

The effect of heat treatment on physical and mechanical properties of particleboard produced from orchard trees pruning - industrial wood particles

Morteza Ghanbari ¹, Vahid Vaziri^{2*} , Farshid Faraji ³ and Loya Jamalirad ⁴

1-M.Sc. Graduated of Wood Composite Products, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

2 *-Corresponding author, Assistant Prof., Wood and Paper Science and Technology, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: vahidvaziri@gmail.com

3-Assistant Prof., Wood and Paper Science and Technology, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

4-Associate Prof., Wood and Paper Science and Technology, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

Received: 08 December 2024 Revised: 11 March 2025 Accepted: 15 March 2025 Published online: 18 June 2025

Abstract

Background and objective: Wood, as a natural and renewable material, in addition to its numerous advantages, possess some disadvantages, including its deterioration when exposed to outdoor conditions and its dimensional instability due to fluctuations in relative humidity in the surrounding environment. Heat treatment can enhance the dimensional stability of panel products, such as particleboard, fiberboard, and OSB. Because heat treatment causes chemical changes in wood, including decrease in hemicellulose and the number of hydroxyl groups. The main objective of this research was to assess the effect of steam pretreatment of orchid tree pruning - wood particles on the physical and mechanical properties of particleboard.

Materials and methods: Industrial wood particles from Sanate Choube Shomal Company were used. The ratio of wood chips to orchid tree pruning was used at the level of 70:30. Heat pretreatment was conducted on the wood particles at the temperature of 180 °C with three different retention times (15, 30, and 45 minutes). Urea formaldehyde resin was applied at 10 percent level based on the dry weight of the raw material as well as ammonium chloride was used as a catalyst at a 2 percent level of the dry weight of the adhesive. After the heat treatment and the mixing processes, the raw materials were formed into a mat and then pressed at temperature of 160 °C for 5 minutes. The physical and mechanical properties of the boards were evaluated according to European standards test methods (EN326-1). The analysis of the physical and mechanical properties of the panels were performed using variance analysis at a 95% probability level.

Results: The results showed that the boards made from treated particles with a 45-minute treatment duration exhibited the highest bending strength, modulus of elasticity, and internal bonding. Since heat treatment softens and ramified the lignin and increased the crystallization of cellulose, which improves the strength of the board. Thickness swelling and water absorption of the boards were significantly improved with increased treatment duration. The main reason for dimensional stability can be attributed reduction of hemicellulose content and hydroxyl groups within the wood component.

Conclusion: Based on the findings of this research, heat treatment significantly improved the dimensional stability of the boards. Bending strength, modulus of elasticity, and internal bonding in the treated samples displayed the highest measured values. In comparison to the properties of



the treated boards at 30-minute and 45-minute duration demonstrated the potential to produce particleboards with desirable attributes suitable for interior application (Type P2) for application in dry conditions.

Keywords: Orchid tree pruning, Industrial wood particles, Heat treatment, Physical and mechanical properties.

تأثیر تیمار حرارتی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب ساخته شده از سرشاخه‌های درختان باغی - خرده چوب صنعتی

مرتضی قنبری^۱، وحید وزیری^{۲*}، فرشید فرجی^۳ و لعلیا جمالی راد^۴

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، فراورده‌های چوبی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران، پست الکترونیک: yahidvaziri@gmail.com

۳- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: چوب به عنوان یک ماده طبیعی و تجدیدپذیر علاوه بر مزایای متعدد دارای برخی از معایب مانند تخریب آن در برابر شرایط بیرونی و بی ثباتی ابعادی به عنوان تابعی از نوسان رطوبت نسبی در محیط اطراف خود است. تیمار حرارتی می تواند باعث بهبود پایداری ابعادی چوب و فراورده های چوبی از قبیل تخته خرده چوب، تخته فیبر و تخته تراشه جهت دار شود؛ زیرا تیمار حرارتی سبب تغییر شیمیایی چوب از جمله کاهش همی سلولز و تعداد گروه های هیدروکسیل می گردد. هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی ویژگی های فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب ساخته شده از سرشاخه درختان باغی - خرده چوب صنعتی تیمار شده با بخار آب بود.

مواد و روش ها: خرده چوب صنعتی از شرکت صنعت چوب شمال تهیه شد. از نسبت اختلاط خرده چوب به سرشاخه درختان باغی در سطح ۷۰ : ۳۰ استفاده شد. تیمار حرارتی خرده های چوب در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد و در سه سطح زمان (۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه) انجام شد. از رزین اوره فرم آلدهید به میزان ۱۰ درصد وزن خشک ماده اولیه و از کلرید آمونیوم به عنوان هاردنر به میزان ۲ درصد وزن خشک رزین استفاده شد. پس از فرایند تیمار حرارتی و مخلوط کردن مواد اولیه با یکدیگر، یکک خرده چوب در دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد به مدت زمان ۵ دقیقه تحت پرس گرم قرار گرفت. برای انجام آزمون های فیزیکی و مکانیکی از استانداردهای اروپایی مجموعه EN استفاده شد. خصوصیات فیزیکی و مکانیکی تخته ها با استفاده از آنالیز واریانس در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج: نتایج نشان داد که تخته های ساخته شده از خرده چوب های تیمار شده با زمان ۴۵ دقیقه دارای بیشترین مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی بودند؛ زیرا در اثر اعمال تیمار حرارتی، لیگنین نرم و منشعب شده و نسبت کریستالیت سلولز بیشتر شده و مقاومت های تخته بهبود پیدا کرده است. واکنشیدگی ضخامت و جذب آب تخته ها نیز با افزایش مدت زمان تیمار در حد معنی داری بهبود پیدا کرد. دلیل اصلی پایداری ابعاد را می توان به کاهش مقدار همی سلولز های چوب و گروه های هیدروکسیل موجود در چوب نسبت داد.

نتیجه گیری: با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، تیمار حرارتی به طور معنی داری پایداری ابعاد تخته ها را افزایش داد. مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی در نمونه های تیمار شده بیشترین مقدار را داشت. در مقایسه با خواص تخته های تولید شده با استاندارد EN، تخته های تیمار شده با مدت زمان ۳۰ و ۴۵ دقیقه می توانند برای تخته های استاندارد از نوع تیپ ۲، مورد استفاده قرار گیرند.

