بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نانوچندسازه حاصل از اختلاط آرد پوسته برنج لنجان اصفهان، پلیمر زیستی نشاسته ذرت و نانورس

مسعود رحمتی[1]* و آرش فرج‌پور رودسری[2]

۱) دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد آستارا، دانشگاه آزاد اسلامی، آستارا، ایران. *رایانامه نویسنده مسئول: ma.rahmati6767@yahoo.com

۲) استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد آستارا، دانشگاه آزاد اسلامی، آستارا، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۱۴

چکیده

در این پژوهش، اثر مقدار آرد پوسته برنج و مقدار نانو ذرات رس بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های چوب پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت. آرد پوسته برنج لنجان اصفهان در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد و نانورس در سه سطح صفر، ۳ و ۵ درصد مورد استفاده قرار گرفتند. پلیمر مورد استفاده در این تحقیق، نشاسته ذرت بود. مواد داخل دستگاه اکسترودر مخلوط شدند و سپس نمونه‌های آزمونی استاندارد با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی ساخته شدند. خواص مکانیکی شامل مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی، ازدیاد طول در نقطه شکست و مقاومت به ضربه فاقدار و خواص فیزیکی شامل جذب آب و واکشیدگی ضخامت اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار آرد پوسته برنج از ۳۰ به ۵۰ درصد، مقاومت کششی و خمشی، مدول خمشی، درصد ازدیاد طول در نقطه شکست و جذب آب چندسازه افزایش یافت، اما مدول کششی، مقاومت به ضربه و واکشیدگی ضخامت با افزایش مقدار آرد پوسته برنج کاهش یافت. همچنین با افزایش مقدار نانورس از صفر به ۵ درصد، مدول کششی به‌طور منظم افزایش و درصد ازدیاد طول در نقطه شکست به‌طور منظم کاهش یافتند. با این وجود مقاومت خمشی و کششی، مدول خمشی، مقاومت به ضربه چندسازه‌های ساخته شده با افزودن نانورس تا ۳ درصد افزایش و سپس با افزودن نانورس تا ۵ درصد کاهش می‌یابند. جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه‌های ساخته شده با افزودن نانورس کاهش می‌یابند.

واژه‌های کلیدی: خواص مکانیکی، خواص فیزیکی، آرد پوسته برنج، نانورس، نشاسته، نانوچندسازه.

مقدمه

تولید فرآورده‌های مرکب چوب پلاستیک چندین دهه مورد توجه قرار گرفته و با شتابی بالاتر از شتاب رشد دیگر محصولات چوبی و پلاستیکی در بازار جهانی رشد کرده است. با افزایش تقاضا برای این محصول و کمبود آرد چوب برای تولیدکنندگان، اغلب دیگر الیاف لیگنوسلولزی (کشاورزی یا مواد ضایعاتی لیفی کشاورزی شامل ساقه غلات، پوسته و شلتوک برنج، الیاف نارگیل، باگاس، ذرت و پوسته‌های مختلف غلات و انواع ضایعات به‌دست آمده از محصولات کشاورزی) به عنوان پرکننده در پلیمر به‌کار گرفته می‌شوند. از برتری‌های استفاده از این مواد در صنعت چوب پلاستیک می‌توان به سبکی، چگالی، قیمت پایین، سختی ویژه، تجدیدپذیری و تجزیه‌پذیری بالای محصولات تولیدی اشاره کرد. افزایش موارد مصرف این محصول در فضاهای باز باعث توجه به دوام این محصول شده است (دارابی و همکاران، ۱۳۹۱).

در این تحقیق استفاده از محصولات کشاورزی در ساخت نانوچندسازه بررسی شده است، زیرا تقویت‌کننده‌هایی که در ساخت چندسازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند غالبا از درختان جنگلی بوده و گاهی اوقات مقرون به صرفه نیستند. با این وجود استفاده از محصولات باغی برای ساخت فرآورده‌هایی با ویژگی‌های استاندارد تضمین خوبی برای این موضوع است که مواد اولیه آنها همیشه در دسترس می‌باشد.

شکل ۱. نمایی از خزانه برنج (توم بیجار) در شالیزارهای لنجان استان اصفهان

پلاستیک‌هایی هستند که بیشترین کاربرد را در ساخت چوب پلاستیک دارند (از جمله پلی‌اتیلن، پلی پروپیلن و پلی وینیل کلراید). این پلاستیک‌ها ارزان بوده ولی به مدت طولانی و شاید برای همیشه در طبیعت باقی مانده و مشکلات زیست محیطی فراوانی را ایجاد می‌کنند. علاوه بر این، اغلب آنها از منابع تجدیدناپذیری همانند نفت تولید می‌شوند. برای غلبه بر این گونه مشکلات زیست محیطی و ذخیره منابع تجدیدناپذیر، لازم است تحقیقاتی روی جایگزینی این نوع پلاستیک‌ها با پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر از منابع تجدیدپذیری همانند گیاهان انجام شود. در این تحقیق نیز به جای کاربرد پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌وینیل کلراید و غیره در ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک از نشاسته استفاده شده است. نشاسته یک ماده ارزان قیمت است که از ذرت و دیگر محصولات کشاورزی به‌دست می‌آید (کاریان و همکاران، ۱۳۹۳). تحقیقات متعددی روی ساخت بیوچندسازه بر پایه پلیمر زیست‌تخریب‌پذیر نشاسته انجام شده که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود. اسمعیل‌زاده‌ساعیه و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی تاثیر نانوفیبر سلولز و نانورس بر خواص چندسازه‌های زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه نشاسته ذرت بیان کردند که افزودن نانورس و نانوفیبر سلولز منجر به افزایش خواص مکانیکی به غیر از مقاومت به ضربه می‌شود. همچنین جذب آب و واکشیدگی ضخامت نیز در اثر افزودن نانورس کاهش می‌یابد. از طرف دیگر مدول ذخیره و دمای انتقال شیشه‌ای چندسازه با افزایش نانوفیبر سلولز و نانورس افزایش می‌یابد. Morreale و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی اثر افزودن آرد چوب به‌صورت الیاف کوتاه با اندازه ریز و درشت بر خواص فیزیکی چندسازه زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه نشاسته ذرت نشان دادند که افزودن آرد چوب به چندسازه سبب افزایش مقاومت کششی و کاهش شدید ازدیاد طول در نقطه شکست می-

شود. مقاومت به ضربه نیز در این چندسازه با افزایش مقدار آرد چوب کاهش یافت. آزمون غوطه‌وری این مواد در آب نشان داد که این مواد برای طولانی‌مدت زیر آب مناسب نیستند و خود زمینه پلیمری نقشی کلیدی در جذب آب ایفا می‌کند.

