

## بررسی زاویه تماس و مقاومت به آبشویی چوب راش تیمار شده با نانو اکسید روی

❖ **سمانه یوسفیان\***؛ کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، چالوس، ایران  
❖ **مجتبی سلطانی**؛ مربی، عضو هیأت علمی گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، چالوس، ایران

### چکیده

در این تحقیق تأثیر نانو اکسید روی (ZnO) در بهبود مقاومت به آبشویی و افزایش زاویه تماس چوب ارزیابی شد. نمونه‌هایی از چوب راش (*Fagus orientalis*, Lipsky) در ابعاد استاندارد برای اجرای این آزمون‌ها تهیه شدند و با استفاده از روش تیمار غوطه‌وری اصلاح شده در سه سطح تیمار نانو (۲۰۰۰۰ ppm، ۴۰۰۰۰ ppm) و دو سطح تیمار حرارتی (۶۰ و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) اصلاح شدند. پس از متعادل‌سازی نمونه‌های آزمون، میزان آبشویی و میزان زاویه تماس آن‌ها در ثانیه اول و دهم اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تیمار ماده نانو و افزایش حرارت، زاویه تماس افزایش یافته است، به طوری که در ثانیه دهم از کمترین مقدار (۵۳/۳۰°) در نمونه شاهد، به بیشترین مقدار (۹۰/۰۷°) در غلظت ۴۰۰۰۰ ppm، حرارت ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد تغییر یافته که این موضوع نشان‌دهنده کاهش چشمگیر خاصیت ترشوندگی سطح در چوب تیمار شده است. در بررسی‌های مربوط به آبشویی، افزایش غلظت ماده نانو اکسید روی با سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار نبوده است، اما افزایش دما تثبیت بهتر ماده نانو اکسید روی را در پی داشته است.

واژگان کلیدی: آبشویی، تیمار، چوب راش، زاویه تماس، نانو اکسید روی.

## مقدمه

روی ممکن است خواص منحصر به فردی ایجاد کند که در نهایت آن‌ها را از ویژگی‌های فلز اصلی متمایز کند. این نانو فلزات خصوصیات نظیر اندازه، بار الکتریکی، و پراکنش را تغییر می‌دهند که عملکردشان را در کاربردهای حفاظت چوب بهبود می‌بخشد. مقاومت به جذب آب چوب را می‌توان با روش‌های گوناگونی افزایش داد. کاهش خاصیت نپذیری چوب با جایگزین کردن گروه‌های آبدوست هیدروکسیل چوب با گروه‌های آبگریز دیگر مانند گروه‌های استیل (استیله کردن)، اصلاح گرمایی چوب و تغییر ساختار شیمیایی چوب به‌ویژه از راه تخریب همی سلولزهای به‌شدت آبدوست و پوشش‌دهی با مواد اندودکننده مانند پارافین نمونه‌هایی از روش‌های افزایش مقاومت به جذب آب چوب به‌شمار می‌آیند. مقدار خیس شدن سطح با زاویه تماس قطره اندازه‌گیری می‌شود و هرچه زاویه تماس قطره که بین سطح تماس و قطره ایجاد می‌شود بیشتر باشد میزان خاصیت خیس‌کنندگی کمتر است [۴]. غلامیان و همکاران در سال ۲۰۱۱ تأثیر نانو ذرات زایکوسیل و زایکوفیل و رنگ‌های پلی‌استر و سیلروکیلر را در بهبود مقاومت به جذب آب و افزایش زاویه تماس چوب صنوبر ارزیابی کردند و به این نتیجه دست یافتند که برای هریک از پوشش‌ها الگوی تغییرات جذب آب و زاویه تماس متفاوت است و بیشترین زاویه تماس را در نمونه پوشش داده‌شده با نانو زایکوسیل مشاهده کردند [۵]. خرانوسکی و همکاران در سال ۲۰۱۲ آثار مورفولوژی سطح را بر روی ترشوندگی نانو اکسید روی، کنترل شده با نور مطالعه کردند. آن‌ها با به‌کار بردن اشعه ماوراء بنفش بر روی ترشوندگی نمونه‌های به‌دست‌آمده از مورفولوژی‌های گوناگون سطح، به این نتیجه دست یافتند که نانو اکسید روی رفتار آبگریزی مطلق دارد اما زبری و اندازه نانو ساختارها به‌طور چشمگیری بر روی

