

(OPEN ACCESS)

Investigation of the effect of isocyanate resin on the physical and mechanical properties retention of rice husk board (*Oryza sativa*)

Javad Torkaman

- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Iran, Email: torkaman@guilan.ac.ir

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 31 May 2026

Revised: 22 July 2026

Accepted: 04 August 2026

Published online: 21

September 2026

Keywords:

Particleboard, Urea formaldehyde Resin, lignocellulosic materials, Modulus of Rupture, Internal Bonding.

ABSTRACT

Background and Objective: Particleboard is a wood composite material that can be produced using various lignocellulosic materials. Therefore, lignocellulosic wastes play an important role in this regard. One of the agricultural wastes that is available in large quantities in the north of Iran is rice husk. It can be used in the production of particleboard. The lifespan and durability of particleboard depend on the quality of raw materials, binders, manufacturing conditions, and how it is used. As a result, achieving the durability of mechanical properties and dimensional stability of these boards is importance in the applications of indoor and outdoor exposure. Therefore, the aim of this study is to investigate the effect of isocyanate resin on the physical and mechanical properties retention of the rice husk particleboard.

Materials and Methods: The samples in this study were prepared from rice husk particles which has been stored in the laboratory for eighteen years after manufacture. These boards were made from natural rice husk particles with a slenderness ratio of 60, a flatness ratio of 10, and an aspect ratio of 6 as the raw material, and 10 percent of urea-formaldehyde resin which was partially replaced with isocyanate resin at three levels of 0, 1, and 2 percent as a binder. Three pressing temperatures of 170 and 180 degrees Celsius and three pressing times of 5 and 6 minutes. A total of 36 experimental boards were made with three replicates for each treatment. Test samples were prepared from each board according to EN326-1 guidelines. The measured properties included water absorption and thickness swelling at 2 and 24 hours, Modulus of Rupture, Internal Bonding, and their percentage of retention. For statistical analysis of the data, a completely randomized block design at a confidence level of 95% was used, and for comparison of means, the Tukey test was used in SPSS software.

Findings: The results of this study showed that isocyanate resin affected all physical and mechanical properties of the boards. The use of 2% isocyanate resin has caused a 100% increase in mechanical properties and a 50% decrease in physical properties. Retention percentages for water absorption and thickness swelling in the 2% isocyanate treatment were obtained 92% and 98%, respectively. In other words, the water absorption and thickness swelling of the boards increased 8 and 2% respectively between 2008 and 2025. The percentage of the modulus of rupture and internal bonding retention of boards made with 2% replacement of urea formaldehyde with isocyanate after 18 years has been

35 and 25%, respectively.

Conclusion: In general, the best result can be observed in samples produced with 10% resin (2% isocyanate plus 8% urea-formaldehyde) at a pressing temperature of 180°C and a pressing time of 6 minutes. In these samples, the highest retention percentages were for water absorption and thickness swelling.

Cite this article: Javad Torkaman. 2026. Investigation of the effect of Isocyanate resin on the physical and mechanical properties retention of rice husk board (*Oryza sativa*). Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 41(3), 275-288. <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2026.372973.1838>



Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (<http://ijwpr.arceo.ac.ir/>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

بررسی تأثیر رزین ایزوسیانات در پایداری خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب از شلتوک برنج (*Oryza sativa*)

جواد ترکمن

–دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران، پست الکترونیک: torkaman@guilan.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: علمی – پژوهشی	سابقه و هدف: تخته خرده چوب یکی از فراورده های صفحه ای است که قابلیت استفاده از انواع مواد لیگنوسلولزی را داراست؛ بنابراین پسماندهای لیگنوسلولزی نقش مهمی در این راستا دارند. یکی از پسماندهای کشاورزی که به مقدار زیاد در شمال کشور وجود دارد شلتوک یا پوسته برنج است که می تواند در تولید تخته خرده چوب استفاده شود. طول عمر و دوام تخته خرده چوب بستگی به کیفیت مواد اولیه، اتصال دهنده ها، شرایط ساخت و نحوه به کارگیری آن دارد. در نتیجه دستیابی به میزان پایداری خواص مکانیکی و پایداری ابعاد این تخته ها اهمیت بسزایی در کاربردهای تخته ها در داخل و خارج ساختمان دارد. از این رو، هدف این مطالعه، بررسی تأثیر رزین ایزوسیانات در پایداری خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب حاصل از شلتوک برنج است.
تاریخ های مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۳ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۳۰	مواد و روش ها: نمونه های مورد نیاز در این بررسی از تخته خرده چوب ساخته شده از شلتوک برنج که مدت هجده سال از زمان ساخت آنها گذشته و داخل آزمایشگاه بودند استفاده شد. این تخته ها از ذرات طبیعی شلتوک برنج با ضریب کشیدگی ۶۰، ضریب پهنی ۱۰ و ضریب ظاهری ۶ به عنوان ماده اولیه به همراه ۱۰ درصد رزین اوره فرم آلدئید جایگزین شده با رزین ایزوسیانات در سه سطح صفر، ۱ و ۲ درصد به عنوان اتصال دهنده و در شرایط درجه حرارت ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی گراد با مدت زمان پرس ۵ و ۶ دقیقه ساخته شده اند. با در نظر گرفتن سه تکرار برای هر تیمار در مجموع ۳۶ تخته آزمایشگاهی ساخته شده است. از هر تخته طبق دستورالعمل EN326-1 نمونه های آزمایشی تهیه شد. ویژگی های مورد اندازه گیری شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت، مقاومت خمشی، چسبندگی داخلی و درصد پایداری آنها است. برای تجزیه و تحلیل آماری داده ها از طرح بلوک های کاملاً تصادفی در سطح اطمینان ۹۵ درصد و برای مقایسه میانگین ها از آزمون توکی در نرم افزار Spss استفاده شد.
واژه های کلیدی: تخته خرده چوب، رزین اوره فرم آلدئید، مواد لیگنوسلولزی، مقاومت خمشی، چسبندگی داخلی.	یافته ها: نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که رزین ایزوسیانات بر کلیه خواص فیزیکی و مکانیکی تخته ها اثرگذار است. رزین ایزوسیانات باعث افزایش ۱۰۰ درصدی مقاومت مکانیکی و کاهش ۵۰ درصدی خواص فیزیکی شده است. درصد پایداری برای جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در تیمار ۲ درصد ایزوسیانات به ترتیب ۹۲ و ۹۸ درصد به دست آمده است؛ یعنی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته ها در سال ۲۰۲۵ نسبت به ۲۰۰۸ به ترتیب ۸ و ۲ درصد افزایش یافته است. درصد پایداری مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی تخته های ساخته شده با ۲ درصد جایگزینی اوره فرم آلدئید با ایزوسیانات پس از گذشت ۱۸ سال به ترتیب ۳۵ و ۲۵ درصد به دست آمده است.
	نتیجه گیری: به طور کلی بهترین نتیجه را می توان در نمونه های ساخته شده با ۱۰ درصد رزین (۲ درصد ایزوسیانات به اضافه ۸ درصد اوره فرم آلدئید) در دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی گراد و زمان پرس ۶ دقیقه مشاهده کرد. در این نمونه ها بیشترین درصد پایداری مربوط به جذب آب و واکنشیدگی ضخامت است.

