

## اثر نانوذرات رس بر خواص مکانیکی چندسازه کاه‌گندم/ پلی اتیلن سنگین

منصور مینایی<sup>۱</sup>، وحید رضا صفدری<sup>۲\*</sup>، امیر نوربخش<sup>۳</sup>، ابوالفضل کارگرفرد<sup>۳</sup> و سینا مدیررحمتی<sup>۱</sup>

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج

پست الکترونیک: [vahid.safdari@kiaiu.ac.ir](mailto:vahid.safdari@kiaiu.ac.ir)

۳- دانشیار، علوم و صنایع چوب و کاغذ، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع

تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۱

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۰

### چکیده

در این تحقیق اثر نانو ذرات رس بر خواص کاربردی فرآورده مرکب پلی اتیلن سنگین- کاه‌گندم مورد مطالعه قرار گرفت. ۳۵٪ کاه‌گندم به‌عنوان تقویت‌کننده، ۶۳٪ پلی اتیلن سنگین به‌عنوان ماده زمینه و ۲٪ انیدریدمالئیک پیوند خورده با پلی اتیلن سنگین (MAPE) به‌عنوان مقادیر ثابت و مقادیر مختلف ۱، ۲ و ۳٪ نانو ذرات رس به‌عنوان عوامل متغیر در این ترکیب مورد استفاده قرار گرفت. فرآورده مرکب با استفاده از روش مخلوط‌سازی Collin (تک مرحله‌ای) ساخته شد و نمونه‌های مورد بررسی و آزمون‌ی از آن به روش قالب‌گیری تزریقی تهیه شدند. آزمون‌های مکانیکی شامل مقاومت و مدول کشش، مقاومت و مدول خمش و مقاومت به ضربه فاقدار بر روی نمونه‌های آزمون‌ی انجام گردید. نتایج نشان داد در اثر افزودن نانو ذرات رس به ترکیب فرآورده مرکب، مقاومت خمشی و مقاومت کششی، چندسازه نسبت به نمونه بدون نانورس افزایش یافت. ولی مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه با افزودن نانوذرات رس کاهش پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی: نانو ذرات رس، کاه‌گندم، فرآورده مرکب، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مقاومت به ضربه.

### مقدمه

چندسازه‌های چوب پلاستیک (WPC) از جمله

تحول‌های منحصر به فرد در صنعت محصول‌های چوبی به‌شمار می‌روند که دستاوردهای جدیدی را از جنبه نحوه فرایند تولید و نوآوری در طراحی محصول به دنبال داشته است (Roger et al., 2000). کاه‌گندم نیز یکی از انواع مهم ضایعه‌های محصول‌های کشاورزی است که در کشورهای آسیایی به فراوانی یافت می‌گردد. طبق آمار سازمان جهاد کشاورزی، سالانه بالغ بر ۱۳ میلیون تن

روند تغییرات اجتماعی و اقتصادی، همراه بهبود عملکرد محصول‌های چوبی، کاربرد فناوری زیستی مناسب و همگامی با تقاضای جهانی پیرامون محصول‌های چوبی سبب رشد صعودی فشار بر صنعت فرآورده‌های جنگلی شده است. بنابراین محصول‌های جایگزینی همانند صنعت چوب پلاستیک شروع به رشد کرد (Smith et al., 2006).

فاکتورهای مؤثر در تولید چندسازه‌ها می‌توان به اثر عوامل سازگارکننده (جفت‌کننده)، روش تولید، مواد افزودنی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، درصد و نوع الیاف سلولزی، درصد و نوع پلیمر گرمانرم، شرایط پرس، ابعاد و توزیع مناسب الیاف در توده ماتریس، نوع اتصال و جهت الیاف اشاره نمود.

امروزه با ورود فناوری نانو در عرصه علم مواد، پلیمرهای تقویت شده با فاز نانو مورد توجه جوامع علمی و صنعتی واقع شده است. نانو تکنولوژی در حقیقت علمی است در رابطه با طراحی، تشخیص، تولید و کاربرد ساختارها، وسایل و سیستم‌ها از طریق کنترل شکل و اندازه ذرات در مقیاس نانو می‌باشد. تحقیقی در سال ۲۰۰۵ نشان داد که تقریباً ۲۵ درصد کل نانو چند سازه‌ها به کامپوزیت‌هایی اختصاص دارد که در آنها از نانورس استفاده شده است (Uddin, 2008).

در سال‌های اخیر کاربرد نانو ذرات در زمینه‌های مختلف گسترش یافته است و استفاده از نانوذرات در انواع چندسازه‌ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. استفاده از آن در چندسازه‌های الیاف طبیعی - پلیمرها مستثنی نمی‌باشد.

Wang و همکاران (۲۰۰۱) اظهار داشتند که تأثیر پُرکننده ذرات نانورس بر خصوصیات چندسازه‌ها به شکل، اندازه، ضریب ظاهری، نوع، مقدار و کیفیت پراکنده شدن ذرات و چسبندگی آنها در سطح اتصال بستگی دارد. همچنین بیان کردند که افزودن مقادیر اندک ذرات نانورس موجب بهبود خواص مکانیکی، حرارتی و ثبات ابعاد در چندسازه‌ها شده است.

