

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

ایمان کاریان<sup>1</sup>، اصغر تابعی<sup>2\*</sup> و آرش فرج‌پور رودسری<sup>3</sup>

1 دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آستارا

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

پست الکترونیک: Tabei\_Asr@yahoo.com

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

تاریخ پذیرش: اسفند 1392

تاریخ دریافت: مهر 1392

### 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 30، 40 و 50 درصد، و نانورس 15A کلوزیت در سه سطح صفر، 3 و 5 درصد با پلیمر نشاسته ذرت پس از اختلاط خشک، توسط دستگاه اکسترودر کولین (Collin) با چهار محفظه دمایی با دماهای به ترتیب 160، 170، 180 و 160 °C و با دور ماردون 60 RPM 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 با افزایش مقدار آرد پوسته سلولزی پسته از 30 به 50 درصد، مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی و جذب آب چندسازه افزایش یافت، اما مدول کششی، مقاومت به ضربه و واکنشیدگی ضخامت با افزایش مقدار آرد پوسته سلولزی پسته کاهش می‌یابد. با افزایش مقدار نانورس از صفر به 5 درصد، مدول کششی به طور منظم افزایش می‌یابد. اما مقاومت خمشی و کششی، مدول خمشی، مقاومت به ضربه چندسازه‌های ساخته شده با افزودن نانورس تا 3 درصد افزایش و بعد با افزودن نانورس تا 5 درصد کاهش می‌یابد. جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه‌های ساخته شده با افزودن نانورس کاهش می‌یابد.

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

### مقدمه

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 تجدیدنپذیر برای تولید این مواد، محققان و

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؛

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 پلی‌وینیل 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، پلی‌وینیل کلراید و ... در ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک از نشاسته استفاده شده است. نشاسته یک ماده‌ی ارزانه‌قیمت 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 (2009)، و Soykeabkaew و همکاران (2004) نشان دادند که افزودن الیاف و آرد چوب به چندسازه‌های بر پایه نشاسته مقاومت و مدول‌خمشی چندسازه را بهبود می‌بخشد. مطالعات

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 (پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها یا پلی‌هیدروکسی بوتیرات)، پلی‌استرهای ساخته شده بر پایه منومر طبیعی (پلی‌لاکتیک اسید) و یک گروه از پلیمرهای گوناگون (لاستیک طبیعی) می‌باشند. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر سنتزی که از مواد اولیه پتروشیمی تولید می‌شوند شامل پلی‌استرهای آلیفاتیک (پلی‌گلایکولیک اسید)، پلی‌استرهای آروماتیک یا ترکیب با پلی‌استرهای آلیفاتیک، پلی‌اولفین‌های اصلاح شده و پلی‌وینیل‌الکل‌ها 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) فرآورده‌هایی اکستروود شده یا قالبی هستند و شکل معینی دارند و طبق تعریف پلاستیک‌های پر شده با الیاف سلولزی و

## مواد و روش‌ها

### مواد

در این تحقیق از پلیمر گیاهی نشاسته ذرت تولید شده توسط شرکت کیمیا شیمی زنگان با شاخص جریان مذاب 3 g/10min (در دمای 150°C و وزنه 5 کیلوگرم) و دانسیته 1/3 g/cm<sup>3</sup>، مالینک انیدرید پیوند شده با پلی اتیلن (MAPE) با شاخص جریان مذاب 35 g/10min و دانسیته 0/930 g/cm<sup>3</sup>، به‌عنوان جفت کننده از شرکت Solvay کشور بلژیک، نانورس کلویزیت 15A (غلظت اصلاح کننده برابر با 100 meq/125) از شرکت Southern-Clay کشور آمریکا و آرد پوسته سلولزی پسته (*pistaciavera*) (شکل 1) با اندازه ذرات عبور کرده از الک 60 مش و باقی مانده روی الک 80 مش استفاده شد.



