

تأثیر فرایند اختلاط مواد بر ویژگی‌های مقاومتی چندسازه الیاف سلولزی - پلی پروپیلن حاوی نانورس

سینا خداپرست^۱، احمد جهان لیبیاری^{۲*} و مهران روح نیا^۳

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران

۲* - استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران، پست الکترونیک: latibari.aj@gmail.com

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۹۶

چکیده

در این تحقیق تأثیر فرایند اختلاط به دو روش یک مرحله‌ای و دومرحله‌ای بر روی ویژگی‌های ترکیب به‌دست‌آمده انجام شد. از پلی پروپیلن به‌عنوان ماده زمینه‌ای، الیاف سلولزی تقویت‌کننده، MAPP جفت‌کننده و نانورس پرکننده استفاده شده است. متغیرها شامل ۱/۵ و ۳ درصد MAPP و ۰، ۲ و ۴ درصد نانورس به‌عنوان متغیر و الیاف سلولزی به میزان ۲۰٪ به‌طور ثابت انتخاب شده است. شاخص جریان مذاب اختلاط یک مرحله‌ای (تمامی مواد باهم مخلوط و ترکیب شدند) و دومرحله‌ای (ابتدا پلی پروپیلن با نانورس مخلوط شده و بعد ماده به‌دست‌آمده با الیاف و MAPP ترکیب شدند) اندازه‌گیری شد. نمونه‌های آزمون‌های اندازه‌گیری مقاومت به کشش، خمش و ضربه فاقد طبق آیین‌نامه ASTM تهیه و مقاومت‌ها اندازه‌گیری شدند. در این تحقیق مشخص شد که روش دومرحله‌ای بر ویژگی‌های مقاومتی تأثیر دارد و باعث افزایش خواص مکانیکی می‌شود. شاخص جریان مذاب در یک مرحله‌ای بسیار کم و در دومرحله‌ای پس از مرحله اول بسیار زیاد و پس از مرحله دوم کم است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش مقدار نانورس مدول کششی و خمشی چندسازه الیاف سلولزی پلی پروپیلن افزایش و با افزایش مقدار نانورس مقاومت کششی و خمشی چندسازه الیاف سلولزی پلی پروپیلن افزایش داشته است.

واژه‌های کلیدی: شاخص جریان مذاب، روش اختلاط، یک مرحله‌ای، دومرحله‌ای، MAPP، نانورس

مقدمه

ماده زمینه و مواد لیگنوسلولزی و تعیین خواص چندسازه تأثیر بسزایی دارد. از این‌رو انتخاب مناسب عوامل جفت‌کننده برای بهبود برهم‌کنش و چسبندگی بین الیاف و ماده زمینه ضروریست. پلیمرها نقش اصلی فاز زمینه و نگه‌دارنده الیاف و دیگر مواد لیگنوسلولزی و همچنین انتقال تنش را به عهده‌دارند. علاوه بر ماده زمینه، در چندسازه‌های چوب پلاستیک از دامنه وسیعی از پرکننده‌ها و تقویت‌کننده‌ها سلولزی استفاده می‌شود. این

در کاربردهای مهندسی، از آنجاکه نمی‌توان ماده‌ای با خواص موردنظر و جامع مهندسی پیدا کرد، بنابراین راه‌حل استفاده از چندسازه‌ها موردتوجه قرار گرفته است. در حقیقت چندسازه‌ها موادی هستند که خواص آنها توافق مناسبی از ویژگی‌های اجزا تشکیل‌دهنده آن دارد. ویژگی‌های اجزاء تشکیل‌دهنده و درصد اختلاط در چندسازه‌های الیاف طبیعی - پلیمر، در چسبندگی بین

Nourbakhsh (۲۰۱۱) برای بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک، از چند ماده لیگنوسلولزی (باگاس، ساقه برنج، گندم، چوب صنوبر) به عنوان تقویت‌کننده استفاده کرده و اثر نانورس در چندسازه پلی‌پروپیلن / چوب را بررسی کرد. البته مقدار نانورس در سه سطح (۰، ۳ و ۶ درصد وزنی) متغیر بوده است. نتایج نشان داد که استفاده از باگاس و پودر چوب صنوبر سبب افزایش ویژگی‌های مقاومتی نسبت به ساقه گندم و برنج می‌گردد. با بررسی اثر میزان مصرف ذرات نانورس مشخص گردید که در حالت استفاده از ۳ درصد ذرات نانورس ویژگی‌های مقاومتی چندسازه به حداکثر رسیده است.

Faruk و Matuana (۲۰۰۸) در بررسی شناسایی بهترین روش افزودن نانورس به چندسازه چوب پلاستیک به منظور افزایش خواص مکانیکی، با دو روش نانورس را با پلی‌اتیلن سنگین مخلوط کرده و بعد از آن در ساخت مواد مرکب چوب پلاستیک استفاده کرده‌اند. طبق نتایج به دست آمده، بهترین روش برای نشان دادن ماتریس، استفاده از ترکیب مذاب در مواد مرکب چوب پلاستیک می‌باشد. نتایج تجربی نشان داد که خواص مکانیکی چندسازه آرد چوب با پلی‌اتیلن سنگین می‌تواند به طور قابل توجهی با مقدار مناسبی از عامل جفت و نوع نانورس در ترکیب بهبود یابد.

Ashori و Nourbakhsh (۲۰۱۰) در ارزیابی اثر عامل جفت‌کننده و افزودن نانورس بر خواص مکانیکی و جذب آب چندسازه، نمونه‌هایی از پلی‌پروپیلن، آرد چوب، نانورس و MAPP ساخته‌اند. تجزیه و تحلیل مکانیکی نشان داد که بهبود ویژگی‌های کششی و خمشی می‌تواند با افزودن ۳ درصد نانورس ایجاد شود. ولی افزایش بیشتر نانورس منجر به کاهش تمام ویژگی‌های مکانیکی می‌گردد.

Wolcott (۲۰۰۳) در تحقیق خود به مطالعه اثر فرمولاسیون ماتریس پلیمری بر خواص مکانیکی چندسازه ساخته شده پرداخته است. میزان شاخص جریان مذاب HDPE را برای پی بردن به اثر آن بر رفتار خمشی ورقه‌های چندسازه حاصل از عملیات پرس گرم مورد تجزیه قرار داد و نشان داد که شاخص جریان مذاب کاهش یافته و مقاومت و مدول خمشی بهبود

پرکننده‌ها و تقویت‌کننده‌ها که به عنوان پرکننده‌های آلی شناخته می‌شوند می‌توانند بین ۱۰ تا ۸۰ درصد از کل وزن چندسازه را تشکیل دهند. در این زمینه مواد لیگنوسلولزی مانند الیاف و پودر چوب به عنوان ماده تقویت‌کننده پلاستیک‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند.

