



دانشگاه گیلان

مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد هجدهم، شماره دوم، ۱۳۹۰

www.gau.ac.ir/journals

تأثیر تیمار نانوذرات نقره بر سرعت خشک شدن و گرادیان نهایی رطوبت چوب صنوبر

*اصغر طارمیان^۱، امیر سپهر^۲، وحید گل‌محمدی^۳ و هادی غلامیان^۴

^۱استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران، ^۲دانشجوی کارشناسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران،

^۳دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۹

چکیده

در این مطالعه، تأثیر تیمار نانوذرات نقره بر سرعت خشک شدن و گرادیان نهایی رطوبت چوب صنوبر بررسی شد. برای این منظور، تخته‌های صنوبر (*P. nigra*) به ابعاد مقطع ۷۰×۱۰۰ سانتی‌متر و ضخامت‌های اسمی ۲۵ و ۵۰ میلی‌متر، به دو روش اسپری و غوطه‌وری و با دو غلظت سوسپانسیون نانونقره (۲۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام) تیمار شدند. سپس، تخته‌ها در یک کوره آزمایشگاهی و به روش جابه‌جایی هوای گرم در دمای خشک ۶۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۰ درصد، خشک شده و برای محدود کردن شار رطوبت در ضخامت تخته‌ها، ۴ سطح از تخته‌ها با رزین اپوکسی پوشانده شد. همچنین، الگوی توسعه گرادیان دما در ضخامت تخته‌ها طی خشک شدن بررسی گردید. نتایج نشان داد که برخلاف تخته‌های شاهد، در تخته‌های تیمار شده با نانوذرات به‌ویژه تخته‌های غوطه‌ور شده در نانونقره ۱۰۰ پی‌پی‌ام، گرادیان معکوس دما توسعه پیدا می‌کند. تخته‌های ۵۰ میلی‌متری تیمار شده با نانوذرات نقره ۱۰۰ پی‌پی‌ام در مقایسه با تخته‌های شاهد از گرادیان رطوبت همگن‌تری برخوردار بودند؛ ولی تفاوتی بین سایر تیمارها با تخته‌های کنترل مشاهده نشد. به‌رغم توسعه گرادیان معکوس دما در ضخامت تخته‌های تیمار شده، تفاوت معنی‌داری در نرخ خشک شدن بین تخته‌های شاهد و تیمار شده مشاهده نشد. بنابراین، می‌توان گفت که در فرآیند چوب‌خشک‌کنی در دمای متوسط، گرادیان دما را نمی‌توان به‌عنوان نیروی رانش مهم در حرکت رطوبت در نظر گرفت و جریان توده‌ای آب آزاد ناشی از گرادیان دما (اثر سورت) قابل چشم‌پوشی است.

واژه‌های کلیدی: سرعت خشک شدن، نانونقره، گرادیان رطوبت، گرادیان دما، چوب خشک‌کنی

* مسئول مکاتبه: tarmian@ut.ac.ir

مقدمه

در کنار تامین مواد خام اولیه برای صنایع مختلف چوب، مسأله استفاده از فن‌آوری‌ها و پیشرفت‌های علمی جدید به‌منظور بهینه‌سازی تولید و افزایش کیفیت و سرعت تولید دارای اهمیت می‌باشد. امروزه استفاده از پیشرفت‌های جدید در عرصه علوم و صنایع چوب و کاغذ بخش مهمی از پژوهش‌ها را به خود اختصاص داده است. یکی از جدیدترین پیشرفت‌های علمی سالیان اخیر مبحث فن‌آوری نانو می‌باشد. در صنایع چوب و کاغذ از فن‌آوری نانو، به‌طور عمده برای تولید نانوچندسازه‌های لیگنوسولولزی استفاده می‌شود. روحانی (۲۰۰۸) خواص نانوکامپوزیت‌های پلی‌ونیل الکل- ویسکر سلولز را مورد ارزیابی قرار داد. رحمانی‌نیا (۲۰۰۹) از سیستم نشاسته کاتیونی- نانوسیلیکا برای بهبود آب‌گیری و مقاومت خمیر به‌دست آمده از بازیافت OCC^۱ استفاده کرد. لی و همکاران (۲۰۰۶) نانوآکسید سیلیسیم (SiO_2) را به تخته‌های گچی افزودند تا خواص آن را بهبود دهند. جین‌شو و همکاران (۲۰۰۷) استفاده از نانوآکسید سیلیسیم را بر روی خواص چوب ماسیو مورد بررسی قرار دادند. کایگین و آگگون (۲۰۰۹) کاربرد نانولاک الکل را به‌جای لاک الکل معمولی برای مبلمان و پارکت و کاربردهایی پیشنهاد کردند که در آن سختی و مقاومت به سایش، دارای اهمیت باشد. لیچ و ژانگ (۲۰۰۴) نانوذرات مس- کربنات و اکسید آهن را به‌صورت محلول در آب برای حفاظت چوب به‌کار بردند. کارتال و همکاران (۲۰۰۹) مشاهده کردند که نانوروی، مقاومت به موریانه و مقاومت به پوسیدگی سفیدچوب را بهبود می‌بخشد. جیورجی و همکاران (۲۰۰۶) کاربرد نانوتکنولوژی را در حفاظت از سازه‌های دریایی مورد مطالعه قرار دادند. هنریکسون و همکاران (۲۰۰۸) نانوفیبریل‌های چوب را برای تهیه نانوکاغذ سلولزی متخلخل با سفتی قابل‌ملاحظه، استفاده کردند. کانگ و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که نانوذرات نقره از ضریب هدایت حرارتی بالایی برخوردار هستند. تذکر رضائی و همکاران (۲۰۱۰) از نانوذرات نقره برای افزایش دوام طبیعی چوب صنوبر دلتوئیدس استفاده کردند. پژوهش‌های لایقی و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که با استفاده از سوسپانسیون نانونقره می‌توان سرعت انتقال حرارت به مغز کیک تخته‌خرده‌چوب را به‌میزان ۴۰ درصد افزایش داده و ضمن حفظ مقاومت‌های مکانیکی، زمان پرس تخته‌ها را کاهش داد. با وجود پژوهش‌های متعدد در استفاده از فن‌آوری نانو در صنایع چوب و کاغذ، تاکنون پتانسیل استفاده از این تکنولوژی در صنعت چوب‌خشک‌کنی و تحلیل تئوری‌های خشک کردن چوب مورد بررسی قرار نگرفته است.