شکل 1- 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 60 و 80 مش جداسازی شده و مورد استفاده قرار گرفتند. آرد پوست پسته قبل از اختلاط با نشاسته به مدت 24 ساعت در اجاق آزمایشگاهی با دمای

Morreale و همکاران (2008)، و Prachayawarakorn و همکاران (2010) 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 (2008) 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 (2005)، و Fu & Naguib (2006) نشان داده که افزودن نانورس به چندسازه چوب پلاستیک سبب بهبود مقاومت‌های خمشی و کششی و همچنین کاهش مقاومت به ضربه، جذب آب و واکنشیدگی 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. از این‌رو در این تحقیق ویژگی فیزیکی و مکانیکی چندسازه حاصل از آرد پوست پسته، نشاسته ذرت، نانورس و MAPE بررسی شد.

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

- خواص کششی ASTM D638

- خواص خمشی DASTM 790

آزمایش‌ها با ماشین آزمایش اینسترون مدل 4468 به اجرا در آمد.

مقاومت به ضربه بدون فاق آیزود ASTM D 256 با دستگاه ضربه ایزود

### تعیین خواص فیزیکی

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

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای هر آزمون 3 نمونه یا به عبارتی 3 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 95 درصد بررسی شده است.

### نتایج

جدول 2 میانگین خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه‌های ساخته شده به همراه گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد.

$103 \pm 2^\circ\text{C}$  خشک شد. سپس برای ساخت با درصدهای وزنی ارائه شده در جدول 3 با نشاسته، نانورس و MAPE به‌طور فیزیکی با دستگاه میکسر به خوبی مخلوط شدند. پس از اختلاط مواد، آنها توسط دستگاه اکسترودر کولین (Collin) با چهار محفظه دمایی با دماهای به‌ترتیب 160، 170، 180 و  $160^\circ\text{C}$  و با دور ماردون 60 RPM اکسترودر گردیدند. سپس گرانول به‌دست آمده با استفاده از اجاق آزمایشگاهی با دمای  $80^\circ\text{C}$  و به مدت 48 ساعت خشک شدند. از گرانول خشک شده با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی نمونه‌های آزموننی ساخته شدند. فشار تزریق 3MPa، دمای لوله و دمای نازل  $180^\circ\text{C}$  بوده است.

جدول 1- درصد وزنی اجزای چندسازه

شماره تیمار	آرد پوست پسته (درصد)	نشاسته ذرت (درصد)	نانورس (درصد)	MAPE (درصد)
1	50	46	0	
2	50	43	3	
3	50	41	5	
4	40	56	0	
5	40	53	3	4
6	40	51	5	
7	30	66	0	
8	30	63	3	
9	30	61	5	

### تعیین خواص مکانیکی

جدول 2 میانگین خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه‌های ساخته شده

(حروف بالای اعداد گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد).

