DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijwpr.2013.3112

فصلنامهٔ علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۲۸، شمارهٔ ۱، صفحهٔ ۱۶۸-۱۵۳، (۱۳۹۲)

بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت حاصل از آرد چوب نوئل، پلی‌پروپیلن و نانوکلی (نانورس)

حبیب الله خادمی اسلام[۱]، زهرا یوسف نیا[۲*]، اسماعیل قاسمی[۳] و محمد طلائی پور[٤]

۱- دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم و تحقبقات تهران

۲*- نویسنده مسئول، کارشناس ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران

پست‌الکترونیک: z_usefnia2010@yahoo.com

۳- دانشیار گروه پلاستیک پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران

٤- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم و تحقبقات تهران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۱

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثر مقدار ذرات نانورس کلویزیت ۳۰B و ماده سازگارکننده MAPP بر خصوصیات مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک آرد چوب نوئل، پلی‌پروپیلن و نانورس انجام شد. برای این منظور از آرد چوب نوئل در سطح ثابت ٤۰٪، ماده سازگارکننده MAPP در دو سطح ۲ و ٤٪ و نانورس کلویزیت ۳۰B در چهار سطح ۰، ۱، ۳ و ۵٪ استفاده گردید. مواد در یک مخلوط‌کن داخلی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت ٦۰ دور در دقیقه و در مدت زمان ۱۲دقیقه با یکدیگر مخلوط شدند، و نمونه‌ها با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی ساخته شدند و خواص مکانیکی شامل مقاومت‌کششی، مقاومت‌خمشی و مدول‌خمشی اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که با افزودن نانورس، مقاومت‌کششی، مقاومت‌خمشی و مدول‌خمشی کامپوزیت افزایش یافت. همچنین با افزودن مقدار ماده سازگارکننده MAPP از ۲ به ٤٪، مقاومت‌کششی، خمشی و مدول‌خمشی افزایش پیدا کردند. همچنین مطالعات ساختاری نانوکامپوزیت چوب پلاستیک به روش تفرق اشعه‌ایکس نشان داد که توزیع ذرات نانورس در زمینه پلیمری از نوع بین لایه‌ای است، و با افزایش مقدار ذرات نانورس فاصله بین لایه‌ها افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: کامپوزیت چوب پلاستیک، ماده سازگارکننده، نانورس، خواص مکانیکی، تفرق اشعه ایکس

مقدمه

از گذشته‌های دور انسان مواد مختلف را برای دستیابی به فراورده‌ای با خواص بهتر با هم ترکیب نموده است. یکی از این فراورده‌ها چند سازه چوب پلاستیک است که به اختصار WPC[1] نامیده می‌شود. این فراورده که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، مخلوطی از ذرات چوب یا مواد لیگنوسلولزی دیگر و مواد پلیمری است که ظاهری شبیه به چوب داشته، ولی بوسیله فرایندهای تولید مواد پلاستیکی شکل می‌گیرد. در ساخت این فراورده محدوده وسیعی از پلیمرها مانند پلی‌پروپیلن (PP[2])، پلی‌اتیلن

1 -Wood plastic composite

2 -Polypropylene

(PE[1])، پلی‌وینیل کلراید (PVC[2]) و ... همراه با پرکننده‌های سلولزی نظیر آرد و الیاف چوب، مواد لیگنوسلولزی مانند کتان، کنف، بامبو، کاه و کلش و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبق آمار منتشر شده بیشترین پلیمرهای مصرفی از نوع پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن بوده، به طوری که در سال ۲۰۱۰ در مجموع ۹۵٪ از پلیمرهای مصرفی را شامل شده‌اند. با وجود معایبی نظیر جذب آب بدلیل خاصیت آبدوستی الیاف سلولزی، محدودیت دمای فراورش بدلیل تخریب حرارتی مواد چوبی، کاهش میزان به‌کارگیری الیاف بدلیل بالارفتن درجه‌روانی و مقاومت به ضربه پایین‌تر آنها نسبت به پلاستیک باید به مزایای قابل توجه این محصول اشاره کرد. قیمت پایین، دانسیته کم، قابلیت پُرکنندگی زیاد، دسترسی به انواع گوناگونی از الیاف در سرتاسر جهان، قابلیت تخریب بیولوژیکی در طبیعت، ضریب انبساط حرارتی کم، تجدیدشوندگی، عدم سایش ماشین‌آلات و عدم تولید مواد سمی بعد از سوختن، از مزایای الیاف و پُرکننده‌های طبیعی نسبت به پُرکننده‌های معدنی (رس، تالک، آهک و ...) و الیاف مصنوعی (شیشه، کربن و ...) می‌باشد. با توجه به ویژگیچهای بسیار خوب مواد مرکب چوب پلاستیک، این مواد می‌توانند به راحتی در بیشتر موارد جایگزین تولیدات چوبی و پلاستیکی شوند. صنایع خودروسازی، دیوار و سقف کاذب، پروفیل در و پنجره، کفپوش داخلی و خارجی ساختمان، پوشش‌های ضد صدا، مبلمان شهری و خانگی، کابینت آشپزخانه، نرده، پرچین، پوشش سقف، پروفیل‌های صنعتی و ساختمانی و قسمت‌های داخلی اتومبیل بخش‌های اصلی هستند که این محصولات می‌توانند در آنها به‌کار روند. امروزه با ورود فناوری نانو در عرصه علم مواد، پلیمرهای تقویت شده با پرکننده‌های نانو مورد توجه جوامع علمی و صنعتی قرار گرفته است. از جمله این نانو ذرات می‌توان به ذرات نانورس اشاره کرد که به‌علت ابعاد خاص و ضریب ظاهری بالا در مقایسه با سایر پرکننده‌ها، در مقادیر بسیار اندک موجب بهبود خواص کامپوزیت‌های پلیمری می‌گردند. به همین دلیل در طی سال‌های اخیر استفاده از خاک رس اصلاح شده به‌عنوان پرکننده نانو در ساخت نانو کامپوزیت‌های پلیمری در حجم قابل توجهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به طوری که مصرف مقادیر اندکی از آن سبب افزایش خواص مکانیکی و بهبود خواص فیزیکی می‌گردند. لی و همکاران (۲۰۰۷) نانو کامپوزیت چوب پلاستیک حاصل از آرد چوب کاج و پلی‌اتیلن سنگین بر پایه نانو سیلیکات‌های رسی را با استفاده از روش قالبگیری تزریقی تولید کردند. نتایج نشان داد که با افزایش ۱٪ نانورس، مقاومت‌خمشی و کششی به‌ترتیب در حدود ۲۰ و ۲٤٪ افزایش یافتند، همچنین مدول‌کششی و ازدیاد طول نیز به‌ترتیب ۱۱/۸٪ و ۱۳٪ روند افزایشی داشتند، ولی مقاومت به ضربه در حدود ۷٪ کاهش یافت. کانی و همکاران (۲۰۰۸) بیان داشتند که کلیه خواص مکانیکی نانو کامپوزیت پلیمری بر پایه مونتموریلونیت – پلی‌پروپیلن شامل استحکام خمشی، کششی، سختی و ضربه هنگام افزودن ۲٪ خاک‌رس افزایش یافتند، درحالی که مقدار بیشتر نانورس موجب کاهش این خواص گردید. آنها علت بهبود خواص را در مقادیر کمتر رس، به ضریب ظاهری بالای مونتموریلونیت و همچنین تشکیل ساختار لایه لایه‌ای و بین لایه‌ای مرتبط دانستند، در حالی که با افزایش مقدار نانورس به‌علت تراکم رس‌ها، خواص مکانیکی کاهش یافت. در هنگام تولید چندسازه چوب پلاستیک مشکلاتی نظیر عدم سازگاری بین پرکننده آبدوست و ماده زمینه

