Research Article

Iranian Journal of Wood and Paper Science Research
Vol. 39, No. 4, Page 272-283 (2024) DOI: 10.22092/ijwpr.2024.365781.1773

Investigating of physical and mechanical properties of single-layer particleboard made from *Prosopis cineraria* residues and industrial wood particles

M. Noorirad [1], H. Aminian [2], L. Jamalirad [3] and V. Vaziri [4]*

1- M.Sc. Graduated of Wood Composite Products, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
2- Assistant Prof., Wood and Paper Science and Technology, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
3-Associate Prof., Wood and Paper Science and Technology, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
4*-Corresponding Author, Assistant Prof., Wood and Paper Science and Technology, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: vahidvaziri@gmail.com

Received: June 2024 Revised: August 2024 Accepted: October 2024

Abstract

Background and objectives: Many studies have been conducted on the use of cellulosic resources to provide portion of raw materials for wood and paper industries. Waste branches for some species such as palm and *Prosopis cineraria* in southern parts of country can be a solution for deficiency of raw material in wood and paper industries. This study investigated the possibility of using a combination of *Prosopis cineraria* residues and industrial wood particles to produce particleboard with acceptable physical and mechanical properties.

Methodology: The variables in this study were the ratio of *Prosopis cineraria* residues to industrial wood particles at four levels (0:100, 15:85, 30:70, 45:55) and urea formaldehyde resin at two levels (10 and 12 percent). Industrial wood particles from Sanate Choube Shomal Company and *Prosopis cineraria* residue was collected from the province of Sistan and Baluchistan and particles were produced at the laboratory. Ammonium chloride as hardener was used at 2 percent of the dry weight of the adhesive. After mixing raw material, the mat was placed under hot pressing at a temperature of 170 ˚C for 6 minutes. After the manufacture of the single-layer particleboard, the physical and mechanical properties of the boards were measured and analyzed by a factorial test in a completely randomized design with at confidence level of 5%.

Results: The results showed that the physical and mechanical properties of the panels decreased as the percentage of mixture *Prosopis cineraria* residues particles increased. So that, panels containing 45% *Prosopis cineraria* particles and 10% urea-formaldehyde resin had the lowest mechanical properties, while panels containing 12% urea-formaldehyde resin without *Prosopis cineraria* s particles had the highest mechanical properties. Panels containing 45% *Prosopis cineraria* particles and 12% urea-formaldehyde resin had the lowest water absorption and thickness swelling, while panels containing 10% urea-formaldehyde resin without *Prosopis cineraria* particles had the highest.

Conclusion: According to the results of this study, the boards containing 15% *Prosopis cineraria* particles and 10% resin could not reached the specification of Type P1 boards and the boards with 15% *Prosopis cineraria* particles and 12% resin for Type P2 boards.

Keywords: *Prosopis cineraria*, industrial wood particles, urea-formaldehyde resin, percentage of mixture.

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌خرده‌چوب یک لایه از ترکیب چوب کهور -خرده‌چوب صنعتی

محمد نوری‌راد[۱]، هدایت‌الله امینیان [۲]، لعیا جمالی‌راد[۳] و وحید وزیری[۴*]

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، فراورده‌های چندسازه چوبی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

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

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

۴*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران، پست‌الکترونیک: vahidvaziri@gmail.com

تاریخ دریافت: تیر ۱۴۰۳ تاریخ اصلاح نهایی: شهریور ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: مهر ۱۴۰۳

چکیده

سابقه و هدف: تحقیقات گسترده‌ای برای استفاده از منابع لیگنوسلولزی به‌منظور تأمین بخشی از ماده اولیه مورد نیاز صنایع چوب و کاغذ انجام شده است. استفاده از منابعی مانند ضایعات نخل و کهور موجود در استان‌های جنوبی می‌تواند پاسخگوی بخشی از این مواد اولیه باشد. در این تحقیق امکان استفاده از ترکیب چوب کهور و خرده چوب صنعتی به‌منظور ساخت تخته خرده چوب با خواص فیزیکی و مکانیکی قابل‌قبول بررسی شد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق نسبت وزنی خرده چوب کهور به خرده چوب صنعتی در چهار سطح (۰ به ۱۰۰، ۱۵ به ۸۵، ۳۰ به ۷۰، ۴۵ به ۵۵) و رزین اوره فرم‌آلدئید در دو سطح (۱۰ و ۱۲ درصد) به‌عنوان متغیرهای مستقل انتخاب گردید. خرده‌چوب صنعتی از شرکت صنعت چوب شمال و .چوب کهور از استان سیستان و بلوچستان تامین و در آزمایشگاه به خرده چوب تبدیل شده است. از کلرید آمونیوم به‌عنوان هاردنر به میزان ۲ درصد وزن خشک چسب استفاده شد. پس از مخلوط کردن مواد، کیک خرده چوب در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان ۶ دقیقه تحت پرس گرم قرار گرفت. پس از ساخت تخته خرده چوب همگن، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها با استفاده از آزمون فاکتوریل دو طرفه در قالب طرح کاملاً تصادفی در سطح اطمینان ۵ درصد تجزیه‌وتحلیل آماری شد.

