

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۱۵

ص ۸۵-۹۲

تأثیر بخارزنی چوب نراد بر میزان جذب و عمق نفوذ ماده

حفاظتی اسید کرومات مس

- ❖ میلاد رمضانپور؛ کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ اصغر تارمیان*؛ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ حمیدرضا تقی‌یاری؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

چکیده

در این تحقیق، تأثیر پیش‌ تیمار بخارزنی چوب نراد بر میزان جذب، ماندگاری، و عمق نفوذ ماده حفاظتی ACC بررسی شد. پیش‌ تیمارهای بخارزنی در دماهای ۱۲۰، ۱۴۰، و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت و تحت فشار ۲ تا ۳ اتمسفر انجام گرفت. عملیات بخارزنی بر روی تخته‌هایی به ابعاد ۲۵۰×۱۰۰×۵۰ میلی‌متر با الگوی برش بینابینی و با میانگین رطوبت اولیه ۳۰ درصد انجام شد. پس از متعادل‌سازی رطوبت نمونه‌ها، عملیات اشباع با استفاده از محلول حفاظتی ACC با غلظت ۵ درصد تحت فرایند کم‌فشار انجام شد. همچنین، با استفاده از نرم‌افزار Image J درصد اشباع سطح مقطع نمونه‌ها با ماده حفاظتی محاسبه شد. نتایج نشان دادند که پیش‌ تیمار بخارزنی چوب نراد در دماهای ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش میزان جذب، عمق نفوذ، و سطح اشباع ماده حفاظتی می‌شود، ولی تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های بخارزیده در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش دمای بخارزنی از ۱۴۰ به ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری بر میزان جذب و عمق نفوذ ماده حفاظتی افزوده می‌شود.

واژگان کلیدی: اسید کرومات مس، بخارزنی، جذب، چوب نراد، عمق نفوذ.

مقدمه

تحقیقات متعدد حاکی از افزایش میزان نفوذپذیری چوب بر اثر پیش‌تیمار بخارزنی است [۱۰-۱۲]. در تحقیقی مشخص شد که بخارزنی چوب هملاک موجب افزایش میزان جذب ماده حفاظتی می‌شود [۱۰]. تحقیقات دیگر نشان دادند که بخارزنی چوب نراد موجب افزایش ضریب نفوذپذیری آن در هر دو جهت طولی و شعاعی به‌ویژه در جهت شعاعی می‌شود [۱۲]. به‌رغم تحقیقات مذکور، مطالعات روست و همکاران (۲۰۰۴) بر روی گونه صنوبر (*Populus robusta*) و مطالعات کای و اولیورا (۲۰۰۷) بر روی چوب نراد (*Abies lasiocarpa*) نشان دادند که نفوذپذیری این چوب‌ها چندان تحت تأثیر بخارزنی قرار نمی‌گیرد [۱۳، ۱۴]. مهم‌ترین هدف این تحقیق، بررسی امکان افزایش اشباع‌پذیری گونه چوبی نراد با ماده حفاظتی اسید کرومات مس (ACC)^۲ با استفاده از پیش‌تیمار بخارزنی در دماهای مختلف است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی و تهیه نمونه‌ها

تعداد شش اصله الوار نراد با میانگین رطوبت اولیه ۳۰ تا ۳۵ درصد به‌طور تصادفی و از میان چوب‌های وارداتی به طول ۴ متر و عرض ۱۵ سانتی‌متر و ضخامت ۵ سانتی‌متر تهیه شدند. سپس این الوارها با استفاده از اره‌نواری با الگوی برش بینابینی به تخته‌هایی به ابعاد ۲۵×۱۰×۵ سانتی‌متر تبدیل شدند.

