

Investigating Physical-Mechanical Characteristics and Biological Resistance to Termites *Microcerotermes diversus* Silvestri (Isoptera: Termitidae) of Heat oil-Treated Beech (*Fagus orientalis*) Wood

S. Soruri¹, L. Poursartip^{2*}

1 and 2- Department of Forestry and Cellulose Industry Engineering, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran.

(* - Corresponding author's Email: poursartip@bktu.ac.ir)

How to cite this article:

Received: 28-09-2024

Revised: 30-12-2024

Accepted: 05-01-2025

Available Online: 29-04-2025

Soruri, S., & Poursartip, L. (2025). Investigating physical-mechanical characteristics and biological resistance to termites *Microcerotermes diversus* Silvestri (Isoptera: Termitidae) of heat oil-treated beech (*Fagus orientalis*) wood. *Iranian Plant Protection Research*, 39(1), 1-12. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jpp.2025.89057.1200>

Introduction

The disadvantages such as vulnerability to destructive factors and instability in dimensions create limitations in wood consumption. Various methods for improving wood properties using heat treatments have been utilized, with the basis being the chemical alteration of wood through heat. Treatment with hot oil can enhance undesirable wood properties by ensuring uniform heat penetration throughout the wood structure, limiting oxygen access to reduce fire risk. Environmentally friendly heat treatments use natural and renewable oils without toxic substances. This study aimed to determine changes in biological resistance, physical, and mechanical properties of beech (*Fagus orientalis*) wood samples subjected to hot oil treatment using a warm-cool method, comparing results with control samples.

Materials and Methods

Beech wood specimens were prepared from defect-free air-dried logs, cut to standard dimensions for physical, mechanical, and biological tests. Wood samples were treated with sunflower oil, rapeseed oil, and a mixture of both using a warm-cool method. Tests for water absorption according to ASTM D4446-05 standard, three-point bending test and modulus of elasticity per ASTM D143-94 standard, and impact resistance per ASTM D256-04 standard were conducted. Both selective and non-selective termite feeding tests were performed under controlled laboratory conditions following AWPA-E1:06 2008 standard.

Results and Discussion

Control samples showed the highest weight loss in both tests compared to treated samples, significantly attracting termites. No significant differences in termite feeding percentage were observed among samples treated with different oils. Hot oil treatment significantly increased beech wood density compared to control samples. Samples treated with sunflower oil had significantly higher density than those treated with rapeseed or mixed oils. The increase in density may be attributed to the replacement of air within the cells with oil. The key factor contributing to this phenomenon is the heating of the air inside the wood cells using hot oil, which initially saturates the wood and subsequently creates a vacuum due to cold treatment. The vacuum created and the rapid



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.89057.1200>

contraction of air during cold immersion enhance the suction of oil into the wood cells. A significant difference in volumetric swelling was observed between the control samples and those treated with the mixture of the two oils after two hours of immersion. After 24 hours of immersion in water, the volumetric swelling of the control samples was significantly greater compared to all treated samples. Furthermore, impact resistance decreased following the heat treatment; however, no significant differences in impact resistance reduction were observed among the samples treated with different oils in this experiment. Additionally, the heat treatment did not have a significant effect on flexural strength and modulus of elasticity.

Conclusion

Sunflower oil, rapeseed oil, and their combination significantly influenced beech wood characteristics by reducing termite feeding across all treated woods noticeably. Hot oil treatment altered wood chemistry by degrading hemicellulose and increasing cellulose crystallinity while oils acted as barriers against moisture absorption, enhancing biological resistance in wood. Oil treatment increased beech wood density significantly depending on the density and viscosity of the oils used during treatment. The absorbed oils reduced empty spaces within the wood structure affecting weight and consequently density positively. Blocking moisture reduces the amount of water entering the wood structure, improving dimensional stability. Warm oil treatment significantly affects impact resistance but shows minimal changes in properties like modulus of elasticity and flexural strength compared to control samples. Research results indicate a decrease in mechanical properties of wooden samples at higher temperatures during laboratory testing, intensifying with treatment temperature increase. High temperatures affect cell wall components, potentially damaging materials like hemicelluloses, leading to reduced mechanical strength, especially impact resistance. Lower temperatures have less effect on strength reduction. With a maximum treatment temperature of 130 degrees Celsius considered in this study, which is not high compared to other heat treatments, less significant decreases in mechanical strength were observed, showing no significant difference between control and treated samples. Based on the conducted studies, the treatment of wood with heat-treated oil from rapeseed and sunflower, as well as a mixture of both oils, significantly increases the resistance of beech wood against termite attacks. On the other hand, the results indicate that the heat treatment can control and improve certain physical properties of wood, such as the degree of swelling, while it leads to a reduction in some mechanical resistances of the wood, including impact resistance.

Keywords: Durability, Rapeseed oil, Sunflower oil, Wood modification

بررسی ویژگی‌های فیزیکی - مکانیکی و مقاومت بیولوژیکی نسبت به موربانه

Microcerotermes diversus Silvestri (Isoptera: Termitidae)چوب راش (*Fagus orientalis*) تیمار شده به روش روغن گرماییسپیده سروری^۱ - لادن پورسرتیپ^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶

چکیده

چوب راش (*Fagus orientalis*) که به عنوان یکی از چوب‌های مهم در صنعت سلولزی ایران شناخته شده است، دارای بافتی همگن، درجه سختی بالا و مقاومت متوسط نسبت به عوامل مخرب بیولوژیکی است. این گونه چوبی صنعتی پر کاربرد نیز مانند بسیاری از چوب‌های دیگر، علی‌رغم دارا بودن ویژگی‌های مثبت، دارای ویژگی‌های نامطلوب نیز می‌باشد. مشکلاتی همچون جذب رطوبت و عدم مقاومت کافی در برابر حمله عوامل مخربی مانند موربانه، کاربرد آن را محدود ساخته است و به همین علت در سال‌های گذشته، تلاش برای کاهش معایب چوب افزایش یافته است. اکثر روش‌های حفاظتی چوب بر پایه استفاده از مواد شیمیایی است که باعث ایجاد آلودگی در محیط زیست می‌شوند. در این میان، روش‌های اصلاح حرارتی با استفاده از محیط روغنی به عنوان یک روش کاملاً سبز مورد توجه قرار گرفته‌اند، چرا که روغن‌های مصرفی در این نوع روش اصلاحی، از منابع طبیعی به دست می‌آیند و منجر به ایجاد آلودگی زیست‌محیطی نمی‌شوند. در مطالعه حاضر با استفاده از روغن کلزا، روغن آفتابگردان و مخلوط هر دو روغن به نسبت مساوی، چوب‌های راش در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت شش ساعت و سپس در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت تیمار شدند. سپس از چوب‌های تیمار شده برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی، مکانیکی و مقاومت در برابر موربانه استفاده شد. داده‌های آزمایش با استفاده از آزمون آنالیز واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی و گروه‌بندی میانگین مقادیر آزمایش شده با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT)، به کمک نرم‌افزار SPSS 26، برای ارزیابی تفاوت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مقدار احتمال در این پژوهش برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد ($p < 0/05$). نتایج آزمون فیزیکی نشان داد که میزان هم‌کشیدگی و واکشیدگی در تمام نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه شاهد به میزان معناداری کاهش و چگالی افزایش پیدا کرد. همچنین آزمون‌های حفاظتی نشان‌دهنده کاهش معنادار حملات موربانه به نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه شاهد بود. در آزمون مقاومت به ضربه، نمونه‌های تیمار شده نسبت به شاهد کاهش نشان دادند، اما در مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته، نمونه‌های تیمار شده با شاهد دارای اختلاف معنی‌دار نبودند. هدف این مطالعه، بررسی اثر تیمار روغن-گرمایی به روش گرم-سرد بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و مقاومت بیولوژیک چوب راش نسبت به حمله موربانه *Microcerotermes diversus* Silvestri بود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح چوب، دوام، روغن آفتابگردان، روغن کلزا

