DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijwpr.2014.4910

فصلنامهٔ علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۲۹، شمارهٔ ۱، صفحهٔ ۱۵۵-۱۴۲، (۱۳۹۳)

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نانو چندسازه‌های حاصل از آرد پوست پسته، نشاسته ذرت و نانورس

ایمان کاریان[۱]، اصغر تابعی[۲*] و آرش فرج‌پور رودسری[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آستارا

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آستارا

پست‌الکترونیک: Tabei_Asr@Yahoo.com

۳- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آستارا

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۲

چکیده

در این پژوهش، اثر مقدار آرد پوسته سلولزی پسته و مقدار نانو ذرات رس بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های چوب پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، آرد پوسته سلولزی پسته در سه سطح ۳۰، ٤٠ و ۵۰ درصد، و نانورس ۱۵A کلویزیت در سه سطح صفر، ۳ و ۵ درصد با پلیمر نشاسته ذرت پس از اختلاط خشک، توسط دستگاه اکسترودر کولین (Collin) با چهار محفظهٔ دمایی با دماهای به‌ترتیب۱۸۰،۱۷۰،۱٦۰، ºC ۱٦۰ و با دور ماردون ٦۰ RPM 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 با افزایش مقدار آرد پوسته سلولزی پسته از ۳۰ به ۵۰ درصد، مقاومت کششی و خمشی، مدول‌خمشی و جذب آب چندسازه افزایش یافت، اما مدول کششی، مقاومت به ضربه و واکشیدگی ضخامت با افزایش مقدار آرد پوسته سلولزی پسته کاهش می‌یابد. با افزایش مقدار نانورس از صفر به ۵ درصد، مدول کششی به طور منظم افزایش می‌یابد. اما مقاومت خمشی و کششی، مدول‌خمشی، مقاومت به ضربه چندسازه‌های ساخته شده با افزودن نانورس تا ۳ درصد افزایش و بعد با افزودن نانورس تا ۵ درصد کاهش می‌یابد. جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه‌های ساخته شده با افزودن نانورس کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: خواص مکانیکی، خواص فیزیکی، آرد پوسته پسته، نانورس، نشاسته ذرت، نانو چندسازه

مقدمه

چنانچه نگاهی به محیط زندگی خود بیندازیم متوجه می‌شویم که در میان انبوهی از پلاستیک‌ها اسیر شده‌ایم. تقریباً بیشتر چیزهایی که به طور روزانه خریداری می‌کنیم؛ از مواد غذایی و انواع نوشیدنی‌ها گرفته تا مواد شوینده؛ همه دارای بسته‌بندی پلاستیکی هستند. در تلاش برای غلبه بر مشکل ضایعات این مواد در طبیعت و ذخیره منابع تجدیدناپذیر برای تولید این مواد، محققان و

مهندسان بیوشیمی مدت‌ها بر روی تولید پلاستیک از منابع تجدیدپذیری همانند گیاهان کار کرده‌اند. واژه "زیست تخریب‌پذیر" بدین معناست که ساختار یک ماده می‌تواند توسط میکروارگانیسم‌های موجود در طبیعت شکسته شده، به مواد ساده‌تری تبدیل گردد و در نتیجه برای همیشه در طبیعت باقی نماند.

پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر براساس اجزای تشکیل‌دهنده از نظر خاستگاه طبیعی و غیرطبیعی تقسیم‌بندی می‌شوند. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر با خاستگاه طبیعی شامل پلی‌ساکاریدها (نشاسته و سلولز)، پروتئین‌ها (ژلاتین، پروتئین موجود در شیر، ابریشم، پشم)، لیپیدها (روغن کرچک و چربی اشباع شده حیوانی)، پلی‌استرهای تولید شده از میکروارگانیسم‌ها یا گیاهان (پلی هیدروکسی آلکانوآت‌ها یا پلی هیدروکسی بوتیرات)، پلی‌استرهای ساخته شده بر پایه منومر طبیعی (پلی لاکتیک اسید) و یک گروه از پلیمرهای گوناگون (لاستیک طبیعی) می‌باشند. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر سنتزی که از مواد اولیه پتروشیمی تولید می‌شوند شامل پلی‌استرهای آلیفاتیک (پلی گلایکولیک اسید)، پلی‌استرهای آروماتیک یا ترکیب با پلی‌استرهای آلیفاتیک، پلی اولفین‌های اصلاح شده و پلی وینیل الکل‌ها می‌باشند (Christou, 2004).

در سال‌های اخیر کاربرد چند سازه‌های چوب پلاستیک (WPC) به دلیل دارا بودن مزایایی مانند جذب آب کم، مقاومت بالا در برابر عوامل بیولوژیک و ... به طور روزافزونی افزایش پیدا کرده است. چند سازه‌های چوب پلاستیک (WPC) فراورده‌هایی اکسترود شده یا قالبی هستند و شکل معینی دارند و طبق تعریف پلاستیک‌های پرشده با الیاف سلولزی و مواد دیگر می‌باشند. WPCهای زیست تخریب‌پذیر چندسازه‌هایی هستند که طوری طراحی می‌شوند تا در محیط بیرون به‌ویژه هنگامی که در سرویس قرار می‌گیرند دارای طول عمر کوتاهی باشند.WPCهای زیست تخریب‌پذیر اغلب برای کاربردهای داخل ساختمانی مانند کفپوش ساخته می‌شوند Ebrahimi and (Rostampour., 2010). ترکیب غالب در ساخت چند سازه‌های چوب پلاستیک، چوب و پلاستیک هستند. پلاستیک‌هایی که بیشترین کاربرد را در ساخت چوب پلاستیک دارند پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی وینیل کلراید هستند. این پلاستیک‌ها ارزانند ولی به مدت طولانی و شاید برای همیشه در طبیعت باقی مانده و مشکلات زیست محیطی فراوانی را ایجاد کنند. 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 جایگزین کردن این نوع پلاستیک‌ها با پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر از منابع تجدیدپذیری همانند گیاهان انجام شود. در این تحقیق نیز به جای کاربرد پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی وینیل کلراید و ... در ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک از نشاسته استفاده شده است. نشاسته یک ماده‌ی ارزانقیمت است که از ذرت و دیگر محصولات کشاورزی به‌دست می‌آید.

