

## بررسی میزان آبشویی نانوذرات مس در تیمارهای ترکیبی اشباع - فشرده‌سازی چوب پس از کهنگی تسریع شده

### چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر بخاردهی و فشرده‌سازی بر روی آبشویی چوب تیمارشده با نانو اکسید مس با غلظت ۴۰۰ و ۲۰۰ ppm اشباع انجام شد. تیمار اشباع نمونه‌های چوبی نوئل و صنوبر در فشار ۴ بار و زمان ۲۰ دقیقه صورت گرفت، نیمی از نمونه‌های اشباع شده با نانوذرات پس از خشک شدن تحت دمای °C ۱۵۰ و زمان ۲ ساعت بخاردهی شدند و سپس به مدت ۳ ساعت در °C ۱۷۰ به میزان ۳۳٪ فشرده شدند. تمامی نمونه‌ها پس از ۶ مرحله آزمون کهنگی تسریع شده (طبق استاندارد ASTM D-1037) در یک دوره ۱۴ روزه مطابق استاندارد EN84(۱۹۹۷) مورد آبشویی قرار گرفتند. محلول حاصل از آبشویی تحت بررسی جذب اتمی در مرکز زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی قرار گرفت. نتایج نشان دادند نمونه‌هایی که فقط تیمار اشباع با نانومس شدند آبشویی نشدند؛ اما پیش تیمار بخار و فشرده‌سازی موجب آبشویی نانومس شدند.

**واژگان کلیدی:** نانومس، آبشویی، فشرده‌سازی، بخاردهی، کهنگی تسریع شده.

آیسونا طلائی<sup>۱</sup>

اعظم احمدی<sup>۲</sup>

غنچه رسام<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، <sup>۲</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> مدیر پژوهش، کمپانی زیلم (مسئولیت محدود)، شماره ۱۵ جاده هادسون، نیوپلایموث ۴۳۴۱، نیوزلند

مسئول مکاتبات:

Talaei.srttu@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۳

### مقدمه

چوب به عنوان ماده‌ای طبیعی و زیبا، مستحکم، عایق الکتریسیته و حرارت، در دسترس و خوش کار همواره مورد توجه بوده است؛ اما خواص نامطلوبی چون جذب آب، قابلیت اشتعال، ضعف در برابر پرتوهای فرابنفش و عوامل مخرب بیولوژیکی موجب تغییر ابعاد، تغییر رنگ و تخریب چوب می‌شود. بهبود خواص چوب در گذشته به وسیله مواد حفاظتی صورت می‌گرفت که برای انسان و حیوانات و محیط زیست آثار زیانباری به دنبال داشت و در موارد بسیاری این مواد به دلیل آلاینده‌گی محیط زیست محدود،

ممنوع یا حذف شده‌اند. اصلاح چوب سعی دارد که با استفاده از مواد و روش‌هایی که آثار مخربی بر محیط زیست ندارد خواص چوب را برای بسیاری از کاربردها بهبود بخشد. به عنوان مثال، تیمار فشرده‌سازی که باعث افزایش دانسیته و کاربرد چوب‌های سریع‌الرشد می‌گردد، دارای معایبی همچون برگشت ضخامت است برای برطرف کردن این مشکل تمهیداتی قبل یا بعد از طی فشرده‌سازی صورت می‌گیرد. تحقیقات قبلی نشان دادند تیمارهای ترکیبی اشباع با نانوذرات - فشرده‌سازی همراه با پیش تیمار بخار سبب بهبود خواص مکانیکی چوب می‌

از پیش تیمار بخار به دست آمده، هدف از این پژوهش پاسخ به نگرانی در زمینه آبشویی نانو ذراتی است که در تیمار- های ترکیبی اشباع - فشرده‌سازی همراه با پیش تیمار بخار استفاده می‌شوند؛ زیرا در صورت آبشویی و رها شدن این مواد به اکوسیستم‌های آبی می‌تواند نتایج ناخوشایندی را در عرصه سلامت و بهداشت محیط زیست به همراه داشته باشد [۶]. لذا روش مناسب جهت تثبیت مواد حفاظتی در چوب موجب می‌شود محیط زیست کمتر دستخوش آلودگی‌های حاصل از سموم این مواد شود و از طرفی هم باعث افزایش طول عمر خواص اصلاح شده چوب شود.

