

اثر طول ذرات میکرو سلولز بر خواص مکانیکی، حرارتی و مورفولوژیکی نانو چندسازه چوب- پلاستیک

امیر نوربخش^{۱*} و ابوالفضل کارگرفرد^۲

*۱ - نویسنده مسئول، دانشیار، صنایع چوب و کاغذ، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران
پست الکترونیک: nourbakhsh_amir@yahoo.com

۲- دانشیار، صنایع چوب و کاغذ، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران
تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۴

چکیده

در این بررسی استفاده از ذرات میکرو کریستالین سلولز در ساخت نانو چندسازه چوب پلاستیک مورد توجه قرار گرفت. اثرات ابعاد ذرات میکرو کریستالین سلولز و جفت‌کننده مالیکی (MAPP) بر خواص مکانیکی، ریخت‌شناسی و حرارتی نانو چندسازه چوب پلاستیک مطالعه شد. در این بررسی استفاده از ذرات میکرو کریستالین سلولز به همراه آرد چوب در دو سطح ۲۰ و ۵۰ میکرون، درصد جفت‌کننده مالیکی ۲/۵ و ۵ درصد به همراه ۳ درصد نانورس در تهیه چندسازه چوب پلاستیک مورد توجه قرار گرفت. نتایج خواص مکانیکی در چندسازه با طول ۵۰ میکرون ذرات میکرو سلولز و ۵ درصد جفت‌کننده نسبت به سایر تیمارها برتر بود. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از جفت‌کننده مالیکی باعث بهبود خواص حرارتی در جریان مخلوط‌سازی در مرحله درون سطحی شده و سبب اتصال بهتر بین الیاف و ماتریس شد. خواص مکانیکی نانو چندسازه با استفاده از عکس‌برداری SEM و TEM مورد بررسی گرفت. پراکنش ذرات نانورس در ماتریس چندسازه و تجزیه و تحلیل رفتار حرارتی چندسازه نیز به کمک آزمون TGA نشان داد که استفاده از ۵٪ عامل جفت‌کننده مالیکی به همراه ابعاد بلندتر ذرات میکرو سلولز به‌طور مشخص باعث افزایش مقاومت حرارتی چندسازه نسبت به سایر تیمارها شد.

واژه‌های کلیدی: چندسازه، میکرو سلولز، نانورس، جفت‌کننده مالیکی، خواص مکانیکی، خواص حرارتی

مقدمه

چندسازه‌های چوب پلاستیک شامل رزین‌های گرم‌انرم معمولاً ۴۰ تا ۷۰٪ الیاف چوب (در روش اکستروژن) می‌باشد. افزودن مواد چوبی مزایای بسیار زیادی از جمله زیست‌سازگاری و بهبود خواص مکانیکی به محصول نهایی می‌دهد.

استفاده کاربردی از نتایج به‌دست‌آمده پروژه در صنایع چوب و کاغذ کشور و در ساخت چندسازه‌های الیاف چوب پلیمر برای مقاصد تولید صفحات مرکب به کمک پلاستیک‌ها

امروزه چندسازه‌های چوب پلاستیک به‌عنوان مواد مهندسی در صنایع مختلفی از جمله خودروسازی، هوافضا و ساختمان‌سازی کاربرد وسیعی پیدا کرده است. اعتقاد بر این است که این مواد دارای دوام بالا بدون استفاده از مواد شیمیایی و غیر سمی هستند. در سال‌های اخیر کاربرد این چندسازه‌ها به‌سرعت در اروپا، آمریکای شمالی و آسیا توسعه پیدا کرده است (Yang et al., 2007). ترکیبات اولیه

Exfoliation در چندسازه ایجاد شد. همچنین این محققان عنوان کردند که کلیه ویژگی‌های مکانیکی با افزودن ماده سازگارکننده به علت بهبود سطح مشترک ماتریس پلیمری و فاز پرکننده افزایش یافته است (Wu et al., 2008).

در بررسی دیگری ساخت چوب پلاستیک با استفاده از پلی پروپیلن و آرد باگاس و نانورس انجام شد و نتایج نشان داد که با اضافه کردن نانورس تا مقدار وزنی ۳٪ استحکام کششی افزایش یافته اما با افزایش آن تا ۴٪ کاهش جزئی در استحکام کششی مشاهده می‌شود. در مورد مقاومت به ضربه، اضافه کردن نانورس باعث کاهش ۶٪ در مقاومت به ضربه شد، همچنین کاهش جذب آب را نیز به همراه داشت. آنان همچنین نتیجه گرفتند که با اضافه کردن جفت‌کننده مالیکی خاصی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک افزایش پیدا می‌کند. ضمناً اضافه کردن نانورس باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک می‌شود (Ashori et al., 2009).

بررسی رفتار مکانیکی و حرارتی نانوجندسازه‌های پلی- پروپیلن خالص، ۴۰٪ تالک، پلی پروپیلن و ۵٪ خاک رس سیلیکاته (مونت موریلونیت) و پلی پروپیلن نیز مورد تحقیق قرار گرفته است. نتایج آنالیز حرارتی نشان داد که ذرات تالک یا نانورس در پلی پروپیلن می‌تواند دمای تجزیه را افزایش دهد، اما تأثیری بر دمای تبدیل شیشه‌ای و دمای ذوب ندارد. ضمناً نتایج آزمون کششی نشان داد که ۴۰٪ تالک می‌تواند مدول را افزایش دهد، اما تاب ارتجاعی^۲ را کاهش می‌دهد. البته ۵٪ نانورس می‌تواند هم مدول و هم تاب ارتجاعی را افزایش دهد (Zhou et al., 2005).