Prachayawarakorn و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی خواص چندسازه بر پایه نشاسته برنج تقویت شده با الیاف کتان یا پلی‌اتیلن با دانسیته کم (LDPE) نشان دادند که افزودن الیاف کتان یا LDPE مقاومت و مدول کششی چندسازه را به مقدار چشمگیری افزایش می‌دهد. علاوه بر این، جذب آب با افزودن الیاف کتان یا LDPE به‌طور آشکاری کاهش می‌یابد. همچنین مطالعات متعددی روی بهبود مقاومت‌های چندسازه‌های چوب پلاستیک با افزودن نانورس انجام شده است.

Khanjanzadeh و همکاران (۲۰۱۲) اثر نانو ذرات رس را روی خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که اضافه نمودن ۳ درصد نانورس به ترکیب، خواص مکانیکی شامل مدول و مقاومت کششی و خمشی را افزایش داده و ۵ درصد نانورس این خواص را کاهش می‌دهد. همچنین افزایش مقدار نانورس از صفر تا ۵ درصد خواص فیزیکی شامل جذب آب و واکشیدگی ضخامت را بهبود می‌دهد. Han و همکاران (۲۰۰۸) تاثیر استفاده از نانورس و ماده سازگارکننده را بر ویژگی‌های مکانیکی و حرارتی چندسازه‌های حاصل از الیاف بامبو-پلی‌اتیلن سنگین مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که به هنگام افزودن یک درصد نانورس مدول الاستیسیته خمشی، مدول الاستیسیته دینامیکی و درجه کریستالیته افزایش یافت، در حالی که مقاومت به ضربه نمونه‌ها کاهش یافت. خادمی‌اسلام و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به بررسی خواص مکانیکی چندسازه حاصل از آرد چوب نوئل، پلی پروپیلن و نانورس پرداختند. نتایج نشان داد که با افزودن نانورس، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و مدول خمشی چندسازه افزایش یافت. همچنین افزودن مقدار ماده سازگارکننده مالئیک انیدرید پلی-پروپیلنی از ۲ به ۴ درصد موجب گردید مقاومت کششی، خمشی و مدول خمشی افزایش پیدا کند. مطالعات ساختاری نانوچندسازه چوب پلاستیک به روش تفرق اشعه ایکس 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. از اهداف این تحقیق می‌توان به تلاش برای تولید محصول بهتر و نیز بررسی تاثیر نانورس بر روی خواص این نوع از چندسازه‌ها، یافتن منابع جایگزین برای الیاف چوبی در ساخت چندسازه‌ها، استفاده از تقویت‌کننده‌های کشاورزی و جایگزین کردن آنها به جای تقویت‌کننده-های چوبی برای جلوگیری از نابودی جنگل‌ها اشاره کرد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از پلیمر گیاهی نشاسته ذرت تولید شده توسط شرکت ازدجرعه سهند با شاخص جریان مذاب ۳ گرم بر ۱۰ دقیقه (در دمای ۱۶۰ درجه سانتی-گراد و وزن ۵ گیلوگرم) و دانسیته ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب مالیئک‌انیدرید پیوند شده با پلی‌اتیلن (MAPE) با شاخص جریان مذاب ۳۵ گرم بر ۱۰ دقیقه و دانسیته ۰/۹۳۰ گرم بر سانتی‌مترمکعب به‌عنوان جفت‌کننده از شرکت Solvay کشور بلژیک، نانورس کلویزیت 15A از شرکت Southern-Clay کشور آمریکا و آرد پوسته برنج (*pisitacia vera*) با اندازه ذرات عبور کرده از الک ۶۰ مش و باقی‌مانده روی الک ۸۰ مش (شکل ۲) استفاده شد.

شکل ۲. نمایی از پوسته برنج مورد استفاده در تحقیق

روش ساخت چندسازه‌ها

پوسته برنج توسط آسیاب آزمایشگاهی به آرد تبدیل شد و سپس ذرات بین الک‌های ۶۰ و ۸۰ مش با استفاده از الک ارتعاشی جداسازی و مورد استفاده قرار گرفتند. در فرآیند اختلاط آرد چوب و پلیمر، رطوبت مواد لیگنوسلولزی به بخار تبدیل شد و سبب اسفنجی شدن محصول گردید. این پدیده سبب اختلال در فرآیند و تولید چندسازه‌های ناسالم می‌شود. از این رو ذرات آرد پوسته برنج قبل از اختلاط با نشاسته به مدت ۲۴ ساعت در اجاق آزمایشگاهی با دمای ۲±۱۰۳ درجه سانتی-گراد خشک شدند. سپس آرد پوسته برنج برای ساخت با درصدهای وزنی ارایه شده در جدول ۱ با نشاسته، نانو رس و مالیئک‌انیدرید پیوند شده با پلی‌اتیلن به‌طور فیزیکی با دستگاه مخلوط‌کن با هم مخلوط شدند. پس از اختلاط مواد، هر کدام از آنها توسط دستگاه اکسترودر کولین (Collin) با سه محفظه دمایی با دماهایی به‌ترتیب برابر ۱۶۰، ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی-گراد و با دور مادون ۶۰ دور بر دقیقه مخلوط شدند. برای خنک کردن، ماده خروجی از اکسترودر از کانال آب عبور داده شد و ماده حاصل توسط دستگاه گرانول-ساز به صورت گرانول درآمد. سپس گرانول به‌دست آمده با استفاده از اجاق آزمایشگاهی با دمای ۸۰ درجه سانتی-گراد و به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. از گرانول خشک شده با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی نمونه‌های آزمونی ساخته شدند. لازم به ذکر است که فشار تزریق ۳ مگاپاسکال دمای لوله و دمای نازل ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد بوده است.