چوب‌خشک‌کنی، مشتمل بر فرآیند انتقال هم‌زمان رطوبت و حرارت تحت شرایط ناپایدار^۱ و غیرهم‌دما^۲ می‌باشد. بنابراین، خشک کردن چوب یک فرایند پیچیده‌ای است و برای دستیابی به خواص مطلوب، کنترل دقیق این فرایند دارای اهمیت است. علاوه بر این، خشک کردن چوب یک فرایند زمان‌بر می‌باشد و برای خشک کردن بعضی از گونه‌ها با جرم ویژه بالا و حساس به معایب چوب‌خشک‌کنی مانند بلوط و راش زمان به نسبت زیادی نیاز است. بنابراین پژوهش‌های متعددی صورت گرفته و تکنیک‌ها و برنامه‌های چوب‌خشک‌کنی ویژه‌ای اعمال شده تا سرعت خشک شدن چوب افزایش یابد (لیکر و همکاران، ۲۰۰۵؛ کای و الیویرا، ۲۰۱۰). در این راستا تکنیک‌های نوین چوب‌خشک‌کنی مانند رادیو فرکانس، مایکروویو و خلا، در حال توسعه است (پره و ریموند، ۲۰۰۷؛ باکی و پره، ۲۰۰۳؛ هانسون و آنتی، ۲۰۰۳). با این حال، افزایش سرعت خشک شدن چوب، علاوه بر هزینه‌بردار بودن آن، به علت بروز معایب چوب‌خشک‌کنی، محدودیت‌هایی را به دنبال دارد. در تکنیک‌های نوین چوب‌خشک‌کنی مانند تکنیک‌های رادیو فرکانس و مایکروویو، ایجاد گرادیان معکوس دما و گرم شدن مغز تخته، سرعت خشک شدن چوب را بهبود می‌دهد (کی و همکاران، ۲۰۰۰). به عبارت بهتر، در خشک کردن چوب به روش دی‌الکتریکی، جذب انرژی امواج الکترومغناطیس بر پایه ثابت دی‌الکتریک در نواحی خیس‌تر چوب بیشتر بوده و بنابراین چوب به سرعت و یکنواخت‌تر خشک می‌شود. در کوره‌های معمولی چوب‌خشک‌کنی که با روش جابه‌جایی هوای گرم عمل می‌کنند، انتقال سریع‌تر حرارت داخل کوره به مغز تخته‌ها، در دستیابی به حداکثر سرعت خشک شدن چوب، دارای اهمیت است. از این رو در این پژوهش سعی شده از پتانسیل فن‌آوری نانو در صنعت چوب‌خشک‌کنی به منظور بهبود سرعت خشک شدن چوب استفاده گردد. علاوه بر این، یکی از اهداف مهم این پژوهش بررسی تئوری انتقال جرم توده‌ای بر اثر گرادیان دما (اثر سورت^۳) در فرایند چوب‌خشک‌کنی با استفاده از فن‌آوری نانو است. براساس نظریه بعضی از محققان، گرادیان دما را باید به عنوان نیروی رانش^۴ انتقال رطوبت در فرایند چوب‌خشک‌کنی در دمای بالا در نظر گرفت (پنگ، ۱۹۹۷؛ لی و همکاران، ۲۰۰۶). در مقابل، پره (۲۰۰۷) معتقد است که گرادیان غلظت

-
- 1- Unsteady-State
 - 2- Non-Isothermal
 - 3- Soret Effect
 - 4- Driving Force

(رطوبت) مهم‌ترین نیروی رانش انتشار رطوبت در چوب می‌باشد و نیازی به در نظر گرفتن گرادیان دما به‌عنوان نیروی رانش رطوبت در مدل‌های چوب‌خشک‌کنی نیست. در این پژوهش تلاش می‌کنیم تا با ایجاد گرادیان معکوس دما در ضخامت تخته‌ها با استفاده از نانوذرات نقره به بررسی تئوری سورت در فرایند چوب‌خشک‌کنی و نقش گرادیان دما در انتقال رطوبت در چوب پردازیم.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری: از یک گرده بینه صنوبر (*P. nigra*) تازه قطع شده از منطقه طالقان در نزدیکی کرج، تخته‌هایی به ابعاد 70×100 سانتی‌متر با دو ضخامت اسمی $2/5$ و 5 سانتی‌متر بریده شد. برای هر تیمار، ۳ تخته تهیه گردید. در بخش نتایج روند کلی هر تیمار نمایش داده شده است. پژوهش‌های متعددی بر روی گونه صنوبر به دلیل تندرشد بودن و تولید چوب مناسب صنایع مختلف، در ایران و سایر کشورها انجام می‌شود. بنابراین کسب اطلاعات متعدد از مشخصات فنی این گونه و رفتار آن طی خشک شدن دارای اهمیت است. بنابراین، چوب گونه یاد شده برای مطالعه انتخاب شد.

تهیه نانونقره^۱: از سوسپانسیون نانونقره به ابعاد $100-10$ نانومتر با دو غلظت 20 و 100 پی‌پی‌ام برای مطالعه استفاده شد. روش‌های متعددی برای تهیه نانونقره وجود دارد و از روش‌های مختلفی برای سنتز نانوذرات نقره استفاده می‌شود که می‌توان به احیای شیمیایی یون‌های نقره در محلول‌های آبی یا غیرآبی، روش‌های بر پایه بستر، احیای الکتروشیمیایی، احیا به کمک امواج اولتراسونیک و احیای فتوکاتالیتیکی اشاره کرد. در این پژوهش، سنتز نانونقره در فاز محلول و احیای شیمیایی یون‌های نقره در محلول آبی انجام شد. برای ساخت نانوذرات نقره از آب دییونایز و نیترات نقره $AgNO_3$ به‌عنوان مواد شروع‌کننده^۲ و سدیم بورهیدرات $NaBH_4$ به‌عنوان عامل کاهش‌دهنده^۳ و از TADDD^۴ به‌عنوان پایدارکننده^۵ استفاده شده است. در سنتز نانوذرات نقره، جلوگیری از کلوخه شدن و به هم چسبیدن نانوذرات طی سنتز و نگهداری مهم می‌باشد. بنابراین در سوسپانسیون نانونقره تهیه شده در این

1- Nano-Silver

2- Starting Material

3- Reducing Agent

4- Bis (11-Trimethylammoniumdecanoylaminoethyl) Disulfide Dibromide

5- Stabilizer

پژوهش، از TADDD به عنوان پایدارکننده استفاده شد. سوسپانسیون نانونقره از شرکت نانوپوشش تهیه گردید. چون نانونقره ضریب هدایت حرارتی بسیار بالایی دارد، بنابراین می‌توان از آن برای انتقال سریع‌تر حرارت به مغز تخته‌ها طی خشک شدن استفاده کرد. در نتیجه، از این نانوذره در این پژوهش استفاده شد. البته برای این منظور از نانوذرات مس به جای نانوذرات نقره، نیز می‌توان استفاده کرد.