استناد به این مقاله: جواد ترکمن. ۱۴۰۵. بررسی تأثیر رزین ایزوسیانات در پایداری خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب از شلتوک برنج (*Oryza sativa*). نشریه تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۴۱(۳)، ۲۷۵–۲۸۸.

DOI: <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2026.372973.1838>

مقدمه

در ایران سالانه مقادیر زیادی ضایعات لیگنوسلولزی مختلف مانند شلتوک برنج، پوسته گندم، پنبه و سرشاخه های باغ های میوه مانند سیب، بادام، زردآلو و غیره تولید می شود که می تواند به عنوان مواد اولیه در صنایع تخته خرده چوب استفاده شود. امروزه بخش قابل توجهی از ضایعات کارخانه های برنج کوبی را شلتوک تشکیل می دهد. شلتوک یا چلتوک، پوسته اولیه یا همان لایه خارجی در دانه برنج است که به وسیله آسیاب های سنگی و یا دستگاه های خاص کوبیده و جدا می شود. سالانه در ایران بیش از ۲/۳ میلیون تن برنج با پوسته خارجی یا شلتوک تولید می شود که حدود ۲۰ درصد آن به صورت پوسته یا شلتوک قابل دسترس است؛ بنابراین حدود ۴۶۰ هزار تن پوسته برنج سالانه در کشور وجود دارد که قسمت عمده آن (۴۰۰ هزار تن) در استان های گیلان و مازندران متمرکز است (Hajihassani et al., 2025). خواص تخته خرده چوب بستگی به نوع ماده سلولزی، نوع و مقدار رزین و شرایط ساخت دارد. در مقایسه با تخته خرده چوب ساخته شده از چوب، تخته های ساخته شده از ضایعات کشاورزی خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوبی ندارند اما با در نظر گرفتن مقدار و نوع رزین و شرایط ساخت از نظر زمان و درجه حرارت پرس می توان به تخته هایی با مقاومت مکانیکی بالا دست یافت که شرایط استاندارد جهانی را تأمین نماید. در این ارتباط بررسی های زیادی در داخل و خارج کشور گزارش شده است.

Akor و همکاران (۲۰۲۶) در یک بررسی برای ساخت تخته خرده چوب، به صورت کامل از شلتوک برنج و عصاره زیست توده (بیومس) به عنوان چسباننده (به نسبت ۱ به ۳) استفاده کردند. آنان نتیجه گرفتند که مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی به دست آمده برای نمونه های ساخته شده با شرایط استاندارد ANSI-A208.1 مطابقت می کند. همچنین نشان دادند که ساخت تخته خرده چوب با شلتوک برنج و عصاره های زیست توده، کم هزینه بوده و امکان جایگزینی رزین های مصنوعی با چسباننده های تجدیدپذیر وجود دارد.

Hajihassani و همکاران (۲۰۲۵) برای ساخت تخته

خرده چوب از خرده چوب صنعتی و شلتوک برنج به همراه ۱۰ درصد چسب اوره فرم آلدئید استفاده کردند. نتایج نشان می دهد که شلتوک برنج بر کلیه خواص فیزیکی و مکانیکی تخته ها اثرگذار است و باعث افت خواص فیزیکی و مکانیکی می شود. در این گزارش بهترین نتیجه قابل قبول، در استفاده از شلتوک برنج تا ۱۰ درصد ترکیب ماده اولیه به دست آمده است.

Jabile و همکاران (۲۰۲۲) برای ساخت تخته خرده چوب، از شلتوک و خاکاره به همراه ۱۵ درصد نشاسته استفاده کردند. نتایج نشان می دهد که با کاهش مقدار شلتوک در نسبت مواد اولیه مقدار جذب آب نمونه ها افزایش می یابد. Torkaman و همکاران (۲۰۰۸) در یک بررسی برای ساخت تخته خرده چوب، به صورت کامل از شلتوک برنج و رزین اوره فرم آلدئید استفاده کردند. در این مطالعه میزان رزین اوره فرم آلدئید در مقادیر ۷، ۸، ۹ و ۱۰ درصد در نظر گرفته شد و برای بهبود چسبندگی از رزین ایزوسیانات به مقدار ۱ و ۲ درصد استفاده شده است. نتایج نشان داده است که با افزایش مقدار رزین اوره فرم آلدئید و جایگزینی آن با دی ایزوسیانات تمام خواص مکانیکی و فیزیکی تخته ها بهبود یافته است. به طوری که بهترین خواص فیزیکی و مکانیکی در تخته ساخته شده با ۱۰ درصد رزین (۸ درصد اوره فرم آلدئید و ۲ درصد دی ایزوسیانات) به دست آمده است.

Tarmian و همکاران (۲۰۰۵) در یک بررسی به ویژگی های کیفی تخته خرده چوب ساخته شده با چسب ایزوسیانات پرداختند. آنان نتیجه گرفتند که با افزایش مقدار چسب ایزوسیانات از ۳ به ۴ درصد، کلیه خواص فیزیکی و مکانیکی تخته ها بهبود می یابد.

