

## مطالعه خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخت‌شناسی نانو کامپوزیت ساخته شده از ساقه کلزا

میثم زاهدی<sup>۱\*</sup> و تقی طبرسا<sup>۲</sup>

\*- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

پست الکترونیک: Zahedi25@yahoo.com

۲- استاد گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: دی ۱۳۹۱

### چکیده

در این بررسی امکان استفاده از ضایعات ساقه کلزا و اثر مقدار نانو ذرات رس بر روی خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخت‌شناسی چندسازه چوب پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، آرد ساقه کلزا با نسبت وزنی ۵۰ درصد با پلی‌پروپیلن مخلوط شد و نانو رس نیز با نسبت وزنی ۳ و ۵ درصد و ماده سازگارکننده، مالئیک انیدرید اصلاح شده با پلی‌پروپیلن نیز به میزان ۴ درصد در تمام ترکیب‌ها استفاده شد. ابتدا با استفاده از روش اکسترودر مواد اولیه با یکدیگر مخلوط شدند و بعد در پرس گرم اقدام به ساخت تخته‌های نهایی گردید. خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند و نتایج نشان دادند که جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت چندسازه‌ها با افزایش نانو ذرات رس کاهش یافته و مقاومت به اتصال پیچ و میخ عمود بر سطح چندسازه چوب پلاستیک با افزایش مقدار نانو رس از صفر به ۳ درصد افزایش یافته، اما با افزودن مقدار ۵٪ نانورس این مقاومت‌ها کاهش یافت. همچنین بررسی ریخت‌شناسی چندسازه چوب پلاستیک به کمک پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی رویی (SEM) انجام شد. در مطالعه (XRD) نشان داد که توزیع ذرات نانو رس در زمینه پلیمری از نوع بین لایه‌ایست، به طوری که با افزایش مقدار ذرات نانورس فاصله بین لایه‌ها افزایش می‌یابد و تصاویر (SEM) سطوح شکست چندسازه‌ها نشان داد که نانو رس برهم‌کنش و چسبندگی بین پلی‌پروپیلن و آرد ساقه کلزا را بهبود می‌بخشد.

واژه‌های کلیدی: چندسازه چوب پلاستیک، نانو رس، ساقه کلزا، میکروسکوپ الکترونی رویی (SEM).

### مقدمه

زیاد آنها مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. البته الیاف زیستی مثل الیاف چوب، کلزا، کنف، فلاکس، موز، نخل خرما، الیاف برگ آناناس و بامبو به‌عنوان تقویت‌کننده‌ها یا پرکننده‌ها برای پلیمرها مورد مطالعه قرار گرفته است. در بین الیاف طبیعی، چوب در سطح وسیع برای

مواد کامپوزیت (کامپوزیت‌های) پلیمری دوستاندار محیط‌زیست، با استفاده تقویت‌کننده و پرکننده‌های زیستی طبیعی بدست می‌آیند. طی چند سال اخیر به علت افزایش آگاهی‌های زیست محیطی و تأثیرگذاری

می دهند که در ساختار آنها ذرات با ابعاد نانو مورد استفاده قرار می گیرد (کرد، ۱۳۸۸).

چاوشی و همکاران (۱۳۹۰)، بررسی اثر استفاده از ذرات نانو رس در مقاومت به اتصال پیچ عمود بر سطح چندسازه نرمه ام دی اف- پلی پروپیلن، ذرات نانو رس در سطح وزنی ۲، ۴ و ۶ درصد را مورد مطالعه قرار دادند. آنها دریافتند استفاده از ۲ درصد وزنی ذرات نانو رس در چندسازه مورد نظر بیشترین مقاومت‌ها را در اتصالات پیچ ایجاد کرد. اما با افزایش مقدار ذرات نانو رس مقاومت‌ها کاهش پیدا کرد.

نوربخش و عشوری (۲۰۱۰) از ۳ نوع ضایعات کشاورزی شامل ساقه ذرت، ساقه نی و ساقه کلزا در ترکیب با پلی پروپیلن و MAPP استفاده کردند و اثر نوع الیاف را بر خصوصیات مکانیکی کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک مورد مطالعه قرار دادند. آنها دریافتند کامپوزیت‌های دارای الیاف ساقه کلزا به علت داشتن الیاف بلندتر و ضریب ظاهری بالاتر، نسبت به الیاف ساقه ذرت و نی، مدول کششی، مدول خمشی و مقاومت به ضربه بالاتری داشتند. همچنین مقاومت خمشی و کششی این نمونه‌ها نیز بالاتر بودند.

خان جانزاده و همکاران (۱۳۸۹)، تأثیر مقدار ذرات نانو رس نوع مونت موریلونیت با نام تجاری کلوزیت A ۱۵ بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه حاصل از پلی پروپیلن و آرد چوب را مورد بررسی قرار دادند. نتایج محققان نشان داد که مقاومت و مدول خمشی تا میزان ۳٪ وزنی نانو رس، افزایش یافته و بعد از آن بتدریج کاهش می یابد، درحالی که خاصیت جذب آب کامپوزیت چوب - پلاستیک با افزایش نانو رس کاهش یافت.

