



دانشگاه گوارزی منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل  
جلد بیستم و یکم، شماره چهارم، ۱۳۹۳  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی چوب پالونیای اشباع شده با نانو نقره و نانو مس

\*ملیحه اختری<sup>۱</sup>، مریم قربانی‌کوننده<sup>۲</sup> و حمیدرضا تقی‌یاری<sup>۳</sup>

استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بجنورد، دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه منابع طبیعی و علوم کشاورزی ساری،<sup>۳</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۸

### چکیده

در این تحقیق اثر نانونقره و نانومس بر خواص فیزیکی (واکشیدگی حجمی و جذب آب طولانی‌مدت) و مکانیکی (سختی، فشارموازی الیاف، مدول خمشی و مدول الاستیسیته) چوب پالونیا بررسی گردید. نمونه‌ها با محلول نانونقره و نانومس با اندازه ذرات ۱۰ تا ۸۰ نانومتر و غلظت ۶۰۰ ppm، در مخزن فشار تحت فشار ۲/۵ بار به مدت ۳۰ دقیقه به روش سلول تهی اشباع شدند. نتایج نشان دادند که مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و فشارموازی الیاف نمونه‌های اشباع شده افزایش یافتند و بیشترین افزایش مربوط به نمونه‌های حاوی نانو مس بوده است. در بین خواص مکانیکی، سختی نمونه‌های شاهد با اشباع شده تفاوت معنی‌داری نشان نداد. نتایج نشان دادند که اشباع چوب با نانونقره و نانومس تأثیر مثبت معنی‌داری بر کاهش واکشیدگی حجمی و جذب آب نمونه‌ها داشته است. آزمون کلاستر بر مبنای خواص فیزیکی و مکانیکی نشان داد که نمونه‌های اشباع شده با نانومس در خوشه‌ای جداگانه قرار گرفتند و علی‌رغم بهبود کلی اکثر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های اشباع شده با نانونقره، این تیمار تفاوت معنی‌داری با نمونه‌های شاهد نشان نداد.

**کلمات کلیدی:** نانونقره، نانومس، پالونیا، واکشیدگی حجمی، جذب آب، خواص مکانیکی

\*مسئول مکاتبه: [Maliheh.akhtari@gmail.com](mailto:Maliheh.akhtari@gmail.com)

## مقدمه

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های زیادی در زمینه نانوتکنولوژی و کاربردهای تجاری نانوذرات در حفاظت چوب انجام شده است (ایونس و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج مطالعه اثر اشباع نانونقره بر خواص مکانیکی چوب صنوبر تیمارگرمایی شده نشان داد که اشباع چوب با نانونقره، باعث تسهیل انتقال حرارت و در نتیجه تسریع در تخریب گرمایی، پیرولیز و افت مقاومت‌های مکانیکی در ساختار چوب گردید (تقی‌یاری، ۲۰۱۱). همچنین، همین خاصیت انتقال گرمای ذرات نانونقره، موجب بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی به دلیل تسریع در انتقال حرارت به کیک خرده‌چوب و تسریع فرآیند پلیمریزاسیون رزین (تقی‌یاری و همکاران، ۲۰۱۱) و نیز کاهش نفوذپذیری آبی و گازی تخته‌خرده‌چوب گردید (تقی‌یاری، ۲۰۱۱). میکروذرات بزرگ‌تر از  $25000\text{nm}$  ممکن است تراکئیدها را مسدود و مانع جذب موادحفاظتی شوند. اگر اندازه ذرات کمتر از قطر حفرات ( $10000\text{nm}$ ) یا سوراخ‌های غشاء در منافذ هلالی ( $600\text{nm}-400$ ) باشد، نفوذ کامل و توزیع یکنواخت‌تری در چوب خواهند داشت (کریگ، ۲۰۱۰). نانو فلزات به دلیل سطح تماس بیشتر و انرژی سطحی بالاتر، ممکن است تفاوت کلی با خصوصیات فلزات اصلی داشته باشند (کایتون، ۲۰۰۶)، که این موضوع بستگی به چندین ویژگی از جمله اندازه و وزن دارد و ممکن است عملکرد آن‌ها را در کاربردهای حفاظت چوب افزایش دهد (کلایسن، ۲۰۰۷). بررسی میکروسکوپی چوب اشباع شده با نانو ذرات مس نشان داد که نانوذرات مس می‌توانند در میکروساختارهای چوب کاج جنوبی نفوذ کنند (ماتسونگا و همکاران، ۲۰۰۷). به علت اثر نوسانات رطوبتی بر ابعاد و خواص مکانیکی، مصرف چوب در مصارف ساختمانی و محیط بیرون محدود می‌باشد. به طوری که افزایش یک درصد رطوبت، مدول خمشی و مقاومت فشاری موازی الیاف را به ترتیب ۴ و ۶ درصد کاهش می‌دهد (سورا و همکاران، ۲۰۰۳). توانایی میکروارگانسیم‌ها برای حمله به چوب نیز به مقدار رطوبت دیواره سلولی بستگی دارد (باروناس، ۲۰۰۱). با توجه به محدودیت منابع جنگلی، تولید چوب از طریق کشت گونه‌های سریع‌الرشد حائز اهمیت است. پالونیا جزء درختان سریع‌الرشد می‌باشد و پس از ۵ سال، معادل  $0/35$  تا  $0/45$  مترمکعب چوب قابل استفاده در صنعت تولید می‌کند. پالونیا چوبی سبک، نرم، بخش روزنه‌ای، راست‌تار و تقریباً بدون گره است (کالایسیگلو و همکاران، ۲۰۰۵). مقدار دانسیته خشک چوب پالونیای مورد مطالعه در این تحقیق  $0/37\text{ gr/cm}^3$  به دست آمده است. این چوب در صنایعی از قبیل هواپیماسازی، کشتی‌سازی،