تیمار تخته‌ها: در ابتدا برای محدود کردن شار رطوبت در ضخامت تخته‌ها، ۴ سطح از ۶ سطح تخته‌ها با رزین اپوکسی اندود شد. برای این منظور، مقاطع و لبه‌های تخته‌ها با این رزین اندود شده و سپس تخته‌ها با دو نوع غلظت سوسپانسیون نانونقره (۲۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام) به صورت مجزا به دو روش اسپری و غوطه‌وری ۲۴ ساعته تیمار شدند. به طور متوسط، مقدار مصرف سوسپانسیون نانونقره در روش غوطه‌وری ۴۰ سی‌سی و در روش اسپری ۱۰ سی‌سی بود. بر روی تخته‌های شاهد با ضخامت اسمی ۲۵ و ۵۰ میلی‌متر تیماری انجام نشد.

خشک کردن تخته‌ها: همه تخته‌ها در یک کوره آزمایشگاهی به حجم ۰/۲ مترمکعب به روش جابه‌جایی هوای گرم و تحت شرایط ثابت دمای خشک ۶۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۰ درصد، از رطوبت سبز تا رطوبت نهایی ۱۰ درصد خشک شدند.

اندازه‌گیری نرخ خشک شدن و گرادیان نهایی رطوبت: نرخ خشک شدن تخته‌ها از رطوبت سبز تا رطوبت نهایی با کنترل روزانه وزن آن‌ها تعیین، و سپس منحنی خشک شدن هر یک از تخته‌ها رسم شد. بعد از خشک کردن تخته‌ها، بلافاصله، تخته‌های ۲۵ میلی‌متری به ۴ لایه (اسلایس) و تخته‌های ۵۰ میلی‌متری به ۸ لایه (اسلایس) در ضخامت و با استفاده از یک اره نواری آزمایشگاهی تبدیل شدند. رطوبت هر یک از لایه‌ها به روش توزین و خشک کردن در اتو تعیین شد. سپس برای بررسی یکنواختی خشک شدن تخته‌ها گرادیان نهایی رطوبت برای هر یک از تخته‌ها رسم گردید.

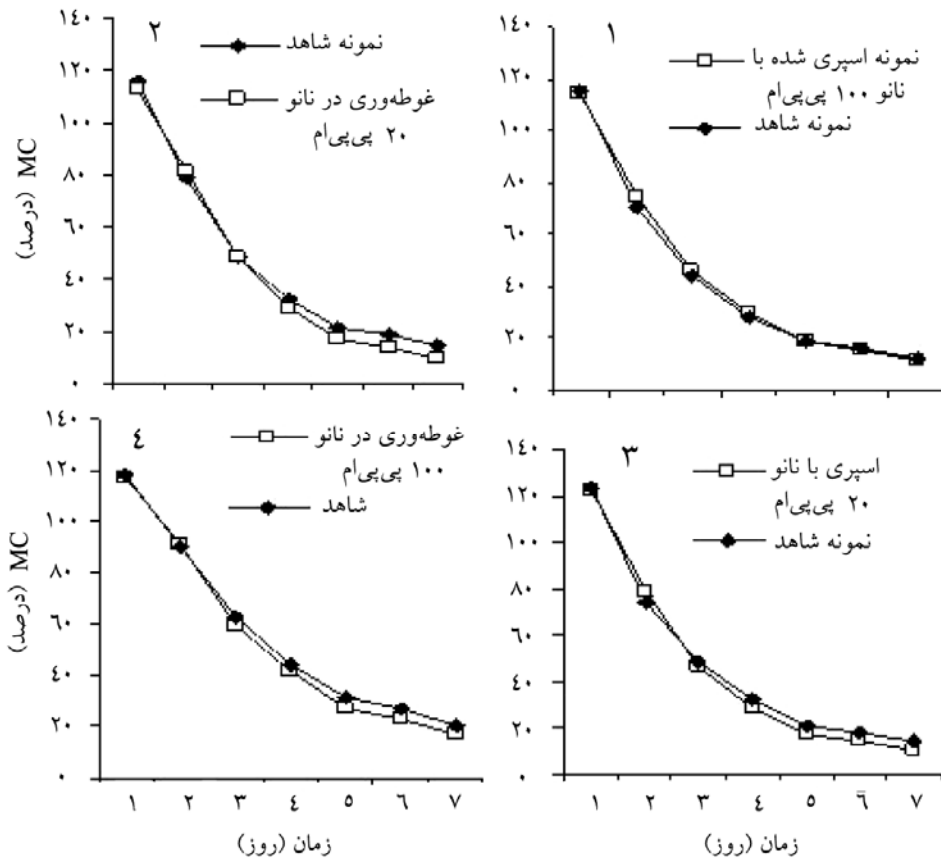
اندازه‌گیری گرادیان دما: برای اندازه‌گیری گرادیان دما در تخته‌ها طی خشک شدن، در تخته‌های ۵۰ میلی‌متری شاهد و تیمار شده با نانونقره سوراخ‌هایی به قطر ۱ میلی‌متر در فواصل ۲ میلی‌متر زیرسطح تخته و مغز تخته (فاصله ۲۵ میلی‌متری از سطح تخته) ایجاد شد. برای اندازه‌گیری دما از

ترموکوپل با قطر ۱ میلی‌متر استفاده گردید. قبل از اندازه‌گیری دما و به‌منظور انتقال مناسب حرارت و ثبت دقیق دما، انتهای ترموکوپل‌ها با خمیر سیلیکون آغشته شد. توسعه دما در هر یک از نمونه‌ها در فواصل زمانی معین تا رسیدن به شرایط پایدار اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری: برای مقایسه بین میانگین داده‌ها (میانگین نرخ خشک شدن تخته‌ها) از آزمون چنددامنه دانکن در سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد استفاده گردید. در ارتباط با منحنی روند خشک شدن، توسعه گرادپان رطوبت و دما در تخته‌ها فقط روند کلی هر تیمار نمایش داده شد.