پلیمرها به عنوان تقویت کننده استفاده می شود. اگرچه چوب یک منبع تجدیدپذیر از الیاف است اما دوره رشد طولانی در مقایسه با منابع کشاورزی دارد که هر سال برداشت می شود (Bledzki and Gassan, 1999 and Sain et al., 2005). ایران یکی از کشورهای با پوشش جنگلی کم است و منابع چوبی کافی برای تأمین مواد خام برای صنایع چوب و کاغذ را ندارد. در نتیجه صنعت چوب به طور جدی ضایعات کشاورزی را به عنوان ماده خام برای تولید فرآورده‌های کامپوزیت در نظر گرفته است. یکی از ضایعات کشاورزی کاه کلزا است که در مناطقی از ایران در سطح وسیعی کشت می گردد. بازده متوسط پسمانده کلزا به حدود ۳ تن در هکتار (وزن خشک) می رسد. برآورد می شود که سالانه حدود ۵۰۰/۰۰۰ تن کاه کلزا در ایران با توجه به سیاست‌های دولت برای تأمین روغن خوراکی تولید شود و این مقدار در آینده افزایش می یابد. جالب است بدانیم که کاه کلزا هیچ کاربرد صنعتی خاصی ندارد. مقادیر زیادی از کاه کلزا در زمین زراعی هر سال بعد از برداشت باقی می ماند (Yousefi, 2006). امروزه با ورود فناوری نانو در علم مواد، پلیمرهای تقویت شده با پرکننده‌های نانو مورد توجه جوامع علمی و صنعتی قرار گرفته و از نظر علمی موضوع جدیدی در پژوهش‌ها در مقیاس حد واسط مطالعات در مقیاس‌های میکرو، گشوده شده و شناخت رفتار و برهم کنش مواد در محدوده نانو در زمره اولویت‌های پژوهشی قرار گرفته است. از دیدگاه صنعتی آنچه باعث جلب توجه بسیاری از صنایع به این موضوع شده، بهبود چشمگیر خواص کامپوزیت‌هاست. بنابراین نانو کامپوزیت‌ها در واقع طبقه جدیدی از کامپوزیت‌های پلیمری را تشکیل

بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و رویکرد جهانی به سوی نانو کامپوزیت‌ها و ناشناخته بودن سازوکار این مواد، در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری در راستای شناسایی خواص نانو کامپوزیت‌های پلیمری - خاک رس و توسعه کاربردی این گونه مواد شکل گرفته است (شکریه و سنبلستان، ۱۳۸۶). از این رو، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر ذرات نانو رس بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی و ریخت‌شناسی چندسازه چوب پلاستیک حاصل از پلی پروپیلن و آرد ساقه کلزا مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

#### مواد

در این تحقیق، از پلی پروپیلن تولید شده توسط شرکت پتروشیمی بندر امام خمینی با شاخص جریان مذاب  $18g/10min$  و چگالی  $0.9g/cm^3$  با نام تجاری Moplen V30S به‌عنوان ماده پلیمری، از مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی پروپیلن (MAPP) از محصولات شرکت کیمیا جاوید با شاخص جریان مذاب  $64g/10min$  با نام تجاری PP-G101 به‌عنوان عامل سازگارکننده و آرد ساقه کلزا تهیه شده از مزارع روستای شصت کلاته گرگان با اندازه ابعاد  $40 - 60$  مش به‌عنوان پرکننده استفاده شد که ترکیبات شیمیایی و مورفولوژی الیاف ساقه کلزا در جدول ۱ آورده شده است، لازم به ذکر است که ساقه کلزا قبل از آرد شدن مغززدایی شده بود. همچنین از پودر نانورس تولید شده توسط شرکت Southern-clay کشور آمریکا با نام تجاری Cloisite 15A ( $d_{001}=31.5A^\circ$ ) استفاده شده است. مشخصات نانورس مورد استفاده و ساختار شیمیایی آن بشرح زیر است (جدول ۲).

کرد و همکاران (۲۰۱۰) اثر مونت موریلونیت اصلاح شده با مواد آلی را بر روی ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی چندسازه‌های پلی پروپیلن- آرد چوب مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی با افزایش ۳٪ مونت موریلونیت اصلاح شده آلی افزایش می‌یابد اما با افزایش این مقدار به ۶٪ این خواص کاهش می‌یابد. هر چند مقاومت به ضربه، جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت این چندسازه‌ها با افزایش میزان نانورس کاهش یافت.

Wang و همکاران (۲۰۰۶)، خصوصیات ریخت‌شناسی و مکانیکی- گرمایی کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات نانو رس را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این پرکننده‌ها به علت ساختار لایه لایه‌ای موجب پراکنش بهتر ذرات در ماتریس پلیمری شده و در نهایت مدول کششی، مقاومت کششی و سختی کامپوزیت افزایش می‌یابد.

Samal و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر لایه‌های سیلیکاتی اصلاح شده با مواد آلی را بر روی ویژگی‌های مکانیکی، حرارتی و ریخت‌شناسی نانوکامپوزیت پلیمری مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که مقاومت‌های خمشی، کششی و ضربه به هنگام افزودن خاک رس به ماتریس پلی پروپیلن به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافت. همچنین کلیه خواص مکانیکی در حضور سازگارکننده به علت تورم لایه‌ها افزایش بیشتری نشان داد. بررسی ریخت‌شناسی نانوکامپوزیت پلیمر توسط XRD و TEM بیان‌کننده پراکنش مناسب ذرات نانورس و تشکیل ساختار Exfoliation بود.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی و مورفولوژی الیاف ساقه کلزا