نتایج: نتایج نشان داد که با افزایش خرده‌چوب کهور، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها کاهش یافت. به‌طوری‌که کمترین مقدار خواص مکانیکی مربوط به تخته‌های دارای ۴۵ درصد خرده‌چوب کهور با ۱۰ درصد رزین و بیشترین مقدار مربوط به تخته‌های دارای ۱۲ درصد رزین اوره فرم‌آلدئید بدون خرده چوب کهور بود. کمترین مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته‌ها مربوط به تخته‌های دارای ۴۵ درصد خرده چوب کهور با ۱۲ درصد رزین اوره فرم‌آلدئید و بیشترین آن مربوط به تخته‌های ساخته شده با ۱۰ درصد رزین اوره فرم‌آلدئید بدون خرده چوب کهور بود.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج این تحقیق، قابلیت استفاده از تخته‌های دارای ۱۵ درصد گونه کهور با رزین ۱۰ درصد برای تخته‌های تیپ ۱ (اهداف عمومی) و تخته‌های دارای ۱۵ درصد گونه کهور با رزین ۱۲ درصد برای تخته‌های تیپ ۲ (مبلمان) وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: چوب کهور، خرده‌چوب صنعتی، رزین اوره فرم‌آلدئید، درصد اختلاط.

مقدمه

بازار جهانی کامپوزیت‌های مبتنی بر چوب، با وجود کاهش دسترسی به ماده اولیه، هرساله در حال رشد است. در کشورهایی که در حال رشد مداوم و سریع هستند منابع چوبی برای تولید تخته خرده‌چوب، هرسال در حال کاهش است (Abasi *et al*., 2018). کمبود مواد اولیه چوبی به‌ویژه در کشور ایران که همراه با طرح صیانت از جنگل همراه شده بیشتر احساس می‌شود و کارخانه‌های اوراق فشرده چوبی را در تهیه مواد اولیه چوبی با مشکل شدیدی مواجه نموده است (Vaziri & Mesgarhaye Kashani, 2018; Avarand *et al*., 2018). ازآنجایی‌که صنایع اوراق فشرده چوبی می‌توانند طیف وسیعی از مواد اولیه لیگنوسلولزی چوبی و غیرچوبی را مصرف کنند، تحقیقات زیادی برای جایگزین نمودن مواد اولیه لیگنوسلولزی حاصل از فعالیت‌های کشاورزی با مواد چوبی جنگلی برای ساخت تخته خرده چوب انجام شده است (Yeniocak *et al*., 2014; Copur *et al*., 2008; Yari Firouzabadi *et al*., 2020.) استفاده از منابعی مانند ضایعات نخل، کهور پاکستانی و گز موجود در استان‌های جنوبی کشور می‌تواند تا حدودی پاسخگوی کمبود مواد اولیه لیگنوسلولزی باشد (Nourbaksh & Kargarfard, 2005). سطح جنگل‌های کهور در چند استان جنوبی کشور حدود ۵۰ هزار هکتار است. این گونه که به کهور آمریکایی و یا پاکستانی (سمر) معروف است در استان‌های جنوبی کشور به‌سرعت در حال افزایش بوده و به نظر می‌رسد ماده اولیه مناسبی برای ساخت تخته خرده‌چوب باشد. با توسعه و کاشت گونه‌های این‌چنینی می‌توان علاوه بر پایداری تحت شرایط آب و هوایی، حفاظت از خاک مناطق کویری و هدف تولید محصولات چوبی را نیز برآورده کرد. همچنین با توجه به سازگاری این گونه‌ها با شرایط آب و هوای مناطق جنوبی کشور و رشد مناسب آنها، توجه به گسترش و جنگل‌کاری آن در مناطق کویری بدون آب و علف، موضوعی ضروریست (Nourbaksh *et al*., 2001). گونه کهور یکی از مهم‌ترین عناصر عمده تشکیل‌دهنده جنگل‌های نیمه گرمسیری در کرانه خلیج فارس و دریای عمان است و اراضی وسیعی زیر کشت این گونه رفته است (Ghasemi *et al*., 2009). وزن مخصوص خشک و بحرانی گونه کهور پاکستانی (آمریکایی) به ترتیب ۰/۸۰۶ و ۰/۶۹۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب برآورد شده است (Fakhryan Roghani *et al*., 2016). جرم ویژه نسبی اشباع و خشک چوب کهور ایرانی به ترتیب ۱/۰۸ و ۰/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بیان شده است (Toghraie *et al*., 2005). ازاین‌رو، چوب کهور از چوب‌های با دانسیته بالا و چوب سنگین و مقاوم است (Carrillo-Parra, 2007). جنس کهور ۴۴ گونه را دربر می‌گیرد که نزدیک به ۴۰ گونه آن بومی قاره آمریکاست. چهار گونه کهور در ایران وجود دارد که به‌شرح زیر است: کهور آمریکایی یا کهور پاکستانی (*Prosopis juliflora*)، کهورک (*Prosopis farcta*)، کهور ایرانی (*Prosopis cineraria*) و کهور درختچه‌ای (*Prosopis* koeziana) (Fakhryan *et al*., 2016). در شکل ۱ تصویر و میوه درخت کهور نشان داده شده است.

در جدول ۱ درصد میانگین ترکیبات شیمیایی چوب کهور پاکستانی و در جدول ۲ میانگین ابعاد الیاف چوب کهور پاکستانی آورده شده است (Fakhryan *et al*., 2016).

