آماده سازی مخلوط مذاب ترکیبات

پلی‌پروپیلن / پلی‌آنیلین / نانولوله کربنی و ذوب ریسی آنها در تولید الیاف رسانا

مؤلف : محمد دهقانی احمدآبادی[1]، پوریا نوروز کرمانشاهی[2]

چکیده

مخلوط پلی‌پروپیلن با پلی‌آنیلین و نانولوله های کربنی چندجداره آماده شد و به فرم فیلامنت ریسیده شد. فیلامنت‌های حاصله از نظر رسانایی، شکل ظاهری، خصوصیات حرارتی و مکانیکی تشریح شدند.

مطالعات DSC اشاره بر آن دارد که نانولوله‌های کربنی به عنوان مکان‌هایی هسته‌زا برای مخلوط پلی‌پروپیلن/ پلی‌آنیلین عمل می‌کند.

رسانایی الکتریکی مخلوط‌های اکسترود شده به شکل میله، فیلامنت و الیاف با نسبت کشش ٤ اندازه گرفته شد.

الیاف پلی‌پروپیلن حاوی ۲۰wtدرصد پلیمر پلی‌آنیلین اصلاح شده با ۷/۵ wt درصد نانولوله کربنی، بیشترین میزان رسانایی را با مقدار ۰/ ١٦ S/cm در میان تمامی نمونه‌های دیگر از خود نشان داد.

مقدمه

برای مصارف منسوجات هوشمند و فعال الکتریکی، روش های متفاوتی را می توان به منظور تولید الیاف پلیمری رسانا، با استفاده از پلیمرهای ذاتا رسانا، مخلوط کردن یک پلیمر عایق با ذرات رسانا (کربن سیاه، نانولوله کربنی) و سپس ریسندگی الیاف با استفاده از فرآیند ذوب ریسی [۶-۱]، تر ریسی [۱۸-۷] یا پوشش دادن منسوجات با مواد رسانا انتخاب کرد[۳۴-۱۹]. از میان پرکننده های رسانا، نانولوله های کربنی توجه بسیاری زیادی را جلب کرده اند چراکه آنها می توانند خصوصیات مواد را در هنگام افزودن به ماتریس پلیمری بهبود دهند. خصوصیات مکانیکی و الکتریکی عالی نانولوله های کربنی، امکان تولید این الیاف شیمیایی را میسر ساخته است[۳۵]. از میان پلیمرهای رسانا، پلی آنیلین به دلیل نشان دادن پایداری گرمایی و شیمیایی بالا در حالت رسانایی، هزینه تولید پایین و دوپه کردن آسان آن با اسیدهای غیرآلی و آلی به منظور آماده سازی فرم رسانا توجه بسیاری را جلب کرده است.

مطالعات کمی در مورد الیاف تهیه شده از پلیمرهای خالص یا پلیمرهای رسانای تقویت شده، تر ریسی الیاف پلی آنیلین با وزن مولکولی بالا [۱۴] و تر ریسی الیاف پلی آنیلین/ نانولوله کربنی گزارش شده است [۳۶ ، ۳۷] اما هیچ مطالعه ای بر روی فرآیند ذوب ریسی چنین مخلوط هایی تا کنون انجام نشده است. با توجه به اینکه روش ذوب ریسی فرآیندی است که برای آماده سازی الیاف ترجیح داده می شود، امکان تهیه الیاف رسانا با این روش می تواند جالب توجه باشد، به ویژه اینکه اگر بهبود دادن یک پلیمر تجاری با مخلوط کردن پلیمرهای رسانا و نانولوله کربنی در آن مدنظر باشد. اگرچه نمک پلی آنیلین رسانا غیرقابل ذوب ریسی است، اما ذوب کردن آن با استفاده از روش های معینی امکان پذیر است، این ترکیب قابل ذوب کمپلکس پلی انیلین نامیده می شود. این ترکیب یک پلیمر رسانای پردازش پذیر است و می توان با مواد ترموپلاستیکی نظیر پلی پروپیلن، پلی استایرن یا پلی اتیلن مخلوط کرد.

