بررسی تاثیر نانولوله‌های کربنی بر خواص رسانایی و مکانیکی فیلم نازک نانوسلولزی

حامد عرب ، مریم مختاری فر ، مرتضی مغربی ، مجید بنی آدم
گروه مهندسی شیمی
دانشگاه فردوسی مشهد
مشهد، ایران
eng_hamedarab@yahoo.com

چکیده — امروزه استفاده از فیلم نازک (Bucky Paper) در صنایع مختلفی از جمله سازه های سبک، صنایع الکترونیکی و اپتیکی بسیارمورد توجه قرار گرفته است. این فیلم های نازک بر مبنای مواد تشکیل دهنده، درصد مواد و روش تولید می‌توانند دارای خواص مکانیکی، رسانایی الکتریکی و انعطاف پذیری متفاوتی باشند. یکی از موادی که برای بهبود این فیلم های نازک به کاربرده میشود نانومواد مختلف مانند نانولوله‌های کربنی می باشند. نانولوله های کربنی دارای خواص رسانایی بالا و استحکام مکانیکی زیاد می باشند، از این رو می‌توانند به عنوان ماده ای اصلی برای تولید فیلم نازک به کار برده شوند. با وجود این، مقدارهای متفاوت نانولوله‌ها می‌تواند تاثیر متفاوت و گاها متضادی بر کیفیت فیلم نهایی داشته باشند.

در این تحقیق فیلمی نازک بر پایه نانولوله های کربنی، نانوسلولز و سورفکتنت تولید شد. در ادامه، درصد نانولوله های کربنی (به عنوان یکی از مهمترین پارامترها) و اثر آن بر روی خواص فیلم نازک تولید شده، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیزها نشان داد که افزایش درصد نانولوله تا یک مقدار بهینه سبب افزایش رسانایی الکتریکی و افزایش خواص مکانیکی می‌شود.

واژه‌های کلیدی — فیلم نازک؛ نانولوله‌های کربنی؛ نانوسلولز؛

۱. مقدمه

سلولز، فراوان‌ترین پلیمر موجود در طبیعت و اصلی‌ترین ماده تشکیل دهنده چوب به شمار می‌آید [۱و۲]. باوجود این، سلولز در منابع دیگری‌مانند فیبرهای گیاهی،جانوران دریایی و باکتری‌ها نیز به وفور یافت می‌شود. این ماده، پلیمری زیست تخریب پذیر و زیست تجدیدپذیر است. از این‌رو، سلولز میتواند جایگزین مناسبی برای مواد غیر قابل بازیافت باشد [۳].

کاغذهای معمولی با روش‌های مختلفی تولید می‌شوند. در روش‌های متداول، ابتدا اتصالات بین الیاف مواد لیگنوسلولزی را با کمک مواد شیمیایی و حرارت در دیگ‌های مخصوصی که دیگ پخت نامیده می‌شود، نرم می‌کنند. سپس به کمک پالایشگرهای مکانیکی، خرده چوب‌های نرم شده به ذرات نرمه، الیاف و دستهجات الیاف سلولزی تبدیل میشوند. در این روش‌ها به دلیل وجود حرارت بالا، به الیاف سلولزی صدمه وارد شده و در نتیجه مقاومت کششی ذاتی سلولز کاهش مییابد [۴و۵].

برای دستیابی به مقاومت کششی بالاتر، روش‌هایی بر مبنای استفاده از نانوسلولزها وجود دارد که در آن نانوسلولزها در شرایط دمایی مناسب‌تر با یکدیگر ترکیب میشوند [۶]. نانوسلولزها ابعاد کوچکتری از سلولزها هستند که دارای خواص فیزیکی متفاوتی از سلولزها می‌باشند [۷]. هر نانوسلولز را می‌توان به شکل یک رشته موی انعطاف‌پذیر در نظر گرفت. با وجود اینکه خواص مکانیکی ویژه این مواد بسیار بالاست، ولی وقتی این مواد در یک شبکه در کنار هم قرار میگیرند تاحدودی ساختار شکننده‌ای تشکیل می‌دهند [۶و۷و۸].

