

تأثیر افزودن نانورس بر ویژگی‌های چوب پلاستیک ساخته شده از ضایعات تخته فیبر نیمه‌سنگین و تخته‌خرده چوب با پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن بازیافتی

جعفر ابراهیم‌پور کاسمانی^{۱*} و سعید مهدوی^۲

*۱- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران، پست الکترونیک: jafar_kasmani@yahoo.com
۲- دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۸

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی ویژگی‌های مکانیکی، گرماسنجی وزنی و ریخت‌شناسی چوب پلاستیک ساخته‌شده از ضایعات تخته‌خرده چوب و تخته فیبر نیمه‌سنگین و دو نوع پلیمر بازیافتی (پلی‌اتیلن سنگین و پلی‌پروپیلن) با افزودن نانورس انجام شد. برای این منظور ۵۰٪ وزنی ضایعات دو نوع تخته مذکور، ۵۰٪ وزنی پلیمر بازیافتی، ۳٪ وزنی انیدرید مالئیک پیوند داده شده با دو نوع پلیمر و نانورس در سه سطح ۳، ۶ و ۹ درصد وزنی، به‌وسیله یک اکسترودر دو ماردون ناهمسوگرد با یکدیگر مخلوط شدند. سپس نمونه‌های آزمایشی استاندارد با استفاده از پرس تزریقی ساخته شده و ویژگی‌های مکانیکی و تخریب گرمایی آنها بررسی شد. به‌منظور بررسی کیفیت پراکنش ذرات نانورس در ماده زمینه پلیمری و همچنین نحوه اتصال ماده لیگنوسولوزی و پلیمری در سطح اتصال از یک میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. نتایج نشان داد مقاومت کششی، خمشی و مدول آنها در چندسازه پلی‌اتیلن بازیافتی و تخته‌خرده‌چوب با افزودن مقدار نانورس تا ۳ درصد وزنی افزایش یافته و بعد کاهش می‌یابد، درحالی‌که برای چوب پلاستیک ساخته شده از پلی‌پروپیلن بازیافتی و تخته‌فیبر نیمه‌سنگین با افزودن نانورس، روند تغییر مقاومت‌ها و مدول آنها کاهش بود. مقاومت به ضربه فاق‌دار چوب پلاستیک با افزودن نانورس همواره کاهش یافته است که حکایت از افزایش سطح شکست چندسازه‌ها دارد. بررسی تصاویر میکروسکوپی نیز نشان داد که با افزودن نانورس از تعداد حفره‌ها و فضاهای خالی کمتر شده اما پراکنش نامناسب و تجمع ذرات نانورس به‌ویژه در سطح ۹٪ محرز است. نتایج آزمون گرماسنجی وزنی حکایت از آن داشت که با افزایش ۳٪ وزنی نانورس، ثبات حرارتی چوب پلاستیک نسبت به شاهد کمی بهبود یافته و مقدار ماده باقیمانده پس از احتراق نیز افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: ضایعات تخته، پلیمر بازیافتی، نانورس، مقاومت، گرماسنجی وزنی، میکروسکوپ روبشی.

مقدمه

محیط‌زیست و منابع طبیعی، قادر است نقش به‌سزایی در تولید محصولات جدید با ویژگی‌های مهندسی شده داشته باشد (Winandy et al., 2004). شباهت‌های نسبتاً زیاد چندسازه‌های چوب - پلاستیک با چندسازه‌های چوبی تخته فیبر نیمه‌سنگین^۱ از یکسو و برخی از مزیت‌های چندسازه

در حال حاضر با وجودی که جهان با کاهش منابع طبیعی تجدیدشونده و تجدیدناپذیر روبرو است ولی کماکان آسیب‌های جبران‌ناپذیر بر پیکره محیط‌زیست طبیعی ادامه دارد. صنایع چوب - پلاستیک به‌عنوان صنعتی جدید، علاوه بر حفظ بهتر

چندسازه به هنگام استفاده از نانورس به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد (Golebiewski & Galeski 2007). خواص مکانیکی نانوچندسازه پلیمری به شدت وابسته به ریزساختار آنها و ریزساختار کامپوزیت به نحوه توزیع نانوذرات در ماتریس پلیمری وابسته است. مدول یانگ و مقاومت کششی با افزایش درصد نانوذرات در نانوکامپوزیت افزایش می‌یابد اما میزان افزایش، با افزایش درصد نانوذره کاهش می‌یابد و علت آن را می‌توان تجمع نانوذرات دانست.

محققان با افزودن آرد چوب و پلیمر در مرحله اول اختلاط و افزودن نانورس در مرحله دوم اختلاط توانستند موجب افزایش مدول چندسازه و کاهش جذب آب با حفظ مقاومت‌های آن شوند (Yeh & Gupta, 2010). Gozdecki و همکاران (۲۰۱۵) افزایش مدول و کاهش مقاومت کششی و خمشی چندسازه‌های ساخته شده از پلی پروپیلن بازیافتی را با افزایش درصد ذرات تخته‌خرده‌چوب ضایعاتی از ۲۰ تا ۶۰ درصد گزارش کرده‌اند.

