Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Wood and Forest Science and Technology

Print ISSN: 2322-2077
Online ISSN: 2322-2786

Effect of heat treatment with epoxidized soybean oil on mechanical properties of densified Poplar wood

Maryam Ghasemi[1], Foroogh Dastoorian[*2], Raoofe Abedini[3], Seyed Mojtaba Amininasab[4]

1. M.Sc. Student, Dept. of Wood and Cellulosic Products Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. E-mail: mary.ghasemi6973@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Wood and Cellulosic Products Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. E-mail: f.dastoorian@sanru.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Wood and Cellulosic Products Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. E-mail: abedini_rf@yahoo.com
4. Associate Prof., Dept. of Chemistry, Faculty of Basic Sciences, Kordestan University, Sanandaj, Iran. E-mail: m.amininasab@uok.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 01.18.2023
Revised: 07.04.2023
Accepted: 07.06.2023

Keywords:
Cultivated wood,
Densification,
Flexural strength,
Impact strength

ABSTRACT

Background and Objectives: Densification serves as a mechanical modification method aimed at enhancing the mechanical properties of cultivated fast-growing woods. However, a common challenge associated with densified wood is the reduced recovery of its initial form. Heat treatment has been widely adopted as a solution, but it often results in a decrease in mechanical properties. An alternative approach involves heat treatment with plant-functionalized oil, where the functional groups of the oil react with the hydroxyl groups in the wood. The objective of the current study was to address the loss of mechanical properties by combining densification and heat treatment using epoxidized soybean oil.

Materials and Methods: In the current study, fast-grown poplar wood underwent impregnation with both raw and epoxidized soybean oil, followed by densification to a compression set of 30 percent. Subsequently, the oil-impregnated and densified samples were subjected to heat treatment in an oven at 180 °C for a duration of four hours. The aim was to comparatively investigate the mechanical properties of both the densified and non-densified samples, which were impregnated with either raw or epoxidized oil.

Results: The calculation of oil uptake values for both raw and epoxidized soybean oil in both densified and non-densified samples revealed that the non-densified sample exhibited nearly twice the uptake of epoxidized oil compared to the raw oil. This can be attributed to the higher polarity and enhanced penetrating ability of the epoxidized oil. Densification resulted in a significant reduction of oil content in both cases; however, the densified sample treated with epoxidized oil exhibited higher oil uptake compared to the raw oil. The analysis of mechanical properties indicated that heat treatment with raw oil caused a 97 percent loss in flexural strength, while heat treatment with epoxidized oil resulted in a 7 percent loss. Additionally, heat treatment of densified wood using raw and epoxidized oil led to a 96 percent and 20 percent decrease in hardness values, respectively, compared to the non-heat-treated samples. Moreover, heat treatment of densified wood in the presence of epoxidized oil resulted in decreased flexibility and impact strength.

Conclusion: Impregnating wood with epoxidized oil, due to its permeation into the cell wall, resulted in a significant reduction in flexural strength and hardness. However, subsequent densification further increased these strengths. Heat treatment of the epoxidized oil-impregnated samples after densification resulted in a lesser decrease in flexural strength and hardness compared to samples impregnated with raw oil. However, this effect was not observed in terms of impact strength. In general, heat treatment in epoxidized soybean oil can be considered an effective method for reducing the spring back and water absorption of densified wood. This treatment also contributes to a lesser decrease in mechanical strength. Therefore, it can be recommended as an effective approach for mitigating these effects on densified wood.

Cite this article: Ghasemi, Maryam, Dastoorian, Foroogh, Abedini, Raoofe, Amininasab, Seyed Mojtaba. 2023. Effect of heat treatment with epoxidized soybean oil on mechanical properties of densified Poplar wood. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 30 (2), 125-137.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JWFST.2023.20986.2005
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸٦

اثر اصلاح تلفیقی گرمایی/فشرده‌سازی بر خواص مکانیکی چوب صنوبر اشباع‌شده با روغن سویای اپوکسی‌دار

مریم قاسمی[۱]، فروغ دستوریان[*۲]، رئوفه عابدینی[۳]، سید مجتبی امینی‌نسب[٤]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: mary.ghasemi6973@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: f.dastoorian@sanru.ac.ir

۳. استادیار گروه مهندسی چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: abedini_rf@yahoo.com

٤. دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: m.amininasab@uok.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۱۰/۲۸
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۲/۰٤/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۰٤/۱۵

واژه‌های کلیدی:
چوب زراعی،
فشرده‌سازی،
مقاومت به ضربه،
مقاومت خمشی

چکیده

سابقه و هدف: فشرده‌سازی یک روش اصلاح مکانیکی برای بهبود خواص مکانیکی چوب‌های زراعی تندرشد محسوب می‌شود. یک راهکار متداول برای غلبه بر مشکل بازگشت فشردگی چوب‌های فشرده، اصلاح گرمایی است که افت خواص مکانیکی را به همراه دارد. اصلاح گرمایی با روغن‌های گیاهی عامل‌دار به دلیل واکنش گروه‌های عاملی روغن با گروه‌های هیدروکسیل چوب موجب بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چوب می‌شود. هدف از پژوهش حاضر، جبران افت خواص مکانیکی ناشی از اصلاح گرمایی، با تلفیق فشرده‌سازی و اصلاح گرمایی در روغن سویای اپوکسی‌دارشده بود.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر چوب تندرشد و زراعی صنوبر با روغن سویای خام و اپوکسی‌دارشده اشباع شد و سپس چوب اشباع‌شده به میزان ۳۰ درصد فشرده شد. چوب فشرده‌شده حاوی روغن، در آون در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤ ساعت اصلاح گرمایی شد و خواص مکانیکی چوب‌های فشرده و فشرده نشده اشباع‌شده با هر دو روغن خام و اپوکسی‌دارشده مورد بررسی مقایسه‌ای قرار گرفت.