ماکت‌سازی، اعضاء مصنوعی بدن، عایق‌های صوتی و حرارتی، آلات موسیقی، مداد و مبلمان مورد استفاده قرار می‌گیرد (فلای و هولدر، ۲۰۰۱).

همان‌طور که در ابتدای این بخش ارائه شد، تأثیر نانوذرات فلزی از دیدگاه‌های تأثیر بر خواص دوام چوب، انتقال سریع‌تر دما و بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی (تقی یاری و همکاران، ۲۰۱۳) و حتی الگوهای نفوذ در شبکه متخلخل چندین گونه چوبی مورد بررسی قرار گرفته (ماتسونوگا و همکاران، ۲۰۰۹) و حتی نوع پیوندهای احتمالی بین نانوذرات و ساختارهای تشکیل‌دهنده چوب نیز گزارش شده است (اختری و همکاران، ۲۰۱۳). ولی تأثیر نانوذرات بر خواص فیزیکی و مکانیکی چوب بی‌آنکه تیمارهای اصلاحی همچون تیمار گرمایی بر روی چوب انجام شود، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. از این رو، پژوهش کنونی به بررسی اثر نانوذرات مس و نقره بر خواص فیزیکی و مکانیکی چوب پالونیا (*Paulownia fortunei*) می‌پردازد. خواص فیزیکی مورد مطالعه شامل جذب آب و تغییر ابعاد طولانی‌مدت و خواص مکانیکی شامل سختی، فشارموازی الیاف، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**آماده‌سازی نمونه‌ها:** چوب پالونیا موردنیاز، از دانشکده منابع طبیعی ساری تهیه شد. پس از انجام برش‌های اولیه از محل ارتفاع برابر سینه، الوارها به مدت ۳ ماه دسته‌بندی شدند تا به رطوبت تعادل محیط نزدیک گردند. سپس نمونه‌ها به ابعاد موردنظر جهت انجام آزمون‌های فیزیکی (واکسیدگی حجمی و جذب آب طولانی‌مدت) مطابق با استاندارد ASTM D 570-98 و آزمون‌های مکانیکی (سختی، فشار موازی الیاف، مدول خمشی و مدول الاستیسیته) مطابق با استاندارد ASTM D 143-94، تبدیل شدند.

**فرایند اشباع چوب:** نانومس و نانونقره موردنیاز این پژوهش از شرکت جهان نانو مواد، خریداری گردید. برای اشباع نمونه‌های موردنظر، از سیلندر تحت فشار استفاده شد. در این سیلندر، نمونه‌ها به‌طور جداگانه در محلول نانونقره و نانومس با غلظت ۴۰۰ppm در فشار ۲/۵ بار و به روش سلول تهی اصلاح شده، اشباع شدند.