واژه های کلیدی: سرشاخه درختان باغی، خرده چوب صنعتی، تیمار حرارتی، خواص فیزیکی و مکانیکی.

مقدمه

در کشور ایران به دلیل محدودیت منابع جنگلی و نیز طرح استراحت جنگل، تأمین ماده اولیه چوبی در صنعت اوراق فشرده چوبی به‌ویژه تخته خرده چوب به یک مسئله حاد تبدیل شده است و صاحبان این صنعت را به تلاش برای دسترسی به مواد لیگنوسلولزی مناسب و ارزان که بتواند یک جایگزین مطمئن برای مواد چوبی جنگلی باشد، واداشته است. از آنجایی که صنعت تخته خرده چوب قادر است طیف وسیعی از مواد لیگنوسلولزی چوبی و غیرچوبی را مورد استفاده قرار دهد، تحقیقات وسیعی برای جایگزینی مواد لیگنوسلولزی حاصل از فعالیت‌های کشاورزی با مواد چوبی جنگلی مورد مصرف این صنعت انجام شده است ([Enayati et al., 2009](#); [Abasi et al., 2018](#); [Avarand et al., 2018](#)). به‌طوری‌که در حال حاضر در جهان با استفاده از ضایعات لیگنوسلولزی کشاورزی مانند باگاس و سرشاخه‌های درختان باغی، تخته خرده چوب تولید می‌گردد ([Yari Firouzabadi et al., 2020](#)). وجود بیش از ۱۵۰۰۰۰ هکتار باغ سیب در کشور و لزوم هرس سالیانه این باغ‌ها، به‌طور متوسط بیش از ۱۰۰۰۰۰ تن ضایعات لیگنوسلولزی تولید می‌شود ([Kargarfard et al., 2006](#)). همچنین با توجه به وجود ۵۰۰۰۰ هکتار باغ زردآلو، ۶۵۰۰۰ هکتار باغ گردو و درختان باغی دیگر، با هرس کردن درختان باغی و استفاده از این ضایعات چوبی می‌توان به‌عنوان ماده اولیه در صنایع تخته خرده چوب استفاده کرد و از توجیه اقتصادی مناسبی برخوردار می‌باشد ([Kargarfard et al., 2006](#)). یکی از مشکلات اساسی اوراق فشرده چوبی، ناپایداری ابعاد آنها در برابر تغییرات رطوبت است. ناپایداری ابعادی، روی بیشتر ویژگی‌های این فراورده‌ها مانند ویژگی‌های مقاومتی، فیزیکی و ظاهری آن تأثیر می‌گذارد؛ به همین دلیل کنترل مقدار جذب رطوبت با روش‌های مختلف از مسائلی است که همواره مورد توجه بوده است. اصلاح فیزیکی و شیمیایی اجزای تشکیل‌دهنده فراورده‌های چندسازه چوبی مانند اصلاح گرمایی از روش‌های شناخته‌شده‌ای است که باعث افزایش مقاومت فراورده در برابر رطوبت می‌شود

([Hatefnia et al., 2012](#)). اگر فراورده‌های چوبی بدون هیچ تیمار اصلاحی تحت شرایط نامطلوب (به‌ویژه مصارف بیرونی) به کار روند، کیفیت آنها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و عمر مفیدشان نیز محدودتر خواهد شد. برای بهبود خواص، می‌بایست تیمارهایی روی فراورده‌های مرکب چوبی اعمال نمود تا کاربرد آنها افزایش یابد. در سال‌های اخیر از روش‌های اصلاح چوب برای بهبود خواص چوب و فراورده‌های آن و نیز کاهش اثرهای زیست‌محیطی استفاده می‌شود که تیمار گرمایی یکی از این روش‌هاست ([Hill, 2006](#)). تیمار گرمایی منجر به تغییر خواص فیزیکی از قبیل کاهش در رطوبت تعادل ([Obataya & Tomita, 2002](#))، کاهش خاصیت هیگروسکوپیک ([Metsa-Kortelainen et al., 2006](#))، بهبود در چسبندگی ([Follrich et al., 2006](#))، بهبود دوام طبیعی ([Boonstra et al., 2006](#)) و افزایش نواحی بلوری سلولز ([Udaka & Furuno, 2003](#)) می‌گردد. از سوی دیگر، اصلاح حرارتی باعث کاهش استحکام و مقاومت چوب می‌شود که مقدار این کاهش با زمان تیمار و گونه چوب مرتبط است ([Awoyemi & Westermarck, 2005](#)). در میان فرایندهای اصلاح چوب، کارآیی اصلاح حرارتی به‌عنوان یک روش بالقوه برای بهبود ثبات ابعادی چوب و افزایش مقاومت در برابر پوسیدگی مورد استفاده قرار می‌گیرد ([Taghiyari, 2010](#)). در اثر تیمار حرارتی و با کاهش گروه‌های آب‌دوست چوب، خاصیت نهم‌پذیری آن کم می‌شود و جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چوب تیمار حرارتی شده کاهش می‌یابد ([Kartal et al., 2007](#)). چوب اگر در دمای بالا (بیشتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) و برای مدت زمان طولانی‌تر تحت تیمار حرارتی قرار گیرد ترد و شکننده شده و خصوصیات مکانیکی آن ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش می‌یابد ([Ozcan et al., 2012](#)). مقاومت خمشی تخته‌ها در تیمار حرارتی در دمای متعادل (۲۰۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) اندکی افزایش می‌یابد و بعد به‌طور معنی‌داری در دمای بالاتر و مدت زمان تیمار طولانی‌تر، کاهش می‌یابد ([Boonstra et al., 2006](#); [Kocaefe et al., 2008](#)) ([Khademi Eslam & Doost Hosseini, ۱۹۹۳](#)) امکان

[Kargarfad](#) و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی تأثیر گرمایی الیاف چوب در ساخت تخته فیبر دانسیته متوسط بیان کردند که تیمار گرمایی روی جذب آب تخته‌ها تأثیر ندارد، اما سبب بهبود واکنشیدگی ضخامت تخته‌ها می‌شود. همچنین مدول الاستیسیته تخته‌ها کاهش اندک و چسبندگی داخلی و مقاومت خمشی کاهش بیشتری نشان می‌دهند.

