Archive of SID

بررسی تأثیر استفاده از مالئیک انیدرید و اکسیدکننده در بهبود خواص فرآورده‌های مرکب ساخته‌شده از پلی‌پروپیلن و نانوکریستال‌سلولز

دنیا انصاری موحد[۱]
مهدی جنوبی[۲*]
سید رحمان جعفری پطرودی[۳]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

[۲] دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

[۳] استادیار، گروه مهندسی پالایش زیستی، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

مسئول مکاتبات:
mehdi.jonoobi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۸

چکیده

در این مطالعه، تأثیر استفاده از جفت کننده مالئیک انیدرید و اکسیدکننده در بهبود خواص فرآورده‌های مرکب ساخته‌شده از پلی‌پروپیلن و نانوکریستال‌سلولز بررسی شد. سپس خواص مکانیکی، ریخت‌شناسی و مرفولوژی در این فرآورده‌های مرکب بررسی گردید. مقاومت کششی، با افزایش میزان نانوکریستال‌سلولز افزایش یافت، اما با بالا رفتن درصد مصرف (۵ درصد)، اندکی روند کاهشی پیدا نمود. در اثر افزودن جفت کننده مالئیک انیدرید و اکسیدکننده، خواص مکانیکی فرآورده مرکب برخلاف انتظار کاهش یافت. تحلیل و بررسی زاویه تماس نمونه‌ها نیز، کاهش رفتار ترشوندگی، در اثر افزایش استفاده از نانوکریستال‌سلولز و همچنین مالئیک انیدرید و اکسیدکننده را نشان داد.

واژگان کلیدی: پلی‌پروپیلن، نانوکریستال‌سلولز، مقاومت کششی، جفت کننده مالئیک انیدرید، فرآورده مرکب.

مقدمه

فناوری نانو و تولید مواد در ابعاد نانومتر، موضوع تحقیقاتی جذابی است که در دهه‌های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. فرآورده‌های مرکب نانویی نیز، به‌عنوان یکی از شاخه‌های این فناوری جدید، اهمیت بسیاری یافته‌اند و یکی از زمینه‌های تحقیقاتی فعال به شمار می‌آیند. علاقه به فرآورده‌های مرکب نانویی در سراسر جهان، سبب شده است که بسیاری از مراکز پژوهشی به مطالعه کاربردهای بالقوه این مواد بپردازند. نخستین تلاش‌های موفقیت‌آمیز در تهیه فرآورده‌های مرکب نانویی، به دهه‌های شصت و هفتاد قرن بیستم میلادی برمی‌گردد. در سال‌های اخیر، کاربرد فرآورده‌های مرکب، به‌سرعت در اروپا، آمریکای شمالی و آسیا توسعه‌یافته است. فرآورده‌های مرکب نانویی، گروهی از فرآورده‌های مرکب هستند، که دست‌کم یکی از اجزا تشکیل‌دهنده آن‌ها، حداقل دریکی از ابعادش اندازه‌ای در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر داشته باشد. قابل‌ذکر است که فرآورده‌های مرکب رایج کنونی، دارای پرکننده‌ای در ابعاد ۰/۵ میکرومتر هستند [۱] و [۲]. هنگامی‌که این ذرات با ماتریس بسپاری به برهمکنش می‌پردازند، بسیاری از خواص فیزیکی و مکانیکی در آن‌ها به نحو چشمگیری افزایش می‌یابد. نیاز صنعت به استفاده از مواد بسپاری با خواص مکانیکی بالا سبب استقبال چشمگیر از مواد فرآورده مرکب نانویی بسپاری گشته است. تهیه فرآورده-های مرکب نانویی بسپاری، به دلیل خواص منحصربه‌فردی که نسبت به بسپارها از خود نشان می‌دهند، با استقبال زیادی روبه‌رو شده است. برای تهیه فرآورده‌های مرکب نانویی، از گروه‌های مختلف بسپاری شامل گرماسخت‌ها،

