Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, 2025, p. 1-12

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

S. Soruri[1], 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)

Received: 28-09-2024
Revised: 30-12-2024
Accepted: 05-01-2025
Available Online: 29-04-2025

How to cite this article:
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

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC 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

پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص. ۱۲-۱

بررسی ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی و مقاومت بیولوژیکی نسبت به موریانه *Microcerotermes diversus* Silvestri (Isoptera: Termitidae) چوب راش (*Fagus orientalis*) تیمارشده به‌روش روغن‌گرمایی

سپیده سروری[۱] - لادن پورسرتیپ[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶

چکیده

چوب راش (*Fagus orientalis*) 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 مخرب بیولوژیکی است. این گونه چوبی صنعتی پرکاربرد 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 موریانه، کاربرد آن‌را 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 محیط‌زیست می‌شوند. در این میان، روش‌های اصلاح حرارتی با استفاده از محیط روغنی به‌عنوان یک روش کاملاً سبز مورد توجه قرار گرفته‌اند، چرا که روغن‌های مصرفی در این نوع روش اصلاحی، از منابع طبیعی به‌دست 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 به‌مدت شش ساعت و سپس در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو ساعت تیمار شدند. سپس از چوب‌های تیمارشده برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی، مکانیکی و مقاومت در برابر موریانه استفاده شد. داده‌های آزمایش با استفاده از آزمون آنالیز واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی و گروه‌بندی میانگین مقادیر آزمایش‌شده 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 ($p<۰/۰۵$). نتایج آزمون فیزیکی نشان داد که میزان هم‌کشیدگی و واکشیدگی در تمام نمونه‌های تیمارشده نسبت به نمونه شاهد به‌میزان معناداری کاهش و چگالی افزایش پیدا کرد. همچنین آزمون‌های حفاظتی نشان‌دهنده کاهش معنادار حملات موریانه به نمونه‌های تیمارشده در مقایسه با نمونه شاهد بود. در آزمون مقاومت به ضربه، نمونه‌های تیمارشده نسبت به شاهد کاهش نشان دادند، امّا در مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته، نمونه‌های تیمارشده با شاهد دارای اختلاف معنی‌دار نبودند. هدف این مطالعه، بررسی اثر تیمار روغن-گرمایی به‌روش گرم-سرد بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و مقاومت بیولوژیک چوب راش نسبت به حمله موریانه *Microcerotermes diversus Silvestri* بود.

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

مقدمه

چوب به‌عنوان یک ماده تجدیدپذیر و پرکاربرد از گذشته تاکنون در زندگی بشر شناخته شده است و با توجه به ویژگی‌های منحصربه فردی که از لحاظ ظاهری و کاربردی دارد، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در کنار این ویژگی‌های مطلوب، معایبی همچون آسیب-پذیری 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
(*- نویسنده مسئول: Email: poursartip@bktu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jpp.2025.89057.1200

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)، بااین‌حال 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 وکاهش 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 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 موریانه‌ها، 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 موریانه به شمار می‌رود (Poursartip *et al.*, 2019). با توجه به موقعیت جغرافیایی استان خوزستان، بسیاری از مناطق این استان میزبان موریانه‌های مخربی از جمله گونه *Microcerotermes Diversus* Silvestri و سایر انواع موریانه‌های زیرزمینی می‌باشند. حبیب‌پور (Habibpour, 1994) طی مطالعه‌ای، گونه‌های مختلف موریانه را دراستان خوزستان شناسایی و اعلام کرد که در بین آن‌ها، گونه *M. diversu* در تمام شهرهای استان انتشار دارد و ازآنجایی‌که 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 موریانه‌ها، از سموم و مواد شیمیایی استفاده می‌شود (Ayesha *et al.*, 2018). محققان به‌منظور جایگزینی سموم و آفت‌کش‌های

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

این مطالعه با هدف تعیین تغییرات مقاومت بیولوژیکی نسبت به موریانه (*M. Diversus*) و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌هایی از چوب راش که تحت تیمار روغن‌گرمایی 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 موریانه *M. diversus* استفاده شد و به‌منظور جمع-آوری موریانه‌ها، از روش تله‌گذاری و کاشت طعمه‌های چوبی، در 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 موریانه‌های *M. diversus* به آزمایشگاه صورت گرفت و پس از جداسازی موریانه‌ها از طعمه به کمک یک قلم موی نرم، به‌منظور رفع تنش، موریانه‌ها درون پتری-دیش‌های محتوی کاغذ صافی واتمن (۴۲) مرطوب، درون ژرمیناتور با دمای ۲۸±۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۸۰ 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	–	–	–	–

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 آون 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 آون 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).