1 -Polyethylene
2- Polyvinilchloride

(پلاستیک) آب‌گریز و دشواری توزیع یکنواخت این پرکننده‌ها در پلاستیک بوجود می‌آید، که جهت برطرف کردن این مشکلات از عوامل سازگارکننده استفاده می‌شود. مقدار مصرف جفت‌کننده‌ها معمولا بین ۳-۱ درصد وزن کل کامپوزیت می‌باشد. افزایش جفت‌کننده‌ها تا حد معینی منجر به بهبود خواص مکانیکی می‌شود و بعد از آن، با افزایش مقدار جفت‌کننده، خواص ثابت مانده و یا کاهش می‌یابد. از این‌رو مقدار اضافی جفت‌کننده به جای اینکه تقویت‌کننده چسبندگی باشد به‌عنوان یک عامل بازدارنده عمل می‌کند. مطالعات ایچازو و همکاران (۲۰۰۱) تأییدکننده اثر مثبت ماده جفت‌کننده بر چسبندگی الیاف به ماتریس از طریق پیوند گروه‌های هیدروکسیل مواد لیگنوسلولزی و گروه‌های انیدرید و ماده جفت‌کننده می‌باشد. Arbelaiz و همکاران (۲۰۰۵) اثر الیاف و اصلاح ماتریس بر خواص مکانیکی و جذب آب چندسازه‌های الیاف کتان- پلی‌پروپیلن را بررسی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از MAPP به‌عنوان جفت‌کننده، خواص مکانیکی را بهبود بخشید و سرعت جذب آب به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. بعد از دوره طولانی غوطه‌وری در آب خواص مکانیکی به‌طور واضحی کاهش یافت.

مواد و روشها

مواد

در این تحقیق از پلی‌پروپیلن تولید شده توسط شرکت پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۱۸ g/10min و چگالی ۰/۹ g/cm^3 با نام تجاری Moplen V30S به‌عنوان ماده پلیمری، از انیدرید مالئیک پیوند شده با پلی‌پروپیلن از محصولات شرکت پتروشیمی اراک، با شاخص جریان مذاب ٦٤ g/10min و نام تجاری Priex 20070 به‌عنوان عامل سازگارکننده، و آرد چوب نوئل و پودر نانورس تولید شده توسط شرکت Southern clay کشور آمریکا با نام تجاری Closite 30B استفاده شده است.

فرایند اختلاط

به‌منظور بررسی اثر مقدار نانورس Closite 30B و سازگارکننده MAPP بر خواص کامپوزیت چوب پلاستیک، آرد چوب نوئل در سطح ثابت ٤٠٪، پلی‌پروپیلن در سطح ٦٠٪، نانورس در چهار سطح ۰، ۱، ۳ و ۵٪ و سازگارکننده در دو سطح ۲ و ٤٪ مورد استفاده قرارگرفتند که مجموعاً ۸ تیمار بدست آمد (جدول۱). فرایند اختلاط مواد با دستگاه مخلوط‌کن داخلی (Hakke) در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران با دمای اختلاط ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت اختلاط ٦٠ دور در دقیقه انجام شد، بعد از اختلاط مواد، چندسازه بی‌شکل تولید شده، که پس از سرد شدن دوباره آسیاب و به دستگاه قالب‌گیری تزریقی (Injection Molding) منتقل شده و این دستگاه پس از ذوب مجدد، ماده مذاب را به درون قالب‌هایی تزریق نموده و نمونه‌های مورد نظر تهیه شدند.

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

آزمون خمش مطابق استاندارد ASTM D 474 و آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM D ٦٣٨، با سه تکرار اندازه‌گیری شدند.

آزمون تفرق اشعه X (XRD)

پراش پرتو اشعه X، امکان شناخت نوع ساختار لایه - لایه‌ای و بین لایه‌ای نانو ذرات‌رس در نانوکامپوزیت‌های پلیمری و چگونگی توزیع نانورس را در زمینه پلیمری

فراهم می‌کند. در این تحقیق پراکنش اشعه X توسط دستگاه XRD و با زاویه پراش (2θ) در دامنه ۱۰-۰ انجام شد. نمونه‌ها به‌صورت ورقه‌ای با ابعاد $۲\times۲\times۰/۲mm^3$ برای انجام آزمون تهیه شدند.

محاسبات آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از از نرم‌افزار Excellو Spss 17 انجام شد، و از تکنیک تجزیه واریانس در سطح اطمینان ۹۵٪ و آزمون دانکن برای گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده گردید.

جدول ۱- درصد اجزای تشکیل‌دهنده کامپوزیت چوب پلاستیک در تیمارهای مختلف

شماره تیمار	کد تیمار	پلی‌پروپیلن (٪)	آرد چوب (٪)	سازگارکننده (٪)	نانورس (٪)
۱	40%WF[5]/2%MAPP[6]/58%PP	۵۸	٤۰	۲	۰
۲	39%WF/1%N/2%MAPP/58%PP	۵۸	۳۹	۲	۱
۳	37%WF/3%N/2%MAPP/58%PP	۵۸	۳۷	۲	۳
٤	35%WF/5%N/2%MAPP/58%PP	۵۸	۳۵	۲	۵
۵	40%WF/4%MAPP/56%PP	۵٦	٤۰	٤	۰
٦	39%WF/1%N/4%MAPP/56%PP	۵٦	۳۹	٤	۱
۷	37%WF/3%N/4%MAPP/56%PP	۵٦	۳۷	٤	۳
۸	35%WF/5%N/4%MAPP/56%PP	۵٦	۳۵	٤	۵