مقدمه

چوب به عنوان یک ماده تجدیدپذیر و پر کاربرد از گذشته تاکنون در زندگی بشر شناخته شده است و با توجه به ویژگی‌های منحصر به فردی که از لحاظ ظاهری و کاربردی دارد، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در کنار این ویژگی‌های مطلوب، معایبی همچون آسیب‌پذیری در برابر عوامل مخرب، اشتعال‌پذیری و خاصیت آب‌دوستی و در نتیجه عدم ثبات در ابعاد، باعث ایجاد محدودیت‌هایی در مصرف

۱ و ۲- گروه مهندسی جنگلداری و صنایع سلولزی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص)، بهبهان، ایران

(Email: poursartip@bktu.ac.ir)

*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.89057.1200>

انسان و محیط‌زیست را تهدید می‌کند، تیمارهای اصلاحی چوب که با استفاده از روغن‌های گیاهی انجام می‌شود، هم می‌تواند خواص منفی چوب را بهبود بخشد و هم مخاطرات و مشکلات زیست‌محیطی را کاهش دهد، مشکلاتی که در اثر استفاده از مواد شیمیایی سمی به‌منظور بالا بردن مقاومت بیولوژیکی چوب‌ها می‌باشد.

بدیهی است نوع چوب مورد استفاده در تیمارهای اصلاحی نیز یکی از مشخصه‌های مهم در تعیین نتایج حاصله می‌باشد. برای انجام این مطالعه از چوب درخت راش (*Fagus orientalis*) استفاده شد. درختان راش در سرتاسر جنگل‌های شمال ایران، حوزه دریای خزر و همچنین در مناطقی با ارتفاع ۷۰۰ متر بالاتر از سطح دریا یافت می‌شوند. ارتفاع این گونه به ۳۵ متر و همچنین قطر تنه آن به ۱۵۰ سانتی‌متر می‌رسد (Mozaffarian, 2004). چوب راش که به‌عنوان یکی از چوب‌های مهم در صنعت سلولزی ایران شناخته شده است، دارای بافتی همگن، درجه سختی بالا و مقاومت متوسط نسبت به عوامل بیولوژیکی مخرب است. راش در مجموع چوبی راست‌تار، همگن و خوش‌کار است که این مسئله باعث محبوبیت آن در بخش‌های مختلف صنعت چوب شده است. این گونه چوبی صنعتی پرکاربرد نیز مانند بسیاری از چوب‌های دیگر، علی‌رغم دارا بودن ویژگی‌های مثبت، دارای ویژگی‌های نامطلوب نیز می‌باشد که کاربرد آن را محدود می‌کند. از جمله این محدودیت‌ها، تغییر ابعاد چوب در اثر جذب و دفع رطوبت و آسیب‌پذیری آن نسبت به عوامل مخرب بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی می‌باشد (Poursartip et al., 2019). بنابراین اصلاح ویژگی‌های منفی آن می‌تواند در طولانی مدت صرفه اقتصادی بالایی را به دنبال داشته باشد. آسیب‌پذیری چوب راش نسبت به حشرات مخربی مانند موریه‌ها، شدت نیاز به حفاظت مناسب این گونه برای حداکثر استفاده را نشان می‌دهد. راش به‌دلیل دارا بودن درصد بالاتری از سلولز در مقایسه با لیگنین، گزینه مناسبی برای هجوم موریه به شمار می‌رود (Poursartip et al., 2019). با توجه به موقعیت جغرافیایی استان خوزستان، بسیاری از مناطق این استان میزبان موریه‌های مخربی از جمله گونه *Microcerotermes Diversus Silvestri* و سایر انواع موریه‌های زیرزمینی می‌باشند. حبیب‌پور (Habibpour, 1994) طی مطالعه‌ای، گونه‌های مختلف موریه را در استان خوزستان شناسایی و اعلام کرد که در بین آن‌ها، گونه *M. diversu* در تمام شهرهای استان انتشار دارد و از آنجایی که این گونه به گیاهان چوبی سر پا و چوب‌آلات موجود در منازل حمله می‌کند، از گونه‌های بسیار مهاجم به شمار می‌رود، چرا که دامنه تهاجمی وسیعی دارد، بنابراین حفظ چوب‌آلات ساختمانی یکی از دغدغه‌های مهم در این مناطق به شمار می‌رود. معمولاً برای کنترل و همچنین بالا بردن دوام چوب‌آلات در برابر حملات موریه‌ها، از سموم و مواد شیمیایی استفاده می‌شود (Ayesha et al., 2018). محققان به‌منظور جایگزینی سموم و آفت‌کش‌های

