

## تأثیر نانورس بر عملکرد چندسازه پلی اتیلن سنگین / پودر کاه گندم تولید شده با فرایند ذوب دو مرحله‌ای

سینا مدیررحمتی<sup>۱</sup>، منصور مینایی<sup>۱</sup> و احمد جهان لتیباری<sup>۲\*</sup>

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

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

پست الکترونیک: latibari@kiauo.ac.ir

تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۱

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۰

### چکیده

تأثیر افزودن نانورس بر ویژگی‌های مقاومتی چندسازه پلی اتیلن سنگین / کاه گندم بررسی شد. از ترکیب ۷۳٪ پلی اتیلن سنگین، ۲۵٪ کاه گندم و ۲٪ پلی اتیلن مالئیک‌دار شده و افزودن مقادیر ۱، ۲ و ۳٪ نانورس به این ترکیب، چندسازه ساخته شد. ابتدا پلی اتیلن سنگین و نانورس به شکل مذاب با یکدیگر مخلوط شده و بعد این ترکیب پس از سرد و تبدیل به گرانول شدن، همراه با پودر کاه گندم و MAPE مجدداً به صورت مذاب یکدیگر مخلوط شده و نمونه‌های آزمایشی از آن قالب‌گیری شدند. آزمون‌های مکانیکی شامل ویژگی‌های مقاومت کشش، خمش و ضربه فاقدار بر روی نمونه‌ها انجام گردید. نتایج نشان داد که در اثر افزودن نانورس به ترکیب چندسازه، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته خمشی و مدول الاستیسیته کششی افزایش یافت. ولی مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه با افزودن نانورس کاهش پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی: نانورس، چندسازه، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، پودر کاه گندم

### مقدمه

چندسازه‌های چوب پلاستیک از اختلاط مواد پلیمری و سلولزی ساخته می‌شوند. در ساخت این چندسازه‌ها از محدوده وسیعی از پلیمرها به‌عنوان ماده زمینه استفاده می‌شود. این پلیمرها نقش اصلی فاز زمینه و نگهدارنده الیاف و مواد لیگنوسلولزی و همچنین انتقال تنش را دارند. به‌عنوان ماده زمینه از انواع پلیمرهای گرمانرم (پلی پروپیلن، پلی اتیلن سنگین، پلی اتیلن سبک، پلی وینیل کلراید، پلی استیرن) و یا پلیمرهای گرماسخت نظیر

اولین کاربرد مهم فناوری چوب پلاستیک در ایالات متحده مطرح شد و از چندسازه پلی پروپیلن حاوی ۵۰٪ آرد چوب برای ساخت صفحه‌های داخلی فرم‌دهی شده اتومبیل استفاده گردید. متعاقب آن، این فناوری توسعه یافت و علاقمندان زیادی نه تنها در ایالات متحده بلکه در اروپا و حتی در آسیا پیدا کرد. به‌ناچار در این زمینه تحقیق‌ها توسعه و تداوم یافت (درودیان، ۱۳۷۴).

کاربرد ذراتی مانند نانورس، نانو سیلیکا، نانو تیوپ و ... در چوب پلاستیک‌ها افزایش یافته و اکثراً باعث بهبود خواص چندسازه شده است. به طوری در اثر گسترش استفاده از ریز ذرات مانند نانورس و نانو سیلیس؛ محصول‌های تولید شده را قابل استفاده در صنایع هوا فضا نیز کرده است (Han et al., 2008).

Chowdhury و همکاران (۲۰۰۶) و Wu و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیده‌اند که زیادترین مقدار مقاومت خمشی چندسازه‌های پلیمری تقویت شده با ذرات نانورس به هنگام استفاده ۲٪ از نانورس حاصل گردید و نتایج تحلیل دینامیکی - مکانیکی نشان‌دهنده بهبود خواص مکانیکی - گرمایی چندسازه‌ها تحت تأثیر نانورس می‌باشد. همچنین بیان کردند که به هنگام اضافه نمودن ذرات نانورس به مقدار ۲٪ دمای انتقال شیشه‌ای چندسازه به میزان ۹ °C افزایش یافته است.

Wolcott (۲۰۰۳) مطالعه‌ای در خصوص اثر فرمولاسیون ماتریس پلیمری بر خواص مکانیکی چندسازه ساخته شده از آن انجام داد. نامبرده میزان شاخص جریان مذاب HDPE را برای پی بردن به اثر آن بر رفتار خمشی ورقه‌های چندسازه حاصل از عملیات پرس گرم مورد تجزیه قرار داد و نشان داد که MFI<sup>2</sup> کاهش یافته و مقاومت و مدول خمشی بهبود یافته است. همچنین با افزایش مقدار HDPE، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاهش یافت.