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

به‌منظور بررسی اثر تیمار روغن گرمایی روی ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های تیمارشده، 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 × مماسی × طولی) ۲۰ × ۲۰ × ۳۰ میلی‌متر و تعداد تکرار در هر تیمار هفت عدد در نظر گرفته شد. ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌های شاهد و تیمارشده 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 آیین‌نامه D256 -04 استاندارد ASTM اندازه‌گیری شد. ابعاد نمونه‌ها ۲/۵ × ۲/۵ × ۴۱ سانتی‌متر، تعداد تکرار در هر تیمار هفت عدد و سرعت بارگذاری دستگاه ۱۰ میلی‌متر در دقیقه بود. لازم به توضیح

است که نمونه‌های مذکور قبل از انجام آزمون‌های مکانیکی به‌مدت دو هفته در اتاق کلیما با رطوبت نسبی ۲±۶۵ درصد و دمای ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد برای رسیدن به رطوبت تعادل ۱۲ درصد نگهداری شدند.

آزمون انتخابی و غیرانتخابی تغذیه موریانه

بررسی آزمون‌های سنجش درصد تغذیه موریانه براساس استاندارد AWPA E1-06 انجام شد. نمونه‌های چوبی تیمارشده، پس از خشک شدن درون آون با دمای۲±۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت، به‌منظور به‌دست آوردن وزن خشک، جهت انجام آزمون غیرانتخابی تغذیه موریانه درون پتری دیش با بستر خاک ورمی‌کولیت و ماسه قرار گرفتند و موریانه‌ها به هر واحد آزمایشی حاوی نمونه شاهد و نمونه‌های تیمارشده به‌طور جداگانه افزوده شدند. پس از قرارگیری به‌مدت سه هفته در ژرمیناتور تاریک با شرایط دمایی ۲±۲۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۸۰، 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 تیمارشده به همراه نمونه شاهد در کنار هم قرار گرفتند و در این حالت، موریانه بین طعمه‌های موجود قدرت انتخاب دارد. پس از اتمام آزمایش، درصد کاهش وزن مطابق معادله ۱ محاسبه شد.

$$WL=(wp-wa)/wp\times100 \qquad (۱)$$

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

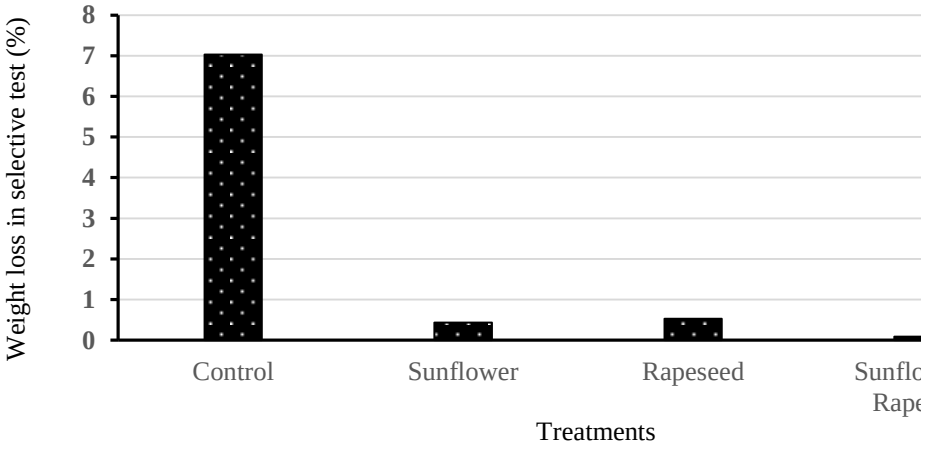
تجزیه و تحلیل داده‌ها

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 قرارگرفت. مقدار احتمال در این پژوهش برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد ($p<۰/۰۵$).

