

(OPEN ACCESS)

Evaluation and comparison of functional properties of polymer composites reinforced with agricultural biomass residues

Davoud Rafiei¹, Loya Jamalirad^{*2}, Mehrdad Sedghi³, Vahid Vaziri⁴

1. M.Sc. Student of Wood Composite Products, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran. E-mail: davoudrafiei@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Wood Engineering and Technology, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: loyajamalirad@gau.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Industry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran. E-mail: mehrsedghi@yahoo.com
4. Assistant Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Industry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran. E-mail: vahidvaziri@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: This study aimed to enhance the physical and mechanical properties of wood-plastic composites by using soda pulp particles derived from agricultural wastes, specifically wheat stalk and rice stalk. To improve productivity and develop lighter composites with suitable functional properties, these two inexpensive and renewable agricultural residues were investigated and compared as fillers in polypropylene-based wood-plastic composites.
Article history: Received: 10.28.2025 Revised: 12.01.2025 Accepted: 12.13.2025	
Keywords: Agricultural waste, Paper pulp, Polypropylene, Rice stalk, Wheat stalk, Wood plastic composite	Materials and Methods: Soda pulp was prepared from wheat stalk and rice stalk. The particles were mixed with polypropylene at ratios of 30:70, 40:60, and 50:50, along with 6% MAPP coupling agent, to fabricate the composites. The functional properties evaluated included flexural strength and modulus, tensile strength and modulus, impact strength, and thickness swelling after 2 and 24 hours of water immersion. All data were statistically analyzed.
	Results: Composites containing soda pulp particles from wheat stalks exhibited superior functional properties compared to those with rice stalk particles. As the proportion of soda pulp particles from both sources increased, thickness swelling after 2 and 24 hours of water immersion also increased. Flexural strength and modulus of rice stalk composites remained within the same statistical group up to 50% filler content but were consistently lower than those of wheat stalk composites. Tensile strength and modulus showed a decreasing trend across all treatments. Impact strength declined in both composite types, with rice stalk composites displaying lower impact resistance than wheat stalk composites.
	Conclusion: The findings indicate that soda pulp particles from wheat stalks, when combined with polypropylene, impart more favorable characteristics to wood-plastic composites than those from rice stalks. Composites with 30% wheat stalk soda pulp particles demonstrated the

best overall performance, including higher flexural and tensile strength, improved flexural and tensile modulus, greater impact strength, and lower thickness swelling after 2 and 24 hours. This approach not only supports the production of environmentally friendly materials but also enhances the value of agricultural waste. Therefore, utilizing such lignocellulosic residues represents a promising strategy for manufacturing wood-plastic composites.

Cite this article: Rafiei, Davoud, Jamalirad, Loya, Sedghi, Mehrdad, Vaziri, Vahid. 2025. Evaluation and comparison of functional properties of polymer composites reinforced with agricultural biomass residues. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 32 (3), 127-143.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwfst.2025.24211.2133

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی و مقایسه ویژگی‌های کاربردی کامپوزیت پلیمری از بقایای زیست‌توده کشاورزی به‌عنوان تقویت‌کننده

داود رفیعی¹، لعلیا جمالی‌راد^{2*}، مهرداد صدقی³، وحید وزیری⁴

1. دانشجوی کارشناسی‌ارشد فرآورده‌های چندسازه چوبی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران.
رایانامه: davoudrafiei@gmail.com
2. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی و تکنولوژی چوب، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: loyajamalirad@gu.ac.ir
3. استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران.
رایانامه: mehrsedghi@yahoo.com
4. استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران.
رایانامه: vahidvaziri@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: جهت تقویت ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت چوب-پلاستیک، در این پژوهش ذرات حاصل از خمیر کاغذ تهیه‌شده از فرآیند سودا با استفاده از پسماندهای کشاورزی شامل ساقه گندم و برنج مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور افزایش بهره‌وری و تولید چندسازه‌هایی با وزن کم‌تر همراه با ویژگی‌های کاربردی مناسب، دو نوع پسماند کشاورزی ارزان‌قیمت و تجدیدپذیر (ساقه گندم و برنج) به‌عنوان پرکننده در ساخت چندسازه چوب-پلاستیک با استفاده از پلیمر پلی‌پروپیلن مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.
تاریخ دریافت: 1404/08/06 تاریخ ویرایش: 1404/09/10 تاریخ پذیرش: 1404/09/22	مواد و روش‌ها: پس از تهیه خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم و برنج، از ترکیب این ذرات با پلیمر پلی‌پروپیلن با نسبت‌های اختلاط 60:40، 70:30 و 50:50 به همراه 6 درصد جفت‌کننده MAPP برای ساخت چندسازه چوب-پلاستیک استفاده شد. سپس ویژگی‌های کاربردی چندسازه‌ها شامل مقاومت و مدول خمشی، مقاومت و مدول کششی، مقاومت به ضربه و واکنشیدگی ضخامت بعد از 2 و 24 ساعت غوطه‌وری در آب اندازه‌گیری و همه داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.
واژه‌های کلیدی: پسماند کشاورزی، پلی‌پروپیلن، چندسازه چوب-پلاستیک، خمیرکاغذ، ساقه برنج، ساقه گندم	یافته‌ها: نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر نشان داد که با مصرف ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم در ترکیب چندسازه چوب-پلاستیک ساخته‌شده، ویژگی‌های کاربردی در

سطح بالاتری نسبت به ساقه برنج بود. با افزایش جایگزینی ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم و برنج، واکنشیدگی ضخامت چندسازه‌ها پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب افزایش یافت. مقاومت و مدول خمشی چندسازه‌های ساخته‌شده با ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه برنج در سطوح مختلف تا ۵۰ درصد در گروه مشترک قرار دارند اما در مقایسه با ساقه گندم دارای مقادیر کم‌تری بودند. مقاومت و مدول کششی مربوط به همه تیمارها روندی کاهشی داشت. مقاومت به ضربه مربوط به هر دو نوع چندسازه تهیه‌شده کاهش یافت اما چندسازه‌های تهیه‌شده با ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه برنج دارای مقاومت به ضربه پایین‌تری در مقایسه با ساقه گندم بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این کار، استفاده از ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم در ترکیب با پلیمر پلی‌پروپیلن در مقایسه با ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه برنج ویژگی‌های مناسب‌تری داشتند. چندسازه‌هایی که با ترکیب ۳۰ درصد ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم در ترکیب با پلی‌پروپیلن ساخته شدند مقاومت خمشی و کششی، مدول خمشی و کششی، مقاومت به ضربه و واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت بهتری در مقایسه با سایر تیمارها داشتند. این بدان معنی است که علاوه‌بر تولید محصولی سازگار با محیط‌زیست، ارزش افزوده این نوع پسماندهای دورریز نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه، بهره‌گیری از این منابع لیگنوسلولزی دورریز می‌تواند برای ساخت چندسازه‌های چوب-پلاستیک، گزینه‌ای مناسب تلقی شود.

استناد: رفیعی، داود، جمالی‌راد، لعیا، صدقی، مهرداد، وزیری، وحید (۱۴۰۴). ارزیابی و مقایسه ویژگی‌های کاربردی کامپوزیت پلیمری از بقایای زیست‌توده کشاورزی به‌عنوان تقویت‌کننده. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۳۲ (۳)، ۱۴۳-۱۲۷.

