نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و هفتم، شماره سوم، ۱۳۹۹
۷۳-۹۱
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2020.17720.1853

بررسی تأثیر نوع ماده اولیه بر ویژگی‌های چندسازه لیگنوسلولزی عایقی سبز

*حمیدرضا عدالت[۱]، علی نجفی امیری[۲]، تقی طبرسا[۱] و محراب مدهوشی[۱]

[۱]عضو هیئت علمی گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۲]دانشجوی دکتری گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰٤

چکیده

سابقه و هدف: هدف از انجام این پژوهش ساخت پانل عایقی ضخیم با استفاده از ضایعات لیگنوسلولزی و ماده اتصال‌دهنده زیست‌تخریب‌پذیر و ارزیابی خواص فیزیکی و مکانیکی آن بود. مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از مواد لیگنوسلولزی در ساختمان سابقه‌ای طولانی در نقاط مختلف جهان دارد. پژوهش‌های متعددی استفاده از مواد لیگنوسلولزی مانند باگاس، کاه گندم و برنج و ساقه آفتابگردان در ترکیب پانل‌های فشرده چوبی را برای بهبود خواص فیزیکی مفید ارزیابی کرده‌اند.

مواد و روش‌ها: پانل‌های مذکور با دانسیته‌های ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و با استفاده از سه نوع ماده اولیه شامل کاه گندم، برنج و کلزا با ضخامت ۳۰ میلی‌متر ساخته شدند. ماده اتصال‌دهنده هوموپلیمر وینیل‌استات و فرآیند ساخت متشکل از پرس سرد و خشک‌کن با سیستم بسته و دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد بود. مقاومت فشاری عمود بر سطح نمونه‌ها به همراه مدول الاستیسیته به‌عنوان ویژگی‌های مکانیکی و آزمون جذب صوت و نرخ تبادل دما و پیرو آن آزمون تعیین ضریب هدایت حرارتی جهت ارزیابی عملکرد فیزیکی پانل‌ها انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که نوع ماده اولیه تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساخته‌شده دارد. پانل‌های تولید شده از کاه کلزا مقاومت (٦٤ کیلو پاسکال) و مدول فشاری (۹٤۰ کیلو پاسکال) بالاتری نسبت به دو ماده دیگر نشان دادند درصورتی‌که عملکرد فیزیکی آنها نسبت به پانل‌های ساخته‌شده از کاه گندم و کاه برنج ضعیف‌تر بود. به‌طورکلی پانل‌های ساخته‌شده از مواد طبیعی شاخص افت تراگسیل بالاتری را نسبت به پلی‌استایرن نشان دادند. شاخص افت تراگسیل صوت در پانل‌های گندم با حداکثر دانسیته، حدود ۱۷ دسی‌بل محاسبه گردید. نتایج آزمون هدایت حرارتی نشان داد که ضریب هدایت حرارتی پانل‌های ساخته‌شده از کاه گندم و برنج در دامنه

* مسئول مکاتبه: edalat.hr@gmail.com

ضریب هدایت حرارتی مواد عایق حرارت قرار دارد. افزایش دانسیته پانل موجب بهبود در همه ویژگی‌ها به‌ویژه در پانل‌های ساخته‌شده با کاه گندم گردید.

نتیجه‌گیری: مواد لیگنوسلولزی حاصل از برداشت محصولات کشاورزی مانند گندم، برنج و کلزا می‌توانند به‌عنوان ماده اولیه مناسب جهت تولید پانل‌های عایقی سبز مورد استفاده قرار گیرند. در این میان کاه گندم و برنج به لحاظ دسترسی به قابلیت بهتر در جذب صوت و عایق حرارت نسبت به کلزا برتری دارند. با ساخت این فرآورده‌ها می‌توان مصرف مشتقات نفتی در صنایع ساختمان را کاهش داد و بخشی از اثرات منفی این صنعت بر محیط زیست را تعدیل نمود. استفاده از انرژی کم‌تر هنگام ساخت و نیز تولید مقادیر بسیار ناچیز گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با مواد سنتزی، دو امتیاز ویژه چندسازه‌های زیست‌تخریب‌پذیر بوده که موجب تولید و کاربرد گسترده آن‌ها به‌خصوص در جوامع پیشرفته شده است.

واژه‌های کلیدی: پانل عایقی سبز، درجه افت تراگسیل صوت، زیست‌تخریب‌پذیر، ضریب هدایت حرارتی، هوموپلیمر وینیل‌استات

مقدمه

رشد جهانی جمعیت و به دنبال آن افزایش تقاضا برای مسکن، موجب تولید بیشتر مواد ساختمانی شده که در نهایت منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف منابع طبیعی می‌گردد. یکی از انواع مواد ساختمانی مورد مصرف، مواد عایقی هستند که نقشی اساسی در مصرف انرژی در ساختمان و نیز مسائل زیست‌محیطی دارند (۳). مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که مواد عایقی حاصل از منابع تجدیدپذیر اثرات منفی زیست‌محیطی کم‌تری به دنبال داشته، هر چند این محصولات در ابتدای راه پژوهش و توسعه بوده و مسیری نسبتاً طولانی برای یافتن جایگاهی مناسب در بازار را پیش‌رو دارند (۲۵). اثر زیست‌محیطی مواد عایقی نیز مانند سایر مواد با استفاده از ارزیابی چرخه زندگی[1] سنجیده می‌شود که در آن دو عامل میزان مصرف انرژی و مقدار تولید گازهای گلخانه‌ای از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشند. به‌عنوان یک مقایسه، میزان متوسط انتشار گازکربنیک به‌ازای تولید هر کیلوگرم پلی‌استایرن ۷ کیلوگرم گزارش شده است و این در حالی است که برای تولید هر کیلوگرم چوب‌پنبه ۰/۸۰۷ کیلوگرم گازکربنیک تولید می‌شود (۹). ریان (۲۰۱۱) بر این باور است که پیشرفت بسیار سریع مواد سنتزی و مصنوعی، موجب کاهش تمایل به استفاده از مواد طبیعی شده است ولی ویژگی‌های منحصربه‌فرد آن‌ها در توسعه پایدار صنایع ساختمان هم‌چنان دارای اهمیت است. مشخصه‌هایی مانند تجدیدپذیری، فراوانی و درعین‌حال تأثیر زیست‌محیطی کم، دارای چرخه مصرف با سطح بهینه از مصرف انرژی، قابلیت دسترسی، دوام، نگهداری و ترمیم آسان، قابلیت استفاده مجدد، بازیافت پذیری و ضایعات کم (۲۳). البته به‌دلیل ایجاد ساختاری ناهمگن هنوز مدل‌های نظری مطمئن برای توجیه رفتار آن‌ها ارائه نشده و بنابراین انجام طیف گسترده‌ای از آزمون‌ها با ترکیب‌های متنوع و مواد اتصال‌دهنده متفاوت مورد نیاز است تا بتوان به شرایط بهینه تولید محصولات دست یافت (۸).

