



نامه علمی

10.22092/irm.2018.116113



تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۷/۱۰
تاریخ پذیرش ۱۳۹۶/۱۰/۳



حفاظت و اصلاح

راهبردی مؤثر در بهبود خواص مهندسی چوب

رضا حاجی حسینی^{۱*}، سیده معصومه زمانی^۲ و فرداد گلبابایی^۳

چکیده

چوب یک زیست‌بسیار یا پلیمر طبیعی است. مزایای بی نظیر و منحصر به فرد این ماده مهندسی از قبیل دسترسی آسان، تجدیدپذیری پایدار، ارزیابی اکولوژیکی مطلوب، سهولت فراوری، سبکی، قابلیت استفاده مجدد و سازگاری محیط‌زیستی از دید مهندسان و طراحان پنهان نبوده و آن را به یکی از پرطرفدارترین مصالح در ساخت سازه‌ها مانند خانه‌ها، پل‌ها، اسکله‌ها و میلمان تبدیل کرده است. با این وجود، ماهیت طبیعی بودن این ماده مهندسی، محدودیت‌هایی را در خواص (جذب رطوبت، تغییرات ابعادی، تخریب توسط عوامل مخرب زیستی، تخریب توسط اشعه ماورای بنفش و هوازدگی) و کاربرد آن ایجاد می‌کند. لذا این ماده طبیعی ممکن است برای به دست آوردن عملکرد و کاربرد مورد نظر، نیاز به تغییر ساختار داشته باشد. برای این منظور، حفاظت و اصلاح چوب می‌تواند روشی مؤثر برای افزایش مقاومت و دوام این ماده مهندسی بوده و طیف بزرگ و گسترده‌ای از فرآورده‌های چوبی را به همراه داشته باشد. لذا امروزه با پیشرفت فناوری، روش‌های مختلفی از حفاظت و اصلاح برای بهبود خواص مهندسی چوب ابداع شده و به تبع آن چوب از اهمیت قابل توجهی برای مهندسان، معماران و طراحان سازه‌ها برخوردار شده است. بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن که یکی از زیرمجموعه‌های مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور است با دارا بودن چندین گروه تحقیقاتی در زمینه چوب و کاغذ و از جمله گروه تحقیقات حفاظت و اصلاح چوب، یکی از قدیمی‌ترین و با سابقه‌ترین متولیان تحقیقات در زمینه چوب و فرآورده‌های چوبی محسوب می‌شود. گروه تحقیقات حفاظت و اصلاح چوب این بخش تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف حفاظت و اصلاح چوب انجام داده است. این گروه تحقیقاتی توانسته با به کارگیری روش‌های گوناگون حفاظت و اصلاح چوب و مواد حفاظتی مختلف و همچنین آزمایش‌های میدانی نمونه‌های بیمار شده در برابر عوامل مخرب بیولوژیک و غیر بیولوژیک به نتایج قابل توجهی دست یابد. این نتایج در نشریه‌های علمی، همایش‌ها و سمینارهای داخلی و بین‌المللی نیز ارائه شده است. نتایج این تحقیقات را می‌توان به عنوان راهکارهایی مؤثر در افزایش مقاومت و دوام چوب و فرآورده‌های چوبی به کار گرفت. واژه‌های کلیدی: اصلاح چوب، رطوبت‌پذیری، ثبات ابعادی، خواص مهندسی

Wood protection and modification is an effective strategy to improve its engineering properties

R. Hajihassani^{1*}, S.M. Zamani² and F. Golbabaee³

Abstract

Wood is a natural bio-polymer. The unique advantages of this engineering material including its widespread availability, sustainable renewal, favorable ecological assessment, ease of processing, lightness, reusability, and environmental compatibility have not been hidden from the eyes of scientists and engineers and have made it one of the most popular materials in the construction of structures, such as houses, bridges, docks, furniture, etc. However, the natural nature of this engineering material imposes limits on its properties (moisture absorption, dimensional changes, biological deterioration, weathering and ultraviolet degradation, etc.) and application. Therefore, this natural material may need to be transformed in order to acquire the desired functionality. Accordingly, wood modification can be an effective method to increase the strength and durability of this engineering material and results in a wide range of wood products. Therefore, nowadays, with the development of technology, various methods of wood modification have been invented to improve its engineering properties, and consequently wood has considerable importance for engineers, architects and designers of structures. The department of wood and paper science of research institute of forests and rangelands is one of the oldest and most experienced custodians in field of wood and its products. The wide research has been carried out by this group in various fields of wood protection and modification. This research team has achieved considerable results by applying various methods of wood protection and modification as well as different preservatives, whose results are presented in scientific journals, internal and international conferences and seminars. The results of this research can be used as effective solutions to increase the strength and durability of wood and its products.

