Research Article

Iranian Journal of Wood and Paper Science Research

Vol. 40, No. 2, Page 112-123 (2025) DOI: 10.22092/ijwpr.2025.368862.1801

Evaluation of engineering characteristic of particleboard made from rice husk and industrial wood particles

Reza Hajihassani[1*], Kamyar Salehi[2], Fardad Golbabaei[3], Hashem Rahamim[2] and Meysam Mehdinia[2]

1*- Corresponding author, Associate Prof., Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, Email: Reza.hajihassani@gmail.com

2-Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3-M.Sc., Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 11 March 2025 Revised: 29 April 2025 Accepted: 15 May 2025 Published online: 18 June 2025

Abstract

Background and Objectives: The country's forest resources limitation and prohibition of wood import, have caused several problems in providing lignocellulosic raw materials. Therefore, the use of lignocellulosic waste resources shows important role in this field. Particleboard is one of the wood composite products which can be produced using various types of lignocellulosic materials such as agricultural residue. One of the available agricultural wastes in the country is rice husk, which can be used in production of particleboard. However, the use of agricultural lignocellulosic residues impose negative impact on engineering characteristic of produced boards. Therefore, the objective of this research is to evaluate the possibility of rice husk application in particleboard production and also obtain an optimal composition of raw material and the other production conditions.

Methodology: Rice husk and industrial wood particles were collected from the Gilan province and 22 Bahman Particleboard Company, respectively. The steps in particleboard production included screening, drying, gluing, formation and pressing. In this study, the composition of raw material (100% industrial wood particles, 90% industrial wood particles and 10% rice husk, 80% industrial wood particles and 20% rice husk, 70% industrial wood particles and 30% rice husk) was considered as a variable factor and the other factors including the resin consumption (10% based on dry weight of the board), pressing temperature (180 °C), pressing pressure (25 kg/cm^2) and pressing time (4 minutes) were considered as fixed factors. A total of 12 laboratory boards with three replications were produced for each treatment. Then, the samples were prepared from each board according to the EN326-1 guidelines. Physical and mechanical tests included measurement of water absorption and thickness swelling after 2 and 24 hours of immersion in water, bending strength, modulus of elasticity and internal bonding. The results were analyzed based on a complete randomized design within the framework of a factorial experiment by SPSS software. Duncan's multiple range test was used to compare mean values.

Results: The results of this study showed that the composition of raw materials affects all

Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijwpr.areeo.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.

physical and mechanical properties of manufactured boards. Increasing of rice husk consumption decreased the bending strength, modulus of elasticity and internal bonding and also increased the water absorption and thickness swelling after 2 and 24 hours immersion in water.

Conclusion: In general, the results of current study revealed that consumption of rice husk in small quantity (up to 10% composition of the raw material) can provide boards with acceptable physical and mechanical properties; but higher amounts, lead to a decrease in physical and mechanical properties of the boards. Therefore, small amounts of rice husk can be used as substituted raw materials in combination with industrial wood particles in particleboard industry.

Keywords: Particle board, rice husk, physical and mechanical properties.

ارزیابی خواص مهندسی تخته خرده‌چوب ساخته شده از شلتوک برنج و خرده چوب صنعتی

رضا حاجی‌حسنی [۱*]، کامیار صالحی [۲]، فرداد گلبابائی [۳]، هاشم رهامین [۲] و میثم مهدی‌نیا [۲]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست‌الکترونیک: Reza.hajihassani@gmail.com

۲- استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- مربی پژوهشی، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۲۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: محدودیت منابع جنگلی کشور و ممنوعیت واردات چوب برای مصرف صنایع اوراق فشرده چوبی سبب بروز مشکلات متعددی در تأمین ماده اولیه لیگنوسلولزی شده است. ازاین‌رو، استفاده از پسماند منابع لیگنوسلولزی می‌تواند نقش مهمی را در این راستا ایفا نماید. تخته خرده‌چوب یکی از محصولات مرکب چوبی می‌باشد که در تولید آن امکان استفاده از تمامی مواد اولیه چوبی و انواع مواد لیگنوسلولزی و حتی بقایای گیاهان یکساله وجود دارد. یکی از پسماندهای زراعی موجود در کشور شلتوک برنج می‌باشد که می‌تواند در تولید تخته‌خرده‌چوب مورد استفاده قرار گیرد. اما با توجه به اینکه تولید اوراق فشرده چوبی با استفاده از پسماند محصولات زراعی سبب کاهش خواص مهندسی محصول نهایی می‌گردد، بنابراین ارزیابی امکان استفاده از شلتوک برنج در ساخت تخته خرده‌چوب و به‌دست آوردن ترکیب بهینه از میزان مصرف این پسماند زراعی و سایر شرایط تولید از اهداف این پژوهش می‌باشد که می‌تواند کمک شایانی به بخش صنعت در مورد استفاده از این ماده اولیه نماید.