**آزمون جذب آب و واکسیدگی حجمی:** نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون تحت دمای  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  و ۱۰۳ خشک شدند. وزن و ابعاد خشک نمونه‌ها به‌ترتیب با ترازوی دیجیتالی (دقت ۰/۰۰۱ گرم) و

کولیس ورنیه (دقت ۰/۰۲mm) اندازه‌گیری شدند. سپس نمونه‌ها در حمام آب غوطه‌ور شده و وزن و ابعاد آنها پس از غوطه‌وری در بازه‌های زمانی مشخص اندازه‌گیری شد و با استفاده از روابط ۱ و ۲، جذب آب<sup>۱</sup> و واکشیدگی حجمی<sup>۲</sup> محاسبه گردید.

$$WA = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

WA = جذب آب در زمان غوطه‌وری (درصد)،  $W_2$  = وزن نمونه در زمان غوطه‌وری (gr)،  $W_1$  = وزن خشک نمونه قبل از غوطه‌وری (gr)

$$VS = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

VS = واکشیدگی حجمی (درصد)،  $V_1$  = حجم چوب پس از غوطه‌وری ( $\text{cm}^3$ )،  $V_2$  = حجم چوب قبل از غوطه‌وری ( $\text{cm}^3$ )

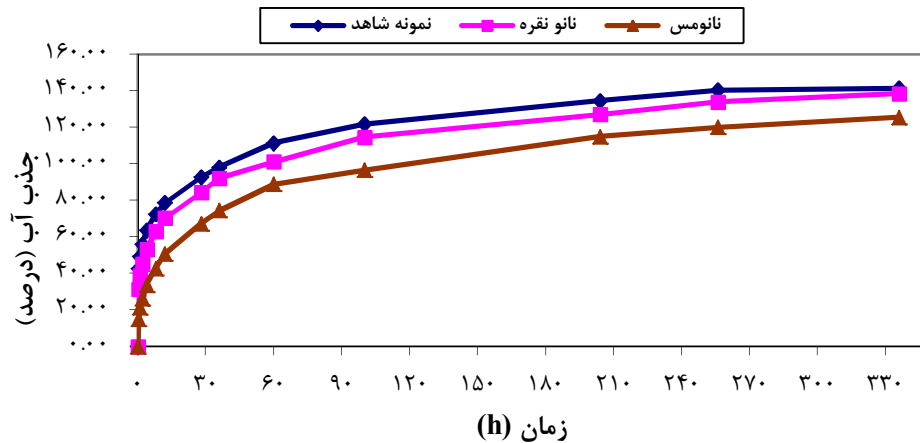
**تحلیل آماری:** بررسی فاکتورهای تحقیق با استفاده از آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن توسط نرم‌افزار SAS در قالب طرح کاملاً تصادفی در سطح احتمال ۰/۰۱ صورت گرفت. آزمون خوشه‌ای (کلاستر) با نرم‌افزار SPSS، ویرایش ۱۶ انجام شد.

## نتایج

### اثر اشباع با نانو نقره و نانومس بر خواص فیزیکی چوب پالونیا

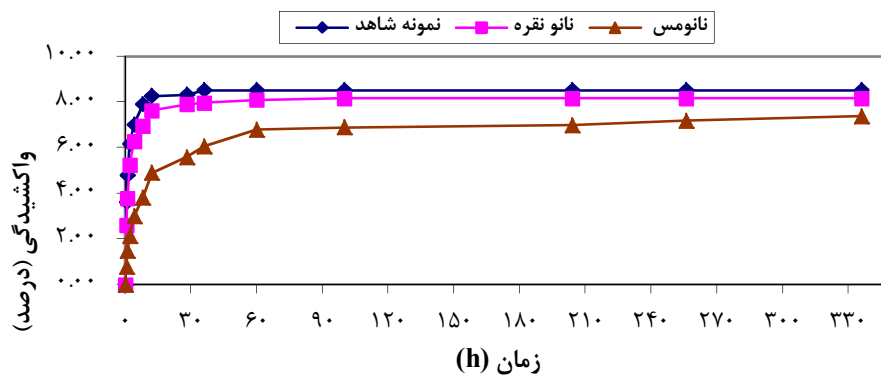
جذب آب: همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، بیشترین درصد جذب آب در ۸ تا ۱۲ ساعت اول غوطه‌وری صورت گرفته است که دلیل سرعت بیشتر جذب آب در ساعات اولیه را می‌توان به پدیده انتشار<sup>۳</sup> نسبت داد. انتشار رطوبت در چوب به‌علت گرادیان رطوبت بین سطح و مغز چوب است. آنالیز واریانس نشان داد که تیمار چوب با نانو نقره و نانومس تأثیر معنی‌داری در سطح خطای ۰/۰۱ بر جذب آب نمونه‌ها داشت و نمونه‌های شاهد در مدت زمان مشابه، آب بیشتری جذب نموده‌اند. در بین نمونه‌های اشباع شده، نمونه‌های حاوی نانو مس آب کمتری نسبت به نمونه‌های حاوی نانو نقره جذب کردند.

