بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نانوچندسازه حاصل از آرد پوست پسته، پلی‌اتیلن سنگین، نانو رس و انیدرید مالئیک پیوندشده با پلی‌اتیلن

رسول شباختی، آرش فرج‌پور رودسری* و اصغر تابعی

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آستارا، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، آستارا، ایران. *رایانامه نویسنده مسئول: farajpoor.a@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۶/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۰۱

چکیده

در این پژوهش، اثر مقدار آرد پوسته سلولزی پسته و مقدار نانوذرات رس بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نانوچندسازه‌های چوب پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت. آرد پوست سلولزی پسته برای این منظور در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد و نانو رس 15A کلویزیت نیز در سه سطح صفر، ۳ و ۵ درصد با پلی‌اتیلن سنگین و انیدرید مالئیک پیوندشده با پلی‌اتیلن ۴ درصد برای همه تیمارها پس از اختلاط خشک توسط دستگاه اکسترودر کولین با چهار محفظه دمایی به ترتیب با دماهایی ۱۶۰، ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و با دور ماردون ۶۰ دور در دقیقه اکسترود شدند. سپس نمونه‌های آزمونی استاندارد با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی ساخته شدند. خواص مکانیکی شامل مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی و مقاومت به ضربه فاقدار و خواص فیزیکی شامل جذب آب و واکشیدگی ضخامت اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی، مقاومت به ضربه فاقدار، جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه با افزایش مقدار آرد پوسته سلولزی پسته از ۳۰ به ۵۰ درصد افزایش یافت. همچنین مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی چندسازه با افزایش مقدار نانو رس از صفر به ۵ درصد کاهش یافت، اما مقاومت به ضربه فاقدار افزایش پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی: خواص مکانیکی، خواص فیزیکی، آرد پوسته سلولزی پسته، نانو رس، نانوچندسازه.

مقدمه

برای ساخت چندسازه‌های چوب‌پلاستیک (WPC)، الیاف طبیعی یا پرکننده (مانند الیاف کنف، آرد چوب و غیره) را با یک پلیمر گرمانرم مانند پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن و پلی‌وینیل کلراید مخلوط می‌کنند. این مواد با توسعه روش‌های تولید و تجهیزات فرآوری جدید در حال گسترش بوده و به دلیل دوام زیاد کاربرد فراوانی پیدا کرده‌اند. در حال حاضر سهم عمده مصرف WPC به ساخت سکو و جان‌پناه نظیر تخته کف‌پوش، راه‌پله، دستگیره، پایه، پوشش و ستون نرده و دیگر سازه‌های مشابه تعلق دارد. سهم کوچکی از تولید تجاری WPC به مصرف روکوب دیوار خانه‌های مسکونی تک‌خانواری، پالت، پوشش بام و چارچوب پنجره می‌رسد (ابراهیمی و رستم‌پور هفتخوانی، ۱۳۸۹).

پیدایش پرکننده‌های نانو، تحولی اساسی در خواص چندسازه‌های چوب‌پلاستیک به ویژه خواص

مکانیکی و حرارتی آنها ایجاد کرده است. امروزه نانوچندسازه‌های پلیمر-رس توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. نانوپرکننده‌های سیلیکات لایه‌ای موجب بهبود قابل توجهی در خواص پلیمرهایی می‌شوند که در آن پراکنده هستند. این دسته از نانوچندسازه‌ها سبب بهبود خواص مکانیکی مانند مدول، استحکام و پایداری ابعادی، کاهش نفوذپذیری نسبت به آب، گاز و هیدروکربن‌ها، افزایش پایداری گرمایی و دمای تغییر شکل حرارتی به ویژه برای پلیمرهای بلورینه، افزایش مقاومت شیمیایی، افزایش کیفیت سطح ظاهری، بهبود هدایت الکتریکی، افزایش شفافیت نوری در مقایسه با پلیمرهای پر شده معمولی، بهبود خواص ضد آتش و کاهش نشر دوده شده و در بسیاری از موارد رس به عنوان سازگارکننده عمل کرده و باعث بهبود رنگ‌پذیری می‌گردد (جعفری‌نژاد، ۱۳۸٦). میزان نانوذرات مصرفی نسبت به پرکننده‌های مصرفی دیگر بسیار کمتر است. با افزایش حدود ۳ درصد وزنی پرکننده، افزایش غیرمنتظره‌ای در مدول (کششی یا خمشی) به وجود می‌آید (خان‌جان‌زاده، ۱۳۹۰).

مطالعات متعددی روی بهبود مقاومت‌های چندسازه‌های چوب‌پلاستیک با افزودن نانو رس انجام شده است. نتایج مطالعات ضیایی طبری و همکاران (۱۳۹۱)، خان‌جان‌زاده (۱۳۹۰)، مدیررحمتی و همکاران (۱۳۹۱)، تسوجی و همکاران (۱۳۹۱)، Samal و همکاران (۲۰۰۸)، Kord و همکاران (۲۰۱۰)، Ashori و Nourbakhsh (۲۰۱۱)، Chen و Yan (۲۰۱۳) نشان داده‌اند که افزودن نانو رس به چندسازه چوب‌پلاستیک سبب بهبود مقاومت‌های خمشی و کششی و همچنین کاهش مقاومت به ضربه، جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه می‌شود.