یافته‌ها: محاسبه مقادیر جذب روغن سویای خام و اپوکسی در نمونه‌های غیرفشرده و فشرده نشان داد در نمونه فشرده نشده روغن اپوکسی به دلیل قطبیت بیش‌تر و قابلیت نفوذ به دیواره سلولی از جذب تقریباً دو برابری نسبت به روغن خام برخوردار بود. فشرده‌سازی منجر به

خروج قابل‌ملاحظه روغن در هر دو سطح گردید که باز هم روغن اپوکسی‌دارشده در نمونه فشرده از جذب بیش‌تری برخوردار بود. نتایج خواص مکانیکی نشان داد اصلاح گرمایی در نمونه فشرده اشباع‌شده با روغن خام و اپوکسی‌دار شده به ترتیب به افت ۹۷ و ۷ درصدی مقاومت خمشی منجر شد. اصلاح گرمایی در نمونه فشرده اشباع‌شده با روغن خام و اپوکسی‌دارشده به ترتیب موجب کاهش ۹۶ درصدی و ۲۰ درصدی سختی نسبت به نمونه‌های اصلاح گرمایی‌نشده گردید. اصلاح گرمایی در نمونه فشرده اشباع‌شده با روغن اپوکسی‌دارشده، موجب کاهش انعطاف‌پذیری و کاهش مقاومت به ضربه گردید.

نتیجه‌گیری: اشباع چوب با روغن اپوکسی‌دارشده به دلیل قابلیت نفوذ به دیواره موجب افت قابل‌ملاحظه مقاومت خمشی و سختی گردید ولی فشرده‌سازی موجب افزایش این مقاومت‌ها گردید. اصلاح گرمایی پس از فشرده‌سازی در نمونه‌هایی که با روغن اپوکسی‌دارشده اشباع‌شده بودند موجب افت کم‌تر مقاومت خمشی و سختی، در مقایسه با نمونه‌های اشباع‌شده با روغن خام شد؛ که البته این اثر در مورد مقاومت به ضربه مشهود نبود. به‌طورکلی می‌توان روش اصلاح گرمایی در روغن اپوکسی‌دارشده را به‌عنوان روشی مؤثر برای کاهش بازگشت فشردگی و جذب آب چوب‌های فشرده، که به افت کم‌تر مقاومت‌های مکانیکی می‌انجامد، توصیه کرد.

استناد: قاسمی، مریم، دستوریان، فروغ، عابدینی، رئوفه، امینی‌نسب، سید مجتبی (۱۴۰۲). اثر اصلاح تلفیقی گرمایی/فشرده‌سازی بر خواص مکانیکی چوب صنوبر اشباع‌شده با روغن سویای اپوکسی‌دار. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۳۰ (۲)، ۱۳۷-۱۲۵.
DOI: 10.22069/JWFST.2023.20986.2005

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

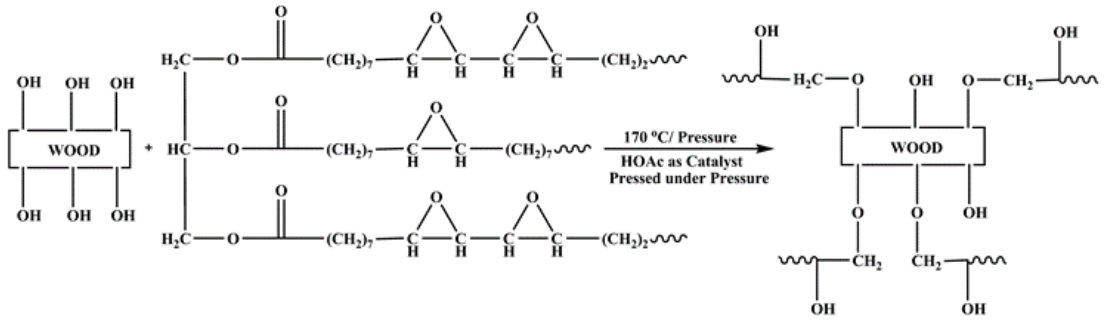
مقدمه

برداشت بی‌رویه از جنگل‌های ایران و کمبود منابع تأمین چوب از یک‌سو و تمایل به استفاده روزافزون از آن به‌عنوان مصالح سازه‌ای از سوی دیگر، استفاده از گونه‌های زراعی تندرشد و سازگار با تغییرات اقلیم و اصلاح خواص فیزیکی و مکانیکی آن‌ها را به امری اجتناب‌ناپذیر تبدیل کرده است. فشرده‌سازی یک روش اصلاح مکانیکی برای افزایش دانسیته و بهبود خواص مکانیکی چوب‌های سبک و توسعه محصولاتی با ارزش افزوده پایدار محسوب می‌شود (۱).

یک مشکل اساسی چوب‌های فشرده‌شده، بازگشت ضخامت آن پس از حذف بار و اثر حافظه شکلی آن است که با آزاد شدن تنش‌های داخلی ایجاد شده در سلول‌های چوبی حین فشردگی ارتباط دارد. اصلاح گرمایی پس از فشرده‌سازی به دلیل تخریب همی‌سلولز (۲ و ۳) و متعاقباً کاهش خاصیت آب‌دوستی و نیز به دلیل بازآرایی اتصالات عرضی بین میکروفیبریل‌ها و اجزای پلیمری دیواره سلولی (٤) موجب آزادسازی تنش‌های داخلی و کاهش بازگشت فشردگی می‌شود ولی افت خواص مکانیکی را به همراه دارد (۵). اصلاح گرمایی با روغن‌های گیاهی عامل‌دار به دلیل واکنش گروه‌های عاملی روغن با گروه‌های هیدروکسیل چوب موجب بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چوب می‌شود (٦ و ۷).