### مواد و روش‌ها

مشخصات مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش شامل چوب (صنوبر و نوئل) و نانوذرات مس خریداری شده از شرکت نانو مواد نانو ثانی (واقع در مشهد) است. به- ترتیب در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. ابعاد نمونه- های مورد استفاده برای آزمون آبشویی  $50 \times 25 \times 15$  mm مطابق استاندارد (EN84 (۱۹۹۷) است. کدبندی نمونه‌ها (پس از برش بر اساس نوع گونه و سطح نانو) در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

شود و خواص فیزیکی مانند جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاهش می‌یابد [۱]. همچنین اشباع نمونه‌ها با سوسپانسیون نانوذرات باعث افزایش نفوذپذیری بخار به لایه‌های میانی شده و در نمونه‌هایی که ۲ ساعت بخاردهی شده‌اند باعث افزایش مقاومت خمشی این نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های بدون اشباع با نانو شده است [۲]. بررسی ساختار میکروسکوپی، طیف‌سنجی FTIR و ثبات ابعاد چوب سپیدار تحت تیمار ترکیبی نانومس - فشرده‌سازی، نشان داد تیمار اشباع با نانومس باعث بهبود کلیه خواص مورد مطالعه اعم از برگشت ضخامت، درصد فشرده‌گی باقیمانده واکنشیدگی شعاعی و برگشت درصد فشرده‌گی شده است [۳]. نتایج به دست آمده از پژوهشی که اثرات ذرات نانو نقره و نانومس را بر روی نفوذپذیری سه گونه راش صنوبر و نراد تیمار گرمایی شده بررسی کرد نشان داد نفوذپذیری هر سه گونه پس از اشباع با نانوذرات افزایش پیدا کرد و اثر تیمار گرمایی به دو عامل اصلی دانسیته و نفوذپذیری گونه چوبی بستگی دارد [۴]؛ و در بررسی اثرات اشباع با نانو نقره در شکستگی و خواص فیزیکی و مکانیکی پهن‌برگان تیمار حرارتی شده نشان داد اشباع با نانو نقره اثرات تیمار حرارتی را تشدید کرد (با توجه به گونه و دانسیته چوب). [۵] با توجه به نتایج مناسبی که از تیمار اشباع با نانو فلزات و همچنین استفاده

جدول ۱- مشخصات چوب مصرفی

چوب	نام علمی	منطقه	درصد رطوبت
صنوبر	<i>Populus nigra</i>	ایران_ اردبیل	FSP<
نوئل	<i>Picea abies</i>	وارداتی روسیه	٪۱۴

جدول ۲- مشخصات نانوذرات مس

نانو	غلظت ppm	اندازه ذرات nm
مس	۲۰۰	۴۰

جدول ۳- تیمار بندی عوامل متغیر

عوامل متغیر	نانومس / ppm	سطوح متغیر	کد نمونه
صنوبر	۴۰۰	نمونه اشباع	PC4-c
		اشباع + بخار	PC4-P
		اشباع + بخار + پرس	PC4-vp
	۲۰۰	نمونه اشباع	PC2-c
		اشباع + بخار	PC2-p
		اشباع + بخار + پرس	PC2-vp
نوئل	۴۰۰	نمونه اشباع	SC4-c
		اشباع + بخار	SC4-p
		اشباع + بخار + پرس	SC4-vp
	۲۰۰	نمونه اشباع	SC2-c
		اشباع + بخار	SC2-p
		اشباع + بخار + پرس	SC2-vp

عملیات فشرده سازی با پرس گرم آزمایشگاهی صورت گرفت. (در هر مرحله ۱۲ قطعه چوب با فشار ۱۰۰ بار پرس گردید). حرارت پرس  $170^{\circ}\text{C}$  و زمان پرس ۳ ساعت اعمال گردید. میزان متراکم شدن نمونه ها با شابلون فولادی تنظیم و با ضریب فشردگی ۳۳٪ بخش اعظم فضای خالی (منافذ بین سلولی و حفره های سلولی) توسط خود ماده چوبی در جهت شعاعی متراکم گردید.