1- Life cycle assessments (LCA)

پسماندهای کشاورزی در نگاه اول گزینه مناسبی برای مواد ساختمانی به‌نظر نمی‌رسند ولی با مطالعه برخی از روش‌های سنتی، مشخص شده است که در مناطق متعددی از دنیا به‌عنوان ماده ساختمانی مورد استفاده بشر قرار گرفته‌اند مانند نِی در عراق و مصر، برگ‌های نخل و موز در آفریقا و بامبو در آسیای شرقی (٦). پینتو و همکاران (۲۰۱۱) با معرفی تابیکه[1] به‌عنوان یکی از سازه‌های ساختمانی سنتی در کشور پرتغال بیان نمودند که این سازه در ترکیب با مصالح معدنی و چوب ساختمانی با برخورداری از ساختار میکروسکوپی، ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های حرارتی قابل‌قبول، به گزینه مناسبی جهت استفاده در صنایع ساختمان تبدیل شده است (۲۱).

طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی تولید گندم کشور در سال ۱۳۹٦ تقریباً برابر با ۱۳ میلیون تن، در خصوص برنج بالغ بر ۲ میلیون تن و برای کلزا بیش از ۳۷۰ هزار تن گزارش شده است. با توجه به نسبت میانگین بین وزن گندم تولیدی با وزن کاه و نیز ضریب افت در مرحله برداشت، مقدار تولید کاه در کشور تنها برای گندم حداقل ۹ میلیون تن برآورد می‌شود؛ بنابراین با توجه به مقدار قابل‌توجه این مواد، قیمت ناچیز و نیز وجود آن‌ها در اغلب نقاط کشور، می‌توانند به‌عنوان مواد اولیه مناسبی برای تولید پانل‌های عایقی به‌شمار آیند. هدایت حرارتی مهم‌ترین مشخصه برای مقایسه عملکرد مواد عایقی است به‌طورکلی هدایت حرارتی مواد عایقی باید کم‌تر از ۰/۰۷ W/m K باشد تا بتوان آن را به‌عنوان عایق در نظر گرفت (۲). ظرفیت گرمای ویژه پارامتر دیگری است که به‌عنوان معیاری برای مقایسه عملکرد عایق‌های ساختمانی استفاده می‌شود و در این خصوص پسماند گیاهانی مانند کتان، کنف، باگاس، برنج و گندم عملکرد گرمایی بسیار خوبی نشان داده‌اند (٦ و ۷). ذرت نیز مانند برنج و گندم در بیش‌تر نقاط جغرافیایی کشت می‌شود. دانسیته پایین و ساختاری فومی شکل مغز میوه ذرت موجب شده که ماده اولیه مناسبی برای تولید فرآورده‌های عایقی محسوب گردد. پاویا و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه بر خواص حرارتی تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از مغز میوه ذرت و چسب چوب نشان دادند که هدایت حرارتی تخته‌خرده ساخته‌شده از آن قابل مقایسه با پلی‌استایرن است (۲۰).

درجه افت تراگسیل صدا (STC)[2] نشان‌دهنده قابلیت یک ماده در کاهش شدت صوت هوابُرد است. این شاخص با استفاده از آزمایش سنجش افت شدت صوت هوابُرد عبور یافته از ماده در شانزده بسامد بند یک‌سوم هنگامی[3] به‌دست می‌آید. ضایعات گیاهانی مانند نخل، برنج و نی به‌دلیل برخورداری از ضریب جذب صوت خوب، می‌توانند عایق آکوستیک محسوب شوند. تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از مغز میوه ذرت به‌عنوان یکی از فرآورده‌های سبز شناخته می‌شود که عملکرد صوتی آن توانایی رقابت با محصولات تجاری حاصل از الیاف طبیعی را دارد (٦). تخته‌های ساخته‌شده از باگاس، کاه برنج و ساقه آفتابگردان نیز در زمینه ضریب جذب صوت نتایج بهتری نسبت به تخته‌خرده‌چوب معمولی در فرکانس‌های متوسط و بالا ارائه دادند (۱۰، ۱۷ و ۱۵).

رسام و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی ویژگی‌های صوتی تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از خرده‌چوب‌های صنعتی و ساقه آفتابگردان، ضریب فشردگی بالای این ماده را عاملی مثبت برای جذب صوت فرآورده عنوان نمودند و استفاده از رزین ایزوسیانات را به‌دلیل تشکیل فوم هنگام پلیمریزاسیون و پر نمودن خلل و فرج، عاملی بهبوددهنده در میرایی صوت معرفی

1- Tabique

2- Sound transmission class

3- Individual 1/3 octave band frequencies

کردند (۲۲). دوست‌حسینی و الیاسی (۲۰۱۲) با مطالعه بر جذب صوت تخته‌خرده ساخت شده از باگاس به این نتیجه رسیدند که دانسیته تخته و ساختار آن اثر قابل‌توجهی بر جذب صوت دارد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که به‌دلیل ساختار آناتومی متفاوت و اثر انعکاس صوت، جذب صوت تا فرکانس ۲۰۰۰ هرتز در تخته‌ها افزایش و پس از آن مقدار تا فرکانس ٤۰۰۰ هرتز کاهش یافته است. هم‌چنین دریافتند که تا فرکانس ۵۰۰ هرتز تخته‌های سنگین‌تر جذب صوت بهتری داشته و در فرکانس‌های بالا مقدار جذب صوت در تخته‌های سبک‌تر به‌دلیل بیش‌تر بودن انرژی امواج و قدرت نفوذ آن‌ها در بافت متخلخل، بیش‌تر بوده است (۱۱). سعادت‌نیا و همکاران (۲۰۰۸) با مقایسه خواص جذب صوت تخته‌های عایقی ساخته شده از خرده‌های صنوبر و درصدهای متفاوت کاه گندم نشان دادند که با افزایش فرکانس و با افزایش درصد کاه گندم ضریب جذب صوت افزایش می‌یابد (۲٤). ناندنوار و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که با کاهش دانسیته و هم‌چنین با افزایش فرکانس امواج، ضریب جذب صوت تخته فیبر افزایش می‌یابد و در تخته‌هایی با مشخصات یکسان افزایش حفرات و تخلخل باعث بهبود ضریب جذب صوت می‌شود (۱۸).

