

تأثیر نانو ولاستونیت بر خواص خمشی و مقاومت به آتش در چندسازه آرد چوب و پلی پروپیلن

وحید تذکر رضایی^۱، عبدالله نجفی^۲ و احمد سینایی^{۳*}

۱- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

۳- نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

پست الکترونیک: Ahmadsinaie1@yahoo.com

تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: خرداد ۱۳۹۴

چکیده

در این تحقیق اثر نانو ولاستونیت بر خواص خمشی و مقاومت به آتش چندسازه چوب پلاستیک آرد چوب و پلی پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت. آرد چوب از گونه راش به میزان ۶۰٪، پلی پروپیلن به عنوان ماتریس پلیمری به میزان ۳۷٪ و پلی اتیلن پیوند شده با مالئیک انیدرید به عنوان ماده سازگارکننده به میزان ۳٪ وزن کل به کار گرفته شد. همچنین ماده نانو ولاستونیت در چهار سطح ۱، ۳، ۵ و ۱۰ درصد وزن خشک چوب استفاده گردید. نمونه‌ها با ابعاد $25 \times 20 \times 1$ سانتی‌متر و دانسیته 1 g/cm^3 با روش پرس گرم تهیه شد. مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته مطابق با استاندارد ASTM و خواص مقاومت به آتش شامل مدت‌زمان شعله‌وری، مدت‌زمان دوام شعله، مدت‌زمان گدازش و کاهش جرم بر اساس استاندارد ISO ۱۱۹۲۵ اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص گردید که با افزایش ماده نانو ولاستونیت مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و مدت‌زمان شعله‌وری افزایش، ولی کاهش جرم، مدت‌زمان دوام شعله و مدت‌زمان گدازش کاهش می‌یابد. به منظور بررسی چگونگی پراکنش ذرات نانو ولاستونیت از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: چندسازه چوب پلاستیک، نانو ولاستونیت، مقاومت به آتش، پرس گرم، میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان.

مقدمه

بهره‌برداری از جنگل‌ها باید پسماندها و ضایعات سلولزی مورد استفاده قرار گیرد تا علاوه بر صرفه‌جویی اقتصادی به حفظ محیط‌زیست و منابع طبیعی نیز کمک گردد و از مواد بازیافتی می‌توان در تولید چندسازه چوب پلاستیک به صورت گسترده استفاده کرد. از مزایای عمده آن می‌توان به پایداری ابعاد، بهبود مقاومت در برابر قارچ‌زدگی و حمله

چندسازه‌های چوب پلاستیک از جمله مواد جدید هستند که در سالیان اخیر به طور جدی مورد توجه قرار گرفته‌اند که از ترکیب الیاف سلولزی و پلیمرهای پلاستیکی تشکیل می‌شوند. ترکیب فوق هر دو خواص ماده چوبی و پلاستیکی را باهم دارد، همچنین به دلیل کمبود منابع چوب و کاهش

با محیط‌زیست می‌باشد. نانولولاستونیت غیرقابل احتراق و اشتعال بوده که می‌تواند به‌عنوان یک ماده مناسب برای حفاظت چندسازه چوب پلاستیک به‌کار گرفته شود. Haghghi Poshtiri و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی اثر کندسوزکنندگی نانولولاستونیت در چوب صنوبر پرداختند. اشباع نمونه‌ها با نانولولاستونیت در چهار سطح غلظت ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶ درصد به روش رویینگ انجام شد. نتایج نشان داد با افزایش غلظت نانولولاستونیت مقاومت به آتش نمونه‌های تیمار شده افزایش یافت. همچنین چوب تیمار شده با این ماده افزایش ثبات ابعاد بیشتری نیز نشان داد. Khosravian (۲۰۰۹) اثر ماده ولاستونیت در ابعاد نانو و میکرو بر خواص فیزیکی و حرارتی چندسازه چوب پلاستیک را مورد بررسی قرار داد. نتایج او نشان داد با افزایش نانو و میکرو ولاستونیت در چندسازه، واکنش‌پذیری، ضخامت و جذب آب کاهش یافت، ولی پایداری حرارتی، درصد کریستالی شدن و مقاومت در برابر آتش چندسازه افزایش یافت. در پژوهشی دیگر به بررسی خاصیت تأخیر اندازی آتش در MDF به‌وسیله ژل نانولولاستونیت پرداخته شد. ماده نانو ولاستونیت در چهار سطح ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد بر اساس وزن خشک چوب به‌کار گرفته شد. نتایج نشان داد با افزایش ماده نانولولاستونیت خاصیت تأخیر اندازی شعله افزایش می‌یابد. همچنین بین ۱۰ تا ۱۵ درصد نانو ولاستونیت بهترین مقاومت را نشان داد (Taghiyari et al., 2013).

