

## بررسی امکان کاربرد نانولاستونیت برای افزایش مقاومت به آتش و ثبات ابعاد چوب صنوبر (*Populus nigra*)

### چکیده

در این مطالعه امکان کاربرد نانوذرات ولاستونیت، برای بهبود ویژگی‌های مقاومت به آتش چوب صنوبر (*Populus nigra*) مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین میزان جذب آب و واکنش‌دهی حجمی نمونه‌ها نیز اندازه‌گیری شد. نمونه‌های آزمونی برابر 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 بررسی توسط پنج معیار (درصد کاهش وزن، زمان‌های نقطه اشتعال، دوام شعله، دوام گدازش، و درصد سطح کربونیزه‌شده) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانولاستونیت مقاومت به آتش نمونه‌های تیمار شده افزایش یافت. همچنین، چوب تیمار شده با این ماده ثبات ابعاد بیشتری نیز نشان داد.

**واژگان کلیدی:** روش بتل، چوب صنوبر، ویژگی‌های کندسوزکنندگی، نانولاستونیت، ثبات ابعاد، جذب آب

آذر حقیقی پشتیری<sup>۱\*</sup>  
علی نقی کریمی<sup>۲</sup>  
حمیدرضا تقی‌یاری<sup>۳</sup>  
یحیی همزه<sup>۴</sup>  
علی اکبر عنایتی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، آستاد، دانشیار و  
<sup>۵</sup> آستاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> آستادیارگروه صنایع چوب، دانشکده‌ی مهندسی  
عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

مسئول مکاتبات:

haghighi1986@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۹/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۲۲

### مقدمه

چوب و فرآورده‌های آن به عنوان ماده‌ی مهندسی در ساختمان و مبلمان کاربردهای متنوعی دارند. یکی از تمهیدهای مهم در شرایطی که چوب به عنوان یک ماده‌ی خام به کار می‌رود، مسئله‌ی حفاظت آن در برابر آتش می‌باشد. آتش در زمره‌ی مهم‌ترین عامل‌های زیانبار فیزیکی چوب می‌باشد 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 هنگامی که تا آن درجه گرم شود آغاز به

سوختن همراه با شعله می‌کند. کندسوز کردن مواد اشتعال‌پذیر مانند چوب، عملی است که در آن عناصر تشکیل دهنده‌ی چوب را از تماس با اکسیژن هوا مصون می‌نماید و یا انتقال گرما را کند کرده و در نهایت آستانه آتش‌گیری (شعله‌وری) آن‌ها را به تأخیر می‌اندازد. عمل مذکور می‌تواند به‌طور سطحی یا عمقی و با کاربرد مواد حفاظتی مختلف انجام پذیرد. بسیاری از بازدارنده‌های آتش که هم‌اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرند، در کاهش مشخصه‌های مختلف واکنش چوب در برابر آتش (قابلیت اشتعال، پخش گرما و گسترش شعله ....) نقش دارند.

قیمت، تجدید شوندگی، استحکام وابسته به وزن، ابعاد و... این ماده دارای ویژگی‌های نامطلوبی هم‌چون ناپایداری ابعاد نیز هست که از تبادل رطوبت با محیط پیرامون ناشی می‌شود [۴]. این ویژگی باعث تغییر ابعاد چوب شده و بر روی خواص مکانیکی، قابلیت رنگ‌آمیزی، خاصیت خوردگی، هدایت گرمایی، صوتی و الکتریکی چوب اثر می‌گذارد. فناوری نانو از مباحث علمی روز و نوپا است که کاربردهای گسترده‌ای در همه‌ی 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. از جمله تأثیرگذاری‌هایی که این مواد بر خواص چوب و فرآورده‌های آن داشته است، می‌توان به: افزایش پایداری در برابر رطوبت [۵ و ۶]، پرتوهای فرابنفش، مقاومت در برابر عامل‌های زیانبار زیستی [۷] و انواع ویژگی‌های ظاهری مانند سختی اشاره کرد [۵]. برای این مقاصد از انواع مختلف نانو ذرات فلزی و شیمیایی نظیر مس، روی، اکسید سیلیسیوم و غیره استفاده شده است. تاکنون کاربرد نانوذرات مقاوم به آتش به‌طور عمده در تولید پلاستیک‌ها، صورت گرفته است [۸]. از این رو، استفاده از این مواد در چوب و فرآورده‌های آن دور از تصور نیست، اما تا کنون تحقیقات اندکی در این زمینه صورت گرفته است. از لحاظ شیمیایی، ولاستونیت یک کلسیم متاسیلیکات با فرمول  $CaSiO_3$  می‌باشد که در دهه‌ی ۱۹۵۰ شناخته شد و با شتاب مورد استفاده‌ی گوناگون در پلاستیک‌ها، رنگ‌ها، محصولات مقاوم در برابر سائیدگی و سرامیک و متالوژی پیدا کرده است [۷]. 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 به نسبت زیاد، و خاصیت قلیایی بالا می‌باشد [۹]. 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 چندسازه (کامپوزیت) استفاده کردند و دیدند که نانولاستونیت دمای بلورینه شدن را در قالب (ماتریکس) کاهش داده و باعث بهبود پایداری گرمایی می‌شود. Mai و Militz (۲۰۰۴)، در تحقیقی به شرح اثر تیمار چوب با

