

## ارزیابی تاثیر نانو اکسیدروی بر خواص فیزیکی و مکانیکی چوب پالونیا (*Paulownia fortunei*)

مریم قربانی کوکنده<sup>۱</sup>، ملیحه اختری\*<sup>۲</sup> حمیدرضا تقی یاری<sup>۳</sup>

استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد

استادیار گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

### چکیده

در این تحقیق خواص فیزیکی (واکسیدگی حجمی و جذب آب درازمدت) و مکانیکی (سختی، فشارموازی الیاف، مدول خمشی و مدول الاستیسیته)، چوب پالونیای اشباع شده با نانو اکسیدروی (اندازه ۸۰-۱۰ nm) بررسی گردید. نمونه‌ها با محلول نانو اکسیدروی با غلظت ۵۰۰۰ ppm و تحت فشار ۲/۵ بار در مخزن فشار به مدت ۲۰ دقیقه به روش سلول تهی اشباع شدند. نتایج نشان دادند که مدول خمشی، مدول الاستیسیته و فشارموازی الیاف نمونه‌های اشباع شده افزایش یافتند. بین خواص مکانیکی، تفاوت معنی‌داری در سختی چوب شاهد با نمونه‌های اشباع شده مشاهده نشد که می‌توان آنرا به بلندشدن الیاف سطحی نمونه‌ها در اثر غوطه‌وری در محلول‌های اشباع دانست. بیشترین واکسیدگی حجمی و جذب آب مربوط به ۸ ساعت اول بوده است. نتایج نشان دادند که اشباع چوب با نانو اکسید روی تاثیر مثبت معنی‌داری بر کاهش تغییرات ابعاد و جذب آب نمونه‌ها داشته است.

واژگان کلیدی: نانو اکسید روی، پالونیا، واکسیدگی حجمی، جذب آب، خواص مکانیکی

## مقدمه

نانو فناوری عبارت است از بررسی خواص موادی که حداقل در یکی از ابعاد خود دارای اندازه‌های کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر باشد، بگونه‌ای که خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی (بیولوژیکی) این ذرات دارای تفاوت‌های اساسی با منشاء اولیه خود باشند [۱]. از سوی دیگر چوب به عنوان یک ماده مرکب پلیمری از سلولز، همی سلولز و لیگنین ساخته شده است. این پلیمرهای تشکیل‌دهنده دیواره سلولی، عهده‌دار اغلب خواص فیزیکی و شیمیایی چوب هستند. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های زیادی در زمینه نانوفناوری و کاربردهای تجاری نانو ذرات در حفاظت چوب انجام شده است [۲]. تقی‌یاری در تحقیق خود تحت عنوان ارزیابی تاثیر نانو نقره بر ویژگی‌های مکانیکی چوب صنوبر تیمار گرمایی شده نتیجه گرفت که اشباع چوب با نانو نقره باعث تسهیل انتقال حرارت در چوب و تسریع فرآیند تخریب و پیرولیز ساختار چوب شده و در نهایت خواص مکانیکی کاهش یافته است [۳]. همچنین، گزارش شده است که خاصیت انتقال گرمای ذرات نانو نقره باعث بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی در تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده در مقیاس صنعتی در کارخانه ایران چوب شده و زمان پرس را به میزان بیش از ۱۰ درصد کاهش داده است [۴] و نیز سبب شده میزان نفوذپذیری آبی و گازی کاهش معناداری یابند [۵]. Ellis (۲۰۰۷) به بررسی تاثیرات زیست محیطی نانو مواد پرداخت و به این نتیجه رسید که نانو ذرات دارای نقره یا هر ماده ضد میکروبی، محصولات ایمن شده و به لحاظ زیست محیطی بی‌خطرند [۶] McIntyre (۲۰۱۰) دریافت که میزان نفوذ و توزیع یکنواخت نانو ذرات در ساختار چوب ارتباط معکوسی با اندازه ذرات دارد. ذرات بزرگتر به‌طور عموم آسانتر نفوذ می‌کنند، اما ذرات بزرگتر از ۲۵۰۰۰ nm ممکن است تراکئیدها را مسدود و مانع جذب مواد حفاظتی شوند. اگر اندازه ذرات کمتر از قطر حفرات (۱۰۰۰۰ nm) یا سوراخ‌های غشاء در منافذ هاله‌ای (۶۰۰-۴۰۰ nm) باشد، نفوذ کامل و توزیع یکنواخت‌تری در چوب خواهند داشت [۷]. بنابر برخی تحقیقات [۸ و ۹]، چوب تیمار شده با نانو ذرات در مقایسه با چوب‌های تیمار شده با محلول‌های حفاظتی محلول در آب، دارای برتری‌هایی همچون کاهش قابلیت آبخوبی و