[Mohebbi](#) و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از ضایعات حاصل از هرس درختان کیوی، تخته خرده چوب سه لایه ساخته و مشاهده کردند که استفاده از خرده چوب‌های درختان کیوی در لایه میانی تأثیر منفی بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها داشته است که علت این موضوع را به وجود پوست و مغز در خرده چوب‌های حاصل از درخت کیوی نسبت دادند.

[Kocaefe](#) و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی تأثیر تیمار حرارتی بر ویژگی‌های مکانیکی چوب کاج جک آمریکای شمالی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته تخته‌ها تحت تیمار حرارتی در دمای کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت اما در دمای بیشتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد هر دو مقاومت کاهش یافت. افزایش مقاومت در دمای پایین (۲۰۰-۱۶ درجه سانتی‌گراد) را به نرم شدن و منشعب شدن لیگنین و تشکیل ساختار محکم‌تر و تخریب بخش آمورف سلولز و افزایش نسبت کریستالین سلولز نسبت دادند.

[Hatefnia](#) و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر تیمار با بخار آب بر روی ویژگی‌های شیمیایی چوب صنوبر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که کاهش مقدار همی‌سلولزها در اثر بخار آب داغ، سریع و به مقدار زیاد اتفاق می‌افتد. تخریب همی‌سلولزها و تولید اسیدهای آلی با افزایش شدت تیمار زیاد می‌شود. افزایش این اسیدها همزمان با افزایش شدت تیمار، تخریب همی‌سلولزها و نیز بخشی از مناطق آمورف سلولز را تسریع کرده و می‌تواند باعث کاهش مقاومت‌های چوب تیمار شده شود. همچنین تعدادی از واحدهای لیگنین که وزن مولکولی پایین دارند تخریب می‌شوند. مقادیر مواد استخراجی، مواد قابل حل در آب داغ و مواد قابل حل در

ساخت تخته خرده چوب از سرشاخه‌های درخت بادام و صنوبر را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که ماده چوبی اولیه مورد استفاده بر ویژگی‌های تخته‌های ساخته شده تأثیر معنی‌داری داشته، به طوری که مقاومت خمشی تخته‌ها با افزایش مقدار مصرف سرشاخه درخت بادام، کاهش یافت. افزایش رطوبت کیک سبب کاهش چسبندگی داخلی تخته‌ها شده است که کاهش چسبندگی داخلی را به دلیل تجمع و افزایش فشار بخار در لایه میانی تخته‌ها بیان کرده‌اند.

[Paoadopoulos](#) و [Kakaras](#) (۲۰۰۰) در تحقیقی با استفاده از پیش‌تیمار گرمایی در دمای ۸۵ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد با زمان ۲۴ ساعت بر خرده چوب‌ها، خواص تخته‌ها را مورد بررسی قرار دادند، نتایج حاصل نشان داد در ساخت تخته‌هایی که از ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد تیمار حرارتی استفاده شده بود چسبندگی داخلی افزایش معنی‌داری یافت. [Lukowsky](#) و [Ohlmeyer](#) (۲۰۰۴) با تحقیق بر روی ساخت تخته خرده چوب از خرده‌های تیمار حرارتی شده نشان دادند که تیمار گرمایی باعث بهبود معنی‌دار ثبات ابعاد، واکنشیدگی ضخامت و جذب آب تخته‌ها می‌شود و درعین حال چسبندگی داخلی و مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته تخته‌های ساخته شده در حد مناسبی قرار دارد.

[Kargarfad](#) و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقی به بررسی استفاده از ضایعات چوبی حاصل از هرس درختان سیب در تولید تخته خرده چوب پرداختند. نتایج نشان داد که مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی تخته‌ها با افزودن سرشاخه درختان سیب، کاهش یافت؛ زیرا افزایش ضریب فشردگی کیک خرده چوب در اثر اضافه شدن گونه چوبی صنوبر به ترکیب ماده چوبی که دارای جرم مخصوص کمتری نسبت به جرم مخصوص سرشاخه‌های سیب می‌باشد باعث افزایش مقاومت‌های ذکر شده می‌شود. همچنین استفاده از یک گونه چوبی با جرم مخصوص زیاد باعث می‌شود که انتقال حرارت از لایه سطحی به لایه میانی کیک خرده چوب هنگام مرحله پرس کاهش یافته و چسبندگی داخلی تخته‌ها کاهش پیدا کند.

هرس و بهسازی باغ‌ها می‌باشد. استفاده از سرشاخه‌های حاصل از هرس درختان باغی، بی‌تردید می‌تواند فشار موجود بر منابع جنگلی را کاهش داده و به‌عنوان یک ماده جایگزین مناسب چوب در صنعت تخته خرده چوب مورد استفاده قرار گیرد، یکی از مسائلی که کارخانه‌های تولید تخته خرده چوب را با مشکل روبرو کرده است، مقاوم نبودن تخته‌های تولید شده در برابر رطوبت می‌باشد. از این رو، می‌توان برای بالا بردن مقاومت تخته‌های تولیدی در برابر رطوبت از روش‌های تیمار کردن خرده‌های چوب استفاده کرد. از جمله این روش‌ها، تیمار حرارتی است که روشی مؤثر برای اصلاح چوب بدون استفاده از مواد شیمیایی می‌باشد. هدف از این تحقیق، استفاده از سرشاخه‌های درختان باغی - خرده چوب صنعتی و تیمار حرارتی آنها به‌منظور بالا بردن مقاومت تخته خرده چوب تولید شده در برابر رطوبت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

خرده چوب: در این تحقیق از خرده چوب صنعتی با ضخامت ۰/۸-۰/۶ میلی‌متر از شرکت صنعت چوب شمال (نوپان گنبد) استفاده شد. خرده چوب‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رطوبت ۴ درصد خشک شدند.

