

امکان استفاده از آرد ساقه سویا در چندسازه‌های چوب-پلاستیک ساخته شده با پلی پروپیلن

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

*۱- نویسنده مسئول، دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، تهران

پست الکترونیک: a_karagarfard@yahoo.com

۲- دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، تهران

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۴

چکیده

این تحقیق با هدف تولید چندسازه‌های چوب-پلاستیک با استفاده از آرد ساقه سویا و بررسی اثر مصرف ذرات نانورس بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده انجام شده است. از این رو با استفاده از آرد ساقه سویا در دو سطح ۳۵ و ۴۵ درصد (بر اساس وزن خشک چندسازه)، ۳ سطح مصرف نانورس صفر، ۳ و ۶ درصد (بر اساس وزن خشک پلیمر)، پلی پروپیلن به عنوان پلیمر زمینه و همچنین ۵ درصد ماده سازگارکننده MAPP^۱، چندسازه‌های چوب-پلاستیک ساخته شد. بعد از اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی، نتایج حاصل با استفاده از طرح آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش آرد ساقه سویا به استثنای مقاومت به ضربه که تغییری نداشته است، کلیه ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌ها از یک روند کاهشی معنی‌دار برخوردار شده‌اند. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش مصرف ذرات نانورس، مقاومت خمشی و کششی کاهش یافته، ولی مدول الاستیسیته خمشی و کششی و مقاومت به ضربه با مصرف ذرات نانورس یک رابطه خطی داشته و بیشترین این ویژگی‌ها در مصرف ۶ درصد نانورس مشاهده شدند. در حالی که کمترین مقدار واکنش‌دهی و جذب آب چندسازه‌ها در مصرف ۳ درصد نانورس و ۳۵ درصد آرد ساقه سویا مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: چندسازه چوب/پلاستیک، پلی پروپیلن، سازگارکننده، آرد ساقه سویا، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

مقدمه

دلیل استفاده از ضایعات پلاستیکی، دوام طبیعی بالاتر در مقابل حشرات، قارچ‌ها و رطوبت در مقایسه با چوب و سایر فراورده‌های مرکب چوبی، قابلیت بازیافت، رقابت با پلاستیک‌ها و دیگر پرکننده‌ها به لحاظ قیمت و دانسیته کمتر نسبت به آنها می‌باشد. این عوامل و برتری‌ها باعث شده است که در سالهای اخیر تولید و مصرف این فراورده از رشد و توسعه زیادی برخوردار گردد (Oksman, 1994).

چند سازه‌های مواد لیگنوسلولزی / پلاستیک از جمله فراورده‌های نسبتاً جدیدی به‌شمار می‌آیند که نسبت به پلاستیک خالص معایبی مانند جذب آب بیشتر به دلیل خاصیت آبدوستی الیاف سلولزی، و محدودیت در دمای فراورش به دلیل تخریب حرارتی مواد چوبی دارند. ولی از سوی دیگر این محصول دارای مزایای بسیاری از جمله قابلیت تجزیه بیولوژیکی، کاهش آلودگی محیط زیست به

1- Maleic Anhydride Poly Propylene

کاربرد الیاف طبیعی به عنوان پرکننده و تقویت کننده در پلاستیک‌ها، سرعت در حال افزایش است، که عمدتاً به دو صورت الیاف و آرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. این در حالیست که طبق آمارهای منتشره، افزایش مصرف انواع پلیمرها به طور مستمر به تولید ضایعات و پسماندهای پلاستیکی در سطح جهانی افزوده است. به طوری که با افزایش آلودگی‌های محیط‌زیستی ناشی از مصرف این پلیمرها، بسیاری از کشورها در حال وضع قوانینی برای محدود کردن مصرف پلاستیک‌ها هستند. از سوی دیگر استفاده از مواد پلیمری بازیافتی در صنعت چندسازه‌های چوب-پلاستیک به یکی از راهکارهای کاهش آلودگی‌های زیست محیطی تبدیل شده است (Roger و همکاران، ۲۰۰۰). با توجه به کمبود منابع چوبی و افزایش قیمت چوب، استفاده از منابع جایگزین شامل طیف گسترده‌ای از قبیل پسماندهای کشاورزی (باگاس، کنف، ساقه گندم، پنبه و ...) و مواد بازیافتی مانند الیاف OCC مورد توجه قرار گرفته است. طبق آمارهای منتشره از سوی وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۹۰)، در سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۸۸، بیش از ۷۶۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی زیر کشت سویا بوده است. با توجه به عملکرد ۲۱۶۰ کیلوگرمی این محصول در هر هکتار و برآورد ۱۵۰ درصدی ضایعات لیگنوسلولزی نسبت به مقدار محصول (طبق ارزیابی مؤلف در استان گلستان) بیش از ۲۵۰ هزار تن پسماندهای لیگنوسلولزی حاصل از کشت گیاه سویا هر ساله پس از عملیات برداشت، سوزانده و یا شخم و با خاک مخلوط می‌گردد تا پوسیده شود، که در صورت کاربرد آنها به عنوان ماده تقویت‌کننده در تولید چندسازه‌های چوب-پلاستیک از توجیه اقتصادی مناسبی برخوردار می‌باشد (آمارنامه کشاورزی، ۲۰۱۰). از سوی دیگر ارتقاء ویژگی‌های مقاومتی چوب پلاستیک‌ها می‌تواند کاربرد آنها را در ساختمانها و مکانهای تحت بار (قسمت‌های تحمل‌کننده بار) گسترش دهد. بنابراین اخیراً از دو رویکرد استفاده از ترموپلاستیک‌های مهندسی شده و با کارایی بالا به عنوان ماده زمینه که سختی (سفتی) و