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی تاثیر نانولوله‌های کربنی بر خواص رسانایی و مکانیکی فیلم نازک نانوسلولزی

یکی از مشکلاتی که برای استفاده از نانوسلولز در ساخت فیلم‌های نازک وجود دارد، عدم پراکندگی یکنواخت آن‌ها در شبکه فیلم است. دلیل پراکندگی نامناسب این مواد را میتوان به کنار هم قرار گرفتن نانوسلولزها به دلیل برهمکنش قوی واندروالسی و در نتیجه تشکیل دستههای بزرگ از نانوسلولزها عنوان کرد [۹]. پراکندگی مناسب نانوسلولزها در محیط سبب می‌شود تا این تجمعات از هم باز شده و انحلال پذیری آنها در حلال افزایش یابد [۸].

انحلال پذیری مناسب نانوسلولز ها می تواند تاثیر بسیار مناسبی در خاصیت مکانیکی فیلم نازک تولید شده داشته باشد. به عنوان مثال کارلارس و همکاران با تهیه سوسپانسیون یکنواختی از نانوالیاف سلولزی با غلظت ۰/۲ درصد و سپس فیلتر کردن سوسپانسیون، فیلمی از نانوکاغذ سلولزی با ضخامت ۶۰ تا ۸۰ میکرومتری تولید کردند. مقاومت کششی این نانوکاغذ در حدود ۲۱۴ مگاپاسکال بدست آمد که در مقایسه با مقاومت کششی موادی از جمله چدن (۱۲۰ مگاپاسکال) قابل توجه بود.

استفاده از نانولوله های‌کربنی و ترکیب آنها با نانوسلولز علاوه بر افزایش مقاوت کششی سبب بهبود خواص هدایت الکتریکی، هدایت گرمایی، خواص نوری و ... نیز میشود. علاوه براین، نانولوله‌ها مواد بالقوه‌ای برای استفاده در نشر میدانی، نانو الکتریک، سیستم‌های ذخیره هیدروژن و کامپوزیت‌ها هستند [۱۰]. این مواد دارای ویژگی‌های مکانیکی استثنایی مانند استحکامی ۱۰۰ برابر بیشتر از فولاد هستند. با وجود این، به دلیل پراکندگی نامناسب نانولوله‌ها در محیط‌های مختلف، استفاده از این مواد در تولید کامپوزیتها به راحتی امکانپذیر نمی‌باشد و باید به طریقی پراکندگی را افزایش داد [۱۱].

کاربرد کامپوزیت‌ها در صنعت برق و انرژی :

همانطور که مطرح شد فیلم نازک از توده نانولوله‌های کربنی و نانوسلولز به‌وجود آمده است. از این رو هنگامی که این فیلم ها فشرده و در یکدیگر تنیده شوند، یک ماده کامپوزیتی شکل می‌گیرد که در حالت بهینه ۱۰ بار سبک‌تر و ۵۰۰ بار مستحکم‌تر از فولاد است که می‌توان به خواصی از جمله مقاومت مکانیکی بالا نسبت به وزن،خصوصیت خستگی عالی نسبت به فلزات، خواص عایق حرارتی خوب اشاره کرد. .در حقیقت این فیلم ها جزء قوی‌ترین و سخت‌ترین کامپوزیتهای شناخته شده هستند و نیز آنها را هادی‌ترین فیبر موجود می‌نامند که می‌توانند به‌عنوان نیمه‌هادی‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرند.