آن می‌گردد (Bazyar, 2012). روش‌های گوناگونی برای اصلاح ویژگی‌های چوب با استفاده از تیمارهای حرارتی همچون حرارت دادن چوب به‌طور مستقیم و بدون واسطه، تیمار حرارتی چوب در انواع روغن‌های گیاهی و شیمیایی، تیمار به‌وسیله بخار آب و روش‌هایی از این قبیل تا به امروز مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Salman et al., 2017). این فرآیندها از جمله تکنیک‌هایی هستند که هدف اصلی آن‌ها، بهبود برخی ویژگی‌های چوب می‌باشد. اساس روش‌های اصلاح گرمایی، تغییر شیمی چوب با استفاده از حرارت است. گرما سبب تغییر و دگرگونی ماهیت شیمیایی مواد سازنده دیواره سلولی می‌گردد و تغییراتی را در ساختار آن‌ها ایجاد می‌کند. این تغییرات بیشتر در همی‌سلولزها و لیگنین رخ می‌دهد و سلولز کمتر از این مسئله تأثیر می‌پذیرد (Ghorbani & Hosseinzadeh, 2015). اصلاح حرارتی چوب منجر به بهبود برخی ویژگی‌های چوب مانند پایداری ابعاد، افزایش مقاومت بیولوژیک، بهبود ویژگی‌های رنگی و کاهش آب‌دوستی چوب می‌گردد (Abedini & Gorji, 2020). با این حال تیمارهای حرارتی ممکن است روی برخی از خصوصیت‌های چوب تأثیر منفی گذاشته و کاربرد آن را محدود نمایند (Ozcan et al., 2012). در بسیاری از موارد، این اصلاح حرارتی با تخریب همراه است و سبب کاهش مقاومت مکانیکی چوب می‌شود. به همین دلیل، ایجاد تعادل بین کاهش جذب آب که یک ویژگی مثبت در چوب محسوب می‌شود و کاهش مقاومت‌های مکانیکی، با توجه به نوع کاربردی که از چوب انتظار می‌رود، بسیار مهم است (Tanaomi et al., 2012). در اصلاح گرمایی برای انتقال حرارت به چوب می‌توان از انواع مختلفی از مواد به‌عنوان ناقل گرما مانند آب، روغن داغ، گازهای بی‌اثر مانند نیتروژن و غیره استفاده نمود. در سال‌های اخیر، استفاده از روغن‌های گیاهی در تیمارهای اصلاحی چوب افزایش یافته است. تیمار با روغن داغ در مقایسه با عملیات حرارتی معمولی می‌تواند خواص نامطلوب چوب را بهبود بخشد. روغن داغ سبب می‌شود که حرارت به‌صورت یکسان به داخل چوب نفوذ کند و در تمام ساختار چوب به‌شکل یکنواخت منتقل شود و از طرفی، دسترسی اکسیژن به چوب محدود می‌گردد تا خطر آتش‌سوزی کاهش یابد (Tanaomi et al., 2012, Tasdelen et al., 2019). در تیمارهای حرارتی، از روغن‌های طبیعی و تجدیدپذیر استفاده می‌شود که به‌دلیل عدم وجود مواد سمی در آن‌ها، دوستدار محیط‌زیست هستند. روغن‌های گیاهی طبیعی یا خام مانند روغن کلزا (*Brassica napus*)، روغن بذر کتان (*Linum usitatissimum*)، روغن آفتابگردان (*Helianthus annuus*)، روغن سویا (*Glycine max*) به‌عنوان یک محیط مناسب برای انتقال حرارت به چوب در تیمارهای روغن گرمایی استفاده می‌شوند و می‌توانند متنوع باشند (Dastoorian et al., 2020). با توجه به افزایش روز افزون استفاده از مواد شیمیایی که سلامت

خاک بخشی از فضای سبز دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان استفاده گردید. پس از گذشت یک ماه و خروج طعمه‌ها از خاک، انتقال چوب‌های آلوده به پوره موربانه‌های *M. diversus* به آزمایشگاه صورت گرفت و پس از جداسازی موربانه‌ها از طعمه به کمک یک قلم موی نرم، به‌منظور رفع تنش، موربانه‌ها درون پتری-دیش‌های محتوی کاغذ صافی واتمن (۴۲) مرطوب، درون ژرمیناتور با دمای 28 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 80 ± 5 درصد در شرایط تاریکی قرار گرفتند.

اصلاح روغن گرمایی (Oil-Heat-Treatment)

بلوک‌های راش جهت اصلاح به‌روش تیمار روغن گرمایی گرم-سرد، درون روغن‌های آفتابگردان، کلزا و مخلوط دو روغن، که با استفاده از دستگاه پرس سرد به‌صورت بکر، از شرکت تولید روغن به آسا، تهیه شده بودند، تیمار شدند. بدین صورت که طبق جدول ۱ نمونه‌ها در شش تکرار، تحت زمان و درجه‌حرارت معین، در قالب‌های حاوی روغن غوطه‌ور شدند. حداکثر دما با توجه به نقطه دود دو روغن آفتابگردان و کلزا انتخاب شد.

جدول ۱- شرایط تیمار روغن-گرمایی گرم و سرد

Table 1- Hot and cold oil-heat treatment conditions

Treatment	Treatment name	Heat treatment temperature (°C)	Heat treatment time (hours)	Cold treatment temperature (°C)	Cold treatment time (hours)
Sunflower	A	130	6	25	2
Rapeseed	B	130	6	25	2
Rapeseed & Sunflower	C	130	6	25	2
Control	SH	-	-	-	-

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

به‌منظور بررسی اثر تیمار روغن گرمایی روی ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های تیمار شده، تعدادی از ویژگی‌های نمونه‌ها مانند درصد واکشیدگی حجمی پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب و چگالی خشک (Do) براساس استاندارد (ISO 13061-2 (2014 محاسبه گردید، ابعاد نمونه‌ها برای بررسی‌های مذکور (شعاعی $\times$ مماسی $\times$ طولی) $20 \times 20 \times 30$ میلی‌متر و تعداد تکرار در هر تیمار هفت عدد در نظر گرفته شد. ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌های شاهد و تیمار شده شامل مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی پس از قرارگیری تحت آزمایش خمش سه نقطه‌ای با استفاده از دستگاه Instron مطابق آیین نامه استاندارد ASTM D 143-09 و آزمون مقاومت به ضربه مطابق آیین نامه D256-04 استاندارد ASTM اندازه‌گیری شد. ابعاد نمونه‌ها $2/5 \times 2/5 \times 41$ سانتی‌متر، تعداد تکرار در هر تیمار هفت عدد و سرعت بارگذاری دستگاه ۱۰ میلی‌متر در دقیقه بود. لازم به توضیح

مرسوم، در حال مطالعه روی مواد جهت جایگزینی هستند، تا هم آسیبی به محیط‌زیست وارد نشود و هم بتواند در مقابل حمله موربانه-ها و اثرات مخرب ناشی از آن، کارایی لازم را داشته باشد (Bignell, 2018).