Kord (۲۰۱۰) به بررسی اثر مقدار ذرات نانورس در پنج سطح ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد بر ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک حاصل از پلی‌اتیلن سنگین و آرد چوب پرداخت. نتایج او نشان داد با افزایش مقدار ذرات نانورس مدول خمشی و مقاومت خمشی کامپوزیت افزایش می‌یابد.

Luyt و همکاران (۲۰۰۹) نانو ولاستونیت را به‌عنوان پرکننده در ساخت نانو کامپوزیت استفاده کردند و مشاهده کردند که نانو ولاستونیت دمای کریستالی شدن را در ماتریکس کاهش داده و باعث بهبود پایداری حرارتی

حشرات، سازگاری با محیط‌زیست، مقاومت به سایش و ... اشاره کرد (Wang et al.; Ashori & Nourbakhsh, 2009). یکی از عوامل مهم تخریب فیزیکی چوب و فرآورده‌های مرکب آن آتش می‌باشد که سبب کاهش کاربرد آنها در مصارف مختلف می‌گردد. از این‌رو بالا بردن پایداری آنها در برابر آتش و یا به عبارتی تأخیر در اشتعال آنها از ضروریات کاربردشان محسوب می‌شود. برای کندسوز کردن این مواد باید عناصر تشکیل‌دهنده آنها را از تماس با اکسیژن مصون کرد و یا اینکه با استفاده از مواد مختلف انتقال حرارت را به لایه‌های درونی کند کرد. مواد مختلف کندسوز کننده که کاربرد زیادی در حفاظت چوب دارند شامل برم، کلر، فسفر و یا ترکیبی از این عناصر می‌باشد. همچنین هیدروکسیدهای فلزی که عمدتاً ترکیبات دارای آلومینیوم و یا منیزیم می‌باشند نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Taghiyari et al., 2002). از طرف دیگر با ورود فناوری نانو استفاده از نانو ذرات به‌عنوان پرکننده در ساخت نانو چندسازه‌های پلیمری در حجم وسیعی مورد استفاده قرار گرفته است، به‌طوری‌که مصرف مقادیر اندکی از آن سبب افزایش مدول الاستیسیته، استحکام، مقاومت گرمایی، کاهش نفوذپذیری گاز، مقاومت در برابر اشتعال و بهبود خواص فیزیکی پلیمر می‌گردد (Lee et al., 2002). نانو چندسازه‌ها دارای خواص منحصر به فردی هستند که باعث علاقه‌مندی دانشمندان به این زمینه شده است. افزودنی‌های استفاده شده در ابعاد نانومتر در ماتریس باعث ایجاد سطح مشترک قابل‌توجهی می‌شود که دستیابی به این سطح مشترک با افزودنی‌های با ابعاد بزرگ‌تر (میکرومتر) با به‌کاربردن درصد بالایی از این افزودنی‌ها میسر می‌شود. البته افزایش مقاومت حرارتی، مکانیکی و نفوذپذیری با تشکیل این سطح فعال به‌وجود آمده قابل توجیه است (Rangavar & Alavi, 2015). Seresht از جمله این نانو ذرات می‌توان به نانو ذرات ولاستونیت اشاره کرد. نانولولاستونیت یک کلسیم متاسیلیکات (CaSiO_3) می‌باشد که دارای ویژگی‌هایی از قبیل رنگ سفید، پایداری حرارتی مناسب، سختی بالا، جذب رطوبت اندک، ضرب انبساط حرارتی اندک و سازگار

می‌گردد. از این رو این پژوهش باهدف بررسی تأثیر ذرات نانو و لاستونیت بر خواص مقاومت به آتش در چندسازه چوب پلاستیک حاصل از آرد چوب راش و پلی‌پروپیلن انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از پلی‌پروپیلن با شاخص جریان مذاب $18 \text{ g}/10\text{min}$ و چگالی $0.92 \text{ g}/\text{cm}^3$ به‌عنوان ماده پلیمری از شرکت پتروشیمی اراک و همچنین پلی‌اتیلن پیوند شده با مالئیک انیدرید به‌عنوان ماده سازگارکننده از شرکت کیمیا جاوید سپاهان و نیز آرد چوب راش در اندازه ۲۰-۴۰ میکرون مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از نانو و لاستونیت به‌صورت ژل که از شرکت فراورده‌های صنعتی ورد ایران تهیه شده بود، استفاده شد.

به‌منظور بررسی اثر میزان ذرات نانو و لاستونیت بر خواص چندسازه حاصل از آرد چوب راش، پلی‌پروپیلن، نانو و لاستونیت در چهار سطح ۰، ۱، ۳، ۵٪ وزن خشک چوب