امروزه با ورود فناوری نانو، عرصه پلیمرهای تقویت‌شده با فاز نانو مورد توجه علمی و صنعتی قرار گرفته‌اند. همچنین زمینه جدیدی در پژوهش‌ها در مقیاس حد واسط مطالعات در مقیاس‌های مولکولی و میکرونی گشوده شده، از این رو شناخت رفتار و برهم‌کنش مواد در محدوده نانو در زمره اولویت‌های پژوهش قرار گرفته است. Moderramati و همکاران (2012a) تأثیر افزودن نانورس بر ویژگی‌های مقاومتی چندسازه پلی‌اتیلن سنگین / گندم را بررسی کردند. چندسازه‌ها از ترکیب ۷۳ پلی‌اتیلن سنگین، ۲۵ گندم و ۲ پلی‌اتیلن مالییک‌دار شده و علاوه بر آن ۱، ۲ و ۳ نانورس ساخته شدند. نتایج نشان داد که در اثر افزودن نانورس به ترکیب چندسازه مقاومت کششی، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته خمشی و مدول الاستیسیته کششی افزایش یافت. ولی مقاومت به ضربه فاقدار با افزودن نانورس کاهش پیدا کرد.

Moderramati و همکاران (b) در بررسی دیگری، تأثیر افزودن نانورس بر ویژگی‌های چندسازه پلی‌اتیلن / الیاف کارتن کنگره‌ای را بررسی کرده‌اند. از ترکیب ۶۷ پلی‌پروپیلن، ۳۰ الیاف کارتن کنگره‌ای کهنه و ۳ پلی‌اتیلن مالییک‌دار شده و افزودن مقادیر ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد نانورس به این ترکیب، چندسازه ساخته شد. اثر افزودن نانورس بر مقاومت خمشی و مدول کششی در سطح آماری ۹۹ و اثر این ماده بر مقاومت کششی در سطح آماری ۹۵ معنی‌دار شد. ولی در اثر افزودن نانورس بر مدول الاستیسیته خمشی، مقاومت به ضربه معنی‌دار نشد. در اثر افزودن نانورس جذب آب نمونه‌های چندسازه پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب کاهش یافت.

Olewnik و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه خود به ارزیابی تخریب حرارتی پلی‌الفین‌ها (پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن) پرداختند. نانو چندسازه‌های پلی‌الفین با نانو رس به روش مذاب تهیه و مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. تغییرات در سطح مونت‌موریلونیت و پراکندگی آن در ماتریس پلیمری با استفاده از پراش اشعه ایکس و پایداری حرارتی نانو چندسازه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج XRD نشان می‌دهد که لایه‌برداری تقریباً کامل از لایه‌های سیلیکات انجام شد و ساختار چندسازه برای مواد جدید مشخص گردید. پایداری حرارتی PE و PP و نانو چندسازه‌های با نانورس در اثر افزودن مقادیر زیادتر از ۵ درصد وزنی بهبود یافته است.

در این بررسی ویژگی‌های چندسازه الیاف سلولزی-پلی‌پروپیلن-نانورس که با دو روش اختلاط یک مرحله‌ای و دومرحله‌ای تولید شده مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در یک مرحله‌ای یا شیوه خشک^۱ (مستقیم) تمام اجزا و مواد چندسازه به‌طور همزمان مخلوط می‌گردد. دومرحله‌ای یا شیوه مذاب^۲ که در آن ابتدا اختلاط نانورس در ماتریس پلی‌پروپیلن انجام شده و پس از آن ماده تقویت‌کننده به ماده ترکیبی پلی‌پروپیلن-نانورس افزوده می‌شود.

مواد و روش‌ها

مواد:

پلی‌پروپیلن: پلی‌پروپیلن مورد استفاده درجه V30S، با شاخص جریان مذاب ۱۶ gr/۱۰min، مدول خمشی ۱۵۵۰ MPa، مقاومت به کشش ۳۳ MPa و چگالی ۰/۹ gr/cm^۳ تولید مجتمع پلیمر و پتروشیمی نارون بود.

الیاف سلولزی: ماده سلولزی مورد استفاده از الیاف کوتاه اکالیپتوس فاقد لیگنین تهیه شده است.

جفت‌کننده شیمیایی: جفت‌کننده شیمیایی پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار (MAPP) از شرکت Sigma-Aldrich و با مشخصات Mn=3900(GPC); Mw=9100(GPC)، گرانروی بروکفیلد در ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد، ۴ پوآز، نقطه

یافته است. همچنین با افزایش مقدار HDPE جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت کاهش یافت.

Chowdhury و همکاران (۲۰۰۶) به این نتیجه رسیدند که زیاده‌ترین مقدار مقاومت خمشی چندسازه‌های پلیمری تقویت‌شده با ذرات نانورس به هنگام استفاده ۲ نانورس حاصل گردید. نتایج تحلیل دینامیکی - مکانیکی نشان‌دهنده بهبود خواص مکانیکی - گرمایی چندسازه‌ها تحت تأثیر نانورس می‌باشد. همچنین به هنگام اضافه کردن ذرات نانورس به مقدار ۲ دمای انتقال شیشه‌ای چندسازه به میزان ۹ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است.

Danesh و همکاران (۲۰۱۲) توان استفاده از ضایعات پلی‌پروپیلن و ضایعات الیاف روزنامه را برای ساخت نانو چندسازه چوب پلاستیک بررسی کرده‌اند. بدین‌منظور چندسازه‌هایی با استفاده از ۳۰٪ و ۱۰٪ درصد وزنی ضایعات الیاف کاغذ روزنامه و نانورس در دو سطح ۲/۵٪ و ۵٪ ساخته شده و اثر نانورس بر روی خواص مکانیکی و حرارتی آن مورد مطالعه قرار گرفته است. البته بهبودی در خواص کششی چندسازه با افزودن نانورس بیشتر شده است. به‌طوری‌که دمای تخریب حرارتی پس از افزودن نانورس به مقادیر بالاتر منتقل شده است. نتایج نشان داد که مواد ضایعاتی را می‌توان جایگزین مناسبی برای مواد خام در تولید چوب پلاستیک با هزینه کمتر کرد.

Nourbakhsh و همکاران (۲۰۱۰) توان استفاده از پلی‌پروپیلن ضایعاتی و ضایعات چوب برای ساخت چندسازه چوب پلاستیک و اثر نانورس و عامل جفت‌کننده مالئیک انیدرید پلی‌پروپیلن بر خواص مکانیکی و حرارتی آن را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج آنان نشان داد که خواص مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده با نانورس به‌طور قابل‌توجهی بهتر شده است. علاوه بر آن خواص مکانیکی و حرارتی چندسازه در اثر افزودن MAPP و نانورس بهبود یافته است. تجزیه و تحلیل حرارتی نشان داد که افزودن ۵ درصد وزنی MAPP و ۳ درصد وزنی نانورس نسبت به PP خالص افزایش پایداری قابل‌توجهی از ترکیب را نشان می‌دهد.