این مطالعه با هدف تعیین تغییرات مقاومت بیولوژیکی نسبت به موربانه (*M. Diversus*) و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌هایی از چوب راش که تحت تیمار روغن گرمایی به‌روش گرم-سرد، با استفاده از روغن‌های آفتابگردان، کلزا و مخلوط دو روغن، قرار گرفتند و مقایسه نتایج با نمونه شاهد، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

چوب راش مورد نیاز برای انجام این تحقیق، از تنه راست‌تار و فاقد عیب به‌صورت خشک‌شده در هوای آزاد، به‌میزان مورد نظر از کارگاه چوب‌بری واقع در شهر اهواز تهیه و به ابعاد استاندارد برای انجام آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی و بیولوژیکی بریده شد. در مطالعه حاضر از موربانه *M. diversus* استفاده شد و به‌منظور جمع-آوری موربانه‌ها، از روش تله‌گذاری و کاشت طعمه‌های چوبی، در

ابتدا دسته‌بندی بلوک‌ها براساس آزمون‌هایی که از قبل مشخص شده بودند انجام گرفت، سپس وزن خشک نمونه‌ها تعیین شد و نمونه‌ها به تفکیک، درون قالب‌های حاوی روغن‌های آفتابگردان، کلزا و مخلوط (۱ به ۱) از هر دو روغن به‌مدت ۳۰ دقیقه، تا رسیدن دمای روغن به دمای تیمار، درون آن قرار داده شدند. پس از طی مدت زمان مذکور و اطمینان از رسیدن دمای روغن به دمای مورد نظر، نمونه‌های چوبی به‌مدت شش ساعت در روغن گرم نگهداری شدند. همزمان با این فرآیند، آماده‌سازی روغن‌های سرد همانند مرحله گرم در قالب‌های مناسب تحت دمای ۲۵ درجه سلسیوس انجام شد. پس از گذشت مدت زمان شش ساعت از تیمار روغن گرم، نمونه‌های چوبی از آن خارج و بلافاصله در روغن‌های سرد از پیش آماده‌شده، به‌مدت دو ساعت قرار گرفتند. پس از اتمام این مدت، وزن نمونه‌ها تعیین شد تا میزان جذب روغن‌ها با توجه به وزن اولیه مشخص گردد (Var et al., 2021).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های آزمایش با استفاده از آزمون آنالیز واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی و گروه‌بندی میانگین مقادیر آزمایش شده با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT)، به کمک نرم‌افزار SPSS for windows 26، برای ارزیابی تفاوت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مقدار احتمال در این پژوهش برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد ($p < 0.05$).

نتایج

درصد کاهش وزن نمونه‌ها در آزمون‌های انتخابی و غیرانتخابی

شکل‌های ۱ و ۲، نتایج حاصل از آزمون‌های انتخابی و غیرانتخابی نمونه‌های چوبی نسبت به حملات موربانه را نشان می‌دهند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، نمونه‌های شاهد که هیچ‌گونه تیمار اصلاحی در مورد آن‌ها انجام نشده بود، در هر دو آزمون، بیشترین میزان کاهش وزن را در مقایسه با نمونه‌های تیمار شده داشته و به‌میزان قابل توجهی مورد هجوم موربانه واقع شده‌اند. درصد کاهش وزن بین نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار شده در هر دو آزمون انتخابی و غیرانتخابی، به لحاظ آماری معنادار بود ($p < 0.05$)، درحالی‌که بین هیچ‌کدام از گروه‌های تیمار شده با انواع مختلف روغن‌ها، اختلاف معناداری از لحاظ درصد کاهش وزن نمونه‌ها دیده نشد. تعداد هفت عدد تکرار برای هر دو تیمار انتخابی و غیرانتخابی، برای هر یک از روغن‌های مورد استفاده، در نظر گرفته شد.

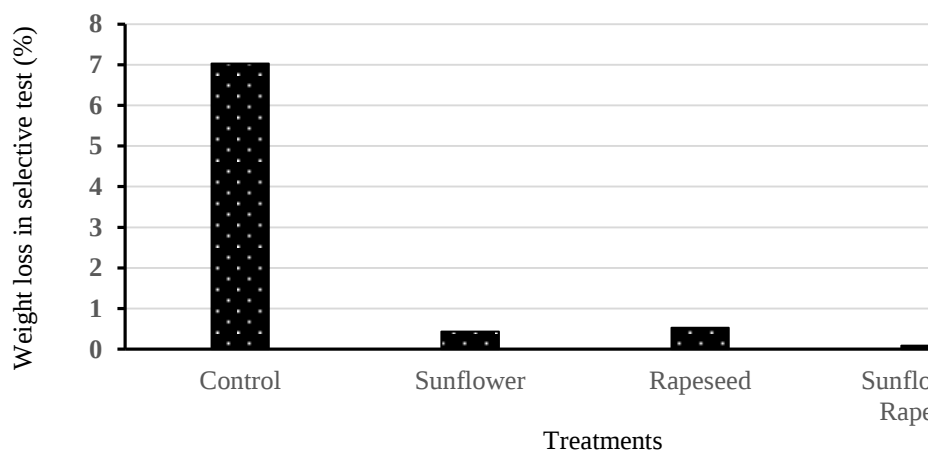
است که نمونه‌های مذکور قبل از انجام آزمون‌های مکانیکی به‌مدت دو هفته در اتاق کلیما با رطوبت نسبی 65 ± 2 درصد و دمای 20 ± 2 درجه سانتی‌گراد برای رسیدن به رطوبت تعادل ۱۲ درصد نگهداری شدند.

آزمون انتخابی و غیرانتخابی تغذیه موربانه

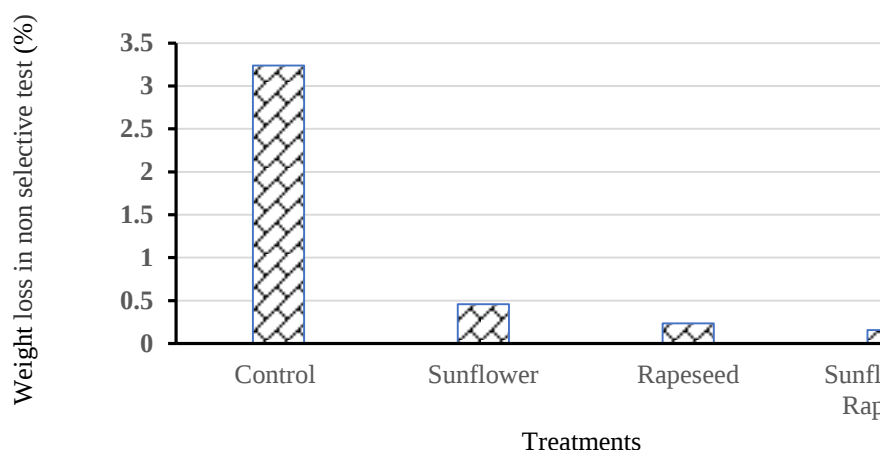
بررسی آزمون‌های سنجش درصد تغذیه موربانه براساس استاندارد AWPA E1-06 انجام شد. نمونه‌های چوبی تیمار شده، پس از خشک شدن درون آن با دمای 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت، به‌منظور به‌دست آوردن وزن خشک، جهت انجام آزمون غیرانتخابی تغذیه موربانه درون پتری دیش با بستر خاک ورمی‌کولیت و ماسه قرار گرفتند و موربانه‌ها به هر واحد آزمایشی حاوی نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار شده به‌طور جداگانه افزوده شدند. پس از قرارگیری به‌مدت سه هفته در ژرمیناتور تاریک با شرایط دمایی 28 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 80 ± 5 ، نمونه‌ها خارج شده و مجدداً وزن خشک آن‌ها به‌دست آمد. تمامی مراحل مربوط به آزمون انتخابی تغذیه مطابق با روش غیرانتخابی انجام گردید، با این تفاوت که در هر واحد آزمایش، تمامی نمونه‌های تیمار شده به همراه نمونه شاهد در کنار هم قرار گرفتند و در این حالت، موربانه بین طعمه‌های موجود قدرت انتخاب دارد. پس از اتمام آزمایش، درصد کاهش وزن مطابق معادله ۱ محاسبه شد.

