Research Article

Iranian Journal of Wood and Paper Industries
Vol. 15, No. 4, Page 491 - 505 (2025)

DOI: 10.22034/ijwp.2024.2031784.1674

Effect of thermal oil treatment of poplar wood (*Populus alba*) using sesame oil on physical and mechanical properties and (*Microcerotermes diversus*) termite resistance

Vaad sabeti asl[1], Ladan poursartip[2*], Parizad Sheikhi[3]

1- M.s Student., Department of Cellulose Industry Engineering, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

2- Corresponding author, Assistant Prof., Department of Cellulose Industry Engineering, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran. Email: poursartip@bktu.ac.ir

3- Department of Mechanic, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

Received: June 2024 Accepted: October 2024

Abstract

Problem definition and objectives: Various methods have been employed to improve the properties of wood through thermal treatment, which fundamentally involves the chemical alteration of wood via heat. Treatment with hot oil can enhance the undesirable properties of wood by ensuring uniform heat penetration throughout the wood structure and limiting oxygen access to reduce fire risk. In environmentally friendly thermal treatments, natural and renewable oils are used without toxic substances. The aim of this research was to investigate the effect of thermal oil treatment on poplar wood using sesame oil to evaluate attacks by the termite Microcerotermes diversus silvestri and to study the physical and mechanical properties of treated samples.

Methodology: Samples of poplar wood (Populus alba) were cut from a 40 cm diameter disc into standard dimensions for physical, mechanical, and biological testing. They were then treated with sesame oil at temperatures of 115, 145, and 170 degrees Celsius for durations of 30 and 60 minutes. Several physical properties of the samples were calculated based on standard ISO 13061-2 (2014), including water absorption percentage, volumetric swelling percentage after immersion in water for 2 and 24 hours, dry density, and percentage weight gain after treatment. The assessment of termite feeding percentage was conducted according to AWPA E1-06 standards. The mechanical properties of both control and treated samples—including modulus of elasticity and modulus of rupture, were measured after undergoing three-point bending tests using an Instron device in accordance with ASTM D 143-09 standards.

Results: The findings indicated that with an increase in temperature and treatment duration, the intensity of termite attacks decreased in both selective and non-selective tests. Additionally, the heat oil treatment led to a reduction in water absorption, an increase in weight, and a relative improvement in the dimensional stability of the treated samples. The density of the samples increased with oil absorption, particularly with rising temperature and treatment duration, confirming improvements in physical and anti-biological properties. The highest density was achieved at a temperature of 145 degrees Celsius for 60 minutes. Examination of the elastic and

flexural moduli of both control and treated samples showed that short-term treatment at 115 degrees Celsius resulted in a slight increase in elastic modulus. However, increasing temperature and treatment duration led to a decrease in both mentioned mechanical factors.

Conclusion: According to the conducted studies, heat oil treatment with sesame oil enhances the resistance of poplar wood against termite attacks. On the other hand, the results demonstrated that heat oil treatment can improve certain physical properties of wood that may limit its applications, significantly reduce its hygroscopicity, and also contribute to dimensional stability for poplar wood. However, with increasing temperature and treatment duration, mechanical resistances such as elastic modulus and flexural strength decrease.

Keywords: Poplar wood, termite, oil-heat modification, sesame oil, physical and mechanical properties.

اثر تیمار روغن گرمایی چوب صنوبر (*Populus alba*) با استفاده از روغن کنجد بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و مقاومت به موریانه (*Microcerotermes diversus*)

وعد ثابتی اصل[۱]، لادن پورسرتیپ[۲*]، پریزاد شیخی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع سلولزی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء (ص)، بهبهان، ایران.
۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی صنایع سلولزی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء (ص)، بهبهان، ایران. پست الکترونیک: poursartip@bktu.ac.ir - lpoursartip@gmail.com
۳- گروه مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی ، دزفول، ایران.

تاریخ دریافت: خرداد ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: آبان ۱۴۰۳

چکیده

بیان مساله و اهداف: روش‌های مختلفی برای بهبود خواص چوب با استفاده از عملیات حرارتی استفاده شده است که اساس آن تغییر شیمیایی چوب از طریق گرما است. تیمار با روغن داغ می‌تواند خواص نامطلوب چوب را با اطمینان از نفوذ حرارت یکنواخت در سراسر ساختار چوب افزایش دهد و دسترسی اکسیژن را برای کاهش خطر آتش‌سوزی محدود کند. در عملیات حرارتی سازگار با محیط زیست، از روغن‌های طبیعی و تجدیدپذیر بدون مواد سمی استفاده می‌شود. هدف این تحقیق بررسی اثر تیمار روغن گرمایی چوب صنوبر با استفاده از روغن کنجد جهت ارزیابی حملات موریانه *Microcerotermes diversus* silvestri و مطالعه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های تیمار شده بود.

مواد و روش‌ها: نمونه‌های چوب صنوبر (*Populus alba*) از دیسکی به قطر ۴۰ سانتیمتر به منظور انجام آزمایش‌های فیزیکی، مکانیکی و بیولوژیکی به ابعاد استاندارد بریده و آماده شدند. نسپس در درجه حرارت‌های ۱۱۵، ۱۴۵ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ و ۶۰ دقیقه با استفاده از روغن کنجد تیمار شدند. تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها مانند درصد جذب آب، درصد واکشیدگی حجمی پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، دانسیته خشک و درصد افزایش وزن پس از تیمار بر اساس استاندارد ISO 13061-2 (2014) محاسبه گردید. بررسی آزمون‌های سنجش درصد تغذیه موریانه بر اساس استاندارد AWPA E1-06 انجام شد. ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌های شاهد و تیمار شده شامل مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی نیز پس از قرارگیری تحت آزمایش خمش سه نقطه‌ای با استفاده از دستگاه Instron مطابق آیین نامه استاندارد ASTM D 143-09 اندازه‌گیری شد.

نتایج: نتایج نشان داد که با افزایش درجه حرارت و مدت زمان تیمار، شدت حمله موریانه‌ها در هر دو آزمون انتخابی و غیر انتخابی کاهش می‌یابد. همچنین تیمار روغن گرمایی منجر به کاهش میزان جذب آب، افزایش وزن و بهبود نسبی ثبات ابعاد نمونه‌های تیمار شده گردید. میزان دانسیته نمونه‌ها به تبع جذب روغن، با افزایش درجه حرارت و به ویژه مدت زمان تیمار افزایش یافت که این امر بهبود خواص فیزیکی و ضد بیولوژیکی را تائید می‌کند. بالاترین میزان دانسیته در دمای ۱۴۵ درجه و مدت زمان ۶۰ دقیقه به دست آمد. بررسی مدول‌های الاستیسیته و خمشی نمونه‌های شاهد و تیمار شده نشان داد که در تیمار کوتاه مدت و با حرارت ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد، مقداری افزایش در مدول الاستیسیته به وجود می‌آید. افزایش درجه حرارت و مدت زمان تیمار منجر به کاهش در هر دو فاکتور مکانیکی مذکور گردید.