Han و همکاران (۲۰۰۸) اثر اختلاط الیاف بامبو با HDPE/ نانورس را بررسی کرده و عنوان می‌کنند که در

ضایعه‌های کاه‌گندم در ایران در دسترس می‌باشد که استفاده از آنها در صنایع چندسازه‌های تخریب‌پذیر به دلیل قیمت پایین می‌تواند دارای جذابیت‌های بالایی باشد (سرایان و همکاران، ۱۳۸۲).

Sanadi و همکاران (۲۰۰۱) در تحقیقی ویژگی‌های چندسازه‌هایی با ماده زمینه پلی‌پروپیلن کم و مقدار الیاف زیاد (الیاف کنف) را مورد بررسی قرار داده و عنوان می‌کنند که مدول الاستیسیته چندسازه ساخته شده با ۸۰٪ الیاف از چندسازه با ۶۰٪ الیاف کمتر است. همچنین افزودن سازگارکننده (جفت‌کننده) سبب افزایش مدول خمشی می‌شود.

Lopes و Craschi (۲۰۰۲) تأثیر مقدار و اندازه ذرات پُرکننده و عامل تسریع‌کننده روی خواص مکانیکی چندسازه پلی‌پروپیلن تقویت شده با آرد چوب کاج الیوتی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که زیاد شدن مقدار الیاف سبب کاهش تغییر طول نسبی، تنش کششی، MFI و افزایش مدول کششی می‌شود.

Hristov و همکاران (۲۰۰۴) اثر افزودن سازگارکننده‌ها را بر خواص مکانیکی چندسازه‌های PP/ آردچوب مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ضعف خواص مکانیکی چندسازه‌های اصلاح نشده به علت اتصال ضعیف میان ماتریس پلیمری و الیاف چوبی است. مدول کششی، مقاومت کششی و مقاومت به ضربه با افزودن MAPP بهبود می‌یابد.

نوربخش و همکاران (۱۳۸۷) بیان کردند که مواد لیگنوسلولزی مانند الیاف چوب، کنف، کتان، ذرت، پوسته نارگیل، پوست بادام زمینی، کاه‌گندم، برنج و دیگر منابع سلولزی به عنوان تقویت‌کننده پلاستیک‌ها مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. از جمله مهمترین

و سطح آن در HDPE/ ترکیب‌های کاج را کاهش داد اما ضخامت کریستال را تغییر نداد.

Cai و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی تأثیر ماهیت نانو فیلرها روی عملکرد ترکیب‌های نانو چندسازه‌های پلیمری با چوب را مورد بررسی قرار دادند و عنوان کردند که پیشرفت‌های چشمگیر در ویژگی‌های چوب مانند سختی سطح، ضریب الاستیسیته، پایداری ابعادی و ضد آب بودن (دفع آب) با اضافه کردن ذرات نانو آب‌گریز سیلیکات آمونیوم در چوب بدست آمده‌اند. ویژگی‌های بهبود یافته چوب می‌تواند به برهم‌کنش‌های میان مرحله‌ای بهتر متیلول اوره‌ملامین اشباع شده و ذرات نانو و استحکام (مقاومت) چوب نسبت داد.

WU و همکاران (۲۰۰۷) دریافته‌اند که با اضافه نمودن تنها ۲٪ ذرات نانورس به چندسازه حاصل از آرد چوب کاج و پلی‌اتیلن سنگین (HDPE)، مقاومت خمشی از ۱۹/۶٪ به ۲۴٪ و مقاومت کششی از ۱۱/۸٪ به ۱۳٪ افزایش می‌یابد، در صورتی که مقدار جذب آب و واکنشیدگی ضخامت به میزان ۵-۷٪ کاهش می‌یابد.

### مواد و روشها

**پلی اتیلن سنگین:** در این پژوهش، از پلی اتیلن سنگین (HDPE)، محصول شرکت پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۱۱ gr/۱۰ min و چگالی ۰/۹۵۴ g/cm<sup>3</sup> به عنوان ماده زمینه پلیمری استفاده قرار گرفت.

**نانوذرات رس:** نانوذرات رس مورد استفاده در این تحقیق با کد Closite<sup>+</sup> ۱۵A، یک مونت مرلونیت طبیعی است.

**کاه گندم:** در این پژوهش ابتدا پس از آسیاب شدن از الک ۴۰ به ۶۰ مش عبور داده شد، در نهایت کاه گندمی که

سیستم HDPE خالص هر دو مدول خمشی دینامیک و استاتیک افزایش می‌یابد. ولی با افزایش میزان نانورس استحکام ضربه‌ای کاهش پیدا می‌کند. نتایج پراش پرتو X-ray (XRD) داده‌هایی را نشان داد که هنگامی که ۱٪ نانورس به HDPE خالص و بدون MAPE اضافه شود نانورس به صورت ورقه ورقه درآمده است. با استفاده از MAPE خواصی مانند مقاومت کششی و مدول خمشی چندسازه‌های HDPE / الیاف بامبو بهبود می‌یابد.