انیدریدمالئیک و نانورس به مقدار مورد نیاز و یکجا به آن تزریق شد. پس از حدود ۱۰ دقیقه ماده خارج شده از دستگاه خنک و سخت شده و به صورت صفحه‌ای نامنظم تبدیل گردید. این ماده پس از سرد شدن توسط دستگاه خردکننده نیمه‌صنعتی شرکت Wieser ساخت کشور آلمان، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران به گرانول تبدیل شد. برای ساخت نمونه‌های مورد نیاز اندازه‌گیری مقاومت‌ها، گرانول‌ها به دستگاه قالب تزریقی ساخت شرکت ایمن ماشین واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران انتقال داده شد. دمای سیلندر تزریق ۱۶۰، ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، فشار تزریق ۸۵ bar و سرعت بارگیری ۴۵ rpm تنظیم گردید. از این قالب‌ها نمونه‌های دمبلی شکل (برای آزمون کشش)، ساده (آزمون خمش) و شکافدار (برای ضربه) به دست می‌آید.

در ساخت نمونه‌های دومرحله‌ای، در مرحله اول پلی‌پروپیلن و نانورس به مقدار از بیش تعیین شده به دستگاه اضافه شده است. پس از حدود ۱۰ دقیقه ماده‌ای از دستگاه خارج شده و پس از خنک و سخت شدن، به صورت صفحه‌ای نامنظم به دست می‌آید. سپس به وسیله دستگاه خردکن به گرانول تبدیل شده است. در مرحله دوم، گرانول به دست آمده را با الیاف سلولزی و MAPP مخلوط کرده و برای اختلاط دوباره مواد از دستگاه اکسترودر دومارپیچه ناهمسوگرد Collin مدل ZK50 ساخت آلمان، در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران استفاده شد.

تعیین شاخص جریان مذاب:

در فرایند دومرحله‌ای، شاخص جریان مذاب گرانول پس از مرحله اول (ترکیب پلی‌پروپیلن- نانورس) و مرحله دوم (ترکیب نهایی) به طور جداگانه اندازه‌گیری شده است. ولی در فرایند یک مرحله‌ای شاخص جریان مذاب ترکیب نهایی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری شاخص جریان مذاب از دمای ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد و وزنه ۲۱/۶ کیلوگرم استفاده شده است. شاخص جریان مذاب مواد به صورت

ذوب ۱۵۶ درجه سانتی‌گراد و دانسیته سیال ۰/۹۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود.

پرکننده: نانورس با کد ۱۵A+ Closite ساخت شرکت ساترن_ کلی ایالات متحده آمریکا بود. این نانورس یک مونت‌مریلونیت طبیعی است که کمتر از ۱۰ درصد ذرات آن قطری بیش از ۱۳μm دارد.

متغیرهای مورد بررسی:

در این تحقیق شرایط تزریق، سرعت، پروفیل دمای اکسترودر و ماده لیگنوسلولزی (۲۰٪ الیاف سلولزی) ثابت در نظر گرفته شد و روش اختلاط، نانورس (۴٪، ۲٪ و ۰٪)، ماتریس پلی‌پروپیلن (۷۸/۵٪ و ۷۷٪) و سازگارکننده پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار (۵٪/۱ و ۳٪) به عنوان متغیر بررسی شد.

آماده‌سازی الیاف سلولزی:

ابتدا الیاف اکالیپتوس خشک شده به مدت ۲۴ ساعت در آب خیس شده و بعد در آب پراکنده شدند. برای به دست آوردن الیافی با اندازه یکنواخت و حذف اثر اندازه الیاف روی خصوصیات چندسازه، از الیاف عبور کرده از الک ۳۰ مش و باقی‌مانده روی الک ۶۰ مش به عنوان ماده الیافی استفاده شد. الیاف در دمای $2 \pm 85^{\circ}\text{C}$ و به مدت ۲۴ ساعت تا رطوبت دو درصد خشک شدند. پس از آن برای جلوگیری از جذب رطوبت توسط الیاف سلولزی، سرکیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شدند.

ساخت نمونه‌های آزمونی:

در ساخت یک مرحله‌ای، برای اختلاط مواد از دستگاه اکسترودر دومارپیچه ناهمسوگرد Collin مدل ZK50 ساخت آلمان در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران استفاده شد. از دمای اختلاط ۱۶۰ تا ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، سرعت اختلاط ۶۰ rpm و زمان مخلوط‌سازی ۱۰ دقیقه استفاده شده است.

دستگاه تا دمای مورد نظر گرم شده و بعد پلی‌پروپیلن، الیاف سلولزی، پلی‌پروپیلن

به منظور تعیین تأثیر عوامل مورد بررسی بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، تجزیه و تحلیل آماری انجام شده و سطح معنی‌داری مشخص شده است (جدول ۱). در صورت معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌ها، گروه‌بندی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) انجام شده و به صورت حروف بر روی هریک از شکل‌ها ارائه شده است.

شاخص جریان مذاب ترکیب‌های یک مرحله‌ای بین حداقل ۱/۳ تا حداکثر ۲/۷۸ گرم در ده دقیقه تعیین شده است. در صورتی که شاخص جریان مذاب دو مرحله‌ای به مراتب زیادتر بوده و در مورد مرحله اول (ترکیب کردن پلی‌پروپیلن و نانورس) بین حداقل ۲۲/۲۶ تا ۲۶/۳۶ گرم در ده دقیقه و برای مرحله دوم (ترکیب کردن ماده مرحله اول با بقیه مواد) بین ۰/۹۶ تا ۱۰/۲۵ گرم در ده دقیقه متغیر بوده است. تأثیر روش اختلاط (یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای) بر شاخص جریان مذاب در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده است (جدول ۱) و میانگین‌ها در دو گروه قرار گرفته‌اند و شاخص جریان مذاب دو مرحله‌ای به مقدار ۲۳/۴۴ گرم در ده دقیقه در یک گروه و زیادتر از شاخص جریان مذاب یک مرحله‌ای به مقدار ۴/۵ گرم در ده دقیقه بوده است.

مقدار پلیمر مذاب عبور کرده (گرم) در مدت ۱۰ دقیقه تعیین شده است. شاخص جریان مذاب توسط دستگاه مدل MI-4 Gottfert آلمان در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران اندازه‌گیری شده است.

اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی چندسازه

آزمون خمشی: دستورالعمل D790 آیین‌نامه ASTM و با سرعت بارگذاری ۵ mm/min
آزمون کششی: دستورالعمل D638 آیین‌نامه ASTM و با سرعت بارگذاری ۵ mm/min
آزمون مقاومت به ضربه: دستورالعمل D256 آیین‌نامه ASTM به صورت فاقدار (ASTM, 2016)

نتایج

نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی و شاخص جریان مذاب (MFI) نمونه‌های نانو چندسازه الیاف سلولزی - پلی‌پروپیلن که با تغییر مقدار ماده جفت‌کننده (MAPP) و مقدار نانورس ساخته شده‌اند در شکل‌های ۱ تا ۶ خلاصه شده است. اندازه‌گیری شاخص جریان مذاب به تفکیک ترکیب کردن یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای انجام شده است. هر یک از مقادیر ویژگی‌های مقاومتی میانگین چهار اندازه‌گیری است.

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر مستقل و متقابل روش اختلاط (A)، مقدار MAPP (B) و مقدار نانورس (C) بر ویژگی‌های نانو

چندسازه الیاف سلولزی - پلی‌پروپیلن (مقدار F و سطح معنی‌داری)

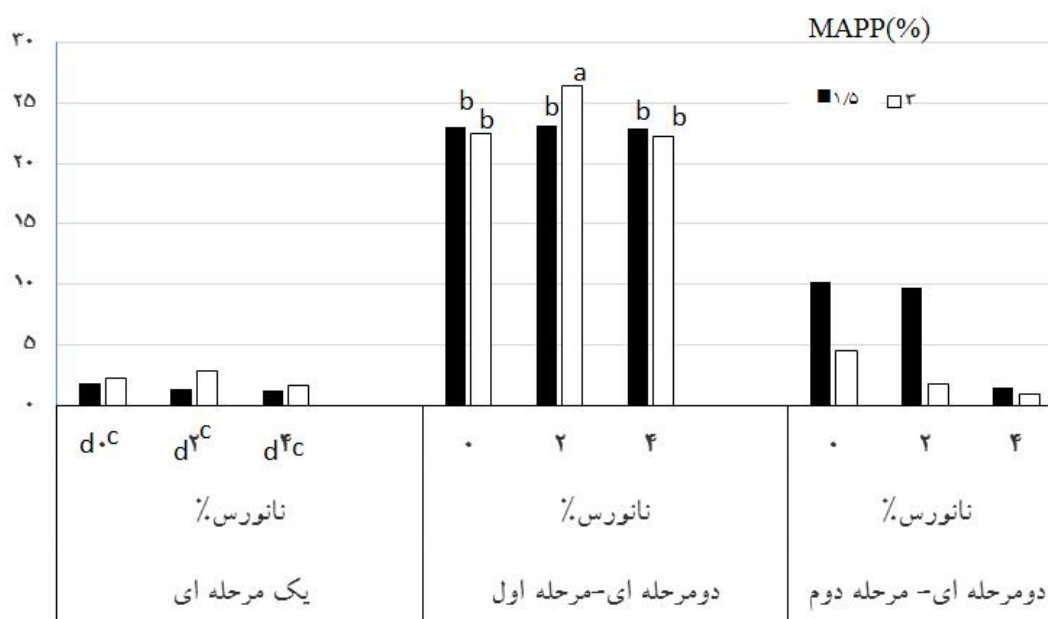
ویژگی	شاخص جریان مذاب	مقاومت خمشی	مدول الاستیسیته	مقاومت به کشش	مدول الاستیسیته	مقاومت به کشش	عامل متغیر
A	۲۹۹۱۴***	۸/۸۱***	۱۰/۴***	۱۱۶/۵***	۰/۷۱	۰/۶۳	
B	۳۵***	۳/۲۴	۳/۴۴	۲/۹۹	۰/۷۵	۰/۹۷	
A*B	۰/۰۶	۱/۶۴	۱/۲۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۴۱	
C	۴۵/۷***	۱/۸۷	۱۰/۶***	۰/۲۳	۲/۸۴***	۲/۳۸	
A*C	۲۳/۹***	۲/۰۱	۰/۲۵	۱۴/۵***	۰/۵۵	۲/۶۵	
B*C	۴۴/۸۸۳***	۰/۷۷	۲/۳۵	۲/۵۸	۰/۰۷	۰/۱۱	
A*B*C	۱۲/۸۸۷***	۰/۰۶	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۰۴	۱/۷۶	

NS: معنی‌دار نمی‌باشد؛ * معنی‌داری در سطح ۹۵٪؛ ** معنی‌داری در سطح ۹۹٪

تأثیر تغییر مقدار MAPP بر شاخص جریان مذاب نیز در سطح ۹۹٪ معنی‌دار شده و میانگین‌ها در دو گروه قرار گرفته‌اند. شاخص جریان مذاب نمونه با ۱/۵ درصد MAPP به مقدار ۱۵/۰۸ گرم در ده دقیقه در یک گروه و مقادیر مربوط به نمونه سه درصد MAPP برابر ۱۳/۰۵ گرم در ده دقیقه در گروه دیگری قرار گرفته‌اند.

تأثیر مقدار نانورس بر شاخص جریان مذاب نمونه چندسازه در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده و میانگین‌ها در دو گروه جداگانه قرار دارند. شاخص جریان مذاب نمونه‌های بدون نانورس و ۲ درصد نانورس در یک گروه و زیادت‌تر از شاخص جریان مذاب نمونه‌های دارای ۴ درصد نانورس می‌باشد.

شاخص جریان مذاب $g/10\ min$



شکل ۱- تأثیر روش اختلاط، مقدار نانورس و مقدار MAPP بر شاخص جریان مذاب نانو چندسازه

تأثیر متقابل دو عامل MAPP و نانورس نیز معنی‌دار بوده و میانگین‌ها در دو گروه قرار گرفته‌اند. شاخص جریان مذاب چندسازه حاوی ۳٪ MAPP و ۲٪ نانورس به مقدار ۱۴/۶۲ گرم در ده دقیقه در یک گروه و زیادت‌تر از شاخص جریان مذاب سایر نمونه‌های اندازه‌گیری شده است.

تأثیر متقابل سه عامل مورد بررسی بر شاخص جریان مذاب در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده و میانگین‌ها در پنج گروه مجزا قرار گرفته‌اند (شکل ۱). شاخص جریان مذاب نمونه‌های یک مرحله‌ای خیلی کم

تأثیر متقابل دو عامل روش اختلاط و مقدار نانورس در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده است و میانگین‌ها در سه گروه مجزا قرار گرفته است. شاخص جریان مذاب با روش ترکیب کردن دو مرحله‌ای و ۲٪ نانورس در یک گروه (۲۴/۷۵ گرم در ده دقیقه) و شاخص جریان مذاب نمونه‌های ترکیب دو مرحله‌ای و بدون نانورس (۲۲/۷۱ گرم در ده دقیقه) و ۴٪ نانورس (۲۲/۵۶ گرم در ده دقیقه) در گروه دوم و شاخص جریان مذاب سایر نمونه‌ها در گروه سوم قرار گرفته است.

