

## بررسی اثر کندسوزکنندگی نانولاستونیت در چوب نراد (*Abies alba*)

آذر حقیقی پُشتیری<sup>۱</sup>، حمیدرضا تقی یاری<sup>۲\*</sup> و علی نقی کریمی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

پست الکترونیک: httaghiyari@yahoo.com & httaghiyari@srutu.edu

۳- استاد، صنایع چوب، دانشگاه پوترا مالزی و دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: اسفند ۱۳۹۱

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۰

### چکیده

در این مطالعه قابلیت کندسوزکنندگی نانولاستونیت در چوب نراد (*Abies alba*) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین میزان جذب آب و واکنشیدگی حجمی نمونه‌ها نیز اندازه‌گیری شد. نمونه‌های آزمون طبق استاندارد ISO ۱۱۹۲۵ مربوط به اندازه‌گیری خواص مقاومت به آتش و استاندارد ASTM-D ۴۴۴۶-۲۰۰۲ مربوط به اندازه‌گیری خواص فیزیکی تهیه شدند. اشباع نمونه‌های چوبی با نانولاستونیت با استفاده از روش بتل در چهار سطح غلظت ۴، ۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد انجام شد. ویژگی مقاومت به آتش نمونه‌های مورد مطالعه توسط پنج معیار (درصد کاهش وزن، نقطه اشتعال، دوام شعله، دوام گدازش و درصد سطح کربونیزه شده) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش غلظت نانولاستونیت مقاومت به آتش نمونه‌های تیمار شده افزایش یافت. همچنین، چوب تیمار شده با این ماده افزایش ثبات ابعاد بیشتری نیز نشان داد. بنابراین با توجه به آزمون خوشه‌ای بر مبنای تمامی خواص اندازه‌گیری شده، مقدار مصرف ۱۰ درصد پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** روش بتل (سلول تهی)، چوب نراد، ویژگی‌های کندسوزکنندگی، اشباع، نانولاستونیت، واکنشیدگی حجمی، جذب آب.

### مقدمه

فیزیکی چوب محسوب می‌شود و از ترکیب سریع اکسیژن با اجسام در دمایی خاص که درجه اشتعال نامیده می‌شود، به وجود می‌آید. نقطه‌ی اشتعال پایین‌ترین دمایی است که ماده‌ی سوختنی وقتی تا آن درجه گرم شود شروع به سوختن همراه با شعله می‌کند. کندسوز کردن مواد اشتعال‌پذیر نظیر چوب، عملی است که در آن عناصر تشکیل دهنده‌ی چوب را از تماس با اکسیژن هوا مصون

چوب به‌عنوان ماده‌ی مهندسی کاربردهای متنوعی دارد. عملکرد منفی چوب و فرآورده‌های چوبی در برابر آتش یکی از عوامل کاهش کاربرد آنها محسوب می‌شود. یکی از تمهیدات مهم در شرایطی که چوب به‌عنوان یک ماده‌ی خام به‌کار می‌رود، مسئله‌ی حفاظت آن در برابر آتش است. آتش در زمره‌ی مهم‌ترین عوامل مخرب

بیرونی مناسب نباشد (Stark et al., 2010). همچنین، خاصیت انتقال گرمای ذرات نانوسیلور باعث شده تجمع گرما در یک نقطه کاهش یافته و در نتیجه خواص کندسوزکنندگی در نمونه‌های اشباع‌شده با این ماده افزایش یابد (Taghiyari, 2012). بسیاری از این ترکیبات ممکن است روی سایر ویژگی‌های چوب نیز تأثیرگذار باشند. به عنوان مثال، ایجاد رفتار بازدارندگی در برابر آتش در چوب، اغلب موجب افزایش جذب آب، تغییر رنگ و یا فساد تدریجی چوب می‌شود. همچنین این گونه اصلاحات می‌تواند موجب کاهش دوام چوب، کاهش استحکام مکانیکی و مقاوم شدن در برابر چسب و رنگ شود؛ در صورتی که عمده‌ترین کاربرد چوب‌های اصلاح شده با خاصیت بازدارندگی آتش در مصارف بیرونی است. به طور کلی اگر تیمار با کندسوزکننده‌ها باعث مقاومت در برابر پوسیدگی و بهبود ثبات ابعاد چوب گردد، آن ماده‌ی کندسوزکننده دارای برتری می‌باشد (Stark et al., 2010، پارسا پوزه و همکاران، ۱۳۸۸). در کنار ویژگی‌های منحصر به فرد چوب (در دسترس بودن، تنوع، قیمت کم، تجدیدشوندگی، استحکام وابسته به وزن، ابعاد و...) این ماده دارای ویژگی‌های نامطلوبی همچون ناپایداری ابعاد نیز می‌باشد که از تبادل رطوبت با محیط پیرامون ناشی می‌شود (Papadopoulos, 2010). این ویژگی باعث تغییر ابعاد چوب شده و بر روی خواص مکانیکی، قابلیت رنگ‌آمیزی، خاصیت خوردندگی، هدایت گرمایی، صوتی و الکتریکی چوب اثر می‌گذارد. فناوری نانو از مباحث علمی روز و نوپا است که کاربردهای وسیعی در کلیه رشته‌ها پیدا کرده و صنعت چوب و کاغذ نیز از این امر مستثنی نبوده است. محققان این رشته به انجام پژوهش‌های مختلفی در این حوزه پرداخته‌اند.