کرد (۱۳۸۹) در تحقیقی تأثیر ذرات نانورس بر خواص مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک حاصل از پلی اتیلن سنگین - آرد چوب را بررسی کرده و دریافته است که مدول کششی، مقاومت کششی، مدول خمشی و مقاومت خمشی چندسازه چوب پلاستیک با افزایش مقدار ذرات نانورس افزایش یافته. اما مقاومت به ضربه کاهش یافت.

Chowdhury و همکاران (۲۰۰۶) نتیجه گرفتند که زیاده‌ترین مقدار مقاومت خمشی چندسازه‌های پلیمری تقویت شده با پُرکننده ذرات نانورس به هنگام استفاده ۲٪ از پُرکننده حاصل گردید و نتایج تحلیل دینامیکی - مکانیکی نشان‌دهنده بهبود خواص مکانیکی - گرمایی چندسازه‌ها تحت تأثیر پُرکننده نانورس می‌باشد همچنین بیان کردند که به هنگام اضافه نمودن ذرات نانورس به مقدار ۲٪ دمای انتقال شیشه‌ای چندسازه به میزان ۹ °C افزایش می‌یابد.

Lei و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی تأثیر نانورس بر ویژگی‌های کامپوزیت‌های HDPE/ ترکیب‌های چوب را مورد بررسی قرار دادند و عنوان کردند که کاربرد ۲٪ نانورس، دمای کریستال شدگی (بلورشدگی) (TC)، میزان

پلی اتیلن سنگین (MAPE) محصول شرکت Merck به عنوان عامل سازگارکننده استفاده شده است.

بر روی الک ۶۰ مش جمع شد، جمع آوری شده و برای این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

**جفت کننده:** از انیدرید مالئیک پیوند خورده با

جدول ۱- ترکیب‌های ساخت، مواد و تیمارها

شماره تیمار	کد تیمار کاه گندم (%)	پلی اتیلن سنگین (%)	جفت کننده (%)	نانورس (%)
۱	35% WF63% HDPE2% MAPE	۶۳	۲	۰
۲	35% WF63% HDPE2% MAPE1% NANO	۶۳	۲	۱
۳	35% WF63% HDPE2% MAPE2% NANO	۶۳	۲	۲
۴	35% WF63% HDPE2% MAPE3% NANO	۶۳	۲	۳

### روش ساخت

برای کاهش زمان ساخت، تأثیر اضافه کردن مستقیم نانورس به چندسازه‌های پلی اتیلن سنگین / کاه گندم در طی ترکیب کردن خشک متداول در ساخت چندسازه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. تمام مواد شامل نانورس / پلی اتیلن سنگین / کاه گندم و MAPE را با هم مخلوط کرده و همزمان درون دستگاه کولین (Collin) ریخته شد. ماریچه‌های دستگاه کولین از نوع غیر همسوگرد و دمای بخش‌های مختلف دستگاه به ترتیب ۱۶۵، ۱۷۰، ۱۷۵ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. در این دما به منظور جلوگیری از سوختن مواد چوبی دما در قسمت خروجی تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شده و در نهایت ماده چوبی صدمه نمی‌بیند. پس از ترکیب شدن مواد درون دستگاه، مواد به صورت خمیری با دمای زیاد از قسمت خروجی دستگاه خارج شده و درون محفظه‌ای از آب قرار می‌گیرد تا دمای آن کاهش یابد. سپس مخلوط مواد با استفاده از دستگاه گرانول‌ساز (Wieser) به ذرات گرانول تبدیل می‌شود. سپس گرانول‌ها را درون اتو به مدت ۲۴

ساعت قرار داده تا رطوبت آنها به میزان مورد نظر برسند. در نهایت مواد گرانولی شده را درون دستگاه قالب‌گیری تزریقی (Molding injection) ریخته و عمل قالب‌گیری انجام می‌شود تا نمونه‌های مناسب برای انجام آزمایش‌های مکانیکی تهیه شوند. دستگاه قالب‌گیری تزریق دارای شرایط ساخت به شرح زیر می‌باشد: دما به ترتیب ۱۶۰-۱۷۰-۱۷۵ درجه سانتی‌گراد از محفظه دستگاه تا نازل، فشار تزریق ۹۰ bar، فشار بارگیری ۵۰ bar و سرعت چرخش (سرعت بارگذاری) ۶۰ rpm می‌باشد.

### آنالیز شیمیایی کاه گندم

آنالیز شیمیایی کاه گندم مورد استفاده بر اساس آیین‌نامه‌های مندرج در استاندارد TAPPI و به شرح زیر انجام شد:

- سلولز T۲۶۴ om-۸۸
- لیگنین نامحلول در اسید T۲۲۲ om-۸۸
- مواد استخراجی T۲۰۴ om-۸۸
- خاکستر T۲۱۱ om-۸۸

### ریخت شناسی چندسازه‌ها

ASTM-D638، مقاومت به ضربه آیزود (Izod) طبق دستورالعمل ASTM-D256 و با استفاده از دستگاه SANATAM-SIT20D انجام گرفته است.