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 به طور معمول همراه با فسفر یا ترکیبات هالوژنی استفاده می‌شوند. کندسوزکننده‌های دارای برم با ترکیبی از آنتیموان و اغلب اکسید آنتیموان به‌کار می‌روند. از دیگر کندسوزکننده‌های معمول هیدروکسیدهای فلزی هستند که به طور عموم ترکیبات دارای آلومینیوم و یا منیزیم هستند. گاهی ملامین با فسفات ترکیب می‌شود تا مخلوطی از فسفر- نیتروژن به‌دست آید. در اثر تجزیه‌ی این ماده، نیتروژن و آمونیاک تولید می‌شوند. آمونیوم پلی‌فسفات ترکیب دیگری از فسفر- نیتروژن است که به-منظور کندسوزکردن چوب مورد استفاده قرار گرفته است. سازوکار عملکرد این مواد به چند شیوه زیر انجام می‌شود: ۱- محدود کردن رادیکال‌های آزاد، ۲- افزایش سرعت تشکیل لایه‌ی زغال، ۳- رقیق 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 نهم‌پذیر است؛ از این رو ممکن است برای استفاده در مصارف بیرونی مناسب نباشد [۱]. 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 [۲]. بسیاری از این ترکیبات ممکن است روی سایر ویژگی‌های چوب نیز تأثیرگذار باشند. برای 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 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. به‌طور کلی اگر تیمار با کندسوزکننده‌ها باعث مقاومت در برابر پوسیدگی و بهبود ثبات ابعاد چوب شود، آن ماده‌ی کندسوزکننده دارای برتری می‌باشد [۱ و ۳]. در کنار ویژگی‌های منحصر به فرد چوب (در دسترس بودن، تنوع،

با ۱۰ تکرار برای هر تیمار به منظور اندازه‌گیری میزان جذب آب و واکنشیدگی 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 پس از شماره‌گذاری درون سیلندر اشباع قرار گرفتند. اشباع نمونه‌ها به روش بتل، در مراحل زیر به ترتیب اعمال شد: خلاء مقدماتی به میزان ۰/۵- اتمسفر به مدت ۱۵ دقیقه، غوطه‌وری با محلول حفاظتی با حفظ خلاء مقدماتی، فشار ثابت (اعمال فشار ۳ اتمسفر به مدت ۲ ساعت)، زه‌کشی محلول حفاظتی و در نهایت خلاء نهایی به میزان ۰/۵- اتمسفر و به مدت ۵ دقیقه. پس از پایان مراحل بالا نمونه‌ها از سیلندر خارج شده و به مدت ۴ هفته در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند تا به رطوبت تعادل با محیط (۱۲٪) برسند و ماده‌ی حفاظتی در چوب تثبیت گردد. در پایان عملیات اشباع، درصد افزایش وزن نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. نتایج مربوط به اندازه‌گیری درصد افزایش وزن نمونه‌ها در جدول- ۱ آورده شده است.

$$\text{WPG} = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100 \quad \text{رابطه ۱-}$$

WPG = افزایش وزن (٪)

$W_1$  = وزن اولیه نمونه در رطوبت تعادل محیط آزمایشگاه (گرم)  
 $W_2$  = وزن ثانویه نمونه پس از عملیات اشباع در رطوبت تعادل محیط آزمایشگاه (گرم)

جدول ۱- افزایش وزن نمونه‌ها (٪) پس از عملیات اشباع با نانولولاستونیت در غلظت‌های مختلف

غلظت نانولولاستونیت (٪)	۴	۶/۳	۱۰	۱۲
افزایش وزن (٪)	۱۲۴	۱۳۴	۱۳۱	۱۲۹

به منظور انجام آزمون مقاومت به آتش از دستگاهی که برابر استاندارد بالا طراحی شده بود، استفاده شد. پیش 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، دهانه‌ی نازل آتش (با قطر یک سانتی‌متر)، با زاویه‌ی ۴۵° و به فاصله‌ی ۵ میلی‌متر از سطح و ۳۰ میلی‌متر از لبه‌ی پایین نمونه‌ها قرار گرفت و