کاهش خوردگی در اثر تماس با اتصال‌های فلزی می‌باشند. ویژگی‌های نانو فلزات دارای سطح تماس بیشتر و انرژی سطحی بالاتر، ممکن است تفاوت کلی با ویژگی‌های فلزات اصلی آنها داشته باشند [۱۰]، که بستگی به چندین ویژگی (مانند اندازه و وزن) دارد و ممکن است عملکرد آنها را در کاربردهای حفاظت چوب افزایش دهد [۱۱]. تحقیقات پیشین نشان دادند که نانو ذرات می‌توانند مقاومت‌های مکانیکی (سفتی و مقاومت به سائیدگی)، مقاومت در برابر آتش و مقاومت در برابر اشعه UV پلیمرهای چوب را افزایش دهند [۱۲]. Matsunaga و همکاران (۲۰۰۷)، در بررسی میکروسکوپی چوب اشباع شده با نانو ذرات مس نتیجه گرفتند که نانو ذرات مس با ابعاد ۵۰-۷۰ nm می‌توانند در میکروساختارهای چوب کاج جنوبی، مانند منافذ هاله‌ای، لایه‌های دیواره سلولی و سلول‌های پارانشیمی نفوذ کنند [۱۳]. به علت تغییر ابعاد و جذب آب، مصرف چوب به ویژه در مصارف ساختمانی و محیط بیرون محدود می‌شود و تغییرات رطوبتی بر خواص مکانیکی محصولات چوبی نیز تاثیرگذار می‌باشد. Severa و همکاران (۲۰۰۳) به این نتیجه رسیدند که با افزایش یک‌درصد رطوبت، مدول خمشی و مقاومت فشاری موازی الیاف به ترتیب ۴ و ۶٪ کاهش یافته است. توانایی میکروارگانسیم‌ها برای حمله به چوب نیز به مقدار رطوبت دیواره سلولی بستگی دارد [۱۴]. با توجه به محدودیت منابع جنگلی، تولید چوب با کاشت گونه‌های تند رشد دارای حائز اهمیت است. توجه محققان و صاحبان صنایع به گونه پالونیا در ایران، به دلیل رشد بسیار سریع این گونه، بر اهمیت استفاده از این گونه چوبی در این تحقیق می‌افزاید. در این تحقیق از چوب پالونیا ۱ چگالی خشک ۰/۳۷ g/cm<sup>3</sup> استفاده شده است. درختان پالونیا جزو درختان تند رشد بوده و پس از ۱۰ سال، معادل ۰/۳ تا ۰/۵ مترمکعب چوب‌های قابل استفاده در صنعت تولید می‌کند که سبک، نرم، بخش روزنه‌ای، راست‌تار و تا حدودی بدون گره است [۱۵]. الوارهای پالونیا به آسانی خشک می‌شوند و به نسبت وزنی مقاومت بالایی دارند. همچنین ضریب واکشیدگی پایین داشته، به آسانی ترک و خمیدگی در آنها ایجاد نمی‌شود. با توجه به خواص فیزیکی و مکانیکی قابل قبول و نسبت بالای مقاومت‌های مکانیکی به وزن، در

$$VS = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100$$

VS = واكشیدگی حجمی (درصد) =  $V_2$  = حجم ثانویه پس از غوطه‌وری ( $\text{cm}^3$ ) =  $V_1$  = حجم اولیه پیش از غوطه‌وری ( $\text{cm}^3$ )

### فرایند اشباع چوب

نانو اکسید روی مورد نیاز این پژوهش از شرکت جهان نانو مواد، خریداری شد. نمونه‌های چوبی به روش سلول تهی با محلول نانو اکسید روی با اندازه نانوذرات ۸۰-۱۰ نانومتر و غلظت ۵۰۰۰ ppm، تحت فشار ۲/۵ بار اشباع شدند.

### روش تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش برای بررسی عامل‌های مورد نظر از آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن و با استفاده از نرم افزار SAS در قالب طرح کاملاً تصادفی در سطح احتمال ۰/۰۱ صورت گرفت.

