



University of Tehran

The performance of tannin-based resins in comparison with melamine-formaldehyde resin for improving the physical and mechanical properties of wood

Khadijeh Delavaryan Abbas Abadi¹ | Asghar Tarmian^{2*} |
Reza Oladi³ | Gholam Reza Rahmani⁴

1. Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: kh.delavaryan@ut.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: tarmian@ut.ac.ir
3. Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: oladi@ut.ac.ir
4. Institute of Conservation and Restoration of Historical-Cultural Artifacts, Research Institute of Cultural Heritage and Tourism (RICHT), Tehran, Iran. E-mail: r.rahmani71@gmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article History:

Received: 20 November 2023

Revised: 10 January 2024

Accepted: 14 January 2024

Published online: 10 March 2024

Keywords:

*Environmentally friendly,
Hardness,
Modulus of elasticity,
Water repellency,
Wood modification.*

The performance of formaldehyde-free tannin and tannin-resorcinol-formaldehyde resins was investigated in comparison with melamine-formaldehyde resin to improve the physical and mechanical characteristics of oak wood. Melamine-formaldehyde resin was diluted to a concentration of 25% and then 5% carbamide was added to reduce its viscosity. For the synthesis of formaldehyde-free tannin resin, condensed tannin powder with a concentration of 30% in distilled water was used, and the pH was adjusted to the range of 10 using a 33% solution of sodium hydroxide in water. Tannin-resorcinol-formaldehyde resin was also synthesized at pH 8. After impregnation of the wood samples using the empty cell process and drying them with a moisture-based schedule, the resins were cured in an oven at a temperature of $103 \pm 2^\circ\text{C}$ for 48 hours and then at a temperature of 120°C for 4 hours. The results showed that modifying wood with all three types of resin leads to a decrease in equilibrium moisture content, improvement in dimensional stability, and surface water repellency. However, it does not have a significant effect on the hardness and modulus of elasticity of the wood. The weight percent gain after modification with melamine-formaldehyde resin (23.8%) was almost twice its value for wood modified with tannin-based resins. Melamine-formaldehyde resin had a better performance in comparison with tannin-based resins, while the intensity of wood color change after modification was also less. The modification process with tannin-resorcinol-formaldehyde resin was more successful in improving the properties compared to formaldehyde-free tannin resin.

Cite this article: Delavaryan Abbas Abadi, KH., Tarmian, A., Oladi, R., Rahmani, G.R. (2024). The performance of tannin-based resins in comparison with melamine-formaldehyde resin for improving the physical and mechanical properties of wood. *Journal of Forest and Wood Products*, 76 (4), 379-392. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwpp.2024.368424.1268>



© The Author(s) **Publisher:** The University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwpp.2024.368424.1268>



دانشگاه تهران

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

سایت نشریه: <https://jfwf.ut.ac.ir>

بررسی عملکرد رزین‌های تانن پایه در مقایسه با رزین ملامین فرمالدئید در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب

خدیدجه دلاوریان عباس آبادی^۱ | اصغر طارمیان^{۲*} | رضا اولادی^۳ | غلامرضا رحمانی^۴

۱. گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: kh.delavaryan@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: tarmian@ut.ac.ir
۳. گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: oladi@ut.ac.ir
۴. پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران. رایانامه: r.rahmani71@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

عملکرد رزین‌های تانن عاری از فرمالدهید و تانن-رزورسینول-فرمالدهید در مقایسه با رزین ملامین فرمالدهید به منظور اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) مورد بررسی قرار گرفت. رزین ملامین فرمالدهید تا غلظت ۲۵ درصد رقیق شد و متعاقباً از ۵ درصد کاربامید برای کاهش ویسکوزیته آن استفاده شد. محلول آبی ۳۰ درصد تانن متراکم به همراه محلول ۳۳ درصد هیدروکسید سدیم و ۶ درصد هگزامین (بر مبنای وزن خشک تانن) نیز برای تهیه رزین تانن عاری از فرمالدهید در محدوده pH ۱۰ مورد استفاده قرار گرفت. رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید نیز در pH برابر با ۸ سنتز شد. پس از اشباع نمونه‌های چوبی با فرآیند سلول خالی و خشک کردن آن‌ها با یک برنامه رطوبت پایه، گیرائی رزین در آون در دمای ۱۰۳±۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و سپس در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت انجام شد. نتایج نشان داد که اصلاح چوب با هر سه نوع رزین منجر به کاهش رطوبت تعادل، بهبود پایداری ابعاد و آب‌گریزی سطح می‌شود ولی بر سختی و مدول الاستیسیته آن تأثیر معنی‌داری ندارد. درصد افزایش وزن چوب پس از اصلاح با رزین ملامین فرمالدهید (۲۳/۸ درصد) تقریباً دو برابر مقدار آن در چوب اصلاح شده با رزین‌های تانن پایه بود. رزین ملامین فرمالدهید عملکرد مطلوب‌تری در مقایسه با رزین‌های تانن پایه داشت، ضمن اینکه شدت تغییر رنگ چوب پس از اصلاح نیز کمتر بود. فرآیند اصلاح با رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید در مقایسه با رزین تانن عاری از فرمالدهید در بهبود ویژگی‌ها، با موفقیت بیشتری همراه بود.

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

کلیدواژه:

آب‌گریزی،

اصلاح چوب،

دوست‌دار محیط‌زیست،

سختی،

مدول الاستیسیته.

استناد: دلاوریان عباس آبادی، خدیجه؛ طارمیان، اصغر؛ اولادی، رضا؛ رحمانی، غلامرضا (۱۴۰۲). بررسی عملکرد رزین‌های تانن پایه در مقایسه با رزین ملامین فرمالدئید در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب. نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۷۶ (۴)، ۳۹۲-۳۷۹. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2024.368424.1268>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2024.368424.1268>



۱. مقدمه

علی‌رغم مزایای متعدد، چوب در اثر جذب و دفع رطوبت به‌طور ناهمگن دچار تغییر ابعاد شده و آب‌دوستی آن نیز برخی تخریب‌های فیزیکی و زیستی را تسریع می‌کند. بنابراین، تحقیقات متعددی برای بهبود خصوصیات مختلف چوب مانند مقاومت به رطوبت و پایداری ابعاد در برابر تغییرات رطوبتی، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های مکانیکی و بهبود دوام زیستی آن با استفاده از انواع روش‌های اصلاح چوب صورت گرفته است [۱، ۲]. اصلاح خواص چوب با روش‌های مختلفی اعم از فرآیندهای حرارتی، شیمیایی و آنزیمی صورت می‌گیرد [۳]. با توجه به نگرانی‌های محیط‌زیستی در مورد استفاده از مواد شیمیایی سمی برای حفاظت و اصلاح چوب، به‌تدریج استفاده از مواد شیمیایی چوب حاوی فلزات سنگین در بسیاری از کشورها مانند اروپا و آمریکای شمالی محدود شده است [۴]. عصاره‌های گیاهی طبیعی مانند تانن‌ها جایگزین‌های شناخته شده‌ای برای اهداف مورد نظر در صنعت حفاظت چوب هستند. مواد استخراجی به‌دست آمده از گونه‌های با دوام طبیعی بالا می‌توانند برای اشباع و حفاظت گونه‌های چوبی کم دوام استفاده شوند [۵-۷].