مقاومت زیاد در مقایسه با پلاستیک‌های متداول را دارند و همچنین تقویت چندسازه‌های چوب پلاستیک به وسیله کاربرد نانوذرات بوده است (Faruk and Matuana, 2008). بدین منظور استفاده از ریزذراتی مانند نانورس، نانو سیلیکا، نانو تیوپ و ... در چوب پلاستیک‌ها رو به افزایش بوده و اکثراً باعث بهبود خواص چندسازه شده است. به طوری که در اثر گسترش استفاده از ریز ذراتی مانند نانورس و نانوسیلیس؛ محصولات تولید شده قابل استفاده در صنایع هوا-فضا نیز شده است (Han et al., 2008). در بین این ذرات، نانورس (بنتونیت) یک منبع مهم طبیعی است که از رس‌های نرم و خیلی کلئیدی و اساساً مونت مریلونیت تشکیل شده است. در زیر میکروسکوپ الکترونی ذرات بنتونیت غیرقابل تشخیص از سایر مواد معدنی در کائولین هستند و فقط تفاوت آنها ضخامت است. علاوه بر مونت مریلونیت، بنتونیت ممکن است حاوی کوارتز کریستالی و کریستوبالیت باشد. مواد معدنی بر پایه بنتونیت خصوصیات شکل‌دهی ژل تیکسوتروپی با آب، جذب آب زیاد و ظرفیت تغییر کاتیون زیاد را نشان می‌دهد و این خصوصیات می‌تواند در مواد معدنی رس متناسب با ماهیت داخلی آب و کاتیون‌های قابل تغییر در فضای بین لایه‌ای متنوع و گوناگون باشد. تحقیقات انجام شده توسط محققان در این زمینه بسیار متنوع و وسیع می‌باشد. Razavi و همکاران (۲۰۰۶)، خواص مکانیکی و جذب آب چند سازه‌های ذرات شلتوک برنج و پلی پروپیلن را مورد بررسی قرار دادند. مقادیر مختلفی از شلتوک برنج (بین صفر تا ۴۰ درصد وزنی) با ماتریکس پلی پروپیلنی مخلوط شده و از MAPP به عنوان ماده جفت‌کننده استفاده شد. نتایج آنان نشان داد که مدول‌های خمشی و کششی در سطوح ۴۰ درصد شلتوک برنج، بالاترین مقدار بودند و مقاومت خمشی بهبود یافته و تغییر طول و انرژی در نقطه شکست کاهش پیدا کردند. همچنین میزان درصد جذب آب در سطوح بالاتر شلتوک برنج، بیشتر بوده است. Han و همکاران (۲۰۰۸) اثر اختلاط الیاف بامبو با

همکاران (۲۰۰۵) خصوصیات ریخت‌شناسی و مکانیکی - گرمایی چندسازه‌های تقویت‌شده با ذرات نانورس را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این پرکننده‌ها به علت تشکیل ساختار لایه‌ای و ساختار بین لایه‌ای موجب پراکنش بهتر ذرات در زمینه پلیمری شده و در نهایت مدول کششی، مقاومت کششی و سختی کامپوزیت افزایش می‌یابد. Jieming Chen و Yan (۲۰۱۳)، Zahedi و همکاران (۲۰۱۳) همگی بر این ادعا هستند که افزودن نانورس سبب بهبود خواص مکانیکی می‌شوند. بعضی از این مطالعات نشان دادند که افزودن ۲-۳ درصد نانورس خواص مکانیکی را بهبود می‌بخشد ولی افزودن مقداری بیشتر از آن سبب کاهش خواص مکانیکی می‌شود. هدف از انجام این تحقیق نیز بررسی ویژگی‌های چندسازه ساخته شده از پلی‌پروپیلن و آرد ساقه سویا و تأثیر مصرف نانورس به‌منظور بهبود این ویژگی‌ها بوده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از ماده لیگنوسولوزی ساقه سویا که از مزارع اطراف شهرستان گرگان تهیه شده بود به‌عنوان پرکننده استفاده شد. ساقه‌های سویا پس از حمل و انتقال به آزمایشگاه، با استفاده از یک آسیاب حلقوی از نوع PALLMANN به قطعات مناسب برای آسیاب کردن تبدیل شده و پس از جداسازی ذرات چوب پنبه‌ای (Pith) آن، با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی به آرد تبدیل و با استفاده از الک‌هایی با مش ۶۰ و ۸۰، ذرات مناسب که از الک ۶۰ مش گذشته و بر روی الک ۸۰ مش باقی مانده بودند، جداسازی شدند. آردهای مش‌بندی شده سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد طبق استاندارد ASTM 7031-04 قرار داده شدند تا رطوبت آنها به زیر ۱ درصد کاهش یابد. همچنین در این تحقیق، از ماده پلیمری پلی‌پروپیلن استفاده شد که از تولیدات شرکت پتروشیمی اراک بود.

HDPE/ نانورس را بررسی و عنوان کردند که در سیستم HDPE خالص هر دو مدول خمشی دینامیک و استاتیک افزایش می‌یابد، در حالی که با افزایش نانورس مقاومت به ضربه کاهش پیدا می‌کند. نتایج انحنای نوری X-ray (XRD) داده‌هایی را ارائه می‌کند که هنگامی که فقط ۱٪ نانورس به HDPE خالص و بدون MAPE اضافه شده بود نانورس به صورت ورقه ورقه درآمده است. با استفاده از MAPE خواصی مانند مقاومت کششی و مدول خمشی و مقاومت یا استحکام در چندسازه HDPE/الیاف بامبو بهبود یافته بود. ولی استفاده از نانورس در این سیستم باعث کاهش ویژگی‌های مکانیکی در چندسازه‌های با الیاف بامبو شده است.

Lei و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی تحت عنوان تأثیر نانورس بر ویژگی‌های چندسازه‌های HDPE/ترکیب‌های چوب، را مورد بررسی قرار دادند و عنوان کردند که استفاده از ۲٪ نانورس، دمای کریستال شدگی (بلور شدگی)، میزان و سطح آن در HDPE/ترکیب‌های کاج، را کاهش داد، اما ضخامت کریستال را تغییر نداد. وقتی ۲٪ MAPE به ترکیب اضافه شد میزان کریستال‌سازی (تبلور) پایین آمد اما سطح آن بسیار کم شد. مقاومت‌های خمشی و کششی و ضربه HDPE/ترکیب‌های کاج، (حدود ۲۰ تا ۲۴ درصد) با افزودن ۱٪ نانورس افزایش یافت. اما پس از آن با افزایش ۳٪ نانورس این ویژگی‌ها کاهش یافت. با وجودی که MAPE حالت پراکنندگی در ترکیب‌ها را بهتر کرد، ولی میزان جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت در چندسازه‌های HDPE/ترکیب‌های کاج، در اثر نانورس کمتر شد و حضور نانورس ثبات حرارتی ترکیب را بهبود بخشید. Wang و همکاران (۲۰۰۱) اظهار داشتند که تأثیر نانورس بر خصوصیات چندسازه‌ها به شکل، اندازه، ضریب ظاهری، نوع، مقدار و کیفیت پراکنده شدن ذرات و چسبندگی در سطح اتصال آنها بستگی دارد، همچنین آنان بیان کردند که افزودن مقادیر اندک ذرات نانورس موجب بهبود خواص مکانیکی، حرارتی و ثبات ابعاد در چندسازه‌ها را فراهم می‌سازد. در تحقیق دیگری، Wan و