جدول ۱. درصد وزنی اجزای چندسازه

تیمار	آرد پوسته برنج (٪)	نشاسته ذرت (٪)	نانورس (٪)	MAPE (٪)
۱	۵۰	۴۶	۰	۴
۲	۵۰	۴۳	۳	۴
۳	۵۰	۴۱	۵	۴
۴	۴۰	۵۶	۰	۴
۵	۴۰	۵۳	۳	۴
۶	۴۰	۵۱	۵	۴
۷	۳۰	۶۶	۰	۴
۸	۳۰	۶۳	۳	۴
۹	۳۰	۶۱	۵	۴

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

آزمون خمش سه نقطه‌ای با طول دهانه ۱۰ سانتی‌متر و با سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه مطابق استاندارد ASTM D790 و آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM D638 با سرعت بارگذاری ۲ میلی‌متر بر دقیقه توسط دستگاه اینسترون مدل 4468 انجام شد. مقاومت به ضربه فاقدار نمونه‌ها نیز بر اساس استاندارد ASTM D256 با استفاده از دستگاه IZOD ساخت شرکت SANTAM انجام و مقاومت به ضربه نمونه‌ها بر حسب ژول بر متر اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری خواص فیزیکی

آزمایش‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکشیدگی مطابق استاندارد ASTM D703 انجام شد. برای این منظور نمونه‌هایی با اندازه ابعاد استاندارد تهیه و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا رطوبت آنها از بین رفته و خشک شوند. نمونه‌های خشک شده بلافاصله توزین و ابعاد آنها اندازه‌گیری شدند تا در فاصله‌های زمانی ۲ و ۲۴ ساعت در آب مقطر با دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد قرار گیرند. نمونه‌ها در پایان هر فاصله زمانی از آب خارج شده و سطح خیس آنها توسط یک پارچه خشک پاک و بلافاصله وزن و ضخامت آنها اندازه‌گیری شد.

برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم و برای اندازه‌گیری ضخامت نمونه‌ها از میکرومتر با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر استفاده گردید. داده‌های به‌دست آمده از هر آزمون با نرم‌افزار SPSS تحلیل شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد. نتایج جدول تجزیه واریانس در قسمت نتایج برای هر آزمون ارایه شده است و نتایج آزمون دانکن نیز به‌صورت حروف روی هر نمودار آورده شده است.

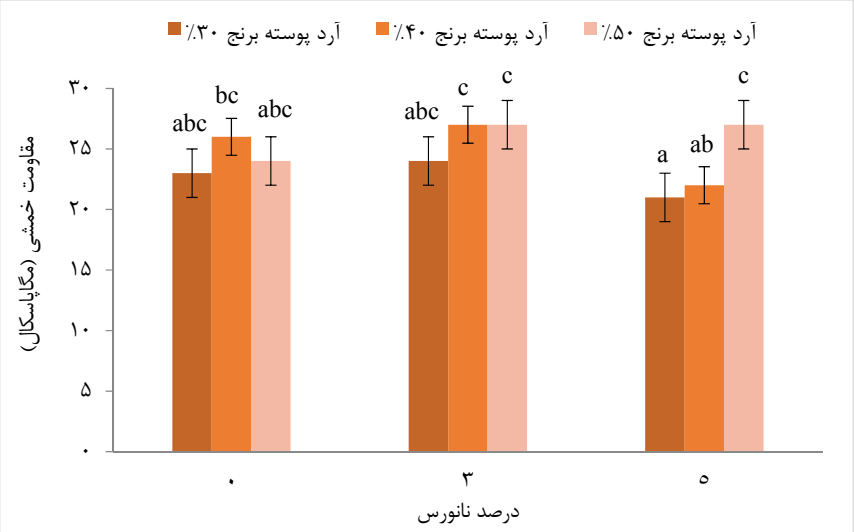
نتایج

مقدار F و سطح معنی‌داری مربوط به تجزیه و تحلیل آماری در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشخص است، تاثیرات مستقل نانورس و پوسته برنج در بیشتر موارد از نظر آزمون‌های مورد مطالعه در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. شکل ۳ تاثیر متقابل نانورس و پوسته برنج بر مقاومت خمشی چندسازه ساخته شده را نشان می‌دهد. بیشترین میزان مقاومت خمشی مربوط به سطح ۳ درصد نانورس و مقدار ۵۰ درصد پوسته برنج و کمترین میزان این مقاومت مربوط به سطح ۵ درصد نانورس و ۳۰ درصد پوسته برنج می‌باشد.