شکل ۱- شکل و میوه درخت کهور

Figure 1. Picture and fruit of Mesquite tree

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی کهور پاکستانی

Table 1- Chemical composition of *Prosopis juliflora*

Ash (%)	Extractive (%)	Lignin (%)	Cellulose (%)
1.1	3.88	23.66	48.8

جدول ۲- ابعاد الیاف کهور پاکستانی

Table 2- Fiber dimensions of *Prosopis juliflora*

Dimensions (Micron)	Characteristics
859	Fiber length
51.9	Fiber diameter
10.2	Cell wall thickness
41.7	Diameter of the cell cavity

Nourbakhsh و Kargarfard (۲۰۰۵) ویژگی‌های تخته خرده‌چوب ساخته شده از مخلوط منابع لیگنوسلولزی جنوب ایران (ضایعات نخل، کهور پاکستانی، گز و اکالیپتوس) را با مقدار مصرف رزین اوره فرم‌آلدئید در سه سطح ۹، ۱۰ و ۱۱ درصد و مدت زمان پرس در سه سطح ۵، ۶ و ۷ دقیقه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش میزان رزین از ۹ به ۱۱ درصد، واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب کاهش یافت ولی با افزایش میزان رزین از ۹ به ۱۱ درصد، مقاومت‌خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی افزایش یافت و مدت زمان پرس ۶ دقیقه، به‌عنوان مناسب‌ترین حالت در ساخت تخته خرده‌چوب بود که خواص فیزیکی و مکانیکی در شرایط مطلوب‌تری قرار داشت.

Habibi و همکاران (۲۰۱۲) قابلیت استفاده از چوب سمر (کهور) در ساخت تخته خرده‌چوب را مورد بررسی قرار دادند. متغیرهای این تحقیق شامل ماده اولیه لیگنوسلولزی (چوب تنه، چوب شاخه و مخلوط آن‌ها با نسبت مساوی) و مقدار رزین ۱۰ و ۱۲ درصد در نظر گرفته شد. طبق نتایج ارائه شده، تأثیر نوع ماده اولیه چوبی بر کلیه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب به غیر از مدول‌الاستیسیته معنی‌دار بوده است. حداکثر مقاومت خمشی مربوط به تخته‌های ساخته شده از چوب شاخه سمر بوده است. اثر

مقدار رزین نیز بر کلیه خواص تخته‌ها به غیر از ویژگی‌های خمشی معنی‌دار بوده و افزایش مصرف رزین باعث افزایش فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب شده است. همچنین نتایج حاصل از اندازه‌گیری واکشیدگی ضخامت تخته‌ها پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب نیز نشان داده است که حداقل ویژگی‌های ذکرشده مربوط به تخته‌های ساخته شده از تنه بوده است.

Bhadewad و همکاران (۲۰۱۸) درصد متفاوت رزین در تخته خرده‌چوب ساخته شده با کهور را مورد بررسی قرار دادند. آنان گزارش کردند که کهور می‌تواند برای تولید تخته خرده‌چوب با چگالی متوسط مورد استفاده قرار گیرد. با افزایش مقدار رزین، دانسیته تخته‌ها افزایش یافت، در حالی که درصد رطوبت، جذب آب و واکشیدگی ضخامت کاهش یافت. تخته‌های ساخته شده با استفاده از رزین ۱۱ و ۱۲ درصد از نظر استاندارد مطلوب بوده‌اند.

Kumar و همکاران (۲۰۲۰) ویژگی‌های تخته خرده‌چوب همسان ساخته شده از چوب کهور ایرانی (*Prosopis cineraria*) با مقادیر مختلف رزین فنول فرم‌آلدئید را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار رزین، دانسیته افزایش و مقادیر جذب آب و واکشیدگی ضخامت کاهش می‌یابد. بااین‌حال، واکشیدگی ضخامت تخته بالاتر از حد مشخص شده و طبق استاندارد هند (IS: 3087) در ۸ و ۱۰ درصد مقدار مصرف رزین است که می‌توان با استفاده از پارافین کنترل کرد. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش مقدار رزین، مقاومت خمشی، چسبندگی داخلی و مقاومت نگهداری پیچ افزایش می‌یابد. نتیجه‌گیری کلی، حکایت از سودمندی استفاده از ذرات لیگنوسلولزی کهور ایرانی برای استفاده کارآمد از آن برای ساخت تخته خرده‌چوب با مقدار رزین ۱۲ درصد داشت.

استفاده از منابع اولیه تجدیدشونده خارج از شمال کشور در تولید تخته خرده‌چوب، تخته فیبر و سایر اوراق فشرده چوبی در آینده‌ای نه چندان دور موضوعی ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین توسعه روش‌ها و فرایندهای تولید تخته خرده‌چوب با در نظر گرفتن نوع ماده اولیه باید مورد توجه قرار گیرد. استفاده از منابعی مانند ضایعات نخل و کهور پاکستانی در استان‌های جنوبی کشور می‌تواند تا حدودی پاسخگوی کمبود مواد اولیه لیگنوسلولزی باشد. این تحقیق با هدف امکان استفاده از گونه کهور در ترکیب با خرده چوب صنعتی به‌منظور ساخت تخته خرده چوب با خواص فیزیکی و مکانیکی قابل‌قبول مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از خرده‌چوب کهور، خرده‌چوب صنعتی (ترکیبی از درختان باغی شامل ۲۰ درصد زردآلو، ۲۰ درصد هلو، ۱۰ درصد گردو، ۱۵ درصد توت، ۲۰ درصد سنجد و ۱۵ درصد انجیر)، رزین اوره فرم‌آلدئید و کلرید آمونیوم به‌عنوان هاردنر استفاده شد. چوب کهور تهیه شده از استان سیستان و بلوچستان در شرکت صنعت چوب شمال با استفاده از خردکن چکشی به ابعاد مورد نظر تبدیل گردید. سپس ذرات ذکرشده با استفاده از آون آزمایشگاهی در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد تا رطوبت ۶ درصد خشک شد. از رزین اوره فرم‌آلدئید در دو سطح ۱۰ و ۱۲ درصد وزن خشک خرده‌چوب‌ها استفاده گردید که ویژگی‌های آن به شرح جدول ۳ است. در این تحقیق از نسبت درصد اختلاط ذرات حاصل از چوب کهور و خرده‌چوب صنعتی در ساخت تخته خرده‌چوب همگن به ترتیب با نسبت‌های ۱۰۰:۰، ۸۵:۱۵، ۷۰:۳۰، ۵۵:۴۵ استفاده گردید. عوامل ثابت این تحقیق شامل: دانسیته تخته ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، ضخامت تخته ۱۶ میلی‌متر، کلرید آمونیوم به مقدار ۲ درصد وزن خشک رزین، فشار پرس ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، درجه حرارت پرس ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۶ دقیقه برای تمامی تخته‌ها بود.