www.SID.ir

Archive of SID

گرمانرم‌ها و مایعات بلوری استفاده می‌شود. شایان‌ذکر است که استفاده از فرآورده‌های مرکب نانویی بسپاری گرمانرم، بیشتر از گروه‌های دیگر موردتوجه قرارگرفته است؛ زیرا این بسپارها به‌صورت فراوان موجود بوده و کار کردن با آن‌ها راحت‌تر است [۳]. مؤثرترین و مناسب‌ترین روش تهیه فرآورده‌های مرکب نانویی، روش برهمکنش مذاب است؛ که می‌تواند در اکسترودر یا مخلوط‌کن تهیه شود. در تولید فرآورده‌های مرکب نانویی به روش مذاب، نحوه توزیع و پراکنش مواد، یکی از مباحث بسیار حائز اهمیت است. اصولاً میزان توزیع به عوامل گسترده‌ای ازجمله دما، مدت‌زمان و سرعت انتقال مواد در اکسترودر بستگی دارد [۴]. ترکیبات اولیهٔ فرآورده‌های مرکب چوب پلاستیکی شامل رزین‌های گرمانرم بوده و معمولاً ۴۰ تا ۷۰ درصد الیاف چوب (در روش اکستروژن) است. افزودن مواد چوبی، مزایای زیادی چون زیست سازگاری و بهبود خواص مکانیکی به محصول نهایی می‌دهد. در سال‌های اخیر، استفاده از مواد چوبی که ویژگی‌های مناسب‌تری دارند، گسترش و افزایش‌یافته است. در تحقیقاتی که در کشورهای مختلف صورت گرفته به استفاده از عناصر مختلف چوبی در ابعاد کمتر، مانند سلولز، میکرو سلولز و نانو سلولز توجه شده است. تقویت‌کننده‌هایی چون نانوکریستال‌سلولز به همراه جفت کننده‌ها، خواص مکانیکی مناسبی بین ماتریس بسپار غیر قطبی و مواد سلولزی قطبی ایجاد می‌کنند [۵]. فرآورده‌های مرکب نانویی بسپاری، توان بالقوه زیادی را در نشان دادن خواص ویژه، نسبت به فرآورده‌های مرکب بسپاری رایج دارا می‌باشند. فرآورده‌های مرکب رایج، برای دست‌یابی به خواص مکانیکی و گرمایی مطلوب، معمولاً به مقدار زیادی فاز پرکننده غیر آلی (۱۰ تا ۵۰ درصد وزنی) نیاز دارند، درحالی‌که فرآورده‌های مرکب نانویی، با ۱ تا ۵ درصد پرکننده، به خواص مشابهی مانند مدول کششی و مدول خزشی بهبودیافته، دست می‌یابند [۶]. پلی‌پروپیلن به علت سختی مناسب، مقاومت بالا در برابر جذب رطوبت، مقاومت شیمیایی، گرمایی و مکانیکی خوب، در دسترس بودن و نفوذناپذیری و بی‌اثر بودن بر مواد غذایی یکی از پرکاربردترین بسپارهای موجود است. علاوه بر این، پلی‌پروپیلن دارای خواصی از قبیل وزن مخصوص کم، سطح مقاوم در برابر خراش و مقاومت ضربه عالی می‌باشد. مجموع این خواص و قیمت مناسب، سبب شده این بسپار در مصارف مختلف فرآیند شکل‌دهی گرمایی مثل صنایع بسته‌بندی، خودروسازی، کشاورزی، دارویی، درپوش بطری‌های نوشیدنی، ظروف یک‌بارمصرف، بطری‌های ادویه و منسوجات استفاده می‌شود [۷]. بااین‌وجود، پلی‌پروپیلن دارای نقاط ضعفی نیز می‌باشد که ازجمله آن‌ها می‌توان به انقباض نسبتاً بالا و مقاومت کششی نسبتاً پایین اشاره کرد. مقاومت کم مذاب پلی‌پروپیلن، سبب خمیدگی بیش‌ازحد ورقه هنگام گرم کردن و نازکی و غیریکنواختی ضخامت در قطعه تولیدی می‌شود. در ضمن تغییر فاز از حالت‌جامد به لاستیکی در زمان گرما دادن این بسپار، بسیار سریع اتفاق می‌افتد [۸] از طرف دیگر، ظرفیت گرمایی پلی‌پروپیلن، بسیار بیشتر از بسپارهای آمورف می‌باشد و گاهی حدود ۲ تا ۲٫۵ برابر سایر بسپارها، نیازمند حرارت می‌باشد؛ تا از دمای محیط به دمای شکل‌دهی گرمایی برسد. این عامل و رسانندگی گرمایی کم پلی‌پروپیلن، شکل‌دهی گرمایی را مشکل ساخته و سبب افزایش زمان فرآیند می‌شود [۹]. استفاده از نانو تقویت‌کننده‌ها، در تولید مواد بسته‌بندی و تهیه فرآورده‌های مرکب نانویی، یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های علم بسپار در بسته‌بندی مواد غذایی محسوب می‌شود. نانو ذرات، موجب افزایش مدت‌زمان ماندگاری مواد غذایی می‌شوند. همچنین بسپار، به‌عنوان تقویت‌کننده خواص فیزیکی و شیمیایی، می‌تواند به‌عنوان یکی از نانو موادی باشد که در تولید بسته‌بندی‌های فرآورده‌های مرکب نانویی فعال، مورداستفاده قرار می‌گیرد. مواد بسته‌بندی، به‌عنوان یک محافظ فیزیکی محصول بوده و با ایجاد شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب منجر به افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی می‌گردد. بسته‌بندی‌های تهیه‌شده از بسپارها، می‌توانند سدی در برابر رطوبت، بخارآب، گازها و مواد محلول باشند و نیز وسیله‌ای برای افزودن طیف گسترده‌ای از افزودنی‌ها مانند ترکیبات ضد قارچی، آنتی‌اکسیدان‌ها، ضد میکروب‌ها، رنگ‌ها و سایر ترکیبات غذایی هستند [۱۰]. بررسی مطالعات اخیر در زمینه پلی‌پروپیلن، نشان‌دهنده افزایش اهمیت استفاده از پرکننده‌های نانومتری و جفت کننده‌های مالئیکی، جهت بهبود خواص