نتایج

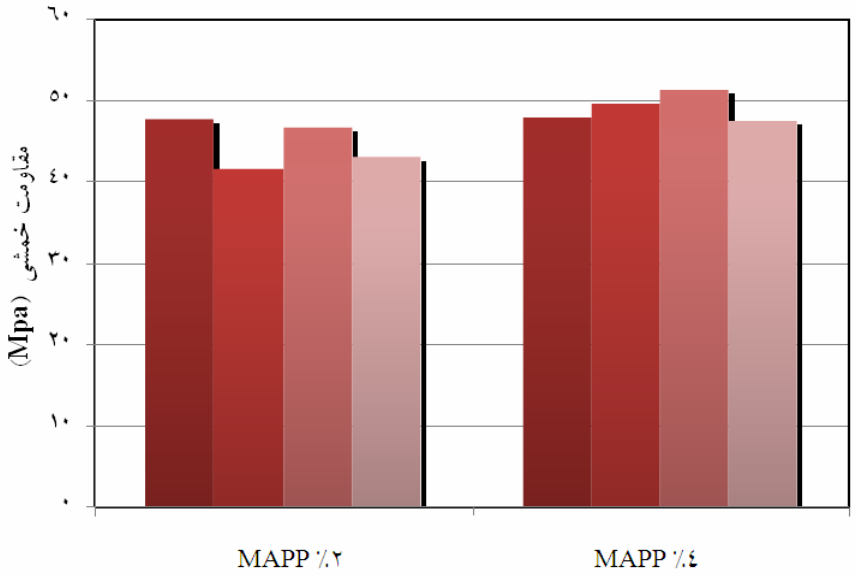
خواص مکانیکی

خواص مکانیکی کامپوزیت آرد نوئل، پلی‌پروپیلن و نانورس شامل: خمش (مقاومت‌خمشی و مدول‌خمشی) و کشش (مقاومت‌کششی) مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور مشخص شدن تأثیر درصد میزان نانو و ماده سازگارکننده بر مقاومت‌ها و مدول، با بکارگیری روش تجزیه واریانس و تعیین سطح معنی‌داری ۵٪ (سطح اطمینان ۹۵٪)، اثر عوامل متغیر مورد بررسی قرار گرفت.

- مقاومت‌خمشی (MOR)

- اثر مستقل سازگارکننده بر مقاومت‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک

نتایج تجزیه واریانس جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر مستقل سازگارکننده بر مقاومت‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک در سطح اطمینان ۹۵٪ (سطح معنی‌دار ۵٪) دارای اختلاف معنی‌داری است. همان طوری که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار سازگارکننده از ۲ به ٤٪، مقاومت‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک افزایش یافت.



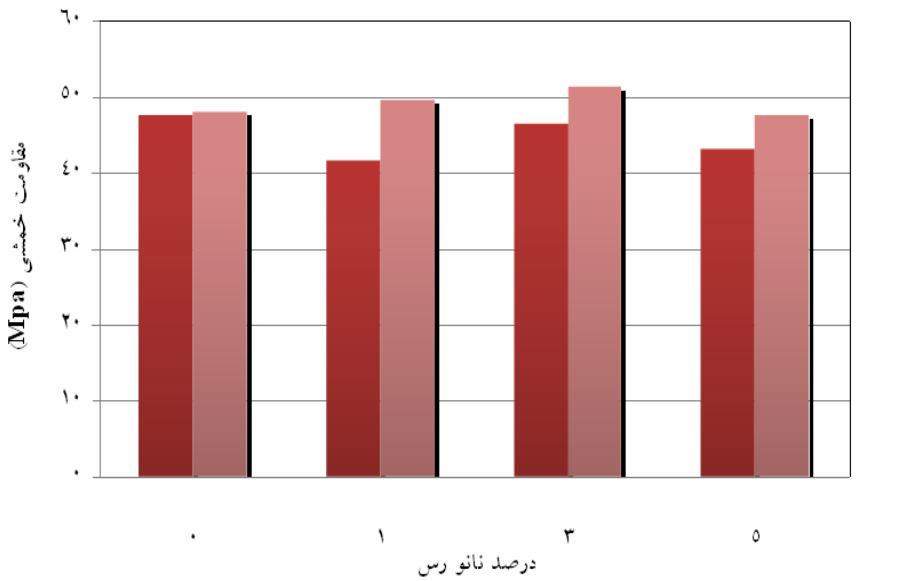
شکل ۱- اثر مستقل سازگارکننده بر مقاومت‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل نانورس و سازگارکننده بر مقاومت خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک

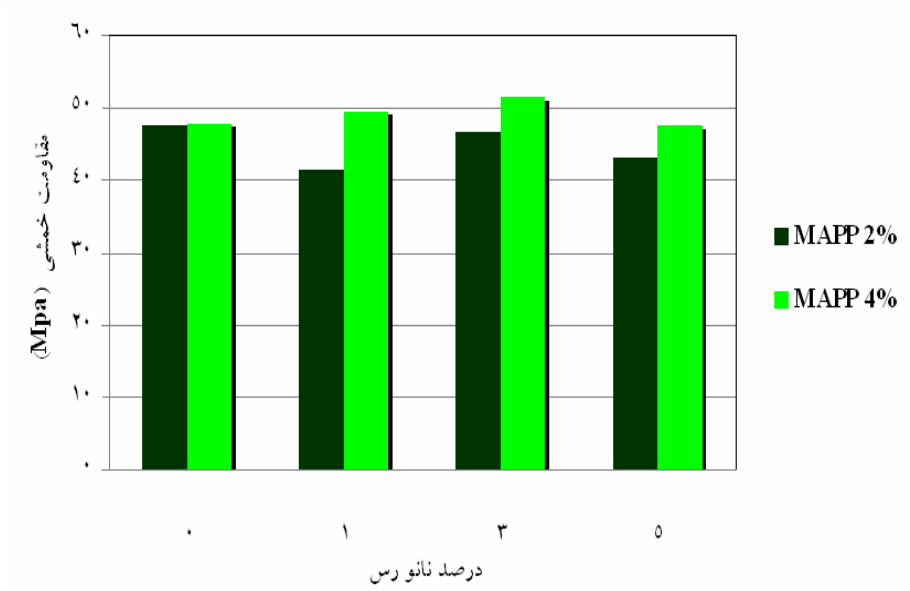
منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
نانو	۳	٥٦/٤١٢	۳/۹٦۳	۰/۰۲۷
MAPP	۱	۱۱٤/۲۷٦	۲/٤۰E1	۰/۰۰۰
نانو×MAPP	۳	٤٥/۰۸٦	۳/۱٦۷	۰/۰٥۳
خطا	۱٦	۷٥/۹۲۲	–	–
کل	۲٤	٥۳۱٥۰/۸۳۲		

- اثر مستقل نانورس بـر مقاومـت‌خمشـی کامپوزیـت چوب پلاستیک

نتایج تجزیه واریانس نشان مـی‌دهـد کـه اثـر مسـتقل نانورس بر مقاومت‌خمشی کامپوزیت چوب پلاسـتیک در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار است (جـدول ۳). همانطوریکه در شکل ۲ مشاهده می شود، بـا افـزایش مقدار نـانورس از ۰ تـا ۱٪، مقاومـت‌خمشـی کامپوزیـت چوب پلاستیک کاهش می‌یابـد، بـا افـزودن ۳٪ نـانورس مقاومت‌خمشی افزایش یافته، سپس با افـزودن مقـدار ۵٪ نانورس کاهش یافت.