Keywords: Wood modification, hygroscopicity, dimensional stability, engineering properties

*- نویسنده مسئول، پژوهشگر، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پست الکترونیک: reza.hajihassani@gmail.com

۲- پژوهشگر، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- مربی پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

1*- Corresponding author, Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, Email: reza.hajihassani@gmail.com

2- Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Senior Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

● مقدمه

به‌طور کلی ساختار شیمیایی چوب و مواد لیگنوسلولزی از سه بسیار بنیادین سلولز، همی‌سلولزها و لیگنین تشکیل شده است که بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. چوب و مواد لیگنوسلولزی عمدتاً دارای خاصیت هیگروسکوپیک (رطوبت‌دوستی) هستند. جذب و دفع رطوبت نیز سبب ایجاد هم‌کشیدگی و واکنشیدگی شده و کلیه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این مواد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا کنترل جذب رطوبت یکی از اساسی‌ترین مباحث تکنولوژی چوب و مهم‌ترین اهداف در سازه‌ها و محصولات مرکب چوبی برای جلوگیری از تغییر در ساختار فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی این ماده است. از طرف دیگر اشباع چوب با مواد حفاظتی نیز می‌تواند سبب افزایش مقاومت آن در برابر عوامل مخرب زیستی مانند قارچ‌ها، حشرات، باکتری‌ها و ... شود. در سال‌های اخیر سعی شده با استفاده از روش‌های متعدد حفاظت و اصلاح چوب از جمله روش‌های شیمیایی، حرارتی، آنزیمی، مکانیکی یا ترکیبی از آنها و نیز اشباع چوب با مواد حفاظتی مختلف، ویژگی‌های فرآورده‌های چوبی را اصلاح کرده و آنها را برای کاربردهایی با قابلیت‌هایی فراتر از آنچه که تاکنون به کار می‌روند مورد استفاده قرار داد. این بررسی سعی دارد در راستای بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چوب به معرفی روش‌های نوین حفاظت و اصلاح آن بپردازد.

● حفاظت و اصلاح شیمیایی

مروری بر پژوهش‌های پیشین در زمینه حفاظت و اصلاح شیمیایی چوب نشان می‌دهد که این تیمارها غالباً به‌منظور بهبود ثبات ابعادی (کاهش تغییرات ابعادی ناشی از جذب و دفع رطوبت) یا مقاومت بیولوژیکی چوب در برابر عوامل زیستی به‌کار می‌روند (Mohebbi, 2003). اصلاح شیمیایی چوب واکنش شیمیایی بین برخی از بخش‌های فعال اجزا تشکیل‌دهنده چوب

(سلولز، همی سلولز و لیگنین) با یک ماده شیمیایی ساده و در نهایت ایجاد پیوند بین چوب و ماده شیمیایی است (Rowell, 1975؛ Larsson, 1998)؛ بدین مفهوم که گروه‌های هیدروکسیلی بسپارهای تشکیل‌دهنده چوب فعال‌ترین محل انجام این واکنش‌ها هستند. از طرفی این گروه‌ها مسئول ناپایداری ابعادی چوب به دلیل ایجاد پیوندهای هیدروژنی با آب و همچنین انتشار آنزیم‌های عوامل مخرب بیولوژیک چوب مانند قارچ‌ها و ایجاد شرایط مساعد زیستی میکروارگانیسم‌ها هستند. لذا اصلاح شیمیایی چوب به‌صورت واکنش جایگزینی گروه‌های هیدروکسیلی چوب با یک ماده شیمیایی پایدار، پیوندپذیر و دارای کمترین گروه‌های آب‌دوست است (Larsson, 1998). در نتیجه در روش اصلاح شیمیایی، بسپارهای دیواره سلولی و اساساً شیمی پایه چوب تغییر می‌یابد. در روش اصلاح شیمیایی، واکنش‌های شیمیایی متعددی وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به واکنش‌های اتری کردن، استری کردن، اکسایش و غیره اشاره کرد که هر یک از این روش‌ها خود می‌توانند به طرق مختلف و با مواد شیمیایی متفاوتی صورت گیرند. اما نکته قابل توجه در تمامی این روش‌ها این است که از خاصیت آب‌دوستی چوب کاسته شده و باعث پایداری ابعادی می‌شود. تیمار استیل‌اسیون یکی از روش‌های شیمیایی اصلاح چوب است که سبب جلوگیری از تغییرات ابعادی می‌شود. در یک تحقیق انجام‌شده در مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور که طی آن تأثیر شدت‌های مختلف تیمار استیل‌اسیون بر پایداری ابعادی ام‌دی‌اف (تخته فیبر با دانسیته متوسط) مورد بررسی قرار گرفت نشان داده شد این تیمار می‌تواند سبب کاهش چشمگیر تغییرات ابعاد ام‌دی‌اف در شرایط قرارگیری در رطوبت‌های نسبی مختلف شود (حاجی‌حسینی و محبی، ۱۳۸۷) جدول ۱ بیانگر تأثیر مثبت این