- 
- 1- Water absorption
  - 2- Volumetric swelling
  - 3- Diffusion



شکل ۱- اثر نانوذرات بر جذب آب چوب پالونیا در بازه‌های زمانی مختلف.

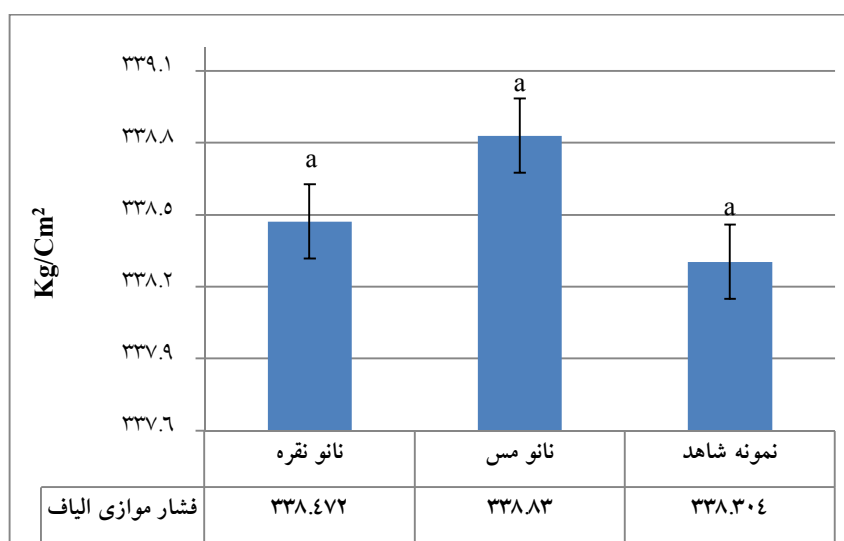
واکسیدگی حجمی: آنالیز واریانس داده‌های واکسیدگی حجمی چوب پالونیای اشباع شده با نانونقره و نانومس در زمان‌های مختلف نشان داد که تیمار چوب با نانونقره و نانومس اثر معنی‌داری در سطح خطای ۰/۰۱ بر واکسیدگی ابعاد نمونه‌ها داشته است (شکل ۲). نمونه‌های شاهد، در مدت زمان مشابه، واکسیدگی حجمی بیشتری داشته و در بین نمونه‌های اشباع شده، نمونه‌های اشباع با نانومس، واکسیدگی حجمی کمتری نسبت به نمونه‌های اشباع شده با نانونقره داشتند.



شکل ۲- اثر نوع تیمار بر واکسیدگی حجمی چوب پالونیا در بازه‌های زمانی مختلف.

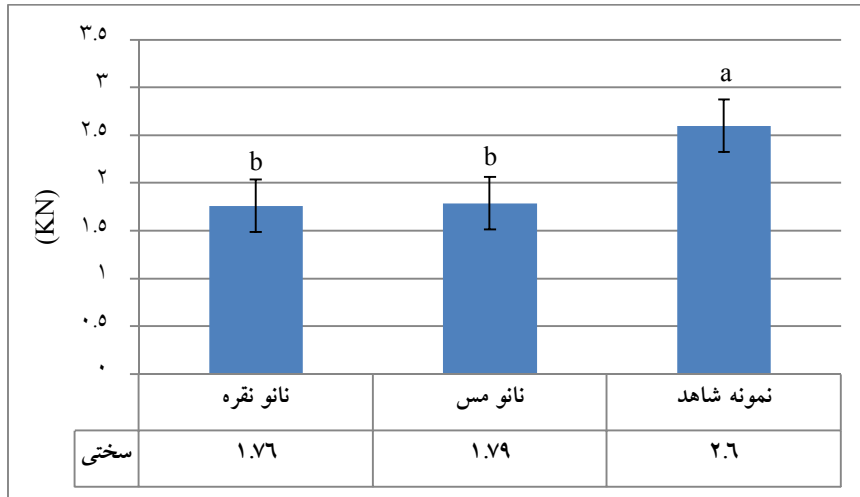
اثر اشباع با نانونقره و نانومس بر خواص مکانیکی چوب پالونیا

فشار موازی الیاف: شکل ۳ نشان می‌دهد که فشار موازی الیاف نمونه‌های اشباع شده با نانومس ( $\text{kg/cm}^2$ ) بیشتر از نمونه‌های اشباع شده با نانونقره ( $338.472 \text{ kg/cm}^2$ ) می‌باشد و اختلاف ناچیزی با فشار موازی الیاف نمونه شاهد ( $338.304 \text{ kg/cm}^2$ ) دارند، به طوری که بر اساس تجزیه واریانس فشار موازی الیاف، تیمارها اثر معنی‌داری در سطح خطای ۰/۰۵ بر فشار موازی الیاف نداشته است.