کشش نمونه‌های دومرحله‌ای همراه با ۴ درصد نانورس (۵۸/۹۶ مگاپاسکال) در گروه دوم و مقاومت به کشش نمونه‌های دومرحله‌ای بدون نانورس (۵۵/۹۲ مگاپاسکال) در گروه سوم قرار گرفته‌اند. مقاومت به کشش نمونه‌های یک مرحله‌ای و بدون نانورس در گروه چهارم و سایر نمونه‌ها در گروه پنجم قرار دارند.

تأثیر سه عامل مورد بررسی بر مقاومت کششی چندسازه معنی‌دار نشده است. همان طوری که در شکل ۲ مشخص است، مقاومت کششی بین حداقل ۵۰/۴ مگا پاسکال تا ۶۰/۳۳ مگا پاسکال متغیر است. با وجودی که تأثیر عوامل مورد بررسی معنی‌دار نبوده است ولی مقاومت کششی چندسازه‌های ساخته‌شده با روش اختلاط دومرحله‌ای زیادتر از نمونه‌های مشابه از یک مرحله‌ایست. به‌علاوه اینکه در اثر زیاد شدن دو عامل MAPP و نانورس در روش اختلاط دومرحله‌ای مقاومت کششی افزایش یافته است (شکل ۲).

تأثیر مستقل مقدار نانورس بر مدول الاستیسیته کششی معنی‌دار شده است (جدول ۲). نتایج اندازه‌گیری مدول الاستیسیته کششی در شکل ۳ ترسیم شده است. در اثر زیاد شدن مقدار هر یک از دو ماده MAPP یا نانورس این ویژگی افزایش یافته است.

نتایج اندازه‌گیری مقاومت خمشی نانو چندسازه در شکل ۴ نشان داده شده است. مقاومت خمشی چندسازه‌های ساخته‌شده با روش اختلاط دومرحله‌ای زیادتر از روش اختلاط یک مرحله‌ای بوده است. مقاومت خمشی چندسازه‌های ساخته‌شده با اختلاط یک مرحله‌ای با مقدار ۸۰/۲۸ مگا پاسکال در یک گروه و مقاومت خمشی چندسازه‌های با روش اختلاط دومرحله‌ای به مقدار ۸۰/۳۳ مگاپاسکال در گروه دیگری قرار گرفته است.

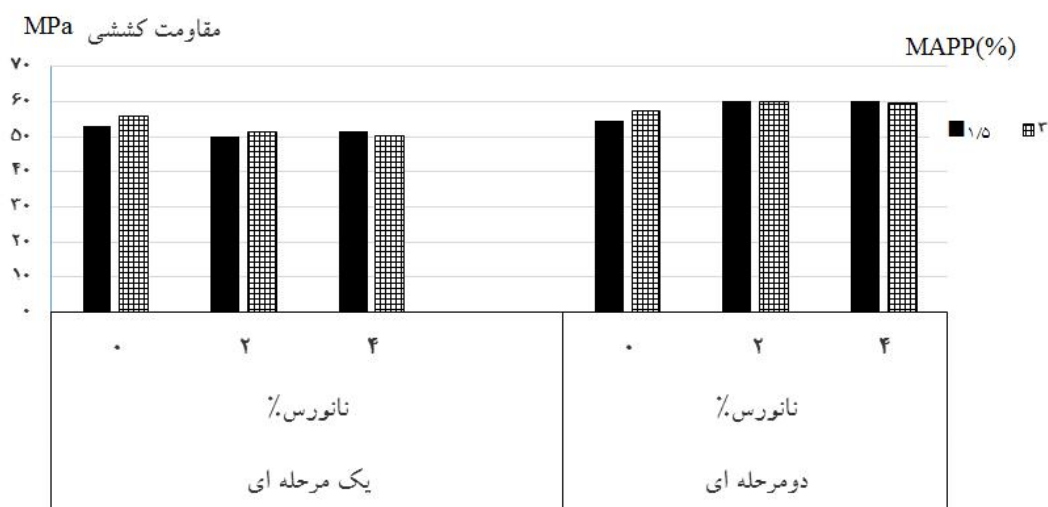
بوده و بین ۱/۳۰ تا ۲/۸۷ گرم در ده دقیقه تغییر کرده است. با زیاد شدن MAPP مقدار این شاخص زیادتر شده است. شاخص جریان مذاب نمونه‌های دومرحله‌ای به‌طور قابل ملاحظه‌ای زیادتر شده است. به‌طوری که در حالت اول اختلاط بین پلی‌پروپیلن و نانورس مقدار شاخص جریان مذاب بین ۲۲/۲۶ تا ۲۶/۳۶ گرم بر ده دقیقه تغییر کرده است. ولی بعد از افزودن الیاف، کاهش یافته و به‌مقدار بین ۰/۹۶ تا ۱۰/۲۵ گرم در ده دقیقه افت کرده است (شکل ۱).

ویژگی‌های مقاومتی

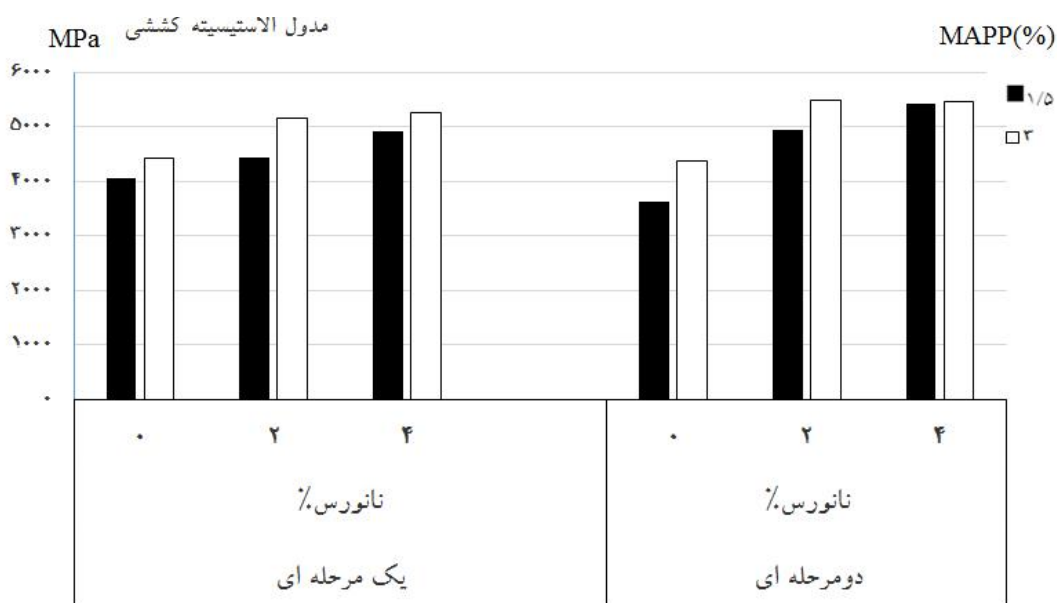
ویژگی‌های مقاومتی نانو چندسازه شامل مقاومت و مدول الاستیسیته کششی، مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی و مقاومت به ضربه فاقد اندازه‌گیری شده است.