درصد نانورس			درصد آرد پست سلولزی پسته			
5	3	صفر	50	40	30	
23/5 <sup>a</sup>	26/4 <sup>b</sup>	24/4 <sup>ab</sup>	26/0 <sup>b</sup>	25/2 <sup>ab</sup>	23/1 <sup>a</sup>	مقاومت خمشی
3293 <sup>a</sup>	4613 <sup>a</sup>	4194 <sup>a</sup>	5025 <sup>b</sup>	3011 <sup>a</sup>	4065 <sup>ab</sup>	مدول الاستیسیته خمشی
11/5 <sup>a</sup>	12/7 <sup>a</sup>	12/4 <sup>a</sup>	13/1 <sup>b</sup>	12/3 <sup>b</sup>	11/2 <sup>a</sup>	مقاومت کششی
3813 <sup>a</sup>	3788 <sup>a</sup>	3286 <sup>a</sup>	3441 <sup>a</sup>	3511 <sup>a</sup>	3934 <sup>a</sup>	مدول الاستیسیته کششی
71/6 <sup>b</sup>	72/3 <sup>b</sup>	62/7 <sup>a</sup>	66/2 <sup>a</sup>	71/7 <sup>a</sup>	68/7 <sup>a</sup>	مقاومت به ضربه فاقدار
0/53 <sup>a</sup>	0/75 <sup>a</sup>	0/88 <sup>a</sup>	1/08 <sup>b</sup>	0/56 <sup>a</sup>	0/52 <sup>a</sup>	درصد جذب آب 2 ساعت
4/3 <sup>a</sup>	4/8 <sup>a</sup>	4/5 <sup>a</sup>	4/7 <sup>a</sup>	4/2 <sup>a</sup>	4/7 <sup>a</sup>	درصد جذب آب 24 ساعت
0/15 <sup>a</sup>	0/19 <sup>a</sup>	0/13 <sup>a</sup>	0/03 <sup>a</sup>	0/20 <sup>b</sup>	0/21 <sup>b</sup>	درصد واکنش‌دهی ضخامت 2 ساعت
1/8 <sup>a</sup>	1/4 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	2/2 <sup>a</sup>	2/1 <sup>a</sup>	4/1 <sup>b</sup>	درصد واکنش‌دهی ضخامت 24 ساعت

انواع واحد‌ها: مقاومت و مدول خمشی و کششی بر حسب MPa، مقاومت به ضربه بر حسب ژول

### مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی

در جدول 2 مشاهده می‌شود که با افزایش درصد آرد پسته سلولزی پسته در چندسازه مقاومت و مدول خمشی افزایش می‌یابد. با افزایش درصد آرد پسته سلولزی پسته مقاومت و مدول خمشی 12 و 67 درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری نیز معنی‌دار است. بیشترین مقاومت و مدول خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 50 درصد آرد پسته سلولزی پسته است. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش درصد نانورس در چندسازه مقاومت و مدول خمشی ابتدا افزایش و بعد کاهش می‌یابد. با تغییر درصد نانورس از صفر به 5 درصد مقاومت و مدول خمشی به ترتیب 12 و 40 درصد تغییر می‌یابد که تغییر مقاومت خمشی با افزایش درصد نانورس از نظر آماری معنی‌دار بوده ولی تغییر مدول الاستیسیته خمشی معنی‌دار نیست. بیشترین مقاومت و مدول خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 3 درصد نانورس است.

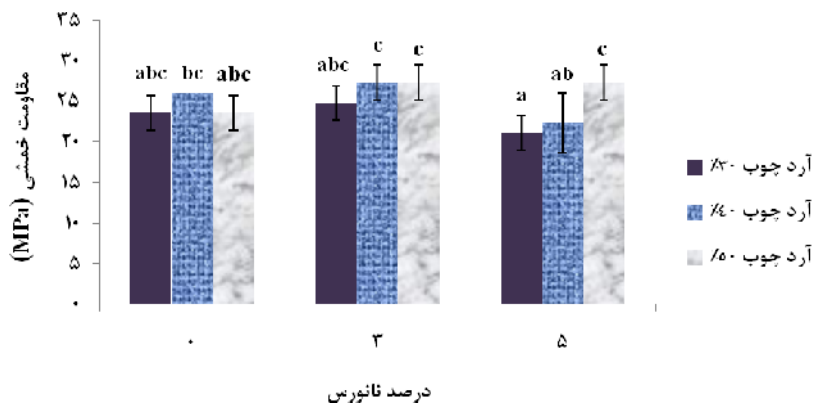
شکل 2 و 3 به ترتیب تأثیر متقابل درصد آرد پسته سلولزی پسته و نانورس بر مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پسته سلولزی پسته و نانورس مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی به ترتیب 29 و 163 درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری معنی‌دار نیستند. البته بیشترین مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی هر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 50 درصد آرد پسته سلولزی پسته و 3 درصد نانورس است.