نتیجه‌گیری: طبق بررسی‌های به عمل‌آمده تیمار روغن گرمایی با روغن کنجد سبب افزایش مقاومت چوب صنوبر در مقابل حملات موریانه می‌شود. از سوی دیگر نتایج نشان دادند که تیمار روغن گرمایی می‌تواند برخی ویژگی‌های فیزیکی چوب را که می‌توانند منجر به محدود کردن کاربرد آن شوند را بهبود بخشد و تا حدود زیادی از مقدار آب‌دوستی

آن بکاهد و همچنین بهره‌گیری از تیمار اصلاح گرمایی با روغن کنجد ثبات ابعاد چوب صنوبر را به همراه داشت. با افزایش درجه حرارت و مدت زمان تیمار مقاومت‌های مکانیکی مانند مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی کاهش می‌یابند.

واژه های کلیدی: صنوبر، موریانه، اصلاح روغن گرمایی، روغن کنجد، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی.

مقدمه

چوب، این ماده طبیعی تجدیدپذیر علی‌رغم کاربردهای زیادی که به عنوان یک ماده ساختمانی عایق، مقاوم و در دسترس دارد، دارای معایب غیر قابل‌چشم‌پوشی نیز می‌باشد که کاربرد آن را محدود می-کند. آسیب‌پذیری چوب نسبت به عوامل مخربی مانند موریانه، جزء نقاط ضعف این ماده به شمار می‌رود [۱] .همچنین از جمله معایب اصلی و بسیار مهم آن، جذب و دفع رطوبت هنگام قرار گرفتن در معرض آب به دلیل ساختار متخلخل و وجود ترکیبات آب‌دوستی مانند همی-سلولز و سلولز است [۲]. از این رو برای رفع معایب چوب، اصلاح آن به روش‌های مختلف شیمیایی و گرمایی می‌تواند یک راهکار مناسب باشد. تیمار حرارتی چوب یکی از روش‌های اصلاحی چوب است که به دلیل اصلاح و ارتقاء بعضی از ویژگی‌ها، مثل ثبات ابعاد چوب، کاهش جذب آب و نیز افزایش پایداری آن در برابر عوامل مخرب زیستی، گسترش یافته است [۲، ۳ و ۴]. طی فرآیند اصلاح گرمایی، درجه حرارت بالا منجر به تغییر ماهیت شیمیایی در مواد سازنده دیواره سلولی به‌ویژه همی‌سلولز و لیگنین شده و سلولز به مقدار کمتری تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این تغییرات باعث کاهش ویژگی آب‌دوستی چوب در نتیجه‌ی استفاده از حرارت دهی بالا می‌شوند [۵]. در میان روش‌های گوناگون تیمار حرارتی چوب، حرارت‌دهی در انواع روغن‌های گیاهی دوستدار محیط-زیست نسبت به سایر روش‌ها مزیت‌های بیشتری دارد [۶]. خواص روغن‌هایی که به عنوان محیط واسطه در تیمارهای حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند متنوع است. اغلب آن‌ها سازگار با محیط‌زیست می‌باشند و برخی از انواع روغن‌های گیاهی، شامل ترکیباتی هستند که قابلیت دفع حشرات را دارا هستند [۷، ۸، ۹ و ۱۰]. روغن‌های گیاهی برای محافظت از چوب در برابر کپک و پوسیدگی های قارچی و همچنین محدود کردن ظرفیت رطوبت پذیری چوب کاربرد دارند و به دلیل اینکه نقطه جوش بسیاری از روغن‌ها بالاتر از دمای مورد نیاز برای تیمارهای حرارتی است، همین مسئله امکان انجام تیمارهای حرارتی در محیط روغنی در دماهای بالا را فراهم می‌کند [۱]. تیمار روغن گرمایی با ایجاد تغییر در ساختار شیمیایی ماکرو مولکول‌های چوب، تمایل آن را نسبت به جذب رطوبت کم می‌کند [۱۱]. خاصیت آب‌گریزی و مقاومت به پوسیدگی در اثر تیمار گرمایی با روغن، نه تنها به دلیل تغییرات ناشی از اصلاح گرمایی، بلکه به دلیل تشکیل لایه نازک آب‌گریز حاصل از روغن‌های طبیعی در سطح چوب نیز ایجاد می‌گردد [۲]. اصلاح با روغن داغ باعث می‌شود که گرما به طور یکنواخت و راحت‌تر به درون چوب نفوذ کند و به دلیل عدم تماس مستقیم اکسیژن هوا با سطح چوب، تخریب اکسیداسیونی اجزاء دیواره سلولی ضمن فرایند تیمار به حداقل ممکن می‌رسد [۱].

چوب صنوبر به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد مانند وزن کم، قابلیت چکش‌خواری بالا و قیمت مناسب در مقایسه با بسیاری از چوب‌های تجاری دیگر، به‌واسطه فراوانی و سریع الرشد بودن، یکی از چوب‌های مطرح در صنعت درودگری به شمار می‌رود. با این حال علی‌رغم پتانسیل‌های بالای این گونه در صنایع سلولزی، عدم ثبات ابعاد در برابر تغییرات رطوبتی و اعوجاج و تابیدگی در معرض تغییرات رطوبتی، کاربرد آن را محدود می‌کند [۶]. علاوه بر این، آسیب‌پذیری چوب صنوبر نسبت به میکروارگانیسم‌های مختلف مانند قارچ‌های مولد پوسیدگی و حشرات مخرب مانند موریانه‌های چوب‌خوار، نیاز به حفاظت مناسب این گونه، برای حداکثر استفاده را نشان می‌دهد. چوب صنوبر به دلیل دارا بودن درصد بالاتری از سلولز در مقایسه با لیگنین، گزینه مناسبی برای هجوم موریانه به شمار می‌رود [۱۲].

استان خوزستان به لحاظ شرایط جغرافیایی و آب و هوایی، بستر مناسبی برای رشد و توسعه موریانه‌ها به ویژه موریانه‌های زیرزمینی است [۱۳].

افزایش نگرانی عمومی در مورد اثرات زیست‌محیطی روش‌های درمانی مانند استفاده از سموم، منجر به استفاده از مواد حفاظتی طبیعی و همچنین روش‌های اصلاحی مناسب گردیده است.

با اصلاح گرمایی، خاصیت آب‌دوستی چوب کاهش می‌یابد که این امر سبب افزایش پایداری ابعاد و در ادامه کاهش تخریب ناشی از حشرات و قارچها خواهد شد [۱۱]. بنابراین این امکان وجود دارد که با بهره‌گیری از روش‌های طبیعی دوستدار محیط، مانند تیمار روغن گرمایی بتوان در کنار مبارزه با آفات، رسالت زیست‌محیطی را نیز به‌جا آورد.