جدول ۲. مقدار F و سطح معنی‌داری حاصل از تجزیه و تحلیل آماری

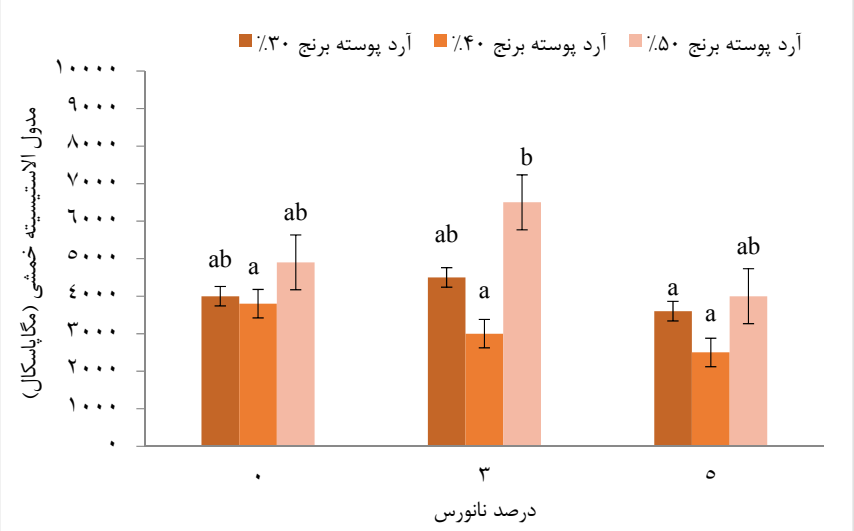
نوع آزمون	مقدار پوسته برنج (A)	مقدار نانو رس (B)	A × B
مقاومت خمشی	۳/۹۰۲*	۲/۸۵۶*	۲/۴۰۵*
مدول الاستیسیته خمشی	۴/۹۷۸*	۲/۲۳۵n.s	۰/۶۷۰*
مقاومت کششی	۱۷/۶۶۰**	۸/۷۳۵**	۷/۶۶۸**
مدول الاستیسیته کششی	۰/۴۵۸n.s	۰/۵۶۸n.s	۰/۹۰۲*
ازدیاد طول در نقطه شکست	۰/۰۴۵*	۳/۴۲۶n.s	۰/۲۶۵*
مقاومت به ضربه	۲/۵۹۶n.s	۱۰/۰۶۵**	۳/۲۱۲*
جذب آب ۲ ساعت	۶/۸۵۹**	۲/۱۴۵n.s	۲/۷۴۶n.s
جذب آب ۲۴ ساعت	۰/۳۲۵n.s	۰/۱۹۶*	۱/۹۸۷*
واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت	۳/۰۵۶n.s	۰/۱۳۲n.s	۰/۵۲۵n.s
واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت	۱۱/۱۱۰**	۲/۸۱۲*	۲/۱۶۲*

معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد (**)، معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد (*)، غیرمعنی‌دار (n.s)



شکل ۳. تاثیر متقابل نانورس و آرد پوسته برنج بر مقاومت خمشی کامپوزیت

شکل ۴ تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر مدول الاستیسیته خمشی چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته برنج و نانورس مدول الاستیسیته خمشی ۱۶۳ درصد افزایش یافت که از نظر آماری معنی‌دار نیست. بیشترین مدول الاستیسیته خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته برنج و ۳ درصد نانورس است.

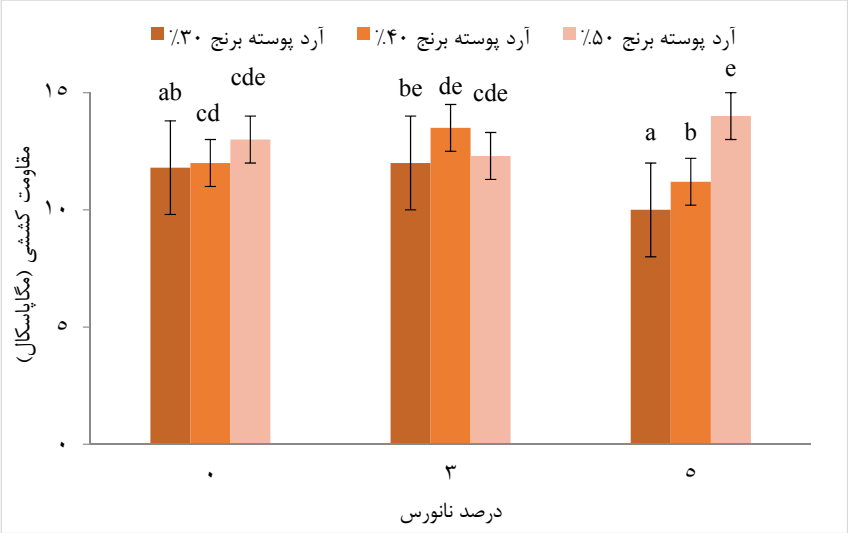


شکل ۴. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر مدول الاستیسیته خمشی چندسازه‌های ساخته شده

شکل ۵ تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر مقاومت کششی چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد.

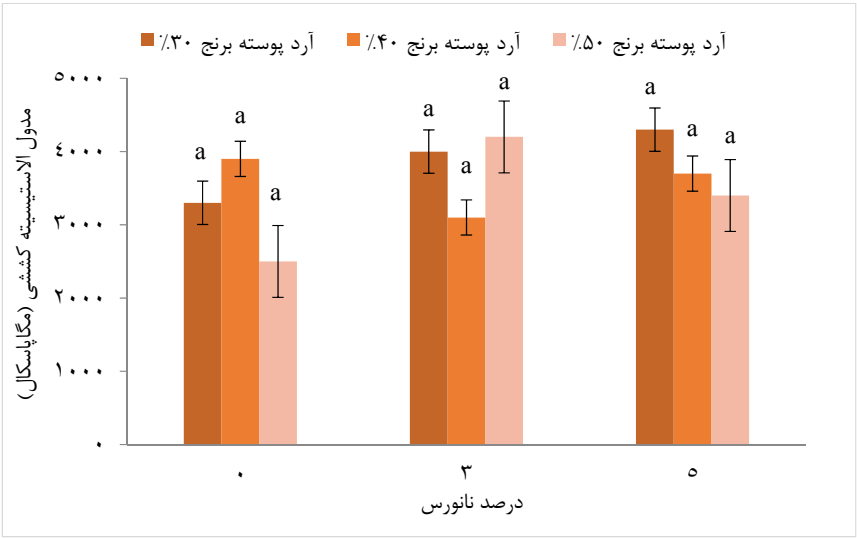
با افزایش همزمان درصد آرد پوسته برنج و نانورس مقاومت کششی ۳۹ درصد افزایش یافت که از نظر آماری معنی‌دار است. بیشترین مقاومت کششی مربوط به

چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته برنج و ۵ درصد نانورس است.