تحقیقات متعددی روی ساخت بیوچندسازه بر پایه پلیمر زیست تخریب‌پذیر نشاسته انجام شده است. Duanmu و همکاران (۲۰۰۹)، و Soykeabkaew و همکاران (۲۰۰٤) نشان دادند که افزودن الیاف و آرد چوب به چندسازهای بر پایه نشاسته مقاومت و مدول‌خمشی چندسازه را بهبود می‌بخشد. مطالعات

Morreale و همکاران (۲۰۰۸)، و Prachayawarakorn و همکاران (۲۰۱۰) نشان داده است که افزودن الیاف و آرد چوب به چند سازه‌های بر پایه نشاسته سبب بهینه کردن مقاومت و مدول کششی چندسازه خواهد شد. Morreale و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که مقاومت به ضربه چندسازه‌های بر پایه نشاسته با افزایش مقدار آرد چوب کاهش می‌یابد.

مطالعات متعددی روی بهبود مقاومت‌های چند سازه‌های چوب پلاستیک با افزودن نانورس انجام شده است. نتایج مطالعات Wang و همکاران (۲۰۰۵)، و Fu & Naguib (۲۰۰٦) نشان داده که افزودن نانورس به چندسازه چوب پلاستیک سبب بهبود مقاومت‌های خمشی و کششی و همچنین کاهش مقاومت به ضربه، جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه می‌شود.

در این تحقیق استفاده از پلیمر زیست تخریب‌پذیر نشاسته و آرد پوسته سلولزی پسته به‌عنوان ضایعات محصولات باغی و نانورس به‌عنوان بهبوددهنده خواص فیزیکی و مکانیکی در ساخت نانوچندسازه زیست تخریب‌پذیر بررسی شده است. زیرا تقویت کننده‌هایی که در ساخت چندسازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند اغلب از درختان جنگلی بوده و گاهی اوقات مقرون به صرفه نیستند اما استفاده از ضایعات محصولات باغی در ساخت فراورده‌هایی که ویژگی‌هایشان نیز در حد استاندارد باشد تضمین خوبی برای استفاده از مواد اولیه همیشه در دسترس و جلوگیری از نابودی جنگلهاست. ازاین‌رو در این تحقیق ویژگی فیزیکی و مکانیکی چندسازه حاصل از آرد پوست پسته، نشاسته ذرت، نانو رس و MAPE بررسی شد.

مواد و روش‌ها

مواد

در این تحقیق از پلیمر گیاهی نشاسته ذرت تولید شده توسط شرکت کیمیا شیمی زنگان با شاخص جریان مذاب ۳ g/۱۰min (در دمای ۱۵۰°C و وزنه ۵ کیلوگرم) و دانسیته ۱/۳ g/cm^3، مالیئک انیدرید پیوند شده با پلی‌اتیلن (MAPE) با شاخص جریان مذاب ۳۵ g/۱۰min و دانسیته ۰/۹۳۰ g/cm^3، به‌عنوان جفت کننده از شرکت Solvay کشور بلژیک، نانو رس کلویزیت 15A (غلظت اصلاح کننده برابر با ۱۲۵ meq/100) از شرکت Southern-Clay کشور آمریکا و آرد پوسته سلولزی پسته (*pisitaciavera*) (شکل ۱) با اندازهٔ ذرات عبور کرده از الک ٦۰ مش و باقی‌مانده روی الک ۸۰ مش استفاده شد.

شکل ۱- نمایی از پوسته سلولزی پسته که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت

روش ساخت چندسازه‌ها

پوسته پسته توسط آسیاب آزمایشگاهی به آرد تبدیل شد و بعد با استفاده از الک ارتعاشی، ذرات بین الک‌های ٦۰ و ۸۰ مش جداسازی شده و مورد استفاده قرار گرفتند. آرد پوست پسته قبل از اختلاط با نشاسته به مدت ۲٤ ساعت در اجاق آزمایشگاهی با دمای

۱۰۳±۲°C خشک شد. سپس برای ساخت با درصدهای وزنی ارائه شده در جدول ۳-۱ با نشاسته، نانو رس و MAPE به‌طور فیزیکی با دستگاه میکسر به‌خوبی مخلوط شدند. پس از اختلاط مواد، آنها توسط دستگاه اکسترودر کولین (Collin) با چهار محفظهٔ دمایی با دماهای به‌ترتیب ۱۸۰،۱۷۰،۱۶۰، ۱۶۰ °C و با دور ماردون ۶۰ RPM اکسترود گردیدند. سپس گرانول به‌دست آمده با استفاده از اجاق آزمایشگاهی با دمای ۸۰ °C و به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. از گرانول خشک شده با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی نمونه‌های آزمونی ساخته شدند. فشار تزریق ۳ MPa، دمای لوله و دمای نازل ۱۸۰ °C بوده است.

