

## تأثیر نانو ولاستونیت بر مقاومت به آتش و چسبندگی پوشش آکرلیک پایه آب در سطح چوب

حسین رنگ‌آور<sup>۱\*</sup>، سعید خجسته خسرو<sup>۲</sup> و مسعود تقی‌پور جوی<sup>۳</sup>

\*<sup>۱</sup> - نویسنده مسئول، دانشیار، گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران،

پست الکترونیک: hrangavar@yahoo.com

<sup>۲</sup> - دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور، ایران

<sup>۳</sup> - کارشناسی ارشد، گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۷

### چکیده

در این مطالعه اثر افزودن نانو ذرات ولاستونیت (casio3) به پوشش آکرلیک پایه آب بر قابلیت مقاومت به آتش و مقاومت چسبندگی پوشش مطالعه گردید. نانو ولاستونیت با غلظت‌های ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ درصد وزنی نسبت به جرم خشک پوشش آکرلیک با آن مخلوط شد. برای تثبیت نانو ذرات در بستر پوشش از دستگاه اولتراسونیک استفاده گردید. فرایند پوشش‌دهی نمونه‌ها با و بدون کاربرد نانو ولاستونیت در پوشش آکرلیک روی نمونه‌های چنار و نوئل انجام شد و ویژگی‌های آنها شامل مقاومت به آتش و مقاومت چسبندگی بررسی گردید. نتایج نشان داد که افزودن نانو ولاستونیت تا ۲/۵ درصد به پوشش آکرلیک، اثر بسیار قابل توجهی بر بهبود مقاومت به آتش نمونه‌ها به‌ویژه تأخیراندازی زمان شعله‌وری گونه‌های نوئل و چنار با بهبود ۲۵۸ و ۱۸۴ درصدی نسبت به نمونه‌های شاهد داشته است. از سوی دیگر بررسی چسبندگی پوشش آکرلیک به سطح نمونه‌های چوبی حکایت از بهبود این ویژگی پوشش با افزودن نانو ولاستونیت داشت. در مورد چسبندگی پوشش نیز بالاترین میزان این ویژگی در نانو پوشش حاوی بیشترین میزان نانو ذرات ولاستونیت مشاهده گردید. البته لازم به ذکر است که عملکرد نانو پوشش‌های حاوی ۱/۵ درصد نانو روی ویژگی‌های موردبررسی نیز در حد قابل قبولی بود.

واژه‌های کلیدی: نانو ولاستونیت، پوشش چوب، چنار و نوئل، تأخیرانداز آتش، مقاومت چسبندگی.

### مقدمه

تغییر ابعاد و هوازدگی در برابر نور فرابنفش سبب محدودیت کاربرد چوب شده است (Chin et al., 2005). با توجه به این ویژگی‌ها عمر محصولات تولیدی از چوب تحت تأثیر قرار می‌گیرد. برای افزایش تنوع کاربرد و عمر محصولات چوبی لازم است که با روش‌های مناسب، خواص چوب را اصلاح نمود. از جمله مواد که سبب افزایش دوام چوب و فرآورده‌های چوبی می‌شود، ایجاد پوشش محافظ روی سطح چوب با کمک شفاف‌پوشه‌ها است. امروزه پوشش‌دهی فرآورده‌های چوبی از اهمیت بسیار ویژه‌ای برخوردار است.

توسعه علوم و فناوری در صنعت منجر به افزایش مطالعات برای بررسی چگونگی استفاده مفید و بهینه مواد موجود در طبیعت شده است. در این میان به نظر می‌رسد منابع تجدیدشونده از اهمیت فراوان تری برخوردار باشند. چوب که یک سازه پرکاربرد در زندگی بشر می‌باشد، از جمله این دسته مواد محسوب می‌شود. از این رو، این ماده به‌عنوان یک سازه مهندسی کاربردهای متنوعی دارد. خصوصیاتمانند عملکرد منفی در برابر آتش، نپذیری،

مستثنا از این قاعده نیست. از جمله زمینه‌های صنعت چوب که نانو مواد کاربرد زیادی در آن می‌توانند داشته باشند، تقویت ویژگی پوشش‌های شفاف مخصوص چوب از جمله چسبندگی، پایداری در مقابل رطوبت، سایش و حرارت و همین‌طور مقاومت در برابر عوامل جوی است ( Kaygin & Akgun, 2008; Kaygin & Akgun, 2009; Khojasteh, 2014). افزایش پایداری پوشش‌های شفاف چوب در برابر آتش از زمینه‌های مهمی است که باید مورد بررسی قرار گیرد. در همین زمینه Girardi و همکاران (۲۰۱۴) طی مطالعه‌ای به بررسی تشکیل پوشش‌های شفاف هیبریدی آلی-غیرآلی با وینیل استیک اسید و زیرکونیوم پروپوکسید به روش سل-ژل پرداختند. آنان در بررسی مقاومت به آتش چوب بیان نمودند که پوشش‌های هیبریدی باعث کاهش طول و عرض سوختگی و همچنین افزایش زمان شعله‌وری نمونه‌های چوبی در برابر شعله مستقیم شده‌اند. Khojasteh و همکاران (۲۰۱۴) از نانو ذرات دی‌اکسید روی برای تقویت مقاومت به آتش پوشش‌ها استفاده نمود. او بیان نمود که استفاده از نانو پوشش‌ها باعث افزایش زمان شعله‌وری و همچنین کاهش سطح سوختگی و وزن ازدست‌رفته در برابر آتش در مقایسه با نمونه‌های شاهد شده است. در مطالعه‌ای دیگر Chang و همکاران (۲۰۱۱) از ترکیب نانو مواد هیدروکسید منیزیم و نانو لوله‌های کربنی چندلایه، برای تقویت پایداری پوشش‌ها در برابر آتش استفاده نمودند. مطالعه آنان بیانگر این بود که مناسب‌ترین نانو پوشش تهیه‌شده برای مقاومت در برابر آتش، پوشش حاوی ۲۸ درصد هیدروکسید منیزیم و ۲ درصد نانو لوله‌های کربنی بوده است. به صورت کلی مطالعات انجام شده در حوضه تقویت مقاومت به آتش پوشش‌های شفاف چوب محدود بوده و در بیشتر موارد از مواد گران‌قیمت برای این منظور استفاده شده است. از جمله موادی که می‌توان از آن در تقویت ویژگی‌های پوشش‌های شفاف چوب استفاده نمود، نانو و لاستونیت است. و لاستونیت ماده‌ای معدنی است که فراوانی زیادی در ایران داشته و قیمت ارزانی دارد. از لحاظ شیمیایی بخش مهم ترکیبات و لاستونیت را اکسید کلسیم (۳۹/۷۷ درصد) و

پوشش علاوه بر بهبود زیبایی ظاهری چوب می‌تواند باعث کاهش تخریب فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی چوب شود که نتیجه آن افزایش کاربرد چوب و محصولات چوبی است (Khojasteh Khosro *et al.*, 2015).

