

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نانوجندسازه حاصل از آرد پوست پسته، پلی اتیلن سنگین، نانو رس و انیدرید مالئیک پیوندشده با پلی اتیلن

رسول شباحتی، آرش فرج پور 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 پذیرش: ۹۳/۱۲/۰۱

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۶/۲۲

چکیده

در این پژوهش، اثر مقدار آرد پوسته سلولزی پسته و مقدار نانوذرات رس بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نانوجندسازه‌های 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 کلوزیت نیز در سه سطح صفر، ۳ و ۵ درصد با پلی اتیلن سنگین و انیدرید مالئیک پیوندشده با پلی اتیلن 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 اکسترودر 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 واکنشیدگی ضخامت اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی، مقاومت به ضربه فاقدار، جذب آب و واکنشیدگی 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، نانوجندسازه.

مقدمه

جان پناه نظیر تخته کف پوش، راه پله، دستگیره، پایه، پوشش و ستون نرده و دیگر سازه‌های مشابه تعلق دارد. سهم کوچکی از تولید تجاری WPC به مصرف روکوب دیوار خانه‌های مسکونی تک‌خانوار، پالت، پوشش بام و چارچوب پنجره می‌رسد (ابراهیمی و رستم‌پور هفتخوانی، ۱۳۸۹).

پیدایش پرکننده‌های نانو، تحولی اساسی در خواص چندسازه‌های چوب پلاستیک به ویژه خواص

برای ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک (WPC)، الیاف طبیعی یا پرکننده (مانند الیاف کنف، آرد چوب و غیره) را با یک پلیمر گرمانرم مانند پلی پروپیلن، پلی اتیلن و پلی وینیل 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

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 ۱۶ 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 کلوزیت 15A (غلظت اصلاح‌کننده برابر با ۱۲۵ میلی‌اکی‌والان در صد) از شرکت Southern-Clay (آمریکا) و آرد پوسته سلولزی پسته (*Pistacia vera*) (شکل ۱) با اندازه ذرات عبور کرده از الک ۶۰ مش و باقی‌مانده روی الک ۸۰ مش استفاده نمود.

پوسته سلولزی پسته 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 گرفته‌اند. ذرات آرد پوسته سلولزی پسته قبل از اختلاط با HDPE به مدت ۲۴ ساعت در اجاق آزمایشگاهی با دمای 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس آرد پوسته سلولزی پسته برای ساخت چندسازه با درصدهای وزنی ارابه شده در جدول ۱ با پلی‌اتیلن سنگین، نانو رس و MAPE به صورت فیزیکی با دستگاه مخلوط‌کن به خوبی با هم مخلوط

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، ۱۳۸۶). 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 واکنش‌دهی ضخامت چندسازه می‌شود. اغلب تقویت‌کننده‌های مورد استفاده در ساخت چندسازه‌ها از درختان جنگلی بوده که البته گاهی نیز

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 اکسترودر 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 نانوس	درصد MAPE
۵۰	۴۶	۰	۱
۵۰	۴۳	۳	۲
۵۰	۴۱	۵	۳
۴۰	۵۶	۰	۴
۴۰	۵۳	۳	۵
۴۰	۵۱	۵	۶
۳۰	۶۶	۰	۷
۳۰	۶۳	۳	۸
۳۰	۶۱	۵	۹

آزمون دانکن نیز به صورت حروف روی شکل‌ها ارائه 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.

اندازه‌گیری خواص مکانیکی با تبعیت از آیین‌نامه‌های ASTM D638 برای خواص کششی و DASTM790 برای خواص خمشی در استاندارد ASTM انجام شد. آزمایش‌ها با ماشین آزمایش اینسترون مدل ۴۴۶۸ به اجرا درآمد. مقاومت به ضربه فاقدار ASTM D256 نیز با دستگاه ضربه ایزود به دست آمد. آزمایش‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکنش‌پذیری 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 ارائه و نتایج

مقاومت خمشی و کششی با افزایش درصد نانو رس به ترتیب ۱۱ و ۳ درصد کاهش یافت که تغییرات مقاومت خمشی از نظر آماری معنی دار بوده، ولی تغییرات مقاومت کششی از نظر آماری معنی دار نبود. بیشترین مقاومت خمشی و کششی هر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده بدون نانو رس بود.

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 چوب پلاستیک مشاهده گردید که با افزایش درصد نانو رس در چندسازه مقاومت خمشی و کششی کاهش یافت.