نتایج

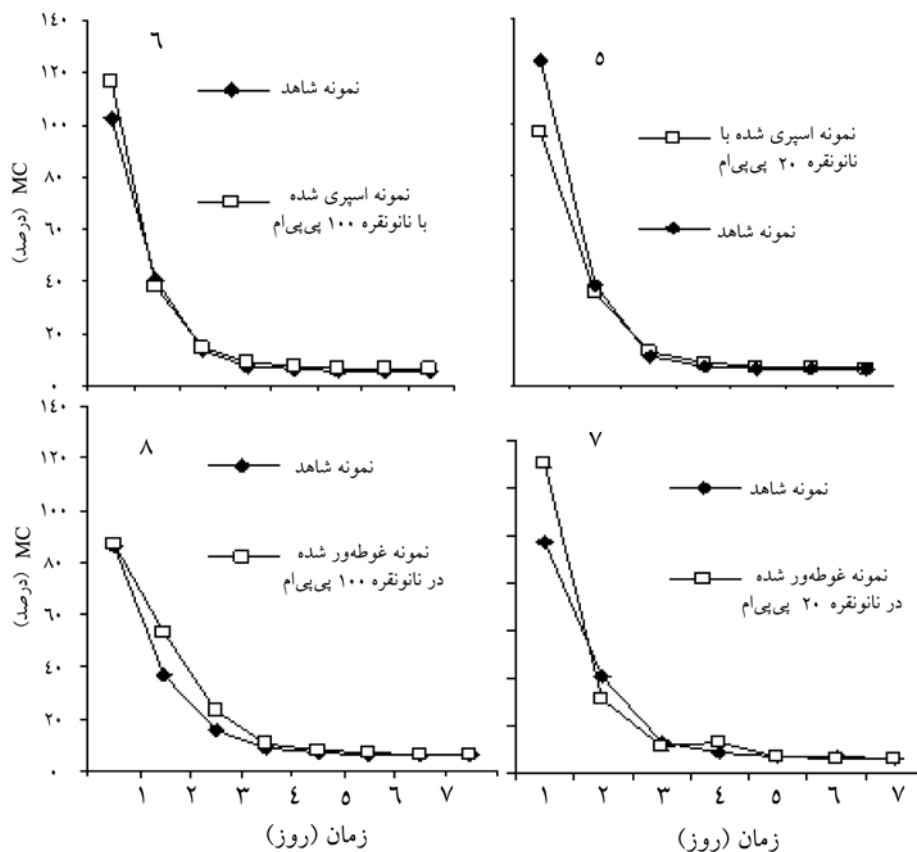
نرخ خشک شدن: منحنی خشک شدن هر یک از تخته‌های تیمار شده با نانوقره در مقایسه با تخته‌های شاهد در شکل‌های ۱ تا ۸ نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که تیمار تخته‌ها با نانوقره تأثیر معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد بر نرخ خشک شدن آن‌ها ندارد و منحنی خشک شدن تخته‌های شاهد و تیمار شده با نانوقره تقریباً بر هم منطبق هستند. همچنین هیچ تفاوت معنی‌داری بین دو نوع تیمار (اسپری و غوطه‌وری) و غلظت سوسپانسیون مورد استفاده (۲۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام) در نرخ خشک شدن تخته‌ها مشاهده نشد. در مقابل، تخته‌های با ضخامت اسمی ۲۵ میلی‌متر در مقایسه با تخته‌های ۵۰ میلی‌متری سریع‌تر خشک شدند و تفاوت معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۹ درصد بین نرخ خشک شدن آن‌ها مشاهده شد. میزان نفوذ نانوذرات نقره در تخته‌ها در حد چند میلی‌متر بود. در هنگام تهیه اسلایس (لایه) در ضخامت تخته‌ها به‌منظور اندازه‌گیری گرادپان نهایی رطوبت با توجه به تغییر رنگ تخته‌ها در اثر تیمار با نانوقره به رنگ متمایل به زرد مشخص شد که فقط لایه سطحی تخته‌ها با نانوقره اشباع شده بود و نانوقره به عمق تخته‌ها نفوذ نکرده بود. لازم به ذکر است که همین مقدار نفوذ نیز برای دستیابی به هدف این پژوهش نیز کفایت می‌کرد.



شکل‌های ۱ تا ۴- منحنی نرخ خشک شدن تخته‌های شاهد و تیمار شده با نانونقره با ضخامت اسمی ۵۰ میلی‌متر؛

(۱): نمونه اسپری شده با نانو پی پی ام ۱۰۰؛ (۲): نمونه غوطه‌ور شده در نانو پی پی ام ۲۰؛

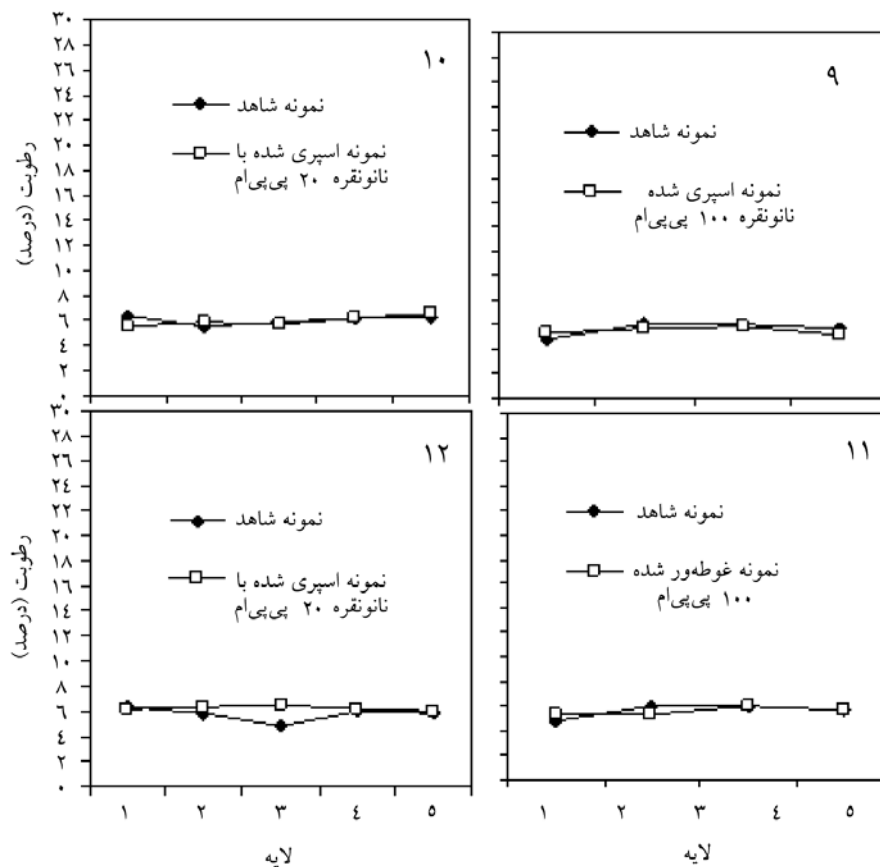
(۳): نمونه اسپری شده با نانو پی پی ام ۲۰؛ (۴): نمونه غوطه‌ور شده در نانو پی پی ام ۱۰۰.



