

## تأثیر ذرات نانورس بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازه ساخته شده از پودر پوست بادام/پلی پروپیلن

امیر لشگری<sup>۱\*</sup>، ایوب عشقی<sup>۲</sup>، ابوالفضل کارگرفرد<sup>۳</sup> و آژنگ تاج دینی<sup>۴</sup>

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

پست الکترونیک: Amir.lashgari@kia.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج

۳- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران

۴- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج

تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۱

### چکیده

در این تحقیق تأثیر ذرات نانورس بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازه ساخته شده از پودر پوست بادام-پلی پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از پودر پوست بادام در سه سطح ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد و نانورس در سطوح ۰، ۲/۵ و ۵ درصد استفاده گردید، همچنین مالئیک انیدرید پلی پروپیلن به میزان ۲ درصد در تمام ترکیبها بکار برده شد؛ سپس نانوکامپوزیت چوب پلاستیک با استفاده از مخلوطکن دوماردونه ناهمسوگرد و دستگاه قالبگیری تزریقی ساخته شد. آزمونهای مکانیکی شامل کشش، خمش، ضربه و سختی و آزمونهای فیزیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت اندازه گیری شد. همچنین آزمایش XRD به منظور تعیین نحوه پراکنش نانورس در چندسازه‌های ساخته شده و تهیه عکس‌های میکروسکوپ الکترونی SEM به منظور بررسی سطوح شکست نیز انجام گردید. نتایج نشان دادند که حضور نانورس اثر معنی داری بر روی مدول‌های الاستیسیته خمشی و کششی ندارد و از طرفی حضور نانورس باعث کاهش مقاومت‌های خمشی و کششی شد. سختی و دانسیته کامپوزیت‌ها از پلاستیک خالص بالاتر بود و مقاومت به ضربه تمامی کامپوزیت‌ها از پلاستیک خالص پایین تر بود. با توجه به نتایج آزمونهای فیزیکی می توان نتیجه گرفت که حضور نانورس اثر معنی داری بر روی کامپوزیت‌ها نداشته است ( $P < .05$ ). البته الگوی پراش اشعه ایکس نشان داد که فرم نانو کامپوزیت از نوع ساختار بین لایه‌ایست، همچنین نتایج مورفولوژی نشان می دهد که نمونه‌های حاوی ۲/۵ درصد نانورس و ۳۵ درصد پوست بادام دارای بالاترین آرایش Intercalation و بهترین پراکنش هستند.

واژه‌های کلیدی: چندسازه، نانورس، پوست بادام، پلی پروپیلن، پراش اشعه ایکس، میکروسکوپ الکترونی.

## مقدمه

نانوکامپوزیت‌ها در واقع طبقه جدیدی از کامپوزیت‌های پلیمری را تشکیل می‌دهند که در ساختار آنها ذرات با ابعاد نانو مورد استفاده قرار می‌گیرد که از جمله این نانوذرات می‌توان به نانو کربن‌ها و ذرات نانورس اشاره کرد که به علت ابعاد خاص و ضریب ظاهری بالا در مقایسه با سایر پرکننده‌ها در مقادیر بسیار اندک موجب بهبود خواص کامپوزیت‌های پلیمری می‌شوند (Tjong, et al., 2006). منابع بالقوه پوست میوه درخت بادام که به عنوان پسماند راهی جز دور و ریز شدن و تلم بار شدن در محیط زیست و یا سوزانیده شدن ندارند نگریسته می‌شوند که علاوه بر مشکلات زیست محیطی نظیر آلودگی هوا باعث فرسایش خاک و کاهش فعالیت بیولوژیکی خاک می‌شوند (Copur et al., 2006). خسرویان (۱۳۸۸) تأثیر ولاستونیت در ابعاد میکرو و نانو را بر روی خصوصیات مکانیکی، فیزیکی، حرارتی و ریخت‌شناسی چندسازه چوب پلاستیک مورد بررسی قرار داده است. نتایج وی نشان داد با افزایش درصد نانو ولاستونیت در چندسازه مدول‌های کششی و خمشی و سختی آنرا افزایش می‌دهد و روی مقاومت کششی چندسازه تأثیر چندانی ندارد (جمله بندی ناقص و نامفهوم است)، اما مقاومت به ضربه چندسازه کاهش پیدا می‌کند و افزایش نانو ولاستونیت تأثیر مشهودی بر روی مقاومت خمشی ندارد. (Deshmane et al., 2007) در بررسی خصوصیات مورفولوژی و مکانیکی پلی‌پروپیلن تقویت شده با نانوکلی عنوان کردند که این پرکننده به علت تشکیل اتصال قوی با ماتریس پلیمر موجب افزایش مدول و مقاومت‌های مکانیکی کامپوزیت می‌گردد. (Lei et al., 2007) تأثیر نانوکلی بر روی خواص

کامپوزیت‌های چوب و پلی‌اتیلن دانسیته بالا را مورد بررسی قرار دادند. این نتایج نشان داد که استفاده از ۲ درصد خاک رس استحکام خمشی و کششی کامپوزیت‌های HDPE - چوب کاج با افزودن خاک رس به ترتیب به میزان ۲۰ و ۲۴ درصد افزایش یافت. مدول کششی و انبساط کششی با افزودن مقدار بیشتر خاک رس دیگر کاهش نیافت. البته MAPP وضعیت پراکنندگی ذرات را در کامپوزیت بهبود بخشید. میزان رطوبت و افزایش ضخامت کامپوزیت‌های HDPE - چوب کاج با افزودن خاک رس کاهش یافت. (kord, 2011) تأثیر نانو فیلر تقویت شده روی رفتارهای حرارتی، دینامیکی و مورفولوژیکی کامپوزیت‌های سبوس برنج - پلی‌اتیلن دانسیته بالا را مورد بررسی قرار داد و نتایج پراش اشعه ایکس نشان داد که توزیع ذرات نانورس در زمینه پلیمری از نوع بین لایه‌ایست و در سطح ۲٪ نانورس، دارای بالاترین درهم‌رفتگی و پراکنش است.

(Han et al., 2008) تأثیر استفاده از نانورس و ماده سازگارکننده بر ویژگی‌های مکانیکی و حرارتی کامپوزیت‌های حاصل از الیاف بامبو - پلی‌اتیلن سنگین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که به هنگام افزودن ۱٪ نانورس مدول الاستیسیته خمشی، مدول الاستیسیته دینامیک و درجه کریستالینه افزایش یافت، درحالی‌که مقاومت به ضربه نمونه‌ها کاهش یافت. البته داده‌های مربوط به پراش اشعه ایکس نشان داد تنها زمانی که ۱٪ نانورس به HDPE بدون MAPE اضافه شد خاک رس ورقه‌ورقه شد. برای سیستم‌های HDPE خالص هم مدول خمیدگی دینامیک هم مدول خمیدگی استاتیک افزایش یافتند، درحالی‌که استحکام ضربه‌ای با افزایش بارگذاری خاک رس

مدول کششی با ۲٪ نانورس افزایش معناداری پیدا می‌کند ولی با افزودن ۴٪ نانورس مدول کششی کمی کاهش خواهد یافت، همچنین مقاومت به ضربه و جذب آب با افزایش نانورس کاهش یافت. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و رویکرد جهانی به سوی نانوکامپوزیت‌ها و با توجه به محدودیت منابع جنگلی و کمبود ماده اولیه در صنایع چوب و همچنین توجه روزافزون به بازیافت و بهره‌برداری از پسماندهای کشاورزی و محصولات باغی و اهمیت این مواد به‌عنوان ماده اولیه جایگزین برای صنایع مذکور، از این‌رو این تحقیق با هدف تأثیر ذرات نانورس بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازه ساخته شده از پودر پوست بادام - پلی‌پروپیلن انجام شد.