عملکرد منفی چوب و فراورده‌های چوبی در برابر آتش یکی از عوامل کاهش کاربرد چوب با وجود مزیت‌های آن می‌باشد. از این رو حفاظت چوب در برابر آتش که یکی از مهمترین عوامل مخرب فیزیکی چوب است، امروزه از دغدغه‌های مهم در صنعت سازه‌های چوبی می‌باشد. بیشتر کندسوزکننده‌هایی که امروز مورد استفاده قرار می‌گیرند، در کاهش پارامترهای مختلف واکنش چوب در برابر آتش (قابلیت اشتعال، پخش حرارت، گسترش شعله و ...) نقش دارند. به‌طور کلی اساس کار مواد کندسوزکننده بر پایه عواملی مانند محدود کردن رادیکال‌های آزاد، افزایش سرعت تشکیل لایه ذغالی، رقیق نمودن گازهای قابل اشتعال، تولید کف در محیط گرم و ایجاد مانع در رسیدن اکسیژن و گرما به سطح قابل اشتعال می‌باشد (Taghiyari *et al.*, 2013). از مهمترین مواد کندسوزکننده می‌توان به کلسیم برم و فسفر اشاره کرد. البته ترکیباتی مانند بور، آنتیموان، نیتروژن، سیلیکون و روی همراه با فسفر یا ترکیبات هالوژنی نیز ترکیبات دیگری هستند که به‌عنوان کندسوزکننده مورد استفاده قرار می‌گیرند (Taghiyari, 2012). درباره مواد مورد استفاده در کندسوزکنندگی چوب باید به این مهم توجه داشت که بسیاری از این ترکیبات ممکن است روی سایر ویژگی‌های چوب تأثیرگذار باشند. به‌عنوان مثال می‌توانند موجب تغییر رنگ، کاهش دوام چوب، کاهش استحکام مکانیکی و مقاوم شدن در برابر چسبندگی مناسب چسب و رنگ شوند (Stark *et al.*, 2010). در این زمینه آنچه حائز اهمیت است یافتن مواد و روش‌هایی با کمترین اثر سوء بر خواص فیزیکی و مکانیکی چوب می‌باشد که سبب افزایش مقاومت به آتش آن شود.

یکی از فناوری‌هایی که روزبه‌روز کاربرد آن گسترش می‌یابد، استفاده از فناوری نانو می‌باشد. علم نانو در بیشتر علوم مورد استفاده قرار می‌گیرد و تکنولوژی چوب نیز

که از جمله ویژگی‌های حفاظتی مهم پوشش، چسبندگی آن به سطح زیر آینه خود است. به همین دلیل در این مطالعه علاوه بر بررسی مقاومت به آتش پوشش‌های حاوی نانو ذرات ولاستونیت، مقاومت چسبندگی پوشش به سطح نمونه‌های پوشیده شده با نانو پوشش‌ها در مقایسه با پوشش‌های بدون نانو برای بررسی عدم تأثیر منفی نانو ولاستونیت بر این ویژگی مهم پوشش مورد ارزیابی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### مواد

#### گونه چوبی

گونه‌های چوبی مورد استفاده در این مطالعه دو گونه چنار (*Platanus orientalis*) و نوئل (*Picea abies*) بودند. گونه نوئل به دلیل کاربرد زیاد در ایران و گونه چنار به دلیل استفاده فراوان در بافت‌های تاریخی اهمیت زیادی دارند. به همین دلیل در این تحقیق از این گونه‌های چوبی استفاده شد. جرم مخصوص گونه‌های چوبی چنار و نوئل به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب محاسبه گردید. گونه چنار به صورت گرده‌بیننه و نوئل به صورت الوار از بازار چوب‌فروشان تهیه و به تخته‌هایی کاملاً شعاعی تبدیل شدند. پس از تبدیل، تخته‌ها در کوره چوب خشک‌کنی تا رطوبت ۸ درصد خشک گردیدند. در نهایت نمونه‌های چوبی در ابعاد ۱۵×۱۰×۱۷۵ میلی‌متر برای انجام آزمون‌ها برش داده شدند. با توجه به اهمیت استفاده از نمونه‌های سالم در آزمون‌ها، نمونه‌های انتخاب شده دارای شرایط رشد عادی بوده و عاری از هرگونه ترک، شکاف، گره‌های مرده و زنده، چوب‌های واکنشی، کج تار، پوسیدگی و بیماری‌های قارچی بودند.

#### نانو ذرات ولاستونیت

نانو ذرات ولاستونیت (casio<sub>۲</sub>) مورد استفاده در این مطالعه از شرکت ورد خراسان تهیه گردید. این نانو ذرات در طی فرایند سل-ژل تهیه شده‌اند. نانو ذرات ولاستونیت دارای

اکسیدسیلیس (۴۶/۹۶ درصد) تشکیل می‌دهند (Nikonova et al., 2003). ویژگی‌های مهم و اصلی ولاستونیت شامل رنگ سفید، جذب رطوبت اندک، پایداری حرارتی مناسب، ضریب انبساط حرارتی اندک، سختی زیاد، ضریب هدایت حرارتی بالا، خاصیت قلیایی بالا و تجزیه و تفکیک به وسیله اسیدهای معدنی است (Taghiyari et al., 2013a). همان‌طور که از ویژگی‌های نانو ولاستونیت نیز مشخص است، این نانو ذرات پایداری حرارتی مناسبی دارند، به همین دلیل توجه محققان زیادی در استفاده از این نانو به عنوان ماده پایدارکننده در برابر آتش در فراورده‌هایی مانند چوب، چوب پلاستیک و تخته فیبر دانسیته متوسط جلب شده است (Tzakor-Rezaie et al., 2016; Luyt, Khosravian, 2009; Farhadinejad et al., 2012; Haghghi et al., 2009; Taghiyari et al., 2013b; et al., 2013). محققان در تمامی مطالعات انجام شده بیان نموده‌اند که نانو ذرات ولاستونیت توانسته‌اند پایداری حرارتی و مقاومت به آتش چند سازه‌های تولیدی را به میزان زیادی افزایش دهند.

همان‌طور که در ابتدای مقدمه نیز اشاره شد یکی از زمینه‌هایی که اهمیت فراوانی در صنعت چوب دارد پوشش‌دهی محصولات چوبی توسط شفاف‌پوشه‌ها است. افزایش پایداری حرارتی و مقاومت به آتش پوشش‌ها بدون کاهش دیگر خصوصیات آنها مانند چسبندگی و زیبایی می‌تواند در افزایش کاربرد شفاف‌پوشه‌ها نقش بسزایی داشته باشد. متأسفانه تاکنون مطالعه‌ای روی تأثیر نانو ذرات ارزان‌قیمت ولاستونیت بر بهبود مقاومت به آتش پوشش‌های شفاف انجام نشده است. به همین دلیل هدف از این مطالعه تأثیر نانو ولاستونیت بر مقاومت به آتش پوشش‌های آکرلیک پایه آب دوستدار محیط‌زیست اعمال‌شده روی چوب بود. از سوی دیگر چسبندگی پوشش به سطح فراورده‌های چوبی یکی از عوامل مؤثر و تأثیرگذار بر دوام و طول عمر محصولات چوبی بوده و از اهمیت فراوانی برخوردار است (Ghofrani & Khojasteh Khosro, 2014a; Miszczyk & Schauer, 2005). نیز بیان نمودند

اندازه ذرات ۱۰ تا ۲۰ نانومتر، رنگ سفید شیری تا خاکستری، چگالی ۲/۸-۲/۹ گرم بر سانتی متر مکعب و با ذراتی به شکل سوزنی بودند که ترکیبات آن نیز در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ترکیبات نانو ولاستونیت

ترکیبات	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO
میزان ترکیبات (درصد)	۰/۰۵	۰/۱۶	۱/۳۹	۰/۰۴	۰/۲۲	۲/۷۹	۳/۹۵	۴۶/۹۶	۳۹/۷۷

جدول ۲- خصوصیات پوشش آکرلیک پایه آب

پوشش	PH	دانسیته (g/cm <sup>3</sup> )	ماده جامد (درصد)	حلال
سیلر مات آکرلیک	۷	۱/۱۳	۳۵/۸	آب
کیلر براق آکرلیک	۸	۱/۱۵	۳۷	آب

## پوشش آکرلیک

شد (Khojasteh Khosro *et al.*, 2015).