هدف از این پژوهش، بررسی ویژگی‌های مکانیکی، گرماسنجی و ریخت‌شناسی چندسازه ساخته شده از اختلاط دو نوع پلیمر بازیافتی (PP و HDPE) با ضایعات دو نوع تخته فشرده و مقایسه تأثیر افزودن سه مقدار نانورس بر این چندسازه بازیافتی است. استفاده دوباره از پلیمرهای بازیافت شده به همراه ضایعات دو نوع تخته فشرده، علاوه بر ملاحظات زیست‌محیطی می‌تواند موجبات کاهش مصرف مواد اولیه و افزایش ارزش افزوده را برای محصول تولید شده فراهم کند.

مواد و روش‌ها

تهیه آرد

ابتدا ضایعات تخته فیبر نیمه‌سنگین و تخته خرده‌چوب از چند کارگاه کابینت‌سازی جمع‌آوری و پس از انتقال به آزمایشگاه، توسط یک آسیاب آزمایشگاهی خرد شد. سپس آرد تخته به‌طور جداگانه توسط یک دستگاه الک ارتعاشی^۳

چوب - پلاستیک مانند مقاومت بهتر در برابر رطوبت و عوامل مخرب سبب شده است تا امکان جایگزینی چندسازه چوب - پلاستیک با چوب و محصولات رایج چوبی در ساخت انواع فرآورده‌ها مطرح و مورد توجه قرار گیرد (Kazemi Najafi et al., 2010). البته در این مورد، معایبی مثل افزایش قیمت تمام شده محصول و تخریب‌پذیری طولانی مدت چندسازه‌های چوب - پلاستیک را نباید فراموش کرد. طی سال‌های اخیر، بازیافت ضایعات تخته فیبر نیمه‌سنگین و تخته‌خرده‌چوب به دلیل کاهش منابع جنگلی و افزایش آگاهی عمومی به لحاظ مسائل زیست‌محیطی به‌عنوان یک موضوع مهم مورد توجه قرار گرفته است. در ساخت چندسازه‌های چوب - پلاستیک از پلاستیک‌های بازیافتی و ضایعات تخته‌های فشرده تحقیقاتی تاکنون استفاده شده است (Chaharmahali et al., 2007; Nazerian et al., 2014). پژوهشی کاهش بلورینگی و متوسط جرم مولکولی (افزایش شاخص جریان مذاب) پلیمر با افزایش تعداد دفعات بازیافت تحت تأثیر عوامل ترمومکانیکی گزارش شده است (Incarnato et al., 2003). از بین انواع نانو ذراتی که در ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک استفاده می‌شوند، نانورس به دلیل فراوانی بیش از سایر نانو ذرات برای تقویت پلیمرها مورد توجه قرار گرفته است. نانورس به علت ضریب ظاهری زیاد^۱ در مقایسه با سایر پرکننده‌ها، در مقادیر اندک موجب بهبود خواص چندسازه‌های پلیمری می‌شود (Kord et al., 2014). استفاده از مقادیر کم نانورس می‌تواند خصوصیات فیزیکی و مکانیکی پلیمر را در صورت پخش ذرات رس تا حدودی بهبود بخشد (Le Baillif & Oksman, 2009; Ghani & Ahmad, 2011). البته هر چه نحوه پراکنش ذرات یکنواخت‌تر باشد، محصول از ویژگی‌های بهتری برخوردار است. در تحقیقی پایداری حرارتی چندسازه‌های پلیمری بر پایه پلی پروپیلن - نانورس با روش‌های آنالیز حرارتی^۲ و گرماسنجی روبشی تفاضلی^۳ مطالعه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان نفوذ اکسیژن در

3- Differential scanning calorimetry (DSC)

4- Shaker

1- High aspect ratio

2- Thermogravimetric analysis (TGA)

نانورس

نانورس مورد استفاده از نوع مونت‌موریلونیت ساخت شرکت Sigma-Aldrich با نام تجاری K10 طبق مشخصات جدول ۱ می‌باشد.

بازیافت پلیمرها و فرایند اختلاط

ابتدا دو نوع پلیمر HDPE و PP توسط دستگاه اکسترودر کولین^۴ از نوع دو مارپیچ ناهمسوگرد ساخت کشور آلمان به‌منظور مشابه‌سازی اثر بازیافت به‌ترتیب در دمای ۱۸۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه، سه بار ذوب‌شده و بعد توسط خردکن به‌صورت حبه^۵ در آمدند. حبه‌های جمع‌آوری شده به مدت یک هفته در دسیکاتور قرار گرفت و بعد به‌منظور عدم جذب رطوبت، در کیسه پلاستیکی جمع‌آوری و نگهداری شد. سپس اختلاط پلیمرهای بازیافتی و آرد دو نوع تخته، با نسبت وزنی ۵۰٪ در اکسترودر ناهمسوگرد با همان سرعت انجام شد. سازگار کننده با مقدار ثابت ۳٪ وزنی و نانورس نیز در سه سطح ۳، ۶ و ۹ درصد طبق جدول ۲ به مخلوط پلیمر و آرد تخته افزوده گردید. ماده خروجی حاصل از اختلاط، دوباره توسط خردکن نیمه‌صنعتی به حبه تبدیل شد. سپس حبه‌های به‌دست‌آمده از هر ترکیب اختلاط (طبق جدول ۲) به مدت ۲۴ ساعت در خشک‌کن با دمای ۸۰°C خشک گردید.