نتایج

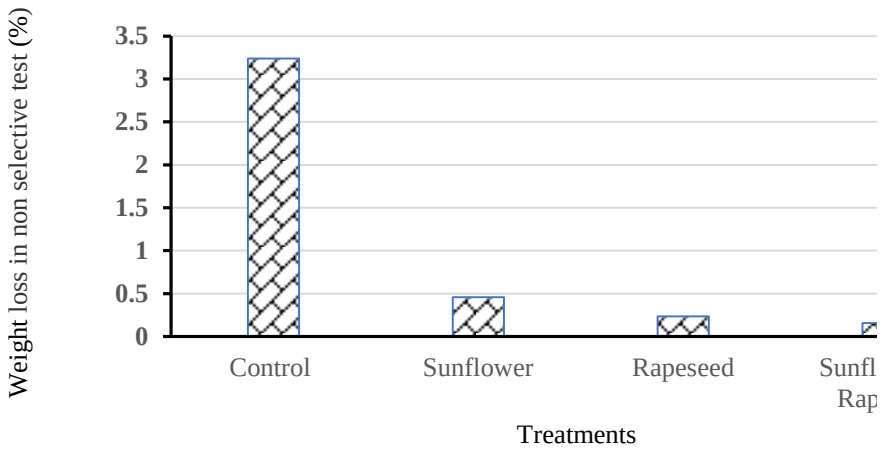
درصد کاهش وزن نمونه‌ها در آزمون‌های انتخابی و غیرانتخابی

شکل‌های ۱ و ۲، نتایج حاصل از آزمون‌های انتخابی و غیرانتخابی نمونه‌های چوبی نسبت به حملات موریانه 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 تیمارشده داشته و به‌میزان قابل توجهی مورد هجوم موریانه واقع شده‌اند. درصد کاهش وزن بین نمونه شاهد و نمونه‌های تیمارشده در هر دو آزمون انتخابی و غیرانتخابی، به لحاظ آماری معنادار بود ($p<۰/۰۵$)، درحالی‌که بین هیچ‌کدام از گروه‌های تیمارشده 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.



شکل ۱- تیمار درصد کاهش وزن نمونه‌های چوبی در اثر تغذیه موریانه 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)

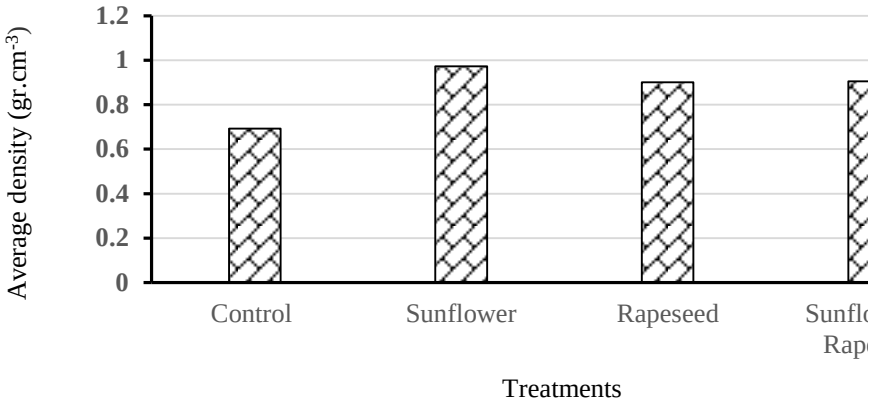


شکل ۲- تیمار درصد کاهش وزن نمونه‌های چوبی در اثر تغذیه موریانه در آزمون غیرانتخابی. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 2- Weight loss percentage of wood samples in non- selective test Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)

ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها پس از تیمار روغن گرمایی

چگالی

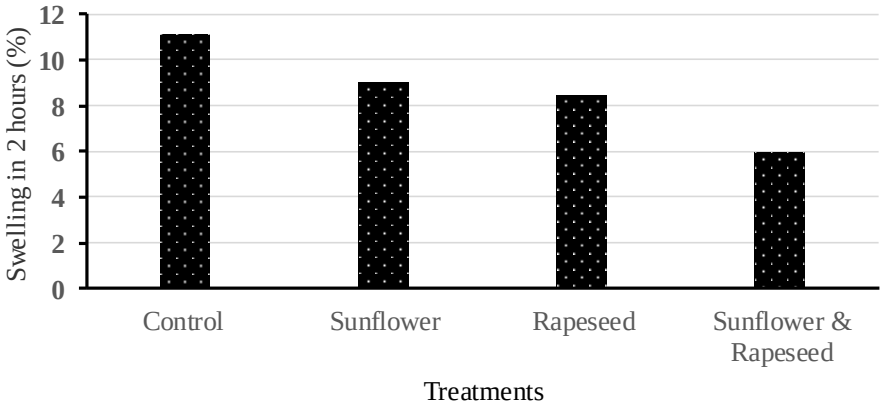
نتایج نشان می‌دهد که تیمار روغن‌گرمایی به‌روش گرم–سرد به‌طور قابل توجهی چگالی چوب راش را در مقایسه با نمونه شاهد افزایش داده است (شکل ۳). اختلاف چگالی نمونه‌های تیمارشده با روغن آفتابگردان با نمونه‌های تیمارشده با روغن کلزا و مخلوط دو روغن کلزا–آفتابگردان، به‌لحاظ آماری معنادار ($p<۰/۰۵$) و به‌میزان قابل توجهی بیشتر است. این در حالی است که کمترین چگالی مشاهده‌شده 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.