روغن سویا یکی از مهم‌ترین روغن‌های گیاهی در سطح جهان است که به دلیل دارا بودن پیوندهای دوگانه از قابلیت اپوکسی‌دار شدن برخوردار است (۸). روغن سویای اپوکسی قابلیت واکنش و برقراری پیوند شیمیایی با گروه‌های هیدروکسیل چوب را دارد (شکل ۱).

تلفیق فشرده‌سازی با اصلاح گرمایی در روغن عامل‌دار علاوه بر این‌که به کاهش بازگشت فشردگی چوب فشرده‌شده منتهی می‌شود (۹)، به دلیل واکنش روغن با گروه‌های عاملی چوب (شکل ۱)، احتمالاً می‌تواند افت خواص مکانیکی متعاقب اصلاح گرمایی را جبران کند.



شکل ۱- واکنش روغن سویای اپوکسی با چوب (۹).

Figure 1. Reaction of epoxidized soybean oil with wood (9).

اسدی خرم‌آبادی و همکاران (۲۰۱٤) از روغن سویای عامل‌دار شده با انیدریدمالئیک برای اصلاح گرمایی گونه راش با هدف بهبود خواص مکانیکی استفاده کردند (٦). آن‌ها دریافتند که اصلاح گرمایی در دمای بالاتر از ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به علت حذف همی‌سلولزها موجب کاهش جذب آب و واکشیدگی حجمی و بهبود مقاومت به ضربه، فشار موازی الیاف، مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته

نسبت به نمونه‌های شاهد می‌شود. آنها همچنین گزارش کردند با افزایش زمان اصلاح به‌ویژه در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به علت تخریب ساختار چوب، مقاومت‌ها کاهش یافت اما در مقایسه با نمونه شاهد، خواص فیزیکی و مکانیکی بعد از اصلاح گرمایی با روغن‌های عامل‌دار افزایش یافت.

قاسمی و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی مقایسه‌ای اصلاح گرمایی با روغن اپوکسی‌دارشده و روغن خام بر بازگشت فشردگی چوب صنوبر پرداختند (۹). آن‌ها گزارش کردند اثر اصلاح گرمایی با روغن اپوکسی‌دارشده بر کاهش بازگشت فشردگی بیش‌تر از اصلاح گرمایی با روغن خام بود. علت این امر به برقراری پیوندهای اتری بین گروه‌های هیدروکسیل چوب و گروه‌های اپوکسی روغن نسبت داده شد.

Jebran و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش‌های خود دریافتند که نمونه‌های کاج اسکاتلندی اشباع‌شده با روغن بزرک اپوکسی‌دارشده از ثبات ابعادی بالاتر و جذب رطوبت کم‌تر نسبت به روغن خام برخوردار بودند؛ اما مقاومت خمشی نمونه‌های اشباع‌شده با روغن اپوکسی‌دارشده در حدود ۲۰ درصد کاهش پیدا کرد که علت این امر به تخریب اسیدی کربوهیدرات‌ها نسبت داده شد (۱۰).

Demirel و همکاران (۲۰۱٦) از روغن بزرک و سویای اپوکسی‌دارشده با کاتالیزور اسید بوریک برای اشباع چوب استفاده کردند. براساس نتایج، نمونه‌های اشباع‌شده با روغن خام از مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و مقاومت فشار موازی الیاف بیش‌تری نسبت به نمونه شاهد برخوردار بودند درحالی‌که نمونه‌های اشباع‌شده با روغن اپوکسی‌دارشده مقاومت کم‌تری نسبت به نمونه شاهد داشتند و علت این امر به تغییر ساختار شیمیایی چوب نسبت داده شد (۱۱).

تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه اصلاح گرمایی و مکانیکی چوب‌های گونه‌های مختلف قبل و پس از فشرده‌سازی بر بازگشت فشردگی و خواص مکانیکی چوب‌های فشرده انجام شده است، ولی پژوهشی در زمینه تأثیر اصلاح گرمایی با روغن عامل‌دار بر خواص مکانیکی چوب فشرده گزارش نشده است.

در پژوهش حاضر تأثیر اصلاح گرمایی نمونه‌های چوب تندرشد و زراعی صنوبر با روغن سویای خام و اپوکسی‌دارشده، پس از فشرده‌سازی، بر ویژگی‌های مکانیکی مورد بررسی مقایسه‌ای قرار گرفت. با توجه به این‌که هدف استفاده از روغن اپوکسی‌دارشده، برقراری واکنش بین گروه‌های عاملی روغن و چوب بود و فشردگی سلول‌های سطحی اجازه نفوذ روغن به داخل چوب را نمی‌داد، نمونه‌های چوبی پیش از فشرده‌سازی با روغن اشباع شدند و از حضور روغن در دیواره یا حفره سلولی، پس از فشرده‌سازی، به‌عنوان محیط واسطه برای انتقال حرارت در اصلاح گرمایی بهره گرفته شد.

مواد و روش‌ها

مواد: الوار صنوبر از یک پایه درخت (جنگل آموزشی دارابکلا – شهرستان ساری) تهیه شد. الوار پس از هوا خشک شدن، به ابعاد موردنظر بر اساس استاندارد برش داده شدند. روغن سویای خام و اپوکسی با ویسکوزیته به ترتیب ٤٥ و ۳۲۳ سانتی پواز (در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، از شرکت فناوران شیمی سپاهان واقع در اصفهان تهیه شد. مقدار گروه‌های اپوکسی روغن عامل‌دار طبق استاندارد AOCS، اندازه‌گیری شد (۱۲) و مقدار میانگین گروه‌های اپوکسی ٦/۸ درصد وزنی به‌دست آمد. از اسید استیک (شرکت دکتر مجللی) به‌عنوان کاتالیزور برای روغن سویای اپوکسی استفاده شد.