پیش‌تیمار بخارزنی

پیش‌تیمار بخارزنی نمونه‌ها در دماهای ۱۲۰، ۱۴۰، و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت تحت فشار ۲ تا ۳ اتمسفر انجام گرفت. عملیات بخارزنی به کمک یک دستگاه بخارزن آزمایشگاهی، که دارای

چوب نراد^۱ از چوب‌های تجاری و پرکاربرد در صنایع مختلف است. برای بهبود و افزایش دوام این چوب در برابر عوامل مخرب بیولوژیکی، به‌خصوص برای مصارف در فضای باز، نیاز به اشباع آن با مواد حفاظتی مناسب است. بر این اساس، تحقیقات متعددی در زمینه حفاظت شیمیایی چوب نراد انجام شده است [۱-۳]. از مسائل مهم در صنعت حفاظت چوب بحث اشباع‌پذیری و نفوذپذیری چوب با مواد حفاظت‌کننده است. اشباع‌پذیری چوب با مواد حفاظتی به پارامترهای متعددی بستگی دارد که می‌توان به خواص وابسته به جهت برش چوب [۱]، گونه چوبی [۴]، رطوبت چوب [۵]، معایب رویشی مانند گره‌ها و چوب واکنشی [۶]، چوب برون و چوب درون [۷] اشاره کرد. چوب نراد از خانواده Pinaceae است که در ساختار تراکئیدهای آن منافذ هاله‌دار وجود دارد. مسیر اصلی مواد حفاظتی در چوب سوزنی‌برگان تراکئید به تراکئید است و انتقال مواد حفاظتی بین تراکئیدها از طریق جفت منفذ دیواره تراکئیدها انجام می‌شود [۴، ۸]. بر اثر خشک‌کردن چوب نراد در کوره، پدیده مکش منفذی رخ می‌دهد و دریچه منافذ تراکئیدها با توروس بسته می‌شود و بنابراین، چوب نراد به یک چوب نسبتاً سخت‌اشباع مبدل می‌شود [۹]. بنابراین، برای افزایش نفوذپذیری و اشباع‌پذیری این گونه محققان روش‌های مختلفی را آزمایش کرده‌اند که می‌توان به شیارزنی (آج‌زنی)، بخاردهی، و خیساندن در آب اشاره کرد [۷]. یکی از این پیش‌تیمارهای رایج بخاردهی چوب قبل از خشک‌کردن است. بخاردهی چوب علاوه بر تغییر رنگ آن شاید موجب تغییرات بسیار در ساختمان چوب و ساختار شیمیایی آن شود.

1. *Abies alba*

2. Acid Copper Chromate

اندازه‌گیری میزان جذب و ماندگاری نمک

حفاظتی

نمونه‌ها قبل از ورود به سیلندر اشباع وزن شدند. بعد از انجام عملیات اشباع، مقدار جذب محلول در هر نمونه به‌ازای واحد حجم با بیرون‌آوردن آن‌ها از سیلندر اشباع و وزن کردن آن‌ها با ترازوی دیجیتالی از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$G = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (1)$$

که در آن:

W_2 وزن نمونه‌ها بعد از اشباع با محلول حفاظتی (کیلوگرم)، W_1 وزن نمونه‌ها قبل از اشباع (کیلوگرم)، V حجم نمونه‌ها قبل از اشباع (متر مکعب)، و G میزان جذب محلول حفاظتی (کیلوگرم بر متر مکعب) است.

برای محاسبه میزان ماندگاری از رابطه ۲ استفاده شد:

$$R = \frac{GC}{V} \quad (2)$$

که در آن:

R میزان ماندگاری نمک خشک (کیلوگرم بر متر مکعب)، C غلظت محلول حفاظتی استفاده‌شده، G میزان جذب محلول حفاظتی، و V حجم نمونه‌ها قبل از اشباع (متر مکعب) است.