ترکیبات شیمیایی کلزا		مشخصات مورفولوژی الیاف کلزا	
۶۶/۹ (۰/۶)	هولوسلولز (%)	۰/۸۲ (۰/۳۴)	طول الیاف (میلی متر)
۴۳ (۰/۵)	سلولز (%)	۲۹/۵ (۷/۲)	قطر الیاف (میکرون)
۱۹/۳ (۰/۵۸)	لیگنین (%)	۱۶/۹ (۷/۱)	قطر حفره (میکرون)
۶/۵ (۰/۲۶)	مواد استخراجی (%)*	۶ (۱/۶)	ضخامت دیواره (میکرون)
۷/۳ (۰/۱)	خاکستر (%)	۲۷/۸۷	درهم رفتگی

اعداد داخل پرانتز مربوط به انحراف از معیار می باشد، \* - (الکل - استون)

جدول ۲- مشخصات و ساختار شیمیایی نانورس مورد استفاده

نام تجاری	ساختار شیمیایی	اصلاح کننده آلی	غلظت اصلاح کننده (meq/100)	تفرق پرتو اشعه X (d001 A°)
Cloisite 15A	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 - \text{N}^+ - \text{HT} \\   \\ \text{HT} \end{array}$	2M2HT	۱۲۵	۳۱/۵

2M2HT: dimethyl, dehydrogenated tallow, quaternary ammonium

### آماده سازی نمونه ها

برای بررسی اثر میزان نانو ذرات رس بر خواص کامپوزیت چوب - پلاستیک حاصل از پلی پروپیلن و آرد ساقه کلزا، نانو رس کلویزیت A ۱۵ در سه سطح صفر، ۳٪ و ۵٪ مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۳). ابتدا مواد در یک اکسترودر دو پیچی مدل Borna Pars Mehr با کد WPC-4815 آمیخته شده و به صورت گرانول از اکسترودر خارج شدند، آنگاه از دمای ۱۸۵ درجه سانتی گراد برای شروع و دمای ۱۵۵ درجه سانتی گراد در منطقه Pumping استفاده گردید. سپس گرانول های تولید شده با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی تبدیل به پودر گردیدند. برای فشردن شدن گرانول های پودری شده آنها در یک قاب چوبی قرار گرفتند و به منظور کنترل ضخامت

تخته های تولیدی، دو شابلون به ضخامت نهایی تخته در کنار تخته قرار گرفتند و پرس گرم شدند. برای ساخت تخته ها به روش منقطع<sup>۱</sup> (نایبوسته) از پرس آزمایشگاهی مدل OTT استفاده شد. فشار پرس ۳۰ بار، مدت زمان پرس ۱۰ دقیقه و دمای آن ۱۹۰ درجه سانتی گراد برای انجام عمل جاری شدن و پلیمریزاسیون تعیین گردید و بعد تخته های ساخته شده به مدت ۲۴ ساعت به منظور جلوگیری از برگشت ضخامت و انحنای احتمالی تحت پرس سرد قرار گرفتند. قبل از اعمال آزمون های فیزیکی و مکانیکی، نمونه های مورد نظر به مدت ۲ هفته در رطوبت نسبی  $65 \pm 2$  درصد و دمای  $20 \pm 1$  درجه سانتی گراد شرایط دهی شدند.

جدول ۳- درصد وزنی اجزای ماده مرکب چوب پلاستیک در نمونه‌های مختلف

کد	فرمولاسیون	آرد ساقه کلزا (%)	پلی پروپیلن (%)	سازگارکننده (%)	نانورس (%)
A	CS50-PP46-M4-N0	۵۰	۴۶	۴	۰
B	CS50-PP43-M4-N3	۵۰	۴۳	۴	۳
C	CS50-PP41-M4-N5	۵۰	۴۱	۴	۵

CS= Canola stalk, PP= Polypropylene, M= Maleic Anhydride Grafted Polypropylene, N= Nanoclay

## اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی

## خواص فیزیکی

$$۲) TS(t) = \frac{T(t) - T(o)}{T(o)} \times 100$$

TS (t) = واکنش‌دهی ضخامت در زمان غوطه‌وری t

T (t) = ضخامت در زمان t

T (o) = ضخامت اولیه نمونه‌ها

## خواص مکانیکی

خواص مکانیکی مورد آزمایش در این تحقیق، آزمون مقاومت به اتصال پیچ و میخ عمود بر سطح می‌باشد که بر طبق آیین‌نامه BS استاندارد (CEN/TS 15534-1:2007) در ابعاد ۵×۵×۱ cm بریده شد (شکل ۱- و برای انجام آزمون مقاومت به اتصال پیچ و میخ عمود بر سطح، از دستگاه SCHENK - TREBEL استفاده شد (شکل ۲).