#### مواد و روش‌ها

پوست بادام (Almond shell) مورد استفاده در این پژوهش در سه سطح ۳۰، ۳۵ و ۴۰٪ استفاده شد. نانورس (Nanoclay) مورد استفاده یکی از انواع مونت موریلونیت اصلاح شده ساخت شرکت امریکایی Southern-Clay با نام تجاری کلویزیت (Cloisite 15A) بود که در سه سطح ۰، ۲/۵ و ۵ درصد بکار گرفته شد. پلی‌پروپیلن (PP) مورد استفاده، محصول شرکت پتروشیمی اراک بود که با شاخص جریان مذاب ۷-۱۰g/10min به‌عنوان پلیمر خام به‌شکل گرانول استفاده شد. جفت‌کننده (MAPP) مورد استفاده مالئیک‌انیدرید پیوند خورده (Graft) با پلی‌پروپیلن (MA-g-PP) بود که توسط شرکت بلژیکی (Solvay) ساخته شده بود. ماده جفت‌کننده دارای میزان انیدرید پیوند خورده (wt%) ۱٪ و شاخص جریان ماب (10 g/min) ۶۴ و چگالی ۹۱٪ است.

کاهش یافت. برای کامپوزیت‌های فیبر بامبو HDPE استحکام کششی مدول خمیدگی و استحکام خمیدگی با استفاده از MAPE بهبود یافتند. استفاده از خاک رس در این سیستم منجر به کاهش خواص مکانیکی شد. (Sombatsompop et al., 2004) تأثیر نوع و تمرکز ذراتی مالئیک‌انیدرید گرافت شده پلی‌پروپیلن و ضربه اصلاح شده روی مشخصات مکانیکی کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن - آرد چوب را بررسی کرده‌اند و آزمایش‌ها نشان داده که افزایش فیبر چوب در داخل ماتریکس پلی‌پروپیلن استحکام و سختی کامپوزیت‌ها را کاهش می‌دهد. (Yuan et al., 2006) گزارش کردند که اضافه نمودن نانوکلی به پلی‌اتیلن موجب افزایش مقاومت به ضربه کامپوزیت در محدوده حرارتی ۷۰°C-۰ می‌گردد، درحالی‌که سختی کامپوزیت بدون تغییر می‌ماند؛ همچنین نتیجه گرفتند که افزایش این خصوصیات فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های تقویت شده با پرکننده نانورس به ساختار نهایی با پلیمر بستگی دارد. (Wang et al., 2005) خصوصیات ریخت‌شناسی و مکانیکی و گرمایی کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات نانورس را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این پرکننده‌ها به‌علت تشکیل ساختار لایه لایه‌ای و ساختار بین لایه‌ای موجب پراکنش بهتر ذرات در ماتریس پلیمری شده و در نهایت مدول کششی، مقاومت کششی و سختی کامپوزیت افزایش می‌یابد. (Nourbaksh et al., 2008) خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نانوکامپوزیت حاصل از باگاس، پلی‌پروپیلن، نانورس و مالئیک‌انیدرید پلی‌پروپیلن را که به روش قالب‌گیری فشاری تهیه شده بود را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که

## آماده‌سازی مواد

در این تحقیق ابتدا پوست بادام تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه تبدیل به پودر شد و بعد ذرات مناسب پس از عبور از الک ۴۰ و باقیمانده روی الک ۶۰ مش تهیه شد. پودر تهیه شده را به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $103 \pm 2$  در آون قرار داده و پس از اطمینان از خشک شدن براساس نسبت‌های مشخص توزین و در کیسه نایلونی جهت جلوگیری از جذب رطوبت ریخته و بسته‌بندی گردید. نانورس، پلی‌پروپیلن و مالئیک‌انیدرید پلی‌پروپیلن نیز براساس نسبت‌های مشخص توزین و هر کدام جداگانه در کیسه نایلونی برای جلوگیری از جذب رطوبت ریخته و بسته‌بندی گردیدند.

## ساخت کامپوزیت

مواد حاصل براساس درصد وزنی و با نسبت‌های مشخص شده در جدول ۱ به صورت خشک با یکدیگر مخلوط شدند. فرایند اختلاط مواد با دستگاه مخلوطکن دوماریچه ناهمسوگرد Dr.Collin در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران با دمای اختلاط ۱۹۰-۱۵۵ و سرعت اختلاط ۷۰ rpm (دور در دقیقه) انجام شد که پس از اختلاط، مواد چندسازه بی‌شکل تولید شده و پس از سرد شدن به وسیله دستگاه آسیاب آزمایشگاهی به گرانول تبدیل شده و گرانول‌های ساخته شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $85^{\circ}\text{C}$  آون خشک شدند. برای تهیه نمونه آزمونی از دستگاه تزریق با دمای ۱۸۰-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد.

جدول ۱- اجزای تشکیل‌دهنده ترکیبات مختلف براساس درصد وزنی

شماره	تیمار	سازگارکننده ٪	پلی‌پروپیلن ٪	پودر پوست بادام ٪	نانورس ٪
۱	A		۶۸	۳۰	۰
۲	B		۶۵/۵	۳۰	۲/۵
۳	C		۶۳	۳۰	۵
۴	D	۲	۶۳	۳۵	۰
۵	E		۶۵/۵	۳۵	۲/۵
۶	F		۵۸	۳۵	۵
۷	G		۵۸	۴۰	۰
۸	H		۵۵/۵	۴۰	۲/۵
۹	I		۵۳	۴۰	۵
۱۰	J		۱۰۰		

## آزمون‌ها

نمونه‌های تهیه شده به مدت دو هفته در شرایط متعادل سازی با رطوبت  $65 \pm 5\%$  در دمای  $20 \pm 5$  درجه قرار داده شدند و بعد توسط دستگاه آزمایشگر مکانیک

تحت آزمون‌های در نظر گرفته شده قرار گرفتند. آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM D 638 توسط دستگاه Instron 1186 با سرعت بارگذاری ۲mm/min انجام گردید. آزمون خمش سه نقطه‌ای مطابق استاندارد ASTM

خالص دارای بیشترین مقدار (۲۰/۱۵ MPa) می‌باشد (P<./5). با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که حضور نانورس باعث کاهش مقاومت‌ها شده است و با افزایش درصد نانو از ۰ به ۵ درصد مقاومت‌ها کاهش پیدا کرده است. مقاومت کششی نمونه‌های بدون نانورس دارای مقاومت بالاتری نسبت به نمونه‌های حاوی نانورس می‌باشد. نانورس ناپیوستگی را در چندسازه افزایش داده و در نتیجه ظرفیت انتقال تنش پایین آمده است. سطح مشترک کم بین ذرات نانو و ماتریس سبب ایجاد تخلخل و فضاهای خالی در ماتریس می‌گردد و در نتیجه سبب ایجاد نقطه ضعف در انتقال تنش کششی می‌گردد که در این تحقیق هم به واسطه همین دلایل مقاومت کششی کامپوزیت‌های حاوی نانورس کاهش پیدا کرده است که با نتایج بدست آمده توسط (Han et al., 2008) مطابقت دارد.

همان‌طور که در نمودار ۲ نشان داده شده مقدار مدول الاستیسیته کششی کامپوزیت (۰.۴۰٪ پوست بادام و ۰.۵٪ نانورس) دارای بالاترین مدول الاستیسیته کششی (۱۷۸۴ MPa) و پلاستیک خالص دارای کمترین مدول الاستیسیته کششی (۹۱۶/۳۳ MPa) می‌باشد (P<./5). الیاف طبیعی در ماتریس چندسازه به سبب سفتی ذاتی آنها سبب افزایش مدول الاستیسیته خمشی چندسازه می‌گردد (خسرویان، ۱۳۸۸). البته نتایج نشان می‌دهد که حضور نانورس در سطوح مختلف اثر معناداری بر روی مدول الاستیسیته کششی کامپوزیت‌ها نداشته است.

D 790 توسط دستگاه Instron 1186 با سرعت بارگذاری ۵mm/min انجام شد. مقاومت به ضربه فاقدار براساس استاندارد ASTM D 256 توسط دستگاه SANATAM-SIT-20D انجام شد. آزمون‌های جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت مطابق استاندارد ASTM-D7031 انجام گردید. آزمون اشعه ایکس توسط دستگاه XRD مدل Philips (Netherlands) X'Pert با تشعشع لامپ CO، طول موج (λ=1.78 Å, 40kv, 30ma) گام ۰/۰۲ درجه، سرعت ۱/۲ درجه بر دقیقه و زاویه تابش ۲θ در دامنه ۱۲-1.71 درجه) انجام شد؛ و آزمون میکروسکوپ الکترونی توسط دستگاه SEM مدل Philips, XL30 (Netherlands) انجام شد و نمونه‌ها جهت آزمون با لایه‌ای نازک از طلا پوشانده شدند.