امروزه کامپوزیت‌های پلیمری بر پایه نانولوله های کربنی در ساخت قطعات گوناگون صنعت برق به کار می‌روند. از جمله موارد کاربرد فیلم های نازک در این تحقیق را می توان افزایش مقاومت مکانیکی کابل های انتقال به دلیل خاصیت مکانیکی و رسانایی الکتریکی بالا نسبت به وزن کم، استفاده از عایق حرارتی برای کاهش تلفات حرارتی کابلها و تاسیسات وابسته و استفاده از خاصیت تاخیر دهندگی آتش سوزی در محلهایی که احتمال آتش سوزی هست اشاره کرد. متاسفانه در کشور ما ، استفاده از فیلم های نازک در صنعت برق علی رغم نیاز این صنعت فراگیر نشده است در حالیکه علاوه بر موارد بالا می توان این نانو مواد را در ساخت قطعات سوییچ‌های برق به کار گرفت که در نهایت سبب افزایش بازدهی، کاهش تلفات انرژی و کاهش هزینه ها می شود.

در این تحقیق، نانولوله‌های کربنی با نانوسلولز ترکیب شده و فیلمی با مقاومت مکانیکی بالا و رسانایی مناسب بدست آمده است. برای غبله بر مشکل پراکندگی و رسیدن به یک سوسپانسیون یکنواخت و همگن، از یک سورفکتنت آنیونی استفاده شد. سپس خواص مکانیکی و هدایت الکتریکی فیلم‌های تولید شده مورد آزمایش قرار گرفت.

۲. روش آزمایش

در ابتدا نانولوله‌های کربنی (قطر ۱۰–۲۰ نانومتر و طول ۲۰–۳۰ میکرومتر) با ۵ گرم از ژل نانو فیبریل سلولز ترکیب شدند. به منظور ایجاد سوسپانسون ، حدود ۸۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. سپس برای ایجاد پراکندگی مناسب یک سورفکتنت آنیونی مورد استفاده قرار گرفت که وزن آن درحدود ۰/۰۵ گرم اندازه گیری شد. برای پراکندگی اولیه، سوسپانسون ایجاد شده به مدت ۱۰ دقیقه بر روی همزن مغناطیسی و با دمای صفحه ۸۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. سپس به مدت ۶۰ دقیقه درون حمام فراصوت (سونیک) قرار داده شد. سوسپانسیون حاصل از این مرحله بر روی کاغذ صافی توسط پمپ خلا فیلتر شد. کیک حاصل از این مرحله به مدت ۱۸ ساعت در دمای اتاق قرار داده شد و سپس از روی کاغذ صافی جدا شد. در نتیجه یک فیلم نازک با ضخامت در حدود ۰/۲۳ میلی متر بدست آمد. تصویر نمونه های ساخته شده در شکل ۱ آمده است.

شکل ۱: شماتیکی از نمونه های ساخته شده

برای بررسی تاثیر میزان نانولوله‌های کربنی بر خواص مکانیکی و هدایت اکتریکی فیلم نازک، سه نمونه با درصدهای مختلفی از نانولوله های کربنی آماده شد که به ترتیب ۵ درصد، ۱۰ درصد و ۱۵ درصد وزنی کل نمونه را تشکیل می دادند.

www.SID.ir

Archive of SID

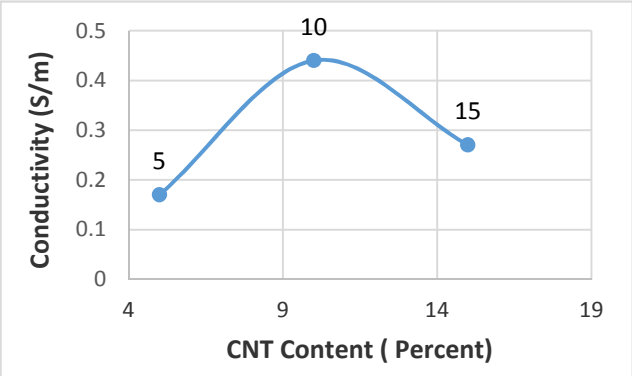
۳. آنالیزها

برای بررسی نمونه های فوق، آنالیز رسانایی الکتریکی فرپراب و آنالیز کششی مکانیکی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای بررسی بیشتر از آنالیز میکروسوپ الکترونی عبوری نیز استفاده شد.