مورد استفاده قرار گرفت. پس از توزین مقدار مورد نیاز ماده نانو و لاستونیت آن را با نسبت ۱ به ۱۰۰ در آب مقطر حل کرده تا رقیق گردد. محلول حاصل بر روی آرد چوب اسپری شد تا تمام سطوح خرده چوب با ماده نانو و لاستونیت آغشته گردد. آنگاه آرد چوب، درون خشک‌کن در دمای 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا رطوبت آنها یکسان گردد. پس از توزین مقدار مورد نیاز مواد (جدول ۱)، آنها در مخلوط‌کن قرار داده شد تا مخلوط همگن به‌دست آید. برای تولید کیک چندسازه از یک قالب فولادی به ابعاد $25 \times 20 \times 1$ سانتیمتر استفاده شد. مواد را درون قالب ریخته، سپس آن را درون پرس گرم که بر روی دمای ۱۹۵ سانتی‌گراد تنظیم شده بود به مدت ۱۰ دقیقه بدون هیچ‌گونه اعمال فشار قرار داده شد تا حرارت موجب ذوب پلیمر شود. سپس کیک چندسازه تحت فشار ۱۵۰ بار به مدت ۵ دقیقه قرار گرفت. پس از خارج کردن کیک از داخل دستگاه پرس گرم بلافاصله درون دستگاه پرس سرد به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد.

جدول ۱- درصد وزنی چندسازه چوب پلاستیک در نمونه‌های مختلف

| شماره نمونه | کد نمونه | آرد چوب (درصد) | پلی‌پروپیلن (درصد) | سازگارکننده (درصد) | نانو و لاستونیت (درصد) |
|-------------|-----------------------|----------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| ۱ | 60WF-37PP-3WAPE | ۶۰ | ۳۷ | ۳ | ۰ |
| ۲ | 59WF-37PP-3WAPE-1NANO | ۵۹ | ۳۷ | ۳ | ۱ |
| ۳ | 57WF-37PP-3WAPE-3NANO | ۵۷ | ۳۷ | ۳ | ۳ |
| ۴ | 57WF-37PP-3MAPE-5NANO | ۵۵ | ۳۷ | ۳ | ۵ |

اندازه‌گیری خواص خمشی

آزمون خمش سه‌نقطه‌ای مطابق با استاندارد ASTM با ابعاد $1 \times 2 \times 20$ سانتی‌متر با سرعت بارگذاری $5 \text{ mm}/\text{min}$ و تکرار ۳ عدد برای هر تیمار، توسط دستگاه اینسترون انجام شد. نمونه روی فک ثابت دستگاه قرار داده شد و بارگذاری با نیروی کنترل‌شده روی آن وارد شده و در نقطه شکست توسط کامپیوتر و نمودارهای آماری، میزان مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته محاسبه گردید.

اندازه‌گیری خواص مقاومت به آتش

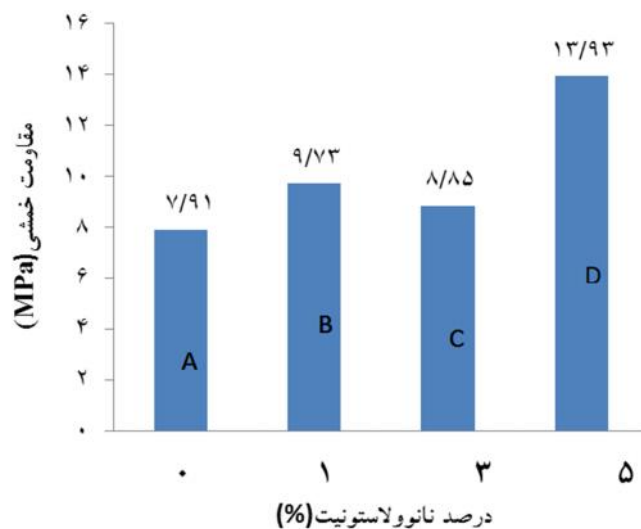
نمونه‌های مورد نیاز به‌منظور آزمون مقاومت به آتش مطابق با استاندارد ISO-22925-3 به ابعاد $1 \times 10 \times 15$ سانتیمتر با تکرار ۳ عدد برای هر تیمار تهیه شد. نازل در زاویه ۴۵ درجه لبه مرکز نمونه و به فاصله ۵ میلی‌متر از سطح و ۳۰ میلی‌متر از لبه پایین نمونه‌ها قرار گرفت. در این آزمون از سیلندر گاز پروپان که توسط رگلاتور تنظیم گردیده بود، استفاده شد. ابتدا نمونه تهیه شده درون گیره

مقایسه و گروه‌بندی داده‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام گردید.

نتایج

مقاومت خمشی: با توجه به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری اثر غلظت ماده نانو ولاستونیت بر مقاومت خمشی در سطح اعتماد ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد. کمترین و بیشترین میزان مقاومت خمشی به ترتیب در نمونه‌های حاوی صفر درصد (۷/۹۱) و ۵ درصد (۱۳/۹۳) دیده شد. به طوری که تفاوت ۴۳/۲ درصدی را نشان داد. نتایج نشان دادند که نمونه‌های حاوی ۰ درصد ماده نانو ولاستونیت در یک گروه قرار می‌گیرند، همچنین نمونه حاوی ۱ درصد ماده نانو ولاستونیت نیز در یک گروه قرار گرفته و نمونه حاوی ۳ درصد ماده نانو ولاستونیت نیز در یک گروه قرار گرفته است، در حالی که نمونه حاوی ۵ درصد در گروه دیگری است. البته اثر ماده نانو ولاستونیت بر میزان مقاومت خمشی به همراه گروه‌بندی دانکن در شکل ۱ نشان داده شده است.