روغن کنجد به دلیل دارا بودن ترکیبات فعالی مانند سزامین[1] و سزامولین[2] به عنوان موادی حشره‌کش، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد [۷، ۸ و ۹]. در واقع یکی از علت‌های استفاده از روغن کنجد در این تحقیق به دلیل کاربرد آن به عنوان یک ماده دافع حشرات بود.

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تیمار روغن گرمایی گونه چوبی صنوبر با استفاده از روغن کنجد روی خواص فیزیکی- مکانیکی و مقاومت زیستی نسبت به موریانه، تحت سطوح دمایی و زمانی مختلف انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌های چوبی

نمونه‌های چوب صنوبر(*Populus alba*) از دیسکی به قطر ۴۰ سانتی‌متر، مطابق با ابعاد استاندارد، اندازه بری و آماده شدند. در مرحله بعد، نمونه‌های آماده‌شده پس از خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲±۱۰۳ سانتی‌گراد در آون، با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین وزن شدند.

اصلاح روغن گرمایی

نمونه‌های آزمونی چوب پس از آماده‌سازی در هفت تکرار، تحت زمان و درجه حرارت مذکور در جدول شماره ۱، درون مخزن مربوطه طوری قرار داده شدند تا کاملاً در روغن غوطه‌ور باشند. در این تحقیق، از روغن کنجد استفاده شد که به صورت بکر با دستگاه پرس سرد در شهرستان شوشتر تهیه‌شده بود. روغن کنجد خام دارای نقطه دود ۱۷۷ درجه سانتی‌گراد است [۱۴]. بنابراین اعمال دمای بالاتر از این دما در محیط به اکسید شدن، تخریب و دود کردن روغن منجر می‌گردد. لذا ماکزیمم دمای مورد استفاده نزدیک به همین سطح انتخاب گردید. بعد از سپری شدن مدت زمان لازم و اشباع شدن نمونه‌ها از روغن، نمونه‌های چوبی تیمار شده از مخزن روغن خارج شدند.

جمع‌آوری موریانه

به‌منظور جمع‌آوری موریانه زیرزمینی *Microcerotermes diversus* Silvestri، از تله‌های تعبیه‌شده در خاک، متشکل از بلوک‌های چوبی راش استفاده شد. در ابتدای فصل بهار با آغاز فعالیت موریانه‌ها، طعمه‌ها در یک جنگل مصنوعی زراعت چوب واقع در شهرستان شوشتر، در گودال‌هایی به فاصله ۲/۵ متر از هم در خاک کاشته شدند. اولین نمونه‌برداری چهار هفته بعد از کاشت طعمه‌ها صورت گرفت. در زمان نمونه‌برداری، بلوک‌های چوبی مورد هجوم موریانه قرار گرفته، از زمین خارج و به آزمایشگاه منتقل شدند.

موریانه‌ها به وسیله قلم‌مو جداسازی و درون ظروف پلاستیکی (پتری دیش) محتوی کاغذ صافی (واتمن۴۲) مرطوب، با هدف رفع استرس، درون ژرمیناتور با دمای ۲±۲۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۸۰ درصد و در شرایط تاریک نگهداری شدند.

---

[1] Sesamin
[2] Sesamolin

جدول ۱- شرایط تیمار روغن-گرمایی

کد مربوطه	دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان(دقیقه)
۱۱۵-۳۰	۱۱۵	۳۰
۱۱۵-۶۰	۱۱۵	۶۰
۱۴۵-۳۰	۱۴۵	۳۰
۱۴۵-۶۰	۱۴۵	۶۰
۱۷۰-۳۰	۱۷۰	۳۰
۱۷۰-۶۰	۱۷۰	۶۰
شاهد	-	-

آزمون‌های انتخابی و غیر انتخابی تغذیه موریانه

بررسی آزمون‌های سنجش درصد تغذیه موریانه بر اساس استاندارد AWPA E1-06 انجام شد.

نمونه‌های چوبی شاهد و تیمار شده به ابعاد ۲×۲×۲ سانتیمتر با تعداد تکرار ۷ عدد در هر آزمایش، پس از خشک شدن درون آون با دمای۲±۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، به‌منظور به دست 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 نمونه-های تیمار شده به طور جداگانه افزوده شدند. پس از قرارگیری به مدت ۳ هفته در ژرمیناتور تاریک با شرایط دمایی ۲±۲۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۸۰ نمونه‌ها خارج و مجدداً وزن خشک آن‌ها به دست آمد.

تمامی مراحل مربوط به آزمون انتخابی تغذیه مطابق با روش غیر انتخابی 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 موریانه بین طعمه‌های موجود قدرت انتخاب دارد. پس از اتمام آزمایش، درصد تغذیه موریانه از طریق رابطه (۱) انجام شد.

(۱) ۱۰۰×(وزن اولیه طعمه/وزن ثانویه طعمه-۱) = درصد تغذیه موریانه

بررسی ویسکوزیته روغن کنجد در دما و مدت زمان‌های مختلف

ویسکوزیته روغن کنجد با استفاده از ویسکومتر مدل DVE-LVساخت کمپانی بروکفیلد آمریکا بر اساس استاندارد ASTM D-2983 در درجه حرارت و مدت زمان‌های تعریف‌شده برای آزمون، تعیین شد.

ویژگی‌های فیزیکی

به‌منظور بررسی اثر تیمار روغن گرمایی روی ویژگی-های فیزیکی نمونه‌های تیمار شده، تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها مانند درصد جذب آب[۳](WA)، درصد واکشیدگی حجمی پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب و دانسیته خشک (Do) و درصد افزایش وزن پس از تیمار ۴۴ (WPG)[۴] بر اساس استاندارد ISO (2014) 13061-2 محاسبه گردید. ابعاد نمونه‌ها برای بررسی‌های مذکور (شعاعی× مماسی× طولی) ۲۰×۲۰×۳۰ میلی‌متر و تعداد تکرار در هر تیمار ۷ عدد در نظر گرفته شد. مقادیر مورد نظر بر اساس رابطه‌های (۲) تا (۵) محاسبه شد.

WA: درصد جذب آب

mt: وزن نمونه بعد از غوطه‌ورسازی در زمان مشخص t (gr)

m1: وزن نمونه قبل از غوطه‌وری درآب و بعد از تیمار در رطوبت صفر درصد (gr)

$$WA = \frac{mt-m1}{m1} \times 100 \qquad (۲)$$

S: درصد واکشیدگی حجمی در زمان مشخص t

Vt: حجم نمونه بعد از غوطه‌وری در آب در زمان مشخص t (cm^3)

V1: حجم نمونه در رطوبت صفر درصد(cm^3)

$$S = \frac{Vt-V1}{V1} \times 100 \qquad (۳)$$

[۳] Water absorbtion
[۴] Weight percent gain

Do: دانسیته خشک (gr/cm3)

Mo: وزن نمونه در رطوبت صفر درصد(gr)

vo: حجم نمونه در رطوبت صفر درصد (cm3)

$$Do = \frac{mo}{vo} \times 100 \qquad (۴)$$

WPG: درصد افزایش وزن

m1: وزن خشک نمونه قبل از تیمار (gr)

m2: وزن خشک نمونه بعد از تیمار (gr)

$$WPG = \frac{m2-m1}{m1} \times 100 \qquad (۵)$$

خواص مکانیکی

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 اندازه‌گیری شد. ابعاد نمونه‌ها ۴۱×۲/۵×۲/۵ سانتیمتر، تعداد تکرار در هر تیمار ۷ عدد و سرعت بارگذاری دستگاه ۱۰ میلی‌متر در دقیقه بود. لازم به توضیح است که نمونه‌های مذکور قبل از انجام آزمودن‌های مکانیکی به مدت۲ 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.