$$WL = (wp - wa) / wp \times 100 \quad (1)$$

که در آن، WL: درصد کاهش وزن، wp: وزن نمونه پس از خشک شدن در آن قبل از آزمون (بر حسب گرم) و wa: وزن نمونه بعد خشک شدن در آن پس از آزمون (بر حسب گرم) است.



شکل ۱- تیمار درصد کاهش وزن نمونه‌های چوبی در اثر تغذیه موربانه در آزمون انتخابی. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 1- Weight loss percentage of wood samples in selective test Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)

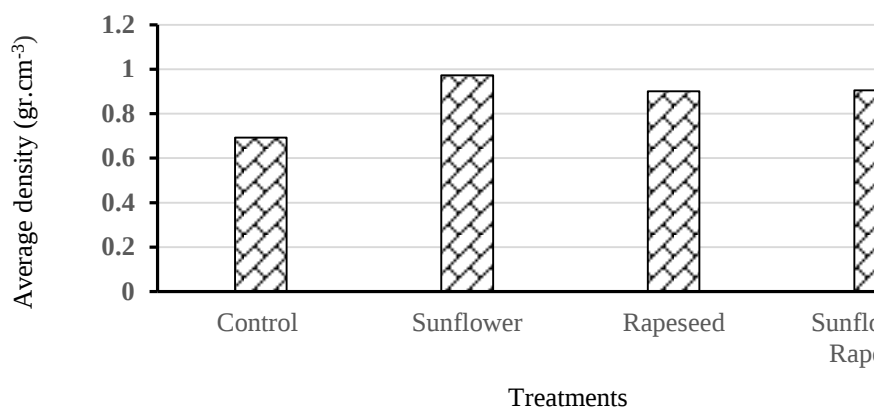


شکل ۲- تیمار درصد کاهش وزن نمونه‌های چوبی در اثر تغذیه موربانه در آزمون غیرانتخابی. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 2- Weight loss percentage of wood samples in non- selective test Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)

روغن کلزا-آفتابگردان، به لحاظ آماری معنادار ($p < 0.05$) و به میزان قابل توجهی بیشتر است. این در حالی است که کمترین چگالی مشاهده شده مربوط به نمونه‌های شاهدی است که تیمار روغن گرمایی در مورد آن‌ها انجام نشده است. تعداد هفت تکرار در هر تیمار روغن گرمایی با روغن‌های مورد آزمایش در نظر گرفته شد.

ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها پس از تیمار روغن گرمایی چگالی

نتایج نشان می‌دهد که تیمار روغن گرمایی به روش گرم-سرد به طور قابل توجهی چگالی چوب راش را در مقایسه با نمونه شاهد افزایش داده است (شکل ۳). اختلاف چگالی نمونه‌های تیمار شده با روغن آفتابگردان با نمونه‌های تیمار شده با روغن کلزا و مخلوط دو

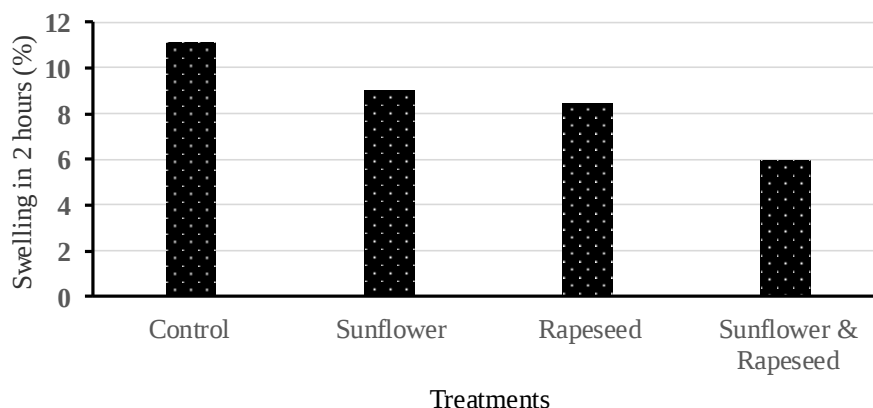


شکل ۳- تیمار میانگین چگالی نمونه‌های شاهد و تیمار شده. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 3- Average density of control and treated samples Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)

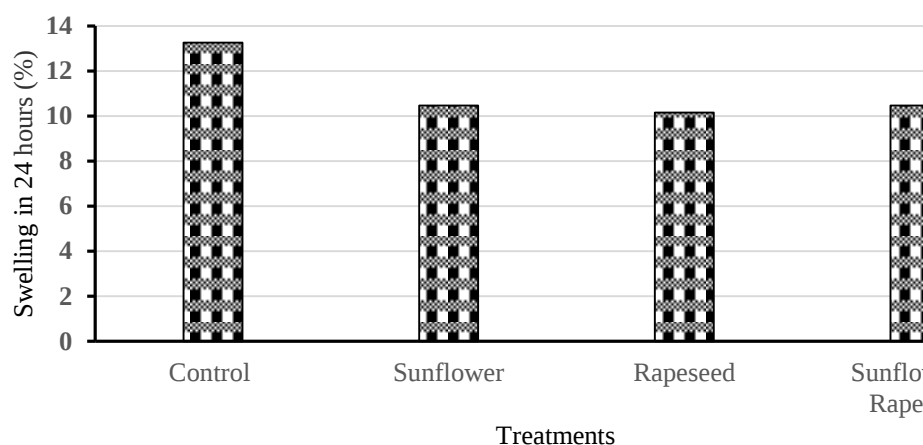
($p < 0.05$)، ولی نمونه‌های تیمار شده با دو روغن آفتابگردان و کلزا به تنهایی با نمونه‌های شاهد و مخلوط دو روغن اختلاف معناداری نداشتند (شکل ۴ و ۵). پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، میزان واکشیدگی حجمی نمونه‌های شاهد در مقایسه با تمامی نمونه‌های تیمار شده به لحاظ آماری معنادار و بیشتر بود ($p < 0.05$).