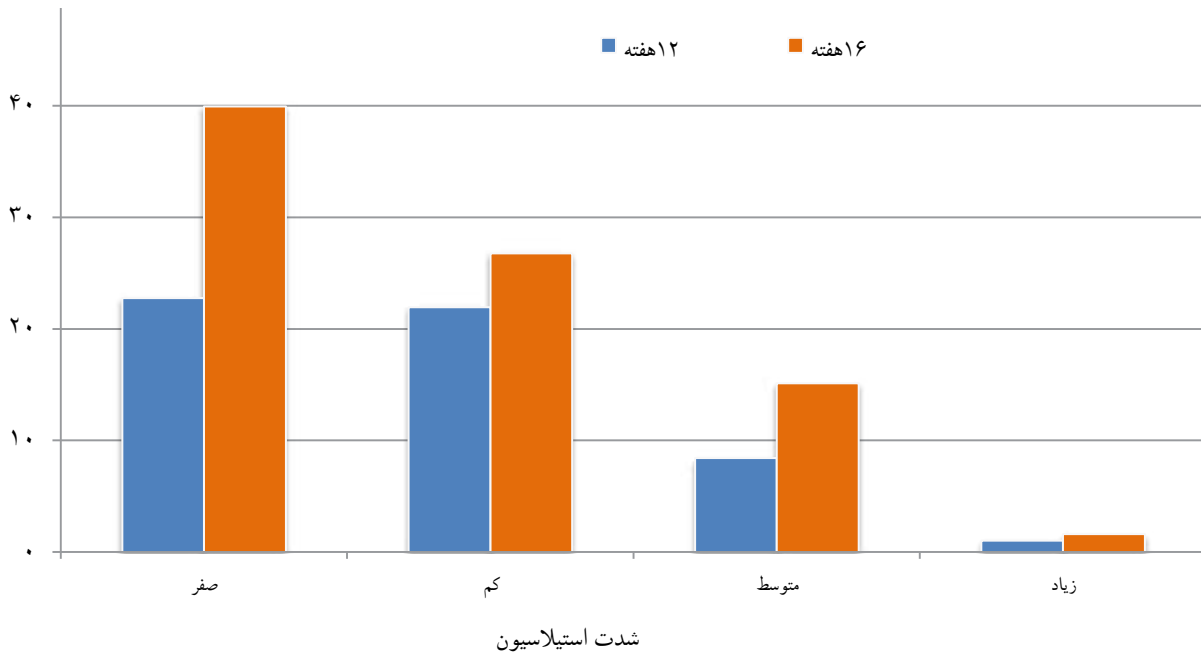
تیمار در بازدارندگی تغییرات ضخامت ام‌دی‌اف است. در این راستا نتایج بررسی تأثیر تیمار استیل‌اسیون در جلوگیری از تخریب قارچ عامل پوسیدگی سفید نیز نشان داد که این تیمار می‌تواند سبب کاهش چشمگیر فعالیت قارچی شود (حاجی‌حسینی و زمانی، ۱۳۹۳). به‌طوری که در شدت استیل‌اسیون زیاد، کاهش وزن ناشی از تخریب توسط این قارچ به حداقل ممکن رسید. شکل ۱ تأثیر عملکرد این تیمار در جلوگیری از فعالیت قارچ عامل پوسیدگی سفید را نشان می‌دهد.

یکی دیگر از روش‌های حفاظت چوب در برابر عوامل مخرب زیستی، اشباع آن با مواد حفاظتی مختلف است. در این راستا سه گروه عمده مواد حفاظتی شامل مواد حفاظتی روغنی، محلول در حلال‌های آلی و محلول در آب وجود دارند که هر گروه از آنها دارای کاربرد و عملکرد متفاوتی

**کنترل
جذب رطوبت یکی
از اساسی‌ترین مباحث
تکنولوژی چوب و مهم‌ترین
اهداف در سازه‌ها و محصولات
مرکب چوبی برای جلوگیری
از تغییر در ساختار فیزیکی،
شیمیایی و مکانیکی است.**

جدول ۱- میانگین بازدارندگی تغییرات ضخامت ام‌دی‌اف در رطوبت‌های نسبی مختلف بر اثر تیمار استیل‌اسیون

رطوبت نسبی (درصد)				شدت تیمار استیل‌اسیون
۹۶	۷۰	۵۰	۳۳	
بازدارندگی تغییرات ضخامت (درصد)				
۱۱/۹۳	۱۱/۶۹	۲۱/۲۱	۱۴/۷۵	کم
۴۰/۸۸	۲۹/۹۸	۳۷/۹۳	۳۷/۶۹	متوسط
۴۷/۷۷	۴۴/۶۶	۴۴/۴۵	۵۰/۲۲	زیاد



شکل ۱- تأثیر استیلایسیون بر کاهش وزن ناشی از تخریب قارچ عامل پوسیدگی سفید پس از ۱۲ و ۱۶ هفته

اشباع گونه های چوبی مختلف (راش، ممرز، بلوط، توسکا، چنار، کرت و اکالیپتوس) به روش سلول های پر و با مواد حفاظتی کرئوزوت و سلکور، سبب افزایش دوام آنها در برابر چوب خواران دریایی شده است.