### مقاومت و مدول الاستیسیته کششی

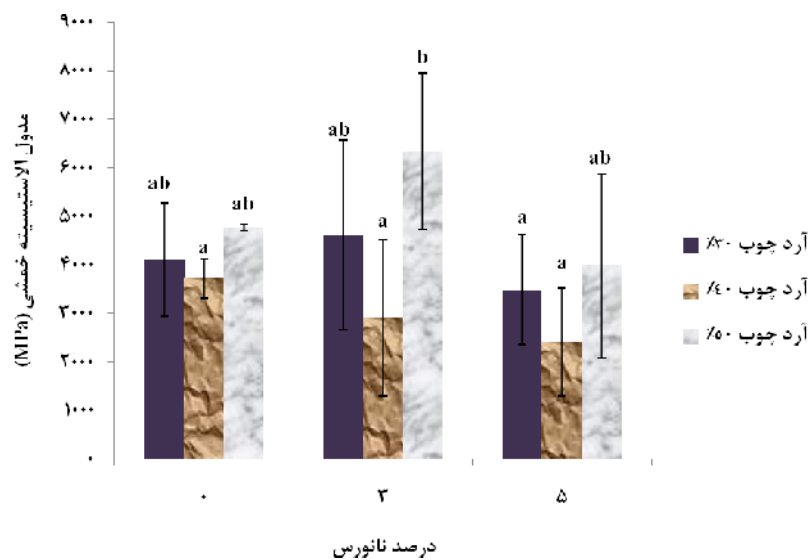
در جدول 2 مشاهده می‌شود که با افزایش درصد آرد پسته سلولزی پسته در چندسازه مقاومت کششی افزایش و مدول الاستیسیته کششی کاهش می‌یابد. با افزایش درصد آرد پسته سلولزی پسته مقاومت و

نیست. به طوری که بیشترین مقاومت و مدول الاستیسیته کششی به ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 50 و 30 درصد آرد پوسته سلولزی پسته است

مدول الاستیسیته کششی به ترتیب 16 و 14 درصد تغییر می‌یابد که تغییر مقاومت کششی از نظر آماری معنی‌دار بوده ولی تغییر مدول کششی از نظر آماری معنی‌دار



شکل 2- تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر مقاومت خمشی چندسازه‌های ساخته شده

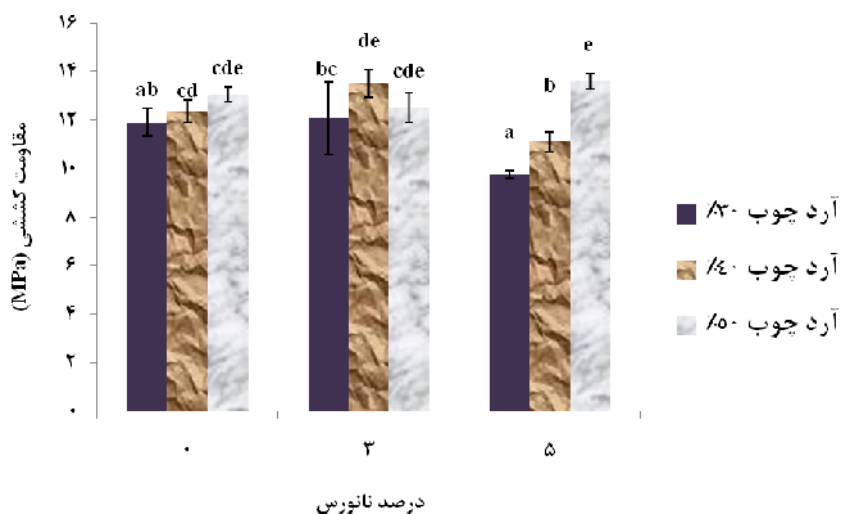


شکل 3- تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر مدول الاستیسیته خمشی چندسازه‌های ساخته شده

نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس، مقاومت و مدول کششی به ترتیب 39 و 69 درصد افزایش می‌یابد که تغییر مقاومت کششی از نظر آماری معنی‌دار بوده ولی تغییر مدول الاستیسیته کششی از نظر آماری معنی‌دار نیست. بیشترین مقاومت کششی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 50 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 5 درصد نانورس و بیشترین مدول الاستیسیته کششی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 30 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 5 درصد نانورس است.