ریخت شناسی چندسازه‌های تولید شده با میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل XL30 ساخت شرکت PHILIPS بررسی شد. برای این منظور سطح شکست کششی نمونه‌ها با لایه نازکی از طلا پوشش داده شد تا ضمن برخورد الکترون‌ها با سطح نمونه، بار ساکن روی آن جمع نشود.

### روش آماری

در این بررسی با توجه به ترکیب مواد و سطوح مختلف از روش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی استفاده گردید. از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncans) برای گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شد.

### ترکیب شیمیایی کاه گندم

عملکرد الیاف طبیعی مورد استفاده برای تولید چندسازه‌ها به عواملی مانند ترکیب شیمیایی، ویژگی‌های فیزیکی و برهم‌کنش ذرات در ماتریس چندسازه بستگی دارد. به منظور استفاده از مواد لیگنوسلولزی در چندسازه‌ها، باید اطلاعاتی در مورد ویژگی‌های آنها در دسترس باشد. جدول ۲ ترکیب شیمیایی کاه گندم را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ترکیب شیمیایی کاه گندم

ترکیب شیمیایی	مقدار (%)
سلولز	۵۵/۷۶
لیگنین	۲۳/۴۲
مواد استخراجی	۵/۲۷

### نتایج

اثر ترکیب‌های ساخت فرآورده مرکب نانو ذرات رس به همراه MAPE و کاه گندم بر ویژگی‌های مقاومتی نمونه‌های چندسازه در شکل‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. در اثر افزودن مقادیر متفاوت ذرات نانورس به ترکیب چند سازه مقاومت خمشی و مقاومت کششی، چندسازه نسبت به نمونه بدون نانورس افزایش یافت. البته در مقاومت خمشی، چندسازه‌های تولید شده با ۲ و ۳٪ نانوذرات رس کاهش جزئی نسبت به نمونه، با ۱٪ نانورس را شاهد هستیم. همچنین در مقاومت کششی، چندسازه تولید شده با ۳٪ نانوذرات رس کاهش جزئی را نسبت به نمونه‌ها با مقادیر ۱ و ۲٪ از خود نشان می‌دهد. قابل ذکر است که با وجود کاهش مقاومت در هر دو ویژگی خمشی و کششی در چندسازه‌های تولید شده با مقادیر متفاوت نانورس، چندسازه تولید شده بدون نانوذرات رس دارای کمترین میزان مقاومت نسبت به نمونه‌هایی است که درون آنها مقادیر متفاوت ذرات نانورس می‌باشد. همچنین با افزودن مقادیر متفاوت نانورس مقاومت به ضربه فاقدار کاهش یافت.

### اندازه‌گیری خواص مکانیکی

اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی نمونه‌هایی که قبلاً تحت شرایط مشروط کردن قرار گرفته‌اند، بر اساس آیین‌نامه‌های ASTM بشرح زیر انجام شده است. پس از ساخت نمونه‌های چندسازه کاه گندم- پلی اتیلن سنگین / نانورس از دستگاه آزمون مقاومت Instron مدل ۴۴۸۶ برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی استفاده شد. آزمون خمش استاتیک طبق دستورالعمل ASTM-D790، آزمون کشش طبق دستورالعمل

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر میزان نانورس بر ویژگی‌های چندسازه پلی‌اتیلن سنگین/کاه‌گندم/ نانورس

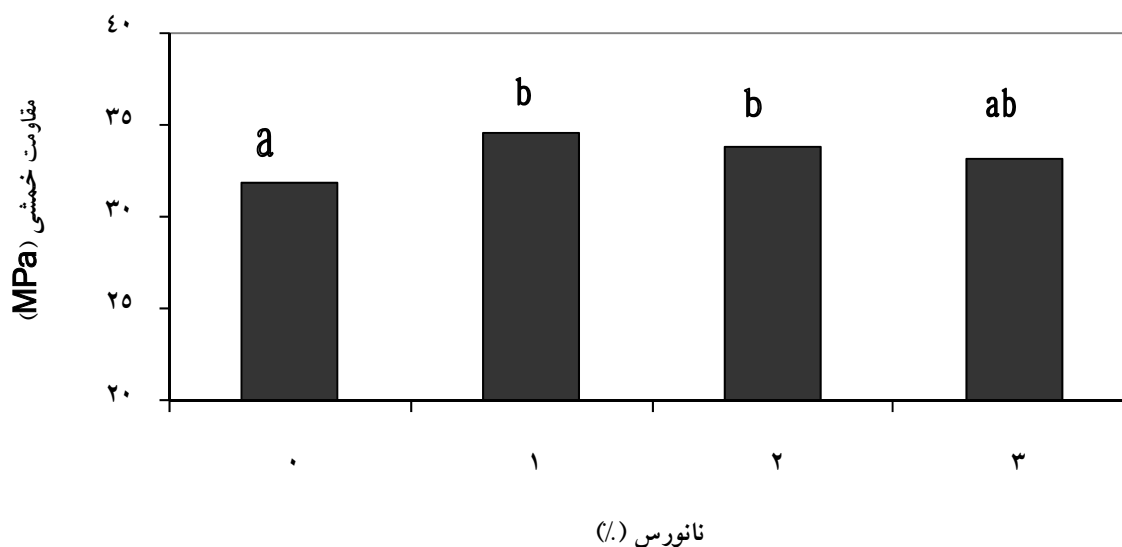
منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی df	میانگین مربعات	F (آماره)	سطح معنی داری
مقاومت خمشی	۱۲/۱۲۱	۳	۴/۰۴۰	۶/۴۸۵	** ۰/۰۱۶
مدول خمشی	۸۸۴۶۸/۶۶۷	۳	۲۹۴۸۹/۵۵۶	۱/۴۹۷	ns. ۰/۲۸۸
مقاومت کششی	۱۲/۹۹۰	۳	۴/۳۳۰	۱۶/۲۲۰	** ۰/۰۰۱
مدول کششی	۷۳۴۰۰/۹۱۷	۳	۲۴۴۶۶/۹۷۲	۱/۵۵۸	ns. ۰/۲۷۳
مقاومت به ضربه	۳۳/۴۹۲	۳	۱۱/۱۶۴	۶/۱۱۶	** ۰/۰۱۸