اصلاح حرارتی

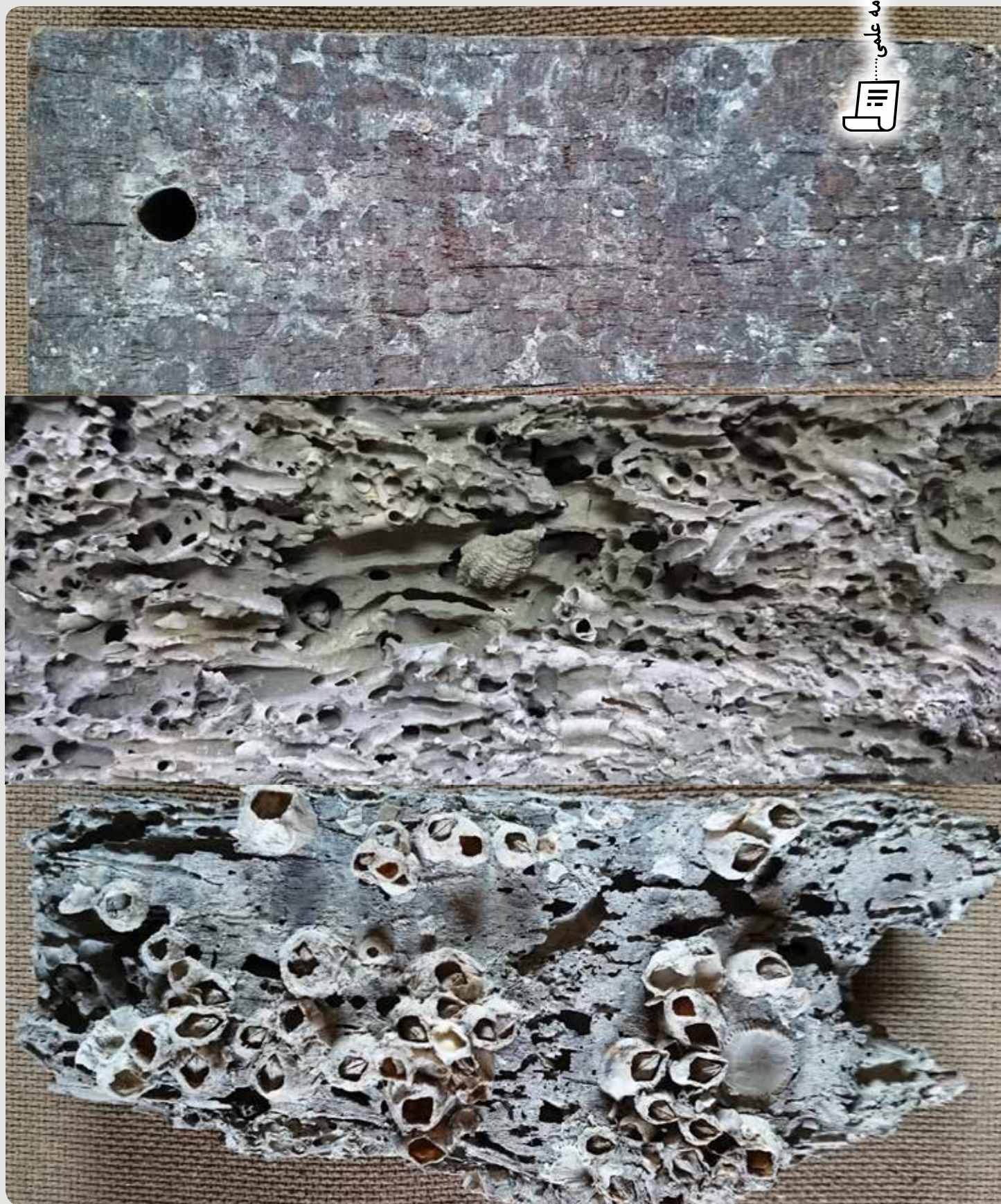
در روش اصلاح حرارتی به منظور بهبود خواص چوب در برخی از عملکردهای آن، معمولاً از حرارت ۱۶۰ تا ۲۸۰ درجه سانتی گراد استفاده می شود. روش های مختلفی از اصلاح حرارتی با نام های متفاوت وجود دارد که هر یک دارای فرایند خاص خود هستند. از جمله این روش ها می توان به فرایند PLATO، فرایند VTT، فرایند Retifica-tion، فرایند OHT و غیره اشاره کرد که در کشور آلمان، فرانسه، هلند و سوئد متداول هستند (Militz, 2002). اما باید توجه داشت که در اصلاح حرارتی چوب برخی خواص آن دچار نقصان می شود. یکی از خواص چوب که بر اثر تیمار حرارتی دچار کاهش می شود خواص مکانیکی آن مانند مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه است که برای برطرف کردن این نقصان می توان از دیگر روش های اصلاح چوب (مانند اصلاح مکانیکی) در ترکیب با این روش استفاده کرد. چوب اصلاح شده با حرارت در نمای ساختمان های چوبی (مانند Thermo-wood)، کف ساختمان ها،