در سال‌های اخیر، کاربرد فناوری نانو در بخش‌های گوناگون صنایع چوب در حال افزایش است و کاربرد نانو ذرات در چوب ویژگی‌های منحصر به فردی ایجاد می‌کند. نانو فلزات به‌صورت ذرات هم‌اندازه و کنترل‌شده تهیه می‌شوند که این ویژگی می‌تواند در نفوذ به داخل چوب، افزایش سطح مؤثر آن‌ها، و توزیع مساوی در چوب مؤثر باشد [۱]. مزایای استفاده از این فناوری را در صنعت می‌توان در مواردی نظیر کاهش هزینه‌ها، بازدهی بالا، مکانیزاسیون بسیار سریع و هوشمند، و دامنه دمایی گسترده خلاصه کرد. آثار سطحی و فعالیت بالای نانو اکسید روی ناشی از اندازه بسیار کوچک، سطح مؤثر بسیار زیاد، و کشندگی خوب آن است. استفاده از نانو اکسید روی در صنعت چوب، خواص آن را بهبود می‌دهد که می‌توان به خاصیت آنتی‌باکتریال و مقاوم‌بودن در برابر اشعه UV، افزایش استحکام مکانیکی مقاومت سایشی (خاصیت ضد اصطکاک و سایش)، پایداری دمایی بالا، و طول عمر زیاد ترکیبات اشاره کرد [۲].

درخت راش با نام علمی *Fagus orientalis* گونه‌ای پهن‌برگ است که معمولاً در مناطق معتدل کشور و از ارتفاع ۲۲۰۰-۴۵۰ متری از سطح دریا پراکنش دارد. راش درختی است بلند قامت که ارتفاع آن تا ۳۵ متر می‌رسد؛ بومی آسیای میانه و دارای تنه‌ای صاف و سیلندریک و چوب آن صنعتی است که در صنایع چوبی مصرف بسیار دارد [۳]. با توجه به ارزش فراوان چوب این درخت در صنایع چوب، انجام یافتن هر تحقیقی که ویژگی‌های آن را بارزتر کند در ارزش افزوده محصولات راش تأثیر دارد.

کلاسن در سال ۲۰۰۷ نقش نانو تکنولوژی را در صنعت حفاظت چوب بررسی کرد و به این نتیجه دست یافت که آماده‌سازی نانو برخی فلزات مانند

۴۰ دقیقه و تحت خلأ ۱۷۲ کیلو پاسکال تیمار کردند؛ بعد از انجام تست هوازدگی میزان ماندگاری در چوب به ترتیب ۱/۶، ۳/۸، و ۱۲/۹ کیلوگرم در متر مکعب بود. نمونه‌های تیمار شده را برای مدت ۱۴ روز در معرض آبشویی قرار دادند، که در نتیجه آن مشخص شد که نانو روی در هر سه غلظت آبشویی نداشته است [۹]. کوپر و یونگ در سال ۲۰۰۸ نیز گزارش دادند که میزان آبشویی نانو فلزات روی و فرمول‌بندی روی با نقره در طی ۲ روز اول آبشویی کمتر از سولفات روی است. تغییر در بار الکتریکی و نیروی واندروالس ممکن است سبب کاهش آبشویی در نانو فلزات شده باشد. این بررسی‌ها نشان از مقاومت بالای نانو فلزات در برابر آبشویی آن‌ها از چوب تیمار شده دارد، که این مقاومت می‌تواند کاربرد محصولات حفاظت‌شده با این مواد را در محیط‌های بیرونی ممکن کند [۱۰]. در این تحقیق، از قابلیت فناوری نانو با استفاده از نانو اکسید روی، برای بهبود مقاومت به آبشویی و افزایش زاویه تماس چوب راش استفاده شد.

## مواد و روش‌ها

### نمونه‌برداری

در این تحقیق، تعدادی گرده‌بینة سالم درخت راش تهیه شد و پس از قطع از ارتفاع یک متری سطح زمین، قطعه‌ای به طول یک متر و سی سانتی‌متر قطع شد. سپس از نظر عیب دل‌قرمزی با مشاهده مستقیم بررسی شدند و پس از اطمینان از سالم بودن به آزمایشگاه انتقال داده شدند. تخته‌هایی از ناحیه چوب برون انتخاب و سپس به کمک اره برای دستیابی به نمونه‌های آزمونی (۵×۲/۵×۱/۵ سانتی‌متر) طبق استاندارد ASTM با آیین‌نامه D758 تبدیل شدند.