٤. نتایج و بحث

٤.١. رسانایی الکتریکی

شکل ۲ تصویر نمودار مربوط به آنالیز رسانایی با درصدهای مختلف نانولوله‌های کربنی را نشان می‌دهد.

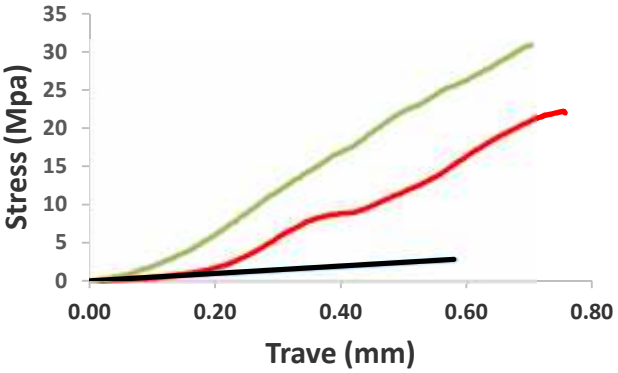


شکل ۲) مقایسه رسانایی نمونه هایی با درصدهای مختلف نانولوله

همانطور که در شکل ۲ مشخص است، با افزایش درصد نانولوله های کربنی از ۵ درصد به ۱۰ درصد، میزان رسانایی نیز از S/m17/0 به S/m 44/0 تغییر پیدا میکند. اما با افزایش درصد وزنی نانولوله‌های کربنی از ۱۰ درصد به۱۵ درصد، میزان رسانایی کاهش پیدا می‌کند. افزایش رسانایی نانولوله های کربنی را با افزایش درصد وزنی از ۵ درصد به ۱۰ درصد را میتوان به تشکیل شبکه یکنواخت و همگن تری نسبت داد. زیرا هدایت الکتریکی در این فیلم نازک وابستگی شدیدی به توزیع یکنواخت و عدم تجمع نانولوله های کربنی دارد. همانطور که مشاهده می‌شود، این تجمع در درصد وزنی‌های بالاتر اتفاق افتاده است و با افزایش درصد وزنی نانوله، میزان هدایت الکترکی نیز کاهش می یابد. دلیل این کاهش را میتوان به عدم پراکندگی مناسب نانولوله‌های کربنی در شبکه فیلم نازک ارتباط داد، زیرا با تجمع بیش از حد نانولوله‌های کربنی در یک یک نقطه، چگالی ارتباط بین نانولوله ها از بین میرود و حتی ممکن است در **نقاطی عدم رسانایی الکتریکی را نیز به وجود آورد. تصاویر مکروسکوپ نوری جزئیات بیشتری را نمایش می دهد.**

٤.٢. ÄÂÑÌÄÇ Ɔ cĉâ

کشش مکانیکی نمونه ها توسط دستگاه GTEl-7500 مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمایش فوق در نمودار ۳ آورده شده است.



شکل ۳) مقایسه کشش نمونه ها با درصد مختلف نانولوله

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش درصد نانولوله‌های کربنی، میزان مقاومت مکانیکی افزایش می یابد. در نمودار مربوط به ۵ درصو وزنی مشخص است که یک شبکه یکنواخت تولید نشده است و بنابر این میزان تنش و کشش آن بسیار پایین است. اما در نمودار مربوط به ۱۰ درصد با یک رشد چشمگیر روبه رو هستیم که همانند رسانایی می‌تواند به تشکیل یک شبکه همگن و پراکندگی مناسب و یکنواخت نانولوله‌های کربنی با نانوسلولز اشاره