جدول ۳- مشخصات چسب اوره فرم‌آلدئید مصرفی

Table 3- Characteristics of urea formaldehyde adhesive

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

با توجه به عوامل متغیر، تعداد ۳ تکرار برای هر تیمار در نظر گرفته شد که در مجموع تعداد ۲۴ تخته ساخته شد. تخته‌های ساخته شده به مدت ۱۵ روز در اتاق کلیما (دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد) نگهداری شده تا به رطوبت تعادل با محیط برسند. سپس برش تخته‌ها برای تهیه نمونه‌های آزمونی انجام شد. برای تعیین جذب آب و واکشیدگی ضخامت از استاندارد EN 317، برای مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته از استاندارد EN 310 و چسبندگی داخلی از استاندارد EN 319 استفاده شد. نتایج حاصل با تخته‌های تیپ ۱ (تخته‌هایی با اهداف عمومی به‌منظور استفاده در شرایط خشک با مقاومت خمشی ۱۰ مگاپاسکال و چسبندگی داخلی ۰/۲۴ مگاپاسکال) و با تخته‌های تیپ ۲ (تخته‌هایی برای لوازم داخلی (مبلمان) به‌منظور استفاده در شرایط خشک با مقاومت خمشی ۱۱ مگاپاسکال، مدول‌الاستیسیته ۱۶۰۰ مگاپاسکال و چسبندگی داخلی ۰/۳۵ مگاپاسکال) طبق استاندارد EN 312 مورد مقایسه قرار گرفت. از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی برای تجزیه‌وتحلیل نتایج استفاده شد. میانگین داده‌ها، با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج

مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای مستقل و متقابل عوامل متغیر تأثیر معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۵ درصد بر مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته تخته‌ها داشته است (جدول ۴).

جدول ۴- آنالیز واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته

Table 4- Analysis of variance of independent and interaction effect of variable factors on bending strength and modulus of elasticity

Properties	Source of variation	df	Mean squares	F	Sig
Bending strength	Resin	1	20.27	24.17	0.000**
	Mixture	3	22.82	27.22	0.000**
	Resin*Mixture	3	0.76	0.902	0.031*
	Error	64	0.84		
	Total	71			
Modulus of elasticity	Resin	1	581760.89	27.35	0.000**
	Mixture	3	179874.83	8.46	0.000**
	Resin*Mixture	3	598.04	0.028	0.011*
	Error	64	0.84		
	Total	71			

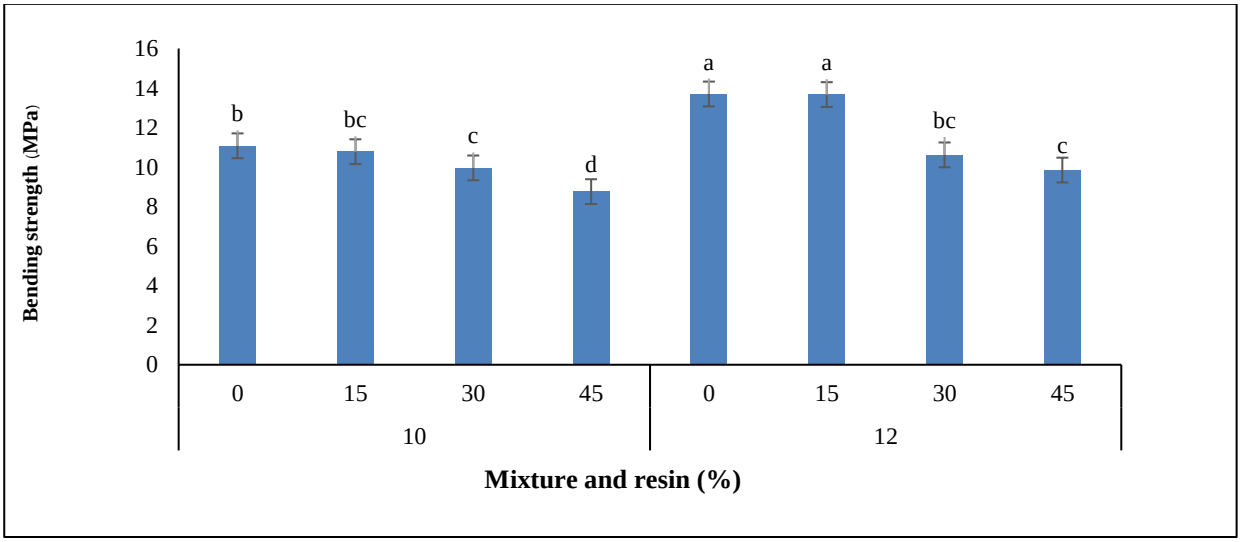
*Significance at the level of 95% **Significance at the level of 99%