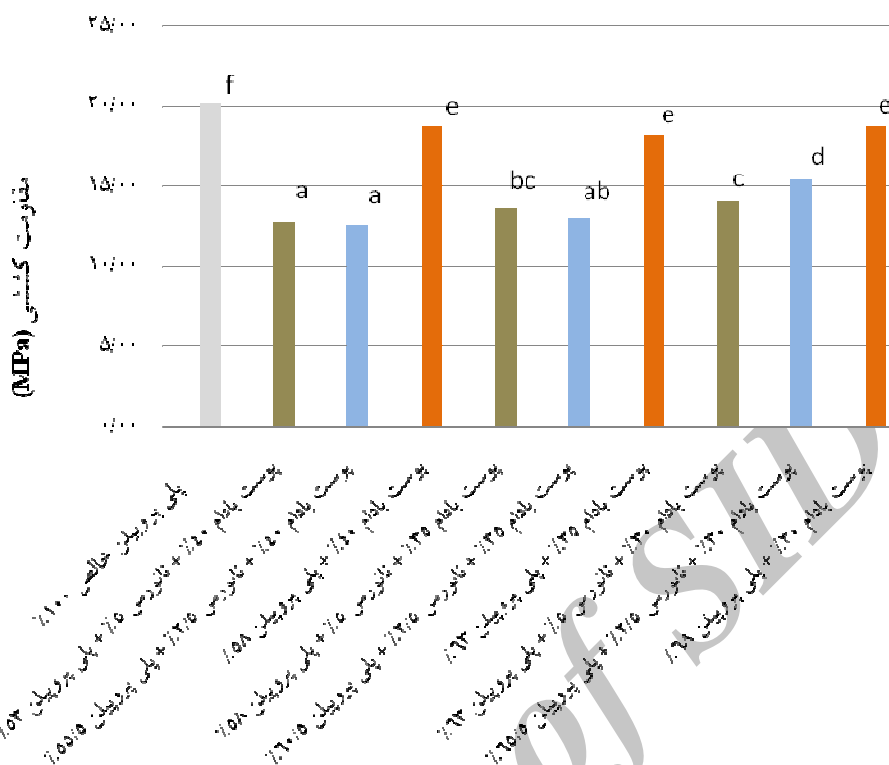
### تحلیل آماری

از ترکیب عوامل متغیر جمعاً ۱۰ تیمار بدست آمد. بعد از انجام آزمایش و جمع‌آوری داده‌ها، نتایج در قالب طرح کاملاً تصادفی و آزمون فاکتوریل دو عامله با استفاده از جدول آنالیز واریانس توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد، سپس مقایسه بین میانگین‌ها به وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ صورت گرفت.

### بحث و نتایج

#### مقاومت کششی و مدول کششی

همان‌طور که در نمودار ۱ نشان داده شده مقدار مقاومت کششی کامپوزیت (پوست بادام ۰.۴۰٪ و نانوکلی ۰.۲/۵٪) دارای کمترین مقدار (۱۲/۵۷ MPa) و پلاستیک



شکل ۱- مقدار میانگین مقاومت کششی کامپوزیت‌های پوست بادام / پلی پروپیلن و پوست بادام / نانورس / پلی پروپیلن. آزمون چند دامنه‌ای دانکن در بالای ستون‌ها به تصویر کشیده شده است. نام گذاری‌های مختلف به ترتیب حروف الفبا تفاوت معناداری بین تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد (کامپوزیت‌ها) و جاهایی که حروف الفبا مشترک هستند نشان می‌دهد که تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P < 0.05$ ).

### مقاومت خمشی و مدول خمشی

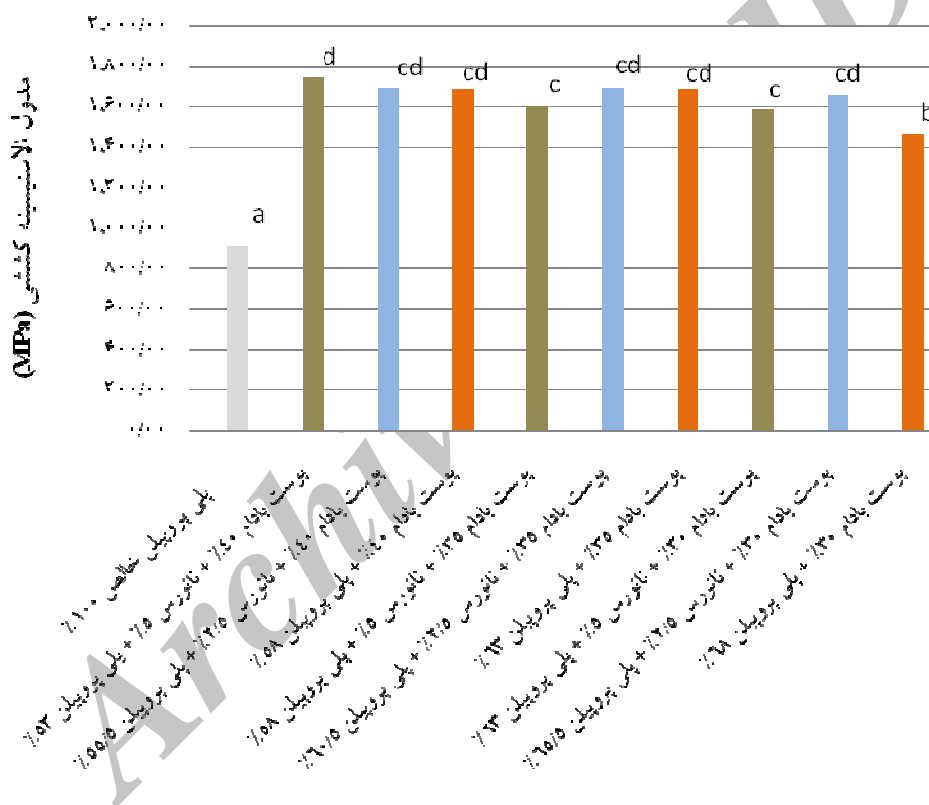
این تحقیق در سطوح مختلف کاهش یافته است، بنابراین کاهش مقاومت خمشی کامپوزیت‌های حاوی نانورس در این تحقیق نیز می‌تواند به دلایل نقاط تجمع ذرات نانو در ماتریس و ایجاد حضور کم پلیمر در این نقاط که سبب ضعف اتصال بین ذرات می‌شود دانست. کاهش مقاومت‌های کامپوزیت چوب پلاستیک را می‌توان به علت تجمع و تراکم ذرات نانورس که موجب تشکیل توده‌های درهم رفته می‌شود مرتبط دانست، به همین دلیل نتایج نشان می‌دهد که مقاومت خمشی کامپوزیت‌های حاوی نانورس نسبت به نمونه‌های بدون نانورس کاهش

همان‌طور که در نمودار ۳ نشان داده می‌شود مقدار مقاومت خمشی کامپوزیت (۴۰٪ پوست بادام) دارای بالاترین مقاومت خمشی (۳۶/۰۳ MPa) و کامپوزیت (۴۰٪ پوست بادام و ۲/۵ درصد نانورس) دارای کمترین مقاومت خمشی (۲۵/۳۳ MPa) می‌باشد ( $P < 0.05$ ). هنگامی که پرکننده سلولزی به ماتریس چندسازه اضافه شد سبب کاهش تحرک زنجیره پلیمری می‌گردد، در نتیجه سفتی چندسازه افزایش پیدا می‌کند (خسرویان، ۱۳۸۸). مقاومت خمشی کامپوزیت‌های حاوی نانورس در