روش‌ها: اشباع نمونه‌ها با روغن سویای خام و اپوکسی در یک سیلندر نیمه‌صنعتی در فشار ٤ بار به‌مدت ۲ ساعت انجام شد. برای سطح اشباع با روغن

اپوکسی، از مخلوط روغن و اسید استیک با نسبت وزنی ۷:۳ استفاده شد. بعد از اشباع با روغن خام و عامل‌دار، نمونه‌ها در یک قاب چوبی متناسب با ابعاد نمونه قرار گرفته و در فشار ٦۰ بار و دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در پرس نیمه‌صنعتی هیدرولیک به میزان ۳۰ درصد، در جهت شعاعی، فشرده شدند. بعد شعاعی اولیه نمونه‌ها (R_1)، پیش از فشرده‌سازی (بر حسب میلی‌متر) مطابق رابطه ۱ محاسبه شد.

$$CR = \frac{R1 - R2}{R1} \qquad (۱)$$

که، R_2 بعد شعاعی نمونه موردنظر مطابق استاندارد هر آزمون (میلی‌متر) و CR میزان فشردگی است که در این پژوهش ۰/۳ در نظر گرفته شد.

سپس نمونه‌های فشرده با فویل آلومینیومی پیچانده شده و در یک آون آزمایشگاهی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤ ساعت حرارت‌دهی شدند.

برای محاسبه میزان جذب روغن (U) در نمونه‌های فشرده‌شده و فشرده‌نشده از رابطه ۲ استفاده شد که M_1 وزن نمونه بعد از اشباع (کیلوگرم)، M_0 وزن نمونه قبل از اشباع (کیلوگرم) و V حجم نمونه (مترمکعب) می‌باشد.

$$U = \frac{M_1 - M_0}{V} \times 100 \qquad (۲)$$

آزمون ضربه: برای آزمون ضربه نمونه‌ها به ابعاد ۲۸۰*۲۰*۲۰ میلی‌متر (R*T*L) برش زده شدند. برای اندازه‌گیری مقاومت به ضربه از دستگاه آزمون ضربه نوع پاندولی SANTAM SIT-100 مطابق استاندارد ASTM-D143 استفاده شد (۱۳).

آزمون خمش: برای انجام آزمون خمش نمونه‌ها به ابعاد ٤۱۰*۲۵*۲۵ میلی‌متر (R*T*L) برش داده شدند. بعد از اعمال اشباع و فشرده‌سازی آزمون خمش مطابق استاندارد ASTM-D143 توسط دستگاه SANTAM-STM-20 با سرعت بارگذاری ۱/۳ mm/min انجام شد (۱۳).

آزمون سختی: با توجه به این‌که یک کاربرد مهم چوب‌های فشرده برای کفپوش چوبی است، برای انجام آزمون سختی، از استاندارد EN 1534 که مختص اندازه‌گیری سختی کفپوش‌های چوبی به روش برینل است، استفاده گردید (١٤). نمونه‌هایی به ابعاد ۵۰*۵۰*۲۵ میلی‌متر (T*L*R) تهیه شد و نیرویی معادل ۱۰۰۰ نیوتن بر روی سطح مماسی اعمال گردید. مقدار سختی برینل (HB) بر حسب مگاپاسکال مطابق رابطه ۳ محاسبه شد که F نیرو (نیوتن)، D قطر گوی (میلی‌متر) و d قطر نیمکره ایجاد شده در سطح پس از حذف بار (میلی‌متر) می‌باشد. قطر نیمکره (d) پس از سه دقیقه حذف بار و با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و مقدار آن به‌دلیل بازگشت فنری الاستیک پس از حذف بار، کم‌تر از قطر گوی (D) است.

$$HB = \frac{2F}{\Pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}} \qquad (۳)$$

تجزیه‌وتحلیل آماری: تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد. از آزمون کولموگروف اسمیرنف One sample Kolmogorov–Smirnov برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و از گروه‌بندی دانکن نیز در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد. در جدول ۱ سطوح تیمار و کدهای تعریف‌شده برای هر سطح نشان داده شده است. برای هر آزمون پنج تکرار در نظر گرفته شد.

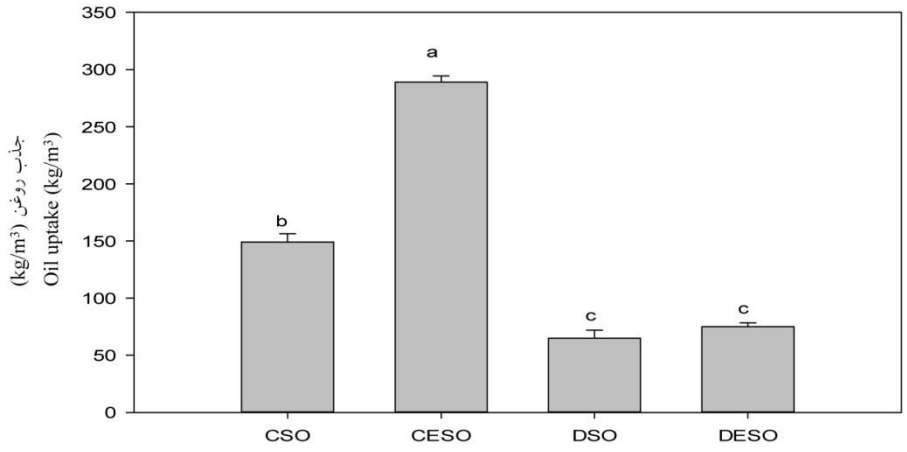
جدول ۱- سطوح تیمار و کدهای تعریف‌شده برای هر سطح.