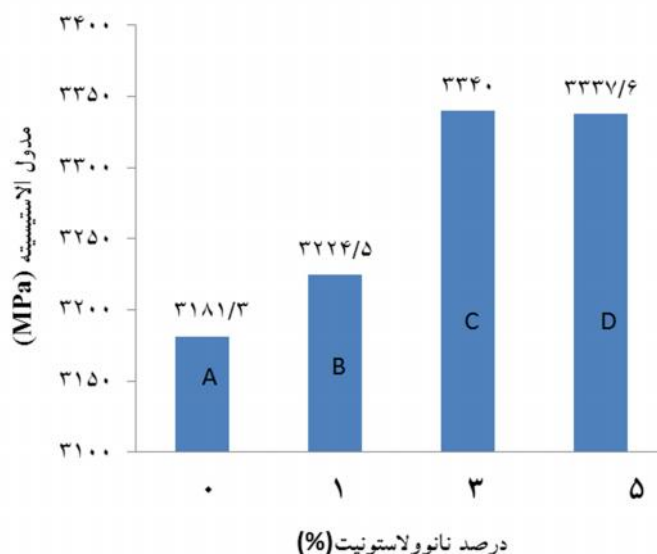
قرار داده شد، سپس نازل آتش را روشن کرده و مدت زمانی که نمونه دچار اشتعال گردید توسط کرنومتر اندازه‌گیری شد (زمان شعله‌وری). مدت زمان پس از شعله‌وری نمونه تا خاموش شدن شعله آتش، دوباره توسط کرنومتر اندازه‌گیری شد (دوام شعله). سپس مدت زمانی که زغال‌های باقیمانده بر اثر تخریب حرارتی خاموش و به خاکستر تبدیل گردید، اندازه‌گیری شد (دوام گدازش). پس از آن مقدار زغال باقی‌مانده، توزین و درصد کاهش جرم محاسبه گردید. برای آزمون کاهش جرم از یک ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۱ gr استفاده شد. برای بررسی فصل مشترک چوب و پلیمر و مطالعه مرفولوژی سطوح شکست خورده، نمونه‌ها با پوشش نازکی از طلا برای حذف شارژ الکترونی پوشش داده شده بودند. تصاویر الکترونی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان مرکز پژوهش متالوژی رازی تهیه گردید. مدل این دستگاه Mira3-XMU و دارای محدوده بزرگنمایی ۷۰۰۰۰۰ برابر است. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS در قالب طرح آنالیز واریانس یک طرفه انجام شد و در نهایت



شکل ۱- تأثیر ماده نانو ولاستونیت بر مقاومت خمشی چندسازه مورد مطالعه

ماده نانو ولاستونیت در یک گروه قرار می‌گیرند، همچنین نمونه حاوی ۱ درصد ماده نانو ولاستونیت نیز در یک گروه قرار گرفته و نمونه حاوی ۳ درصد ماده نانو ولاستونیت نیز در یک گروه قرار گرفته است، درحالی‌که نمونه حاوی ۵ درصد در گروه دیگری است. البته اثر ماده نانو ولاستونیت بر مدول الاستیسیته به همراه گروه‌بندی دانکن در شکل ۲ نشان داده شده است.

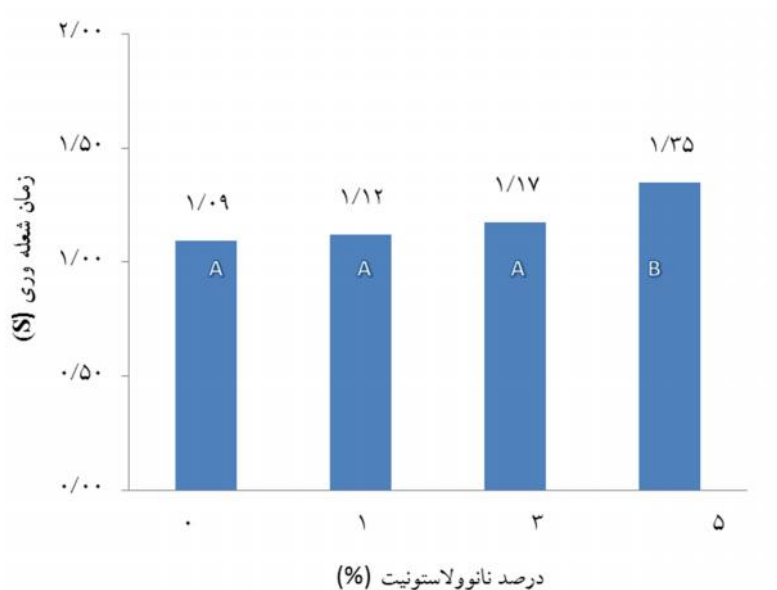
مدول الاستیسیته: با توجه به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری، اثر غلظت ماده نانو ولاستونیت بر مدول الاستیسیته در سطح اعتماد ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد. کمترین و بیشترین میزان مقاومت خمشی به ترتیب در نمونه‌های حاوی ۰ درصد (۳۱۸۱/۳ Mpa) و ۳ درصد (۳۳۴۰ Mpa) دیده شد. به طوری‌که تفاوت ۴/۸ درصدی را نشان داد. نتایج نشان دادند که نمونه‌های حاوی ۰ درصد