می‌نماید و یا انتقال حرارت را کند کرده و در نهایت آستانه آتش‌گیری (شعله‌وری) آنها را به تأخیر می‌اندازد. عمل مذکور می‌تواند به‌طور سطحی یا عمقی و با استفاده از مواد حفاظتی مختلف انجام شود. بسیاری از بازدارنده‌های آتش که هم‌اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرند، در کاهش پارامترهای مختلف واکنش چوب در برابر آتش (قابلیت اشتعال، پخش حرارت و گسترش شعله ...) نقش دارند. مؤثرترین مواد کندسوزکننده که تاکنون یافت شده‌اند، ترکیباتی شامل برم، کلر، فسفر و یا ترکیبی از این عناصر هستند. عناصر دیگر که اثر کندسوزکنندگی از خود نشان داده‌اند شامل آنتیموان، بور، نیتروژن، سیلیکون و روی است. این عناصر معمولاً همراه با فسفر یا ترکیبات هالوژنی استفاده می‌شوند. کندسوزکننده‌های حاوی برم با ترکیبی از آنتیموان و اغلب اکسید آنتیموان به کار می‌روند. از دیگر کندسوزکننده‌های معمول هیدروکسیدهای فلزی هستند که عموماً ترکیبات دارای آلومینیوم و یا منیزیم هستند. گاهی ملامین با فسفات ترکیب می‌شود تا مخلوطی از فسفر- نیتروژن به دست آید. در اثر تجزیه‌ی این ماده نیتروژن و آمونیاک تولید می‌شود. آمونیوم پلی- فسفات ترکیب دیگری از فسفر- نیتروژن است که به منظور کندسوزکردن چوب مورد استفاده قرار گرفته است. سازوکار عملکرد این مواد به چند طریق زیر انجام می‌شود: ۱- محدود کردن رادیکال‌های آزاد، ۲- افزایش سرعت تشکیل لایه‌ی زغال، ۳- رفیق نمودن گازهای قابل اشتعال، ۴- تولید کف در محیط گرم و ایجاد مانع در رسیدن اکسیژن و گرما به سطح قابل اشتعال، ۵- کاهش تولید دود، ۶- جلوگیری از سوختن بدون شعله و گسترش آتش. با وجود این آمونیوم پلی‌فسفات نمی‌پذیرد، از این رو ممکن است برای استفاده در مصارف

کامپوزیت استفاده کردند و مشاهده نمودند که نانولاستونیت دمای کریستالی شدن را در ماتریکس کاهش داده و باعث بهبود پایداری حرارتی می‌شود. Mai و Militz (۲۰۰۴)، در تحقیقی به شرح اثر تیمار چوب با ترکیبات مختلف سیلیکون معدنی پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که سیلیکات قلیایی قادر است دوام چوب را افزایش دهد. به دلیل هیگروسکوپی بالا و مقدار pH بالای آن، جذب آب افزایش یافته و کاهش مقاومت چوب مشاهده شد. چوب تیمار شده با تتراآلکوکسی سیلان‌ها افزایش ثبات ابعاد را نشان داد. Jinshu و همکاران (۲۰۰۷) اثر ترکیب رزین اوره‌فرمالدئید با نانو  $\text{SiO}_2$  را بر کارایی ضد واکشیدگی، مقاومت به جذب آب، شاخص اکسیژن و سختی چوب صنوبر (*Populus tomentosa*) را در ۵ نوع اصلاح‌گر مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تمام اصلاح‌گرها جذب آب چوب صنوبر را کاهش و مقاومت به آتش و سختی را افزایش دادند. خسرویان (۱۳۸۸) اثر ولاستونیت در ابعاد میکرو و نانو را بر خواص مکانیکی، فیزیکی، حرارتی و ریخت‌شناسی چندسازه‌ی چوب پلاستیک مورد بررسی قرار داد. نتایج او نشان داد که با افزایش درصد میکروولاستونیت و همین‌طور نانولاستونیت در چند-سازه، واکشیدگی ضخامت و جذب آب کاهش یافت ولی پایداری حرارتی، درصد کریستالی شدن و مقاومت در برابر آتش چندسازه با افزایش درصد ولاستونیت در هر دو اندازه آن افزایش یافت. ازاین‌رو، هدف از این مطالعه بررسی اثر نانولاستونیت و تعیین سطح بهینه‌ی استفاده از این ماده به‌عنوان کندسوزکننده در بهبود ویژگی‌های مقاومت به آتش و ثبات ابعاد چوب نراد می‌باشد. همچنین با توجه به فراوانی و قیمت اندک این ماده‌ی معدنی در

ازجمله تأثیراتی که این مواد بر خواص چوب و فرآورده‌های آن داشته است، می‌توان به: افزایش پایداری در برابر رطوبت (Jinshu *et al.*, 2007, & Mantanis, 2010)، پرتوهای فرابنفش (Virta, 2001)، مقاومت در برابر عوامل مخرب زیستی (Kartal *et al.*, 2009) و انواع ویژگی‌های ظاهری از قبیل سختی (Jinshu *et al.*, 2007) اشاره کرد. برای این مقاصد از انواع مختلف نانو ذرات فلزی و شیمیایی نظیر مس، روی، اکسید سیلیسیوم و غیره استفاده شده است. تاکنون استفاده از نانوذرات مقاوم به آتش به‌طور عمده در تولید پلاستیک‌ها، بکار برده شده است (Luyt *et al.*, 2009). ازاین‌رو، استفاده از این مواد در چوب و فرآورده‌های آن دور از تصور نیست، اما تاکنون تحقیقات اندکی در این زمینه انجام شده است. از لحاظ شیمیایی ولاستونیت یک کلسیم متاسیلیکات با فرمول  $\text{CaSiO}_3$  می‌باشد که در دهه ۱۹۵۰ شناخته شد و به سرعت مورد استفاده گوناگون در پلاستیک‌ها، رنگ‌ها، محصولات مقاوم در برابر سائیدگی و سرامیک و متالورژی پیدا کرده است (Virta, 2001). ویژگی‌های اصلی و مهم ولاستونیت که آن را برای استفاده در صنعت پلاستیک مناسب ساخته است، شامل رنگ سفید، جذب رطوبت اندک، پایداری حرارتی مناسب، ضریب انبساط حرارتی اندک، سختی نسبتاً زیاد (در حدود ۵/۵Mohs)، ضریب هدایت حرارتی بالا (تقی‌یاری و همکاران، ۲۰۱۳)، خاصیت قلیایی بالا و تجزیه و تفکیک به وسیله‌ی اسیدهای معدنی می‌باشد (خسرویان، ۱۳۸۸). همچنین این ماده غیرقابل اشتعال و غیرقابل احتراق بوده و برخلاف نانوذرات هیدروکسید فلزی، سرطان‌زا نمی‌باشد. Luyt و همکاران (۲۰۰۹) نانولاستونیت را به‌عنوان پرکننده در ساخت نانو