DOI: 10.22069/jwfst.2025.24211.2133



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

بسیاری از فرآورده‌ها در کاربردهای مهندسی به مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نیازمندند که ممکن است با استفاده از یک ماده منفرد به دست نیاید. از این رو، استفاده از چندسازه‌ها به عنوان یک راه حل مؤثر با هدف پاسخ‌گویی به این نیازها مطرح شد. این نوع مواد مرکب با بهره‌مندی از ویژگی‌های مکمل اجزای تشکیل‌دهنده خود به گونه‌ای طراحی می‌شوند که عملکردی بهتر در شرایط خاص به وجود آورند. در این میان چندسازه‌های چوب-پلاستیک (WPCs) توجه گسترده‌ای را از سوی پژوهش‌گران و صنایع مختلف به خود جلب کرده‌اند (1). در این نوع چندسازه‌ها، چوب به شکل آرد، ذرات، الیاف و یا خاک اره با پلیمرهای ترموپلاستیک تحت حرارت و فشار خاص ترکیب می‌شود تا چوب-پلاستیک تولید شود که در آن افزودنی‌هایی برای بهبود کیفیت نیز اضافه می‌گردد (2). در فرآیند ساخت این نوع چندسازه‌های پلیمری، طیف گسترده‌ای از مواد لیگنوسلولزی به عنوان پرکننده یا تقویت‌کننده قابل استفاده می‌باشد. ترکیب مواد لیگنوسلولزی با پلیمرها، هم به دلیل کاهش اثرات زیست‌محیطی و هم هزینه پایین ناشی از الیاف چوب حاصل از ضایعات صنعتی یا کشاورزی، به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است (3). علاوه بر آن WPCها در مقایسه با پلاستیک‌ها، قابلیت برش‌کاری، چسب‌خوری و امکان ایجاد اتصال با میخ و پیچ، خواص حرارتی و مکانیکی بهتر و قیمت تمام‌شده پایین‌تری دارند (4). هم‌چنین این نوع کامپوزیت‌ها در مقایسه با سایر کامپوزیت‌های خرده‌ای ساخته‌شده با چسب‌های مبتنی بر فرمالدهید، حاوی فرمالدهید نبوده و در نتیجه مشکلات مربوط به انتشار فرمالدهید که باعث بسیاری از بیماری‌ها می‌شود را

ندارند (5)؛ اما در واقع یکی از مزایای مهم کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک، امکان استفاده از منابع طبیعی تجدیدپذیر در ساختار آن است. به خصوص آن‌که بخش لیگنوسلولزی این مواد، مانند آرد چوب یا الیاف گیاهی، به راحتی از طبیعت قابل استخراج بوده و قابلیت بازسازی در چرخه زیستی را دارا می‌باشند (6). افزون بر آن، مواد لیگنوسلولزی، فاقد ترکیبات سمی و مضر بوده که این ویژگی در بسیاری از پرکننده‌های معدنی و مصنوعی نظیر الیاف شیشه، کربن، تالک و رس مشاهده نمی‌شود (7). الیاف طبیعی منابع تجدیدپذیری هستند که می‌توان آن‌ها را از طیف وسیعی از گیاهان به دست آورد. امروزه، الیاف طبیعی گیاهی به دلیل هزینه کم، امکان بازیافت و عدم انتشار آلاینده‌ها به محیط‌زیست، مواد زیست‌تخریب‌پذیر بسیار مناسبی محسوب می‌شوند (8، 9). با توجه به این‌که این پرکننده‌های سلولزی عمدتاً به صورت آرد یا ذرات ریز در ساخت کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک استفاده می‌شوند، از این رو استفاده از چوب‌های ماسیو توجیه اقتصادی ندارد. این بدان معنی است که در فرآیند ساخت این نوع کامپوزیت‌ها امکان استفاده از انواع پسماندهای چوبی و کشاورزی نیز وجود دارد و استفاده گسترده‌تر از این منابع دورریز می‌تواند به کاهش فشار بر ذخایر محدود چوبی کمک کرده و در راستای حفاظت از جنگل‌ها مؤثر واقع شود. هم‌چنین این نوع کامپوزیت‌ها یکی از راه‌حل‌های مشکلات زیست‌محیطی ناشی از ضایعات کشاورزی و مشکل اقتصادی واردات چوب و در واقع یک استراتژی مؤثر برای بهره‌برداری از این نوع ضایعات محسوب می‌شود که منجر به ارزش‌گذاری چنین موادی می‌گردد (4).

بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که عملیات کشاورزی مقدار قابل‌توجهی ضایعات ایجاد می‌کند که

اغلب در محل‌های دفن زباله دفن می‌شوند و طبق پیش‌بینی‌ها، این مقدار تا سال 2050 به 9 میلیارد و تا سال 2100 به 11 میلیارد خواهد رسید (10). مشکل ضایعات کشاورزی، پس از برداشت محصولات تابستانی بروز می‌کند، زیرا کشاورز برای کشت زمین خود عجله دارد، در نتیجه معمولاً با سوزاندن ضایعات، آنها را از بین می‌برد که این عمل باعث انتشار گازهای سمی در هوا و کاهش فعالیت‌های میکروبی در خاک می‌شود (11). دفع مستقیم این مواد از طریق سوزاندن در مزارع یا رها کردن در محیط می‌تواند پیامدهای زیست‌محیطی گسترده‌ای شامل افت کیفیت خاک، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، انتشار ذرات معلق و گازهای آلاینده و تخریب تنوع زیستی ایجاد کند (12). این در حالی است که ادغام ترکیبات حاصل از پسماندهای کشاورزی در تولید چندسازه‌های چوب-پلاستیک، رویکردی پایدار برای توسعه مواد مرکب پیشرفته به‌شمار می‌رود. این ترکیبات می‌توانند به‌عنوان فاز تقویت‌کننده در ماتریس پلیمری به کار روند و موجب بهبود خواص مکانیکی و ساختاری چندسازه حاصل شوند. استفاده از بقایای کشاورزی علاوه بر کاهش تولید پسماند و وابستگی به منابع غیرقابل تجدید، به مدیریت پایدار منابع طبیعی نیز کمک می‌کند. چندسازه‌های مبتنی بر این نوع پسماندها، پتانسیل بالایی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی و ارتقای تولید مواد سبز دارند و می‌توانند در تبدیل پسماندهای کم‌ارزش به منابع کاربردی نقش مؤثری ایفا کنند (13، 14، 15، 16). این ضایعات عمدتاً از سلولز، لیگنین و همی‌سلولز تشکیل شده‌اند (17). به‌طورکلی، ترکیبات سلولزی را می‌توان به‌عنوان موادی فراوان، ارزان‌قیمت، تجدیدپذیر، زیست‌تخریب‌پذیر، با چگالی کم و با خواص مکانیکی خوب، مانند استحکام و

سفتی بالا، توصیف کرد که آنها را برای تقویت چندسازه‌های چوب-پلاستیک مناسب می‌کند (18، 19). پتانسیل هر یک از الیاف طبیعی به ساختار شیمیایی آن، به‌ویژه محتوای سلولز و خواص مکانیکی الیاف بستگی دارد (20). طبق پژوهش انجام‌شده توسط مو و همکاران (2018) در چندسازه‌های HDPE با استفاده از چهار نوع زیست‌توده شامل ذرات حاصل از صنوبر، کاج، کاه گندم و بامبو به‌عنوان پرکننده‌های تقویت‌کننده، مشخص شد که ذرات چوب صنوبر با محتوای سلولز بالا، هنگام ترکیب با پلیمر HDPE، خواص خمشی بالاتری داشتند (21). در میان محصولات کشاورزی، گندم و برنج از جمله محصولاتی هستند که سالانه در سطح زیادی در سراسر دنیا کشت می‌شوند و به دنبال آن حجم زیادی از کاه و کلش ناشی از برداشت آنها حاصل می‌گردد. این در حالی است که این نوع پسماندهای لیگنوسلولزی پتانسیل زیادی در صنعت چوب و کاغذ دارند. اگرچه الیاف گندم و برنج سیلیس قابل‌توجهی دارند که این موضوع در کامپوزیت‌های به‌دست‌آمده از آنها می‌تواند مشکلاتی به همراه داشته باشد. بر طبق پژوهش‌های هان و همکاران (2001) ساقه گیاهان کشاورزی دارای مقادیر زیادی خاکستر (مواد معدنی) است که سطح بیرونی ساقه را می‌پوشاند. در نتیجه مصرف ذرات حاصل از ساقه این گیاهان در ساخت تخته‌های مرکب، علاوه بر داشتن سطح ویژه بالا، به‌دلیل داشتن این مواد معدنی منجر به کاهش اتصال مناسب بین ذرات در تخته‌ها می‌گردد (22). اما می‌توان با انجام فرآیند خمیرسازی سودا بر روی این نوع پسماندها، حجم زیادی از سیلیس موجود در ساختار آنها را خارج کرد که این موضوع می‌تواند در فرآیند ساخت کامپوزیت‌ها نیز مطلوب باشد. به معنای دیگر با استفاده از فرآیند کاغذسازی سودا از این نوع

فشار تزریق 50 تن تولید شد، بالاترین خواص فیزیکی و مکانیکی را نشان داد (26).