بیوکامپوزیت‌های سبز دارای ماتریس زیست‌تخریب‌پذیر بوده که در صورت استفاده از الیاف با منشأ طبیعی و تجدیدپذیر، فرآورده حاصل دارای حداقل اثرات زیست‌محیطی مخرب خواهد بود (۱ و ۱۲). پلی‌وینیل‌استات یکی از پرکاربردترین پلیمرها به شما می‌آید که فاقد مواد فرار و اثرات مضر بر روی انسان است. از کاربردهای این پلیمر می‌توان به صنایع نساجی، صنایع رنگ و رزین، صنایع چوب و مبلمان، صنعت کاغذ و مقوا و ... اشاره نمود. طبق پژوهش‌های صورت گرفته، این ماده قابلیت تخریب‌پذیری در طبیعت به روش‌های مختلف اعم از هیدرولیز، میکروارگانیسم‌ها، بیوشیمیایی یا آنزیمی و ... را دارد (١٦). توسعه کاربرد این ماده اتصال‌دهنده و رفع معایب آن می‌تواند موجب تولید فرآورده‌هایی بدون سمیت و انتشار فرم‌آلدهید و به‌عبارت دیگر سازگار با محیط‌زیست گردد. هدف از انجام این مطالعه تولید پانل عایقی با استفاده از مواد اولیه لیگنوسلولزی غیرچوبی و ماده اتصال‌دهنده فاقد سمیت و انتشار مواد فرار است. در این پژوهش به‌منظور دسترسی به اتصالات با سفتی بالا و فرآورده با ساختار منسجم، از هوموپلیمر وینیل‌استات استفاده شد که این رزین قادر به تشکیل فیلم سخت و حفظ یکپارچگی بهتر نسبت به کوپلیمر وینیل‌استات (چسب چوب) است.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه لیگنوسلولزی استفاده‌شده در این پژوهش شامل کاه گندم، برنج و کلزا قبل از تبدیل، از بسته‌بندی باز شده و در تماس کافی با هوای محیط قرار داده شدند. طول کاه‌ها با استفاده از یک خردکن دستی به ۱۰ سانتی‌متر کاهش داده شد و سپس درصد رطوبت آن‌ها اندازه‌گیری و کنترل گردید. به‌منظور ممانعت از تغییر رطوبت، مواد تبدیل‌شده تا مرحله تولید در کیسه‌های پلاستیکی نگهداری شدند. ازآن‌جایی‌که شکل و اندازه ذرات تأثیر مهمی بر خواص چندسازه دارد، ضرایب هندسی مواد اولیه با اندازه‌گیری طول و ضخامت ۳۰ عدد نمونه تصادفی به‌دست آورده شد.

ماده اتصال‌دهنده رزین هوموپلیمر وینیل‌استات با کد RSH 950 از شرکت رزین‌سازان تهیه گردید. ویژگی‌های فیزیکی این رزین در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات رزین اتصال‌دهنده.

Table 1. The properties of bonding agent.

کد محصول Product code	نوع رزین Resin type	ماهیت فیلم Film status	حداقل دمای تشکیل فیلم (°C) MFFT	ویسکوزیته (cP) Viscosity	ویسکوزیته قبل مصرف (cP) Viscosity before use	pH	درصد جامدات Solid content
RSH-950	هوموپلیمر وینیل‌استات Vinyl acetate homopolymer	سخت Hard	16	800-1000	108	4-5	50±1

ماده اتصال‌دهنده به اندازه ۱۵ درصد وزن خشک پانل‌ها استفاده شد که برای آماده‌سازی، ۵۰ درصد وزنی آب به آن اضافه گردید تا به اندازه کافی رقیق و برای اسپری مناسب شود. سپس مواد اولیه درون چسب‌زن استوانه‌ای دوار ریخته و چسب‌زنی مواد با استفاده از پیستوله بادی انجام شد. فرمینگ کیک درون قالب چوبی با ابعاد ۳۵×۳۵ سانتی‌متر و ارتفاع ١٤ سانتی‌متر به‌وسیله دست انجام شد و پیش پرس با استفاده از یک صفحه چوبی به ابعاد قالب و فشار دستی صورت گرفت. سپس کیک مابین دو صفحه فلزی مشبک (پانچ شده با سوراخ‌های دایره‌ای به قطر ٤ میلی‌متر) قرار داده شد و به‌وسیله پرس سرد مسطح به‌مدت ۱۰ دقیقه تحت فشار ویژه ٦/٥ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع قرار گرفت. برای کنترل ضخامت تخته‌ها چهار شابلون به ضخامت ۳ سانتی‌متر بین صفحات فلزی مشبک و پیرامون کیک قرار داده شد. بعدازاین مرحله برای جلوگیری از کاهش فشردگی کیک و برگشت ضخامت، مجموعه کیک و صفحات مشبک توسط گیره‌های خارجی مهار شدند.

مکانیسم جامد شدن ماده اتصال‌دهنده به‌کاررفته از نوع از دست دادن حلال بود. با توجه رطوبت نسبی بالای هوا در شهر محل آزمایش و طولانی شدن تشکیل اتصالات در شرایط محیط، از خشک‌کن برای تسهیل و تسریع خروج رطوبت از ماده استفاده گردید. خشک‌کن مورد استفاده با حجم ۰/۲ مترمکعب و از نوع گردش هوای بسته با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد بود. سیستم گرمادهی از نوع دمنده‌های برقی مجهز به المنت حرارتی انتخاب گردید که توسط یک ترموستات دما را در دامنه مورد نظر کنترل می‌کرد. عملکرد المنت پیوسته نبوده و تنها برای حفظ دمای محفظه خشک‌کن در بازه معین مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور خروج رطوبت تبخیر شده از محفظه، دریچه تعبیه‌شده روی بدنه پشتی محفظه هر ۲۰ دقیقه یک‌بار به‌مدت ۱ دقیقه باز می‌شد.

یکی از متغیرهای آزمایش نوع ماده اولیه بود که در سه نوع کاه گندم، کاه برنج و ساقه کلزا مورد استفاده قرار گرفت. متغیر دوم آزمایش دانسیته پانل‌ها بود که در سه سطح ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب انتخاب شدند. از هر تیمار سه تکرار انجام شد و پانل‌ها یک روز پس از ساخت کناره‌بری شده و به ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌مترمربع تبدیل شدند و به‌مدت ۳ هفته در محیط کلیما نگهداری شدند.

شکل ۱- مواد اولیه و پانل‌های عایقی ساخته‌شده (بالا: کاه گندم، وسط: کاه برنج و پایین: کاه کلزا).

Figure 1. Raw materials and produced insulation panels (up: Wheat straw, middle: Rice straw and down: Rapeseed straw).

ابتدا آزمون فیزیکی جذب صوت با استفاده از محفظه اندازه‌گیری شاخص افت تراگسیل صوت در شانزده بسامد استاندارد بر روی نمونه‌ها انجام و شاخص مربوط با استفاده از استاندارد ASTM E413 محاسبه گردید (۵).

سپس با استفاده از محفظه گرم حفاظت‌شده (مطابق استاندارد ملی ۱٤۸۲۷)، قابلیت عایق حرارتی پانل‌های ساخته‌شده بر اساس نرخ تبادل دما ارزیابی گردید. دستگاه شامل یک محفظه سرد با دمای بین ۲ تا ٤ درجه سانتی‌گراد و یک محفظه گرم با قابلیت کنترل دما به‌منظور شبیه‌سازی حالت تابستانی و زمستانی در اطراف نمونه آزمونی بود. دیواره‌های محفظه از جنس پانل ساندویچی عایق حرارت (حفاظت‌شده) با ضخامت ٦ سانتی‌متر بود. ساختار محفظه‌ها به گونه ایست که در عین به حداقل رساندن تبادل حرارت با محیط بیرون، در یک وجه قابلیت اتصال به یکدیگر را داشته باشند. روش انجام کار به این صورت بود که دو محفظه با حرکت بر روی ریل دستگاه از یکدیگر فاصله گرفته و نمونه آزمونی مابین آن‌ها قرار گرفته و سپس دو محفظه با فشار گیره‌های مخصوص از سمت وجه مشترک به یکدیگر متصل شده و اطراف نمونه به‌طور خودکار توسط نوارهای سیلیکونی مخصوص درزبندی می‌شود. با گذاشتن نمونه مابین دو محفظه، تنها ارتباط دو فضای سرد و گرم، نمونه آزمونی خواهد بود. دمای محفظه سرد در دامنه ۲ تا ٤ درجه به‌طور ثابت و دمای هدف در