واکشیدگی حجمی

بر اساس نتایج به دست آمده از آزمون درصد واکشیدگی حجمی ۲ و ۲۴ ساعته نمونه‌ها (با تعداد هفت تکرار در هر تیمار)، اختلاف واکشیدگی حجمی بین شاهد و نمونه‌های تیمار شده با مخلوط دو روغن، پس از دو ساعت غوطه‌وری به لحاظ آماری معنادار بود



شکل ۴- تیمار واکشیدگی حجمی ۲ ساعته. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 3- Swelling in 2 hours Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)



شکل ۵- تیمار واکشیدگی حجمی ۲۴ ساعته. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 5- Swelling in 24 hours Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)

مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته

مطابق نتایج آزمون تعیین مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته نمونه‌های شاهد و تیمار شده، با هفت تکرار در هر تیمار (شکل‌های ۷ و ۸)، تیمار روغن گرمایی بر مدول گسیختگی و مدول گسیختگی چوب راش اثر معنی‌داری نداشت و بین نمونه‌های شاهد و تیمار شده اختلاف معناداری مشاهده نگردید.

بحث

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تیمار با دو روغن آفتابگردان و کلزا به صورت مجزا و نیز ترکیب دو روغن مذکور، تأثیر قابل توجهی

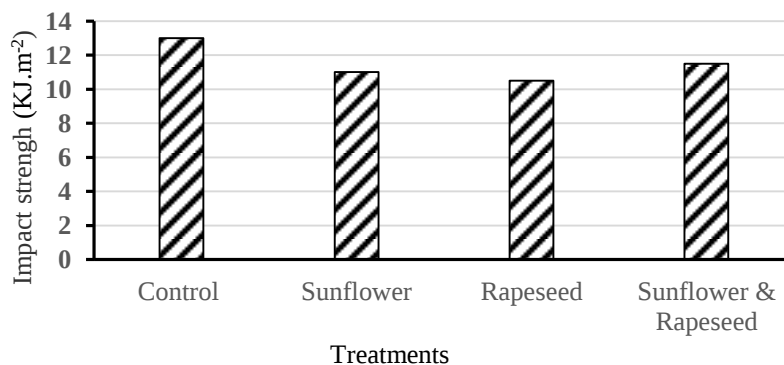
آزمون‌های مکانیکی

آزمون مقاومت به ضربه

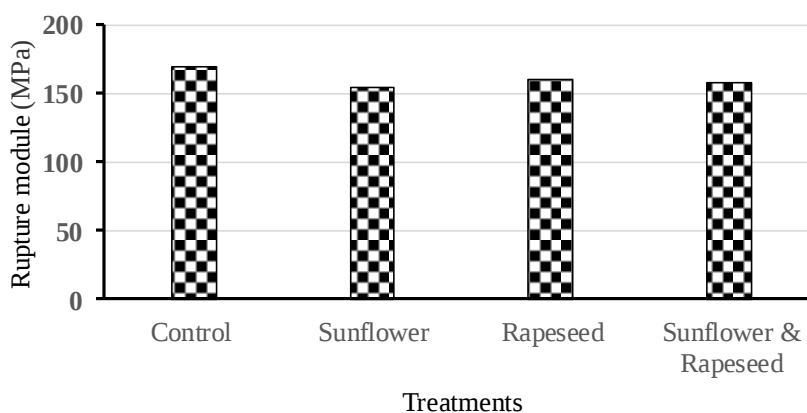
شکل ۶ مقاومت چوب راش نسبت به نیروی ضربه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، تیمار روغن گرمایی چوب با استفاده از روغن‌های کلزا، آفتابگردان و مخلوط این دو روغن، اثر معنی‌داری بر این مقاومت دارد ($p < 0.05$). با انجام تیمار روغن گرمایی، از مقاومت به ضربه چوب راش کاسته می‌گردد. بین نمونه‌های تیمار شده با روغن‌های مورد بحث در این آزمایش، اختلاف معناداری از لحاظ کاهش مقاومت به ضربه مشاهده نگردید. تعداد تکرار در هر تیمار هفت عدد در نظر گرفته شد.

بر خصوصیات چوب راش دارد.

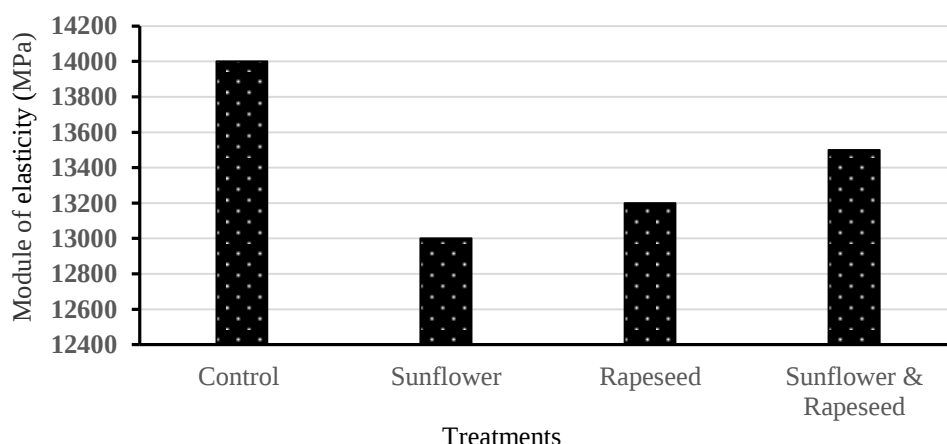
نتایج بررسی مقاومت بیولوژیکی چوب در مقابل خسارت ناشی از تغذیه موربانه نشان داد که در تمامی چوب‌های تیمار شده با روغن‌های گیاهی، درصد خسارت توسط موربانه به میزان قابل توجهی کاهش یافته بود.



شکل ۶- تیمار مقاومت به ضربه. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 6- Impact strength Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)



شکل ۷- تیمار مدول گسیختگی. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 7- Rupture module Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)



شکل ۸- تیمار مدول الاستیسیته. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)

Figure 8- Modulus of elasticity Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)

همکاران (Var et al., 2021) نشان داد که مواد روغنی جذب‌شده توسط چوب باعث کاهش فضای خالی و در نتیجه، حجم هوای درون چوب می‌گردد و کاهش حجم فضاهای خالی چوب روی وزن آن و در نتیجه چگالی تأثیرگذار است. در این مطالعه مشاهده شد که تیمار با هر دو روغن کلزا و آفتابگردان و مخلوط آن‌ها باعث افزایش چگالی چوب راش گردید. افزایش چگالی می‌تواند به دلیل جایگزینی هوای درون سلول‌ها با روغن شود. عامل مؤثر بر این وضعیت گرم شدن هوای درون در سلول چوبی با استفاده از روغن داغ، در ابتدا اشباع چوب و سپس خلاء ایجادشده در اثر تیمار سرد می‌تواند باشد. خلاء ایجادشده و انقباض سریع هوا در هنگام غوطه‌وری سرد باعث مکش بیشتر روغن به درون سلول‌های چوبی می‌گردد (Ahmed et al., 2019).