از این رو هدف از این مطالعه تقویت و به حداکثر رساندن خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک ساخته شده از خمیر کاغذ تهیه شده از فرآیند سودا با استفاده از مواد زائد شامل پسماندهای کاه و کلش گندم و برنج و مقایسه آن‌ها با یکدیگر بود. این مواد لیگنوسلولزی که ارزان قیمت و تجدیدپذیر بوده، به عنوان پرکننده در ساخت چندسازه چوب-پلاستیک با استفاده از پلیمر پلی پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت تا بتوان باعث افزایش بهره‌وری و تولید چندسازه‌هایی با ویژگی‌های کاربردی مطلوب تهیه نمود. با این کار نه تنها محصولی سازگار با محیط زیست و پایدار ایجاد می‌کند، بلکه چنین زباله‌هایی را ارزشمند کرده و محصولاتی مطابق با نیاز بازار تولید می‌کند. در واقع این مواد زائد به مقدار زیادی در دسترس هستند و در صورت استفاده صحیح، می‌توانند منبع بی‌پایانی از مواد اولیه را برای بسیاری از کاربردهای با ارزش افزوده بالا از جمله کامپوزیت‌ها فراهم کنند.

مواد و روش‌ها

مواد: برای تهیه خمیر کاغذ ابتدا ساقه گندم و برنج از مزارع کشاورزی بعد از برداشت محصول جمع‌آوری شده و پس از انتقال به آزمایشگاه، مراحل آماده‌سازی ذرات شروع شد. افزون بر آن، پلیمر پلی پروپیلن با نام تجاری Z30S از تولیدات شرکت پتروشیمی اراک با دانسیته 0/9 گرم بر سانتی متر مکعب و نقطه ذوب 165-171 درجه سانتی گراد و مالئیک انیدرید پیوند یافته با پلی پروپیلن (MAPP) به عنوان ماده جفت‌کننده نیز مورد استفاده قرار گرفت.

پسماندها می‌توان الیافی به دست آورد که می‌تواند ویژگی کامپوزیت‌های حاصل از آن را بهبود دهد. به عنوان مثال کامپوزیت‌های ساخته شده با الیاف به دست آمده از فرآیندهای مختلف خمیر کاغذسازی سولفیت قلیایی - آنتراکینون و سودا - آنتراکینون از پسماندهای باگاس و ساقه برنج، در بهبود ویژگی‌های کاربردی تأثیر مطلوبی داشته است (23). هم‌چنین بر طبق مطالعات آفونسو آنکس و همکاران (2020) بهبود خواص مکانیکی و کاهش سرعت تخریب مواد در کامپوزیت‌های تهیه شده از خمیر چوب و آرد چوب در ماتریس پلیمر حاصل شد. به طور کلی، بالاترین مقادیر مقاومت و سختی با استفاده از خمیر حاصل از فرآیند ترمومکانیکی به عنوان تقویت‌کننده و کم‌ترین مقادیر با استفاده از خمیر حاصل از فرآیند شیمیایی رنگبری نشده به دست آمد (24). نیگارد و همکاران (2008) کامپوزیت‌های چوب پلاستیک ساخته شده از الیاف حاصل از فرآیندهای خمیرسازی TMP و CTMP را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که CTMP به دلیل سطوح پوشیده شده با لیگنین کم‌تر، مقاومت کششی و مقاومت به ضربه بالاتری نسبت به TMP داشتند؛ زیرا در طول فرآیند تولید خمیر CTMP، تغییرات گسترده‌ای در خواص فیزیکی و شیمیایی الیاف، از جمله شکستن پیوندهای هیدروژنی در سلولز و حذف مقداری از لیگنین اتفاق می‌افتد که این تغییرات ممکن است برای به دست آوردن کامپوزیت‌هایی با ویژگی‌های بهتر مفید باشند (25). افزون بر آن، کامپوزیت‌های پلی پروپیلن تقویت شده با خمیر شیمیایی - ترمومکانیکی از تنه درخت نخل روغنی با استفاده از فرآیند قالب‌گیری تزریقی نشان داد که کامپوزیت‌ها با 70 درصد خمیر، 26 درصد پلی پروپیلن و 4 درصد جفت‌کننده که در دمای 80 درجه سانتی گراد به عنوان دمای قالب و با

روش کار: ابتدا ذرات ساقه گندم و برنج در سطح آزمایشگاه برای مدتی پخش شده تا رطوبت اولیه خود را از دست بدهند. سپس با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی ذرات ساقه گندم و برنج به ذرات ریزتر تبدیل شد. سپس از این ذرات در ساخت خمیرکاغذ با استفاده از فرآیند سودا استفاده شد. برای انجام فرآیند پخت سودا، میزان قلیائیت 7 درصد (برای کاه گندم) و 9 درصد (برای کاه برنج)، درجه حرارت 150 درجه سانتی‌گراد و زمان 60 دقیقه و نسبت مایع پخت به کاه (8 به 1) در نظر گرفته شد. پس از پایان فرآیند پخت، شستشو و جمع‌آوری خمیر تهیه شده انجام گرفت. پس از تهیه خمیر کاغذ، فرآیند خشک کردن در داخل آون با دمای 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد تا رطوبت 1 درصد و تبدیل آنها به آرد انجام شد و سپس از الک‌های با مش 40 و 60 برای جداسازی ذرات موردنظر استفاده شد. بدین منظور ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم و برنج به‌طور جداگانه، از الک 40 مش عبور داده شده و روی الک 60 مش جمع‌آوری شد و در نهایت برای جلوگیری از تبادل رطوبتی بسته‌بندی شدند. سپس کامپوزیت‌های موردنظر از ترکیب ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم و برنج، پلیمر پلی‌پروپیلن با شاخص جریان مذاب 16 gr/10 min و با نسبت‌های 60/40، 70/30 و 50/50 و مالئیک‌انیدرید پیوندیافته با پلی‌پروپیلن به میزان 6 درصد ساخته شدند. مواد لازم برای هر یک از تیمارها شامل آرد حاصل از خمیر کاغذ سودا از ساقه گندم و برنج به‌طور جداگانه، پلیمر پلی‌پروپیلن و جفت‌کننده MAPP باهم مخلوط شده و با استفاده از اکسترودر دومارپیچه موجود در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران ذوب شدند. پس از پایان کار و خروج از دستگاه اکسترودر، مواد جمع‌آوری شده و با استفاده از یک دستگاه آسیاب

نیمه‌صنعتی WIESER به گرانول تبدیل شدند. پس‌از آن از آون آزمایشگاهی با دمای 80 درجه سانتی‌گراد برای خشک کردن مواد استفاده شد. سپس گرانول‌ها وارد دستگاه قالب‌گیری تزریقی افقی و شرایط دمایی به ترتیب 170، 160 و 180 درجه سانتی‌گراد، فشار تزریق 100 bar و سرعت بارگیری 45 rpm شده و به نمونه‌های آزمونی تبدیل شدند. در انتها مطابق با استاندارد ASTM خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها شامل واکنشیدگی ضخامت بعد از 2 و 24 ساعت غوطه‌وری در آب (D 570)، مقاومت خمشی و کششی (D 790 و D 638)، مدول خمشی و کششی و مقاومت به ضربه (D 256) اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از روش تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) انجام و مقایسه و گروه‌بندی میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گردید.