محفظه گرم ۲۶ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. محفظه گرم مجهز به المنت حرارتی و ترموستات بوده که به محض رسیدن به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، گرمادهی محفظه فعال شده و با رسیدن به دمای هدف خاموش می‌شد. به منظور اندازه‌گیری و ثبت دمای دو محفظه از یک دیتالاگر دو کاناله TES 1307 استفاده گردید. فاصله زمانی بین اندازه‌گیری دما ۵ ثانیه انتخاب شد. بدین‌ترتیب دستگاه به‌طور دینامیک دمای محفظه گرم را کنترل نموده و در جهت حفظ آن عمل می‌کرد. این مُد آزمون درواقع شرایط زمستانی را شبیه‌سازی نموده و عملکرد پانل عایقی برای حفظ دما را می‌سنجد. به بیان ساده‌تر هر چقدر مدت زمان بین دو گرمادهی متوالی کوتاه‌تر باشد، عملکرد پانل به‌عنوان عایق حرارتی ضعیف‌تر است. بنابراین مدت زمان بین فعالیت ترموستات یعنی رسیدن به دمای هدف و خاموش نمودن گرمادهی تا لحظه رسیدن به دمای ۲۰ درجه و گرمادهی مجدد، به‌عنوان شاخصی برای این قابلیت اندازه‌گیری شد (۱۳). تیمارهایی که طولانی‌ترین نرخ افت دما را در این آزمون داشتند به‌عنوان پانل‌های با عملکرد بهتر برای انجام آزمون هدایت حرارتی انتخاب شدند. آزمون ضریب هدایت حرارتی پانل‌های عایقی در راستای ضخامت پانل با استفاده از دستگاه لوح گرم محافظت شده و جریان حرارت‌سنج و طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۸۶۲۱ انجام و ضریب هدایتی حرارتی آن‌ها بر حسب W/mK به‌دست آورده شد (۱۴).

پس از انجام آزمون‌های فیزیکی، نمونه‌های آزمونی به ابعاد اسمی ۱۰×۱۰ سانتی‌مترمربع از نمونه‌های اولیه توسط اره گرد برش داده شدند و برای انجام آزمون مکانیکی به‌مدت یک هفته شرایط‌دهی شدند. مقاومت فشاری عمود بر سطح طبق ASTM C165-07 و با استفاده از دستگاه یونیورسال Zwick انجام شد (۴). علاوه بر پانل‌های عایقی ساخته‌شده، ویژگی‌های پلی‌استایرن با ضخامت ۳۰ میلی‌متر و دانسیته ۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و با مقادیر میانگین در هر تیمار مقایسه شد.

داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Minitab تجزیه و تحلیل شدند و پس از آنالیز واریانس، مقادیر میانگین ویژگی‌ها در هر تیمار با استفاده از آزمون توکی مقایسه و گروه‌بندی شدند. به‌منظور مقایسه مقادیر ضرایب هدایت حرارتی از آزمون T استفاده گردید.

نتایج و بحث

جدول ۲ تجزیه واریانس مقادیر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی پانل‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده اثر نوع ماده بر سه ویژگی مورد بررسی در سطح ۹۹ درصد اطمینان معنی‌دار بوده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس مقادیر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی.

Table 2. Analysis of variances of the physical and mechanical properties.

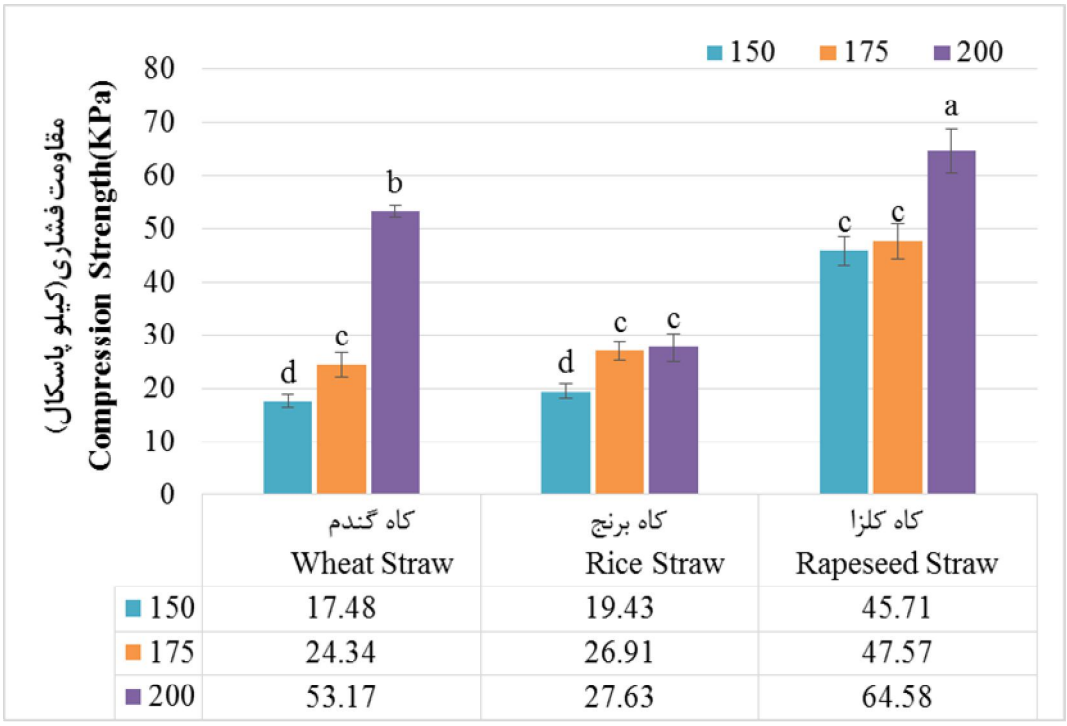
ویژگی Property	منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	شاخص F F value	شاخص P P value
تنش فشاری Compression stress	نوع ماده (A) Material type	2	3687	1844	478.28	0.00
	دانسیته پانل (B) Panel density	2	1589	795	210.05	0.00
	A×B	4	1888	472	124.78	0.00
مدول الاستیسیته فشاری Compression modulus of elasticity	نوع ماده (A) Material type	2	847002	423501	525.75	0.00
	دانسیته پانل (B) Panel density	2	394817	197408	245.07	0.00
	A×B	4	352982	88245	109.55	0.00
ضریب جذب صوت Sound transmission class	نوع ماده (A) Material type	2	127.99	63.64	52.97	0.00
	دانسیته پانل (B) Panel density	2	52.99	26.49	22.05	0.00
	A×B	4	9.58	2.46	2.05	0.13
نرخ تبادل دما Temperature exchange rate	نوع ماده (A) Material type	2	71.84	35.91	30.98	0.00
	دانسیته پانل (B) Panel density	2	233.98	116.98	100.89	0.00
	A×B	4	134.28	33.57	28.95	0.00

تنش فشاری (CS[1]): مقاومت فشاری عمود بر سطح پانل‌های عایقی تأثیر به‌سزایی در عملکرد مکانیکی ماده هنگام استفاده به‌عنوان ماده مغزی دارد؛ به‌عبارت دیگر برخلاف فوم‌های عایقی و اسفنج‌ها، زمانی که پانل عایقی در لایه میانی پانل ساندویچی به‌کار می‌رود، به‌دلیل حفظ ضخامت نهایی محصول و ممانعت از دفرمگی، انسجام و سفتی لایه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است.