ساخت نمونه‌های آزمونی

حبه‌های به‌دست‌آمده از مرحله اختلاط مواد، توسط دستگاه قالب‌گیری تزریقی نیمه‌صنعتی مدل MPC-40 با دمای سیلندر ۱۵۰ تا ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد (با گام دمایی ۵ درجه سانتی‌گراد) و فشار تزریق ۸۰ bar ساخت شرکت اصلانیان برای ساخت نمونه‌های آزمونی استفاده شدند. نمونه‌های آزمونی ساخته شده برای رسیدن به رطوبت تعادل به مدت دو هفته در شرایط محیطی استاندارد (دمای ۲۰

با عبور دادن ذرات از الک ۴۰ مش و باقیمانده روی الک ۶۰ مش تهیه شد. آرد تخته تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای 103 ± 2 °C قرار گرفت تا خشک شود. لازم به ذکر است که مصرف چسب در تخته‌خردده چوب حدود 100 kg/m^3 و برای تخته فیبر نیمه‌سنگین تولید داخل کشور حدود 130 kg/m^3 می‌باشد.

مواد پلیمری

به دلیل امکان وجود ناخالصی در پلیمرهای بازیافتی موجود در بازار، پلی‌اتیلن سنگین (HDPE) از شرکت بازرگانی پتروشیمی اراک با کد ۵۲۵۱۸ و شاخص جریان مذاب 20 g/10 min و چگالی 0.956 g/cm^3 و پلی‌پروپیلن خام با شاخص جریان مذاب 18 g/10 min و چگالی 0.952 g/cm^3 از همین شرکت با نام تجاری V30S تهیه شد.

سازگار کننده

به‌منظور بهبود چسبندگی بین پلیمر آب‌گریز (غیر قطبی) و ذرات آبدوست (قطبی) تخته‌ها از سازگارکننده‌های پلی‌پروپیلن^۱ و پلی‌اتیلن مالئیک‌دار^۲ ساخت شرکت کرانگین با شاخص جریان مذاب 7 g/10 min و 11 g/10 min به مقدار ۳٪ وزنی پلیمرهای بازیافت شده، استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات نانورس K10

ویژگی‌ها	K10
اصلاح‌کننده آلی ^۳	MT2EtOH
ماده پایه	Montmorillonite
چگالی	۳۷۰-۳۰۰ kg/m ³
نوع آنیون	کلرید
غلظت اصلاح‌کننده	۴۸ meq/۱۰۰ g
مقدار رطوبت	۱-۲٪
کاهش جرم پس از سوختن	۳۰٪

- 1- Maleic Anhydride-Grafted-polypropylene (MAPP)
 2- Maleic Anhydride-Grafted-polyethylene (MAPE)
 3- MT2EtOH: Methyl, tallow, bis-2-hydroxyethyl, quaternary ammonium

4-Collin
 5-Granule

این استانداردها، ابعاد نمونه‌های کششی $4 \times 10 \times 145$ میلی‌متر، نمونه‌های خمشی $5 \times 13 \times 105$ میلی‌متر و نمونه‌های ضربه فاق دار $4 \times 10 \times 145$ میلی‌متر بودند.

درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی (۶۵٪) قرار گرفت. برای انجام آزمون‌های کشش، خمش و مقاومت به ضربه فاق دار به ترتیب از استانداردهای ASTM D-638-10، ASTM D-790-10 و ASTM D-256-10 با ۳ تکرار استفاده شد. طبق

جدول ۲- درصد اجزای کامپوزیت چندسازه در تیمارهای مختلف

ترکیب اختلاط	سازگارکننده (%)	نانورس (%)	کد تیمار
rPB rPE M	۳	۰	۱
rPB rPE M N 3%	۳	۳	۲
rPB rPE M N 6%	۳	۶	۳
rPB rPE M N 9%	۳	۹	۴
rMDF rPP M	۳	۰	۵
rMDF rPP M N 3%	۳	۳	۶
rMDF rPP M N 6%	۳	۶	۷
rMDF rPP M N 9%	۳	۹	۸

تهیه عکس میکروسکوپی

به منظور بررسی کیفیت پراکنش ذرات نانورس در ماده زمینه پلیمری و همچنین نحوه اتصال ماده لیگنوسولوزی و پلیمری در سطح اتصال از یک میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل JXA-۸۴۰، ساخت شرکت JEOL کشور ژاپن استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون تجزیه واریانس داده‌ها و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. در صورت معنی دار شدن اختلاف بین میانگین‌ها، گروه‌بندی آنها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن، با سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گردید.

آزمون گرماسنجی وزنی^۱

برای انجام این آزمون، نمونه‌هایی با جرم حدود ۵ تا ۷ میلی‌گرم از چندسازه‌های تهیه شده طبق تیمارهای ۱، ۴، ۵ و ۸ در دستگاه TGA مدل Pyris1 شرکت Perkin Elmer پژوهشگاه پلیمر قرار داده شدند. این آزمون در مجاورت گاز نیتروژن انجام می‌شود تا از اکسایش مواد جلوگیری کند. افزایش دمای نمونه‌ها از ۲۵ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت $15^\circ\text{C}/\text{min}$ بود و کاهش جرم نمونه‌ها در مدت افزایش دما توسط دستگاه ثبت شد.