Sheng (۲۰۰۳) در بررسی که بر روی کاربردهای نانو- کامپوزیت و الیاف چوب پلاستیک در روش قالب‌گیری تزریقی میکروسلولی انجام داده است، کامپوزیت الیاف سلولزی تقویت‌شده و پلی‌آمید نوع ۶ را مورد آزمون قرار داده است. نمونه‌های به دست آمده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) مورد آزمون قرار گرفته است. آزمون‌های

در صنایع خودروسازی، بسته‌بندی و کاربردهای صفحه‌ای در کشور می‌باشد. با توجه به اینکه در حال حاضر قسمت عمده تولیدات از موادی همانند فایبرگلاس‌ها و سایر مصنوعات پلیمری و شیمیایی می‌باشد. استفاده از الیاف سلولزی با داشتن ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود سبب افزایش ویژگی‌های کاربردی اوراق و صفحات مرکب (بالا بردن ویژگی‌های مکانیکی نسبت به سایر مواد پلیمری) شده است، به طوری که افزایش نقش زیست‌محیطی و قابلیت تجزیه پذیری مواد نانو چندسازه بعد از مصرف (تجزیه الیاف سلولزی)، کاربرد استفاده گسترده‌تر از منابع سلولزی تجدیدشونده را مهیا می‌سازد.

در سال‌های اخیر توسعه و استفاده از مواد چوبی که دارای ویژگی‌های مناسب‌تری هستند گسترش یافته است. در تحقیقاتی که در کشورهای مختلف انجام شده است، استفاده از عناصر مختلف چوبی در ابعاد کمتر همانند سلولز و میکروسلولز مورد توجه زیادی قرار گرفته است.

تقویت‌کننده‌هایی مانند میکروکریستالین سلولز به همراه جفت‌کننده‌ها خواص مکانیکی بسیار مناسبی را بین ماتریس پلیمر غیر قطبی و مواد سلولزی قطبی به وجود می‌آورند (Nourbakhsh et al., 2010; Li et al., 2003). همچنین در نانو چندسازه‌های پلیمری که از پلیمرهای گرم‌انرم استفاده می‌کنند، اختلاط این گروه از پلیمرها به دلیل ماهیت غیر قطبی‌شان با نانورس منجر به تولید یک محصول نانو چندسازه‌ای خواهد شد.

تأثیر استفاده از نانورس و ماده جفت‌کننده بر ویژگی‌های مکانیکی و حرارتی چندسازه‌های حاصل از الیاف بامبو پلی‌اتیلن سنگین مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعات هان و همکاران نشان داد که به هنگام افزودن ۱٪ نانورس مدول الاستیسیته خمشی، مدول الاستیسیته دینامیک و درجه کریستالینت افزایش می‌یابد، درحالی‌که استحکام به ضربه نمونه‌ها کاهش یافت. نتایج حاصل از تفرق اشعه ایکس^۱ نیز این مطلب را تأیید کرد، زیرا ساختار

2- yield strength

1-X-ray diffraction

تیمارهای مختلفی شامل درصدهای مختلفی از نانورس، میکروکریستالین سلولز، جفت‌کننده مالیکتی به همراه آرد چوب و پلی‌پروپیلن مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد: آرد چوب مورد استفاده از گونه صنوبر *Populus deltoidea* تهیه شد که پس از درجه‌بندی در ابعاد ۶۰/۴۰ الک گردیدند. سپس در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت تا رطوبت ۳٪ خشک شدند.

میکروکریستالین سلولز (MCC) از شرکت آلدریچ (Alderich) و از نوع Pulver-20 و در ابعاد ۲۰ و ۵۰ میکرون تهیه گردید. میکروکریستالین سلولز به میزان ۸ درصد به‌عنوان تقویت‌کننده سلولزی در این بررسی استفاده شد.

پلی‌پروپیلن مورد بررسی با نام تجاری Moplen V30S از پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۸ گرم بر ۱۰ دقیقه در دمای ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد و دانسیته ۰/۹۲ گرم بر سانتیمتر مکعب تهیه شد.

انیدرید مالیک پلی‌پروپیلنی پیوند خورده (MAPP) از شرکت آلدریچ (Alderich) با دانسیته ۰/۹۱ گرم بر سانتیمتر مکعب و با وزن مولکولی ۹۱۰۰ و گرانیروی بروکفیلد ۴۰۰۰۰ سانتی‌پواز در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شد.

خاک رس مورد استفاده در این تحقیق به میزان ۳ درصد استفاده شده که یکی از انواع مونت موریلونیت اصلاح شده، با نام تجاری Cloisite 10A بوده که توسط شرکت آمریکایی Southern-Clay تولید شد.

کششی و ضربه مورد توجه قرار گرفته است. نتایج بررسی فوق نشان داده است که شرایط تولید و حضور فیلرهای در سطح نانو دارای ارتباط بسیار قوی بوده و در نهایت به افزایش ویژگی‌های مکانیکی انجامیده است.

بررسی خواص مکانیکی و حرارتی و همچنین ریخت‌شناسی نانو چندسازه چوب پلاستیک در سطوح مختلف مورد تحقیق قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش مدول کششی در تیمارهایی که از نانورس و میکروکریستالین سلولز ساخته شده‌اند منجر به اتصال بین سطحی کامل تر بین الیاف و ماتریس شده است. خواص خمشی نیز به‌طور واضح با تغییرات جفت‌کننده مالیکتی (MAPP)، میکروکریستالین سلولز (MCC) و نانورس در ارتباط بوده است. ترکیبات ساخته شده با میکروکریستالین سلولز نشان داده که دارای بالاترین استحکام و مدول خمشی بوده است. نمونه‌هایی که با مقدار ۸٪ میکروکریستالین سلولز ساخته شده‌اند، به‌طور مشخص دارای استحکام به ضربه بیشتری نسبت به تیمار بدون میکروکریستالین سلولز بوده است. افزودن انیدرید مالیک پلی‌پروپیلنی اتصال بین سطحی میان الیاف و ماتریس را برقرار می‌کند؛ بنابراین ترک به‌سختی در مرحله داخلی چندسازه به وجود آمده یا توسعه پیدا می‌کند (Nourbakhsh et al., 2013).