هستند که باید با توجه به هدف مورد نظر مورد استفاده قرار گیرند. برای مثال یک نمونه از مواد حفاظتی روغنی کرئوزوت است که در تراورس های راه آهن، تیرهای ارتباطات و سازه های واقع در آب استفاده می شود. تحقیقات انجام شده توسط محققان بخش تحقیقات چوب و کاغذ مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور نشان داد که اشباع چوب آلات با ماده حفاظتی کرئوزوت سبب افزایش مقاومت آنها در برابر موریانه و موجودات چوب خوار دریایی (نرم تنان و سخت پوستان) شده و افزایش طول عمر آنها را به همراه دارد که شکل های ۲ و ۳ به خوبی بیانگر این موضوع هستند. همچنین در راستای این تحقیقات جدول شماره ۲ نشان می دهد که اشباع گونه های چوبی مختلف (راش، ممرز، بلوط، توسکا، چنار، کرت و اکالیپتوس) به روش سلول های پر و با مواد حفاظتی کرئوزوت و سلکور، سبب افزایش دوام آنها در برابر چوب خواران دریایی شده است. لذا ملاحظه می شود که برای حفاظت چوب و فرآورده های چوبی به کارگیری یک ماده حفاظتی مناسب با توجه به هدف مورد نظر، می تواند سبب افزایش دوام و طول عمر آن شود.

آلات موسیقی، لوازم مورد استفاده در خارج از ساختمان ها و طیف وسیعی از کاربردهای داخلی و خارجی مورد استفاده قرار می گیرد. اصلاح حرارتی می تواند همراه با فرایندهای گرمایی یا بخار آب نیز انجام شود. بدین مفهوم که آب یا بخار آن در دماهای بالا اثر اصلاحی بر چوب می گذارند. نتایج بررسی ها در زمینه های مختلف این فرایندها نیز نشان می دهند که برخی ویژگی های چوب از قبیل ثبات ابعادی و دوام چوب بهبود می یابند (Navi & Sandberg, 2011). در یک تحقیق، نتایج اثرگذاری تیمار



شکل ۲- تخریب چوب‌های شاهد (راست و وسط) و جلوگیری از تخریب چوب اشباع‌شده با کرئوزوت (چپ) توسط موریانه