در این مطالعه برخی از کارهای انجام شده و در حال انجام بر روی ذوب ریسی مخلوط های پلی انیلین- پلی آنیلین که با نانولوله های کربنی اصلاح خواهد شد، مورد بحث قرار گرفته است. کمپلکس پلی آنیلین و نانولوله کربنی با

پلی پروپیلن مخلوط شده است. مخلوط ها بوسیله اکسترود کردن به فرم لیف ذوب ریسی می شوند و درنهایت فیلامنت های اکسترود شده، فیلامنت های کشش داده شده و الیاف تحت آزمایش های رسانایی، خصوصیات گرمایی و مکانیکی و بررسی های میکروسکوپی قرار داده می شوند. هدف از این کار بررسی قابلیت های فنی الیاف ذوب ریسی شده رسانا، به ویژه بررسی سطوح رسانایی، خصوصیات مکانیکی همچنین امکان آماده سازی کالاهای نساجی با استفاده از روشهای بافندگی از این الیاف می باشد.

آزمایشات

پودر پلی‌پروپیلن با شاخص جریان مذاب ۲۶ از بوریلاس[1] دانمارک و نانولوله های کربنی چندجداره از شرکت نانوسیل۲ بلژیک تهیه شده اند. نانولوله ها به میزان ۱۵٪ از مستربچ پلی پروپیلن استفاده می شوند. مستربچ نیز به منظور جلوگیری از مشکلات پیش بینی شده، همراه با مخلوط نانولوله‌های‌کربنی در ماتریس پلیمر استفاده می شوند. به منظور افزایش میزان رسانایی از مخلوط پلیمر پلی‌آنیلین Panipol CXL نیز استفاده شده است. پلی‌آنیلین همراه با دو دسیل‌بنزوییک سولفونیک اسید و تولوئن سولفونیک اسید و سولفونات روی به عنوان پلاستیکی کننده، مخلوط می شود؛ میزان کلی پلی‌آنیلین wt ۲۵ ٪ می‌باشد. عمل مخلوط کردن در یک میکسر کوچک با دو مارپیچ، به ظرفیت ۱۵ میلی لیتر در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد با سرعت پیچش ۸۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۴ دقیقه انجام می شود. ترکیب مخلوط های متفاوتی آماده می شوند: مخلوط پلی‌پروپیلن/ Panipol CXL، پلی‌پروپیلن/ نانولوله‌های‌کربنی و پلی‌پروپیلن/ نانولوله‌های‌کربنی/ Panipol CXL. غلظت Panipol CXL برابر۲۰ ٪ و غلظت نانولوله کربنی۱/۵ و ۷/۵ ٪ می باشد. نمونه های میله ای شکلی از درون سوراخ مدور به قطر ۲ میلی متر، اکسترود شده و برای خط ریسندگی الیاف جمع‌آوری می شود. مخلوط های در شرایط مناسب با استفاده یک اسپینرت (رشته ساز) با قطر روزنه ۰/۲ میلی متر به صورت مونوفیلامنت ریسیده می شوند. فیلامنت های ریسیده شده مستقیما بعد از خروج از رشته ساز بر روی یک غلتک گودت[3] در حال گردش جمع آوری می شوند. فیلامنت های کشش یافته از طریق کشش دادن فیلامنت هایی با نسبت ۴ بدست می آیند. برای این کار به غلتک اول حرارت داده می شود و غلتک دوم سرعتی معادل با ۴ برابر سرعت غلتک اول دارد. درصد مخلوط ها و پارامترهای ریسندگی براساس نتایج قبلی انتخاب شده اند. برای محاسبه میزان رسانایی، مقاومت در برابر ولتاژ ثابت ۱۰۰ ولت با یک مقاومت سنج METRISO ۲۰۰۰ اندازه گرفته می شود. جریان الکتریکی میان دو گیره به فاصله ۱۰۰ میلی متر اعمال می شود. میزان رسانایی از طریق مقاومت اندازه گرفته شده با استفاده از معادله $C=1/\rho = L/RA$ محاسبه می شود، که در آن ρمقاومت ویژه و A سطح مقطع می باشد. سه تا پنج نمونه لیف مورد آزمایش قرار می گیرند و مقادیر میانگین گزارش خواهد شد. شکل سطحی فیلامنت ها و سطوح مقطع برش داده شده با یک میکروسکوپ الکترونی پویشی(SEM) با فشار خلا کم مورد مطالعه قرار می گیرد. سه سطح مقطع از هر لیف بررسی می شود. آنالیز ترموگراویمتری نیز با دستگاه TGA Q۵۰۰ با نرخ حرارت دهی ۲۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه تحت فشار نیتروژن انجام می شود. برای مطالعه کالریمتری پویشی تفاضلی (DSC) با استفاده از دستگاه DSCQ۱۰۰۰، نمونه ها با نرخ حرارت‌دهی ۱۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه تا دمای ۲۱۰ درجه سانتیگراد حرارت داده می شود، سپس نمونه را خنک کرده و مجددا با همان شیوه حرارت داده می شوند. نمودارهای خنک سازی اول و حرارت دهی دوم برای تجزیه و تحلیل استفاده می شوند. نرم افزار تجزیه و تحلیل یونیورسال دستگاه TA برای اندازه گیری دمای تبلور و آنتالپی ذوب استفاده می شود. درجه تبلور از مقدار آنتالپی ذوب نمونه محاسبه خواهد شد.