www.SID.ir

Archive of SID

مکانیکی پلی‌پروپیلن می‌باشد. در پژوهشی در ساخت فرآورده‌های مرکب نانویی، از الیاف شیشه به همراه جفت کننده مالئیک انیدرید در ماتریس پلی‌پروپیلن استفاده گردید. خواص مکانیکی فرآورده مرکب، با افزایش درصد PP-g-MAابتدا افزایش و سپس کاهش‌یافته است. با توجه به اینکه بسپار غیر قطبی و الیاف شیشه قطبی است؛ با افزودن سازگار کننده، چسبندگی الیاف به بسپار افزایش و درنتیجه خواص مکانیکی نیز بهبودیافته است، اما با افزایش PP-g-MA، سازگار کننده به‌عنوان عامل مزاحم در زنجیر بسپاری عمل کرده و باعث افت خواص شده است [۱۱] و [۱۲]. گروهی از محققان اعلام نمودند، در ساخت فرآورده مرکبی تشکیل‌شده از پلی‌پروپیلن، ساقه گندم و مالئیک انیدرید، با افزایش میزان الیاف ساقه گندم، به دلیل توده‌ای شدن الیاف و عدم برقراری اتصال مناسب با بسپار، مقاومت کششی کاهش یافت؛ اما افزودن جفت کننده مالئیک انیدرید، تا حدودی این کاهش مقاومت کششی را جبران نمود؛ هرچند همچنان نمونه‌های حاوی مالئیک انیدرید، از نمونه‌های شاهد مقاومت کمتری را از خود نشان دادند [۱۳]. در بررسی دیگری ساخت چوب پلاستیک، با استفاده از پلی‌پروپیلن و آرد باگاس و نانورس انجام گرفت و نتایج نشان داد که با افزودن نانورس تا مقدار وزنی ۳ درصد، مقاومت کششی افزایش می‌یابد، اما با افزایش آن تا ۴ درصد کاهش جزئی در مقاومت کششی مشاهده می‌شود. این محققان نتیجه گرفتند، که با اضافه کردن جفت کنندهٔ مالئیک انیدرید خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازهٔ چوب افزایش می‌یابد [۱۴]. نانو سیلیکا، یکی از در دسترس‌ترین و ارزان‌ترین نانو ذرات می‌باشد که کاربردهای صنعتی بسیاری پیداکرده است. در تحقیقات انجام‌شده درزمینه‌ی فرآورده‌های مرکب نانویی پلی‌پروپیلن/نانوسیلیکا، مشاهده‌شده است که افزودن این ذره به پلی‌پروپیلن، مدول الاستیک را افزایش می‌دهد [۱۵] و [۱۶]؛ اما به دلیل ماهیت غیر قطبی پلی‌پروپیلن و قطبی سیلیکا، چسبندگی خوبی بین این اجزا ایجاد نمی‌شود. درنتیجه کرنش شکست و مقاومت به ضربه، کاهش چشمگیری می‌یابند [۱۷]. ازاین‌رو، استفاده از سازگار کننده‌ها، جهت بهبود چسبندگی بین نانو ذرات و ماتریس بسپاری در این فرآورده‌های مرکب، ضروری به نظر می‌رسد [۴] و [۱۸]. در بین سازگار کننده‌ها، پلی‌پروپیلن جفت شده با مالئیک انیدرید عملکرد مناسبی در سیستم پلی‌پروپیلن/نانو سیلیکا داشته است. گروه‌های مالئیک این ماده می‌توانند با گروهای هیدروکسیل سطح نانو سیلیکا واکنش داده و پیوند کووالانسی برقرار کنند. در سیستم حاوی سازگار کننده، افزایش سیلیکا تا حدود ۶ درصد سبب بهبود اندکی در مقاومت کششی می‌گردد؛ اما در غلظت‌های بالاتر مقاومت کششی را کاهش می‌دهد [۱۸]. افزایش اهمیت توسعه پایدار و مسائل زیست‌محیطی باعث افزایش علاقه صنعت به مواد بر پایه سلولز و سرمایه‌گذاری در این زمینه شده است. علی‌رغم کاربردهای وسیع مواد بر پایه سلولز در صنایع مختلف (ازجمله بسته‌بندی)، چالش‌های اساسی درزمینه فن‌آوری‌های مؤثر تولید این مواد، به‌ویژه در سطح تولید بالا وجود دارد. مرحله تولید این مواد اهمیت اساسی دارد، زیرا در عملکرد نهایی تولید اثر مستقیم دارد. بررسی مطالعات اخیر در زمینه فرآورده‌های مرکب، بررسی بیشتر در زمینه مراحل تولید نانوکامپوزیت‌های بر پایه سلولز را توصیه می‌کند. به دلیل ساختار قطبی نانوکریستال سلولز و غیرقطبی بودن پلی‌پروپیلن، تاکنون روشی جهت برقراری اتصال و برهمکنش شیمیایی این دو ماده در ساخت فرآورده‌های مرکب انجام‌نشده است، مگر در مقیاس و روش‌های آزمایشگاهی، که ازجمله آن‌ها می‌توان به روش‌های جایگزینی حلال و ریخته‌گری حلال اشاره نمود. ازآنجایی‌که روش معمول مورداستفاده در صنعت که توجیه اقتصادی نیز داشته باشد، استفاده از اکسترودر می‌باشد؛ درنتیجه این مطالعه، به دنبال یافتن راهی جهت استفاده از نانوکریستال سلولز و پلی‌پروپیلن با استفاده از اکسترودر بوده است. هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر افزودن جفت کننده مالئیک انیدرید همراه اکسیدکننده و بررسی خواص مکانیکی و رفتار مرفولوژیکی فرآورده‌های مرکب نانویی ساخته‌شده از نانوکریستال‌سلولز و پلی‌پروپیلن است. بر این اساس، تیمارهای متفاوتی شامل درصدهای مختلفی از نانوکریستال‌سلولز و جفت کنندهٔ مالئیک انیدرید و اکسیدکننده به همراه پلی‌پروپیلن استفاده‌شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