شکل ۲- اثر مستقل نانورس بر مقاومت‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک



شکل ۳- اثر متقابل سازگارکننده و نانورس بر مقاومت‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک

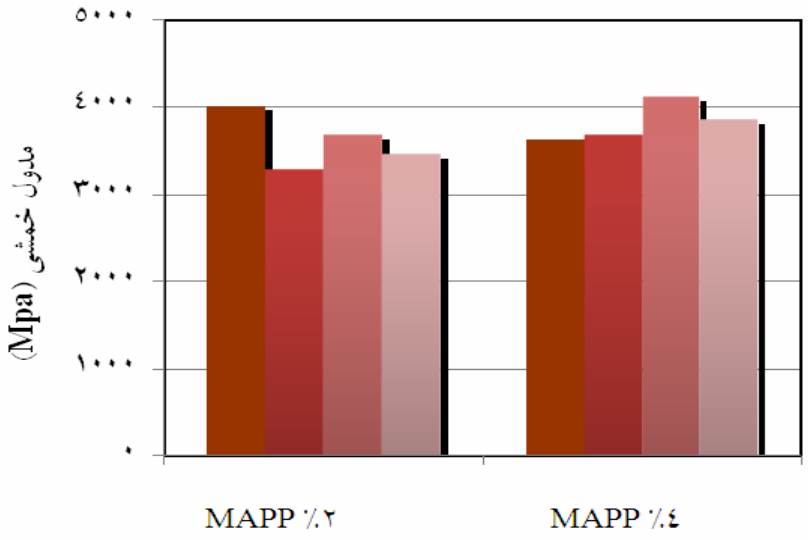
- اثر متقابل سازگارکننده و نانورس بر مقاومت‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر متقابل آرد چوب و نانورس بر مقاومت‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشد. همانطوریکه در شکل ٤ مشاهده می‌شود، بالاترین مقدار مقاومت‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک مربوط به استفاده از ۳٪ نانورس و ٤٪ سازگارکننده می‌باشد.

مدول‌خمشی (Bending Module)

اثر مستقل سازگارکننده بر مدول‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر مستقل سازگارکننده بر مدول‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار است (جدول۳). همانطورکه در شکل ٤ مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار سازگارکننده از ۲ به ٤٪، مدول‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک کاهش یافت.



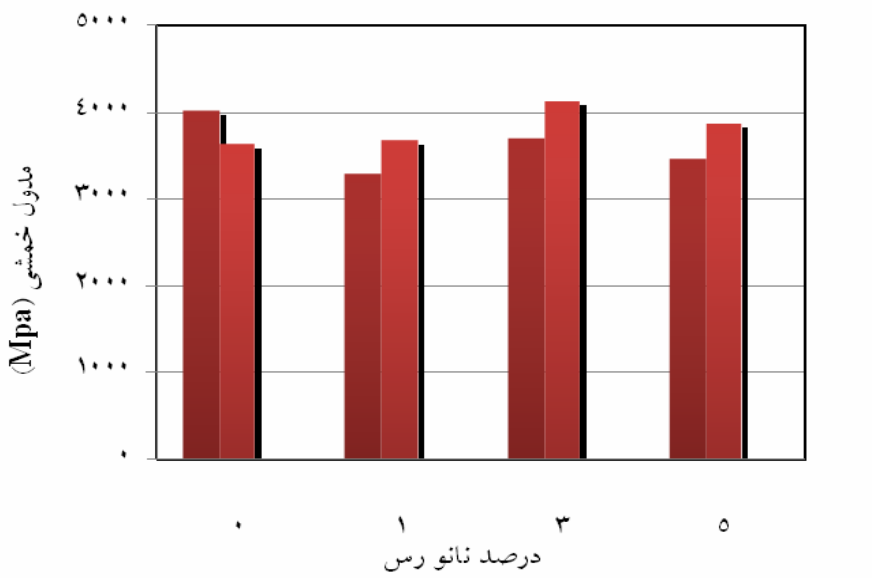
شکل ٤- اثر مستقل سازگارکننده بر مدول‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل نانورس و سازگار کننده بر مدول‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک

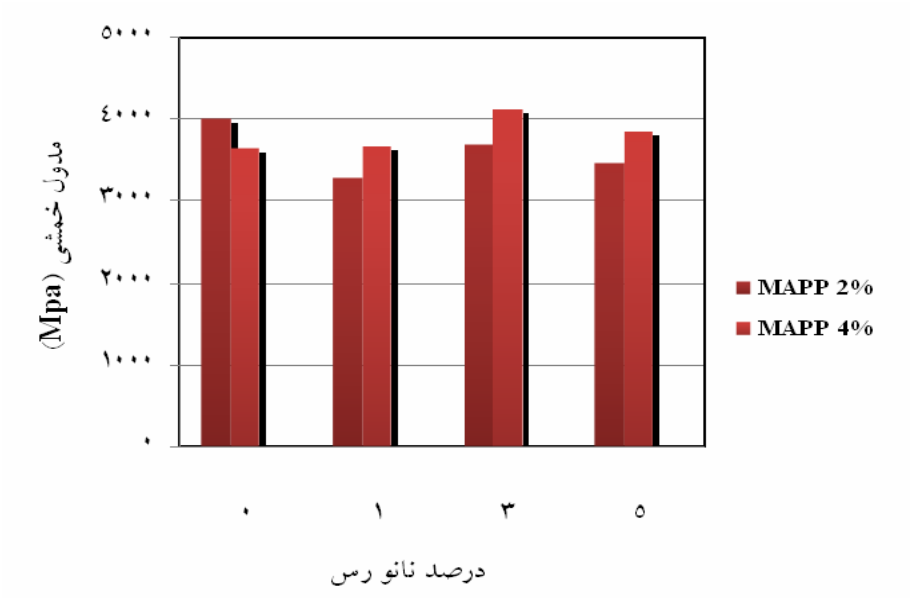
منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	مقدار F	سطح معنی داری
نانو	۳	٦٤١٧٧١/۰	٤/٤E0	۰/۰۱۹
MAPP	۱	۲۷۰۵۱۲/٦٦۷	۵/٦E	۰/۰۳۱
نانو×MAPP	۳	٦۸۷٦۲۰/۳۳۳	٤/۷E	۰/۰۱۵
خطا	۱٦	۷٦۸۹٦۷/۳۳۳	٤/۸۰٦E4	
کل	۲٤	۳/۳۳٦E8		

اثر مستقل نانورس بر مدول‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر مستقل نانورس بر مدول‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری است (جدول ۳). همانطورکه در شکل ۵ مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۱٪، مدول‌خمشی کاهش یافت، به‌طوری‌که با افزودن مقدار ۳٪ نانورس افزایش یافته، سپس با افزودن مقدار ۵٪ نانورس، مقدار مدول‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک کاهش یافت.