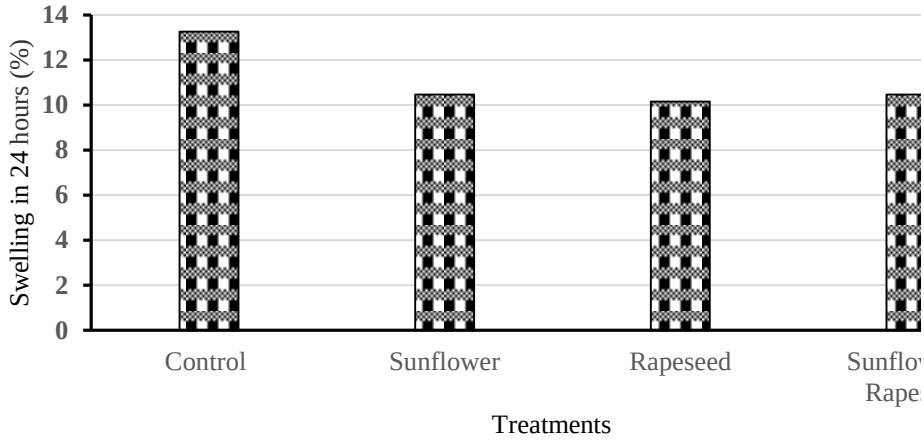
شکل ۳- تیمار میانگین چگالی نمونه‌های شاهد و تیمار شده. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 3- Average density of control and treated samples Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)

واکشیدگی حجمی

براساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمون درصد واکشیدگی حجمی ۲ و ۲۴ ساعته نمونه‌ها (با تعداد هفت تکرار در هر تیمار)، اختلاف واکشیدگی حجمی بین شاهد و نمونه‌های تیمارشده با مخلوط دو روغن، پس از دو ساعت غوطه‌وری به لحاظ آماری معنادار بود ($p<۰/۰۵$)، ولی نمونه‌های تیمارشده با دو روغن آفتابگردان و کلزا به‌تنهایی 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 تیمارشده به لحاظ آماری معنادار و بیشتر بود ($p< ۰/۰۵$).



شکل ٤- 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 ٥- تیمار واکشیدگی حجمی ٢٤ ساعته. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 5- Swelling in 24 hours Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)

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 ($p< ۰/۰۵$). با انجام تیمار روغن گرمایی، از مقاومت به ضربه چوب راش کاسته می‌گردد. بین نمونه‌های تیمارشده 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.

مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته

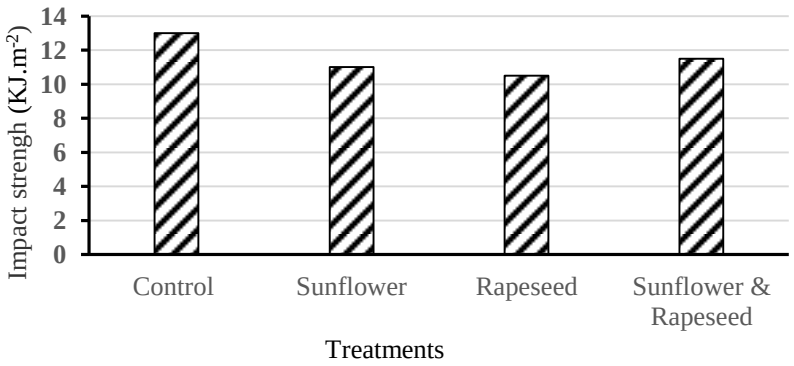
مطابق نتایج آزمون تعیین مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته نمونه‌های شاهد و تیمارشده، با هفت تکرار در هر تیمار (شکل‌های ۷ و ۸)، تیمار روغن گرمایی بر مدول گسیختگی و مدول گسیختگی چوب راش اثر معنی‌داری نداشت و بین نمونه‌های شاهد و تیمارشده اختلاف معناداری مشاهده نگردید.