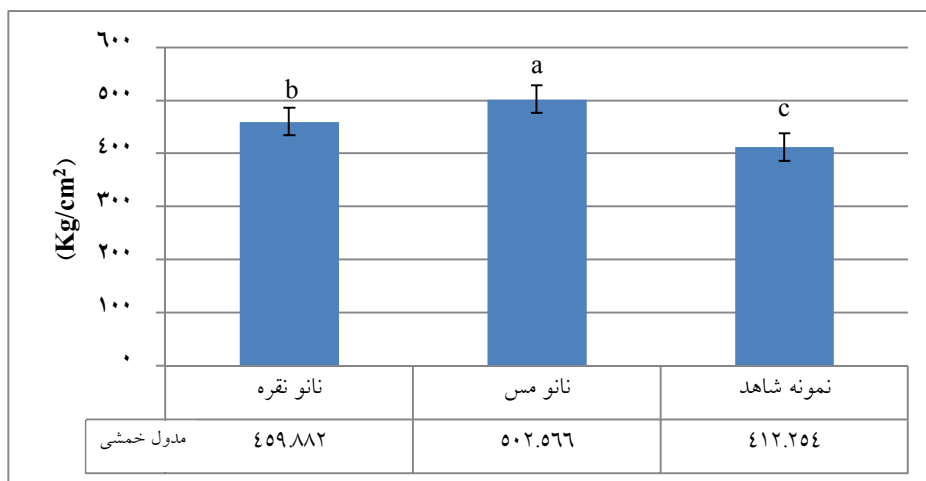
شکل ۳- اثر نانو ذرات بر فشار موازی الیاف چوب پالونیا.

سختی: شکل ۴ نشان می‌دهد که سختی نمونه‌های اشباع شده با نانومس ( $1/79 \text{ KN}$ ) و نانونقره ( $\text{KN}$ ) تقریباً نزدیک به هم و کمتر از نمونه‌های شاهد ( $2/60 \text{ KN}$ ) بوده است. تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر سختی در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار شده است.



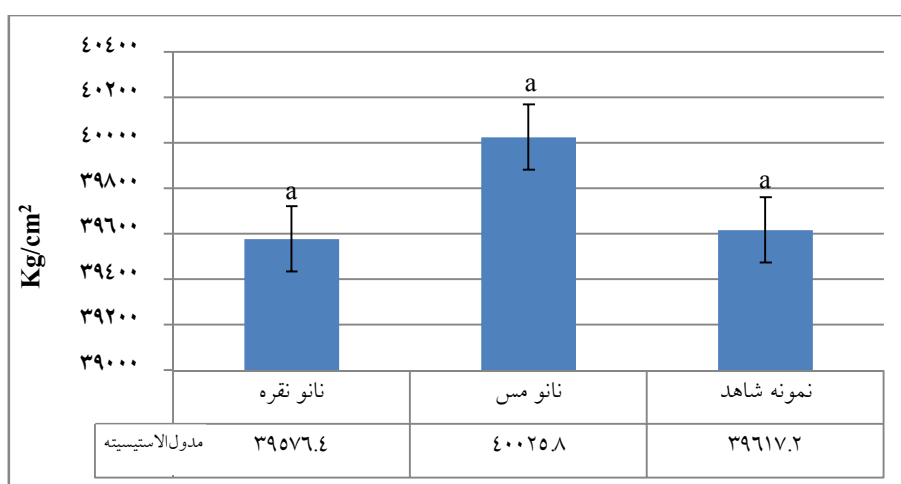
شکل ۴- اثر نانو ذرات بر سختی چوب پالونیا.

مدول خمشی: همان طور که در شکل ۵ مشاهده می گردد، بیشترین مقدار مدول خمشی در نمونه های اشباع شده با نانومس ( $502 \text{ kg/cm}^2$ ) و کمترین در نمونه های شاهد ( $412.254 \text{ kg/cm}^2$ ) بوده است. تجزیه واریانس مدول خمشی نشان داد که تیمارها، در سطح احتمال  $0.01$ ، اثر معنی داری بر مدول خمشی چوب پالونیا داشته اند.



شکل ۵- اثر نانو ذرات بر مدول خمشی چوب پالونیا.