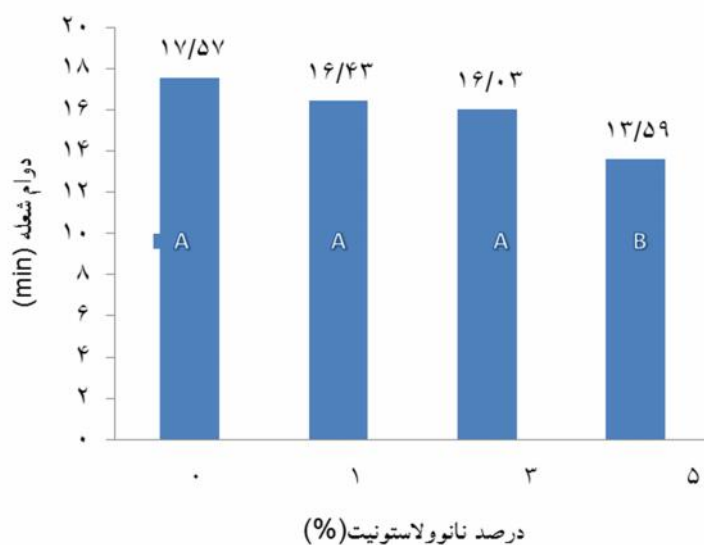
شکل ۲- تأثیر ماده نانو ولاستونیت بر مدول الاستیسیته چندسازه مورد مطالعه

آماری، اثر غلظت ماده نانو ولاستونیت بر دوام شعله بعد از برداشتن نازل آتش در سطح اعتماد ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد. کمترین و بیشترین دوام شعله به ترتیب در نمونه‌های حاوی ۵ درصد (۱۳/۵۹ دقیقه) و ۲۲/۸ درصد (۱۷/۵۷ دقیقه) دیده شد. به طوری‌که تفاوت ۴/۸ درصدی را نشان داد. نتایج نشان دادند که نمونه‌های حاوی ۰، ۱ و ۳ درصد ماده نانو ولاستونیت در یک گروه قرار می‌گیرند، درحالی‌که نمونه حاوی ۵ درصد در گروه دیگری است. البته اثر ماده نانو ولاستونیت بر دوام شعله به همراه گروه‌بندی دانکن در شکل ۴ نشان داده شده است.

زمان شعله‌وری: کمترین و بیشترین زمان شعله‌وری (رسیدن به نقطه اشتعال) به ترتیب در نمونه‌های حاوی ۰ درصد (۱/۰۹ ثانیه) و ۵ درصد (۱/۳۴ ثانیه) ماده نانو ولاستونیت دیده شد؛ به طوری‌که بیانگر اختلاف ۱۸/۸ درصدی بین کمترین و بیشترین نقطه اشتعال می‌باشد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که تأثیر ماده نانو ولاستونیت بر مدت زمان شعله‌وری در سطح اعتماد ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. البته اثر ماده نانو ولاستونیت بر زمان شعله‌وری به همراه گروه‌بندی دانکن در شکل ۳ نشان داده شده است. دوام شعله: با توجه به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل



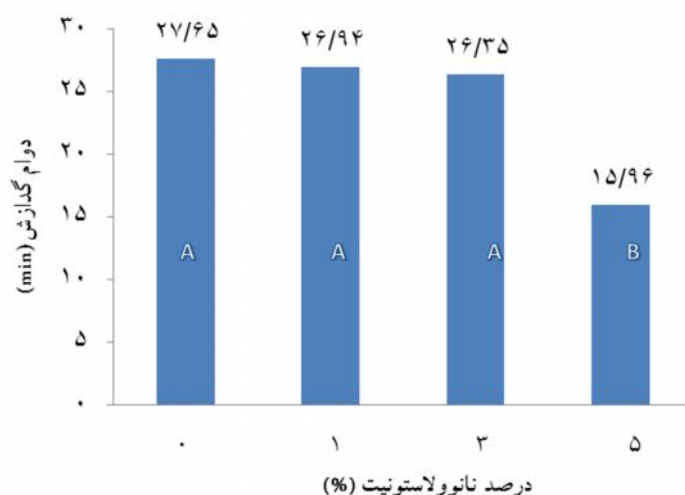
شکل ۳- تأثیر ماده نانو ولاستونیت بر مدت زمان شعله وری چندسازه مورد مطالعه



شکل ۴- تأثیر ماده نانو ولاستونیت بر دوام شعله چندسازه مورد مطالعه

دقیقه)، به میزان ۴۲/۳ درصد کاهش یافته است. نتایج نشان داد که بین ۳ غلظت ۰، ۱ و ۳ درصد از نظر دوام گدازش اختلاف معنی دار وجود ندارد. البته اثر ماده نانو ولاستونیت بر دوام گدازش به همراه گروه بندی دانکن در شکل ۵ نشان داده شده است.