نتایج نشان داده است که مقاومت‌خمشی و مدول‌الاستیسیته تخته‌های ساخته شده با ۱۲ درصد رزین، در مقایسه با تخته‌های ساخته شده با ۱۰ درصد رزین اوره فرم‌آلدئید بیشتر است. با افزایش درصد اختلاط خرده‌چوب کهور، مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته تخته‌ها کاهش یافته است. به‌طوری‌که کمترین مقدار مقاومت خمشی مربوط به تخته‌های حاوی ۴۵ درصد خرده‌چوب کهور با ۱۰ درصد رزین و بیشترین مقاومت خمشی مربوط به تخته‌های ساخته شده با ۱۲ درصد رزین اوره فرم‌آلدئید به‌صورت خرده‌چوب صنعتی خالص بود. زیرا هر چقدر دانسیته مواد اولیه چوبی نسبت به دانسیته تخته کمتر باشد ضریب فشردگی تخته افزایش خواهد یافت و این موضوع باعث خواهد شد تا ویژگی‌های خمشی تخته بهبود یابد. ازآنجایی‌که گونه کهور جزء گونه‌های سنگین است، درنتیجه با افزودن گونه کهور نسبت ضریب فشردگی تخته تولیدی کاهش یافته و باعث کاهش مقاومت‌های فوق شده است (Habibi *et al*., 2012).

براساس استاندارد EN 312 برای مصارف با اهداف عمومی به‌منظور استفاده در شرایط خشک (تیپ ۱) حداقل مقاومت خمشی ۱۰ مگاپاسکال است؛ بنابراین مقاومت خمشی تخته های دارای ۰ و ۱۵ درصد اختلاط با ۱۰ و ۱۲ درصد رزین و تخته‌های دارای ۳۰ درصد اختلاط با ۱۲ درصد رزین بالاتر از حد استاندارد هستند (شکل ۱). براساس استاندارد EN 312 برای استفاده در لوازم مبلمان به‌منظور استفاده در شرایط خشک (تیپ۲) حداقل مقاومت‌خمشی ۱۱ مگاپاسکال و مدول‌الاستیسیته ۱۶۰۰ مگاپاسکال است؛ بنابراین مدول‌الاستیسیته تمامی نمونه‌های ساخته شده به‌جز تخته‌های با اختلاط ۴۵ درصد با ۱۰ درصد رزین بالاتر از حد استاندارد EN 312 هستند (شکل ۲).

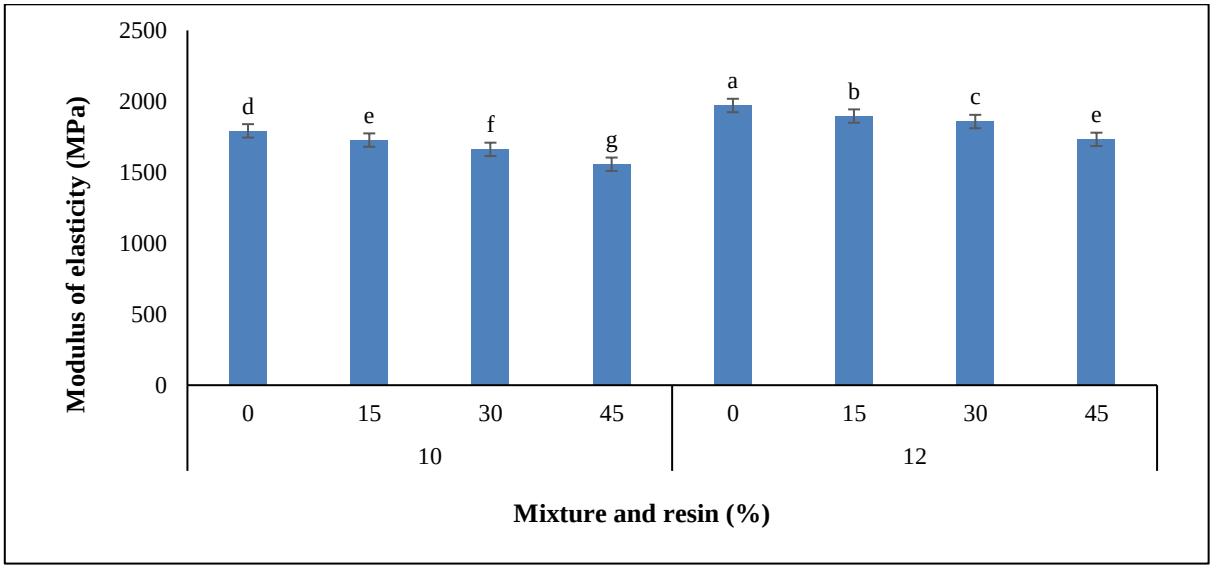
چسبندگی داخلی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای مستقل و متقابل عوامل متغیر تأثیر معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۵ درصد بر چسبندگی داخلی تخته‌ها داشته است (جدول ۵).