شکل ۵- اثر مستقل نانورس بر مدول‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک



شکل ٦- اثر متقابل نانورس و سازگارکننده بر مدول‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک

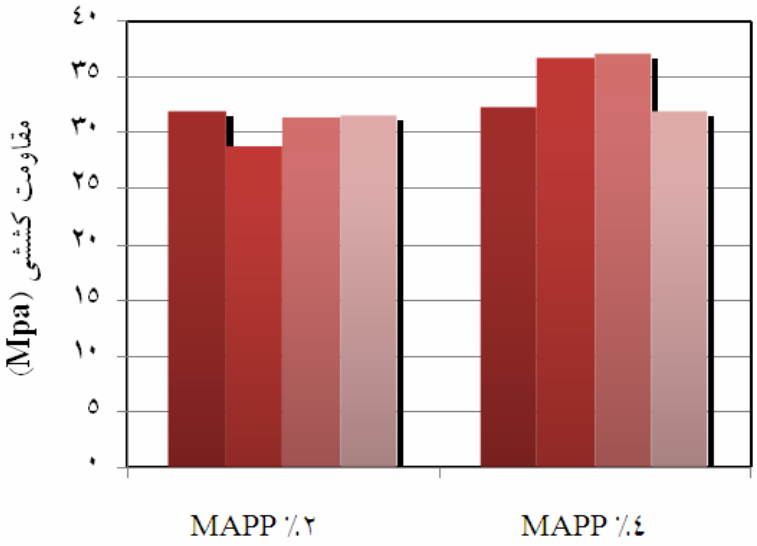
اثر متقابل نانورس و سازگارکننده بر مدول‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر متقابل نانورس و سازگارکننده بر مدول‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری است (جدول ۳). همانطورکه در شکل ٦ مشاهده می‌شود، بالاترین مقدار مدول‌خمشی مربوط به استفاده از ۳٪ نانورس و ٤٪ سازگارکننده می‌باشد.

مقاومت‌کششی (Tensile strength)

اثر مستقل سازگارکننده بر مقاومت‌کششی کامپوزیت چوب پلاستیک

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر مستقل سازگارکننده بر مقاومت‌کششی کامپوزیت چوب پلاستیک در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری است (جدول ٤). همانطوریکه در شکل ۷ مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار سازگارکننده از ۲ به ٤٪، مقاومت‌کششی کامپوزیت چوب پلاستیک افزایش یافت.



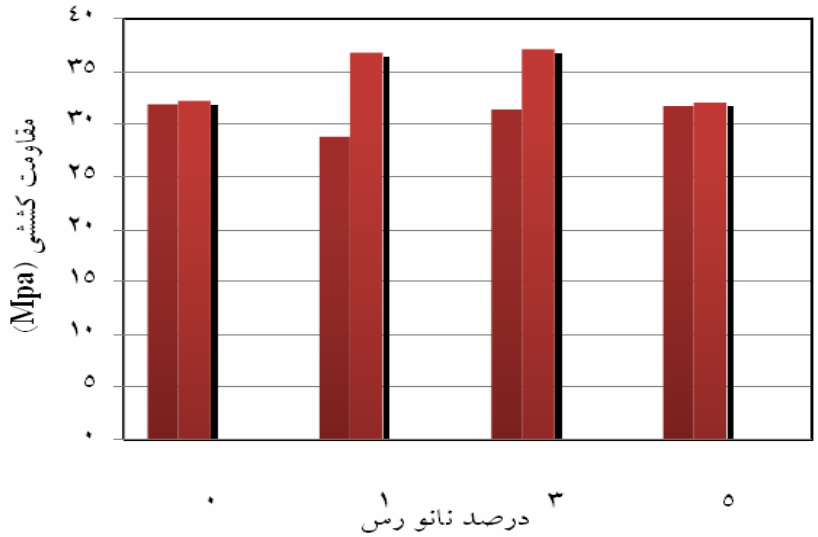
شکل ۷- اثر مستقل سازگارکننده بر مقاومت‌کششی کامپوزیت چوب پلاستیک

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل نانورس و سازگار کننده بر مقاومت‌کششی کامپوزیت چوب پلاستیک

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
نانو	۳	۲۱/۹۷۷	۱/۳۹۷	۰/۲۸۰
MAPP	۱	۷۸/۳۷۳	۱/٤۹E1	۰/۰۰۱
نانو×MAPP	۳	٦۷/۳٤٥	٤/۲۸۲	۰/۰۲۱
خطا	١٦	۸۳/۸۷۳	٥/۲٤۲	
کل	۲٤	۲٥۸۹٥/٥٦٥		

- اثر مستقل نانورس بـر مقاومـت‌کششـی کامپوزیـت چوب پلاستیک

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد کـه اثـر مسـتقل نانورس بر مقاومت‌کششی کامپوزیـت چـوب پلاسـتیک در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای اختلاف معنـی‌داری نمـی-باشد (جدول ٤). همانطورکه در شکل ۸ مشـاهده مـی-شود با افزایش مقدار نـانورس تـا ۳٪، مقاومـت‌کششـی افزایش یافته، سپس با افزودن مقدار ۵٪ نانورس مقـدار مقاومت‌کششی کامپوزیت چوب پلاستیک کاهش یافت. البّته کمترین مقدار مقاومت‌کششی مربوط به اسـتفاده از ۵٪ نانورس و بیشترین مقدار مربـوط بـه اسـتفاده از ۳٪ نانورس می‌باشد.



شکل ۸- اثر مستقل نانورس بر مقاومت‌کششی کامپوزیت چوب پلاستیک

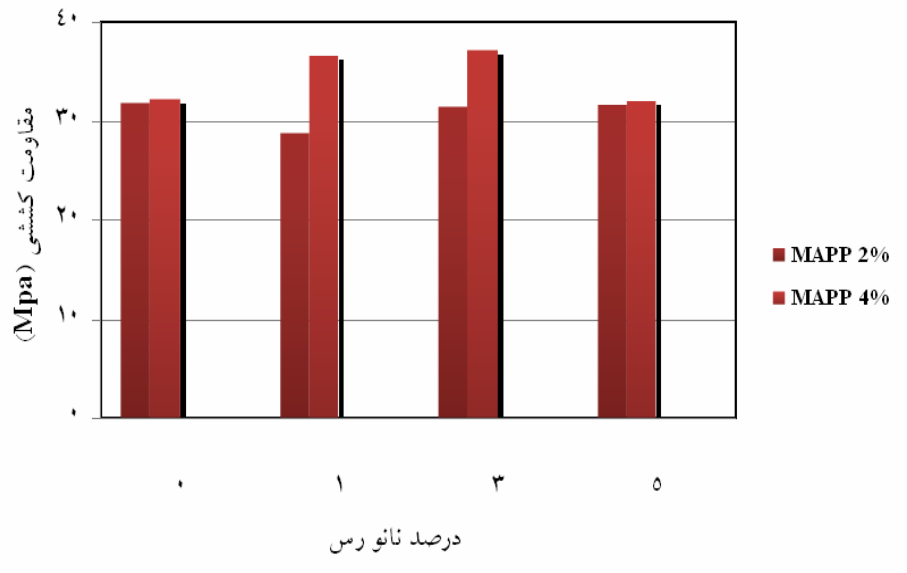
اثر متقابل نانورس و سازگارکننده بر مقاومـت‌کششـی کامپوزیت چوب پلاستیک

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر متقابل نـانو-رس و سازگارکننده بر مقاومت‌کششی کامپوزیـت چـوب پلاستیک در سطح ۹۵٪ دارای اخـتلاف معنـی‌داری اسـت (جدول ٤). همـانطورکـه در شـکل ۹ مشـاهده مـی‌شـود، بالاترین مقدار مقاومت‌کششـی مربـوط بـه اسـتفاده از ۳٪ نـــانورس و ٤٪ ســـازگارکننده و کمتـــرین مقـــدار مقاومت‌کششی مربـوط بـه اسـتفاده از ۱٪ نـانورس و ۲٪ سازگارکننده می‌باشد.