اغلب تقویت‌کننده‌های مورد استفاده در ساخت چندسازه‌ها از درختان جنگلی بوده که البته گاهی نیز مقرون به صرفه نیستند. اما استفاده از ضایعات محصولات باغی در ساخت فرآورده‌هایی که ویژگی‌های آنها نیز در حد استاندارد باشد، تضمین خوبی برای استفاده از مواد اولیه همیشه در دسترس و جلوگیری از نابودی جنگل‌ها است. از این‌رو در این تحقیق استفاده از پلیمر پلی‌اتیلن سنگین (HDPE)، آرد پوسته سلولزی پسته به عنوان ضایعات محصولات باغی و نانو رس به عنوان بهبوددهنده خواص فیزیکی و مکانیکی در ساخت نانوچندسازه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق از پلی‌اتیلن سنگین (HDPE) تولید شده توسط پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۱٦ گرم در ده دقیقه و دانسیته ۰/۹۵۲ گرم در سانتی‌متر مکعب، انیدرید مالئیک پیوندشده با پلی‌اتیلن (MAPE) با شاخص جریان مذاب ۳۵ گرم در ده دقیقه و دانسیته ۰/۹۳۰ گرم در سانتی‌متر مکعب به عنوان سازگارکننده از شرکت Solvay (بلژیک)، نانو رس کلویزیت 15A (غلظت اصلاح‌کننده برابر با ۱۲۵ میلی‌اکی‌والان در صد) از شرکت Southern-Clay (آمریکا) و آرد پوسته سلولزی پسته (*Pisitacia vera*) (شکل۱) با اندازهٔ ذرات عبور کرده از الک ٦۰ مش و باقی‌مانده روی الک ۸۰ مش استفاده نمود.

پوسته سلولزی پسته توسط آسیاب آزمایشگاهی به آرد تبدیل شد و سپس ذرات بین الک‌های ٦۰ و۸۰ مش با استفاده از الک ارتعاشی جداسازی و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ذرات آرد پوسته سلولزی پسته قبل از اختلاط با HDPE به مدت ۲٤ ساعت در اجاق آزمایشگاهی با دمای ۲±۱۰۳ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس آرد پوسته سلولزی پسته برای ساخت چندسازه با درصدهای وزنی ارایه شده در جدول ۱ با پلی‌اتیلن سنگین، نانو رس و MAPE به صورت فیزیکی با دستگاه مخلوط‌کن به خوبی با هم مخلوط

شدند. پس از اختلاط مواد، هر کدام از آنها توسط دستگاه اکسترودر کولین (Collin) با چهار محفظه دمایی به ترتیب با دماهایی ۱۶۰، ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و با دور ماردون ۶۰ دور در دقیقه اکسترود شدند. گرانول به دست آمده با استفاده از اجاق آزمایشگاهی با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و نمونه‌های آزمونی از گرانول خشک شده با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی ساخته شدند. فشار تزریق ۳ میلی‌پاسکال، دمای لوله و دمای نازل ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد بود.

جدول ۱. درصد وزنی اجزای چندسازه ساخته شده در تیمارهای مختلف

	درصد آرد پوسته سلولزی پسته	درصد HDPE	درصد نانو رس	درصد MAPE
۱	۵۰	۴۶	۰	۴ درصد برای تمام تیمارها
۲	۵۰	۴۳	۳	
۳	۵۰	۴۱	۵	
۴	۴۰	۵۶	۰	
۵	۴۰	۵۳	۳	
۶	۴۰	۵۱	۵	
۷	۳۰	۶۶	۰	
۸	۳۰	۶۳	۳	
۹	۳۰	۶۱	۵	

اندازه‌گیری خواص مکانیکی با تبعیت از آیین‌نامه‌های ASTMD638 برای خواص کششی و DASTM790 برای خواص خمشی در استاندارد ASTM انجام شد. آزمایش‌ها با ماشین آزمایش اینسترون مدل ۴۴۶۸ به اجرا در آمد. مقاومت به ضربه فاقدار ASTM D۲۵۶ نیز با دستگاه ضربه ایزود به دست آمد. آزمایش‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکشیدگی ضخامت مطابق استاندارد ASTM D703 انجام شد.

هر آزمون با ۳ تکرار صورت پذیرفت. داده‌های به دست آمده از هر آزمون با استفاده از نرم افزار SPSS تحلیل شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. نتایج جدول تجزیه واریانس در قسمت نتایج برای هر آزمون ارایه و نتایج آزمون دانکن نیز به صورت حروف روی شکل‌ها ارایه شد.

نتایج

میانگین خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه‌های ساخته شده به همراه گروه‌بندی دانکن در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که مقاومت کششی و خمشی چندسازه چوب‌پلاستیک مطالعه شده با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته از ۳۰ به ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته مقاومت خمشی و کششی به ترتیب ۱۲ و ۵۰ درصد افزایش یافت که تغییرات مقاومت خمشی از نظر آماری معنی‌دار بوده، ولی تغییرات مقاومت کششی از نظر آماری معنی‌دار نبود.

بیشترین مقاومت خمشی و کششی هر دو گروه مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته بود.

همچنین در بررسی اثر مقدار نانوذرات رس بر مقاومت کششی و خمشی چندسازه چوب‌پلاستیک مشاهده گردید که با افزایش درصد نانو رس در چندسازه مقاومت خمشی و کششی کاهش یافت. مقاومت خمشی و کششی با افزایش درصد نانو رس به ترتیب ۱۱ و ۳ درصد کاهش یافت که تغییرات مقاومت خمشی از نظر آماری معنی‌دار بوده، ولی تغییرات مقاومت کششی از نظر آماری معنی‌دار نبود. بیشترین مقاومت خمشی و کششی هر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده بدون نانو رس بود.

جدول ۲. میانگین خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه‌های ساخته شده (حروف بالای اعداد گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد)