نتایج نشان داد که نوع ماده اولیه به‌دلیل ساختار متفاوت تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر مقدار تنش فشاری عمود بر سطح دارد. بر این اساس پانل‌های ساخته‌شده از کاه کلزا به‌دلیل سفتی بیش‌تر ساختار ساقه، بیش‌ترین مقدار مقاومت فشاری را نشان دادند. مقدار میانگین مقاومت فشاری پانل‌های کاه برنج در مقایسه با پانل‌های ساخته‌شده از کاه گندم و کلزا حدوداً ۲۸ درصد و ۱۱۳ درصد افزایش نشان داد. مقدار مقاومت فشار عمود بر سطح در پانل پلی‌استایرن با ضخامت

1- Compression stress

یکسان ۵۶/۸ کیلو پاسکال به‌دست آمد. افزایش دانسیته پانل موجب بهبود مقاومت فشاری آن‌ها گردید. بیش‌ترین تأثیر افزایش دانسیته بر این ویژگی، در پانل‌های ساخته‌شده از کاه گندم مشاهده گردید که با افزایش دانسیته پانل از ۱۵۰ به ۱۷۵ و ۲۰۰ Kg/m^3، مقاومت فشاری به‌ترتیب ۳۹ و ۲۰۴ درصد به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (شکل ۲). لازم به ذکر است که نتایج با توجه به شکل و اندازه ذرات ماده اولیه می‌تواند متفاوت باشد. به‌بیان‌دیگر، اگر مواد اولیه به‌اندازه مای کوچک‌تر با ضرایب هندسی متفاوت نسبت به وضع فعلی تبدیل شوند، این احتمال وجود خواهد داشت که روند تغییرات مقاومت‌ها نیز متفاوت گردد.

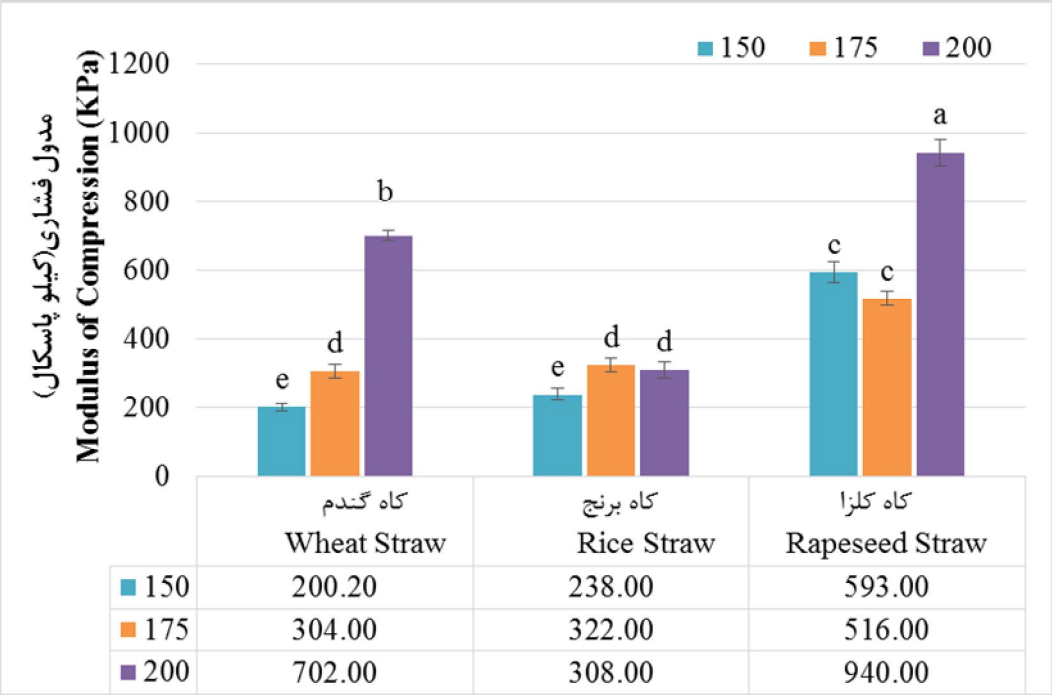


شکل ۲- اثر نوع ماده اولیه و دانسیته پانل بر تنش فشاری پانل عایقی.

Figure 2. Effect of raw material type and density on compression stress of insulation panel.

مدول الاستیسیته فشاری: این ویژگی نشان‌دهنده قابلیت تراکم‌پذیری یک پانل عایقی است و هرچه مدول الاستیسیته پانل بیش‌تر باشد خاصیت تراکم‌پذیری کم‌تری در هنگام تحمل نیرو دارد. روند مشاهده‌شده مشابه نتایج تنش فشاری بود. میانگین مقدار مدول الاستیسیته پانل‌های ساخته‌شده از کاه برنج در مقایسه با پانل‌های ساخته‌شده از کاه گندم و کلزا به‌ترتیب ۳۹ درصد و ۱۳۶ درصد بیش‌تر به‌دست آمد. مقدار مدول الاستیسیته پانل پلی‌استایرن با ضخامت یکسان برابر با ۴۴۰/۳ کیلو پاسکال اندازه‌گیری شد (شکل ۳). به‌طورکلی با افزایش دانسیته مدول فشاری پانل‌ها افزایش یافت و در این مورد پانل‌های کلزا عملکرد بهتری داشتند به‌طوری‌که در دانسیته ۲۰۰Kg/m^3 مدول فشاری پانل‌های کلزا نسبت به پانل‌های گندم و برنج به‌ترتیب ۴۰ و ۲۰۵ درصد بیش‌تر بود که نشان‌دهنده تأثیر زیاد نوع ماده