شکل ۱- تهیه نمونه‌های آزمون مقاومت به اتصال

پیچ و میخ عمود بر سطح

آزمایش‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت مطابق استاندارد ASTM D-1037 انجام شد. نمونه‌های مربع شکل به ضلع ۵۰ میلی‌متر تهیه شدند. برای این منظور نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۸۰°C قرار داده تا رطوبت آنها از بین رفته و خشک شوند. نمونه‌های خشک شده بلافاصله توزین و ابعاد آنها اندازه‌گیری شدند، سپس در فاصله‌های زمانی ۲ و ۲۴ ساعت در آب مقطر در دمای معمولی اتاق ۲۳°C قرار داده شدند و در پایان هر فاصله زمانی نمونه‌ها را از آب خارج کرده و توسط یک پارچه خشک سطح خیس آنها را پاک و بلافاصله وزن و ضخامت آنها اندازه‌گیری شد. برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ gr و برای اندازه‌گیری ضخامت نمونه‌ها از میکرومتر با دقت ۰/۰۰۱ mm استفاده گردید. در نهایت مقدار جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید.

$$۱) WA(t) = \frac{W(t) - W(o)}{W(o)} \times 100$$

WA (t) = مقدار جذب آب در زمان t

W (t) = وزن نمونه در زمان غوطه‌وری t

W (o) = وزن خشک نمونه قبل از غوطه‌وری

تا ضمن برخورد الکترون‌ها با سطح نمونه‌ها، بار ساکن روی آنها جمع نشوند.

### آزمون تفرق اشعه ایکس (XRD)

آزمون اشعه ایکس توسط دستگاه X-Ray Diffraction مدل D8 Advance ساخت شرکت Bruker آلمان واقع در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان بر روی نمونه‌ها انجام شد. آزمون با تشعشع لامپ CuK $\alpha$ ، طول موج 1.54 nm،  $\lambda$ ، گام ۰/۰۲ درجه، سرعت ۰/۳ درجه بر دقیقه و زاویه تابش ۲ $\theta$  در دامنه ۱۰-۲ درجه انجام شد. تنظیمات برقی مولد دستگاه عبارت از ۳۰ میلی آمپر و ۴۰ کیلو وات بود.

### محاسبات آماری

تجزیه تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۸ در قالب طرح آنالیز واریانس یک طرفه انجام شد و در نهایت مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۹٪ انجام گردید.

### نتایج

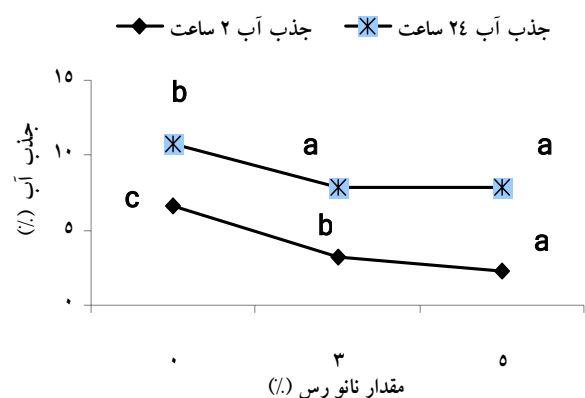
#### خواص فیزیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر مقدار نانورس بر جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت چندسازه چوب پلاستیک در سطح اعتماد ۹۹٪ برای جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۴). همان‌طوری که در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود بالاترین مقدار جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت چندسازه چوب پلاستیک مربوط به استفاده از صفر درصد نانورس در مدت زمان ۲۴ ساعت غوطه‌وری و کمترین مقدار در هنگام استفاده از ۵ درصد نانورس در مدت زمان ۲ ساعت غوطه‌وری می‌باشد.



شکل ۲- آزمون مقاومت به اتصال پیچ و میخ عمود بر سطح توسط دستگاه

#### آزمون خواص مکانیکی SCHENK - TREBEL



شکل ۳- اثر مقدار نانورس بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت چندسازه چوب پلاستیک

### ریخت‌شناسی

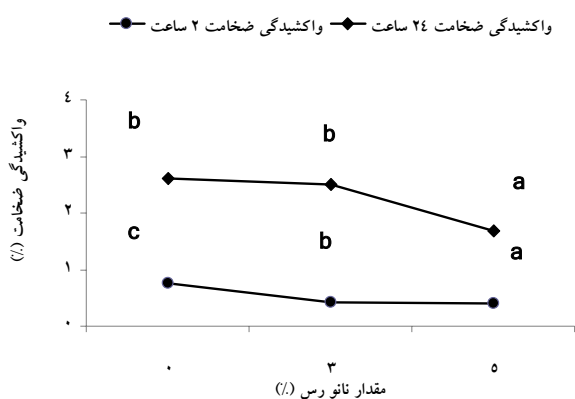
#### میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)

ریخت‌شناسی چندسازه‌های تولید شده با میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) مدل HHS- 2R مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور، سطح شکست در کشش چندسازه‌ها با لایه نازکی از طلا پوشش داده شد

## خواص مکانیکی

## مقاومت به اتصال پیچ عمود بر سطح

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر مقدار نانورس بر مقاومت به اتصال پیچ عمود بر سطح چندسازه چوب پلاستیک در سطح اعتماد ۹۹٪ دارای اختلاف معنی‌دار است (جدول ۵). همچنین آزمون دانکن سطوح مختلف مقادیر میانگین‌ها را در سه گروه قرار داد. همان‌طوری که در شکل (۵) و جدول (۶) مشاهده می‌شود با افزایش میزان نانورس از صفر به ۳٪، مقاومت به اتصال پیچ عمود بر سطح چندسازه‌های چوب پلاستیک افزایش یافته، سپس با افزودن این مقدار به ۵٪ این مقاومت کاهش می‌یابد.