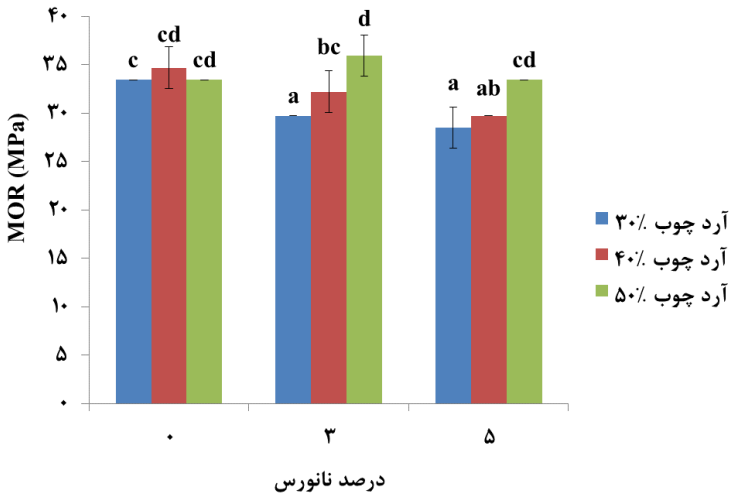
	درصد آرد پوسته سلولزی پسته				درصد نانو رس	
	۳۰	٤٠	٥٠	صفر	۳	٥
مقاومت خمشی	۳۰/٥٧^{a}	۳۲/۲۲^{ab}	۳٤/۲۸^{b}	۳۳/۸۷^{b}	۳۲/٦۳^{ab}	۳۰/٥٧^{a}
مدول الاستیسیته خمشی	۱۰۹٥/٦۳^{a}	۱۳۲۸/۹۳^{a}	۱۸۳٥/۱۱^{b}	۱٦۰٤/٥٦^{a}	۱٤٤۰/٥۳^{a}	۱۲۱٤/٥۹^{a}
مقاومت کششی	۱۹/٦۳^{a}	۲۰/۷٦^{a}	۲۰/٦۱^{a}	۲۰/٦۷^{a}	۲۰/۲٥^{a}	۲۰/۰۷^{a}
مدول الاستیسیته کششی	۲۱۰۰/٦۷^{a}	۱۸۱۰/٤٤^{a}	۲۲٤٥/٥٦^{a}	۲٤۰٥/٦۷^{a}	۱۸۲۱/٦۷^{b}	۱۹۲۹/۳۳^{b}
مقاومت به ضربه فاقدار	٤۳/٦۷^{a}	٤۷/۳۳^{a}	٤۷/۷۹^{a}	٤۳/۳٤^{a}	٤٥/٥٦^{a}	٤۹/۸۹^{a}
درصد جذب آب ۲ ساعت	۰/٦۹^{a}	۱/۱۸^{a}	۰/۷۸^{a}	۰/۸۰^{a}	۰/۸٥^{a}	۱/۰۳^{a}
درصد جذب آب ۲٤ ساعت	۱/۹۱^{a}	۲/٤۱^{ab}	۲/٦۷^{b}	۲/۳٥^{a}	۲/۱٥^{a}	۲/٤۹^{a}
درصد واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت	۰/۱۱^{a}	۰/٦۷^{b}	۰/۱۷^{a}	۰/٥۰^{a}	۰/۲٥^{a}	۰/۲٤^{a}
درصد واکشیدگی ضخامت ۲٤ ساعت	۰/۸٥^{a}	۳/۰۸^{b}	۲/٤۳^{b}	۲/۱۳^{a}	۲/٥۷^{a}	۱/۷۱^{a}

تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر مقاومت خمشی و کششی چندسازه‌های ساخته شده به ترتیب در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس مقاومت خمشی و کششی به ترتیب ۲٦ و ۱۸ درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری معنی‌دار هستند. بیشترین مقاومت خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانو رس و بیشترین مقاومت کششی مربوط به چندسازه ساخته شده با ٤۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته بدون افزودن نانو رس بود.

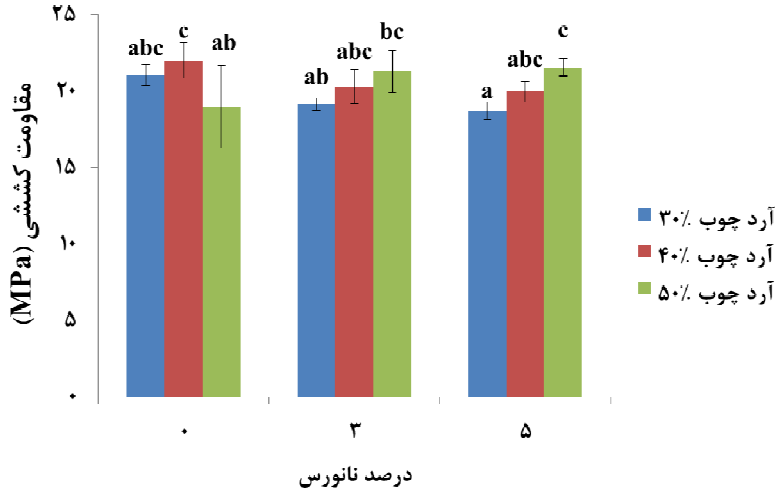
نتایج جدول ۲ نشان داد که مدول الاستیسیته خمشی و کششی با افزایش درصد آرد چوب از ۳۰ به ۵۰ درصد به طور کلی افزایش یافته و به ترتیب به ٦۷ و ۲٤ درصد می‌رسد که تغییرات مدول الاستیسیته خمشی از نظر آماری معنی‌دار بوده، ولی تغییرات مدول الاستیسیته کششی از نظر آماری معنی‌دار نیست. بیشترین مدول الاستیسیته خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته است. در بررسی اثر مقدار نانوذرات رس از صفر به ۵ درصد بر مدول کششی و خمشی چندسازه چوب‌پلاستیک با توجه به نتایج جدول ۲ مشاهده شد که با افزایش درصد نانو رس در چندسازه مدول الاستیسیته خمشی و کششی کاهش یافت. مدول الاستیسیته خمشی و کششی هر دو با افزایش درصد نانو رس تا ۳۲ درصد کاهش یافت. بیشترین

مدول الاستیسیته خمشی و کششی مربوط به چندسازه فاقد نانو رس بود.