Han و همکاران (۲۰۰۸) اثر اختلاط الیاف بامبو با HDPE/ نانورس را بررسی کرده و عنوان کردند که در حالت استاندارد HDPE خالص هر دو مدول خمشی

رزین‌های فنول- فرمالدهید استفاده شده است. علاوه بر ماده زمینه، در چندسازه‌های چوب پلاستیک از دامنه وسیعی از پرکننده‌ها و تقویت‌کننده‌های سلولزی استفاده می‌شود. (Woohhams et al., 1991).

ویژگی‌های چندسازه چوب- پلاستیک‌ها عمدتاً وابسته به ویژگی‌های ماده تقویت‌کننده (الیاف و ذرات چوب و سایر مواد لیگنوسلولزی)، ماده زمینه و ویژگی حفاصل (سطح مشترک) بین آنهاست. بنابراین برای کمک و افزایش پراکنش ماده تقویت‌کننده و بهبود سازگاری و اتصال بین اجزاء چندسازه از جفت‌کننده استفاده می‌شود. بکارگیری جفت‌کننده باعث بهبود خواص مقاومتی مانند ضربه، کشش و مقاومت خمشی می‌شود. (Zhang et al., 2007).

کمبود منابع چوبی و همچنین افزایش قیمت چوب، به افزایش هزینه تولید چوب پلاستیک در بازار جهانی انجامیده است. بنابراین در این صنعت منابع جایگزین شامل طیف گسترده‌ای از پسماندهای کشاورزی مانند باگاس، کنف، ساقه‌گندم، پنبه و مواد بازیافتی مانند الیاف OCC<sup>1</sup> می‌باشد (Faruk and Matuana, 2008). کاه‌گندم یکی از انواع مهم ضایعات کشاورزی است که در کشورهای آسیایی به فراوانی یافت می‌گردد. طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی، سالانه بالغ بر ۱۳ میلیون تن پسماند کاه‌گندم در ایران تولید می‌شود که استفاده از آن در صنایع چندسازه‌های تخریب‌پذیر به دلیل قیمت پایین می‌تواند دارای جذابیت‌های بالایی باشد (فارسی و همکاران، ۱۳۸۸).

اخیراً با توسعه و گسترش فناوری نانو، از این فناوری در چندسازه‌های چوب پلاستیک نیز استفاده شده است.

2-Melt Flow Index

1- Old Corrugated Container

بررسی قرار دادند و عنوان کردند که می‌توان از دو روش برای انتقال ذرات نانورس به زمینه پلی‌اتیلن استفاده کرد. روش اول آمیختن ماده زمینه پلی‌اتیلن سنگین با نانورس و استفاده از این آمیزه به‌عنوان زمینه در ساخت چندسازه (فرایند اختلاط مذاب)<sup>۳</sup> و روش دوم شامل افزودن همزمان نانورس به ترکیب چندسازه آرد چوب/ پلی‌اتیلن در زمان اختلاط خشک (فرایند اختلاط خشک مستقیم)<sup>۴</sup> است. نامبردگان عنوان کردند که فرایند اختلاط مذاب که در آن ترکیب پلی‌اتیلن سنگین/ نانورس به‌عنوان زمینه مورد استفاده قرار گرفته است، بهترین رویکرد در ترکیب نانورس در چندسازه نهایی می‌باشد و استفاده از ۵٪ نانورس بهترین نتیجه را ایجاد کرده است. مقایسه مقاومت خمشی چندسازه‌های ساخته شده با ماده زمینه پلی‌اتیلن سنگین/ نانورس با انواع چوب‌ها نشان داد که سفتی خمشی آنها کمتر از چوب ماسیو بود.

کرد (۱۳۸۸) در تحقیقی تأثیر ذرات نانورس بر خواص مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک حاصل از پلی‌اتیلن سنگین- آرد چوب را بررسی کرده و دریافته است که با افزایش مقدار ذرات نانورس مدول کششی، مقاومت کششی، مدول خمشی و مقاومت خمشی چندسازه چوب پلاستیک افزایش و مقاومت به ضربه کاهش یافت. همچنین مطالعه‌های ساختاری نانو در چندسازه چوب پلاستیک به روش پراکنش اشعه ایکس نشان داد که توزیع ذرات نانورس در زمینه پلیمری از نوع بین لایه‌ای است، و با افزایش مقدار ذرات نانورس فاصله بین لایه‌ها افزایش می‌یابد.

دینامیک و استاتیک افزایش می‌یابد. ولی با افزایش میزان نانورس استحکام ضربه‌ای کاهش پیدا می‌کند. نتایج پراکنش پرتو ایکس<sup>۱</sup> داده‌هایی را نشان داد که هنگامی که ۱٪ نانورس به HDPE خالص و بدون جفت‌کننده MAPE اضافه شود نانورس به‌صورت ورقه ورقه درآمده است. با استفاده از MAPE خواصی مانند مقاومت کششی و مدول خمشی چندسازه‌های HDPE / الیاف بامبو بهبود می‌یابد.