. با افزایش درصد نانورس در چندسازه مقاومت کششی ابتدا افزایش و بعد کاهش می‌یابد، ولی مدول الاستیسیته کششی به طور پیوسته افزایش می‌یابد. با افزایش درصد نانورس مقاومت و مدول الاستیسیته کششی به ترتیب 11 و 16 درصد تغییر می‌یابد که تغییر مقاومت کششی از نظر آماری معنی‌دار بوده ولی تغییر مدول الاستیسیته کششی از نظر آماری معنی‌دار نیست. البته بیشترین مقاومت و مدول الاستیسیته کششی به ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 3 و 5 درصد نانورس است.

شکل 4 تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر مقاومت کششی چندسازه‌های ساخته شده را



شکل 4- تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر مقاومت کششی چندسازه‌های ساخته شده

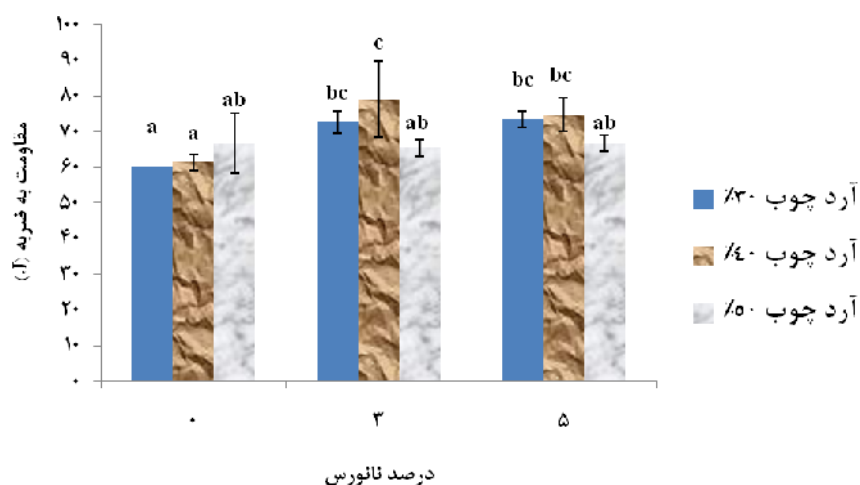
ضربه فاقدار ابتدا افزایش و بعد کاهش می‌یابد. با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته مقاومت به ضربه 8 درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری معنی‌دار نیست. البته با

#### مقاومت به ضربه فاقدار

در جدول 2 مشاهده می‌شود که با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس در چندسازه مقاومت به

شکل 5 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 31 درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری معنی‌دار است. البته بیشترین مقاومت به ضربه مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 40 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 3 درصد نانورس است.

تغییر درصد آرد پوسته سلولزی پسته بیشترین مقاومت به ضربه مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 40 درصد آرد پوسته سلولزی پسته است. همچنین با افزایش درصد نانورس مقاومت به ضربه 15 درصد افزایش می‌یابد که از نظر آماری معنی‌دار است. اما با تغییر درصد نانورس بیشترین مقاومت به ضربه مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 3 درصد نانورس است.



شکل 5 تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه‌های ساخته شده

به چندسازه‌های ساخته شده با 30 و 40 درصد آرد پوسته سلولزی پسته است.