\*\* در سطح ۱٪ معنی دار؛ ns. معنی دار نمی‌باشد

## مقاومت خمشی

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با افزودن نانو ذرات رس از ۰ به ۱٪ مقاومت خمشی چندسازه افزایش یافته است، در حالی که با افزودن مقادیر ۲ و ۳٪ نانورس مقاومت خمشی چندسازه کاهش جزئی یافته است ولی کماکان از مقاومت خمشی چندسازه بدون نانو ذرات رس بیشتر است. بیشترین میزان مقاومت خمشی مربوط به

نمونه ۱٪ نانوذرات رس به میزان ۳۴/۵۷ مگاپاسکال و کمترین میزان مقاومت مربوط به نمونه بدون نانورس با ۳۱/۸۲ مگاپاسکال می‌باشد. همان طور که جدول واریانس نشان می‌دهد اثر مقدار پُرکننده نانورس بر مقاومت خمشی چندسازه چوب پلاستیک حاصل از پلی‌اتیلن سنگین و کاه‌گندم در سطح ۱٪ معنی دار است.

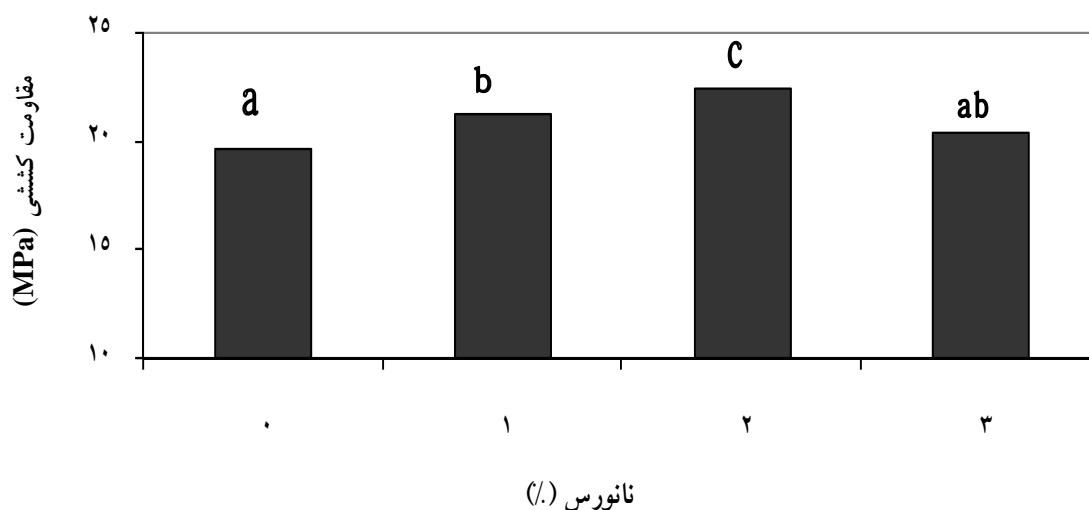


شکل ۱- تأثیر مقدار نانورس بر مقاومت خمشی چندسازه کاه‌گندم/ پلی‌اتیلن سنگین/ نانورس

## مقاومت کششی

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانو ذرات رس از ۱ به ۲٪ مقاومت کششی چندسازه افزایش یافته است، در حالی که با افزودن مقدار ۳٪ نانورس مقاومت کششی چندسازه کاهش یافته است ولی کماکان بیشتر از مقاومت نمونه بدون نانورس می‌باشد. به طوری که بیشترین میزان مقاومت کششی مربوط به نمونه

۲٪ نانوذرات رس به میزان ۲۲/۴۴ مگاپاسکال و کمترین میزان مقاومت مربوط به نمونه بدون نانورس با ۱۹/۶۴ مگاپاسکال می‌باشد. همان طور که جدول واریانس نشان می‌دهد اثر مقدار پُرکننده نانورس بر مقاومت کششی چندسازه چوب پلاستیک حاصل از پلی اتیلن سنگین و کاه گندم در سطح ۱٪ معنی دار است.