جدول ۱- درصد وزنی اجزای چندسازه

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

تعیین خواص مکانیکی

اندازه‌گیری خواص مکانیکی با تبعیت از آیین‌نامه‌های زیر در استاندارد ASTM انجام شد.

- خواص کششی ASTM D۶۳۸
- خواص خمشی DASTM ۷۹۰

آزمایش‌ها با ماشین آزمایش اینسترون مدل ۴۴۶۸ به اجرا در آمد.

مقاومت به ضربه بدون فاق آیزود ASTM D ۲۵۶ با دستگاه ضربه ایزود

تعیین خواص فیزیکی

آزمایش‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکشیدگی مطابق استاندارد ASTM D703 انجام شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای هر آزمون ۳ نمونه یا به عبارتی ۳ تکرار در نظر گرفته شد. سپس داده‌های به‌دست آمده از هر آزمون با نرم‌افزار SPSS تحلیل شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. نتایج جدول تجزیه واریانس در قسمت نتایج برای هر آزمون ارائه شده است و نتایج آزمون دانکن نیز به صورت حروف روی هر نمودار آورده شده است. در این مطالعه معنی‌داری هرکدام از متغیرها در سطح اعتماد ۹۵ درصد بررسی شده است.

نتایج

جدول ۲ میانگین خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه‌های ساخته شده به همراه گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد.

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

	درصد آرد پئست سلولزی پسته			درصد نانورس		
	۳۰	٤۰	٥۰	صفر	۳	٥
مقاومت خمشی	۲۳/۱^{a}	۲٥/۲^{ab}	۲٦/۰^{b}	۲٤/٤^{ab}	۲٦/٤^{b}	۲۳/٥^{a}
مدول الاستیسیته خمشی	٤۰٦٥^{ab}	۳۰۱۱^{a}	٥۰۲٥^{b}	٤۱۹٤^{a}	٤٦۱۳^{a}	۳۲۹۳^{a}
مقاومت کششی	۱۱/۲^{a}	۱۲/۳^{b}	۱۳/۱^{b}	۱۲/٤^{a}	۱۲/۷^{a}	۱۱/٥^{a}
مدول الاستیسیته کششی	۳۹۳٤^{a}	۳٥۱۱^{a}	۳٤٤۱^{a}	۳۲۸٦^{a}	۳۷۸۸^{a}	۳۸۱۳^{a}
مقاومت به ضربه فاقدار	٦۸/۷^{a}	۷۱/۷^{a}	٦٦/۲^{a}	٦۲/۷^{a}	۷۲/۳^{b}	۷۱/٦^{b}
درصد جذب آب ۲ ساعت	۰/٥۲^{a}	۰/٥٦^{a}	۱/۰۸^{b}	۰/۸۸^{a}	۰/۷٥^{a}	۰/٥۳^{a}
درصد جذب آب ۲٤ ساعت	٤/۷^{a}	٤/۲^{a}	٤/۷^{a}	٤/٥^{a}	٤/۸^{a}	٤/۳^{a}
درصد واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت	۰/۲۱^{b}	۰/۲۰^{b}	۰/۰۳^{a}	۰/۱۳^{a}	۰/۱۹^{a}	۰/۱٥^{a}
درصد واکشیدگی ضخامت ۲٤ ساعت	٤/۱^{b}	۲/۱^{a}	۲/۲^{a}	۲^{a}	۱/٤^{a}	۱/۸^{a}

انواع واحد ها: مقاومت و مدول‌خمشی و کششی بر حسب MPa، مقاومت به ضربه بر حسب ژول

مقاومت و مدول‌الاستیسیته خمشی

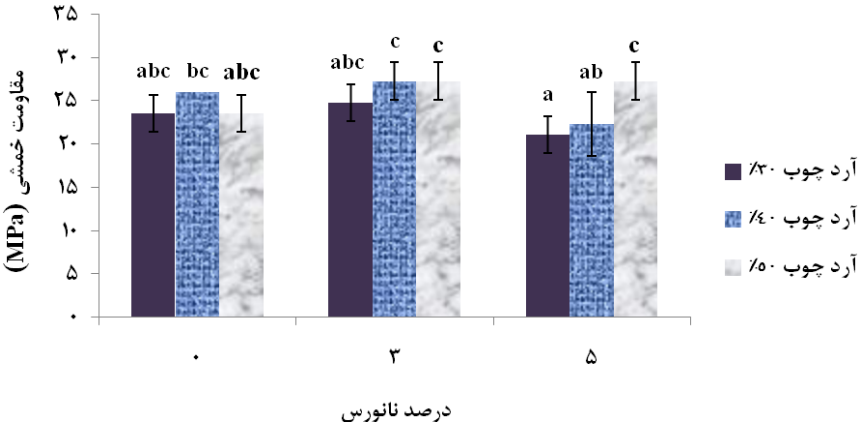
در جدول ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته در چندسازه مقاومت و مدول‌خمشی افزایش می‌یابد. با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته مقاومت و مدول‌خمشی ۱۲ و ٦۷ درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری نیز معنی‌دار است. بیشترین مقاومت و مدول‌خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ٥۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته است. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش درصد نانورس در چندسازه مقاومت و مدول‌خمشی ابتدا افزایش و بعد کاهش می‌یابد. با تغییر درصد نانورس از صفر به ٥ درصد مقاومت و مدول‌خمشی به‌ترتیب ۱۲ و ٤۰ درصد تغییر می‌یابد که تغییر مقاومت خمشی با افزایش درصد نانورس از نظر آماری معنی‌دار بوده ولی تغییر مدول‌الاستیسیته خمشی معنی‌دار نیست. بیشترین مقاومت و مدول‌خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۳ درصد نانورس است.