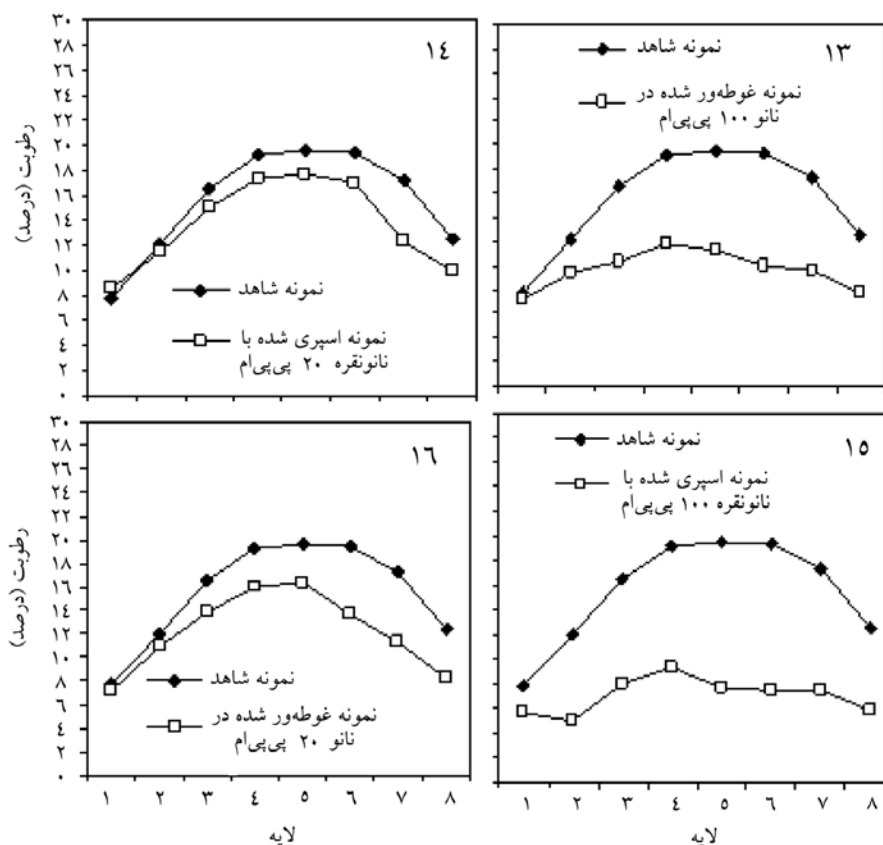
شکل‌های ۵ تا ۸- منحنی نرخ خشک شدن تخته‌های شاهد و تیمار شده با نانونقره با ضخامت اسمی ۲۵ میلی‌متر؛
 (۵): نمونه اسپری شده با نانو ۲۰ پی پی ام؛ (۶): نمونه اسپری شده با نانو ۱۰۰ پی پی ام؛
 (۷): نمونه غوطه‌ور شده در نانو ۲۰ پی پی ام؛ (۸): نمونه غوطه‌ور شده در نانو ۱۰۰ پی پی ام.

گرادیان رطوبت: نتایج مربوط به اندازه‌گیری گرادیان نهایی رطوبت در تخته‌های خشک شده در شکل‌های ۹-۱۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که به استثنای تخته‌های ۵۰ میلی‌متری تیمار شده با نانونقره ۱۰۰ پی پی ام، تیمار تخته‌ها با سوسپانسیون نانونقره تأثیری بر یکنواختی گرادیان رطوبت نهایی تخته‌ها نداشت و شیب گرادیان نهایی رطوبت در تخته‌های شاهد و تیمار شده مشابه بود. در تخته‌های با ضخامت اسمی ۵۰ میلی‌متر و تیمار شده با نانونقره ۱۰۰ پی پی ام با هر دو روش اسپری و غوطه‌وری در مقایسه با تخته‌های شاهد، شیب گرادیان نهایی رطوبت کم‌تر بود و تخته‌ها از گرادیان

رطوبت همگن تری برخوردار می‌باشند. همچنین، نتایج نشان داد که صرف‌نظر از تیمار یا نبود تیمار با نانونقره، گرادیان رطوبت در تخته‌های ۵۰ میلی‌متری در مقایسه با تخته‌های ۲۵ میلی‌متری از شیب بیش‌تری برخوردار هستند. شار آهسته‌تر رطوبت از مغز تخته‌های ضخیم‌تر (۵۰ میلی‌متر) منجر به بروز گرادیان شدید رطوبتی در ضخامت این تخته‌ها شد. در فرایند چوب‌خشک‌کنی، همگنی بیش‌تر گرادیان رطوبت در تخته‌های خشک شده بسیار دارای اهمیت است. وجود گرادیان رطوبت شدید در ضخامت تخته‌ها علاوه‌بر تشدید تنش‌های چوب‌خشک‌کنی منجر به بروز انواع تغییر فرم‌ها در تخته‌های خشک شده در هنگام ماشین‌کاری می‌شود (پره، ۲۰۰۷).



شکل‌های ۹ تا ۱۲- گرادیان رطوبت نهایی در ضخامت تخته‌های شاهد و تیمار شده با نانونقره با ضخامت اسمی ۲۵ میلی‌متر.

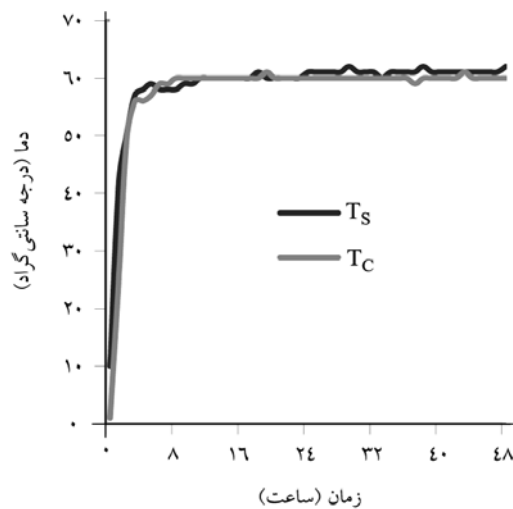


شکل‌های ۱۳ تا ۱۶- گرادیان رطوبت نهایی در ضخامت تخته‌های شاهد و تیمار شده با نانونقره با ضخامت اسمی ۵۰ میلی‌متر.