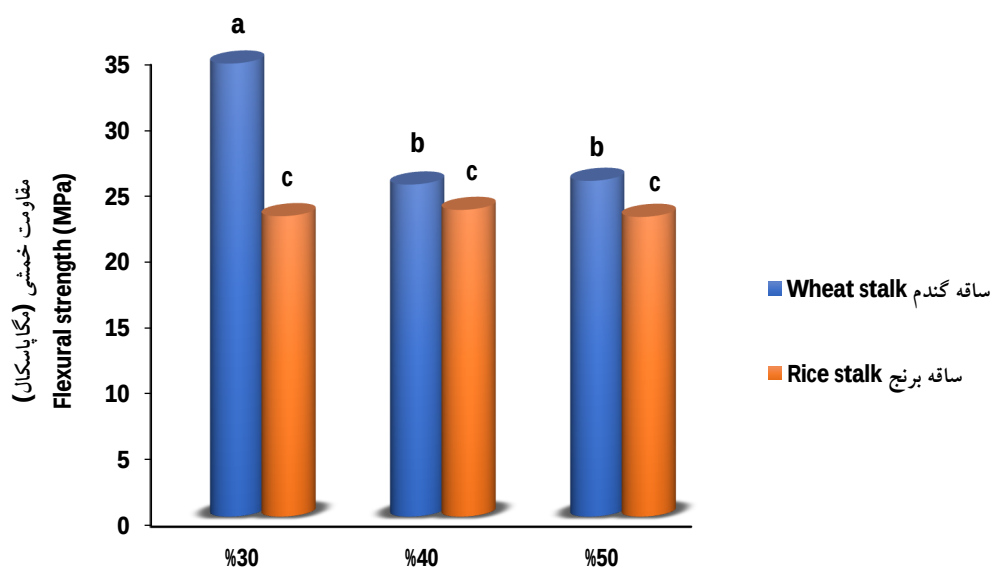
نتایج و بحث

مقاومت و مدول خمشی: نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده کاهش معنی‌دار مقدار مقاومت خمشی با افزایش مقدار مصرف ذرات حاصل از خمیر کاغذ سودا تهیه شده از ساقه گندم می‌باشد. درحالی‌که با مصرف ذرات حاصل از خمیر کاغذ سودا از ساقه برنج، مقاومت خمشی تغییر معنی‌داری نداشت (شکل 1)؛ اما همان‌طور که از مقایسه نتایج به دست آمده می‌توان مشاهده کرد، مقاومت خمشی نمونه‌های ساخته شده از ترکیب پلی‌پروپیلن با ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه شده از ساقه گندم نسبت به نمونه‌های ساخته شده با ساقه برنج بیش‌تر است و بیش‌ترین مقاومت خمشی با مصرف 30 درصد ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه شده از ساقه گندم و 70 درصد پلی‌پروپیلن (34/34 مگاپاسکال) به دست

آمد. مقاومت خمشی کامپوزیت‌های ساخته‌شده در همه سطوح مصرف ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه برنج در یک گروه مشترک قرار دارند که می‌تواند نتیجه مثبتی در جهت افزایش مصرف این نوع پسماندها در ترکیب با پلیمر باشد. طبق پژوهش‌های انجام‌شده درصد چوب، اندازه ذرات چوب، نوع چوب، نوع پلاستیک، درصد پلاستیک، نوع و درصد مواد افزودنی عواملی هستند که بر خواص مکانیکی و فیزیکی کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک تولید شده تأثیر می‌گذارند. هنگامی که درصد چوب افزایش می‌یابد، مقاومت خمشی افزایش می‌یابد البته تا زمانی که درصد چوب به سطح بهینه خود برسد. پس از آن سطح، مقاومت خمشی با افزایش درصد چوب کاهش می‌یابد (27). براساس نتایج پژوهش‌های مختلف، میزان بهینه درصد چوب بین 40 درصد (28) و 50 درصد (27) است؛ اما با توجه به آن که پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که نوع چوب بر ویژگی‌های این نوع کامپوزیت نیز تأثیر می‌گذارد، از این رو برخی آزمایش‌ها برای یافتن مقدار بهینه درصد چوب انجام می‌شود (4). مطالعات انجام‌شده اعلام می‌دارد که پرکننده‌های تقویت‌کننده مانند ذرات چوب صنوبر با محتوای سلولز بالا، هنگام ترکیب با پلیمر HDPE، در مقایسه با ذرات حاصل از کاج، کاه گندم و بامبو، خواص خمشی بالاتری داشتند (21). از این رو کاهش محتوای سلولز باعث کاهش مقاومت‌های کامپوزیت حاصل می‌گردد. هم‌چنین مطالعات انجام‌شده بر روی برخی مواد اولیه مصرفی شامل الیاف پوست درخت (کتان، کنف، جوت، کنف و رامی)، پوسته برنج، الیاف برگ (سیسال، آناناس و

آباکا)، الیاف میوه (لیف نارگیل) و الیاف ساقه (کاه از انواع مختلف) (29) نشان داده که استفاده از این الیاف به دلیل محتوای بالای سیلیس می‌تواند مراحل اضافی را به فرآیند تولید اضافه کند (30). این بدان معنی است که عدم خروج سیلیس موجود در ساختار این نوع مواد اولیه می‌تواند در فرآیند تولید این نوع کامپوزیت‌ها تأثیر بگذارد.

از سوی دیگر بر طبق پژوهش‌های انجام‌شده توسط استارک و رولندز (2003) بین مدول الاستیسیته کامپوزیت و مدول اجزای تشکیل‌دهنده آن رابطه مستقیمی وجود دارد؛ یعنی می‌توان انتظار داشت مدول الاستیسیته بالاتر مواد لیگنوسلولزی استفاده‌شده باعث افزایش مدول الاستیسیته کامپوزیت چوب-پلاستیک حاصل شود (31). همان‌طور که شکل 2 نشان می‌دهد مصرف ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه برنج در ترکیب با پلیمر پلی‌پروپیلن، روندی افزایشی بر مدول خمشی نمونه‌ها داشت، اما تغییرات معنی‌دار نبود و در مقایسه با نمونه‌های ساخته‌شده با مخلوط ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه گندم و پلی‌پروپیلن، مدول خمشی کم‌تری داشتند (شکل 2). این بدین معنی است که مصرف ذرات حاصل از خمیر کاغذ سودا تأثیر مثبتی بر افزایش مدول خمشی نمونه‌ها داشته است اما این افزایش مدول در نمونه‌های ساخته‌شده با ساقه گندم مشهودتر است. بیش‌ترین میزان مدول خمشی مربوط به نمونه‌های تهیه‌شده از ترکیب 30 و 50 درصد ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه گندم و پلی‌پروپیلن بود.