شکل ۱- اثر اختلاط و رزین بر مقاومت خمشی

Figure 1. The effect of mixture and resin on bending strength



شکل ۲- اثر اختلاط و رزین بر مدول‌الاستیسیته تخته‌ها

Figure 2. The effect of mixture and resin on modulus of elasticity

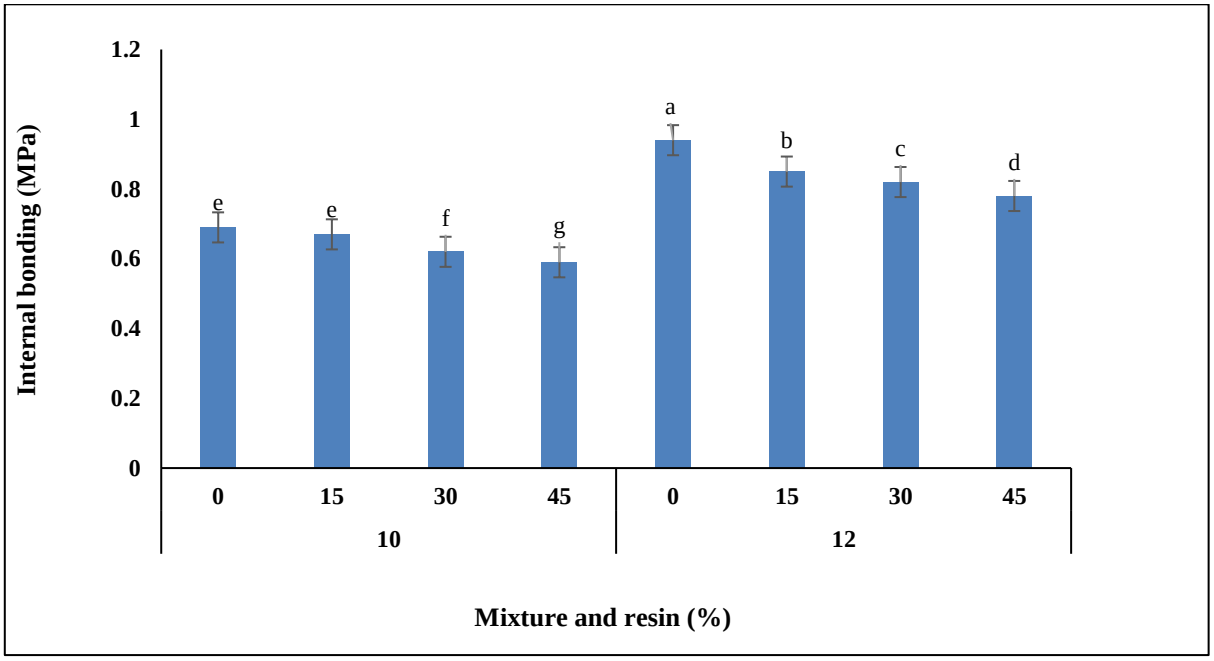
جدول ۵- آنالیز واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر چسبندگی داخلی

Table 5- Analysis of variance of independent and interaction effect of variable factors on internal bonding

Source of variation	df	Mean squares	F	Sig
Resin	1	1.27	41.32	**0.000
Mixture	3	0.095	3.085	*0.03
Resin*Mixture	3	0.006	0.210	*0.042
Error	64	0.031		
Total	71			

*Significance at the level of 95% **Significance at the level of 99%

نتایج نشان داد که چسبندگی داخلی تخته‌های ساخته شده از خرده‌چوب صنعتی خالص با ۱۲ درصد رزین، ۳۲ درصد از تخته‌های ساخته شده از خرده چوب صنعتی خالص با ۱۰ درصد رزین اوره فرم‌آلدئید بیشتر است. با افزایش درصد خرده‌چوب کهور در تخته‌های ساخته شده، چسبندگی داخلی کاهش یافته است که احتمالاً کاهش این مقاومت می‌تواند به دلیل ضریب فشردگی کم خرده چوب کهور در مقایسه با خرده چوب صنعتی باشد (Kumar *et al*., 2020). کمترین مقدار چسبندگی داخلی مربوط به تخته‌های حاوی ۴۵ درصد خرده‌چوب کهور با ۱۰ درصد رزین اوره فرم‌آلدئید و بیشترین مقدار آن مربوط به تخته‌های ساخته شده با خرده‌چوب صنعتی خالص با ۱۲ درصد رزین بود. به‌طورکلی تمامی تخته‌های ساخته شده از نظر چسبندگی داخلی بالاتر از حد استاندارد EN 312 برای تخته‌های تیپ ۱ و تیپ ۲ بودند (شکل ۳).



شکل ۳- اثر اختلاط و رزین بر چسبندگی داخلی

Figure 3. The effect of mixture and resin on internal bonding

جذب آب و واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای مستقل و متقابل عوامل متغیر تأثیر معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۵ درصد بر جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته‌ها بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب داشته است (جدول ۶).