تجزیه و تحلیل آماری

تمامی داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل آماری شدند. میانگین تیمارهای آزمایش‌شده برای ارزیابی تفاوت‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد موردبررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

ویسکوزیته

نتایج تعیین ویسکوزیته روغن کنجد در دما و مدت زمان‌های تیمارهای آزمایش، در جدول شماره ۲ نشان داده‌شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص است که با افزایش دما و مدت زمان آزمون، ویسکوزیته روغن کاهش می‌یابد. کمترین میزان ویسکوزیته در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۶۰ دقیقه و بیشترین میزان آن در دمای ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۳۰ دقیقه ثبت گردید.

جدول۲- ویسکوزیته روغن کنجد در دما و زمان‌های مختلف آزمون

دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان(دقیقه)	ویسکوزیته(سانتی پواز)
۱۱۵	۳۰	۱۴/۹۸
۱۱۵	۶۰	۱۰/۹۹
۱۴۵	۳۰	۹/۰۱
۱۴۵	۶۰	۶/۵۰
۱۷۰	۳۰	۶/۴۱
۱۷۰	۶۰	۶/۱۸

مقاومت به موریانه

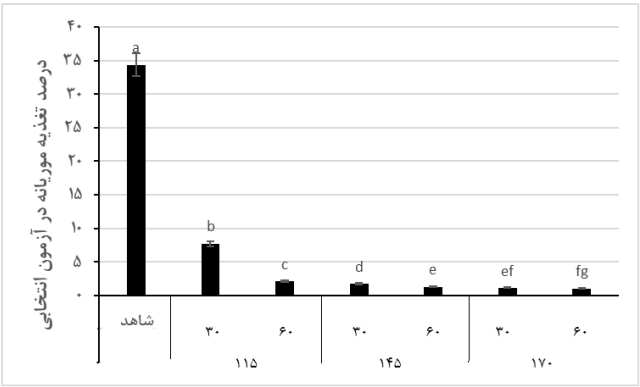
درصد کاهش وزن در آزمون انتخابی و غیر انتخابی

نتایج حاصل از هر دو آزمون انتخابی و غیرانتخابی نمونه‌های چوبی نشان می‌دهد که نمونه‌های شاهد که هیچ‌گونه تیمار اصلاحی در مورد آن‌ها انجام نشده بود در هر دو آزمون، بیشترین میزان کاهش وزن را داشته و به میزان قابل توجهی مورد حمله موریانه واقع شده‌اند (شکل ۱ و شکل ۲). اختلاف معنی داری در سطح ۹۵ درصد بین نمونه‌های شاهد و تیمار شده وجود دارد ($p<0/05$). نمونه‌های تیمار شده با روغن کنجد در دمای ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۳۰ دقیقه، پس از نمونه‌های شاهد، بیشترین کاهش وزن را در هر دو آزمون از خود نشان دادند. از موارد مشاهده شده در ظروف حاوی نمونه-

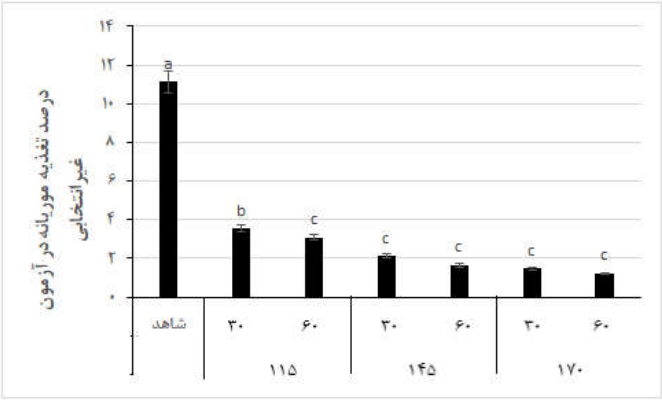
های تیمار شده می‌توان به بالا بودن میزان تلفات در جمعیت موریانه‌ها اشاره نمود. با توجه به مشاهدات، میزان زنده‌مانی موریانه‌های فعال در واحدهای آزمایشی حاوی نمونه‌های تیمار شدهT پس از سه الی چهار روز به صفر می‌رسید. روند کاهشی در نمودار درصد کاهش وزن، با بالاتر رفتن درجه حرارت و مدت زمان تیمار دیده می‌شود. این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات محققین دیگر هم-خوانی داشت [۱۵ و ۱۶]. بین نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار شده اختلاف معنا دارد در سطح عوامل گوناگونی می‌تواند منجر به محدود کردن تمایل موریانه نسبت به چوب شود. از جمله این موارد می‌توان به تغییر ترکیب شیمیایی اجزا تشکیل دهنده چوب مانند درصد سلولز، لیگنین و همی‌سلولز موجود در چوب اشاره کرد.n طی تغییرات حرارتی، تخریب اجزای شیمیایی چوب اتفاق می-افتد و همین مسئله مانند افزایش بلورینگی سلولز و نیز از دست رفتن بخش زیادی از همی‌سلولزها و گاهی تشکیل ترکیبات سمی، که منجر به تغییر در ترکیب طبیعی چوب می‌شود می‌تواند در کاهش مطلوبیت چوب برای موریانه اثرگذار باشد [۱۷]. علاوه بر آن یکی دیگر از فاکتورهایی که روی مطلوبیت چوب برای موریانه تأثیر دارد دانسیته چوب است. طی مطالعاتی که توسط محققین گوناگون انجام شده است دانسیته چوب یکی از خصوصیات چوب است که بر پارامترهای مختلف مانند ثبات ابعادی، استحکام و دوام چوب در برابر عوامل مخرب بیولوژیک تأثیر مستقیم دارد [۱۸]. معمولاً چوب‌هایی که دارای دانسیته بالاتر هستند مقاومت بیشتری نسبت به حمله موریانه‌ها دارند هرچند که دانسیته به‌تنهایی نمی‌تواند به عنوان تنها عامل اثرگذار بر مقاومت چوب نسبت به حملات موریانه محسوب شود ولی تراکم بالای چوب به عنوان یک عامل اثرگذار مهم در افزایش این مقاومت است [۱۹]. با افزایش دانسیته چوب، درصد تغذیه موریانه کاهش‌یافته و میزان مرگ‌ومیر موریانه افزایش می‌یابد [۲۱]. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با انجام تیمار روغن گرمایی دانسیته نمونه‌ها افزایش یافت. ارتباط بین افزایش دانسیته نمونه‌ها و عدم تمایل موریانه نسبت به آن‌ها احتمال دور از ذهنی نیست.