#### آزمون کهنگی تسریع شده

نمونه ها قبل از آبتویی به دو گروه تقسیم شدند یک گروه از نمونه ها بدون تغییر و گروه دوم تحت آزمون کهنگی طبق استاندارد ASTM D-1037 [۸] قرار گرفتند بر اساس این استاندارد آزمون کهنگی طی شش مرحله طبق جدول ۴ انجام شد.

#### اشباع با نانومس

اشباع با نانومس در فشار ۴ بار و زمان ۲۰ دقیقه در مخزن اشباع صورت گرفت بعد از تخلیه مخزن چوبها به طور عمودی روی توری قرار داده شدند تا محلول اضافی جذب نشده از چوب خارج گردد و جرم و ابعاد آنها اندازه گیری گردید. نمونه ها به مدت ۲ ماه در شرایط آزمایشگاه قرار گرفتند تا درصد رطوبت آنها به ۸-۷ برسد بعد از این مدت دوباره جرم و ابعاد اندازه گیری گردید.

#### پیش تیمار بخار

در مرحله بعدی نمونه ها در مخزن بخارزنی به مدت ۲ ساعت بخاردهی شدند. درجه حرارت بخاردهی  $150^{\circ}\text{C}$  و فشار بخار ۲ بار بود و بعد از خارج کردن نمونه ها از مخزن بخار جرم و ابعاد قطعات اندازه گیری شد.

#### فشرده سازی

جدول ۴- مراحل آزمون کهنگی تسریع شده

مرحله	زمان / ساعت	محیط	دما / $^{\circ}\text{C}$
۱	۱	آب	۴۵
۲	۳	بخار	۹۳
۳	۲۰	فریزر	-۲۰
۴	۳	اتو	۹۹
۵	۳	بخار	۹۳
۶	۱۸	اتو	۹۹