حرارتی ۱۶۰، ۱۷۰، ۱۸۰ و ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد (از محفظه تا نازل) و سرعت چرخش (سرعت بارگذاری) ۹۰ rpm انجام گردید. پس از پایان مرحله اختلاط و خروج از دستگاه Collin، مواد سرد شده جمع‌آوری و با استفاده از یک دستگاه آسیاب Wieser به گرانول تبدیل و با استفاده از یک آون آزمایشگاهی در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت نسبت به خشک کردن آنها اقدام گردید. سپس گرانول‌ها توسط دستگاه تزریق (Injection) و شرایط دمایی به ترتیب ۱۷۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد (از محفظه تا نازل)، فشار تزریق ۹۰ bar، فشار بارگیری ۶۰ bar و سرعت چرخش (سرعت بارگذاری) ۷۰ rpm به نمونه‌های آزمونی تبدیل شدند. در این تحقیق به منظور اندازه‌گیری هر ویژگی فیزیکی و یا مکانیکی، تعداد ۶ نمونه آزمونی ساخته شد. پس از ساخت نمونه‌های آزمونی چندسازه‌های آرد ساقه سویا/ پلی‌پروپیلن/ نانورس و مشروط کردن آنها در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد، از دستگاه آزمایشگر ویژگی‌های مکانیکی Instron مدل ۱۱۸۶ برای آزمون خمش استاتیک طبق دستورالعمل ASTM-D790 و آزمون کششی طبق دستورالعمل ASTM-D638 استفاده شد. همچنین از دستگاه آزمایشگر ضربه Instron مدل W5 برای تعیین مقاومت به ضربه آیزود (Izod) طبق دستورالعمل ASTM-D256 و برای آزمون جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب از دستورالعمل ASTM-D570 استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل آماری از آزمون فاکتوریل در قالب بلوک‌های تصادفی کامل استفاده شده است. در صورت معنی‌دار شدن اختلاف بین میانگین‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شده است.

پلی‌پروپیلن تهیه شده دارای درجه آزمایشگاهی با کد R۴۰ و شاخص جریان مذاب: $\text{Agr}/10 \text{ min}$ ، مدول خمشی: ۱۱۰۰ MPa، مقاومت به ضربه Izod: J/m ۴۰ و مقاومت به کشش: ۳۰ MPa بوده است. همچنین از جفت‌کننده (MAPP) ساخت شرکت Aldrich کشور آلمان با مشخصات (GPC) $M_n=3900$ ، $M_w=9100$ (GPC)، گرانیروی بروکفیلد (GPC) 190°C ؛ ۴ پوآز، نقطه ذوب ۱۵۶ درجه سانتی‌گراد و دانسیته سیال ۰/۹۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب به مقدار ۵ درصد بر مبنای وزن خشک پلیمر برای تمام تیمارها مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق از نانورس با کد Closite ۱۵A، که یک مونت مریلونیت طبیعی است و کمتر از ۱۰ درصد ذرات آن قطری بیش از $13 \mu\text{m}$ داشته است، استفاده شد.

آماده‌سازی مواد و ساخت نمونه

در این پژوهش از ماده لیگنوسلولزی آرد ساقه سویا در دو سطح ۳۵ و ۴۵ درصد (بر اساس وزن خشک چندسازه) و نانورس در ۳ سطح صفر، ۳ و ۶ درصد (بر اساس وزن خشک پلیمر) به عنوان عوامل متغیر استفاده شده است. همچنین از ۵ درصد ماده جفت‌کننده MAPP (بر اساس وزن خشک پلیمر) برای تمام تیمارها به طور ثابت مورد مصرف قرار گرفت. از ترکیب عوامل متغیر فوق ۶ تیمار حاصل شد که در جدول شماره ۱ ترکیب این تیمارها قابل مشاهده می‌باشد. مخلوط پلی‌پروپیلن، آرد ساقه سویا، جفت‌کننده (MAPP) و نانورس ابتدا توسط یک مخلوط‌کن به صورت فیزیکی به مدت ۵ دقیقه به طور کامل با هم مخلوط و به صورت همگن درآمد. سپس ذوب و اختلاط این مواد با استفاده از دستگاه اکسترودر دو مارپیچ ناهمسوگرد Collin با گام‌های

جدول ۱- مشخصات تیمارها، عوامل متغیر و سطوح آنها

شماره تیمار	آرد ساقه سویا (%)	نانورس (%)	پلی پروپیلن (%)	MAPP (%)
۱	۳۵	-	۶۰	۵
۲	۳۵	۳	۵۷	۵
۳	۳۵	۶	۵۴	۵
۴	۴۵	-	۵۰	۵
۵	۴۵	۳	۴۷	۵
۶	۴۵	۶	۴۴	۵

نتایج

نتایج تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده به طور خلاصه در جدول ۲ آمده است. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که اثر افزایش مصرف آرد ساقه سویا بر مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. به طوری که افزایش آرد ساقه سویا از ۳۵ به ۴۵ درصد، مقدار مقاومت خمشی چندسازه‌ها از ۴۳/۴۷ به ۴۰/۲۲ و مدول الاستیسیته خمشی از ۳۲۰۹ به ۲۹۵۷ مگاپاسکال کاهش یافته است. در حالی که اثر افزایش نانورس بر این ویژگی‌ها معنی‌دار و دارای اثر متفاوت است. همانطور که در شکل ۱ دیده

می‌شود با افزایش مصرف نانورس مقاومت خمشی کاهش و مقابل آن مدول الاستیسیته خمشی با افزایش روبرو شده است.

همچنین اثر متقابل مصرف آرد ساقه سویا و نانورس بر این ویژگی‌ها معنی‌دار می‌باشد. همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود، مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی چندسازه‌ها در سطح مصرف ۴۵ درصد آرد ساقه سویا، با افزایش نانورس از تغییرات خیلی ناچیزی برخوردار هستند ولی در سطح مصرف ۳۵ درصد آرد ساقه سویا، با افزایش نانورس از صفر به ۶ درصد، مقاومت خمشی با کاهش و مدول الاستیسیته خمشی با افزایش معنی‌داری همراه بوده است.