هدف از این تحقیق، تعیین خواص مکانیکی و بررسی رفتار حرارتی چندسازه ساخته شده از نانورس به همراه دو طول متفاوت میکروکریستالین سلولز می‌باشد. بر این اساس

جدول ۱- فرمول سیلیکات لایه‌ای یا فیلسیلیکات

طول ذره (nm)	CEC (mequiv/100 g)	فرمول شیمیایی	۲:۱ فیلسیلیکات‌ها
۱۰۰-۱۵۰	۱۱۰	$Mx(Al_{4-x}Mg_x)Si_8O_{20}(OH)_4$	مونتموریلونیت

M، کاتیون تک ظرفیتی، x، درجه جانشینی (بین ۰/۵ و ۱/۳)

دستگاه اکسترودر (کولین) از نوع دو مارپیچه همسوگرد مخلوط شدند. مناطق حرارتی اکسترودر به ترتیب ۱۶۵، ۱۷۰، ۱۷۵، ۱۸۰ و ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد برای نواحی ۱ تا

آماده‌سازی و ساخت چندسازه نسبت وزنی ترکیب مواد مختلف و تیمارهای ساخت در جدول شماره ۲ ارائه شده است. مواد مورد استفاده توسط

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

تمام نمونه‌های آزمونی مطابق با آیین‌نامه‌های استاندارد ASTM-D 638 برای خواص کششی، ASTM-D 790 برای خواص خمشی و ASTM-D 256 برای مقاومت به ضربه فاقدار آیزود آزمایش گردیدند [۷]. نمونه‌های کششی و خمشی با استفاده از دستگاه (Instron 1186) در سرعت ۱/۵ و ۲ میلی‌متر بر دقیقه به ترتیب آزمایش شدند. برای آزمون استحکام کششی نمونه‌های دمبلی شکل از نوع III با ضخامت ۱۲ میلی‌متر تهیه شد. دستگاه آزمایشگر مقاومت به ضربه از نوع Zwick 1446 انتخاب گردید. نتایج ارائه شده، میانگین حداقل ۶ نمونه برای هر تیمار می‌باشد.

۵ اختصاص یافت. سرعت دورانی ماریچچه در حد ۶۰ دور در دقیقه تنظیم شد. مواد مخلوط شده مذاب از حمام آب سرد عبور داده شده و به صورت پلت (Pellets) تهیه گردید. ذرات پلت تهیه شده توسط دستگاه گرانول‌ساز به گرانول تبدیل شدند. به منظور جلوگیری از هرگونه اثر منفی رطوبت، ذرات گرانول توسط دستگاه خشک‌کن در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد تا ۳٪ خشک گردیدند. ذرات گرانول به دست آمده توسط دستگاه قالب‌گیری تزریقی در دمای ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد و با فشار ۳ مگاپاسکال مطابق با استاندارد ASTM D 618 برای تهیه نمونه‌های آزمونی ضربه، خمش و کشش تهیه شد.

جدول ۲- درصد ترکیب مواد و تیمارهای ساخت نمونه‌های چندسازه

کد	تیمار طول ذرات میکرون	MAPP	PP	ترکیب مواد
		(wt.%)	(wt.%)	(wt.%)
۱	۵۰	۲/۵	۵۷/۵	۴۰ = (۳٪ نانو + ۸٪ میکرو + ۲۹٪ آرد چوب)
۲	۵۰	۲/۵	۵۴/۵	۴۳ = (۳٪ نانو + ۸٪ میکرو + ۳۲٪ آرد چوب)
۳	۵۰	۵/۰	۵۵/۰	۴۰ = (۳٪ نانو + ۸٪ میکرو + ۲۹٪ آرد چوب)
۴	۵۰	۵/۰	۵۲/۰	۴۳ = (۳٪ نانو + ۸٪ میکرو + ۳۲٪ آرد چوب)
۵	۲۰	۲/۵	۵۷/۵	۴۰ = (۳٪ نانو + ۸٪ میکرو + ۲۹٪ آرد چوب)
۶	۲۰	۲/۵	۵۴/۵	۴۳ = (۳٪ نانو + ۸٪ میکرو + ۳۲٪ آرد چوب)
۷	۲۰	۵/۰	۵۵/۰	۴۰ = (۳٪ نانو + ۸٪ میکرو + ۲۹٪ آرد چوب)
۸	۲۰	۵/۰	۵۲/۰	۴۳ = (۳٪ نانو + ۸٪ میکرو + ۳۲٪ آرد چوب)

میکروسکوپ الکترونی انتقالی (TEM)

برای بررسی تشکیل اتصالات در نانو چندسازه و مطالعات ریخت‌شناسی به وسیله عکس‌برداری میکروسکوپ الکترونی روبشی از دستگاه TEM مدل Zeiss EM900 با جریان ولتاژ ۸۰ KV شرکت کفا استفاده شد.

مطالعه ریخت‌شناسی میکروسکوپی

خواص مورفولوژیکی چندسازه‌های ساخته شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) از نوع Philips XL 30

آنالیز حرارتی (TGA)

اندازه‌گیری آنالیز حرارتی با استفاده از آنالیزگر حرارتی برای ۸ میلی‌گرم نمونه آزمونی در دامنه دمایی از ۵۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد با نرخ گرمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه انجام شد. آنالیز حرارتی با کیفیت بالا (۹۹/۵٪ نیتروژن و ۰/۵٪ اکسیژن) در شرایط اتمسفریک با نرخ جریان ۲۰ میلی‌لیتر بر دقیقه به دلیل جلوگیری از جذب اکسیژن انجام گردید. از هر تیمار آزمایشی ۲ تکرار انجام شد.