بحث و نتایج

خصوصیات گرمایی

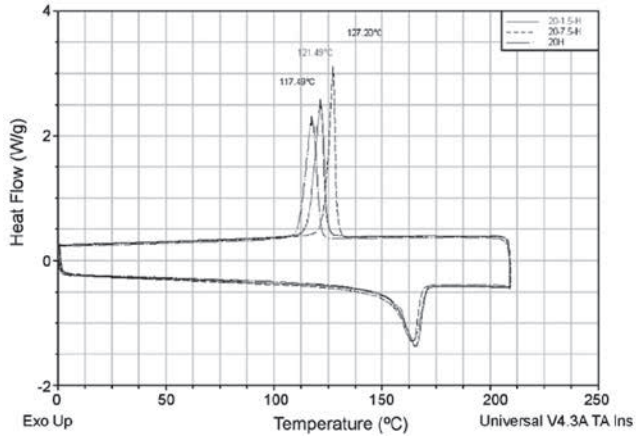
خصوصیات گرمایی از طریق مخلوط های ترکیب شده به منظور مشاهده اثر ماده رسانا بر دمای تبلور پلی‌پروپیلن شرح داده می‌شود. در جدول ۱ دماهای تبلور و درجه تبلور نشان داده شده است.

پلی‌پروپیلن خالص در دمای ۱۱۳/۵ درجه سانتیگراد متبلور می‌شود، در حالیکه تبلور مخلوط پلی‌پروپیلن/Panipol CXL دردمای ۱۱۷/۵ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد. هنگامی که مخلوط Panipol CXL/پلی‌پروپیلن با ۱/۵ و ۷/۵٪

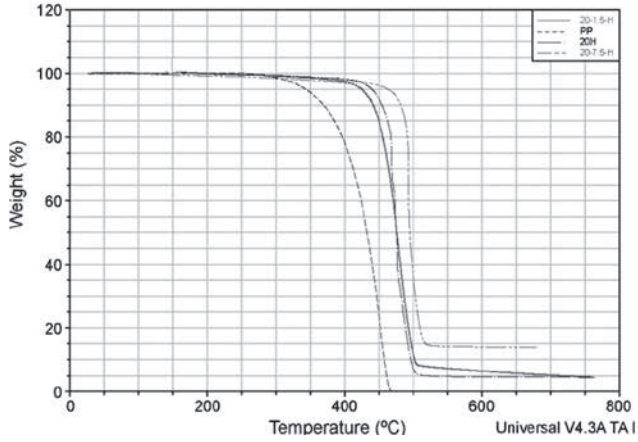
جدول ۱- دمای تبلور و درجه تبلور ترکیبات مختلف panipol CXL، PP و نانولوله کربنی

نمونه	درصد ترکیبات	دمای تبلور	درجه تبلور
PP	-	۱۱۳/۵۲	۴۲
۲۰H	۲۰٪ وزنی Panipol CXL	۱۱۷/۴۹	۴۳
۱۵-۲۰ H	۲۰٪ وزنی Panipol CXL + ۱۵ درصد وزنی نانولوله کربنی	۱۲۱/۴۹	۴۴
۷۵-۲۰ H	۲۰٪ وزنی Panipol CXL + ۷۵ درصد وزنی نانولوله کربنی	۱۲۷/۲	۴۱
۱۵ MB	۱۵ درصد وزنی نانولوله کربنی	۱۲۹/۲۹	۶۵
۷۵ MB	۷۵ درصد وزنی نانولوله کربنی	۱۳۱/۰۲	۴۰