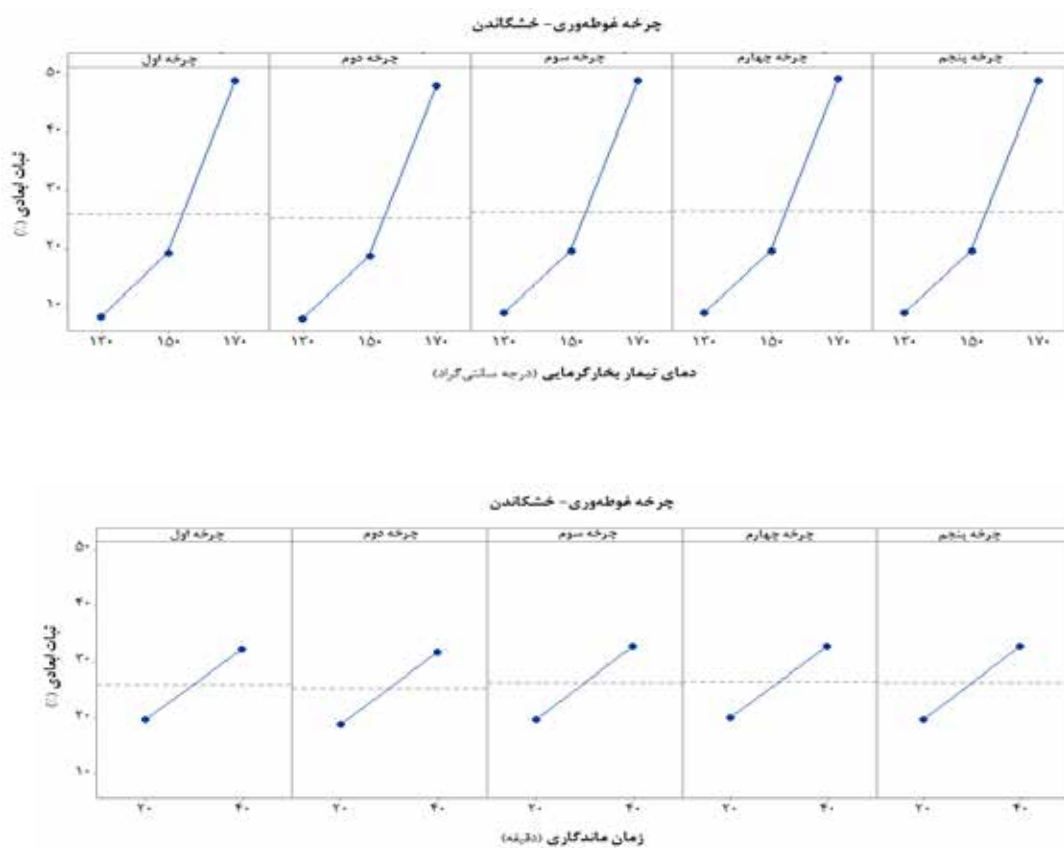


شکل ۳- تخریب چوب‌های شاهد (وسط و پایین) و جلوگیری از تخریب چوب اشباع‌شده با کربن‌دی‌اکسید (بالا) توسط چوب‌خواران دریایی

جدول ۲- درجه بندی تخریب نمونه های نصب شده در ساحل ماهشهر براساس دستورالعمل شماره ۴۴۳۲ IRG/WP

گونه چوبی	نوع تیمار											
	کرنوزوت				سلکور ۵٪				شاهد			
	مدت زمان غوطه‌وری در آب (ماه)											
	۲۸	۲۳	۱۷	۸	۲۸	۲۳	۱۷	۸	۲۸	۲۳	۱۷	۸
راش	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	-	۴	۳	۲
ممرز	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	-	۴	۲	۲
بلوط	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	-	۴	۳	۱
توسکا	صفر	صفر	صفر	صفر	۲	۱	صفر	صفر	-	-	۴	۳
چنار	صفر	صفر	صفر	صفر	۲	۱	صفر	صفر	۳	۲	۲	صفر
کرت	صفر	صفر	صفر	صفر	-	-	-	-	۲	۱	۱	صفر
اکالیپتوس	صفر	صفر	صفر	صفر	۱	صفر	صفر	صفر	۲	۱	۱	صفر

(صفر: سالم، ۱: خسارت خفیف، ۲: خسارت متوسط، ۳: خسارت شدید، ۴: شکست نمونه)



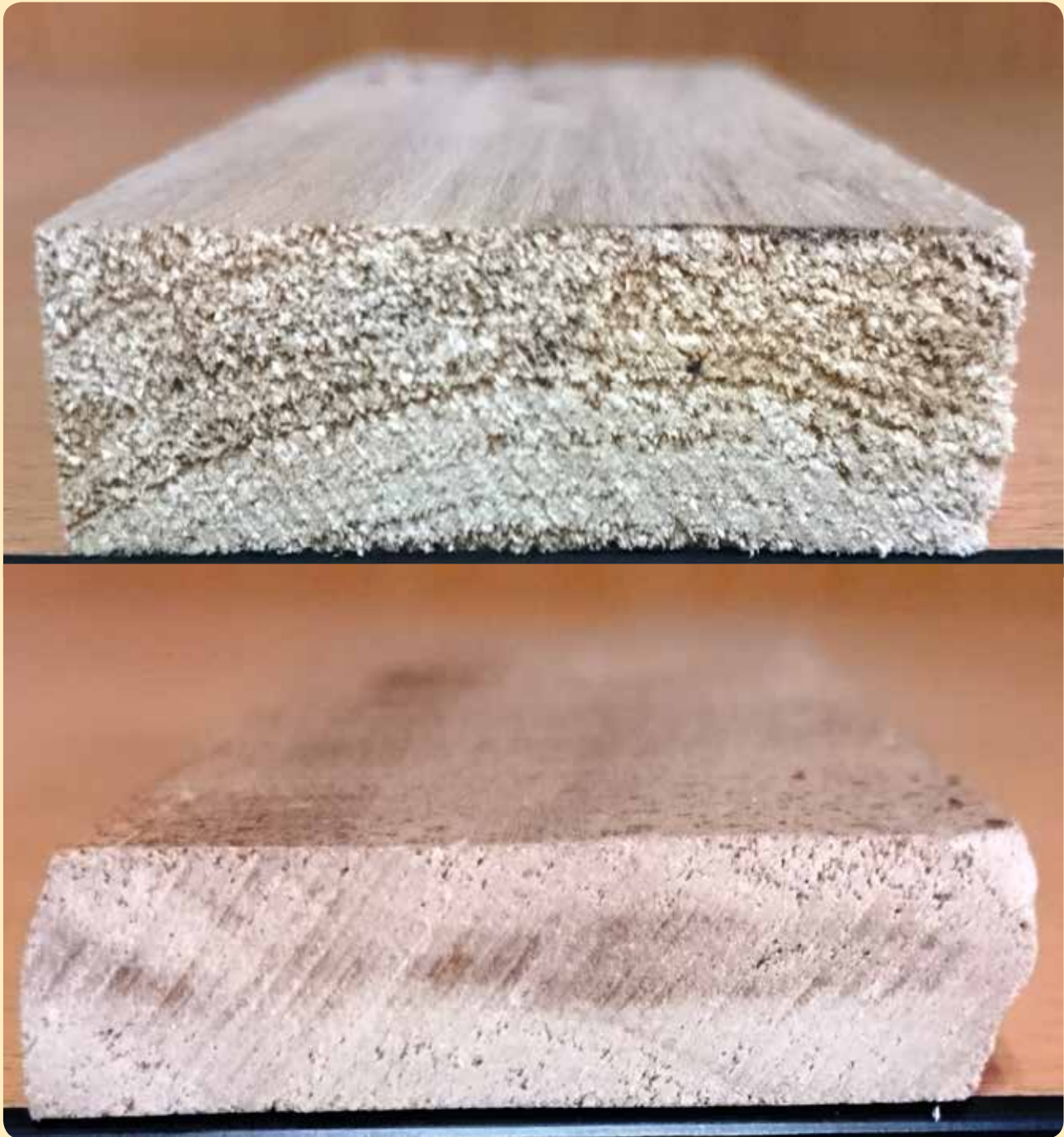
شکل ۴- اثر پارامترهای دما و زمان تیمار بخارگرمایی بر ثبات ابعادی طی ۵ چرخه غوطه‌وری-خشکاندن