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

درصد نانو رس	درصد آرد پوسته سلولزی پسته					
	۵	۳	صفر	۵۰	۴۰	
۳۰/۵۷ ^a	۳۲/۶۳ ^{ab}	۳۳/۸۷ ^b	۳۴/۲۸ ^b	۳۲/۲۳ ^{ab}	۳۰/۵۷ ^a	مقاومت خمشی
۱۲۱۴/۵۹ ^a	۱۴۴۰/۵۳ ^a	۱۶۰۴/۵۶ ^a	۱۸۳۵/۱۱ ^b	۱۳۲۸/۹۳ ^a	۱۰۹۵/۶۳ ^a	مدول الاستیسیته خمشی
۲۰/۰۷ ^a	۲۰/۲۵ ^a	۲۰/۶۷ ^a	۲۰/۶۱ ^a	۲۰/۷۶ ^a	۱۹/۶۳ ^a	مقاومت کششی
۱۹۲۹/۳۳ ^b	۱۸۲۱/۶۷ ^b	۲۴۰۵/۶۷ ^a	۲۲۴۵/۵۶ ^a	۱۸۱۰/۴۴ ^a	۲۱۰۰/۶۷ ^a	مدول الاستیسیته کششی
۴۹/۸۹ ^a	۴۵/۵۶ ^a	۴۳/۳۴ ^a	۴۷/۷۹ ^a	۴۷/۳۳ ^a	۴۳/۶۷ ^a	مقاومت به ضربه فاقدار
۱/۰۳ ^a	۰/۸۵ ^a	۰/۸۰ ^a	۰/۷۸ ^a	۱/۱۸ ^a	۰/۶۹ ^a	درصد جذب آب ۲ ساعت
۲/۴۹ ^a	۲/۱۵ ^a	۲/۳۵ ^a	۲/۶۷ ^b	۲/۴۱ ^{ab}	۱/۹۱ ^a	درصد جذب آب ۲۴ ساعت
۰/۲۴ ^a	۰/۲۵ ^a	۰/۵۰ ^a	۰/۱۷ ^a	۰/۶۷ ^b	۰/۱۱ ^a	درصد واکنشیدگی ضخامت ۲ ساعت
۱/۷۱ ^a	۲/۵۷ ^a	۲/۱۳ ^a	۲/۴۳ ^b	۳/۰۸ ^b	۰/۸۵ ^a	درصد واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت

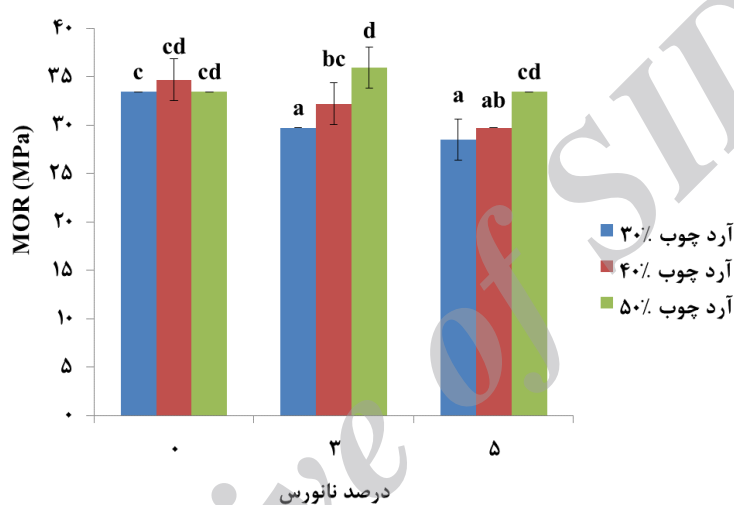
۵۰ درصد به طور کلی افزایش یافته و به ترتیب به ۶۷ و ۲۴ درصد می‌رسد که تغییرات مدول الاستیسیته خمشی از نظر آماری معنی دار بوده، ولی تغییرات مدول الاستیسیته کششی از نظر آماری معنی دار نیست. بیشترین مدول الاستیسیته خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته است. در بررسی اثر مقدار نانوذرات رس از صفر به ۵ درصد بر مدول کششی و خمشی چندسازه چوب پلاستیک 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

تأثیر 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 ۲۶ و ۱۸ درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری معنی دار 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 ۴۰ 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