تانن‌ها جزو مواد استخراجی فنلی چوب و از دسته مواد سبز و دوستدار محیط‌زیست به‌شمار می‌آیند. این نوع ترکیبات طبیعی در مقایسه با برخی مواد حفاظتی شیمیایی، صرفه اقتصادی داشته و با توجه به سازگار بودن آن با ساختار چوب و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی، از آن‌ها می‌توان به‌عنوان ماده حفاظت‌کننده چوب استفاده کرد. مزیت دیگر تانن توانایی کی‌لیت کردن فلزاتی مانند آهن است [۸-۱۰]. ساختار هیدوکسی-آروماتیک تانن موجب شده است که از آن برای تهیه رزین استفاده شود. رزین‌های بر پایه تانن به‌واسطه کاهش فعالیت فلزات در چوب، نقش به‌سزایی در کنترل فرآیند تخریب شیمیایی چوب دارند. تانن‌ها به دودسته اصلی با نام‌های تانن‌های قابل هیدرولیز و تانن‌های متراکم یا پلی‌فلاونوئید تقسیم می‌شوند [۱۱].

تانن‌های متراکم را می‌توان به‌عنوان حفاظت‌کننده چوب استفاده کرد [۱۲]. تانن‌های متراکم قادرند با همی سلولز و پروتئین‌ها پیوند کووالانسی ایجاد کرده و با تقویت دیوارهای سلولی، خواص استحکامی چوب را بهبود بخشند [۱۳]. تانن‌ها همچنین قادرند ثبات ابعادی چوب را بهبود دهند [۱۴]. با توجه به این مزایا، در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی در خصوص استفاده از تانن‌ها به‌عنوان یکی از مونومرهای زیست‌پایه برای حفاظت و نگهداری چوب توسعه یافته است [۱۵-۱۷].

رزین ملامین فرمالدهید یکی از انواع مواد حفاظتی و اصلاح‌کننده رایج چوب به‌شمار می‌آید. این رزین کاربردهای صنعتی گسترده‌ای دارد و دارای ویژگی‌های مختلفی مانند شفافیت و سختی زیاد، پایداری حرارتی و همچنین مقاومت در برابر خراش، سایش و رطوبت است [۱۸]. از محدودیت‌های حفاظت و اصلاح با رزین ملامین فرمالدهید می‌توان به گران بودن فرآیند، ظاهر پلاستیکی چوب تیمار شده و ترک خوردگی و چین خوردگی چوب تیمار شده اشاره کرد [۱۹، ۲۰].

پیش‌تر از رزین‌های تانن پایه و رزین ملامین فرمالدهید برای اصلاح چوب استفاده شده است ولی تاکنون اثر رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید بر اصلاح خواص فیزیکی و مکانیکی چوب گزارش نشده است. با توجه به مقادیر آبشویی زیاد نمونه‌های چوبی اصلاح شده با رزین تانن عاری از فرمالدهید و نیز نگرانی‌های محیط‌زیستی مواد اصلاح‌کننده شیمیایی مانند رزین ملامین فرمالدهید و شکننده شدن چوب بعد از اصلاح با این رزین، در این تحقیق به بررسی عملکرد رزین‌های تانن پایه در مقایسه با رزین ملامین فرمالدهید برای بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چوب پرداخته شده است.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. نمونه‌برداری و شناسایی میکروسکوپی گونه چوبی

نمونه چوبی مورد استفاده در این تحقیق از گونه بلوط (*Quercus castaneifolia*) بوده که از سایت چوب‌فروشان کرج تهیه شد. با این وجود، به‌منظور اطمینان از انتخاب درست گونه چوب، سطح عرضی نمونه‌ها با سنباده‌های مختلف از ۲۵۰۰-۱۰۰۰ صاف شده و سپس با اسکنر HP با وضوح dpi ۲۴۰۰ اسکن شد. شناسایی گونه با استفاده از مطالعات میکروسکوپی نوری و کلید شناسایی فهرست انجمن بین‌المللی آناتومی چوب انجام گرفت. از نمونه‌های برش خورده با اره، معکب‌هایی کوچک با ابعاد تقریبی یک سانتی‌متر تهیه شد؛ به‌نحوی که اضلاع معکب منطبق بر محورهای ارتوتروپیک (عرضی، شعاعی و مماسی) چوب باشند. نمونه‌ها

پیش از مقطع برداری به مدت ۲۴ ساعت در آب غوطه‌ور شده و سپس با استفاده از میکروتوم لغزشی GSL1، مقاطع میکروسکوپی به ضخامت تقریبی ۱۰ میکرومتر از راستای عرضی، شعاعی و مماسی چوب تهیه شدند. مقاطع نازک حاصله به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه در محلول وایتکس (آب ژاول) قرار گرفتند تا سفید شدند. پس از چندبار آبشویی و خروج وایتکس، این مقاطع به مدت ۱۰ ثانیه با محلول رنگ‌آمیزی دوگانه سافرانین-آسترابلو ۱ درصد رنگ‌آمیزی و برای از بین رفتن رنگ‌های اضافی جذب نشده، نمونه‌ها در آب مقطر شستشو شدند. پس از آن مقاطع میکروسکوپی در سری‌های متوالی اتانول (۵۰ درصد، ۷۰ درصد و ۹۶ درصد) قرار داده شدند. مقاطع میکروسکوپی رنگ‌شده با استفاده از چسب انتلان، بین لام و لامل قرار گرفته و برای تثبیت کامل مقاطع، یک وزنه ۵۰ گرمی بر روی آن‌ها قرار داده و نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در آون گذاشته شدند تا برای تشریح ویژگی‌های میکروسکوپی ساختار چوب آماده شوند. مقاطع شعاعی، مماسی و عرضی نمونه‌ها زیر میکروسکوپ نوری Bel-Fluo3 مجهز به دوربین، بررسی و عکس برداری شدند.

۲-۲. رزین‌های مورد استفاده و آماده‌سازی آن‌ها

۲-۲-۱. رزین ملامین فرمالدهید

از رزین ملامین فرمالدهید تجاری (کورامین) ساخته‌شده توسط شرکت صنعتی رزین سازان فارس استفاده شد. در ابتدا، رزین در دمای اتاق با آب دیونیزه تا غلظت ۲۵ درصد رقیق شد. سپس، از ۵ درصد کاربامید برای کاهش ویسکوزیته محلول تا حدود ۱۱-۱۰ میلی‌پاسکال ثانیه در دمای اتاق استفاده شد تا عمق نفوذ رزین در بافت چوب افزایش یابد.

۲-۳. رزین‌های بر پایه تانن

۲-۳-۱. رزین تانن عاری از فرمالدهید

برای تهیه ۱۰۰ گرم از این رزین، ۲۲/۶۷ گرم پودر تانن متراکم با غلظت ۳۰ درصد در ۷۵/۵۶ گرم آب مقطر با استفاده از همزن مکانیکی حل شد و سپس از محلول ۳۳ درصد هیدروکسید سدیم در آب برای تنظیم pH در محدوده ۱۰ استفاده شد. ۱/۳۶ گرم از محلول ۳۰ درصد هگزامین در آب نیز به‌عنوان هاردنر استفاده شد [۲۱، ۲۲]. در صورت لزوم و بالا بودن ویسکوزیته رزین تهیه شده و به‌منظور نفوذ بهتر آن در ساختار چوب، با هیدرولیز اسیدی یا قلیایی با استفاده از NaOH، ویسکوزیته کاهش داده شد. ویسکوزیته رزین ۲۰ درصد تانن در دمای اتاق برابر با ۱۰-۸ میلی‌پاسکال ثانیه است [۲۳]. یکی از مشکلات تانن برای استفاده در حفاظت چوب، عدم تثبیت و مقدار آبشویی زیاد آن از چوب است [۲۴]. تحقیقات نشان داده است که افزودن اسید بوریک به ترکیب تانن/هگزامین و استفاده از آن به‌عنوان ماده حفاظتی برای اشباع چوب نتایج خوب و رضایت‌بخشی داشته است [۲۵، ۲۶]. از این رو، ۰/۱۱ گرم اسید بوریک ۰/۵ درصد به‌عنوان ماده حفاظتی به این رزین افزوده شد.