علاوه بر ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی ذاتی چوب، تأثیر عوامل دیگر که ممکن است ترکیبات چوب را تحت تأثیر قرار دهند، مانند مواد شیمیایی بازدارنده‌ای که در اثر ورود روغن‌های مختلف به چوب می‌توانند اثرگذار باشند را نیز نباید نادیده گرفت. ویژگی خاص کنجد به عنوان یک حشره‌کش نیز در دفع موریانه‌ها بی‌تأثیر نیست. در کشاورزی، ساقه‌های کنجد آسیاب شده، کاه کنجد و کیک کنجد که محصول جانبی تولید روغن است، قبل از کاشت در خاک مخلوط می‌شوند یا به عنوان مالچ در اطراف گیاهان در حال رشد برای کنترل نماتدهای مضر استفاده می‌شوند [۲۲]. هرچند داده‌های زیادی در مورد اثربخشی روغن کنجد به عنوان یک حشره‌کش مستقل در دست نیست اما نتایج تحقیقات محققین مختلفی نشان می‌دهد که به دلیل وجود ترکیبات فعال کنجد یعنی سسامین و سزامولین می‌توان از روغن کنجد به عنوان یک عامل کمکی در کنار سایر حشره‌کش‌های طبیعی استفاده نمود [۷، ۸ و ۹].

به طور کلی با توجه به مجموعه عوامل یاد شده می-توان چنین نتیجه‌گیری کرد که تیمار روغن گرمایی با استفاده از روغن کنجد در شرایط دمایی و زمانی متفاوت می‌تواند منجر به کاهش میزان مطلوبیت گونه صنوبر برای موریانه و در نتیجه کاهش میزان حملات این حشره مخرب شود.



شکل ۱- ارزیابی خواص ضد موریانه نمونه‌های چوبی تیمار روغن گرمایی شده در مقایسه با نمونه شاهد در آزمون انتخابی



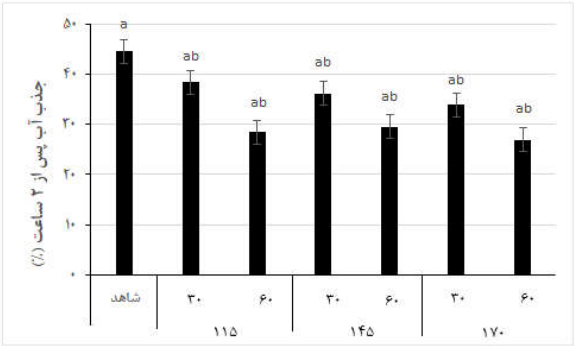
شکل ۲- ارزیابی خواص ضد موریانه نمونه‌های چوبی تیمار روغن گرمایی شده در مقایسه با نمونه شاهد در آزمون غیر انتخابی

آزمون‌های فیزیکی

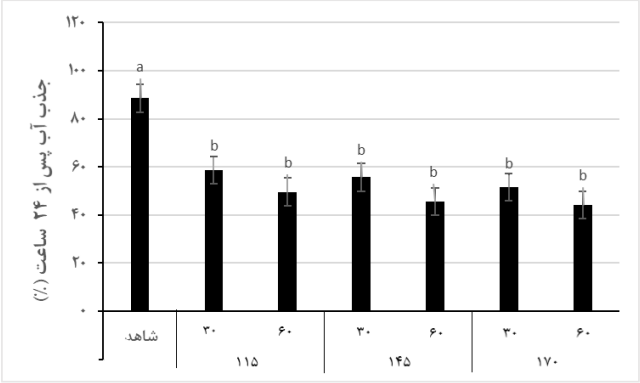
درصد جذب آب و واکشیدگی حجمی

شکل‌های ۳ و ۴ درصد جذب آب و شکل‌های ۵ و ۶ درصد واکشیدگی حجمی ۲ و ۲۴ ساعته نمونه‌های تیمار شده و شاهد را طی آزمون غوطه‌وری در آب نشان می‌دهند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد، در میزان جذب آب، بین نمونه شاهد و تمامی نمونه‌های تیمار شده، پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری مشاهده می‌گردد و میزان جذب آب در نمونه شاهد نسبت به نمونه‌های تیمار شده بیشتر است ($p<0/05$). این مسئله در مورد درصد واکشیدگی حجمی نیز صدق می‌کند و افزایش ابعاد نمونه‌های تیمار شده در بالاترین دما و زمان تیمار، یعنی تحت دمای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۶۰ دقیقه به حداقل میزان خود می‌رسد. با انجام اصلاح گرمایی چوب، از یک‌سو به دلیل تخریب ساختار شیمیایی چوب و از دست دادن برخی ترکیبات سازنده دیواره سلولی مانند همی‌سلولزها که نقش مهمی در جذب آب دارند و از سوی دیگر به دلیل پیوند عرضی که بین اجزا سازنده دیواره سلولی ضمن تیمار گرمایی روی می‌دهد، گروه‌های هیدروکسیلی که از عوامل مهم جذب آب هستند حذف می‌شوند یا در پیوندهای عرضی ایجاد شده در مرحله اصلاح گرمایی شرکت می‌کنند، بنابراین کاهش گروه‌های هیدروکسیلی نقش مهمی در کاهش جذب آب و واکشیدگی چوب ایفا می‌کند. افزایش دما می‌تواند این روند را تشدید کند [۲۳ و ۵]. ساختار همی سلولز در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و لیگنین از دمای بالای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به بالا تغییر می‌یابد [۵]. در واقع تیمارگرمایی با تخریب همی‌سلولز و ناحیه آمورف سلولز منجر به کاهش گروه‌های هیدروکسل و افزایش بلورینگی سلولز می‌گردد و با افزایش بلورینگی تمایل به جذب آب و واکشیدگی حجمی کاهش می‌یابد [۲۴، ۲۵ و ۲۶]. همچنین تجمع لایه روغن در قسمت‌های سطحی چوب و

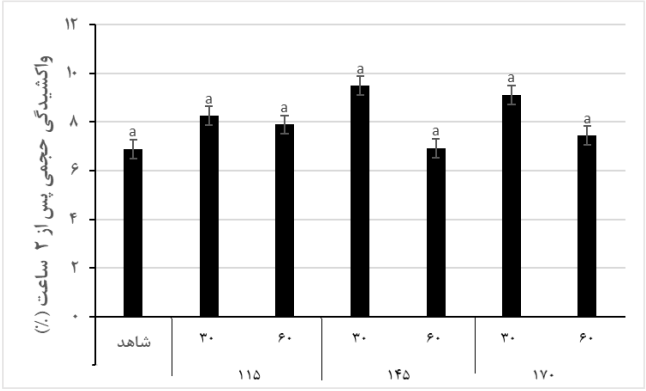
نیز حفره خالی درون سلول‌های چوبی ورود آب را با اختلال مواجه می‌سازد و عاملی در راستای محدود کردن ورود آب به ساختار چوب و در نتیجه کاهش واکشیدگی به شمار می‌رود [۲۷، ۲۸ و ۲۹]. در کنار این موضوع تغییرات مورفولوژیکی ساختار، تخلخل چوب و دانسیته هم‌روی بهبود خواص فیزیکی به ویژه جذب آب اثرگذار است.