شکل ۲ و ۳ به‌ترتیب تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر مقاومت و مدول‌الاستیسیته خمشی چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس مقاومت و مدول‌الاستیسیته خمشی به‌ترتیب ۲۹ و ۱٦۳ درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری معنی‌دار نیستند. البته بیشترین مقاومت و مدول‌الاستیسیته خمشی هر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ٥۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانورس است.

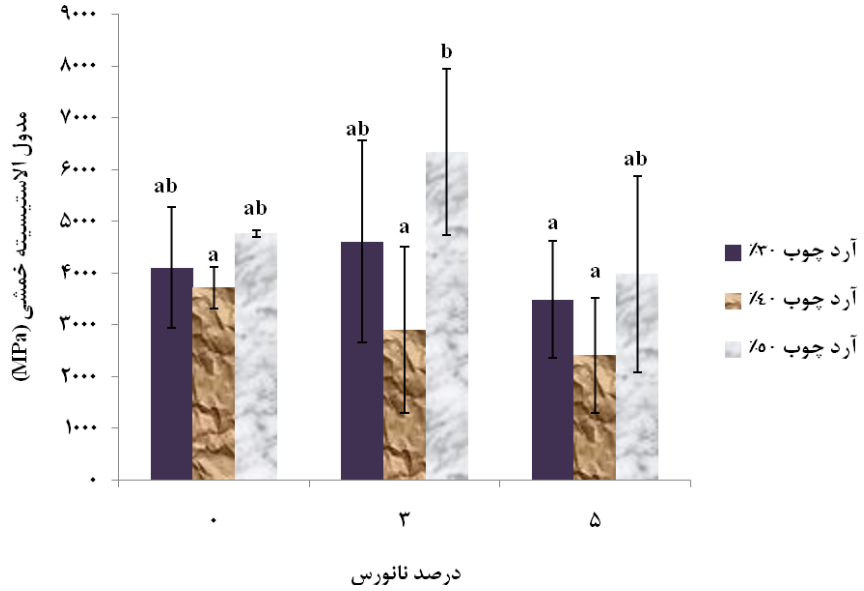
مقاومت و مدول‌الاستیسیته کششی

در جدول ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته در چندسازه مقاومت کششی

افزایش و مدول‌الاستیسیته کششی کاهش می‌یابد. با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته مقاومت و مدول‌الاستیسیته کششی به‌ترتیب ۱٦ و ۱٤ درصد تغییر می‌یابد که تغییر مقاومت کششی از نظر آماری معنی‌دار بوده ولی تغییر مدول کششی از نظر آماری معنی‌دار نیست. به‌طوری‌که بیشترین مقاومت و مدول‌الاستیسیته کششی به‌ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ و ۳۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته است



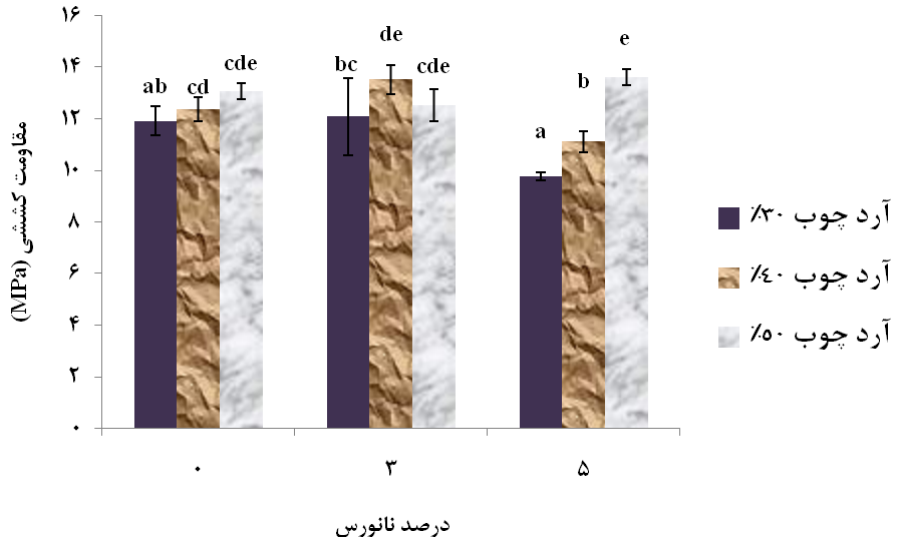
شکل ۲- تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر مقاومت خمشی چندسازه‌های ساخته شده



شکل ۳ - تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر مدول‌الاستیسیته خمشی چندسازه‌های ساخته شده

. با افزایش درصد نانورس در چندسازه مقاومت کششی ابتدا افزایش و بعد کاهش می‌یابد، ولی مدول‌الاستیسیته کششی به طور پیوسته افزایش می‌یابد. با افزایش درصد نانورس مقاومت و مدول‌الاستیسیته کششی به‌ترتیب ۱۱ و ۱٦ درصد تغییر می‌یابد که تغییر مقاومت کششی از نظر آماری معنی‌دار بوده ولی تغییر مدول‌الاستیسیته کششی از نظر آماری معنی‌دار نیست. البته بیشترین مقاومت و مدول‌الاستیسیته کششی به‌ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۳ و ۵ درصد نانورس است.