۲-۳-۲. رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید TRF

مطابق روش Sauguet و همکاران (۲۰۱۴)، برای تهیه و سنتز این رزین از فرمولاسیون ارائه شده در جدول یک با pH برابر با ۸ استفاده شد [۲۷]. برای تهیه ۱۰۰ گرم از این رزین، در ابتدا ۳۳/۳۱ درصد وزنی آب (۲۵/۴۳ گرم) و ۹/۸۶ درصد وزنی متانول (۹/۸۶ گرم) با استفاده از یک همزن مکانیکی در یک بالون با ستون خنک‌کننده ترکیب و سپس با یک حمام آب گرم تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد تا انحلال تانن آسان شود. سپس، ۳۵/۱۰ درصد وزنی از پودر تانن متراکم (۳۵/۱۰ گرم) افزوده شد. در مرحله بعد، ۱۷/۵ درصد وزنی رزورسینول (۱۷/۵ گرم) و پس از آن ۲/۱۲ درصد وزنی محلول فرمالدهید ۳۷ درصد (۵/۷۲ گرم) و ۲/۱۱ درصد وزنی هیدروکسید سدیم ۳۳ درصد (۶/۳۹ گرم) اضافه شد. دمای محلول حاصل با هم‌زدن پیوسته به مدت یک ساعت به دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد رسانده و سپس سرد شد. برای نفوذ بهتر رزین در چوب، رزین با غلظت ۳۵ درصد مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱. فرمولاسیون رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید (درصد وزنی مواد مورد استفاده)

تانن	رزورسینول	آب	متانول	فرمالدهید	هیدروکسید سدیم
۳۵/۱۰	۱۷/۵	۳۳/۳۱	۹/۸۶	۲/۱۲	۲/۱۱

۲-۴. روش اشباع

نمونه‌های چوبی با الگوی برش بینابینی و به ابعاد $18 \times 10 \times 15$ میلی‌متر مکعب در آون با دمای 2 ± 103 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و سپس وزن خشک (m_1) و حجم (V_1) آن‌ها اندازه‌گیری شد. در این مرحله، هر یک از نمونه‌ها با رزین مورد نظر با استفاده از سیلندر اشباع موجود در آزمایشگاه حفاظت و اصلاح چوب دانشگاه تهران، مطابق با روش خلاء-فشار (سلول خالی) اشباع شدند. در این روش، نمونه‌ها در مخزن اشباع قرار گرفته و خلاء اولیه $0/6$ بار به مدت یک ساعت روی آن‌ها اعمال گردید. پس از آن، محلول حفاظتی داخل سیلندر و روی نمونه‌ها ریخته شد. پس از اطمینان از غوطه‌ور شدن کامل نمونه‌ها در رزین، فشار به مدت ۶ ساعت و به میزان ۶ بار اعمال شد. تیمارهای مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. تیمارهای مورد بررسی در تحقیق حاضر

شماره	نوع رزین
۱	بدون اشباع با رزین (شاهد)
۲	رزین تانن عاری از فرمالدهید
۳	رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید
۴	رزین ملامین فرمالدهید

به منظور خشک کردن نمونه‌های خیس، بعد از توزین، نمونه‌ها در درون کوره‌چوب خشک‌کنی آزمایشگاه حفاظت و اصلاح چوب دانشگاه تهران قرار گرفته و مطابق با برنامه‌چوب خشک‌کنی رطوبت پایه ارائه شده در جدول ۳ خشک شدند. سپس، نمونه‌ها به آون با دمای 2 ± 103 درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت منتقل شدند و متعاقباً به منظور گیرایی کامل رزین در چوب، دمای آون به 120 درجه سانتی‌گراد تغییر یافته و بعد از ۴ ساعت، نمونه‌ها از آون خارج شدند و وزن خشک (m_2) و حجم (V_2) آن‌ها اندازه‌گیری شد.

جدول ۳. برنامه چوب خشک‌کنی استفاده شده برای خشک کردن چوب‌های اشباع شده با رزین

مقدار رطوبت چوب (درصد)	دمای کوره (درجه سانتی‌گراد)	رطوبت نسبی (درصد)
بیشتر از ۴۰ درصد	۴۰	۸۵
۴۰	۴۰	۸۰
۳۰	۴۵	۷۵
۲۵	۵۰	۷۰
۲۰	۵۵	۶۰
۱۵	۶۰	۵۰

۲-۵. آزمون‌های فیزیکی

۲-۵-۱. درصد افزایش وزن، رطوبت تعادل، جذب آب، واکسیدگی ابعاد و آبشویی

میزان رطوبت تعادل (EMC) نمونه‌ها در اتاق کلیما در رطوبت نسبی ۷۵ درصد و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از رابطه

۱ اندازه گیری شد.

$$EMC(\%) = \left(\frac{m_1 - m_0}{m_0} \right) \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

m_0 : جرم خشک شده در آن و m_1 : جرم نمونه پس از متعادل سازی در اتاق کلیما می باشد. به منظور اندازه گیری مقادیر بارگذاری رزین در داخل چوب، وزن خشک نمونه‌ها قبل و بعد از تیمار اندازه گیری شده و درصد افزایش وزن (WPG) آن‌ها با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$WPG(\%) = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

m_1 : جرم خشک نمونه‌ها قبل از تیمار و m_2 : جرم خشک نمونه‌ها بعد از تیمار است. به منظور اندازه گیری واکنش پذیری ابعاد، نمونه‌های خشک شده در آن به مدت ۴ هفته در درون اتاق کلیما با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد قرار داده شدند و بعد از این مدت، مقدار واکنش پذیری در بعد پهنای نمونه‌ها با رابطه ۳ اندازه گیری و محاسبه شد:

$$S(\%) = \left(\frac{v_2 - v_1}{v_1} \right) \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن، S: درصد واکنش پذیری، v_1 : پهنای چوب خشک شده در آن، و v_2 : پهنای چوب پس از قرار گرفتن در اتاق کلیماست.

مقدار جذب آب نیز پس از غوطه‌وری نمونه‌ها در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت اندازه گیری شد. آبتیابی نمونه‌های تیمار شده با انواع رزین‌ها مطابق با روش برگرفته از NF X 41-568 انجام شد [۲۸]. بر این اساس، نمونه‌های $5 \times 10 \times 25$ میلی متر مکعبی (L, R, T) در پنج تکرار تهیه شده و در دمای ۱۰۳ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شده و وزن شدند (m_1). نمونه‌ها در بطری‌های آزمایش با مقدار آب مقطر ۵ برابر حجم چوب غوطه‌ور شدند. آزمایش آبتیابی برای نمونه‌ها در شش دوره آبتیابی (۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۴۸ ساعت) تحت تکان دادن مداوم در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد انجام شد. بین دوره‌های ۴ تا ۸ ساعت، آب مقطر مصرف شده خارج شد و نمونه‌های چوب بدون آب به مدت ۱۶ ساعت در بطری نگهداری شدند. پس از اتمام دوره‌های شستشو، نمونه‌ها در دمای ۱۰۳ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و مجدداً وزن شدند (m_2). کاهش وزن ناشی از آبتیابی (W_{L_L}) از رابطه ۴ محاسبه شد:

$$W_{L_L}(\%) = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

۲-۵-۲. رنگ سنجی

به منظور اندازه گیری شدت تغییر رنگ سطحی نمونه‌ها پس از تیمار با رزین‌ها، از دستگاه رنگ سنج پرتابل مدل NR110 استفاده شد و پارامترهای رنگ L^*, a^*, b^* براساس سیستم CIE-Lab اندازه گیری شد. رنگ سنجی قبل و بعد از اشباع چوب انجام شد. شاخص تغییر رنگ ΔE^* نیز با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