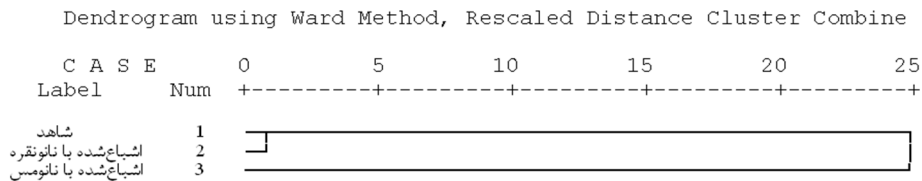
مدول الاستیسیته: شکل ۶ اثر نانونقره و نانومس را بر مدول الاستیسیته چوب پالونیا نشان داده است. بیشترین مقدار مدول الاستیسیته در نمونه‌های اشباع شده با نانومس ( $40025/8 \text{ kg/cm}^2$ ) می‌باشد. مدول الاستیسیته در نمونه‌های اشباع شده با نانونقره و در نمونه‌های شاهد به ترتیب  $39576/4$  و  $39611/2 \text{ kg/cm}^2$  اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس مدول الاستیسیته نشان داد که تیمارها تأثیر معنی‌داری بر مدول الاستیسیته چوب پالونیا نداشته‌اند.



شکل ۶- اثر نانوذرات بر مدول الاستیسیته چوب پالونیا.

آزمون کلاستر مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی: آزمون کلاستر بر مبنای تمام خواص فیزیکی و مکانیکی (شکل ۷) نشان داد که نمونه‌های اشباع شده با نانومس کاملاً در خوشه‌ای جداگانه قرار گرفت. این بدان معناست که در یک نگاه کلی، میزان تغییرات در کلیه خواص فیزیکی و مکانیکی آنقدر زیاد بود که باعث بروز تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌های اشباع شده با نانومس در مقایسه با دو تیمار دیگر (شاهد و اشباع‌شده با نانونقره) شده است. از سوی دیگر، با وجود بهبود کلی در اکثر خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های اشباع‌شده با نانونقره، مقدار بهبود (افزایش یا کاهش) آنقدر نبود که این تیمار در خوشه‌ای جداگانه قرار گیرد و این تیمار، نزدیکی قابل ملاحظه‌ای با تیمار شاهد نشان داده است.





شکل ۷- آزمون خوشه‌ای (کلاستر) تیمارها (نمونه شاهد، اشباع شده با نانوقره و نانومس).

### بحث و نتیجه‌گیری

چوب پالونبای به کار رفته در این تحقیق با دانسیته  $0.37 \text{ gr/cm}^3$ ، جزء چوب‌های سبک طبقه‌بندی می‌شود. نتایج نشان دادند که اشباع چوب با نانوقره و نانومس اثر معنی‌داری بر واکنش‌دهی حجمی و جذب آب نمونه‌ها داشته است. حضور نانوذرات بر دیواره سلولی از یک سو، با کاهش دسترسی به تعداد گروه‌های هیدروکسیلی آزاد و اتصال چوب با آب (سان و همکاران، ۲۰۱۰)، آب‌آغستگی را کاهش داده و از سوی دیگر، با اشغال کردن بخشی از فضای خالی حفرات (دوی و ماجی، ۲۰۱۲) و با قرارگیری بر روی روزنه‌ها، باعث کاهش شدید ابعاد این روزنه‌ها شده و ورود مولکول‌های آب را با مشکل مواجه می‌سازند (زاهدشیرجانی و غلامیان، ۲۰۱۰) و به این گونه جذب آب و واکنش‌دهی را کاهش می‌دهند. تقی‌یاری نیز گزارش کرد که افزودن نانوذرات نقره به چوب، نفوذپذیری آن را کاهش می‌دهد (تقی‌یاری، ۲۰۱۲). تشکیل رسوب ذرات نانومواد و اتصال با دیواره، سطح انرژی دیواره سلول‌های چوبی و امکان برقراری پیوند با دیواره را کاهش می‌دهد و باعث کاهش تغییرات ابعاد چوب می‌شوند. با توجه به دوظرفیتی بودن مس ( $\text{Cu}^{2+}$ )، این اتصالات قوی‌تر از نانوهای تک ظرفیتی مانند نقره ( $\text{Ag}^+$ ) می‌باشد. البته باید توجه داشت که تفاوت جذب آب در ساعات پایانی کمتر شده است که این امر احتمالاً به علت خروج مواد استخراجی محلول در آب و آبشویی نانوذرات اضافی طی غوطه‌وری می‌باشد.