ترکیبات مختلف سیلیکون کانی پرداختند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که سیلیکات قلیایی می‌تواند دوام زیستی (بیولوژیک) چوب را افزایش دهد. به دلیل ویژگی جذب و دفع نم (هیگروسکوپ) بالا و مقدار pH بالای آن، جذب آب افزایش یافته و کاهش مقاومت‌های مکانیکی چوب دیده شد. چوب تیمار شده با تتراآلکوکسیسیلان‌ها افزایش ثبات ابعاد را نشان داد. Jinshu و همکاران (۲۰۰۷)، تاثیر ترکیبات مختلفی از رزین اوره‌فرمالدئید با نانو  $\text{SiO}_2$  را بر کارایی ضد واکنشیدگی، مقاومت به جذب آب، شاخص اکسیژن و سختی چوب صنوبر (*Populus tomentosa*) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که همه ترکیبات مورد بررسی، جذب آب چوب صنوبر را کاهش و مقاومت به آتش و سختی را افزایش دادند. خسرویان (۱۳۸۸)، تاثیر ولاستونیت در ابعاد میکرو و نانو را بر خواص مکانیکی، فیزیکی، گرمایی و ریخت‌شناسی چندسازه‌ی چوب پلاستیک مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که با افزایش درصد میکروولاستونیت و همین‌طور نانولولاستونیت در چندسازه، واکنشیدگی ضخامت و جذب آب کاهش یافت ولی پایداری گرمایی، درصد بلورینه شدن و مقاومت در برابر آتش چندسازه با افزایش درصد ولاستونیت در هر دو اندازه آن افزایش یافت. از این رو، هدف از این مطالعه ارزیابی اثر نانولولاستونیت و تعیین سطح بهینه‌ی کاربرد این ماده به-عنوان کندسوزکننده در بهبود ویژگی‌های مقاومت به آتش و ثبات ابعاد چوب صنوبر می‌باشد. همچنین با توجه به فراوانی و قیمت اندک این ماده‌ی کانی در ایران، استفاده از این ماده در حفاظت چوب مقرون به صرفه می‌باشد. گونه مورد بررسی (صنوبر)، یکی از گونه‌های تند رشد و مناسب برای تأمین نیاز رو به رشد بازار مصرف چوب می‌باشد. از عمده موارد کاربرد چوب صنوبر، کاربرد آن در مبلمان و مصنوعات درون ساختمان است. بنابراین افزایش مقاومت به آتش و بهبود ثبات ابعاد این چوب بسیار اهمیت دارد.

## مواد و روش‌ها

نمونه‌های چوبی برابر استاندارد ISO ۱۱۹۲۵ در ابعاد ۱۵۰ (طول) × ۱۰۰ (مماسی) × ۹۰ (شعاعی) میلی‌متر با ۷ تکرار برای هر تیمار انجام آزمون مقاومت به آتش و برابر استاندارد ASTM D-۴۴۴۶ در ابعاد ۲۰ × ۲۰ × ۲۰ میلی‌متر

کوره‌ای با دمای  $720^{\circ}\text{C}$  به مدت ۷ ساعت نگهداری شده تا تبدیل به خاکستر شوند. سپس وزن خاکستر نمونه‌ها مجدداً با همان ترازو توزین گردید. رابطه‌ی ۵، نحوه‌ی اندازه‌گیری این ویژگی را نشان می‌دهد.

$$\text{رابطه-۵} \quad \text{Ash (\%)} = [\text{W}_{\text{Ash}}/\text{W}_{\text{Dry}}] \times 100$$

Ash (%) = درصد خاکستر

W<sub>Ash</sub> = وزن خاکستر (گرم)

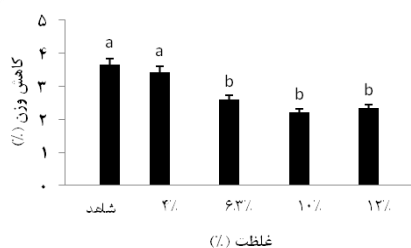
W<sub>Dry</sub> = وزن خشک نمونه بعد از آون (گرم)

### نتایج

نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های مربوط به مقاومت به آتش نمونه‌های چوبی در قالب آزمایش فاکتوریل تک متغیره به کمک تجزیه واریانس و گروه‌بندی میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. کلیه‌ی تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شده است.

### درصد کاهش وزن

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 یافت. اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر این ویژگی به‌همراه گروه‌بندی دانکن در شکل ۱ نشان داده شده است. کمترین میزان کاهش وزن در غلظت ۱۲٪ مشاهده شد که در مقایسه با نمونه‌های شاهد ۳۹/۵۶ درصد کاهش یافته است. بین سه غلظت ۱۰٪، ۶/۳ و ۱۲ درصد از نظر تأثیر بر کاهش وزن نمونه‌ها اختلاف معناداری یافت نشد و هر سه در یک گروه قرار گرفتند.



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

آزمون مقاومت به آتش با فشار ثابت گاز خروجی به مدت ۱۲۰ ثانیه انجام شد. پس از پایان آزمون، وزن نمونه‌ها باردیگر 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 پس از برداشتن نازل آتش، دوام گدازش پس از برداشتن نازل آتش و درصد سطح زغال (کربونیزه‌شده)<sup>۱</sup> اندازه‌گیری شد و مورد بررسی قرار گرفت.