مواد و روش‌ها: شلتوک برنج و خرده چوب صنعتی مورد نیاز در این بررسی به ترتیب از منطقه گیلان و شرکت نئوپان ۲۲ بهمن گرگان تهیه شدند. مراحل ساخت تخته خرده چوب شامل الک کردن، خشک کردن، چسب زنی، تشکیل کیک و پرس کردن بود. در این بررسی ترکیب ماده اولیه (۱۰۰٪ خرده چوب صنعتی، ۹۰٪ خرده چوب صنعتی و ۱۰٪ شلتوک، ۸۰٪ خرده چوب صنعتی و ۲۰٪ شلتوک، ۷۰٪ خرده چوب صنعتی و ۳۰٪ شلتوک) به‌عنوان عامل متغیر و سایر عوامل شامل مقدار مصرف چسب (۱۰٪ وزن خشک خرده چوب)، دمای پرس(۱۸۰ درجه سانتی‌گراد)، فشار پرس (۲۵ Kg/cm^2) و زمان پرس (۴ دقیقه) ثابت در نظر گرفته شد. درمجموع با در نظر گرفتن سه تکرار برای هر تیمار، ۱۲ تخته آزمایشگاهی ساخته شد. سپس از هر تخته نمونه‌های آزمایشگاهی طبق دستورالعمل EN326-1 تهیه گردید. آزمون‌های مورد ارزیابی شامل اندازه‌گیری جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت، مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی بودند. برای تجزیه‌وتحلیل آماری نیز از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این بررسی نشان دادند که درصد اختلاط مواد بر کلیه خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌های ساخته شده اثرگذار می‌باشد، به‌طوری‌که افزایش مصرف شلتوک برنج در ترکیب ماده اولیه، سبب کاهش مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی و افزایش جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت تخته‌های ساخته شده گردید.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج این بررسی نشان دادند که استفاده از کلش برنج با مقادیر کم (تا ۱۰٪ ترکیب ماده اولیه) می‌تواند تخته‌هایی با خواص فیزیکی و مکانیکی قابل‌قبول ارائه نماید؛ اما در مقادیر بالاتر باعث افت خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها می‌گردد. ازاین‌رو، مقادیر کم پسماند لیگنوسلولزی شلتوک برنج در ترکیب با خرده چوب صنعتی می‌تواند به‌عنوان مواد اولیه مناسب در صنعت تخته‌خرده‌چوب مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تخته خرده چوب، شلتوک برنج، خواص فیزیکی و مکانیکی

مقدمه

محدودیت منابع جنگلی کشور و طرح تنفس جنگل از یکسو و ممنوعیت واردات چوب برای مصرف صنایع تخته‌خرده‌چوب از سوی دیگر سبب بروز مشکلات متعددی در تأمین ماده اولیه لیگنوسلولزی صنایع چوب شده است. ازاین‌رو، استفاده از پسماند منابع لیگنوسلولزی می‌تواند نقش مهمی را در این راستا ایفا نماید. تخته‌خرده‌چوب یکی از محصولات مرکب چوبی می‌باشد که در تولید آن امکان استفاده از تمامی مواد اولیه چوبی و انواع مواد لیگنوسلولزی و حتی بقایای گیاهان یکساله وجود دارد. یکی از پسماندهای موجود در کشور، پسماند حاصل از فرایند تهیه برنج در کارخانه‌های شالی‌کوبی است که می‌تواند در تولید تخته‌خرده چوب مورد استفاده قرار گرفته و سبب ارزش افزوده بیشتر، حفظ منابع جنگلی، اشتغال‌زایی، جلوگیری از خروج ارز و غیره گردد. با توجه به اینکه سطح زیر کشت برنج در کشور در حدود ۶۷۰۰۰۰ هکتار می‌باشد (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۱)؛ با در نظر گرفتن متوسط تولید ۳/۵ تن برنج در هکتار، در حدود ۲/۳ میلیون تن برنج در کشور تولید می گردد. از سویی شلتوک یا پوسته برنج، به‌طور متوسط ۲۰ درصد برنج تولید شده را شامل می‌شود که با در نظر گرفتن میزان تولید برنج در کشور، در حدود ۴۶۰۰۰۰ تن شلتوک تولید می‌گردد. ازاین‌رو، میزان شلتوک تولید شده در کشور، رقم قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشد که می‌تواند بخشی از نیاز صنعت اوراق فشرده چوبی را تأمین نماید. اما با توجه به اینکه تولید اوراق فشرده چوبی با استفاده از پسماند محصولات زراعی سبب کاهش خواص مهندسی محصول نهایی می‌گردد، بنابراین به دست آوردن ترکیب بهینه از میزان مصرف این پسماند زراعی و سایر شرایط تولید می‌تواند کمک شایانی به بخش صنعت در مورد استفاده از این ماده اولیه نماید.

تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در مورد استفاده از انواع مختلف پسماند کشاورزی در ساخت محصولات چوبی مانند تخته‌خرده‌چوب، تخته فیبر، کاغذ و ... در دنیا انجام شده است. برنج یکی از مواد غذایی عمده در بسیاری از مناطق جهان است که با توجه به تقاضای جهانی روند تولید آن سال به سال در حال افزایش می‌باشد. شلتوک برنج یکی از محصولات جانبی برنج می‌باشد که در حدود ۲۰٪ از برنج تولیدی را شامل می‌شود. ترکیب تقریبی شلتوک برنج شامل سلولز (۲۵-۳۵٪)، همی‌سلولز (۱۸-۲۱٪)، لیگنین (۲۶-۳۱٪)، ترکیبات معدنی (۱۵-۱۷٪) و مواد محلول (۲-۵٪) می‌باشد (Ciannamea *et al.*,2017; Marín *et al.*, 2015). پوسته برنج یکی از انواع پسماند کشاورزی می‌باشد که به‌دلیل در دسترس بودن، دانسیته حجمی کم (۹۰-۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب)، مقاومت در برابر هوا و ترکیب منحصربه‌فرد آن می تواند در ساخت تخته‌خرده‌چوب مورد استفاده قرار گیرد. شلتوک برنج حاوی غلظت بالایی از سیلیس به‌صورت آمورف و کریستالی می‌باشد. سطح خارجی پوسته حاوی غلظت بالایی از سیلیس آمورف است که به سمت داخل کاهش می‌یابد و عملاً در داخل پوسته وجود ندارد (Asha, 2017).