شفاف پوشه استفاده شده در این تحقیق، پوشش آکرلیک پایه آب مخصوص چوب بود. این پوشش بر پایه رزین آکرلیک امولشن است. خصوصیات پوشش آکرلیک مورد استفاده در جدول ۲ ارائه گردیده است.

## روش‌ها

## روش ساخت نانو پوشش

برای تولید نانو پوشش‌ها ابتدا درصد جامد ماده شفاف پوشش آکرلیک با استفاده از دستگاه آون مطابق استاندارد ASTM D-2832 محاسبه شد. آنگاه پودر نانو ذرات ولاستونیت با نسبت‌های وزنی ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ درصد نسبت به درصد ماده جامد پوشش آکرلیک به دست آمده به آن اضافه گردید. سپس پوشش حاوی نانو ذرات به مدت ۳ ساعت به وسیله همزن مغناطیسی مخلوط گردید. به منظور تثبیت نانو ذرات در بستر پوشش از دستگاه اولتراسونیک استفاده شد. در فرایند اولتراسونیک، دستگاه به مدت ۴۵ دقیقه با چرخه (cycle) ۰/۶ و قدرت (Amplitude) ۷۰ وات تنظیم گردید و نانو ذرات در معرض امواج فراصوت دستگاه قرار گرفته و در بستر پوشش‌های آکرلیک تثبیت

## پرداخت سطح نمونه‌ها

قبل از فرایند پوشش دهی، سطوح تمامی نمونه‌های مورد آزمون توسط دستگاه سنباده لرزان دستی- برقی پرداخت گردید. پرداخت نمونه‌ها به این صورت بود که ابتدا سطح نمونه‌ها به وسیله سنباده درجه ۱۲۰ پرداخت شد، سپس از سنباده با درجه ۱۸۰ برای پرداخت نهایی نمونه‌ها استفاده گردید. مدت زمان سنباده زنی نمونه‌ها ثابت و ۲۵ ثانیه در نظر گرفته شد. پرداخت نمونه‌ها در راستای جهت الیاف چوب انجام شد.

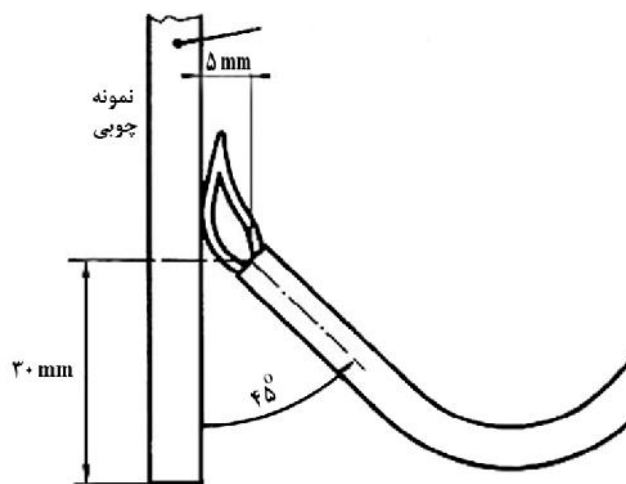
## پوشش‌دهی نمونه‌های آزمون

برای پوشش‌دهی نمونه‌های مربوط به آزمون مقاومت به آتش و همچنین مقاومت چسبندگی پوشش، از روش رنگ آمیزی به وسیله پیستوله استفاده شد. فاصله پیستوله تا سطح نمونه‌ها ۲۵ سانتی متر تنظیم گردید. برای ثابت نگه داشتن فاصله پیستوله تا سطح نمونه‌ها و همچنین برای به صفر رساندن لغزش دست و ایجاد سرعت یکنواخت هنگام رنگ‌کاری از تکیه‌گاهی ثابت استفاده گردید. مراحل

شامل زمان شعله‌وری، میزان سطح کربنیزه و درصد کاهش وزن بود. برای اندازه‌گیری درصد کاهش وزن، وزن اولیه تمام نمونه‌ها با ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم قبل از آزمون اندازه‌گیری شد. پس از استقرار نمونه طبق استاندارد ISO 11925-3 در دستگاه، دهانه نازل آتش با زاویه ۴۵ درجه و به فاصله ۵ میلی‌متر از سطح نمونه‌ها و ۳۰ میلی‌متر بالاتر از لبه زیرین نمونه با طول زیانه آتش ۳/۵ سانتی‌متر قرار گرفت (شکل ۱). آزمون مقاومت به آتش با فشار ثابت گاز خروجی و با زمان ثابت ۱۲۰ ثانیه برای هر نمونه انجام شد. پس از اتمام آزمون، وزن ثانویه نمونه‌ها دوباره اندازه‌گیری شد. بر اساس وزن اولیه و ثانویه محاسبه شده، درصد کاهش وزن نمونه‌ها طبق رابطه زیر محاسبه گردید.

$$W \% = \frac{W_p - W_a}{W_p} \times 100$$

در رابطه فوق  $W\%$  درصد کاهش وزن،  $W_p$  وزن اولیه و  $W_a$  وزن ثانویه (بعد از سوختگی) است.



شکل ۱- نحوه قرارگیری نازل آتش در آزمون مقاومت به آتش

ثابت قرار داده شده و تصویر آنها با استفاده از دوربین با کیفیت بالا در یک نقطه مشخص و با فاصله‌ای کاملاً ثابت تهیه گردید. تصاویر به دست آمده از سطح کربنیزه تک‌تک نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ImageJ برحسب میلی‌متر

پوشش‌دهی به این صورت بود که ابتدا نانو پوشش سیلر آکرلیک حاوی ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ درصد نانو و همچنین سیلر بدون نانو روی سطوح نمونه‌های حاصل از گونه‌های چوبی نوئل و چنار اعمال شد. به منظور خروج کامل آب موجود در این پوشش، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاهی قرار گرفتند. سپس سطوح این نمونه‌ها با سنباده ۳۶۰ به وسیله دستگاه سنباده لرزان سنباده زنی شدند. بعد از پاک نمودن گردوغبار حاصل از سنباده زنی سیلر، نانو پوشش‌های کیلر آکرلیک و همچنین کیلر بدون نانو در شرایطی یکسان با سیلر روی نمونه‌ها اعمال گردید. لازم به ذکر است که میزان پوشش استفاده شده برای پوشش‌دهی سطح نمونه‌ها  $5 \pm 200$  گرم بر مترمربع بود. برای اطمینان از میزان پوشش استفاده شده در رنگ‌کاری نمونه‌ها، عمل توزین نمونه‌ها قبل و بعد از پوشش‌دهی انجام شد.