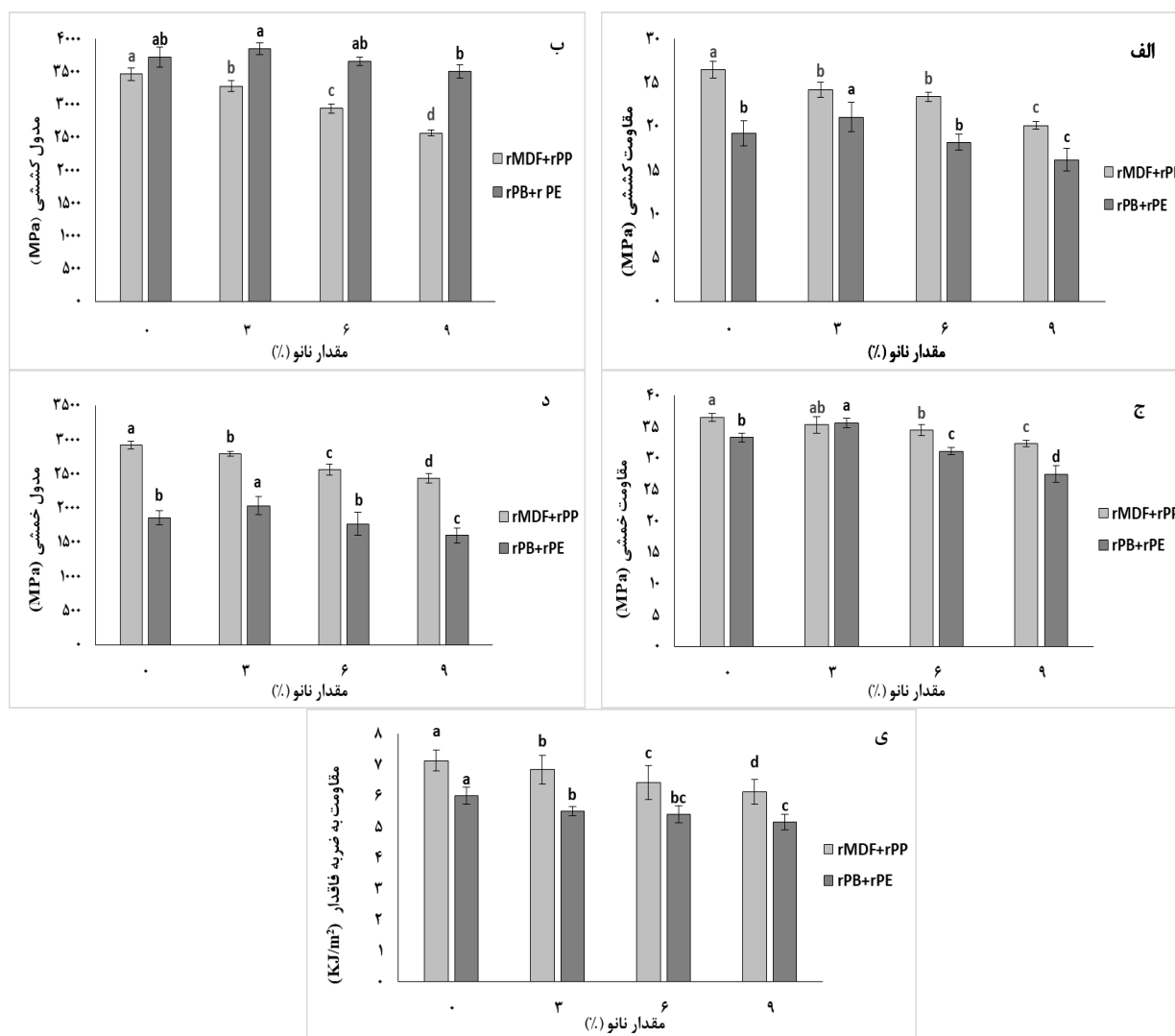
نتایج

در جدول ۳ تجزیه واریانس داده‌های مربوط به مقاومت‌های دو نوع چندسازه ساخته شده آورده شده است. با مقایسه مقدار F محاسبه شده و جدول معلوم شد که اثر نانورس بر مقاومت و مدول کششی، مقاومت و مدول خمشی و مقاومت به ضربه فاق دار در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی دار شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس (مقدار F و سطح معنی داری) اثر نانورس بر مقاومت‌های چندسازه

منبع	متغیر	کششی (مگا پاسکال)		خمشی (مگا پاسکال)		مقاومت به ضربه فاق‌دار
		مقاومت	مدول	مقاومت	مدول	
چندسازه پلی پروپیلن و تخته‌فیبر		*۳۹/۶۵۳	*۷۲/۲۴۷	*۹/۶۱۶	**۳۶/۸۸۵	**۸۷/۰۰۰
چندسازه پلی اتیلن و تخته‌خرده‌چوب		*۱۰/۸۰۵	*۵/۸۴۶	**۵۲/۳۳۶	*۴/۵۷۳	*۱۲/۴۳۵

** : اختلاف با سطح اطمینان ۹۹٪ معنی دار است. * : اختلاف با سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار است.



شکل ۱- ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده با مقادیر مختلف نانورس