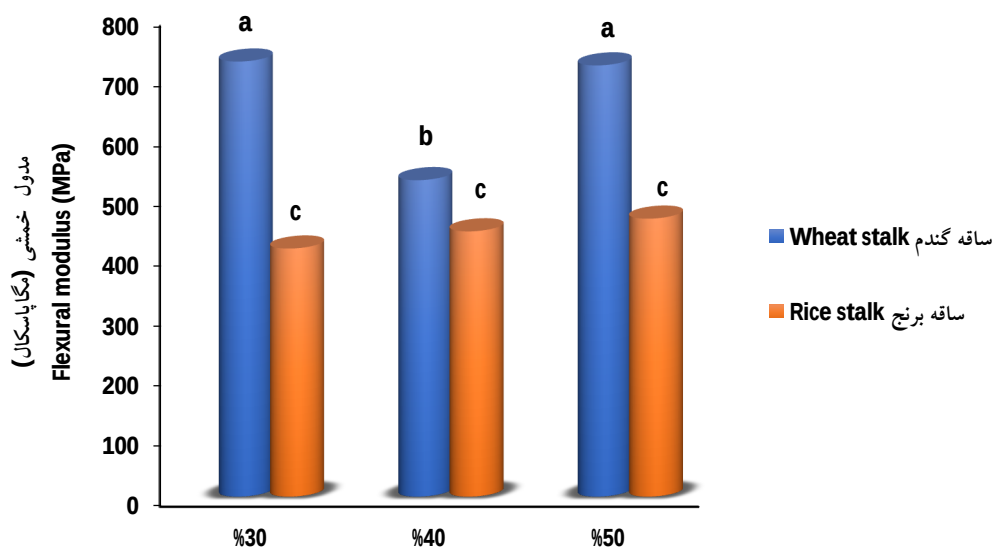


مقدار ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم و برنج (درصد)

Amount of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk (%)

شکل 1- مقایسه اثر مقدار ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم و برنج بر مقاومت خمشی.

Figure 1. Comparing the effect of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk on flexural strength.



مقدار ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم و برنج (%)

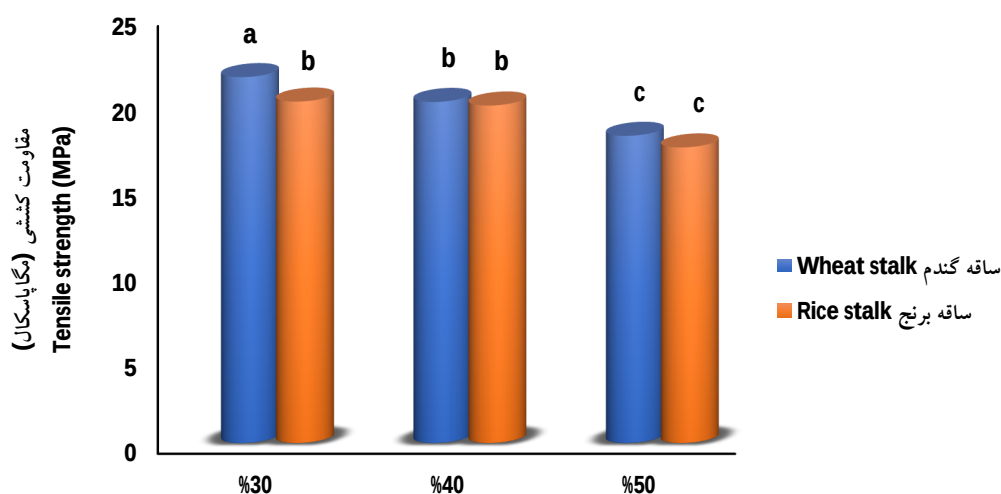
Amount of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk (%)

شکل 2- مقایسه اثر مقدار ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم و برنج بر مدول خمشی.

Figure 2. Comparing the effect of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk on flexural modulus.

ویژگی در خمیرکاغذ تولیدی نیز انعکاس می‌یابد؛ یعنی خمیرکاغذ تولیدشده از کاه گندم در مقایسه با کاه برنج از مقدار سلولز بیشتری برخوردار است (32). با توجه به این‌که مقاومت خمیرکاغذ تولید شده به میزان سلولز آن بستگی دارد در نتیجه چندسازه تهیه‌شده با کاه گندم مقاومت‌های مکانیکی بیشتری در مقایسه با چندسازه تولیدشده با کاه برنج دارد (33). اما روند کاهشی مقاومت کششی چوب-پلاستیک با افزایش میزان مصرف ذرات لیگنوسلولزی نیز در مطالعاتی که توسط پژوهش‌گران انجام‌شده نیز مشاهده شده است (34، 35 و 36)؛ زیرا در این نوع کامپوزیت‌ها، پلاستیک نقش چسب را برای اتصال ذرات لیگنوسلولزی به یکدیگر دارد. در نتیجه، با افزایش مقدار مصرف ذرات لیگنوسلولزی، سهم پلاستیک در کامپوزیت کاهش می‌یابد، به‌نحوی‌که مقدار آن برای برقراری اتصال با حجم زیاد الیاف کافی نیست و منجر به کاهش میزان اتصالات و درنهایت باعث کاهش مقاومت کششی می‌گردد (36).

مقاومت و مدول کششی: نتایج به‌دست‌آمده با کاهش معنی‌دار مقاومت و مدول کششی کامپوزیت‌های ساخته‌شده از سطوح مختلف ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه گندم و برنج، مواجه بود (شکل‌های 3 و 4). با توجه به شکل‌ها، مقدار مقاومت و مدول کششی با افزایش مقدار مصرف ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه گندم و برنج کاهش یافت. بیش‌ترین مقدار مقاومت و مدول کششی با ترکیب 30 درصد ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه گندم و برنج با 70 درصد پلیمر پلی‌پروپیلن به‌دست آمد. اگرچه استفاده بیش‌تر از هر دو نوع ماده لیگنوسلولزی باعث کاهش میزان مقاومت و مدول کششی نمونه‌ها شد اما مقایسه شکل‌ها و مقادیر میانگین نمونه‌ها نشان داد که با مصرف ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه گندم، مقاومت و مدول کششی در سطوح بالاتری در مقایسه با نمونه‌های ساخته‌شده با ذرات ساقه برنج قرار دارند. به‌طورکلی میزان سلولز کاه گندم بیش‌تر از کاه برنج می‌باشد و پس از انجام فرآیند خمیرکاغذسازی این

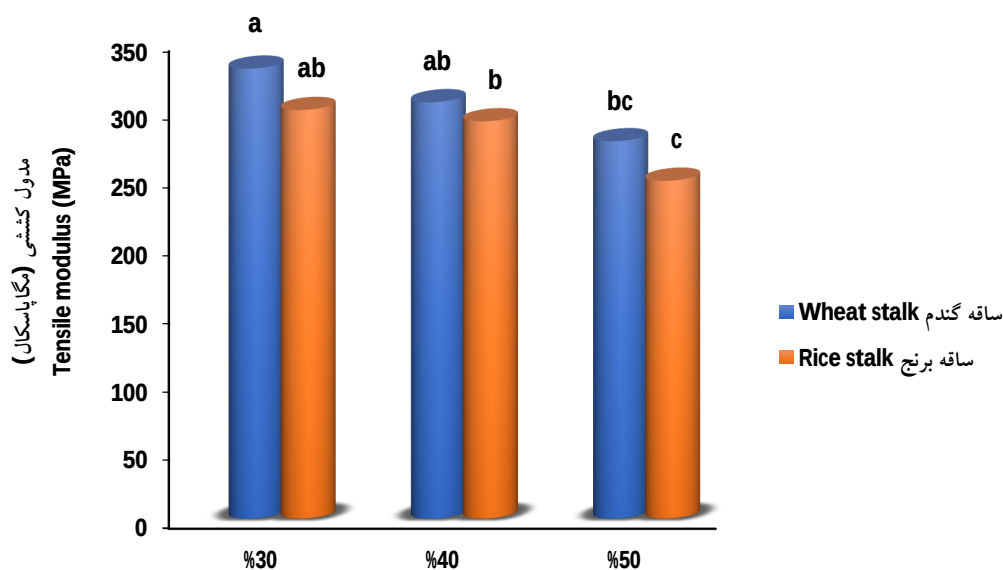


مقدار ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم و برنج (درصد)

Amount of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk (%)

شکل 3- مقایسه اثر مقدار ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم و برنج بر مقاومت کششی.

Figure 3. Comparing the effect of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk on tensile strength.