اندازه‌گیری عمق نفوذ ماده حفاظتی و درصد

اشباع سطح مقطع

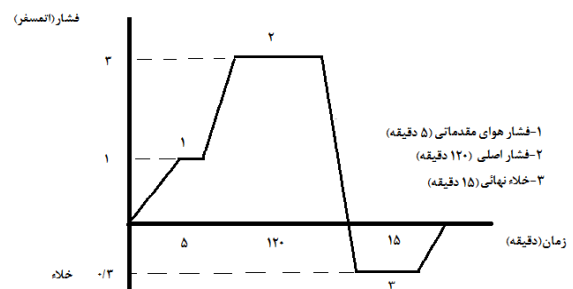
برای تثبیت محلول حفاظتی، نمونه‌ها به مدت ۲ هفته در اتاق کليماتيزه دسته‌بندی شدند. بعد از این مدت، هر نمونه در جهت عمود بر الیاف از قسمت وسط نمونه برش داده شد. برای اندازه‌گیری عمق نفوذ از معرف کروم آزرویل s تحت استاندارد AWP-A3-84 برای شناسایی مس استفاده شد. برای تهیه این معرف ۰/۵ گرم کروم آزرویل s و ۵ گرم استات سدیم

نشان‌دهنده دما و میزان فشار در طی مرحله بخارزنی بود، انجام شد. بعد از خروج نمونه‌ها از مخزن بخارزن، برای جلوگیری از ایجاد ترک و گسیختگی و ایجاد تعادل حرارتی و رطوبتی، مکانیسم سردشدن به تدریج انجام شد و به این ترتیب نمونه‌ها به‌طور تقریبی ۶ تا ۷ ساعت در داخل یک محفظه دربسته قرار داده شدند. بعد از انجام عملیات بخارزنی، برای متعادل‌سازی رطوبتی، نمونه‌ها به مدت ۱۲ هفته در داخل اتاق کليماتيزه قرار داده شدند.

اشباع نمونه‌ها با محلول حفاظتی اسید

کرومات مس

قبل از انجام عملیات اشباع، مقاطع نمونه‌ها با دو لایه پارافین اندود شد تا از نفوذ محلول حفاظتی در جهت طولی جلوگیری شود. نمونه‌ها با محلول حفاظتی ACC با غلظت ۵ درصد اشباع شدند. نمک حفاظتی استفاده‌شده مخلوطی از سولفات مس به نسبت ۵۰ درصد، بی کرومات سدیم به نسبت ۴۸/۳ درصد، و اسید کرومیک به نسبت ۱/۷ درصد بود. اشباع نمونه‌ها تحت یک فرایند کم‌فشار انجام شد. فشار اولیه اعمال‌شده به نمونه‌ها ۱ اتمسفر بود. فشار نهایی در حدود ۳ اتمسفر و به مدت ۲ ساعت اعمال شد. بعد از اعمال فشار، خلأ نهایی به اندازه ۰/۳ اتمسفر به مدت ۱۵ دقیقه به نمونه‌ها اعمال شد. الگوی فرایند اشباع در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. فرایند مربوط به اشباع نمونه‌ها، تحت فشار کم

درجه سانتی‌گراد موجب افزایش میزان جذب و ماندگاری ماده حفاظتی در چوب نراد می‌شود (شکل ۲ و ۳) و تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد بین میزان جذب نمونه‌های شاهد و نمونه‌های بخارزنی شده در دو دمای مذکور مشاهده شد. بر اثر بخارزنی نمونه‌ها در دماهای ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد میزان جذب ماده حفاظتی به‌طور میانگین به ترتیب ۴۶/۶۹ و ۱۳۳/۸۹ کیلوگرم بر متر مکعب در مقایسه با نمونه شاهد افزایش نشان داد. هرچند بخارزنی در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش میزان جذب ماده حفاظتی شد، به لحاظ آماری تفاوت بین نمونه شاهد با نمونه بخارزنی شده در دمای مذکور در میزان جذب ماده حفاظتی معنی‌دار نبود. بیشترین میزان جذب و ماندگاری در نمونه‌های بخارزنی شده در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور میانگین و به میزان ۱۸۶/۳۱ لیتر بر متر مکعب و ۹/۳۱ کیلوگرم بر متر مکعب مشاهده شد. میانگین میزان جذب و ماندگاری ماده حفاظتی در نمونه شاهد به ترتیب برابر با ۵۲/۴۲ لیتر بر متر مکعب و ۲/۶۲ کیلوگرم بر متر مکعب بود.

در ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و تا حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر رقیق شد. (کروم آزرو ل S با شماره شاخص رنگ ۴۳۸۲۵ به‌عنوان mordant blue نیز شناخته می‌شود). سپس، این معرف بر روی مقاطع بریده‌شده اسپری شد و بر اثر آن سطوح اشباع‌شده به رنگ آبی، و سطوح اشباع‌نشده به رنگ قرمز نمایان شد. در نهایت، حداکثر و حداقل عمق نفوذ در چهار نقطه از مقطع عرضی نمونه‌ها با استفاده از خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد. بعد از اندازه‌گیری عمق نفوذ، از مقطع برش داده با استفاده از دوربین تصویر تهیه شد. سپس با کمک نرم‌افزار Image J درصد اشباع سطح مقطع محاسبه شد.

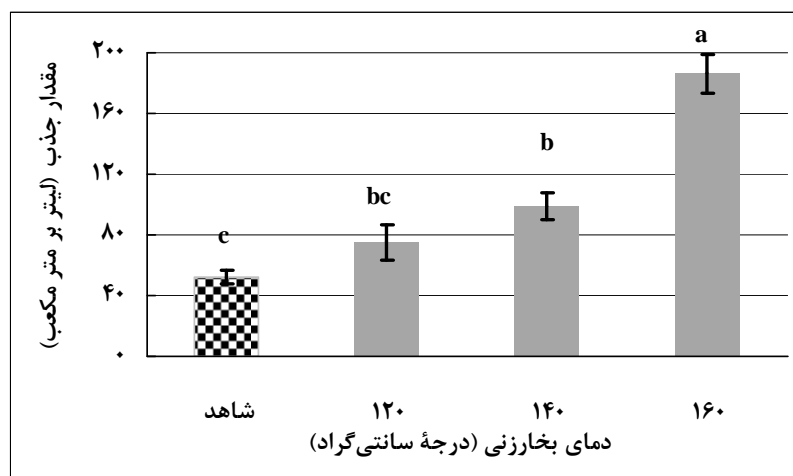
طرح آماری استفاده‌شده

در این تحقیق از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. برای هر تیمار از ۵ تکرار استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه دانکن در سطح اعتماد ۹۹ درصد به کمک نرم‌افزار SPSS انجام شد.