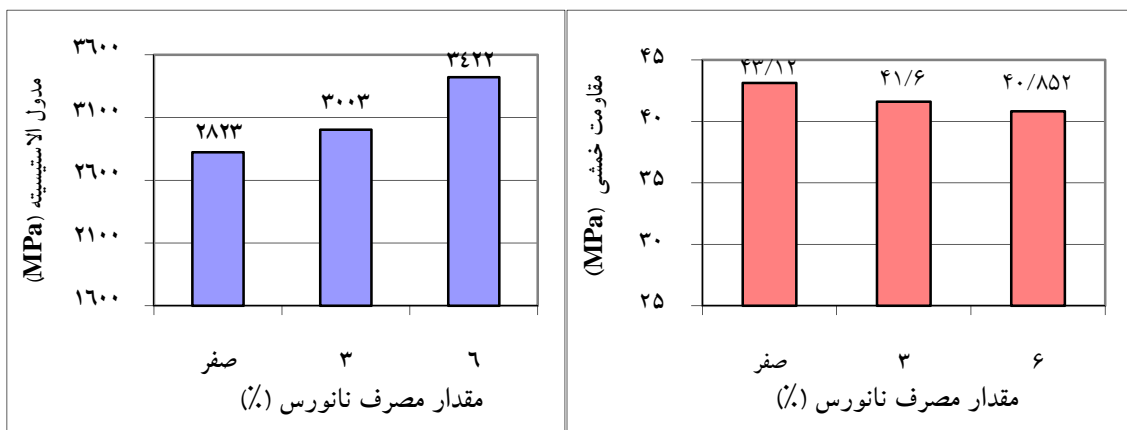
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌ها

منبع تغییرات	درجه آزادی	مقاومت خمشی (F)	مدول الاستیسیته خمشی (F)	مقاومت کششی (F)	مدول الاستیسیته کششی (F)	مقاومت به ضربه (F)
آرد ساقه سویا	۱	۲/۷۳۷ *	۲/۳۷۵ **	۱۰/۰۲۴ n.s	۰/۵۳۰ n.s	۰/۱۲۳ n.s
مصرف نانورس	۲	۰/۴۷۲ n.s	۴/۶۹۷ n.s	۳/۱۶۱ *	۵/۲۳۶ *	۱۰/۳۱۸ *
آرد ساقه سویا * نانورس	۲	۰/۳۸۴ n.s	۴/۶۰۹ **	۱/۲۱۶ *	۰/۵۱۲ *	۳/۴۲۸ *

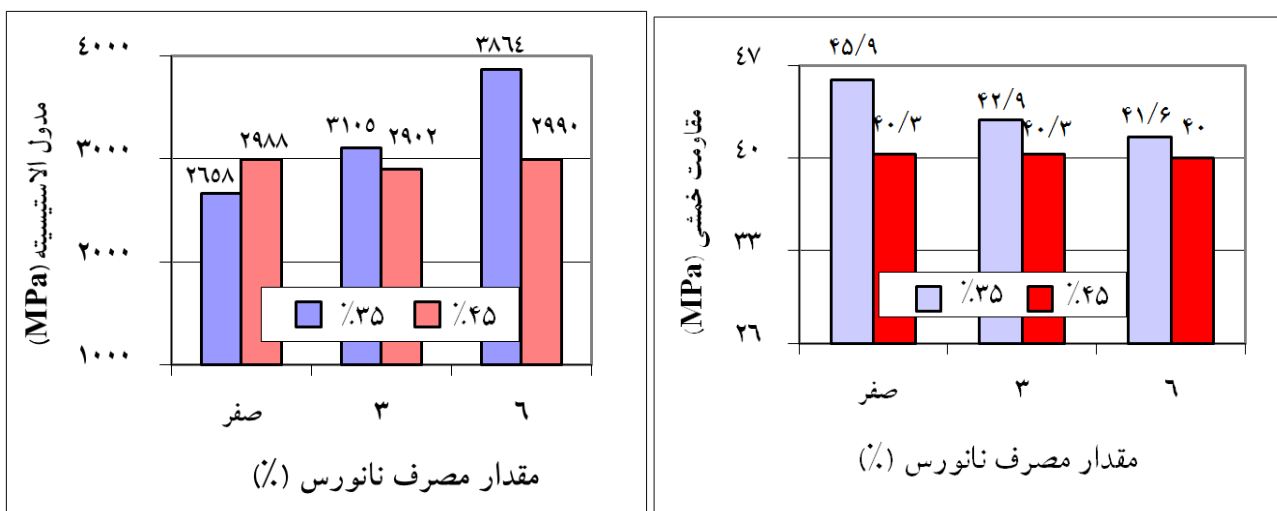
** معنی‌دار در سطح ۱ درصد * معنی‌دار در سطح ۵ درصد n.s معنی‌دار نیست

یافته است. اثر افزایش نانورس بر این ویژگی‌ها نیز در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود. به نحوی که با افزایش مصرف نانورس از صفر به ۶ درصد، مقاومت کششی از ۲۸/۷۱ به ۲۶/۴۲ مگاپاسکال کاهش و از نقطه مقابل مدول الاستیسیته کششی افزایش یافته و از ۲۴۷۳ به ۲۸۰۱ مگاپاسکال رسیده است (شکل ۳).

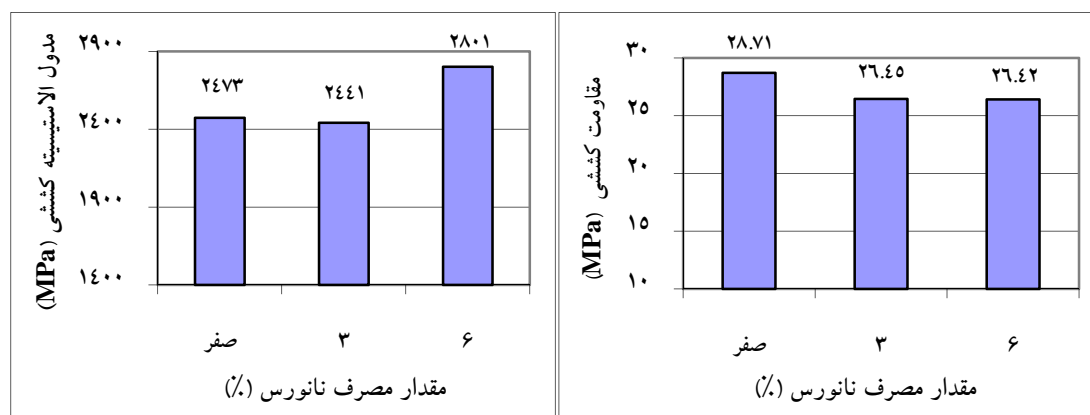
همچنین اثر مستقل مصرف آرد ساقه سویا بر مقاومت کششی در سطح اطمینان ۹۹ درصد و مدول الاستیسیته کششی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است و با افزایش آرد ساقه سویا از ۳۵ به ۴۵ درصد، مقدار مقاومت کششی چندسازه‌ها از ۲۸/۵۵ به ۲۵/۸۴ و مدول الاستیسیته کششی از ۲۶۰۸ به ۲۵۳۵ مگاپاسکال کاهش