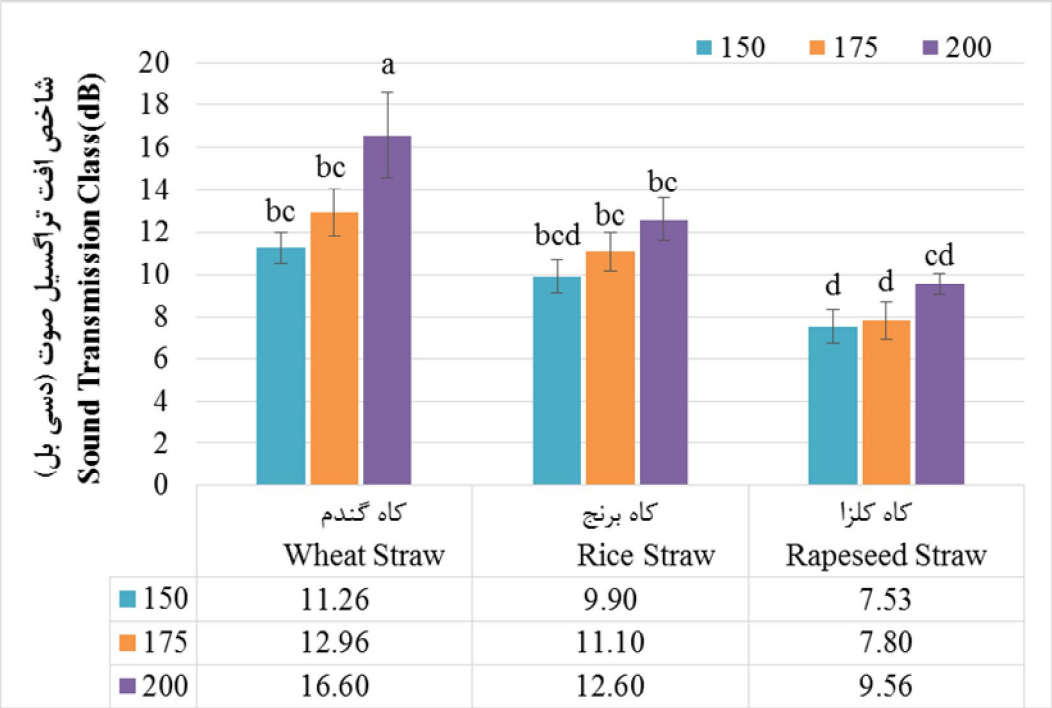
اولیه و ساختار آن بر این ویژگی است. علاوه بر نوع ماده اولیه، دانسیته هم تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر مقادیر مدول فشاری داشت به‌طوری‌که در پانل‌های ساخته‌شده از کاه گندم با افزایش دانسیته از ۱۵۰ به ۱۷۵ و ۲۰۰ Kg/m^3 به‌ترتیب افزایش ۵۲ و ۲۵۰ درصدی در مدول فشاری مشاهده گردید (شکل ۳). مقادیر و روند تغییرات پانل‌های ساخته‌شده از کاه برنج متفاوت با دو نوع ماده اولیه دیگر بود که دلیل اصلی آن را می‌توان به ماهیت متفاوت و انعطاف‌پذیری زیاد کاه برنج نسبت به دو ماده دیگر مرتبط دانست. در رطوبت یکسان، میزان انعطاف‌پذیری مواد اولیه انتخاب‌شده به‌ترتیب از کاه کلزا به کاه گندم و نهایتاً کاه برنج افزایش می‌یابد. این اختلاف ذاتی می‌تواند بر ویژگی‌های مکانیکی پانل ساخته‌شده نیز تأثیر معنی‌داری داشته باشد.



شکل ۳- اثر نوع ماده اولیه و دانسیته پانل بر مدول الاستیسیته فشاری پانل عایقی.

Figure 3. Effect of raw material type and density on compression modulus of elasticity of insulation panel.

شاخص افت تراگسیل صوت: یکی از خواص فیزیکی مهم پانل‌های عایقی قابلیت کاهش شدت صوت عبور یافته یا شاخص افت تراگسیل ماده است. این ویژگی این توانایی را به مواد می‌دهد تا فرکانس‌های مختلف صدا را به‌طور مؤثر یا جزئی جذب کرده و از عبور صدا جلوگیری نمایند.



شکل ٤- اثر نوع ماده اولیه و دانسیته پانل بر شاخص افت تراگسیل صوت پانل عایقی.

Figure 4. Effect of raw material type and density on sound transmission class (STC) of insulation panel.

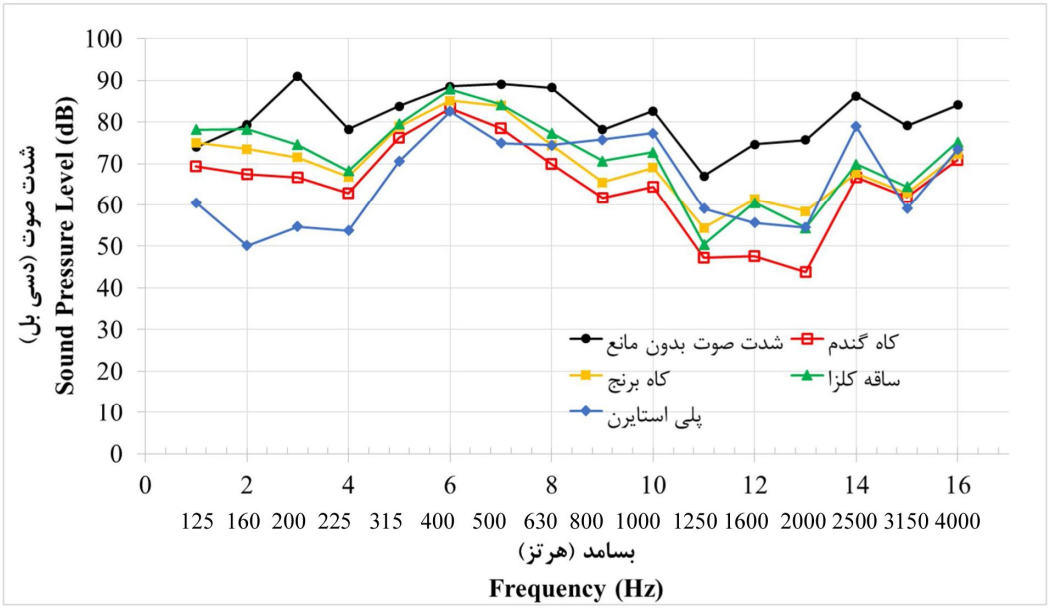
بیش‌ترین مقدار شاخص افت تراگسیل صوت در پانل‌های عایقی ساخته‌شده از کاه گندم و کم‌ترین مقدار آن در پانل‌های کاه کلزا مشاهده شد و در مورد پانل پلی‌استایرن با ضخامت یکسان، ۸/٤ دسی‌بل به‌دست آمد. مقدار میانگین شاخص افت تراگسیل صوت پانل‌های گندم به‌ترتیب ۲۱ درصد و ٦٤ درصد نسبت به مقادیر میانگین آن در پانل‌های ساخته‌شده از کاه برنج و کلزا بالاتر بود (شکل ٤). دلیل افت مقدار این شاخص در پانل‌های ساخته‌شده از کاه کلزا می‌تواند درهم‌رفتگی ضعیف و تراکم‌پذیری محدود اجزای پانل باشد چراکه میزان خلل و فرج در مقدار شاخص جذب صوت ماده تأثیر به‌سزایی دارد. افزایش دانسیته نیز باعث افزایش مقادیر شاخص افت تراگسیل صوت شد ولی در اغلب موارد این تغییرات معنی‌دار نبود. بیش‌ترین مقدار شاخص در پانل ساخته‌شده از کاه گندم با دانسیته ۲۰۰ Kg/m^3 مشاهده شده که نسبت به پانل‌های ساخته شده با دانسیته ۱۵۰ و ۱۷۵ Kg/m^3 ۲۰۰ به‌ترتیب ۲۸ و ٤۷ درصد بالاتر به‌دست آمد. جدول ۳ ضرایب هندسی هر کدام از مواد اولیه را نشان می‌دهد. بالاتر بودن نسبت طول به ضخامت در کاه گندم و در نتیجه تراکم بهتر و منسجم‌تر می‌تواند دلیل مناسبی برای بهبود جذب صوت پانل‌های ساخته‌شده از آن باشد.