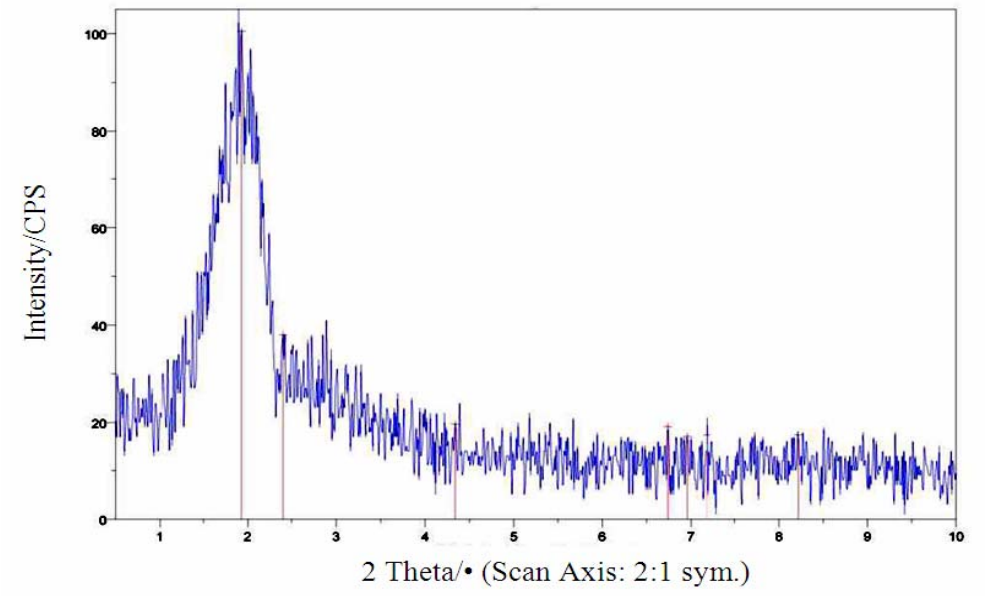
مطالعه ساختاری

مطالعه ساختاری توسط آزمون تفرق اشعه X

نتایج طیـف‌هـای پـراش اشـعه X کامپوزیـت چـوب پلاستیک ساخته شده در این تحقیق نشان داد که سـاختار نانوکامپوزیـــت تشـــکیل شـــده از نـــوع بـــین لایـــه‌ای (Intercalation) می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد کـه بـه هنگام استفاده از پرکننده نانورس تا ۳٪، فاصله بـین لایـه-های سیلیکاتی ذرات نانورس افزایش یافتـه و بـا افـزایش نانورس تا ۵٪، فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی رس کـاهش می‌یابد.



شکل ۹- اثر متقابل نانورس و سازگارکننده بر مقاومت‌کششی کامپوزیت چوب پلاستیک



شکل ۱۰- طیف اشعه X نانوکامپوزیت چوب پلاستیک با ۱٪ نانورس و ۲٪MAPP

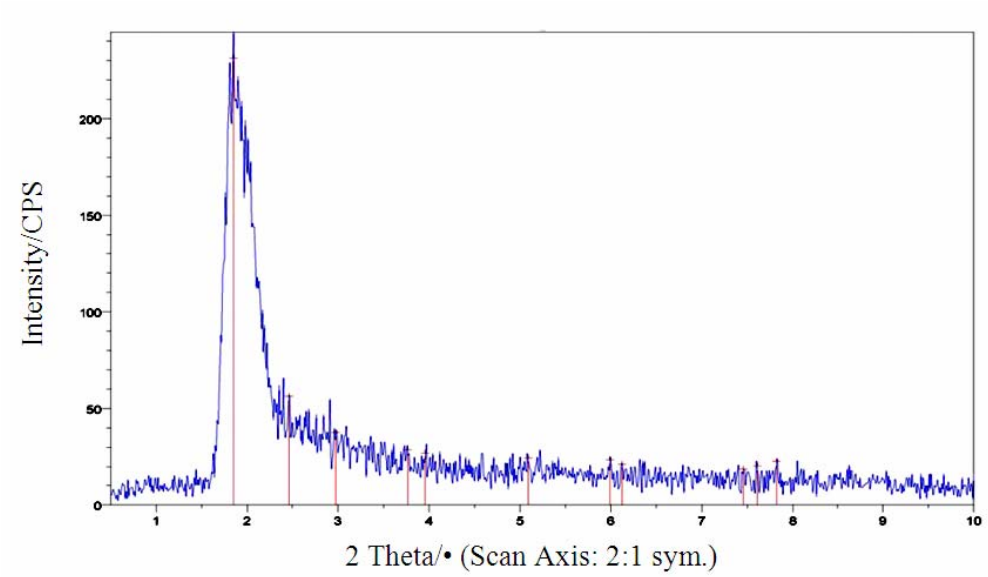
طیف اشعه X نانوکامپوزیت چوب پلاستیک با ۱٪ نانورس و ۲٪ MAPP

در شکل ۱۰ طیف تفرق اشعه X نانوکامپوزیت چوب پلاستیک با ۱٪ نانورس و ۲٪ MAPP در زاویه ۱۰-۰ درجه نشان داده شده است. قله نمایان شده در طیف مربوط به ناحیه بلوری نانورس می‌باشد که کاملا از بین نرفته است، و نشان‌دهنده ساختار بین لایه‌ای (Intercalation) در نانوکامپوزیت چوب پلاستیک می-

باشـد. در سـاختار بـین لایـه‌ای ازهـم گسـیختگی کامـل لایه‌های رس رخ نمی‌دهـد، در حـالی کـه اگـر در پـراش اشعه X پیک یا قله مشـاهده نشـود، دلالـت بـر پـراکنش نانورس از نوع لایه لایه‌ای و متلاشی شدن ساختار بلوری رس دارد. پیک تفرق اشعه X نانورس کلویزیت B ۳۰ در این طیف در زاویه ۲Θ=۱/۹۳ مشاهده می‌شود، فاصله بین لایـه‌هـای سـیلیکاتی رس در ایـن زاویـه dA1= ٤٥/٦٩ آنگستروم می‌باشد.