### نتایج

#### تاثیر اشباع با نانو اکسید روی بر خواص فیزیکی

##### چوب پالونیا

##### جذب آب

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین درصد جذب آب در ۸ ساعت اول غوطه‌وری صورت گرفته است که دلیل سرعت جذب آب بیشتر در دقایق اولیه را می‌توان به پدیده انتشار<sup>۳</sup> نسبت داد. انتشار رطوبت در چوب به علت گرادیان رطوبت بین سطح و مغز چوب است [۱۷]. جدول ۱ تاثیر نوع تیمار بر جذب آب چوب پالونیا در زمان‌های مختلف غوطه‌وری در آب را نشان می‌دهد. جدول‌های تجزیه واریانس جذب آب نمونه‌ها نشان دادند که تیمار چوب با نانو اکسید روی تاثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ و ۵٪ بر جذب آب نمونه‌ها در زمان‌های معین داشته است و نمونه‌های شاهد در مدت زمان یکسان، آب بیشتری جذب نموده‌اند.

صنایع خاص مانند هواپیماسازی، کشتی‌سازی، ماکت-بازاییه‌ها، مصنوعات مصنوعی بدن، عایق‌های صوتی و گرمایی، آلات موسیقی، تولید ذغال، مداد و مبلمان مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۶].

این تحقیق به بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب پالونیا (*Paulownia fortunei*) اشباع شده با نانو اکسید روی می‌پردازد. ویژگی‌های فیزیکی مورد ارزیابی در این پژوهش شامل جذب آب و تغییر ابعاد درازمدت و ویژگی‌های مکانیکی شامل سختی، فشار موازی الیاف، مدول خمشی و مدول الاستیسیته می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### آماده سازی نمونه‌ها

چوب پالونیا مورد نیاز در این پژوهش از دانشکده منابع طبیعی ساری تهیه شد. پس از انجام برش‌های اولیه، الوارها به مدت ۳ ماه دسته‌بندی شدند تا به رطوبت تعادل محیط نزدیک شوند. سپس برای انجام آزمون‌های فیزیکی (واکشیدگی ابعاد و جذب آب) و مکانیکی (سختی، فشار موازی الیاف، مدول خمشی و مدول الاستیسیته) به ترتیب به ابعاد استاندارد ASTM-D4442 و ASTM-D 143-94 تبدیل شدند.

#### آزمون جذب آب و واكشیدگی حجمی

در آغاز نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای  $2 \pm 103^\circ\text{C}$  خشک شدند. وزن و ابعاد خشک نمونه‌ها به ترتیب با ترازوی دیجیتالی (دقت ۰/۰۰۱ گرم) و کولیس (دقت ۰/۰۲mm) اندازه‌گیری شدند. سپس نمونه‌ها در حمام آب، غوطه‌ور، وزن و ابعاد نمونه‌ها پس از غوطه‌وری در بازه‌های زمانی مشخص اندازه‌گیری شدند و با استفاده از روابط ۱ و ۲، جذب آب ( $WA^1$ ) و واكشیدگی حجمی ( $VS^2$ ) محاسبه شد.

(رابطه ۱)

$$WA = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

WA = جذب آب (درصد) =  $W_1$  = وزن اولیه پیش از

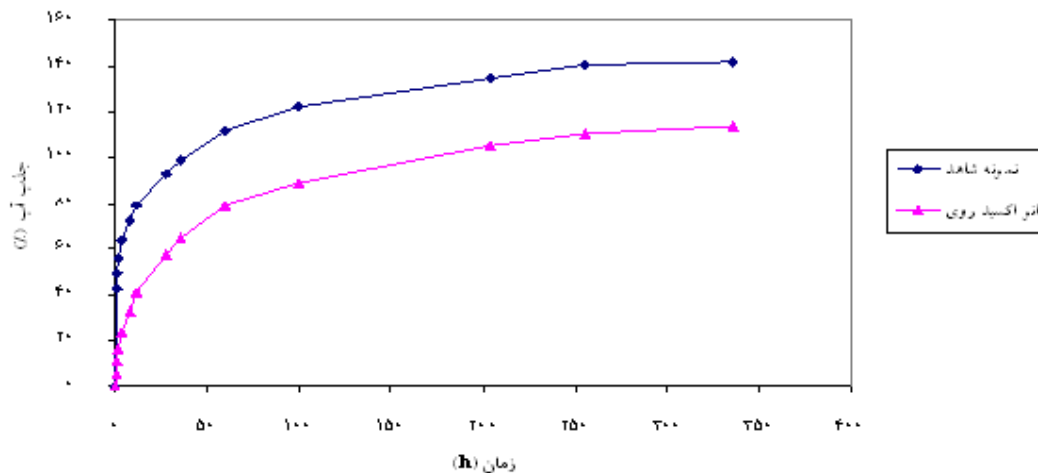
غوطه‌وری (g) =  $W_2$  = وزن ثانویه پس از غوطه‌وری (g)