۱. Characterization Drawing Test
۲. Nanocyl
۳. Godet



شکل ۱ -منحنی های حرارت دهی و سردسازی DSC مربوط به مخلوط های PP-Panipol CXL حاوی wt٪ ۱,۵ و ۷,۵ و نمونه PP/۲۰ ٪wt Panipol CXL.



شکل ۲- طیف TGA نمونه های PP خالص، نمونه PP/۲۰ ٪wt Panipol CXL حاوی ۱,۵ یا ٪wt ۷,۵ نانولوله کربنی

نانولوله اصلاح شود (شکل ۱)، دمای تبلور تا ۱۲۱/۵ و ۱۲۷/۲ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. تاثیر افزودن نانولوله‌های کربنی بر دمای تبلور پلی‌پروپیلن، قابل توجه است. پلی‌پروپیلن با wt ۱/۵٪ دمای تبلوری برابر با ۱۲۹ درجه سانتیگراد نشان می دهد درحالیکه پلی‌پروپیلن با wt ۷/۵٪ نانولوله در دمای ۱۳۱ درجه سانتیگراد متبلور می شود. نتیجه آنکه Panipol CXL اثر هسته زایی در پلی‌پروپیلن خالص نشان می دهد و افزودن نانولوله به مخلوط پلی‌پروپیلن/ Panipol CXL باعث افزایش اثرات هسته زایی و افزایش دمای تبلور می شود. مخلوط پلی‌پروپیلن/ نانولوله‌های کربنی دارای بیشترین دمای تبلور می باشد، یعنی آنکه نانولوله‌های کربنی عوامل هسته زای موثری می باشند.

دماهای تخریب گرمایی مخلوط های آماده شده در نمودارهای TGA شکل ۲ نشان داده شده است. مقایسه میان پلی‌پروپیلن خالص و نمونه‌های حاوی Panipol CXL نشان می‌دهد که Panipol CXL منجر به افزایش دمای تخریب مخلوط می‌شود. موقعی که به مخلوط پلی‌پروپیلن/ Panipol CXL میزان ۷/۵٪ نانولوله کربنی اضافه می شود، دمای تخریب بیشتر می شود. این اثر به دلیل حضور سولفونات روی در Panipol CXL می باشد، این افزودنی بعنوان یک تثبیت کننده گرمایی عمل می‌کند.