Table 1. Treatment levels and defined codes for each level.

ردیف Row	سطح تیمار Treatment level	کد Code
1	شاهد control	C
2	شاهد اشباع‌شده با روغن سویا خام Control impregnated with raw soybean oil	CSO
3	شاهد اشباع‌شده با روغن سویای اپوکسی‌دار شده Control impregnated with epoxidized soybean oil	CESO
4	نمونه اشباع‌شده با روغن سویا خام و فشرده‌شده Impregnated sample with raw soybean oil and densified	DSO
5	نمونه اشباع‌شده با روغن اپوکسی و فشرده‌شده Impregnated sample with epoxidized soybean oil and densified	DESO
6	نمونه اشباع‌شده با روغن خام و فشرده‌شده و اصلاح گرمایی شده Impregnated sample with raw soybean oil and densified and heat treated	DSO-HT
7	نمونه اشباع‌شده با روغن اپوکسی و فشرده‌شده و اصلاح گرمایی شده Impregnated sample with epoxidized soybean oil and densified and heat treated	DESO-HT

نتایج و بحث

جذب روغن: شکل ۲ مقادیر جذب روغن سویای خام و اپوکسی را در نمونه‌های غیرفشرده و فشرده نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در نمونه فشرده نشده روغن اپوکسی از جذب بسیار بالا (تقریباً دو برابر) نسبت به روغن خام برخوردار است. روغن اپوکسی به دلیل قطبیت بیش‌تر و قابلیت نفوذ به دیواره سلولی، جذب بیش‌تری نسبت به روغن خام داشت و فشرده‌سازی منجر به خروج قابل‌ملاحظه روغن در هر دو سطح گردید.



شکل ۲- مقادیر جذب روغن نمونه‌های فشرده و فشرده نشده اشباع‌شده با روغن خام و اپوکسی.

Figure 2. Oil uptake values of densified samples impregnated with raw soybean oil and epoxidized soybean oil.

آزمون مقاومت خمشی: در شکل ۳ مقادیر مدول گسیختگی (MOR) و مدول خمشی (MOE) نمونه‌های شاهد و فشرده نشان داده شده است. نتایج تجزیه‌وتحلیل آماری نشان داد بین مقادیر میانگین مدول گسیختگی و مدول خمشی اختلاف معنادار وجود دارد (به‌ترتیب P value=۰/۰۰ و P value=۰/۰۰). در بین نمونه‌های فشرده نشده، بیش‌ترین مقدار مدول گسیختگی مربوط به نمونه اشباع‌شده با روغن خام بود و اشباع با روغن اپوکسی به افت قابل‌ملاحظه مقاومت خمشی منجر شد. روغن اپوکسی به دلیل دارا بودن گروه‌های عاملی اپوکسی از قابلیت نفوذ به دیواره سلولی برخوردار است و با ایجاد فاصله بین میکروفیبریل‌های سلولزی، موجب افت مقاومت و مدول خمشی می‌گردد.

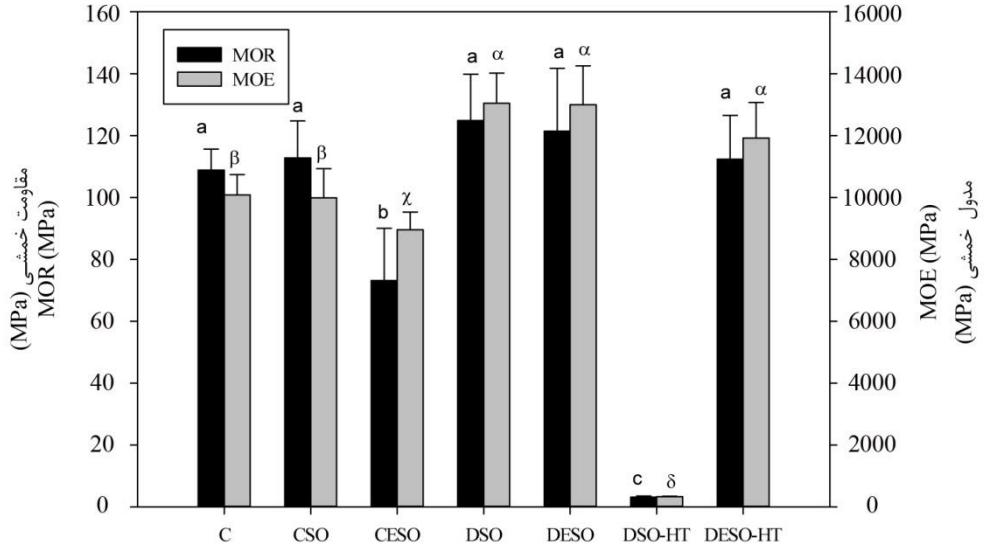
Demirel و همکاران (۲۰۱۶) (۱۱) و نیز Jebran و همکاران (۲۰۱۵) (۱۰) گزارش کردند که نمونه‌های اشباع‌شده با روغن خام از MOE و MOR بیش‌تری نسبت به نمونه شاهد برخوردار بودند؛ درحالی‌که نمونه‌های اشباع‌شده با روغن اپوکسی از مقاومت کم‌تری نسبت به نمونه شاهد برخوردار بودند. علت این امر به تغییر ساختار شیمیایی دیواره سلولی چوب در اثر نفوذ روغن اپوکسی نسبت داده شد.