نگهداری شدند تا به رطوبت تعادل با محیط (۱۲٪) برسند و ماده‌ی حفاظتی در چوب تثبیت گردد. به منظور انجام آزمون مقاومت به آتش از دستگاهی که طبق استاندارد فوق طراحی گردید، استفاده شد. قبل از انجام آزمون مقاومت به آتش، وزن اولیه‌ی نمونه‌ها با ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. پس از استقرار هر نمونه در دستگاه، دهانه نازل آتش با زاویه‌ی ۴۵° و به فاصله ۵ میلی‌متر از سطح و ۳۰ میلی‌متر از لبه پایین نمونه‌ها قرار گرفت و آزمون مقاومت به آتش با فشار ثابت گاز خروجی به مدت ۱۲۰ ثانیه انجام شد. پس از اتمام آزمون وزن نمونه‌ها دوباره اندازه‌گیری و درصد کاهش وزن نمونه نسبت به وزن اولیه به عنوان میزان مقاومت به آتش در نظر گرفته شد. افزون بر این، زمان رسیدن به نقطه اشتعال، دوام شعله بعد از برداشتن نازل آتش، دوام گدازش بعد از برداشتن نازل آتش و درصد سطح کربونیزه شده اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفت.

همچنین به منظور بررسی مقدار حضور نانو-ولاستونیت در بافت چوب پس از اشباع، درصد خاکستر نمونه‌های چوبی اندازه‌گیری شد و با نمونه‌های شاهد مقایسه گردید. برای این منظور ابتدا نمونه‌های آزمونی به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۰ °C نگهداری شدند. سپس وزن خشک آنها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خشک شده در ظروف چینی قرار گرفته و در کوره‌ای با دمای ۷۲۰ °C به مدت ۷ ساعت نگهداری شده تا تبدیل به خاکستر شوند. سپس وزن خاکستر نمونه‌ها دوباره با همان ترازو توزین گردید.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های مربوط به مقاومت به آتش نمونه‌های چوبی در قالب آزمایش

ایران، استفاده از این ماده در حفاظت چوب مقرون به صرفه می‌باشد. گونه مورد مطالعه (نراد)، یکی از گونه‌های پرکاربرد با نقوشی زیبا بوده و کار با آن بسیار آسان است، به طوری که مناسب برای تأمین نیاز رو به رشد بازار مصرف چوب می‌باشد. از عمده موارد استفاده از چوب نراد، کاربرد آن در مبلمان و مصنوعات داخل ساختمان است. از این رو، افزایش مقاومت به آتش و بهبود ثبات ابعاد این چوب، در افزایش سطح ایمنی حائز اهمیت است.

## مواد و روشها

نمونه‌های چوبی مطابق استاندارد ISO ۱۱۹۲۵ در ابعاد ۱۵۰×۱۰۰×۹ mm با تعداد تکرار ۷ عدد برای هر تیمار برای انجام آزمون مقاومت به آتش (رنگ‌آور و همکاران، ۲۰۱۲) و مطابق استاندارد ۲۰۰۲-۴۴۴۶ ASTM D در ابعاد ۲۰×۲۰×۲۰ mm با تعداد تکرار ۱۰ عدد برای هر تیمار به منظور اندازه‌گیری میزان جذب آب و واکنش‌دهی حجمی تهیه شدند. سپس به مدت ۲ ماه در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند تا رطوبت آنها به رطوبت تعادل محیط آزمایشگاه (۱۲٪) نزدیک شود.

نمونه‌های آزمونی بعد از شماره‌گذاری داخل سیلندر اشباع قرار گرفتند. اشباع نمونه‌ها به روش بتل، طی مراحل زیر به ترتیب اعمال گردید: خلأ مقدماتی به میزان ۰/۵- اتمسفر به مدت ۱۵ دقیقه، غوطه‌وری با محلول حفاظتی با حفظ خلأ مقدماتی، فشار ثابت (اعمال فشار ۳ اتمسفر به مدت ۲ ساعت)، زهکشی محلول حفاظتی و در نهایت خلأ نهایی به میزان ۰/۵- اتمسفر و به مدت ۵ دقیقه. پس از اتمام مراحل فوق نمونه‌ها از سیلندر خارج شده و به مدت ۴ هفته در محیط آزمایشگاه

جذب محلول نانولاستونیت برای تمام سطوح غلظت، تقریباً یکسان و به میزان  $0.34 \text{ (g/cm}^3\text{)}$  بود. با توجه به اینکه غلظت محلول‌ها متفاوت بود، میزان ماندگاری ماده‌ی خشک نانولاستونیت بر مبنای هریک از غلظت‌ها بر پایه‌ی جدول ۱ محاسبه شد.

فاکتوریل تک متغیره به کمک تحلیل واریانس و گروه-بندی میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن مورد تحلیل قرار گرفت. کلیه تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS (ویرایش ۱۶) انجام شده است.