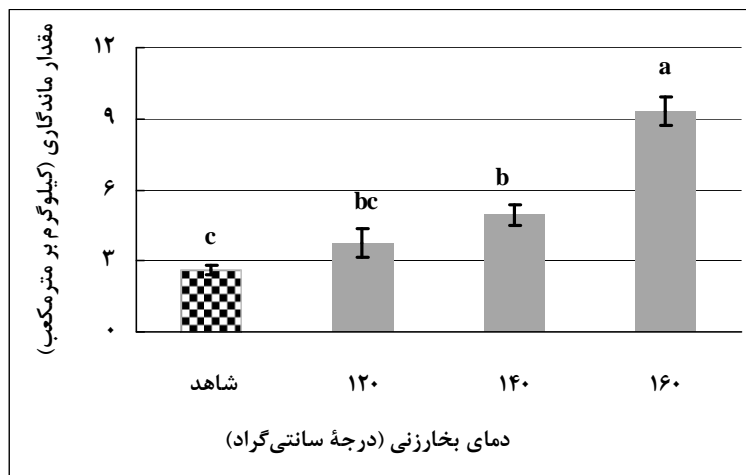
نتایج و بحث

میزان جذب و ماندگاری نمک حفاظتی

نتایج نشان داد که بخارزنی در دماهای ۱۴۰ و ۱۶۰



شکل ۲. تأثیر پیش‌تیمار بخارزنی در دماهای مختلف بر مقدار جذب محلول حفاظتی

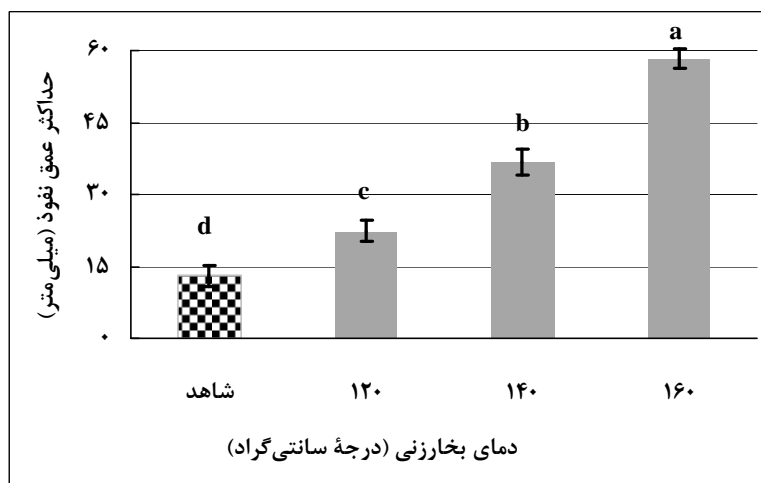


شکل ۳. تأثیر پیش تیمار بخارزنی در دماهای مختلف بر مقدار ماده خشک جذب شده (ماندگاری)

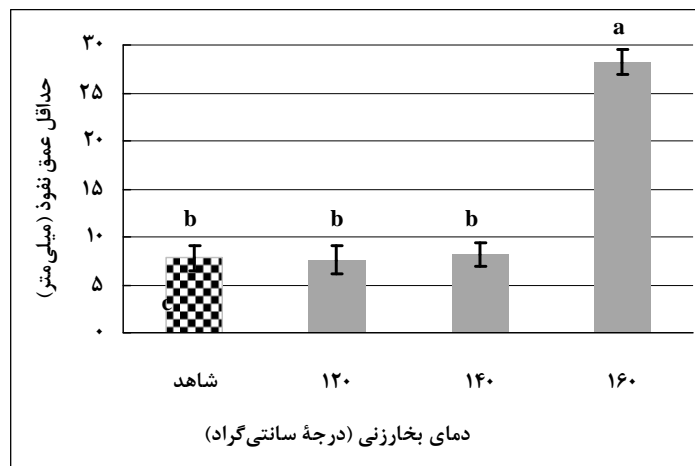
شد. به گفته دیگر، بیشترین عمق نفوذ ماده حفاظتی در نمونه بخار دیده در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. به‌طور متوسط، بخاردهی نمونه‌ها در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش حداکثر عمق نفوذ به میزان ۴۵/۴۰ میلی‌متر در مقایسه با نمونه شاهد شد. نتایج مربوط به اندازه‌گیری حداقل عمق نفوذ نشان داد که بین نمونه شاهد و نمونه‌های بخار دیده در دمای ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، ولی حداقل عمق نفوذ در نمونه بخار دیده در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود (شکل ۵).

عمق نفوذ ماده حفاظتی

همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده، بخارزنی نمونه‌های چوب نراد موجب افزایش عمق نفوذ ماده حفاظتی می‌شود. میانگین حداکثر عمق نفوذ ماده حفاظتی در نمونه شاهد و نمونه‌های بخار دیده در دماهای ۱۲۰، ۱۴۰، و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برابر با ۱۳، ۱۲/۴۰، ۳۶/۶۰، و ۵۸/۴۰ میلی‌متر بود و مقایسه میانگین‌ها بر پایه آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد بین تیمارها نشان داد. افزایش دمای بخارزنی از ۱۲۰ به ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش عمق نفوذ ماده حفاظتی