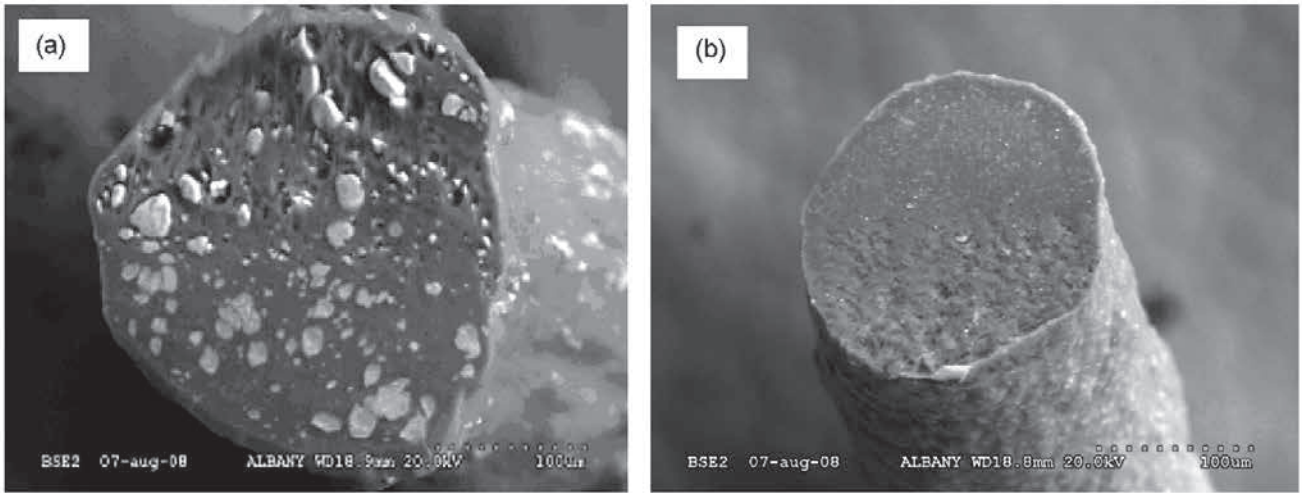
اندازه گیری رسانایی

در جدول ۲ میزان رسانایی مخلوط های مختلف Panipol CXL، پلی‌پروپیلن و نانولوله‌های کربنی نشان داده شده است. انحراف استاندارد از ٪۱± تا ٪۴± بسته به رسانایی نمونه متفاوت است. الیاف رساناتر انحراف استاندارد کمتری را نشان می دهند، که به دلیل دقت در روش اندازه گیری می باشد.

میزان رسانایی سه نوع نمونه اندازه گرفته شده است: نمونه میله ای شکل ضخیم، فیلامنت های ریسیده شده و الیاف کشش یافته با نسبت کشش چهار. افزودن ٪۷/۵ نانولوله باعث افزایش رسانایی پلی‌پروپیلن/ Panipol CXL در سه نمونه گردیده است، درحالیکه افزودن ٪۱/۵ نانولوله باعث بهبود جزیی در میزان رسانایی نمونه میله ای شکل و الیاف فیلامنتی شده است. اما در نمونه الیاف کشش یافته افزودن ٪۱/۵ نانولوله کربنی باعث کاهش در میزان رسانایی تا اندازه یک دهم می شود. این امر نشان می دهد که تغییر در شکل ظاهری نمونه در طی کشش الیاف، بر میزان رسانایی اثر خواهد گذاشت. زمانی که شکل ظاهری لیف تغییر کند، ساختار شبکه‌ای نیز تغییر خواهد کرد، که بر میزان رسانایی نیز اثر خواهد گذاشت. در الیاف حاوی ٪۱/۵ نانولوله کربنی، کشش منجر به تغییر در آرایش یافتگی و توزیع نانولوله های کربنی می شود. براساس مطالعه ژوئن و همکارانش،

جدول ۲- میانگین مقادیر رسانایی نمونه های PP، Panipol CXL/PP/CNT و PP/Panipol CXL/CNT به صورت فیلامنت های کشش یافته، الیاف و میله ای شکل

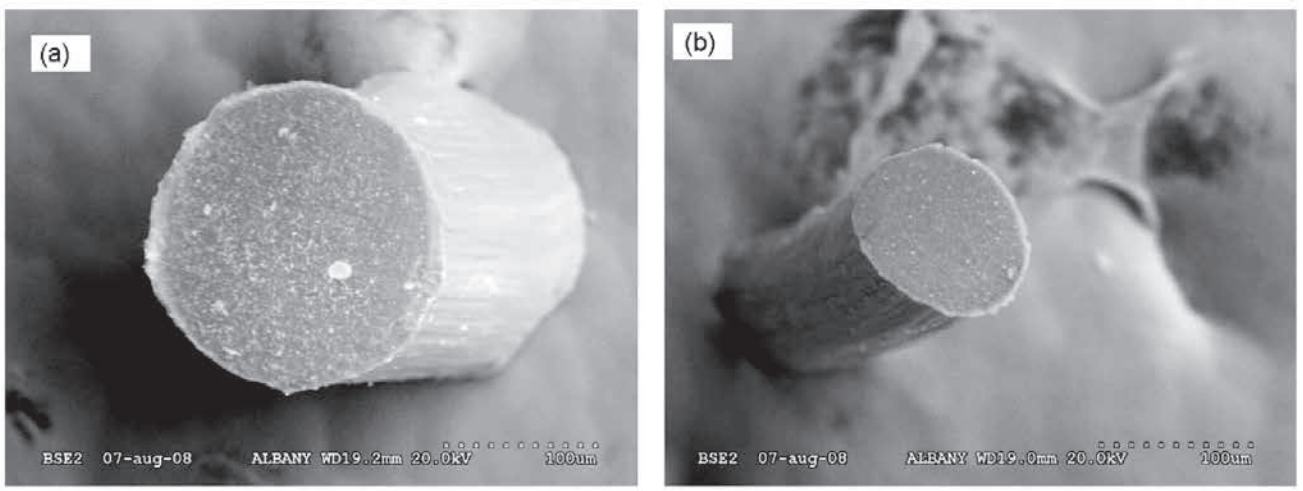
نمونه	درصد ترکیبات	رسانایی		
		میله ای شکل	الیاف	فیلامنت کشش داده شده
۲۰H	٪۲۰ وزنی Panipol CXL	۱,۱E-۰۹	۳,۳۰E۰۶	۴,۳ ۰E-۰۶
۲۰-۱,۵H	٪۲۰ وزنی Panipol CXL + ۱,۵ درصد وزنی نانولوله کربنی	۸,۳۰E-۰۷	۲,۸۰E-۰۵	۴,۱ ۰E-۰۶
۲۰-۷,۵H	٪۲۰ وزنی Panipol CXL + ۷,۵ درصد وزنی نانولوله کربنی	۱,۶۰E-۰۱	۱,۳۰E-۰۳	۱,۰ ۰E-۰۲
۱,۵MB	۱,۵ درصد وزنی نانولوله کربنی	۵,۰E-۰۸	۱,۹۰E-۰۵	۲,۴ ۰E-۰۶
۷,۵MB	۷,۵ درصد وزنی نانولوله کربنی	۲,۷۰E-۰۲	۷,۷۰E-۰۴	۱,۵ ۰E-۰۴