سرشاخه درختان باغی: سرشاخه‌های درختان باغی (سیب، گلابی، گیلان، زردآلو، گردو و توت) از باغ‌های شهرستان خلخال در استان اردبیل جمع‌آوری و توسط یک خردکن غلتکی آزمایشگاهی تبدیل به خرده چوب شده و بعد توسط یک آسیاب حلقوی، خرده چوب‌ها به ذرات قابل استفاده در ساخت تخته خرده چوب تبدیل شدند. در این تحقیق از نسبت اختلاط خرده چوب صنعتی به سرشاخه درختان باغی در سطح ۷۰:۳۰ استفاده شده است.

محلول گرم هیدروکسید سدیم یک درصد، با افزایش شدت تیمار زیاد می‌شود.

[Won](#) و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی تأثیر تیمار حرارتی بر مقاومت و سختی چوب را مورد بررسی قرار دادند. تیمار حرارتی در دو دمای ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. نتایج نشان داد که وزن و دانسیته چوب بعد از تیمار حرارتی کاهش یافت و با کاهش دانسیته چوب، مدول الاستیسیته تخته‌ها افزایش یافت.

[Pesarakloo](#) و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی به بررسی اثر تیمار حرارتی خرده‌های مغز ساقه کنف بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌های ساخته شده از آن پرداختند. نتایج نشان داد که تخته‌های ساخته شده از خرده‌های تیمار شده با زمان ۶۰ دقیقه و رزین ملامین فرم‌آلدهید دارای بیشترین مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته بودند. به‌علاوه اینکه با افزایش زمان تیمار از ۳۰ به ۶۰ دقیقه، چسبندگی داخلی تخته کاهش یافت. واکنشیدگی ضخامت و جذب آب تخته‌ها نیز با افزایش زمان تیمار در حد معنی‌داری نسبت به نمونه‌های تیمار نشده بهبود پیدا کرد.

[Hemmasi](#) و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی به بررسی اثر پیش تیمار گرمایی بر خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب پرداختند. برای این منظور، خرده چوب‌های ممرز توسط یک دستگاه بخارزن با دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد در دو زمان ۲۰ و ۴۰ دقیقه پیش تیمار گرمایی بخار شدند. نتایج نشان داد که پیش تیمار گرمایی باعث افزایش معنی‌دار چسبندگی داخلی تخته‌ها شد اما مقاومت خمشی و جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته‌ها کاهش یافت.

یکی از روش‌های تأمین ماده چوبی مورد نیاز صنعت تخته خرده چوب که قادر است طیف وسیعی از مواد لیگنوسلولزی چوبی و غیرچوبی را مصرف کند، استفاده از مواد لیگنوسلولزی به‌دست آمده از فعالیت‌های باغداری مانند

جدول ۱- مشخصات سرشاخه‌های درختان باغی

Table 1- Characteristics of garden wood pruning

Garden wood pruning	Density (g/cm ³)	Extractives (%)	Lignin (%)	Cellulose (%)
Apricot	0.872	6.75	27.3	33
Apple	0.769			
Cherry	0.69			
Pear	0.663			
Berries	0.655			
Walnut	0.670			

آون برای جلوگیری از تبادل رطوبتی با هوای محیط، بلافاصله در کیسه‌های نایلونی غیرقابل نفوذ قرار گرفتند. رزین اوره فرم‌آلدهید: رزین اوره فرم‌آلدهید مورد استفاده، از شرکت سامد مشهد تهیه شده و پس از انتقال به آزمایشگاه صنایع چوب دانشگاه گنبدکاووس، ویژگی‌های آن مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). مقدار رزین اوره فرم‌آلدهید مورد استفاده برای ساخت هر تخته، ۱۰ درصد ماده اولیه خشک چوبی در نظر گرفته شد.

تیمار حرارتی: برای انجام تیمار حرارتی در این بررسی، خرده چوب‌های تهیه‌شده (شامل خرده چوب صنعتی و سرشاخه درختان باغی) با یک دستگاه بخارزن در دانشگاه تهران با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد در سه سطح زمانی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه تیمار شدند و نمونه‌ها پس از تیمار حرارتی به مدت یک هفته در دمای آزمایشگاه خشک گردیدند و بعد برای رسیدن خرده چوب‌ها به رطوبت ۴ درصد، در آون آزمایشگاهی با دمای ۷۰°C قرار گرفت و پس از خروج از

جدول ۲- مشخصات رزین اوره فرم‌آلدهید مصرفی

Table 2- Characteristics of urea formaldehyde resin

Type of resin	Manufacturer	Solids (%)	pH	Gel time (S)	Viscosity (Cps)	Density (g/cm ³)
Urea formaldehyde	Samed Mashhad	63.5	7.5	54	320	1.274

آزمایشگاهی، کیک‌های خرده چوب با استفاده از دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، فشار ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و زمان ۵ دقیقه پرس شدند. تخته‌های ساخته شده به مدت ۱۵ روز در شرایط آزمایشگاهی با دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار داده شدند. سپس برش تخته‌ها برای تهیه نمونه‌های آزمونی براساس استاندارد EN326-1 انجام شد.

اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی: برای تعیین جذب آب و واکنشیدگی ضخامت از استاندارد EN317، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته از استاندارد EN 310 و چسبندگی داخلی از استاندارد EN319 استفاده شد. نتایج حاصل از این

کلرید آمونیوم: از نمک کلرید آمونیوم به‌عنوان سخت‌کننده (هاردنر) رزین اوره فرم‌آلدهید ساخت شرکت مرک آلمان استفاده شد. کلرید آمونیوم به‌صورت پودر به میزان ۲ درصد وزن خشک رزین مورد استفاده قرار گرفت.