Ciannamea و همکاران (۲۰۱۷) اثرگذاری میزان چسب و شرایط تولید در ساخت تخته‌خرده‌چوب از شلتوک برنج را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از چسب فرمالدئید و فشار پرس ۰/۲۸، ۰/۸۳ و ۱/۳۸ مگاپاسکال به ترتیب منجر به تولید تخته‌خرده‌چوب با دانسیته کم، متوسط و زیاد می‌گردد. همچنین مقدار مصرف چسب فنل فرمالدئید ۱۱٪ و ۱۴٪ به ترتیب حداقل و حداکثر میزان MOR و MOE را به همراه داشتند.

Asha (۲۰۱۷) در بررسی تولید تخته‌خرده‌چوب از شلتوک برنج به این نتیجه دست یافت که تخته‌های تولید شده با استفاده از رزین پلی‌استر دارای مقاومت الکتریکی بالایی بوده و می‌توانند در مدارهای الکتریکی مورد استفاده قرار گیرند.

در بررسی ساخت تخته‌خرده‌چوب از شلتوک برنج نشان داده شده که ترکیبات شیمیایی پوسته برنج به‌شدت بر خواص تخته تولیدی اثرگذار گذاشته و سبب کاهش خواص فیزیکی و مکانیکی می‌گردد. دلیل اتصالات ضعیف ایجاد شده بین ذرات شلتوک برنج به مواد استخراجی و خاکستر بالا و مقدار کم لیگنین نسبت داده شد. به‌طورکلی نتایج این بررسی ترکیب مناسب برای ساخت تخته‌خرده‌چوب را ۷۵٪ چوب کاج چینی و ۲۵٪ شلتوک برنج به همراه ۹٪ چسب اوره فرمالدئید معرفی نمود؛ مضاف بر اینکه تخته‌های تولیدی مناسب برای کاربردهای با مقاومت مکانیکی بالا نیستند (César *et al.*, 2017).

Kargarfard و Hajihassani (۲۰۱۹) که امکان استفاده از گرز ذرت در ساخت تخته‌خرده‌چوب را مورد بررسی قرار دادند، به این نتیجه دست یافتند که در صورت استفاده از ۱۰۰٪ ذرات چوب ذرت در لایه میانی تخته‌ها، می‌توان تخته‌هایی را با ویژگی‌های مکانیکی بالاتر از سطح استاندارد تولید نمود. بااین‌حال، برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و نزدیک نمودن سطوح این ویژگی‌ها به حد استاندارد، استفاده از ۲۵ تا ۵۰ درصد ذرات چوب ذرت در ترکیب با چوب صنوبر در لایه میانی تخته‌ها را می‌توان بهترین ترکیب بهینه در شرایط استفاده از دمای پرس ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد برای تولید تخته‌خرده‌چوب توصیه نمود.

Hussein و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی ساخت تخته‌خرده‌چوب از کلش برنج و فیبر کتان نشان دادند که تخته‌های ساخته شده از فیبر کتان در مقایسه با تخته‌های ساخته شده از کلش برنج، از ویژگی‌های مکانیکی بالاتری و عایق حرارتی کمتری برخوردار بودند. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از چسب اوره فرمالدئید در تولید تخته خرده‌چوب از کلش برنج خواص مکانیکی بالاتر و هدایت حرارتی بیشتری را نسبت به چسب نشاسته ذرت ایجاد می نماید. بعلاوه، افزایش نسبت رزین، خصوصیات مکانیکی تخته ها را به استثنای MOR و MOE بهبود بخشیده و با مقدار رزین ۱۰٪ به حداکثر مقدار خود می‌رسد. همچنین مقادیر بالاتر رزین اوره فرمالدئید باعث هدایت حرارتی بالاتری شد.

Latibari و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی استفاده از ضایعات چوبی شهری در تولید تخته‌خرده‌چوب به این نتیجه رسیدند که خرده‌چوب‌های تولید شده از ضایعات چوبی شهری مانند ضایعات چوب کاج و چنار و ضایعات هرس درختان انگور از قابلیت خوبی به‌عنوان ماده اولیه لیگنوسلولزی ارزان‌قیمت برخوردار بوده و می‌تواند به‌صورت خالص یا مخلوط با یکدیگر و یا مخلوط با خرده‌چوب پهن برگان شمال ایران در تولید این محصول استفاده شود.

نتایج بررسی‌های Ndububa و همکاران (۲۰۱۵) در مورد خواص مکانیکی تخته‌خرده‌چوب ساخته شده از پوسته فونیو با استفاده از رزین صمغ عربی نشان داد که تخته‌های ساخته شده دارای برخی خواص مکانیکی، به‌ویژه خواص کششی مناسب برای کاربرد در پارتیشن می‌باشد. بااین‌حال، این ویژگی کاربردی با افزایش میزان صمغ عربی در تخته‌خرده‌چوب افزایش می‌یابد.

Hajihassani و همکاران (۲۰۱۲) در یک بررسی نشان دادند که برای تولید تخته‌خرده‌چوب از ترکیب نی و سرشاخه‌های انار با خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب، ترکیب ۲۵٪ نی و ۷۵٪ سرشاخه انار و زمان پرس سه دقیقه مناسب می‌باشد. بنابراین استفاده از مواد لیگنوسلولزی حاصل از ضایعات کشاورزی می‌تواند از یکسو باعث ارزش افزوده بیشتر و تأمین بخشی از نیازهای داخلی گردد و از سوی دیگر کاهش فشار بهره‌برداری از منابع جنگلی را به همراه داشته باشد.