## نتایج

پس از انجام فرایند اشباع، نتایج نشان داد که میزان

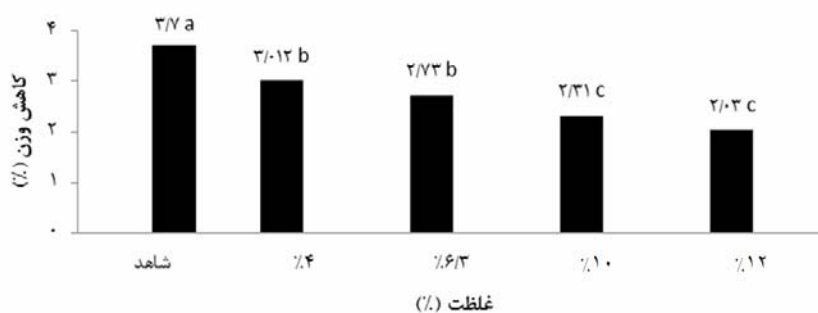
جدول ۱- میزان ماندگاری ماده خشک نانولاستونیت بر مبنای هریک از غلظت‌ها

غلظت محلول نانولاستونیت (%)				تیمار بندی
۱۲	۱۰	۶/۳	۴	ماندگاری $\text{(g/cm}^3\text{)}$
۰/۰۳۸	۰/۰۳۵	۰/۰۲	۰/۰۱۶	

## درصد کاهش وزن

به طوری که کمترین میزان کاهش وزن در غلظت ۱۲٪ مشاهده گردید که در مقایسه با نمونه‌های شاهد ۴۴/۹۷ درصد کاهش یافته است. با وجود تفاوت ۱۲/۱ درصدی بین دو غلظت ۱۰ و ۱۲ درصد از نظر تأثیر بر کاهش وزن نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری یافت نشد و هر دو در یک گروه آماری قرار گرفتند.

بر اساس تحلیل آماری اثر غلظت نانولاستونیت بر درصد کاهش وزن، در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج نشان دادند که با افزایش میزان غلظت از کاهش وزن نمونه‌ها کاسته شده و مقاومت به آتش آنها افزایش می‌یابد. اثر غلظت ماده کندسوزکننده بر این ویژگی به همراه گروه‌بندی دانکن در شکل ۱ نشان داده شده است.

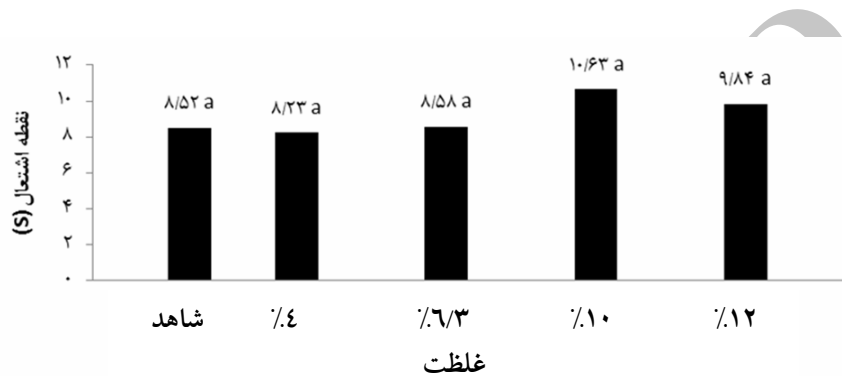


شکل ۱- اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر درصد کاهش وزن نمونه‌ها در آزمون مقاومت به آتش به همراه گروه‌بندی دانکن

## نقطه اشتعال

کمترین و بیشترین زمان رسیدن به نقطه‌ی اشتعال، به ترتیب در نمونه‌های اشباع‌شده با غلظت‌های ۴ و ۱۰ درصد دیده شد. البته با وجود تفاوت ۲۹/۱۶ درصدی بین کمترین و بیشترین نقطه‌ی اشتعال، تفاوت معنی‌داری بین هیچیک از تیمارها دیده نشد. نتایج حاصل از تحلیل

آماري نشان داد که اثر غلظت نانولاستونیت بر زمان رسیدن به نقطه‌ی اشتعال در سطح ۰/۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد. اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر زمان رسیدن به نقطه اشتعال به همراه گروه‌بندی دانکن در شکل ۲ نشان داده شده است.

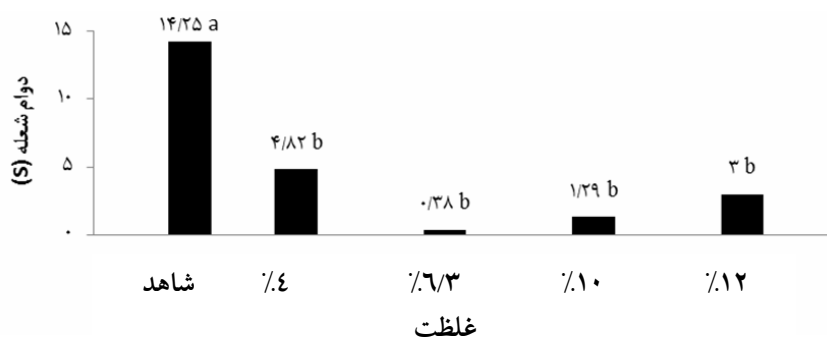


شکل ۲- اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر زمان رسیدن به نقطه اشتعال (بر حسب ثانیه) به همراه گروه‌بندی دانکن

## دوام شعله

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل آماری، اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر دوام شعله بعد از برداشتن نازل آتش در سطح ۰/۵٪ معنی‌دار می‌باشد. کمترین و بیشترین دوام شعله به ترتیب در نمونه‌های اشباع‌شده با غلظت ۶/۳ درصد (۰/۳۸ ثانیه) و شاهد (۱۴/۲۵ ثانیه) دیده شد. دوام شعله در نمونه‌های اشباع‌شده با نانولاستونیت در تمامی سطوح غلظت به طور چشم‌گیری کاهش یافت،

به طوری که در غلظت ۶/۳ درصد از این ماده، کاهش ۹۷/۳۱ درصدی (در مقایسه با نمونه‌های شاهد) مشاهده گردید. اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر دوام شعله بعد از برداشتن نازل آتش به همراه گروه‌بندی دانکن در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که بین چهار غلظت ۴، ۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد از نظر دوام شعله اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفته‌اند.