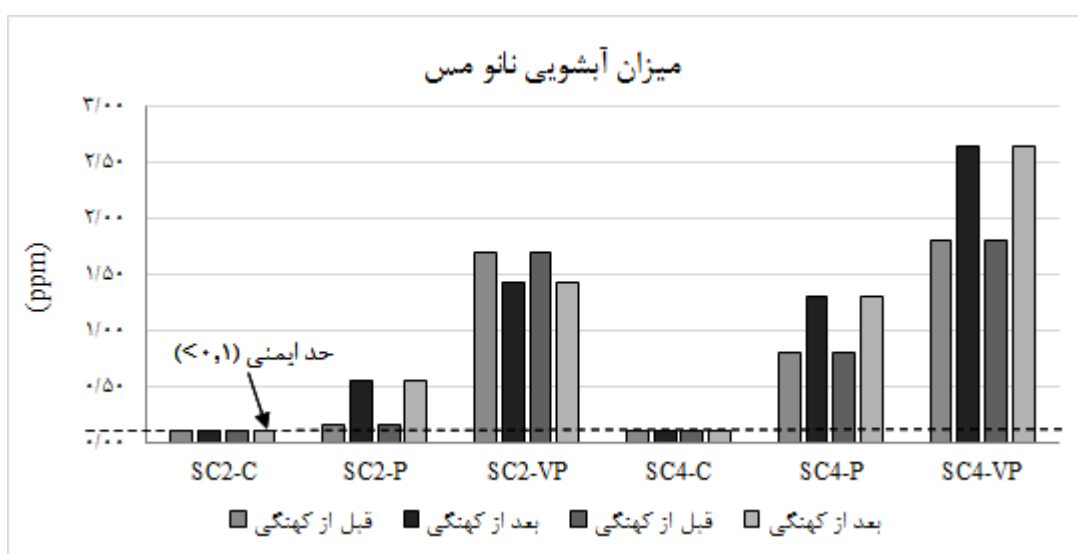
## آزمون آبشویی

نمونه‌های اشباع‌شده، اشباع+فشرده‌شده و اشباع+پیش‌تیمار بخار+فشرده‌شده همراه نمونه‌هایی که علاوه بر اشباع و تیمار تحت آزمون کهنگی قرار گرفته بودند، طبق استاندارد (EN84 (۱۹۹۷) به مدت ۱۴ روز در آب مقطر با نسبت یک حجم چوب و پنج حجم آب مقطر غوطه‌ور شدند. در این فاصله بین روز اول و چهاردهم نه بار تعویض آب انجام شد. دو تعویض در پایان روز اول و دوم و هفت تعویض در دوازده روز دیگر، به طوری که فاصله بین دو تعویض کمتر از یک روز و بیشتر از سه روز نبود. در هر مرحله تعویض آب ۵ CC آب جدا و جهت انجام آزمون جذب اتمی نگهداری شد. میزان عنصر مس آبشویی شده در محلول‌های جمع‌آوری شده حاصل از آبشویی نمونه‌ها در مرکز زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران توسط دستگاه جذب اتمی تعیین گردید.

## نتایج و بحث

### میزان آبشویی نانومس در گونه نوئل

عنصر مس در نمونه‌هایی که فقط با نانوذرات مس اشباع شده بودند و تحت تأثیر بخاردهی و فشرده‌سازی نبودند پس از آزمون جذب اتمی در محلول آبشویی دیده نشد. این امر در مورد نمونه‌هایی که آزمون کهنگی را پشت سر گذاشته بودند هم صدق می‌کند یعنی نمونه‌هایی که فقط اشباع شدند و سپس آزمون کهنگی را پشت سر گذاشتند هم آبشویی نداشتند؛ اما در مورد نمونه‌هایی که پرس یا بخار و پرس شده بودند عنصر مس در محلول آبشویی مشاهده شد. مقدار آبشویی در مورد نمونه‌هایی که کهنگی را پشت سر گذاشته بودند بیشتر بود. البته نمونه‌هایی که پیش‌تیمار بخار داشتند نسبت به نمونه‌هایی که بدون پیش‌تیمار پرس شدند آبشویی بیشتری را نشان دادند (شکل ۲).

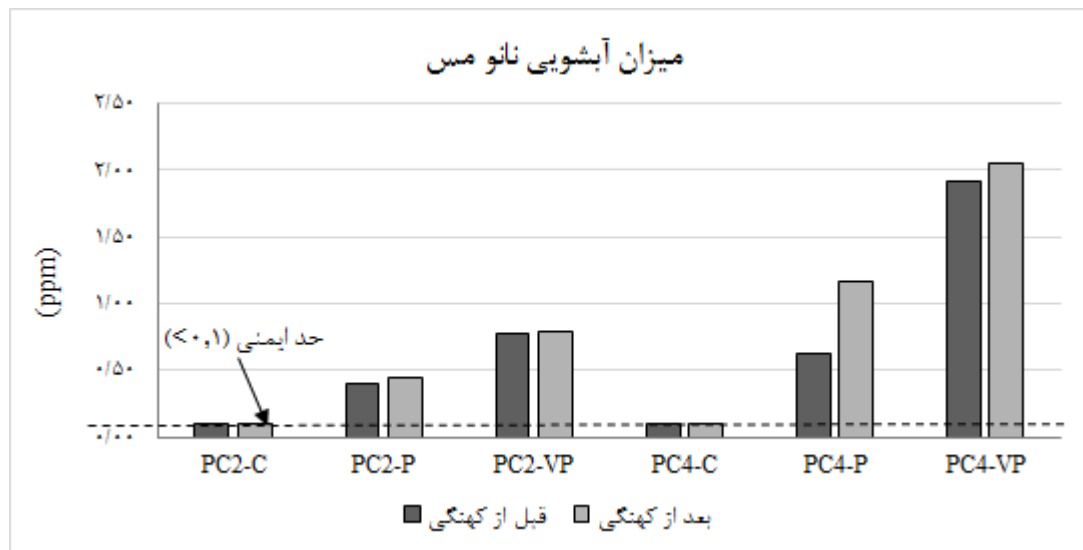


شکل ۲- میزان آبشویی نانومس در گونه نوئل

بیشترین آبشویی مربوط به نمونه‌های اشباع‌شده با نانوذرات مس ۴۰۰ ppm که پیش‌تیمار بخار شده‌اند بود. در هر دو مورد بعد از کهنگی آبشویی افزایش را نشان می‌دهد (شکل ۳).