جدول ۳- مقادیر میانگین ابعاد تراشه‌ها و میانگین ضرایب هندسی.

Table 3. Average amounts of particles dimension and geometric ratios.

$\frac{L}{W}$	$\frac{L}{T}$	عرض (W) میلی‌متر Width (mm)	ضخامت (T) میلی‌متر Thickness (mm)	طول (L) میلی‌متر Length (mm)	ماده Material
17.49	62.65	5.97	1.67	93.01	گندم Wheat
—	27.48	—	3.89	101.09	برنج Rice
—	15.97	—	5.72	84.94	کلزا Rapeseed

نمودارهای جذب صوت پانل‌ها: برای مقایسه عملکرد تخته‌های مختلف حین آزمون جذب صوت علاوه بر محاسبه شاخص مذکور، نمودار شدت صوت انتشاریافته از منبع و شدت صوت عبور یافته از پانل‌ها ترسیم گردید. در این نمودارها خط مشکی نشان‌دهنده Sources PSL[1] یا شدت صوت منتشر شده از منبع بدون وجود مانع است و سایر خطوط Transmitted PSL یا شدت صوت عبور یافته از پانل ساخته‌شده از کاه برنج، ساقه کلزا و کاه گندم و نیز پلی‌استایرن می‌باشد. اختلاف بین نمودار مشکی و سایر خطوط نشان‌دهنده جذب صوت در هر فرکانس توسط پانل‌ها است.



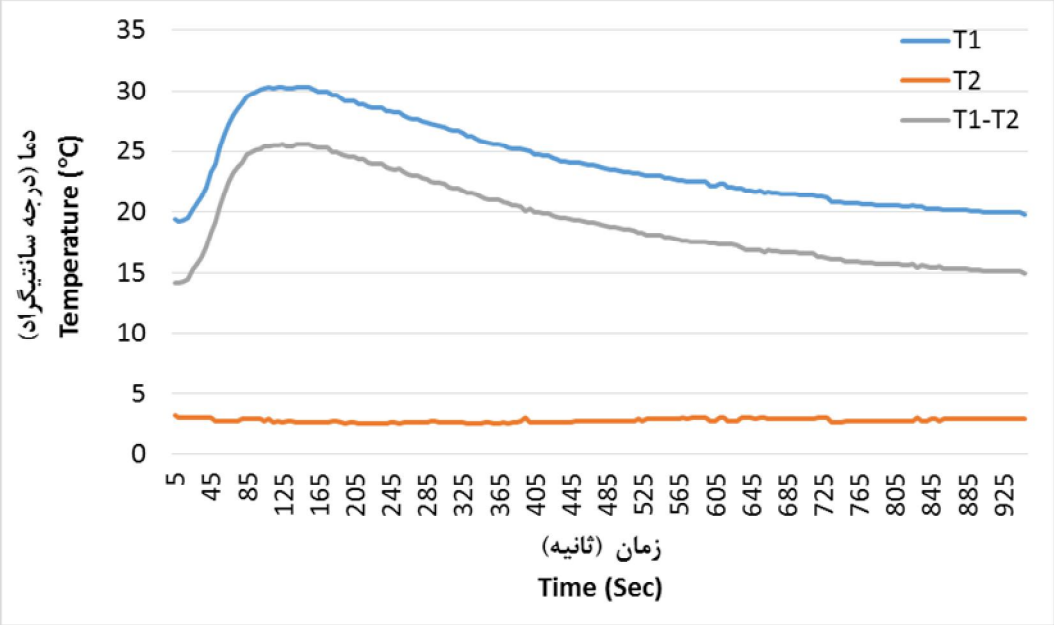
شکل ۵- نمودار جذب صوت پانل‌های عایقی ساخته‌شده در مقایسه با پلی‌استایرن در دامنه فرکانس ۱۲۵ تا ٤۰۰۰ هرتز.

Figure 5. Sound absorption graph of produced insulation panels with compare to poly-styrene in frequency range of 125 to 4000 Hz.

1- Pressure of sound level

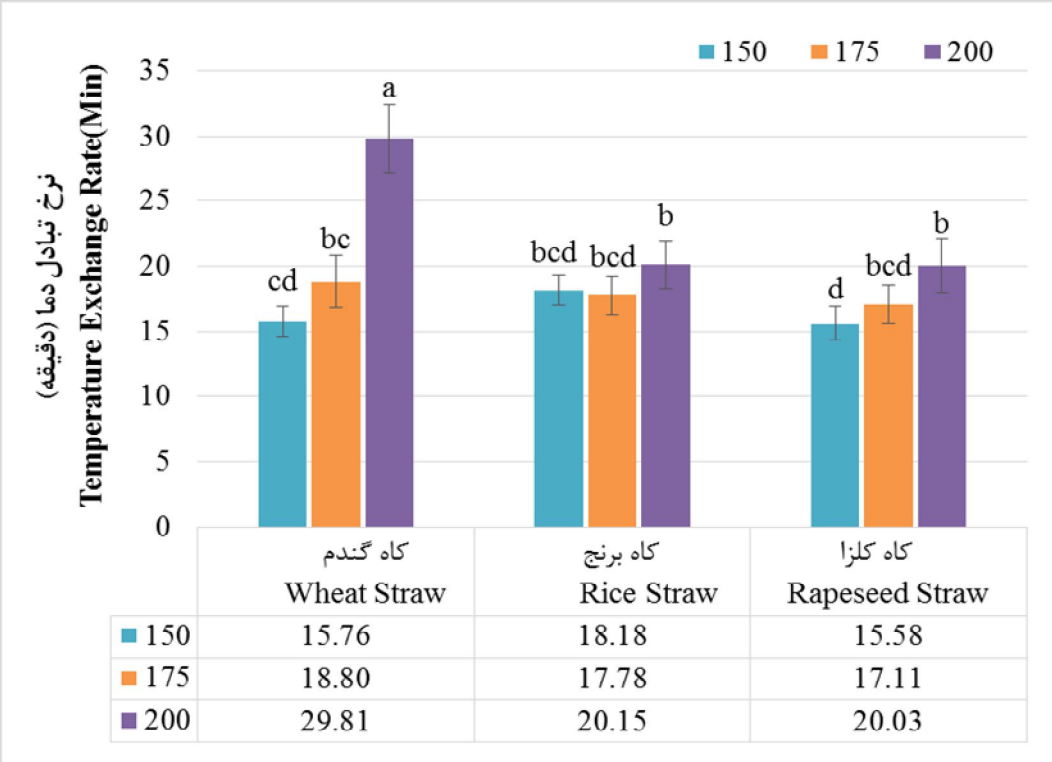
همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد، میزان جذب صوت در فرکانس‌های بالاتر از ۵۰۰ هرتز برای هر سه پانل افزایش می‌یابد. هم‌چنین مشاهده می‌شود که پانل عایقی ساخته‌شده از کاه گندم شدت صوت عبور یافته را به مقدار بیش‌تری کاهش داده و به‌عبارت دیگر عایق بهتری نسبت به دو ماده دیگر می‌باشد. نکته قابل‌توجه عملکرد بهتر پانل‌های عایقی سبز در فرکانس‌های بالای ۳۰۰ هرتز نسبت به پلی‌استایرن با ضخامت برابر بوده که کم‌تر بودن قابلیت جذب صوت آن در نمودار به‌وضوح دیده می‌شود. هم‌چنین نتایج به‌دست‌آمده از این آزمون نشان داد که در مجموع با افزایش فرکانس، جذب صوت پانل‌ها افزایش می‌یابد که این یافته مطابق با نتایج سایر پژوهشگران بود (۱۱ و ۱۸).