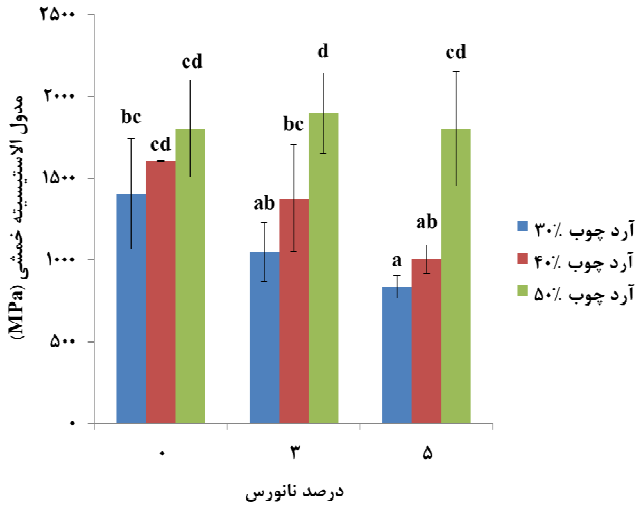
شکل ۳ و ٤ به ترتیب تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر مدول الاستیسیته خمشی و کششی چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. مدول الاستیسیته خمشی و کششی با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس به ترتیب ۱۲۷ و ۹۲ درصد افزایش یافت که از نظر آماری معنی‌دار نیستند. بیشترین مدول الاستیسیته خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانو رس بوده و بیشترین مدول الاستیسیته کششی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته بدون افزودن نانو رس است.



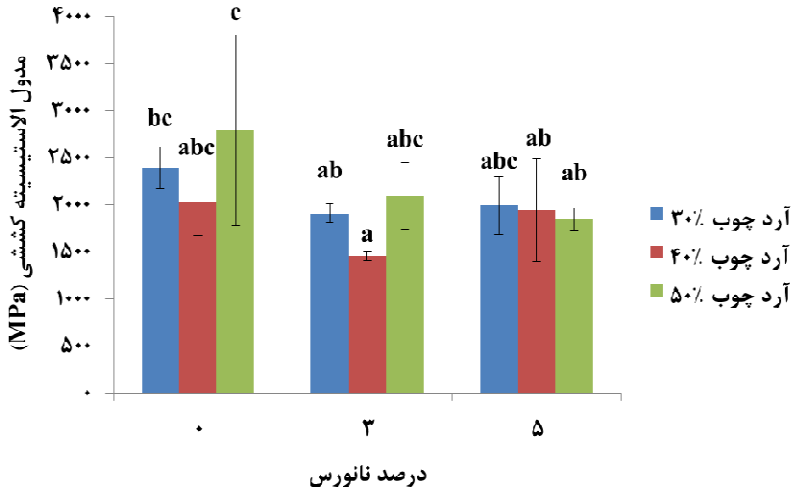
شکل ۱. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر مقاومت خمشی چندسازه‌های ساخته شده



شکل ۲. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر مقاومت کششی چندسازه‌های ساخته شده



شکل ۳. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر مدول الاستیسیته خمشی چندسازه‌های ساخته شده

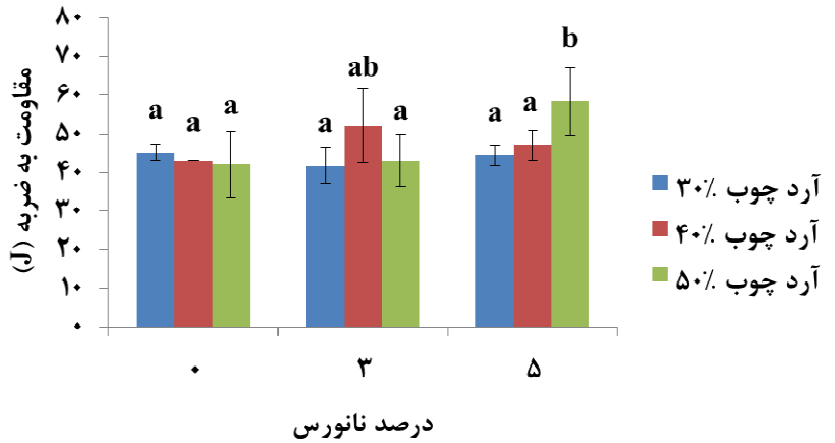


شکل ۴. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر مدول الاستیسیته کششی چندسازه‌های ساخته شده

جدول ۲ نشان داد که مقاومت به ضربه فاقدار با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته از ۳۰ به ٤٠ درصد افزایش می‌یابد، اما افزودن بیش از آن تا ۵۰ درصد تغییر زیادی در مقاومت به ضربه فاقدار ایجاد نخواهد کرد. با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته مقاومت به ضربه فاقدار ۹ درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری معنی‌دار نیست. بیشترین مقاومت به ضربه فاقدار مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته است.

همچنین در بررسی اثر مقدار نانوذرات رس بر مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه چوب‌پلاستیک مشاهده گردید که با افزایش مقدار نانو رس از صفر

به ۵ درصد، مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه چوب‌پلاستیک افزایش می‌یابد. با افزایش درصد نانو رس مقاومت به ضربه فاقدار ۱۵ درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری معنی‌دار نیست. شکل ۵ تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس مقاومت به ضربه فاقدار ۴۰ درصد افزایش یافت که از نظر آماری معنی‌دار نیست. بیشترین مقاومت به ضربه فاقدار مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۵ درصد نانو رس است.



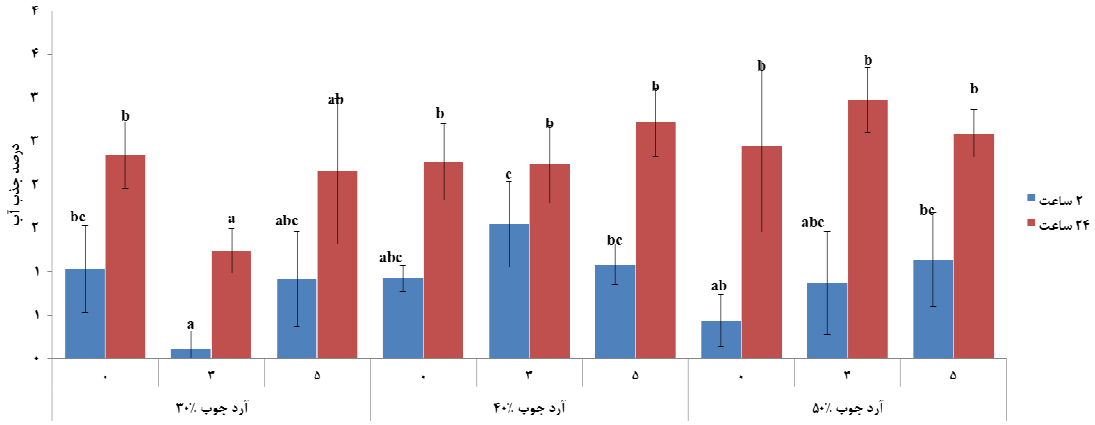
شکل ۵. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه‌های ساخته شده