Torkaman و همکاران (۲۰۱۰ و ۲۰۰۸b) در یک گزارش برای اصلاح چسبندگی تخته خرده چوب ساخته شده با شلتوک برنج و سدیم سیلیکات از رزین ایزوسیانات استفاده کردند. به منظور اصلاح چسبندگی به ازای هر ۵ درصد کاهش در سدیم سیلیکات یک درصد دی ایزوسیانات اضافه شده است. با افزایش جایگزینی سدیم سیلیکات با ایزوسیانات در

تخته رشته‌ای جهت‌دار نشان داده است؛ که این تخته‌ها به ترتیب ۳۰ و ۱۰ درصد چسبندگی داخلی خود را حفظ کردند. [Tamrin](#) و همکاران (۲۰۲۳) در یک بررسی با استفاده از شلتوک برنج و ۱۰ درصد چسب پلی‌وینیل استات تخته خرده‌چوب ساختند. سپس تخته‌ها را به مدت ۶ هفته در داخل و خارج ساختمان قرار دادند. نتایج حاصل از ارزیابی ۶ هفته - ای خواص فیزیکی و مکانیکی، نشان دهنده کاهش مقاومت مکانیکی و افزایش خواص فیزیکی برای نمونه‌های داخل و خارج ساختمان است که مقدار آن برای نمونه‌های بیرونی بیشتر از داخل ساختمان می‌باشد. از این‌رو با توجه به فقدان اطلاعات در مورد اثر گذشت زمان بر خواص فیزیکی و مکانیکی صفحات فشرده چوبی در داخل کشور، هدف این تحقیق ارزیابی پایداری خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده‌چوب ساخته شده از شلتوک برنجی می‌باشد که مدت ۱۸ سال از زمان ساخت آن گذشته است.

مواد و روش‌ها

در این بررسی از نمونه‌های تخته خرده‌چوب ساخته شده از شلتوک برنج در سال ۱۳۸۶ استفاده شده که مدت ۱۸ سال از زمان ساخت آن گذشته و در شرایط آزمایشگاه نگهداری شده است ([Torkaman et al., 2008a](#)). ماده اصلی تشکیل دهنده تخته‌ها، پوسته خارجی برنجی است که محصول جانبی عمده صنعت عمل‌آوری برنج می‌باشد. این ضایعات می‌تواند ماده خام در دسترس و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه برای تولید تخته خرده‌چوب باشد. ابعاد این ذرات در جدول (۱) و درصد ترکیبات شیمیایی آنها در جدول (۲) درج شده است. متداول‌ترین رزین مورد استفاده در ساخت تخته خرده‌چوب که مقرون به صرفه نیز است رزین گرما-سخت اوره فرم آلدئید است. کاربرد این رزین برای اتصال ذراتی که مقدار زیادی سیلیس در ساختار آنها وجود دارد همراه با مشکلاتی است. سیلیس سطح خارجی پوسته برنج را پوشانده و باعث خاصیت آبگریزی و مانع تشکیل اتصال خوب بین ذرات می‌شود. از این‌رو برای کاهش و رفع این موانع از رزین ایزوسیانات به مقدار کم استفاده شده است که به مشخصات

تمام خواص مکانیکی و فیزیکی تخته‌ها بهبود مشاهده شده است. در این بررسی اقتصادی‌ترین حالت برای ساخت تخته با پوسته برنج استفاده از ۱۵ درصد سدیم سیلیکات به همراه ۲ درصد ایزوسیانات بیان شده است. [Ota](#) و همکاران (۲۰۱۵) در یک پژوهش با استفاده از شلتوک برنج و ۲۰ درصد پلی‌وینیل الکل تخته خرده‌چوب ساختند. آنان گزارش کردند که تخته‌های با دانسیته بالاتر از 0.9 gr/cm^3 مقاومت مکانیکی بهتری از خود نشان می‌دهند. [Ciannamea](#) و همکاران (۲۰۱۷) در یک بررسی از شلتوک برنج و رزین فنل آلدئید در مقادیر ۸، ۱۱ و ۱۴ درصد برای ساخت تخته خرده‌چوب استفاده کردند. نتایج این بررسی نشان داد که با توجه به شرایط استاندارد مطلوب‌ترین خواص مکانیکی در مقدار ۱۴ درصد رزین فنل فرم آلدئید قابل دسترسی است.

پایداری مقاومت مکانیکی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های صفحات فشرده چوبی است که بایستی در کاربردهای داخل و خارج ساختمان به آن توجه کرد؛ زیرا صفحات فشرده چوبی مانند تخته خرده‌چوب و تخته فیبر با دانسیته متوسط در سال‌های اخیر کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند که نیاز است میزان دوام و حفظ طولانی مدت مقاومت مکانیکی آنها مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این ارزیابی دو روش کوتاه‌مدت و طولانی مدت وجود دارد. در روش کوتاه‌مدت تغییرات خواص مکانیکی نمونه‌ها را پس از اعمال تیمارهایی مانند غوطه‌وری در آب، جوشاندن، بخاردهی و فریز کردن یا خشک کردن در آزمایشگاه مورد ارزیابی قرار می‌دهند. درحالی‌که در روش بلندمدت نمونه‌ها به مدت طولانی در معرض عوامل جوی بیرون از ساختمان قرار می‌گیرند. در این ارتباط، می‌توان به تعدادی گزارش اشاره کرد.

[Kojima](#) و همکاران (۲۰۱۱) در یک پژوهش با استفاده از چوب صنوبر و رزین فنل فرم آلدئید نمونه‌هایی از تخته خرده‌چوب و تخته رشته‌ای جهت‌دار ساختند و به مدت ۵ سال در شرایط محیطی بیرون از ساختمان قرار دادند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری چسبندگی داخلی تخته خرده‌چوب و

هر دو رزین در جدول ۳ اشاره شده است.

جدول ۱- ابعاد ذرات پوسته برنج

Table 1- Dimensions of Rice husk particles

Raw Material	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	Slenderness Ratio	Flatness Ratio	Aspect Ratio
Rice Husk	9.7	1.6	0.16	60.6	10	6

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی پوسته برنج (درصد)

Table 2- Chemical Composition of Rice Husk

Silica	Ash	Extractive Materials	Lignin	Hemicellulose	Cellulose
21.6	24	10	15	23	28

The ash content of rice husk is estimated to be 24%, of which 90% is silica (21.6)

جدول ۳- ویژگی های رزین های اوره فرم آلدئید و ایزوسیانات

Table 3- Characteristics of urea formaldehyde and isocyanate resins

Adhesive type	Density (gr/cm ³)	Solid Materials (%)	pH	Viscosity (cp)
UF	1.2	56	6.8	170
MDI	1.27	100	-	300

UF in this resin is a formaldehyde to urea ratio of 1.8 to 1. MDI This resin is a type of 4,4-diphenylmethane diisocyanate, which is used in the manufacture of particleboard

استفاده شده است. برآورد درصد مقاومت مکانیکی باقیمانده مطابق استاندارد ASTM-D 1037 انجام شده است (McNatt & Link, 1989).