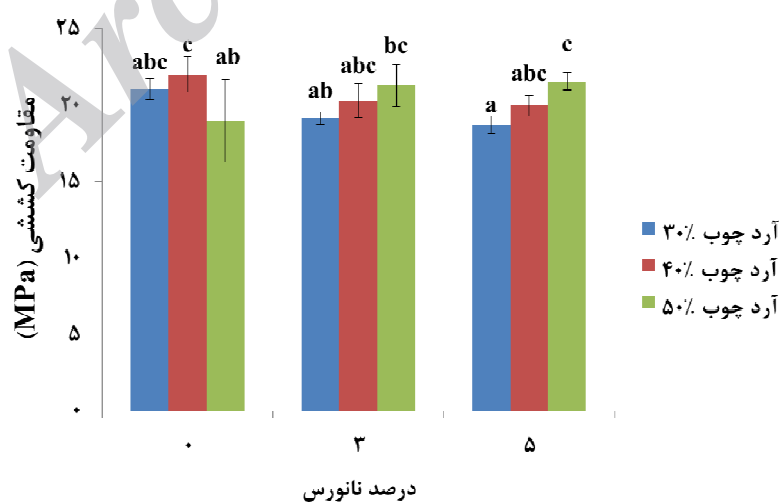
به ترتیب ۱۲۷ و ۹۲ درصد افزایش یافت که از نظر آماری معنی‌دار نیستند. بیشترین مدول الاستیسیته خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانو رس بوده و بیشترین مدول الاستیسیته کششی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته بدون افزودن نانو رس است.

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

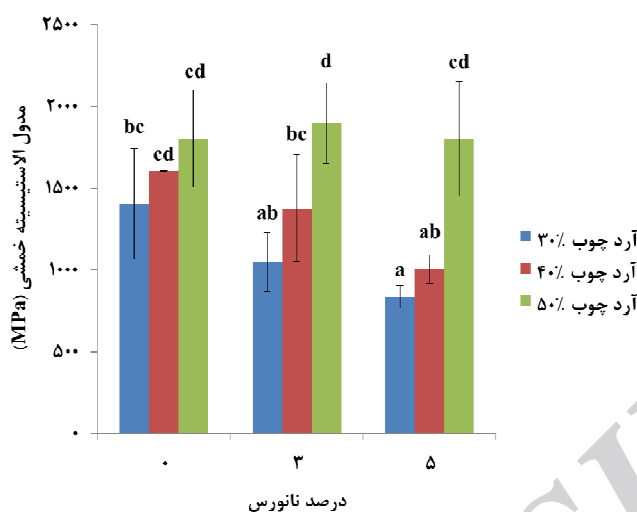
شکل ۳ و ۴ به ترتیب تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر مدول الاستیسیته خمشی و کششی چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. مدول الاستیسیته خمشی و کششی با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس



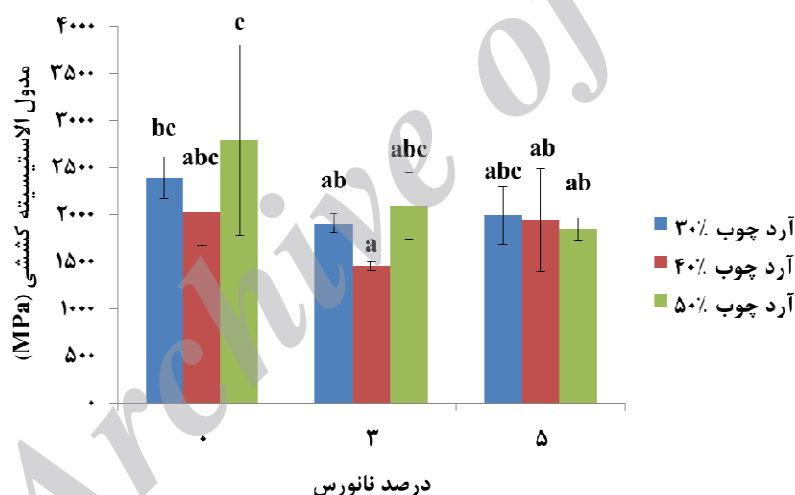
شکل ۱. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر مقاومت خمشی چندسازه‌های ساخته شده



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 نانوسرس بر مدول الاستیسیته خمشی چندسازه‌های ساخته شده

