فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۳، شماره ۲، صفحه ۱۷۸-۱۶۶ (۱۳۹۷)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2018.114552.1429

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

**حسین رنگ‌آور[1*]، سعید خجسته خسرو[2] و مسعود تقی‌پور جاوی[3]**

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران،
پست الکترونیک: hrangavar@yahoo.com

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

۳-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 آکریلیک 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 آکریلیک 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 آکریلیک 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 آکریلیک، اثر بسیار قابل‌توجهی 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 آکریلیک 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

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 می رسد منابع تجدیدشونده از اهمیت فراوان تری برخوردار باشند. چوب که یک سازه پرکاربرد در زندگی بشر می‌باشد، ازجمله این دسته مواد محسوب می‌شود. از این‌رو، این ماده به‌عنوان یک سازه مهندسی کاربردهای متنوعی دارد. خصوصیاتی مانند عملکرد منفی در برابر آتش، نم‌پذیری، تغییر ابعاد و هوازدگی در برابر نور فرابنفش سبب محدودیت کاربرد چوب شده است (Chin *et al.*, 2005). با توجه به این ویژگی ها عمر محصولات تولیدی از چوب تحت تأثیر قرار می گیرد. برای افزایش تنوع کاربرد و عمر محصولات چوبی لازم است که با روش های مناسب، خواص چوب را اصلاح نمود. ازجمله مواد که سبب افزایش دوام چوب و فراورده‌های چوبی می‌شود، ایجاد پوشش محافظ روی سطح چوب با کمک شفاف پوشه‌ها است. امروزه پوشش‌دهی فراورده‌های چوبی از اهمیت بسیار ویژه‌ای برخوردار است.

Archive of SID
www.SID.ir

پوشش علاوه بر بهبود زیبایی ظاهری چوب می تواند 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 این‌رو 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 مورداستفاده قرار می‌گیرند، در کاهش پارامترهای مختلف واکنش چوب در برابر آتش (قابلیت اشتعال، پخش حرارت، گسترش شعله و ...) نقش دارند. به‌طورکلی 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 کلر، 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 مورداستفاده قرار می‌گیرند (Taghiyari, 2012). درباره مواد مورداستفاده در کندسوزکنندگی چوب باید به این مهم توجه داشت که بسیاری از این ترکیبات ممکن است روی سایر ویژگی‌های چوب تأثیرگذار باشند. به‌عنوان‌مثال 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 مورداستفاده قرار می گیرد و تکنولوژی چوب نیز مستثنا از این قاعده نیست. ازجمله زمینه‌های صنعت چوب که نانو مواد کاربرد زیادی در آن می‌توانند داشته باشند، تقویت ویژگی پوشش‌های شفاف مخصوص چوب ازجمله چسبندگی، پایداری در مقابل رطوبت، سایش و حرارت و همین‌طور مقاومت در برابر عوامل جوی است (Kaygin & Akgun, 2008; Kaygin & Akgun, 2009; Khojasteh Khosro, 2014). افزایش پایداری پوشش‌های شفاف چوب در برابر آتش از زمینه‌های مهمی است که باید موردبررسی قرار گیرد. در همین زمینه Girardi و همکاران (۲۰۱۴) طی مطالعه‌ای به بررسی تشکیل پوشش‌های شفاف هیبریدی آلی-غیرآلی با وینیل‌استیک‌اسید و زیرکونیوم‌ان‌پروپوکسید 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 Khosro (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 هیدروکسیدمنیزیم و نانو لوله‌های‌کربنی 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 هیدروکسیدمنیزیم و ۲ درصد نانو لوله‌های‌کربنی بوده است. به‌صورت 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 استفاده‌شده است. ازجمله موادی که می‌توان از آن در تقویت ویژگی‌های پوشش‌های شفاف چوب استفاده نمود، نانو ولاستونیت است. ولاستونیت ماده‌ای معدنی است که فراوانی زیادی در ایران داشته و قیمت ارزانی دارد. از لحاظ شیمیایی بخش مهم ترکیبات ولاستونیت را اکسیدکلسیم (۳۹/۷۷ درصد) و