شکل ٤ تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر مقاومت کششی چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس، مقاومت و مدول کششی به‌ترتیب ۳۹ و ٦۹ درصد افزایش می‌یابد که تغییر مقاومت کششی از نظر آماری معنی‌دار بوده ولی تغییر مدول‌الاستیسیته کششی از نظر آماری معنی‌دار نیست. بیشترین مقاومت کششی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۵ درصد نانورس و بیشترین مدول‌الاستیسیته کششی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۵ درصد نانورس است.



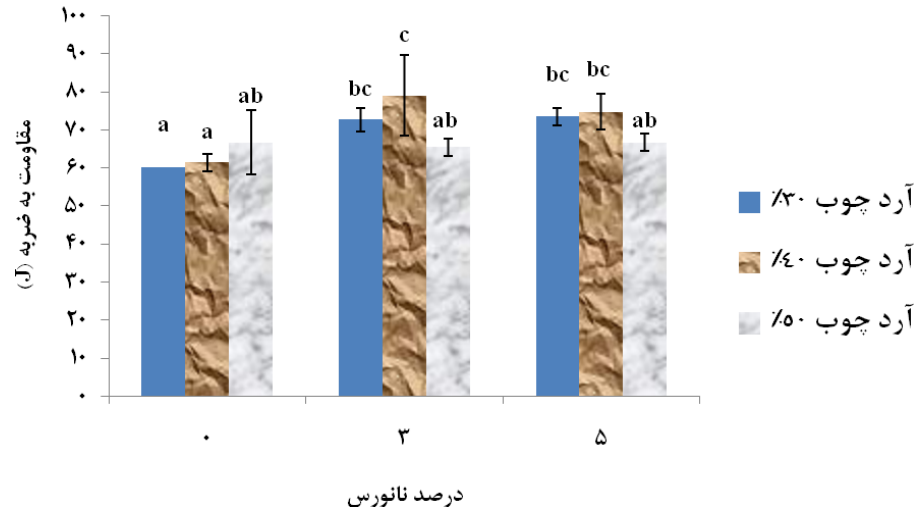
شکل ٤ – تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر مقاومت کششی چندسازه‌های ساخته شده

مقاومت به ضربه فاقدار

در جدول ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس در چندسازه مقاومت به ضربه فاقدار ابتدا افزایش و بعد کاهش می‌یابد. با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته مقاومت به ضربه ۸ درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری معنی‌دار نیست. البته با

تغییر درصد آرد پوسته سلولزی پسته بیشترین مقاومت به ضربه مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ٤٠ درصد آرد پوسته سلولزی پسته است. همچنین با افزایش درصد نانورس مقاومت به ضربه ۱۵ درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری معنی‌دار است. اما با تغییر درصد نانورس بیشترین مقاومت به ضربه مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۳ درصد نانورس است.

شکل ۵ تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس مقاومت به ضربه ۳۱ درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری معنی‌دار است. البته بیشترین مقاومت به ضربه مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ٤٠ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانورس است.



شکل ۵- تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه‌های ساخته شده

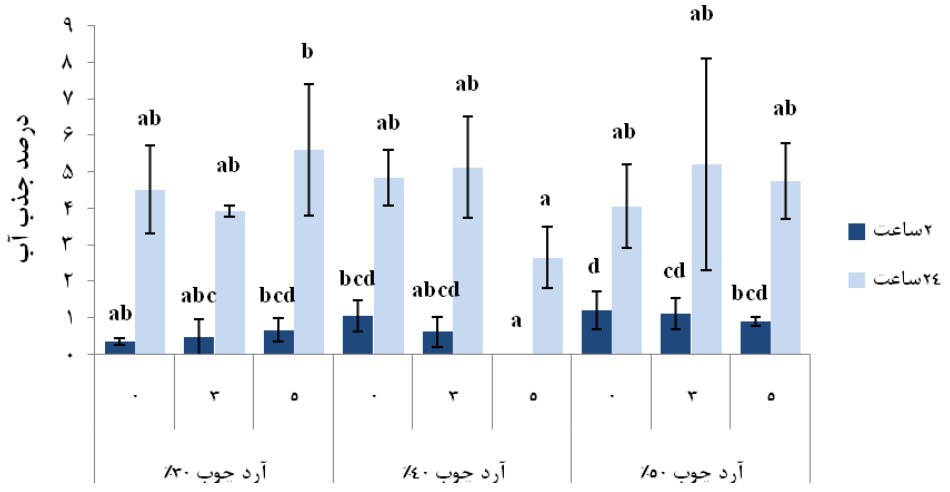
خواص فیزیکی

جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت

جدول ۲ تأثیر درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس را بر جذب آب ۲ و ٢٤ ساعت نشان می‌دهد. با توجه به این جدول با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته در چندسازه جذب آب ۲ ساعت به طور منظم و ٢٤ ساعت به طور نامنظم افزایش می‌یابد. با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته جذب آب ۲ و ٢٤ ساعت به‌ترتیب ۱۰۹ و ۱۱ درصد افزایش می‌یابد. البته کمترین میزان جذب آب ۲ و ٢٤ ساعت به‌ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ و ٤٠ درصد آرد پوسته سلولزی پسته است.

همچنین در جدول ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد نانورس در چندسازه جذب آب ۲ ساعت به طور منظم و ٢٤ ساعت به طور غیرمنظم کاهش می‌یابد. با افزایش درصد نانورس جذب آب ۲ و ٢٤ ساعت به‌ترتیب ٦٥ و ۹ درصد کاهش می‌یابد. البته کمترین میزان جذب آب ۲ و ٢٤ ساعت هردو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵ درصد نانورس است.

شکل ٦ تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس را بر جذب آب ۲ و ۲٤ چندسازه‌های ساخته شده نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس جذب آب ۲ و ۲٤ به‌ترتیب ۲۲٦ و ۱۱۱ درصد تغییر می‌یابد. البته کمترین میزان جذب آب ۲ و ۲٤ ساعت هردو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ٤۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۵ درصد نانورس است.



شکل ٦ – تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر جذب آب ۲ و ۲٤ ساعت چندسازه‌های ساخته شده

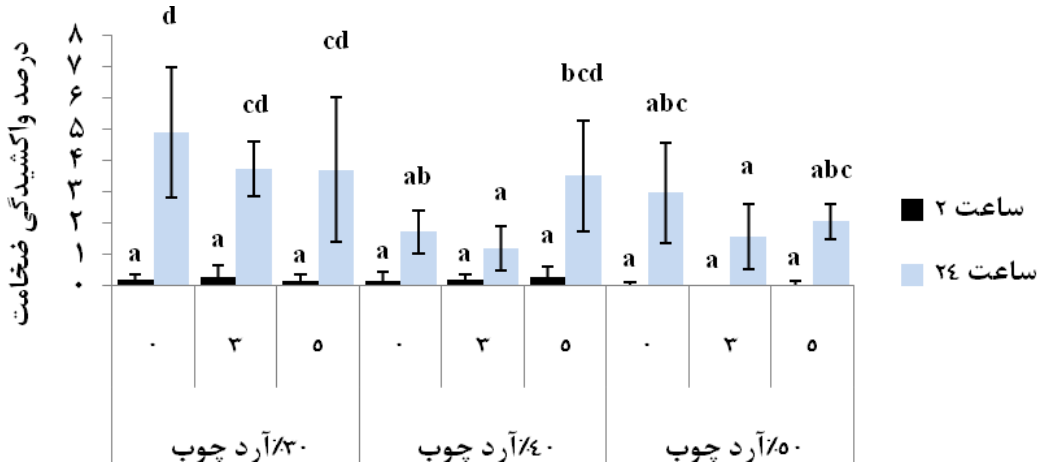
واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت

با توجه به جدول ۲ با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته در چندسازه واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت به طور منظم و ۲٤ ساعت به طور نامنظم کاهش می‌یابد. با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ ساعت به‌ترتیب ۵/۵ برابر و ۹۲ درصد تغییر می‌یابد. کمترین واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ ساعت به‌ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با۵۰ و ٤۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته است.

همچنین در جدول ۲ مشاهده می‌شود با افزایش درصد نانورس واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ ساعت به‌ترتیب ٤۱ و ٤۷ درصد تغییر می‌یابد. البته کمترین واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ ساعت مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با صفر و ۳ درصد نانورس است.

شکل ۷ تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ به‌ترتیب ۳ و ٦/۵ برابر تغییر می‌یابد. کمترین واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ به‌ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته با ۳٪ نانورس و چندسازه‌های ساخته شده با ٤۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳٪ نانورس است. شایان ذکر است که واکشیدگی ضخامت ۲٤ ساعت

چندسازه‌های ساخته شده با ٤٠ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳٪ نانورس و چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته با ۳٪ نانورس تفاوت چندانی با هم ندارند. از این رو می‌توان گفت که کمترین واکشیدگی ضخامت ۲ و ٢٤ هر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳٪ نانورس است.



شکل۷- تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر واکشیدگی ضخامت ۲ و ٢٤ ساعت چندسازه‌های ساخته شده

بحث

نتایج نشان داد که مقاومت کششی و خمشی چندسازه چوب پلاستیک مطالعه شده با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته از ۳۰ به ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. مقاومت‌های کششی و خمشی مواد مرکب بشدت 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 (Tajvidi *et al.*, 2003). به همین دلیل با افزایش مقدار آرد چوب میزان تنش قابل تحمل ماده مرکب بر اثر وجود فاز تقویت کننده (الیاف سلولزی) افزایش می‌یابد (Tajvidi *et al.*, 2003). بنابراین دارا بودن مدول‌الاستیسیته 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 Naeimian (۲۰۰۸)، Shakeri و Omidvar (۲۰۰٦)، که بر روی چندسازه‌های بر پایه پلاستیک‌های مشتق شده از منابع نفتی انجام شده است و همچنین با نتایج مطالعاتی مانند Morreale و همکاران (۲۰۰۸) که بر روی چندسازه‌های بر پایه نشاسته انجام شده است همخوانی دارد.

افزایش مقاومت کششی نانوچندسازه را در هنگام استفاده از ۳ درصد نانورس می‌توان به ضریب ظاهری بالای نانو ذرات رس و تشکیل ساختار بین لایه‌ای (Intercalation) در نانوچندسازه چوب پلاستیک مرتبط دانست که با تشکیل ساختار بین لایه‌ای در نانوچندسازه به دلیل تأثیر بین سطحی زنجیره‌های آلی و ذرات نانورس

و نیز جهت یافتگی ذرات سیلیکات لایه‌ای موجب افزایش مقاومت‌کششی و خمشی چندسازه می‌گردد (Karrabi et al., 2007). 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 (Kord *et al.*, 2010). الیاف سلولزی مدول‌الاستیسیته نسبتاً بالایی دارند، از این رو می‌توانند مدول‌الاستیسیته ماده مرکب را بهبود ببخشند (Tajvidi *et al.*, 2003). اما مدول‌الاستیسیته کششی چندسازه‌های ساخته شده با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته از ۳۰ به ۵۰ درصد ١٤ درصد تغییر می‌کند که از نظر آماری معنی‌دار نیست. Duanmu و همکاران (۲۰۰۹) نیز به نتایج مشابهی رسیدند.