دوام گدازش: تجزیه و تحلیل های آماری نشان دادند که اثر ماده نانو ولاستونیت بر دوام گدازش بعد از برداشتن نازل آتش در سطح اعتماد ۹۵٪ دارای اختلاف معنی داری می باشد. به طوری که کمترین مقدار دوام گدازش در نمونه حاوی ۵ درصد (۱۵/۹۶ دقیقه) ماده نانو ولاستونیت مشاهده شد که در مقایسه با نمونه حاوی ۰ درصد (۲۷/۶۵)

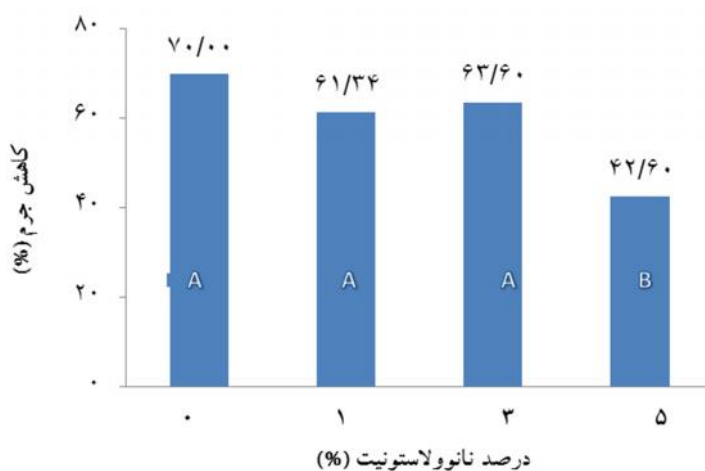


شکل ۵- تأثیر ماده نانو ولاستونیت بر دوام گدازش چندسازه مورد مطالعه

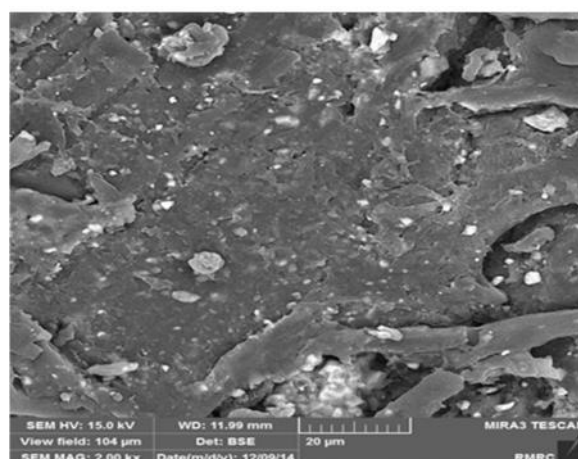
درصد کاهش جرم شعله به همراه گروه‌بندی دانکن در شکل ۶ نشان داده شده است.

نتایج مورفولوژی چندسازه: شکل (۷) که تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان از سطح شکست‌خورده چندسازه چوب پلاستیک حاوی ۵ درصد ماده نانو با بزرگنمایی $2000 \times$ است، بیانگر پراکنش تقریباً یکنواخت ذرات نانولاستونیت در تمام سطح می‌باشد. همچنین شکل (۸) که تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان با بزرگنمایی $50000 \times$ است، نشان‌دهنده اندازه ذرات نانولاستونیت در سطح شکست‌خورده چندسازه چوب پلاستیک حاوی ۵ درصد ماده نانو می‌باشد.