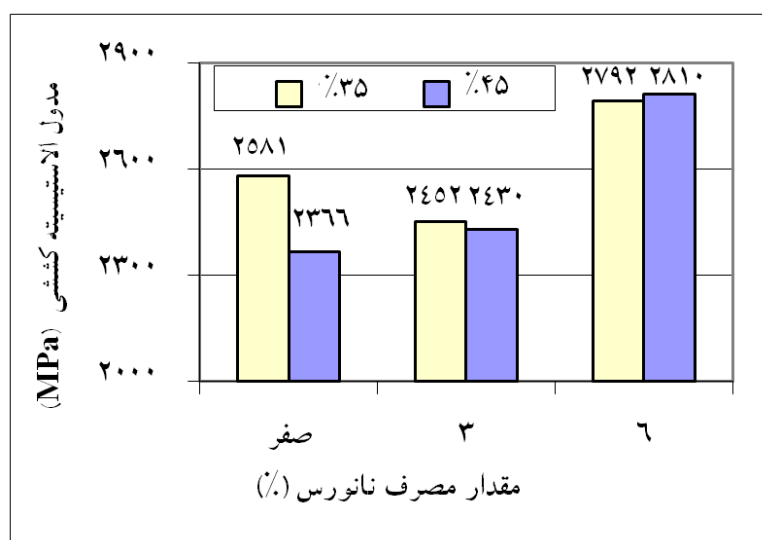
شکل ۱- اثر مستقل مصرف نانورس بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته خمشی



شکل ۲- اثر متقابل مقدار مصرف آرد ساقه سویا و نانورس بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته خمشی



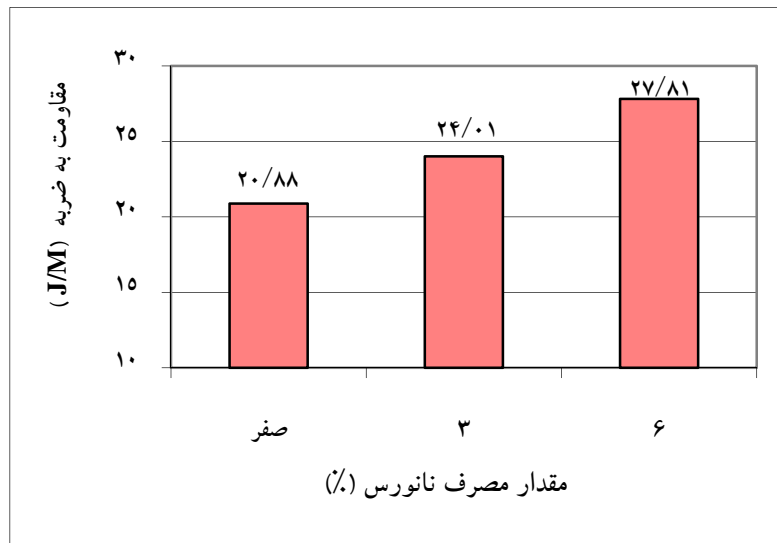
شکل ۳- اثر مستقل مصرف نانورس بر مقاومت کششی و مدول الاستیسیته کششی



شکل ۴- اثر متقابل مقدار مصرف آرد ساقه سویا و نانورس بر مدول الاستیسیته کششی

به ضربه چند سازه‌ها معنی‌دار نبوده است و با افزایش آرد ساقه سویا از ۳۵ به ۴۵ درصد، مقدار مقاومت به ضربه چندسازه‌ها از ۲۴/۰۲ به ۲۴/۴۶ تغییر یافته است. اما اثر افزایش نانورس بر این ویژگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود و با افزایش مصرف نانورس از صفر به ۶ درصد، مقاومت به ضربه از ۲۰/۸۸ به ۲۷/۸۲ ژول بر متر افزایش یافته است (شکل ۵).

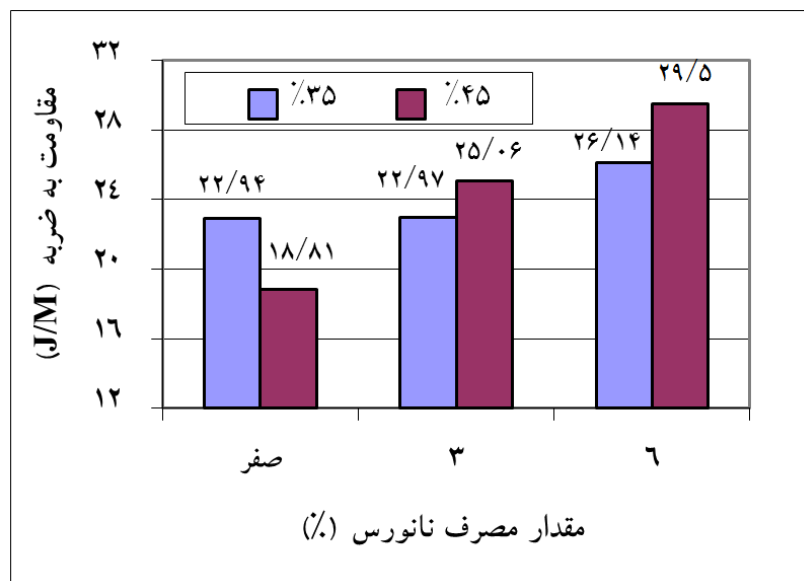
اثر متقابل مصرف آرد ساقه سویا و نانورس بر مقاومت کششی چندسازه‌ها معنی‌دار نبود ولی بر مدول الاستیسیته کششی دارای اثر معنی‌دار بوده است، همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، زیادترین مدول الاستیسیته کششی چندسازه‌ها در سطح مصرف ۴۵ درصد آرد ساقه سویا و ۶ درصد نانورس به دست آمده است. نتایج نشان داد که اثر مصرف آرد ساقه سویا بر مقاومت



شکل ۵- اثر مستقل مصرف نانورس بر مقاومت به ضربه

مصرف ۴۵ درصد آرد ساقه سویا و ۶ درصد نانورس حاصل شده است. در حالی که بیشترین این ویژگی با ۲۹/۵۰ ژول بر متر که در گروه بندی دانکن در گروه A قرار گرفته است در شرایط مصرف ۴۵ درصد آرد ساقه سویا و ۶ درصد نانورس و کمترین آن با ۱۸/۸۱ ژول بر متر که در گروه C قرار گرفته است در شرایط مصرف ۴۵ درصد آرد ساقه سویا و صفر درصد نانورس دیده می شود.