### میزان آبشویی نانومس در گونه صنوبر

در مورد گونه صنوبر هم مانند گونه نوئل نمونه‌هایی که فقط اشباع‌شده بودند قبل و بعد از کهنگی آبشویی نداشتند. کمترین آبشویی مربوط به نمونه‌های اشباع‌شده با مس ۲۰۰ ppm شده بدون پیش‌تیمار بخار و



شکل ۳- میزان آبشویی نانومس در گونه صنوبر

پذیر، تمایل به رسیدن به حالت تعادلی را دارند. برای یک واکنش برگشت پذیر حالت تعادل وقتی برقرار می شود که سرعت واکنش رفت برابر با سرعت واکنش برگشت باشد. ثابت تعادل برای یک واکنش برگشت پذیر در یک دمای خاص، با تغییر فشار یا غلظت، یک مقدار ثابت است و تنها تغییر دما می تواند این ثابت را تغییر دهد [۱۰]. در اینجا احتمالاً ذرات رسوب داده شده، بر اثر گرمای تیمار بخار و پرس گرم تمایل به خروج از چوب را پیدا کرده اند. با توجه به اینکه گرما لازمه ثابت تعادل است می توان گفت که احتمالاً در اثر گرما واکنشی بین چوب و مس رخ داده است که این واکنش گرماده است؛ بطوریکه با ورود گرما واکنش در جهت مصرف گرما (برگشت) پیشروی دارد و موجب شده تا مس از چوب خارج شود. در صورتی که قبل از گرمادهی جهت واکنش به سمت رفت یعنی تولید گرما پیش رفته است. علت دیگر می تواند کاهش دانسیته چوب در اثر خروج مواد استخراجی ناشی از گرما باشد. Taghiyari (۲۰۱۳) افزایش نفوذپذیری گونه های راش، نراد و صنوبر اشباع شده با نانوذرات فلزی را به دو دلیل اصلی: ۱- انحلال بخشی از مواد استخراجی و ۲- پاره شدن برخی از حفره ها و صفحات به عنوان موانع فیزیکی و مسدود کردن جریان سیال بیان نمود. همچنین تفاوت هدایت گرمایی چوب و ضریب هدایت گرمایی مس و نقره را از مواردی که اثرات قابل توجهی در نفوذپذیری دارند

بر اساس اندازه گیری توسط دستگاه جذب اتمی در مرکز زمین شناسی و اکتشافات معدنی، عنصر مس در محلول آبشویی نمونه هایی که فقط اشباع شده بودند دیده نشد. در واقع نانومس در مرحله اشباع آبشویی نشد که با نتایج Matsunaga و همکاران (۲۰۰۷) همخوانی دارد. بر اساس مطالعات آن ها که بر روی توزیع ذرات مس در چوب انجام دادند ذرات بی شمار پخش شده از مس در حفرات سلولی و روزنه های دیواره سلول چوب و لایه های بین سلولی چوب دیده شد و اعتقاد بر این است که تثبیت نانومس از طریق رسوب در حفرات سلولی چوب و لایه سوم دیواره سلول چوب رخ می دهد، نه از طریق واکنش شیمیایی [۹]. در تحقیق حاضر نیز حتی بعد از شش مرحله آزمون کهنگی، نمونه های فقط اشباع شده (بدون تیمارهای بخار و فشرده سازی) آبشویی نشدند؛ اما نتایج بعد از پرس و پیش تیمار بخار تغییر قابل توجهی را نشان دادند بدین صورت که عنصر مس در نمونه هایی که پس از اشباع با تیمار بخار و یا بدون تیمار بخار فشرده سازی شدند، آبشویی داشته اند. به عبارتی گرمای حاصل از تیمار بخار و پرس گرم موجب خروج نانوذرات مس از درون چوب به سمت بیرون شده است. میزان آبشویی در نمونه هایی که مراحل کهنگی را گذرانده بودند بیشتر بود. به نظر می رسد ثابت تعادل توجیه مناسبی برای این مسئله باشد [۱۰]؛ زیرا در ثابت تعادل تمام فرایندهای برگشت-

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصله تیمار بخار و فشرده‌سازی باعث تثبیت نانومس در چوب نمی‌شوند. در تمام تیمارها با افزایش غلظت نانومس از ۲۰۰ ppm به ۴۰۰ ppm، میزان ذرات نانومس در محلول آبشویی افزایش نشان داد. در صورتی که نوع گونه تأثیر قابل توجهی در روند آبشویی نداشت و نتایج در مورد گونه نوئل و صنوبر مشابه بود.