و در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تجزیه و تحلیل با استفاده از نرم افزار MSTAT-C انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) مورد بررسی قرار گرفت

نتایج

جدول ۳ خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی و اثرات مستقل و متقابل نوع جفت‌کننده و درصد جفت‌کننده را در سطح ۱ و ۵ درصد نشان می‌دهد. همچنین مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

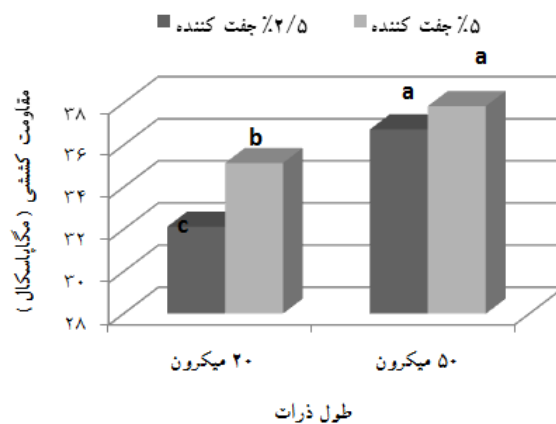
مورد بررسی قرار گرفت. سطوح شکست نمونه‌های آزمونی بعد از اندازه‌گیری مقاومت به ضربه توسط لایه طلا پوشش داده شد. تمام تصاویر با ولتاژ تسریع شده ۲۵ کیلووات بررسی شدند. همچنین برای بررسی تشکیل اتصالات نانو کامپوزیت و مطالعات ریخت‌شناسی به وسیله عکس‌برداری میکروسکوپ الکترونی روبشی از دستگاه TEM مدل Zeiss EM900 با جریان ولتاژ ۸۰ KV شرکت کفا استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری از آزمون فاکتوریل دو عامله

جدول ۳- خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی

منبع	مقاومت کششی	مدول کششی	مقاومت خمشی	مدول خمشی	مقاومت به ضربه
طول ذرات میکرو سلولز	* / ۰.۲۴۱	* / ۰.۴۲	* / ۰.۲۱	ns / ۰.۱۲۸	* / ۰.۲۲
درصد جفت‌کننده	** / ۰.۰۰۰	** / ۰.۰۰۰	** / ۰.۰۰۰	* / ۰.۱۲	* / ۰.۱۸
اثر متقابل (طول ذرات میکرو سلولز و درصد جفت‌کننده)	** / ۰.۰۰۱	* / ۰.۲۷	* / ۰.۳۴	* / ۰.۱۴	ns / ۰.۱۱۲



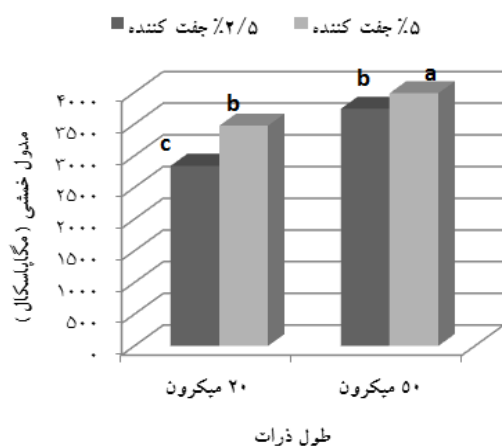
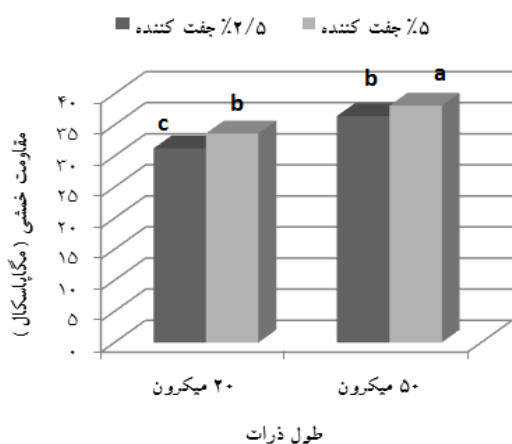
شکل ۱- اثر متقابل طول ذرات میکرو سلولز و درصد جفت‌کننده بر مقاومت و مدول کششی چندسازه

مالیکی در تیمار ۵۰ میکرون کریستالین سلولز ایجاد شده است. استفاده از ۵۰ میکرون کریستالین سلولز به همراه ۵ درصد جفت‌کننده دارای حداکثر مقاومت کششی و تیمارهایی که از ۲۰ میکرون کریستالین سلولز به همراه ۲/۵ درصد

خواص کششی

شکل ۱ مقاومت و مدول کششی ترکیبات مختلف چندسازه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است با افزایش مقاومت کششی در حالت استفاده از ماتریس پلیمر به همراه جفت‌کننده

در شکل ۲ مشخص است، خواص خمشی به طور واضح با تغییرات جفت‌کننده مالیکی (MAPP) و میکروکریستالین سلولز MCC در ارتباط بوده است. ترکیبات ساخته شده با ابعاد ۵۰ میکرون نشان داده است که دارای بالاترین مقاومت و مدول خمشی بوده است. در این میان، در تیمارهایی که از ۲۰ میکرون ذرات به همراه ۲/۵ درصد جفت‌کننده استفاده شده، پایین‌ترین مقاومت خمشی را داشته‌اند. مقاومت خمشی نیز همانند مقاومت کششی دارای رفتار مشابهی بوده است.



شکل ۲- اثر متقابل طول ذرات میکرو سلولز و درصد جفت‌کننده بر مقاومت و مدول خمشی چندسازه

افزایش خواص خمشی در نتیجه بهبودی الحاق بین ترکیبات مواد در چندسازه به دست آمده است که با سختی بیشتر صفحات رس و ضریب کشیدگی بالاتر نانورس مرتبط بوده است. همچنین مشاهده شده است که افزایش مقاومت خمشی با ابعاد

جفت‌کننده استفاده شده است، دارای حداقل مقاومت کششی می‌باشند. همچنین نتایج نشان داد تیمارهایی که در ابعاد ۲۰ میکرون با کریستالین سلولز ساخته شده‌اند همگی در گروه‌های دانکن (C و b) قرار می‌گیرند که دارای حداقل مقاومت و مدول کششی هستند. Meyts و همکاران در سال ۲۰۰۳ گزارشی کردند که چندسازه ساخته شده با ۵۰٪ چوب و ۵۰٪ پلیمر به همراه MAPP افزایش ۲۱٪ در مقاومت کششی ایجاد می‌کند. همچنین Stark و Rowlands در سال ۲۰۰۳ نیز در گزارش خود مطرح کردند که چندسازه ساخته شده با ۴۰٪ چوب و ۳٪ MAPP افزایش ۲۷٪ را در مقاومت کششی ایجاد می‌کند.