برای ساخت فرآورده مرکب موردنظر در این پژوهش، ابتدا محلول‌هایی از ذرات پلی‌پروپیلن در حلال زایلین (در دمای ۱۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) تهیه شد. برای ساختن ترکیبات CNC/PP، نانوکریستال‌سلولز (CNC) در سه غلظت مختلف، ۱ درصد w/v (CNF1)، ۳ درصد w/v (CNF2) و ۵ درصد w/v (CNF3) به محلول پلی‌پروپیلن اضافه شدند و جهت به دست آوردن سوسپانسیونی یکنواخت با همزن قوی به مدت یک ساعت هم زده شدند. سپس برای کمک به خارج نمودن حلال استفاده‌شده، به نسبت ۱:۱ حلال ایزوپروپانول به‌عنوان آنتی حلال به سوسپانسیون فوق اضافه گردید و پس‌ازآن در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت چرخش ۴۰۰۰ بار و به مدت ۵ دقیقه قرار داده شدند. پس از خارج نمودن تیوب‌ها از دستگاه سانتریفیوژ حجم زیادی از حلال با حفظ اتصال بین بسپار و نانوکریستال‌سلولز خارج گردید. برای اطمینان از خارج شدن حلال باقیمانده، سوسپانسیون مدنظر به مدت ۲۴ ساعت زیر دستگاه هود قرار گرفت و در طول شب، درون آون با دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برای برقراری شرایط یکسان در تمامی نمونه‌ها قبل از استفاده از اکسترودر، قرار گرفت. جهت ساخت فرآورده‌های مرکب سایر تیمارها به مراحل فوق، ذرات مالئیک انیدرید و دی‌کیومیل پروکسید با غلظت ۴ درصد w/v نیز اضافه گردید. سپس با استفاده از دستگاه قالب‌گیری تزریقی، نمونه‌ها به شکل مدنظر تهیه گردیدند. عوامل موردمطالعه شامل آنالیز میکروسکوپی، اندازه‌گیری زاویه تماس، اندازه‌گیری مقاومت کششی نمونه‌ها بود. جدول ۱، درصد ترکیب مواد و تیمارهای ساخت نمونه‌های فرآورده مرکب را نشان می‌دهد.

جدول ۱- درصد ترکیب مواد و تیمارهای ساخت نمونه‌های فرآورده مرکب

تیمار	کد	MAPP/OXD (wt.%)	CNC (wt.%)	PP (wt.%)
Control (PP)	P1	۰	۰	۱۰۰
PP+CNC1%	P2	۰	۱	۹۹
PP+CNC3%	P3	۰	۳	۹۷
PP+CNC5%	P4	۰	۵	۹۵
PP+MA+OXD	P5	۴	۰	۹۶
PP+CNC1%+MA+OXD	P6	۴	۱	۹۵
PP+CNC3%+MA+OXD	P7	۴	۳	۹۳
PP+CNC5%+MA+OXD	P8	۴	۵	۹۱

PP: پلی‌پروپیلن، CNC: نانوکریستال سلولز، MAPP: عامل جفت کننده مالئیک انیدرید، OXD: اکسیدکننده، Control: نمونه شاهد

اندازه‌گیری خواص کششی

تمام نمونه‌های آزمونی مطابق با آیین‌نامه‌های استاندارد ASTM-D 638برای خواص کششی آزمایش شدند. نمونه‌های کششی، با استفاده از دستگاه GOTECH تایوان، در سرعت ۳ میلی‌متر بر دقیقه آزمایش شدند. برای آزمون مقاومت کششی نمونه‌های دمبلی شکل باضخامت ۵ میلی‌متر تهیه گردید. نتایج ارائه‌شده، میانگین حداقل ۳ نمونه برای هر تیمار است.

مطالعهٔ رفتارتر شوندگی

بررسی و عکس‌برداری رفتارتر شوندگی و درجه زاویه تماس فرآورده‌های مرکب ساخته‌شده، با استفاده از دوربین دیجیتال Dino-liteمدل AM 3111انجام شد. میزان آب‌گریزی و آب‌دوستی سطوح نمونه‌های آزمونی، بعد از ۰، ۳۰ و ۶۰ ثانیه مورد آزمون قرار داده شدند.