بعد از اشباع است. ΔL بیانگر میزان تغییرات روشنایی، Δb بیانگر میزان تغییرات زردی و Δa بیانگر میزان تغییرات قرمزی است. $\Delta a = a_2^* - a_1^*$ ، $\Delta b = b_2^* - b_1^*$ و $\Delta L = L_2^* - L_1^*$ به ترتیب بیانگر پارامترهای رنگی قبل و

۲-۵-۳. زاویه تماس قطره آب

برای اندازه‌گیری نهم‌پذیری سطح نمونه‌ها، از روش قطره‌گذاری مکانیکی آب دیونیزه استفاده شد. در این آزمون، از دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس مکانیکی قطره آب با دوربین CCD در آزمایشگاه لرمب دانشگاه لورین فرانسه استفاده شد. برای این منظور، قبل و بعد از تیمار، میانگین دو زاویه تماس به مدت ۱۸۰ ثانیه با حجم قطره ۲۰ میکرولیتر با ۶ تکرار برای هر تیمار محاسبه شد. طی اندازه‌گیری، شکل قطره آب در سطح چوب با دوربین CCD ثبت شد. از نرم‌افزار Image-J 1.46 برای محاسبه زاویه تماس قطره آب در هر تصویر استفاده شد.

۲-۵-۴. آزمون‌های مکانیکی

برای تعیین مدول الاستیسیته از آزمون غیر مخرب Bing^۱ طبق تئوری تیموشنکو در موسسه تحقیقاتی INRA^۲ در کشور فرانسه استفاده شده است. در این آزمون، نمونه‌های چوبی به ابعاد ۱۰×۱۰×۱۵۰ میلی‌متر مکعب (L, T, R) برش داده شده و بر روی دو پایه ارتجاعی به صورت آزاد قرار داده شدند و سپس با استفاده از دست و یک مضراب چوبی یک ضربه به آن وارد شد. در نهایت، صدای به وجود آمده ضبط شده و مورد تحلیل قرار گرفت. برای اطمینان از تکرارپذیر بودن آزمون از میکروفون کالیبراسیون با دقت بالا برای ضبط صدا استفاده شد. صدای به دست آمده در نرم‌افزار Bing وارد شده و میزان مدول الاستیسیته نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید.

آزمایش سختی برینل بر اساس استاندارد EN 1534 بر روی نمونه‌هایی با ابعاد ۲۰×۲۰×۹۰ میلی‌متر مکعب (L, T, R) در مقطع شعاعی در آزمایشگاه لرمب در کشور فرانسه انجام شد. بر این اساس، با استفاده از گوی به قطر ۱۰ میلی‌متر، نیرو به تدریج اعمال شد تا زمانی که مقدار آن در بیست ثانیه به ۱۹۶۰ نیوتون برسد. این نیرو سی ثانیه حفظ و سپس به آرامی کاهش داده شد.

۲-۶. تجزیه و تحلیل آماری

از طرح کاملاً تصادفی و برای هر تیمار از ۶ تکرار استفاده شد. گزاره‌های آماری میانگین و انحراف معیار با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ محاسبه شدند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS V 26 انجام شد. مقایسه معنی‌داری داده‌ها با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون چند دامنه دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳-۱. یافته‌های گونه شناسی

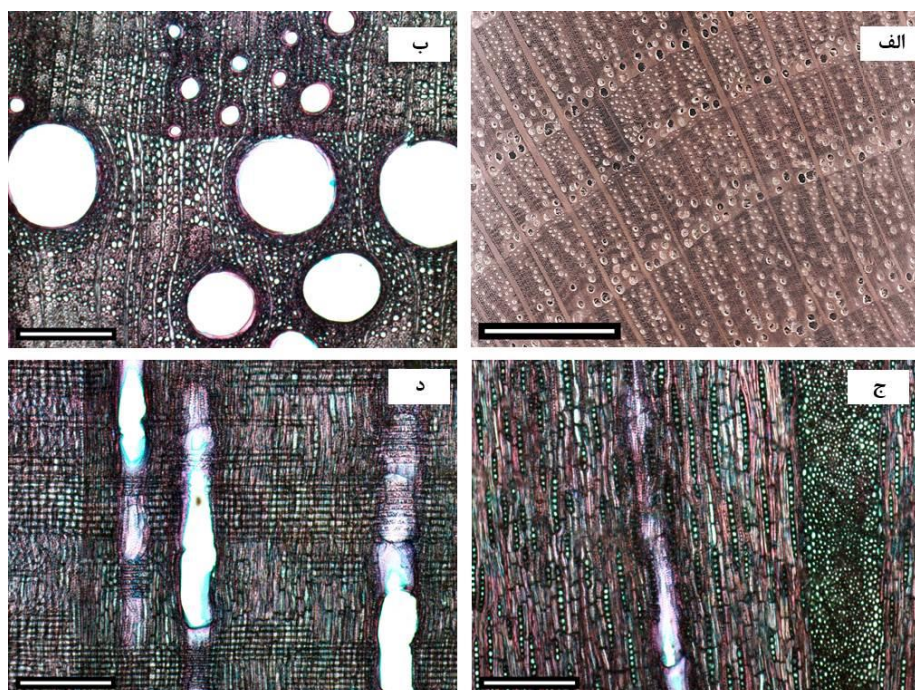
تصویر میکروسکوپی نمونه (گرفته شده با اسکنر) در شکل ۱-الف ارائه شده است. نمونه چوبی، بخش روزنه‌ای و در مقطع عرضی، پره‌های چوبی پهن آن به شکل میکروسکوپی قابل مشاهده بود و آوندهای چوب پایان به صورت شعاعی و مورب استقرار یافته بودند. در بررسی ویژگی‌های آناتومی (شکل ۱-ب-د) مشخص شد که گروه‌بندی آوندهای چوب پایان به صورت منفرد و چینش سلول‌های پارانشیم محوری از نوع پراکنده، پراکنده-گروهی و گردآوندی است. همچنین منافذ بین آوند و پارانشیم عرضی از نوع ساده، کشیده و عمودی می‌باشد. براساس نتایج، نمونه چوبی به دو گونه از جنس بلوط شامل بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) و بلوط اوری (*Quercus macranthera*) بسیار شبیه است. در بین بلوط‌ها، این دو گونه از نظر ویژگی‌های آناتومی در یک گروه قرار می‌گیرند و تمایزشان سخت و گاهی غیرممکن است [۲۹]. با این حال، طبق تجربیات نویسندگان، گونه بلندمازو نسبت به اوری، اشعه پهن‌تر و بلندتری دارد. با توجه به تفاوت ذکر شده و همچنین فراوانی گونه بلندمازو در جنگل‌های شمال ایران، به احتمال زیاد می‌توان گفت گونه چوبی استفاده شده در این تحقیق، بلوط بلندمازو است.