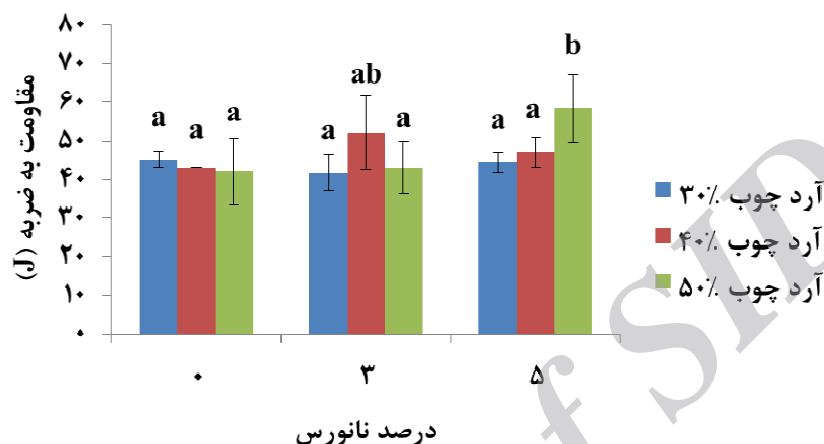


شکل ۴. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانوسرس بر مدول الاستیسیته کششی چندسازه‌های ساخته شده

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 نانوسرس از صفر

جدول ۲ نشان داد که مقاومت به ضربه فاقدار با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته از ۳۰ به ۴۰ 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

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

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 به‌طور 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

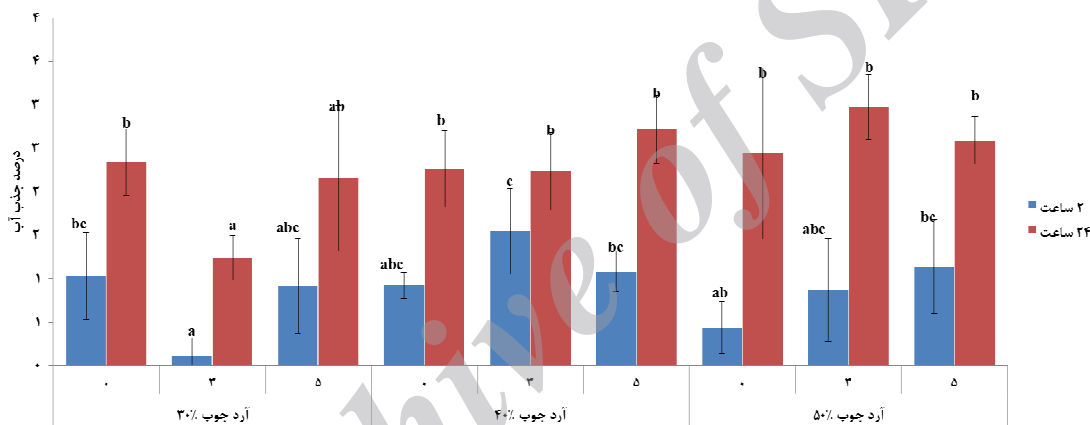
به ۵ درصد، مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه چوب‌پلاستیک افزایش می‌یابد. با افزایش درصد نانو رس مقاومت به ضربه فاقدار ۱۵ درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری معنی‌دار نیست. شکل ۵ تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه‌های ساخته شده را

با توجه به نتایج جدول ۲ مشاهده شد که جذب آب ۲ ساعت با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته در چندسازه به‌طور نامنظم و جذب آب ۲۴ ساعت به‌طور 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.

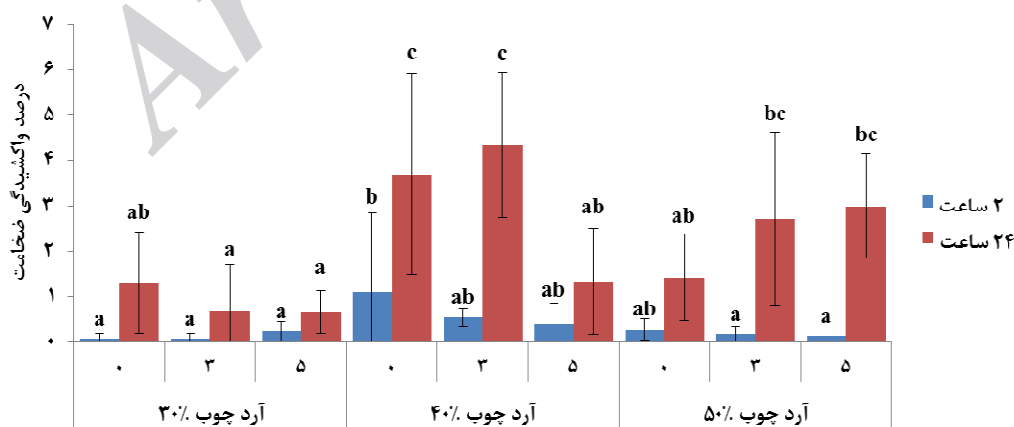
بررسی اثر مقدار نانوذرات رس بر جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه چوب‌پلاستیک نشان داد که مقادیر جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه چوب‌پلاستیک با افزایش مقدار نانو رس از

چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانو رس و چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۵ درصد نانو رس است. از آنجایی که واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانو رس و چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۵ درصد نانو رس از نظر آماری با هم اختلاف معنی داری ندارند؛ می‌توان گفت که کمترین واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت هر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانو رس است.