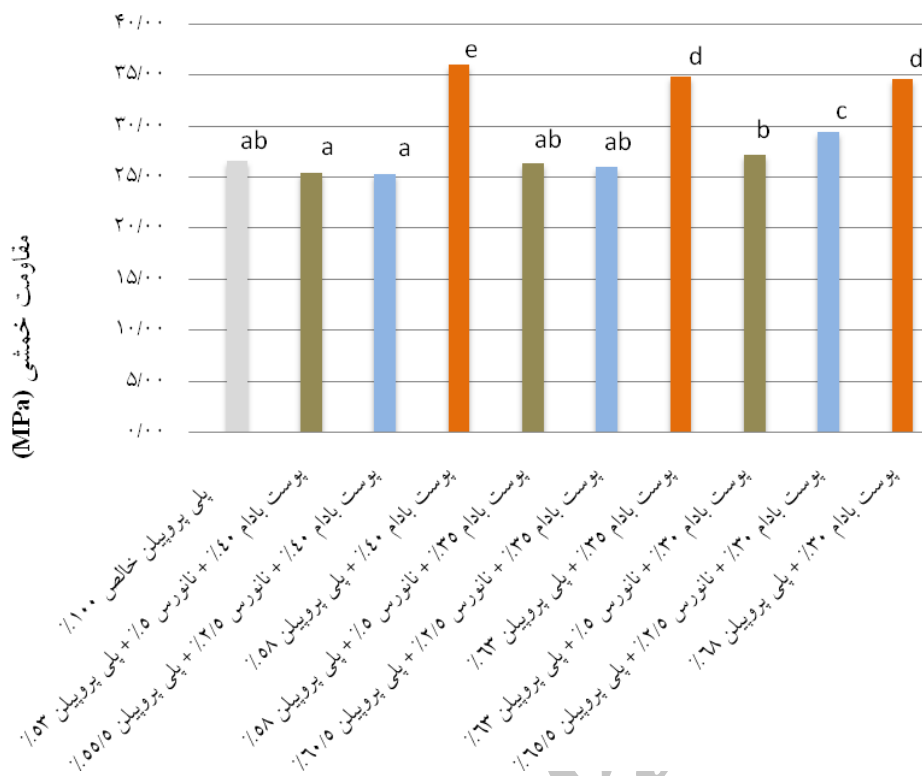
چندسازه به سبب سفتی ذاتی آنها سبب افزایش مدول الاستیسیته خمشی چندسازه می‌گردد (خسرویان، ۱۳۸۸). نتایج نشان می‌دهد که حضور نانورس فقط در تیمار ۴۰٪ پوست بادام و ۵٪ نانورس دارای اختلاف معناداری با سایر تیمارها می‌باشد ولی در سایر تیمارها اختلاف تیمارها معنادار نمی‌باشد.

یافته است که با نتایج بدست آمده توسط (Han et al., 2008) مطابقت دارد.

همان‌طور که در نمودار ۴ نشان داده می‌شود مقدار مدول الاستیسیته خمشی کامپوزیت (۴۰٪ پوست و ۵٪ نانورس) دارای بالاترین مدول خمشی (۲۰۷۱ MPa) و پلاستیک خالص دارای کمترین مدول خمشی (۸۲۶/۳MPa) می‌باشد ( $P < .05$ ). الیاف طبیعی در ماتریس



شکل ۲- مقدار میانگین مدول الاستیسیته خمشی کامپوزیت‌های پوست بادام / پلی پروپیلن و پوست بادام / نانورس / پلی پروپیلن. آزمون چند دامنه‌ای دانکن در بالای ستون‌ها به تصویر کشیده شده است. نام گذاری‌های مختلف به ترتیب حروف الفبا تفاوت معناداری بین تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد (کامپوزیت‌ها) و جاهایی که حروف الفبا مشترک هستند نشان می‌دهد که تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P < 0.05$ ).



شکل ۳- مقدار میانگین مقاومت خمشی کامپوزیت‌های پست بادام / پلی پروپیلین و پست بادام / نانورس / پلی پروپیلین. آزمون چند دامنه‌ای دانکن در بالای ستون‌ها به تصویر کشیده شده است. نام‌گذاری‌های مختلف به ترتیب حروف الفبا تفاوت معناداری بین تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد (کامپوزیت‌ها) و جاهایی که حروف الفبا مشترک هستند نشان می‌دهد که تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P < 0.05$ ).

### ضربه فاق‌دار

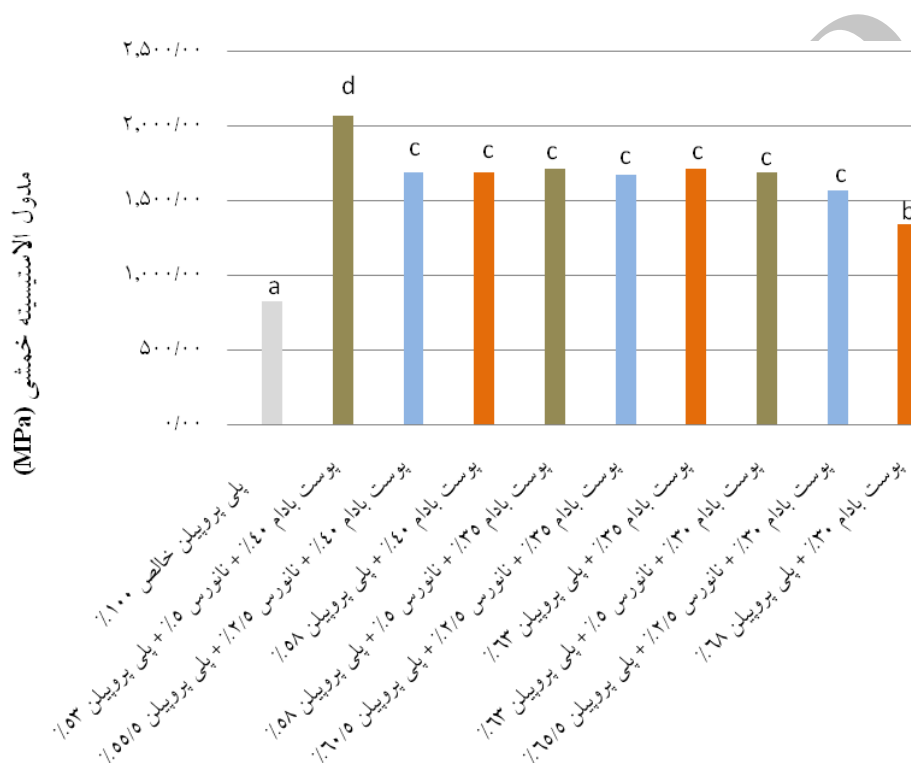
ضربه نمونه‌ها کاسته شد. اصولاً با افزودن پرکننده سلولزی و مواد معدنی به ترکیب چندسازه میزان مقاومت به ضربه به دلیل کاهش چگرمگی (ضربه‌پذیری) و افزایش تردی نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند (خسروی، ۱۳۸۸). علاوه بر موارد فوق‌الذکر این موضوع می‌تواند به دلیل تجمع ذرات نانو و ناسازگاری این ذرات در ماتریس چندسازه باشد. در نتیجه باعث نقاط تراکم تنش در ماتریس چندسازه می‌گردد، بنابراین باعث تأثیر منفی بر روی ویژگی

همان‌طور که در نمودار ۵ نشان داده می‌شود مقدار مقاومت به ضربه کامپوزیت (۴۰٪ پست بادام) دارای کمترین مقاومت به ضربه ( $22/02 \text{ J.m}^{-1}$ ) و پلاستیک خالص دارای بالاترین مقاومت به ضربه ( $94/25 \text{ J.m}^{-1}$ ) می‌باشد ( $P < 0.05$ ). در میان کامپوزیت‌های فاقد نانورس با افزایش مقدار پست بادام از ۳۰ به ۴۰ درصد مقاومت به ضربه نمونه‌ها کاهش پیدا کرد و با افزایش پرکننده سلولزی و ماده معدنی از مقاومت به