^۱Beam identification by nondestructive grading

^۲the French National Institute for Agriculture, Food and Environment

۳-۲. مقادیر افزایش وزن، جذب آب، رطوبت تعادل، واکشیدگی ابعاد و آبشویی

نتایج مربوط به آزمون‌های فیزیکی در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت مقدار افزایش وزن در تیمارهای با رزین ملامین فرمالدهید بیشتر از رزین‌های تانن پایه بود. این مسئله می‌تواند ناشی از نفوذ بهتر رزین ملامین فرمالدهید به درون چوب نسبت به رزین‌های تانن پایه باشد. همچنین میزان افزایش وزن نمونه‌ها در تیمار با رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید بیشتر از رزین تانن عاری از فرمالدهید بود و بیانگر اشباع‌پذیری مطلوب‌تر نمونه‌ها با رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید است. اشباع‌پذیری چوب با تانن با استفاده از انواع سخت‌کننده‌های مختلف مانند فرمالدهید، گلیوکسال، فورفورال، هگزامین و الکل فورفوریل، پیشتر گزارش شده است [۲۵]. اگرچه احتمال نفوذ پلیمرهای تانن پایه به داخل دیوار سلول‌های چوبی وجود دارد اما اغلب در حفرات سلولی قرار می‌گیرند [۳۰]. آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین مقادیر افزایش وزن وجود دارد ($P < 0.000$) و آزمون دانکن نیز تیمارهای مختلف را در دو گروه طبقه‌بندی کرد. مطابق با گروه‌بندی دانکن، بین رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید و رزین تانن عاری از فرمالدهید تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ولی رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید عملکرد بهتری نسبت به رزین تانن عاری از فرمالدهید داشت.



شکل ۱. مقاطع ماکروسکوپی و میکروسکوپی نمونه چوبی؛ الف: مقطع عرضی نمونه چوبی در دید ماکروسکوپی؛ ب: مقطع عرضی، ج: مقطع مماسی، د: مقطع شعاعی نمونه چوبی در دید میکروسکوپی. خط مقیاس در الف = ۵ میلی‌متر و در ب-د = ۵۰۰ میکرومتر است.

آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه اختلاف معنی‌داری بین میانگین مقادیر رطوبت تعادل نشان داد ($P < 0.001$) و آزمون دانکن، تیمارها را در سه گروه طبقه‌بندی کرد. چوب اصلاح شده با رزین ملامین فرمالدهید کمترین میزان رطوبت تعادل را نسبت به سایر تیمارها داشت و بیشترین رطوبت تعادل، متعلق به چوب اصلاح شده با رزین تانن عاری از فرمالدهید بود. تفاوت معنی‌داری نیز بین این نوع چوب اصلاح شده با چوب شاهد مشاهده نشد.

نتایج مربوط به واکشیدگی ابعاد نشان داد که همه چوب‌های اصلاح شده در مقایسه با نمونه شاهد ثبات ابعادی بهتری داشتند و عملکرد رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید، مطلوب‌تر از رزین تانن عاری از فرمالدهید بود. تحقیقات گذشته نیز حاکی از آن است که تانن‌ها ثبات ابعادی چوب را بهبود می‌بخشند [۱۴] و با افزایش میزان بارگذاری تانن در داخل چوب، مقدار جذب آب نمونه‌های تیمار شده کاهش می‌یابد [۳۱]. افزایش ثبات ابعاد در نمونه‌های تیمار شده با رزین ملامین فرمالدهید به کاهش مقدار

جذب رطوبت به‌واسطهٔ مسدود شدن گروه‌های OH دیواره‌های سلولی و کاهش دسترس‌پذیری این گروه عاملی چوب نسبت داده می‌شود [۳۲]. آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین مقادیر واکنش‌دهی ابعاد وجود دارد ($P < 0.001$) و آزمون دانکن تیمارها در سه گروه طبقه‌بندی کرد.

آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه اختلاف معنی‌داری بین میانگین مقادیر جذب آب نشان داد ($P < 0.000$) و آزمون دانکن نیز تیمارها را در ۳ گروه طبقه‌بندی کرد. میزان جذب آب در چوب‌های تیمار شده نسبت به چوب شاهد کاهش یافت و بیشترین میزان کاهش مربوط به تیمار با رزین ملامین فرمالدئید بود. تفاوت معنی‌داری بین عملکرد رزین‌های تانن پایه در افزایش مقاومت به جذب آب مشاهده نشد. Hazarika و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که نمونه‌های تیمار شده با رزین ملامین فرمالدئید اصلاح شده با آکریل‌امید ظرفیت جذب کمتری نسبت به نمونه‌های شاهد دارند [۳۳]. همچنین Kielmann و همکاران (۲۰۱۵)، دلیل کاهش جذب آب را غیر قطبی بودن پلیمر ملامین فرمالدئید موجود در دیوارهٔ سلولی و حفره‌های سلولی ذکر کردند [۳۴]. نتایج تحقیقات گذشته همچنین حاکی از آن است که مقادیر جذب آب نمونه‌های تیمار شده با رزین تانن-فورفورال نسبت به نمونه‌های شاهد کمتر بوده و افزایش غلظت رزین اثرگذاری بیشتری را نشان داد [۲۶]. پر شدن حفرات سلولی و کاهش دسترسی آب به شبکهٔ پلیمری چوب می‌تواند از دلایل اثربخشی اشباع با رزین‌های تانن پایه در بهبود مقاومت به جذب آب چوب باشد [۲۰].

نتایج مقادیر آبشویی نشان داد که نمونه‌های تیمار شده با رزین ملامین فرمالدئید، مقاومت بالایی به آبشویی داشتند اما نمونه‌های تیمار شده با رزین‌های تانن پایه، مقاومت به آبشویی کمی نشان دادند. آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه، اختلاف معنی‌داری بین میانگین مقادیر آبشویی نشان داد ($P < 0.000$) و مطابق با آزمون دانکن، تیمارها در ۳ گروه قرار گرفتند.

جدول ۴. ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های چوبی اصلاح شده با رزین‌ها در مقایسه با نمونه شاهد

نوع تیمار	افزایش وزن (درصد)	رطوبت تعادل (درصد)	واکنش‌دهی ابعاد (درصد)	آبشویی (درصد)	جذب آب ۲۴ ساعت (درصد)
چوب اصلاح نشده (شاهد)	-	$10.69 \pm (0.14)^c$	$3.25 \pm (0.24)^c$	$2/0.2 \pm (0.41)^b$	$90/56 \pm (9/11)^c$
رزین تانن عاری از فرمالدئید	$11/18 \pm (1/91)^a$	$10/59 \pm (0.40)^c$	$2/95 \pm (0.12)^b$	$2/55 \pm (0.39)^c$	$66/98 \pm (4/74)^b$
رزین تانن-رزوروسینول-فرمالدئید	$12/59 \pm (1/64)^a$	$9/73 \pm (0.17)^b$	$2/67 \pm (0.23)^a$	$2/31 \pm (0.57)^c$	$64/40 \pm (2/53)^b$
رزین ملامین فرمالدئید	$23/78 \pm (4/88)^b$	$9/05 \pm (0.47)^a$	$2/71 \pm (0.24)^{a,b}$	$0/17 \pm (0.96)^a$	$42/98 \pm (1/64)^a$