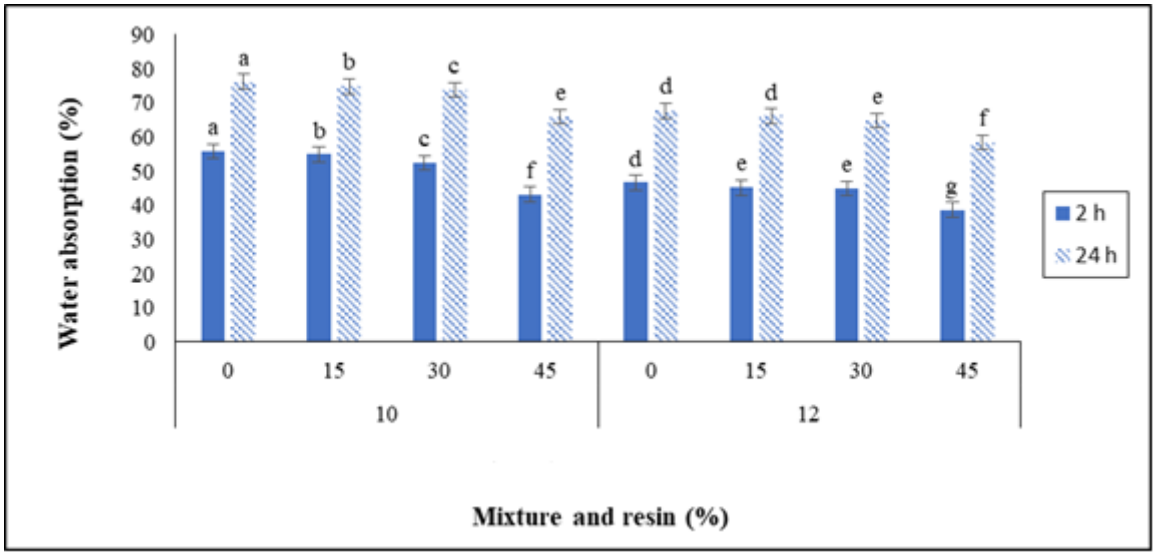
نتایج نشان داد که با افزایش درصد خرده‌چوب کهور در تخته‌های ساخته شده، درصد جذب آب و واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت نسبت به تخته‌های خالص ساخته شده با خرده چوب صنعتی کاهش یافته است. کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت کمتر تخته‌های حاوی مقادیر مختلف خرده چوب کهور می‌تواند به دلیل دانسیته حجمی کمتر تخته‌ها در زمان ساخت باشد، زیرا دانسیته خود گونه کهور از دانسیته تخته ساخته شده بیشتر است، اما برای ساخت تخته‌خرده با خرده چوب صنعتی دانسیته حجمی بالاتری نیاز است، درنتیجه برای رسیدن به دانسیته تخته‌خرده ساخته شده باید ماده چوب بیشتری از لحاظ حجمی استفاده شود (Bhadewad *et al*., 2018). به‌نحوی‌که کمترین مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته‌ها مربوط به تخته‌های حاوی ۴۵ درصد خرده چوب کهور با ۱۲ درصد رزین اوره فرم‌آلدئید و بیشترین آن مربوط به تخته‌های ساخته شده با ۱۰ درصد چسب اوره فرم‌آلدئید به‌صورت خالص با خرده‌چوب صنعتی بود (شکل‌های ۴ و ۵).

جدول ۶- آنالیز واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر جذب آب و واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

Table 6- Analysis of variance of independent and interaction effect of variable factors on water absorption and thickness swelling after 24h immersion in water

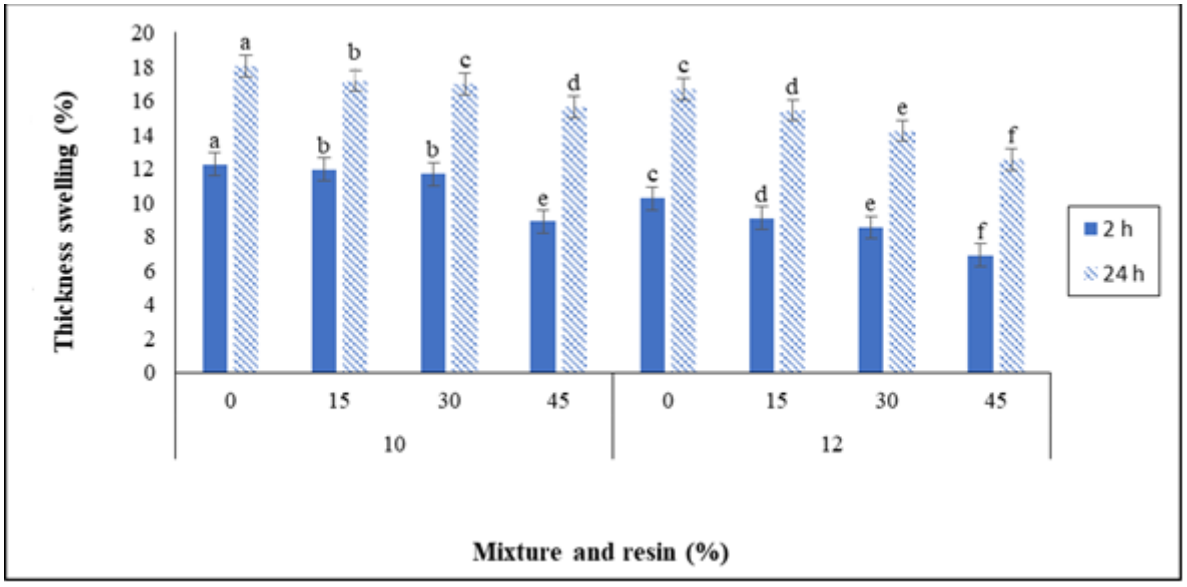
Properties	Source of variation	df	Mean squares	F	Sig
Water absorption after 2 h	Resin	1	3542.53	117.43	0.000**
	Mixture	3	589.52	19.54	0.000**
	Resin*Mixture	3	19.53	0.647	0.02*
	Error	112	64.67		
	Total	119			
Water absorption after 24 h	Resin	1	2105.47	23.47	0.000**
	Mixture	3	568.11	9.04	0.001**
	Resin*Mixture	3	3.85	0.61	0.035*
	Error	112	62.91		
	Total	119			
Thickness swelling after 2 h	Resin	1	180.61	69.37	0.000**
	Mixture	3	65.64	25.21	0.000**
	Resin*Mixture	3	3.34	1.284	0.012*
	Error	112	2.61		
	Total	119			
Thickness swelling after 24 h	Resin	1	149.49	54.053	0.000**
	Mixture	3	57.068	20.63	0.000**
	Resin*Mixture	3	5.11	1.85	0.02*
	Error	112	2.77		
	Total	119			