Archive of SID

www.SID.ir

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 به‌وسیله 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 به‌عنوان ماده پایدارکننده در برابر آتش در فراورده‌هایی مانند چوب، چوب پلاستیک و تخته فیبر دانسیته متوسط جلب شده است (Tzakor-Rezaie *et al.*, 2016; Farhadinejad *et al.*, 2012، Khosravian, 2009; Luyt *et al.*, 2009; Haghighi *et al.*, 2013b; Taghiyari *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 پوشش های آکریلیک 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 و Schauer (۲۰۰۵) نیز بیان نمودند که ازجمله ویژگی‌های حفاظتی مهم پوشش، چسبندگی آن به سطح زیر آیند 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

گونه های چوبی مورداستفاده 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 به‌ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب محاسبه گردید. گونه چنار به‌صورت گرده‌بینه و نوئل به‌صورت 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. درنهایت نمونه‌های چوبی در ابعاد ۱۵×۱۰۰×۱۷۵ میلی‌متر برای انجام آزمون‌ها برش داده شدند. با توجه به اهمیت استفاده از نمونه های سالم در آزمون‌ها، نمونه‌های انتخاب‌شده دارای شرایط رشد عادی بوده و عاری از هرگونه ترک، شکاف، گره‌های مرده و زنده، چوب‌های واکنشی، کج تاری، پوسیدگی و بیماری‌های قارچی بودند.

#### نانو ذرات ولاستونیت

نانو ذرات ولاستونیت ($casio_3$) مورداستفاده در این مطالعه از شرکت ورد خراسان تهیه گردید. این نانو ذرات در طی فرایند سل-ژل تهیه‌شده‌اند. نانو ذرات ولاستونیت دارای

Archive of SID
www.SID.ir

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 ارائه‌شده است.

جدول ۱- ترکیبات نانو ولاستونیت

| ترکیبات | SO3 | Na2O | MgO | K2O | TiO2 | Fe2O3 | Al2O3 | SiO2 | 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 آکریلیک پایه آب

| پوشش | PH | دانسیته (g/cm3) | ماده جامد (درصد) | حلال |
|---|---|---|---|---|
| سیلر مات آکریلیک | ۷ | ۱/۱۳ | ۳۵/۸ | آب |
| کیلر براق آکریلیک | ۸ | ۱/۱۵ | ۳۷ | آب |

### پوشش آکریلیک

شفاف‌پوشه استفاده‌شده در این تحقیق، پوشش آکریلیک پایه آب مخصوص چوب بود. این پوشش بر پایه رزین آکریلیک امولشن است. خصوصیات پوشش آکریلیک مورداستفاده در جدول ۲ ارائه گردیده است.

## روش‌ها

### روش ساخت نانو پوشش

برای تولید نانو پوشش‌ها ابتدا درصد جامد ماده شفاف پوشش آکریلیک 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 آکریلیک به‌دست‌آمده به آن اضافه گردید. سپس پوشش حاوی نانو ذرات به مدت ۳ ساعت به‌وسیله همزن مغناطیسی مخلوط گردید. به‌منظور 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 (Ampliude) ۷۰ وات تنظیم گردید و نانو ذرات در معرض امواج فراصوت دستگاه قرار گرفته و در بستر پوشش‌های آکریلیک تثبیت شد (Khojasteh Khosro *et al*., 2015).

### پرداخت سطح نمونه‌ها

قبل از فرایند پوشش‌دهی، سطوح تمامی نمونه‌های مورد آزمون توسط دستگاه سنباده لرزان دستی- برقی پرداخت گردید. پرداخت نمونه‌ها به این صورت بود که ابتدا سطح نمونه‌ها به‌وسیله سنباده درجه ۱۲۰ پرداخت شد، سپس از سنباده با درجه ۱۸۰ برای پرداخت نهایی نمونه‌ها استفاده گردید. مدت‌زمان سنباده‌زنی 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 رنگ‌آمیزی به‌وسیله پیستوله استفاده شد. فاصله پیستوله تا سطح نمونه‌ها ۲۵ سانتی‌متر 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