شکل ۴. تأثیر پیش تیمار بخارزنی در دماهای مختلف بر حداکثر عمق نفوذ محلول حفاظتی

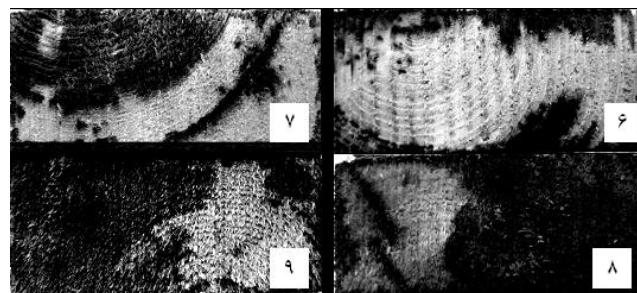


شکل ۵. تأثیر پیش تیمار بخارزنی در دماهای مختلف بر حداقل عمق نفوذ

نمونه شاهد و نمونه بخار دیده در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد مشاهده نشد. بیشترین سطح اشباع به‌طور میانگین و به میزان ۸۷/۹۰ درصد در نمونه بخار دیده در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (شکل ۷).

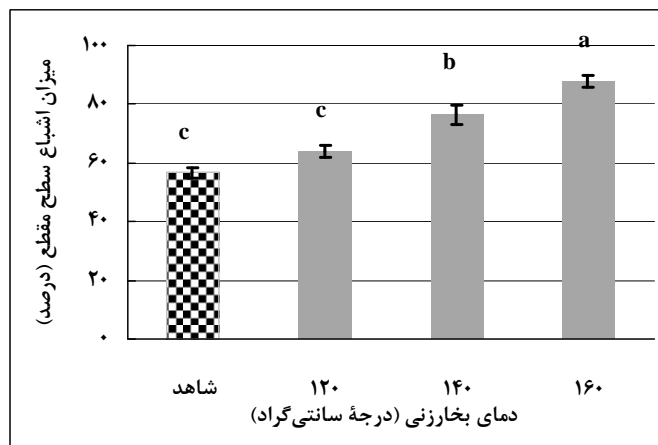
درصد اشباع سطح مقطع

در شکل ۶ نتایج مربوط به محاسبه میزان سطح اشباع مقطع عرضی نمونه‌ها با نرم‌افزار Image z ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که پیش تیمار بخارزنی در دمای ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش میزان سطح اشباع با ماده حفاظتی می‌شود، ولی بین



■ مناطق اشباع شده ■ مناطق اشباع نشده

شکل ۶. تصاویر تهیه شده با نرم‌افزار Image z از مقطع عرضی نمونه‌های اشباع شده. (الف): نمونه شاهد؛ (ب): نمونه بخارزنی شده در دمای ۱۲۰°C؛ (ج): نمونه بخارزنی شده در دمای ۱۶۰°C؛ و (د): نمونه بخارزنی شده در دمای ۱۴۰°C