شکل ۴- اثر مقدار نانورس بر واکسیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت چندسازه چوب پلاستیک

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر مقدار ذرات نانورس بر واکسیدگی ضخامت و جذب آب

## ۲ و ۲۴ ساعت چندسازه چوب پلاستیک

منبع تغییرات	تیمار		
	مجموع	خطا	نانورس
جذب آب ۲ ساعت	۵۴	۴۵	۲
	۸۳۶/۶۸۹	۷۲/۶۹۸	۱۵۰/۲۶۰
		۱/۶۱۶	۷۵/۱۳۰
			۴۶/۵۰۵**
جذب آب ۲۴ ساعت	۵۴	۴۵	۲
	۲۶۱۳/۸۰۰	۷۹/۲۰۷	۱۴۳/۴۸۳
		۱/۷۶۰	۷۱/۷۴۱
			۴۰/۷۵۹**
واکسیدگی ضخامت ۲ ساعت	۵۴	۴۵	۲
	۹/۴۴۶	۰/۷۱۵	۰/۷۳۲
		۰/۰۱۶	۰/۳۶۶
			۲۳/۰۳۴**
واکسیدگی ضخامت ۲۴ ساعت	۵۴	۴۵	۲
	۱۸۹/۶۷۸	۱۸/۹۹۱	۱۱/۵۹۵
		۰/۴۲۲	۵/۷۹۸
			۱۳/۷۳۸**

\*\*= معنی‌داری در سطح ۹۹٪؛ ns= عدم معنی‌داری

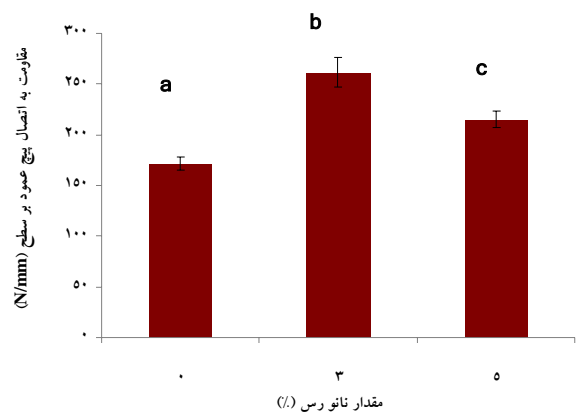
جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر مقدار ذرات نانورس بر مقاومت به اتصال پیچ و میخ عمود

بر سطح چندسازه چوب پلاستیک

منبع تغییرات			تیمار	
مجموع	خطا	نانورس		
۹	۶	۲	df	
۴۳۴۴۹۳/۶۲۰	۲۰۹۹/۱۲۰	۱۲۱۴۴/۸۲۹	SS	مقاومت به اتصال پیچ عمود بر
	۳۴۹/۸۵۳	۶۰۷۲/۴۱۴	MS	سطح
		۱۷/۳۵۷**	F	
۹	۶	۲	df	
۴۷۷۱۱/۳۵۰	۶۷۰/۷۰۰	۶۲۹/۱۲۹	SS	مقاومت به اتصال میخ عمود بر
	۱۱۱/۷۸۳	۳۱۴/۵۶۴	MS	سطح
		۲/۸۱۴ <sup>ns</sup>	F	

\*\*= معنی داری در سطح ۰/۰۱؛ ns= عدم معنی داری

در جدول (۶) مشاهده می‌شود با افزایش میزان نانورس از صفر به ۳٪، مقاومت به اتصال میخ عمود بر سطح چندسازه‌های چوب پلاستیک افزایش یافته، سپس با افزودن این مقدار به ۵٪ این مقاومت کاهش می‌یابد.



جدول ۶- تأثیر مقدار نانو رس بر مقاومت به اتصال

پیچ و میخ عمود بر سطح چندسازه چوب-پلاستیک

مقاومت به اتصال میخ عمود بر سطح (N/mm)	مقاومت به اتصال پیچ عمود بر سطح (N/mm)	نانو رس (درصد وزنی)
۶۴/۸	۱۷۱/۵	۰
۸۳/۵	۲۶۱/۵	۳
۶۷	۲۱۵/۱	۵