فرایند ساخت تخته خرده چوب: خرده چوب‌های حاصل از سرشاخه درختان باغی و خرده چوب صنعتی با درصد اختلاط مشخص شده (۳۰:۷۰) توسط چسب‌زن آزمایشگاهی چسب‌زنی شدند. به‌منظور ساخت تخته‌هایی با دانسیته ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، ذرات چسب‌خورده توسط قالب چوبی به ابعاد ۴۵×۴۵ سانتی‌متر مربع، فرم‌دهی شده و پس از تشکیل کیک با استفاده از یک پرس

تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج

مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف تیمار حرارتی تأثیر معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته داشته است (جدول ۳).

تحقیق با تخته‌های تیپ ۲ (تخته‌هایی برای لوازم داخلی به‌منظور استفاده در شرایط خشک با مقاومت خمشی ۱۱ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته ۱۶۰۰ مگاپاسکال و چسبندگی داخلی ۰/۳۵ مگاپاسکال) طبق استاندارد EN312 مورد مقایسه قرار گرفت.

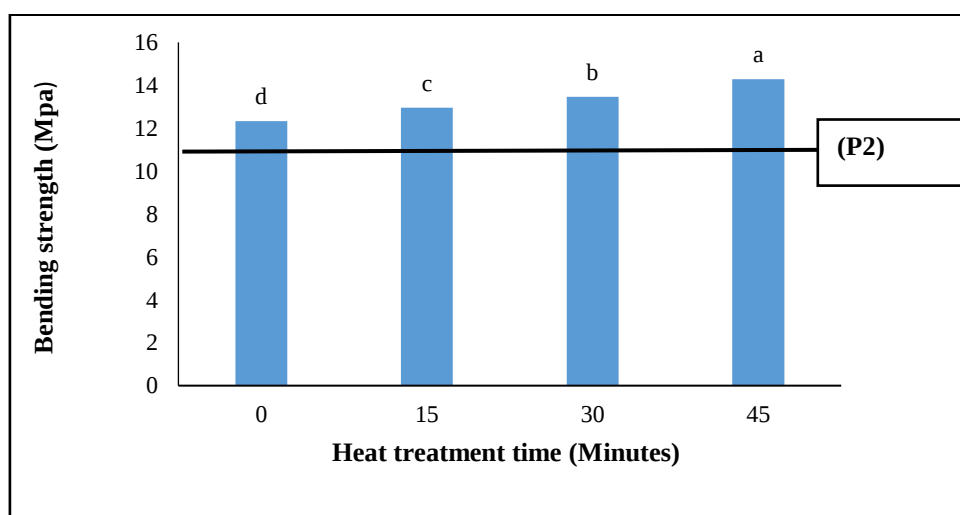
تجزیه و تحلیل آماری: برای تجزیه و تحلیل نتایج از آزمون تجزیه واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. میانگین داده‌ها، با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفت. برای

جدول ۳- آنالیز واریانس تأثیر سطوح مختلف تیمار حرارتی بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته

Table 3- Analysis of variance the effect of different levels of heat treatment on modulus of elasticity and bending strength

Properties	Source of variation	df	Mean squares	F	Sig
Bending strength	Between groups	3	2.016	212.999	0.000**
	Within groups	8	0.009		
	Total	11			
Modulus of elasticity	Between groups	3	45847.980	1360.02	0.000**
	Within groups	8	35.105		
	Total	11			

**Significance at the level of 99%

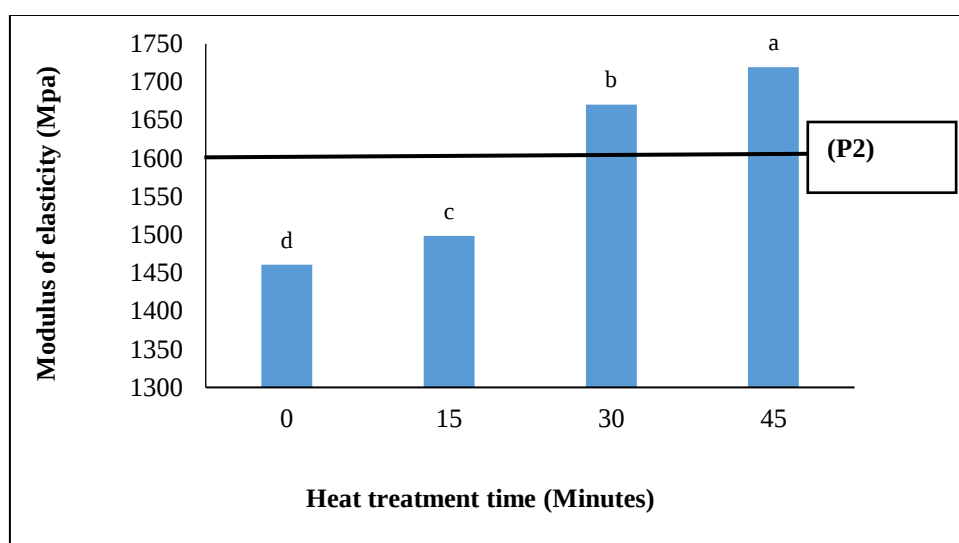


شکل ۱- اثر سطوح مختلف تیمار حرارتی بر مقاومت خمشی

Figure 1. The effect of different heat treatment levels on bending strength

خمشی و مدول الاستیسیته زیاد شد که با نتایج [Pesarakloo](#) و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد؛ زیرا اعمال تیمار حرارتی خرده چوب‌ها، باعث نرم شدن و منشعب شدن لیگنین شده و با افزایش نسبت کریستالیت سلولز، ساختار محکم‌تری تشکیل شده که در بهبود مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته مؤثر بوده است ([Pesarakloo et al., 2013](#); [Kocaefe et al., 2010](#)).