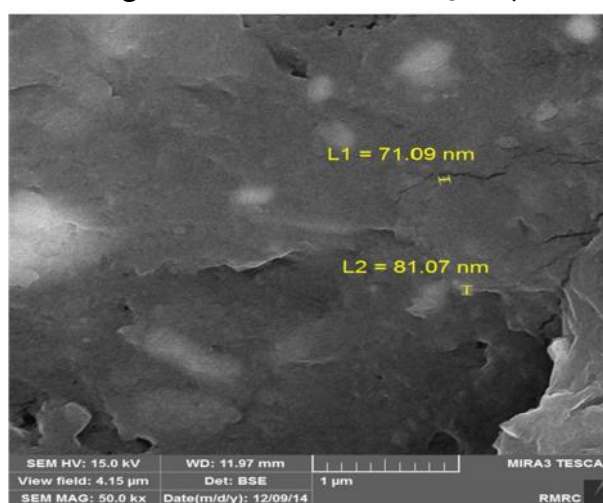
کاهش جرم: بر اساس تجزیه و تحلیل آماری اثر ماده نانو ولاستونیت بر میزان کاهش جرم در سطح اعتماد ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. نتایج نشان داد با افزایش درصد ماده نانو ولاستونیت از کاهش وزن نمونه‌ها کاسته شد و مقاومت به آتش آنها افزایش یافت. کمترین میزان کاهش وزن در نمونه حاوی ۵ درصد ماده نانو ولاستونیت مشاهده شد که در مقایسه با نمونه حاوی ۰ درصد ماده نانو ولاستونیت ۳۹/۲ درصد کاهش یافته است. بر اساس گروه‌بندی دانکن نمونه‌های حاوی ۱، ۰ و ۳٪ نانو ولاستونیت در یک گروه قرار گرفته‌اند، در حالی که نمونه حاوی ۵٪ در گروه دیگری است. البته اثر ماده نانو ولاستونیت بر میزان



شکل ۶- تأثیر ماده نانو ولاستونیت بر میزان کاهش جرم چندسازه مورد مطالعه



شکل ۷- پراکنش ذرات نانو ولاستونیت (بزرگنمایی X ۲۰۰۰)



شکل ۸- اندازه ذرات نانو ولاستونیت (بزرگنمایی X ۵۰۰۰۰)

بحث

ذرات نانو ولاستونیت به دلیل تشکیل اتصال با ماتریس پلیمری موجب افزایش مدول و مقاومت‌ها در چندسازه می‌گردد. به همین دلیل نتایج نشان می‌دهد با افزایش مقدار نانو ولاستونیت، مدول خمشی چندسازه افزایش یافته است، از طرفی افزودن نانو ولاستونیت موجب تورم لایه‌های سیلیکاتی و ایجاد چسبندگی قوی و در نتیجه افزایش مقاومت خمشی می‌گردد، البته پس از حد مشخصی روند افزایش خواص با افزایش درصد نانو ولاستونیت کند و گاهی معکوس می‌گردد که با نتایج به دست آمده توسط Kord (۲۰۱۰) مطابقت دارد.

بهترین نتایج از نظر افزایش مقاومت به آتش در نمونه‌های حاوی ۵ درصد ماده نانو مشاهده شد، به طوری که در مقایسه با

در این تحقیق تأثیر ماده نانو ولاستونیت بر خواص خمشی و مقاومت به آتش در چندسازه چوب پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که با افزایش مقدار نانو ولاستونیت درصد کاهش جرم، مدت زمان دوام شعله و مدت زمان دوام گدازش کاهش یافته، در حالی که مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و مدت زمان رسیدن به نقطه اشتعال افزایش یافته است. افزایش میزان مدول در چندسازه بطور مستقیم به طول متوسط ذرات نانو و در نتیجه نسبت ابعادی آنها وابسته است. معمولاً با افزایش درصد نانو ولاستونیت ساختمان‌های جدید در هم رفته و بعد توده‌های نانو ولاستونیت در چندسازه تشکیل می‌شوند، زیرا