همچنین اثر متقابل مصرف آرد ساقه سویا و نانورس بر مقاومت به ضربه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بوده است و همانطور که در شکل ۶ دیده می شود مقاومت به ضربه چندسازه ها در هر دو سطح مصرف آرد ساقه سویا، با افزایش نانورس از یک روند افزایشی برخوردار بوده است ولی بیشترین این ویژگی با ۲۹/۵۰ ژول بر متر که در گروه بندی دانکن در گروه A قرار گرفته است در شرایط



شکل ۶- اثر متقابل مقدار مصرف آرد ساقه سویا و نانورس بر مقاومت به ضربه

واکسیدگی ضخامت ۲۴ ساعت در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دار بوده است و واکسیدگی ضخامت ۲۴ چندسازه‌ها در سطح مصرف ۳۵ درصد آرد ساقه سویا، با افزایش نانورس از یک روند کاهشی برخوردار بوده است و کمترین این ویژگی با ۰/۳۲۳ درصد که در گروه بندی دانکن در گروه D قرار گرفته است در شرایط مصرف ۳۵ درصد آرد ساقه سویا و ۳ درصد نانورس حاصل شده است. در حالی که در مصرف ۴۵ درصد آرد ساقه سویا، با افزایش نانورس، مقدار واکسیدگی ضخامت ۲۴ ساعت افزایش یافته و در ۶ درصد مصرف نانورس به ۱/۰۵ درصد رسیده است که در گروه بندی دانکن در گروه A قرار گرفته است (شکل ۷).

نتایج تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر ویژگی‌های فیزیکی چندسازه‌های ساخته شده به طور خلاصه در جدول ۳ آمده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که اثر افزایش مصرف آرد ساقه سویا بر واکسیدگی ضخامت ۲۴ و ۱۲۰ ساعت در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دار بوده است. به طوری که با افزایش آرد ساقه سویا از ۳۵ به ۴۵ درصد، مقدار واکسیدگی ضخامت ۲۴ و ۱۲۰ ساعت خمشی چندسازه‌ها به ترتیب از ۰/۴۸۳ و ۰/۹۰۸ درصد به ۰/۸۵۷ و ۱/۳۵ درصد افزایش یافته است. ولی افزایش نانورس بر این ویژگی اثر معنی داری نداشته است. در حالی که اثر متقابل مصرف آرد ساقه سویا و نانورس بر

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس ویژگیهای فیزیکی چندسازه‌ها

منبع تغییرات	درجه آزادی	واکسیدگی ضخامت ۲۴ ساعت (F)	واکسیدگی ضخامت ۱۲۰ ساعت (F)	جذب آب ۲۴ ساعت (F)	جذب آب ۱۲۰ ساعت (F)
مصرف آرد ساقه سویا	۱	۱۸/۲۵۶ **	۸/۹۴۱ **	۰/۱۰۷ n.s	۱۶/۹۴۴ **
مصرف نانورس	۲	۰/۷۱۲ n.s	۱/۰۰۵ n.s	۷/۲۱۲ **	۳/۲۳۴ *
آرد ساقه سویا * نانورس	۲	۶/۹۳۱ **	۱/۶۳۴ n.s	۰/۷۴۹ n.s	۲/۹۳۲ *

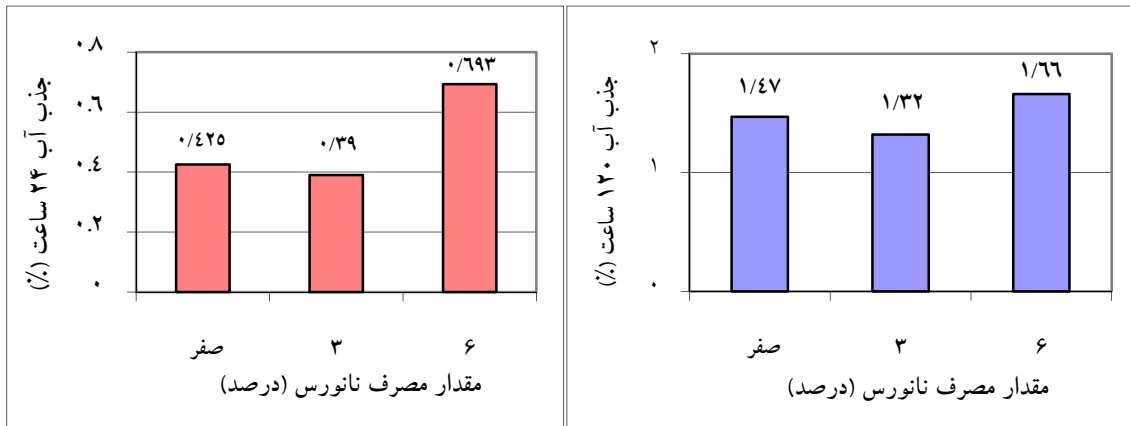
** معنی دار در سطح ۱ درصد * معنی دار در سطح ۵ درصد n.s: معنی دار نیست



شکل ۷- اثر متقابل مقدار مصرف آرد ساقه سویا و نانورس بر واکسیدگی ضخامت ۲۴ ساعت

همچنین افزایش مصرف نانورس بر جذب آب ۲۴ و ۱۲۰ ساعت چندسازه‌ها اثر معنی‌داری داشته است، به طوری که کمترین و زیادترین مقدار جذب آب ۲۴ و ۱۲۰ ساعت چندسازه‌ها به ترتیب در شرایط استفاده از ۳ و ۶ درصد نانورس به دست آمده است (شکل ۸).