همان‌طور که در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان تیمار حرارتی خرده چوب‌ها، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته تخته‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته در تخته‌ها مربوط به تیمار حرارتی ۴۵ دقیقه می‌باشد و کمترین آن مربوط به نمونه شاهد (بدون اعمال تیمار حرارتی) می‌باشد. با افزایش زمان تیمار حرارتی تا ۴۵ دقیقه، اتصال بین ذرات بهبود پیدا کرده است، در نتیجه مقاومت



شکل ۲- اثر سطوح مختلف تیمار حرارتی بر مدول الاستیسیته

Figure 2. The effect of different heat treatment levels on modulus of elasticity

جدول ۴- آنالیز واریانس تأثیر سطوح مختلف تیمار حرارتی بر چسبندگی داخلی

Table 4- Analysis of variance the effect of different levels of heat treatment on internal bonding

Source of variation	df	Mean squares	F	Sig
Between groups	3	0.191	790.667	0.011*
Within groups	8	0.00024		
Total	11	0.006		

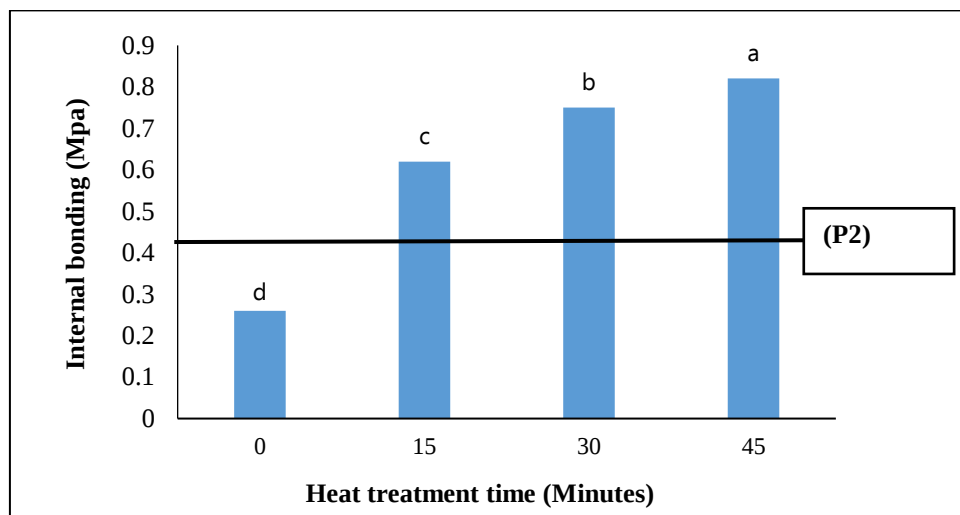
*Significance at the level of 95%

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش زمان تیمار حرارتی تا ۴۵ دقیقه در تخته‌ها، چسبندگی داخلی تخته‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش چشمگیری می‌یابد.

چسبندگی داخلی
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف تیمار حرارتی تأثیر معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۵ درصد بر چسبندگی داخلی داشته است (جدول ۴).

محصولی مانند واکنش‌های چسب تولید کنند که منجر به افزایش چسبندگی داخلی تخته خرده چوب شوند (Hemmasi *et al.*, 2017) که با نتایج Kakaras و Paoadopoulos (۲۰۰۰) مطابقت دارد.

بیشترین مقدار چسبندگی داخلی در تخته‌ها مربوط به تیمار حرارتی ۴۵ دقیقه می‌باشد و کمترین آن مربوط به نمونه شاهد (بدون اعمال تیمار حرارتی) است؛ زیرا در هنگام تیمار گرمایی چوب، واکنش‌های پلیمریزه شدن لیگنین می‌تواند



شکل ۳- اثر سطوح مختلف تیمار حرارتی بر چسبندگی داخلی

Figure 3. The effect of different heat treatment levels on internal bonding

آب و واکنشیدگی ضخامت تخته‌ها کاهش یافته است. البته کاهش قابل توجه واکنشیدگی ضخامت و جذب آب تخته‌های ساخته شده از خرده چوب تیمار شده دلایل مختلفی می‌تواند داشته باشد. تخریب گرمایی همی سلولزها، کاهش نواحی آمورف و افزایش نسبت مناطق کریستالی، کاهش گروه‌های هیدروکسیل و کاهش تعداد پیوندهای هیدروژنی با آب و کاهش خاصیت آب دوستی چوب از علل اصلی کاهش واکنشیدگی ضخامت و جذب آب تخته‌ها هستند (Kartal *et al.*, 2007; Pesarakloo *et al.*, 2013).

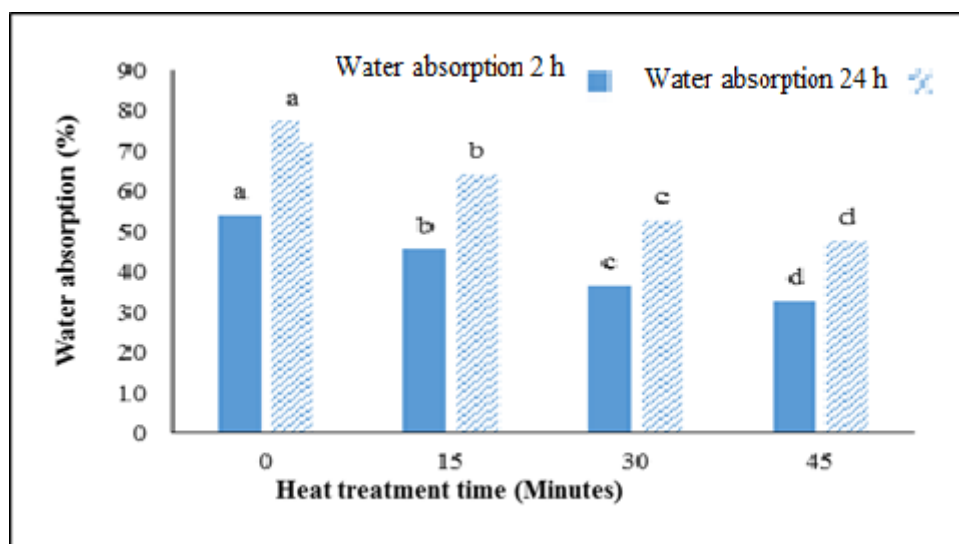
جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف تیمار حرارتی تأثیر معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۹ درصد بر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب داشته است (جدول ۵). همان‌طور که در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود با افزایش زمان تیمار حرارتی، میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته خرده چوب کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج مشخص می‌گردد که با افزایش زمان تیمار حرارتی تا ۴۵ دقیقه پایداری ابعاد تخته‌های تولیدی افزایش یافته و جذب