همچنین در جدول 2 مشاهده می‌شود که با افزایش درصد نانورس در چندسازه جذب آب 2 ساعت به طور منظم و 24 ساعت به طور غیرمنظم کاهش می‌یابد. با افزایش درصد نانورس جذب آب 2 و 24 ساعت به ترتیب 65 و 9 درصد کاهش می‌یابد. البته کمترین میزان جذب آب 2 و 24 ساعت هردو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 5 درصد نانورس است.

### خواص فیزیکی

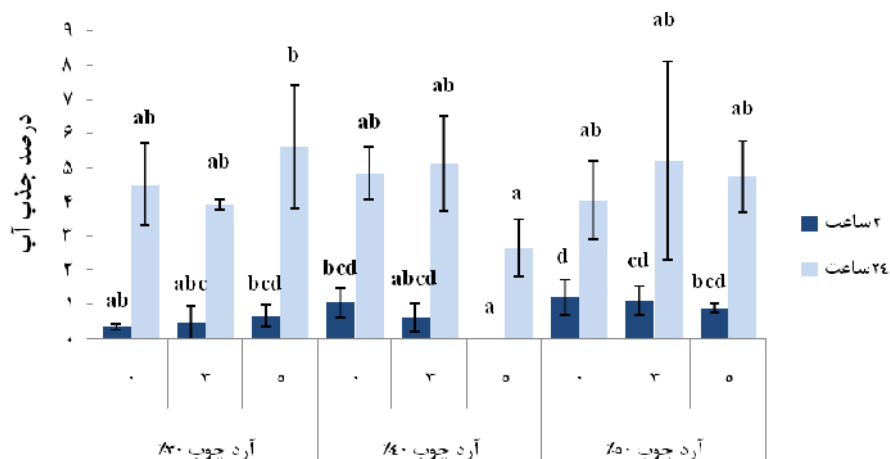
#### جذب آب 2 و 24 ساعت

جدول 2 تأثیر درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس را بر جذب آب 2 و 24 ساعت نشان می‌دهد. با توجه به این جدول با افزایش درصد پوسته سلولزی پسته در چندسازه جذب آب 2 ساعت به طور منظم و 24 ساعت به طور نامنظم افزایش می‌یابد. با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته جذب آب 2 و 24 ساعت به ترتیب 109 و 11 درصد افزایش می‌یابد. البته کمترین میزان جذب آب 2 و 24 ساعت به ترتیب مربوط



شکل 6 تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس را بر جذب آب 2 و 24 چندسازه‌های ساخته شده نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس جذب آب 2 و 24 به ترتیب

شکل 6 تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس را بر جذب آب 2 و 24 چندسازه‌های ساخته شده نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس جذب آب 2 و 24 به ترتیب



شکل 6- تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر جذب آب 2 و 24 ساعت چندسازه‌های ساخته شده

واکشیدگی ضخامت 2 و 24 ساعت مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با صفر و 3 درصد نانورس است.

شکل 7 تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر واکشیدگی ضخامت 2 و 24 چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. با افزایش همزمان درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس واکشیدگی ضخامت 2 و 24 به ترتیب 3 و 6/5 برابر تغییر می‌یابد. کمترین واکشیدگی ضخامت 2 و 24 به ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 50 درصد آرد پوسته سلولزی پسته با 3٪ نانورس و چندسازه‌های ساخته شده با 40 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 3٪ نانورس است.