شکل ۳- تصاویر SEM از سطح مقطع الیاف a) panipol CXL \ wt٪ ۲۰ /PP بدون نانولوله کربنی و b)حاوی ۷/۵ درصد وزنی نانولوله کربنی. ضخامت نمونه a ۲۷۵ میکرومتر و نمونه b ۱۸۷ میکرومتر است.

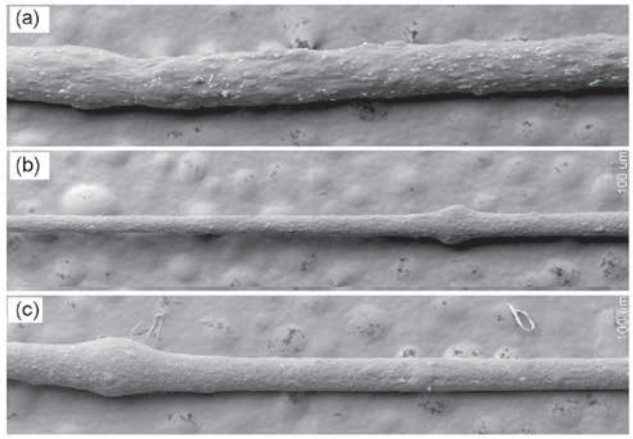
نانولوله‌های‌کربنی بایستی به یکدیگر نزدیک باشند تا الکترون های فعال شده بتوانند در میان لوله ها حرکت کنند و درنتیجه باعث انتقال الکترون و رسانایی شوند. کشش الیاف فاصله میان نانولوله ها را افزایش می دهد و ساختار شبکه ای را تخریب می کند. فانگ مینگ گزارش کرده است که رسانایی تراوشی یک شبکه اتصالی، وابسته به آرایش یافتگی و تراکم اتصالات می باشد. در مورد الیاف کشش یافته، نانولوله ها آرایش یافته اند در نتیجه میزان رسانایی کاهش یافته و آستانه تراوش افزایش می یابد. مقدار بیشتر نانولوله کربنی می تواند باعث افزایش اتصالات لوله به لوله شده و آرایش یافتگی لوله ها به دلیل کشش را جبران نماید. یک مشاهده جالب در الیاف پلی‌پروپیلن/ Panipol CXL/ نانولوله‌های‌کربنی این است که در الیاف ریسیده شده، افزودن ۱/۵٪ نانولوله‌های‌کربنی در مقایسه با الیاف پلی‌پروپیلن/ Panipol CXL رسانایی را افزایش داده است اما در الیاف کشش یافته، رسانایی کمتر شده است. این رفتار نشان دهنده آن است که در الیاف کشش یافته پلی‌پروپیلن/ Panipol CXL/ نانولوله‌های‌کربنی، آستانه تراوش بیش از ۱/۵٪ نانولوله است، همچنین نشان می دهد که زمانی که غلظت نانولوله کربنی کمتر از آستانه تراوش باشد، ذرات نانولوله کربنی حتی باعث اختلال در مکانیسم رسانایی پلی‌آنیلین شده و درنتیجه رسانایی بدتر نیز می شود.