تیمار روغن گرمایی باعث کاهش میزان جذب آب و در نتیجه، کاهش واکشیدگی چوب و در نهایت، باعث افزایش ثبات ابعاد آن می‌گردد (Abedini & Gorj, 2020; Haseli et al., 2024). مهم‌ترین علت کاهش جذب رطوبت چوبی که تیمار گرمایی شده است، تخریب ترکیبات همی سلولز و در نتیجه، کاهش تعداد گروه OH های در چوب می‌باشد که از مهم‌ترین عوامل در جذب مولکول‌های آب به شمار می‌روند (Asghari Aghmashhadi et al., 2021). روغن داغ سبب تغییر در ماهیت شیمیایی و در برخی موارد سبب تخریب حرارتی مواد سازنده دیواره سلولی به‌خصوص همی سلولزها می‌گردد. در شرایط معمول، وقتی چوب در شرایط محیطی مرطوب قرار می‌گیرد، مولکول‌های آب بین پلیمرهای چوب نفوذ کرده و باعث واکشیدگی آن می‌شوند. در خلال تیمار حرارتی، دیواره‌های سلولی دچار تغییرات شده و تعداد گروه‌های هیدروکسیل

عدم امکان دسترسی به محتوای سلولز و همی سلولز در ماده چوبی، وجود ترکیباتی مانند لیگنین و مواد استخراجی بازدارنده در چوب، بالا بودن میزان چگالی چوب و وجود مواد افزودنی مانند سموم، از عوامل مهم عدم تمایل موربانه نسبت به ماده چوبی به شمار می‌روند (Perry & choe, 2020; Tay & James, 2021; Taravati, 2018). با توجه به اینکه تیمار روغن گرمایی باعث تغییراتی در ترکیبات شیمیایی چوب به‌ویژه تخریب همی سلولز و افزایش میزان بلورینگی سلولز می‌گردد و از سوی دیگر، با توجه به ترکیبات شیمیایی خاص روغن‌ها، زمینه ورود موادی که اغلب برای موربانه بازدارنده به شمار می‌روند را فراهم می‌کند، از این رو در مطالعه حاضر، کاهش شدت حملات موربانه به چوب می‌تواند ناشی از این عوامل باشد (Manalo & Acda, 2009).

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده افزایش میزان چگالی چوب پس از انجام تیمار روغن گرمایی بود. در هر سه تیمار، افزایش چگالی نسبت به نمونه شاهد مشاهده شد. نتایج نشان می‌دهد که چگالی نمونه‌ها در تیمار با روغن آفتابگردان نسبت به دو تیمار کلزا و مخلوط دو روغن به‌صورت معنی‌داری بیشتر است. این مسئله می‌تواند نشان دهد که خواص طبیعی مانند چگالی و ویسکوزیته روغن‌های مختلف بر مقدار جذب روغن توسط چوب تأثیر می‌گذارد. این نتایج با مطالعات برخی محققان مطابقت دارد (Falemara et al., 2015; Poursartip et al., 2019). جذب یا افزایش وزن با توجه به نوع روغن متفاوت است و در نتیجه، تأثیر متفاوتی در چگالی چوب تیمارشده قابل مشاهده است (Falemara et al., 2015; Owoyemi et al., 2013). افزایش چگالی چوب به‌میزان چگالی و ویسکوزیته روغن‌های مورد استفاده در طی عملیات تیمار نیز بستگی دارد. نتایج تحقیق وار و

مقاومت به ضربه، نمونه‌ها با افت مقاومتی معناداری مواجه شد. تیمار گرمایی با روغن داغ همانند روش‌های دیگر تیمار گرمایی چوب می‌تواند منجر به خروج مواد دیواره سلولی گردد که این امر به دلیل تخریب کربوهیدرات‌های سازنده چوب و افزایش شکنندگی چوب و در نتیجه، مقاومت به ضربه نمونه تیمار شده است (Tanaomi et al., 2012).

نتیجه‌گیری

طبق نتایج به‌دست‌آمده، تیمار روغن گرمایی با روغن کلزا و آفتابگردان و مخلوط هر دو روغن سبب افزایش مقاومت چوب راش در مقابل حملات موربانه می‌شود. از سوی دیگر، نتایج نشان دادند که تیمار روغن گرمایی می‌تواند برخی از ویژگی‌های فیزیکی چوب مانند میزان واکنشیدگی را کنترل نموده و بهبود بخشد، ولی باعث کاهش برخی مقاومت‌های مکانیکی چوب از جمله مقاومت به ضربه می‌گردد. پیشنهاد می‌شود که برای تکمیل مطالعات در این زمینه، موضوعات زیر مورد پژوهش قرار گیرند:

- ۱- استفاده از تکنیک‌های مختلف تیمار جهت انجام اصلاح روغن گرمایی و مقایسه با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر
- ۲- بررسی تأثیر استفاده از روغن‌های گوناگون، جهت اصلاح حرارتی چوب، بر مقاومت چوب در برابر سایر عوامل مخرب مانند قارچ‌ها
- ۳- بررسی و شناخت ترکیبات شیمیایی روغن‌های کلزا و بررسی اثرات آن‌ها روی فعالیت زیستی موربانه

کاهش پیدا می‌کند، در نتیجه با کاهش گروه‌های هیدروکسیل، واکنشیدگی کاهش پیدا کرده و ثبات ابعاد چوب بهبود می‌یابد (Abedini & Gorji, 2020). همچنین طی تیمار حرارتی، لیگنین نرم شده و می‌تواند منافذ دیواره سلولی را مسدود کند (Tasdelen et al., 2019). در نتیجه، مقدار آب وارد شده به ساختار چوب کاهش پیدا کرده و ثبات ابعادی چوب بهبود می‌یابد.