اندازه گیری ویژگی های فیزیکی و مکانیکی

برای اندازه گیری ویژگی های مکانیکی (مقاومت خمشی، چسبندگی داخلی) از دستگاه Instron testing machine مطابق EN 326-1 و استاندارد ملی ایران شماره ۹۰۴۴

$$IB. ret = \frac{IB \text{ at the end}}{IB \text{ at the start}} \times 100 \quad (4)$$

MOR.ret = پایداری مقاومت خمشی (%), IB.ret = پایداری چسبندگی داخلی (%), MOR = مقاومت خمشی (Kg/cm²), IB = چسبندگی داخلی (Kg/cm²), F = نیرو (Kg), A = سطح (cm²), B = عرض (cm), D = ضخامت (cm) و L = طول (cm).

$$MOR = \frac{1/5FL}{bd^2} \quad (1)$$

$$IB = \frac{F}{A} \quad (2)$$

$$MOR. ret = \frac{MOR \text{ at the end}}{MOR \text{ at the start}} \times 100 \quad (3)$$



شکل ۱- اندازه‌گیری مقاومت خمشی (A) و چسبندگی داخلی (B) را نشان می‌دهد.

Figure 1. shows the measurement of the Modulus of rupture (A) and the internal bonding (B).

آزمون قرار گرفته است. تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی انجام شد. تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی از طریق نرم‌افزار spss و مقایسه میانگین داده‌ها نیز از طریق آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شده است.

نتایج

مقاومت خمشی

مقاومت خمشی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مکانیکی است که نشان‌دهنده حداکثر تنش است که یک ماده قبل از شکست می‌تواند تحمل کند. مقاومت خمشی تخته خرده‌چوب تابع شرایط ساخت و مواد بکار رفته در آن است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری در جدول ۴ نشان می‌دهد که گذشت زمان و اصلاح چسب بر مقاومت خمشی در سطح آماری ۹۹٪ معنی‌دار است. نتایج نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین مقاومت خمشی تخته‌ها در بین هر سه ترکیب چسب در سال-های ۲۰۲۵ و ۲۰۰۸ است. همچنین بین مقاومت خمشی در هر دو سال نیز تفاوت معنی‌دار وجود دارد. آزمون مقایسه میانگین توکی نیز مقاومت خمشی تخته‌ها را در سه گروه مجزا از هم تفکیک کرده است.

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی (جذب آب و واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری) از کولیس با دقت ۰/۰۲ میلی‌متر و ترازو ۰/۰۰۱ گرم مطابق استاندارد DIN-۶۸۷۱ استفاده شده است.

$$Wab = \frac{Ws - Wo}{Wo} \times 100 \quad (5)$$

$$Sw = \frac{Ts - To}{To} \times 100 \quad (6)$$

Wab = جذب آب (%), Wo = وزن خشک (gr), Ws = وزن اشباع (gr).

Sw = واکنشیدگی ضخامت (%), To = ضخامت خشک (mm), Ts = ضخامت اشباع (mm).

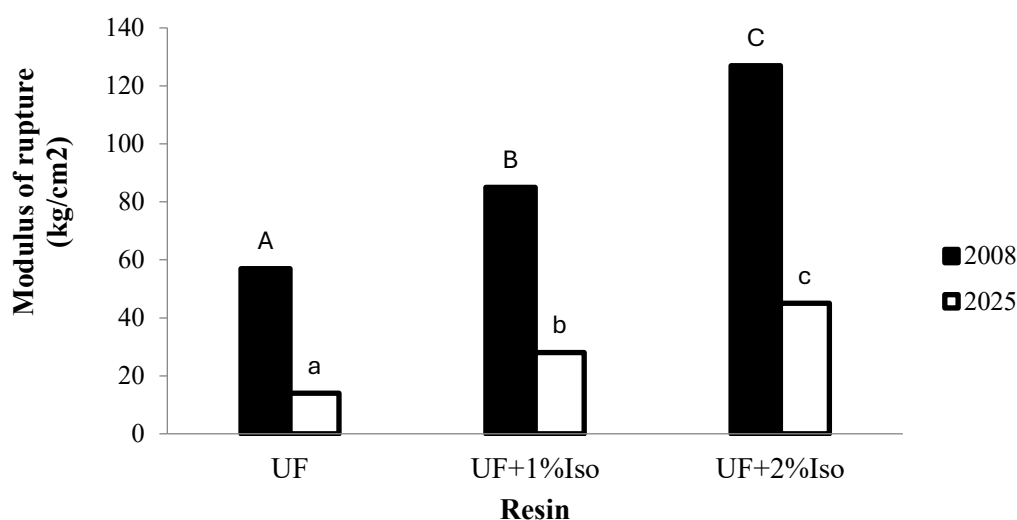
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در ساخت تخته‌ها مقدار جایگزینی رزین اوره فرم‌آلدئید با رزین ایزوسیانات در مقادیر صفر، ۱ و ۲ درصد و درجه حرارت ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۵ و ۶ دقیقه در نظر گرفته شده است. از هر تیمار سه تخته با دانسیته 0.7 gr/cm^3 انتخاب شده است (Torkaman et al., 2008a). در مجموع، با ۱۲ تیمار و سه تکرار ۳۶ تخته مورد

جدول ۴- خلاصه نتایج آنالیز واریانس داده ها
Table 4. Summarized result of data ANOVA

Source of variation	Year	MOR (kg/cm ²)	IB (kg/cm ²)	Sw (%)	Wab (%)
Isocyanate (%)	2008	** 0.000	** 0.000	*0.012	*0.015
	2025	**0.000	**0.000	*0.014	*0.018
Lifespan of boards	2008-2025	**0.000	**0.000	*0.024	*0.036

**, significant at 0.01; *, significant at 0.05



شکل ۲- نشان دهنده تاثیر گذشت زمان و درصد ایزوسیانات بر مقاومت خمشی تخته خرده شلتوک برنج

Figure 2. Shows the effect of time and percentage of isocyanate on the Modulus of rupture of rice husk board

ایزوسیانات در مقادیر ۱ و ۲ درصد به ترتیب ۳۳ و ۳۵/۴ درصد مقاومت خمشی خود را حفظ کردند.