اندازه‌گیری ویژگی‌های جذب آب و واکنشیدگی حجمی پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب و همچنین کارایی ضد واکنشیدگی به ترتیب با کاربرد روابط ۲، ۳ و ۴ انجام شد.

$$\text{رابطه-۲} \quad \text{WA} = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100$$

WA = جذب آب (%)

W<sub>1</sub> = وزن اولیه در رطوبت تعادل محیط آزمایشگاه

(گرم)

W<sub>2</sub> = وزن ثانویه پس از غوطه‌وری (گرم)

$$\text{رابطه-۳} \quad \alpha_v (\%) = [(V_2 - V_1) / V_1] \times 100$$

$\alpha_v$  = واکنشیدگی حجمی (%)

V<sub>1</sub> = حجم اولیه (میلی‌متر مکعب)

V<sub>2</sub> = حجم ثانویه پس از غوطه‌وری در آب (میلی‌متر

مکعب)

$$\text{رابطه-۴} \quad \text{ASE (\%)} = [1 - (S_i / S_{ii})] \times 100$$

ASE = کارایی ضد واکنشیدگی (%)

S<sub>i</sub> = واکنشیدگی حجمی چوب تیمار شده

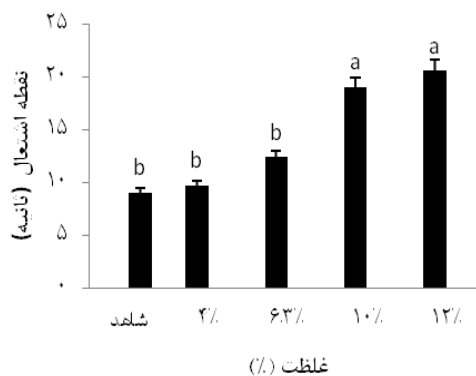
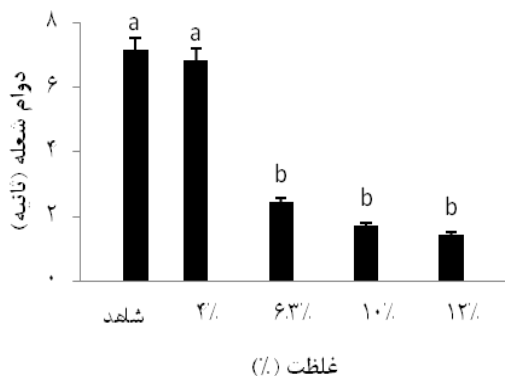
S<sub>ii</sub> = واکنشیدگی حجمی نمونه شاهد

هم‌چنین به‌منظور بررسی مقدار حضور نانولاستونیت در بافت چوب پس از اشباع، درصد خاکستر نمونه‌های چوبی مطابق استاندارد ۹۳-۲۱۱ om-T، اندازه‌گیری شد و با نمونه‌های شاهد مقایسه گردید. برای این منظور ابتدا نمونه‌های آزمونی به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای  $5^{\circ}\text{C}$   $\pm 10$  نگهداری شدند. سپس وزن خشک آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خشک شده در ظروف چینی قرار گرفته و در

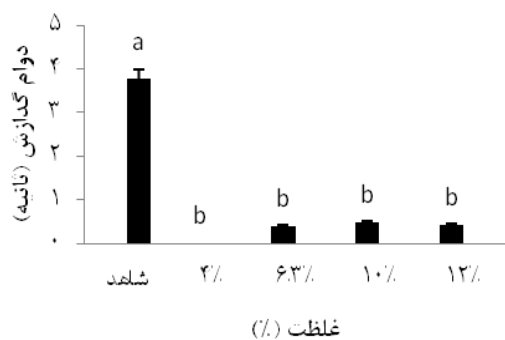
<sup>1</sup> Carbonized

### نقطه اشتعال

نتایج به دست آمده از تحلیل آماری نشان داد که اثر غلظت نانولولاستونیت بر زمان رسیدن به نقطه اشتعال در سطح ۵٪ معنی دار می باشد. اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر زمان رسیدن به نقطه اشتعال به همراه گروه بندی دانکن در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش میزان غلظت زمان رسیدن به نقطه اشتعال افزایش می یابد. به طوری که در نمونه های اشباع شده با غلظت ۱۲ درصد در مقایسه با نمونه های شاهد زمان رسیدن به نقطه اشتعال به میزان ۱۱/۵۳ ثانیه معادل ۱۲۷/۹۷ درصد تأخیر داشته است. دو غلظت ۱۰ و ۱۲ درصد از نظر تأثیر بر این ویژگی مورد اندازه گیری، در یک گروه جای گرفتند.



شکل ۳- تأثیر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر دوام سعله پس از برداشتن نازل آتش (بر حسب ثانیه) به همراه گروه بندی دانکن



شکل ۴- تأثیر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر دوام گذارش پس از برداشتن نازل آتش به همراه گروه بندی دانکن

### سطح کربونیزه شده

بنابر نتایج به دست آمده از تحلیل آماری، تأثیر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر درصد سطح زغالی شده در سطح ۵٪ معنی دار می باشد. با افزایش غلظت، سطح زغالی شده

شکل ۲- تأثیر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر زمان رسیدن به نقطه اشتعال (بر حسب ثانیه) به همراه گروه بندی دانکن