Archive of SID

www.SID.ir

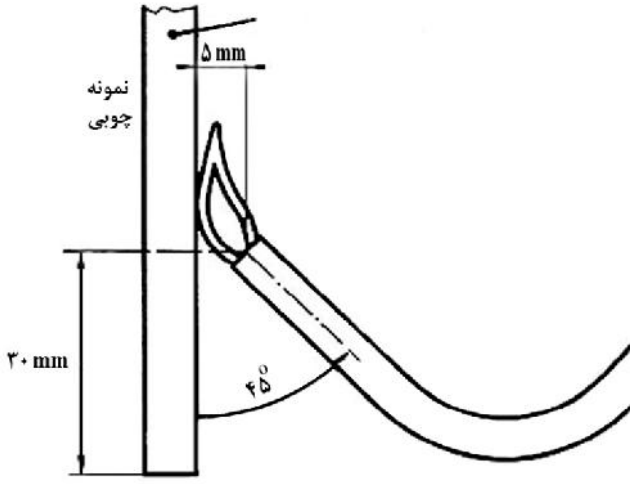
پوشش‌دهی به این صورت بود که ابتدا نانو پوشش سیلر آکریلیک حاوی ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ درصد نانو و همچنین سیلر بدون نانو روی سطوح نمونه‌های حاصل از گونه‌های چوبی نوئل و چنار اعمال شد. به‌منظور خروج کامل آب موجود در این پوشش، نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاهی قرار گرفتند. سپس سطوح این نمونه ها با سنباده ۳۶۰ به وسیله دستگاه سنباده لرزان سنباده زنی شدند. بعد از پاک نمودن گردوغبار حاصل از سنباده زنی سیلر، نانو پوشش‌های کیلر آکریلیک و همچنین کیلر بدون نانو در شرایطی یکسان با سیلر روی نمونه ها اعمال گردید. لازم به ذکر است که میزان پوشش استفاده‌شده برای پوشش‌دهی سطح نمونه‌ها ۵ ± ۲۰۰ گرم بر مترمربع بود. برای اطمینان از میزان پوشش استفاده‌شده در رنگ‌کاری نمونه‌ها، عمل توزین نمونه‌ها قبل و بعد از پوشش‌دهی انجام شد.

**اندازه‌گیری مقاومت به آتش**

فاکتورهای موردبررسی در آزمون مقاومت به آتش 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 به‌فاصله ۵ میلی‌متر از سطح نمونه‌ها و ۳۰ میلی‌متر بالاتر از لبه زیرین نمونه با طول زبانه آتش ۳/۵ سانتی متر 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 نمونه ها 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**

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 ثابت قرار داده‌شده و تصویر آنها با استفاده از دوربین با کیفیت بالا در یک نقطه مشخص و بافاصله‌ای کاملاً ثابت تهیه گردید. تصاویر به‌دست‌آمده از سطح کربنیزه تک‌تک نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ImageJ برحسب میلی‌متر

Archive of SID
www.SID.ir

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 اندازه گیری 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، به‌وسیله دستگاه آزمون چسبندگی اتوماتیک PosiTest AT-A اندازه‌گیری شدند. تمامی شرایط مورداستفاده در اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی پوشش بر اساس استاندارد ASTM D-4541(۲۰۰۲) انجام شد.

## تحلیل آماری

نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه با نرم‌افزار آماری SPSS مورد تجزیه وتحلیل 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**