Lei و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی تأثیر نانورس بر ویژگی‌های چندسازه‌های HDPE/ ترکیب‌های چوب را مورد بررسی قرار دادند و عنوان کردند که کاربرد ۲٪ نانورس، دمای کریستال شدن (بلور شدگی)<sup>۲</sup> و میزان آن در HDPE/ پودر چوب کاج را کاهش داده اما ضخامت کریستال تغییر پیدا نکرد. وقتی ۲٪ جفت‌کننده MAPE به ترکیب چندسازه اضافه شد میزان کریستال شدن (تبلور) به مقدار کمی پایین آمد. مقاومت‌های خمشی و کششی HDPE/ پودر چوب کاج با اضافه کردن ۱٪ نانورس حدود ۲۰ تا ۲۴ درصد افزایش یافت. مقاومت به ضربه به واسطه اضافه کردن ۱٪ نانورس تا حدود ۷٪ کاهش یافت، اما با اضافه کردن نانورس بیشتر کاهش مقاومت تداوم نیافت. MAPE پراکنندگی ترکیب‌ها را بهبود بخشید. به طوری که میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در چندسازه‌های HDPE/ پودر چوب کاج در اثر افزودن نانورس کمتر شد و نانورس ثبات حرارتی ترکیب‌ها را بهبود بخشید.

Faruk و Matuana (۲۰۰۸) چندسازه‌های چوب پلاستیک ساخته شده با HDPE و نانو ذرات را مورد

3-Melt Process  
4- Direct Dry Process

1- X-ray Diffraction (XRD)  
2- Temperature of Crystallization (TC)

## مواد و روشها

### مواد

ماده زمینه پلیمری: پلی اتیلن سنگین (HDPE)، محصول شرکت پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۱۱gr/۱۰min و چگالی  $0.954 \text{ g/cm}^3$  استفاده شده است. نانورس: نانورس با کد Closite ۱۵A<sup>+</sup> ساخت شرکت ساترن-کلی، ایالات متحده آمریکا. این نانورس یک مونت مرلیونیت طبیعی است که کمتر از ۱۰ درصد ذرات آن قطری بیش از  $1 \mu\text{m}$  دارد. کاه گندم: پس از آسیاب کردن کاه گندم، پودر تولید شده از الک ۴۰ مش عبور داده شد و ذرات باقی مانده روی الک ۶۰ مش جمع آوری شده و مورد استفاده قرار گرفت.

جفت کننده: از پلی اتیلن مالیک دار (MAPE) ساخت شرکت Merck به عنوان عامل سازگارکننده استفاده شده است.

### آماده سازی مواد و ساخت نمونه

از روش اختلاط مذاب (آمیزه کاری) پلی اتیلن سنگین با نانورس و بعد اختلاط آمیزه جدید به عنوان ماده زمینه ساخت چندسازه کاه گندم- پلی اتیلن سنگین / نانورس استفاده شده است. مخلوط پلی اتیلن سنگین و نانورس به دستگاه Collin مجهز به دو ماردون ناهمسوگرد انتقال یافته و عمل اختلاط انجام شد. دمای مناطق مختلف دستگاه به ترتیب ۱۶۵، ۱۷۰، ۱۷۵ و ۱۸۰ درجه سانتی گراد تنظیم شد. پس از پایان مرحله اختلاط پلی اتیلن سنگین و نانورس، ترکیب جدید به صورت خمیری سفیدرنگ از دستگاه خارج شده و پس از خنک کردن توسط آسیاب Wieser به گرانول تبدیل شد و از این گرانولها برای ساخت چندسازه استفاده شد. گرانولهای پلی اتیلن سنگین / نانورس، کاه گندم و MAPE مجدداً به دستگاه

Collin انتقال یافته و با تنظیم دمای دستگاه در همان دماهای مرحله آمیزه کاری به مخلوط همگن و یکنواختی تبدیل شد. ترکیب جدید پس از خروج از دستگاه Collin و خنک شدن مجدداً توسط آسیاب به گرانول تبدیل شد. گرانولها در اتو قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند. پس از ۲۴ ساعت خشک کردن، از این گرانولها برای ساخت نمونه های آزمون استفاده شد. گرانولهای تولید شده توسط دستگاه قالب گیری تزریقی (Injection Moulding) و شرایط ساخت؛ (دما به ترتیب ۱۶۰-۱۷۰-۱۷۵ درجه سانتی گراد (از محفظه تا نازل)، فشار تزریق ۹۰ bar، فشار بارگیری ۵۰ bar و سرعت چرخش (سرعت بارگذاری) ۶۰ دور در دقیقه) به نمونه های آزمون تبدیل شدند. برای ساخت چندسازه از ترکیب ۷۳٪ پلی اتیلن سنگین، ۲۵٪ آرد گندم و ۲٪ MAPE استفاده شده است. نانورس به میزان ۰، ۱، ۲ و ۳٪ وزنی چندسازه به عنوان عامل متغیر در نظر گرفته شده است.