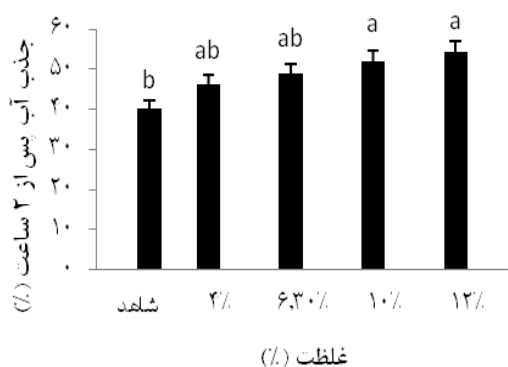
### دوام سعله

با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل آماری، اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر دوام سعله پس از برداشتن نازل آتش در سطح ۵٪ معنی دار می باشد. کمترین میزان دوام سعله در نمونه های اشباع شده با غلظت ۱۲ درصد دیده شد که در مقایسه با نمونه های شاهد ۷۹/۸۹ درصد کاهش یافت. تأثیر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر دوام سعله پس از برداشتن نازل آتش به همراه گروه بندی دانکن در شکل ۳ نشان داده شده است. همان گونه که دیده می شود سه غلظت ۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد در یک گروه قرار گرفتند و اختلاف معنی داری بین شان یافت نشد.

### دوام گذارش

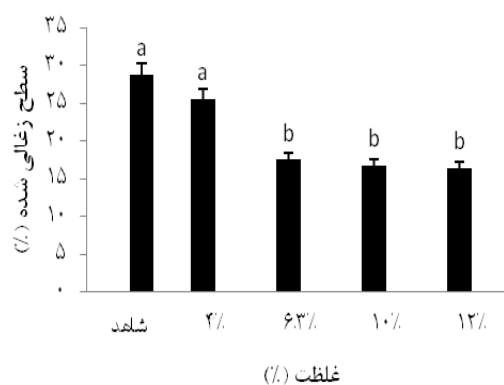
تحلیل های آماری نشان دادند که تأثیر ماده‌ی

کندسوزکننده بر درصد جذب آب پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب را به همراه گروه‌بندی دانکن نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود با افزایش غلظت نانولاستونیت میزان جذب آب نمونه‌های اشباع شده با این ماده افزایش می‌یابد. به طوری که در مقایسه با نمونه‌های شاهد جذب آب نمونه‌های اشباع شده با غلظت‌های ۴، ۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد به ترتیب ۱۶/۱۹، ۱۹/۱۳، ۳۰/۰۴ و ۳۶/۵۱ درصد افزایش یافته است.



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

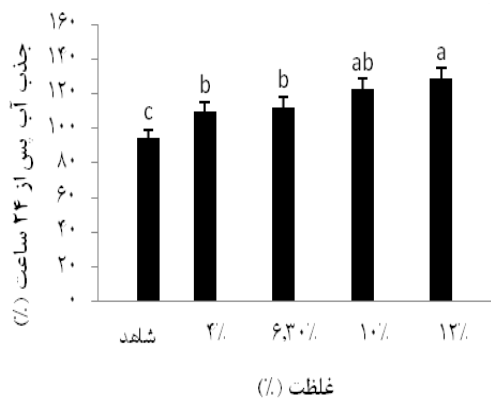
در نمونه‌های آزمون کاهش یافت. کمترین مقدار سطح زغالی شده در نمونه‌های اشباع شده با غلظت ۱۲ درصد دیده شد که در مقایسه با نمونه‌های شاهد ۴۲/۹۲ درصد کاهش نشان داد. اثر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر درصد سطح زغالی شده به همراه گروه‌بندی دانکن در شکل ۵ نشان داده شده است. بین سه غلظت ۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد از نظر سطح زغالی شده اختلاف معناداری وجود ندارد و از لحاظ آماری در یک گروه جای گرفتند.



شکل ۵- تاثیر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر درصد سطح زغالی شده به همراه گروه‌بندی دانکن

### جذب آب پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب

بر پایه تحلیل آماری صورت گرفته، تاثیر غلظت ماده بر جذب آب پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در سطح ۰/۵٪، معنی‌دار می‌باشد. شکل ۶ تاثیر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر درصد جذب آب پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب را به همراه گروه‌بندی دانکن نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود با افزایش غلظت نانولاستونیت میزان جذب آب نمونه‌های اشباع شده با این ماده افزایش می‌یابد. به طوری که در مقایسه با نمونه‌های شاهد جذب آب نمونه‌های اشباع شده با غلظت‌های ۴، ۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد به ترتیب ۱۴/۹۶، ۲۱/۵۵، ۲۹/۳۹ و ۳۵/۱۹ درصد افزایش یافته است.