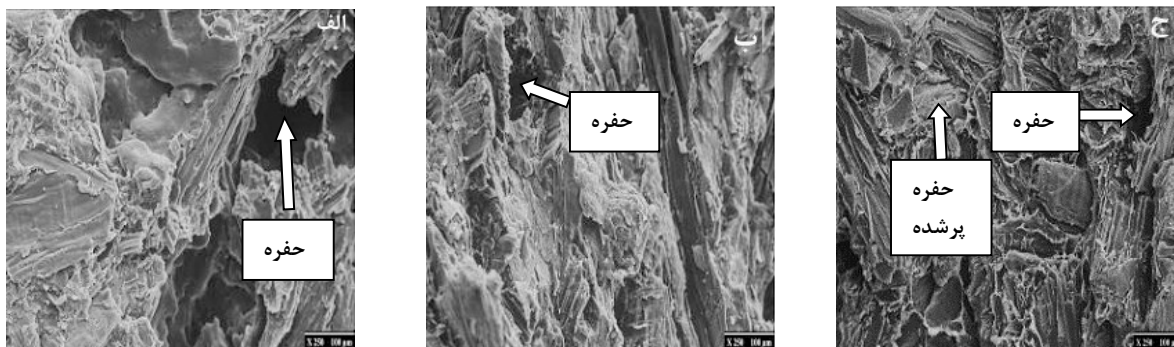
الف) مقاومت کششی، ب) مدول کششی، ج) مقاومت خمشی، د) مدول خمشی، ی) مقاومت به ضربه فاق‌دار

شده از ترکیب اختلاط rMDF+rPP و با استفاده از ۹٪ وزنی نانورس به دست آمد (شکل ۱-ب). بیشترین مدول خمشی چندسازه‌ها از ترکیب اختلاط rMDF+rPP بدون افزودن نانورس و کمترین مدول خمشی از ترکیب اختلاط rPB+rPE با افزودن ۹٪ نانورس حاصل شده است (شکل ۱-ج).

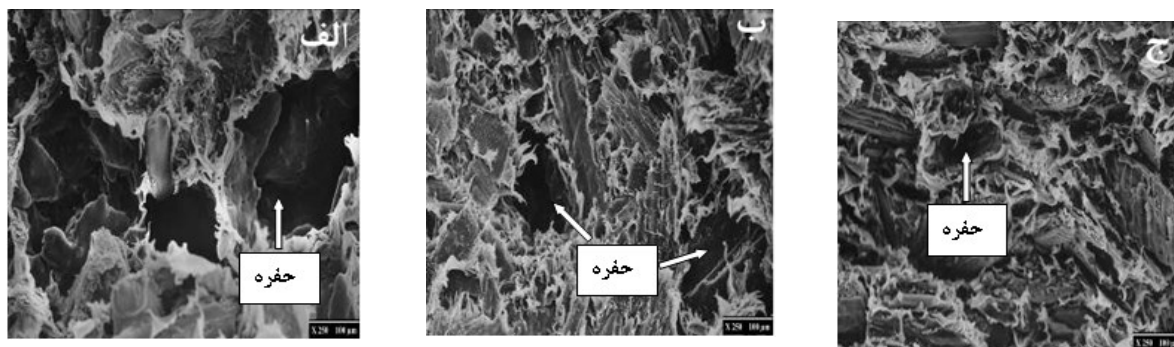
ریخت‌شناسی چندسازه

تصاویر ساختار میکروسکوپی چندسازه‌های حاوی ۵۰ درصد آرد تخته‌های بازیافتی با افزودن ۳، ۶ و ۹ درصد نانورس را نشان می‌دهند (شکل‌های ۲ و ۳). این شکل‌ها به وضوح نشان‌دهنده تفاوت در ساختار چندسازه‌های تولید شده با تغییر سطوح مقدار نانورس هستند.

مقاومت‌ها و مدول چندسازه‌ها
آزمون دانکن میانگین مدول و مقاومت‌های چندسازه‌های ساخته شده با سطوح مختلف مقادیر نانورس را در گروه‌های مستقل و وابسته متفاوتی قرار داده است (شکل ۱). بیشترین مقدار مقاومت‌های چندسازه‌ها مربوط به اختلاط ضایعات تخته‌فیبر نیمه‌سنگین و پلی‌پروپیلن بازیافتی (rMDF+rPP) است که فاقد نانورس است. کمترین مقدار این مقاومت‌ها مربوط به چندسازه‌های ساخته شده از ضایعات تخته‌خرده‌چوب و پلی‌اتیلن بازیافتی (rPB+rPE) با استفاده از ۹ درصد وزنی نانورس می‌باشد. بیشترین مقدار مدول کششی چندسازه‌ها از ترکیب اختلاط rPB+rPE و با افزودن ۳٪ نانورس و کمترین مدول کششی برای چندسازه ساخته



تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ترکیب اختلاط rMDF+rPP با (الف) ۳٪ نانورس، (ب) ۶٪ نانورس، (ج) ۹٪ نانورس



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ترکیب اختلاط rPB+rPE با (الف) ۳٪ نانورس، (ب) ۶٪ نانورس، (ج) ۹٪ نانورس