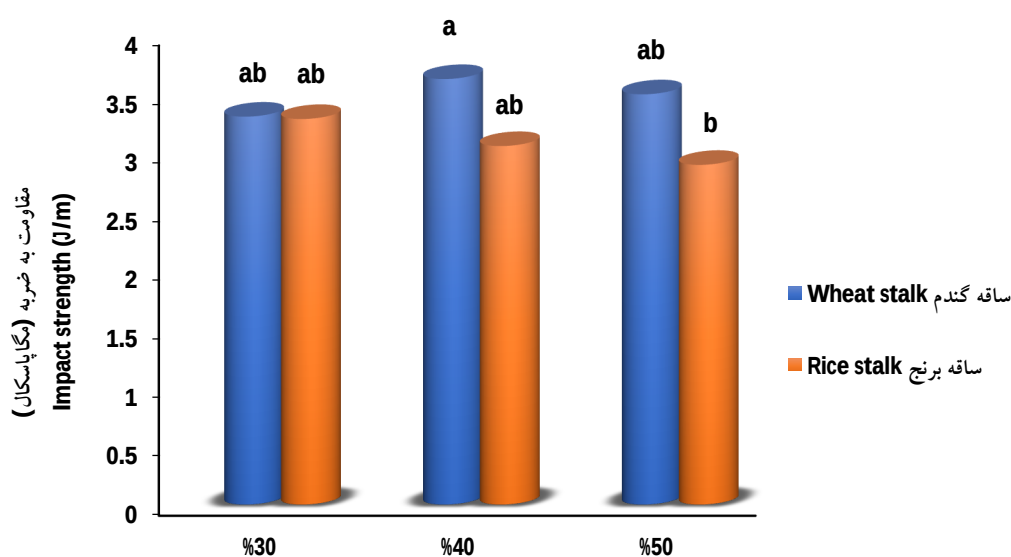
مقدار ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم و برنج (درصد)
Amount of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk (%)

شکل 4- مقایسه اثر مقدار ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم و برنج بر مدول کششی.

Figure 4. Comparing the effect of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk on tensile modulus.

مقاومت به ضربه بالاتری در مقایسه با کامپوزیت‌هایی هستند که از ساقه برنج در ترکیب با پلیمر استفاده کردند. مطابق پژوهش‌های انجام‌شده افزایش درصد چوب در WPC باعث کاهش مقاومت ضربه می‌شود (27) اما مطالعات نشان داده است که عملکرد مکانیکی کامپوزیت‌های ساخته‌شده با ضایعات کشاورزی بسته به نوع ضایعات به‌کاررفته، ماده ماتریس و تکنیک‌های ساخت به‌کاررفته، متفاوت است (37 و 38)؛ یعنی با توجه به نوع پسماند کشاورزی مورد استفاده، می‌توان شاهد افزایش و یا کاهش بعضی ویژگی‌های کامپوزیت حاصل بود. به‌عنوان مثال نتایج این پژوهش نیز نشان داد که کامپوزیت‌های ساخته‌شده با ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه برنج ویژگی‌های ضعیف‌تری در مقایسه با ساقه گندم داشتند.

مقاومت به ضربه: مقاومت به ضربه کامپوزیت‌های ساخته‌شده با سطوح مختلف ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه گندم و برنج دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (شکل 5). با افزایش سهم ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه گندم تا سطح 40 درصد در ترکیب با پلیمر، مقاومت به ضربه افزایش معنی‌داری داشت اما سطوح مربوط به 30 و 50 درصد در یک گروه مشترک مشاهده شد (شکل 5)؛ اما همان‌طور که شکل 5 نشان می‌دهد با افزایش سهم ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه برنج، روندی کاهشی در مقاومت به ضربه کامپوزیت‌ها مشاهده شد. همچنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، کامپوزیت‌هایی که از ترکیب ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه گندم با پلی‌پروپیلن ساخته شدند، دارای میانگین



مقدار ذرات حاصل از خمیر کاغذ سودا از ساقه گندم و برنج (درصد)
Amount of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk (%)

شکل 5- مقایسه اثر مقدار ذرات حاصل از خمیر کاغذ سودا از ساقه گندم و برنج بر مقاومت به ضربه.

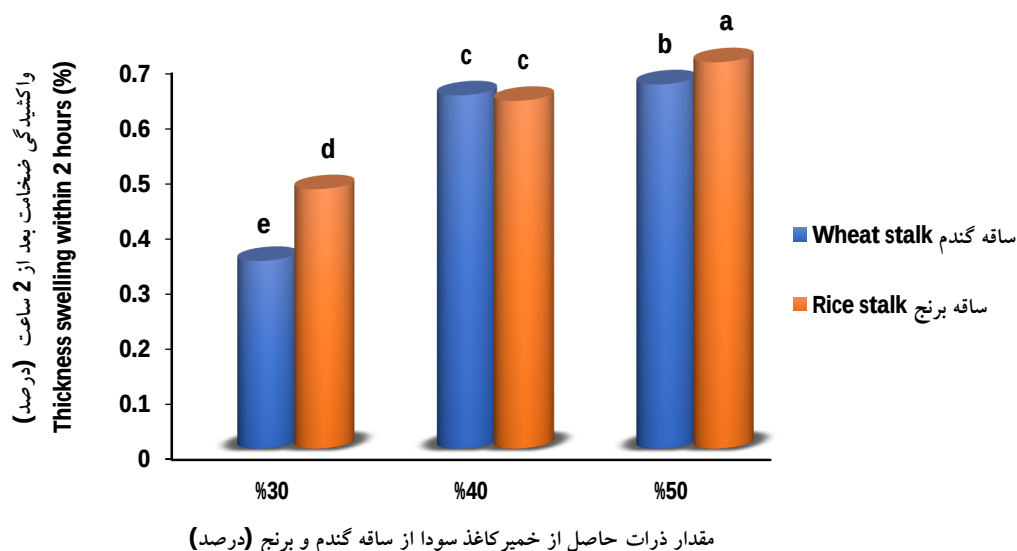
Figure 5. Comparing the effect of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk on impact strength.

کم‌ترین میزان واکنش‌پذیری ضخامت بعد از 2 و 24 ساعت غوطه‌وری در آب و کامپوزیت‌های تهیه‌شده از ترکیب 50 درصد ذرات حاصل از خمیر کاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه گندم و برنج به همراه 50 درصد پلیمر پلی‌پروپیلن دارای بیش‌ترین مقدار واکنش‌پذیری ضخامت بعد از 2 و 24 ساعت غوطه‌وری در آب بودند؛ اما مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که افزایش مقدار واکنش‌پذیری ضخامت بعد از 2 و 24 ساعت غوطه‌وری در آب در کامپوزیت‌های حاوی ذرات حاصل از خمیر کاغذ برنج بیش‌تر از ذرات حاصل از خمیر کاغذ گندم بود. خمیر کاغذ کاه گندم با دارا بودن میزان سلولز بالاتر، گروه‌های هیدروکسیل در دسترس بیش‌تری دارد و پیوندهای گسترده‌تری با عامل جفت‌کننده برقرار می‌کند. در نتیجه چندسازه ساخته‌شده از آن ماتریس پیوسته‌تر و همگن‌تری داشته که امکان نفوذ آب به دلیل روزه‌های کم‌تر، محدود می‌گردد (32). هیوارینن و کارکی (2015) در مطالعات خود بر روی پسماندهای کشاورزی مانند کاه

واکنش‌پذیری ضخامت: همه پژوهش‌های انجام‌شده موافق‌اند که میزان جذب آب این نوع کامپوزیت‌ها با افزایش درصد چوب افزایش می‌یابد (4 و 24). در واقع بین نسبت میزان جذب آب و نسبت الیاف در WPC رابطه مستقیمی وجود دارد؛ یعنی با افزایش مقدار فیبر در WPC، میزان جذب آب نمونه‌ها به دلیل ماهیت آبدوست الیاف افزایش می‌یابد (39). در این پژوهش نیز میزان واکنش‌پذیری ضخامت کامپوزیت‌ها بعد از 2 و 24 ساعت غوطه‌وری در آب با افزایش میزان مصرف این نوع ذرات در ترکیب با پلیمر افزایش یافت. اختلاف معنی‌دار واکنش‌پذیری ضخامت بعد از 2 و 24 ساعت غوطه‌وری در آب بین سطوح مختلف استفاده از ذرات حاصل از خمیر کاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه گندم و برنج در ساخت کامپوزیت چوب-پلاستیک در شکل‌های 6 و 7 مشاهده می‌گردد. کامپوزیت‌های تهیه‌شده از ترکیب 30 درصد ذرات حاصل از خمیر کاغذ سودای تهیه‌شده از ساقه گندم و برنج به همراه 70 درصد پلیمر پلی‌پروپیلن دارای

پرکننده‌های مناسبی برای محصولاتی معرفی کردند که خواص مکانیکی آن‌ها حیاتی نیست و همچنین در معرض رطوبت بالا قرار نمی‌گیرند (39).