شکل ۷- تاثیر غلظت ماده بر درصد جذب آب پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب به همراه گروه‌بندی دانکن

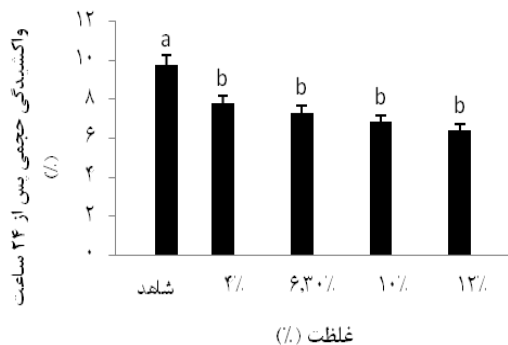
### واکشیدگی حجمی پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب

شکل ۸ تاثیر غلظت ماده بر درصد واکشیدگی حجمی پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب را به همراه گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد. بنابر نتایج به دست آمده از تحلیل آماری،

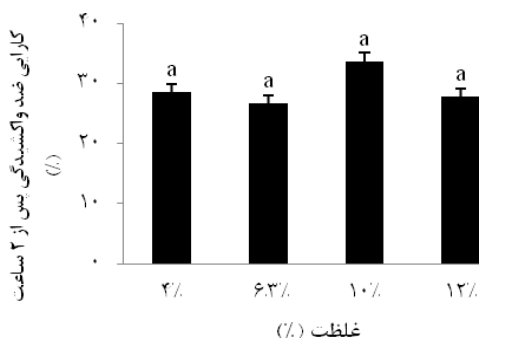
### جذب آب پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

بنابر نتایج به دست آمده از تحلیل آماری، تاثیر غلظت ماده بر جذب آب پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، در سطح ۰/۵٪ معنی‌دار می‌باشد. شکل ۷ تاثیر غلظت ماده‌ی

گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد. بنابر نتایج به دست آمده از تحلیل آماری، تاثیر نانولولاستونیت در غلظت‌های مختلف بر این ویژگی، معنی‌دار نمی‌باشد.



شکل ۹- تاثیر غلظت ماده بر درصد واکسیدگی حجمی پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب به همراه گروه‌بندی دانکن

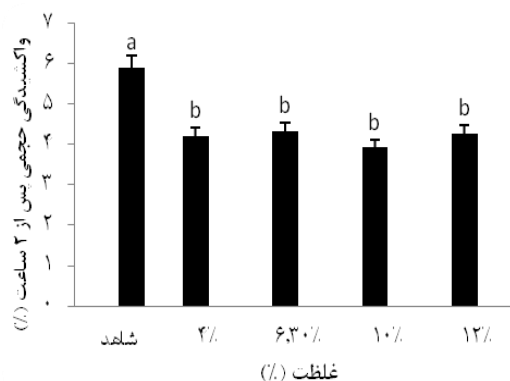


شکل ۱۰- تاثیر غلظت ماده بر کارایی ضد واکسیدگی حجمی پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب به همراه گروه‌بندی دانکن

### کارایی ضد واکسیدگی پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل آماری، تاثیر نانولولاستونیت در غلظت‌های مختلف بر کارایی ضد واکسیدگی حجمی پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانولولاستونیت، این ویژگی در نمونه‌های تیمار شده افزایش یافت و این افزایش در دو سطح غلظت ۱۰ و ۱۲ درصد از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند. به‌عنوان مثال در نمونه‌های اشباع شده با دو غلظت ۱۰ و ۱۲ درصد، به ترتیب افزایش ۳۰/۱۱ و ۳۴/۶۸ درصدی در این ویژگی دیده شد. شکل ۱۱ تاثیر غلظت ماده بر کارایی ضد واکسیدگی حجمی پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب به

تاثیر نانولولاستونیت بر درصد واکسیدگی حجمی پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب، در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج نشان داد که واکسیدگی حجمی نمونه‌های اشباع شده با نانولولاستونیت در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش یافته است و این کاهش در تمامی سطوح غلظت از نظر آماری در یک گروه قرار گرفته‌اند. به‌عنوان مثال در نمونه‌های اشباع شده با غلظت ۱۰ درصد، در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش ۳۳/۵۶ درصدی در این ویژگی دیده می‌شود.



شکل ۸- تاثیر غلظت ماده بر درصد واکسیدگی حجمی پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب به همراه گروه‌بندی دانکن

### واکسیدگی حجمی پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

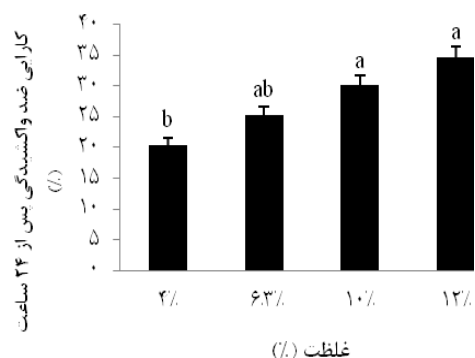
بر اساس نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل آماری، تاثیر نانولولاستونیت بر درصد واکسیدگی حجمی پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج نشان داد که واکسیدگی حجمی نمونه‌های اشباع شده با نانولولاستونیت در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش یافته است و این کاهش در تمامی سطوح غلظت از نظر آماری در یک گروه قرار گرفته‌اند. به‌عنوان مثال در نمونه‌های اشباع شده با غلظت ۱۲ درصد، در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش ۳۴/۷۳ درصدی در این ویژگی دیده می‌شود. شکل ۹ تاثیر غلظت ماده بر درصد واکسیدگی حجمی پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب به همراه گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد.