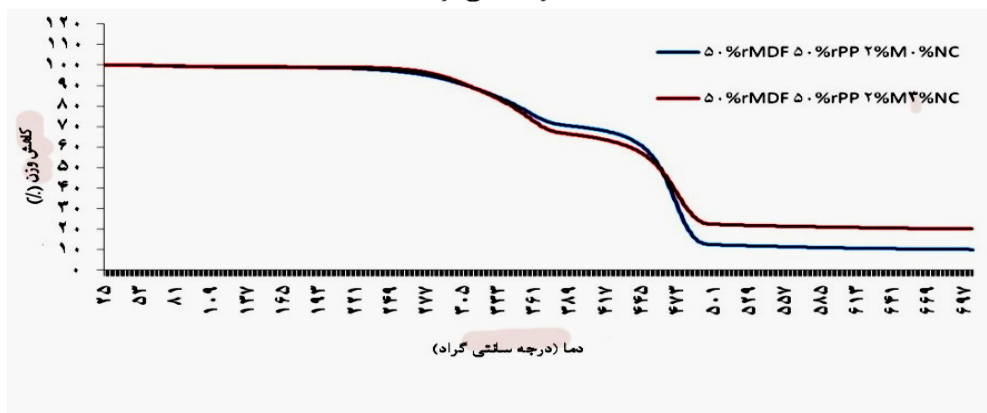
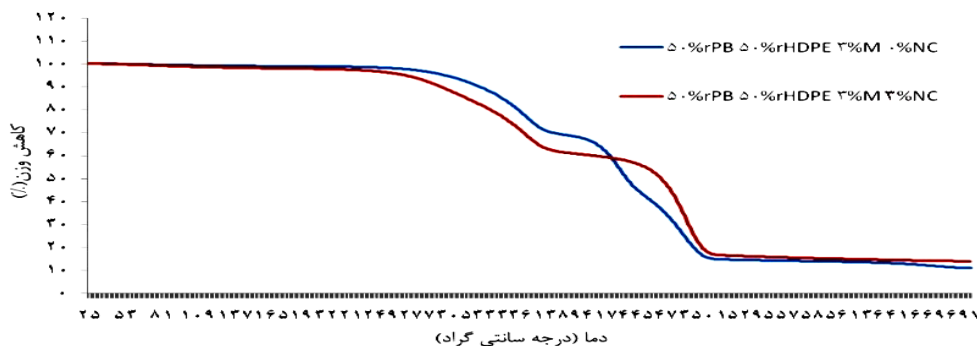
گرماسنجی وزنی

جدول ۴ نشان‌دهنده دمای تخریب اولیه (Ti)، حداقل و حداکثر دمای پیرولیز (Tmax, Tmin)، دمای تخریب در درصدهای مختلف کاهش جرم (TD) و جرم باقیمانده (%RW) برای دو نوع چندسازه ساخته شده بدون نانورس و ۳ درصد نانورس می‌باشد. با افزودن ۹ درصد نانورس، دمای

تخریب اولیه و دمای پیرولیز تا حدودی افزایش یافته و بالطبع جرم ماده باقیمانده بیشتر است. به عبارت دیگر نانورس تا حدودی ثبات حرارتی چندسازه‌ها را افزایش داده است. شکل ۳ روند کاهش وزن نمونه شاهد و چندسازه‌های دارای ۳ درصد نانورس را با افزایش دما نشان می‌دهد.

جدول ۴- آنالیز گرمایی نانو کامپوزیت چوب پلاستیک و نانورس

وزن ماده باقیمانده در دمای ۶۰۰ °C	دمای تخریب (TD) در درصدهای مختلف کاهش جرم (%)				حداکثر دمای پیرولیز (Tmax)	حداقل دمای پیرولیز (Tmin)	دمای تخریب اولیه (Ti)	ترکیب اختلاط	تیمار
	%۸۰	%۶۰	%۴۰	%۲۰					
۱۱/۱۲	۴۹۰	۴۵۸	۴۲۵	۳۵۵	۵۲۰	۳۹۱	۲۱۲	rPB rPE M	۱
۱۴/۰۵	۴۹۶	۴۷۷	۴۱۲	۳۳۳	۵۴۶	۴۰۳	۲۲۹	rPB rPE M N 3%	۴
۱۰/۱۳	۴۸۱	۴۶۶	۴۴۶	۳۴۶	۵۱۵	۳۰۶	۱۸۱	rMDF rPP M	۵
۲۰/۱۱	۷۰۰	۴۶۹	۴۳۵	۳۴۳	۵۱۷	۳۱۲	۲۰۳	rMDF rPP M N 3%	۸



شکل ۳- نمودار مربوط به آزمون گرماسنجی وزنی دو نوع چندسازه با نانورس و بدون آن

بحث

مقایسه مقاومت‌های خمشی و ضربه فاق‌دار ترکیب اختلاط rMDF+rPP بدون نانو نسبت به همین مقاومت‌ها برای ترکیب آرد چوب و پلی‌پروپیلن ۲ بار بازیافت شده (Chaharmahali *et al.* 2007) به ترتیب حدود ۱۲ و ۲۰ درصد بیشتر است. روند تغییرات مقاومت کششی با افزایش مقدار نانورس برای ترکیب اختلاط rMDF+rPP همواره نزولی بوده اما برای ترکیب اختلاط rPB+rPE تا افزودن ۳٪ نانورس ابتدا صعودی و بعد نزولی است. Madhoushi و همکاران (۲۰۱۳) بهبود مدول و مقاومت‌های کششی و خمشی چندسازه را تا ۲٪ افزایش نانورس به علت پراکنش نسبتاً یکنواخت نانورس در ماتریس گزارش نموده‌اند. همچنین اضافه کردن نانورس بیشتر از یک مقدار معین (۳٪ وزنی)، باعث اثرهای منفی بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه بامبو شد که احتمالاً به علت مهاجرت نانورس به فصل مشترک الیاف بامبو و HDPE بوده است (Han *et al.* 2008). برخی محققان نیز در مورد تأثیر قابل توجه افزایش ضریب ظاهری نانوذرات بر افزایش مقاومت‌های کششی و خمشی چندسازه مطالبی گفته‌اند (Kord *et al.* 2017). در این مطالعه چنین به نظر می‌رسد که کاهش استحکام مکانیکی چندسازه rPB+rPE با افزودن نانورس بیشتر از ۳٪ نیز به دلیل غالب شدن درهم‌رفتگی و کلوخه شدن نانورس اتفاق افتاده است. همان‌طور که سایر تحقیقات نیز نشان داده‌اند، یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر خواص مکانیکی چندسازه، قابلیت ترشوندگی ماده لیگنوسلولزی توسط ماده زمینه پلیمری و کیفیت سطح اتصال آنها می‌باشد (Kord *et al.* 2017). یعنی می‌توان گفت عملکرد پلی‌اتیلن بازیافت شده با ذرات تخته‌خرده‌چوب تا حدودی نسبت به پلی‌پروپیلن بازیافت شده با ذرات تخته‌فیبر بهتر است. همچنین مشاهده می‌شود که افزایش مقدار نانورس به دلیل ایجاد و افزایش تمرکز تنش موجب کاهش مقاومت به ضربه چندسازه شده است (Han *et al.*, 2008; Yeh & Gupta, 2010). از سوی دیگر، شکنندگی چندسازه با افزایش مقدار نانورس بیشتر شده و انرژی کمتری جذب می‌شود (Gu *et al.*, 2015).