شکل ۷. تأثیر پیش تیمار بخارزنی در دماهای مختلف بر مقدار اشباع شده سطح مقطع داخلی

نتیجه گیری

در این تحقیق، تأثیر پیش تیمار بخارزنی چوب نراد (چوبی نسبتاً سخت اشباع و با دوام طبیعی بالا) در دماهای مختلف بر میزان اشباع پذیری آن با ماده حفاظتی ACC بررسی شد. به طور کلی، نتایج نشان داد بخارزنی چوب نراد در دماهای بالا (۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سانتی گراد) و در مدت زمان کم (۱ ساعت) و تحت فشار ۲ تا ۳ اتمسفر موجب بهبود میزان جذب، ماندگاری، عمق نفوذ ماده حفاظتی، و درصد اشباع سطح می شود. در مقابل، بخارزنی این چوب در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد در مدت زمان مذکور تأثیر معنی داری در افزایش میزان جذب و نفوذ ماده حفاظتی نداشت. از دلایل افزایش میزان جذب و عمق نفوذ ماده حفاظتی در چوب بخار دیده نراد افزایش نفوذ پذیری این چوب بر اثر بخارزنی است. برخی از محققان نیز دریافته اند که بخارزنی چوب موجب افزایش میزان نفوذ پذیری آن می شود [۱۰-۱۲]. در مقابل، برخی دیگر از تحقیقات حاکی از عدم تأثیر پذیری نفوذ پذیری چوب بر اثر پیش تیمار بخارزنی است. از جمله مطالعات روست و همکاران (۲۰۰۴) روی گونه صنوبر (*Populus robusta*) و کای و اولیورا (۲۰۰۷) بر روی چوب نراد (*Abies lasiocarpa*) نشان داد که نفوذ پذیری این چوب ها چندان تحت تأثیر بخارزنی قرار نمی گیرد [۱۳، ۱۴]. افزایش نفوذ پذیری چوب بر اثر بخارزنی می تواند متأثر از شرایط بخارزنی و نوع گونه چوبی و ساختمان تخلخلی آن باشد. برخی محققان دریافته اند بخارزنی در دماهای بالا موجب هیدرولیز و تخریب توروس منافذ هاله دار تراکئیدها می شود و در نتیجه ضریب نفوذ پذیری چوب نراد افزایش می یابد [۱۲]. یکی دیگر از دلایل افزایش عمق نفوذ ماده حفاظتی در چوب بخار دیده شاید ناشی از وقوع ترک های میکروسکوپی بر اثر تنش های ناشی از بخاردهی

باشد. تحقیقات کای (۲۰۰۶) نیز نشان می دهد که بخاردهی چوب و سپس کاهش فشار بخار باعث ایجاد ترک هایی در دیواره سلولی می شود که در نتیجه باعث بهبود نفوذ پذیری چوب می شود [۱۵]. در تحقیقی دیگر نیز ترک هایی در منافذ هاله دار بین سلول های پارانشیم اشعه و تراکئیدهای چوب آغاز چوب نراد (*Subahpine fir*) بر اثر پیش تیمار بخارزنی مشاهده شد [۱۶]. از طرف دیگر، تغییرات و انتقال مواد استخراجی به سطح چوب نیز از عوامل تأثیرگذار در میزان نفوذ پذیری چوب است [۱۷]. نتایج برخی تحقیقات دیگر نشان داد که افزایش دما باعث تخریب ساختار منافذ میان سلولی شده و از این رو جریان سیال (ماده حفاظتی) بیشتر می شود [۱۸]. این بررسی نشان داد که با افزایش دمای بخارزنی از دمای ۱۴۰ به ۱۶۰ درجه سانتی گراد بر میزان جذب و عمق نفوذ ماده حفاظتی افزوده می شود. نتایج این تحقیق، مبنی بر افزایش ضریب نفوذ پذیری عرضی چوب نراد بر اثر افزایش دمای بخارزنی، با نتایج دشتی و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد [۱۲]. در مجموع، با توجه به اثر مثبت پیش بخارزنی چوب نراد بر میزان جذب و ماندگاری و عمق نفوذ ماده حفاظتی ACC، بخارزنی این چوب قبل از اشباع با ماده حفاظتی مذکور پیشنهاد می شود. با توجه به تأثیر منفی بخارزنی چوب بر مقاومت های مکانیکی آن و کاربرد عمده چوب آلات نراد اشباع شده برای مصارف ساختمانی پیشنهاد می شود در تحقیقات بعدی شرایط تیمار بخاردهی بهینه با هدف افزایش میزان جذب و عمق نفوذ ماده حفاظتی و حفظ مقاومت های مکانیکی چوب بررسی شود. مطالعه اثر بخارزنی چوب بر میزان جذب و عمق نفوذ مواد حفاظتی محلول در حلال آلی و روغنی، مانند کرئوزوت، برای تحقیقات آینده نیز پیشنهاد می شود.