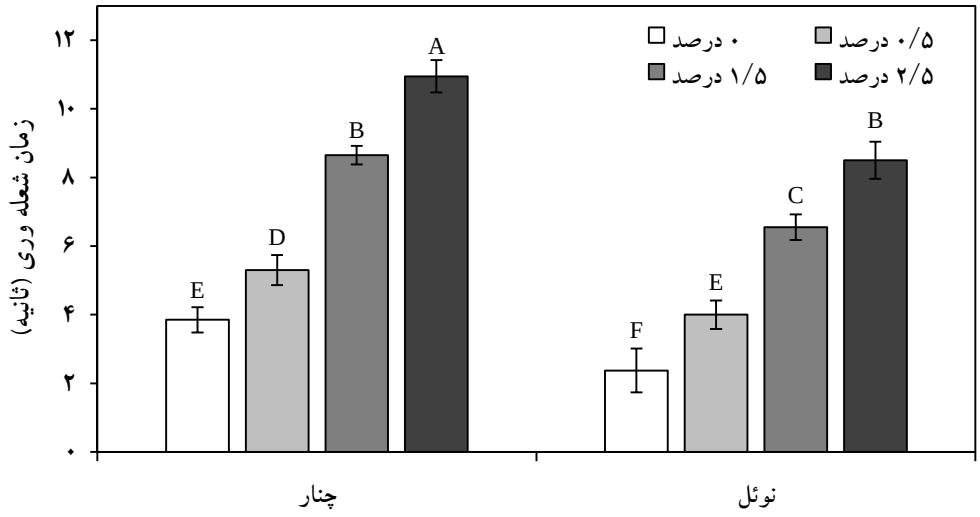
مطالعه انجام شده روی زمان شعله وری نشان داد که هنگام قرارگیری نمونه های چوبی در مقابل شعله مستقیم آتش، نمونه های پوشش‌داده‌شده گونه چنار به صورت کلی زمان شعله‌وری بیشتری نسبت به گونه نوئل داشتند؛ به عبارت دیگر مدت زمان بیشتری طول کشید که سطح نمونه‌های پوشش‌داده‌شده گونه چنار شعله‌ور شود. گروه‌بندی دانکن انجام شده نیز در تمامی پوشش‌ها، نمونه-های حاصل از گونه چنار را در گروهی بالاتر از نوئل قرار داده است (شکل ۲). از سوی دیگر به‌طوری‌که در شکل ۲ مشخص است، استفاده از نانو پوشش‌ها تأثیر بسیار زیادی بر افزایش زمان شعله‌وری در نمونه‌های پوشش‌داده‌شده 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 به‌ترتیب در گونه های نوئل و چنار، در افزایش زمان شعله وری سطح نمونه‌ها نسبت به پوشش بدون نانو داشته است. به‌عبارت‌دیگر 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 به‌ترتیب در گروه‌های A و B با بالاترین میزان زمان شعله‌وری قرار گرفتند.

**سطح سوختگی (کربنیزه)**

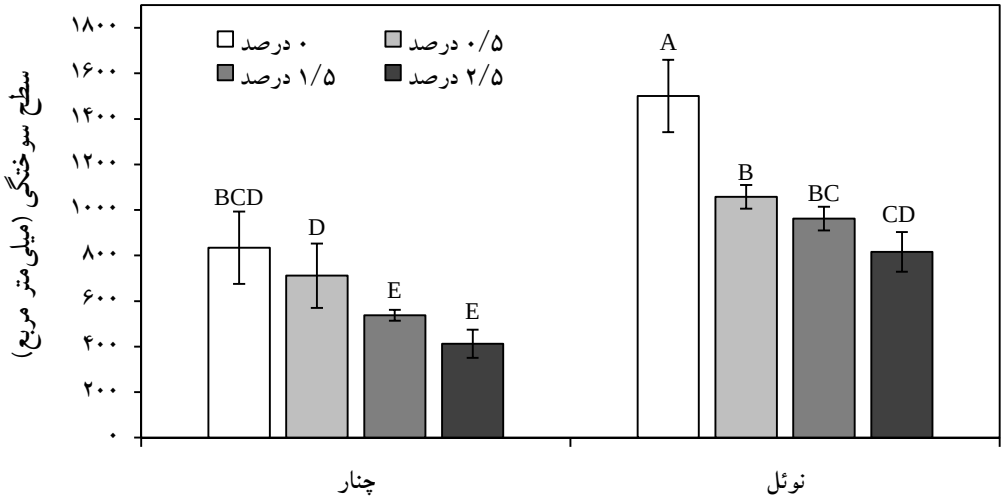
ارزیابی سطح سوختگی گونه های چوبی چنار و نوئل پوشیده شده با پوشش‌های آکریلیک با و بدون نانو ولاستونیت نشان داد که در هر دو گونه موردبررسی، نانو پوشش‌ها باعث کاهش قابل‌توجه سطح سوختگی نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های رنگ‌شده با پوشش بدون نانو شده‌اند. در نانو پوشش‌های موردبررسی، نانو پوشش حاوی بیشترین میزان نانو (۲/۵ درصد)، بیشترین تأثیر را بر کاهش سطح سوختگی نمونه‌ها داشته است. گروه‌بندی دانکن نتایج به‌دست‌آمده 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. به‌صورت کلی نیز سطح سوختگی در گونه نوئل به‌صورت قابل‌توجهی بیشتر از گونه چنار به‌دست آمد (شکل ۳).