اندازه‌گیری مقاومت به آتش

فاکتورهای مورد بررسی در آزمون مقاومت به آتش

فاکتور زمان شعله‌وری نمونه‌های مورد آزمون از لحظه اعمال آتش تا زمان رسیدن نمونه به نقطه اشتعال محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری سطح کربنیزه نمونه‌ها پس از آزمون شعله مستقیم آتش، ابتدا نمونه‌های مورد آزمون در محلی

نمونه‌های پوشش داده‌شده گونه چنار شعله‌ور شود. گروه‌بندی دانکن انجام شده نیز در تمامی پوشش‌ها، نمونه‌های حاصل از گونه چنار را در گروهی بالاتر از نوئل قرار داده است (شکل ۲). از سوی دیگر به طوری که در شکل ۲ مشخص است، استفاده از نانو پوشش‌ها تأثیر بسیار زیادی بر افزایش زمان شعله‌وری در نمونه‌های پوشش داده‌شده داشته است. در بین نانو پوشش‌های موردبررسی، پوشش پایه آب حاوی ۲/۵ درصد نانو ذرات ولاستونیت بیشترین تأثیر را با افزایش ۲۵۸ و ۱۸۴ درصدی به ترتیب در گونه‌های نوئل و چنار، در افزایش زمان شعله‌وری سطح نمونه‌ها نسبت به پوشش بدون نانو داشته است. به عبارت دیگر بیشترین تأخیراندازی شعله‌وری نمونه‌ها در نانو پوشش ۲/۵ درصد مشاهده شد. در گروه‌بندی دانکن نیز نانو پوشش ۲/۵ درصد اعمالی روی گونه‌های چنار و نوئل به ترتیب در گروه‌های A و B با بالاترین میزان زمان شعله‌وری قرار گرفتند.

#### سطح سوختگی (کربنیزه)

ارزیابی سطح سوختگی گونه‌های چوبی چنار و نوئل پوشیده شده با پوشش‌های آکرلیک با و بدون نانو ولاستونیت نشان داد که در هر دو گونه موردبررسی، نانو پوشش‌ها باعث کاهش قابل توجه سطح سوختگی نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های رنگ‌شده با پوشش بدون نانو شده‌اند. در نانو پوشش‌های موردبررسی، نانو پوشش حاوی بیشترین میزان نانو (۲/۵ درصد)، بیشترین تأثیر را بر کاهش سطح سوختگی نمونه‌ها داشته است. گروه‌بندی دانکن نتایج به‌دست آمده نیز در هر دو گونه چنار و نوئل پایین‌ترین گروه را به نانو پوشش ۲/۵ درصد اختصاص داده است. میزان کاهش سطح سوختگی در نمونه‌های حاصل از گونه چنار ۵۰ درصد و در نمونه‌های گونه نوئل ۴۶ درصد نسبت به پوشش شاهد بود. به صورت کلی نیز سطح سوختگی در گونه نوئل به صورت قابل توجهی بیشتر از گونه چنار به‌دست آمد (شکل ۳).

مربع محاسبه شدند (Khojasteh Khosro, 2014). برای اطمینان از نتایج حاصل، آزمون مقاومت به آتش در هر نمونه ۳ بار تکرار شد.

#### اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی پوشش

برای اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی پوشش ابتدا قطعه‌هایی استوانه‌ای شکل به نام دالی از جنس آلومینیوم با قطر ۲۰ میلی‌متر روی سطح نمونه‌های پوشش داده شده، چسبانده شدند. برای این منظور از چسب اپوکسی دوجزئی با میزان ۱۵۰ گرم بر مترمربع استفاده شد. پس از چسباندن دالی‌ها، نمونه‌ها برای سخت شدن کامل چسب به مدت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاهی با درجه حرارت ۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. میزان مقاومت چسبندگی نمونه‌ها با سرعت کشش ۰/۳ مگا پاسکال در ثانیه و ۶ تکرار برای هر نمونه، به وسیله دستگاه آزمون چسبندگی اتوماتیک PosiTest AT-A اندازه‌گیری شدند. تمامی شرایط مورد استفاده در اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی پوشش بر اساس استاندارد (۲۰۰۲) ASTM D-4541 انجام شد.

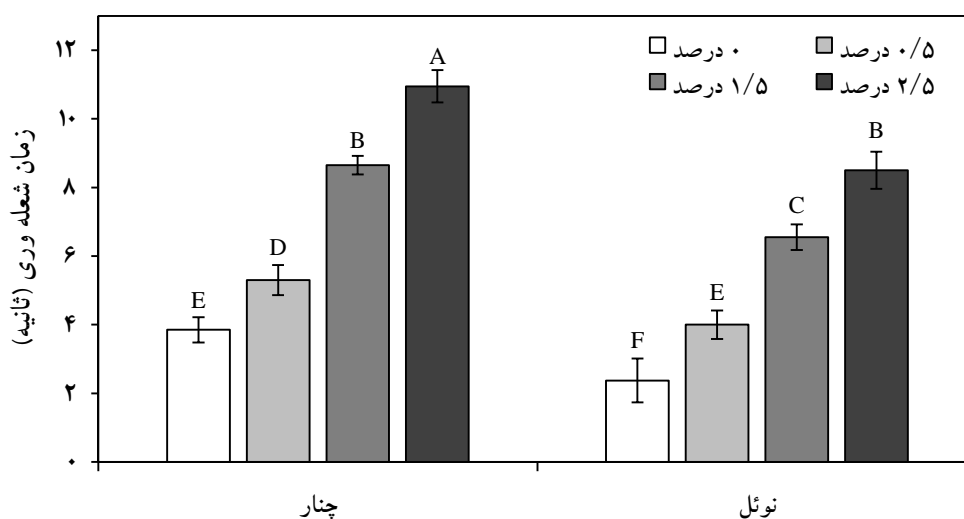
#### تحلیل آماری

نتایج به‌دست آمده در این مطالعه با نرم‌افزار آماری SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. برای بررسی اثر متقابل عوامل متغیر (گونه چوبی و مقدار نانو ذرات ولاستونیت) از آزمون تحلیل واریانس استفاده گردید. برای مقایسه و دسته‌بندی میانگین گروه‌های معنی‌دار از پس‌آزمون دانکن استفاده شد.

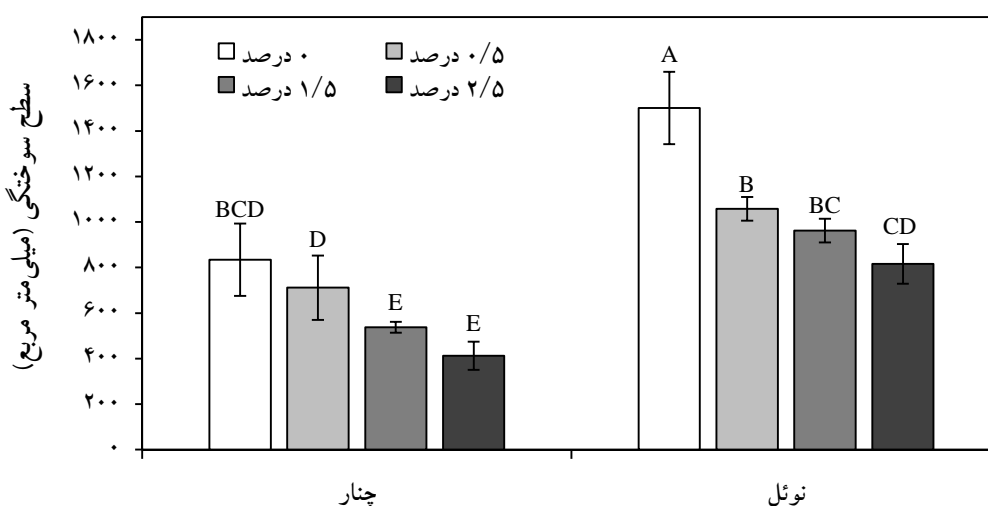
#### نتایج

##### زمان شعله‌وری

مطالعه انجام شده روی زمان شعله‌وری نشان داد که هنگام قرارگیری نمونه‌های چوبی در مقابل شعله مستقیم آتش، نمونه‌های پوشش داده‌شده گونه چنار به صورت کلی زمان شعله‌وری بیشتری نسبت به گونه نوئل داشتند؛ به عبارت دیگر مدت زمان بیشتری طول کشید که سطح