### اندازه گیری ویژگی های مقاومتی

پس از ساخت نمونه های چندسازه کاه گندم- پلی اتیلن سنگین / نانورس از دستگاه آزمون مقاومت Instron مدل ۴۴۸۶ برای اندازه گیری ویژگی های مقاومتی استفاده شد. آزمون خمش استاتیک طبق دستورالعمل ASTM-D790، آزمون کشش طبق دستورالعمل ASTM-D638، مقاومت به ضربه آیزود (Izod) طبق دستورالعمل ASTM-D256 و با استفاده از دستگاه SANTAM-SIT20D انجام گرفته است.

### طرح آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری داده های این بررسی از روش فاکتوریل در قالب بلوک های کامل تصادفی استفاده

یافته است. ولی وقتی مقدار نانورس تا ۳٪ افزایش می‌یابد، مقاومت خمشی چندسازه به مقدار اندکی کاهش نشان می‌دهد. جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر مقدار پرکننده نانورس بر مقاومت خمشی چندسازه حاصل از پلی اتیلن سنگین و کاه‌گندم در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار است (جدول ۱).

با افزایش مقدار نانورس از ۱ به ۲٪ مدول الاستیسیته خمشی چندسازه افزایش یافته است، در حالی که با افزودن ۳٪ نانورس به ترکیب چندسازه مدول الاستیسیته خمشی چندسازه کمی کاهش یافته ولی کماکان از مدول الاستیسیته خمشی چندسازه بدون نانورس بیشتر است. جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر مقدار پرکننده نانورس بر مدول الاستیسیته خمشی چندسازه حاصل از پلی اتیلن سنگین و کاه‌گندم در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار است (جدول ۱).

گردید. در صورت معنی‌دار شدن اختلاف بین میانگین‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT)<sup>۱</sup> برای گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شد.

## نتایج

تأثیرآمیزه کاری مذاب پلی اتیلن سنگین و نانورس و پس از آن اختلاط ترکیب جدید با MAPE و پودر کاه‌گندم بر ویژگی‌های مقاومتی نمونه‌های چندسازه در شکل ۱ تا ۵ نشان داده شده است. در اثر افزودن مقادیر متفاوت نانورس به ترکیب چندسازه مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مدول کششی و خمشی چندسازه افزایش یافت. ولی با افزودن نانورس مقاومت به ضربه فاقدار کاهش یافت. در جدول ۱ تجزیه واریانس تأثیر مقدار نانورس بر ویژگی‌های مقاومتی چندسازه خلاصه شده است.

## مقاومت و مدول الاستیسیته

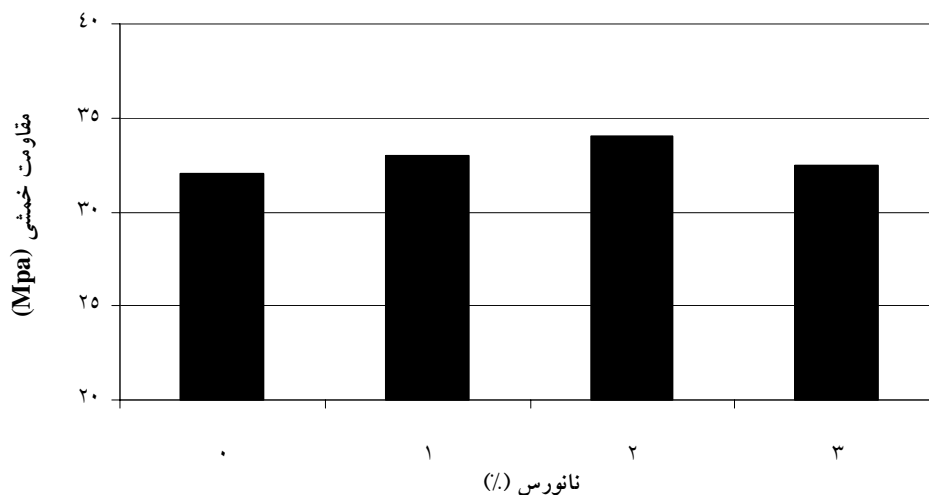
با افزایش مقدار نانورس از ۱ به ۲٪ مقاومت خمشی چندسازه پودر کاه‌گندم / پلی اتیلن سنگین / نانورس افزایش

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر میزان نانورس بر ویژگی‌های چندسازه پلی اتیلن سنگین / کاه‌گندم / نانورس