Archive of SID

www.SID.ir




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



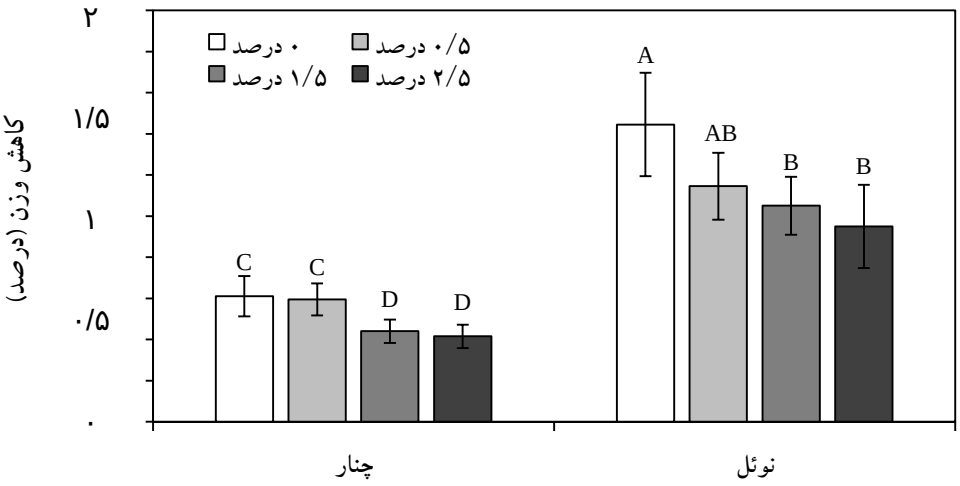

**شکل ۳- تأثیر متقابل گونه چوبی و میزان نانو ولاستونیت بر سطح سوختگی**

**کاهش وزن**

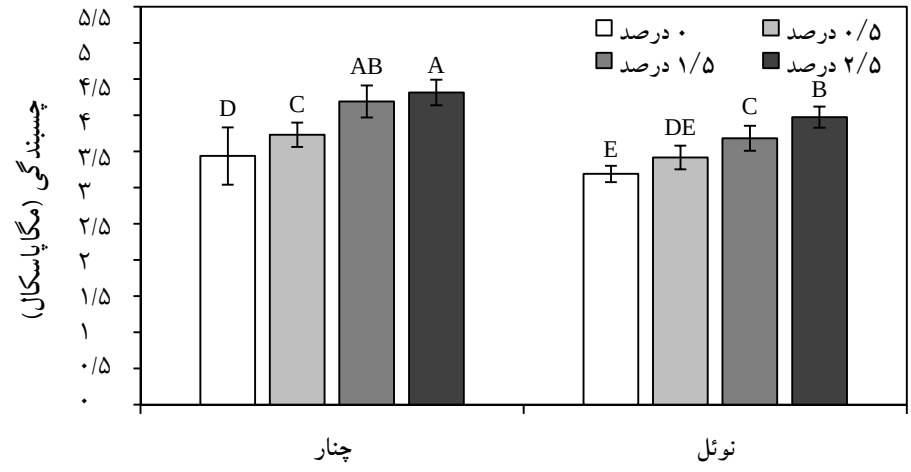
از دیگر عوامل موردبررسی در مقاومت به آتش نمونه‌های چوبی بعد از قرارگیری در برابر شعله مستقیم آتش، میزان کاهش وزن نمونه‌هاست. نتایج حاصل از تأثیر متقابل نوع گونه چوبی و میزان نانو ولاستونیت بر درصد کاهش وزن بعد از قرارگیری در برابر شعله مستقیم آتش در شکل ۳ ارائه‌شده است. به‌طوری‌که در این شکل مشاهده می‌شود در هر دو گونه چنار و نوئل استفاده از نانو پوشش‌ها باعث کاهش وزن ازدست رفته نمونه ها 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، به‌طوری‌که حتی در مقادیر کم (۰/۵ درصد نانو) نیز کاهش وزن ازدست‌رفته نمونه‌ها قابل‌توجه بود و درنهایت نانو پوشش ۲/۵ درصد، کاهش ۳۴ درصدی وزن ازدست‌رفته نسبت به پوشش شاهد را باعث شده است. گروه‌بندی دانکن نیز در گونه نوئل، نانو پوشش‌ها را در گروه‌های جدا از

www.SID.ir

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 به‌ترتیب با میزان ۳۲ و ۲۸ درصد به‌دست آمد. بر 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).