شکل ۲- تأثیر متقابل گونه چوبی و میزان نانو ذرات ولاستونیت بر زمان شعله‌وری



شکل ۳- تأثیر متقابل گونه چوبی و میزان نانو ولاستونیت بر سطح سوختگی

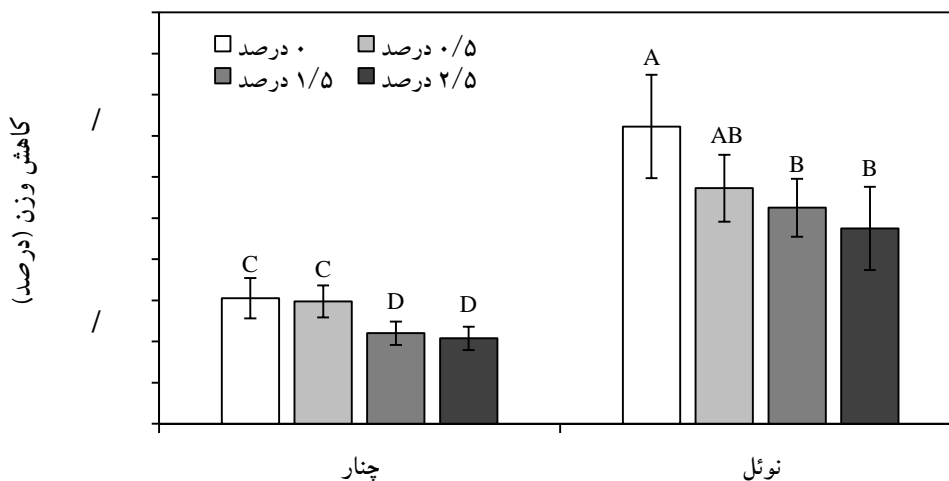
### کاهش وزن

از دست رفته نمونه‌ها در برابر شعله مستقیم شده است. البته تأثیر آنها در هر دو گونه مشابه نبود. در گونه نوئل استفاده از نانو پوشش‌ها تأثیر بیشتری بر کم کردن درصد کاهش وزن داشت، به طوری که حتی در مقادیر کم (۰/۵ درصد نانو) نیز کاهش وزن از دست رفته نمونه‌ها قابل توجه بود و در نهایت نانو پوشش ۲/۵ درصد، کاهش ۳۴ درصدی وزن از دست رفته نسبت به پوشش شاهد را باعث شده است. گروه بندی دانکن نیز در گونه نوئل، نانو پوشش‌ها را در گروه‌های جدا از

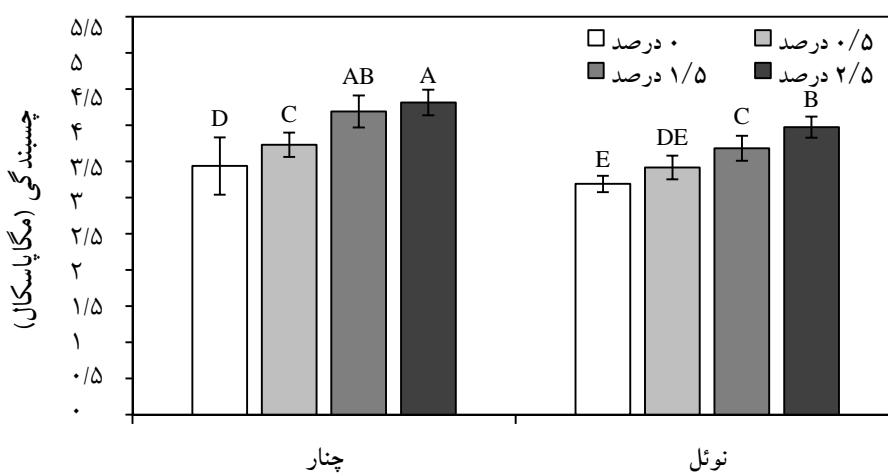
از دیگر عوامل مورد بررسی در مقاومت به آتش نمونه‌های چوبی بعد از قرارگیری در برابر شعله مستقیم آتش، میزان کاهش وزن نمونه‌هاست. نتایج حاصل از تأثیر متقابل نوع گونه چوبی و میزان نانو ولاستونیت بر درصد کاهش وزن بعد از قرارگیری در برابر شعله مستقیم آتش در شکل ۳ ارائه شده است. به طوری که در این شکل مشاهده می‌شود در هر دو گونه چنار و نوئل استفاده از نانو پوشش‌ها باعث کاهش وزن

اساس گروه‌بندی انجام‌شده در گونه چنار نیز اختلاف معنی‌داری بین درصد کاهش وزن نمونه‌های پوشیده شده با نانو پوشش‌های ۱/۵ و ۲/۵ درصد مشاهده نشد و هر دو این پوشش‌ها در گروه D دسته‌بندی شدند (شکل ۴).

پوشش بدون نانو دسته‌بندی نموده است؛ اما در گونه چنار استفاده از ۰/۵ نانو تأثیر معنی‌داری بر درصد کاهش وزن نسبت به نمونه شاهد نداشت و بیشترین تأثیر در ۲/۵ و ۱/۵ درصد نانو به ترتیب با میزان ۳۲ و ۲۸ درصد به دست آمد.



شکل ۴- تأثیر متقابل گونه چوبی و میزان نانو ولاستونیت بر درصد کاهش وزن



شکل ۵- تأثیر متقابل گونه چوبی و میزان نانو ولاستونیت بر چسبندگی پوشش به سطح چوب

در هر دو گونه مورد بررسی افزودن نانو ولاستونیت به پوشش آکرلیک، تأثیر قابل توجهی بر بهبود چسبندگی این پوشش به سطح نمونه‌های چوبی داشته است. به طوری که بیشترین میزان چسبندگی پوشش در گونه‌های چنار و نوئل با نانو پوشش‌های حاوی ۲/۵ درصد نانو به دست آمد.