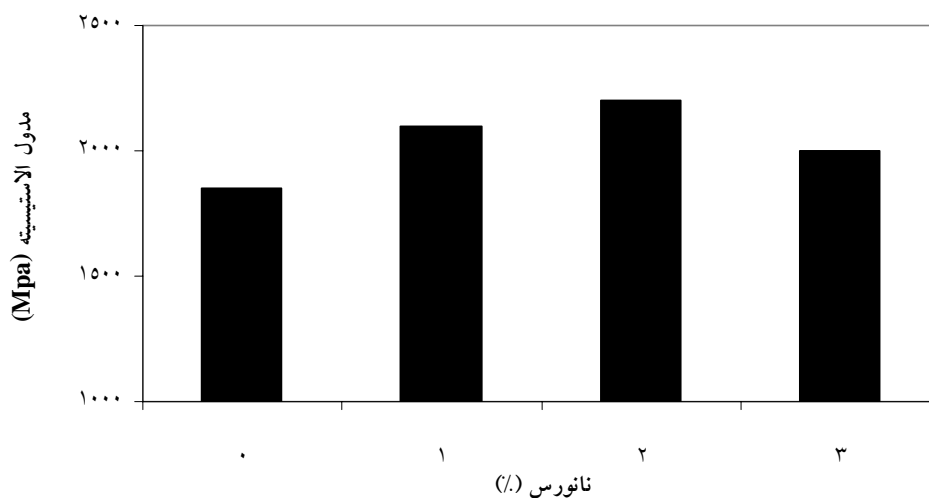
منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی df	میانگین مربعات	F (آماره)	سطح معنی داری
مقاومت خمشی	۸/۴۵۱	۳	۲/۸۱۷	۶/۹۵۶	۰/۰۱۳
مدول خمشی	۳۴۱۵۶۶/۳۳۳	۳	۱۱۳۸۵۵/۴۴۴	۴۷/۵۵۲	۰/۰۰۰
مقاومت کششی	۲/۱۹۷	۳	۰/۷۳۲	۴/۱۰۹	۰/۰۴۹

\*\* معنی داری در سطح اعتماد آماری ۹۹٪؛ \* معنی داری در سطح اعتماد آماری ۹۵٪؛ ns: معنی‌دار نمی‌باشد

1- Duncan Multiple Range Test



شکل ۱- تأثیر مقدار نانورس بر مقاومت خمشی چندسازه کاه گندم/پلی اتیلن سنگین / نانورس

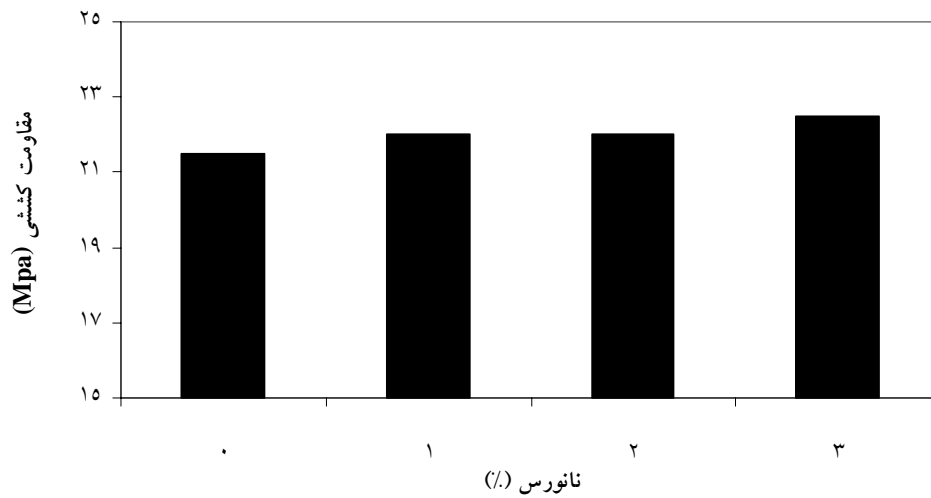


شکل ۲- تأثیر مقدار نانورس بر مدول الاستیسیته خمشی چندسازه کاه گندم/پلی اتیلن سنگین / نانورس