چسبندگی داخلی

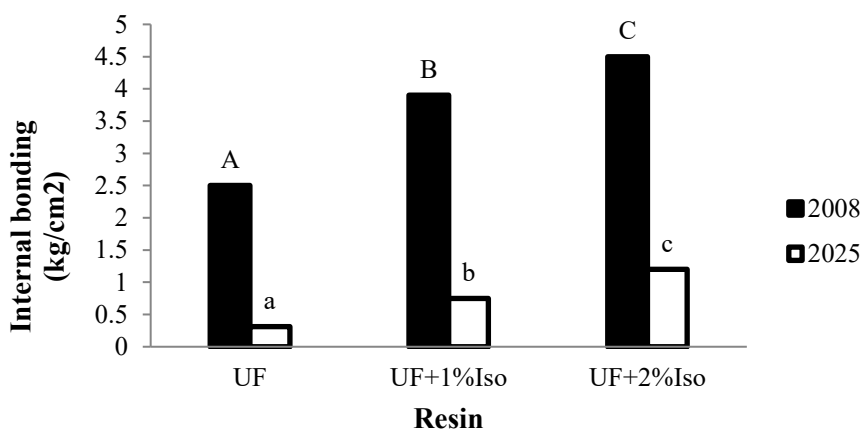
چسبندگی داخلی استحکام پیوند بین ذرات خرده چوب و ذرات چسب در داخل تخته خرده چوب را نشان می دهد این پارامتر، مقاومت تخته در برابر جدا شدن لایه های سطحی از هسته درونی تخته یا مقاومت در برابر تنش های برشی را مشخص می کند. تجزیه و تحلیل آماری جدول ۴ نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار بین چسبندگی داخلی تخته ها در بین هر سه ترکیب چسب در سال های ۲۰۰۸ و ۲۰۲۵ است. همچنین بین چسبندگی داخلی تخته ها در هر دو سال نیز

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود با گذشت زمان و تغییر در ترکیب چسب، مقاومت خمشی تخته خرده ساخته شده با شلتوک برنج تغییر کرده است. نتایج مقاومت مکانیکی تخته خرده حاصل از شلتوک برنج پس از ۱۸ سال بودن در محیط آزمایشگاهی نشان می دهد که تخته شلتوک پس از گذشت این مدت به طور متوسط ۷۰ درصد مقاومت خمشی خود را ازدست داده است. مقدار پایداری مقاومت خمشی در شکل ۴ نشان می دهد که تخته شلتوک های ساخته شده بطور کامل با اوره فرم آلدئید در حدود ۲۴/۵ درصد مقاومت خمشی خود را در سال ۲۰۲۵ حفظ کردند. درحالی که تخته های ساخته شده با اوره فرم آلدئید اصلاح شده با رزین

آلدئید اصلاح شده با رزین ایزوسیانات است. درشکه ۴ می-توان مقدار پایداری مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی تخته خرده شلتوک پس از گذشت ۱۸ سال از ساخت آن را مشاهده کرد. مقدار پایداری چسبندگی داخلی نشان می‌دهد که تخته شلتوک‌های ساخته شده به‌طور کامل با اوره فرم آلدئید در حدود ۱۲/۴ درصد چسبندگی داخلی خود را در سال ۲۰۲۵ حفظ کرده است. درحالی‌که تخته‌های ساخته شده با اوره فرم آلدئید اصلاح شده با رزین ایزوسیانات ۱ و ۲ درصد به ترتیب ۱۹/۲۳ و ۲۴/۸ درصد چسبندگی داخلی خود را حفظ کردند.

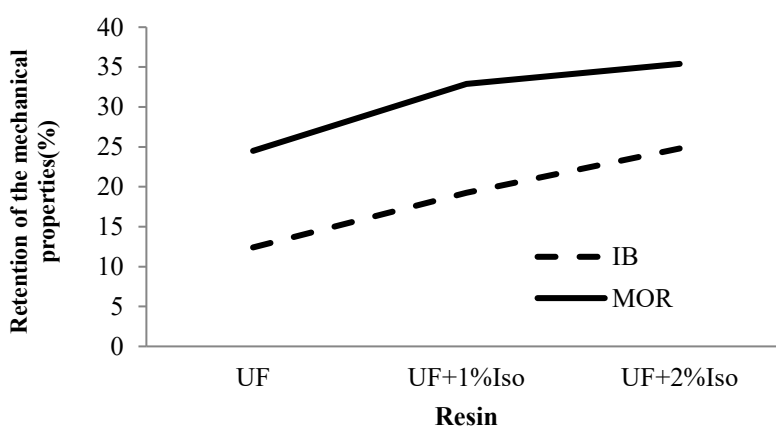
تفاوت معنی‌دار وجود دارد. آزمون مقایسه میانگین توکی نیز چسبندگی داخلی تخته‌ها را در سه گروه مجزا از هم تفکیک کرده است.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود همانند مقاومت خمشی، چسبندگی داخلی تخته خرده ساخته شده با شلتوک برنج با گذشت زمان و تغییر در ترکیب چسب تغییر کرده است. نتایج نشان می‌دهد که تخته‌ها در سال ۲۰۲۵ به‌طور متوسط ۸۰ درصد چسبندگی داخلی خود را از دست دادند؛ که این مقدار برای تخته‌هایی که به‌طور کامل از رزین اوره فرم آلدئید ساخته شده‌اند بیشتر از تخته‌های ساخته شده با اوره فرم



شکل ۳- نشان‌دهنده تأثیر گذشت زمان و درصد ایزوسیانات بر چسبندگی داخلی تخته خرده شلتوک برنج

Figure 3. Shows the effect of time and isocyanate percentage on the internal bonding of rice husk board.



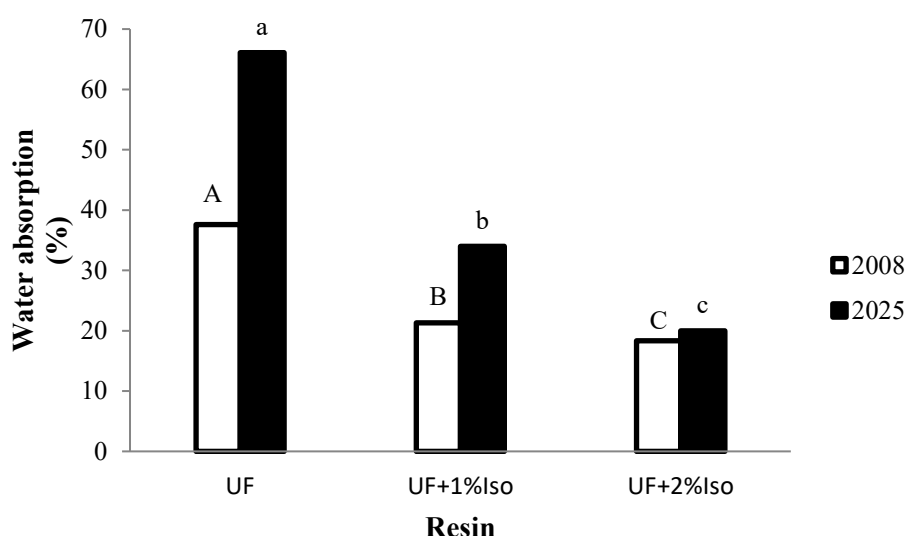
شکل ۴- نشان‌دهنده تأثیر درصد ایزوسیانات بر پایداری خواص مکانیکی در تخته خرده شلتوک برنج