آبگریزی نمونه‌ها اثر دارد، به طوری که ممکن است خاصیت ترشوندگی را از آبگریز به فوق آبدوست تغییر دهد. آن‌ها ثابت کردند که این رفتار ناشی از بالارفتن خواص نیمه‌رسانایی اکسید روی با تغییر در شیمی سطح نانو ساختارهاست [۶]. نانو ذرات اکسید روی قابلیت پراکنش بالا و ویسکوزیته پایین دارند که امکان توزیع یکنواخت را می‌دهد. نانو مواد به علت داشتن ذرات بسیار ریز و قابلیت پراکنش بالا ممکن است باعث بهبود نفوذ مواد حفاظتی در گونه‌های چوبی تجاری و تیمارپذیری چوب‌های سخت‌اشباع، که ارزش تجاری پایینی دارند، شوند. همچنین سبب استحکام روکش‌ها در کاربردهای بالای سطح زمین می‌شوند و قابلیت آبشویی را نیز کاهش می‌دهند [۷]. کارتل و همکاران در سال ۲۰۰۹ قابلیت آبشویی و مقاومت در برابر پوسیدگی‌های قارچی و موریانه‌های زیرزمینی در چوب کاج زرد جنوبی را پس از تیمار با نانو ذرات مس، روی، و بور ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که نانو ذرات مس در حضور سورفاکتانت یا بدون آن، نانو ذرات روی، و همچنین نانو ذرات روی به همراه نقره و سورفاکتانت در مقایسه با اکسیدهای فلزی در برابر آبشویی مقاومت ایجاد کردند. نانو ذرات اکسید روی در حضور سورفاکتانت تا حدی از رشد قارچ مولد باختگی جلوگیری کرد، اما با وجود نانو ذرات دیگر به طور معنی‌داری از حضور قارچ مولد باختگی جلوگیری نشد. همه نمونه‌های تیمار شده با نانو ذرات روی و نانو ذرات روی به همراه نقره از تغذیه موریانه‌ها جلوگیری کردند، اما تیمار با نانو ذرات مس کارآمدی کمتری در برابر موریانه‌ها داشت. همچنین نانو ذرات روی از پوسیدگی به وسیله قارچ مولد پوسیدگی سفید جلوگیری کرد [۸]. کلاسن و همکاران در سال ۲۰۱۰ چوب کاج جنوبی را با ذرات نانو روی با اندازه ۳۰ نانو متر در غلظت‌های ۱، ۲/۵، و ۵ درصد در مدت

## نانو اکسید مورد استفاده

نانو اکسید روی (ZnO) ماده‌ای غیر آلی و فعال است که کاربردهای گسترده‌ای در صنعت دارد. کوچکی کریستال‌ها و خاصیت غیر چسبندگی آن‌ها باعث شده که اکسید روی نانو متری به صورت پودر زردرنگِ کروی متخلخل باشد. در این تحقیق از دو غلظت ۲۰۰۰۰ و ۴۰۰۰۰ ppm برای اشباع نمونه‌ها استفاده شد که مایع نانو اکسید روی به وسیله آب مقطر با PH ۶/۵-۷/۵ به غلظت مورد نظر رسانده شد. محلول اولیه نانو اکسید روی توسط شرکت ایتاکو از آزمایشگاه مرک آلمان خریداری شد. مشخصات محلول مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات محلول مورد استفاده

ZnO	فرمول شیمیایی
کلوئید	خانواده شیمیایی
سفید	رنگ
۴۰۰۰۰ ppm	غلظت
۲۰ nm	اندازه ذرات
منو اتیلن گلیکول	حلال
۱۱۱°C	نقطه اشتعال
پایدار	میزان پایداری شیمیایی

## اشباع نمونه‌ها

برای اشباع نمونه‌ها از روش اشباع به روش غوطه‌وری اصلاح شده و در طی مراحل ذیل استفاده شد:

۱. نمونه‌های آزمون پس از خشک شدن (حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۴ ساعت) و انتقال به واکنشگاه، در محلول نانو اکسید روی در غلظت‌های گوناگون ۲۰۰۰۰ ppm و ۴۰۰۰۰ ppm غوطه‌ور شد، به طوری که سطح نمونه به میزان دو سانتی‌متر از سطح مایع پایین‌تر قرار گرفت.

۲. برای نفوذ بهتر مواد، شرایط خلأ به مدت یک ساعت و با فشار ۱۸۰ کیلو پاسکال در واکنشگاه اعمال شد.

۳. در این مرحله، با حفظ شرایط خلأ، حرارت واکنشگاه به دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و پس از مدت ۲۴ ساعت مراحل تیمار خاتمه یافت.

۴. برای مقایسه اثر حرارتی بر تثبیت مواد و رفتارهای فیزیکی مورد بررسی، بخشی از نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت در شرایط حرارتی ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

مراحل تیمار در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. مراحل اشباع نمونه‌ها

خشک کردن	تیمار حرارتی ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد	تیمار حرارتی ۶۰ درجه سانتی‌گراد	غوطه‌وری در ماده نانو + خلأ	خشک کردن	نمونه‌های آزمون
-----	-----	-----	-----	×	نمونه‌های شاهد
×	-----	×	×	×	نمونه‌های تیمار شده (گروه اول)
×	×	×	×	×	نمونه‌های تیمار شده (گروه دوم)

× عملیات انجام شده بر روی نمونه‌ها.