#### مقاومت و مدول الاستیسیته کششی

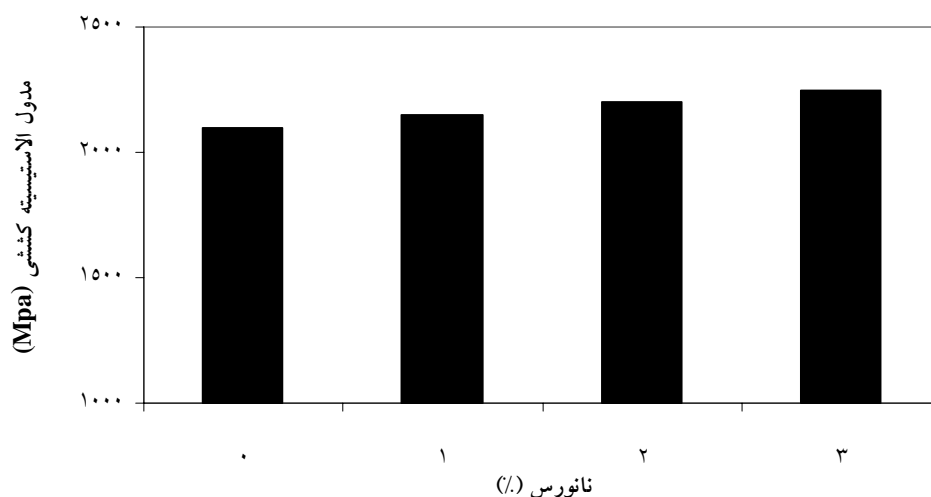
تجزیه واریانس نشان می‌دهد، اثر مقدار پرکننده نانورس بر مقاومت کششی چندسازه پلی اتیلن سنگین و کاه گندم در سطح اعتماد آماری ۹۵٪ معنی‌دار است (جدول ۱).

با افزایش مقدار نانورس مقاومت کششی چندسازه چوب پلاستیک افزایش یافته است. همان‌طور که جدول



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

تأثیر افزودن نانورس بر مدول الاستیسیته کششی چندسازه قابل ملاحظه بوده، به طوری که با افزایش مقدار نانورس از ۱ به ۳٪ مدول کششی چندسازه چوب پلاستیک افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر مقدار پرکننده نانورس بر مقاومت کششی چندسازه حاصل از پلی اتیلن سنگین و کاه گندم در سطح اعتماد آماری بیش از ۹۵٪ معنی دار است (جدول ۱).

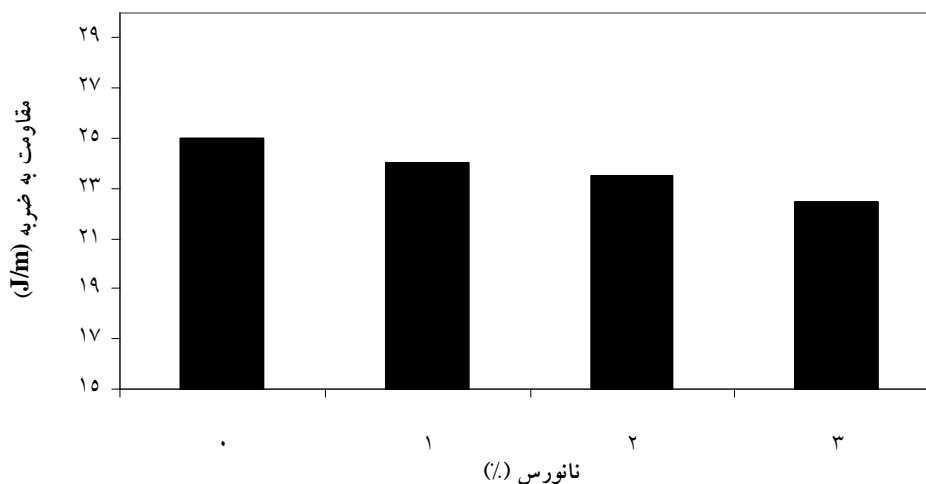


شکل ۴- تأثیر مقدار نانورس بر مدول الاستیسیته کششی چندسازه کاه گندم/پلی اتیلن سنگین / نانورس

## مقاومت به ضربه

شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار نانورس از ۱ به ۳٪ مقاومت به ضربه چندسازه کاهش یافته است. جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر مقدار نانورس

را بر مقاومت کششی چندسازه چوب پلاستیک حاصل از پلی‌اتیلن سنگین و کاه‌گندم در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار است (جدول ۱).