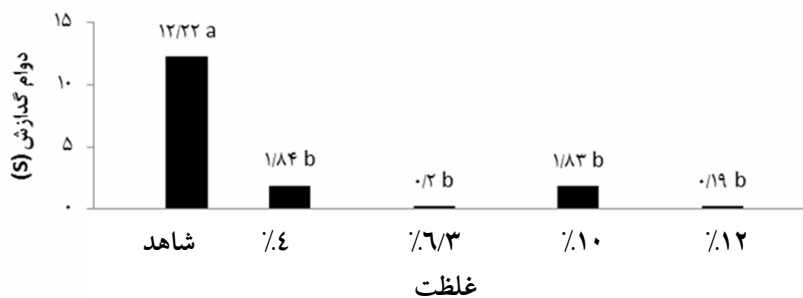


شکل ۳- اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر دوام شعله بعد از برداشتن نازل آتش (بر حسب ثانیه) به همراه گروه‌بندی دانکن

### دوام گدازش

تحلیل آماری نشان دادند که اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر دوام گدازش بعد از برداشتن نازل آتش در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. دوام گدازش در نمونه‌های اشباع‌شده با نانولولاستونیت در تمامی سطوح غلظت به طور چشم‌گیری کاهش یافت. اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر دوام گدازش بعد از برداشتن نازل آتش به همراه گروه‌بندی

دانکن در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود کمترین مقدار دوام گدازش در نمونه‌های اشباع‌شده با غلظت ۱۲ درصد (۰/۲ ثانیه) مشاهده شد که در مقایسه با نمونه‌های شاهد (۱۲/۲۲ ثانیه)، به میزان ۹۸/۳۸ درصد کاهش یافته است. نتایج نشان دادند که بین چهار غلظت ۴، ۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد از نظر دوام گدازش اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.



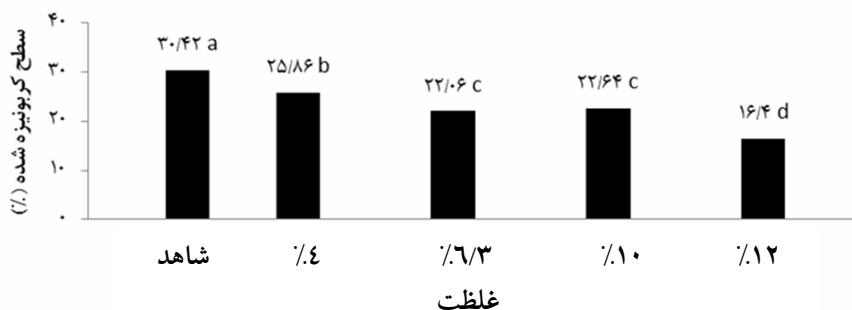
شکل ۴- اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر دوام گدازش بعد از برداشتن نازل آتش به همراه گروه‌بندی دانکن

### سطح کربونیزه شده

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل آماری اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر درصد سطح کربونیزه شده در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. با افزایش غلظت، سطح

کربونیزه در نمونه‌های آزمونی کاهش می‌یابد. کمترین مقدار سطح کربونیزه در نمونه‌های اشباع‌شده با غلظت ۱۲ درصد مشاهده شد که در مقایسه با نمونه‌های شاهد ۴۶/۰۸ درصد کاهش یافته است. اثر غلظت ماده

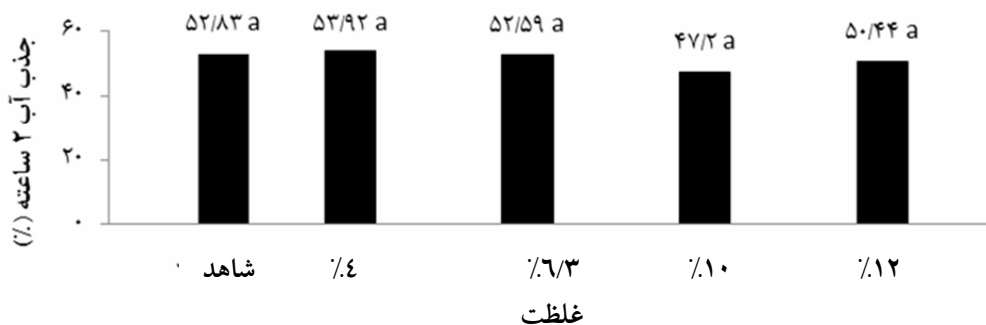
کندسوزکننده بر درصد سطح کربونیزه شده به همراه گروه‌بندی دانکن در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر درصد سطح کربونیزه شده به همراه گروه‌بندی دانکن

کندسوزکننده بر درصد جذب آب بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب را به همراه گروه‌بندی دانکن نشان می‌دهد.

جذب آب بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب بر اساس تحلیل آماری صورت گرفته، اثر غلظت ماده بر جذب آب نمونه‌های آزمون بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در سطح ۵٪ معنی‌دار نبود. شکل ۶ اثر غلظت ماده‌ی



شکل ۶- اثر غلظت ماده بر درصد جذب آب بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب به همراه گروه‌بندی دانکن

جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

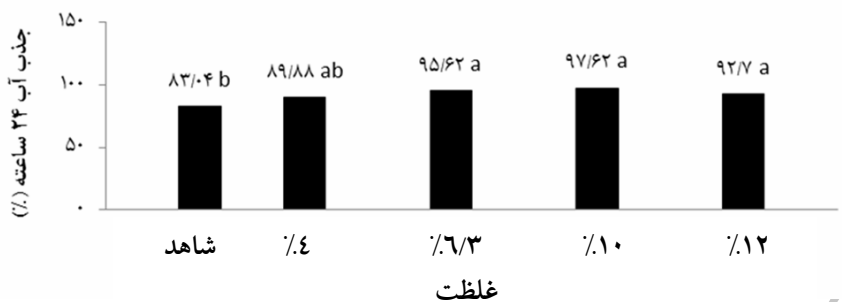
غوطه‌وری در آب را به همراه گروه‌بندی دانکن نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت نانووولاستونیت میزان جذب آب نمونه‌های اشباع شده با این ماده افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار جذب آب در

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل آماری، اثر غلظت ماده بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. شکل ۷ اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر درصد جذب آب بعد از ۲۴ ساعت



یک گروه جای گرفته‌اند و اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف غلظت از نظر ویژگی مورد اندازه‌گیری یافت نشد.