به منظور یافتن اثر Panipol CXL نسبت به نانولوله‌های‌کربنی بر میزان رسانایی به صورت جداگانه، نمونه های پلی‌پروپیلن/ Panipol CXL/ نانولوله‌های‌کربنی با میزان یکسان Panipol CXL با نمونه های پلی‌پروپیلن/ نانولوله‌های‌کربنی مورد مقایسه قرار گرفتند. همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده، برای تمامی نمونه های حاوی نانولوله‌های‌کربنی و Panipol CXL، میزان رسانایی مشاهده شده در مقایسه با نمونه های مشابه حاوی نانولوله‌های‌کربنی تنها افزایش یافته‌است. اختلاف میان سطح رسانایی نمونه های پلی‌پروپیلن/ نانولوله‌های‌کربنی/ ۲۰٪ Panipol CXL و نمونه‌های



شکل ٤- تصاویر SEM از سطح مقطع الیاف ٤ مرتبه کشش یافته a) panipol CXL \ wt٪ ۲۰ /PP بدون نانولوله کربنی و b)حاوی ۷/۵ درصد وزنی نانولوله کربنی. ضخامت نمونه a ۱۹۳ میکرومتر و نمونه b ۱۱۸ میکرومتر است.

WWW.ITMA.CO
پرمخاطب‌ترین رسانه نساجی ایران



شکل ۵- تصاویر SEM از الیاف ریسیده شده PP مخلوط شده با a) ۲۰٪wt Panipol CXL ، b)حاوی ۷/۵ درصد وزنی نانولوله کربنی و c) ترکیب ۲۰٪wt Panipol CXL و ۷/۵ درصد وزنی نانولوله کربنی

ای شکل، فیلامنت یا الیاف کشش یافته) و غلظت نانولوله کربنی می باشند. اختلاف مشاهده شده در اثر Panipol CXL بر میزان رسانایی می تواند مربوط به شکل ظاهری باشد و باید بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد.

شکل ظاهری الیاف

شکل ظاهری الیاف با استفاده از میکروسکوپ الکترونی پوششی با فشار خلا کم مورد مشاهده قرار گرفت. شکل های ۳ و ۴ سطح مقطع الیاف کشش یافته و معمولی را نشان می دهد. در شکل ۳ که مربوط به الیاف ریسیده شده است، الیاف پلی‌پروپیلن/ Panipol CXL/ نانولوله‌های کربنی ساختار همگن تری نسبت به الیاف پلی‌پروپیلن/ Panipol CXL دارند. با توجه به شرایط آماده سازی یکسان مخلوط ها، این اختلاف می تواند مربوط به رسانای گرمایی نانولوله‌های کربنی و همچنین اصطکاک بیشتر مخلوط در حضور پرکننده کربنی باشد که در موقع مخلوط کردن باعث افزایش بیشتر دما شده است. به عبارت دیگر، در دماهای بیشتر مخلوط پلی‌آنیلین همگن تر و با اندازه ذرات کوچک تری بدست آمده است. در الیاف کشش یافته (شکل ۴) اگر چه به دلیل اثر نانولوله‌های کربنی، الیاف پلی‌پروپیلن/ Panipol CXL/ نانولوله‌های کربنی ساختار همگن تری را نسبت به الیاف پلی‌پروپیلن/ Panipol CXL نشان می دهند، اما این اختلاف در الیاف ریسیده شده مشاهده نمی شود، زیرا در الیاف کشش یافته، فاز Panipol CXL در امتداد کشش یافته و باعث ایجاد سطح مقطع های کوچکتر از این فاز می شود، در نتیجه در تصاویر با همان رزولوشن دیده نمی شود. الیاف پلی‌پروپیلن/ Panipol CXL، دارای سطوح ناهموارتری نسبت به نمونه های حاوی نانولوله‌های کربنی و ترکیب نانولوله‌های کربنی و Panipol CXL می باشند. این امر می تواند به دلیل اختلاف در هموژنیته (یکنواختی مواد) الیاف باشد. در تمای الیاف تغییرات در قطر لیف را می توان مشاهده کرد، که می‌تواند به دلیل تنظیمات ماشین ریسندگی باشد، زمانی که فشار اکستروژن تغییر کند، ابعاد لیف نیز تغییر خواهد کرد.