### کارایی ضد واکسیدگی پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب

شکل ۱۰ تاثیر غلظت ماده بر کارایی ضد واکسیدگی حجمی پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب به همراه

نتایج به دست آمده نشان دادند که با افزایش غلظت، مقاومت به آتش در نمونه‌های اشباع شده با این ماده افزایش یافت. بهترین نتایج از نظر افزایش مقاومت به آتش در نمونه‌های تیمار شده در سطح غلظت ۱۲ درصد دیده شد که نسبت به نمونه‌های تیمار نشده ۳۹/۵۶ درصد بهبود در میزان کاهش وزن، ۱۲۷/۹۷ درصد تأخیر در زمان رسیدن به نقطه اشتعال، ۷۹/۸۹ درصد کاهش در دوام شعله، ۸۹/۱۸ درصد کاهش در دوام گذارش و ۴۲/۹۲ درصد کاهش در میزان سطح زغالی شده را نشان دادند. در اغلب ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری (کاهش وزن، دوام شعله، دوام گذارش، سطح زغالی شده و واکنشیدگی حجمی پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب)، سه سطح غلظت ۶/۳، ۱۰ و ۱۲ درصد از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند. علاوه بر این، نتایج نشان دادند که در نمونه‌های آزمون‌ی اشباع شده با نانولاستونیت، با افزایش غلظت ماده، مقدار جذب آب اندازه‌گیری شده پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب افزایش یافت و کمترین مقدار آن، از میان غلظت‌های مورد بررسی، در دو سطح غلظت ۴ و ۶/۳ درصد دیده شد. در حالی که واکنشیدگی حجمی نمونه‌های تیمار شده در سطوح مختلف غلظت نزدیک به یک میزان کاهش یافت و به دنبال آن کارایی ضد واکنشیدگی (ثبات ابعاد)، با افزایش مدت زمان غوطه‌وری در آب، به میزان قابل توجهی افزایش نشان داد. با توجه به افزایش ثبات ابعاد در نمونه‌های تیمار شده، که خود می‌تواند دلیلی بر در معرض قرار نگرفتن گروه‌های هیدروکسیل پلیمرهای دیواره‌ی سلولی باشد، افزایش جذب آب را می‌توان به تغییرات حجمی ماده در مجاورت آب نسبت داد [۱۰]. علاوه بر این، فشار ۳ اتمسفر (اشباع به روش سلول پر) ممکن است باعث شکست یا پارگی دریچه‌های ریز موجود در دیواره‌ی سلولی شده و خود موجب افزایش نفوذ و جذب آب در نمونه‌های تیمار شده شود. نتایج این تحقیق با نتایج Miltz و Mai (۲۰۰۴) همخوانی دارد؛ چرا که آنان نیز افزایش جذب آب را در چوب‌های تیمار شده با ترکیبات سیلیکون کانی دیده‌اند 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  $\text{SiO}_2$  است،

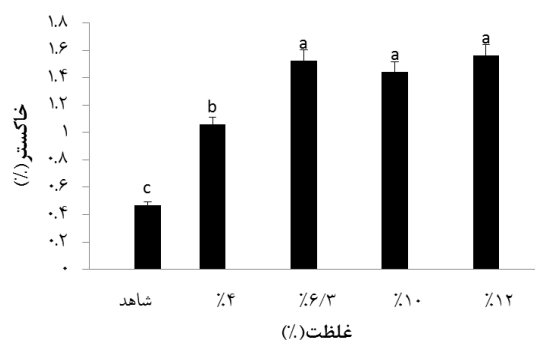
همراه گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- تاثیر غلظت ماده بر کارایی ضد واکنشیدگی حجمی پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

### درصد خاکستر

تحلیل‌های آماری نشان داد که تاثیر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر درصد خاکستر در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. با افزایش غلظت از ۴ به ۱۲ درصد، میزان خاکستر ۴۸/۴۸ درصد افزایش می‌یابد که در مقایسه با نمونه‌های شاهد این افزایش ۲۳۳ درصد است. شکل ۱۲ تاثیر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر درصد خاکستر به همراه 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 ۱۲- تاثیر غلظت ماده‌ی کندسوزکننده بر درصد خاکستر به همراه گروه‌بندی دانکن

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق امکان کاربرد نانولاستونیت به‌عنوان ماده‌ی کندسوزکننده برای افزایش مقاومت به آتش و بهبود ثبات ابعاد چوب صنوبر مورد بررسی قرار گرفت.



بر این، با توجه به بررسی‌های اخیر در زمینه‌ی نانولاستونیت برای بهبود دوام شرایط زیستی (بیولوژیک) و مقاومت‌های مکانیکی چوب [۱۲]، کاربرد آن به بخش صنعت توصیه می‌شود.