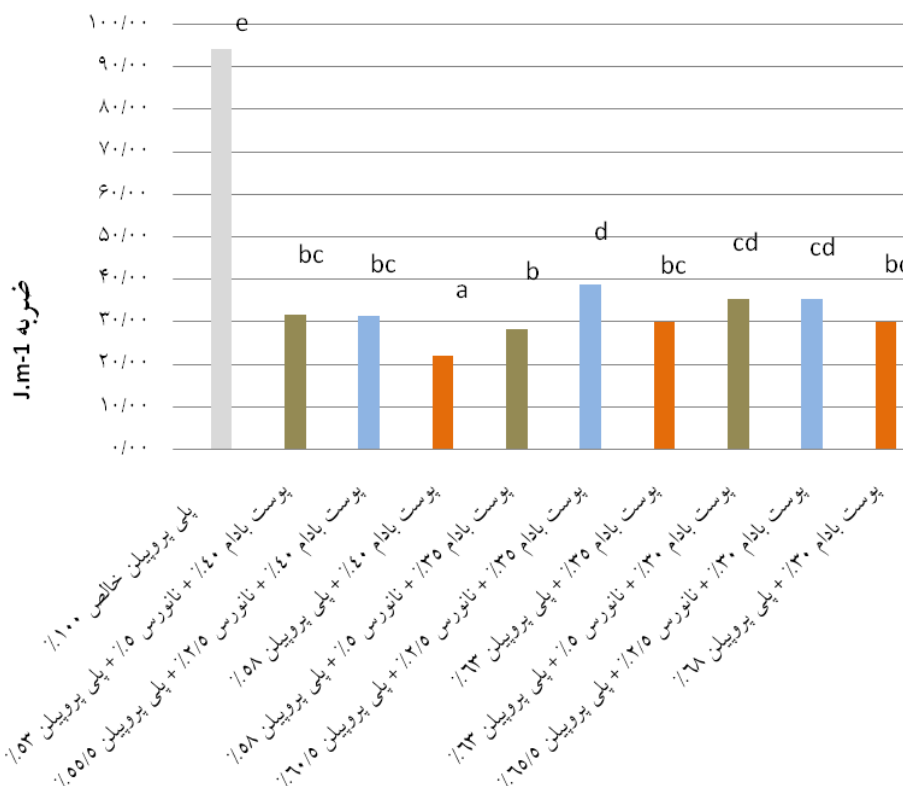


کامپوزیت‌های حاوی نانورس در این پژوهش نسبت به نمونه‌های بدون نانورس بالاتر می‌باشد که با نتایج بدست آمده توسط (Yuan et al., 2006) هم‌خوانی دارد.

مقاومت به ضربه می‌گردد. با توجه به اینکه ذرات نانورس نواحی تمرکز تنش و نقاط شروع شکست را ایجاد می‌کنند، به همین دلیل نتایج نشان می‌دهد با افزایش ماده لیگنوسلولزی از ۳۰ به ۴۰ مقاومت به ضربه نمونه‌ها کاهش یافته و مقاومت به ضربه



شکل ۴- مقدار میانگین مدول الاستیسیته خمشی کامپوزیت‌های پوست بادام / پلی پروپیلن و پوست بادام / نانورس / پلی پروپیلن. آزمون چند دامنه‌ای دانکن در بالای ستون‌ها به تصویر کشیده شده است. نام‌گذاری‌های مختلف به ترتیب حروف الفبا تفاوت معناداری بین تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد (کامپوزیت‌ها) و جاهایی که حروف الفبا مشترک هستند نشان می‌دهد که تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P < 0.05$ ).

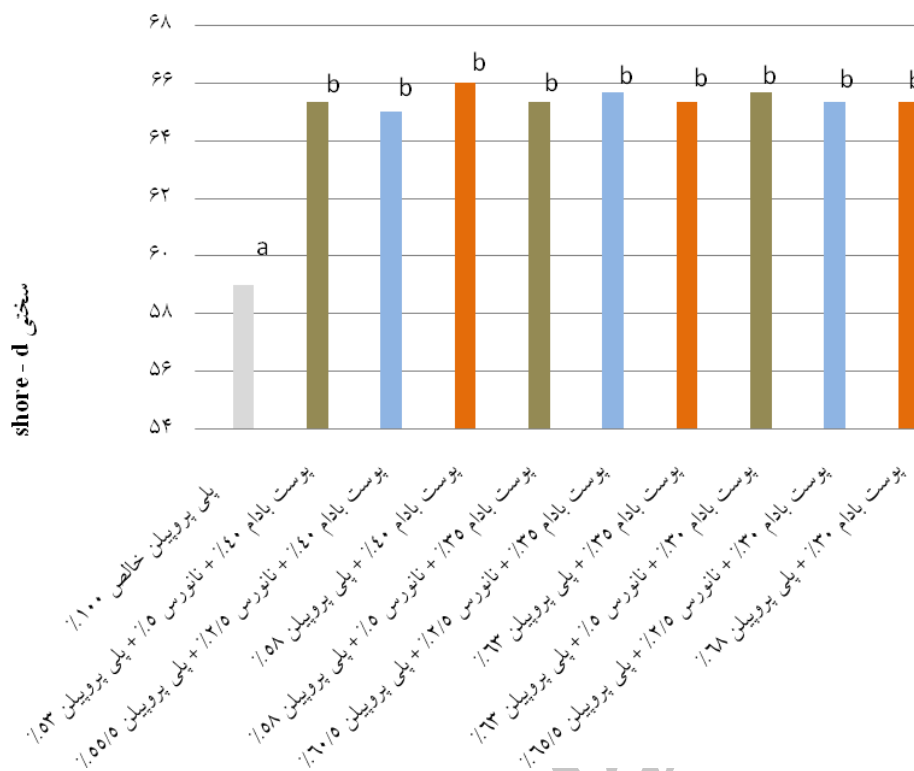


شکل ۵- مقدار میانگین مقاومت به ضربه کامپوزیت‌های پوست بادام / پلی پروپیلن و پوست بادام / نانورس / پلی پروپیلن. آزمون چند دامنه‌ای دانکن در بالای ستون‌ها به تصویر کشیده شده است. نام‌گذاری‌های مختلف به ترتیب حروف الفبا تفاوت معناداری بین تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد (کامپوزیت‌ها) و جاهایی که حروف الفبا مشترک هستند نشان می‌دهد که تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P < 0.05$ ).

باعث کاهش چغرمگی چندسازه چوب پلاستیک می‌گردد، بنابراین سختی چندسازه چوب پلاستیک افزایش پیدا می‌کند (Sombatsompop et al., 2004). همچنین مواد معدنی سختی بالایی دارند، بنابراین اگر این مواد به چندسازه اضافه شوند سختی چندسازه افزایش پیدا می‌کند (خسرویان، ۱۳۸۸). این پرکننده‌ها به علت تشکیل ساختار لایه لایه‌ای و ساختار بین لایه‌ای موجب پراکنش بهتر ذرات در ماتریس پلیمری شده و در نهایت سختی کامپوزیت افزایش می‌یابد (Wang et al., 2005).

#### سختی

همان‌طور که در نمودار ۶ نشان داده می‌شود مقدار سختی کامپوزیت (۴۰٪ پوست بادام) دارای بالاترین سختی (Shore-D ۶۶) و پلاستیک خالص دارای کمترین سختی (Shore-D ۵۹) می‌باشد ( $P < 0.05$ ). با توجه به نتایج بدست آمده اختلاف معناداری بین کامپوزیت‌های حاوی نانورس و بدون نانورس وجود ندارد و مقاومت به سختی تمامی کامپوزیت‌ها از پلاستیک خالص بالاتر بوده است. بطورکلی حضور مواد سلولزی در ترکیب چندسازه چوب پلاستیک



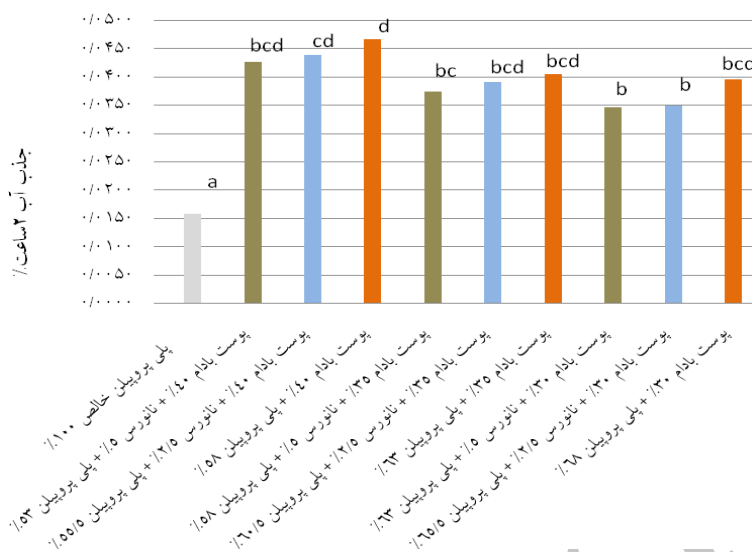
شکل ۶- مقدار میانگین سختی کامپوزیت‌های پوست بادام/ پلی پروپیلین و پوست بادام/ نانورس/ پلی پروپیلین. آزمون چند دامنه‌ای دانکن در بالای ستون‌ها به تصویر کشیده شده است. نام‌گذاری‌های مختلف به ترتیب حروف الفبا تفاوت معناداری بین تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد (کامپوزیت‌ها) و جاهایی که حروف الفبا مشترک هستند نشان می‌دهد که تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P < 0.05$ ).