ازاین‌رو، این بررسی سعی دارد تا شرایط بهینه تولید تخته‌خرده‌چوب با استفاده از شلتوک برنج را با در نظر گرفتن سایر شرایط موجود در خطوط تولید تخته‌خرده‌چوب در کشور ارائه نماید. بنابراین هدف از این تحقیق، پاسخگویی به این سؤالات می‌باشد: ۱– آیا شلتوک برنج می‌تواند گزینه مناسبی در ساخت تخته‌خرده‌چوب باشد؟ ۲– خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌های حاصل از شلتوک در حد استاندارد و قابل‌قبول می‌باشند؟ ۳– بهترین شرایط تیمار برای تولید تخته‌خرده‌چوب با ویژگی‌های استاندارد چیست؟ ۴– آیا تخته‌خرده‌چوب تولید شده با شلتوک برنج قابلیت رقابت با سایر محصولات داخلی و یا وارداتی را دارد؟

مواد و روش‌ها

شلتوک مورد نیاز در این بررسی از منطقه گیلان تهیه شد. همچنین خرده چوب صنعتی مورد استفاده نیز از شرکت نئوپان ۲۲ بهمن واقع در شهرستان بهشهر استان گرگان تهیه گردید. برای آماده کردن خرده‌چوب‌های با ابعاد مناسب، خرده چوب-های تهیه شده الک گردیدند. برای این منظور، از دو الک با منافذ درشت و ریز (۱-۱۰ میلی‌متر) به ترتیب برای جداسازی خرده‌چوب‌های بسیار درشت و ریز که خارج از درجه‌بندی مناسب ساخت تخته‌خرده‌چوب است، استفاده گردید. سپس شلتوک و خرده چوب صنعتی تهیه شده، با استفاده از یک خشک‌کن دوار با سرعت ۳ دور در دقیقه و در درجه حرارت بین ۱۱۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور مجزا تا رطوبت حدود ۱ درصد خشک گردیدند. بعد از خشک شدن، خرده‌چوب‌های صنعتی و شلتوک با در نظر گرفتن درصد اختلاط، توزین و در کیسه‌های پلاستیکی مقاوم و غیرقابل نفوذ بسته‌بندی و برای مرحله بعدی آماده شدند. برای چسب‌زنی مخلوط شلتوک و خرده چوب صنعتی آماده شده، از چسب اوره فرم‌آلدئید مایع ساخت شرکت آرین شیمی استفاده شد. مقدار مواد جامد چسب قبل از مصرف به ۵۰ درصد کاهش داده شده است. برای چسب‌زنی خرده‌چوب‌ها از یک دستگاه چسب‌زن آزمایشگاهی دوار استفاده گردید. عمل چسب‌زنی در استوانه با حالت افقی با سرعت چرخش در حدود ۲۰ دور در دقیقه انجام شد. محلول چسب به میزان ۱۰ درصد همراه با کاتالیزور (NH_4Cl) به‌وسیله یک نازل با استفاده از هوای فشرده در داخل استوانه پاشیده شده و با خرده‌چوب‌های داخل آن مخلوط گردید. پس‌ازآن، برای شکل دادن کیک خرده چوب از یک قالب چوبی ۲۵×۳۰×۳۰ سانتیمتر مکعب (عرض×طول×ارتفاع) استفاده گردید. بعد از چسب‌زنی ترکیب آماده شده از خرده چوب صنعتی و شلتوک برنج، ذرات چسب خورده به‌صورت دستی در داخل قالب به‌صورت لایه‌های یکنواخت پاشیده شدند. در مرحله بعد، کیک خرده چوب در یک پرس گرم آزمایشگاهی از نوع Buerkle L 100 در فشار $25\ Kg/cm^2$، دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، زمان پرس ۴ دقیقه و سرعت بسته شدن ۴/۵ میلی‌متر در ثانیه پرس شده و به تخته مورد نظر تبدیل گردید. برای تنظیم ضخامت تخته‌ها از شابلون ۱۰ میلی‌متری استفاده شد.

در این بررسی با استفاده از عامل متغیر ترکیب ماده اولیه (۱- ۱۰۰٪ خرده چوب صنعتی، ۲- ۹۰٪ خرده چوب صنعتی و ۱۰٪ شلتوک، ۳- ۸۰٪ خرده چوب صنعتی و ۲۰٪ شلتوک، ۴- ۷۰٪ خرده چوب صنعتی و ۳۰٪ شلتوک) اقدام به ساخت تخته‌ها گردید و سایر عوامل ثابت در نظر گرفته شد. با توجه به عامل متغیر در نظر گرفته شده درمجموع ۴ تیمار، با در نظر گرفتن ۳ تکرار برای هر تیمار، درمجموع ۱۲ تخته آزمایشگاهی ساخته شد. پس از ساخت تخته‌ها، برای رسیدن به رطوبت تعادل به مدت ۲۵ روز در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند. سپس از هر تخته نمونه‌های آزمایشگاهی طبق دستورالعمل EN326-1 تهیه شد. آزمون‌های مورد ارزیابی شامل اندازه‌گیری جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت (براساس استاندارد EN317)، مقاومت خمشی (خمش سه نقطه‌ای) و مدول‌الاستیسیته (براساس استاندارد EN310) و چسبندگی داخلی (براساس استاندارد EN319) بودند. برای تجزیه‌وتحلیل آماری نیز از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

در فرایند ساخت تخته‌خرده‌چوب عوامل متعددی بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها تأثیر می‌گذارند، اما در این بررسی تأثیر فاکتور ترکیب ماده اولیه بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی تخته‌خرده‌چوب به‌طور مستقل مورد ارزیابی قرار گرفتند. جدول ۲ خلاصه تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی درصد اختلاط ماده اولیه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس خواص فیزیکی و مکانیکی