شکل ۵. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر مقاومت کششی چندسازه‌های ساخته شده

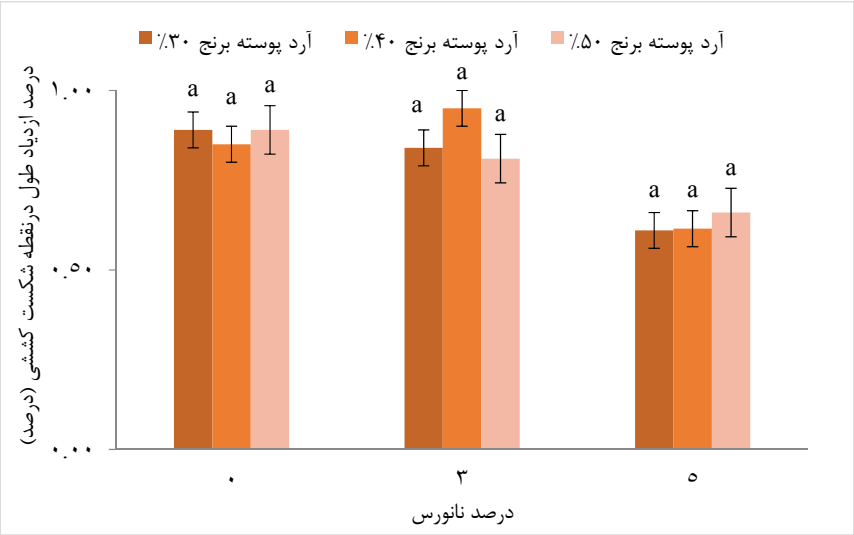
شکل ۶ تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر مدول الاستیسیته کششی چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته برنج و نانورس مدول الاستیسیته کششی ۶۹ درصد افزایش یافت که از نظر آماری معنی‌دار نیست. بیشترین مدول الاستیسیته کششی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته برنج و ۵ درصد نانورس است.



شکل ۶. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر مدول الاستیسیته کششی چندسازه‌های ساخته شده

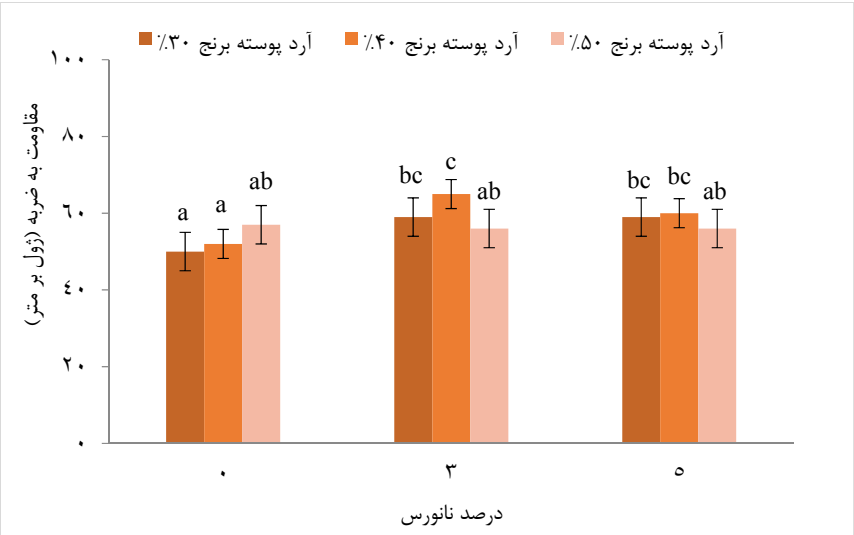
شکل ۷ تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر درصد ازدیاد طول در نقطه شکست کششی چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته برنج و نانورس درصد ازدیاد

طول در نقطه شکست کششی ۶۹ درصد افزایش یافت که از نظر آماری معنی‌دار نیست. بیشترین درصد ازدیاد طول در نقطه شکست کششی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۴۰ درصد آرد پوسته برنج با ۳ درصد نانورس است.



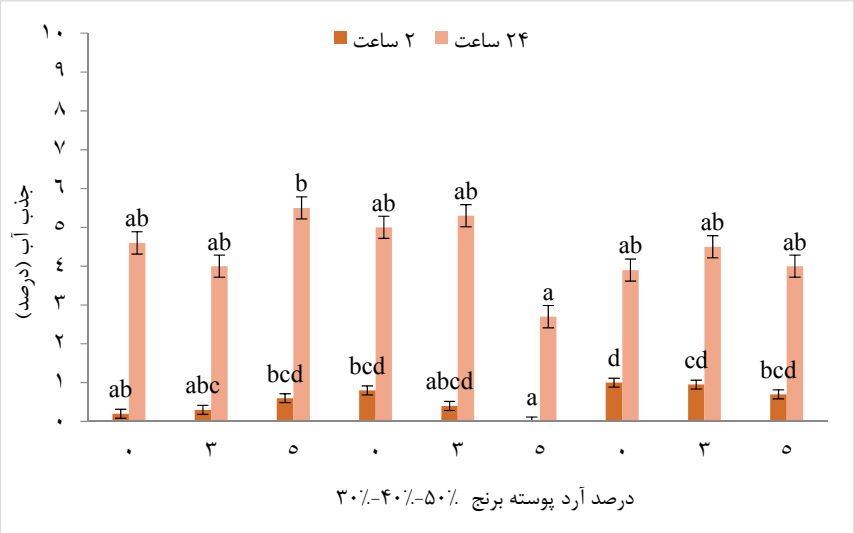
شکل ۷. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر درصد ازدیاد طول در نقطه شکست کششی چندسازه‌های ساخته شده

شکل ۸ تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. با افزایش هم‌زمان درصد آرد پوسته برنج و نانورس مقاومت به ضربه فاقدار ۳۱ درصد افزایش یافت که از نظر آماری معنی‌دار است. بیشترین مقاومت به ضربه فاقدار مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۴۰ درصد آرد پوسته برنج و ۳ درصد نانورس است.