به دلیل خاصیت آبریز بودن آن جذب رطوبت بسیار کمی دارد. پرکننده‌های سلولزی به سبب وجود گروه‌های هیدروکسیل در ساختار شیمیایی خود آبدوست می‌باشند، در نتیجه با افزایش درصد پرکننده‌های سلولزی در ترکیب چندسازه به دلیل طبیعت آبدوست بودن آن جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه افزایش پیدا می‌کند. همچنین مواد معدنی به دلیل طبیعت آبریز بودن آن جذب رطوبت اندکی دارند، بنابراین با افزایش مواد معدنی در ترکیب چندسازه جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه کاهش می‌یابد (Lei et al., 2007).

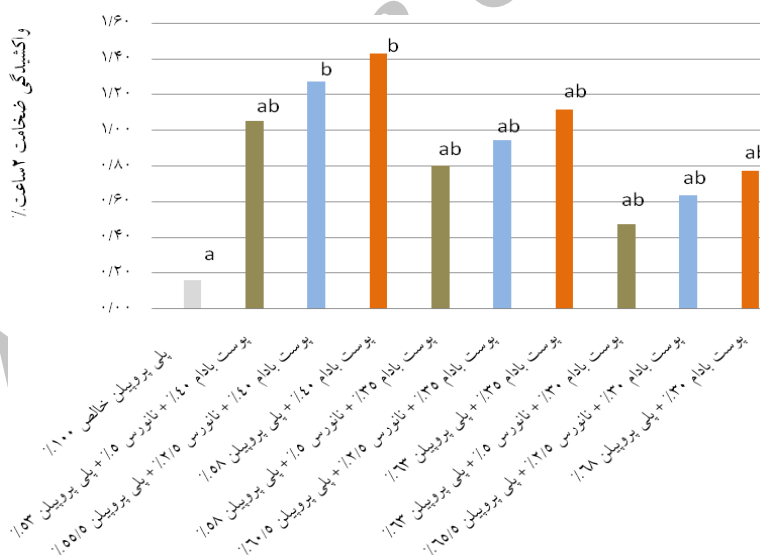
### آزمون‌های فیزیکی

#### جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت

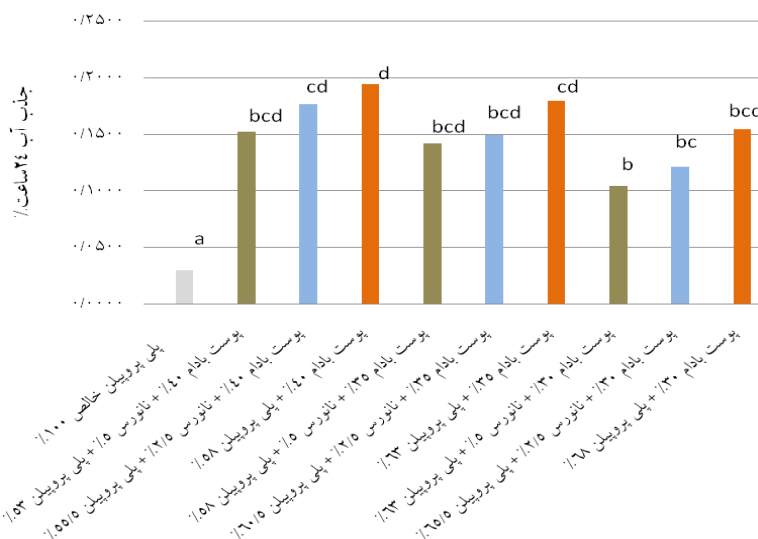
با توجه به نتایج بدست آمده از آزمون‌های فیزیکی می‌توان نتیجه گرفت که حضور نانورس در سطوح مختلف با توجه به قرار گرفتن در یک گروه از نظر آماری معنادار نمی‌باشد. با توجه به افزایش مقدار خلل و فرج، استفاده از مواد لیگنوسلولزی امکان نفوذ بیشتر آب را فراهم می‌کند و در نتیجه جذب آب افزایش می‌یابد، افزایش جذب آب دسترسی مواد لیگنوسلولزی را به آب بیشتر کرده و واکنشیدگی ضخامت نیز افزایش می‌یابد. به‌طور کلی پلاستیک خالص که در ترکیب چندسازه‌ها استفاده می‌شود



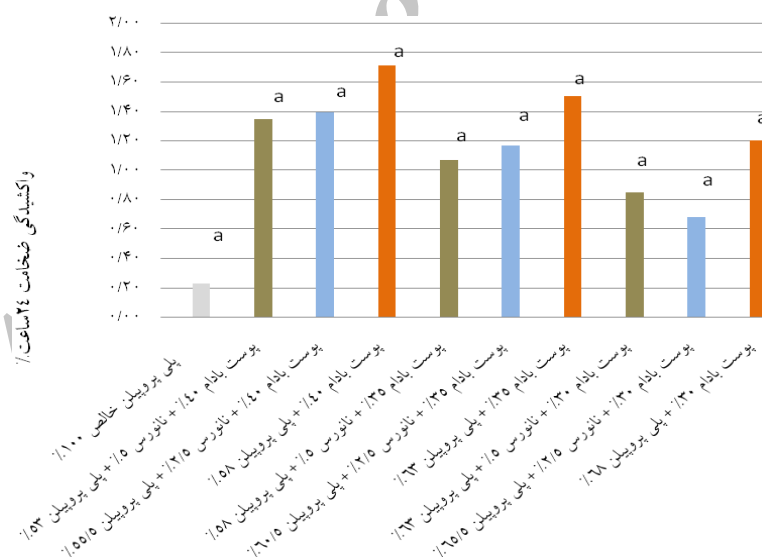
شکل ۸- مقدار میانگین جذب آب ۲ ساعت کامپوزیت‌های پوست بادام/ پلی پروپیلن و پوست بادام/ نانورس / پلی پروپیلن. آزمون چند دامنه‌ای دانکن در بالای ستون‌ها به تصویر کشیده شده است. نام‌گذاری‌های مختلف به ترتیب حروف الفبا تفاوت معناداری بین تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد (کامپوزیت‌ها) و جاهایی که حروف الفبا مشترک هستند نشان می‌دهد که تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P < 0.05$ ).



شکل ۹- مقدار میانگین واکسیدگی ضخامت ۲ ساعت کامپوزیت‌های پوست بادام/ پلی پروپیلن و پوست بادام/ نانورس / پلی پروپیلن. آزمون چند دامنه‌ای دانکن در بالای ستون‌ها به تصویر کشیده شده است. نام‌گذاری‌های مختلف به ترتیب حروف الفبا تفاوت معناداری را بین تیمارهای مختلف نشان می‌دهد (کامپوزیت‌ها) و جاهایی که حروف الفبا مشترک هستند نشان می‌دهد که تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P < 0.05$ ).



شکل ۱۰- مقدار میانگین جذب آب ۲۴ ساعت کامپوزیت‌های پوست بادام/ پلی پروپیلن و پوست بادام/ نانورس / پلی پروپیلن. آزمون چند دامنه‌ای دانکن در بالای ستون‌ها به تصویر کشیده شده است. نام‌گذاری‌های مختلف به ترتیب حروف الفبا تفاوت معناداری را بین تیمارهای مختلف نشان می‌دهد (کامپوزیت‌ها) و جاهایی که حروف الفبا مشترک هستند نشان می‌دهد که تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P < 0.05$ ).