Figure 4. Shows the effect of isocyanate percentage on the mechanical properties retained in rice husk board

جذب آب

جذب آب یک عامل محدود کننده در کاربرد تخته خرده چوب به شمار می آید؛ زیرا کلیه ویژگی های فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب را تحت تأثیر قرار می دهد. با توجه به جدول ۴ بین داده های حاصل از اندازه گیری جذب آب در سه ترکیب چسب تفاوت معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد. به طوری که آزمون مقایسه میانگین توکی

جذب آب را در سه گروه مجزا از هم تفکیک می کند. مقدار جذب آب تخته های ساخته شده با رزین اوره فرم آلدئید و اصلاح شده با ۱ درصد ایزوسیانات بین سال های ۲۰۰۸ و ۲۰۲۵ تفاوت معنی داری با هم دارد اما در مورد تخته های ساخته شده با رزین اصلاح شده با ۲ درصد ایزوسیانات تفاوت معنی داری وجود ندارد.



شکل ۵- نشان دهنده تأثیر گذشت زمان و درصد ایزوسیانات بر جذب آب تخته خرده شلتوک برنج

Figure 5. Shows the effect of time and percentage of isocyanate on the water absorption of rice husk board.

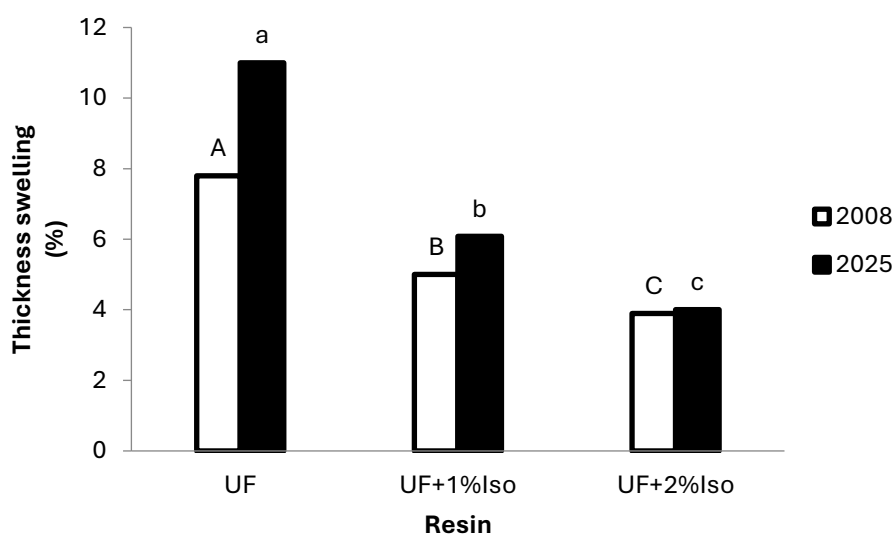
و ۹۲ درصد به دست آمده که نشان دهنده نقش مؤثر رزین ایزوسیانات در حفظ و جلوگیری از افزایش مقدار جذب آب در طی زمان است. واکشیدگی ضخامت

افزایش ابعاد یا حجم چوب را در اثر جذب رطوبت (تا نقطه اشباع الیاف) اصطلاحاً «واکشیدگی» می گویند. با توجه به جدول ۴ بین داده های حاصل از اندازه گیری واکشیدگی ضخامت در سه ترکیب چسب تفاوت معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد. به طوری که آزمون مقایسه میانگین توکی واکشیدگی ضخامت را در سه گروه مجزا از هم

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود جذب آب تخته خرده ساخته شده با شلتوک برنج با گذشت زمان و تغییر در ترکیب چسب تغییر کرده است. به طوری که افزایش رزین ایزوسیانات در ترکیب چسب، مقدار جذب آب را کاهش و گذشت زمان مقدار آن را افزایش داده است. نتایج نشان می دهد که در سال ۲۰۰۸ جایگزینی چسب اوره فرم آلدئید با ۱ و ۲ درصد رزین ایزوسیانات به ترتیب حدود ۴۰ و ۵۰ درصد جذب آب را کاهش داده است. با توجه به شکل ۷ مقدار پایداری برای نمونه های ساخته شده با رزین اوره فرم آلدئید ۵۷ و اصلاح شده با ۱ و ۲ درصد ایزوسیانات به ترتیب ۶۳

با هم دارد اما در مورد تخته‌های ساخته شده با رزین اصلاح شده با ۲ درصد ایزوسیانات تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

تفکیک می‌کند. مقدار واکنش‌دهی ضخامت تخته‌های ساخته شده با رزین اوره فرم آلدئید و اصلاح شده با ۱ درصد ایزوسیانات بین سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۲۵ تفاوت معنی‌داری

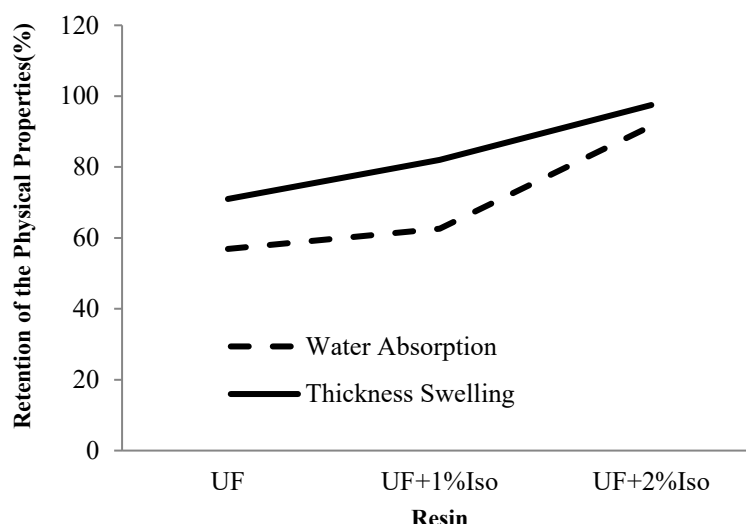


شکل ۶- نشان‌دهنده تأثیر گذشت زمان و درصد ایزوسیانات بر واکنش‌دهی تخته خرده شلتوک برنج

Figure 6. Shows the effect of time and percentage of isocyanate on the thickness swelling of rice husk board

حدود ۴۰ و ۵۰ درصد واکنش‌دهی ضخامت را کاهش داده است. با توجه به شکل ۷ مقدار پایداری برای نمونه‌های ساخته شده با رزین اوره فرم آلدئید ۷۱ و اصلاح شده با ۱ و ۲ درصد ایزوسیانات به ترتیب ۸۲ و ۹۸ درصد به‌دست‌آمده که نشان‌دهنده نقش مؤثر رزین ایزوسیانات در حفظ و جلوگیری از افزایش مقدار واکنش‌دهی ضخامت در طی زمان است.