آنان علت افزایش مدول را بیشتر بودن مدول الاستیسیته چوب نسبت به پلیمر و افزایش سفتی می‌دانند. علت کاهش مقاومت‌ها نیز کاهش چسبندگی در فصل مشترک بین پلیمر آب‌گریز و ضایعات تخته آبدوست با وجود استفاده از سازگارکننده ذکر شده که قادر به حمایت از تنش‌های انتقال یافته از ماتریس نمی‌باشد.

همچنین تصاویر میکروگراف الکترونی نشان داد که با افزایش درصد نانورس، منافذ و فضاهای خالی به تدریج کاهش یافته، به طوری که با افزودن ۹ درصد نانورس، از تعداد حفره‌ها به‌طور قابل توجهی کاسته شده و فضای خالی کمتری در چندسازه به چشم می‌خورد.

همان‌طور که در نمودارهای شکل ۳ مشاهده می‌شود منحنی تخریب دمایی نانو چندسازه به دو مرحله تقسیم می‌شود، مرحله اول مربوط به تخریب الیاف چوبی و مرحله دوم مربوط به تخریب پلیمر می‌باشد. به دلیل ثبات حرارتی بهتر نانورس، دمای تخریب چندسازه در مرحله دوم افزایش می‌یابد. این موضوع احتمالاً به دلیل آزادسازی ترکیباتی است که در ذرات نانو وجود دارد مثل خاکستری که حاصل ترکیبات معدنی ذرات نانو است (Yeh & Gupta, 2010). با افزودن نانورس، پایداری حرارتی چندسازه افزایش یافته که از جمله دلایل آن: ۱- قابلیت هسته‌سازی ذرات نانورس با ایجاد بلور (کریستال)، ۲- لایه نانورس به دلیل ایجاد درهم‌رفتگی دالان‌هایی ایجاد می‌کند که انتقال گرما را به تأخیر انداخته و باعث افزایش پایداری حرارتی می‌شود، ۳- همان‌طور که در نتایج مشخص است (جدول ۴)، با افزودن نانورس وزن ذغال باقیمانده افزایش یافته که حکایت از بهبود پایداری حرارتی دارد.

نتیجه‌گیری

این تحقیق به بررسی تأثیر میزان نانورس بر ویژگی‌های مکانیکی، گرماسنجی و ریخت‌شناسی نانو چندسازه ساخته شده از آرد ضایعات تخته‌فیبر نیمه‌سنگین با پلی‌پروپیلن بازیافتی و تخته‌خرده‌چوب با پلی‌اتیلن سنگین پرداخته و نتایج زیر حاصل شده است.