بهبود خواص کششی بین مواد لیگنوسلولزی و ماتریس پلیمری در حالت استفاده از جفت‌کننده ایجاد می‌شود. با افزودن MAPP خواص کششی به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به پلی‌پروپیلن خالص بهبود یافته است. علاوه بر آن تیمارهایی که با درصد بالاتر جفت‌کننده در ساخت چندسازه مورد استفاده قرار گرفتند دارای مقاومت و مدول کششی بهتری می‌باشند. در شکل ۱ مشخص شده است که استفاده از ۵٪ عامل جفت‌کننده خواص کششی را افزایش می‌دهد. شایان ذکر است که مدول کششی نیز رفتار مشابهی با مقاومت کششی داشته، به نحوی که حداکثر افزایش در تیمار ۵۰ میکرون و ۵ درصد جفت‌کننده بوده است. همچنین نتایج نشان داد که افزایش مدول کششی در تیمارهایی که از نانورس و میکروکریستالین سلولز ساخته شده‌اند منجر به اتصال بین سطحی کامل‌تر بین الیاف و ماتریس شده است. این نتایج نشان می‌دهد که ترکیبات آلی موجود نانورس در ماتریس پلیمر می‌تواند خواص کششی را افزایش دهد (Han et al., 2008). از آنجایی که نانورس دارای سختی بیشتری نسبت به ماتریس پلیمری است، بنابراین افزودن این ماده در چندسازه می‌تواند مقاومت کششی را تا حد مشخصی افزایش دهد. این نتایج واکنش قوی بین ماتریس پلی‌پروپیلن و نانورس را تأیید می‌کند (Wang et al., 2008).

خواص خمشی

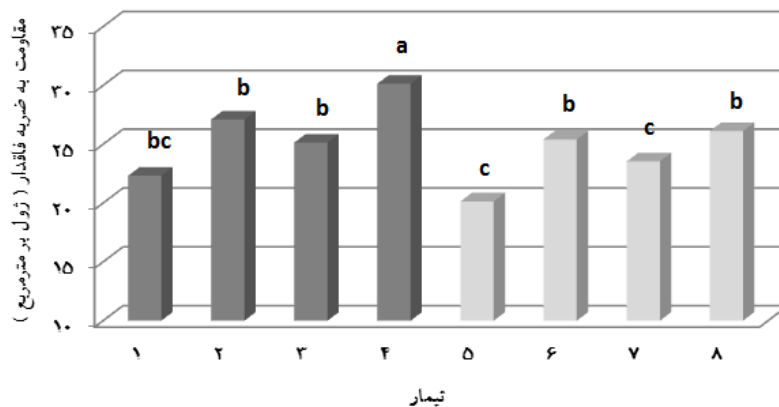
شکل ۲ مقاومت و مدول خمشی چندسازه‌های ساخته شده را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طوری که

استفاده شده بهبود قابل ملاحظه‌ای نسبت به تیمارهای با جفت-کننده ۲/۵ درصد داشته است. افزودن انیدرید مالیک پلی-پروپیلنی اتصال بین سطحی میان الیاف و ماتریس را برقرار می‌کند؛ بنابراین ترک به سختی در مرحله داخلی چندسازه به وجود آمده یا توسعه پیدا می‌کند. Hristove و همکاران (۲۰۰۴) نیز عنوان کردند که افزایش ذرات نانورس باعث افزایش نقاط پرتنش در ماتریس نمونه‌ها می‌شود که عامل اصلی کاهش مقاومت به ضربه در نمونه‌های با میزان ذرات نانورس است.

بیشتر میکرو کریستالین سلولز به دست آمده است.

مقاومت به ضربه

اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت به ضربه نمونه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج مقاومت به ضربه فاکتور آیزود با افزایش انیدرید مالیک پلی پروپیلنی و افزایش ابعاد میکرو کریستالین سلولز بهبود یافته است. مقاومت به ضربه در تیمارهایی که از ۵۰ میکرون ذرات کریستالین سلولز استفاده شده دارای برتری نسبت به سایر تیمارها می‌باشد. همچنین در ترکیباتی که از مقادیر بیشتر جفت‌کننده مالیک (۵٪) نیز

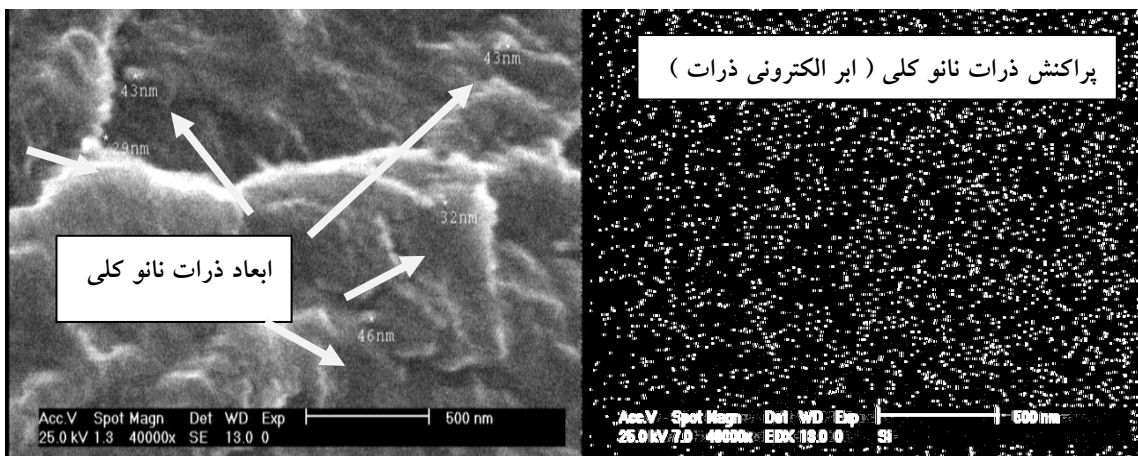


شکل ۳ - اثر مستقل طول ذرات میکرو سلولز و درصد جفت‌کننده بر مقاومت به ضربه چندسازه