شکل ۵- اثر مقدار نانورس بر مقاومت به اتصال پیچ عمود بر سطح چندسازه چوب پلاستیک

مقاومت به اتصال میخ عمود بر سطح

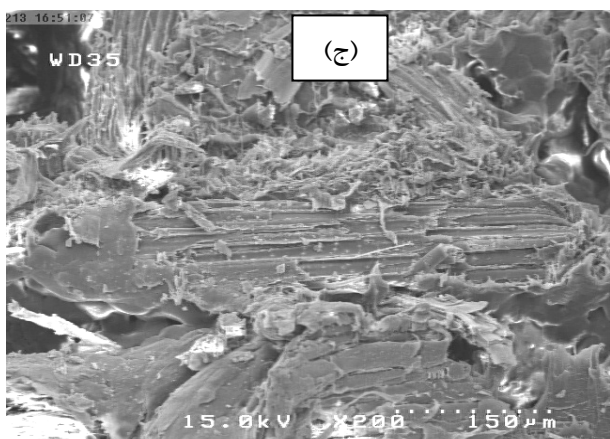
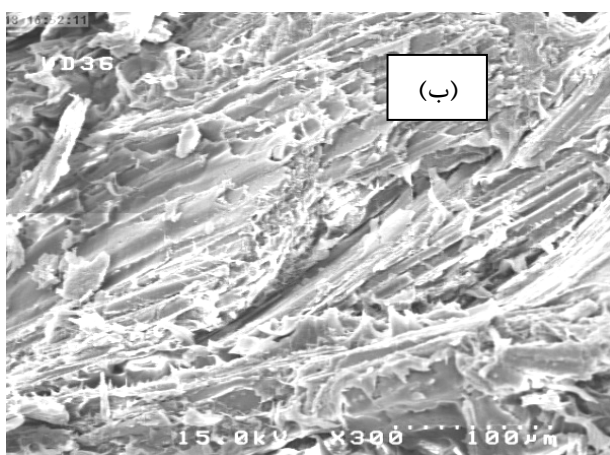
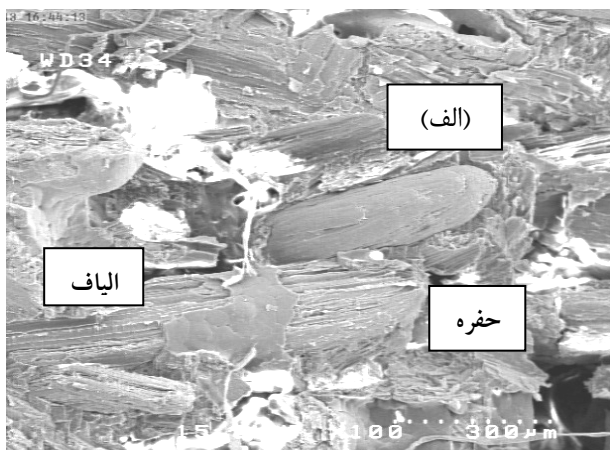
نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر مقدار نانورس بر مقاومت به اتصال میخ عمود بر سطح چندسازه چوب پلاستیک در سطح اعتماد ۰/۰۱ دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشد (جدول ۵). همان طوری که



## ریخت‌شناسی

## میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)

بین خواص چندسازه‌ها و ساختار درونی آنها همبستگی نزدیکی وجود دارد. خواص هر پلاستیک تقویت شده با ذرات به نوع پلیمر آن و ماده تقویت‌کننده و نیز به آرایش ذرات و نحوه اتصال آنها با مرحله پلیمری بستگی دارد. شکل ۶ تصاویر SEM سطوح شکست چندسازه‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۶ الف در این تصویر، پلیمر همراه با ذرات ساقه کلزا را به صورت محیط پیوسته‌ای نشان نمی‌دهد و در آنها پلیمر زمینه و ذرات افزوده، مجزا از هم دیده می‌شوند (ذرات ساقه کلزا به صورت سالم از زمینه پلیمری خارج شده‌اند). این چندسازه بدون ذرات نانو رس بوده و در نتیجه اتصال ضعیفی بین ذرات ساقه کلزا و پلیمر زمینه، در سطوح مشترک مربوط وجود دارد و تعداد بالای حفرها نشان‌دهنده چسبندگی ضعیف چندسازه‌ها بوده است. همین موضوع سبب کاهش مقاومت چندسازه‌ها شده است. شکل ۶ ب تصویر SEM مربوط به سطح شکست چندسازه با ۳٪ نانو رس می‌باشد. این سطح شکست محیط پیوسته‌ای را نشان می‌دهد و نیز ذرات بیرون آمده از متن پلیمر زمینه و تعداد حفرها بمراتب کمتر است و این به دلیل اتصال و چسبندگی قوی بین ذرات ساقه کلزا و پلیمر زمینه می‌باشد و باعث افزایش مقاومت چندسازه‌ها شده است. البته با افزایش مقدار نانو رس از ۳ به ۵٪ سطح شکست، محیط نسبتاً پیوسته‌ای را نشان می‌دهد و نیز ذرات بیرون آمده از متن پلیمر زمینه و تعداد حفرها بمراتب بیشتر از ۳٪ نانو رس و کمتر از بدون نانو رس است و این به دلیل انباشتگی ذرات نانو رس می‌تواند باشد (شکل ۶ ج).



شکل ۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی پویشی چندسازه چوب پلاستیک حاوی بدون نانورس (الف) و ۳٪ نانورس

(ب) و ۵٪ نانورس (ج)

## آزمون تفرق اشعه ایکس

همان‌طوری که در این شکل مشاهده می‌شود نانوکامپوزیت تشکیل شده از نوع بین لایه‌ای (Intercalation) می‌باشد، زیرا قله مربوط به ناحیه بلوری نانورس کاملاً از بین نرفته و فقط به  $2\theta$  های پایین‌تر کاهش یافته است. به عبارت دیگر فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی نانورس به دلیل نفوذ زنجیره‌های پلیمری افزایش یافته ولی از هم گسیختگی کامل لایه‌های رس رخ نداده است.