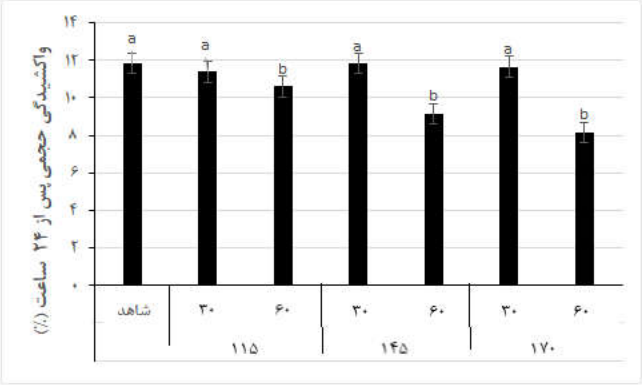
شکل ۳- ارزیابی درصد جذب آب نمونه‌های چوبی تیمار روغن گرمایی شده در مقایسه با نمونه شاهد پس از گذشت ۲ ساعت



شکل ۴- ارزیابی درصد جذب آب نمونه‌های چوبی تیمار روغن گرمایی شده در مقایسه با نمونه شاهد پس از گذشت ۲۴ ساعت



شکل ۵- ارزیابی درصد واکشیدگی حجمی نمونه‌های چوبی تیمار روغن گرمایی شده در مقایسه با نمونه شاهد پس از گذشت ۲ ساعت

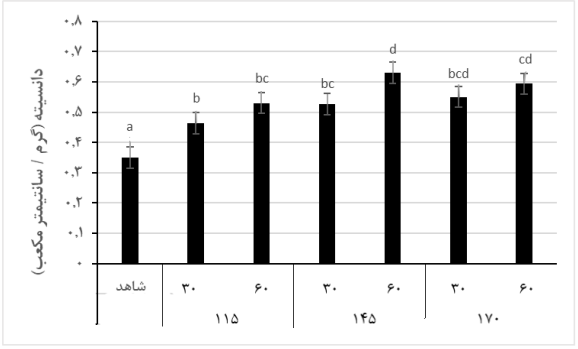


شکل ۶- ارزیابی درصد واکشیدگی حجمی نمونه‌های چوبی تیمار روغن گرمایی شده در مقایسه با نمونه شاهد پس از گذشت ۲۴ ساعت

دانسیته

در شکل ۷ دانسیته نمونه‌های مورد آزمایش نشان داده‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که بین نمونه‌های شاهد و تیمار شده اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد وجود دارد و دانسیته نمونه‌های تیمار شده بیش از نمونه شاهد گزارش گردید ($p<0/05$). به عنوان نمونه درحالی‌که دانسیته نمونه شاهد تیمار نشده ۰/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود، بعد از تیمار روغن گرمایی با دمای ۱۴۵ درجه و زمان ۶۰ دقیقه، دانسیته چوب صنوبر به ۰/۶۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب افزایش یافت.

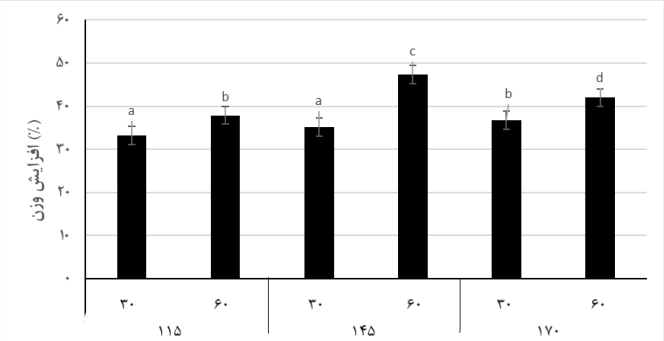
با افزایش مدت زمان و دمای تیمار، یک روند افزایشی در دانسیته نمونه‌ها دیده می‌شود. با افزایش دما و بالا رفتن مدت زمان توقف در دمای مذکور، ویسکوزیته روغن کاهش می‌یابد. کاهش میزان ویسکوزیته، بالاتر رفتن میزان جذب آن توسط چوب را به دنبال دارد. از سوی دیگر، طی تیمار روغن گرمایی، به دلیل تجزیه حرارتی و حذف ساختار اصلی دیواره سلولی، تخلخل و فضاهای خالی موجود در چوب افزایش می‌یابد و همین مسئله منجر به افزایش جذب روغن در ساختار چوب می‌گردد [۳۰]. بیشترین میزان دانسیته در این پژوهش، در دمای ۱۴۵ درجه و مدت زمان ۶۰ دقیقه گزارش شد. با افزایش دما به ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد مقداری افت دانسیته مشاهده می‌گردد. در تیمارهای روغن گرمایی ساختار شیمیایی اجزای دیواره سلولی به‌ویژه همی‌سلولز بر اثر گرما تخریب می‌گردد و تخریب اجزای ساختمانی چوب منجر به کاهش جرم و در نتیجه دانسیته می‌شود [۲۳]. ولی درعین‌حال این تخریب منجر به ایجاد فضاهای خالی در درون ساختار دیواره‌های سلولی بر اثر خروج مواد تخریب یافته و جایگزینی آن‌ها با روغن گیاهی شده و کماکان نسبت به نمونه شاهد افزایش دانسیته مشاهده می‌شود [۳۱]. تخریب حرارتی اجزای سازنده دیواره سلولی در دماهای بالای ۲۲۰ درجه اتفاق می‌افتد و درصد کاهش وزن نمونه‌ها به بیش از ۱۵ درصد نیز می‌تواند برسد [۳۲].



شکل ۷- ارزیابی تغییرات دانسیته نمونه‌های چوبی تیمار روغن گرمایی شده در مقایسه با نمونه شاهد

درصد افزایش وزن

نتایج بررسی درصد افزایش وزن نمونه‌ها طی تیمار روغن گرمایی نشان داد که وزن نمونه‌های تیمار شده با روغن کنجد پس از تیمار، در مقایسه با نمونه شاهد افزایش‌یافته است (شکل ۸). بیشترین وزن مربوط به نمونه‌های تیمار گرمایی شده تحت دمای ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۶۰ دقیقه، به میزان۴۷/۴۲ درصد برآورد شد و این اختلاف در سطح ۹۵ درصد معنادار است ($p<0/05$). نتایج به‌دست‌آمده با گزارش‌های Spear و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد [۳۳] . علی‌رغم اینکه معمولاً طی تیمارهای حرارتی به دلیل تخریب ترکیبات دیواره سلولی وزن چوب کاهش پیدا می‌کند ولی به دلیل اینکه مقدار جذب روغن خیلی بیشتر از کاهش وزن در اثر تخریب ترکیبات چوب است، وزن نمونه‌ها افزایش‌یافته است [۲]. با افزایش زمان و دمای تیمار، به دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۶۰ دقیقه میزان درصد افزایش وزن نمونه‌ها، کاهش یافت. با توجه به این نکته که با افزایش حرارت و مدت زمان تیمار، تخریب ترکیبات چوب بیشتر می‌شود، این کاهش وزن در مقایسه با درجه حرارت‌های کمتر، با نتایج سایر محققین تطابق دارد [۲ و ۳۴].