<sup>3</sup> Diffusion

۱-Water Absorption  
۲-Volumetric Swelling

جدول ۱ - تاثیر نانو اکسیدروی بر جذب آب چوب پالونیا در بازه های مختلف غوطه وری در آب

جذب آب (درصد)												نمونه ها	
۳۳۶h	۲۵۶h	۲۰۴h	۱۰۰ h	۶۰ h	۳۶h	۲۸h	۱۲ h	۸ h	۴h	۲h	۱ h	۰/۵ h	
۱۴۱/۷۲	۱۴۰/۵۸	۱۳۴/۷۸	۱۲۲/۰۳	۱۱۱/۶۶	۹۸/۳۶	۹۲/۸۸	۷۸/۸۸	۷۲/۵۴	۶۳/۷۱	۵۶/۲۷	۴۹/۴۱	۴۲/۶۸	شاهد
۱۱۳/۶۳	۱۱۰/۲۹	۱۰۵/۲۲	۸۸/۷۳	۷۹/۱۱	۶۴/۶۱	۵۷/۵۱	۴۱/۵۰۰	۳۲/۷۵	۲۳/۷۷	۱۶/۱۶	۱۱/۴۲	۵/۲۵	نانو اکسیدروی



شکل ۱- تاثیر نانو اکسیدروی بر جذب آب چوب پالونیا در بازه های زمانی مختلف

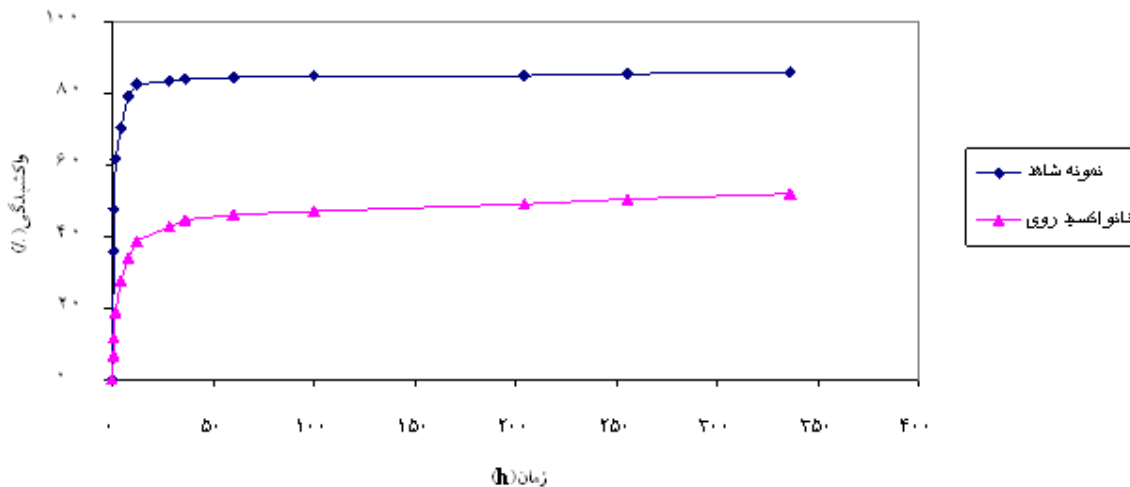
است. همچنین نمونه های شاهد در مدت زمان یکسان، نسبت به نمونه های اشباع شده، واکنش پذیری حجمی بیشتری داشته اند. همان طور که در شکل ۲ دیده می شود، درصد تغییرات ابعاد پس از ۱۲ ساعت تا حدودی یکنواخت بوده است.