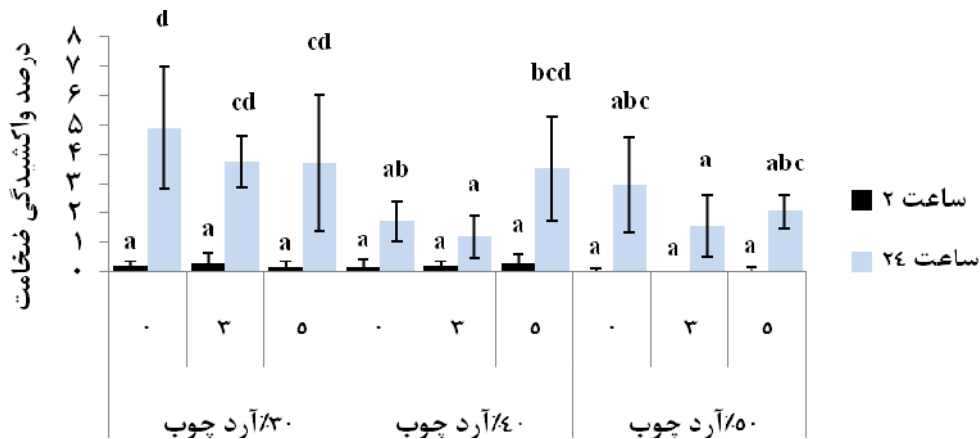
### واکشیدگی ضخامت 2 و 24 ساعت

با توجه به جدول 2 با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته در چندسازه واکشیدگی ضخامت 2 ساعت به طور منظم و 24 ساعت به طور نامنظم کاهش می‌یابد. با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته واکشیدگی ضخامت 2 و 24 ساعت به ترتیب 5/5 برابر و 92 درصد تغییر می‌یابد. کمترین واکشیدگی ضخامت 2 و 24 ساعت به ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 50 و 40 درصد آرد پوسته سلولزی پسته است.

همچنین در جدول 2 مشاهده می‌شود با افزایش درصد نانورس واکشیدگی ضخامت 2 و 24 ساعت به ترتیب 41 و 47 درصد تغییر می‌یابد. البته کمترین

چندانی با هم ندارند. از این رو می توان گفت که کمترین واکنشیدگی ضخامت 2 و 24 هر دو مربوط به چندسازه های ساخته شده با 50 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 3٪ نانورس است.

شایان ذکر است که واکنشیدگی ضخامت 24 ساعت چندسازه های ساخته شده با 40 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 3٪ نانورس و چندسازه های ساخته شده با 50 درصد آرد پوسته سلولزی پسته با 3٪ نانورس تفاوت



شکل 7 تأثیر متقابل درصد آرد پوسته سلولزی پسته و نانورس بر واکنشیدگی

ضخامت 2 و 24 ساعت چندسازه های ساخته شده

پلیمر با مدول کم به بهبود مقاومت خمشی و کششی می انجامد. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعاتی مانند Naeimian (2008)، Shakeri و Omidvar (2006)، که بر روی چندسازه های بر پایه پلاستیک های مشتق شده از منابع نفتی انجام شده است و همچنین با نتایج مطالعاتی مانند Morreale و همکاران (2008) که بر روی چندسازه های بر پایه نشاسته انجام شده است همخوانی دارد.

افزایش مقاومت کششی نانوچندسازه را در هنگام استفاده از 3 درصد نانورس می توان به ضریب ظاهری بالای نانو ذرات رس و تشکیل ساختار بین لایه ای (Intercalation) در نانوچندسازه چوب پلاستیک مرتبط دانست که با تشکیل ساختار بین لایه ای در نانوچندسازه به دلیل تأثیر بین سطحی زنجیره های آلی و ذرات نانورس

## بحث

نتایج نشان داد که مقاومت کششی و خمشی چندسازه چوب پلاستیک مطالعه شده با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته از 30 به 50 درصد افزایش می یابد. مقاومت های 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 تقویت کننده) به وسیله این ناحیه صورت می گیرد (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 می یابد (Tajvidi et al., 2003). بنابراین دارا بودن مدول الاستیسیته بالاتر پرکننده سلولزی نسبت به ماده زمینه و انتقال بیشتر تنش توسط پرکننده سلولزی با مدول بالا و