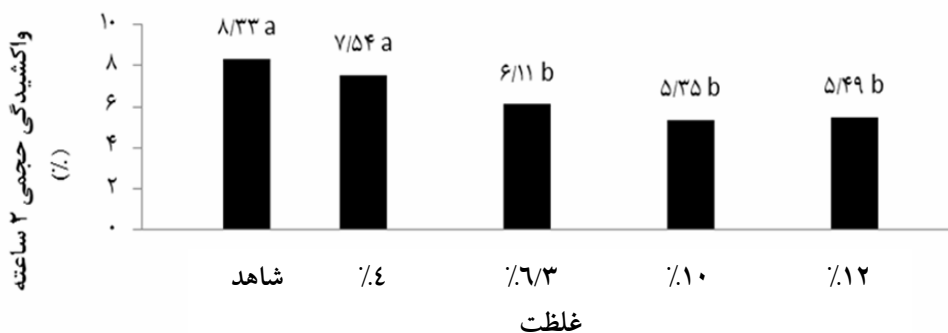
نمونه‌های اشباع شده با غلظت ۱۰ درصد مشاهده شد که در مقایسه با نمونه‌های شاهد ۱۷/۵۷ درصد افزایش یافته است. از لحاظ آماری سه غلظت ۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد در



شکل ۷- اثر غلظت ماده بر درصد جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب به همراه گروه‌بندی دانکن و اکشیدگی حجمی بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب

نانوولاستونیت میزان و اکشیدگی حجمی نمونه‌های اشباع شده با این ماده کاهش می‌یابد. به طوری که سه غلظت ۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد در یک گروه آماری جای گرفته‌اند. به عنوان مثال، در نمونه‌های اشباع شده با غلظت ۱۰ درصد، در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش ۳۵/۷۴ درصدی در این ویژگی دیده می‌شود.

شکل ۸ اثر غلظت ماده بر درصد و اکشیدگی حجمی بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب به همراه گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل آماری، اثر غلظت ماده بر درصد و اکشیدگی حجمی بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب، در سطح ۰/۵٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت

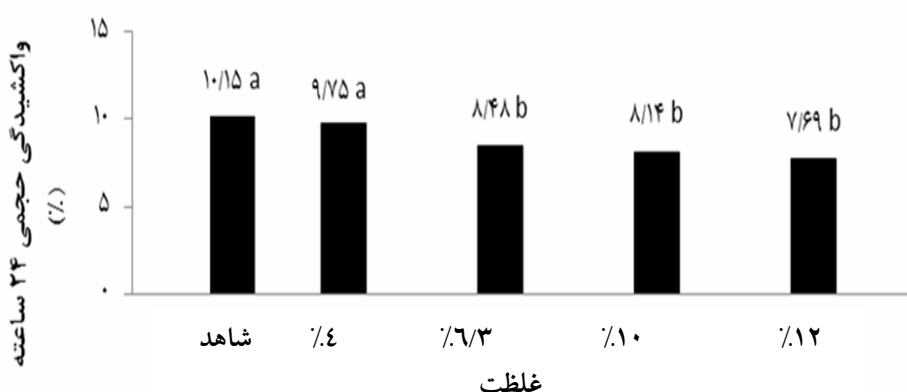


شکل ۸- اثر غلظت ماده بر درصد و اکشیدگی حجمی بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب به همراه گروه‌بندی دانکن

## واکشیدگی حجمی بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری، اثر غلظت ماده بر درصد واکشیدگی حجمی بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، در سطح ۰.۵٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج نشان داد که واکشیدگی حجمی نمونه‌های اشباع‌شده با نانولاستونیت در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش یافته است و این کاهش در سطوح غلظت ۶/۳، ۱۰ و ۱۲

درصد از نظر آماری در یک گروه قرار گرفته‌اند. به-عنوان مثال، در نمونه‌های اشباع‌شده با غلظت ۱۲ درصد، در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش ۲۴/۲۸ درصدی در این ویژگی دیده می‌شود. شکل ۹ اثر غلظت ماده بر درصد واکشیدگی حجمی بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب به‌همراه گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد.

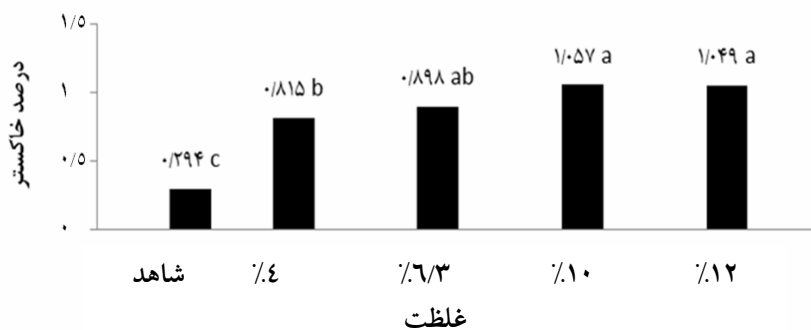


شکل ۹- اثر غلظت ماده بر درصد واکشیدگی حجمی بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب به‌همراه گروه‌بندی دانکن

## درصد خاکستر

تحلیل‌های آماری نشان داد که اثر غلظت ماده کندسوزکننده بر درصد خاکستر در سطح ۰.۵٪ معنی‌دار می‌باشد. با افزایش غلظت از ۴ به ۱۲ درصد، میزان خاکستر ۲۸/۶۷ درصد افزایش می‌یابد که در مقایسه با