## آبشویی کردن تیمارها

برای این کار تعداد ۸ نمونه (۵×۲/۵×۱/۵ سانتی متر) از نمونه‌های ۲۰۰۰۰ ppm و ۴۰۰۰۰ ppm انتخاب شد. وزن خشک اولیه نمونه‌ها در ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت به دست آمد. سپس نمونه‌ها در داخل یک دسیکاتور گذاشته و با یک جسم سنگین در داخل آب مقطر غوطه‌ور شدند، به طوری که آب کاملاً نمونه‌ها را پوشاند. سپس به مدت نیم ساعت عمل خلأ در داخل یک دسیکاتور انجام شد. هنگام خلأ خروج حباب‌های هوا کاملاً از سطح مقطع نمونه‌ها مشهود بود. بعد از زمان خلأ، به دلیل جایگزین شدن آب در فضای متخلخل نمونه‌ها، طبیعتاً نمونه‌های آزمایش سنگین و خودبه‌خود به زیر آب فرو رفتند و دیگر نیازی به جسم سنگین نبود. نمونه‌ها به مدت دو هفته در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند، به طوری که هر دو روز یک بار آب مقطر داخل ظرف تعویض شد. بعد از زمان ذکر شده تمام نمونه‌ها از طرف سطح مقطع کوچکشان بر روی یک صفحه فلزی چیده شدند و به مدت ۲ هفته در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند. سپس وزن خشک ثانویه نمونه‌ها در ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در مدت ۴۸ ساعت به دست آمد و میزان آبشویی بر حسب درصد بر مبنای وزن خشک ثانویه نمونه‌ها بدین طریق محاسبه شد:

(۱)

$$100 \times (\text{وزن خشک ثانویه} / (\text{وزن خشک ثانویه} + \text{وزن خشک اولیه})) = \text{درصد آبشویی نمونه‌ها}$$

## اندازه‌گیری زاویه تماس

در این تحقیق برای ارزیابی خاصیت ترشوندگی نمونه‌ها بر اثر تیمار با ماده نانو اکسید روی از روش اندازه‌گیری زاویه تماس دینامیک استفاده شد. زاویه تماس قطره آب با سطح نمونه‌های شاهد و تیمار شده

توسط دستگاه زاویه‌سنج<sup>۱</sup> مدل PG-X ساخت سوییس، در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس اندازه‌گیری شد. این آزمایش در ثانیه صفر و ده، با ۴ بار تکرار بر روی سطح هر نمونه انجام شد.

## نوع طرح آزمایشی

از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در این بررسی استفاده شد و در نهایت نتایج حاصل با نرم‌افزار EXCEL و SPSS تجزیه و تحلیل شدند و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

## نتایج

### آبشویی

مشاهدات جدول ۳ مقادیر به دست آمده از آبشویی مواد در تیمارها را نشان می‌دهد که با سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف متقابل بین افزایش حرارت و افزایش غلظت ماده نانو اکسید روی معنی دار نیست. به طوری که در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در غلظت‌های ۲۰۰۰۰ ppm و ۴۰۰۰۰ ppm میزان آبشویی به ترتیب ۱۴ و ۱۰ درصد بود و در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد عدد ۵/۵۱ درصد در غلظت ۲۰۰۰۰ ppm و عدد ۵/۰۶ درصد در غلظت ۴۰۰۰۰ ppm به دست آمد (شکل ۱).

اما افزایش دما از ۶۰ به ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد اثر معنی داری را به یکدیگر نشان داده‌اند و بر طبق گروه‌بندی دانکن در دو گروه گوناگون قرار گرفته‌اند، به طوری که در تیمار ۲۰۰۰۰ ppm میزان آبشویی در حرارت ۶۰ درجه سانتی‌گراد، ۱۴ درصد و در حرارت ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۵/۵۱ درصد کاهش پیدا کرده است. در تیمار ۴۰۰۰۰ ppm نیز این عدد از ۱۰/۱۷ درصد در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به

1. Goniometer

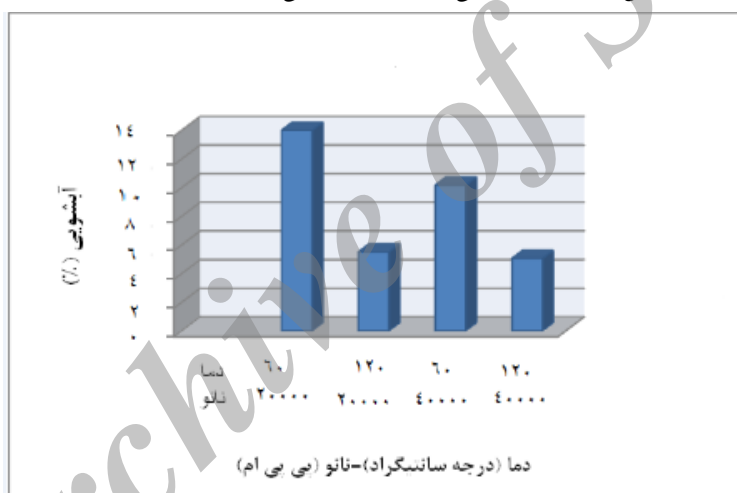
۱۲/۰۸ درصد در ۶۰ درجه و ۵/۲۸ درصد در ۱۲۰ درجه ( بیانگر این است که افزایش دما باعث کاهش آبشویی مواد شده که در نهایت تثبیت بهتر ماده نانو اکسید روی را به دنبال دارد.