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود واکنش‌دهی ضخامت تخته خرده ساخته شده با شلتوک برنج با گذشت زمان و تغییر در ترکیب چسب تغییر کرده است. به‌طوری‌که افزایش رزین ایزوسیانات در ترکیب چسب، مقدار واکنش‌دهی ضخامت را کاهش و گذشت زمان مقدار آن را افزایش داده است. نتایج نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۸ جایگزینی چسب اوره فرم آلدئید با ۱ و ۲ درصد رزین ایزوسیانات به ترتیب



شکل ۷- نشان دهنده تأثیر ایزوسیانات بر درصد پایداری خواص فیزیکی تخته خرده شلتوک برنج

Figure 7. Shows the effect of Isocyanate on the percentage of retention of physical properties of rice husk board

بحث

و افزایش مقاومت خمشی شده است (Norita et al., 2008; Sekino et al., 2013). رزین ایزوسیانات روند کاهش مقاومت خمشی در طی زمان را کند می کند و باعث حفظ مقاومت خمشی می شود. گزارش شده که تخته خرده چوب ساخته شده با رزین فنل فرم آلدئید و تخته فیبر ساخته شده با رزین ایزوسیانات پس از غوطه وری در آب و خشک شدن به ترتیب در حدود ۸۰ و ۱۰۰ درصد مقاومت اولیه خود را حفظ کردند (Norita et al., 2008). همچنین گزارش شده که تخته خرده چوب های ساخته شده با رزین های فنل فرم آلدئید و ایزوسیانات که بیش از ۷ سال در بیرون از ساختمان بوده اند در حدود ۵۰ درصد مقاومت خمشی خود را حفظ کرده اند (Sekino et al., 2013)؛ که با نتایج این بررسی در مورد حفظ مقاومت خمشی توسط رزین ایزوسیانات مطابقت می کند. دلیل حفظ مقاومت خمشی توسط رزین ایزوسیانات را می توان در کوچک تر بودن مولکول های ایزوسیانات نسبت به اوره فرم آلدئید و توزیع یکنواخت آن روی ذرات و کیفیت چسبندگی شیمیایی و مکانیکی آن دانست. همانند مقاومت خمشی، نتایج حکایت از تأثیر معنی دار رزین ایزوسیانات در افزایش چسبندگی داخلی و حفظ آن در طی زمان دارد. در این راستا، گزارش شده که تخته خرده چوب و تخته تراشه جهت دار

صفحات فشرده چوبی، مانند تخته خرده چوب (PB) و تخته فیبر با چگالی متوسط (MDF)، به طور گسترده در ساخت وسازهای مسکونی مورد استفاده قرار می گیرند. برای چنین کاربردی، دوام طولانی مدت پانل های چوبی مهم است دوام یا مقاومت در برابر رطوبت چنین پنل هایی معمولاً با روش های استاندارد آزمایش پیری که شامل چرخه های مختلف غوطه وری در آب سرد یا گرم، جوشاندن، بخار دادن، انجماد و خشک کردن است و یا آزمایش های قرار گرفتن در معرض هوای آزاد تعیین می شود. با توجه به نتایج، گذشت زمان مقاومت خمشی تخته ها را کاهش می دهد که این کاهش برای تخته هایی که به طور کامل از رزین اوره فرم آلدئید ساخته شده اند بیشتر از تخته های ساخته شده با اوره فرم آلدئید اصلاح شده با رزین ایزوسیانات است. افزایش رزین ایزوسیانات در ترکیب چسب، مقدار مقاومت خمشی را افزایش داده است به طوری که حداکثر مقاومت خمشی مربوط به ترکیب چسب با ۲ درصد ایزوسیانات است. افزایش مقاومت خمشی با استفاده از ایزوسیانات به این دلیل است که رزین ایزوسیانات بسیار فعال تر از رزین اوره فرم آلدئید با سلولز واکنش می دهد. همین موضوع موجب تقویت اتصالات

چسب و واکنش پذیری بسیار زیاد آن با گروه های هیدروکسیل سلولز باشد که ایجاد اتصال های بسیار مناسب و مقاوم به آب می کند.

نتایج مربوط به پایداری خواص فیزیکی نشان می دهد که رزین ایزوسیانات باعث افزایش پایداری جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته ها می شود. درصد پایداری برای جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در تیمار ۲ درصد ایزوسیانات به ترتیب ۹۲ و ۹۸ درصد به دست آمده است؛ یعنی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته ها در سال ۲۰۲۵ نسبت به ۲۰۰۸ به ترتیب ۸ و ۲ درصد افزایش یافته است که نشان دهنده تأثیر قابل توجه رزین ایزوسیانات در پایداری و جلوگیری از افزایش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته ها در اثر گذشت زمان است.

نتیجه گیری

به طور کلی از این مطالعه می توان نتیجه گرفت که به کارگیری رزین ایزوسیانات در جایگزینی رزین اوره فرم-آلدئید برای ساخت تخته خرده چوب از شلتوک برنج اثر مثبت در افزایش خواص مکانیکی (مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی) و کاهش خواص فیزیکی (جذب آب و واکنشیدگی ضخامت) دارد. به طوری که بهترین نتیجه را می توان در ۲ درصد جایگزینی اوره فرم-آلدئید با رزین ایزوسیانات مشاهده کرد. البته رزین ایزوسیانات با افزایش پایداری خواص فیزیکی و مکانیکی تخته ها مانع از تأثیر منفی گذشت زمان در کاهش خواص فیزیکی و مکانیکی تخته ها شده است.