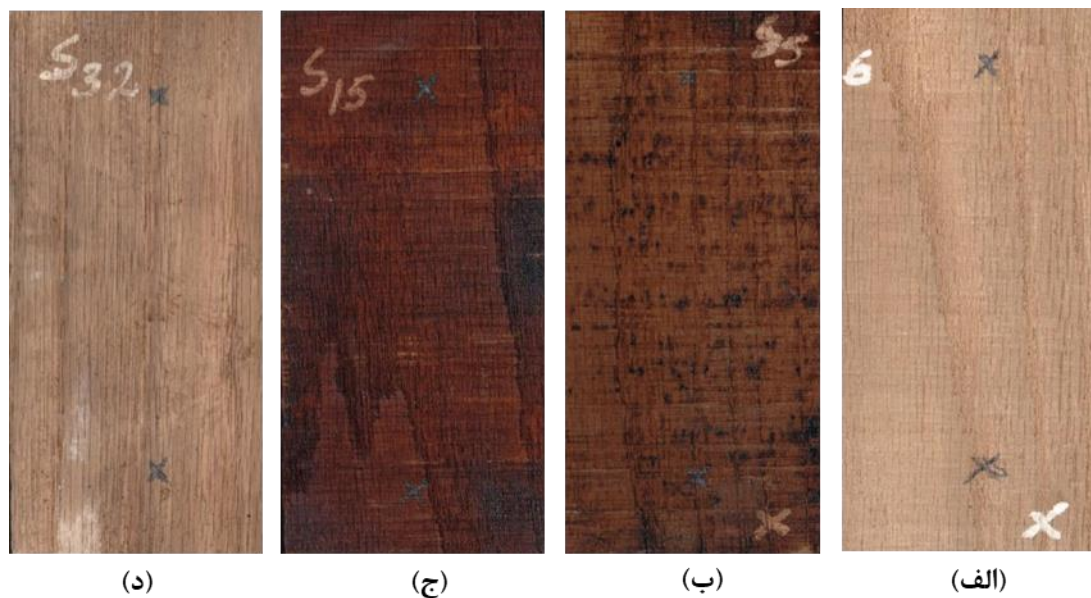
۳-۳. تغییر رنگ

در جدول ۵، نتایج تغییرات پارامترهای رنگ‌سنجی تیمارها ارائه شده است. پس از اصلاح چوب با همهٔ رزین‌ها، از مقدار پارامترهای L^* و b^* کاسته و بر مقدار a^* افزوده شد. شدت تغییر رنگ در نمونه‌های تیمار شده با رزین ملامین فرمالدئید کمتر از تیمارهای تانن پایه بوده است که ناشی از رنگ شفاف‌تر رزین ملامین فرمالدئید نسبت به رزین‌های تانن پایه است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در اثر حفاظت چوب با رزین‌های تانن پایه، چوب تیره‌تر می‌شود. مشهودترین تغییرات چوب با رزین‌های تانن پایه، رنگ تیره‌تر و سطح صاف‌تر چوب است [۳۵]. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که رنگ تیره‌تر لیگنین و تانن موجود در مواد حفاظتی قادر است تا حدی تغییر رنگ ایجاد شده با رزین ملامین فرمالدئید را جبران کند [۱۹].

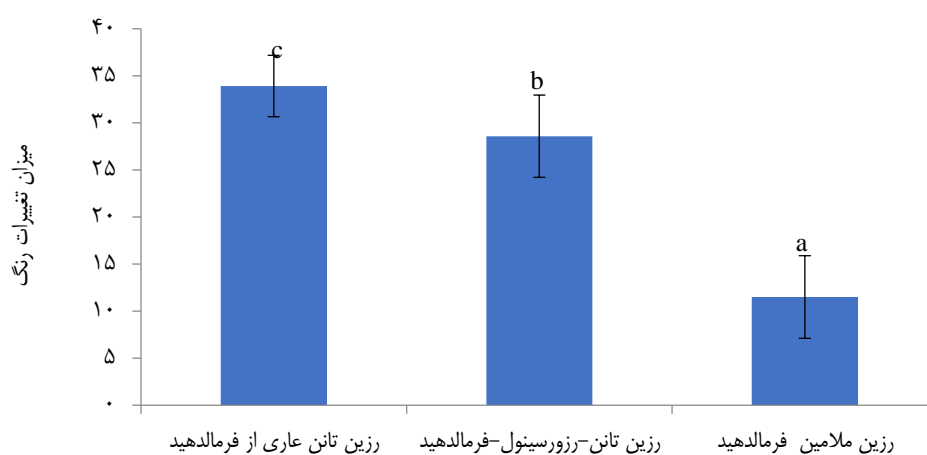
در شکل ۲، شدت تغییر رنگ نمونه‌ها در چوب‌های شاهد و تیمار شده نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت شدت تغییرات رنگ در رزین ملامین فرمالدئید کمتر از رزین‌های تانن پایه بود. در میان رزین‌های تانن پایه نیز، شدت تغییرات رنگ در رزین تانن-رزوروسینول-فرمالدئید کمتر از رزین تانن عاری از فرمالدئید مشاهده شد (شکل ۳).

جدول ۵. تغییرات پارامترهای رنگ سنجی چوب قبل و بعد از اصلاح با رزین‌ها

نوع تیمار	L^*	a^*	b^*
چوب اصلاح نشده (شاهد)	۶۴/۵۲	۹/۵۵	۱۹/۲۲
رزین تانن عاری از فرمالدهید	۳۰/۷۵	۹/۸۹	۹/۳۵
رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید	۳۴/۲۴	۱۱/۹۶	۹/۸۴
رزین ملامین فرمالدهید	۵۱/۳۳	۱۰/۰۶	۱۷/۶۴



شکل ۲. شدت تغییر رنگ چوب در اثر اصلاح با رزین‌ها. چوب اصلاح نشده و شاهد (الف)، چوب اصلاح شده با رزین تانن عاری از فرمالدهید (ب)، رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید (ج) و رزین ملامین فرمالدهید (د)



شکل ۳. میزان تغییر رنگ چوب پس از اصلاح با رزین‌ها

۳-۴. ویژگی‌های مکانیکی

نتایج مقادیر مدول الاستیسیته و سختی در جدول ۶ ارائه شده است. آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه، اختلاف معنی‌داری میان مقادیر مدول الاستیسیته نشان نداد ($P=0/35$) و مطابق با گروه‌بندی دانکن تیمارها در یک دسته طبقه‌بندی شدند. اعتقاد بر این است که ساختار شیمیایی تانن موجب ایجاد شبکه‌ای در سلول‌های چوب شده که به تقویت خواص مکانیکی چوب کمک می‌کند [۳۵-۳۶].

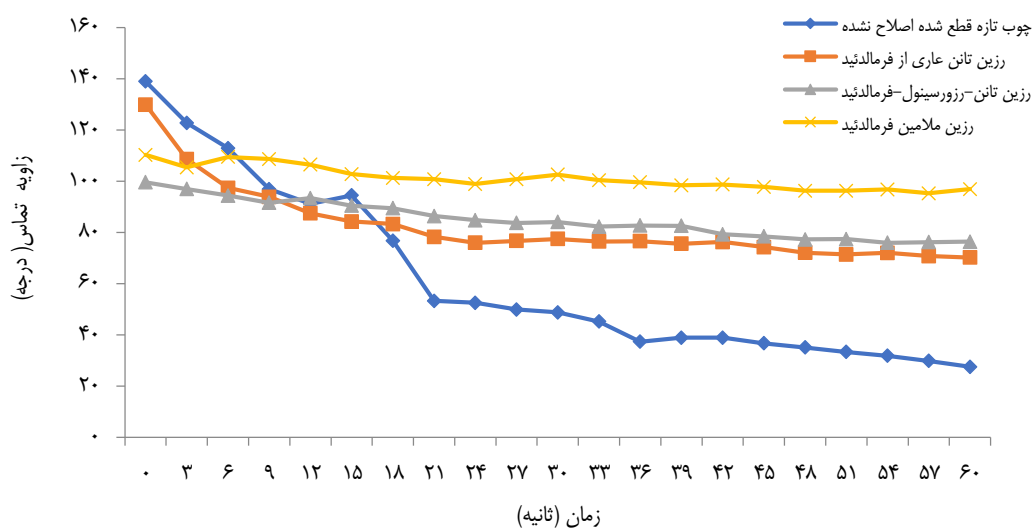
آزمون تجزیه واریانس، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر سختی نشان نداد ($P=0/89$) و مطابق با گروه‌بندی دانکن تیمارها در یک دسته طبقه‌بندی شدند. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که مدول یانگ و سختی دیوارسلولی نوئل تیمار شده با رزین ملامین فرمالدهید ۳۳ و ۱۱۵ درصد، در مقایسه با چوب تیمار نشده بهبود می‌یابد [۳۶]. تشکیل پلیمر سخت ملامین فرمالدهید در دیواره‌ها و حفرات سلولی چوب و اتصال عرضی آن با ترکیبات دیواره‌های سلولی ممکن است دلیل افزایش سختی باشد [۲۰]. Tondi و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که استفاده از ترکیبات تانن پایه (تانن، هگزا متیل تترامین، هیدروکسید سدیم، اسید فسفریک و اسید بوریک) در چوب، خواص خمشی، فشردگی‌سازی و سختی چوب کاج (*Pinus sylvestris*) و راش (*Fagus sylvatica*) را تا حدود ۲۰ درصد افزایش داد [۳۵]. به نظر می‌رسد اثر بخشی اصلاح با رزین‌های تانن پایه و یا رزین ملامین فرمالدهید در بهبود برخی از مقاومت‌های مکانیکی چوب وابسته به گونه چوبی و شرایط اصلاح و میزان بارگذاری رزین در چوب (درصد افزایش وزن) باشد.