بخارگرمایی (در سه دمای ۱۳۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و دو زمان تیمار ۲۰ و ۴۰ دقیقه) بر ثبات ابعادی نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بررسی نمونه‌ها پس از تیمار بخارگرمایی، به مدت ۲۴ ساعت در آب غوطه‌ور و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک شدند و در نهایت ثبات ابعادی آنها مورد

ارزیابی قرار گرفت. لازم به ذکر است چرخه غوطه‌وری - خشکاندن ۵ مرتبه تکرار شد. ارزیابی نتایج نشان داد که هر دو فاکتور دما و زمان تیمار بخارگرمایی تأثیر معنی‌داری بر کاهش تغییرات ابعادی یا به عبارت دیگر بهبود پایداری ابعادی دارند. شکل ۴ بیانگر بهبود ثبات ابعادی با افزایش دما و زمان تیمار بخارگرمایی است

(حاجی حسنی و همکاران، ۱۳۹۶). لازم به ذکر است که بر اثر تیمارهای حرارتی، آب‌گرمایی و بخارگرمایی برخی از ویژگی‌های چوب از جمله خواص مکانیکی کاهش می‌یابند که برای برطرف کردن این عیب می‌توان از تیمارهایی مانند تیمار مکانیکی در ترکیب با این تیمارها استفاده کرد که متعاقباً توضیح داده خواهد شد.



شکل ۵- سطح مقطع چوب صنوبر قبل از فشرده‌سازی (بالا) و بعد از فشرده‌سازی (پایین)

● اصلاح آنزیمی

افزایش مصرف مواد لیگنوسلولزی و محدودیت منابع جنگلی از یک سو و مشکلات ناشی از به کارگیری مواد زیان آور در ساخت چسب های مصنوعی (مانند فرم آلدئید) به کار رفته در تولید مواد مرکب چوبی و نیز معضل دفع ضایعات ناشی از تولید این فراورده ها از سوی دیگر سبب ایده به کارگیری سیستم های طبیعی مؤثر در تشکیل چوب شده است. درحقیقت این سیستم ها، آنزیم هایی هستند که در هنگام بیوسنتز و پیوند دادن سلول های چوبی ایفای نقش می کنند. پیشرفت های حاصله در زمینه بیوتکنولوژی (زیست فناوری)، این امکان را فراهم کرده تا از این سیستم های طبیعی در ساخت و پیوند سلول های چوبی و دیواره سلولی استفاده شود. لذا این روش، فرایندی دوستدار محیط زیست بوده و نخستین اثر آن جلوگیری از کاربرد مواد مضر در ساخت فراورده های مرکب چوبی و رفع مشکلات مربوط به ضایعات آنها است. همان طور که پیش از این گفته شد چوب از سه ماده اصلی سلولز، همی سلولزها و لیگنین تشکیل شده است که لیگنین سبب اتصال سلول ها و استحکام دیواره سلولی می شود. از این رو در روش اصلاح آنزیمی از آنزیم مؤثر در پیوند بین دیواره های سلولی استفاده می شود. این آنزیم لاکاز (Laccase) نام دارد که سبب اکسایش لیگنین و ایجاد رادیکال های پایدار در آن و در نهایت ایجاد پیوندهای شیمیایی می شود (Unbehaun et al., 2000).