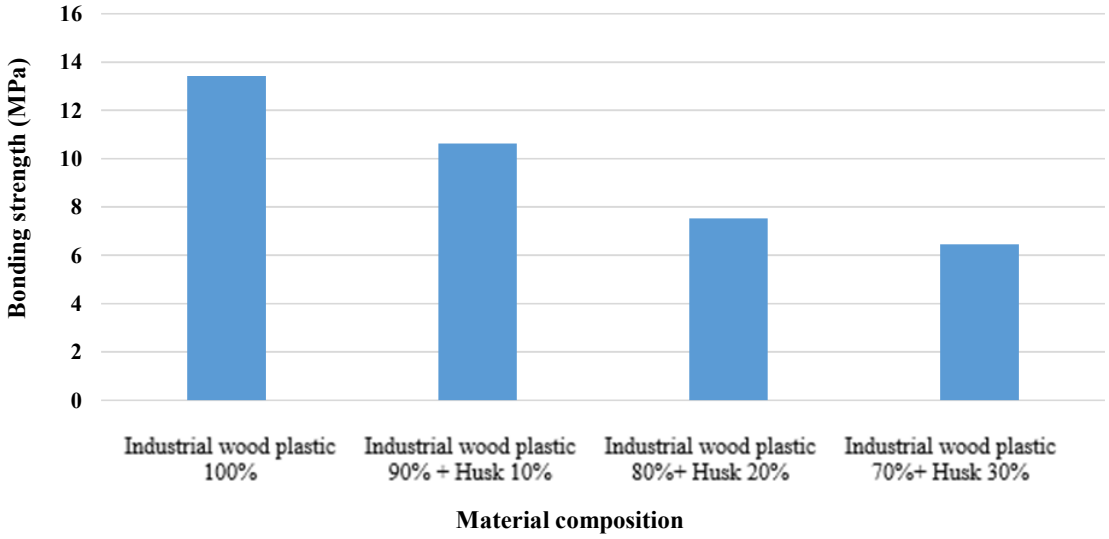
Table 1- Summarized analysis of physical and mechanical properties

Source of variation	Modulus of rapture (Mpa)	Modulus of elasticity (Mpa)	Internal bonding (Mpa)	Water absorption (%)		Thickness swelling (%)	
				2 hours	24 hours	2 hours	24 hours
Composition	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰

ns, * and ** Non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

مقاومت خمشی (MOR)

نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که در ساخت تخته‌خرده-چوب از کلش برنج و خرده چوب صنعتی، اثر مستقل اختلاط مواد در سطح آماری ۹۹ درصد بر مقاومت خمشی معنی‌دار می‌باشد (جدول ۱). مقایسه درصد اختلاط مواد در شکل ۱ نشان می‌دهد که با افزایش میزان شلتوک در ترکیب ماده اولیه، میزان مقاومت خمشی کاهش می‌یابد. مقایسه میانگین‌های مقاومت خمشی نمونه‌ها نیز نشان دادند که بیشترین مقدار مقاومت خمشی مربوط به درصد اختلاط ۱۰۰٪ خرده چوب صنعتی و برابر با ۱۳/۴۲ مگاپاسکال بوده که در گروه A جدول دانکن قرارگرفته‌اند و کمترین میزان مدول خمشی مربوط به درصد اختلاط ۳۰٪ شلتوک و ۷۰٪ درصد خرده چوب صنعتی و برابر با ۶/۴۴ مگاپاسکال می‌باشد که در گروه D جدول دانکن قرار گرفت.



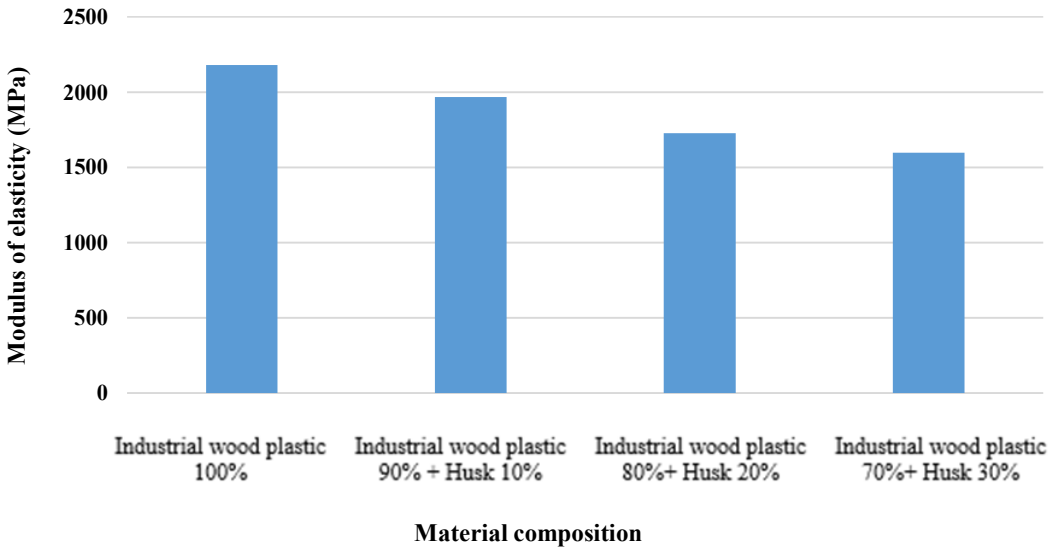
شکل ۱- تأثیر ترکیب مواد اولیه بر مقاومت خمشی

Figure 1. Effect of raw material composition on bending strength

مدول‌الاستیسیته خمشی (MOE)

نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که مدول‌الاستیسیته نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌داری (سطح آماری ۹۹ درصد) تحت تأثیر اثر مستقل درصد ترکیب مواد قرار می‌گیرد (جدول ۱). مقایسه