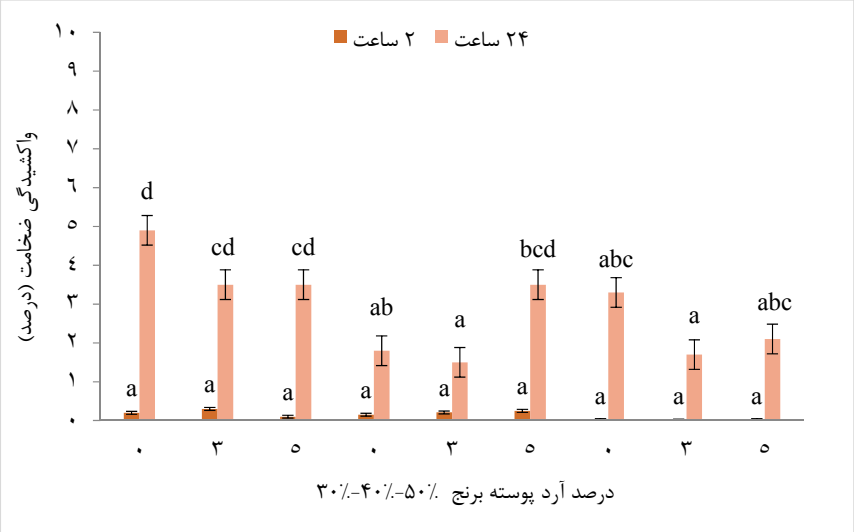
شکل ۸. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه‌های ساخته شده

شکل ۹ تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر جذب آب ۲ و ۲۴ چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. با افزایش هم‌زمان درصد آرد پوسته برنج و نانورس جذب آب ۲ و ۲۴ به‌ترتیب ۲۲۶ و ۱۱۱ درصد تغییر یافت. بیشترین جذب آب ۲ و ۲۴ به‌ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته برنج بدون نانورس و چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته برنج با ۵ درصد نانورس است. کمترین میزان جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت هر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۴۰ درصد آرد پوسته برنج و ۵ درصد نانورس است.



شکل ۹. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت چندسازه‌های ساخته شده

شکل ۱۰ تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. با افزایش هم‌زمان درصد آرد پوسته برنج و نانورس واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ به‌ترتیب ۳ و ۶/۵ برابر تغییر یافت. بیشترین واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته برنج و ۳ درصد نانورس و چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته برنج بدون نانورس است. کمترین واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته برنج با ۳ درصد نانورس و چندسازه‌های ساخته شده با ۴۰ درصد آرد پوسته برنج و ۳ درصد نانورس است. شایان ذکر است که واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت چندسازه‌های ساخته شده با ۴۰ درصد آرد پوسته برنج و ۳ درصد نانورس و چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته برنج با ۳ درصد نانورس تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. از این رو می‌توان بیان نمود که کمترین واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ هر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته برنج و ۳ درصد نانورس است.



شکل ۱۰. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته برنج و نانورس بر واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت چندسازه‌های ساخته شده

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که مقاومت کششی و خمشی چندسازه چوب پلاستیک مطالعه شده با افزایش درصد آرد پوسته برنج از ۳۰ به ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. مقاومت‌های کششی و خمشی مواد مرکب به شدت به کیفیت سطح مشترک بین دو فاز ماده مرکب وابسته است، زیرا انتقال تنش از ماده زمینه (فاز ماتریس پلیمری) به آرد چوب (فاز تقویت‌کننده) به وسیله این ناحیه صورت می‌گیرد (تجویدی و همکاران، ۱۳۸۲). از آنجایی که ماتریس پلیمری الیاف را در محل و آرایش مطلوب نگاه داشته و به عنوان یک محیط منتقل‌کننده بار بین الیاف عمل می‌کند و الیاف هم عضو بارپذیر اصلی چندسازه هستند، بنابراین با افزایش مقدار آرد چوب میزان تنش قابل تحمل ماده مرکب بر اثر وجود فاز تقویت‌کننده (الیاف سلولزی) افزایش می‌یابد (تجویدی و همکاران، ۱۳۸۲). بنابراین دارا بودن مدول الاستیسیته بالاتر پرکننده سلولزی نسبت به ماده زمینه و انتقال بیشتر تنش توسط پرکننده سلولزی با مدول بالا و پلیمر با مدول کم به بهبود مقاومت خمشی و کششی می‌انجامد. همچنین در بررسی اثر مقدار نانو ذرات رس بر مقاومت کششی و خمشی چندسازه چوب پلاستیک مشاهده گردید که با افزایش مقدار نانو ذرات رس از صفر به ۳ درصد، مقاومت کششی و خمشی چندسازه چوب پلاستیک افزایش یافته و در ادامه با افزودن میزان نانوذرات رس به ۵ درصد کاهش می‌یابد. افزایش مقاومت کششی نانوچندسازه را در هنگام استفاده از ۳ درصد نانورس می‌توان به ضریب ظاهری بالای نانو ذرات رس و تشکیل ساختار بین‌لایه‌ای[1] در نانوچندسازه چوب پلاستیک مرتبط دانست. ضریب ظاهری بالای ذرات نانورس در قابلیت تقویت‌کنندگی بالای ذرات نانورس در چندسازه نقش داشته و موجب می‌شود تا سطح مشترک بین دو فاز افزایش یافته و در نتیجه مقاومت کششی و خمشی چندسازه افزایش یابد. همچنین تشکیل ساختار بین‌لایه‌ای در نانوچندسازه به‌دلیل تاثیر بین سطحی زنجیره‌های آلی و ذرات نانورس و نیز جهت یافتگی ذرات سیلیکات لایه‌ای موجب افزایش مقاومت کششی و خمشی چندسازه می‌گردد. از طرفی با افزایش مقدار ۵ درصد نانورس، به علت تجمع و تراکم ذرات نانورس و همچنین تشکیل توده‌های درهم رفته، مقاومت کششی و خمشی چندسازه کاهش می‌یابد