تجزیه و تحلیل آماری مقاومت کششی چندسازه نشان داد که تأثیر روش اختلاط و اثر متقابل دو عامل روش اختلاط و مقدار نانورس معنی‌دار شده است (جدول ۱). تأثیر روش اختلاط (یک مرحله‌ای و دومرحله‌ای) بر مقاومت به کشش در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده است و میانگین‌ها در دو گروه مجزا قرار گرفته‌اند. مقاومت به کشش نمونه‌های با روش اختلاط یک مرحله‌ای به مقدار ۵۲/۰۷ مگا پاسکال در یک گروه و مقاومت به کشش نمونه‌های با روش اختلاط دومرحله‌ای با مقدار ۵۸/۳۵ مگا پاسکال در گروه دیگری قرار گرفته است.

تأثیر متقابل دو عامل روش اختلاط و مقدار نانورس در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده است. مقادیر مقاومت کششی چندسازه بین حداقل ۵۰/۶۹ کیلو پاسکال تا ۶۰/۱۹ کیلو پاسکال متغیر بوده و میانگین‌ها در ۵ گروه مجزا قرار گرفته‌اند. زیادترین مقدار مقاومت به کشش در نمونه‌های دومرحله‌ای و با افزودن دو درصد نانورس (۶۰/۱۹ مگاپاسکال) اندازه‌گیری شده است. مقاومت به



شکل ۲- تأثیر مقادیر متفاوت MAPP و نانورس و روش اختلاط بر مقاومت کششی نانو چندسازه



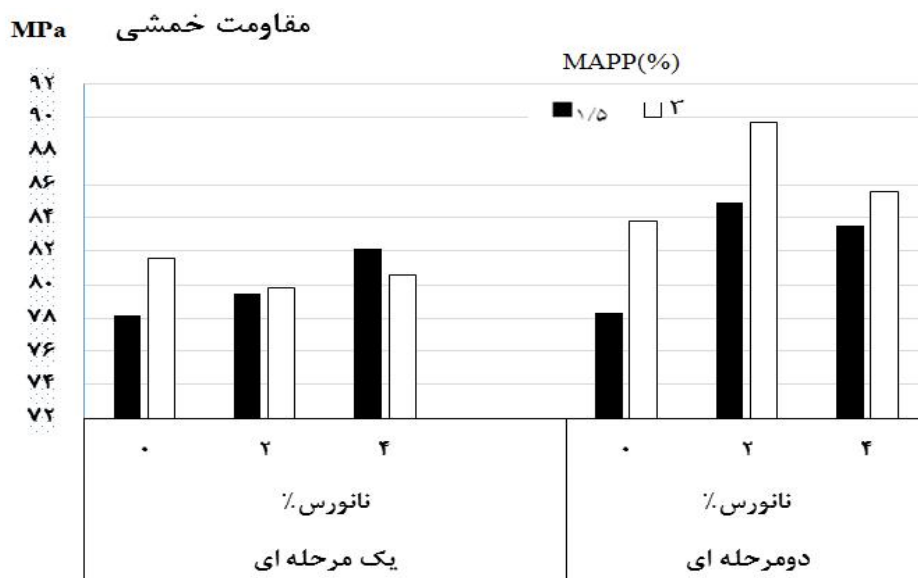
شکل ۳- تأثیر روش اختلاط، مقدار MAPP و نانورس بر مدول الاستیسیته کششی نانو چندسازه

مگاپاسکال) تعیین شده است. همچنین تأثیر روش اختلاط بر مدول الاستیسیته خمشی چندسازه در سطح آماری ۹۹٪ معنی دار شده و میانگین‌ها در دو گروه مجزا قرار گرفته‌اند. مدول الاستیسیته خمشی چندسازه ساخته شده با روش اختلاط یک مرحله‌ای با مقدار ۴۴۲۹/۸ مگا پاسکال در

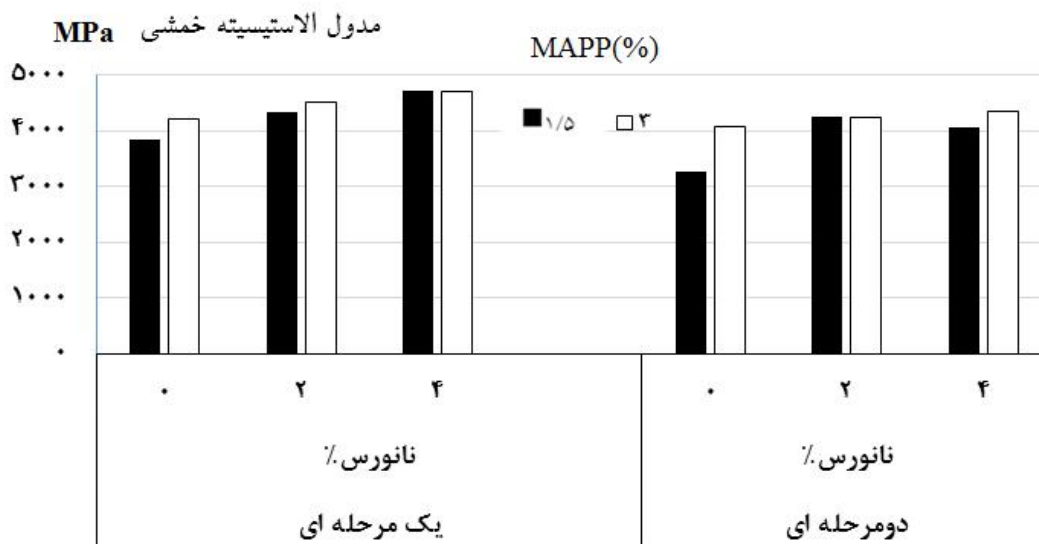
تأثیر مقدار نانورس بر مدول الاستیسیته خمشی در سطح آماری ۹۹٪ معنی دار شده است و میانگین‌ها در دو گروه مجزا قرار گرفته است. مدول الاستیسیته خمشی نمونه‌های با ۲ و ۴ درصد به ترتیب با مقدار ۴۴۰۰ و ۴۴۶۲ مگاپاسکال در یک گروه و زیاده‌تر از نمونه‌های بدون نانورس (۳۸۴۹)

خمشی نانو چندسازه‌ها و تأثیر شرایط مختلف ساخت بر این ویژگی در شکل ۵ ترسیم شده است. در اثر زیاد شدن مقدار MAPP و نانورس این ویژگی افزایش یافته است.