با توجه به نتایج جدول ۲ مشاهده شد که جذب آب ۲ ساعت با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته در چندسازه به طور نامنظم و جذب آب ۲۴ ساعت به طور منظم افزایش یافت. جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت همچنین با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته به ترتیب ۷۲ و ۴۰ درصد افزایش یافت. واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت نیز با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته در چندسازه ابتدا افزایش (۵ برابر) و سپس کاهش (۲ برابر) یافت. کمترین جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت هر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته است.

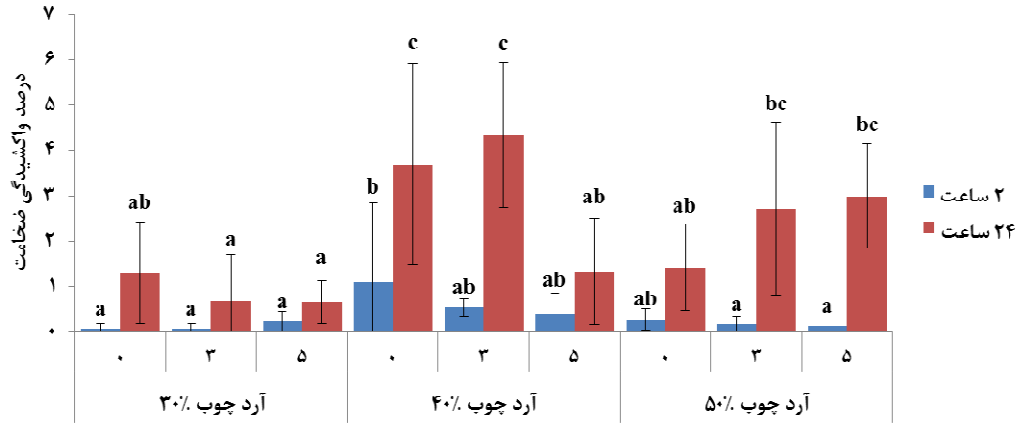
بررسی اثر مقدار نانوذرات رس بر جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه چوب‌پلاستیک نشان داد که مقادیر جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه چوب‌پلاستیک با افزایش مقدار نانو رس از صفر به ۵ درصد کاهش می‌یابد. جذب آب ۲ ساعت با افزایش درصد نانو رس در چندسازه به‌طور منظم (۲۹ درصد) و جذب آب ۲۴ ساعت به طور نامنظم (۱۶ درصد) افزایش یافت. بیشترین جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵ درصد نانو رس است. کمترین جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت به ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با صفر و ۳ درصد نانو رس است. همچنین مشاهده شد که با افزایش درصد نانو رس به چندسازه واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت به‌طور کلی کاهش پیدا کرد. واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت با افزایش درصد نانو رس به ترتیب ۱۱۳ و ۵۰ درصد تغییر یافت. کمترین واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت هر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵ درصد نانو رس است.

تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو

رس بـر جـذب آب و واکشـیدگی ضـخامت ۲ و ۲٤ سـاعت چندسـازه‌هـای سـاخته شـده بـه ترتیـب در شکل‌های ٦ و ۷ نشان داده شده است. جذب آب ۲ و ۲٤ سـاعت بـا افـزایش همزمـان درصـد آرد پوسـته سلولزی پسته و نانو رس به ترتیب ۱۲ و ۱٤۰ درصـد افزایش یافت. کمترین جذب آب ۲ و ۲٤ سـاعت هـر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده بـا ۳۰ درصـد آرد پوسته سلولزی پسـته و ۳ درصـد نـانو رس بـود. همچنـین واکشـیدگی ضـخامت ۲ و ۲٤ بـا افـزایش همزمان درصد آرد پوسته سـلولزی پسـته و نـانو رس بـه ترتیـب ۲۱ و ۵ برابـر افـزایش یافـت. کمتـرین واکشـیدگی ضـخامت ۲ و ۲٤ سـاعت مربـوط بـه چندسازه‌های سـاخته شـده بـا ۳۰ درصـد آرد پوسـته سلولزی پسته و ۳ درصد نـانو رس و چندسـازه‌هـای ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۵ درصـد نـانو رس اسـت. از آنجـایی کـه واکشـیدگی ضخامت ۲٤ ساعت چندسازه‌های ساخته شـده بـا ۳۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانو رس و چندسازه‌های سـاخته شـده بـا ۳۰ درصـد آرد پوسـته سلولزی پسته و ۵ درصد نانو رس از نظر آماری با هم اختلاف معنی‌داری ندارند؛ می‌توان گفت کـه کمتـرین واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ ساعت هر دو مربـوط بـه چندسازه‌های سـاخته شـده بـا ۳۰ درصـد آرد پوسـته سلولزی پسته و ۳ درصد نانو رس است.



شکل ۶. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر جذب آب ۲ و ۲٤ ساعت چندسازه‌های ساخته شده



شکل ۷. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ ساعت چندسازه‌های ساخته شده

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که مقاومت کششی و خمشی چندسازه چوب‌پلاستیک مطالعه شده با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته 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. 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، لذا میزان تنش قابل تحمل ماده مرکب با افزایش مقدار آرد چوب 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. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعاتی مانند شاکری و امیدوار (۱۳۸۵)، Yam و همکاران (۱۹۹۰)، Qin (۲۰۰۲)، Wang و همکاران (۲۰۰۲)، Yang و همکاران (۲۰۰٤)، Kuan و همکاران (۲۰۰۵) همخوانی دارد.