[1] Intercalation

(Kord *et al*., 2010). مدول الاستیسیته خمشی در این مطالعه مشاهده شد که با افزایش درصد آرد پوسته برنج از ۳۰ به ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. مدول الاستیسیته یک ماده مرکب متاثر از مدول الاستیسیته اجزای تشکیل‌دهنده آن است. بنابراین با توجه به اینکه الیاف سلولزی دارای مدول الاستیسیته نسبتا بالایی هستند طبعا می‌توانند مدول الاستیسیته ماده مرکب را بهبود بخشند (تجویدی و همکاران، ۱۳۸۲). اما مدول الاستیسیته کششی چندسازه-های ساخته شده با افزایش درصد آرد پوسته برنج از ۳۰ به ۵۰ درصد تا ۱۴ درصد تغییر می‌کند که از نظر آماری معنی‌دار نیست. همچنین در بررسی اثر مقدار نانو ذرات رس بر مدول کششی و خمشی چندسازه چوب پلاستیک مشاهده گردید که مدول الاستیسیته خمشی چندسازه چوب پلاستیک با افزایش مقدار نانورس از صفر به ۳ درصد افزایش یافته، سپس با افزودن مقدار ۵ درصد نانورس کاهش می‌یابد. عوامل ساختاری مختلفی نظیر نسبت حجمی، ضریب ظاهری نانورس، فاصله افقی بین ذرات و مقدار درهم‌رفتگی ذرات نانورس بر خواص مکانیکی نانوچندسازه‌های پلیمر- خاک رس تاثیر قابل ملاحظه‌ای دارند. به علاوه اختلاف بین میزان متورق شدن لایه‌ها و تشکیل ساختار لایه‌لایه‌ای[1] و ساختار بین-لایه‌ای تاثیر شدیدی بر مدول نانوچندسازه حاصل دارد (Ziaei Tabari *et al*., 2011). نانو ذرات رس به‌علت تشکیل اتصال قوی با ماتریس پلیمری موجب افزایش مدول در چندسازه می‌گردند. البته روند افزایشی خواص با افزایش درصد رس از حد مشخص کند و حتی گاهی برعکس خواهد شد (Samal *et al*., 2008). از این‌رو می‌توان افزایش مدول خمشی نانوچندسازه را در هنگام استفاده از ۳ درصد نانورس به ضریب ظاهری بالای ذرات نانورس و تشکیل ساختار بین‌لایه‌ای در نانوچندسازه چوب پلاستیک مرتبط دانست. از طرفی با افزایش مقدار ۵ درصد نانورس به علت تجمع و تراکم ذرات نانورس و همچنین تشکیل توده‌های درهم‌رفته مدول خمشی چندسازه کاهش می‌یابد. همچنین در بررسی اثر مقدار نانو ذرات نانورس بر مدول کششی چندسازه چوب پلاستیک مشاهده گردید که مدول کششی چندسازه‌های مورد مطالعه با افزایش مقدار نانورس از صفر به ۵ درصد به‌طور منظم افزایش یافت. نتایج این مطالعه نشان داد که درصد ازدیاد طول در نقطه شکست کششی با افزایش درصد آرد پوسته برنج از ۳۰ به ۵۰ درصد به‌طور نامنظم اندکی افزایش می‌یابد. همچنین درصد ازدیاد طول در نقطه شکست کششی با افزایش درصد نانورس افزایش می‌یابد. شایان ذکر است که تغییرات درصد ازدیاد طول در نقطه شکست کششی با تغییر درصد آرد پوسته برنج و نانورس از نظر آماری معنی‌دار نیست.

نتایج این مطالعه نشان داد که مقاومت به ضربه فاقدار با افزایش درصد آرد پوسته برنج از ۳۰ به ۴۰ افزایش می‌یابد، در حالی که مقادیر بالاتر (۵۰ درصد) تغییر زیادی در مقاومت به ضربه فاقدار ایجاد نخواهد کرد. لازم به ذکر است که اضافه شدن الیاف طبیعی باعث خواهد شد تا نیروی اعمالی در حین آزمون ضربه به جای اینکه از داخل محیطی همگن عبور کند با مجموعه-ای از نقاط که تمرکز تنش در آنها اتفاق می‌افتد، روبرو شود. این نقاط مستعد ترک بوده و باعث افت مقاومت به ضربه خواهند شد. بنابراین با اضافه شدن الیاف سلولزی در طی آزمون ضربه، میزان جذب انرژی افزایش می‌یابد و الیاف سلولزی به‌عنوان نقاط تمرکز تنش باعث عدم یکنواختی جذب انرژی توسط ماده زمینه شده و ترک را توسعه می‌دهند. بنابراین مقاومت به ضربه کاهش می‌یابد (فارسی، ۱۳۸۸).

همچنین در بررسی اثر مقدار نانو ذرات رس بر مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه چوب پلاستیک

[1] Exfoliation

مشاهده گردید که با افزایش مقدار نانورس از صفر به ۳ درصد، مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه چوب پلاستیک افزایش می‌یابد در حالی که افزودن نانورس تا ۵ درصد کاهش مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه چوب پلاستیک گردید که با یافته‌های Samal و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. افزودن تقویت‌کننده‌های لیگنوسلولزی به ماتریس پلیمری سبب افزایش جذب آب چندسازه‌ها می‌گردد. مواد پلیمری و به‌خصوص پلیمرهای گرما نرم به‌علت غیرقطبی بودن، موادی آب‌گریز هستند که این موضوع برعکس طبیعت قطبی و آب دوست الیاف سلولزی می‌باشد. وجود گروه‌های هیدروکسیل آب-دوست قابل دسترس زنجیره‌های سلولزی سبب تشکیل پیوندهای هیدروژنی جدیدی با مولکول‌های آب می‌گردد که این عمل باعث جذب آب و تورم (واکشیدگی ابعاد) چندسازه‌ها می‌گردد. بنابراین با افزایش مقدار آرد چوب از ۳۰ به ۵۰ درصد شاهد بالا رفتن مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه چوب پلاستیک به‌علت افزایش ماده لیگنوسلولزی آب‌دوست خواهد بود. افزودن نانورس به‌علت طبیعت آب‌گریز سطح رس، ضریب ظاهری بالا و همچنین خاصیت هسته‌زایی نانو ذرات رس موجب تشکیل ساختار بلوری در چندسازه می-گردند که این مسئله به کاهش روند جذب آب کمک می‌کند (Kord *et al*., 2010). از طرفی نانوذرات رس به واسطه اندازه کوچک، فواصل و شکاف‌های ریز بین الیاف و پلیمر و همچنین حفرات سلولی را پر نموده و مانع نفوذ آب در مواد چندسازه می‌شوند.