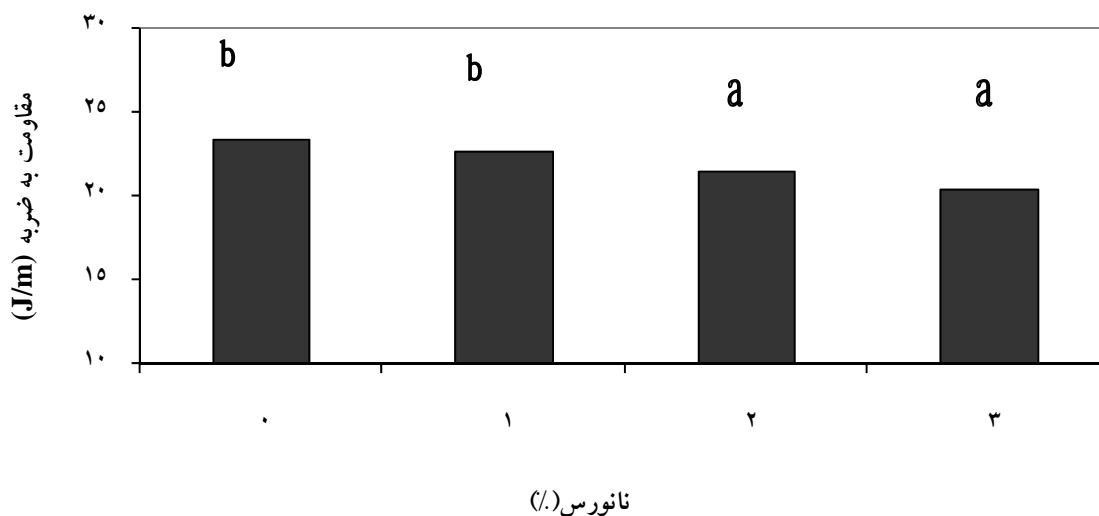


شکل ۲- تأثیر مقدار نانورس بر مقاومت کششی چندسازه کاه گندم/پلی اتیلن سنگین/ نانورس

## مقاومت به ضربه

همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس از ۱ به ۳٪ مقاومت به ضربه چندسازه چوب پلاستیک کاهش یافته است. به طوری که بیشترین میزان مقاومت به ضربه مربوط به نمونه بدون نانوذرات رس به میزان ۲۳/۳۳ ژول بر متر و کمترین میزان مقاومت

مربوط به نمونه ۳٪ نانورس با ۲۰/۳۹ ژول بر متر می‌باشد. همان طور که جدول واریانس نشان می‌دهد، اثر مقدار پُرکننده نانورس بر مقاومت به ضربه چندسازه چوب پلاستیک حاصل از پلی اتیلن سنگین و کاه گندم در سطح ۱٪ معنی دار است.



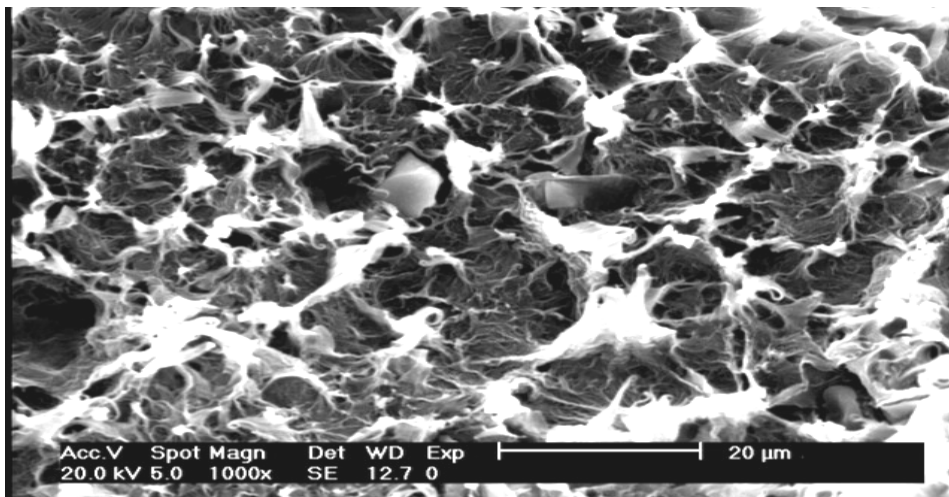
شکل ۳- تأثیر مقدار نانورس بر مقاومت به ضربه چندسازه کاه گندم/پلی اتیلن سنگین / نانورس