سختی نمونه‌های شاهد بیشتر از تیمار شده بود و در نمونه‌های اشباع شده با نانو نقره و مس تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید، که این امر احتمالاً به تمایل نانوذرات به تشکیل کلوخه شدن مرتبط است. کلوخه‌ها به راحتی می‌توانند منجر به ایجاد شکاف دیواره اطراف خود شده و با ایجاد نقاط تمرکز تنش و جلوگیری از تسهیم متعادل تنش، موجب کاهش سختی شدند.

فشار موازی الیاف، مدول الاستیسیته و مدول خمشی نمونه‌های اشباع شده با نانو مس از نمونه‌های اشباع شده با نانو نقره و شاهد بیشتر بوده است. فاکتورهایمانند طبیعت اثر متقابل بین مواد غیرآلی و سلول‌های چوب، همچنین ماندگاری، نقش مهمی در خواص مکانیکی ایفا می‌نمایند. همچنین می‌توان اظهار داشت که اشباع چوب پالونیا با نانو مس توانسته است تا حدودی مقاومت‌های مکانیکی چوب را افزایش دهد. فرض بر این است که نانوذرات توانسته‌اند با دیواره سلولی پیوند برقرار کنند، زیرا در مقایسه با ذرات معمولی، نانوذرات نسبت سطح به حجم، بسیار بالاتری دارند و هرچه اندازه ذرات کاهش می‌یابد، درصد مولکول‌ها به اتم‌های موجود در سطح نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه، نیروهای بین ذرات مانند نیروهای واندروالس، الکترواستاتیکی و جاذبه مغناطیسی نیز قوی‌تر می‌شوند (چندرا و همکاران، ۲۰۰۸). علی‌رغم افزایش دانسیته بیشتر متعاقب جذب نانونقره، فاکتور غالب، ماهیت نانوذرات مس (به واسطه داشتن دو ظرفیت پیوند با گروه‌های هیدروکسیل) می‌باشد که اثر محسوس‌تری بر مقاومت‌های مکانیکی داشته‌اند. وجود نانوذرات در حفره سلولی موجب استحکام دیواره نازک سلولی می‌شود و از کمانش دیواره زیر بار فشار می‌کاهد. بر اساس نتایج، احتمالاً اثر مثبت عوامل فوق، بیش از اثر منفی ایجاد ترک ناشی از کلوخه‌ها بوده است که می‌تواند علی‌رغم کاهش سختی، افزایش مقاومت خمشی چوب‌های اصلاح شده را موجب گردد. نانوذرات مس در مقایسه با نقره باعث بهبود بیشتر در ثبات ابعاد و مقاومت‌های خمشی گردید. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که اشباع چوب پالونیا با نانوذرات توانسته است تا حدودی مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی چوب را افزایش دهد که این اثر در مورد نانوی دو ظرفیتی مس محسوس‌تر بوده است.

## منابع

1. Akhtari, M., Taghiyari, H.R., and Ghorbani Kokandeh, M. 2013. Effect of some metal nanoparticles on the spectroscopy analysis of Paulownia wood exposed to white-rot-fungus. *European Journal of Wood and Wood Products*. 71(2): 283–285.
2. Baronas, R., Ivanauskas, F., Juodeikienė, I., and Kajalavicius, A. 2001. Modelling of Moisture Movement in Wood during Outdoor Storage. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, 6(2): 3-14.
3. Cayton, R.H., and Sawitowski, T. 2006. The impact of nano-materials on UV-protective coatings. <http://www.nsti.org>.
4. Chandra, A., Turng, L.S., Gopalan, P., Rowell, R.M., and Gong, S. 2008. Study of utilizing thin polymer surface coating on the nanoparticles for melt compounding of polycarbonate/ alumina nanocomposites and their optical properties. *Composite Science Technology*. 68: 768-776.