دانست. برخی محققان دریافته‌اند که بخارزنی چوب موجب افزایش میزان نفوذپذیری آن می‌شود [۱۰]. به‌طور کلی تیمار بخارگرمایی می‌تواند از طریق وقوع ترک‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی، جاری شدن مواد استخراجی موجود در چوب و مسدود کردن منافذ دیوار سلول‌ها و چین‌خوردگی سلول‌های چوبی نفوذپذیری چوب را تحت تأثیر قرار دهد [۲]. به نظر می‌رسد افزایش نفوذپذیری ناشی از تیمار بخارگرمایی نیز سبب سهولت آبشویی ذرات نانومس از چوب شده است.

### مراجع

- [1] Rassam, G., Ghofrani, M., Taghiyari, H R., Jamnani, B., Khajeh, M.A., 2012. Mechanical performance and dimensional stability of nano-silver impregnated densified spruce wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70: 595–600.
- [2] Taghiyari, H.R., Ghorbani, .M. and Kalantari, A., 2013. Effects of silver and copper nano particles on gas and liquid permeability of heat-treated solid woods. *Special Topics & Reviews in Porous Media —An International Journal*, 4(1): 81–97.
- [3] 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: 467–480.
- [4] Kalbasi, M.R., Abdollahzadeh E., Salari joo H., 2012. Effect of colloidal silver nanoparticles on population of gut bacteria flora of rainbow trout. *Journal of Veterinary Research*, 67(2): 181-189 (In Persian).
- [5] Accelerated ageing of treated wood prior to biological testing - Leaching procedure. BS EN 84: 1997
- [6] Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, ASTM Standard, D-1037, 2012.
- [7] 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. 10 p.
- [8] Mortimer, C.E., 1998. *General Chemistry*, Wadsworth Publishing Company, 902 p.
- [9] Dashti, H., Tarmian, A., Faezipour, M. and Shahverdi, M., 2011. Effect of pre-steaming on mass transfer properties of fir wood (*Abies alba L.*): A gymnosperm species with torus margo pit membrane. *BioResources*, 72: 1907-1918.
- [10] Sayar, M., Tarmian, A., Azadfallah, M. and Taghiyari, H.R., 2013. Thermal treatment and its effect on the gas permeability of *Populus nigra*. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 4(1): 151-159. (In Persian).

## Study on leaching of copper nanoparticles in combined impregnation-densification treatments of wood after accelerated aging

### Abstract

This study was performed to evaluate the effect of steaming and densification on the leaching rate of wood impregnated by copper nano oxide particles with concentrations of 200 and 400 ppm, respectively. The impregnation of poplar and spruce wood was carried out under a pressure of 4 bar for 20 minutes. Half of the specimens impregnated with the nano particles were oven-dried and then steamed at 150°C for 2 hours. The given specimens were then densified under a hot press at 170°C for 3 hours to reach a compression rate of 33%. All the specimens were exposed to the 6 steps of accelerated aging procedure according to ASTM D-1037. Leaching test was performed according to EN84 standard (1997) for a period of 14 days. The leaching residues were investigated in the Mineral Exploration and Geological Center by atomic absorption method. Results showed that the specimens impregnated only with nano-copper particles had no leaching, whereas steaming pretreatment and densification led to the leaching of nano-copper particles from the treated wood.

**Keywords:** nano copper, leaching, densification, steaming, accelerated aging.

**A. Talaei**<sup>1\*</sup>  
**A. Ahmadi**<sup>2</sup>  
**Gh. Rassam**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, <sup>2</sup> M.Sc. Graduate Student, Department of Wood Industry Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University

<sup>3</sup> Research manager, Zalam Limited, 15 Hudson Road, New Plymouth 4341, New Zealand

Corresponding author:  
[talaei.srttu@gmail.com](mailto:talaei.srttu@gmail.com)

Received: 2014.06.15  
Accepted: 2014.11.24