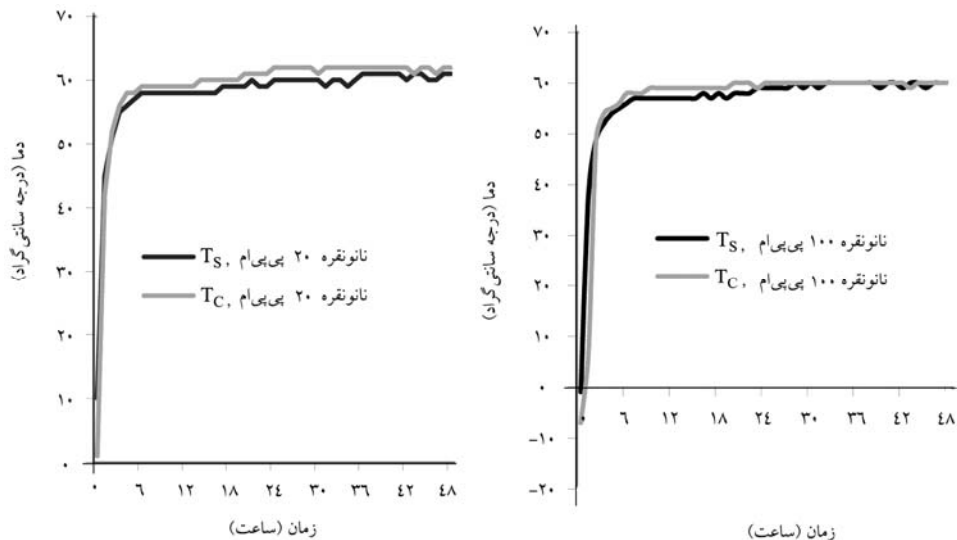
گرادیان دما: نتایج نشان داد که تیمار تخته‌ها با نانونقره برخلاف تخته‌های شاهد موجب توسعه گرادیان معکوس دما در ضخامت تخته‌ها می‌شود (شکل‌های ۱۷ تا ۱۹). در یک فرایند چوب‌خشک‌کنی نرمال به روش جابه‌جایی هوای گرم معمولاً دمای سطح تخته بیش‌تر از دمای مغز آن است (کی و همکاران، ۲۰۰۰). با این وجود، در بعضی از پژوهش‌ها گزارش شده که در یک فرایند چوب‌خشک‌کنی به روش جابه‌جایی هوای گرم شاید به دلیل شکل‌گیری سریع پوسته خشک که به‌عنوان لایه عایق حرارتی عمل می‌کند و جریان توده‌ای بسیار آهسته آب آزاد، دمای مغز تخته در مرحله خروج آب آزاد از آن، از دمای سطح تخته بیش‌تر باشد (ریموند و همکاران، ۲۰۰۵؛ طارمیان، ۲۰۰۸). در تخته‌های شاهد، دمای سطح تخته به تدریج تا رسیدن به دمای خشک کوره افزایش یافت؛ ولی دمای مغز تخته در دمایی بین دمای

خشک و تر کوره متغیر بود (شکل ۱۷). در مقابل، در تخته‌های تیمار شده با سوسپانسیون نانونقره، دمای مغز تخته در محدوده دمای خشک کوره بوده است (شکل‌های ۱۸ و ۱۹). در بین تخته‌های تیمار شده، شیب گرادیان دما در تخته غوطه‌ور شده در نانونقره ۱۰۰ پی‌پی‌ام بیش‌تر بود. در هر دو نوع تخته شاهد و تیمار شده، در شروع فرایند خشک شدن، نرخ افزایش دما بسیار سریع بوده و دمای تخته‌ها بدون وقوع یک شرایط پایا به تدریج تا دمای خشک کوره افزایش یافت. الگوی معکوس گرادیان دما در تخته‌های تیمار شده با نانونقره به‌ویژه تخته‌های تیمار شده با نقره ۱۰۰ پی‌پی‌ام بیانگر هدایت حرارتی بالای نانوذرات نقره است (کانگ و همکاران، ۲۰۰۶).

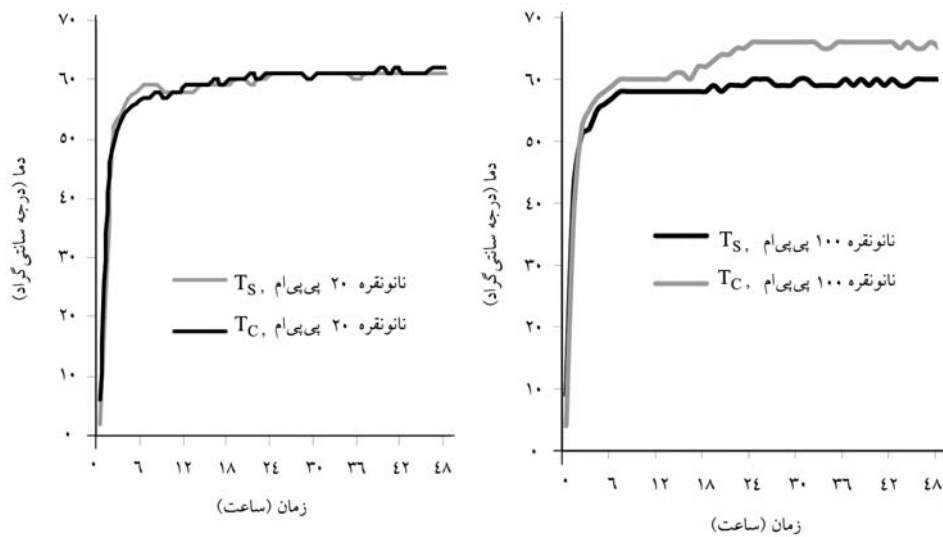
لازم به ذکر است که در عملیات چوب‌خشک‌کنی در کوره اغلب دمای سطح تخته‌ها بیش‌تر از دمای مغز آن‌ها است و به تدریج با گذشت زمان و در انتهای عملیات چوب خشک کردن گرادیان دمای به نسبت همگنی در ضخامت تخته‌ها دیده می‌شود. با توجه به تیمار سطحی تخته‌ها با نانونقره و ضریب هدایت حرارتی این نوع نانوذرات انتظار می‌رود که انتشار حرارت از سطح به مغز تخته‌ها با سرعت بالاتری انجام شود. انتشار سریع‌تر حرارت اغلب موجب کاهش گرادیان دما بین سطح و مغز تخته می‌شود. افزایش غیرمنتظره دمای مغز تخته‌های غوطه‌ور شده با نانونقره ۱۰۰ پی‌پی‌ام در مقایسه با دمای سطح آن‌ها شاید ناشی از اثر متقابل شکل‌گیری پوسته خشک عایق سطحی و ضریب هدایت حرارتی بالای نانوذرات نقره باشد.