مطالعهٔ ریخت‌شناسی و مرفولوژی

بعد از انجام تست مقاومت کششی، سطح شکست نمونه‌ها توسط ورق طلا پوشش داده شد. سپس تصویربرداری میکروسکوپی نمونه‌ها، توسط دستگاه Nova nanosem 450 با ولتاژ ۱۰ کیلوولت، انجام شد.

www.SID.ir

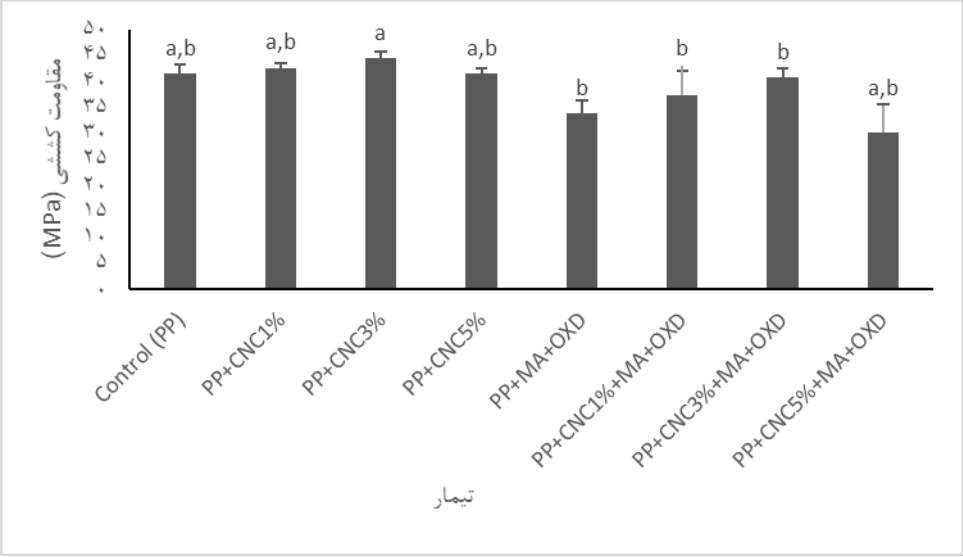
Archive of SID

نتایج

خواص کششی

شکل ۱، مقاومت کششی ترکیبات مختلف فرآورده مرکب ساخته‌شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، با افزایش درصد نانوکریستال‌سلولز تا ۳ درصد، مقاومت کششی افزایش و با افزایش درصد نانوکریستال‌سلولز تا ۵ درصد، این مقاومت تا حدودی کاهش یافت. در حالت استفاده از ماتریس بسپار و نانوکریستال‌سلولز، به همراه جفت کنندهٔ مالئیک انیدرید و اکسیدکننده، روند مقاومت کششی به‌صورت کاهشی بود. تیمار P3 دارای حداکثر مقاومت کششی و تیمار P8 دارای حداقل مقاومت کششی است. شکل ۲ مدول کششی (الاستیسیته) ترکیبات مختلف فرآورده مرکب را نشان می‌دهد. شایان‌ذکر است مدول کششی نیز، رفتار مشابهی با مقاومت کششی دارد؛ به‌طوری‌که حداکثر افزایش در تیمار P3 با ۹۶۹ مگاپاسکال و کمترین میزان مدول الاستیسیته نیز در تیمار P8 مشاهده گردید.

به دلیل غیر قطبی بودن پلی‌پروپیلن و قطبی بودن نانوکریستال‌سلولز، انتظار می‌رفت استفاده از جفت کننده مالئیک انیدرید و اکسیدکننده سبب افزایش چسبندگی بسپار و نانوسلولز شود؛ اما برخلاف انتظار، سبب کاهش چشمگیر خواص مکانیکی گردید؛ که شاید بتوان علت آن را به مزاحم بودن سازگارکننده در زنجیره بسپاری نسبت داد. همچنین شکستی که در اثر تجمع نانوکریستال‌ها و خالی ماندن سایر بخش‌ها در فرآورده‌های مرکب حاوی ۵ درصد CNC رخ داد نیز، در این کاهش خواص بی‌تأثیر نبوده است. البته لازم به ذکر است که در نمونه‌های حاوی مالئیک انیدرید و اکسیدکننده نیز، به هنگام استفاده از نانوکریستال‌سلولز، خواص مکانیکی افزایش یافت.