رس بر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت چندسازه‌های ساخته شده به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس به ترتیب ۱۲ و ۱۴۰ درصد افزایش یافت. کمترین جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت هر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانو رس بود. همچنین واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس به ترتیب ۲۱ و ۵ برابر افزایش یافت. کمترین واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت مربوط به



شکل ۶. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت چندسازه‌های ساخته شده



شکل ۷. تاثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانو رس بر واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ 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 (۲۰۰۴) و 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، ۱۳۸۶). 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)، Yan و Chen (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 این که 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

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 ۴۰ 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

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 نانوحندسازه‌های 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 نانوحندسازه 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 این رو می‌توان افزایش مدول کششی و خمشی نانوحندسازه را در هنگام استفاده از ۳ درصد نانو رس به ضریب ظاهری بالای ذرات نانو رس و تشکیل ساختار بین لایه‌ای در نانوحندسازه 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 کاهش 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

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 واکنشیدگی ضخامت آن کاهش می‌یابد.

منابع

ابراهیمی، ق. و رستم‌پور هفتخوانی، ا. (۱۳۸۹) چندسازه چوب و پلاستیک. تالیف آناتول آکلیوسوف. انتشارات دانشگاه تهران. تهران، ۸۸۶ 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، ۵۶(۲۰۱): ۴۷-۶۰.

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. (۱۳۸۶) 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. پایان‌نامه 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

همکاران (۲۰۰۸) نیز به نتایج مشابهی رسیده بودند. در این تحقیق ملاحظه گردید که جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه چوب پلاستیک 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 گرماترم 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 (واکنشیدگی 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 واکنشیدگی ضخامت چندسازه چوب پلاستیک می‌گردد. در این مطالعه مشاهده شد که کمترین مقدار جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد پوسته سلولزی پسته است.

همچنین در بررسی اثر مقدار نانوذرات رس بر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه چوب پلاستیک مشاهده گردید که مقادیر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه چوب پلاستیک 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

- 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-density 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 Scl, 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 پلی اتیلن سنگین - کاه غلات. *مجله علوم و تکنولوژی پلیمر*، ۱۹(۴): ۳۰۱-۳۰۸.
- ضیایی طبری، ح.، نوربخش، ا.، خادمی اسلام، ح.، نظرنژاد، ن. و بازیار، ب. (۱۳۹۱) بررسی تاثیر میزان نانورس بر ویژگی های فیزیکی و خواص کششی نانوجندسازه ساخته شده از ماده لیگنوسلولزی نی. *تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران*، ۲۷(۲): ۲۰۲-۲۱۱.
- کرابی، م.، قاسمی، ا. و محمدی، م. (۱۳۸۶) بهینه سازی و استفاده از پرکننده های نانودر آمیزه های لاستیکی. گزارش نهایی طرح پژوهشی کمیته نانوفناوری وزارت علوم، تحقیقات و فناوری. پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران. ۱۳۵ صفحه.
- کرد، ب. (۱۳۸۸) استفاده از ذرات نانورس در بهبود خواص کاربردی چندسازه چوب پلاستیک. *مجله مواد مهندسی*، ۱(۴): ۳۷۵-۳۸۳.
- کرد، ب. (۱۳۹۰) تاثیر ذرات نانورس بر خواص فیزیکی و آتش گیری چندسازه پلی اتیلن سنگین-آرد چوب. *علوم و فناوری چوب و جنگل*، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۸(۴): ۱۳۱-۱۴۳.
- مدیررحمتی، س.، جهان لئیاری، ا.، نوربخش، ا.، روح نیا، م. و مینایی، م. (۱۳۹۱) تاثیر نانورس بر عملکرد چندسازه پلی پروپیلن/الیاف OCC/نانورس. *تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران*، ۲۷(۳): ۳۷۳-۳۸۵.
- نوربخش، ا. (۱۳۹۱) مقایسه چهار ماده لیگنوسلولزی در تولید چندسازه چوب پلاستیک/نانورس. *تحقیقات 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-

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.

Archive of SID

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, and 180 °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 Nanoclay 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.