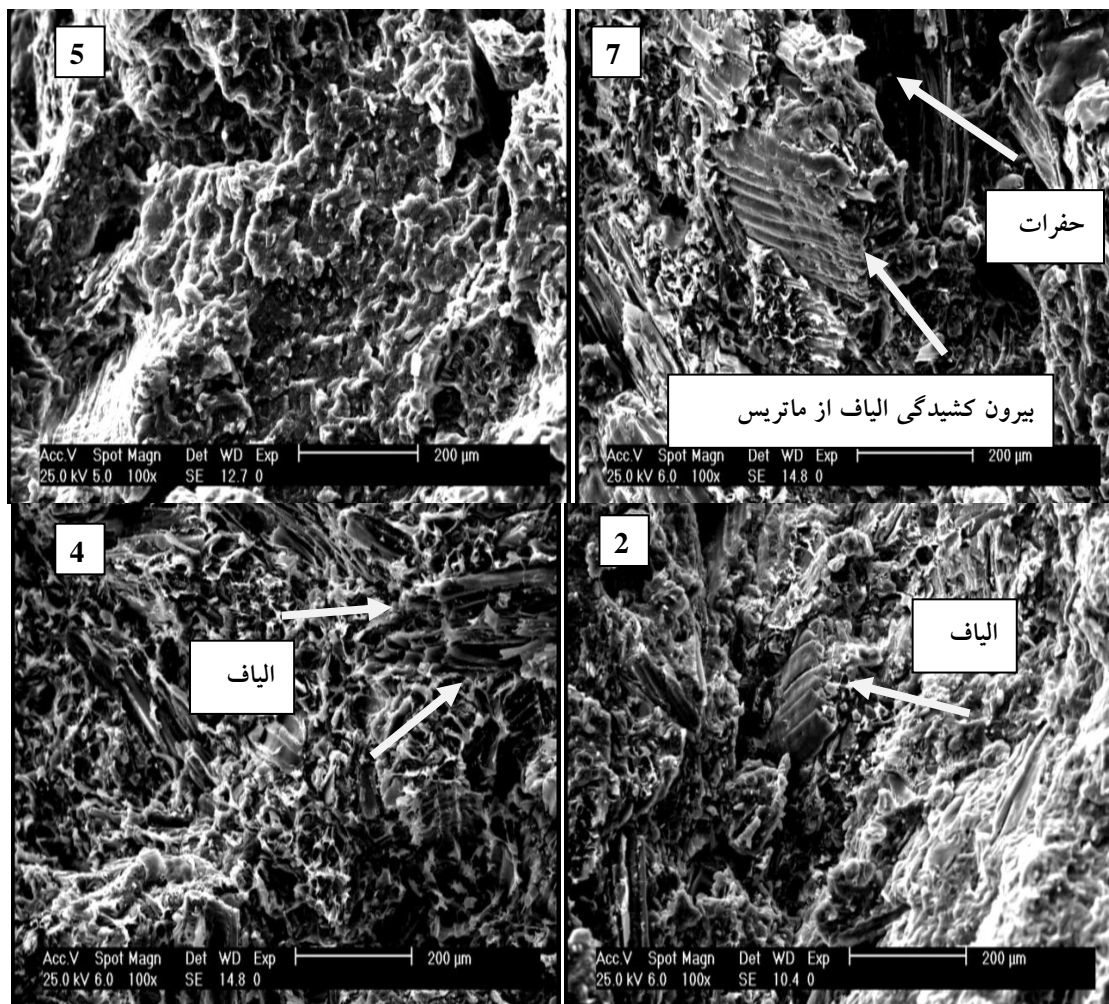
اتصال مناسب‌تر بین پرکننده‌ها و ماتریس دیده می‌شود. تصاویر ۵ ابر پراکنش ذرات نانو به همراه ابعاد ذرات در ماتریس چندسازه بهبودی را در ترکیباتی که از جفت‌کننده مالیک استفاده شده تأیید می‌کند. به منظور مشاهده دقیق‌تر ساختار چندسازه چوب پلاستیک نانورس و تأیید نتایج آزمون اشعه ایکس از تصاویر میکروسکوپ انتقالی TEM استفاده شد. شکل شماره ۶ تصویر چندسازه پلی پروپیلن الیاف چوب حاوی نانورس را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در تصویر مشخص است، خطوط تاریک رشته‌ای مربوط به لایه‌های نانورس و مناطق روشن‌تر مربوط به ماتریس پلیمر است. تصویر نشان‌دهنده جدایی نسبی لایه‌ها (لایه‌لایه‌ای) در زمان استفاده از نانورس بوده که می‌تواند سبب تشکیل ساختار درون لایه‌ای شود.

ویژگی‌های سطوح شکست

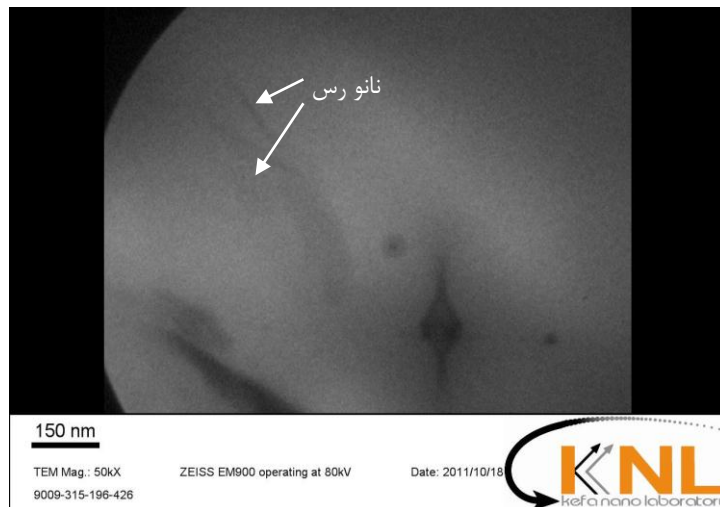
تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) برای بررسی سطوح شکست در نمونه‌های کششی چندسازه در شکل ۵ مشاهده می‌شود. در تصاویر توزیع و سازگاری بین پرکننده‌ها و ماتریس مشاهده می‌گردد. وجود حفره‌ها در چندسازه‌های ساخته شده در تیمارهای با درصد کمتر جفت‌کننده و ذرات ۲۰ میکرون کریستالین سلولز دیده می‌شود. تصاویر نشان می‌دهد که سطوح اتصال بین الیاف و ماتریس ضعیف بوده و هنگامی که تنش اعمال می‌گردد سبب خارج شدن آسان الیاف از ماتریس می‌شود، در نهایت منجر به ایجاد حفره و فاصله در چندسازه می‌گردد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌گردد، در شکل چندسازه شماره ۳ و ۴ عدم کشیدگی و خارج شدن الیاف و همچنین