در شکل ۳ مشاهده می‌شود که به‌طورکلی فشردگی، به دلیل افزایش دانسیته و کاهش خلل و فرج چوب، به‌استثنای نمونه DSO-HT، باعث افزایش مقاومت خمشی نسبت به نمونه‌های فشرده نشده گردید. در بین نمونه‌های فشرده، بیش‌ترین مقدار مقاومت خمشی مربوط به نمونه اشباع‌شده با روغن خام بود و در نمونه فشرده اشباع‌شده با روغن اپوکسی به دلیل نفوذ روغن به ساختار دیواره سلولی، اندکی افت در مقاومت خمشی مشاهده گردید.

اصلاح گرمایی در نمونه اشباع‌شده با روغن خام به افت ۹۷ درصدی مقاومت خمشی نسبت به نمونه شاهد و نمونه فشرده اشباع‌شده با روغن خام منجر گردید ولی نکته قابل‌توجه افت تنها ۷ درصدی مقاومت خمشی در اثر اصلاح گرمایی در نمونه فشرده اشباع‌شده با روغن اپوکسی بود. در نمونه‌های فشرده نشده، اشباع با روغن خام موجب افزایش مدول و اشباع با روغن اپوکسی موجب افت قابل‌ملاحظه مدول خمشی گردید. در سطوح فشرده نیز بیش‌ترین میزان مدول خمشی متعلق به نمونه‌های اشباع‌شده با روغن خام و روغن اپوکسی بود. اصلاح گرمایی به افت ۹۷ درصدی مدول خمشی در نمونه اشباع‌شده با روغن خام نسبت به نمونه DSO و افت ۸ درصدی مدول خمشی در نمونه اشباع‌شده با روغن اپوکسی منجر گردید.

در نمونه‌های اشباع‌شده با روغن خام، اصلاح گرمایی به‌دلیل تخریب شدید کربوهیدرات‌ها و لیگنین به افت قابل‌ملاحظه مقاومت و مدول خمشی منجر گردید. در نمونه‌های اشباع‌شده با روغن اپوکسی، حین فشرده‌سازی، در اثر دمای پرس برخی حلقه‌های اکسیران موجود در سطح باز شده و با گروه‌های هیدروکسیل چوب پیوند اتری برقرار می‌کنند، ولی دمای بالای اصلاح گرمایی در زمان طولانی‌تر به افزایش شدت تشکیل این پیوند (۹) و در نتیجه افت ناچیز مقاومت و مدول خمشی در اثر اصلاح گرمایی منجر می‌شود.

Avila و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند که فشرده‌سازی به‌دلیل افزایش دانسیته، به افزایش مقاومت و مدول خمشی منجر شده است و اصلاح گرمایی منجر به کاهش مقاومت خمشی گردید؛ هر چند مقاومت خمشی نمونه فشرده اصلاح گرمایی شده هم‌چنان بیش‌تر از نمونه فشرده نشده بود. آن‌ها گزارش کردند اصلاح گرمایی تأثیری بر مدول خمشی نداشته است (۱۵).

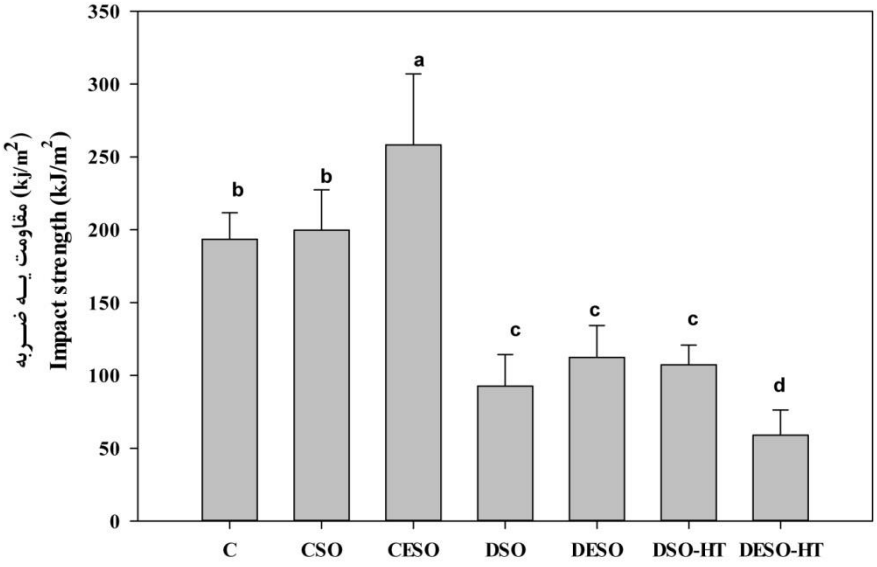


شکل ۳- مقادیر میانگین مدول گسیختگی (MOR) و مدول الاستیسیته (MOE) نمونه‌های شاهد و فشرده‌شده.

Figure 3. Average values of modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) for control and densified samples.

آزمون مقاومت به ضربه: در شکل ٤ مقادیر مقاومت به ضربه نمونه‌های شاهد و فشرده نشان داده شده است. تجزیه‌وتحلیل آماری نشان داد که بین مقادیر میانگین مقاومت به ضربه در سطوح مختلف تفاوت معناداری وجود دارد (P value=۰/۰۰). بیش‌ترین مقادیر مقاومت به ضربه در بین نمونه‌های فشرده نشده مربوط به نمونه شاهد اشباع‌شده با روغن اپوکسی بود و بین مقادیر مقاومت به ضربه نمونه‌های شاهد و شاهد اشباع‌شده با روغن خام اختلاف معناداری به لحاظ آماری وجود نداشت. اشباع چوب با روغن خام، به‌دلیل این‌که روغن خام قادر به نفوذ در دیواره سلولی نمی‌باشد، تأثیری بر تغییر ساختاری دیواره و افزایش انعطاف‌پذیری دیواره نداشت و بنابراین مقاومت به ضربه نمونه اشباع‌شده با روغن خام، مشابه نمونه شاهد بود ولی اشباع با روغن اپوکسی به دلیل قابلیت نفوذ روغن به دیواره سلولی و قرار گرفتن زنجیره‌های طویل روغن بین میکروفیبریل‌های سلولزی موجب تضعیف پیوند بین اجزای دیواره سلولی و افزایش انعطاف‌پذیری و درنتیجه افزایش مقاومت به ضربه گردید.