طبق نتایج به‌دست‌آمده از بررسی مقاومت مکانیکی نمونه‌ها مشخص شد که تیمار روغن گرمایی با استفاده از دو روغن کلزا و آفتابگردان و مخلوط دو روغن فقط روی مقاومت به ضربه نمونه‌ها تأثیر معنادار داشت و سایر ویژگی‌ها مانند مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی تغییر چندانی را در مقایسه با نمونه شاهد از خود نشان ندادند. نتایج تحقیقاتی که دماهای بالاتر را برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی خود انتخاب کرده‌اند، نشان‌دهنده افت در اغلب ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌های چوبی است و با افزایش دمای تیمار افت خواص تشدید می‌گردد (Lee et al., Tanaomi et al., 2012; 2018). دمای بالا به دلیل تأثیری که روی ترکیبات سازنده دیواره سلولی دارد و در بسیاری از موارد منجر به تخریب موادی همچون همی سلولزها می‌گردد، در نهایت می‌تواند منجر به کاهش مقاومت‌های مکانیکی چوب به‌ویژه مقاومت به ضربه گردد (Tanaomi et al., 2012). این اثرات در دماهای پایین آزمایش تأثیر کمتری بر کاهش مقاومت‌ها دارند. در این تحقیق به دلیل اینکه دمای حداکثر تیمار ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد، که در مقایسه با تیمارهای حرارتی دمای بالایی محسوب نمی‌شود، لذا اثرات کاهش مقاومت‌های مکانیکی کمتر مشاهده گردید و اختلاف معنادار زیادی بین نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار شده دیده نشد. فقط در مورد

References

1. Abedini, R., & Gorji, M. (2020). Effect of different oil heat treatment conditions on chemical structure and physical properties of wingnut (*Pterocarya fraxinifolia*) wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 11(2), 199-209. (In Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089066.1399.11.2.3.9>
2. Ahmed, F., Fouad, H., Liang, S., Hu, Y., & Mo, J. (2019). Termites and Chinese agricultural system: applications and advances in integrated termite management and chemical control. *Insect Science*, 28, 2-20. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12726>
3. Asghari Aghmashhadi, Z., Ghorbani, M., Amininasab, S.M., & Abedini, R. (2021). The effect of different modification conditions on the efficiency of poplar wood epoxidation and the physical properties of the product. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 11(4), 645-656. (In Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089066.1399.11.4.10.0>
4. Ayesha, A., Akhtar, M.S., Tayyaba, B., & Imran, B. (2018). Efficacy of Biomax and Fiprokil against *Heterotermes indicola* (Wasmann). *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 6(1), 90-94.
5. Bazayr, B. (2012). Decay resistance and physical properties of oil heat treated aspen wood. *BioResources*, 7(1), 0696-0705. <https://doi.org/10.15376/biores.7.1.696-705>
6. Falemara, B.C., Ampitan, T., & Oyeleye, I.O. (2015). Effects of hot and cold treatment techniques on preservative absorption of *Triplochiton Scleroxylon* (Obeche) against fungi attack. *Applied Tropical Agriculture*, 20(1), 146-151.
7. Bignell, D.E. (2018). *Wood-feeding termites*, In *Saproxylis Insects*. Springer, Sydney, Australia, pp. 339-373.

- <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3977-4>
8. Dastoorian, F., Gasemi, M., Abedini, R., & Amini nasab, S.M. (2020). Effect of poplar wood impregnation with epoxidized soybean oil on the set recovery. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 11(3), 381-394. (In Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089066.1399.11.3.4.2>
 9. Ghorbani, M., & Hosseinzadeh, S. (2015). Effect of heat-treatment with raw cotton seed oil on decay resistance and dimensional stability of beech (*Fagus orientalis*). *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 6(1), 119-131. (In Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089066.1394.6.1.10.9>
 10. Habibpour, B. (1994). Termites (Isoptera) fauna, economic importance and their biology in Khuzestan. M.Sc. Thesis, College of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. 143 pp. (In Persian with English abstract).
 11. Haseli, M., Efhami, Sisi, D., Abdolkhani, A., & Oladi, R. (2024). Effect of oil heat treatment on weathering resistance of poplar wood. *Journal of Forest and Wood Products*, 77(1), 55-71. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jfwp.2024.371195.1279>
 12. Lee, S.H., Zaidon, A., Lum, W.C., Halip, J.A., Ang, A.F., Tan, L.P., Chin, K.L., & Tahir, M.P. (2018). Thermal treatment of wood using vegetable oils: A review. *Construction Build Material*, 181, 408-419. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.058>
 13. Manalo, R.D., & Acda, M.N. (2009). Effects of hot oil treatment on physical and mechanical properties of three species of Philippine bamboo. *Journal of Tropical Forest Science*, 21(1), 19-24.
 14. Mozaffarian, V.A. (2004). *Trees and Shrubs of Iran*. Farhang Moaser Publication, Tehran, Iran, pp. 1470. (In persian).
 15. Owoyemi, J.M., Olaniran, S.O., & Aliyu, I.D. (2013). Effect of density on the natural resistzance of ten selected nigerian wood species to subterranean termites. *Prolignio*, 9(1), 32-40.
 16. Ozcan, S., Ozcifci, A., Hiziroglu, S., & Toker, H. (2012). Effects of heat treatment and surface roughness on bonding strength. *Constr Build Mater*, 33, 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.01.008>
 17. Perry, D.T., & Choe, D. (2020.) Volatile essential oils can be used to improve the efficacy of heat treatments targeting the western drywood termite: Evidence from a laboratory study. *Journal of Economic Entomol*, 113(3). 1373-1381. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa177>
 18. Poursartip, L., Saadatvafa, K., & Rezaayati Charani, P. (2019). Study on the feeding preference of *Microcerotermes diversus* Silvestri Termite to three species of beech, eucalyptus and cypres. *Iranian Plant Protection Research*, 33(1). 35-43. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jpp.v33i1.74552>
 19. Salman, S., Thévenon, M.F., Pétrissans1, A., Dumarçay, S., Candelier, K., & Gérardin, P. (2017). Improvement of the durability of heat-treated woos against termites. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 19(3), 317-328. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000027>
 20. Tanaomi, A., Mohebbi, B., & Ghahri, S. (2012). The effect of oleothermal treatment on physical and mechanical properties of beech wood. *journal of Wood and Forest Science and Technology*, 19(3), 111-126. (In Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222077.1391.19.3.7.2>
 21. Taravati, S. (2018). Evaluation of low-energy microwaves technology (Termatrac) for detecting western drywood termite in a simulated drywall system. *Journal of Economic Entomology*, 111(3), 1323-1329. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1093/jee/toy063>
 22. Tasdelen, M., Can, A., & Sivrikaya, H. (2019). Some physical and mechanical properties of maritime pine and poplar exposed to oil-heat treatment. *Turkish Journal of Forestry*, 20(3), 254-260. <https://doi.org/10.18182/tjf.566647>
 23. Tay, J.W., & James, D. (2021). Field demonstration of heat technology to mitigate heat sinks for drywood termite (Blattodea: Kalotermitidae) management. *Insects*, 12(12), 1090. <https://doi.org/10.3390/insects12121090>
 24. Var, A.A., Yalcin, M., Yalcin, O.U., & Demir, M. (2021). Effects of hot-cold oil treatment on biological. Resistance and physical properties of Brutia Pine Sapwood. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 23(42), 1-12. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100442>