نتیجه گیری

الیاف فیلامنتی پلی‌پروپیلن رسانا بوسیله روش ذوب ریسی مخلوط پلی‌پروپیلن اصلاح شده با ترکیب پلیمری مزدوج Panipol CXL و نانولوله‌های کربنی چند جداره به عنوان مستربچ پلی‌پروپیلن تهیه شد. هر دو افزودنی اثر افزایشی بر دمای تبلور مخلوط ها داشتند، همچنین باعث افزایش پایداری حرارتی شدند. بیشترین میزان رسانایی در الیاف پلی‌پروپیلن اصلاح شده با نانولوله‌های کربنی و Panipol CXL بدست آمد، مقادیر برای نمونه های میله ای شکل بیش از S/cm ۰/۱۶ و برای الیاف فیلامنتی کشش یافته S/cm ۰/۰۱ بود. ترکیب مخلوط پلیمری ذاتا رسانای Panipol CXL و یک مستربچ پلی‌پروپیلن- نانولوله‌های کربنی راه حل جالبی برای بدست آوردن الیاف رسانا می باشد. میزان رسانایی به کاربرد منسوج خیلی وابسته است. در مقایسه با خصوصیات عایق بودن الکتریکی پلی‌پروپیلن خالص، میزان رسانایی تا حد زیادی افزایش یافته است، اگرچه به رسانایی فلزات نمی رسد. کاربردهای بالقوه بسیاری را برای الیاف نساجی با مقادیر رسانایی در این دامنه را می توان متصور شد. برای مثال، تولید پوشاک ضد الکتریسیته ساکن برای اتاق های نظافت یا مصارف پزشکی. بدیهی است که توزیع یکنواخت نانولوله‌های کربنی در ماتریس پلیمر مهمترین چالش موجود برای افزایش خصوصیات عاملی کامپوزیت های نانولوله‌های کربنی/پلیمر می باشد. نانولوله‌های کربنی تمایل به چسبیدن به یکدیگر و تشکیل دسته های مجتمع دارند، درنتیجه توزیع چنین تجمعاتی، فاکتور بحرانی برای تولید کامپوزیت های کارآمد می باشد. در این مطالعه سعی شد تا از این مسئله با استفاده از مستربچ نانولوله‌های کربنی به همراه شرایط آماده سازی بهینه شده جلوگیری شود. مخلوط کردن دوباره با پلی‌پروپیلن به منظور بدست آوردن سطوح نانولوله‌های کربنی مختلف باعث شد مخلوط های یکنواختی بدست آید. فرآیند اکستروژن الیاف بهینه سازی نشده بود، درنتیجه الیاف ناهمگنی با سطوح زبر و تغییرات ابعادی زیاد بدست آمد. این عوامل بایستی در آینده جهت تولید الیاف کارآمد تر با نانولوله‌های کربنی بیشتر بهبود و بهینه شوند. آزمایش مکانیکی نیز انجام گرفت و نتایج اولیه نشان می دهد که استحکام کششی فیلامنت های پلی‌پروپیلن اصلاح شده با Panipol CXL تقریباً مشابه پلی‌پروپیلن خالص است. در پایان اشاره می شود که نتایج بدست آمده نسبت به امکان تولید الیاف پلیمری رسانا نوید بخش بوده و برای تولید منسوجات هوشمند و تابع پذیر مناسب می باشد.

پی‌نوشت:

۱. دانشکده مهندسی نساجی ، دانشگاه آزاد اسلامی یزد

۲. گروه صنایع دستی ، دانشگاه پیام نور مشهد

مرجع:

1.Melt blending of carbon nanotubes/polyaniline/polypropylene compounds and their melt spinning to conductive fibres, A. Soroudi, M. Skrifvars , Synthetic Metals 160 (2010) 1143–1147