**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**

**مقاومت چسبندگی پوشش**

نتایج حاصل از بررسی انجام شده در این مطالعه روی مقاومت چسبندگی پوشش آکریلیک پایه آب بیانگر این بود که به‌صورت کلی چسبندگی این پوشش به سطوح نمونه‌های حاصل از گونه چنار بیشتر از گونه نوئل بود. از سوی دیگر در هر دو گونه موردبررسی افزودن نانو ولاستونیت به پوشش آکریلیک، تأثیر قابل توجهی بر بهبود چسبندگی این پوشش به سطح نمونه‌های چوبی داشته است. به‌طوری‌که بیشترین میزان چسبندگی پوشش در گونه‌های چنار و نوئل با نانو پوشش‌های حاوی ۲/۵ درصد نانو به‌دست آمد.

www.SID.ir

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 به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری مقاومت به آتش نمونه‌های پوشش‌داده‌شده مشخص شد که گونه چوبی چنار مقاومت بیشتری در مقابل شعله مستقیم نسبت به گونه نوئل از خود نشان داده است. به‌طوری‌که بالاترین زمان شعله‌وری و همچنین کمترین سطح سوخته شده و درصد کاهش وزن در نمونه‌های تهیه‌شده از گونه چنار مشاهده شد. به‌طورکلی 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 این‌گونه نسبت به آتش را به میزان بیشتری نسبت به گونه نوئل افزایش داده است. از سوی دیگر به‌صورت 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؛ به‌عبارت‌دیگر 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 چوب های با دانسیته پایین هستند. به همین دلیل در هنگام قرارگیری در برابر شعله مستقیم زمان شعله‌وری و گداختی آنها بیشتر است. درواقع مقاومت به آتش آنها بیشتر از گونه‌های سبک‌وزن است.

در مطالعه مقاومت به آتش مستقیم نانو پوشش‌ها و پوشش شاهد اعمال‌شده روی نمونه‌های چوبی مشخص شد که نانو پوشش‌های تهیه‌شده با نانو ولاستونیت مقاومت بیشتری در برابر شعله مستقیم نسبت به پوشش شاهد داشتند. به‌طوری‌که زمان شعله‌وری گونه‌های چوبی نوئل و چنار با نانو پوشش ۲/۵ درصد به‌ترتیب 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 به‌ترتیب 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 پوشش‌داده‌شده با نانو پوشش‌ها را می‌توان به هدایت حرارتی بالای نانو ذرات ولاستونیت نسبت داد. هنگامی‌که 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. درنتیجه حرارت اعمالی در آن نقطه کاهش‌یافته و زمان رسیدن به دمای اشتعال آن قسمت افزایش می‌یابد. درواقع 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 آکریلیک پایه آب و تولید محلول امولسیون، درهم‌رفتگی مناسب بین نانو ذرات و پوشش را به وجود می‌آورد. نانو ولاستونیت در ساختار خود دارای ترکیبات اکسیدسیلیس، تیتانیوم، منیزیم،

Archive of SID

www.SID.ir

اکسیدکلسیم و آهن است که خاصیت مقاومت در برابر آتش دارند. همین امر باعث می‌شود که در هنگام قرارگیری پوشش‌های حاوی نانو ولاستونیت در برابر آتش، در مرحله اول لایه‌ای نازک از زغال توسط ولاستونیت 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 ولاستونیت موجب افزایش دمای تجزیه حرارتی و پایداری حرارتی در نانو پوشش می‌گردد. این اتفاق ناشی از ورقه شدن لایه‌های سیلیکاتی ولاستونیت 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 ولاستونیت 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 ولاستونیت بر مقاومت به آتش نانو کامپوزیت های چوب پلاستیک بر موارد بیان شده تأکید نموده و به نتایج مشابهی دست یافتند. Farhadinejad و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان نمودند که حضور نانو ولاستونیت 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 این‌گونه نسبت به گونه پهن‌برگ چنار بیشتر است. Kasseney 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 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 ضعیف‌تر 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 ضعیف‌تر گونه نوئل نسبت به چنار را می‌توان به ساختار متخلخل‌تر، دانسیته پایین و پیوستگی بین الیاف ضعیف این‌گونه نسبت داد (Khojasteh Khosro, 2014). ماشین‌کاری چوب طی فرایند آماده‌سازی باعث ایجاد بافتی ضعیف در سطح نمونه ها می شود که سبب تأثیر در فرایندهای اعمال پوشش و چسب شده و باعث کاهش چسبندگی آنها می‌شود (Jahan Latibari, 2007، Khojasteh Khosro, 2014).