جدول ۶. مدول الاستیسیته و سختی چوب شاهد و اصلاح شده با رزین‌ها

نوع چوب	مدول الاستیسیته (مگاپاسکال)	سختی (کیلو نیوتن)
چوب اصلاح نشده (شاهد)	$12465/50 \pm (3375/72)^a$	$3/19 \pm (0/15)^a$
رزین تانن عاری از فرمالدئید	$12759/06 \pm (1167/01)^a$	$3/20 \pm (0/18)^a$
رزین تانن-رزورسینول-فرمالدئید	$13951/50 \pm (1476/24)^a$	$3/28 \pm (0/21)^a$
رزین ملامین فرمالدئید	$14044/25 \pm (2161/38)^a$	$3/45 \pm (1/38)^a$

۳-۵. زاویه تماس قطره آب

نتایج نشان داد که پس از اصلاح چوب با همه رزین‌ها، آب‌گریزی سطح بهبود یافت (شکل ۴). پس از ۶۰ ثانیه قطره‌گذاری، زاویه تماس قطره آب در چوب‌های تیمار شده با رزین ملامین فرمالدهید بیشتر از رزین‌های تانن پایه بود که حاکی از عملکرد مطلوب‌تر آن در بهبود خواص آب‌گریزی چوب است. به عبارت دیگر، رزین ملامین فرمالدهید کمترین میزان ترشوندگی سطح را داشت. علی‌رغم اینکه چوب اصلاح نشده در ثانیه اول بیشترین میزان زاویه تماس با سطح را داشت (۱۳۹ درجه)، پس از گذشت چند ثانیه قطره آب بر روی سطح چوب پخش شده و زاویه تماس قطره آب به‌طور چشمگیری کاهش یافت. در مقابل، زاویه تماس ثانیه اول در چوب‌های تیمار شده با رزین ملامین فرمالدهید (۱۱۰/۳ درجه) و رزین تانن عاری از فرمالدهید (۱۲۹/۹ درجه) در انتهای مدت زمان قطره‌گذاری (۶۰ ثانیه) کاهش اندکی نشان داد و در انتهای آزمون، قطره آب تقریباً شکل ظاهری اولیه خود را حفظ کرد. کمترین روند کاهش زاویه تماس قطره در چوب اصلاح شده با رزین ملامین فرمالدهید و بیشترین روند کاهش مربوط به چوب اصلاح نشده بود. پس از اصلاح با رزین‌های مذکور، پرشدگی حفرات سلولی و متعاقباً کاهش دسترسی آب به شبکه پلیمری چوب رخ می‌دهد [۳۵]؛ بنابراین انتظار می‌رود که با محدود شدن فضای جذب رطوبت و نفوذ کمتر آب به ساختار تخلخلی چوب، خاصیت ترشوندگی چوب کاهش یابد [۳۷].



شکل ۴. مقادیر زاویه تماس قطره آب در چوب شاهد و اصلاح شده با رزین‌ها

۴. نتیجه‌گیری

به‌طور کلی بر پایه نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که اصلاح چوب بلوط بلندمازو با رزین‌های تانن پایه و ملامین فرمالدهید، منجر به بهبود مقاومت به جذب رطوبت، پایداری ابعاد و آب‌گریزی سطح آن می‌شود ولی تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مکانیکی آن (مدول الاستیسیته و سختی) ندارد. عملکرد رزین ملامین فرمالدهید در بهبود ویژگی‌های فیزیکی مورد نظر، مطلوب‌تر از رزین‌های تانن پایه بود، ضمن اینکه تغییر رنگ چوب نیز پس از اصلاح کمتر بود. اصلاح چوب با رزین تانن-رزورسینول-فرمالدهید در مقایسه با رزین تانن عاری از فرمالدهید در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، موفقیت بیشتری داشت. شدت تغییر رنگ چوب نیز پس از اصلاح کمتر بود. یکی از دلایل عملکرد مطلوب‌تر رزین ملامین فرمالدهید در مقایسه با رزین‌های تانن پایه، جدا از ساختار و ویژگی‌های شیمیایی آن، بارگذاری بیشتر آن در بافت چوب است، به‌طوری که درصد افزایش وزن در چوب اصلاح شده با این رزین، تقریباً دو برابر بیشتر از رزین‌های تانن پایه اندازه‌گیری شد. با توجه به این که در فرآیند اصلاح چوب، میزان بارگذاری ماده اصلاح‌کننده (درصد افزایش وزن) و نیز میزان یکنواختی نفوذ و توزیع آن در بافت چوب، در دستیابی به فرآیند اصلاح موفق حائز اهمیت است، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی ضمن تلاش برای دستیابی به نفوذ و بارگذاری بیشتر رزین‌های تانن پایه، همگنی و یکنواختی توزیع این نوع رزین‌ها در ساختار چوب در شرایط مختلف اصلاح بررسی شود.

۵. سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت‌های مالی و فراهم نمودن امکانات آزمایشگاهی معاونت پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری ایران، دانشگاه لورین و موسسه تحقیقاتی INRA فرانسه انجام شد.

۶. منابع

- [1] Sandberg, D., Kutnar, A., Karlsson, O., & Jones D. (2021). Wood modification technologies: principles, sustainability, and the need for innovation (1st ed.). CRC Press, 442 p.
- [2] Bergman, R. (2021). Chapter 13: Drying and control of moisture content and dimensional changes. In: Wood handbook, wood as an engineering material. General Technical Report FPLGTR- 282. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 21 p.
- [3] Hill, C.A.S. (2006). Wood Modification Chemical, Thermal and Other Processes, John Wiley and Sons, 260 p.