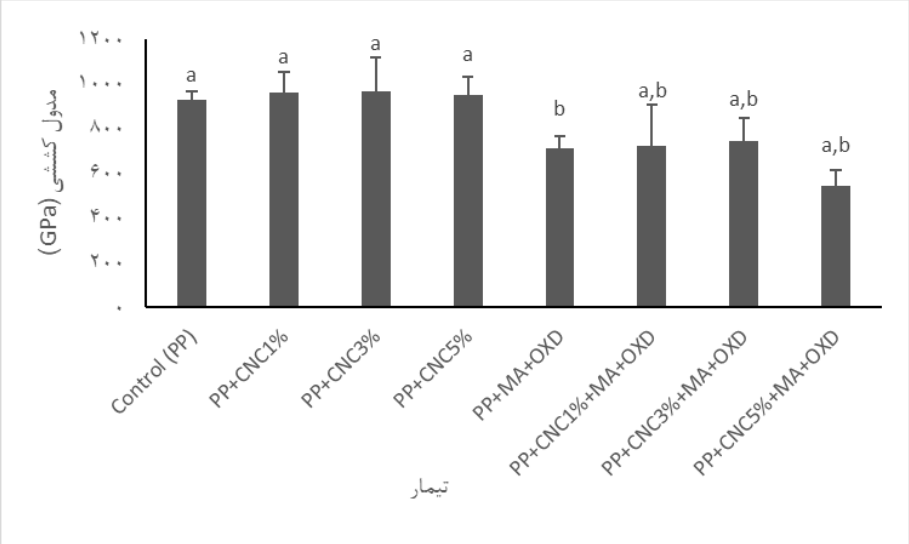


شکل ۱- مقاومت کششی تیمارهای گوناگون فرآورده مرکب ساخته‌شده

بررسی آماری مقاومت کششی و مقایسه تیمارهای هشت‌گانه، نشان می‌دهد که بین تیمارهای مختلف در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌دار وجود دارد. بررسی آزمون توکی، نشان داد که تفاوت بین تیمار شماره سه (بسپار و ۳٪ سلولز) با تیمارهای پنج (بسپار، مالئیک انیدرید و دی‌کیومیل پروکسید)، شش (بسپار، ۱٪ سلولز، مالئیک انیدرید و دی‌کیومیل پروکسید) و هفت (بسپار، ۳٪ سلولز، مالئیک انیدرید و دی‌کیومیل پروکسید) معنی‌دار بود و تفاوت بین سایر تیمارها در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار نبود.

www.SID.ir

Archive of SID

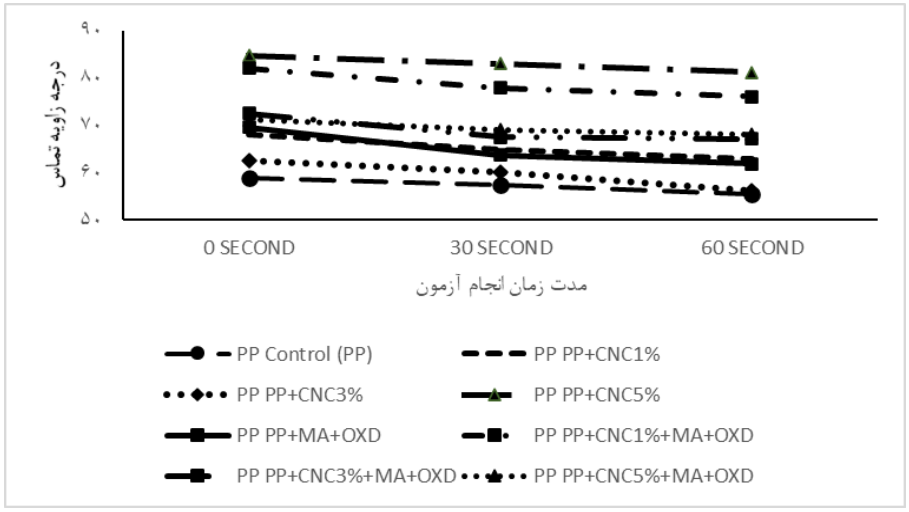


شکل ۲- مدول کششی تیمارهای گوناگون فرآورده مرکب ساخته‌شده

در مورد مدول الاستیسیته، مقایسه آماری تیمارهای هشت‌گانه، نشان می‌دهد که بین تیمارهای مختلف در سطح ۱٪، تفاوت معنی‌دار وجود دارد. بررسی آزمون توکی، نشان داد که تفاوت بین تیمار شماره پنج (بسپار، مالئیک انیدرید و دی‌کیومیل پروکسید) با تیمارهای یک (کنترل)، دو (بسپار و ۱٪ سلولز)، سه (بسپار و ۳٪ سلولز) و چهار (بسپار و ۵٪ سلولز) می‌باشد. تفاوت بین سایر تیمارها در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار نبود.

رفتار ترشوندگی

به‌منظور بررسی رفتار ترشوندگی فرآورده‌های مرکب ساخته‌شده، آزمون زاویه تماس روی سطح نمونه‌ها انجام شد. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده‌شده است، نمونه‌های خام پلی‌پروپیلن دارای کمترین زاویه تماس ۵۹ درجه هستند و بنابراین به‌عنوان آب دوست‌ترین نمونه معرفی می‌شوند، بنابر نتایج به‌دست‌آمده، افزودن نانوکریستال‌سلولز، منجر به افزایش زاویه تماس و به بیانی کاهش ترشوندگی در فرآورده‌های مرکب شد. طوری که در نمونه‌های حاوی ۵ درصد نانوکریستال‌سلولز، بالاترین میزان آب‌گریزی سطح، مشاهده گردید. استفاده از عامل جفت کننده مالئیک انیدرید و اکسیدکننده نیز، به بهبود شرایط آب‌گریزی نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های فاقد جفت کننده مالئیکی، کمک نمود. لازم به ذکر است طبق آزمون انجام‌شده، با افزایش زمان اندازه‌گیری خاصیت ترشوندگی نمونه‌ها، کاهش می‌یابد (شکل ۳).