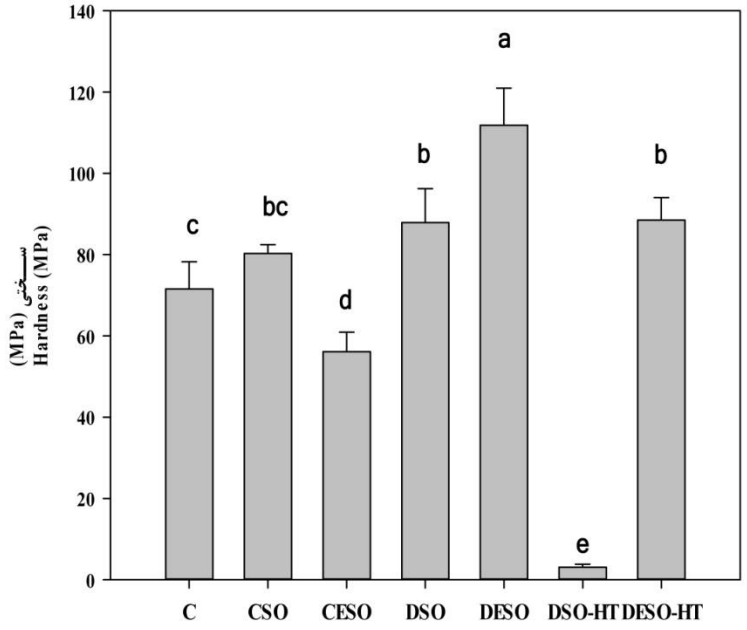
فشرده‌سازی به دلیل حذف خلل و فرج و کاهش انعطاف‌پذیری چوب موجب افزایش خاصیت شکنندگی و درنتیجه موجب افت قابل‌ملاحظه مقاومت به ضربه شد. در بین نمونه‌های فشرده، کم‌ترین مقدار مقاومت به ضربه مربوط به نمونه DESO-HT بود و بین سه سطح فشرده دیگر اختلاف معناداری به لحاظ آماری وجود نداشت. اصلاح گرمایی در نمونه فشرده اشباع‌شده با روغن اپوکسی، به دلیل برقراری اتصالات عرضی (در اثر دمای بالای اصلاح گرمایی و در حضور کاتالیزور)، موجب افزایش صلبیت دیواره سلولی و درنتیجه کاهش انعطاف‌پذیری و متعاقباً کاهش مقاومت به ضربه گردید. Panov و Terziev (۲۰۱۰) گزارش کردند که اشباع با روغن اپوکسی موجب افزایش مقاومت به ضربه شد (١٦).



شکل ٤- مقادیر میانگین مقاومت به ضربه نمونه‌های شاهد و فشرده‌شده.

Figure 4. Average values of impact strength for the control and densified samples.

آزمون سختی: در شکل ٥ مقادیر سختی نمونه‌های شاهد و فشرده نشان داده شده است. نتایج تجزیه‌وتحلیل آماری نشان داد بین مقادیر میانگین سختی در سطوح مختلف، تفاوت معنادار وجود دارد (P value=۰/۰۰). در بین سطوح فشرده نشده، اشباع با روغن اپوکسی به افت قابل‌ملاحظه سختی منجر شد و بین مقادیر سختی نمونه شاهد و نمونه اشباع‌شده با روغن خام تفاوت معناداری وجود نداشت. روغن اپوکسی به دلیل نفوذ به دیواره سلولی و کاهش پیوند بین میکروفیبریل‌های سلولزی موجب افت سختی می‌گردد. به‌طورکلی فشرده‌سازی تنها در سطح اشباع‌شده با روغن اپوکسی موجب افزایش معنادار سختی گردید که از بیش‌ترین مقدار برخوردار بود. علت را می‌توان به این امر نسبت داد که در نمونه اشباع‌شده با روغن اپوکسی، حین فشرده‌سازی و در اثر دمای پرس و در حضور کاتالیزور، گروه‌های اپوکسی روغن با گروه‌های هیدروکسیل چوب پیوند اتری برقرار کرده (۹) و موجب برقراری اتصالات عرضی در سلول‌های موجود در سطح می‌گردند. اصلاح گرمایی در نمونه فشرده اشباع‌شده با روغن خام (DSO-HT) به افت ۹٦ درصدی سختی نسبت به نمونه DSO انجامید؛ درحالی‌که در نمونه اشباع‌شده با روغن اپوکسی به کاهش ۲۰ درصدی سختی نسبت به DESO منجر شد. اصلاح گرمایی به‌دلیل تخریب اجزای سازنده دیواره سلولی مانند همی‌سلولز، بخش آمورف سلولز و لیگنین موجب کاهش سختی می‌شود ولی در نمونه‌های اشباع‌شده با روغن اپوکسی، دمای بالای اصلاح گرمایی، برقراری اتصالات عرضی را تشدید کرده و تا حد زیادی افت سختی ناشی از تخریب اجزای دیواره سلولی را جبران می‌کند. Fang و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که فشرده‌سازی موجب افزایش قابل‌ملاحظه سختی شد و در نمونه‌های اصلاح گرمایی شده با افزایش دما سختی کاهش پیدا کرد (۱۷).