### واکنش پذیری حجمی

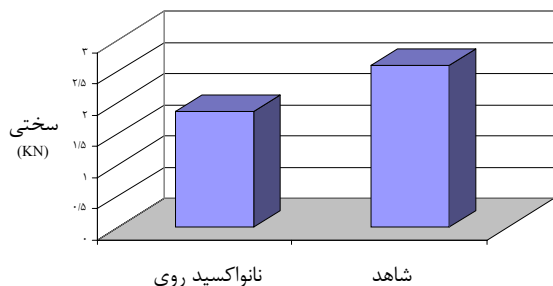
اطلاعات مربوط به واکنش پذیری حجمی چوب پالونیا اشباع شده با نانو اکسید روی در زمان های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. تجزیه واریانس نشان داد که تیمار چوب با نانو اکسیدروی تاثیر معنی داری بر واکنش پذیری ابعاد نمونه ها در کلیه بازه های زمانی داشته-

جدول ۲ - تاثیر نانو اکسیدروی بر واکنش پذیری ابعاد چوب پالونیا در بازه های مختلف غوطه وری در آب

واکنش پذیری ابعاد (درصد)												نمونه ها	
۳۳۶h	۲۵۶h	۲۰۴h	۱۰۰ h	۶۰ h	۳۶h	۲۸h	۱۲ h	۸ h	۴h	۲h	۱ h	۰/۵ h	
۸/۵۱	۸/۵۱	۸/۵۱	۸/۵۱	۸/۵۱	۸/۵۱	۸/۵۱	۸/۲۶	۷/۹۰	۷/۰۲	۶/۱۶	۴/۷۸	۳/۶۱	شاهد
۵/۱۸	۵/۰۵	۴/۸۸	۴/۷۲	۴/۶۱	۴/۴۶	۴/۲۹	۳/۹۰	۳/۴۱	۲/۷۹	۱/۹۰	۱/۱۹	۰/۶۷	نانو اکسیدروی



شکل ۲ - تاثیر نانو اکسید روی بر واكشیدگی چوب پالونیا در بازه‌های زمانی مختلف



شکل ۳ - تاثیر نانو اکسید روی بر سختی چوب پالونیا

#### مدول خمشی

شکل ۴ تاثیر نانو اکسید روی را بر مدول خمشی چوب پالونیا نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود مدول خمشی در نمونه‌های اشباع شده با نانو اکسید روی ( $502/012 \text{ kg/cm}^2$ ) بیشتر از نمونه‌های شاهد ( $412/254 \text{ kg/cm}^2$ ) بوده است. جدول تجزیه واریانس مدول خمشی نشان دادند که تیمارها تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ بر مدول خمشی چوب پالونیا داشته است.

تاثیر اشباع با نانو اکسید روی بر خواص مکانیکی چوب پالونیا:

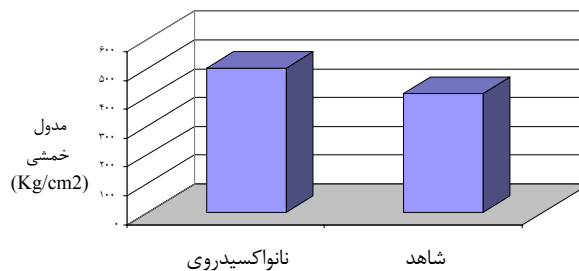
#### فشار موازی الیاف

شکل ۳ نشان می‌دهد که فشار موازی الیاف در نمونه‌های اشباع شده با نانو اکسید روی ( $338/718 \text{ bar}$ ) تا حدودی بیشتر از نمونه شاهد ( $338/304 \text{ bar}$ ) بود، ولیکن، تجزیه واریانس فشار موازی الیاف نشان داد که تیمار نانو اکسید روی تاثیر معنی‌داری بر فشار موازی الیاف نداشته است.

#### سختی

شکل ۴ نشان داد که سختی نمونه‌های شاهد ( $2/40 \text{ KN}$ ) بیشتر از نمونه‌های اشباع شده با نانو اکسید روی ( $1/86 \text{ KN}$ ) بوده است. جدول تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر نانو اکسید روی بر سختی در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار شده است.