References

- [1]. Usta, I. (2005). Amenability of European silver fir (*Abies alba* Mill.) to preservative treatment by the full-cell process in longitudinal, tangential, radial and triplex flow pathways on the base of wood drying. *Building and Environment*, 41: 1027-1033.
- [2]. Atar, M. (2008). Effects of impregnation with Imersol-AQUA on the bending strength of some wood materials. *Materials and Design Journal*, 29: 1707-1712.
- [3]. Yu, L., Cao, J., Gao, W., and Su, H. (2011). Evaluation of ACQ-D treated Chinese fir and Mongolian Scots pine with different post-treatments after 20 months of exposure. *International Biodeterioration and Biodegradation Journal*, 65:585-590.
- [4]. Siau, J.F. (1984). *Transport processes in wood*. Springer- Verlag, New York.
- [5]. Taghiyari, H.R., Parsapajouh, D., Karimi, A.N., and Amiri, S. (2004). Determination of Optimum Moisture Content As Related to Creosote Intake Rate as well as Penetration Depth in Beech - Cross Ties. *Iranian Journal of Natural Resources*, 57(2): 309-318.
- [6]. Tarmian, A., and Perré, P. (2009). Air permeability in longitudinal and radial directions of compression wood of *Picea abies* and tension wood of *Fagus sylvatica*. *Holzforschung*, 63: 352-356.
- [7]. Parsapajouh, D., Faezipour, M., and Taghiyari, H.M. (1996). *Industrial Timber Preservation*. University of Tehran Press, Tehran.
- [8]. Keey, R.B., Langrish, T.A.G., and Walker, J.C.F. (2000). *Kiln-Drying of Lumber*. Springer, Berlin.
- [9]. Tarmian, A. and Karimi, A. (2010). *Conservation of Wood Artifacts*. University of Tehran Press, Tehran.
- [10]. Morris, P.L., Byrne, A., Mackay, J.F.G., and Mcfarling, S.M. (1997). The effect of steaming prior to pressure treatment on the penetration of borates into western hemlock. *Forest Product Journal*, 47(3): 62-65.
- [11]. Kanagawa, Y., Hayashi, K., and Yasuzima, M. (1992). Improvement of durability by local steam explosion for Japanese cedar. In: *Proceedings of the 3rd IUFRO Wood Drying Conference*. August 18-21 Vienna, Austria, pp. 269-276.
- [12]. 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.
- [13]. Rousset, P., Perre, P., and Girard, P. (2004). Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by a thermal treatment at high temperature. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 62: 113-119.
- [14]. Cai, L., and Oliveira, L.C. (2007). Gas Permeability of Wetwood and Normal Wood of Subalpine Fir in Relation to Drying. *Drying Technology*, 25: 501-505.
- [15]. Cai, L. (2006). Using steam explosion to improve the durability of wet pocket wood. *Forest Products Journal*, 56(7):75-78.
- [16]. Zhang, Y., and Cai, L. (2008). Impact of heating speed on permeability of sub-alpine fir. *Wood Science and Technology*, 42:241-250.
- [17]. Matsumura, J., Booker, R. E., Ridoutt, B. G., Donaldson, L. A., Mikajiri, N., Matsunaga, H., and Oda, K.(1999). Impregnation of radiata pine wood by vacuum treatment II: effect of pre-steaming on wood structure and resin content. *Journal of Wood Science*, 45:456-462.
- [18]. Taghiyari, H.R., Talaei, A., and Karimi, A. (2011). A correlation between the gas and liquid permeability of beech wood heat-treated in hot water and steam mediums. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 13(3): 329-336.
- [19]. Taghiyari, H. R. (2012). Correlation between gas and liquid permeabilities in some nanosilver-impregnated and untreated hardwoods. *Journal of Tropical Forest Science*, 24(2): 249-255.