۵/۰۶ درصد در دمای ۱۲۰ °C کاهش یافته است. در شکل ۲ میانگین میزان آبشویی مربوط به تیمار حرارتی ۶۰ و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد روی نمودار نشان داده شده است. اختلاف چشمگیر این اعداد

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمارها بر میزان آبشویی در نمونه‌های آزمونی

منبع تغییرات	متغیر	درجه آزادی	محاسباتی F	Sig	سطح معنی داری
اثر شدت غلظت ماده نانو	میزان آبشویی	۱	۰/۷۸	۰/۳۹۲	Ns
اثر افزایش دما	میزان آبشویی	۱	۵۵/۶۴	۰/۰	*
اثر شدت غلظت ماده نانو* اثر افزایش دما	میزان آبشویی	۱	۰/۴۸	۰/۵	Ns

\* در سطح اعتماد آماری بیش از ۹۵ درصد معنی دار است. Ns معنی دار نیست.



شکل ۱. تأثیر متقابل تیمارها بر میزان آبشویی در نمونه‌های آزمونی



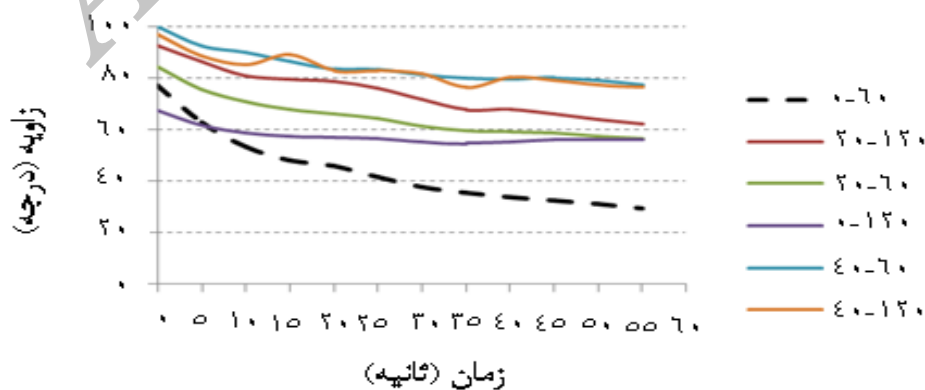
شکل ۲. تأثیر افزایش دما بر میزان آبشویی نمونه‌های آزمونی

محصول تیمار شده، در معرض آشویی بیشتر قرار می‌گیرند که به مقاومت بیشتری نیاز دارند [۱۲، ۱۳].

### زاویه تماس دینامیک

نتایج مربوط به زاویه تماس دینامیک قطره آب با سطح نمونه‌ها قبل و بعد از تیمار ماده نانو و تیمار حرارتی در شکل‌های ۳ تا ۹ نشان داده شده است. خاصیت ترشوندگی توسط زاویه تماس که زاویه بین قطره آب با سطح یک جامد است اندازه‌گیری می‌شود، به نحوی که زاویه تماس‌های کوچک‌تر نشان‌دهنده ترشوندگی بیشتر سطح خواهند بود. بدین ترتیب با بررسی نمودارها، رفتار سطوح تیمار شده در برابر رطوبت قابل تحلیل است؛ به طوری که در شکل ۳ تفاوت زاویه تماس نمونه‌های شاهد (۰-۶۰) و (۰-۱۲۰) و تیمار شده با ماده نانو در غلظت‌های ۲۰۰۰۰ و ۴۰۰۰۰ ppm و تیمار حرارتی ۶۰ و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور کامل مشخص است، به طوری که با افزایش غلظت ماده نانو و افزایش حرارت میزان نفوذ قطره آب در سطح چوب در مدت ۶۰ ثانیه به‌طور چشمگیری کاهش یافته و زاویه تماس افزایش و خاصیت ترشوندگی سطح کم شده است.