در بررسی اثر مقدار نانوذرات رس بر مقاومت کششی و خمشی چندسازه چوب‌پلاستیک مشاهده گردید که مقاومت کششی و خمشی چندسازه چوب‌پلاستیک با افزایش مقدار نانوذرات رس از صفر به ۵ درصد کاهش یافت. مطالعات نشان داده است که افزایش مقاومت کششی نانوچندسازه تا ۳ درصد مقاومت‌ها را بهبود می‌دهد که آن را به ضریب ظاهری بالای نانوذرات رس و تشکیل ساختار بین لایه‌ای در نانوچندسازه چوب‌پلاستیک نسبت می‌دهند. ضریب ظاهری بالای ذرات نانو رس در قابلیت تقویت‌کنندگی بالای ذرات نانو رس در چندسازه نقش دارد و موجب می‌شود تا سطح مشترک بین دو فاز افزایش یافته و در نتیجه مقاومت کششی و خمشی چندسازه افزایش یابد. همچنین تشکیل ساختار بین لایه‌ای در نانوچندسازه به دلیل تاثیر بین سطحی زنجیره‌های آلی و ذرات نانو رس و نیز جهت یافتگی ذرات سیلیکات لایه‌ای موجب افزایش مقاومت کششی و خمشی چندسازه می‌گردد (کرابی و همکاران، ۱۳۸٦). از طرفی مقاومت کششی و خمشی چندسازه با افزایش مقدار ۵ درصد نانو رس به علت تجمع و تراکم ذرات نانو رس و تشکیل توده‌های درهم‌رفته کاهش می‌یابد (Kord *et al*, 2010). نتایج تحقیقات کرد (۱۳۹۰)، ضیایی طبری و همکاران (۱۳۹۱)، تسوجی و همکاران (۱۳۹۱)، نوربخش (۱۳۹۱)، Kord و همکاران (۲۰۱۰)، Reddy و همکاران (۲۰۱۰)، Chen و Yan (۲۰۱۳)، Zahedi و همکاران (۲۰۱۳) همگی بر این ادعا هستند که افزودن نانو رس سبب بهبود خواص مکانیکی می‌شود. بعضی از این مطالعات نشان دادند که افزودن نانو رس تا ۳ درصد خواص مکانیکی را بهبود می‌بخشد، ولی افزودن مقداری بیشتر از آن سبب کاهش خواص مکانیکی می‌شود. در این مطالعه مشاهده شد که مدول الاستیسیته خمشی و کششی با افزایش درصد آرد چوب 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 به نسبت بالایی هستند طبعاً می‌توانند مدول الاستیسیته ماده مرکب را بهبود بخشند (تجویدی و همکاران، ۱۳۸۲).

همچنین در بررسی اثر مقدار نانوذرات نانو رس بر مدول کششی و خمشی چندسازه چوب‌پلاستیک مشاهده گردید که مدول کششی و خمشی

چندسازه‌های مورد مطالعه با افزایش مقدار نانو رس از صفر به ۵ درصد کاهش یافت. عوامل ساختاری مختلفی نظیر نسبت حجمی، ضریب ظاهری نانو رس، فاصله افقی بین ذرات و مقدار درهم رفتگی ذرات نانو رس بر خواص مکانیکی نانوچندسازه‌های پلیمر و خاک رس تاثیر قابل ملاحظه‌ای دارند. همچنین اختلاف بین میزان متورق شدن لایه‌ها و تشکیل ساختار لایه لایه (Exfoliation) و ساختار بین لایه‌ای (Intercalation) تاثیر شدیدی بر مدول نانوچندسازه حاصل دارد (Ziaei Tabari *et al*, 2011). نانوذرات رس به علت تشکیل اتصال قوی با ماتریس پلیمری موجب افزایش مدول در چندسازه می‌گردند. البته روند افزایشی خواص با افزایش درصد رس از حد مشخصی کند و حتی گاهی برعکس خواهد شد (Samal *et al*, 2008). از این‌رو می‌توان افزایش مدول کششی و خمشی نانوچندسازه را در هنگام استفاده از ۳ درصد نانو رس به ضریب ظاهری بالای ذرات نانو رس و تشکیل ساختار بین لایه‌ای در نانوچندسازه چوب‌پلاستیک مرتبط دانست. از طرفی مدول کششی چندسازه با افزایش مقدار ۵ درصد نانو رس به علت تجمع و تراکم ذرات نانو رس و همچنین تشکیل توده‌های درهم‌رفته کاهش می‌یابد. تغییرات مدول و مقاومت کششی و خمشی در این مطالعه با افزایش درصد نانو رس به طور منظم کاهشی بود. شاید دلیل آن به نوع اختلاط برگردد. Faruk و Matuana (۲۰۰۸) با بررسی نوع اختلاط نانو رس به صورت اختلاط خشک و اختلاط مذاب نشان دادند که اختلاط مذاب بهتر از اختلاط خشک بوده و افزودن نانو رس و جفت‌کننده خواص مکانیکی چندسازه را بهبود می‌بخشد. از این رو احتمال داده می‌شود که دلیل کاهش مدول و مقاومت کششی و خمشی به دلیل افزودن نانو رس به صورت اختلاط خشک، تجمع و تراکم ذرات نانو رس و همچنین تشکیل توده‌های درهم‌رفته در چندسازه باشد. با وجود این، بیشترین مدول الاستیسیته خمشی در این مطالعه مربوط به چندسازه‌های ساخته شده از ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانو رس بود.