شکل ۴- پراکنش ذرات نانو کلی در ماتریس چندسازه در ابعاد ۵۰۰ نانومتر



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های آزمونی کشش با بزرگنمایی ۲۰۰



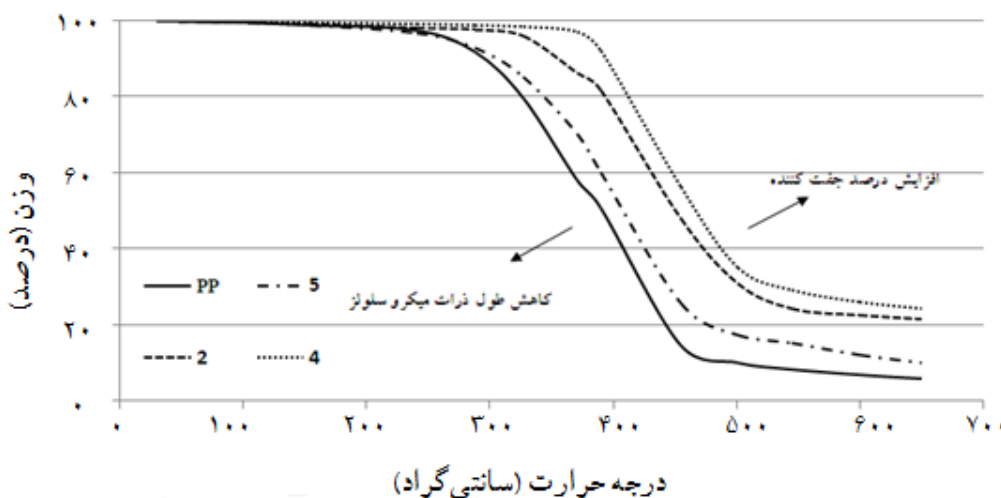
شکل ۶ - تصویر میکروسکوپ الکترونی انتقالی نمونه‌های چندسازه چوب پلاستیک با بزرگنمایی ۱۵۰ نانومتر (نمونه حاوی ۳ درصد نانورس و ۵۰ میکرون میکرو کریستالین)

خواص حرارتی

تخریب حرارتی در چندسازه‌های چوب پلاستیک فاکتور بسیار مهمی در فرایند ساخت این نوع محصول بوده که می‌تواند حداکثر حرارت ساخت را در این نوع سازه تعیین کند. مواد چوبی که در ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک به‌عنوان پرکننده مورد استفاده قرار می‌گیرند معمولاً در دمای کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد بکار می‌روند. تخریب چوب در دماهای بالاتر منجر به خواص نامطلوب (تغییر رنگ، بو و افت خواص مکانیکی) در چندسازه می‌شود. این محدودیت‌ها همچنین در نوع و کاربرد پلیمرها نیز وجود دارد (Scaffaro and Morreale, 2008).

منحنی TGA به‌عنوان تابعی برای برآورد افت وزنی نسبت به دما می‌باشد. شکل شماره ۷ رفتار تجزیه حرارتی پلیمر خالص (پلی پروپیلن) و سه تیمار مورد استفاده در این بررسی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، تخریب اولیه در پلیمر خالص در دمای ۲۲۸ درجه سانتی‌گراد شروع شده که افت وزنی معادل ۹۱/۹٪ را به وجود می‌آورد. با مشاهده سه ترکیب دیگر چندسازه مشخص شده است که تخریب اولیه در دیگر نمونه‌ها بین ۳۷۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد متغیر می‌باشد. مقاومت حرارتی بالا نشان از بهبود بیشتر حرارتی در نمونه با ۵۰

ابعاد میکرون و ۵ درصد جفت‌کننده دارد. این نتایج به‌طور مشخص نشان می‌دهد که خواص حرارتی در ترکیبات چندسازه به‌نگام استفاده از جفت‌کننده و افزایش ابعاد ذرات کریستالین سلولز از ۲۰ به ۵۰ میکرون بهبود یافته است. همان طوری که اشاره شد، حضور جفت‌کننده منجر به واکنش داخلی قوی بین ماتریس پلیمر و ذرات سلولزی می‌گردد. در دماهای کمتر تولید چندسازه چوب پلاستیک گران روی مذاب پلیمر ترجیحاً بالاتر است، در نتیجه پخش مناسب مواد اتفاق نمی‌افتد و در نهایت خواص چندسازه دستخوش تغییرات منفی می‌گردد. کاهش مقاومت‌های مکانیکی همراه با تخریب حرارتی در ماتریس زمینه پلیمر رخ داده و در جریان ساخت ترکیبات شیمیایی مواد چوبی همانند همی سلولزها و لیگنین آرد چوب و میکروکریستالین سلولز شروع به تجزیه کرده که سبب به وجود آمدن حفره‌ها و فضاهای خالی در شبکه چندسازه می‌گردد. Nourbakhsh و Ashori (۲۰۰۹) بیان می‌کنند که به وجود آمدن این فضاها در نهایت سبب ایجاد ترک و کاهش خواص می‌گردد. در این میان ذرات ۲۰ میکرونی کریستالین سلولز به دلیل سطح ویژه بالاتر نسبت به وزن آنها در مقایسه با ذرات ۵۰ میکرونی و عدم اتصال مناسب به دلیل پخش غیریکنواخت ذرات نانورس، پلیمر و مواد جفت‌کننده کاهش بیشتری یافته‌اند.



شکل ۷- نتایج آنالیز حرارتی پلی پروپیلن خالص و نمونه‌های آزمایشی

چندسازه بهبودی را در ترکیباتی که از جفت‌کننده مالیکتی استفاده شده تأیید می‌کند.