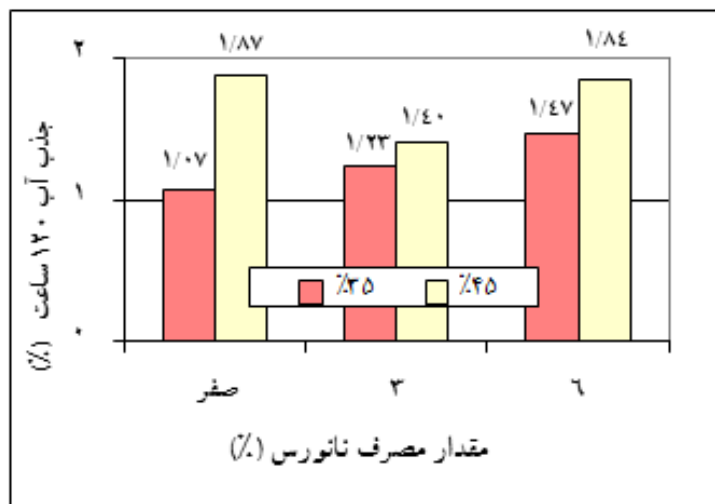
همچنین اثر افزایش مصرف آرد ساقه سویا بر جذب آب ۱۲۰ ساعت چندسازه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. به طوری که با افزایش آرد ساقه سویا از ۳۵ به ۴۵ درصد، مقدار جذب آب ۱۲۰ ساعت چندسازه‌ها از ۱/۲۵۷ به ۱/۷۰۴ درصد افزایش یافته است.



شکل ۸- اثر مستقل مصرف نانورس بر جذب آب ۲۴ و ۱۲۰ ساعت

که در مصرف ۴۵ درصد آرد ساقه سویا، کمترین مقدار جذب آب با ۱/۴۰ درصد در سطح ۳ درصد نانورس و حداکثر آن با ۱/۸۴ درصد در ۶ درصد مصرف نانورس حاصل شده است که در گروه‌بندی دانکن در گروه A قرار گرفته است.

اثر متقابل مصرف آرد ساقه سویا و نانورس نیز بر جذب آب ۱۲۰ ساعت چندسازه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است و همانطور که در شکل ۹ دیده می‌شود، این ویژگی در مصرف ۳۵ درصد آرد ساقه سویا، با افزایش نانورس از یک روند افزایشی برخوردار بوده است، در حالی



شکل ۹- اثر متقابل مقدار مصرف آرد ساقه سویا و نانورس بر جذب آب ۱۲۰ ساعت

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش ماده لیگنوسلولزی آرد ساقه سویا از ۳۵ به ۴۵ درصد در ترکیب چندسازه‌ها، باعث افت مقاومتهای خمشی و کششی و همچنین مدول الاستیسیته خمشی و کششی شد. بدیهی است افزودن آرد ساقه سویا به ماده پلیمری زمینه که از نظر این ویژگی‌ها ضعیف‌تر از مواد لیگنوسلولزی می‌باشد باعث افزایش و بهبود ویژگی‌های خمشی و کششی چندسازه خواهد شد. اما در درصد‌های بالای اختلاط بدیهی است که اتصال بین ذرات لیگنوسلولزی و ماده ترموپلاستیک ضعیف شده و گرایش به سوی پیوندهای مکانیکی بیشتر می‌گردد (Wang *et al.*, 2006; Han *et al.*, 2008). به عبارت دیگر ماده پلیمری توان پوشش دادن ذرات چوب را به طور کامل از دست داده و همگنی ترکیب چندسازه کاهش می‌یابد. همچنین در اثر افزودن نانورس، دو ویژگی مقاومت خمشی و مقاومت به کشش چندسازه کاهش یافته است که نشان‌دهنده کم شدن توانایی چندسازه در تحمل بارهای وارده و نشان‌دهنده کاهش مقاومت اتصال بین اجزاء چندسازه می‌باشد. Yeh و Gupta (۲۰۱۰) عقیده دارند که در فرایند ساخت چندسازه و تشکیل اتصال، نانورس با سایر اجزاء چندسازه در جذب MAPP رقابت می‌کند و مقداری از MAPP به جای شرکت در تشکیل اتصال بین پلی‌پروپیلن و ذرات چوب، با نانورس واکنش انجام می‌دهد و زمانی که میزان نانورس در ترکیب چندسازه افزایش می‌یابد، نانورس‌های بیشتر، ماده جفت‌کننده بیشتری را جذب کرده و مانع از اتصال ماده جفت‌کننده با ذرات لیگنوسلولزی می‌شوند و این موضوع باعث کاهش مقاومتهای خمشی و کششی می‌شود. از طرف دیگر در اثر افزودن نانورس به چندسازه‌ها، دو ویژگی مدول الاستیسیته خمشی و کششی آنها افزایش یافته است. این پدیده می‌تواند ناشی از حضور ذرات ریز نانورس در فضاهای خالی بین اجزاء چندسازه و ایجاد بافت فشرده‌تر و یکنواخت‌تر در آن باشد (Wan *et al.*, 2005). همچنین نانورس سفتی قابل توجهی دارد که افزایش آن باعث افزایش سفتی محصول نهایی و بهبود مدول

الاستیسیته می‌شود (Tasooji, *et al.*, 2012; Modirrahmati, *et al.*, 2012).

نتایج این تحقیق بیانگر آن بود که افزایش ذرات نانورس در ترکیب چندسازه موجب بهبود مقاومت به ضربه شده است، به طوری که مقاومت به ضربه چندسازه‌های دارای ۶ درصد نانورس بیش از ۳۰ درصد از چندسازه‌های بدون نانورس زیادتر بوده است. هرچند که مقاومت به ضربه تمام چندسازه‌های ساخته شده نسبت به پلیمر مصرفی کمتر بوده است، با این حال یکنواختی ترکیب چندسازه و به خصوص عاری بودن از هر گونه خلل و فرج در ایجاد مقاومتهای مطلوب از جمله مقاومت به ضربه نقش اساسی ایفا می‌نماید. از این رو با افزودن ذرات نانورس، این ذرات در کاهش خلل و فرج‌های موجود و همچنین نقاطی که ممکن است اتصال بین پلیمر و ذرات لیگنوسلولزی به خوبی برقرار نشده باشد، مؤثر بوده و باعث تقویت اتصال و یکنواختی بیشتر ترکیب چندسازه و بالتبع آن بهبود مقاومت به ضربه می‌گردد (Nourbakhsh and Ashori, 2008; Faruk and Matuana, 2008).