#### مقاومت چسبندگی پوشش

نتایج حاصل از بررسی انجام شده در این مطالعه روی مقاومت چسبندگی پوشش آکرلیک پایه آب بیانگر این بود که به صورت کلی چسبندگی این پوشش به سطوح نمونه‌های حاصل از گونه چنار بیشتر از گونه نوئل بود. از سوی دیگر



پوشش شاهد اعمال شده روی نمونه‌های چوبی مشخص شد که نانو پوشش‌های تهیه شده با نانو ولاستونیت مقاومت بیشتری در برابر شعله مستقیم نسبت به پوشش شاهد داشتند. به طوری که زمان شعله‌وری گونه‌های چوبی نوئل و چنار با نانو پوشش ۲/۵ درصد به ترتیب ۲۵۸ و ۱۸۴ درصد در مقایسه با پوشش بدون نانو افزایش یافت. همچنین سطح کربنیزه شده ۵۰ و ۴۶ درصد و کاهش وزن نیز ۳۱ و ۳۴ درصد به ترتیب در نمونه‌های چوبی چنار و نوئل پس از قرارگیری در برابر آتش نسبت به نمونه‌های پوشیده شده با پوشش شاهد کاهش یافتند. افزایش مقاومت به آتش و تأخیر اندازی شعله در نانو پوشش‌ها را می‌توان با دو امر مرتبط دانست؛ نخست اینکه بهبود مقاومت به آتش و تأخیر اندازی شعله‌وری در نمونه‌های پوشش داده شده با نانو پوشش‌ها را می‌توان به هدایت حرارتی بالای نانو ذرات ولاستونیت نسبت داد. هنگامی که نمونه‌ها در برابر شعله مستقیم آتش قرار می‌گیرند، نانو پوشش‌های حاوی نانو ولاستونیت به دلیل خاصیت هدایت حرارتی بالای خود، حرارت شعله را پخش کرده و به قسمت‌های دیگر انتقال می‌دهند. در نتیجه حرارت اعمالی در آن نقطه کاهش یافته و زمان رسیدن به دمای اشتعال آن قسمت افزایش می‌یابد. در واقع این خاصیت نانو ذرات ولاستونیت باعث تأخیر اندازی شعله‌ور شدن پوشش و سطح نمونه با اعمال شعله مستقیم آتش می‌شود. Taghiyari و همکاران (۲۰۱۴)، Taghiyari و همکاران (۲۰۱۳b) و همچنین Poshtiri و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعات خود بر هدایت حرارتی بالای نانو ولاستونیت و تأثیر آن بر افزایش خاصیت کندسوزکنندگی تخته فیبر دانسیته متوسط و چوب تأکید نمودند. از سوی دیگر نانو ذرات ولاستونیت دارای پایداری حرارتی مناسبی بوده و غیرقابل اشتعال می‌باشد (Taghiyari *et al.*, 2013b). نانو ذرات ولاستونیت با سطح ویژه بالا قابلیت انحلال مناسب در بستر پوشش آکرلیک پایه آب و تولید محلول امولسیون، در هم رفتگی مناسب بین نانو ذرات و پوشش را به وجود می‌آورد. نانو ولاستونیت در ساختار خود دارای ترکیبات اکسیدسیلیس، تیتانیوم، منیزیم

میزان بهبود چسبندگی در گونه چنار ۲۵/۶ درصد و گونه نوئل ۲۴/۵ درصد بود. البته لازم به ذکر است که افزودن حتی ۱/۵ درصد نانو ذرات ولاستونیت نیز تأثیر قابل توجهی بر بهبود چسبندگی پوشش به سطح چوب داشته است. گروه‌بندی دانکن انجام شده در چسبندگی پوشش‌ها به سطح چوب نیز مؤید نتایج فوق بود (شکل ۵).

## بحث

### مقاومت به آتش

با توجه به نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری مقاومت به آتش نمونه‌های پوشش داده شده مشخص شد که گونه چوبی چنار مقاومت بیشتری در مقابل شعله مستقیم نسبت به گونه نوئل از خود نشان داده است. به طوری که بالاترین زمان شعله‌وری و همچنین کمترین سطح سوخته شده و درصد کاهش وزن در نمونه‌های تهیه شده از گونه چنار مشاهده شد. به طور کلی گونه چنار دارای دانسیته بالاتری نسبت به گونه نوئل می‌باشد. پوشش‌های اعمالی روی نمونه‌های چوبی گونه چنار از یکنواختی و صلبیت بیشتری برخوردار بودند. با توجه به همین مطلب، پوشش اعمالی روی گونه چنار مقاومت نمونه‌های چوبی این گونه نسبت به آتش را به میزان بیشتری نسبت به گونه نوئل افزایش داده است. از سوی دیگر به صورت کلی گونه‌های با دانسیته بالا زمان شعله‌وری بیشتری نسبت به گونه‌های چوبی با دانسیته پایین دارند. Harada و همکاران (۲۰۰۶) نیز روی این نکته تأکید نموده و بیان کردند که زمان اولیه ایجاد حرارت در گونه‌های با دانسیته بالاتر، بیشتر است؛ به عبارت دیگر در این گونه‌ها، چوب دیرتر شعله‌ور می‌شود. علاوه بر این Rangavar و Alavi Seresht (۲۰۱۵) نیز در مطالعه خود بیان نمودند که مواد چوبی با دانسیته بالا دارای اکسیژن کمتری در ساختار سلولی خود نسبت به چوب‌های با دانسیته پایین هستند. به همین دلیل در هنگام قرارگیری در برابر شعله مستقیم زمان شعله‌وری و گداختی آنها بیشتر است. در واقع مقاومت به آتش آنها بیشتر از گونه‌های سبک‌وزن است. در مطالعه مقاومت به آتش مستقیم نانو پوشش‌ها و

زیادی هستند، نفوذپذیری کمتری دارند و در فرایند نفوذ پوشش به بافت چوب نیز مشکل ایجاد می‌کنند که نتیجه آن عدم درگیری فیزیکی مناسب پوشش با چوب و چسبندگی ضعیف تر پوشش در این گونه‌هاست. Ghofrani و همکاران (۲۰۱۶a) نیز نتایج مشابهی در مورد نفوذپذیری ضعیف گونه نوئل و تأثیر آن بر کاهش چسبندگی پوشش دست یافتند. Ghofrani و Khojasteh Khosro (۲۰۱۴b) و همچنین Ghofrani و همکاران (۲۰۱۶b) نیز در مطالعه روی تأثیر مواد استخراجی چوب، بر تأثیر زیاد این مواد بر کاهش چسبندگی پوشش تأکید نمودند. De Meijer و Militz (۲۰۰۰) در مطالعه خود بیان نمودند که میزان نفوذ پوشش به چوب از عوامل مهم و تأثیرگذار بر چسبندگی پوشش به سطح آن است. از سوی دیگر مواد استخراجی می‌توانند بر روی ساختار خود پوشش نیز تأثیرگذار بوده و چسبندگی آن به چوب را تحت تأثیر قرار دهند. از دیگر دلایل پایین بودن چسبندگی ضعیف تر گونه نوئل نسبت به چنار را می‌توان به ساختار متخلخل تر، دانسیته پایین و پیوستگی بین الیاف ضعیف این گونه نسبت داد (Khojasteh Khosro, 2014). ماشین‌کاری چوب طی فرایند آماده‌سازی باعث ایجاد بافتی ضعیف در سطح نمونه‌ها می‌شود که سبب تأثیر در فرایندهای اعمال پوشش و چسب شده و باعث کاهش چسبندگی آنها می‌شود (Jahan Latibari, 2007; Khojasteh Khosro, 2014).