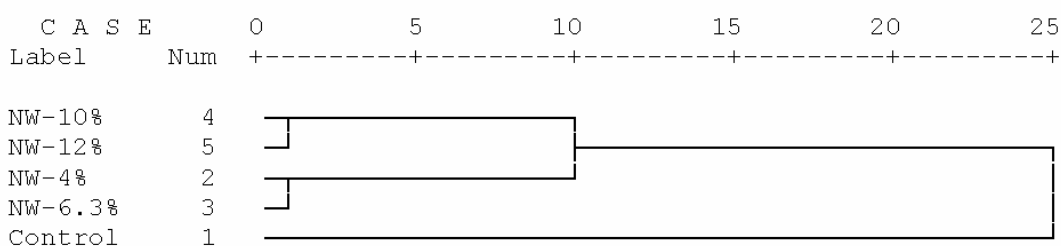
نمونه‌های شاهد این افزایش ۲۵۷ درصد است. شکل ۱۰ اثر غلظت ماده کندسوزکننده بر درصد خاکستر به‌همراه گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد. همان‌طور که نتایج این آزمون نشان می‌دهد سه غلظت ۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۰- اثر غلظت ماده کندسوزکننده بر درصد خاکستر به‌همراه گروه‌بندی دانکن

می‌شوند ولی تأثیر آنها نسبت به غلظت‌های بالا (۱۰ و ۱۲٪)، کمتر است. از سوی دیگر، با توجه به خوشه‌بندی یکسان تیمارهای ۱۰ و ۱۲ درصدی می‌توانیم چنین نتیجه‌گیری کنیم که استفاده از این ماده در هر دو سطح غلظت مذکور، تأثیر نسبتاً یکسانی به وجود می‌آورد. با توجه به اهمیت کاهش هزینه‌های مصرف مواد اولیه در صنعت (و هزینه‌ای که باید برای درصدهای بالاتر نانولاستونیت صرف کرد)، و نظر به اینکه نتیجه‌ی آزمون خوشه‌ای، شباهت زیاد تیمارهای ۱۰ و ۱۲ درصدی را نشان می‌دهد، مقدار مصرف ۱۰ درصد برای صنعت پیشنهاد می‌شود.

آزمون خوشه‌ای (cluster analysis) نشان داد که تیمار شاهد به طور کامل در خوشه‌ای جداگانه قرار گرفت (شکل ۱۱). این امر نشان‌دهنده‌ی تأثیر قابل توجه نانوذرات ولاستونیت بر خواص اندازه‌گیری شده در پژوهش کنونی است. از میان تیمارهای اشباع‌شده با نانولاستونیت، تیمارهای ۱۰ و ۱۲ درصدی، و نیز تیمارهای ۴ و ۶/۳ درصدی در خوشه‌های یکسانی قرار گرفتند (شکل ۱۱) که نشان‌دهنده‌ی تأثیر مشابه این جفت تیمارها بود. در واقع، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که درصدهای مصرف ۴ و ۶/۳ با وجودی که باعث بهبود خواص کندسوزکنندگی و ثبات ابعاد در چوب نراد



شکل ۱۱- آزمون خوشه‌ای (کلاستر) از ۵ تیمار پژوهش حاضر بر مبنای تمام ویژگی‌های کندسوزکنندگی، جذب آب، و اکسیدگی حجمی و درصد خاکستر (تیمارها شامل: شاهد، ۴، ۶/۳، ۱۰، و ۱۲٪ نانولاستونیت)

## بحث

سطوح غلظت ۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد مشاهده شد که در اغلب ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری، این سه غلظت از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند. به عنوان مثال، از نظر افزایش مقاومت به آتش در نمونه‌های تیمار شده در سطح غلظت ۱۲ درصد در مقایسه با نمونه‌های شاهد، ۴۴/۹۷ درصد بهبود در میزان کاهش وزن، ۷۸/۹۳ درصد کاهش در دوام شعله، ۹۸/۳۸ درصد کاهش در دوام گدازش و ۴۶/۰۸ درصد کاهش در میزان سطح کربونیزه

در این تحقیق امکان استفاده از نانولاستونیت به عنوان ماده‌ی کندسوزکننده برای افزایش مقاومت به آتش و بهبود ثبات ابعاد چوب نراد (*Abies alba*) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانولاستونیت مصرفی، مقاومت به آتش در نمونه‌های اشباع‌شده با این ماده افزایش می‌یابد. بهترین نتایج از نظر افزایش مقاومت به آتش در نمونه‌های تیمار شده در

تحقیق فوق با نتایج تحقیق پیش‌رو همخوانی دارند. به طور کلی، با توجه به نوع کاربرد چوب و در نظر گرفتن صرفه‌ی اقتصادی حفاظت آن، امکان استفاده از نانو-ولاستونیت در سطوح مختلف غلظت وجود دارد و می‌تواند ویژگی‌های مقاومت به آتش و ثبات ابعاد چوب را به میزان مطلوبی بهبود ببخشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که نانو-ولاستونیت، قابلیت استفاده به‌عنوان یک ماده‌ی کندسوزکننده در حفاظت چوب را داراست.

### سپاسگزاری

نویسندگان از جناب آقای محمدحسین وردی، مدیرعامل محترم شرکت تولید فرآورده‌های صنعتی و معدنی ورد که ماده‌ی نانوولاستونیت را تهیه نمودند صمیمانه قدردانی می‌نمایند. همچنین، از آقای مهندس علیرضا عبداللّهی (هنرستان فنی شهید گلستانی) که در تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها کمک شایانی نمودند صمیمانه قدردانی می‌شود.

### منابع مورد استفاده

- پارسا پزوه، د.، فائزی پور، م. و تقی‌یاری، ح.، ۱۳۸۸. حفاظت صنعتی چوب، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران: ۶۵۷ ص، چاپ چهارم.  
- خسرویان، ب.، ۱۳۸۸. بررسی خصوصیات مکانیکی، فیزیکی، حرارتی و ریخت‌شناسی چندسازه‌های هیبریدی و نانوچندسازه‌های هیبریدی پلی‌پروپیلن/آرد چوب/ولاستونیت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران: ۱۰۳ ص.

-Jinshu, SH., Jianzhang, L., Wenrui, ZH. and Derong, ZH., 2007: Improvement of wood properties by urea-formaldehyde resin and nano-SiO<sub>2</sub>, Front. For. China, 2(1): 104-109.