شکل ۵- مقادیر میانگین سختی نمونه‌های شاهد و فشرده‌شده.

Figure 5. Average hardness values of the control and densified samples.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش چوب صنوبر با روغن خام و اپوکسی سویا اشباع و به میزان ۳۰ درصد فشرده گردید و در نهایت در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد اصلاح حرارتی شد.

نتایج جذب روغن نشان‌دهنده این بود که روغن اپوکسی از جذب تقریباً دو برابری نسبت به روغن خام برخوردار بود. نتایج آزمون‌های مکانیکی نشان داد اصلاح گرمایی در نمونه فشرده اشباع‌شده با روغن خام و روغن اپوکسی به ترتیب به افت ۹۷ و ۷ درصدی مقاومت خمشی منجر شد.

فشرده‌سازی تنها در سطح اشباع‌شده با روغن اپوکسی موجب افزایش معنادار سختی گردید که از بیش‌ترین مقدار برخوردار بود. اصلاح گرمایی در نمونه فشرده اشباع‌شده با روغن خام (DSO-HT) به افت ۹۶ درصدی سختی نسبت به نمونه DSO انجامید؛ درحالی‌که در نمونه اشباع‌شده با روغن اپوکسی به کاهش ۲۰ درصدی سختی نسبت به DESO منجر شد.

فشرده‌سازی موجب افزایش خاصیت شکنندگی و درنتیجه موجب افت قابل‌ملاحظه مقاومت به ضربه شد. اصلاح گرمایی در سطح فشرده اشباع‌شده با روغن اپوکسی، به‌دلیل برقراری اتصالات عرضی موجب افزایش صلبیت دیواره سلولی و درنتیجه کاهش انعطاف‌پذیری و متعاقباً کاهش مقاومت به ضربه گردید.

منابع

1. Ulker, O., & Hiziroglu, S. (2017). Some properties of densified eastern red-Cedar as function of heat and treatment. *Materials*. 10 (11), 1275-1289.
2. Dwianto, W., Morooka, T., Norimoto, M., & Kitajima, T. (1999). Stress relaxation of Sugi (Cryptomeria japonica D. Don) wood in radial compression under high-temperature steam. *Holzforschung*. 53, 541-546.
3. Hill, C. A. S. (2006). Wood modification: Chemical, thermal and other processes. Wiley, Series in renewable resources. Wiley and Sons: Chichester, Sussex, 262p.
4. Morsing, N. (2000). Densification of wood: the influence of hygrothermal treatment on compression of beech perpendicular to the grain. PhD Thesis. Technical University of Denmark, Lyngby.
5. Ghorbani, M., Nikkhah Shahmirzadi, A., & Toopa, A. (2020). Effect of densification on the practical properties of chemical and thermal modified poplar wood. *Iranian J. of Wood and Paper Industries*. 11 (2), 185-197. [In Persian]
6. Asadi Khorramabadi, L., Khazaeian, A., Masteri Farahani, M., & Shakeri, A. (2014). Effect of heat treatment with modified soybean oil on mechanical properties of beech wood. *Iranian J. of Wood and Paper Science Research*. 29 (2), 208-219. [In Persian]
7. Tjeerdsma, B. F., Swager, P., Horstman, B., Holleboom, W., & Homan, J. (2005). Process development of treatment of wood with modified hot oil. European Conference on Wood Modification. Göttingen. Germany, Pp: 1-10.
8. Mohammadi, M., Shakeri, A., & Asghari, J. (2012). Epoxidation of Soybean Oil and Canola Oil. *J. of applied chemistry*. 7 (24), 53-62. [In Persian]
9. Ghasemi, M., Dastoorian, F., Abedini, R., & Amininasab, S. M. (2020). Effect of poplar wood impregnation with epoxidized soybean oil on the set recovery, *Iranian J. of Wood and Paper Industries*. 11 (3), 381-394. [In Persian]
10. Jebrane, M., Fernández-Cano, V., Panov, D., Terziev, N., & Daniel, G. (2015). Novel hydrophobization of wood by epoxidized linseed oil. Part 2. Characterization by FTIR spectroscopy and SEM, and determination of mechanical properties and field test performance. *Holzforschung*, 69 (2), 179-186.
11. Demirel, G. K., Temiz, A., Demirel, S., Jebrane, M., Terziev, N., Gezer, E. D., & Ertas, M. (2016). Dimensional stability and mechanical properties of epoxidized vegetable oils as wood preservatives. Second COST Action FP1407 International Conference, Brno, Czech Republic. Pp: 49-50.
12. Firestone, D. (1980). Official Methods and Recommended Practices, AOCS Press, Champaign, Methods Ca 3a-63, Cd 8-53, Cd 1-25, and Cd 9-57.
13. Standard test methods for small clear specimens of timber. Annual Book of ASTM Standard ASTM-D143, 2009.
14. EN 1534. (2000). E. Wood and parquet flooring-Determination of resistance to indentation (Brinell)-Test method. European Standard CEN 2000.
15. Avila, C.B., Escobar, W. G., Cloutier, A., Fang, Ch., & Carrasco, P. V. (2011). Densification of wood veneers combined with oil-heat treatment. Part 3: Cell wall mechanical properties determined by nanoindentation. *Bioresources*. 7 (2), 1525-1532.
16. Terziev, N., & Panov, D. (2010). Plant oils as green substances for wood protection. Ecowood: Minimizing the environmental impact of the forest products industries. Porto, Portugal, Pp: 143-149.
17. Fang, Ch., Cloutier, A., Blanchet, P., & Koubae, A. (2012). Densification of wood veneers combined with oil-heat treatment. Part 2: Hygroscopicity and mechanical properties. *Bioresources*. 6 (1), 925-935.