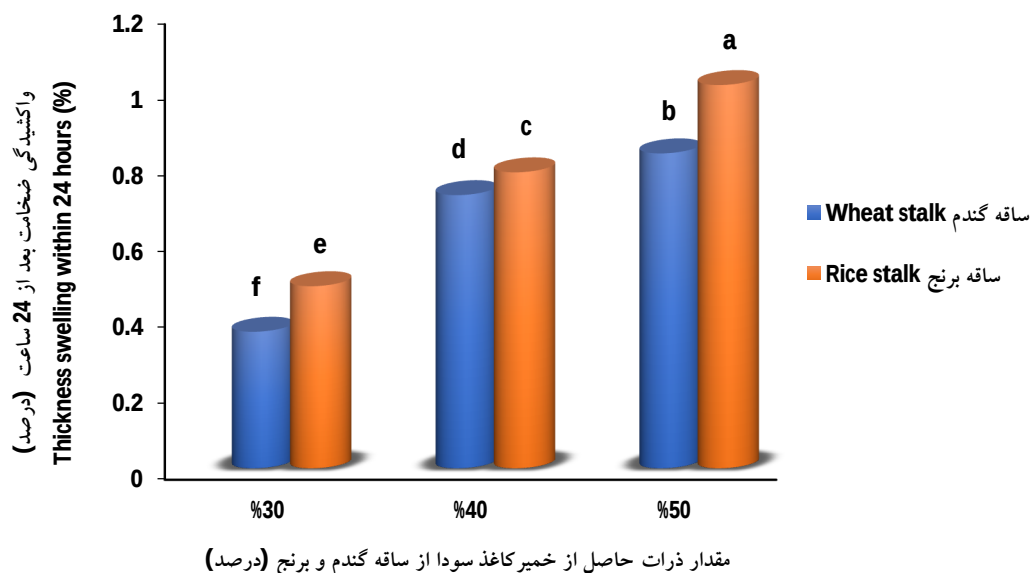
جو، آن‌ها را جایگزین بالقوه و بسیار کم‌هزینه برای الیاف چوب در ساخت کامپوزیت‌ها دانستند. این پژوهش‌گران، این نوع مواد لیگنوسلولزی را



Amount of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk (%)

شکل 6- مقایسه اثر مقدار ذرات حاصل از خمیر کاغذ سودا از ساقه گندم و برنج بر واکنشیدگی ضخامت بعد از 2 ساعت غوطه‌وری در آب.

Figure 6. Comparing the effect of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk on thickness swelling within 2 hours immersion in water.



Amount of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk (%)

شکل 7- مقایسه اثر مقدار ذرات حاصل از خمیر کاغذ سودا از ساقه گندم و برنج بر واکنشیدگی ضخامت بعد از 24 ساعت غوطه‌وری در آب.

Figure 7. Comparing the effect of particles derived from soda pulping process of wheat and rice stalk on thickness swelling within 24 hours immersion in water.

نتیجه‌گیری

استفاده از مواد زائد در تولید کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک باعث افزایش بهره‌وری زیست‌محیطی از این مواد می‌گردد. با این حال، تولیدکنندگان به دلیل مشکلات مربوط به جمع‌آوری، جابجایی و نگهداری و همچنین کیفیت ناپایدار مواد زائد، علاقه‌ای به استفاده از آن‌ها به عنوان مواد اولیه در صنایع خود ندارند؛ بنابراین، باید پژوهش‌های تجربی بیشتری در مورد کاربرد مواد زائد در تولید این نوع کامپوزیت‌ها به‌ویژه در مقیاس وسیع، انجام شود. در واقع مشکلات زیست‌محیطی مرتبط با دفع و سوزاندن پسماندهای پس از برداشت و همچنین زباله‌های پلاستیکی را می‌توان با تولید فرآورده‌هایی مانند WPC از مواد ضایعاتی که به‌طور فراوان تولید می‌شوند، تعدیل کرد. در این پژوهش تأثیر نوع و درصد ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودای تهیه‌شده از پسماندهای کشاورزی شامل ساقه گندم و برنج بر خواص مکانیکی و واکنش‌پذیری ضخامت کامپوزیت چوب-پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که با افزایش سهم ذرات حاصل از

خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم و برنج، واکنش‌پذیری ضخامت بعد از 2 و 24 ساعت غوطه‌وری در آب افزایش یافت. مقاومت و مدول خمشی کامپوزیت‌های تهیه‌شده با خمیرکاغذ سودا از ساقه برنج روندی افزایشی داشتند و مقدار آن در همه سطوح کمتر از مقاومت و مدول خمشی کامپوزیت‌های تهیه‌شده از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم بود. مقاومت و مدول کششی همه تیمارهای تهیه‌شده از هر دو نوع ماده اولیه، دارای شیب کاهشی بودند. مقاومت به ضربه کامپوزیت‌ها با افزایش سهم خمیرکاغذ سودا از ساقه برنج نیز کاهش یافت و در همه سطوح مصرفی، مقدار آن کمتر از مقاومت به ضربه کامپوزیت‌های ساخته‌شده با خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم در ترکیب با پلیمر بود. به‌طورکلی با استفاده از 30 درصد ذرات حاصل از خمیرکاغذ سودا از ساقه گندم در ترکیب با پلی‌پروپیلن، کامپوزیت‌هایی ساخته شد که مقاومت خمشی و کششی، مدول خمشی و کششی، مقاومت به ضربه و واکنش‌پذیری ضخامت بعد از 2 و 24 ساعت مطلوب‌تری در مقایسه با سایر تیمارها داشتند.

منابع

1. Lebic, J. (2013). New extruder for a new product: Solid WPC profiles. 9th international WPC Conference, Vienna, Austria, Pp: 346-351.
2. Akinfiresoye, W. A., Olukunle, O. J., & Akintade, A. A. (2017). Development of a wood plastic composite extruder. *International Journal of Waste Resources*. 7 (4), 1-4.
3. Guha Nukala, S., Kong, I., Babu Kakarla, A., Kong, W., & Kong, W. (2022). Development of wood polymer composites from recycled wood and plastic waste: Thermal and mechanical properties. *Journal of Composites Science*. 6 (7), 194.
4. Ghoneim, A., Youssef, Y., & Hassan, M. K. (2024). Production of wood plastic composites as a sustainable solution for the post-harvest agriculture waste and plastic waste. *The American Journal of Engineering and Technology*. 6 (8), 7-21.
5. Aras, U., Kalaycıoğlu, H., Yel, H., & Bitek, G. (2015). Effects of ammonium nitrate on physicomechanical properties and formaldehyde contents of particleboard. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 195, 2130-2134.
6. Yang, H. S., Kim, D. J., & Kim, H. J. (2003). Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresource Technology*. 86 (2), 117-121.
7. Lee, S. Y., Yang, H. S., Kim, H. J., Jeong, C. S., Lim, B. S., & Lee, J. N. (2004). Creep behavior and manufacturing