شده مشاهده گردید. افزون بر این، نتایج نشان داد که در نمونه‌های آزمونی اشباع‌شده با نانوولاستونیت، با افزایش غلظت ماده، مقدار جذب آب اندازه‌گیری شده پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب، تقریباً هم‌سطح با نمونه‌های شاهد باقی‌ماند، درحالی‌که پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری این ویژگی در نمونه‌های اشباع‌شده، افزایش یافت؛ به‌طوری‌که در نمونه‌های اشباع‌شده با غلظت ۱۲ درصد در مقایسه با نمونه‌های شاهد، این افزایش به میزان ۱۱/۶۴ درصد رسید و هم‌چنان سه غلظت ۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد از نظر آماری در یک گروه جای گرفتند. کمترین مقدار جذب آب در سطح غلظت ۴ درصد (هم‌گروه با نمونه‌های شاهد) مشاهده گردید. این نتایج در حالی مشاهده شد که واکنشیدگی حجمی نمونه‌های تیمار شده با افزایش غلظت ماده کاهش یافت و این کاهش در سطوح مختلف غلظت (۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد) تقریباً به یک میزان مشاهده شد. به‌عنوان مثال در مقایسه با نمونه‌های شاهد، واکنشیدگی حجمی نمونه‌های تیمار شده با غلظت ۱۲ درصد پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری به ترتیب به میزان ۳۴/۰۸ و ۲۴/۲۸ درصد کاهش یافت. با توجه به افزایش ثبات ابعاد در نمونه‌های تیمار شده، می‌توان افزایش جذب آب را به تغییرات حجمی ماده در مجاورت آب نسبت داد. نتایج این تحقیق با نتایج Mai و Militz (۲۰۰۴) همخوانی دارد، ولی با بخشی از نتایج تحقیق Jinshu و همکاران (۲۰۰۷) که مربوط به اندازه‌گیری مقاومت به جذب آب چوب صنوبر (*Populus tomentosa*) اصلاح شده توسط ۵ ترکیب مختلف رزین اوره‌فرمالدئید با نانو SiO<sub>2</sub> است، مغایرت دارد. زیرا آنها به این نتیجه رسیدند که تمام اصلاح‌گرها جذب آب چوب صنوبر را کاهش می‌دهند. از نظر افزایش مقاومت به آتش نتایج هر دو

- Rangavar H., Taghiyari H.R. and Abdollahi, A. 2012. Effects of nanosilver in improving fire-retarding properties of Borax in solid woods. *International Journal of Bio-Inorganic Hybrid Nanomaterial*; Vol. 1, No. 3: pp. 159 – 167.
- 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.T., 2012. Fire-Retarding Properties of Nano-Silver in Solid Woods. *Wood Science and Technology*; 46(5): 939 – 952; DOI 10.1007/s00226-011-0455-6.
- Taghiyari, H.R., Mobini, K., Sarvari Samadi, Y., Doosti, Z., Karimi, F., Asghari, M., Jahangiri, A. and Nouri, P., 2013, Effects of nano-wollastonite on thermal conductivity coefficient of medium-density fiberboard. *Journal of Molecular Nanotechnology*; 2:1 <http://dx.doi.org/10.4172/2324-8777.1000106>.
- Kartal, S.N., Green, F. and Clausen, C.A., 2009: Do the unique properties of nanometals affect leachability of efficacy against fungi and termites, *International Bio*.
- Luyt, A.S., Dramicanin, M.D., Antic, Z. and Djokovic, V., 2009: Morphology, mechanical and thermal properties of composites of polypropylene and nanostructured wollastonite filler, *Polymer testing* 28, 348-356.
- Mai, C. and Militz, H., 2004: Modification of wood with silicon compounds inorganic silicon compounds and sol-gel systems: a review, *Wood SciTechnol* 37: 339-348.
- Mantanis, G.I. and Papadopoulos, A.N., 2010: Reducing the thickness swelling of wood based panels by applying a nanotechnology compound, *Eur. J. Wood Prod.* DOI 10.1007/s00107-009-0401-6.
- Papadopoulos, A.N., 2010: chemical modification of solid wood and wood raw material for composites production with linear chain carboxylic acid anhydrides: a brief review modified wood composites, *BioResources*, 5(1), 1-8.

Archive of SID

## Study on fire-retardant properties of nano-wollastonite in fir wood (*Abies alba*)

Haghighi, A.<sup>1</sup>, Taghiyari, H.R.<sup>2\*</sup> and Karimi, A.N.<sup>3</sup>

1- M.Sc., Wood and Paper Sciences & Technology Dept., The Faculty of Natural Resources, The University of Tehran, Iran.

2\* -Corresponding Author, Assistant Prof., Wood Science & Technology Dept., the Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Iran. Email: htahiyari@srttu.edu & htahiyari@yahoo.com

3- Prof., Institute of Tropical Forestry & Forest products (INTROP), University Putra Malaysia (UPM) & Wood and Paper Science & Technology Department, The Faculty of Natural Resources, The University of Tehran, Iran.

Received: Dec., 2011

Accepted: March, 2013

### Abstract

In the present study, fire-retardant properties of nano-wollastonite in fir wood (*Abies alba*) was studied. Water absorption and volume swelling of the specimens were also measured. Specimens were prepared according to ISO 11925 standard specifications to measure the fire-retarding properties, and ASTM D4446 -2002 standard to measure physical properties. Impregnation of wood specimens with nano-wollastonite was carried out at four consumption levels of 4, 6/3, 10 and 12%, using Bethel method (full-cell process). Five fire-retarding properties were measured; weight loss (%), ignition point (s), duration of flame after removing the burner (s), duration of glow after removing the burner (s), and carbonization area (%). The results showed that fire-retarding properties increased with the NW-content. Furthermore, the treated wood specimens showed higher dimensional stability.

**Key words:** Bethel method, fir wood, fire-retarding properties, impregnation, nano-wollastonite, volume swelling, water absorption.