شکل ۳- نتایج درجه زاویه تماس تیمارهای گوناگون فرآورده مرکب ساخته‌شده

www.SID.ir

Archive of SID

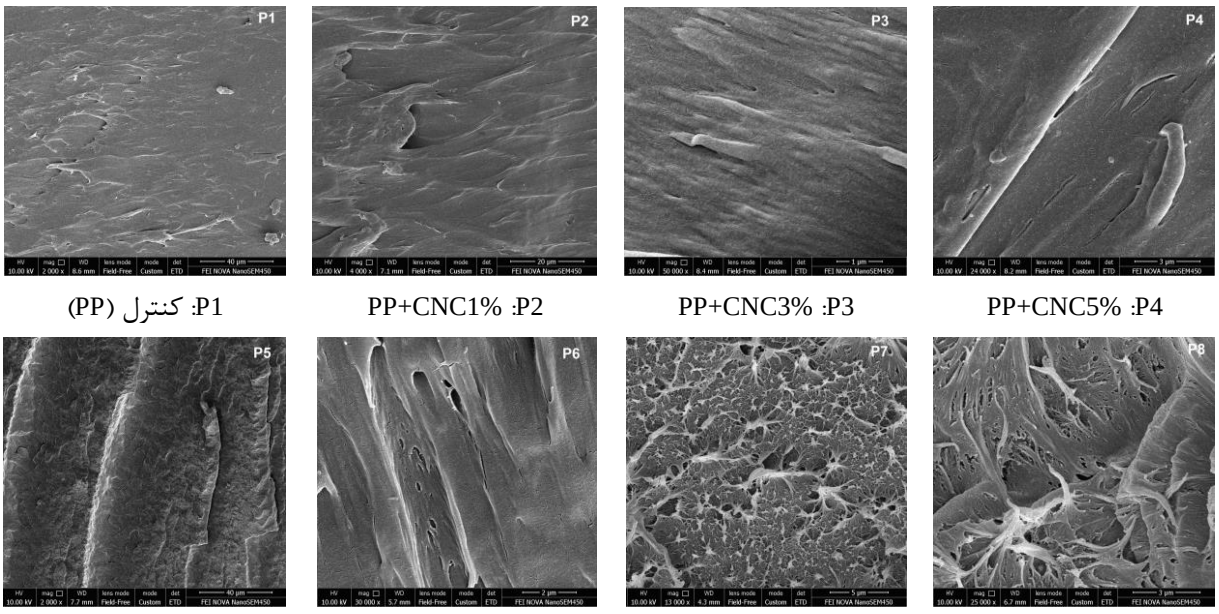
جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری زاویه تماس سطح فرآورده‌های مرکب ساخته‌شده

تیمار	کد	مدت‌زمان بررسی خاصیت ترشوندگی		
		60 sec	30 sec	0 sec
Control (PP)	P1	۵۹	۵۷	۵۶
PP+CNC1%	P2	۶۸	۶۵	۶۳
PP+CNC3%	P3	۶۳	۶۰	۵۶
PP+CNC5%	P4	۸۵	۸۳	۸۱
PP+MA+OXD	P5	۷۰	۶۴	۶۲
PP+CNC1%+MA+OXD	P6	۸۲	۷۸	۷۶
PP+CNC3%+MA+OXD	P7	۷۳	۶۸	۶۷
PP+CNC5%+MA+OXD	P8	۷۱	۶۹	۶۸

PP: پلی‌پروپیلن، CNC: نانوکریستال سلولز، MAPP: عامل جفت کننده مالئیک انیدرید، OXD: اکسیدکننده، Control: نمونه شاهد

ریخت‌شناسی و مرفولوژی

نتایج تصویربرداری SEM بر روی تیمارهای P1 تا P8، حاکی از بهبود خواص تا تیمار حاوی ۳٪ نانوکریستال سلولز (P3 و P7) بوده و پس‌ازآن با افزایش درصد نانوکریستال سلولز، به علت تجمع نانوکریستال‌ها و خالی ماندن سایر بخش‌ها، شکست در آن نقاط رخ‌داده است (شکل ۴).



P1: کنترل (PP) P2: PP+CNC1% P3: PP+CNC3% P4: PP+CNC5%

P5: PP+MA+OXD P6 : PP+CNC1%+MA+OXD P7 : PP+CNC1%+MA+OXD P8 : PP+CNC5%+MA+OXD

شکل ۴- نتایج تصویربرداری SEM تیمارهای فرآورده‌های مرکب ساخته‌شده

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

[1] Tang, Y., Hu, Y., Song, L., Zong, R., Gui, Z., Chen, Z., and Fan, W., 2003. Preparation and thermal stability of polypropylene/montmorillonite nanocomposites. Polymer Degradation and Stability, 82(1):127–131.