بحث

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

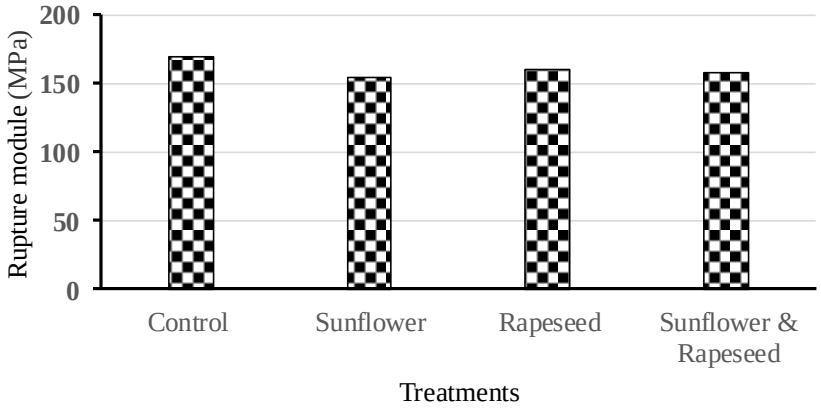
بر خصوصیات چوب راش دارد.

نتایج بررسی مقاومت بیولوژیکی چوب در مقابل خسارت ناشی از تغذیه موریانه نشان داد که در تمامی چوب‌های تیمارشده با روغن‌های گیاهی، درصد خسارت توسط موریانه به‌میزان قابل توجهی کاهش یافته بود.



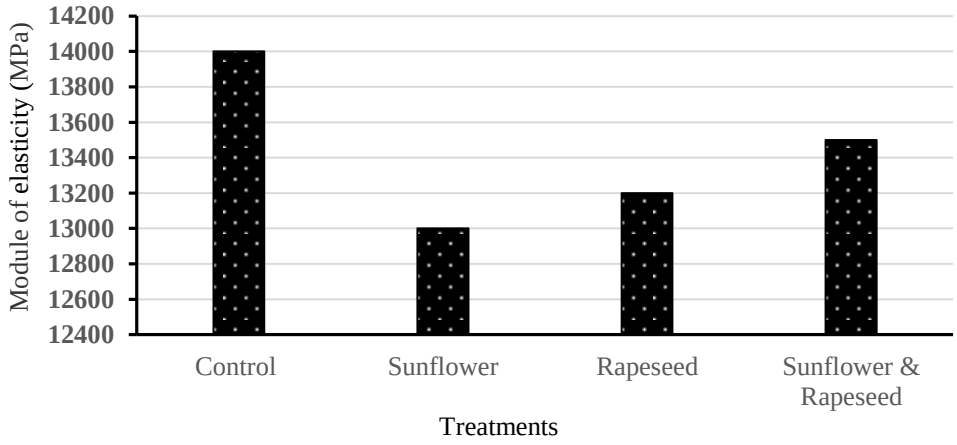
شکل ٦- تیمار مقاومت به ضربه. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)

Figure 6- Impact strengh 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)

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 موریانه 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 موریانه بازدارنده به شمار می‌روند را فراهم می‌کند، ازاین‌رو در مطالعه حاضر، کاهش شدت حملات موریانه 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 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 به‌دلیل 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 همی‌سلولز و در نتیجه، کاهش تعداد گروه‌های OH 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 همی‌سلولزها 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

کاهش پیدا می‌کند، در نتیجه با کاهش گروه‌های هیدروکسیل، واکشیدگی 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 مقاوت مکانیکی نمونه‌ها مشخص شد که تیمار روغن گرمایی با استفاده از دو روغن کلزا و افتابگردان 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 ویژگی-های مکانیکی نمونه‌های چوبی است و با افزایش دمای تیمار افت خواص تشدید می‌گردد (Lee *et al.*, Tanaomi *et al.*, 2012 ; 2018). دمای بالا به‌دلیل 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 به‌دلیل 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 تیمارشده دیده نشد. فقط در مورد 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 به‌دلیل تخریب کربوهیدرات‌های سازنده چوب و افزایش شکنندگی چوب و در نتیجه، مقاومت به ضربه نمونه تیمارشده 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 موریانه می‌شود. از سوی دیگر، نتایج نشان دادند که تیمار روغن گرمایی می‌تواند برخی از ویژگی‌های فیزیکی چوب مانند میزان واکشیدگی 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 موریانه

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 Fiprokill against *Heterotermes indicola* (Wasmann). *Asian Journal of Agriculture and Biology*, *6*(1), 90-94.
5. Bazyar, 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 Saproxylic 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., & Rezayati 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