- در تصاویر TEM چندسازه پلی پروپیلن الیاف چوب حاوی نانورس خطوط تاریک رشته‌ای مربوط به لایه‌های نانورس و مناطق روشن‌تر مربوط به ماتریس پلیمر بوده که نشان‌دهنده جدایی نسبی لایه‌ها (لایه لایه‌ای) در زمان استفاده از نانورس است که می‌تواند سبب تشکیل ساختار درون لایه‌ای شود.

- افزایش مقاومت حرارتی با تجزیه و تحلیل آزمون TGA نشان از بهبودی بیشتر حرارتی در نمونه‌های با ۵۰ ابعاد میکرون و ۵ درصد جفت‌کننده داشته است. این نتایج به‌طور مشخص نشان می‌دهد که خواص حرارتی در ترکیبات چندسازه به‌نگام استفاده از جفت‌کننده و افزایش ابعاد ذرات کریستالین سلولز بهبود می‌یابد.

بحث

نتایج نشان داد که استفاده از ۵۰ ابعاد میکرون کریستالین سلولز به همراه ۵ درصد جفت‌کننده دارای حداکثر مقاومت کششی، خمشی و ضربه و تیمارهایی که از ۲۰ میکرون کریستالین سلولز به همراه ۲/۵ درصد جفت‌کننده استفاده شده است، دارای حداقل مقاومت‌های کششی، خمشی و ضربه می‌باشند.

- در تصاویر SEM وجود حفره‌ها در چندسازه‌های ساخته شده در تیمارهای با درصد کمتر جفت‌کننده و ابعاد ذرات ۲۰ میکرون کریستالین سلولز دیده می‌شود؛ که نشان‌دهنده ضعف سطوح اتصال بین الیاف و ماتریس بوده و هنگامی که تنش اعمال می‌گردد سبب خارج شدن آسان الیاف از ماتریس می‌گردد.

- ابر پراکنش ذرات نانورس به همراه ابعاد ذرات در ماتریس

properties of medium density fiberboard made from old newsprint fibers. *J Reinf. Plast. Compos* Vol:29:7 pp

- Nourbakhsh, A. and Ashori, A. (2008). Fundamental Studies on Wood-plastic Composites: Effects of Fiber Concentration and Mixing Temperature on the Mechanical Properties of Poplar/PP Composite, *Polymer Composites*, 29(5): 569_573.
- Sheng (2003). Application of Nano-Composites and Woodfiber Plastics for Microcellular Injection Molding . 7th International Conferences on Woodfiber – Plastics Composites May 19-20 2003 Monona Terrace Community & Convention Center Madison , Wisconsin , USA
- Stark NM, Rowlands RE (2003). Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood Fiber Sci* Vol:35: 8pp
- Wang S-Y, Yang T-H, Lin L-T, Lin C-J, Tsai M-J (2007). Properties of low formaldehyde-emission particleboard made from recycled wood-waste chips sprayed with PMDI/PF resin. *Build Environ* Vol: 42:8 pp
- Zhou,Y., Rangari, V., Mahfuz, H., Jeelani, Sh., Mallick, P.K. (2005). Experimental study on thermal and mechanical behavior of polypropylene, talc/polypropylene and polypropylene/clay nanocomposites. *Mater Sci Eng A*. Vol:402: 9 pp.

منابع مورد استفاده

- Annual book of ASTM standards.(1999). American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428, United States
- Ashori, A. and Nourbakhsh A. (2009). Characteristics of wood-fiber plastic composites made of recycled materials: *Waste Manag* Vol.29: 5pp.
- Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y. and Suzuki, S. (2008). Bamboo-fiber filled high density polyethylene composites; effect of coupling treatment and nanoclay. *J Polym Environ* Vol.21: 15pp.
- Hristove, V.N., Vasileva, S.T., Krumova, M. and Michler, R. (2004). Deformation mechanisms and mechanical properties of modified polypropylene/wood fiber composites. *Journal of Polymer Composites*. 25(5). 1015-1022.
- Li Q, Matuana LM. (2003). Surface of cellulosic materials modified with functionalized polyethylene coupling agents. *J Appl Polym Sci* Vol:88:9 pp.
- Meyers EG, Chahyadi IS, Gonzalez C, Coberly CA .(1993). Wood fibres/polymer composites: fundamental concepts, processes, and material options. Forest Product Society, Madison, USA
- Morreale M, Scaffaro R, Maio A, La Mantia FP .(2008). Effect of adding wood flour to the physical properties of a biodegradable. *Compos Part A* Vol:39:14 pp
- Nourbakhsh A, Ashori A, and Jahan-Latibari A. (2010). Evaluation of the physical and mechanical

The effect of micro-cellulose particles length on mechanical, thermal and morphological properties in nano/wood plastics composites

A. Nourbakhsh^{1*} and A. Kargarfard²

1*- Corresponding author, Associate.Prof., Wood Science and its Products Research Division, Iran Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran, Email: nourbakhsh_amir@yahoo.com

2-Associate.Prof., Wood Science and its Products Research Division, Iran Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran

Received: Oct., 2014

Accepted: Nov., 2015

Abstract

In this research the impact of micro cellulose particles length, and coupling agent (MAPP) on the mechanical and thermal properties of Nano/ wood plastics composites were investigated. The results showed that mechanical properties of the composites made with 50 micron micro cellulose particles and 5 % of MAPP were significantly different to those of the lower length (20 micron) and 2.5% of MAPP. Addition of MAPP enhanced the mechanical and thermal properties of the blends, due to the improvement of interface bond between the filler and matrix of Nano/ wood plastics composites. The significant improvements in mechanical properties of the blended composites made with MAPP and NC were further supported by SEM and TEM micrographs. Nano/ clay particles distribution and thermo gravimetric analysis (TGA) indicated that the addition of 5% MAPP and the longer micro cellulose particles remarkably increased the thermal stability of the blends compared to other treatments of Nano/ wood plastics composites.

Key words: Composite, mechanical properties, micro- cellulose, thermal properties, nanoclay.