تیمارها در شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش میزان شلتوک برنج در ترکیب ماده اولیه، مدول‌الاستیسیته تخته‌های ساخته شده کاهش می‌یابد. مقایسه میانگین‌های مدول‌الاستیسیته نمونه‌ها نیز نشان دادند که بیشترین مقدار مدول‌الاستیسیته مربوط به درصد اختلاط ۱۰۰٪ خرده چوب صنعتی و برابر با ۲۱۸۰ مگاپاسکال بوده که در گروه A جدول دانکن قرار گرفته است و کمترین میزان مدول‌الاستیسیته مربوط به درصد اختلاط ۳۰٪ شلتوک برنج و ۷۰٪ خرده چوب صنعتی و برابر با ۱۵۹۹ مگاپاسکال می‌باشد که به همراه درصد اختلاط ۲۰٪ شلتوک برنج و ۸۰٪ خرده چوب صنعتی در گروه C جدول دانکن قرار گرفتند.

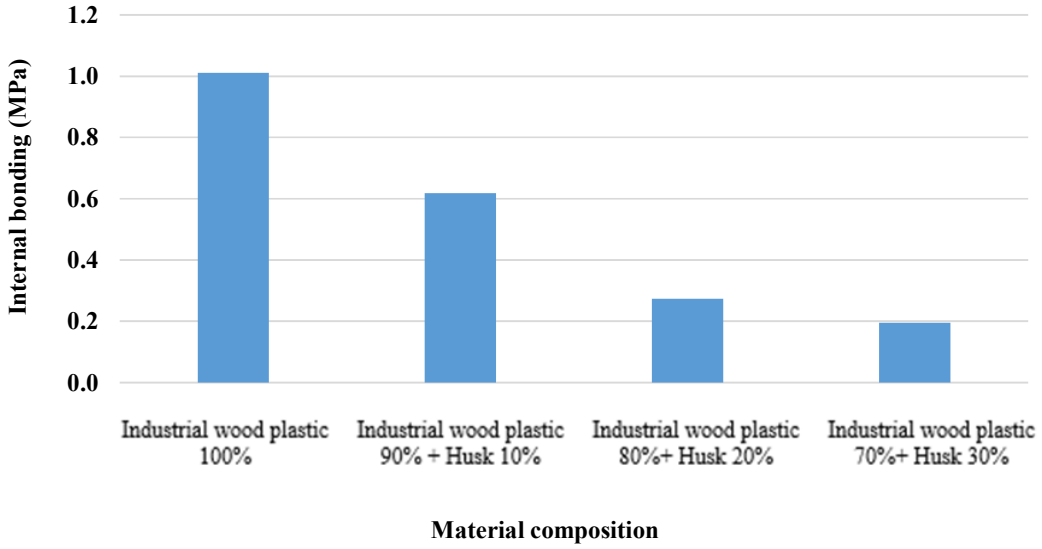


شکل ۲- تأثیر ترکیب مواد اولیه بر مدول خمشی

Figure 2. Effect of raw material composition on modulus of elasticity

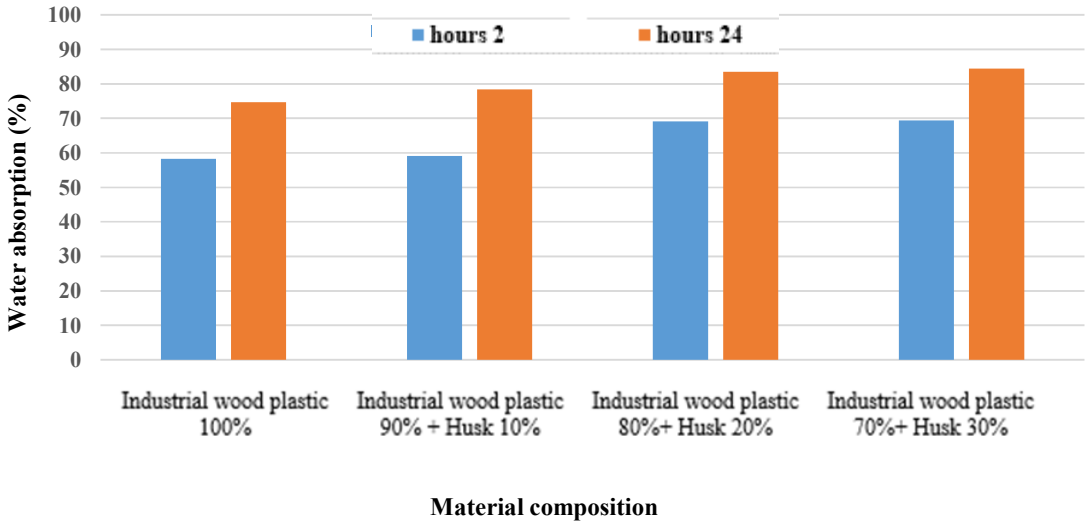
چسبندگی داخلی (IB)

چسبندگی داخلی یکی از خصوصیات مهم مکانیکی کامپوزیت‌های چوبی ازجمله تخته‌خرده‌چوب است که حتی ویژگی‌های فیزیکی مانند واکشیدگی و تغییر ابعاد را تحت تأثیر قرار می‌دهد، زیرا معرف استحکام اتصالاتی است که به‌دلیل رزین میان خرده چوب‌ها ایجاد می‌شود و آنها را به هم متصل می‌کند و به‌عبارت‌دیگر پایداری آنها را موجب می گردد. تجزیه واریانس چسبندگی داخلی (IB) تخته‌ها در جدول ۱ نشان می‌دهد که اثر مستقل ترکیب ماده اولیه در سطح آماری ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. مقایسه تیمارها در شکل ۳ نشان می‌دهند که با افزایش میزان شلتوک برنج در ترکیب ماده اولیه، میزان چسبندگی داخلی تخته‌ها نیز کاهش یافته است. مقایسه میانگین‌های چسبندگی داخلی تخته‌های ساخته شده نیز نشان دادند که بیشترین مقدار چسبندگی داخلی مربوط به درصد اختلاط ۱۰۰٪ خرده چوب صنعتی و برابر با ۱/۰۱ مگاپاسکال بوده که در گروه A جدول دانکن قرار گرفته است و کمترین میزان مدول‌الاستیسیته مربوط به درصد اختلاط ۳۰٪ شلتوک برنج و ۷۰٪ خرده چوب صنعتی و برابر با ۰/۲ مگاپاسکال می‌باشد که به همراه درصد اختلاط ۲۰٪ شلتوک برنج و ۸۰٪ خرده چوب صنعتی در گروه C جدول دانکن قرار گرفتند.