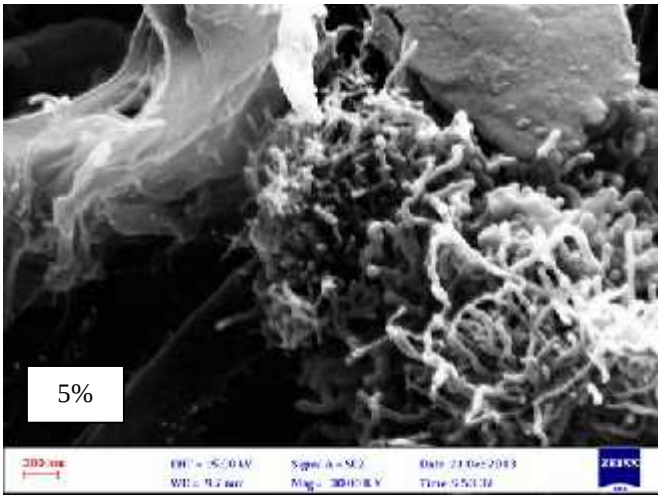
www.SID.ir

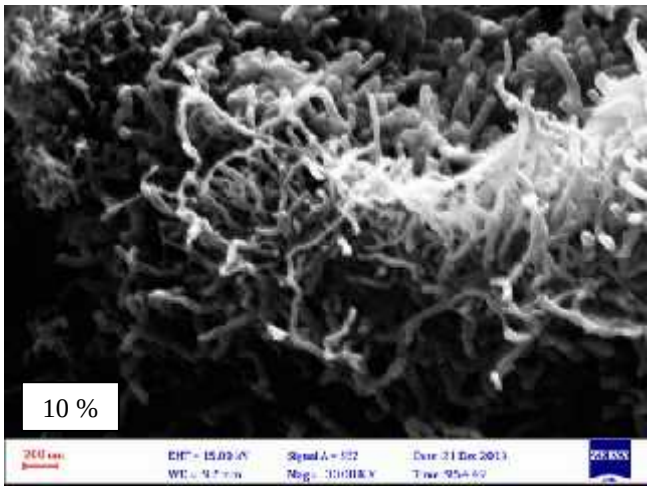
Archive of SID

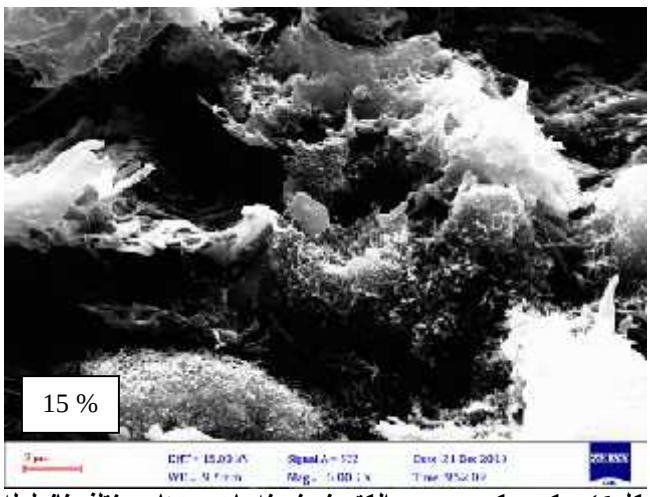
کرد. اما با افزایش میزان نانولوله‌های کربنی از ۱۰ درصد به ۱۵ درصد، همچنان در مقدار تنش نمونه ها بر خلاف هدایت الکتریکی، افزایش دیده می‌شود، ولب تا حدودی میزان کشش کاهش یافته است. یک از دلایلی که میتوان برای این افزایش تنش و کاهش کشش آورد، وجود بیشتر نانولوله‌های کربنی است. از آنجا که نانولوله‌های کربنی خود دارای مقاومت مکانیکی بسیار زیاد هستند، وجود بیشتر این ماده در این نمونه می‌تواند سبب افزایش تنش مکانیکی بیشتر شود. کاهش در میزان کشش مکانیکی را شاید بتوان به عدم تشکیل شبکه مناسب بین نانولوله های کربنی و نانوسلولز نسبت داد.