منابع

اسمعیل‌زاده‌ساعیه، س.، خادمی‌اسلام، ح.، قاسمی، ا. و بازیار، ب. (۱۳۹۸) بررسی اثر نانو فیبر سلولز و نانو رس بر خواص چندسازه‌های زیست‌تخریب‌پذیر حاصل از پلیمرهای بازیافتی و خاک اره صنعتی. نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۳۴(۳): ۳۳۷-۳۴۸.

تجویدی، م.، ابراهیمی، ق. و عنایتی. ع. (۱۳۸۲) بررسی دینامیکی مکانیکی تاثیر سازگارکننده بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های آرد چوب/پلی‌پروپیلن. مجله منابع طبیعی، ۵۶(۲): ۴۷-۶۰.

خادمی‌اسلام، ح.، یوسف‌نیا، ز.، قاسمی، ا. و طلایی‌پور، م. (۱۳۹۲) بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت حاصل از آرد چوب نوئل، پلی‌پروپیلن و نانو کلی (نانورس). فصلنامه تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۸(۱): ۱۵۳-۱۶۸.

دارابی، پ.، کریمی، ع.ن.، آزاد فلاح، م. و تجویدی. م. (۱۳۹۱) ارزیابی ویژگی‌های چندسازه‌های چوب پلاستیک ساخته شده از باگاس بعد از هوا دیدگی تسریع شده. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، ۳(۲): ۱۱۹-۱۳۰.

فارسی، م. (۱۳۸۸). آنالیز دینامیکی- مکانیکی- حرارتی چندسازه-های پلی‌پروپیلن/ ضایعات کشاورزی. پایان‌نامه دکتری رشته صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. ۲۴۵ صفحه.

کاریان، ا.، تابعی، ا. و فرج‌پور رودسری، آ. (۱۳۹۳) بررسی ویژگی-های فیزیکی و مکانیکی نانوچندسازه‌های حاصل از آرد پوست پسته/نشاسته ذرت/ نانو رس. فصلنامه تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۹(۱): ۱۴۲-۱۵۵.

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, 21(16): 1567-1582.

Khanjanzadeh, H., Tabarsa, T. and Shakeri, A. (2012) Morphology, dimensional stability and mechanical properties of polypropylene-wood flour composites with and without nanoclay. Journal of Reinforced Plastic and Composite. 31(5): 341-350. DOI: 10.1177/0731684412438793.

Kord, B., Ismaeilimoghadam, S. and Malekian, B. (2010) Effect of immersion temperature on the water uptake of polypropylene/ wood flour/ organoclay hybrid nanocomposite. BioResources, 6(1): 584-593.

Morreale, M., Scaffaro, R., Maio, A. and La Mantia, F.P. (2008) Effect of adding wood flour to the physical properties of a biodegradable polymer. Composites: Part A, 39(2008): 503–513.

Prachayawarakorn, J., Sangnitidej, P. and Boonpasith, P. (2010) Properties of

Ziaei Tabari, H., Nourbakhsh, A. and Ashori, A. (2011) Effects of nanoclay and coupling agent on the physico-mechanical, Morphological, and thermal properties of Wood flour/ polypropylene composites. Journal of Polymer Engineering and Science, 51(2): 272-277.

thermoplastic rice starch composites reinforced by cotton fiber or low-density polyethylene. Carbohydrate Polymers, 81(2): 425–433.

Samal, S.K., Nayak, S. and Mohanty, S. (2008) Polypropylene Nanocomposites: Effect of Organomodified layered silicates on mechanical, thermal and morphological performance. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 8(2): 243-263.

Physical and mechanical properties of nanocomposites obtained by mixing Lanjan rice husk flour, corn starch and nanoclay biopolymer

Masoud Rahmati[1]* and Arash Farajpour Roudsari[2]

1) M.Sc. graduate, Department of Wood and Paper Industries, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran. *Corresponding Author Email Address: ma.rahmati6767@yahoo.com
2) Assistant Professor, Department of Wood and Paper Industries, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran.

Date of Submission: 12/07/2019 Date of Acceptance: 05/09/2019

Abstract

In this research, the effect of rice husk flour and the amount of clay nanoparticles were investigated on the physical and mechanical properties of wood-plastic composite. For this purpose, rice husk flour in three levels of 30, 40 and 50%, and nanoclay in three levels of 0, 3 and 5% were used. Corn starch was used as the polymer in this research. The materials were mixed in the extrusion machine and standard test samples were made using injection molding method. Mechanical properties including tensile and flexural strength, tensile and flexural modulus, the elongation at the breaking point and impact resistance as well as physical properties including water absorption and thickness swirling were measured. The results showed that tensile strength and flexural strength, flexural modulus, the elongation at the breaking point, and water absorption of the composite increased with increasing the amount of flour of rice husk from 30 up to 50%, but the tensile modulus, impact resistance and thickness swirling decreased. By increasing the amount of nanoclay from 0 up to 5%, the tensile modulus was regularly increased and the elongation at the breaking point decreased regularly. However, flexural and tensile strength, flexural modulus, impact resistance of the composites increased by adding nanoclay to 3% and then decreased by adding 5% nanoclay. Water absorption and the thickness swelling of the composites decreased with addition of nanoclay.

Keywords: Mechanical properties, Nanoclay, Physical properties, Rice flour, Starch.