همچنین نتایج این بررسی نشان داد که مقدار جذب آب ۲۴ و ۱۲۰ ساعت چندسازه‌های ساخته شده با مصرف ۳ درصد نانورس کمتر از چندسازه‌های ساخته شده با ۶ درصد و یا بدون نانورس بوده است. این شرایط به‌ویژه برای واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت چندسازه‌ها در مصرف ۳۵ درصد آرد ساقه سویا (شکل ۷) بیشتر مشهود می‌باشد. همانطور که بر روی ویژگی‌های مکانیکی بحث گردید، در فرایند ساخت چندسازه و تشکیل اتصال، نانورس با سایر اجزاء چندسازه در جذب MAPP رقابت می‌کند و مقداری از MAPP به جای شرکت در تشکیل اتصال بین پلی‌پروپیلن و ذرات چوب، با نانورس واکنش انجام می‌دهد و زمانی که میزان نانورس در ترکیب چندسازه افزایش می‌یابد، نانورس‌های بیشتر، ماده جفت‌کننده بیشتری را جذب کرده و مانع از اتصال ماده جفت‌کننده با ذرات لیگنوسلولزی و کاهش مقاومت اتصال و همچنین همگنی چندسازه شده و باعث افزایش میزان جذب آب می‌شوند.

- Nourbakhsh, A. and Ashori, A. 2008. Influence of nanoclay and coupling agent on the physical and mechanical properties of polypropylene/bagasse nanocomposite. *Journal of Applied Polymer Science*. 112. 1386-1390.
- Oksaman, K. 1994. Improved interaction between wood and synthetic polymers in wood/plastic composites. *Wood Science and Technology Journal*, vol.30, No 23, pp: 197-203.
- Razavi-Nouri, M.; Jafarzadeh, F.; Oromiehie, A. and Langroudi, AE., 2006. Mechanical properties and water absorption behavior of chopped rice husk- filled polypropylene composites. *Iranian polymer Jour*. No 9, pp: 757-766.
- Roger, M; Rowell, MR; Anand, R; Sanadi, Caulfield, DF; Rodney, E; and Jackson. 2000. Utilization of natural fibers in plastic composites: problems and opportunities, *Lignocellulosic/plastic composites*, pp.: 5-23.
- Tasooji, M., Nourbakhsh, A., Kargarfard, A. and Hosseinkhani, H., 2012. The effect of lignocellulosic material and nanoclay on physical, mechanical and morphological properties of wood plastic composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, Vol.27, No.2, 189-201.
- Wang, H., Zheng, C., Elkovitch, M., Lee, L.J. and Koelling, K.W, 2001. Processing and properties of polymeric nanocomposites, *Polymer Engineering Science* 41 (11), 236-246pp.
- Wang, L., Wang, K., Chen, L., Zhang, Y., and He, C. 2006. Preparation, morphology and thermal/mechanical properties of epoxy/nanoclay composite. *Applied Science and Manufacturing* 37(11): 1890-1896.
- Wan, L., Wang, K, Chen, L., Zhang, Y. and He, C., 2005. Preparation, morphology and thermal/mechanical properties of epoxy/nanoclay composites. 270-282.
- Wu, Q., Lei, Y., Clemons, C.M., Yao, f., Xu, Y. and Lian, K., 2007. Properties of HDPE/ Clay/Wood Nanocomposites, *journal of Plastic Technology* 27(2), 108-115.
- Yeh, S.K.; Gupta, R.K., 2010. Nanoclay –reinforced polypropylene- based wood plastic composites. *Polymer Engineering and Science*. DOI.10.1002/Pen.21729
- Zahedi, M., Pirayesh, HR., Khanjanzadeh, H., Mohseni Tabar, M., 2013. Organomodified montmorillonite reinforced walnut shell/polypropylene composites, *Materials and Design*, 51: 803–809
- همچنین افزایش مقدار ذرات لیگنوسلولزی در چندسازه باعث کاهش پوشش و کیسوله شده آنها توسط پلیمر شده که این مسئله در افزایش مقدار واکنشیدگی ضخامت مؤثر است. بنابراین تحقیقات انجام شده توسط Yeh و Gupta (۲۰۱۰) و Razavi و همکاران (۲۰۰۶)، نتایج مشابهی را نشان داده است.

منابع مورد استفاده

- Agricultural Statistics Year Book 2009-2010, 2011. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Deputy of planning and Economic Affairs, Bureau of Statistics and Information Technology, No (90/05). Page 97. (In Persian)
- ASTM. 2004. Evaluating Mechanical and Physical properties of wood-plastic composites products. American Society for Testing and Materials
- ASTM annual book of standard; testing methods .2007. Philadelphia, PA .U.S.A
- Chowdhury, F.H., Hoosur, M.V. and Jeelani, S., 2006. Studies on the flexural and thermo mechanical properties of woven carbon/nanoclay-epoxy laminates. *Material Science and Engineering A* (421), 298-306
- 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 Bamboo-Fiber filled high density polyethylene composites: effect of coupling treatment and nanoclay *J. Polym Environ* 16:123-130.
- Jieming C. and Ning Y., 2013, Mechanical properties and dimensional stability of organo-nanoclay modified biofiber polymer composites, *Composites: Part B*, 47:248–254.
- Modirrahmati, S., Jahan-Latibari, A., Nourbakhsh, A., Roohnia, M. and Minaei, M., 2012. The impact of nanoclay on the performance of polypropylene/occ fibers/nanoclay composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, Vol.27, No.3, 373-385.
- Lei, Y., Wu, Q., Clemons, C.M., Yao, F. and Xu, Y.; 2007 Influence of nanoclay on properties of HDPE/wood composites *J. of Applied Polymer Science*, Vol.106, 3958-3966

The possibility of the utilizing soy straw powder in wood/plastic composites produced with polypropylene

A. Kargarfard^{1*} and A. Nourbakhsh²

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

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

Received: May, 2014 Accepted: Sep., 2015

Abstract

The objective of this study was to produce natural fiber –plastic composite using soy straw powder as reinforcing component and to investigate the effect of nano-clay particles addition on the mechanical properties of the composite. Two levels of soy straw powder (35 and 45%) based on the weight of the composite, three levels of nano-clay (0,3 and 6%) based on the weight of the polypropylene as the matrix was used. Five percent Maleic Anhydride Ploy Propylene (MAPP) was added as the coupling agent. Composite compound was made and then the testing specimens were fabricated by injection molding and the mechanical strength were measured. The results were statistically analyzed using factorial experiment design. The results revealed that at higher dosage of the soy straw powder, the strength properties except impact strength values were reduced. At the higher addition of the nano-clay, the flexural strength and tensile strength were reduced and tensile and flexural modulus as well as the impact strength improved and the highest values were reached at 6% nano- clay addition. Also, at 3% nano-clay addition and 35% dosage of the soy straw powder, the thickness swelling and water absorption of composites were reduced.

Keywords: Natural-fiber composite, polypropylene, soy straw powder, mechanical properties, nano-caly.