و نیز جهت یافتگی ذرات سیلیکات لایه‌ای موجب افزایش مقاومت کششی و خمشی چندسازه می‌گردد (Karrabi et al., 2007). از طرفی با افزایش مقدار 5 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 مدول الاستیسیته نسبتاً بالایی دارند، از این رو می‌توانند مدول الاستیسیته ماده مرکب را بهبود ببخشند (Tajvidi et al., 2003). اما مدول الاستیسیته کششی چندسازه‌های ساخته شده با افزایش درصد آرد پوسته سلولزی پسته از 30 به 50 درصد 14 درصد تغییر می‌کند که از نظر آماری معنی‌دار نیست. Duanmu و همکاران (2009) 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 Sonbolstan., 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 این رو می‌توان افزایش مدول خمشی نانوچندسازه را در هنگام استفاده از 3 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 5 درصد نانورس، به علت تجمع و تراکم ذرات نانورس و همچنین تشکیل توده‌های درهم رفته مدول خمشی 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 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 (Farsi., 2009; Naeimian., 2008). مطالعات Morreale و همکاران (2008) 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

3) بیشترین مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 50 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 3 درصد نانورس است. البته شایان ذکر است که بیشترین مدول الاستیسیته خمشی مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 50 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 5 درصد نانورس است ولی از نظر عددی و آماری اختلافی با چندسازه‌های ساخته شده با 50 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 3 درصد نانورس ندارند.

4) بیشترین مقاومت و مدول الاستیسیته کششی به ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 50 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 5 درصد نانورس و چندسازه‌های ساخته شده با 30 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 5 درصد نانورس است.

5) بیشترین مقاومت به ضربه مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 40 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 3 درصد نانورس است.

6) کمترین جذب آب 2 و 24 ساعت هر دو مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 40 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 5 درصد نانورس است.

7) کمترین واکنشیدگی ضخامت 2 و 24 ساعت به ترتیب مربوط به چندسازه‌های ساخته شده با 50 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 3 درصد نانورس است. شایان ذکر است که واکنشیدگی ضخامت 24 ساعت چندسازه‌های ساخته شده با 40 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 3٪ نانورس و چندسازه‌های ساخته شده با 50 درصد آرد پوسته سلولزی پسته با 3٪ نانورس تفاوت چندانی با هم ندارند. از این رو می‌توان گفت که کمترین واکنشیدگی ضخامت 2 و 24 مربوط به چندسازه‌های

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 (2010) و Ziaei, (2010)، همکاران (2010) نیز در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش درصد نانورس به چندسازه جذب آب و واکنشیدگی ضخامت آن کاهش می‌یابد. البته شایان ذکر است که تغییرات جذب آب و واکنشیدگی ضخامت با افزایش درصد نانورس به چندسازه از نظر آماری معنی‌دار نیست.

#### نتایج کلی زیر از این مطالعه به دست آمد

1) با افزایش مقدار آرد پوسته سلولزی پسته از 30 به 50 درصد، مقاومت کششی و خمشی، مدول خمشی، درصد ازدیاد طول در نقطه شکست کششی و جذب آب چندسازه افزایش یافت، اما مدول کششی، مقاومت به ضربه و واکنشیدگی ضخامت با افزایش مقدار آرد پوسته سلولزی پسته کاهش پیدا کرد.

2) با افزایش مقدار نانورس از صفر به 5 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، مدول خمشی، مقاومت به ضربه چندسازه‌های ساخته شده با افزودن نانورس تا 3 درصد افزایش و بعد با افزودن نانورس تا 5 درصد کاهش می‌یابد. جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه‌های ساخته شده با افزودن نانورس کاهش می‌یابد.

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., Sangnitdej, 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 Organomodified 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 Bazayr, 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).
- ساخته شده با 50 درصد آرد پوسته سلولزی پسته و 3٪ 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., Sca aro, R., Maio, A., La Mantia, F.P., 2008, E ect of adding wood flour to the physical

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

Karian, I.<sup>1</sup>, Tabei, A.<sup>2\*</sup> and Farajpoor Roodsari, A.<sup>3</sup>

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 °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.