٤.٣. میکروسکوپ الکترونی عبوری

شکل ۴ عکسهای میکروسکوپ نوری الکترونی نمونه های مختلف را نشان می‌دهد.







شکل ٤) میکروسکوپ عبوری الکترونی نمونه با درصدهای مختلف نانولوله

www.SID.ir

Archive of SID

همانطور که در شکل ۴ مشخص است، در نمونه ۵ درصد تجمع نانولوله‌ها و عدم پراکندگی این ماده در نانوسلولز بیش از دیگر نمونه‌ها می باشد. این در حالیست که در نمونه ۱۵ درصد میزان این عدم پراکندگی کاهش یافته است. بر خلاف این دو نمونه، در نمونه ۱۰ درصد، نانولوله‌ها به میزان رضایت بخشی در نانوسلولز پراکنده شده‌اند. از طرفی پراکندگی مناسب این دو ماده در یکدیگر سبب بهبود خواص فیلم نازک می شود. از این رو بهبود خواص رسانایی و مکانیکی در نمونه ۱۰ درصد را می توان به پراکندگی مناسب این نمونه نسبت داد.

۵. نتیجه‌گیری

همانطور که نتایج آنالیزها نشان داد افزایش درصد نانولوله تا یک مقدار بهینه سبب افزایش رسانایی الکتریکی و افزایش خواص مکانیکی می‌شود. درصد نانولوله به عنوان یکی از پارامترهای مهم در کیفیت فیلم نهایی مطرح است. علاوه بر این، با تغییر و بررسی تاثیر درصد نانوسلولز و همچنین شرایط عملیاتی در نهایت می‌توان به کیفیت مناب‌تری از نانوفیلم سلولزی دست یافت.

منابع

[1] E. Hammel, X. Tang, M. Trampert, T. Schmitt, K. Mauthner, A. Eder, and P. Potschke, “Carbon nanofibers for composite applications”, Carbon, 42, 1153-1158, 2004.

[2] M. M. J. Treacy, T.W. Ebbesen, T.M. Gibson. “Exceptionally high Young's modulus observed for individual nanotubes", Nature, 381, 678 ,1996.

[3] S. Iijima, T. Icihashi, “Single-Shell Carbon Nanotubes of 1-nm Diameter”, Nature,1993.

[4] E. Dujardin, T. W. Webbesen, A. Krishan, P. N. Yianilos, M. M. J. Trecy,“Young’s Modulus of Single-Walled Nanotubes”, Physical Review B, 58, 14013,1998.

[5] Susheel Kalial B. S. Kaithl Inderjeet Kaur, “Cellulose Fibers Bio- and Nano-Polymer Composites”,2011.

[6] Yoon SH. et al. Electrically Conductive Bacterial Cellulose by Incorporation of Carbon Nanotubes. Biomacromolecules 2006.

[7] Aneli JN, Zaikov GE, Khananashvili LM, Effects of mechanical deformations on the structurization and electric conductivity of electric conducting polymer. composites. J. Appl Polym. Sci., 1999.

[8] Zhang XW et al. Time dependence of piezoresistance for the conductor-filled polymer composites. J. Polym. Sci. Part B: Polymer Physics, 2000.

[9] Klemm, D., Krame, F., Moritz, S., Lindstrom, T., Ankerfors, M., Gray, D., Dorris, A. " A New Family OF Nature-Based Materials " Angewandte Chemie, Vol.50, pp.5438-5466,2011.

[10] Turbek, A.F., Snyder, F.W., Sandberg, K.R. "Microfibrillated cellulose, a new cellulose product: Properties, uses and commercial potential", Applied Polymer Symposia, Vol.37, pp.815-827, 2010.

[11] Eichhon, "Current Internatinal Research into Cellulose Nanofibers and Nanocomposites", Journal Material Science", Vol.45, pp.1-33, 2010.

www.SID.ir