شکل ۱۷- توسعه گرادیان دما در سطح (T_s) و مغز (T_c) تخته‌های شاهد با ضخامت اسمی ۵۰ میلی‌متر.



شکل ۱۸- توسعه گرادیان دما در سطح (T_S) و مغز (T_C) تخته‌های با ضخامت اسمی ۵۰ میلی‌متر و اسپری شده با نانوذرات نقره ۲۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام.



شکل ۱۹- توسعه گرادیان دما در سطح (T_S) و مغز (T_C) تخته‌های با ضخامت اسمی ۵۰ میلی‌متر و غوطه‌ور شده با نانوذرات نقره ۲۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از نانوتکنولوژی برای بهبود فرآیند چوب‌خشک‌کنی و تحلیل تئوری انتقال جرم توده‌ای بر اثر گرادیان دما به‌عنوان نیروی رانش (اثر سورت) استفاده شد. به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که به‌علت ضریب هدایت حرارتی بالای نانوذرات نقره (کانگ و همکاران، ۲۰۰۶)، پوشش سطحی تخته‌ها با این نانوذرات منجر به انتقال حرارت سریع به مغز تخته‌ها و توسعه گرادیان معکوس دما در ضخامت تخته‌ها می‌شود. به‌رغم توسعه گرادیان معکوس دما در تخته‌های تیمار شده با نانوذرات نقره (دمای بیش‌تر در مغز تخته‌ها در مقایسه با دمای سطح آن‌ها) تفاوت معنی‌داری در نرخ خشک شدن تخته‌های شاهد و تیمار شده مشاهده نشد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از فن‌آوری ایجاد گرادیان معکوس دما در ضخامت تخته‌ها نمی‌توان سرعت خشک شدن آن‌ها را بهبود داد. بنابراین، صرف هزینه فرآوری چوب قبل از خشک شدن با نانوذرات نقره به‌منظور افزایش نرخ خشک شدن آن پیشنهاد نمی‌شود. با این وجود، در تخته‌های ۵۰ میلی‌متری تیمار شده با نانونقره ۱۰۰ پی‌پی‌ام، گرادیان نهایی رطوبت در مقایسه با تخته‌های شاهد از همگنی بیش‌تری برخوردار بود. بنابراین به‌نظر می‌رسد که از فن‌آوری نانو بتوان برای دست‌یابی به یکنواختی گرادیان رطوبت در تخته‌های خشک شده بهره برد.

معمولاً، جریان توده‌ای و انتشار دو مکانیسم اصلی انتقال رطوبت در چوب‌خشک‌کنی محسوب می‌شوند. به‌طور معمول، گرادیان فشار مویینگی به‌عنوان نیروی رانش مهم جریان توده‌ای آب آزاد و گرادیان غلظت (رطوبت) براساس قانون فیک به‌عنوان نیروی رانش مهم آب آغشته‌گی در نظر گرفته می‌شود (پره، ۲۰۰۷). علاوه بر این دو نیروی رانش مهم حرکت رطوبت در چوب، بعضی از محققان از پتانسیل شیمیایی، گرادیان فشار بخار، فشار اسمزی و گرادیان دما نیز به‌عنوان نیروی‌های رانش انتشار رطوبت در چوب در مدل‌سازی فرایند چوب‌خشک‌کنی استفاده می‌کنند (کی و همکاران، ۲۰۰۰). براساس نظریه پنگ (۱۹۹۷)، مدل‌های انتقال رطوبت بر پایه انتشار در مواردی ارزش‌مند هستند که گرادیان دما در ضخامت تخته همگن باشد و یا شیب گرادیان دما در مقایسه با شیب گرادیان رطوبت نامحسوس باشد؛ در غیر این صورت گرادیان دما باید در مدل‌های انتقال رطوبت در چوب در نظر گرفته شود. از طرفی، اعتقاد بر این است که جریان توده‌ای آب آزاد در اثر گرادیان دما (اثر سورت) شاید در یک فرایند چوب‌خشک‌کنی قابل ملاحظه باشد. لی و همکاران (۲۰۰۶) نیز ثابت کردند که در فرایند چوب‌خشک‌کنی تسریع شده در دمای بالا، تأثیر گرادیان دما در انتقال توده‌ای رطوبت (اثر سورت) محسوس است و باید در مدل‌های چوب‌خشک‌کنی در نظر گرفته شود.

نتایج این پژوهش نشان داد که در یک فرآیند چوب‌خشک‌کنی به روش جابه‌جایی هوای گرم در دمای متوسط، گرادیان معکوس دما تأثیری بر نرخ انتقال رطوبت در چوب در هر دو دامنه رطوبتی بالاتر و کم‌تر از رطوبت FSP ندارد. به‌عبارت دیگر، گرادیان دما را نمی‌توان به‌عنوان نیروی رانش مؤثر در حرکت رطوبت در چوب در فرآیند چوب‌خشک‌کنی در دمای متوسط در نظر گرفت و اثر سورت نیز قابل چشم‌پوشی است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی، تأثیر غلظت‌های بیش‌تر سوسپانسیون نانوذرات نقره بر فرآیندهای مختلف چوب‌خشک‌کنی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود از پتانسیل فناوری نانو و کاربرد سایر نانوذرات در اصلاح فرایند چوب‌خشک‌کنی و تحلیل سایر تئوری‌های خشک شدن چوب استفاده شود.