طیف اشعه X نانوکامپوزیـت چـوب پلاسـتیک بـا ۳٪ نانورس و ۲٪ MAPP

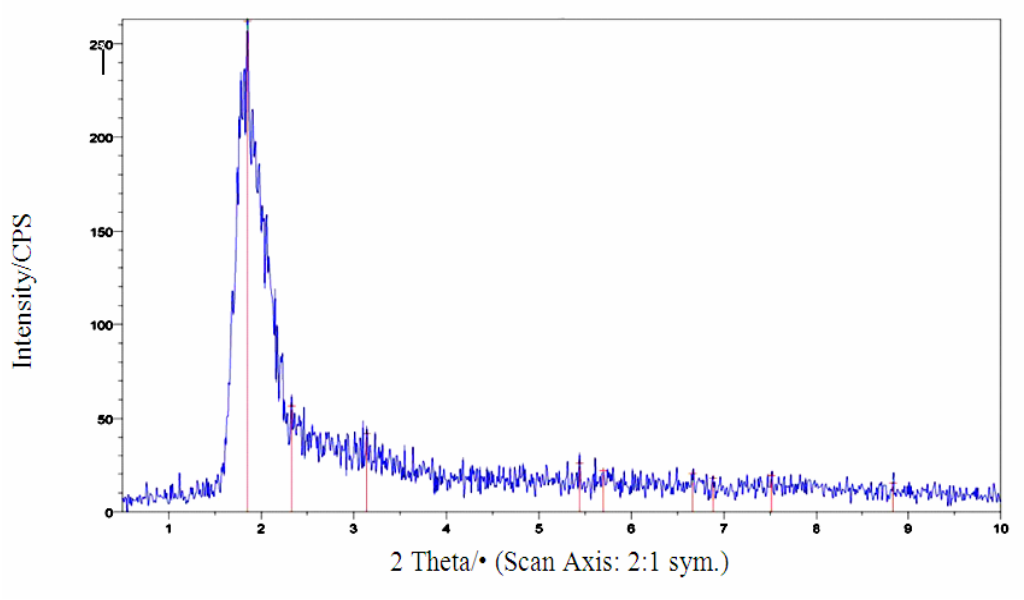
در شکل ۱۱ طیف پراش اشعه X نانوکامپوزیـت چـوب پلاستیک با ۳٪ نانورس و ۲٪ MAPP در زاویه ۱۰-۰ درجه نشان داده شده است. پیک تفرق اشعه X نانورس کلویزیـت B ۳۰ در زاویه 2Θ=۱٫۸۵ مشاهده می‌شود. فاصله بین لایـه-های سیلیکاتی رس در این زاویـه dA1= ٤٧,٦٨ آنگسـتروم می‌باشد، و نشان می‌دهد که فاصله بین لایـه‌هـای سـیلیکاتی رس با افزایش نانورس تا ۳٪، افزایش یافته است.



شکل ۱۱- طیف اشعه X نانوکامپوزیت چوب پلاستیک با ۳٪ نانورس و ۲٪MAPP

طیف اشعه X نانوکامپوزیـت چـوب پلاسـتیک بـا ۵٪ نانورس و ۲٪ MAPP

در شکل ۱۲، پیک تفرق اشـعه X نـانورس کلویزیـت B۳۰ در زاویه ۲Θ=۱/۸۵ مشاهده می‌شـود و فاصـله بـین لایـه‌هـای سـیلیکاتی رس در ایـن زاویـه dA1= ٤٧/٦٧ آنگستروم می‌باشد. در ایـن طیـف فاصـله بـین لایـه‌هـای سیلیکاتی رس با افـزایش نـانورس تـا ۵٪، کـاهش یافتـه است.



شکل ۱۲- طیف اشعه X نانوکامپوزیت چوب پلاستیک با ۵٪ نانورس و ۲٪MAPP

بحث

در این تحقیق تأثیر ذرات نانورس کلویزیت ۳۰B و سازگارکننده MAPP بر خصوصیات مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک پلی‌پروپیلن و آرد چوب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که:

۱- افزایش میزان مدول در نانوکامپوزیت‌های رسی به طور مستقیم به طول متوسط ذرات رس و در نتیجه نسبت ابعادی آنها وابسته است. همچنین عوامل ساختاری مختلفی نظیر نسبت حجمی، ضریب ظاهری نانورس، فاصله بین ذرات و مقدار درهم‌رفتگی ذرات نانورس نیز بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های پلیمرخاک رس تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارند. همچنین اختلاف بین میزان متورق شدن لایه‌ها و تشکیل ساختار لایه‌لایه‌ای تأثیر شدیدی بر مدول نانوکامپوزیت حاصل دارد. علاوه براین، درصد خاک رس در نانوکامپوزیت‌ها نقش بسزایی ایفا می‌کند (Zhao *et al*, 2006). معمولاً با افزایش درصد رس ساختمان‌های جدید درهم‌رفته و بعد توده‌های رس در نانوکامپوزیت تشکیل می‌شوند، زیرا ذرات نانورس بدلیل تشکیل اتصال قوی با ماتریس پلیمر موجب افزایش مدول در کامپوزیت می‌گردند، البته پس از حد مشخصی روند افزایشی خواص با افزایش درصد رس کُند و گاهی معکوس می‌شود (Samel *et al*, 2008) . به این دلیل با افزایش مقدار نانورس مدول‌خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک پلی‌پروپیلن- آرد چوب افزایش یافته است، که با نتایج بدست آمده توسط هان و همکاران (۲۰۰۸)، وان و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد.

۲- افزایش مقدار نانورس و وجود مرفولوژی بین لایه‌ای و لایه‌لایه‌ای در نانوکامپوزیت بدلیل تأثیر بین سطحی زنجیره‌های آلی و ذرات نانورس و نیز جهت-یافتگی ذرات سیلیکات لایه‌ای موجب افزایش مقاومت در نانوکامپوزیت می‌گردد. همچنین غیرهمگونی و نسبت بالای سطح به حجم نانورس با مواد آلی در قابلیت تقویت‌کنندگی بالای ذرات نانورس سهیم است، و به این صورت عمل می‌شود که ذرات نانورس به‌عنوان

تقویت‌کننده موجب می‌شوند سطح مشترک بین دو فاز افزایش پیدا کند (Wu *et al.*, 2007) . از طرفی با افزودن خاک رس در نتیجه تورم لایه‌های رس و ایجاد چسبندگی قوی بین پلیمر و خاک رس، مقاومت کامپوزیت افزایش می‌یابد (Asif *et al.*, 2007). بنابراین به این دلیل با افزایش مقدار نانورس مقاومت‌کششی و خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک افزایش می‌یابد.

۳- افزودن عامل سازگارکننده ضمن بهبود اتصال در سطح مشترک بین ذرات پُرکننده و ماده زمینه، سبب توزیع مناسب‌تر ذرات پرکننده در ماتریس پلیمری شده و در نتیجه مدول‌خمشی نمونه‌ها را افزایش می‌دهد.

٤- افزایش درصد مقدار عامل سازگارکننده باعث افزایش تقویت فصل مشترک بین دو فاز الیاف سلولزی و پلیمری کامپوزیت‌ها می‌گردد و سبب بالارفتن مقاومت‌کششی، خمشی و مدول‌خمشی می‌گردد. به‌عبارت دیگر استفاده از عامل سازگارکننده سبب ایجاد ساختاری همگن‌تر در ماده مرکب می‌گردد. و هرچه ساختار ماده همگن‌تر باشد، توزیع تنش در هنگام واردکردن بار استاتیک بهبود یافته و تمرکز تنش در ناحیه‌ای از محصول کمتر اتفاق خواهد افتاد، در نتیجه ظرفیت تحمل تنش و مقاومت‌خمشی افزایش می‌یابد. در مورد اثر بهبوددهندگی عامل سازگارکننده روی مقاومت‌کششی نمونه‌ها، جهت انتقال مؤثر تنش و نیز توزیع مناسب بار، وجود یک اتصال قوی در سطح مشترک دو فاز لازم است. بدون سازگارکننده ذرات پرکننده به‌صورت اجزایی مجزا با اتصال‌های ضعیف درون ماده زمینه حضور دارند و بنابراین نمی‌توانند به صورت مؤثر در توزیع تنش وارده به ماده مرکب شرکت نمایند. Lu *et al.*, 1995، Rowell *et al.*, 2000 نیز در این زمینه به نتایج مشابهی دست یافتند.