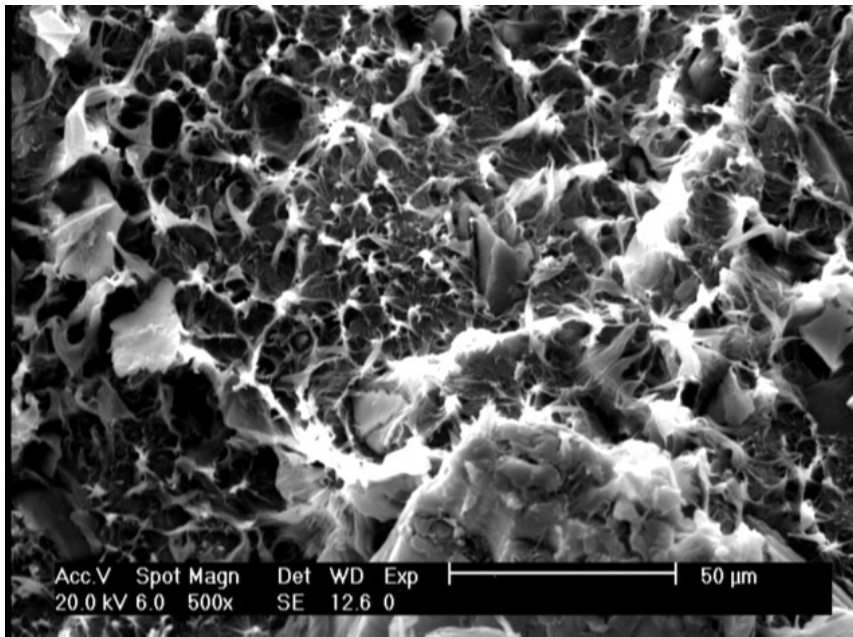
شکل ۵- تأثیر مقدار نانورس بر مقاومت به ضربه چندسازه کاه‌گندم/پلی‌اتیلن سنگین / نانورس

## بحث

در این بررسی نانورس در ترکیب چندسازه مورد توجه قرار گرفته است. زیرا نتایج نشان دادند که وقتی نانورس به ترکیب چندسازه افزوده می‌شود، در نتیجه تورم لایه‌های نانورس و ایجاد چسبندگی سطحی قوی بین پلیمر و نانورس، ویژگی مقاومتی چندسازه افزایش می‌یابد (Asif et al., 2007). به علاوه اینکه در صورت حضور ذرات ریز نانورس در فضاهای خالی بین اجزاء چندسازه و ایجاد بافت فشرده‌تر در آن نیز احتمال زیاد شدن مقاومت‌ها وجود دارد Han و همکاران (۲۰۰۸). همچنین ناهمگونی و نسبت بالای سطح به حجم نانورس با مواد آلی در قابلیت تقویت‌کنندگی زیاد ذرات نانورس نقش دارد. به طوری که ذرات نانورس به‌عنوان تقویت‌کننده

موجب می‌شوند سطح مشترک بین دو فاز افزایش پیدا کند. به همین دلیل، با افزایش مقدار نانورس مقاومت‌خمششی و کششی چندسازه چوب پلاستیک پلی‌اتیلن سنگین / کاه‌گندم افزایش یافته است (Chowdhury و همکاران (۲۰۰۶)، Wu و همکاران (۲۰۰۷)، Han و همکاران (۲۰۰۸)). البته در این زمینه، 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. بنابراین اتصال بین پلی‌اتیلن و نانورس ضعیف‌تر می‌شود، که البته در این بررسی چنین پدیده‌ای مشاهده نشد (شکل ۶).





شکل ۶- ریزنگار میکروسکوپ الکترونی سطح شکست نمونه که نشان‌دهنده یکنواختی در اتصال است

خواهد شد (Samal *et al.*, 2008). به همین دلیل، با افزایش مقدار نانورس مدول الاستیسیته کششی و خمشی چندسازه حاصل از پلی اتیلن سنگین / کاه‌گندم افزایش یافته است، که با نتایج بدست آمده توسط Wan و همکاران (۲۰۰۵)، Han و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. مواد پلاستیکی نظیر پلی اتیلن سنگین از جمله مواد ضربه‌پذیر می‌باشند. بنابراین با اضافه کردن مواد دیگر به پلاستیک خالص و تغییر ماهیت آن مقاومت به ضربه کم می‌شود. نمونه‌هایی که درون آنها از نانورس استفاده شده است مقاومت کمتری نسبت به نمونه‌های بدون نانو از خود نشان می‌دهند. با توجه به اینکه ذرات نانورس به دلیل عدم تشکیل اتصال، نواحی تمرکز تنش و نقاط شروع شکست را ایجاد می‌کنند، بنابراین با افزایش مقدار نانورس، میزان مقاومت به ضربه چندسازه کاهش می‌یابد (Han *et al.*, 2008).

در اثر افزودن نانورس به چندسازه دو ویژگی مدول الاستیسیته خمشی و مدول الاستیسیته کششی چندسازه افزایش یافته است. افزایش مدول الاستیسیته خمشی نانوچندسازه‌های رسی مستقیماً به طول متوسط ذرات نانورس و نسبت ابعاد آنها وابسته است (شکرپه و سنبلستان، ۱۳۸۶). عوامل ساختاری مختلفی نظیر نسبت حجمی، ضریب ظاهری نانورس، فاصله افقی بین ذرات و مقدار درهم‌رفتگی ذرات نانورس نیز بر خواص مکانیکی نانوچندسازه‌های پلیمر-نانورس تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارند (شکرپه و سنبلستان، ۱۳۸۶). معمولاً با افزایش مقدار نانورس، ساختار جدید درهم‌رفته و توده‌ای از نانورس در نانوچندسازه تشکیل می‌شود. در چنین شرایطی ذرات نانورس به دلیل تشکیل اتصال قوی با زمینه پلیمر موجب افزایش مدول در چندسازه می‌شوند. البته پس از حد مشخصی روند افزایشی این ویژگی با افزایش مقدار نانورس کند شده و حتی گاهی معکوس