نتایج این مطالعه نشان داد که مقاومت به ضربه فاقدار با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته از ۳۰ به ٤٠ افزایش یافته، اما افزودن بیش از آن تا ۵۰ درصد تغییر زیادی در مقاومت به ضربه فاقدار ایجاد نخواهد کرد. در مورد مقاومت به ضربه باید اذعان داشت که اضافه شدن الیاف طبیعی باعث خواهد شد تا نیروی اعمالی در حین آزمون ضربه به جای این که از داخل محیطی همگن عبور کند با مجموعه‌ای از نقاط روبرو شود که تمرکز تنش در آنها اتفاق می‌افتد. این نقاط مستعد ترک بوده و باعث افت مقاومت به ضربه خواهند شد. بنابراین میزان جذب انرژی با اضافه شدن الیاف سلولزی طی آزمون ضربه افزایش می‌یابد و الیاف سلولزی به عنوان نقاط تمرکز تنش باعث عدم یکنواختی جذب انرژی توسط ماده زمینه شده و ترک را توسعه می‌دهند. بنابراین مقاومت به ضربه کاهش می‌یابد. Kuan و همکاران (۲۰۰۵) عنوان کردند که با افزایش مقدار آرد چوب مقاومت به ضربه فاقدار و ازدیاد طول در نقطه پارگی و دمای انتقال شیشه‌ای کاهش می‌یابد. نتایج تحقیقات شاکری و امیدوار (۱۳۸۵) نشان داد که استحکام ضربه‌ای برای نمونه‌های فاقدار چندسازه با افزایش ماده پرکننده لیگنوسلولزی کاهش می‌یابد، اما در این مطالعه نتایج عکس مطالعات قبلی بود. البته از نظر آماری تاثیر مستقل درصد آرد چوب و نانو رس بر مقاومت به ضربه معنی‌دار نبود. همچنین در بررسی اثر مقدار نانوذرات رس بر مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه چوب‌پلاستیک مشاهده گردید که با افزایش مقدار نانو رس از صفر به ۵ درصد، مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه چوب‌پلاستیک افزایش می‌یابد. Samal و

همکاران (۲۰۰۸) نیز به نتایج مشابهی رسیده بودند.

در این تحقیق ملاحظه گردید که جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه چوب‌پلاستیک با افزایش مقدار آرد چوب از ۳۰ به ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. افزودن تقویت‌کننده‌های لیگنوسلولزی به ماتریس پلیمری سبب افزایش جذب آب چندسازه‌ها می‌گردد. مواد پلیمری و به خصوص پلیمرهای گرمانرم به علت غیرقطبی بودن، موادی آب‌گریز هستند. این موضوع برعکس طبیعت قطبی و آب‌دوست الیاف سلولزی می‌باشد. وجود گروه‌های هیدروکسیل آب‌دوست 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 به علت افزایش ماده لیگنوسلولزی آب‌دوست موجب بالا رفتن مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه چوب‌پلاستیک می‌گردد. در این مطالعه مشاهده شد که کمترین مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ٢٤ ساعت مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته است.

همچنین در بررسی اثر مقدار نانوذرات رس بر جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه چوب‌پلاستیک مشاهده گردید که مقادیر جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه چوب‌پلاستیک با افزایش مقدار نانو رس از صفر به ۵ درصد کاهش می‌یابد که علت این امر را می‌توان به طبیعت آب‌گریز سطح رس، ضریب ظاهری بالا و همچنین خاصیت هسته‌زایی نانوذرات رس نسبت داد که موجب تشکیل ساختار بلوری در چندسازه می‌گردند. این مسئله نیز خود به کاهش روند جذب آب کمک می‌کند (کرد، ۱۳۸۸). از طرفی نانوذرات رس به واسطه اندازه کوچک خود، فواصل و شکاف‌های ریز بین الیاف و پلیمر و همچنین حفرات سلولی را پر نموده و مانع نفوذ آب در مواد چندسازه می‌شوند. Reddy و همکاران (۲۰۱۰) و Kord و همکاران (۲۰۱۰) نیز در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش درصد نانو رس به چندسازه جذب آب و واکشیدگی ضخامت آن کاهش می‌یابد.

منابع

ابراهیمی، ق. و رستم‌پور هفتخوانی، ا. (۱۳۸۹) چندسازه چوب و پلاستیک. تالیف آناتول آکلیوسوف. انتشارات دانشگاه تهران. تهران، ۸۸٦ صفحه.

تجویدی، م.، ابراهیمی، ق. و عنایتی ع.ا. (۱۳۸۲) بررسی اثر استفاده از سازگارکننده بر روی خواص مکانیکی مواد مرکب پلی‌پروپیلن و آرد چوب با استفاده از تحلیل مکانیکی- دینامیکی. مجله منابع طبیعی، ٥٦(۱و۲): ٤٧- ٦٠.

تسوجی، م.، نوربخش، ا.، کارگرفرد، ا. و حسین‌خانی، ح. (۱۳۹۱) اثر نوع ماده لیگنوسلولزی و نانو رس بر خواص فیزیکی، مکانیکی و مرفولوژیکی چندسازه چوب پلاستیک. تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۷(۲): ۱۸۹-۲۰۱.

جعفری‌نژاد، ش. (۱۳۸٦) تهیه نانوچندسازه‌های پلی‌پروپیلن - خاک رس به روش اختلاط مذاب و بررسی پایداری آنها در مقابل تابش پرتوهای الکترونی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی. دانشگاه تهران. تهران، ۹۷ صفحه.

خان‌جان‌زاده، حسین. (۱۳۹۰) بررسی امکان ساخت و اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه حاصل از آرد چوب/ نانو رس/پلی‌پروپیلن. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته جنگلداری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. گرگان، ۱۲۵ صفحه.

شاکری، ع. و امیدوار، ا. (۱۳۸۵) بررسی اثر نوع، مقدار و اندازه ذرات کاه بر خواص مکانیکی چندسازه‌های

پلی‌اتیلن سنگین- کاه غلات. مجله علوم و تکنولـوژی پلیمر، ۱۹(٤): ۳۰۱- ۳۰۸.