۵- مطالعات ساختاری نانوکامپوزیت چوب پلاستیک به روش پراش اشعه X نشان داد که توزیع نانورس در زمینه پلیمری از نوع ساختار بین لایه‌ای است و با افزایش مقدار ذرات نانورس فاصله بین لایه‌ها افزایش می‌یابد.

منابع مورد استفاده

- آزاد، فتانه. فائزی پور، مهدی. تجویدی، مهدی. ۱۳۸۸. اثر عامل سازگارکننده پلی‌پروپیلن جفت شده با مالئیک انیدرید (MAPP) بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ماده مرکب آرد نی- پلی‌پروپیلن. فصلنامه علمی-پژوهشی علوم چوب و کاغذ ایران. جلد ٢٤. شماره ٢. صفحه٢٤٣-٢٣٢
- کرد، بهزاد. ۱۳۸۹. بررسی خواص مکانیکی حاصل از پلی‌اتیلن سنگین-آرد چوب. فصلنامه علمی-پژوهشی علوم چوب و کاغذ ایران. جلد ۲۵. شماره ۱. صفحه۱۰۱-۹۱
- کرد، بهزاد. ۱۳۸۷، بررسی خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و ریخت شناسی کامپوزیت هیبرید آرد چوب-پلی‌پروپیلن و نانو فیلر. رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
- مهدی نیا، میثم. ۱۳۹۰، بررسی اثر مقدار و شکل هندسی ذرات ساقه سویا بر روی ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی چند سازه الیاف طبیعی/ پلاستیک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- Asif, A., Roa, L.V. and Ninan, K.N. 2007. Hydroxyl terminated poly (ether ether keton) with pendant methyl group-toughened epoxy ternary nanocomposires: preparation, morphology and thermomechanical properties. Journal Applied polymer science (103), 3793-3799pp
- Arbelaiz, A., B., Fernandez, G., Cantero, R., liano pote, A., valea, and I., Mondragon. 2005 mechanical properties of short flax fiber bundle/ polypropylene composites. Influence of matrix/ fiber modification, fiber content, water uptake and recycling. Journal of composites science and technology 65: 1582-159
- Bledzki AK, Reihmane S, Gassan J., 1998. Thermoplastics reinforced with wood fillers:a literature review. Polym Plast Technol En.g; 37(4): 451–68
- Espert, A., Vilaplana, F. and Karlsson S., 2004. Comparison of water absorption in natural cellulosic fibers from wood and one-year crops in

polypropylene composites and its influence on their mechanical properties. Composites: Part A 35(2004):1267–1276
- Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y. and Suzuki, S. 2008. Bamboo– fiber filled high density polyethylene composites; effect of coupling treatmentand nanoclay. Journal of Polymer Environment, Vol 21, 1567-1582pp
- Ichazo, M.N, Albano, C., Gonzalez, J., Perera, R., Candal, M.V. (2001) Polypropylene/wood flour composites: treatments and properties. Composites Structure 54: 207-214
- Kanny. K., K.Moodley, V.K. 2007. Characterization of polypropylene nanocomposite structures. Journal of Engineering Materials and Technology, Vol 29, 105-112pp
- Kuang, Xuan., Kuang, Rui., Zheng, Xiaodong., and Wang, Zhiling. 2010. Mechanical properties and size stability of wheat straw and recycled LDPE composites coupled by waterborne coupling agents. Carbohydrate polymers. 80; 927-933
- Kociszewski, M., Gozdecki, C., nski, A., Zajchowski, and S., Mirowski, J. 2010. Effect of industrial wood particle size on mechanical properties of wood-polyvinyl chloride composites. Euro. J. Wood Prod
- Lu, M; Collier, JR and Collier BJ., 1995. Improving mechanical properties of polyethelene-wood fiber composites by compounding and in line maleation. An TEC, 95(2). Materials, Boston, Massachusetts, USA, 1437p. 7-11 May.
- Rowell, MR; Lange, SE and Jacobson, RE. 2000. Weathering performance of plant-fiber thermoplastic composites. Mol. Cryst. And Liq, 353(2): 85-94
- Samal, S.K., Nayak, S. and Mohanty, S. 2008.Polypropylene Nanocomposites: Effect of organo-modified layered silicates on mechanical, thermal and morphological
performance. Journal of Thermoplastic Composite Materials, Vol 8, No 2, 243-263pp.
- Sanadi, A. R., Caulfield, D. F., Rowell, R.M. 1994. Reinforcing polypropylene with natural fiber. Plastic Engineering. Vol. 1. No. 4. PP: 27-28.
- Wan, L., K, Wang., L, Chen., Y, Zhang., C, He. 2005. Preperation, morphology and
thermal/ mechanical properties of epoxy/ nanoclay composite.
- Wu, Q., Lei, Y., Clemons, C.M., Yao, F., Xu, Y., and Lian, K. 2007. Properties of HDPE/Clay/Wood Nanocomposites, Journal of Plastic Technology27(2), 108-115pp.
- Zhao, Y., Wang, K., Zhu, F., Xue, P. and Jia, M. 2006. Properties of poly(vinylchloride)/woodflour/montmorillonite composites: Effects of coupling agents and layered silicate. Journal of Polymer Degradation and Stability, Vol 91, 2874-2883pp.

Investigating the mechanical properties of wood flour/ polypropylene/ nanoclay composite

Khademi Eslam, H.[1] , Yousefnia, Z.[2*] , Ghasemi, E.[3] and Talaeipoor, T.[4]

1-Associate Prof., Wood and Paper Science and Technology Department, Science and research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2*-Corresponding Author; M.Sc., Wood and Paper Science and Technology Department, Science and research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, E-mail; z_usefnia2010@yahoo.co
3-Associate Prof. Plastic Department , Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, Iran
4-Assistant Prof., Wood and Paper Science and Technology Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: Mar., 2011 Accepted: Oct., 2012

Abstract

The effect of nanoclay and coupling agent contents on the mechanical properties of wood flour/ polypropylene/ nanoclay composites was investigated. Wood flour content was constant at 40%, maleic anhydride at two levels of 2 and 4% and nanoclay (Cloisite 30B) at three levels of 0, 1, 3 and 5% were used. The materials were mixed in an internal mixer at 180 ^{o}C, 60 rpm for 12 minutes, and then the specimens were fabricated by injection molding method. The mechanical properties such as tensile and flexural strength, flexural modulus and impact strength were measured. The nanoclay dispersion was examined by X-ray diffraction. The results indicated that the tensile and flexural strength, and the flexural modulus increased with increasing the nanoclay, but impact strength decreased. The tensile and flexural strength, flexural modulus increased as the compatibilizer content increased from 2 to 4%, but impact strength was decreased. The structural examination of the wood polymer nanocomposite with X-ray showed that nanoclay was distributed as intercalation structure in polymer matrix, and the d-spacing of layers were increased with increasing of nanoclay particles content.

Key words: Wood polymer composites, coupling agent, nanoclay, mechanical properties, X-ray diffraction