● اصلاح مکانیکی

اصلاح مکانیکی یکی دیگر از روش های اصلاح دوستدار محیط زیست است که در آن از ترکیب فشار مکانیکی و حرارت استفاده می شود. افزایش دانسیته چوب اغلب خواص مکانیکی آن را بهبود می بخشد. فرایند فشردگی سازی یک روش اصلاحی مؤثر برای افزایش دانسیته چوب است (Stamm, 1964). در روش اصلاح مکانیکی، چوب تحت عمل فشردگی سازی قرار می گیرد و بخشی از ساختار شیمیایی

آن نیز تغییر می یابد. فشردگی سازی سبب حذف یا کاهش حفره های درون سلولی و فضای بین میکروفیبریل ها می شود و در نتیجه آن نفوذ رطوبت به درون چوب کاهش می یابد. از طرفی حرارت به کار برده شده در این تیمار نیز سبب حذف بخشی از گروه های هیدروکسیل شده و در نتیجه، کاهش جذب رطوبت و بهبود ثبات ابعادی چوب را به همراه دارد. ملاحظه می شود که این تیمار از یک طرف سبب اصلاح تغییرات ابعادی چوب می شود و از طرف دیگر به خاطر عمل فشردگی سازی و افزایش دانسیته، برطرف شدن ضعف مکانیکی ناشی از به کارگیری حرارت را در پی دارد. بنابراین این تیمار برای بهبود خواص گونه هایی با دانسیته کم مانند صنوبرها بسیار مناسب است (Gong et al., 2010). در تحقیق انجام شده در بخش تحقیقات علوم چوب و کاغذ مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور نشان داده شد که بر اثر تیمار فشردگی سازی چوب صنوبر، مقاومت مکانیکی آن بهبود می یابد به طوری که با ۴۰ درصد فشردگی، مقاومت خمشی چوب صنوبر نسبت به چوب شاهد، بیش از ۵۰ درصد افزایش یافت. بنابراین می توان با انجام تیمارهای حفاظتی و اصلاحی روی چوب های سبک با خواص مکانیکی ضعیف، مقاومت آنها را افزایش و در نتیجه دامنه کاربرد آنها را توسعه داد. شکل ۵ سطح مقطع چوب صنوبر را قبل و بعد از ۴۰ درصد فشردگی سازی نشان می دهد. برای اصلاح چوب و فراورده های مرکب چوبی، فرایندهای متنوعی با نام های مختلفی عرضه می شود که معمولاً این فرایندها، ترکیبی از روش های اشاره شده هستند. اما آنچه که مسلم است هدف تمامی این فرایندها بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی محصول نهایی است. لذا این بررسی می تواند ما را در دستیابی به فراورده ای با کیفیت بالا با به کارگیری یک تکنیک فراوری دوستدار محیط زیست راهنمایی کند؛ به طوری که مزایای متعدد دیگری را نیز به همراه داشته باشد که شامل استفاده از گونه های دست کاشت و سریع الرشد بومی مانند صنوبر و کاهش

فشار بر منابع جنگلی کشور، ایجاد ارزش افزوده برای منابع چوبی بومی، افزایش سودآوری و ایجاد درآمد منطقه ای، اشتغال زایی و افزایش رقابت بین مصالح چوبی با استفاده از یک روش جدید نوآوری شده و اثرات محیط زیستی کم است.

● منابع

- حاجی حسنی، ر. و محبی، ب.، ۱۳۸۷. تأثیر استیله کردن الیاف صنوبر بر پایداری ابعادی تخته فیبر با دانسیته متوسط (MDF). پژوهش و سازندگی، (۲۲): ۵۳-۴۶.
- حاجی حسنی، ر. و همکاران، ۱۳۹۶. ارزیابی ویژگی های فیزیکی و مکانیکی چوب اصلاح شده با فرایند بخار گرمایی. تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، (۱۳۲): ۱۲-۱.
- حاجی حسنی، ر. و زمانی، س. م.، ۱۳۹۳. تأثیر تیمار شیمیایی الیاف در جلوگیری از تخریب بیولوژیکی تخته فیبر با دانسیته متوسط (MDF). تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، (۳): ۳۹۸-۳۹۰.
- Gong, M., Lamason, C. and Li, L., 2010. Interactive Effect of Surface Densification and Post-Heat-Treatment on Aspen Wood. *Journal of Materials Processing Technology*, 210: 293-296.
- Larsson, P.B., 1998. Acetylation of solid wood: Ph.D. thesis; Chalmers University of Technology; Göteborg; Sweden.
- Militz, H., 2002. Thermal treatment of wood: European processes and their background; The International Research Group on Wood Preservation; Document No. IRG/WP 02-40241.
- Moheby, B., 2003. Biological attack of acetylated wood, Ph.D. Thesis; Göttingen University; Göttingen: 147 p.
- Navi, P., and Sandberg, D., 2011. Thermo-hydro-mechanical processing of wood, *Engineering Sciences*, Taylor & Francis Group, LLC, Swiss, 360 p.
- Rowell, R.M., 1975. Chemical modification of wood: Advantages and disadvantages; proceedings Am. Wood preservers Association: 1-10.
- Stamm, A.J., 1964. *Wood and Cellulose Science*, New York: Ronald Press, 549 p.
- Unbehaun, H., Dittler, B., Kühne, G. and Wagenführ, A., 2000. Investigation into the biotechnological modification of wood and its application in the wood-based material industry. *Acta Biotechnol.*; 20 (34): 305-312.