ضیایی طبری، ح.، نوربخش، ا.، خادمی‌اسلام، ح.، نظرنـژاد، ن. و بازیار، ب. (۱۳۹۱) بررسی تاثیر میزان نانو رس بر ویژگی‌های فیزیکـی و خـواص کششـی نانوچندسـازه ساخته شده از ماده لیگنوسلولزی نی. تحقیقـات علـوم چوب و کاغذ ایران، ۲۷(۲): ۲۰۲-۲۱۱.

کرابی، م.، قاسمی، ا. و محمدی، م. (۱۳۸٦) بهینـه‌سـازی و استفاده از پرکننـده‌هـای نـانودر آمیـزه‌هـای لاسـتیکی. گزارش نهایی طرح پژوهشی کمیته نانوفناوری وزارت علــوم، تحقیقــات و فنــاوری. پژوهشــگاه پلیمــر و پتروشیمی ایران، تهران. ۱۳۵ صفحه.

کـرد، ب. (۱۳۸۸) اسـتفاده از ذرات نـانو رس در بهبـود خواص کاربردی چندسازه چوب‌پلاستیک. مجله مـواد مهندسی، ۱(٤): ۳۷۵-۳۸۳.

کرد، ب. (۱۳۹۰) تاثیر ذرات نانو رس بر خواص فیزیکی و آتش‌گیری چندسازه پلـی اتـیلن سـنگین-آرد چـوب. علوم و فناوری چـوب و جنگـل، علـوم کشـاورزی و منابع طبیعی، ۱۸(٤): ۱۳۱-۱٤۳.

مدیررحمتی، س.، جهان‌لتیباری، ا.، نوربخش، ا.، روح‌نیا، م. و مینـایی، م. (۱۳۹۱) تـاثیر نـانو رس بـر عملکـرد چندسـازه پلـی پـروپیلن/ الیـاف OCC/ نـانو رس. تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۷(۳): ۳۷۳-۳۸۵.

نوربخش، ا. (۱۳۹۱) مقایسه چهـار مـاده لیگنوسـلولزی در تولید چندسازه چوب پلاسـتیک/ نـانو رس. تحقیقـات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۷(۲): ۲۳۵-۲۵۵.

Ashori, A. and Nourbakhsh, A. (2011) Preparation and characterization of polypropylene/wood flour/nanoclay composites. European Journal of Wood Products, 69: 663-666.

ASTM D 256-04 (2004) Standard test methods for determining the izod pendulum impact resistance of plastics. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.

ASTM D 638-03 (2004) Standard test method for tensile properties of plastics. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.

ASTM D7031-04 (2004) Guide for evaluating mechanical and physical properties of wood-plastic composite products. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.

Faruk, O. and Matuana, L.M. (2008) Nanoclay reinforced HDPE as a matrix for wood-plastic composites. Composites Science and Technology, 68: 2073-2077.

Chen, J. and Yan, N. (2013) Mechanical properties and dimensional stability of organo-nanoclay modified biofiber polymer composites. Composites: Part B, 47: 248-254.

Kord, B., Hemmasi, A.H. and Ghasemi, I. (2010) Properties of PP/wood flour/organo modified montmorillonite nanocomposites. Journal of Wood Science Technology, 45(1): 111-119.

Kuan, C.F., Kuan, H.C., Ma, C.M. and Huang, C.M. (2005) Mechanical, thermal and morphological properties of water-cross linked wood flour reinforced linear low-densityu polyethylene composites. Journal of Composites: Part A, 37: 1696-1707.

Qin, T.F. (2002) Effect of wood powder content on properties of wood powder/polypropylene composites. China Wood Industry, 16(5): 17-20.

Reddy C.R., Pouyan Sardashti A. and Simon L.C. (2010) Preparation and characterization of polypropylene-wheat straw-clay composites. Composites Science Technology, 70: 1674-1680.

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.

Wang, Z., Guo, W. and Xu, X. (2002) Effect of wood variables on the properties of wood fiber/ polypropylene composites. Chinese Forestry Science and Technology, 1(4): 43-50.

Yam, K.L., Gogi, B.K., Lai, C. and Sclk, S.E. (1990) Composites from compounding wood fibers with recycled high density polyethylene. Journal of Polymer Engineering, 30(2): 693-699.

Yang, H.S., Kim, H.j., Park, H.J., Lee, B.J. and Hwang, T.S. (2004) Rice husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study. Journal of Composites Structures, 36(5): 305-312.

Zahedi, M., Pirayesh, H.R. and Khanjanzadeh, H. and Mohseni Tabar, M. (2013) Organomodified montmorillonite reinforced

walnut shell/polypropylene composites. Materials and Design, 51: 803-809.

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: 272-277.

Investigation on physical and mechanical properties of Nanocomposites made From flour of pistachio Shell/HDPE/Nanoclay/MAPE

Rasol Shbahati, Arash Farajpour Rudsari* and Asghar Tabei

Department of wood and paper Engineering, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran.
*Corresponding Authors Email Address: farajpoor.a@gmail.com

Date of Submission: 2014/09/13 Date of Acceptance: 2015/02/20

Abstract

In this study, effects of flour content and nanoclay loading on the physical and mechanical properties of wood plastic composite were investigated. Flour of cellulosic shell of Pistachio in levels of 30, 40 and 50 and nano clay of cloisite 15A in three levels (0, 3 and 5%) was mixed with high density polyethylene (HDPE). Samples were made with a laboratory twin-screw extruder and then injection molding. The heating temperature profile and rotational speed of the screws were set to 60 rpm at 160, 170, and180 °C, respectively. Mechanical properties including tensile and flexural properties as well as notched impact strength and physical properties including water absorption and thickness swelling were measured. The results showed that flexural and tensile modulus and strength, notched impact resistance, water absorption and thickness swelling of the samples increased as the flour content increased from 30 to 50% (w/w). Furthermore, flexural and tensile modulus and strength, water absorption and thickness swelling of the samples decreased as the Nannoclay content increased from 0 to 5% (w/w), but notched impact resistance increased.

Keywords: mechanical properties, physical properties, flour of cellulosic shell of pistachio, nanoclay, nanocomposite.