### سپاسگزاری

نگارندگان از جناب آقای وردی، مدیر عامل شرکت تولید فرآورده‌های صنعتی و معدنی ورد که ماده‌ی نانولاستونیت را تهیه نمودند صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

مغایرت دارد؛ زیرا آنان به این نتیجه رسیدند که همه اصلاحگرها، جذب آب چوب صنوبر را کاهش می‌دهند. از نظر افزایش مقاومت به آتش، نتایج هر دو تحقیق یاد شده با نتایج تحقیق کنونی همخوانی دارند. به طور کلی، بسته به نوع کاربرد چوب و در نظر گرفتن صرفه‌ی اقتصادی حفاظت آن، امکان کاربرد نانولاستونیت در سطوح مختلف غلظت نیز وجود دارد و می‌تواند ویژگی‌های مقاومت به آتش و ثبات ابعاد چوب را به میزان مطلوبی بهبود ببخشد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان ادعا نمود که نانولاستونیت قابلیت استفاده به عنوان یک ماده-ی کندسوزکننده در حفاظت چوب را داراست [۱۱]. علاوه

### مراجع

- [1] Stark, N.M., White, R.H., Mueller, S.A., Osswald, T.A., 2010. Evaluation of various fire retardants for use in wood flour-polyethylene composites, *Polymer Degradation and Stability*, 95: 1903-1910.
- [2] Taghiyari, H., 2011. Fire-Retarding Properties of Nano-Silver in Solid Woods. *Wood Science and Technology*, 46(5): 939-952.
- [3] Parsapajouh, D., Faezipour, M., Taghiyari, H., 2009. *Industrial Timber Preservation*, 4<sup>th</sup> Ed., Tehran University Publications, 657 p (In Persian).
- [4] 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, *BioResources*, 5(1): 1-8.
- [5] Jinshu, SH., Jianzhang, L., Wenrui, ZH., Derong, ZH., 2007. Improvement of wood properties by urea-formaldehyde resin and nano-SiO<sub>2</sub>, *Frontiers of Forestry in China*, 2(1): 104-109.
- [6] Mantanis, G.I., Papadopoulos, A.N., 2010. Reducing the thickness swelling of wood based panels by applying a nanotechnology compound, *European Journal of Wood and Wood Products*, 68: 237-239.
- [7] Kartal, S.N., Green, F., and Clausen, C.A., 2009. Do the unique properties of nanometals affect leachability or efficacy against fungi and termites, *International biodeterioration and biodegradation*, 63: 490-495.
- [8] Luyt, A.S., Dramicanin, M.D., Antic, Z., Djokovic, V., 2009. Morphology, mechanical and thermal properties of composites of polypropylene and nanostructured wollastonite filler, *Polymer testing* 28: 348-356.
- [9] Khosravian, B., 2009. Evaluation of mechanical, physical, thermal and morphological properties of hybrid composites and nano-hybrid composites polypropylene/wood flour/wollastonite. M. sc. Thesis, Tehran University, 103 pages (In Persian).
- [10] Mai, C., Militz, H., 2004. Modification of wood with silicon compounds inorganic silicon compounds and sol-gel systems: a review, *Wood Science and Technology*, 37: 339-348.
- [11] Haghghi, A., 2012. Study on fire-retardant properties of nano-wollastonite in *Populus nigra*. M. sc. Thesis, Tehran University, 72 pages (In Persian).
- [12] Fattahi, A., 2011. Modification of poplar wood with nano-wollastonite and its effect on durability of this wood against rainbow fungus. M. sc. Thesis, Tehran University. 71 pages (In Persian).

## Study on the potential use of nano-wollastonite to improve the fire resistance and dimensional stability of poplar wood (*Populus nigra*)

### Abstract

In this study possibility of nano-wollastonite uses for improving fire retardency of poplar wood (*Populus nigra*) was investigated. Also, water absorption and volumetric swelling of specimens were measured. Specimens for fire resistance were prepared according to ISO 11925 standard and for physical properties ASTM D4446-2002 standard. Specimens were impregnated with nano-wollastonite (NW), using full-cell process. Rate of concentrations were, 4, 6.3, 10 and 12 percent. Five fire-retarding properties were measured including: weight loss (%), ignition point (s), duration of flame after removing the burner (s), duration of glow after removing the burner (s), and carbonized area (%). The results showed that fire-retarding properties were increased with the NW-content. Furthermore, the treated wood specimens showed higher dimensional stability.

**Key words:** Bethel method; Poplar wood; Fire-retarding properties; Impregnation; Nano-wollastonite; Volume swelling; Water absorption

**A. Haghighi<sup>1\*</sup>**  
**A. Karimi<sup>2</sup>**  
**H. R. Taghiyari<sup>3</sup>**  
**Y. Hamzeh<sup>4</sup>**  
**A. A. Enayati<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc., <sup>2</sup>Professor, <sup>4</sup>Associated Professor, and <sup>5</sup>Professor, Wood and Paper Sciences & Technology Department, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.

<sup>3</sup>Assistant Prof., Wood Science & Technology Department, Civil Engineering Faculty, Shahid Rajaei Teacher Training University, Iran.

Corresponding author:  
haghighi1986@gmail.com

Received: 2011.12.03  
Accepted: 2012.06.11