منابع

1. Bucki, M. and Perre, P. 2003. Physical formulation and numerical modeling of high frequency heating of wood. *Drying Technology*, 21: 1151-1172.
2. Cai, L. and Oliveira, L. 2010. Experimental evaluation and modeling of high temperature drying of sub-alpine fir. *Wood Sci. and Technol.* 44: 243-252.
3. Giorgi, R., Chelazzi, D. and Baglioni, P. 2006. Conservation of acid waterlogged shipwrecks: Nanotechnologies for de-acidification, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*. 83: 567-571.
4. Hansson, L. and Antti, A.L. 2003. The effect of microwave drying on Norway spruce woods strength: a comparison with conventional drying. *Material Processing and Technology*, 141: 41-50.
5. Henriksson, M., Berglund, L.A., Isaksson, P., Lindstrom, T. and Nishino, T. 2008. Cellulose nanopaper structures of high toughness. *Biomacromolecules*, 9: 1579-1585.
6. Jinshu, S., Jianzhang, L., Wenrui, Z. and Derong, Z. 2007. Improvement of wood properties by urea-formaldehyde resin and nano-SiO₂, *Frontiers of Forestry in China*, 2: 104-109.
7. Kang, S.W., Wei, W.C., Tsai, S.H. and Yang, S.Y. 2006. Experimental investigation of silver nano-fluid on heat pipe thermal performance. *Applied Thermal Engineering*, 26: 2377-2382.
8. Kartal, S., Green, F. and Clausen, C. 2009. Do the unique properties of nanometals affect leachability or efficacy against fungi and termites? *International Biodeterioration and Biodegradation*, 63: 490-495.
9. Kaygin, B. and Akgun, E. 2009. A nano-technological product: An innovative varnish type for wooden surfaces, *Scientific Research and Essays*, 4: 1-7.
10. Keey, R.B., Langrish, T.A.G. and Walker, J.C.F. 2000. *Kiln-Drying of Lumber*, Springer, New York, 311p.

11. Layeghi, M., Salab, B. and Hashemi Moghadam, A. 2010. The effect of nano silver on mechanical properties and thermal conductivity of particleboard. Islamic Azad University of Chaloos, Chaloos, Iran, May 18-1, Pp: 147-178. (In Persian)
12. Leach, R.M. and Zhang, J. 2004. Micronized wood preservative formulations comprising metal compound and organic biocides, World Patent, 91875, 32p.
13. Lei, W., Deng, Y.H., Zhou, M., Xuan, L. and Feng, Q. 2006. Mechanical properties of nano SiO₂ filled gypsum particleboard. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 16: 361-364.
14. Leiker, M., Aurich, K. and Adamsk, M.A. 2005. Accelerated drying of single hardwood boards by combined vacuum-microwave application, P 185-190. In: Proceeding of the 9th International of Conference IUFRO Wood Drying, Nanjing, China, August 21-26.
15. Li, X.J. and Zhang, B.G. 2005. Research on thermal diffusion in wood, P 95-100. In: Proceeding of the 9th International Conference of IUFRO Wood Drying, Nanjing, China, August 21-26.
16. Pang, S. 1997. Relationship between a diffusion model and a transport model for softwood drying. Wood and Fiber Sci. 29: 58-67.
17. Perre, P. 2007. Fundamental of Wood Drying. A.R.Bo. LOR., ENGREF, France. 366p.
18. Perre, P. and Remond, R. 2007. Potential of High Frequency Heating for On Line Drying of Norway Spruce, In: Proceeding of the 10th International Conference of IUFRO Wood Drying, Orono, Maine, USA, August 26-30.
19. Rahmaninia, M. 2009. Improving drainage and strength of OCC pulp using cationic starch-nanosilica system. Ph.D. Thesis, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 90p. (In Persian)
20. Remond, R., Perre, P. and Mougel, E. 2005. Using the concept of thin dry layer to explain the evolution of thickness, temperature, and moisture content during convective drying of Norway spruce boards. Drying Technology, 23: 249-271.
21. Roohani, M. 2008. Preparation and evaluation of cellulose whiskers/polyvinyl alcohol copolymers nanocomposites. Ph.D. Thesis, Department of Wood and Paper Science & Technology, University of Tehran, 127p. (In Persian)
22. Tarmian, A. 2008. Reaction wood drying kinetics: tension wood in *Fagus sylvatica* and compression wood in *Picea abies*. Ph.D. Thesis, Department of Wood and Paper Science & Technology, University of Tehran, 110p. (In Persian)
23. Tazakor Rezaei, V., Yosefi, A. and Soltani, M. 2010. The effect of nano silver on the natural durability of *populous deltoids*, P 145-146. In: Proceeding of the first National Conference on New Technologies in Wood and Paper Industries. Islamic Azad University of Chaloos, Chaloos, Iran, May 18-1. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 18(2), 2011
www.gau.ac.ir/journals

The Effect of Nano-Silver (Ag) Treatment on The Drying Rate and Final Moisture Gradient of Poplar Wood

*A. Tarmian¹, A. Sepehr², V. Golmohammadi³ and H. Gholamiyan⁴

¹Assistant Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, University of Tehran,

²M.Sc. Graduate of Wood and Paper Science and Technology, University of Tehran,

³B.Sc. Student of Wood and Paper Science and Technology, University of Tehran,

⁴M.Sc. Student of Wood and Paper Science and Technology, University of Tehran

Received: 2009/10/18; Accepted: 2011/04/29

Abstract

In this study, the effect of nano-silver (Ag) treatment on the drying rate and final moisture gradient of poplar wood was investigated. Poplar (*Populus nigra*) boards with green dimensions of 100×70×50 and 20 mm were treated with nano-silver (Ag) suspension by spraying and immersion method. Two concentrations of nano-silver suspension, including 20 and 100 ppm were used. Then, the boards were conventionally dried at a constant dry-bulb temperature of 60 °C and relative humidity of 40%. The boards were coated on their four surfaces using epoxy resin to confine the moisture transfer along the board thickness. In addition, the temperature gradient along the board thickness was measured during drying. Results showed that in contrast to control samples, in the nanoparticles-treated boards, particularly those immersed in 100 ppm nano-silver, a reverse temperature gradient developed. The moisture gradient in the 50 mm-thick boards treated by 100 ppm nano-silver was more homogenous than that in control boards; however, no difference was found between the other treated boards and control boards. Despite reverse temperature gradient through the thickness of treated boards, there was no significant difference in drying rate between the control and treated boards. Thus, it can be claimed that in the medium temperature wood drying process, the temperature gradient cannot be considered as a driving force for moisture transfer and therefore the bulk flow due to temperature gradient (Soret effect) can be neglected.

Keywords: Drying rate, Nano-silver, Moisture gradient, Temperature gradient, Wood drying

* Corresponding Author; Email: tarmian@ut.ac.ir