5. Clausen, C.A. 2007. Nanotechnology: Implications for the Wood Preservation Industry. International Research Group on Wood Protection, Stockholm, Sweden, IRG/WP/07-30415: 15p.
6. Cooper, P.A., and Ung, T.Y. 2009. Component leaching from CCA, ACQ and a micronized copper quat (MCQ) system as affected by leaching protocol. Int. Res. Group on Wood Prot. Doc. IRG/WP 09-50261.
7. Craig, R., McIntyre. 2010. Comparison of Micronized Copper Particle Sizes, IRG/WP 10-30538, 41st IRG/WP conference Annual Meeting, Biarritz, France.
8. Devi, R., and Maji, T.K. 2012. Effect of nano-SiO<sub>2</sub> on properties of wood/polymer/ clay nanocomposites. Wood Science and Technology. 70(2): 403-417.
9. Evans, P.D., Matsunaga, H., and Kiguchi, M. 2008. Large-scale application of nanotechnology for wood protection. Nature Nanotechnology 3(10): 577p.
10. Flynn, H., and Holder, C. 2001. Useful wood of the world. Forest Products Society 2nd Ed., Madison, WI, 618p.
11. Freeman, M.H., and McIntyre, C.R. 2008. A comprehensive review of copper-based wood preservatives with a focused on new micronized or dispersed copper systems. Forest Products J., 58(11): 6-27.
12. Kalaycioglu, H., Deniz, I., and Hiziroglu, S. 2005. Some of the properties of particleboard made from paulownia. J. Wood Sci. 51: 410-414.
13. Matsunaga, H., Kigushi, M., and Evans, P. 2007. Micro-distribution of metals in wood treated with a nano-copper wood preservative. International Research Group on Wood Protection, Stockholm, Sweden, IRG/WP/07-40360. 7p.
14. Matsunaga, H., Kiguchi, M., and Evans, P. 2009. Microdistribution of copper-carbonate and iron oxide nanoparticles in treated wood. Journal of Nanoparticle Research. 11: 1087–1098.
15. Severa, L., Buchar, J., and Krivanek, I. 2003. The influence of the moisture content on the fracture of the notched wood beam. 8<sup>th</sup> International IUFRO Wood Drying Conference.
16. Siegel, R.W., Hu, E., and Roco, M.C. 1999. Nanostructure Science and Technology. Springer (former Kluwer Academic Publishers): Dordrecht, Netherlands.
17. Sun, Q., Yu, H., Liu, Y., Li, J., Lu, Y., and Hunt, J.F. 2010. Improvement of water resistance and dimensional stability of wood through titanium dioxide coating. Holzforschung. 64: 757-261.
18. Taghiyari, H.R. 2011. Study on the Effect of Nano-Silver Impregnation on Mechanical Properties of Heat Treated *Populus nigra*. Wood Science Technology. Vol. 45: 399-405.
19. Taghiyari, H.R. 2012. Correlation between Gas and Liquid Permeabilities in some Nano-Silver-Impregnated and Untreated Hardwoods. Journal of Tropical Forest Science, JTFS. 24(2): 249–255.

20. Taghiyari, H.R., Enayati, A., and Gholamiyan, H. 2013. Effects of nano-silver impregnation on brittleness, physical and mechanical properties of heat-treated hardwoods. *Wood Science and Technology*. 47(3): 467–480.
21. Taghiyari, H.R., Rangavar, H., and Farajpour Bibalan, O. 2011. Nano-Silver in Particleboard. *BioResources*. 6(4): 4067–4075.
22. Zahedsheijani, R., and Gholamiyan, H. 2010. The Potential Use of Nanozycosil and Sodium Montmorillonite (NaMMT) Nanoclay to Decrease Water Absorption in MDF. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*. 1(2): 69-81.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 21 (4), 2015

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## Study on the physical and mechanical properties of paulownia wood impregnated with nanosilver and nanocopper

\*M. Akhtari<sup>1</sup>, M. Ghorbani Kokandeh<sup>2</sup> and H.R. Taghiyari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Science and Wood and Paper Technology, Islamic Azad University, Bojnourd Branch, <sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Science and Wood and Paper Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Science and Wood and Paper Technology, Shahid Rajaee Teacher Training University

Received: 01/22/2014 ; Accepted: 02/07/2015

### Abstract

Present research was conducted to investigate the effects of nanosilver and Nanocopper on physical (Water Absorption and Dimension Swelling) and mechanical properties (MOE, MOR, Compression strength parallel to the grain and Hardness) of *Paulownia fortunei*. Specimens were impregnated with Empty-cell method with a 400 ppm aqueous suspension of nanosilver and nanocopper, size range from 10 to 80 nm, in a pressure vessel at 2.5 bar for 30 minutes. Results showed that modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), and compression strength parallel to the grain were significantly increased in impregnated samples and the most increased was showed in impregnated samples with Nanocopper. In mechanical properties, there was no significant difference in hardness between impregnated and control samples. Results shown that impregnated wood with Nanosilver and Nanocopper have positive significantly effect to decrease dimension swelling and water absorption in specimens. Cluster analysis on physical and mechanical properties showed that impregnated samples with nano-copper clustered differently. However, impregnated samples with nano-silver had improved some of the physical and mechanical properties of wood but they didn't have significant difference in comparison control specimens.

**Keywords:** Nanosilver, Nanocopper, *Paulownia fortune*, Dimension Swelling, Water Absorption, Mechanical properties

---

\*Corresponding author: Malihch.akhtari@gmail.com