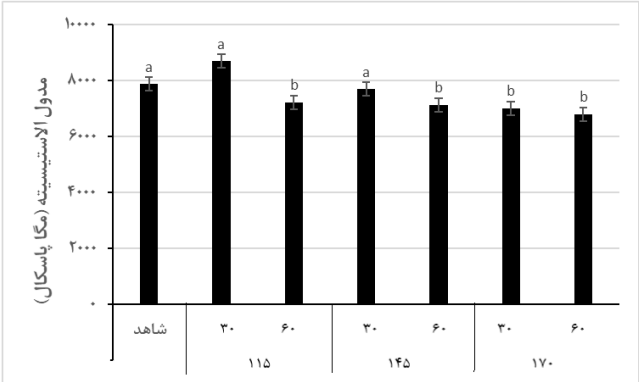
شکل ۸- ارزیابی درصد افزایش وزن نمونه‌های چوبی تیمار روغن گرمایی شده در مقایسه با نمونه شاهد

آزمون‌های مکانیکی

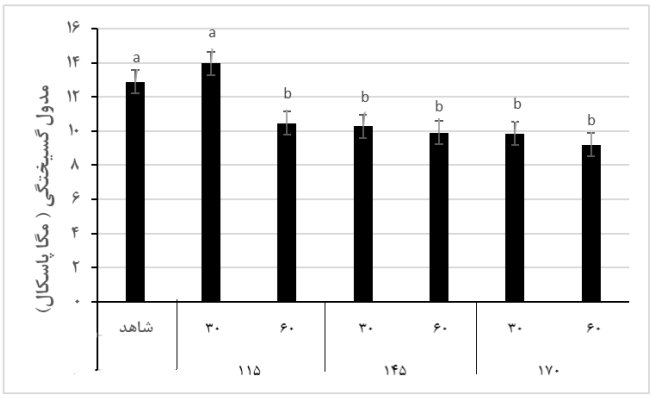
ارزیابی مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی

شکل ۹ مدول الاستیسیته و شکل ۱۰ مدول گسیختگی را در نمونه‌های شاهد و تیمار شده نشان می‌دهد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که در تیمار کوتاه مدت با درجه حرارت ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد مقداری افزایش در مدول الاستیسیته به وجود می‌آید. تحقیقات نشان داده‌اند که تیمار حرارتی برای مدت زمان کوتاه‌تر و درجه حرارت‌های پایین‌تر، منجر به افزایش در مدول الاستیسیته چوب می‌گردد [۳۵].

با افزایش درجه حرارت و مدت زمان تیمار، در مدول الاستیسیته روند کاهشی مشاهده می‌گردد. بررسی مقاومت خمشی نیز نشان داد که افزایش دمای تیمار به بیش از ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد، منجر به کاهش مقاومت خمشی می‌شود و اختلاف معناداری بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های تیمار شده در این درجه حرارت در سطح ۹۵ درصد وجود دارد ($p<0/05$). در دماهای بالا تغییرات شیمیایی در دیواره سلولی و کاهش در میزان درصد کربوهیدرات‌های موجود در چوب منجر به افت در مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی نمونه می‌گردد [۳۶].



شکل ۹- تغییرات مدول الاستیسیته نمونه‌های چوبی تیمار روغن گرمایی شده در مقایسه با نمونه



شکل ۱۰- ارزیابی تغییرات مدول گسیختگی نمونه‌های چوبی تیمار روغن گرمایی شده در مقایسه با نمونه شاهد

نتیجه‌گیری

طبق بررسی‌های به عمل‌آمده تیمار روغن گرمایی با روغن کنجد سبب افزایش مقاومت چوب صنوبر در مقابل حملات موریانه می‌شود. از سوی دیگر نتایج نشان دادند که تیمار روغن گرمایی می‌تواند برخی ویژگی‌های فیزیکی چوب را که می‌توانند منجر به محدود کردن کاربرد آن شوند را بهبود بخشد و تا حدود زیادی از مقدار آب‌دوستی آن بکاهد و همچنین بهره‌گیری از تیمار اصلاح گرمایی با روغن کنجد ثبات ابعاد چوب صنوبر را به همراه داشت. با افزایش درجه حرارت و مدت زمان تیمار مقاومت‌های مکانیکی مانند مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی کاهش می‌یابند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از گروه مهندسی صنایع سلولزی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان به دلیل حمایت‌های مادی و معنوی در طول انجام این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

[1] Lee, S.H., Ashaari, Z., Lum, W.C., Halip, J.A., Ang, A.F., Tan, L.P., Chin, K.L. and Tahir, P.M. (2018) 'Thermal treatment of wood using vegetable oils: A review', Construction and Building Materials, 181, pp. 408-419.

[2] Ghorbani, M., and Hosein zadeh, 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), pp. 119-131. (In Persian). doi: https://doi.org/20.1001.1.20089066.1394.6.1.10.9

[3] Abbasi, Z., Ghorbani, M., Abedini, R., and Amininasab, S.M. (2019) 'Comparing the effect of modification with different silane compounds on the chemical structure and physical properties of poplar wood', Iranian journal of wood and paper industries,

10(2), pp. 223-235. (In Persian). doi: https://doi.org/20.1001.1.20089066.1398.10.2.6.5

[4] Sam daliri, M., Dasturian, F., Ghorbani, M., and Amini nasab, S.M. (2020) 'The effect of thermal oil treatment with epoxy soybean oil on the light resistance of Spruce wood'. In The 7th National Congress on Biology and Natural Sciences of Iran (pp. 1-9). (In Persian). doi: https://civilica.com/doc/1028795

[5] Tanaomi, A., Mohebbi, B., and Ghahri. (2012) 'The Effect of Oleothermal Treatment on Physical and Mechanical Properties of Beech Wood ', journal of Wood & Forest Science and Technology, 19(3), pp. 111-126. (In Persian). doi: https://doi.org/20.1001.1.23222077.1391.19.3.7.2

[6] Mastouri, A., Efhamisisi, D., Shirmohammadli, Y. and Oladi, R. (2021) 'Physicochemical properties of thermally treated poplar wood in silicone and rapeseed oils: A comparative study', Journal of Building Engineering, 43, pp. 102511.

[7]Eagleson, C. (1940). Oil synergist for insecticides. U.S. Patent 2,202,145. https://www.google.com/patents/US2202145.