با افزایش مقدار نانورس تا ۳ درصد وزنی، مقاومت کششی

- Characteristics of wood-plastic composites reinforced with organo-nanoclays, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(24): 3566-3586.
- Han, G. Lei, Y. Wu, Q. Kojima, Y. and Suzuki, S., 2008. Bamboo-fiber filled high density polyethylene composites; effect of coupling treatment nanoclay. *Journal of Polymer Environment*, 16(2): 123-130.
- Incarnato, L., Scarfato, P., Acierno, D., Milana, M. R., and Feliciani, R., 2003. Influence of recycling and contamination on structure and transport properties of polypropylene, *Journal of Applied Polymer Science* 89(7), 1768-1778. DOI: 10.1002/app.12168
- Kazemi Najafi, S. Marzenaki, M. and Chaharmahali. M., 2010. Effect of Virgin and Degraded Polypropylene Blends on Properties of Wood Flour-Polypropylene Composites. *Journal of Forest and Wood Products (JFWP)*, 63(1): 47-59.
- Kord, B., Ekrami, M., Roohani, M., 2014. Effect of nanoclay particles content on the mechanical properties of wood flour-polypropylene composites using dynamic mechanic thermal analysis, *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 5(2): 15-26.
- Kord, B., Ravanfar, P., Ayrimis, N., 2017. Influence of organically modified nanoclay on thermal and combustion properties of bagasse reinforced HDPE nanocomposites, *Journal of Polymers and the Environment*, 25(4): 1198-1207.
- Le Baillif, M., and Oksman, K., 2009. The effect of processing on fiber dispersion, fiber length, and thermal degradation of bleached sulfite cellulose fiber polypropylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 22(2): 115-133.
- Madhoushi, M., Chavooshi, A., Ashori, A., Ansell, M.P., and Shakeri, A., 2016. Properties of wood plastic composite panels made from waste sanding dusts and nanoclay, *Journal of Composite Materials*. 0(0): 1-9.
- Nazerian, M., Dalirzadeh, A., Farokhpayam, S.R., 2014. The effect of old corrugated container (OCC) powder and as urea formaldehyde adhesive filler on properties of medium density fiberboard made from bagasse and waste MDF, *Iranian journal of wood and paper science research*, 29(3): 452-463.
- Winandy, J.E. Stark, N.M. and Clemons, C.M., 2004. Considerations in recycling of wood-plastic composites. In: *Proceedings of Five Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium*. April 27-28, Kassel, Germany, pp. A6-1- A6-9.
- Yeh, S. and Gupta, R.K., 2010. Nanoclay- Reinforced, Polypropylene-Based Wood-Plastic Composites. *Polymer Engineering and Science*. 50(10): 2013-2020.
- و خمشی و مدول آنها در چندسازه‌های ساخته شده از پلی اتیلن و تخته‌خرده‌چوب افزایش یافته، سپس با افزایش مقدار نانورس تا سطح ۹ درصد وزنی، این خواص کاهش یافته است.
- در چندسازه‌های ساخته شده از تخته‌فیبر نیمه‌سنگین و پلی‌پروپیلن، با افزایش مقدار نانورس تا سطح ۹ درصد وزنی، همه مقاومت‌ها و مدول آنها کاهش یافته‌اند. اختلاط مواد طی دو مرحله (نانورس در مرحله دوم) شاید بتواند با حفظ مقاومت‌ها، افزایش مدول را نیز در این تحقیق موجب شود.
- با افزودن نانورس، مقاومت به ضربه فاق‌دار چندسازه‌ها همواره روندی رو به کاهش داشته است که حکایت از افزایش سفتی و شکنندگی چندسازه‌ها دارد.
- بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که با افزایش نانورس حفره‌ها و فضاهای خالی چندسازه کمتر شده که می‌تواند در برابر نفوذ اکسیژن و سایر گازها ممانعت بهتری ایجاد کند اما به دلیل پراکنش نامناسب از استحکام چندسازه بکاهد.
- با افزایش ۳٪ وزنی نانورس، ثبات حرارتی چندسازه کمی بهبود و وزن ماده باقیمانده حاصل از سوختن آن افزایش می‌یابد.

منابع مورد استفاده

- Chaharmahali, M. Kazemi-Najafi, S. and Tajvidi, M., 2007. Effect of Blending Method on the Mechanical Properties of Wood-Plastic Composites. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 20(4): 361-367.
- Ghani, M.H.A., and Ahmad, S., 2011. The comparison of water absorption analysis between counterrotating and corotating twin-screw extruders with different antioxidants content in wood plastic composites. *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2011, Article ID 406284, 4 pages.
- Golebiewski, J., and Galeski, A., 2007. Thermal stability of nanoclay polypropylene composites by simultaneous DSC and TGA, *Compos. Sci. Techn.* 67(15-16), 3442-3447. DOI:10.1016/j.compscitech.
- Gozdecki, C., Wilczyński, A., Kociszewski, M. and Zajchowski, S., 2015. Properties of wood-plastic composites made of milled particleboard and polypropylene, *European journal of wood and wood products*, 73(1): 87-95.
- Gu, R., Kokta, B.V., Michalkova, D., Dimzoski, B., Fortelny, I., Slouf, M., Krulis, Z. 2010.

The effect of the addition of nanoclay on the properties of WPC made of MDF and wood composite board wastes with recycled polyethylene and polypropylene

J. Ebrahimpour Kasmani^{1*} and S. Mahdavi²

1*- Corresponding author, Associate prof., Department of Wood and Paper Engineering, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran; Email: Jafar_kasmani@yahoo.com, Mobile: 09112178035

2-Associate prof., Wood and Forest Products Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Received: Oct., 2019

Accepted: Jan., 2020

Abstract

This research was carried out with aim of investigating the effect of nano-clay (NC) addition to wood plastic composite (WPC) compound made of medium density fiberboard (MDF) and particleboard (PB) wastes and recycled polypropylene and polyethylene (HDPE) on its mechanical, thermogravimetric (TGA) and morphological properties of. For this purpose, MDF and PB waste at 50 wt.% , recycled PP and HDPE at 50 wt.%, maleic anhydride grafted with polymers at 3 wt.% and nanoclay at three different levels 3, 6, and 9 wt.% were blended using twin roll extruder. Then, standard test pieces were made using an injection molding machine and their mechanical properties and TGA thermograms were determined. Scanning electron microscope (SEM) was used to investigate the quality of nanoclay particles dispersion in the matrice as well as the lignocellulosic and polymers bonding. The results showed that tensile and flexural strength and their modulus of HDPE and PB composite significantly were increased by adding NC up to 3 wt.%, but the strengths were dropped in WPC's by increasing of NC content at 6 and 9 wt.%. The notched impact strength of WPC was decreased by NC addition indicating higher fracture surface on WPC's. SEM micrographs revealed that porosity and cavities in WPC's were decreased at 9 wt. % NC, whereas clearly showing inappropriate dispersion and aggregation of NC in WPC. The thermal stability of WPC's was slightly improved at 3 wt. % NC and the residual after combustion increased compared to the control.

Keywords: Waste of boards, recycled polymer, nano-clay, strength, thermogravimetry, SEM.