افزودن نانو و لاستونیت به پوشش آکرلیک پایه آب تأثیر قابل توجهی در بهبود چسبندگی پوشش به سطح نمونه‌های چوبی داشته است. نانو و لاستونیت جزو مواد معدنی بوده و قابلیت انحلال و پراکنش مناسب در پوشش پایه آب را دارد. سطح ویژه بالای این نانو ذرات نیز از عوامل دیگر پراکنش مناسب نانو و لاستونیت در پوشش پایه آب است. انحلال این ذرات در بستر آکرلیک پایه آب و تولید محلول امولسیون امکان به وجود آمدن پیوندهای قوی بین ساختارهای سوزنی ذرات و لاستونیت و پوشش را به وجود می‌آورد. از سوی دیگر بخش اعظم ساختار نانو ذرات و لاستونیت را اکسیدسیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) تشکیل داده

اکسیدکلسیم و آهن است که خاصیت مقاومت در برابر آتش دارند. همین امر باعث می‌شود که در هنگام قرارگیری پوشش‌های حاوی نانو و لاستونیت در برابر آتش، در مرحله اول لایه‌ای نازک از زغال توسط و لاستونیت در سطح خارجی پوشش ایجاد شود که باعث تأخیر در انتقال حرارت به لایه‌های زیرین پوشش می‌شود. علاوه بر مورد فوق ضریب ظاهری بالای نانو و لاستونیت موجب افزایش دمای تجزیه حرارتی و پایداری حرارتی در نانو پوشش می‌گردد. این اتفاق ناشی از ورقه شدن لایه‌های سیلیکاتی و لاستونیت و تشکیل ساختارهای لایه‌ای و بین لایه‌ای است که نفوذ و پخش اکسیژن درون نانو پوشش را به تعویق می‌اندازد. در پی این اتفاق اشتعال‌پذیری سطح پوشش به تعویق می‌افتد که نتایج این مطالعه نیز حکایت از تأثیر بسیار چشمگیر نانو ذرات و لاستونیت بر افزایش زمان شروع شعله‌وری (تعویق افتادن زمان شعله‌وری) نمونه‌های پوشیده شده با نانو پوشش‌ها داشت. Tzakor-Rezaie و همکاران (۲۰۱۶)، Farhadinejad و همکاران (۲۰۱۲)، Khosravian (۲۰۰۹) و همچنین Luyt و همکاران (۲۰۰۹) نیز در مطالعات خود روی تأثیر نانو و لاستونیت بر مقاومت به آتش نانو کامپوزیت‌های چوب پلاستیک بر موارد بیان شده تأکید نموده و به نتایج مشابهی دست یافتند. Farhadinejad و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان نمودند که حضور نانو و لاستونیت می‌تواند زمان اکسیداسیون را در چندسازه کاهش دهد.

#### مقاومت چسبندگی پوشش

همان‌طور که در نتایج به‌دست‌آمده مشخص بود چسبندگی پوشش به سطوح نمونه‌های حاصل از گونه چوبی چنار بیشتر از گونه نوئل بود. به صورت کلی گونه نوئل جزو سوزنی‌برگان بوده و میزان مواد استخراجی موجود در این گونه نسبت به گونه پهن‌برگ چنار بیشتر است. Kassaney و همکاران (۲۰۱۱) و همچنین Humar (۲۰۱۳) در مطالعات خود نشان دادند که میزان مواد استخراجی گونه چنار (۱/۴ درصد) بسیار کمتر از گونه نوئل (۳/۶۵ درصد) است. گونه‌هایی که دارای مواد استخراجی

ذرات ولاستونیت به دلیل هزینه تولید پایین تر در مقیاس صنعتی می توانند بسیار حائز اهمیت باشند. لازم به ذکر است که نانو ذرات ولاستونیت جزو ارزان ترین نانو مواد موجود در بازار بوده، به نحوی که در مقایسه با نانو ذرات فلزی قیمت بسیار نازل تری دارند. از سویی افزایش عمر مفید و ماندگاری محصولات چوبی ناشی از فرایند پوشش دهی با نانوپوشش ها، اندک افزایش هزینه تولید و استفاده از آن را توجیه می نماید. همچنین به دلیل فراوانی منابع طبیعی تولید ولاستونیت در کشور عزیزمان و سهولت دسترسی و استفاده از آن، تجاری سازی نانو پوشش ولاستونیت می تواند از جنبه اقتصادی تولید محصولات چوبی با مطلوبیت بالاتر را تضمین کند.

### منابع مورد استفاده

- Chang, H., Kuo, Z.H., Tsai, K.C. and Chen, T.L., 2011. Analysis on properties of water-based fire-retardant nano-coatings. In *Advanced Materials Research* (Vol. 311, pp. 1985-1992). Trans Tech Publications.
- Chin, J., Byrd, E., Martin, J. and Nguyen, T., 2005. Validation of the Reciprocity Law for Coating Photo degradation, *J. Coat. Technol. Res.*, 2 (7): 499-508.
- De Meijer, M. and Miltz, H., 2000. Wet adhesion of low-VOC coatings on wood: a quantitative analysis. *Progress in Organic Coatings*, 38(3), 223-240.
- Farhadinejad, Z., Ehsani, M., Khosravian, B. and Ebrahimi, G., 2012. Study of thermal properties of wood plastic composite reinforced with cellulose micro fibril and nano inorganic fiber filler. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(6): 823-828.
- Ghofrani, M. and Khojasteh Khosro, S., 2014a. The effect of wood surface finishing quality on the adhesion strength of clear coat. *Journal of Color Science technology*, 7: 339-345.
- Ghofrani, M. and Khojasteh Khosro, S., 2014b. The effect of surface fat removal in fatty wood on the adhesion strength of clear coating. *Journal of Color Science and Technology*, 8(2) 101-107.
- Ghofrani, M., Mirkhandouzi, F.Z. and Ashori, A., 2016b. Effects of extractives removal on the performance of clear varnish coatings on boards. *Journal of Composite Materials*, 50(21), 3019-3024.
- Ghofrani, M., Samadi, E. and Khojasteh Khosro, S., 2016a. Heat treatment of wood and the investigation

است. Sow و همکاران (۲۰۱۱) در طی مطالعات خود روی تأثیر نانو ذرات  $\text{SiO}_2$  بر چسبندگی پوشش های پایه آب ثابت نمودند که ذرات اکسیدسیلیس قابلیت خوبی در پراکنش مناسب در بستر پوشش پایه آب حتی با مقدار ۵ درصد را نیز دارند. آنان همچنین نشان دادند که پراکنش نانو ذرات در بستر پوشش باعث افزایش تعداد پیوندهای آکریلات<sup>۱</sup> و در نتیجه تعداد گروه های واکنش گر می شود. افزایش پیوندهای دوگانه آکریلات باعث افزایش تراکم اتصالات عرضی در نانو پوشش ها می گردد که در بهبود قابلیت نفوذ پوشش به لایه های سطحی چوب و افزایش چسبندگی پوشش نقش مفیدی دارند (Sow et al., 2011). Kaygin و Akgun (۲۰۰۸ و ۲۰۰۹) نیز طی مطالعات جداگانه ای بیان نمودند که استفاده از نانو ذرات می تواند خواص پوشش ها از جمله چسبندگی آنها را افزایش داده و بهینه کند.