[8] Haller, H.L., LaForge, F.B., and Sullivan, W.N. (1942) 'Effect of Sesamin and Related Compounds on the Insecticidal Action of Pyrethrum on Houseflies', Journal of Economic Entomology, 35(2), pp. 247–248. doi: https://doi.org/10.1093/jee/35.2.247

[9]Simanton, W A. (1949). Sesame extract synergized insecticides. U.S. Patent 2,463,324. doi: https://www.google.com/patents/US2463324

[10] Azadi buyaghji, M., Dad mohammadi, K. (2017) 'Introduction and treatment of medicinal plants based on sources and traditional medicine for insect repellence termite', Journal of traditional medicine of Islam and Iran, 8(1), pp. 75-84.

[11] Abedini, R., and 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), pp. 199-209. (In Persian). doi: https://doi.org/20.1001.1.20089066.1399.11.2.3.9

[12] Poursartip, L., Saadatvafa, K., and 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), pp. 35-43. (In Persian). doi: https://doi.org/10.22067/jpp.v33i1.74552

[13] Afshar, M., Habibpour, B., Shishehbor., P. (2014) 'Resistance evaluation of cellulosic and non-cellulosic building materials to subterranean termite Microcerotermes diversus (Isoptera: Termitidae) under laboratory and field conditions', **Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 37(4), pp. 79-90.**

[14] "Smoke Point of Oils". Baseline of Health. Jonbarron.org. 2012-04-17. Retrieved 2019-12-26.

[15] Tay , J.W., and James, D. (2021) 'Field Demonstration of Heat Technology to Mitigate Heat Sinks for Drywood Termite (Blattodea Kalotermitidae) Management', Insects, 12 (12), pp. 1090. doi: https://doi.org/10.3390/insects12121090

[16] Perry, D.T., and 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), pp. 1373-1381. doi: https://doi.org/10.1093/jee/toaa177

[17] Manalo, R.D., and Garcia, C.M. (2012) 'Termite Resistance of Thermally-Modified Dendrocalamus asper (Schultes f.) Backer ex Heyne', insects, 3(2), pp. 390-395. doi: https://doi.org/10.3390/insects3020390

[18] Ohmura, W., Doi, S., and Aoyama, M. (2000) 'Antifeedant activity of flavonoids and related compounds against the subterranean termite coptotermes formosanus Shiraki', Japan wood research society, 46(2), pp. 149-153. doi: https://doi.org/10.1007/BF00777362

[19] Peralta, R.C.G., Menezes, B, Carvalho A.G, Aguiar-Menezes, E. (2004) 'Wood consumption rates of forest species by subterranean termites (Isoptera) under field conditions', Sociedade de Investigações Florestais, 28, pp. 283-289.

[20] Olaniran, S.O., Owoyemi, J.M., and Aliyu, D. I. (2013) 'Effect of density on the natural resistzance of ten selected nigerian wood species to subterranean termites', Prolignio, 9(1), pp. 32-40.

[21] Kartal S.N., Aysal S., Terzi E., Yilgor N., Yoshimur T., and Tsunoda K. (2013) 'Wood and bamboo-pp composites:fungal and termite resistance, water absorption, and FT-IR Analyses', BioResources, 8(1), pp. 1222-1244.

[22] Baker, B.P., and Grant, J.A. (2018) 'Sesame and Sesame Oil Profile Active Ingredient Eligible for Minimum Risk Pesticide Use', Integrated Pest Management, 1, pp. 1-18. doi: http://hdl.handle.net/1813/52630

[23] Sanaei, A., and Mohebbi, B. (2009) 'The effect of water-heat treatment on the physical properties of beech wood', Caspian agricultural sciences and natural resources research paper, 2(2), pp .1-14. (In Persian)

[24] Syrjanen, T. (2001) 'February. Production and classification of heat treated wood in Finland' In Proceedings of the special seminar Environmental optimisation of wood protection (pp.11-19). France.

[25] Hakan Akyildiz, M., and Ates, S. (2008) 'Effect of heat treatment on Equilibrium Moisture Content (EMC) of some wood species in Turkey', Research

Journal of Agriculture and Biological Sciences, 4(6), pp. 660-665.

[26] Nuopponen, M., Vuorinen, T., Jamsa, S. and Viitaniemi, P. (2004) 'Thermal modifications in softwood studied by FT-IR and UV resonance Raman spectroscopies' Journal of Wood Chemistry and Technology, 24(1), pp. 13-26. doi: https://doi.org/26.10.1081/WCT-120035941

[27] Wang, X., Chen, X., Xie,X., Wu, Y., Zhao, L., Li, Y., and S. Wang. (2018) 'Effects of thermal modification on the physical, chemical and micromechanical properties of Masson pine wood (Pinus massoniana Lamb)', Holzforschung, 72, pp. 1063–1070. doi: https://doi.org/10.1515/hf-2017-0205.

[28] Karlsson, O., Sidorova, E. and Moren, T. (2011) 'Influence of heat transferring media on durability of thermally modified wood', BioResources, 6(1), pp. 358-372. doi: https://doi.org/10.15376/biores.6.1.356-372

[29] Hyvonen, A., Piltonen, P., Nelo, M., and Niinimaki, J. (2005), May. Wood protection tomorrow-Potential of modified crude tall oil formulations in wood protection. In Proceeding of the Seventh Finnish Conference of Environmental Science (pp.3-12). University of Jyvaskyla.

[30] Hietala, S., Maunu, S.L., Sundholm, F., Jamsa, S. and Viitaniemi, P. (2002) 'Structure of thermally modified wood studied by liquid state NMR measurements', Holzforschung, 56, pp. 522-528.

[31] Alen, R., Kotilainen, R., and Zaman, A. (2002) 'Thermochemical behavior of Norway spruce (Picea Alba) at 180-225 °C', Wood Science and Technology, 36(2), pp. 163-171. doi: https://doi.org/10.1007/s00226-001-0133-1

[32] Salman, S., Thévenon, M.F., Pétrissans, A, Dumarçay, S ., Candelier, K ., and Gérardin, p. (2017) 'Improvement of thr durability of heat- treated wood against termites', Maderas. Ciencia y tecnología, 19(3), pp. 317 – 328.

[33] Spear, M.J., Fowler, P.A., Hill, C.A.S. and Elias, R.M. (2006) 'Assessment of the envelope effect of three hot oil treatments: Resistance to decay by Coniophora puteana and Postia placenta', The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP, 6(40), pp. 209-216.

[34] Mirshokraei, S.A. (2003) Wood chemistry. Aeeizh Press, 248 p. (In Persian).

[35] Hasanagić, A., Fathi, L., Hodžić1, A., and Bahmani, M. (2023) 'Physical and mechanical changes in thermal modified wood: A review', Scindeks, 64(3), pp. 314-326. doi: https://doi.org/10.5937/zasmat2303314H

[36] Wang, J. (2007) 'Initiating Evaluation of Thermal-Oil Treatment for Post-MPB Lodgepole Pine'. Forinte Canada Corp: British Columbia.