- [4] Gerengi, H., Tascioglu, C., Akcay, C., & Kurtay, M. (2014). Impact of copper chrome boron (CCB) wood preservative on the corrosion of St37 steel. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(49): 19198-19192.
- [5] Martinez-Inigo, M. J., Immerzeel, P., Gutierrez, A., del Rio, J.C., & Sierra-Alvarez, R. (1999). Biodegradability of extractives in sapwood and heartwood from scots pine by sapstain and white-rot fungi. *Holzforschung*, 53: 247-252.
- [6] Dorado, J., Van Beek, T., Claassen, F., & Sierra-Alvarez, R. (2001). Degradation of lipophilic wood extractive constituents in *Pinus sylvestris* by the white rot fungi *Bjerkandera sp.* and *Trametes versicolor*. *Wood Science and Technology*, 35(1-2): 117-125.
- [7] Harju, A.M., Venäläinen, M., Anttonen, S., Viitanen, H., Kainulainen, P., Saranpää, P., & Vapaavuori, E. (2003). Chemical factors affecting the brown-rot decay resistance of Scots pine heartwood. *Trees*, 17(3): 263-268.
- [8] Karamać, M. (2009). Chelation of Cu(II), Zn(II), and Fe(II) by tannin constituents of selected edible nuts. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(12): 5485-5497.
- [9] Ross, A.R.S., Ikonou, M.G., & Orians, K.J., (2000). Characterization of dissolved tannins and their metal-ion complexes by electrospray ionization mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 411(1-2): 91-102.
- [10] Tondi, G., Oo, C.W., Pizzi, A., Trosa, A., & Thevenon, M. F. (2009). Metal adsorption of tannin based rigid foams. *Industrial Crops and Products*, 29(2-3): 336-340.
- [11] Pizzi, A. (2019). Tannin-Based Biofoams-A Review. *Journal of Renewable Materials*, 7(16), 474-489.
- [12] Thévenon, M.F., Tondi, G., & Pizzi, A. (2010). Environmentally friendly wood preservative system based on polymerized tannin resin-boric acid for outdoor applications. *Maderas. Ciencia y Tecnologia*, 12(3): 253-257.
- [13] Bariska, M., & Pizzi, A. (1986). The Interaction of Polyflavonoid Tannins with Wood Cell-Walls. *Holzforschung*, 4(5): 299-302.
- [14] Militz, H., & Homan, W. J. (1994). Bioassaying combinations of wood preservatives and tannins with *poria placenta* and *aspergillus niger*. *Holz. als Roh Werkst*, 52(1): 28-32.
- [15] Ahmadi, ح., Efhamisisi, D., Thevenon, M., Zare Hosseinabadi, H., Oladi, R., & Gerard, J. (2022). Improvement of physical and mechanical properties of sugarcane bagasse particle board by bagasse treatment with tannin/furfural complex. In : Proceedings of 11èmes Journées Scientifiques du GDR3544 Sciences du bois. Nov. 16-18, Nice, France, pp. 46-50.
- [16] Shirmohammadli, Y., Payam Moradpour, P., Abdulkhani, A., Efhamisisi, D., & Pizzi, A. (2019). Water resistance improvement by polyethyleneimine of tannin-furfuryl alcohol adhesives. *International Wood Products Journal*, 10(1): 16-21.
- [17] Shirmohammadli, Y., Efhamisisi, D., & Pizzi, A. (2019). Tannins as a sustainable raw material for green chemistry: A review. *Industrial Crops and Products*, 126(1): 316-332.
- [18] Bajia, S., Sharma, R., & Bajia, B. (2009). Solid-state microwave synthesis of melamine-formaldehyde resin. *Journal of Chemistry*, 6(1): 120-124.
- [19]. Walsh-korb, Z., & Averous, L. (2019). Recent developments in the conservation of materials properties of historical wood. *Progress in Material Science*, 102: 167-221.
- [20] Ahmadi, P., Efhamisisi, D., Pourtahmasi, K., & Izadyar; S. (2019). The investigation of physico-mechanical characteristics of poplar wood impregnated with melamine formaldehyde resin. *Journal of Forest and Wood Products*, 72(3): 249-261. (In Persian)
- [21] Theis, M., & Grohe, B. (2002). Biodegradable lightweight construction boards based on tannin/hexamine bonded hemp shaves. *Holz Roh Werkst*, 60(4): 291-296.
- [22] Efhamisisi, D., Thevenon, M.F., Hamzeh, Y., Pizzi, A., Karimi, A.N., & Pourtahmasi, K. (2015). Acceleration of self-compacting reactions of cobraco tannin wood glue with boric acid. *Journal of Forest and Wood Products*, 68(1): 149-160. (In Persian)

- [23] Tondi, G., Thevenon, M.F., Mies, B., Standfest, G., Petutschnigg, A., & Wieland, S. (2013). Impregnation of Scots pine and beech with tannin solutions: effect of viscosity and wood anatomy in wood infiltration. *Wood Science and Technology*, 47: 615-626.
- [24] Tondi, G. (2019). Effect of hardening parameters of wood preservatives based on tannin copolymers. *Holzforschung*, 73(5): 457-4.
- [25] Efhamisisi, D., Thevenon, M.F., Hamzeh, Y., Karimi, A.N., Pizzi, A., & Pourtahmasi, K. (2016). Induced tannin adhesive by boric acid addition and its effect on bonding quality and biological performance of poplar plywood. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(5): 2734-2740.
- [26] Efhamisisi, D., Thevenon, M.F., Hamzeh, Y., Pizzi, A., Karimi, A.N., & Pourtahmasi, K. (2017). Tannin-boron complex as a preservative for 3-ply beech plywoods designed for humid conditions. *Holzforschung*, 71(9): 249-258.
- [27] Sauguet, A., Zhou, X., & Pizzi, A. (2014). Tannin-Resorcinol-Formaldehyde Resin and Flax Fiber Biocomposites. Scrivener Publishing LLC, *Journal of Renewable Materials*, 2(3): 173-181.
- [28] NF X 41-568. AFNOR. (2010). Wood preservatives laboratory method for obtaining samples for analysis to measure losses by leaching into water or synthetic seawater.
- [29] Karimi, Z. (2020). Systematic study of the wood anatomy of some species of the Fagaceae family with an ecological interpretation. *Rostaniha*, 21(1): 1-13.
- [30] Tondi, G., Schnabel, T., Wieland, S., & Petutschnigg, A. (2013). Surface properties of tannin treated wood during natural and artificial weathering. *International Wood Products Journal*, 4(3): 150-157.
- [31] Ahmadi, p., Efhamisisi, D., Thevenon, M., Zare Hosseinabadi, H., Oladi, R., & Gerard, J. (2022). The properties of natural tannin-furfural resin applied to Poplar wood modification. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 29(2): 1-20. (In Persian)
- [32] Deka, M., Gindl, W., Wimmer, R., & Christian, H. (2007). Chemical modification of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst) wood with melamine formaldehyde resin. *Indian Journal of Chemical Technology*, 14(2): 134-138.
- [33] Hazarika, A., Deka, B.K., & Maji, T.K. (2015). Melamine-formaldehyde acrylamide and gum polymer impregnated wood polymer nanocomposite. *Journal of Bionic Engineering*, 12(2): 304-315.
- [34] Kielmann, B. C., Militz, H., & Mai, C. (2016). The effect of combined melamine resin colouring agent modification on water-related properties of beech wood. *Wood Res Slovaka*, 61(1): 1-12.
- [35] Tondi, G., Wieland, S., Wimmer, T., Thevenon, M.F., Pizzi, A., & Petutschnigg, A. (2012). Tannin-boron preservatives for wood buildings: mechanical and fire properties. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(5): 689-696.
- [36] Gindl, W., & Gupta, H. S. (2002). Cell-wall hardness and Young's modulus of melamine-modified spruce wood by nano-indentation, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33(8): 1141-1145.
- [37] Talaei, A., Mahmoudi, T., & Abdolzadeh, H. (2021). Study on thermal behavior and contact angle of Furfurylated poplar wood-polymer. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 27(4): 19-23. (In Persian)