+ و کرنش های تحریک حاصل ۲۶۰
- شکل ۶-۳۴ دامنه ی کرنش ترسیم شده در برابر دامنه ی ولتاژ اعمالی ۲۶۱
- شکل ۶-۳۵ کرنش اعمالی موجی شکل و تنش منتهی به برای اندازه گیری مدول یانگ نخ ها ۲۶۱
- شکل ۶-۳۶ مدول یانگ نخ CNT به عنوان تابعی از حالت اکسیداسیون ۲۶۲

چکیده:

نانوتیوب‌های کربن، نانو ساختارهایی منحصر به فرد با خصوصیات مکانیکی، الکتریکی و حرارتی ویژه اند، که از زمان اکتشاف در سال ۱۹۹۱ تحقیقات گسترده‌ی بنیادین و کاربردی را به خود اختصاص داده‌اند. استفاده از به خصوصیات ویژه‌ی نانوتیوب‌های کربن در مقیاسی بالاتر (ماکرو...) یکی از اهدافی است که بسیاری از تحقیقات امروزی را به خود معطوف داشته است. بر این اساس نانو کامپوزیت‌ها و خصوصاً الیاف نانو کامپوزیتی یکی از مهم‌ترین بسترها برای این منظور محسوب می‌شوند. از همین روست که در چند ساله‌ی اخیر تحقیقات روند تریبی و تکمیلی ذیل را پیموده است:

۱- بررسی و دستیابی به شیوه‌ای بهینه در تلفیق نانوتیوب‌های کربن با ماتریس‌های پلیمری مختلف، رسیدن الیاف با روش‌های گوناگون و تمرکز ویژه بر خصوصیات تقویت‌کنندگی مکانیکی و بهبود هدایت الکتریکی.

۲- توجه بیش‌تر به خصوصیات الکتریکی و استفاده از ماتریس‌های پلیمری رسانا و بررسی راهکارهای ارتقاء همراستایی، دیسپرسیون (پراکنش) و افزایش درصد وزنی نانوتیوب‌های کربن استفاده شده در ساختار لیف مرکب، (این مرحله همگام با مرحله‌ی سوم رو به پیشرفت و ترقی است).

۳- بررسی و ارائه‌ی روش‌های ریسندگی جدید برای تولید الیاف و نخ‌هایی که تنها از نانوتیوب‌های کربن شکل گرفته‌اند. این مرحله از تحقیقات با توجه به هدف گذاری تولید الیاف و نخ‌هایی منحصراً از نانوتیوب‌های کربن با موفقیت‌های ویژه‌ای در ابداع روش‌های نوین رسیدن الیاف و نخ و همچنین دستیابی به خصوصیات الکتریکی، مکانیکی و عملکرد هوشمند همراه بوده است.

۴- مطالعه‌ی قابلیت‌های کاربری الیاف و نخ‌های نانوتیوب کربن در حوزه‌هایی همچون جلیقه‌های ضد گلوله، کامپوزیت‌های با کارایی بالا و همچنین زمینه‌های نوینی همچون ماهیچه‌های مصنوعی، الکترونیک نساجی، محرک‌ها و...

بر مبنای این خط سیر، در این مجموعه با توجه به لزوم آشنایی با نانوتیوب‌های کربن، در ابتدا انواع مختلف نانوتیوب‌های کربنی، خصوصیات نانوتیوب‌ها و روش‌های تولید مورد بحث قرار می‌گیرد و در ادامه، روند تولید الیاف نانو کامپوزیتی از نانوتیوب کربن به کمک ماتریس‌های پلیمری مختلف و همچنین تولید نخ از نانوتیوب‌های کربن بررسی می‌شود. علاوه بر این به فراخور نیاز بسته به فرآیند تولید، ساختار، آرایش‌یافتگی، خصوصیات مکانیکی و الکتریکی و پارامترهای متعدد دیگر بر حسب کاربرد در الیاف و نخ‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفته است.

مقدمه:

در این مجموعه با محوریت تولید الیاف نانو کامپوزیتی و الیاف خالص از نانوتیوب های کربن شش فصل با عناوین ذیل گردآوری شده است:

۱- نانوتیوب های کربن ، ساختار ، خصوصیات ، روش های تولید و تخلیص

۲- الیاف نانو کامپوزیتی تولید شده از روش ذوب ریسی

۳- الیاف نانو کامپوزیتی تولید شده از روش Dry-Jet-Wet

۴- الیاف نانو کامپوزیتی نانوتیوب کربن- پلی آنیلین

۵- الیاف خالص از نانوتیوب های کربن

۶- ریسندگی حالت جامد نخ های خالص از نانوتیوب های کربن

در فصل اول این مجموعه با توجه به لزوم شناخت مناسب از نانوتیوب های کربن ، روشهای سنتز و خواص این جزء ساختاری توضیحات نسبتاً مبسوطی ارائه شده است . در ادامه در فصل دوم این مجموعه به بررسی اولین و قدیمی ترین نوع از الیاف نانو کامپوزیتی حاوی این مواد یعنی الیاف تولیدی از روش ذوب ریسی پرداخته شده است. فصل سوم به بررسی نوع ویژه ای از الیاف نانو کامپوزیتی تولیدی از فرآیند ریسندگی Dry-jet wet اختصاص یافته است. فصل چهارم به نگاهی اقتباسی به پایان نامه ی دکتر آقایی وحید متقی طلب در زمینه ی الیاف هوشمند نانو کامپوزیتی از CNT/PAni معطوف شده است. در فصل پنجم و فصل ششم نیز به ترتیب روش های تولید الیاف خالص از نانوتیوب های کربن و نخ های خالص از نانوتیوب های کربن بیان شده است .