- parameters of wood flour filled polypropylene composites. *Composite Structures*. 65 (3-4), 459-469.
8. Liu, Y., Xie, J., Wu, N., Ma, Y., Menon, C., & Tong, J. (2019). Characterization of natural cellulose fiber from corn stalk waste subjected to different surface treatments. *Cellulose*. 26, 4707-4719.
9. Maheshwaran, M. V., Hyness, N. R. J., Senthamarai Kannan, P., Saravanakumar, S. S., & Sanjay, M. R. (2018). Characterization of Natural cellulosic fiber from *Epipremnum aureum* stem. *Journal of Natural Fibers*. 15, 789-798.
10. Mbatha, A. J., Nkomo, N. Z., & Alugongo, A. A. (2025). A review of the potential applications of composites from agricultural waste. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 73 (1), 183-191.
11. Shaban, D., & Omaina, S. (2010). The utilization of agriculture waste as one of environmental issue in Egypt. *Journal of Applied Sciences Research*. 6 (8), 1116-1124.
12. Yu, B., Liu, X., Ji, C., & Sun, H. (2023). Greenhouse gas mitigation strategies and decision support for the utilization of agricultural waste systems: a case study of Jiangxi Province, China. *Energy*. 265, 126380.
13. Zhao, X., Copenhaver, K., Wang, L., Korey, M., Gardner, D. J., Li, K., Lamm, M. E., Kishore, V., Bhagia, S., Tajvidi, M., Tekinalp, H., Oyedele, O., Wasti, S., Webb, E. J., Ragauskas, A., Zhu, H. H., Peter, W., & Ozcan, S. (2022). Recycling of natural fiber composites: Challenges and opportunities. *Resour, Conservation and Recycling*. 177, 105962.
14. Marichelvam, M. K., Manimaran, P., Verma, A., Sanjay, M. R., Siengchin, S., Kandakodeeswaran, K., & Geetha, M. (2021). A novel palm sheath and sugarcane bagasse fiber-based hybrid composites for automotive applications: An experimental approach. *Polymer Composites*. 42, 512-521.
15. Wu, F., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2020). Sustainable green composites from biodegradable plastics blend and natural fiber with balanced performance: Synergy of nano-structured blend and reactive extrusion. *Composites Science and Technology*. 200, 108369.
16. Väisänen, T., Haapala, A., Lappalainen, R., & Tomppo, L. (2016). Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites: A review. *Waste Management*. 54, 62-73.
17. Birania, S., Kumar, S., Kumar, N., Kumar Attkan, A., Panghal, A., Rohilla, P., & Kumar, R. (2022). Advances in development of biodegradable food packaging material from agricultural and agro-industry waste, *Journal of Food Process Engineering*. 45 (1), e13930.
18. Turku, I., & Kärki, T. (2013). Reinforcing wood-plastic composites with macro- and micro-sized cellulosic fillers: comparative analysis. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 32, 1746-1756.
19. Alemdar, A., & Sain, M. (2008). Biocomposites from wheat straw nanofibers: Morphology, thermal and mechanical properties. *Composites Science and Technology*. 68, 557-565.
20. Panthapulakkal, S., Zereschkian, A., & Sain, M. (2006). Preparation and characterization of wheat straw fibers for reinforcing application in injection molded thermoplastic composites. *Bioresource Technology*. 97 (2), 265-272.
21. Mu, B., Wang, H., Hao, X., & Wang, Q. (2018). Morphology, mechanical properties and dimensional stability of biomass particles/high density polyethylene composites: Effect of species and composition. *Polymers*. 10 (3), 308.
22. Han, S., Dae, J., & Hyun, J. (2001). Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresource Technology*. 86, 117-121.
23. Hedjazi, S., Hosseini, S. B., & Jamalirad, L. (2019). The Potential of different pulping processes in production of pulp- plastic composites (PPC) from bagasse and rice straw. *Wood Industry and Engineering*. 1 (2), 40-51.

24. Afonso Anges, É., Vieira De Mello, T., & Hilling, E. (2020). Wood pulp for polymer composites production. *Floresta*. 51 (1), 44-53.
25. Nygård, P., Tanem, B. S., Karlsen, T., Brachet, P., & Leinsvang, B. (2008). Extrusion-based wood fibre-PP composites: Wood powder and pelletized wood fibres- A comparative study. *Composites Science and Technology*. 68 (15-16), 3418-3424.
26. Li, Lee, C., Ling Chin, K., San H'ng, P., San Khoo, P., & Sahfani Hafizuddin, M. (2023). Characterisation of polypropylene composite reinforced with chemi-thermomechanical pulp from oil palm trunk via injection moulding process. *Polymers*. 15 (6), 1338.
27. Kajaks, J., Kolbins, A., & Kalnins, K. (2016). Some exploitation properties of wood plastic composites (WPC) based on high density polyethylene (HDPE) and plywood production waste. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Pp: 111.
28. Madaraka, M., Ngugi, M., Nzyoki, M., & Fondo, K. (2015). Development of wood-plastic composite at Dedan Kimathi university of technology, Kenya. *International Journal of Engineering Research and Applications*. 5 (12), 11-17.
29. Pelaez, S., Yadama, M., Garcia-Perez, M., Lowell, E., Zhu, R., & Englund, K. (2016). Interrelationship between lignin-rich dichloromethane extracts of hot water-treated wood fibers and high density polyethylene (HDPE) in wood plastic composite (WPC) production. *Holzforschung*. 70 (1), 31-38.
30. Rowell, R., Sanadi, A., Caulfield, D., & Jacobson, R. (1999). Utilization of natural fibers in plastic composites: Problems and opportunities. *Lignocellulosic Plastic Composites*. Pp: 23-51.
31. Stark, N. M., & Rowlands, R. E. (2003). Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood and Fiber Science*. 35 (2), 167-174.
32. Hosseini, S. B., Hedjazi, S., Jamalirad, L., Fatahi Amin, M., & Izadyar, S. (2017). Comparative investigation of treated bagasse and rice straw on physical and mechanical properties of natural fiber reinforced composites (NFRC). *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*. 8 (3), 453-469.
33. Popy, R. S., Nayeem, J., Yasin Arafat, K. M., & Rhaman, M. M. (2020). Mild potassium hydroxide pulping of straw. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 3(4), 100015.
34. Kim, S., Moonb, J., Kim, C. H., & Sikha, G. (2008). Mechanical properties of polypropylene/natural fiber composites: Comparison of wood fiber and cotton fiber. *Polymer Testing*. 27, 801-806.
35. Jamalirad, L., Aminian, H., & Hedjazi, S. (2019). Exploring the potential of milkweed stalk in wood plastic manufacture. *Journal of Natural Fiber*, 16(1), 77-87.
36. Babaie, B., Jamalirad, L., Vaziri, V., & Hedjazi, S. (2021). Investigation on the functional properties of wood-plastic composite prepared from black liquor powder obtained from alkali sulfite anthraquinone (AS-AQ) pulping process with wheat straw. *Iranian Journal of Forest and Wood Products*. 74 (2), 247-260.
37. Suffo, M., Mata, M., de, L. A., & Molina, S. I. (2020). A sugar-beet waste based thermoplastic agro-composite as substitute for raw materials. *Journal of Cleaner Production*. 257, 120382.
38. Barczewski, M., Sałasińska, K., & Szulc, J. (2019). Application of sunflower husk, hazelnut shell and walnut shell as waste agricultural fillers for epoxy-based composites: A study into mechanical behavior related to structural and rheological properties, *Polymer Testing*. 75, 1-11.
39. Hyvärinen, M., & Kärki, T. (2015). The effects of the substitution of wood fiber with agro-based fiber (Barley straw) on the properties of Natural fiber/polypropylene composites. *MATEC Web of Conferences*, 30, 01014.