شکل ۱۱- مقدار میانگین واکنش ضخامت ۲۴ ساعت کامپوزیت‌های پوست بادام/ پلی پروپیلن و پوست بادام/ نانورس / پلی پروپیلن. آزمون چند دامنه‌ای دانکن در بالای ستون‌ها به تصویر کشیده شده است. نام‌گذاری‌های مختلف به ترتیب حروف الفبا تفاوت معناداری را بین تیمارهای مختلف نشان می‌دهد (کامپوزیت‌ها) و جاهایی که حروف الفبا مشترک هستند نشان می‌دهد که تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P < 0.05$ ).

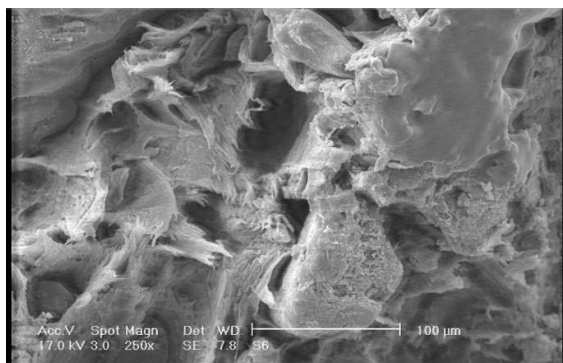
## نتایج XRD

به نظر می‌رسد که این محدود می‌شود به مقدار مالئیک انیدرید پلی‌پروپیلن در نانو کامپوزیت‌ها و این به خوبی بهبود یافتن سازگاری بین پلی‌پروپیلن و نانورس (استفاده از مالئیک انیدرید پلی‌پروپیلن) را نشان می‌دهد. زنجیره‌های سلولزی می‌توانند درون لایه‌های رس پخش شوند و فاصله لایه‌های خاک رس می‌توانند افزایش یابند (Kord, 2011). همان‌طور که پیداست MAPP در بارگذاری کم خاک رس بازده بالاتری در تأثیر d-spacing لایه‌ها داشته است، به‌طوری که در نانورس ۲/۵ درصد و پوست بادام ۳۰ درصد اندازه پراکنده شدن ذرات نانورس بزرگ‌تر و یا متراکم‌تر می‌باشد. الگوی پراش اشعه ایکس نشان داد که فرم نانو کامپوزیت از نوع ساختار بین لایه‌ای Intercalation است، همچنین نتایج مورفولوژی نشان می‌دهد که نمونه‌های حاوی ۲/۵ درصد نانورس و ۳۵ درصد پوست بادام دارای بالاترین آرایش Intercalation و بهترین پراکنش هستند.

پراش پرتو اشعه ایکس امکان شناخت نوع ساختار کریستالوگرافی (ساختار لایه لایه‌ای و بین لایه‌ای) ذرات نانورس در نانو کامپوزیت‌های پلیمری و چگونگی توزیع خاک رس را در زمینه ماتریس پلیمری فراهم می‌کند. از کاربردهای بسیار مهم این روش محاسبه فاصله بین لایه‌ها می‌باشد که با استفاده از معادله پراگ محاسبه می‌شود (Tjong, 2006).  $d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}$  در رابطه فوق، n عدد صحیح،  $\theta$  زاویه پراکنش پرتو اشعه و  $\lambda$  طول موج اشعه می‌باشد. خصوصیات مورفولوژی کامپوزیت‌ها با استفاده از پراش اشعه ایکس انجام شد. شدت پراکنشگی x-ray برای کامپوزیت‌ها در سطح‌های مختلف نانورس - پوست بادام و ۲٪ مالئیک انیدرید انجام گردید. جدول ۲ نشان می‌دهد که فرم مورفولوژی intercalation و پراکنش بهتر در ۲/۵ درصد نانورس و ۳۵ درصد پوست بادام بهتر می‌باشد، زیرا پیک نمونه‌ها با ۲/۵ درصد خاک رس در زاویه کمتری می‌باشد و

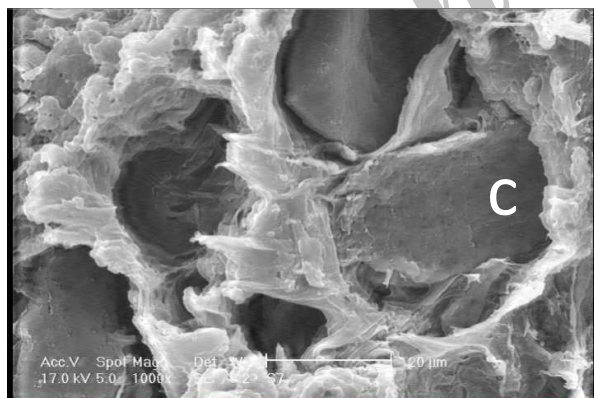
جدول ۲- خلاصه‌ای از داده‌های XRD اثر پراش ذرات نانورس در کامپوزیت ساخته شده از پودر پوست بادام- پلی‌پروپیلن

نمونه	$2\theta$	d-spacing
نانورس خالص	۳/۸۴	۲۶/۶۹
پوست بادام ۳۰٪ و نانورس ۲/۵٪	۳/۰۴	۳۳/۶۴
پوست بادام ۳۰٪ و نانورس ۰.۵٪	۳/۰۳	۳۳/۸۲
پوست بادام ۳۵٪ و نانورس ۲/۵٪	۲/۸۶	۳۵/۸۲
پوست بادام ۳۵٪ و نانورس ۰.۵٪	۲/۶۹	۳۴/۵۶
پوست بادام ۴۰٪ و نانورس ۲/۵٪	۲/۹۲	۳۴/۹۸
پوست بادام ۴۰٪ و نانورس ۰.۵٪	۲/۹۴	۳۴/۸۸



شکل ۱۳- کامپوزیت ۳۵٪ پوست بادام و ۵ درصد نانورس: (a) پودر پوستی که به ماده زمینه؛ (b) جای خالی پودر پوست؛ (d) ماده زمینه پلی پروپیلن.

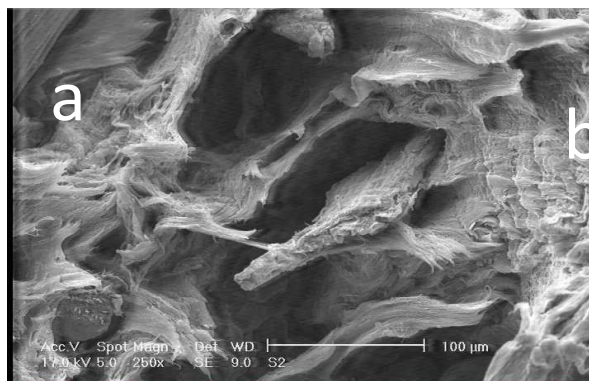
همان‌طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود پودر پوست بادام بخوبی توسط ماده زمینه احاطه شده است و مقدار کمی حفره و فضای خالی وجود دارد و بیانگر آن است که بین ماده زمینه و پودر پوست بادام پیوند برقرار شده است، به طوری که در اثر شکست چندسازه علاوه بر پودر پوست بادام ماده زمینه خارج شده است و پودر پوست بادام از ماده زمینه خارج نشده است.



شکل ۱۴- کامپوزیت ۴۰٪ پوست بادام: (a)(b) پودر پوستی که از ماده زمینه خارج شده است. (c) جای خالی پودر پوست

### عکس‌های SEM

به منظور بررسی سطوح شکست، عکس‌های میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌ها گرفته شد.