یک گروه و مدول الاستیسیته چندسازه با روش اختلاط دومرحله‌ای به مقدار ۴۰۴۴ مگا پاسکال در گروه دیگر قرار گرفته است (جدول ۱). نتایج اندازه‌گیری مدول الاستیسیته



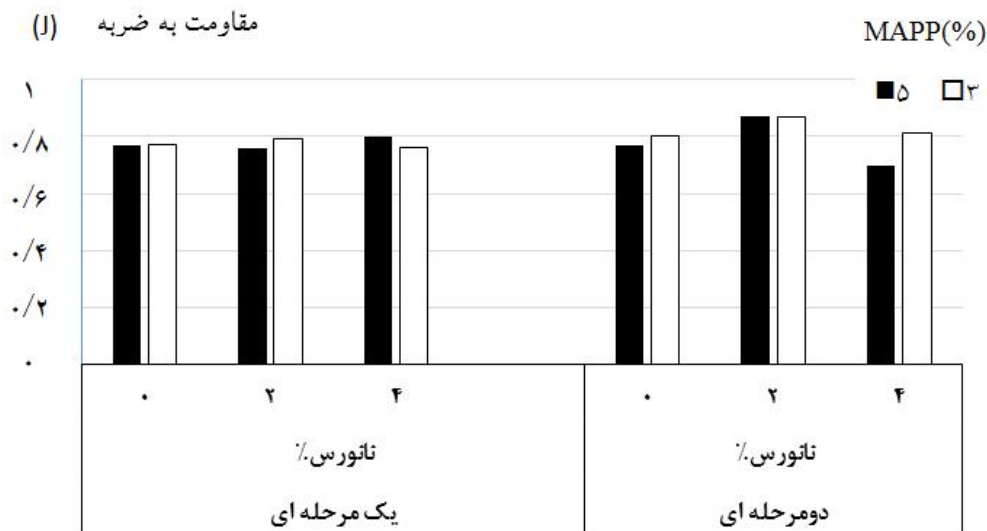
شکل ۴- تأثیر روش اختلاط، مقدار MAPP و نانورس بر مقاومت خمشی نانو چندسازه



شکل ۵- تأثیر روش اختلاط، مقدار MAPP و نانورس بر مدول الاستیسیته خمشی نانو چندسازه

اندازه‌گیری مقاومت به ضربه فاقدار نمونه‌های چندسازه در شکل ۶ نشان داده شده است.

تأثیر عوامل مورد بررسی بر مقاومت به ضربه فاقدار نمونه‌های چندسازه معنی‌دار نشده است (جدول ۱) و نتایج

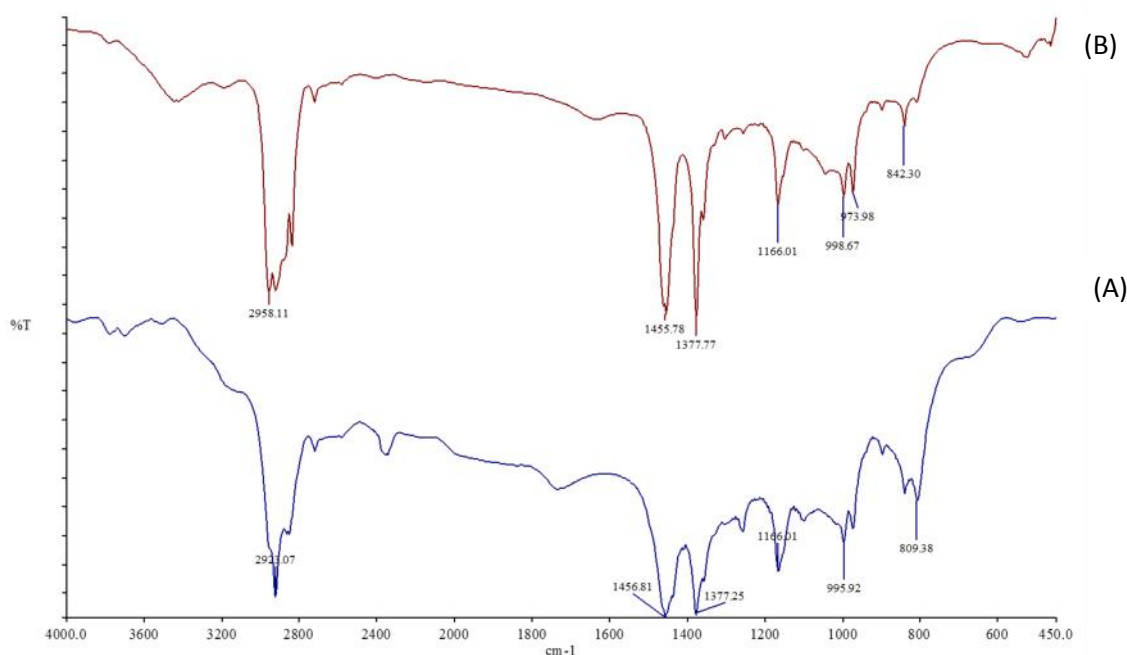


شکل ۶- تأثیر روش اختلاط، مقدار MAPP و نانورس بر مقاومت به ضربه فاقدار نانو چندسازه

بحث

و الیاف سلولزی توسط نانورس، شاخص جریان مذاب ترکیب پلیمر و نانورس و نانو چندسازه پلی پروپیلن - الیاف سلولزی اندازه‌گیری شده است. شاخص جریان مذاب ترکیب نانورس - پلی پروپیلن افزایش چشمگیری داشته است که نشان می‌دهد نه تنها پیوندی بین مولکول‌های پلی پروپیلن توسط نانورس ایجاد نشده بلکه پیوندهای ثانویه‌ای که معمولاً بین زنجیرهای پلیمر وجود دارد نیز کاهش یافته است. با توجه به این یافته و برای اطمینان از عدم تشکیل پیوند بین پلیمر و نانورس، طیف FTIR نمونه پلی پروپیلن خالص و ترکیب پلی پروپیلن - نانورس نیز تهیه شده است (شکل ۷). بررسی طیف‌های تهیه شده نشان می‌دهد که هیچ‌گونه پیوند اضافه‌تر از پلی پروپیلن در ترکیب پلی پروپیلن - نانورس وجود ندارد. از این رو با توجه به شواهد به دست آمده باید عنوان کنیم که هیچ‌گونه پیوند شیمیایی یا ثانویه (واندروالس) بین پلی پروپیلن و نانورس قابل مشاهده نیست.