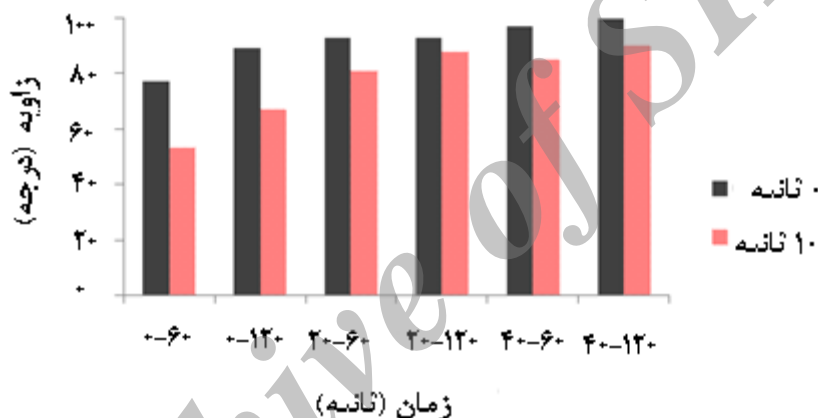
به‌طور کلی در تمام غلظت‌های ماده نانو، میزان آشویی با افزایش حرارت کاهش چشمگیری به‌همراه داشته است، به طوری که از ۱۲ درصد به ۵ درصد کاهش یافته است. این نتایج با بررسی‌های کارتل در سال ۲۰۰۹ و کلاس‌ن در سال ۲۰۱۰ مطابقت دارد [۷، ۸]. کوپر و همکاران (۲۰۰۸) بر این نظرند که تغییر در بار الکتریکی و نیروی واندروالس ممکن است سبب کاهش آشویی در نانو فلزات شده باشد [۱۰]. ماتسونوگا و همکاران (۲۰۰۷) بر این باورند که تثبیت نانو فلزات همچون روی و مس از طریق رسوب در حفرات سلولی چوب و لایه سوم دیواره سلول چوب رخ داده است، نه از طریق واکنش شیمیایی [۱۱]. همچنین، تحقیقات لیچ و ژانگ (۲۰۰۵) و چن و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان داد که نانو ذرات فلزی می‌توانند لوله‌های موئین موجود در چوب را مسدود کنند. کندشدن حرکت آب در چوب و جذب کمتر آب در دیواره‌های سلولی به‌علت کاهش تعداد گروه‌های هیدروکسیل چوب بر اثر تیمار حرارتی نیز ممکن است از دلایل کاهش آشویی باشد. البته باید توجه داشت که این آشویی در زمان کوتاهی (۲ هفته) رخ داده است و احتمالاً در هنگام کاربرد



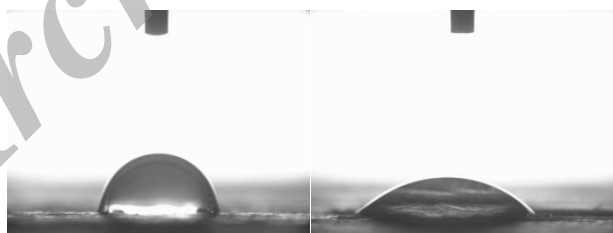
شکل ۳. نمودار تغییرات زاویه تماس دینامیک در مدت ۶۰ ثانیه

غلظت ماده نانو اکسید روی به  $40000 \text{ ppm}$  به خصوص در ثانیه ۱۰ قطره دارای زاویه بیشتری نسبت به سطح شده است ( $84^\circ$ ) که این تمایل نشان از تأثیر مستقیم ماده نانو بر ایجاد یک سطح با ویژگی غیر آبدوستی است. در حرارت  $120$  درجه سانتی‌گراد روند ضد آبی با افزایش زاویه تماس شدت یافت ( $90^\circ$  در ثانیه ۰ و  $99^\circ$  در ثانیه ۱۰) که این موضوع نقش حرارت را نشان می‌دهد. بدین‌طریق که با افزایش حرارت تیمار، از  $60$  به  $120$  درجه سانتی‌گراد، زاویه تماس افزایش یافت.

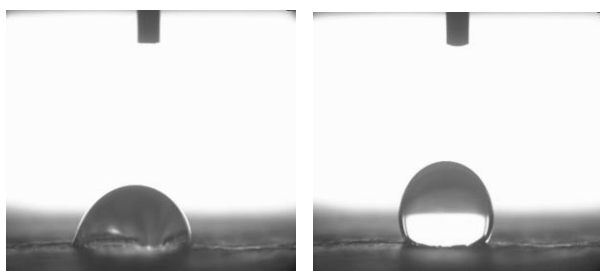
شکل ۴ تغییرات زاویه تماس دینامیک را در ثانیه ۰ و ۱۰ نشان می‌دهد. در نمونه شاهد، همان‌طور که در تصویر (شکل ۵) نیز مشخص است، پس از ۱۰ ثانیه از افتادن قطره آب روی سطح چوب، قطره کاملاً پهن شده است و در نمودار نیز زاویه تماس، عدد کوچکی را نشان می‌دهد ( $53^\circ$  در ثانیه ۱۰) که این عدد نشان‌دهنده آبدوستی سطح تیمارنشده است. در تیمار  $20000 \text{ ppm}$ ، حرارت  $60$  درجه سانتی‌گراد زاویه تماس، هم در ثانیه ۰ و هم در ثانیه ۱۰، بیشتر شده است (شکل ۶) و نمودار نیز عدد  $83^\circ$  را در ثانیه ۰ و  $81^\circ$  را در ثانیه ۱۰ نشان می‌دهد. با افزایش