شکل ۳- تأثیر ترکیب مواد اولیه بر چسبندگی داخلی

Figure 3. Effect of raw material composition on internal bonding



شکل ۴- تأثیر ترکیب مواد اولیه بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت

Figure 4. Effect of raw material composition on water absorption

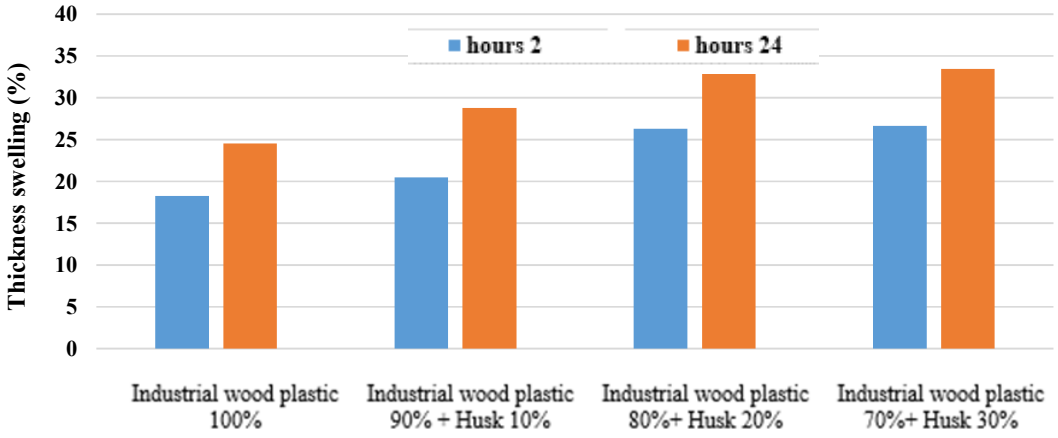
جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

نتایج آنالیز داده‌ها نشان دادند که در تخته‌های ساخته شده از شلتوک برنج و خرده چوب صنعتی، اثر مستقل ترکیب مواد در سطح آماری ۹۹ درصد بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت معنی‌دار شده است (جدول ۱). مقایسه تیمارها در شکل ۴ نشان می‌دهند که بیشترین مقدار جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت مربوط به درصد اختلاط ۳۰٪ شلتوک برنج و ۷۰٪ خرده چوب صنعتی و به ترتیب برابر با ۶۹/۴۶ و ۸۴/۴۶ درصد بوده است. همچنین کمترین میزان جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت مربوط به درصد اختلاط ۱۰۰٪ خرده چوب صنعتی و به ترتیب برابر با ۵۸/۳۰ و ۷۴/۷۳ درصد می‌باشد (شکل ۴). مقایسه میانگین‌های جذب آب ۲ ساعت نشان دادند که کمترین میزان جذب آب ۲ ساعت مربوط به درصد اختلاط ۱۰۰٪ خرده چوب صنعتی می‌باشد که به همراه درصد اختلاط ۱۰٪ شلتوک برنج و ۹۰٪ خرده چوب صنعتی در گروه B جدول دانکن قرار گرفت و بیشترین مقدار جذب آب ۲ ساعت مربوط به درصد اختلاط ۳۰٪ شلتوک برنج و ۷۰٪ خرده چوب صنعتی می‌باشد که به همراه درصد اختلاط ۲٪ شلتوک برنج و ۸۰٪ خرده چوب صنعتی در گروه A جدول دانکن قرار گرفت. همچنین مقایسه میانگین‌های جذب آب ۲۴ ساعت نشان دادند که کمترین میزان جذب آب ۲۴ ساعت مربوط به درصد اختلاط ۱۰۰٪ خرده چوب صنعتی می‌باشد که در گروه C جدول دانکن قرار گرفت و بیشترین مقدار جذب آب ۲۴ ساعت مربوط به درصد اختلاط ۳۰٪ شلتوک برنج و ۷۰٪ خرده چوب صنعتی می‌باشد که به همراه درصد اختلاط ۲۰٪ شلتوک برنج و ۸۰٪ خرده چوب صنعتی در گروه A جدول دانکن قرار گرفت.

واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز داده‌ها نشان دادند که اثر مستقل ترکیب ماده اولیه در سطح آماری ۹۹ درصد بر واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت معنی‌دار بوده است (جدول ۱). مقایسه تیمارها در شکل ۵ نشان می‌دهند که کمترین میزان واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت مربوط به درصد اختلاط ۱۰۰٪ خرده چوب صنعتی و به ترتیب برابر با ۱۸/۲۸ و ۲۴/۵۴ درصد بوده است؛ و بیشترین میزان واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت مربوط به درصد اختلاط ۳۰٪ شلتوک برنج و ۷۰٪ خرده چوب صنعتی و به ترتیب برابر با ۲۶/۶۵ و ۳۳/۴۴ درصد می‌باشد (شکل ۵).