جدول ۵- آنالیز واریانس تأثیر سطوح مختلف تیمار حرارتی بر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

Table 5- Analysis of variance the effect of different levels of heat treatment on water absorption and thickness swelling after 2h and 24h immersion in water

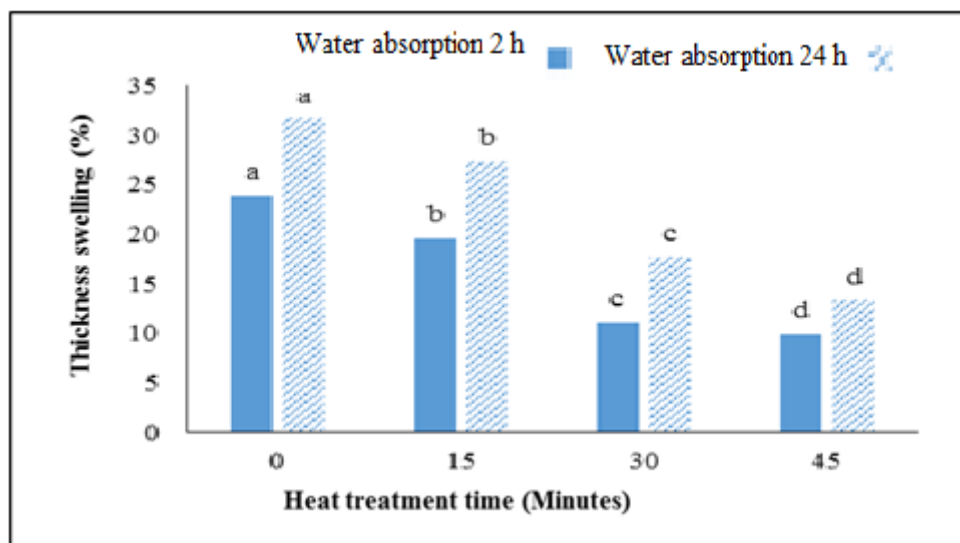
Properties	Source of variation	df	Mean squares	F	Sig
Water absorption after 2 h	Between groups	3	271.232	180.534	0.000**
	Within groups	8	1.502		
	Total	11			
Water absorption after 24 h	Between groups	3	527.701	2742.73	0.000**
	Within groups	8	0.192		
	Total	11			
Thickness swelling after 2 h	Between groups	3	135.886	610.973	0.000**
	Within groups	8	0.222		
	Total	11			
Thickness swelling after 24 h	Between groups	3	216.593	1362.22	0.000**
	Within groups	8	0.159		
	Total	11			

**Significance at the level of 99%



شکل ۴- اثر سطوح مختلف تیمار حرارتی بر جذب آب بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

Figure 4. The effect of different heat treatment levels on water absorption after 2h and 24h immersion in water



شکل ۵- اثر سطوح مختلف تیمار حرارتی بر واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

Figure 5. The effect of different heat treatment levels on thickness swelling after 2h and 24h immersion in water

حرارتی، واکنشیدگی ضخامت و جذب آب تخته‌ها کاهش یافته است؛ زیرا تیمار حرارتی باعث تخریب همی سلولزها و قسمت‌های آمورف سلولز شده و جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاهش می‌یابد که با نتایج [Hatefnia](#) و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

با استفاده از نتایج حاصل از این تحقیق و با توجه به استاندارد EN 312 که مربوط به طبقه‌بندی تخته خرده چوب براساس ویژگی‌های مقاومتی است، می‌توان نتیجه گرفت که تخته‌های تیمار شده در مدت زمان ۳۰ و ۴۵ دقیقه می‌توانند برای تخته‌های استاندارد از نوع تیپ ۲، مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به نتایج حاصل، تخته‌های تیمار حرارتی شده در مدت زمان ۳۰ دقیقه (با مدت زمان کمتر) برای استفاده به منظور ساخت تخته‌های تیپ ۲ پیشنهاد می‌گردد.

بحث

مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی با افزایش مدت زمان تیمار تا سطح ۴۵ دقیقه در طی مراحل پرس گرم، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی تخته‌ها زیاد شده است؛ زیرا در اثر اعمال تیمار حرارتی، لیگنین نرم و منشعب شده و ساختار محکم‌تری را تشکیل می‌دهد و باعث بهبود مقاومت‌های تخته شده است که با نتایج [Pesarakloo](#) و همکاران (۲۰۱۳) و [Kocafe](#) و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. از این رو، با توجه به استاندارد EN312 مقاومت خمشی تمامی تخته‌ها و مدول الاستیسیته تخته‌های حاوی ۳۰ و ۴۵ دقیقه تیمار حرارتی شده بالاتر از حد استاندارد تیپ ۲ بودند. همچنین چسبندگی داخلی تخته‌های دارای تیمار حرارتی بالاتر از حد استاندارد EN 312 (۰/۳۵ مگاپاسکال) برای تخته‌های تیپ ۲ هستند.

جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار حرارتی بر میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته‌ها بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، معنی‌دار بوده و با افزایش مدت زمان تیمار