## منابع مورد استفاده

- Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y. and Suzuki, S., 2008. Bambo-Fiber filled high density polyethylene composites: effect of coupling treatment and nanoclay. *J. Polym Environ* 16:123-130.
- Lei, Y., Wu, Q., Clemons, C.M., Yao, F., Xu, Y., 2007. Influence of nanoclay on properties of HDPE/wood composites, *J. of Applied Polymer Science*, Vol.106, 3958-3966.
- Samal, S.K., Nayak, S. and Mohanty, S., 2008. Polypropylene Nanocomposites: Effect of organo-modified layered silicates on mechanical thermal and morphological performance. *Journal of Thermo plastic Composite Material*, Vol. 8, No2, pp: 243-263.
- Wolcott, A., 2003. Characterization: Fiber composites. *Journal of cellular plastics*, Vol. 32, No5, pp: 449-460.
- Woohams, R., Shiang, L. and Balatinez, J., 1991. Intensive mixing of wood fibers with thermo plastic for injection molded composites. *Wood Plastic Composites Conference*. Madison, Wis., U.S.A.
- Wu, Q., Lei, Y., Clemons, C.M., Yao, F., Xu, Y., and Lian, K., 2007. Properties of HDPE/Clay/Wood nano composites, *Journal of Plastic Technology* 27(2), 108-115pp.
- Yeh, S.K., Gupta, R.K., 2010. Nanoclay-reinforced polypropylene-based wood plastic composites. *Polymer Engineering and Science*. DOI.10.1002/Pen.21729.
- Zhang, S.Y., Zhang, Y., Bousmina, M., Sain, M. and Choi, P., 2007. Effects fiber content and coupling agent content on selected properties of polyethylene/wood fiber composites. *Polymer Engineering and Science* 47(10):1678-1687.
- درودیان، س.، ۱۳۷۴. تکنولوژی و کاربرد مواد چندسازه. تألیف: اندرسن، ای. و لوکس، ب. مرکز نشر دانشگاه تهران.
- شکرپه، 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.
- فارسی، م.، نعیمیان، ن.، هادیان، ح. ۱۳۸۸. خصوصیات مکانیکی چندسازه طبیعی ساخته شده از کاه گندم و پلی پروپیلن سوکسینات. *فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی*. سال چهارم، شماره ۲، صفحه های ۶۹-۸۲.
- 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. صفحه های ۹۱-۱۰۱.
- Asif, A., Roa, L.V. and Ninan, K.N., 2007. Hydroxyl terminated poly(ether ketone) with pendant methyl group-toughened epoxy ternary nanocomposites: preparation, morphology and thermomechanical properties. *Journal Applied Polymer Science* (103), 3793-3799pp.
- ASTM annual book of standard; Testing methods, 2007. Philadelphia, PA .U.S.A.
- Chowdhury, F.H., Hoosur, M.V. and Jeelani, S., 2006. Studies on the flexural and thermo mechanical properties of woven carbon/nanoclay-epoxy laminates. *Material Science and Engineering A*(421), 298-306.
- Faruk, O. and Matuana, L., 2008. Nanoclay reinforced HDPE as a matrix for wood-plastic composites, *Composites Science and Technology* 68, 2073-2077.

## The influence of nanoclay on the performance of HDPE/ wheat straw powder composite produced by two stage mixing process

Modirrahmati, S.<sup>1</sup>, Minaei, M.<sup>1</sup> and Jahan-Latibari, A.<sup>2\*</sup>

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

2\*- Corresponding Author, Associate Prof. Wood and Paper Science and Technology department, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran. Email: latibari.@kia.ac.ir

Received: Sept., 2011

Accepted: May, 2012

### Abstract

Influence of nanoclay addition on the strength properties of HDPE/ Wheat straw powder composite was investigated. Composite compounds were produced using 73% HDPE, 25% wheat straw powder and 2% MAPE and three dosages of nanoclay (1, 2, and 3% of composite compound weight). First, HDPE and nanoclay was melt- mixed and after cooling, the extrudate was milled to fine granules. These granules were then melt compounded with pre-weighted amount of wheat straw powder and MAPE followed by injection molding to produce test specimens. The flexural, tensile and impact strength were measured. Results showed that addition of nanoclay to the composite improved flexural strength and modulus, tensile strength and modulus. However the notched Izod strength was reduced.

**Key words:** Nanoclay, composite, flexural strength, tensile strength, wheat straw powder.

Archive of SID