باشد. نتایج بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های چوب پالونیا اشباع شده با نانو اکسید روی نشان دادند که مدول الاستیسیته، مدول خمشی و فشار موازی الیاف نمونه‌های اشباع شده با نانو روی بیشتر از نمونه‌های شاهد بودند. سختی نمونه‌های شاهد بیشتر از نمونه‌های تیمار شده می‌باشد که می‌توان آنرا به بلندشدن الیاف سطحی نمونه‌ها در تاثیر غوطه‌وری در محلول‌های اشباع نسبت داد. بیشترین واکنشیدگی ابعاد و جذب آب طی ۸ ساعت اول گزارش شد و نتایج نشان دادند که اشباع چوب با نانو اکسیدروی تاثیر معنی‌داری بر کاهش واکنشیدگی ابعاد و جذب آب نمونه‌ها داشته‌است. سرعت جذب آب بیشتر در دقایق اولیه را می‌توان به پدیده انتشار نسبت داد. همچنین، فشاری که در مخزن اشباع به ساختار میکروسکوپی چوب وارد آمده، باعث شکست بخشی از منافذ و شبکه‌های بین‌آوندی شده و در نهایت میزان نفوذپذیری را افزایش داده‌است [۱۵]. کاهش جذب آب در نمونه‌های اشباع شده با نانو را می‌توان به کاهش فضاهایی همانند حفره‌ها، فضای بین عناصر سلولی و منافذ پونکتواسیون بواسطه رسوب کردن این نانو و اتصال با دیواره در این مکان‌ها نسبت داد که با توجه به دو ظرفیتی بودن روی، این اتصال‌ها به احتمال قوی‌تر از نانوهای تک ظرفیتی مانند نقره می‌باشد. البته باید توجه داشت که تفاوت جذب آب در لحظه‌های پایانی کمتر شده است که این امر احتمال دارد به علت آبشویی تدریجی و شکستن تدریجی اتصال‌های نانو و دیواره می‌باشد. در نهایت می‌توان گفت اشباع چوب پالونیا با نانو ذرات توانسته است تا حدودی مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی چوب را بهبود بخشد. تحقیقات Yang (۲۰۰۵) نیز نشان داد که نانو ذرات مقاومت‌های مکانیکی چوب را افزایش می‌دهند [۱۸].

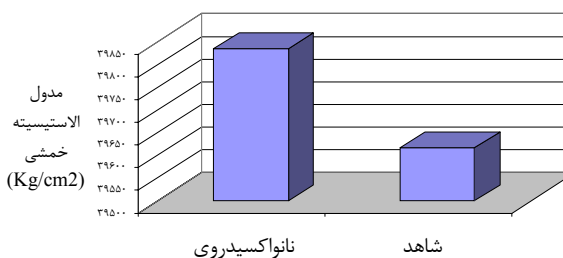


شکل ۴- تاثیر نانو اکسیدروی بر مدول خمشی چوب

#### پالونیا

#### مدول الاستیسیته

شکل ۵ تاثیر نانو اکسیدروی را بر مدول الاستیسیته خمشی چوب پالونیا نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، مدول الاستیسیته نمونه‌های اشباع شده با نانو اکسیدروی ( $39834/6 \text{ Kg/cm}^2$ ) بیشتر از نمونه‌های شاهد ( $39617/2 \text{ Kg/cm}^2$ ) بوده‌است. جدول تجزیه واریانس مدول الاستیسیته خمشی نشان داد که تیمار نانو اکسیدروی تاثیر معنی‌داری بر مدول الاستیسیته خمشی چوب پالونیا داشته است.



شکل ۵- تاثیر نانو اکسیدروی بر مدول الاستیسیته

#### خمشی چوب پالونیا

#### بحث و نتیجه‌گیری

چگالی چوب پالونیا در این تحقیق  $0.37 \text{ g/cm}^3$  اندازه-گیری شد، که جزو چوب‌های سبک تقسیم‌بندی می‌شود و در مصارفی همچون کفپوش، تیرهای سقف، تخته لایه و ... استفاده می‌شود. با توجه به اینکه چگالی ارتباط نزدیکی با خواص فیزیکی و مکانیکی دارد، در این تحقیق فرض شده است که اشباع چوب با نانو ذرات بتواند تاثیر مثبتی بر خواص فیزیکی و مکانیکی چوب پالونیا داشته