References

- Abasi, M., Vaziri, V., Faraji, F. and Aminian, H., 2018. Study on physical and mechanical properties of particleboard made of wood particles-waste tire powder. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 25(2): 165-176. [10.22069/jwfst.2018.14320.1722](https://doi.org/10.22069/jwfst.2018.14320.1722)
- Avarand, M., Jamalirad, L., Aminian, H. and Vaziri, V., 2018. Physical and mechanical properties of particleboard made from mixing corn stalk, wheat straw and industrial wood particles. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 25(4): 103-115. [10.22069/jwfst.2018.14859.1740](https://doi.org/10.22069/jwfst.2018.14859.1740)
- Awoyemi, L. and Westermark, U., 2005. Effects of borate impregnation on the response of wood strength to heat treatment. *Wood Science Technology*, 39: 484-491. <https://doi.org/10.1007/s00226-005-0001-5>
- Boonstra, M. J., Van Acker, J., Kegel, E. and Stevens, M., 2006. Optimization of a two-stage heat treatment process: durability aspects. *Wood Science Technology*, 41: 31-57. <https://doi.org/10.1007/s00226-006-0087-4>
- Doosthosseini, K. and Khademi Eslam, H., 1993. Investigating the use of fruit trees in the particleboard industry. *Iranian Natural Resources Journal*, 1(46): 63-77.
- Enayati, A. A., Reisi, M. and Edalat, H. R., 2009. Investigation of physical and mechanical properties of particleboard made from apricot pruning and industrial wood particles. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 24(2): 244-253. <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2009.117379>
- EN 310:1993 Wood based panel. Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. The European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. <https://doi.org/10.3403/00299457>
- EN 312. 2010. Particleboard – Specification. Requirements for general purpose boards for use in dry conditions. The European Committee for Standardization. Brussels, Belgium.
- EN 317. 1993. Particleboard and fiberboards. Determination of swelling in thickness after immersion in water. The European Committee for Standardization. Brussels, Belgium.
- EN 319. 1993. Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. The European Committee for Standardization. Brussels, Belgium.
- EN 326-1. 1994. Wood-based panels sampling, cutting and inspection sampling and cutting of test pieces and expression of test results. The European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. <https://doi.org/10.3403/00332747>
- Follrich, J., Muller, U. and Gindl, W., 2006. Effects of thermal modification on the adhesion between spruce wood (*Picea abies*) and a thermoplastic polymer. *Holzroh-Werkst*, 64: 373-376. <https://doi.org/10.1007/s00107-006-0107-y>
- Hemmasi, A.H., Alvandi, H., Bazayr, B. and Kargarfard, A., 2017. Survey on the effects of pre-heat treatment on the mechanical and physical properties of particleboard. *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 7(1): 11-22.
- Hatefnia, H., Enayati, A.A., Doosthosseini, K. and Azadfallah, M., 2012. Evaluation of steam pretreatment of poplar wood particles on the mechanical and physical properties of particleboard. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 26(4): 682-698. <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2011.117255>
- Hill, C., 2006. Wood modification: chemical, thermal, and other processes. *Wiley Series in Renewable Resources*, NJ. 239p. [10.1002/0470021748](https://doi.org/10.1002/0470021748)
- Kakaras, L. A. and Paoadopoulos, A. N., 2000. The effects of drying temperature of wood chips upon the internal bond strength of particleboard. *Technological Educational institute of Karditsa, Department of Wood and Furnit Technology-design*, 43100, Kardisa Greece.
- Kargarfard, A., Hosseinzadeh, A., Nourbakhsh, A., Doosthosseini, K. and Niknam, F., 2006. Utilization of apple wood pruning in particleboard production. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi*, 3(73): 27-32.
- Kargarfard, A., Nourbakhsh, A. and Hosseinkhani, H., 2007. Investigation on medium density fiber board from horn beam wood. *Pajouhesh & Sazandegi*, 68: 38-47.
- Kartal, S. N., Hwang, W. J. and Imamura, Y., 2007. Water absorption of boron-treated and heat-modified wood. *Wood Science and Technology*, 53: 454-457. <https://doi.org/10.1007/s10086-007-0877-9>
- Kocaefe, D., Poncsak, S. and Boluk, Y., 2008. Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen. *Bioresources*, 3(2): 517-537. <https://doi.org/10.15376/biores.3.2.517-537>
- Kocaefe, D., Poncsak, S. and Tang, J., 2010. Effect of heat treatment on the mechanical properties of North American jack pine: thermogravimetric study. *J Mater Sic*, 45: 681-687. <https://doi.org/10.1007/s10853-009-3985-7>
- Metsa-Kortelainen, S., Antikainen, T. and Vitanieni, P., 2006. The water absorption of sapwood and heartwood of Scots pine and Norway spruce heat-treated at different temperatures. *Holzroh-Werkst*, 64: 192-197. <https://doi.org/10.1007/s00107-005->

- [0063-y](#)
- Mohebbi, B., Ilbeighi, F. and Kazemi-Najafi, S., 2008. Influence of hydrothermal modification of fibers on some physical and mechanical properties of medium density fiberboard (MDF). *Holz alsroh-und Werkstoff*, 66: 213-218. <https://doi.org/10.1007/s00107-008-0231-y>
- Obataya, E. and Tomita, B., 2002. Hygroscopicity of heat-treated wood Reversible and irreversible reductions in the hygroscopicity of wood due to heating. *Mokuzai Gakkaishi*, 48: 288-295.
- Ohlmeyer, M. and Lukowsky, D., 2004. Wood-passed panels produced from thermal treated wood-properties and perspectives. In *Wood-frames housing durability and disaster issues conference*. October 4-6, Las Vegas, USA:pp: 127-131.
- Ozcan, S., Ozciftci, A., Hiziroglu, S. and 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>
- Pesarakloo, A., Dehghani, M., Kargarfard, A. and Tabarsa, T., 2013. The effects of thermal treatment and resin type on physical and mechanical properties of kenaf stalk particleboard. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 28(2): 313-328.
- Taghiyari, H.R. (2010). Study on the effect of nano-silver impregnation on mechanical properties of heat-treated *Populus nigra*. *Wood Science Technology*, 45(2): 399-440. <https://doi.org/10.1007/s00226-010-0343-5>
- Udaka, E. and Furuno, T., 2003. Change in crystalline structure of compressed wood by treatment with a closed heating system. *Mokuzai Gakkaishi*, 49: 1-6.
- Won, K. R., Kim, T. H., Hwang, K., Chong, S. H., Hon, N. E. and Byeon, H. S., 2012. Effect of heat treatment on the bending strength and hardness of wood. *Journal of Korean Wood Science and Technology*, 40(5): 303-310. <https://doi.org/10.5658/wood.2012.40.5.303>
- Yarifirouzabadi, Z., Vaziri, V., Kord, B. and Jamalirad, L., 2020. Investigation the effect of nanographene particles on physical and mechanical properties of high density polyethylene-rapeseed of stalk flour composites. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 10(4): 629-641.