## بحث

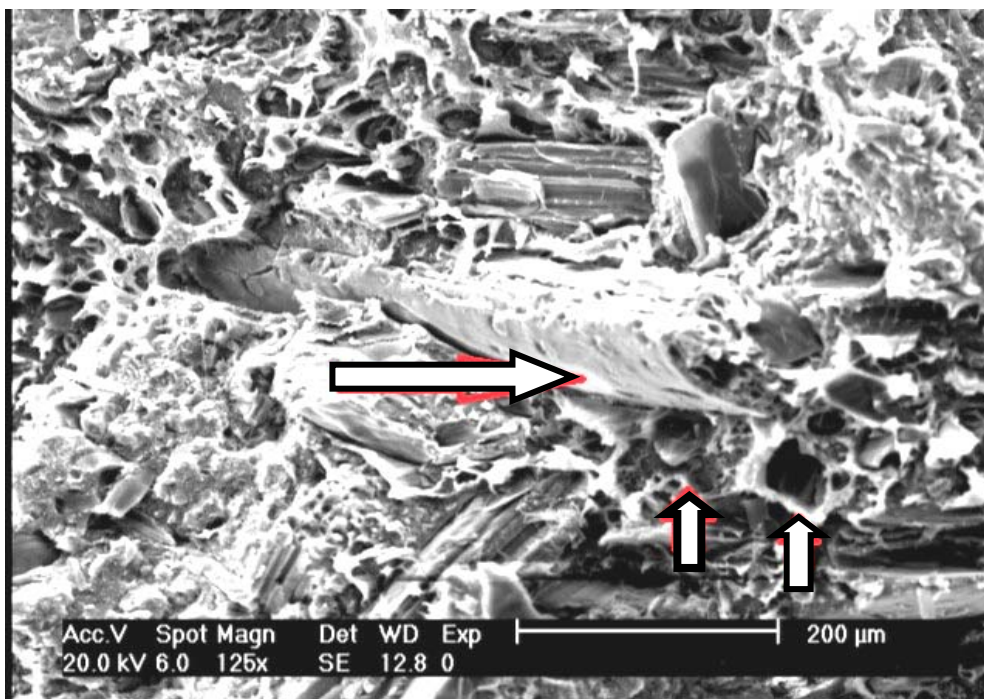
نتایج نشان می‌دهد با افزایش مقدار نانورس مقاومت خمشی و کششی چندسازه چوب پلاستیک حاصل از پلی اتیلن سنگین / کاه گندم افزایش یافته است. این پدیده می‌تواند ناشی از حضور ذرات ریز نانورس در فضاهای خالی بین اجزاء چندسازه و ایجاد بافت فشرده‌تر در آن باشد که با نتایج Wu و همکاران (۲۰۰۷) و Han و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. وقتی نانورس به ترکیب چندسازه افزوده می‌شود، در نتیجه تورم لایه‌های نانورس و ایجاد چسبندگی سطحی قویتر بین پلیمر و نانورس، ویژگی مقاومتی چندسازه افزایش می‌یابد (Asif et al., 2007). همچنین افزایش مقدار نانورس و وجود مرفولوژی بین لایه‌ای (Exfoliation) و درون لایه‌ای (Intercalation) در نانوچندسازه به دلیل تأثیر بین سطحی زنجیره‌های آلی و ذرات نانورس موجب افزایش مقاومت در نانوچندسازه می‌گردد (کرابی و همکاران، ۱۳۸۶). البته

Yeh و Gupta (۲۰۱۰) عقیده دارند که در فرایند ساخت چندسازه و تشکیل اتصال، نانورس با سایر اجزاء چندسازه در جذب MAPP رقابت می‌کند و مقداری از MAPP با نانورس واکنش انجام می‌دهد؛ که با توجه به کاهش جزئی مقاومت در مقادیر بالاتر استفاده از نانوذرات رس این احتمال وجود دارد که با افزایش میزان نانورس رقابت برای جذب MAPE با سایر اجزاء افزایش یابد. با مشاهده تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) نمونه‌های شکسته آزمون کششی در شکل‌های (۴ و ۵) مشاهده می‌گردد، که با استفاده از ۲٪ نانورس در شبکه چندسازه، پیوستگی و اتصال مناسبی (شکل ۴) نسبت به زمانی که از ۰٪ نانورس دارد، که نشان دهنده برتری محسوس آن می‌باشد. در این حالت وجود فضاهای خالی (Void) و بیرون زدگی (Pull-out) که در (شکل ۵) قابل رویت است احتمالاً مربوط به عدم پیوستگی و جدا شدن لایه‌های سیلیکاتی نانورس می‌باشد.





شکل ۴- ریزنگار میکروسکوپ الکترونی سطح شکست نمونه ۲٪ نانورس  
( نشان دهنده یکنواختی در اتصال است.)



شکل ۵- ریزنگار میکروسکوپ الکترونی سطح شکست نمونه بدون نانورس  
(نشان دهنده اتصال ضعیف می باشد.)

میزان مقاومت می شود. حتی نمونه هایی که درون آنها از نانورس استفاده شده است مقاومت کمتری نسبت به نمونه های بدون نانورس از خود نشان می دهند. با توجه به

مواد پلاستیکی نظیر پلی اتیلن سنگین از جمله مواد ضربه پذیر می باشند، به همین دلیل با اضافه کردن مواد دیگر به پلاستیک خالص و تغییر ماهیت آن باعث کاهش

پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران. جلد ۲۳. شماره ۲. صفحه ۹۱-۱۰۱.