شکل ۴. نمودار تغییرات زاویه تماس در ثانیه ۰ و ۱۰

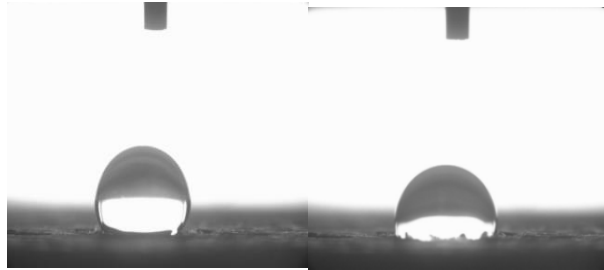


شکل ۵. شکل قطره در ثانیه ۰ (راست) و ثانیه ۱۰ (چپ) در نمونه شاهد

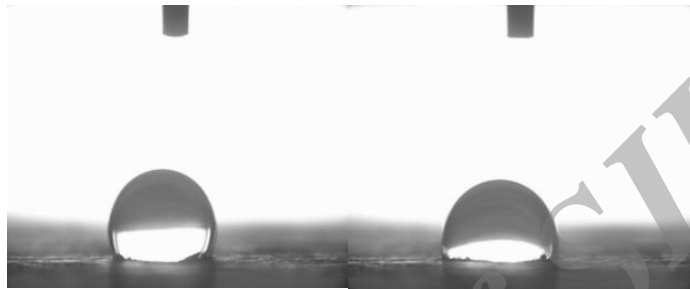


شکل ۶. شکل قطره در ثانیه ۰ (راست) و ثانیه ۱۰ (چپ) در نمونه  $20000 \text{ ppm}$ ، حرارت  $60$  درجه سانتی‌گراد





شکل ۷. شکل قطره در ثانیه ۱۰ (راست) و ثانیه ۱۰ (چپ) در نمونه ppm ۲۰۰۰۰، حرارت ۱۲۰ درجه سانتی گراد



شکل ۸. شکل قطره در ثانیه ۱۰ (راست) و ثانیه ۶۰ (چپ) در نمونه ppm ۴۰۰۰۰، حرارت ۶۰ درجه سانتی گراد



شکل ۹. شکل قطره در ثانیه صفر (راست) و ثانیه ۱۰ (چپ) در نمونه ppm ۴۰۰۰۰، حرارت ۱۲۰ درجه سانتی گراد

ترشوندگی باشد. قطبی بودن مولکول‌های آب و توانایی آن در تشکیل پیوند هیدروژنی نیز می‌تواند دلیل دیگر کاهش خاصیت ترشوندگی سطح باشد. بدین گونه که مولکول‌های آبگریز نانو اکسید روی به علت غیر قطبی بودن نمی‌توانند با مولکول‌های آب پیوندی ایجاد کنند و از هم دور می‌شوند تا جایی که مولکول‌های آب با هم پیوند برقرار می‌کنند و سطوح برخورد بین این دو مولکول به حداقل می‌رسد [۱۵]. غلامیان و همکاران در سال ۲۰۱۱ کوچک بودن ذرات نانو و نفوذ مؤثر آن‌ها به درون ساختار چوب و دیواره سلولی و کاهش نقاط جذب آب و شاید

افزایش شدت تیمار نانو باعث اصلاح ویژگی‌های رطوبتی سطح چوب راش تیمار شده و کاهش خاصیت ترشوندگی آن شد. افزایش زاویه تماس ناشی از نفوذ بالای ذرات نانو اکسید روی درون دیواره سلولی و ایجاد کمپلکس این ذرات درون حفره است که در این صورت میزان نفوذ آب در چوب کاهش یافته و در نهایت باعث بهبود خواص رطوبتی چوب می‌شود [۱۴]. حرکت یک سری از مواد استخراجی نظیر چربی‌ها و موم‌ها در طول پارانشیم‌های محوری به سوی سطح بر اثر تیمار حرارتی نیز می‌تواند عامل ثبات ابعادی و عدم

تشکیل لایه بر روی سطح چوب را از دلایل افزایش مقاومت به جذب آب چوب بر اثر پوشش‌دهی با نانو ذرات دانستند [۵]. ژو و وانگ در سال ۲۰۱۱ ثابت کردند که خصوصیات آبگریزی سطح به شکل ذرات در مقیاس نانو و چگونگی توزیع ذرات بستگی دارد. همچنین کاهش ترشوندگی در دماهای پایین به دلیل حرکت مواد استخراجی چربی دوست به سطح است و در دماهای بالا این کاهش به سبب کاهش گروه‌های هیدروکسیل است [۱۶].

### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی بر اساس نتایج مطالعات ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که تخریب اجزای هیگروسکوپیک

(همی سلولزها و بخش‌های آمورف سلولز) و وقوع واکنش‌های هیدروژن‌زدایی طی تیمارهای حرارتی چوب و همچنین کوچک‌بودن ذرات نانو و نفوذ مؤثر آن‌ها به درون ساختار چوب و دیواره سلولی و احتمالاً تشکیل لایه بر روی سطح چوب می‌توانند باعث کاهش آبدوستی و ترشوندگی سطح شوند. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، و از آنجا که بسیاری از مواد شیمیایی مورد استفاده در اصلاح چوب مخرب محیط زیست و برای انسان مضرند، پیشنهاد می‌شود نانو مواد را که هیچ گونه خطری برای طبیعت و انسان ندارند جایگزین مواد شیمیایی کنیم.

Archive of SID

## References

- [1]. Freeman, H., and McIntyre, R. (2008). Comprehensive review of copper-based wood preservatives. *Forest Products Journal*, (11): 6–27.
- [2]. Heidman, G., Noordermeer, J.W.M., Datta, R.N. and Baarle, B.V. (2007). Various ways to reduce zinc oxide levels in S-SBR rubber compounds. *World Polymer Congress*, 245-246(1):657-667
- [3]. Azadfar, D., Ali Ahmad Korori, S., Haddadchi, G., Akbarynia, and S.M., Galali, G.A. (2005). Study of peroxidase and alpha-amylase activities in different growth stages of beech (*Fagus orientalis* Lipsky). *Pajouhesh & Sazandgi*, 62: 25-31.
- [4]. Clausen, C.A. (2007). Nanotechnology: implications for the wood preservation industry. International Research Group on Wood Protection, Stockholm, Sweden, IRG/WP/07-30415.15p.
- [5]. Gholamiyan, H., Tarmian, A., DoostHosseini, K., and Azadfallah, M. (2011). The effect of clear paints, nanozycofil and nanozycosil on water absorption and contact angle of poplar wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 2(1): 18-22.
- [6]. Khranovsky, V. , Ekblad, T., Yakimova, R., and Hultman, L. (2012). Surface morphology effects on the light-controlled wettability of ZnO nanostructures, *Applied Surface Science*, 258(20): 8146-8152.
- [7]. Clausen, C.A., Yang, V.W., Arango, R.A., and Green, III F. (2010). Feasibility of Nanozinc Oxide as a Wood Preservative. *Proceeding American Wood Protection Association*, 105, 255–260.
- [8]. Kartal, S.N, Green, III F., and Clausen, C.A. (2009). Do the unique properties of nanometals affect leachability or efficacy against fungi and termites *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63:490-495.
- [9]. Clausen, C.A., Green, F., and Kartal, N. (2010). Weatherability and leach resistance of wood impregnated with Nano-Zinc oxide. *Nanoscale Research Letter*, 5:1464–1467.
- [10]. Cooper, A., and Ung, Y. (2008). Comparison of laboratory and natural exposure leaching of copper from wood treated with three wood preservatives. International Research Group on Wood Protection, Stockholm, Sweden, IRG/WP/08-50258.14p.
- [11]. Matsunaga, H., Kiguchi, M., and Evans, P. (2007). Micro-distribution of metals in wood treated with a nano-copper wood preservative. International Research Group on Wood Protection. Document No. IRG/WP/07-40360. 10p.
- [12]. Leach, R.M., and Zhang, J. (2005). Micronized Wood Preservative Formulation. *World Patent*, 2005104841, 26.
- [13]. Chen, R., Chen, D., and Li, H. (2006). Wood preservative containing copper and ammonium compounds. *Chinese Patent*, 1883899, 10.
- [14]. Hosseini, H. (2011). Evaluation of natural durability and dimensional stability of beech wood treated with Nano-Zinc oxide against white rot. M Sc. Thesis, Azad University of Chaloos branch, 120 pp.
- [15]. Goss, K., and Schwarzenbach, R. (2003). Rules of thumb for assessing equilibrium partitioning of organic compounds: successes and pitfalls. *Journal of Chemical Education*, 80(4): 450-455.
- [16]. Xu, S., and Wang, Z.L. (2011). One-dimensional ZnO nanostructures: solution growth and functional properties. *Nano Research*, 4(11): 1013-1098.