*Significance at the level of 95% **Significance at the level of 99%



شکل ۴- اثر اختلاط و رزین بر جذب آب تخته‌ها بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

Figure 4. The effect of mixture and resin on water absorption after 2 h and 24 h immersion in water



شکل ۵- اثر اختلاط و رزین بر واکشیدگی ضخامت تخته‌ها بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

Figure 5. The effect of mixture and resin on thickness swelling after 2 h and 24 h immersion in water

بحث

دانسیته ماده اولیه ازجمله متغیرهای مهم است که نه‌تنها تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر ویژگی‌های محصول تولیدی دارد، بلکه فرایند تولید را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. درصد مصرف رزین نیز بر کلیه خصوصیات فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها تأثیرگذار است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داده است که با افزایش مصرف خرده‌چوب کهور در ترکیب ماده اولیه، خواص مکانیکی (مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی) کاهش می‌یابد و خواص فیزیکی (جذب آب و واکشیدگی ضخامت) به‌صورت معنی‌دار بهبود یافته است. علل این تغییرات را می‌توان به جرم ویژه زیاد کهور و کاهش نسبت ضریب فشردگی تخته‌های ساخته شده با افزایش مصرف کهور نسبت داد. همچنین با افزایش میزان رزین از ۱۰ به ۱۲ درصد، مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی تخته‌ها افزایش یافته و جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته‌ها کاهش یافته است. در حقیقت با افزایش مصرف رزین، تعداد نقاط قابل اتصال و مقاومت اتصالات افزایش یافته و این موضوع سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته شده است. براساس نتایج این تحقیق و با توجه به استاندارد EN 312، تخته‌های دارای ۱۵ درصد گونه کهور با رزین ۱۰ درصد را برای تخته‌های تیپ ۱ و تخته‌های دارای ۱۵ درصد گونه کهور با رزین ۱۲ درصد را برای تخته‌های تیپ ۲ می‌توان به صنعت پیشنهاد کرد.

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.

-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.

-Bhadewad, A. A., Sumthane, Y., Nimkar Y., Khachane, S. S., Tyade,Y. B. and Har, S. S., 2018. Different percentage of resin for particle Board Manufacturing

from *Prosopis juliflora*. International Journal of Research in Agriculture and Forestry, 5(9): 31-38.
-Carrillo-Parra, P., 2007. Technological investigation of *Prosopis laevigata* wood from faculty of forest sciences and forest ecology of the university northeast Mexico. Doctor of Philosophy of Gottingen, 137p.
-Copur, Y., Guler, C., Tascioglu, C. and Tozluoglu, A., 2008. Incorporation of hazelnut shell and husk in MDF production. Bioresource Technology, 99: 7402–7406.
-European Standard EN 310., 1993. Wood based panel. Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. The European Committee for Standardization. Brussels, Belgium.
-European Standard EN 312., 2010. Particleboard - Specification. Requirements for general purpose boards for use in dry conditions. The European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
-European Standard EN 317., 1993. Particleboard and fiberboards. Determination of swelling in thickness after immersion in water. The European Committee for Standardization. Brussels, Belgium.
-European Standard EN 319., 1993. Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. The European Committee for Standardization. Brussels, Belgium.
-European Standard 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.
-Fakhryan Roghani, A., Yazdani, R., Gasemian, A. and Resalati, H., 2016. Evaluation *Prpsopis juliflora* (Mesquite) potential in kraft pulping. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 7(1): 43-54.
-Ghasemi, A., Hydari, H. and Azadfar, D., 2009. The effect of the physico chemical properties of soils in water spreading zone on common Mesquite tree vegetative characteristics in Tangestan, Bushehr Province. Wood and Forest Science and Technology, 18(1): 117-122.
-Habibi, M. R., Hosseinkhani, H. and Mahdavi, S., 2012. The potential of Mesquite wood in particleboard production. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 27(1): 51-68.
-Kumar, A., Ganguly, S., Dut, H., Poonia, P. K., Rajawat, B. S. and Khali, D. P., 2020. Suitability of ligno-cellulosic particles of *Prosopis cineraria* (L.) Druce for fabrication of particleboards. Indian Journal of Agroforestry, 22(1): 38-42.
-Nourbaksh, A., Hosseinzadeh, A., Jahan- Latibari, A., Kargarfard, A., Golbabaei, F. and Hosseinkhani, H., 2001. Investigation on the possibility of particleboard production from lignocellulosic sources in southern region of Iran: The potential of Date palm residues and *Prosopis* wood in particleboard industry. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research 15(278): 61-87.
-Nourbakhsh, A. and Kargarfard, A., 2005. The effect of resin content and press time on properties of particleboard production from southern lignocellulosic materials in Iran. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 20(1): 47-64.
-Toghraie, N., Riyahi, H. and Hosseinzadeh, A., 2005. A study of Mesquite wood (*Prosopis spicigera* L.) in Khuzestan, Iran. Pajouhesh and Sazandegi, 73: 117-122.
-Vaziri, V. and Mesgarhaye Kashani, M. H., 2018. The effect of alkali treatment of bamboo on the physical and mechanical properties of particleboard made from bamboo- industrial wood particles. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 8(4): 605-615.
-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.
-Yeniocak, M., Göktaş, O., Erdil, Y. Z., Ozen, E. and Alma, M., 2014. Investigating the use of vine pruning stalks (*Vitis Vinifera* L.) as raw material for particleboard manufacturing. Wood Research, 59(1): 167-176.