[2] Wang, S.Y., Yang, T.H., Lin, L.T., Lin, C.J., and Tsai, M.J., 2007. Properties of low-formaldehyde-emission particleboard made from recycled wood-waste chips sprayed with PMDI/PF resin. Building and Environment, 42(7):2472–2479.

[3] Mortland, M.M., 1970. Clay-organic complexes and interactions. Advances in Agronomy, 22:75–117.

[4] Benetti, E.M., Causin, V., Marega, C., Marigo, A., Ferrara, G., Ferraro, A., Consalvi, M., and Fantinel, F., 2005. Morphological and structural characterization of polypropylene based nanocomposites. Polymer, 46(19):8275–8285.

[5] Li, Q., and Matuana, L.M., 2003. Surface of cellulosic materials modified with functionalized polyethylene coupling agents. Journal of Applied Polymer Science, 88(2):278–286.

[6] Dennis, H.R., Hunter, D.L., Chang, D., Kim, S., White, J.L., Cho, J.W., and Paul, D.R., 2001. Effect of melt processing conditions on the extent of exfoliation in organoclay-based nanocomposites. Polymer, 42(23):9513–9522.

[7] Karger, K.J., 1999. Polypropylene Structure, blends and composites. Structure and Morphology, Volume 1, Springer.

[8] Throne, J.L., 1996. Technology of thermoforming.

[9] Tripathi, D., 2002. Practical guide to polypropylene (eBook). WorldCat.org.

[10] Rhim, J.W. and Ng, P.K.W., 2007. Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 47(4):411–433.

[11] Zhang, D., Guo, J. and Zhang, K., 2015. Effects of compatilizers on mechanical and dynamic mechanical properties of polypropylene–long glass fiber composites. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 28(5):643–655.

[12] Lin, J.H., Huang, C.L., Liu. C.F., Chen, C.K., Lin., Z., and Lou, C.W., 2015. Polypropylene/short glass fibers composites: effects of coupling agents on mechanical properties, thermal behaviors, and morphology. Materials, 8:8279–8291.

[13] Obele, C.M., Ishidi, E.Y., and Odera, R.S., 2012. Effects of maleic anhydride on the mechanical properties and morphology of wheat straw fibre reinforced polypropylene Journal of Innovative Research in Engineering and Sciences, 3:412–420.

[14] Ashori, A., and Nourbakhsh, A., 2009. Characteristics of wood-fiber plastic composites made of recycled materials. Waste Management, 29(4):1291–1295.

[15] Lee, S.H., Kontopoulou, M., and Park, C.B., 2010. Effect of nanosilica on the co-continuous morphology of polypropylene/polyolefin elastomer blends. Polymer, 51(5):1147–1155.

[16] Rong, M.Z., Zhang, M.Q., Zheng, Y.X., Zeng, H.M., Walter, R., and Friedrich, K., 2001. Structure-property relationships of irradiation grafted nano-inorganic particle filled polypropylene composites. Polymer, 42(1):167–183.

[17] Liu, Y., and Kontopoulou, M., 2006. The structure and physical properties of polypropylene and thermoplastic olefin nanocomposites containing nanosilica. Polymer, 47(22):7731–7739.

[18] Bikiaris, D.N., Vassiliou, A., Pavlidou, E., and Karayannidis, G.P., 2005. Compatibilisation effect of PP-g-MA copolymer on iPP/SiO2 nanocomposites prepared by melt mixing. European Polymer Journal, 41(9):1965–1978.

www.SID.ir

Archive of SID

Effects of maleic anhydride and oxidizer on mechanical and contact angle of polypropylene and cellulose nanocrystals composites

Abstract

In this study, the effect of using maleic anhydride and oxidizer (dicumyl peroxide) in improving the properties of composites made of polypropylene and cellulose nanocrystal was investigated. Then, the mechanical, and morphological properties of these composite products were explored. Tensile strength increased with increasing cellulose nanocrystal, but it decreased slightly while 5% of cellulose nanocrystal were added. Due to the addition of maleic anhydride and oxidizer, the mechanical properties of the composite product were reduced which was not expected. Analysis of the contact angle of the samples also showed a decrease in wettability behavior due to increased use of nanocrystalline cellulose as well as maleic anhydride and dicumyl peroxide.

Keywords: Polypropylene, Cellulose nanocrystals, Tensile strength, Maleic anhydride, Composite.

D. Ansari Movahed[1]
M. Jonoobi[2*]
R. Jafari Petroudi[3]

[1] PhD student, Department of Wood & Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources - University of Tehran

[2] Associate Professor, Department of Wood & Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources - University of Tehran

[3] Assistant Professor, Department of Energy Engineering and New Technologies, Shahid Beheshti University

Corresponding author:
mehdi.jonoobi@ut.ac.ir

Received: 2021/06/28
Accepted: 2021/08/30

www.SID.ir