- Broysiak, S., Paukszta, D. and Helwig, M., 2006. Flammability of Wood Polypropylene nano composites. *Journal of Polymer Degradation Stability*, (91), 3339-3344pp.
- Haghighi Poshtiri, A. R., Taghiyari, H. R. and Karimi, A.N., 2013. Study of Fire retardant Properties of nano-wollastonite in fire wood (abies alba). *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 28(2): 258-365.
- Haghighi Poshtiri, A. R., Taghiyari, H. R. and Karimi, A.N., 2013. The optimum level of nano-wollastonit consumption as fire retardant in poplar wood (*Populus nigra*). *Int J Nano Dimens*, 4(2), 141-151.
- Khosravian. B., 2009. Evaluation of mechanical, physical, thermal and morphological properties of hybrid composites and nano-hybrid composites polypropylene/wood flour/wollastonit. Ms. Thesis, Tehran University. 103pp.
- Kord, B., 2010. Investigation on the effects of nano clay particles on mechanical properties of wood polymer composites made of high density polyethylene-wood flour. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 25(1): 91-101.
- Lee, S.Y., Kang, I.A., Doh, G.H., Kim, W.J., Kim, J.S., Yoon, H.G. and Wu, Q., 2008. Thermal, mechanical and morphological properties of polypropylene/clay/wood flour nanocomposites. *Express Polymer Letters*, 2(2), 78-87.
- Luyt, A.S., Dramican, M.D., Antic, Z. and Dojokovic, V., 2009: Morphology, mechanical and thermal properties of composites of polypropylene and nano structured wollastonite filler, *polymer testing* 28, 348-3
- Nourbakhsh, A., 2013 The utilization of two recycled polymers and bagasse fiber in wood plastic nano-clay composites production. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 28(3): 435-450.
- Rangavar, H. and Alavi Seresht, S.A., 2015. Effect of nano-wollastonite, poly vinyl chloride and heavy polyethylene polymers and board structure on fire resistance of particleboard made of pepper stalk and industrial wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 30(3): 503-512.
- Taghiyari, H. R., Rangavar, H. and Nouri, P., 2013. Fire-retarding properties of nanowollastonite in MDF. *European Journal of Wood and Wood Products*, 71(5), 573-581.
- Wang, Z., Guo, W. J. and Setoyama, K., 2002. Effect of wood variables on the properties of wood fiber polypropylene composites. *Chinese Forestry Science and Technology*, 1(4), 43-50.
- نمونه شاهد، ۱۸/۸ درصد بهبود در مدت زمان شعله‌وری، ۲۲/۸ درصد در مدت زمان دوام شعله، ۴۲/۳ درصد در مدت زمان دوام گدازش و ۳۹/۲ درصد در میزان کاهش جرم مشاهده گردید. علت این امر را می‌توان این‌گونه بیان کرد که وجود ترکیبات سیلیس، تیتانیوم، منیزیم، کلسیم و آهن در ذرات نانولاستونیت که دارای خاصیت مقاومت در برابر آتش‌اند، باعث می‌گردد هنگامی که پلیمر حاوی نانو ولاستونیت می‌سوزد لایه‌ای زغال توسط ولاستونیت بر سطح خارجی پلاستیک تشکیل شود که این امر سبب عایق کردن لایه‌های زیرین و جلوگیری از سوخته شدن چندسازه می‌گردد. همچنین ذرات نانو ولاستونیت به دلیل داشتن ضریب ظاهری بالا موجب افزایش دمای تجزیه حرارتی و پایداری حرارتی در چندسازه می‌گردد، زیرا افزایش پایداری در نانو چندسازه، ناشی از ورقه شدن لایه‌های سیلیکاتی ولاستونیت و تشکیل ساختارهای لایه‌ای و بین لایه‌ای است که نفوذ و پخش اکسیژن درون چندسازه را به تعویق می‌اندازد. نتایج به‌دست‌آمده با پژوهش Haghighi و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. از طرفی به دلیل افزودن ذرات نانو ولاستونیت میزان نفوذ اکسیژن به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. به‌طورکلی ذرات نانو ولاستونیت به علت بالا بودن درجه حرارت، موجب بهبود پایداری حرارتی چندسازه می‌گردد که می‌تواند موجب ایجاد لایه‌ای عایق و تأخیر در اشتعال چندسازه چوب پلاستیک گردد که با نتایج تحقیقات Khosravian (۲۰۰۹) و Luyt و همکاران (۲۰۰۹) هم‌خوانی دارد. همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان نشان داد که توزیع ذرات نانولاستونیت حاوی ۵ درصد ماده نانو در چندسازه چوب پلاستیک تقریباً یکنواخت بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان بیان کرد که نانولاستونیت می‌تواند خواص خمشی و مقاومت به آتش را در چندسازه چوب پلاستیک بهبود بخشد.

منابع مورد استفاده

- Ashori, A., Nourbakhsh, A., 2009. Characteristics of wood-fiber plastic composites made of recycled materials. *Waste Management*, 29(4), 1291-1295

The effect of nano-wollastonite on bending properties and fire resistance of wood flour/polypropylene composite

V. Tzakor-Rezaie¹, A. Najafi², and A. Sinaie^{3*}

1-Assistant Professor, Wood and Paper Sciences & Technology Department, The collage of agriculture, Islamic Azad University, Chalous Branch, Iran.

2-Associate Professor, Wood and Paper Sciences & Technology Department, The collage of agriculture, Islamic Azad University, Chalous Branch, Iran.

3*-Corresponding Author, M.Sc., Wood and Paper Sciences & Technology Department, The collage of agriculture, Islamic Azad University, Chalous Branch, Iran. Email address: ahmadsinaie1@yahoo.com

Received: July, 2015

Accepted: June, 2016

Abstract

In this study, the effect of nano-wollastonite addition on strength and fire resistance characteristics of wood flour/polypropylene composite was investigated. The composites samples were manufactured using a dry blend/hot press method. In this study, beech dried wood flour was used as the filler for poly propylene as the matrix. Composite sample were prepared using 60% polypropylene, 37% wood flour and 3% polypropylene grafted with maleic anhydride as the coupling agent. Nano-wollastonite was used in four levels (0,1 ,3 and 5% based on dried wood flour). Nominal density and dimensions of the composites were one g/cm³ and 1*20*25 cm, respectively. Bending strength was measured according to ASTM standard test methods and fire resistance characteristics including flammability, duration of flame and glow after removing the burner, and mass reduction were measured according to ISO 11925. Results indicated that by increasing the nano-wollastonite the bending strength, MOE and flammability increased but mass reduction, duration of flame and glow decreased. The dispersion of nano-wollastonite in composites was evaluated by Filed Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM).

Key words: Wood plastic composite, fire resistance, nano- wollastonit, hot press, filed emission scanning electronic microscope.