شکل ۱۲- کامپوزیت ۳۰ درصد پوست بادام و ۲/۵ درصد نانورس:

(a) پودر پوست خارج شده از ماده زمینه پلی پروپیلن، (b) جای خالی پودر پوست

همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود پودر پوست بادام پس از شکست نمونه به راحتی و به صورت سالم از فاز زمینه جدا شده است. به علت عدم حضور ماده سازگار کننده و در نتیجه اتصال ضعیف بین ماده زمینه و پودر پوست بادام، حفره‌هایی نیز به چشم می‌خورد که بیانگر خارج شدن پودر پوست بادام از ماده زمینه می‌باشد. چندسازه‌ها مواد لیگنوسلولزی و مواد معدنی قطبی و پلی پروپیلن غیر قطبی می‌باشد! این مسئله باعث چسبندگی ضعیف ماده زمینه پلیمری و پرکننده‌ها در فاز زمینه و ایجاد خلل و فرج در چندسازه هیبریدی شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمون‌های فیزیکی می‌توان نتیجه گرفت که حضور نانورس در سطوح مختلف دارای اثر معنی‌داری نمی‌باشد. نتایج اشعه ایکس نشان داد که فرم نانو کامپوزیت از نوع ساختار بین لایه‌ای Intercalation است، همچنین نتایج مورفولوژی نشان می‌دهد که نمونه‌های حاوی ۲/۵ درصد نانورس و ۳۵ درصد پوست بادام دارای بالاترین آرایش Intercalation و بهترین پراکنش هستند. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پوست بادام به‌عنوان فاز پرکننده در ساخت چوب پلاستیک ماده‌ای مناسب می‌باشد ولی حضور نانورس باعث کاهش مقاومت‌ها شده است.

### سپاسگزاری

نویسندگان بر حسب ادب و احترام کمال تشکر و قدردانی را از پشتیبانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج در انجام این پژوهش دارند (این مقاله از پایان‌نامه ایوب عشقی استخراج شده است).

### منابع مورد استفاده

- خسرویان، ب.، ۱۳۸۸. بررسی خصوصیات فیزیکی مکانیکی حرارتی و ریخت شناسی چندسازه هیبرید پلی‌پروپیلن - آرد چوب - ولستونیت، پایان نامه ارشد، دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی دانشگاه تهران
- Copur, Y., Guler, C., Tascoglu, G. and Zluoglu, A., 2006. Some Chemical Properties of Hazelnut Husk and its Suitability for particle board production, building and environmental. 42, 6 July, pages 2568-2572
- Deshmane, D., Yuan, Q. and Misra, R.D.K., 2007. High strength-toughness combination of melt intercalated nanoclay-reinforced thermoplastic offines. Material Science Engineering A, 277-287.
- Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y. and Suzuki, S., 2008. Bamboo-fiber filled high density polyethylene composites: effect of coupling treatment and nanoclay

همان طور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود پودر پوست بادام پس از شکست نمونه به راحتی و بصورت سالم از فاز زمینه جدا شده است و این می‌تواند به علت عدم حضور ماده سازگار کننده و در نتیجه اتصال ضعیف بین ماده زمینه و پودر پوست بادام باشد؛ البته در این تصویر هم حفره‌هایی دیده می‌شود. در چندسازه‌های چوب پلاستیک همپوشانی نشدن کامل سطح ذرات پرکننده توسط ماده زمینه پلیمری به دلیل کمبود ماده زمینه پلیمری از عوامل مهم و تأثیرگذار در کاهش خواص چندسازه‌ها هستند.

### نتیجه‌گیری

با افزایش پوست بادام از ۳۰ به ۴۰ از مقاومت به ضربه نمونه‌های فاقد نانورس کاسته شد و مقاومت به ضربه کامپوزیت‌های حاوی نانورس و مقاومت به ضربه تمامی نمونه‌ها از پلاستیک خالص پایین‌تر بودند. با افزایش مقدار مستقل پوست بادام از ۳۰ به ۴۰ مقاومت خمشی نمونه‌ها افزایش یافت ولی با افزایش سطوح متغیر پوست بادام از ۳۰ به ۴۰ نتایج مقاومت کششی نمونه‌ها معنادار نمی‌باشد. حضور نانورس باعث کاهش مقاومت‌های خمشی و کششی شد. با توجه به نتایج بدست آمده اختلاف معنی‌داری بین سختی کامپوزیت‌های حاوی نانورس و بدون نانورس وجود ندارد و مقاومت به سختی تمامی کامپوزیت‌ها از پلاستیک خالص بالاتر می‌باشد. نتایج نشان داد با افزودن مدول الاستیسیته کششی و خمشی کامپوزیت‌ها دارای اختلاف معنی‌داری با هم نمی‌باشند. با توجه به نتایج آزمون‌های فیزیکی می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش درصد پوست بادام از ۳۰ به ۴۰ درصد جذب آب و واکنشیدگی ضخامت افزایش می‌یابد و



- polypropylene and iMPact modifier on mechanical of pp/wood sawdust composites,wileyinterscience
- Tjong, S.C., 2006. Structural and mechanical properties of polymer nanocomposites :A review , journal of material science and engineering , 2006 ,Vol 53-73 , 197PP.
- Wang, L., Wang, K., Chen, L., Zhang, Y. and He, C., 2005. Preperation, morphology and thermal/mechanical properties of epoxy/nanoclay composite
- Yuan, Q. and Misra, R.D.K., 2006. IMPact fracture behavior of clay-reinforced polypropylene nanocomposites.Journal of Polymer Science (47) 4421-4433.
- Yang, H.S., Kim, H. J., Park , H. J., Lee, B.J. and Hwang, T.S., 2005. Water absorption behavior and mechanical properties of lignocellulosic filler-polyofin bio-composites. Composite structures. , journal of polymer environment , 2008 , Vol 21 , 1567-1582pp.
- Kord, B., 2011. Nanofiller reinforcement effects on the thermal, dynamic mechanical and morphological behavior of HDPE/Rice husk flour composites,Bioresources.6(2),1351-1358
- Lei, Y., Wu, Q., Clemens, C.M., Yao, F. and Xu, Y., 2007. Influence of nanoclay on properties of HDPE / wood composites , journal of applied polymer science ,2007 , Vol 106 , 3958-3966.
- Nourbakhsh, A., Doosthosseini, K., Kargarfard, A., Golbabaie, F. and Haji hassani, R., 2008 Investigatoin of occfiberlpolymers composites in air-forming production,Iranjan journal of wood and paper science Research vol.23 No.(2),91-101
- Sombatsompom, N., Yotinattanakumtorn, C. and Thongpin, C., 2004. Influence type and concentration of maleic anhydride grafted

Archive of SID

## Effect of nanoclay-particles on physical and mechanical properties of composites made of almond shell powder-polypropylene

Lashgari, A.<sup>1\*</sup>, Eshghi, A.<sup>2</sup>, Kargarfard, A.<sup>3</sup> and Tajdini, A.<sup>4</sup>

1\*-Corresponding author, Assistant Prof., Department of Wood and Paper Science, Karaj Branch Islamic Azad University, Karaj, Iran, E-mail: Amir.lashgari@kia.ac.ir

2-M.Sc., Student, Department of Wood and Paper Science, Karaj Branch Islamic Azad University, Karaj, Iran

3-Associate Prof., Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran.

4-Associate Prof., Department of Wood and Paper Science, Karaj Branch Islamic Azad University, Karaj, Iran

Received: Nov., 2012

Accepted: Oct., 2013

### Abstract

In this research, the effect of nanoclay-particles on physical and mechanical properties of composites made using almond shell powder-polypropylene was studied. For this purpose, almond shell powder and nanoclay were used in three levels of 30%, 35% and 40% for almond and 0%, 2.5% and 5% for nanoclay. In addition, 2% of Maleic Anhydride Polypropylene was added to all compositions. Then, wood-plastic nano-composite was formed using counter-rotating twin screw extruder and injection molding machine. Mechanical test including tensile, flexural, impact resistance, hardness and physical properties including water Absorption and Thickness Swelling after 2h and 24h immersion in water were measured. In addition X-Ray Diffraction (XRD) experiment was carried out to reveal how clay nano-particles are distributed across the manufactured composites and Scanning Electron Microscope (SEM) was also performed to investigate fracture surfaces. The results indicated that the presence of nano-clay did not influence the flexural and tensile elasticity modulus, and the presence of nano-clay reduced tensile and flexural resistance. The hardness and density of composites were higher than pure plastic and the impact resistance of all composites was lower than pure plastic. The presence of nano-clay did not significantly effect the physical properties of the composites ( $p < 0.05$ ). The diffraction model of X-ray showed that nano-composite forms intercalation interlayer structure and the results of morphological investigation revealed that the samples containing 2.5 percent nano-clay and 35 percent of almond shell have the highest array of intercalation and the best transmittance.

**Key words:** Composite, nano-clay, almond shell, polypropylene, X-ray diffraction, electron microscope.