- ASTM annual book of standard; Testing methods .2007, Philadelphia, PA .U.S.A
- Cai,X, Riedl,B. Zhang.S.Y; Wan,H 2008.The impact pf the nature of nanofillers on the performance of wood polymer nanocomposites.Applied Science and Manufacturing.727-737
- Han.G, Lei .Y, Wu.Q, Kojima.Y, Suzuki.S, 2008 .Bambo-Fiber filled hight density polyethylene composites:effect of coupling treatment and nanoclay J. Polym Environ 16:123-130.
- Hristov,VN; Vasileva , ST; Krumova,M; Lach,R; Michler. 2004. Deformation mechanisms and mechanical properties of Modified polypropylene/wood fiber composites. Polymer composite,Vol25,No.5
- Lei .Y, Wu.Q, Clemons.C.M, Yao.F, Xu.Y; 2007 .Influnce of nanoclay on properties of HDPE/wood composites, J. of Applied Polymer Sience , Vol.106,3958-3966
- Roger, M; Rowell; Anand, R; Sanadi; 2000. Utilization of nautral fibers in plastic composite: problems and opportunities, lignocellulosic / plastic composites. pp: 23-5
- Samal,S.K ; Nayak, S and Mohanty ,S. 2008. Pplypropylene Nanocomposites : Effect of organo-modified layered silicates on mechanical thermal and morphological performance. Journal of Thermoplastic Composite Material,Vol 8, No2,pp: 243-263
- Smith , PM; Wolcat, MP.2006. Opportunities for wood natural fiber / plastic composites in residential and industrial application . forest products journal. Vol 56, No 3,pp: 4-11
- Uddin, Faheem. 2008. Clay, Nanoclays and Montmorillonite Mineral. The Mineral, Metal & Material Society and ASM I nternational
- Wang,H.,C,Zheng.,M,Elkovitch.,L.J, Lee and K.W,Koelling ,2001, Processing and properties of polymeric nanocomposites,Polymer Engineering Science 41(11) , 236-246pp
- Wu,Q.,Lei, Y., Clemons ,C.M., Yao, F., Xu, Y., and Lian, K. 2007.Properties of HDPE/Clay/Wood nanocomposites, Journal of Plastic Technology 27(2),108-115pp

اینکه ذرات نانورس به دلیل عدم تشکیل اتصال نواحی تمرکز تنش و نقاط شروع شکست را ایجاد می کنند، در نتیجه با افزایش مقدار نانورس، میزان مقاومت به ضربه کامپوزیت ها کاهش می یابد، همچنین حضور نانورس انرژی جذب شده توسط کامپوزیت را افزایش می دهد، از این رو افزایش مقدار نانورس مناطقی را در ماتریس پلیمری به وجود می آورد که موجب تمرکز بیشتر تنش شده و رشد ترک را از آن ناحیه آغاز می کند ( Han et al., 2008).

### منابع مورد استفاده

- سرائیان، ا.ر.، ع. ن. کریمی و ا. جهان لتیباری، ۱۳۸۲. ارزیابی ترکیب های شیمیایی کاه گندم (خراسان) و مقایسه این ترکیب های در اجزاء اصلی ساقه، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۶، شماره ۴: ص ۴۶۷-۴۶۰.
- شکریره، م.، سنبلستان، م. ۱۳۸۶. اثر عوامل ساختاری بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیت های پلیمر- خاک رس. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر. سال بیستم، شماره ۲. صفحه ۱۸۷-۱۹۵.
- کرابی، م. قاسمی، ا. محمدی، م. ۱۳۸۶. بهینه سازی و استفاده از پُرکننده های نانو در آمیزه های لاستیکی. پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران. ص ۱۹۱.
- کرد، ب. ۱۳۸۹. بررسی اثر ذرات نانورس بر خواص مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک حاصل از پلی اتیلن سنگین- آرد چوب. مجله پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران. جلد ۲۵. شماره ۱. صفحات ۹۱-۱۰۱.
- نوربخش، الف.، دوست حسینی، ک.، کارگر فرد، الف.، گلبابایی، ف. و حاجی حسینی، ر.، ۱۳۸۷. بررسی تولید WPC با استفاده از ضایعه های کاغذ باطله OCC به روش ریزش کیک. مجله

## Effect of nanoclay on mechanical properties of HDPE/wheat straw composite

Minaei, M.<sup>1</sup>, Safteri, V.R.<sup>2\*</sup>, Nourbakhsh, A.<sup>3</sup>,  
Kargarfard, A.<sup>3</sup> and Moderrahmati, S.<sup>1</sup>

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

2\*-Corresponding Author, Associate Prof., Department of Wood and Paper Science, Karaj Branch Islamic Azad University, Karaj, Iran, Email: vahid.safdari@kiaau.ac.ir

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

Received: Sep., 2011

Accepted: July, 2012

### Abstract

The effect of nanoclay particles addition to composite mixture on mechanical properties of HDPE/ wheat straw powder was studied. The composite compound was prepared using 35% wheat straw as reinforcement, 63% high-density polyethylene (HDPE) and 2% MAPP as coupling agent and different amounts of nanoclay (1%, 2% and 3%) were used. The composite compound was made using a counter-rotating twin-screw extruder and test specimens prepared by injection molding. Results showed that at higher dosages of nanoclay particles, the flexural strength and tensile strength increased. However, the addition of nanoclay particles has led to the decreased impact strength.

**Key words:** Nonoclay, wheat straw, composite, flexural strength, tensile strength, impact strength.