## بحث

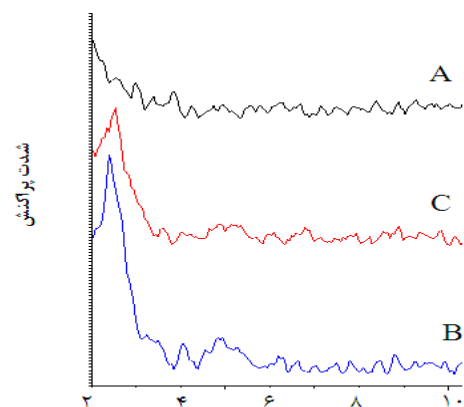
ماده اولیه لیگنوسولولزی مورد نیاز صنعت چوب پلاستیک با دیگر بخش‌های صنایع چوب به خصوص از لحاظ فیزیکی دارای تفاوت‌هایی است. به‌طوری‌که برخی از انواع ضایعات و پسماندها، به خصوص پسماندهای کشاورزی به‌عنوان ماده اولیه می‌تواند به راحتی و به مقدار بسیار قابل استفاده در ساخت این چندسازه مورد استفاده قرار گیرند. گاه کلزا یکی از این پسماندهای کشاورزی می‌باشد که به فراوانی یافت و بعد از برداشت سوزانده می‌شود. گاه کلزا دارای مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی کمتر نسبت به الیاف چوبی می‌باشد و می‌توان با افزودن مواد تقویت کننده با درصدهای کم همانند ذرات نانو این کمبودها را جبران نمود و باعث تقویت این چندسازه شد. در بررسی اثر مقدار نانو ذرات رس بر خواص فیزیکی و مکانیکی و ریخت‌شناسی چندسازه چوب پلاستیک حاصل از پلی‌پروپیلن و آرد ساقه کلزا مشاهده گردید با افزایش مدت زمان غوطه‌وری مقدار جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت نانو کامپوزیت چوب پلاستیک افزایش یافت و با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۵ درصد، جذب آب و

جدول ۷ و شکل ۷ نتایج پراش پرتو ایکس نانو ذرات رس را در کامپوزیت چوب پلاستیک حاصل از پلی‌پروپیلن و آرد ساقه کلزا را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳ درصد فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی افزایش یافته و با افزایش این مقدار پیک پراش اشعه ایکس در نانوکامپوزیت تغییر کرده و به سمت زاویه کمتر منتقل شده که در زاویه  $2\theta = 2/36^\circ$  با فاصله بین لایه‌های  $d_{00} = 37/34 \text{ nm}$  است، درحالی‌که با افزایش مقدار نانورس تا ۵ درصد فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی بتدریج کاهش می‌یابد ( $2/5^\circ$ )  $d_{00} = 35/31 \text{ nm}$  و نانو کامپوزیت بدون نانو رس هیچ پیک پراش اشعه ایکس در آن دیده نمی‌شود.

جدول ۷- نتایج پراش پرتو X نانورس و نانو کامپوزیت‌ها

تیمار	$2\theta$ ( $^\circ$ )	d-spacing (nm)
OMMT*	۲/۸	۳۱/۳۵
B	۲/۳۶	۳۷/۳۴
C	۲/۵	۳۵/۳۱

نانو رس خالص =\*

زاویه پراکنش ( $2\theta$ )

شکل ۸- پراش پرتو اشعه ایکس ذرات نانورس در ماده مرکب چوب پلاستیک

واکشیدگی ضخامت نانو کامپوزیت چوب پلاستیک کاهش یافت که در بین تیمارها کمترین مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت در هنگام استفاده از ۵ درصد نانورس در مدت زمان ۲ ساعت غوطه‌وری می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد ویژگی نفوذناپذیری ذرات نانو رس مانع از نفوذ آب به درون ماتریس پلیمری می‌گردد، برای این منظور سه سازوکار مختلف وجود دارد: سازوکار اول مرتبط به طبیعت آب‌گریز سطح رس می‌باشد که این ویژگی موجب غیرفعال شدن رطوبت می‌گردد. سازوکار دوم مرتبط به این ویژگی است که لایه‌های سیلیکاتی ذرات رس به دلیل داشتن ضریب ظاهری بالا باعث طولانی‌تر و پیچ و خم شدن مسیر عبور موکول‌ها در ماتریس پلیمری می‌شوند، که موجب به تعویق انداختن نفوذ آب به داخل کامپوزیت می‌گردد. سازوکار سوم نیز بر این موضوع دلالت دارد که ذرات نانو رس به علت داشتن خاصیت هسته‌زایی موجب تشکیل ساختار بلوری در کامپوزیت می‌گردد و این مسئله نیز خود به کاهش روند جذب آب کمک می‌کند (خان‌جان‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ کرد و همکاران، ۲۰۱۰) و در بررسی اثر مقدار نانو ذرات رس بر مقاومت به اتصال پیچ و میخ عمود بر سطح نشان می‌دهد که با افزایش مقدار نانو ذرات رس از صفر به ۳ درصد مقاومت به اتصال پیچ و میخ عمود بر سطح چندسازه چوب پلاستیک افزایش یافته، سپس با افزودن ۵ درصد نانورس، مقاومت‌های مذکور کاهش می‌یابد. افزایش مقاومت به اتصال پیچ و میخ عمود بر سطح نانوکامپوزیت را در هنگام استفاده از ۳ درصد نانورس می‌توان به ضریب ظاهری بالای نانو ذرات رس در نانوکامپوزیت چوب پلاستیک مرتبط دانست. ضریب