## مراجع

- [1] Siegel, R W, Hu, E, Roco, M C, eds. 1999. Nanostructure Science and Technology. Springer (former Kluwer Academic Publishers): Dordrecht, Netherlands
- [2] Evans, P D, Matsunaga, H, Kiguchi, M. 2008. Large-scale application of nanotechnology for wood protection. *Nature Nanotechnology* 3(10), 577.
- [3] Taghiyari, H. 2010. Study on the Effect of Nano-Silver Impregnation on Mechanical Properties of Heat Treated *Populus nigra*. *Wood Sci Technol*. DOI 10.1007/s00226-010-0343-5.
- [4] Taghiyari, H., Rangavar, H. and Farjpour, O. 2011. Effect of Nano-Silver on production of hot-pressing and improvement in physical and mechanical properties of particleboard. *Bioresources*. 6(4): 4067-4075.
- [5] Ghorbani, M., Akhtari, M., Taghiyari, H.R. and Kalantari, A. 2012. Effects of silver and zinc-oxide nanoparticles on gas and liquid permeability of heat-treated *Paulownia* wood. *Austrian Journal of Forest Science*. 129(1): 106 – 123.
- [6] Ellis, J.R., 2007. Silver as a wood preservative. Environmental requirement and concerns. IRG on Wood protection Doc. No. IRG/WP 07-30420
- [7] McIntyre, C. R. 2010. Comparison of Micronized Copper Particle Sizes, IRG/WP 10-30538, 41st IRG/WP conference Annual Meeting, Biarritz, France.
- [8] Cooper, P.A. & 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*.
- [9] Freeman, M.H. & 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.
- [10] Cayton, R H, Sawitowski, T. 2006. The impact of nano-materials on UV-protective coatings. <http://www.nsti.org/Nanotech2006/showabstract.html?absno=854>. 18/02/2010
- [11] Clausen, C.A., 2007. Nanotechnology: Implications for the Wood Preservation Industry. International Research Group on Wood Protection, Stockholm, Sweden, IRG/WP/07-30415. 15 p
- [12] Taghiyari, H.R. 2011 Effects of nano-silver on gas and liquid permeability of particleboard. *Digest Journal of Nanomaterials and Bioresources*, Vol. 6, No 4, October-December, p. 1517 – 1525.
- [13] Matsunaga, H, Kiguchi, M, Evans, P. 2007. Micro-Distribution of Metals in Wood Treated with a Nano-Copper Wood Preservative. International Research Group on Wood Protection.
- [14] Severa, L., Buchar J., Krivanek I., 2003. The influence of the moisture content on the fracture of the notched wood beam. 8th International IUFRO Wood Drying Conference
- [15] Kalaycioglu, H., Deniz, I., Hiziroglu, S. 2005. Some of the properties of particleboard made from *paulownia*. *J. Wood Sci.* 51: 410-414.
- [16] Flynn H, Holder C (2001). Useful wood of the world. Forest Products Society 2nd Ed., Madison, WI, 618p.

- [17] Baronas R., Ivanauskas F., Juodeikienė I., Kajalavicius A., 2001. Modelling of Moisture Movement in Wood during Outdoor Storage. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, 6(2), 3-14.
- [18] Yang, R, Li, Y, Yu, J (2005): Photo-stabilization of linear low density polyethylene by inorganic nano-particles. *Polymer Degradation and Stability*, 88(2), 168-174.



## Effect of Nano-Zinc Oxide on the Physical and Mechanical properties of Paulownia Wood (*Paulownia fortunei*)

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

<sup>1</sup> Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Natural Resources and Agriculture, Bojnourd Branch, Islamic Azad University, Bojnourd, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Wood Science and Technology Department, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

### Abstract

Present research was conducted investigate to physical (water absorption and volumetric swelling) and mechanical properties (MOE, MOR, Compression strength parallel to the grain and hardness) of *Paulownia fortunei* impregnated with Nano-zinc Oxide with size range from 10 to 80 nm. Specimens were impregnated with a 5000 ppm aqueous suspension of nano-zinc oxide, at 2.5 bars in a pressure vessel for 20 minutes. Results showed that modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) and compression strength parallel to the grain were significantly increased in impregnated specimens. The only mechanical property decreased by nanoparticle-impregnation was hardness. Highest water absorbtion and volumetric swelling took place during first 8 hours of soaking period. Results of the analysis of variance showed that the impregnation of wood with nano-zinc oxide was positive and significantly affected water absorption and volumetric swelling of *Paulownia fortunei*.

**Keywords:** Nano-zinc oxide, *Paulownia fortunei*, Volumetric swelling, water absorption, Mechanical properties