عوامل ساختاری مختلفی نظیر نسبت حجمی، ضریب ظاهری نانورس، فاصله افقی بین ذرات و مقدار درهم رفتگی ذرات نانورس بر خواص مکانیکی نانوچندسازه‌های پلیمر- خاک رس تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارند (Shokrie and Sonbolestan., 2007). به علاوه اینکه اختلاف بین میزان متورق شدن لایه‌ها و تشکیل ساختار لایه لایه (Exfoliation) و ساختار بین لایه‌ای (Intercalation) تأثیر شدیدی بر مدول نانوچندسازه حاصل دارد (Ziaei *et al.*, 2012). نانو ذرات رس به علت تشکیل اتصال قوی با ماتریس پلیمری موجب افزایش مدول در چندسازه می‌گردد؛ البته از حد مشخصی روند افزایشی خواص با افزایش درصد رس کند و حتی گاهی بعکس خواهد شد (Samal *et al.*, 2008). از این‌رو می‌توان افزایش مدول‌خمشی نانوچندسازه را در هنگام استفاده از ۳ درصد نانورس، به ضریب ظاهری بالای ذرات نانورس و تشکیل ساختار بین لایه‌ای (Intercalation) 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 درهم رفته مدول‌خمشی چندسازه کاهش می‌یابد.

الیاف طبیعی سبب می‌شود نیروی اعمالی در هنگام آزمون ضربه به جای این که از داخل محیطی همگن عبور کند با مجموعه‌ای 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 (Farsi., 2009; Naeimian., 2008). مطالعات Morreale و همکاران (۲۰۰۸) نشان داده که مقاومت به ضربه نمونه‌های چندسازه فاقدار با افزایش ماده پرکننده لیگنوسلولزی کاهش می‌یابد. اما در این مطالعه نتایج بعکس مطالعات قبلی بود. البته شایان ذکر است که تغییرات مقاومت به ضربه فاقدار با تغییر درصد آرد پوسته سلولزی پسته از نظر آماری معنی‌دار نیست.

افزودن تقویت‌کننده‌های لیگنوسلولزی به ماتریس پلیمری سبب افزایش جذب آب چندسازه‌ها می‌گردد. 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.

افزودن نانورس به علت طبیعت آب‌گریز سطح رس، ضریب ظاهری بالا و همچنین خاصیت هسته‌زایی نانو

ذرات رس که موجب تشکیل ساختار بلوری در چندسازه می‌گردند، که این مسئله به کاهش روند جذب آب کمک می‌کند (Kord, 2009). از طرفی نانو ذرات 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. Kord و همکاران (۲۰۱۰)، Ziaei و همکاران (۲۰۱۰) نیز در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش درصد نانورس به چندسازه جذب آب و واکشیدگی ضخامت آن کاهش می‌یابد. البته شایان ذکر است که تغییرات جذب آب و واکشیدگی ضخامت با افزایش درصد نانورس به چندسازه از نظر آماری معنی‌دار نیست.

نتایج کلی زیر از این مطالعه به‌دست آمد

۱) با افزایش مقدار آرد پوسته سلولزی پسته از ۳۰ به ۵۰ درصد، مقاومت کششی و خمشی، مدول‌خمشی، درصد ازدیاد طول در نقطه شکست کششی و جذب آب چندسازه افزایش یافت، اما مدول کششی، مقاومت به ضربه و واکشیدگی ضخامت با افزایش مقدار آرد پوسته سلولزی پسته کاهش پیدا کرد.

۲) با افزایش مقدار نانورس از صفر به ۵ درصد، مدول کششی به طور منظم افزایش و درصد ازدیاد طول در نقطه شکست کششی به طور منظم افزایش می‌یابد. اما مقاومت خمشی و کششی، مدول‌خمشی، مقاومت به ضربه چندسازه‌های ساخته شده با افزودن نانورس تا ۳ درصد افزایش و بعد با افزودن نانورس تا ۵ درصد کاهش می‌یابد. جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه‌های ساخته شده با افزودن نانورس کاهش می‌یابد.

۳) بیشترین مقاومت و مدول‌الاستیسیته خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانورس است. البته شایان ذکر است که بیشترین مدول‌الاستیسیته خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۵ درصد نانورس است ولی از نظر عددی و آماری اختلافی با چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانورس ندارند.

٤) بیشترین مقاومت و مدول‌الاستیسیته کششی به‌ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۵ درصد نانورس و چندسازه‌های ساخته شده با ۳۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۵ درصد نانورس است.

۵) بیشترین مقاومت به ضربه مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ٤۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانورس است.

٦) کمترین جذب آب ۲ و ۲٤ ساعت هر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ٤۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۵ درصد نانورس است.

۷) کمترین واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ ساعت به‌ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳ درصد نانورس است. شایان ذکر است که واکشیدگی ضخامت ۲٤ ساعت چندسازه‌های ساخته شده با ٤۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳٪ نانورس و چندسازه‌های ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته با ۳٪ نانورس تفاوت چندانی با هم ندارند. ازاین‌رو می‌توان گفت که کمترین واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ مربوط به چندسازه‌های

ساخته شده با ۵۰ درصد آرد پوسته سلولزی پسته و ۳٪ نانورس است.