افزودن نانو ولاستونیت به پوشش آکریلیک پایه آب تأثیر قابل‌توجهی در بهبود چسبندگی پوشش به سطح نمونه های چوبی داشته است. نانو ولاستونیت 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 ولاستونیت در پوشش پایه آب است. انحلال این ذرات در بستر آکریلیک پایه آب و تولید محلول امولسیون امکان به وجود آمدن پیوندهای قوی بین ساختارهای سوزنی ذرات ولاستونیت و پوشش را به وجود می‌آورد. از سوی دیگر بخش اعظم ساختار نانو ذرات ولاستونیت را اکسیدسیلیس ($SiO_2$) تشکیل داده

Archive of SID

www.SID.ir

است. Sow و همکاران (۲۰۱۱) در طی مطالعات خود روی تأثیر نانو ذرات $SiO_2$ بر چسبندگی پوشش‌های 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[1] و درنتیجه تعداد گروه‌های واکنش‌گر می‌شود. افزایش پیوندهای دوگانه آکریلات باعث افزایش تراکم اتصالات عرضی در نانو پوشش‌ها می‌گردد که در بهبود قابلیت نفوذ پوشش به لایه‌های 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 توانند خواص پوشش‌ها ازجمله چسبندگی آنها را افزایش داده و بهینه کنند.

پوشش‌دهی مناسب محصولات چوبی نه‌تنها نقش بسزایی در زیبایی و کیفیت محصول نهایی دارد بلکه در بازاریابی مؤثر و فروش این محصولات نیز بسیار حائز اهمیت است. همچنین نقش پوشش‌دهی در حفاظت از محصول نهایی و افزایش طول عمر آن را نیز نباید ازنظر دور داشت. از دیگر نکات برجسته در ارتباط با پوشش‌دهی محصولات چوبی، افزایش مقاومت به آتش این محصولات به‌ویژه در مکان‌هایی با استفاده زیاد از چوب و فراورده‌های تولیدی از آن است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از نانو ذرات ولاستونیت به‌وضوح بر افزایش مقاومت نمونه‌های چوبی نسبت به آتش مؤثر بوده و چسبندگی پوشش به سطح چوب نیز به‌طور محسوسی بهبودیافته است. اگرچه نسبت بهینه نانو ذرات ولاستونیت در نانو پوشش‌ها برابر با ۲/۵ درصد برآورد گردید، اما نسبت ۱/۵ درصد نیز تأثیر قابل‌توجهی بر بهبود مقاومت به آتش و چسبندگی پوشش به سطح چوب از خود نشان داد. ازاین‌رو از منظر اقتصادی، نانو پوشش‌های حاوی ۱/۵ درصد نانو ذرات ولاستونیت به دلیل هزینه تولید پایین‌تر در مقیاس صنعتی می‌توانند بسیار حائز اهمیت باشند. لازم به‌ذکر است که نانو ذرات ولاستونیت جزو ارزان‌ترین نانو مواد موجود در بازار بوده، به‌نحوی‌که در مقایسه با نانو ذرات فلزی قیمت بسیار نازل‌تری دارند. از سویی افزایش عمر مفید و ماندگاری محصولات چوبی ناشی از فرایند پوشش‌دهی با نانوپوشش‌ها، اندک افزایش هزینه تولید و استفاده از آن را توجیه می‌نماید. همچنین به‌دلیل فراوانی منابع طبیعی تولید ولاستونیت در کشور عزیزمان و سهولت دسترسی و استفاده از آن، تجاری‌سازی نانو پوشش ولاستونیت می‌تواند از جنبه اقتصادی تولید محصولات چوبی با مطلوبیت بالاتر را تضمین کند.

1 - Acrylate

## منابع مورداستفاده

-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 Militz, 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

Archive of SID
www.SID.ir

nanostructured wollastonite filler. Polymer testing, 28: 348-356.
-Miszczyk, 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, Daneshgahe 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

Archive of SID

www.SID.ir

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

**H. Rangavar[1*], S. Khojasteh Khosro[2] and M. Taghipour Javy[3]**

1*-Corresponding author, Associate Professor of Wood Science and Technology Department, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee 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 Rajaee 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 (casio3) 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% weas 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 particluar, 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.

Archive of SID

www.SID.ir