پوشش دهی مناسب محصولات چوبی نه تنها نقش بسزایی در زیبایی و کیفیت محصول نهایی دارد بلکه در بازاریابی مؤثر و فروش این محصولات نیز بسیار حائز اهمیت است. همچنین نقش پوشش دهی در حفاظت از محصول نهایی و افزایش طول عمر آن را نیز نباید از نظر دور داشت. از دیگر نکات برجسته در ارتباط با پوشش دهی محصولات چوبی، افزایش مقاومت به آتش این محصولات به ویژه در مکان هایی با استفاده زیاد از چوب و فرآورده های تولیدی از آن است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از نانو ذرات ولاستونیت به وضوح بر افزایش مقاومت نمونه های چوبی نسبت به آتش مؤثر بوده و چسبندگی پوشش به سطح چوب نیز به طور محسوسی بهبود یافته است. اگرچه نسبت بهینه نانو ذرات ولاستونیت در نانو پوشش ها برابر با ۲/۵ درصد برآورد گردید، اما نسبت ۱/۵ درصد نیز تأثیر قابل توجهی بر بهبود مقاومت به آتش و چسبندگی پوشش به سطح چوب از خود نشان داد. از این رو از منظر اقتصادی، نانو پوشش های حاوی ۱/۵ درصد نانو

- nanostructured wollastonite filler. *Polymer testing*, 28: 348-356.
- Miszczuk, A. and Schauer, T., 2005. Electrochemical approach to evaluate the interlayer adhesion of organic coatings. *Progress in Organic Coatings* 52(4): 298-305.
- Nikonova, N.S., Tikhomirova, I.N., Belyakov, A.V. and Zakharov, A.I., 2003. Wollastonite in silicate matrices. *Glass and Ceramics*, 60(9-10): 342-346.
- Poshtiri, A.H., Taghiyari, H.R. and Karimi, A.N. 2014. Fire-retarding properties of nano-wollastonite in solid wood. *Philippine Agricultural Scientist*, 97(1).
- Rangavar, H. and Alavi Seresht, S.A., 2015. Effect of nano-wollastonite, poly vinyl chloride and high density 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.
- Sow, C., Riedl, B. and Blanchet, P., 2011. UV-waterborne polyurethane-acrylate nanocomposite coatings containing alumina and silica nanoparticles for wood: mechanical, optical, and thermal properties assessment. *Journal of Coatings Technology and Research*, 8(2): 211-221.
- Stark, N.M., White, R.H., Mueller, S.A. and Osswald, T.A., 2010. Evaluation of various fire retardants for use in wood flour-polyethylene composites. *Polymer Degradation and Stability*, 95: 1903-1910.
- Taghiyari, H.R., Ghorbanali, M. and Tahir, P.M., 2014. Effects of the improvement in thermal conductivity coefficient by nano-wollastonite on physical and mechanical properties in medium-density fiberboard (MDF). *BioResources*, 9(3), 4138-4149.
- Taghiyari, H.R., Rangavar, H. and Nouri, P., 2013b. Fire-retarding properties of nano wollastonite in MDF. *European Journal of Wood and Wood Products*, 71(5): 573-581.
- Taghiyari, H.R., Mobini, K., Sarvari Samadi, Y., Doosti, Z., Karimi, F., Asghari, M., Jahangiri, A. and Nouri, P., 2013a. Effects of nano-wollastonite on thermal conductivity coefficient of medium-density fiberboard. *Journal of Molecular Nanotechnology*; 2:1 <http://dx.doi.org/10.4172/23248777.1000106>.
- Taghiyari, H.T., 2012. Fire-Retarding Properties of Nano-Silver in Solid Woods. *Wood Science and Technology*, 46(5): 939-952.
- Tzakor-Rezaie, V., Najafi, A. and Sinaie, A., 2016. The effect of nano-wollastonite on bending properties and fire resistance of wood flour/polypropylene composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 31:3, 425-434. (in Persian)
- of its effect on surface wettability and adhesion strength of coating. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 31(2): 362-373.
- Girardi, F., Cappelletto, E., Sandak, J., Bochicchio, G., Tessadri, B., Palanti, S.E. and Di Maggio, R., 2014. Hybrid organic-inorganic materials as coatings for protecting wood. *Progress in Organic Coatings*, 77(2), 449-457.
- Haghighi, A., Taghiyari, H.R. and Karimi, A.N., 2013. Study on fire-retardant properties of nano-wollastonite in fir wood (*Abies alba*). *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 28(2): 258-265.
- Harada, T., Uesugi, S. and Masuda, H., 2006. Fire resistance of thick wood-based boards. *Journal of Wood Science*, 52(6): 544-551
- Humar, M., 2013. Influence of Norway spruce and European larch Heartwood ring-width on extractive content and durability. *Wood Ind.*, 64: 79-85.
- Jahan Latibari, A., 2007. Science and technology of adhesion for lignocellulosic substances, *Daneshgah azad eslami, Karaj*, 348p.
- Kasseney, B.D., Deng, T. and Mo, J., 2011 Effect of wood hardness and secondary compounds on feeding preference of *Odontotermes formosanus* (Isoptera: Termitidae). *J Econ Entomol*, 104:862-867.
- Kaygin, B. and Akgun, E., 2008. Comparison of conventional varnishes with nanolake UV varnish with respect to hardness and adhesion durability, *Int. J. Mol. Sci*, 9: 476-485.
- Kaygin, B. and Akgun, E., 2009. A nano-technological product: An innovative varnish type for wooden surfaces, *Scientific Research and Essays*, 4 (1): 1-7.
- Khojasteh Khosro, S., 2014. Investigation on the effect of nano Zinc Oxide on physical properties of polyurethane clear coat in wooden furniture surfaces, degree of M.Sc, *Shahid Rajaee Teacher Training University, Iran*.
- Khojasteh Khosro, S., Ghofrani, M. and Ganjaee Sari, M., 2015. The effect of adding zinc oxide nanoparticles on color change and adhesion strength of polyurethane coating on wood surface. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30(4): 690-704.
- 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.
- Luyt, A.S., Dramicanin, M.D., Antic, Z. and Djokovic, V., 2009. Morphology, mechanical and thermal properties of composites of polypropylene and

## The effect of nano wollastonite on the fire resistance and the adhesion properties of water based acrylic coating on wood surface

H. Rangavar<sup>1\*</sup>, S. Khojasteh Khosro<sup>2</sup> and M. Taghipour Javy<sup>3</sup>

1\*-Corresponding author, Associate Professor of Wood Science and Technology Department, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajae Teacher Training University, Tehran, Iran, Email: hrangavar@yahoo.com

2-Ph.D., student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

3-M.Sc., Wood Science and Technology Department, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajae Teacher Training University, Tehran, Iran

Received: Nov., 2017

Accepted: April, 2018

### Abstract

The objective of this study was the investigation of the effect of adding the wollastonite nanoparticles ( $\text{CaSiO}_3$ ) to the water based acrylic coating on fire resistance capability and adhesion strength of coating. The nano wollastonite at the dosage of 0.5, 1.50, and 2.5 wt% was dispersed into the coating. Ultrasonic device was used to stabilize the nanoparticles on the substrates. The coating process was carried out with and without application of the nanoparticles on the surfaces of spruce and sycamore wood samples and their properties comprising the fire resistance and the adhesion strength were measured. The results showed that adding nano wollastonite to the acrylic coating at the weight percent of 2.5% (w/w) had the significance effect onto the fire resistance of the samples. In particular, the effects was observed in case of the delay time of the ignition of the spruce and sycamore samples with the improvement values of 258 and 184% compared with the control samples, respectively. Furthermore, the investigation of adhesion strength of coatings to the surface indicated that the application of nano wollastonites improved the strength properties of coatings. The highest value of this properties was observed in the highest dosage of wollastonite nanoparticles. It should be noted that the performance of nanocomposite coating containing 1.5 wt% of nano particles on investigated properties was acceptable.

**Keywords:** Nano wollastonite, wood coating, spruce and sycamore, fire retardant, adhesion strength.