منابع مورد استفاده

- 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.
- ASTM D 790–03, 2004, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
-Christou, P., Klee, H., (2004), Handbook Of Plant Biotechnology, Wiley.
- Duanmu, J., Kristofer Gamstedt, E., Rosling, A.,2007, Hygromechanical properties of composites of crosslinkedallylglycidyl-ether modified starch reinforced by wood fibres, Composites Science and Technology, 67:3090–3097.
- Ebrahimi, Gh. and Rostampour Haftkhani, A., 2010. Wood- plastic composites. Tehran University Press, 900p. (Translated in Persian).
- Fu, J. and Naguib, H. E.2006. Effect of Nanoclay on the Mechanical Properties of PMMA/Clay Nanocomposites Foams. Journal of Cellular Plastic, 45: 325-342.
- Farsi, M., 2009. Dynamic- mechanical-thermal analysis of polypropylene / Agricultural residues composites. Ph.D Thesis, Agriculture and Natural Resource Faculty, Islamic Azad University, Tehran, Iran. (In Persian).
- Karrabi, M., Ghasemi, A. and Mohammadi, M., 2007. Optimization and using the nanofillers in the lastic composites. Final report of research, Nanotechnology committee of science, research and technology ministry, Iran polymer and petrochemical institute. (In Persian).
- Kord, B., 2009. Improvement of practical properties of wood polymer composite with nanoclay particles. Engineering Material Journal, 1 (4): 369 – 377. (In Persian).
- Kord, B., Hemmasi, A. H. &Ghasemi, I. 2010. Properties of PP/wood flour/organomodifiedmontmorillonitenanocomposites.Journal of Wood Science Technology.DOI 10.1007/s00226-010-0309-7.
- Morreale, M., Scaffaro, R., Maio, A., 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.
- Naeimian, N., 2008. Investigation on the effects of different lignocellulosic materials on mechanical, physical and morphological properties of hybrid and non – hybrid composites addressing kenaf fiber – wood flour / polypropylene. Ph.D Thesis, Agriculture and Natural Resource Faculty, Islamic Azad University, Tehran, Iran. (In Persian).
- Prachayawarakorn, J., Sangnitidej,P., Boonpasith, P., 2010, Properties of thermoplastic rice starch composites reinforced by cotton fiber or low-density polyethylene, Carbohydrate Polymers, 81: 425–433.
- Samal, S. K., Nayak, S. and Mohanty, S. 2008. Polypropylene Nanocomposites: Effect of Organo-modified layered silicates on mechanical, thermal and morphological performance. Journal of Thermoplastic Composite Materials. 8 (2), 243-263.
- Shakeri, A.R. and Omidvar, A., 2006. Investigation on the effect of type, quantity and size of straw particles on the mechanical properties of crops straw – high density polyethylene composites. Polymer Sciences and Technology Journal, 19 (4): 301 – 308. (In Persian).
- Shokrie, M.M. and Sonbolestan, S.E., 2007. The effects of structural factors on the mechanical properties of polymer – clay nanocomposites. Polymer Sciences and Technology Journal, 20 (2): 187 – 195. (In Persian).
- Soykeabkaew, N., Supaphol, P., Rujiravanit, R., 2004, Preparation and characterization of jute- and flax-reinforced starch-based composite foams, Carbohydrate Polymers, 58:53–63.
- Tajvidi, M., Ebrahimi, Gh. and Enayati., A.A., 2003. Dynamic mechanical analysis of compatibilizer effect on mechanical properties of wood flour-polypropylene composites. Iranian Journal of Natural Resources, 56 (1 and 2): 47 – 60. (In Persian).
- 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.
- Ziaei Tabari, H., Nourbakhsh, A., 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 & Science, 51: 272-277.
- Ziaei Tabari, H., Nourbakhsh, A., Khademieslam, H., Nazar Nezhad, N. and Bazyar, B., 2012. Investigation on the effect of nanoclay on physical and tensile properties of nanocomposite made from reed residues. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 27 (2): 202 – 211. (In Persian).

Investigation on physical and mechanical properties of nanocomposites made from pistachio shell flour/ corn starch/ nanoclay

Karian, I.[1], Tabei, A.[2]* and Farajpoor Roodsari, A.[3]

1- M.Sc., Department of Wood and Paper Science and Technology, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran
2*-Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran. Email: Tabei_asr@yahoo.com
3-Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran

Received: Sep., 2012 Accepted: Feb., 2014

Abstract

In this study, the effect of Pistachio shell flour and nanoclay loading on the physical and mechanical properties of wood plastic composite were investigated. The pistachio Shell flour was used in levels of 30, 40 and 50% and Nano clay (cloisite 15A) in three levels (0, 3 and 5%) was mixed with corn starch. Samples were made in a laboratory twin-screw extruder and then injection molding. The heating temperature profile and rotational speed of the screws were set at 180–170–160–160 ^{o}C and 60 rpm, 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 strength, water absorption of the samples increased as the flour content increased from 30 to 50% (w/w), but tensile modulus, notched impact resistance and thickness swelling decreased. Furthermore, tensile modulus increased as the Nannoclay content increased from 0 to 5% (w/w). Flexural and tensile strength, flexural modulus, notched impact resistance increased as Nannoclay content increased from 0 to 3% (w/w)and at higher dosage (to 5% (w/w), these properties were decreased. Water absorption and thickness swelling of the samples decreased as the Nannoclay content increased from 0 to 5% (w/w).

Key words: Mechanical properties, physical properties, flour of cellulosic shell of pistachio, nanoclay, corn starch, nanocomposite.