مقایسه میانگین‌های واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت نشان دادند که کمترین میزان واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت مربوط به درصد اختلاط ۱۰۰٪ خرده چوب صنعتی بوده است که به همراه درصد اختلاط ۱۰٪ شلتوک برنج و ۹۰٪ خرده چوب صنعتی در گروه B جدول دانکن قرار گرفتند و سایر اختلاط‌ها در گروه A جدول دانکن قرار گرفتند. همچنین کمترین میزان واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت مربوط به درصد اختلاط ۱۰۰٪ خرده چوب صنعتی بود که در گروه C جدول دانکن قرار گرفت و بیشترین میزان واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت مربوط به درصد اختلاط ۳۰٪ شلتوک برنج و ۷۰٪ خرده چوب صنعتی بود که به همراه درصد اختلاط ۲۰٪ شلتوک برنج و ۸۰٪ خرده چوب صنعتی در گروه A جدول دانکن قرار گرفت.



شکل ۵- تأثیر ترکیب ماده اولیه بر واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت

Figure 5. Effect of raw material composition on thickness swelling

بحث

هدف از این تحقیق، ارزیابی امکان استفاده از پسماند لیگنوسلولزی شلتوک برنج در ساخت تخته‌خرده‌چوب بوده است که ویژگی‌های مختلف فیزیکی و مکانیکی تخته‌های ساخته شده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این بررسی نشان دادند که درصد اختلاط مواد بر کلیه خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌های ساخته شده اثرگذار می‌باشد، به‌طوری‌که افزایش مصرف شلتوک برنج در ترکیب ماده اولیه، سبب کاهش مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی و افزایش جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت تخته‌های ساخته شده گردید. ازآنجایی‌که ترکیبات شیمیایی شلتوک برنج به‌شدت بر خواص تخته تولیدی اثرگذار می‌باشد، ازاین‌رو درصد بالای میزان مواد معدنی و مواد استخراجی شلتوک برنج سبب ایجاد اتصالات ضعیف بین ذرات شده و منجربه کاهش خواص مکانیکی و فیزیکی تخته‌ها می‌گردد (César *et al.*, 2017).

به‌طورکلی نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از کلش برنج با مقادیر کم (تا۱۰٪ ترکیب ماده اولیه) می‌تواند تخته‌هایی با خواص فیزیکی و مکانیکی قابل‌قبول ارائه نماید؛ اما در مقادیر بالاتر باعث افت خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها می‌گردد. بنابراین مقادیر کم پسماند لیگنوسلولزی شلتوک برنج در ترکیب با خرده چوب صنعتی می‌تواند به‌عنوان مواد اولیه مناسب در صنعت تخته‌خرده‌چوب مورد استفاده قرار گیرد.

References

- Asha, A. 2017. Fabrication of Particle Boards from Rice Husk. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). Vol. 7, Iss. 5.
- César, A.A.dS., Bufalino, L., Marin Mendes, L., Mesquita, R.G.dA., Protásio, T.dP., Mendes, R.F and Andrade, L.M.F., 2017. Transforming rice husk into a high-added value product: Potential for particleboard production. Ciência Florestal, Santa Maria, 27(1), p. 303-313. https://doi.org/10.5902/1980509826468
-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. DOI: 10.7569/JRM.2017.634125. https://doi.org/10.7569/jrm.2017.634125
-European Standard EN 310, 1996. Wood based panels, determination of modulus of elasticity in bending and bending strength. European Standardization کارگروه, Brussell. https://doi.org/10.3403/00299457u
-European Standard EN 317, 1996. Particleboards and fiberboards, determination of swelling in thickness after immersion. European Standardization Committee, Brussell.
-European Standard EN 319, 1996. Wood based panels, determination of tensile strength perpendicular to plane of the board. European Standardization Committee, Brussell.
-European Standard EN 326-1, 1993. Wood based panels, Sampling, cutting and inspection. Sampling and cutting of test pieces and expression of test results. https://doi.org/10.3403/00332747
- Hajihassani, R., Hosseinkhani, H., Kargarfard, A., Nourbakhsh, A. and Golbabaei, F., 2012. The impact of reeds residue addition on physical and mechanical properties of particleboard made from pomegranate prunings. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research Vol. 27 No. 1, 38-50. (In Persian) https://doi.org/10.22092/ijwpr.2012.117078
-Hussein, H., Ashour, T., Khalil, M., Bahnasawy, A., Ali, S., Hollands, J., and Korjenic, A., 2019. Rice Straw and Flax Fiber Particleboards as a Product of AgriculturalWaste: An Evaluation of Technical Properties. Applied Sciences. https://doi.org/10.3390/app9183878
-Jahan Latibari,A., Golbabaei, F., Tamjidi, A., Sobhani, B. and Raofkia, A., 2013. Investigation on the utilization of urban wood residues in the production of particleboard. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research Vol. 28 No. 1, 109-122. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijwpr.2013.3103
-Kargarfard, A. and Hajihassani, R., 2019. The potential of utilizing corn corps in particleboard production. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research Vol. 34 No. 4, 461-474. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijwpr.2019.126903.1558
-Marín, D.C., Vecchio, A., Ludueña, L.N., Fasce, D., Alvarez, V.A., Stefani, P.M., 2015. Revalorization of rice husk waste as a source of cellulose and silica. Fiber. Polym. 16, 285–293. https://doi.org/10.1007/s12221-015-0285-5
-Ndububa, E.E., Nwobodo, D.C., and Okeh, I.M., 2015. Mechanical Strength of Particleboard Produced from Fonio Husk with Gum Arabic Resin Adhesive as Binder. Int. Journal of Engineering Research and Applications. 5(4), Part -5.