ساخته شده با چوب صنوبر و رزین فنل فرم-آلدئید پس از ۵ سال قرار داشتن در بیرون ساختمان به ترتیب کمتر از ۳۰ و ۱۰ درصد چسبندگی داخلی خود را حفظ کرده است (Kojima and Suzuki, 2011)؛ که در قیاس با نتایج این پژوهش نشان می دهد رزین ایزوسیانات بیشتر از رزین فنل فرم-آلدئید در حفظ چسبندگی داخلی در طی زمان مؤثر است؛ که دلیل آن را می توان در ساختار شیمیایی ایزوسیانات جستجو کرد. گروه های عاملی ایزوسیانات برای تشکیل پلی اوره در دمای بالا با آب موجود در ذرات واکنش داده و با آزاد کردن دی اکسید کربن باعث کف کردن رزین می شوند. به این دلیل رزین ایزوسیانات با وجود مصرف کم، پوششی مناسب روی ذرات ایجاد می کند. از سویی، ساختار شیمیایی رزین ایزوسیانات و کم بودن تعداد گروه های عاملی آن سبب می شود که تخته های ساخته شده با این چسب مقاومت بالایی به جذب آب داشته باشند. به طور کلی دو واکنش مهم ایزوسیانات ها یعنی واکنش با گروه های هیدروکسیل و واکنش با آب به عملکرد این چسب در بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی تخته ها کمک می کند (Tarmian et al., 2005).

با توجه به نتایج افزایش رزین ایزوسیانات در ترکیب چسب، مقدار جذب آب و واکنشیدگی ضخامت را کاهش و گذشت زمان مقدار آن را افزایش داده است؛ بنابراین نتایج این مطالعه با گزارش هایی که اشاره به اثر مثبت رزین ایزوسیانات در کاهش جذب آب و واکنشیدگی دارند (Xiaoqun, 2003; Tarmian et al., 2005) مطابقت می کند. دلیل آن می تواند تأثیر رزین ایزوسیانات در سرعت گیرایی

Reference

- Akor, H.I., Adams, P.O., Onu, M.A., Salawu, A.A., Bello, F.O., 2026. Production of rice husk-based particleboard using biomass extract as a binder, *Next Chemical Engineering* ,2 :1-8, <https://doi.org/10.1016/j.nxcen.2026.100048>
- American Society for Testing And Materials – ASTM. D 1037: 1996. Standard Test Method for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. Philadelphia.
- Ciannamea, E.M., Marin, D.C., Ruseckaite, R.A and Stefani, P.M., 2017. Particleboard Based on Rice Husk: Effect of Binder Content and Processing Conditions. *Journal of Renewable Materials*, 5(5):357-361. [DOI:10.1016/j.jrm.2017.634125](https://doi.org/10.1016/j.jrm.2017.634125)
- European Standard EN 326-1, 1993. Wood based panels, Sampling, cutting and inspection. Sampling and cutting of test pieces and expression of test results, 12 pp. <https://doi.org/10.3403/00332747>
- Hajihassani, R., Salehi, K., Golbabaei, F., Rahamim, H and Mehdinia, M., 2025. Evaluation of engineering characteristic of particleboard made from rice husk and industrial wood particles, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. Vol. 40, No. 2, Page 112-123. [DOI:10.22092/ijwpr.2025.368862.1801](https://doi.org/10.22092/ijwpr.2025.368862.1801) (In Persian).
- Iranian National Standardization Organization- INSO.9044: 2019. Wood- Wood Based Panels – Particleboard – Specifications (In Persian).
- Jabile, L. M., Tuyor, M. P., Salcedo, A., Balangao, J. K.B., & Namoco, C. S. (2022). Utilization of Sawdust and Rice Husk for Particle Board Application. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 17(2), 257-261.
- Kojima, Y and Suzuki, Sh., 2011. Evaluation of wood-based panel durability using bending properties after accelerated aging treatments, *The Japan Wood Research Society*, 57:126–133. [DOI 10.1007/s10086-010-1146-x](https://doi.org/10.1007/s10086-010-1146-x)
- Kojima, Y., Suzuki, S., 2011. Evaluating the durability of wood-based panels using internal bond strength results from accelerated aging treatments. *Journal of Wood Science* ,57: 7–13. <https://doi.org/10.1007/s10086-010-1131-4>
- Kojima Y, Norita H, Suzuki, S., 2009. Evaluating the durability of wood-based panels using thickness swelling results from accelerated aging treatments. *Forest Product Journal*, 59:35–41
- McNatt, J.D., Link, C.L., 1989. Analysis of ASTM D1037 accelerated-aging test. *Forest Product Journal*, 39:51–57
- Norita, H., Kojima, Y., Suzuki, S., 2008. The aging effects of water immersion treatments in wet-bending for standardized testing of wood panels. *Journal of Wood Science* ,54:121–127. [DOI 10.1007/s10086-007-0919-3](https://doi.org/10.1007/s10086-007-0919-3)
- Ota, T and Okamoto, T., 2015. Mechanical Properties of Particleboard Made from Rice Husk. *Journal of Materials Science and Engineering B*, 5(7-8):263-269. [doi:10.1016/j.jmse.2015.7-8.002](https://doi.org/10.1016/j.jmse.2015.7-8.002)
- Sekino, N., Sato, H. & Adachi, K., 2014. Evaluation of particleboard deterioration under outdoor exposure using several different types of weathering intensity. *Journal of Wood Science*, 60: 141–151. <https://doi.org/10.1007/s10086-013-1384-9>
- Tamrin, Pratama, F., Purnomo, R.H., Sidabutar, J and Sitanggang, E., 2023. Properties changes of rice husk-particleboard during indoor and outdoor exposure, *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 2023, 20(03), 1334–1340. DOI: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.20.3.2511>
- Tarmin, A., Doosthoseini, K., 2005. An Investigation of Properties of Particleboard Produced with Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI), *Iranian Journal of Natural Resources*, Vol.58, No.3:671-678 (In Persian).
- Torkaman, J., Fatehmy, S., 2008a. Investigating the Properties of Rice Husk/Urea Formaldehyde Resin Particleboard by Using Diisocyanate. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 21(2): 95-105. [doi: 10.22063/jipst.2013.637](https://doi.org/10.22063/jipst.2013.637) (In Persian).
- Torkaman, J., Fatehmy, S. M., 2008b. Modifying the Bondability of Rice Husk/Sodium Silicate Particleboard by Using Diisocyanate. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 21(1): 3-8. [doi: 10.22063/jipst.2013.597](https://doi.org/10.22063/jipst.2013.597) (In Persian).
- Torkaman, J., 2010. Improvement of bondability in rice husk particleboard made with sodium silicate, in *Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, Citeseer, 2010, pp.1–31 (In Persian).
- Xiaoqun Mo., Enzhi Cheng., Donghai Wang., Susan Sun., 2003. Physical properties of medium-density wheat straw particleboard using different adhesives, *Industrial Crops and Products*, 18(1):47-53. [DOI: 10.1016/S0926-6690\(03\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(03)00032-3)