ظاهری بالای ذرات نانورس در قابلیت تقویت‌کنندگی چندسازه نقش دارد و موجب می‌شود تا سطح مشترک بین دو مرحله افزایش یافته و در نتیجه مقاومت به اتصال پیچ و میخ عمود بر سطح کامپوزیت افزایش یابد (چاووشی و همکاران، ۱۳۹۰). از طرفی با افزایش مقدار ۵ درصد نانورس، به علت تجمع و تراکم ذرات نانورس و همچنین تشکیل توده‌های درهم رفته، مقاومت به اتصال پیچ و میخ عمود بر سطح کاهش می‌یابد (کرد و همکاران، ۲۰۱۰). نانو ذرات رس به علت تشکیل اتصال قوی با ماتریس پلیمری موجب افزایش مقاومت در کامپوزیت می‌شوند. البته از حد مشخصی، روند افزایشی خواص با افزایش درصد رس کند و حتی گاهی بعکس خواهد شد (Samal و همکاران، ۲۰۰۸). با افزایش مقدار ذرات نانورس مقاومت‌ها کاهش پیدا کردند، که این میزان را می‌توان به تأثیر منفی درصدهای بالای استفاده از ذرات نانو رس در اتصالات و تراکم تنش نسبت داد، که با نتایج بدست آمده توسط (چاووشی و همکاران ۱۳۹۰) مطابقت دارد. بررسی ریخت‌شناسی نانوکامپوزیت توسط اشعه ایکس نشان داد که نمونه‌های دارای ۳ درصد نانورس از فاصله بین لایه‌ای بیشتری در مقایسه با نمونه‌های دارای ۵ درصد نانورس برخوردارند که با نتایج Samal و همکاران (۲۰۰۸)، Wang و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد و همچنین مطالعه SEM نشان داد که افزودن نانو رس باعث بهبود چسبندگی بین ذرات و ماده زمینه خواهد شد و در نتیجه باعث کاهش حفرها و ذرات بیرون آمده از متن پلیمر زمینه می‌شود.

## منابع مورد استفاده

- British Standard. 2007. Wood-plastics Composites (WPC) – Part 1: Test Methods for Characterization of WPC Materials and Products. 17.
- Kord, B., Hemmasi, A. H., Ghasemi, I. 2010. Properties of PP/wood flour/organomodified montmorillonite nanocomposites. *Journal of Wood Science Technology*, 45, 111\_119.
- Nourbakhsh, A., Ashori, A. 2010. Wood plastic composites from agro-waste materials :Anaylsis of mechanical properties. *Journal of Bioresource Technology*. 101. 2525-2528.
- 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.
- Sain, M., Law, S., Suhara, F., Boullioux, A. 2005. Interface modification and mechanical properties of natural fibre-polyolefin composite products. *J Reinf Plast Comp*;24:121–30
- Wang, L., Wang, K., Chen, L., Zhang, Y., He, C. 2006. Preparation, morphology and thermal/mechanical properties of epoxy/clay nanoclay composite. *Composites Part A* 37: 1890–189
- Yousefi, H., 2006. Potential of canola straw for utilizing wood and paper industries. M.S. Thesis. 2006. Department of Wood and Paper Science. Tehran University, Karaj, Iran.
- چاوشی، آ.، مدهوشی، م.، شاکری، ع. و خزائیان، ا.، ۱۳۹۰. بررسی اثر استفاده از ذرات نانو رس در مقاومت به اتصال پیچ بر عمود بر سطح چندسازه نرهم ام دی اف – پلی پروپیلن. اولین همایش ملی نانو بیوتکنولوژی دانشگاه آزاد اسلامی دامغان.
- خان جانزاده، ح.، طبرسا، ت.، شاکری، ع.، و پیرایش، ح.، ۱۳۸۹. بررسی تأثیر میزان ذرات نانو رس (نوع مونت موریلونیت) روی خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه های چوب پلاستیک. اولین کنفرانس علوم و فناوری نانو، دانشگاه پیام نور یزد. صفحه ۵۲۹-۵۲۵.
- کرد، ب.، ۱۳۸۸. استفاده از ذرات نانو رس در بهبود خواص کاربردی کامپوزیت چوب-پلاستیک. *مجله مواد مهندسی*. جلد ۱. شماره ۴. ۳۸۳-۳۷۵.
- شکریه، م. و سنبلستان، ا.، ۱۳۸۶. اثر عوامل ساختاری بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیت های پلیمر خاک رس *مجله علوم و تکنولوژی پلیمر*، سال بیستم، شماره ۲، - صفحه ۱۸۷ - ۱۹۵
- Bledzki, AK., Gassan, J. 1999. Composites reinforced with cellulose based fibers. *Prog Polym Sci*;24:221–74.

## Physico-mechanical and morphological properties of nanocomposite made from Canola stalk

Zahedi, M.<sup>1\*</sup> and Tabarsa, T.<sup>2</sup>

1\*-Corresponding Author, M.Sc., Student, Faculty of Wood and Paper Engineering, Department of Wood and Paper Science and Technology Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. E-mail: Zahedi25@yahoo.com

2-Professor, Faculty of Wood and Paper Engineering, Department of Wood and Paper Science and Technology Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

Received: Jan., 2012

Accepted: Oct., 2013

### Abstract

In this study, the possibility of using canola tree stem residues and nanoclay particles on physical, mechanical and morphological properties of canola wood flour – polypropylene composites was investigated. The weight ratio of canola wood flour and polypropylene in the mixture was 50% and 50% and 0, 3 and 5 percent nanoclay and 4% MAPP were used. First, the ingredients were mixed using the extruder and then final panels were produced by hot pressing the compound. Physical and mechanical properties were measured. Results indicated that water absorption and thickness swelling of the composites decreased as the nanoclay content was increased. The screw and nail withdrawal strength of wood plastic composite increased with increasing nanoclay up to 3% percent, then decreases with the increasing nanoclay to 5%. Morphologies of the nanocomposites were analyzed by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM), and the results showed increased d-spacing of clay layers indicating enhanced compatibility between polypropylene and nanoclay and canola stalk flour.

**Key words:** Wood plastic composite, nanoclay, canola stalk flour, scanning electron microscopy.