شاخص جریان مذاب نشان‌دهنده سهولت جریان ماده مذاب یک پلیمر ترموپلاستیکی از یک مجرای مشخص است که به صورت توده پلیمر عبور کرده از مجرای دستگاه اندازه‌گیری تعیین می‌شود. سرعت جریان مذاب مقیاس غیرمستقیمی از وزن مولکولی است. به عبارت دیگر هر چه وزن مولکولی یک پلیمر کوچک‌تر باشد، سرعت جریان مذاب و به تبع آن شاخص جریان مذاب بزرگ‌تر خواهد بود. همچنین شاخص جریان مذاب رابطه عکس با گرانروی مذاب دارد. عوامل دیگری که بر شاخص جریان مذاب تأثیر می‌گذارند شامل پراکنش وزن مولکولی، حضور کوپلیمرها، درجه شاخه‌ای بودن زنجیر پلیمر و درجه کریستالی بودن پلیمر می‌باشند. از این رو هر چه شاخص جریان مذاب یک پلیمر کوچک‌تر باشد مؤید آن است که باید وزن مولکولی پلیمرها بزرگ‌تر بوده و یا اینکه پیوند بین زنجیرهای مولکول زیادتر شده و در نتیجه گرانروی آن زیادتر شده باشد. در این بررسی به منظور شناخت احتمال تشکیل پیوند بین مولکول‌های پلیمر و یا بین مولکول‌های پلی پروپیلن



شکل ۷- طیف FTIR پلی پروپیلن (A) و ترکیب پلی پروپیلن - نانورس (B)

- Danesh, M.A., ZiaeiTabari, H., Hossseinpourpia, R., Nazarnezhad, N. and Shams, M., 2012. Investigation of the morphological and thermal properties of waste newsprint/recycled polypropylene/nanoclay composite. *Bioresources* 7(1), 936-945
- Faruk, O. and Matuana, L., 2008. Nanoclay reinforced HDPE as a matrix for wood-plastic composites, *Composites Science and technology* 68, 2073-2077
- Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y. and Suzuki, S., 2008. Bambo-Fiber filled high density polyethylene composites: effect of coupling treatment and nanoclay *J. Polym Environ* 16:123-130.
- Moderramati, S., Minaei, M. and Jahan Latibari, A., 2012a. The influence of nanoclay on the performance of HDPE/wheat straw powder composite produced by two stage mixing, *Iranian Journal of Wood and Paper Research*, 27(4):635-645.
- Moderramati, S., Jahan Latibari, A., Nurbakhsh, A., Roohnia, M. and Minaei, M., 2012b. The impact of nanoclay on the performance of polypropylene/OCC fibers/nanoclay composite *Iranian Journal of Wood and Paper Research*, 27(2):373-385.
- Nurbakhsh, A., 2012. Comparing four lignocellulosic material in the properties of wood plastic/nanoclay composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Research*, 27(2):235-255.
- Nurbakhsh, A., Ashori, A., Ziaei Tabari, H. and Rezaei, F., 2010. Mechanical and thermo-

بنابراین نظر محققان قبلی که اعلام کرده‌اند در فرایند ساخت نانو چندسازه‌های پلیمر - ماده سلولزی ایجاد پیوند موجب تقویت مقاومت‌ها می‌شود را نمی‌توان قبول کرد. زیرا زیاد شدن بعضی از مقاومت‌ها مخصوصاً مدول الاستیسیته کششی و خمشی ناشی از اثر پرکنندگی نانورس خواهد بود. البته عنوان این نکته نیز اهمیت دارد که حضور ذرات نانورس در بین زنجیرهای پلیمر می‌تواند اصطکاک بین زنجیرها و پرکننده را در حالت جامد افزایش داده و در اثر این پدیده مقاومت به کشش چندسازه افزایش پیدا می‌کند.

منابع مورد استفاده

- Ashori, A. and Nurbakhsh, A., 2010. Preparation and characterization of polypropylene/wood flour/nanoclay composites. *European Journal of wood products* DOI 10.1007/s00107-010-6488-9.
- American Society of Testing and Material, 2014. *ASTM annual book of testing methods*, no. 10. Philadelphia, PA., USA.
- Chowdhury, F.H., Hoosur, M.V. and Jeelani, S., 2006. Studies on the flexural and thermo mechanical properties of woven carbon/nanoclay-epoxy laminate. *Material Science and Engineering A* (421), 298-306.

- polymeric nanocomposites, *Polymer Engineering Science* 41(11), 236-246pp.
- Wolcott, A., 2003. Characterization: fiber composites. *Journal of Cellular plastics*, Vol32, No5:449-460.
- Woochams, R., Shiang, L. and Balatinez, J., 1991. Intensive mixing of wood fibers with thermo plastic for injection molded composites. *Wood Plastic Composites Conference*. madison, Wis., U.S.A.
- Zhang, S.Y., Zhang, Y., Bousmina, M., Sain, M. and Choi, P., 2007. Effects fiber content and coupling agent content on selected properties of polyethylene/Wood fiber composites. *Polymer Engineering and Science* 47(10): 1678-1687.
- mechanical properties of wood-flour/polypropylene blends. *Polym Bull.* 65: 691-700.
- Nourbakhsh, A., Hossienzadeh, A.R., Jahan Latibari, A., Kargarfard, A. and Kokta, B., 2004a. Comparing the effect of lignocellulosic material at different levels of maleic anhydride polypropylene in fiber and wood flour/polypropylene composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Research*, 19(1):49-68.
- Olewnik, E., Garman, K. and Czerwinski, W., 2010. Thermal properties of new composites based on nanoclay polyethylene and polypropylene. *Therm Anal Calorim.* 101: 323- 329
- Wang, H., Zheng, C., Elkovitch, M., Lee, L.J. and Koelling, K.W., 2001. Processing and properties of

The influence of compounding process on the properties of polypropylene-cellulosic fiber nanocomposite containing nanoclay particles

S. Khodaparast¹, A. Jahan Latibari^{2*} and M. Roohnia³

1-M.Sc., Department of Wood Science and Paper Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

2*- Corresponding Author, Professor, Department of Wood Science and Paper Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, email: latibari.aj@gmail.com

3-Associate professor, Department of Wood Science and Paper Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Received: Feb., 2016

Accepted: June., 2017

Abstract

The effect of compounding process applying two methods of one and two step mixing on the properties of nanocomposite is investigated. Nanocomposites were produced using polypropylene, cellulosic fibers, MAPP and nanoclay as reinforcement. 1.5 and 3% MAPP and 0, 2, and 4% nanoclay were used as the variable factor and 20% fibers was used. Melt flow index was measured on compounds produced using one or two steps mixing. Each compound was mixed with fibers and MAPP and then the test specimens were made and tested according to ASTM test procedures. The results revealed that the two steps mixing increased the mechanical properties. The melt flow index of one step mixing was lower and the melt flow index of initial mixing of polypropylene with nanoclay was very high and it was reduced after compounding with fibers and MAPP. The results revealed that at higher dosages of the nanoclay tensile and bending modulus of the composite increased and tensile strength and modulus of rupture decreased.

Keyword: melt flow index, compounding, one step, two steps, MAPP, nanoclay