نرخ تبادل دما: شکل ٦ نمودار تغییرات و اختلاف دما در دو محفظه دستگاه را طی یک سیکل حرارت دهی نشان می‌دهد. همان‌گونه که نمودار نشان می‌دهد دمای محفظه گرم در اثر یک‌بار گرمادهی تا حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و در اثر تبادل دما با محفظه مجاور از طریق نمونه آزمونی، پس از گذشت حدود ۸۰۰ ثانیه (۱۳/۳ دقیقه) مجدد به دمای اولیه می‌رسد که این مقدار به‌عنوان نرخ تبادل دما مورد مقایسه قرار گرفت.



شکل ٦- نمودار اختلاف دما در دو محفظه سرد و گرم طی یک سیکل حرارت‌دهی.

Figure 6. The graph of temperature difference between cold and hot chambers during a heating cycle.



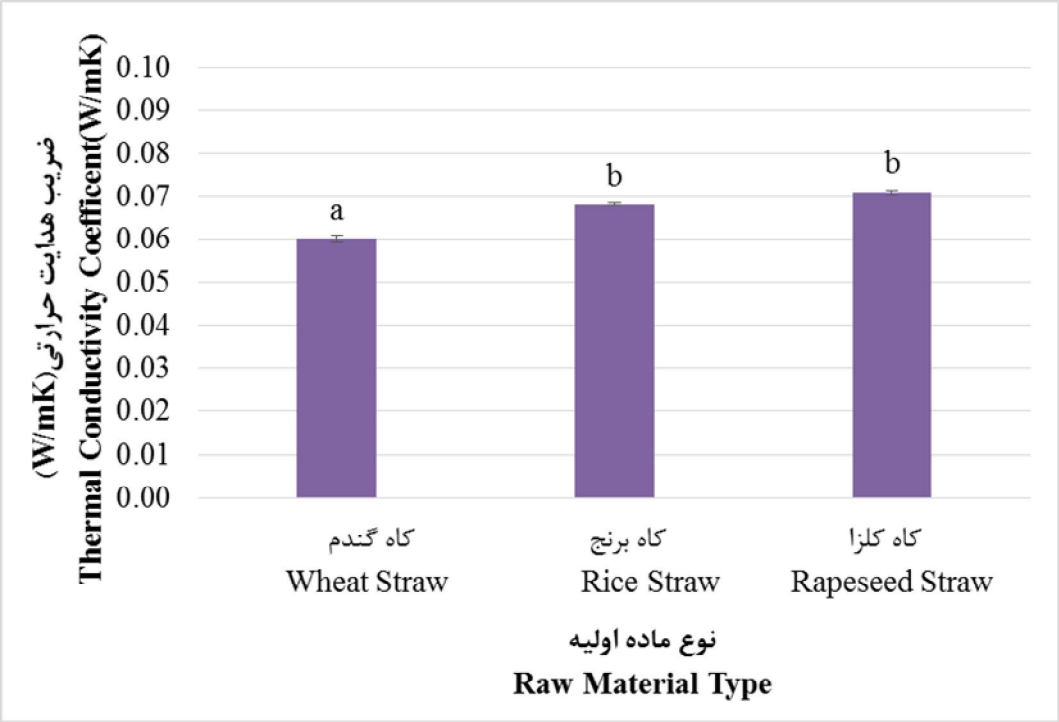
شکل ۷- اثر نوع ماده اولیه و دانسیته پانل بر نرخ تبادل دمای پانل عایقی.

Figure 7. Effect of raw material type and density on the temperature exchange rate of insulation panel.

شکل ۷ مقادیر نرخ تبادل دما را در پانل‌های ساخته‌شده نشان می‌دهد. به‌استثنای پانل‌های ساخته‌شده از کاه برنج، افزایش دانسیته پانل موجب افزایش معنی‌دار نرخ تبادل دما گردید. مقدار این ویژگی در پانل‌های کاه گندم با دانسیته ۱۷۵ و ۲۰۰ Kg/m^3 نسبت به سطح ۱۵۰ Kg/m^3 به‌ترتیب ۱۹ و ۸۹ درصد افزایش معنی‌دار نشان داد. اختلاف این ویژگی بین پانل‌های کاه کلزا با دانسیته ۱۵۰ و ۲۰۰ Kg/m^3 حدود ۲۸ درصد به‌دست آمد. مقدار میانگین نرخ تبادل دما در پانل‌های کاه گندم ۲۱/۵ دقیقه محاسبه گردید که نسبت به پانل‌های کاه برنج (۱۸/۷ دقیقه) و پانل‌های کاه کلزا (۱۷/۶ دقیقه) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود. طبق نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش، پانل‌های ساخته‌شده از هر سه ماده اولیه با دانسیته ۲۰۰ Kg/m^3 برای انجام آزمون هدایت حرارتی انتخاب شدند.

هدایت حرارتی پانل‌ها: کم‌تر بودن ضریب هدایت حرارتی نشان‌دهنده قابلیت عایق حرارتی بهتر ماده است. با توجه به شکل ۷ پانل‌های عایقی ساخته‌شده از ساقه گندم بیش‌ترین نرخ تبادل دما را داشتند که نسبت به پانل‌های کاه کلزا و کاه برنج به‌ترتیب ٤٨ و ٤٩ درصد بیش‌تر بود. در آزمون هدایت حرارتی، پانل‌های کاه گندم کم‌ترین ضریب هدایت حرارتی یا به‌عبارتی بهترین عملکرد را داشتند. مقدار این ضریب برای پانل‌های گندم به‌طور میانگین ۰/۰٦ W/mK به‌دست آمد که نسبت به پانل‌های کاه برنج (۰/۰٦٨ W/mK) به‌میزان ۱۲ درصد کم‌تر بود. بیش‌ترین ضریب هدایت حرارتی برابر با ۰/۰۷۲ W/mK به‌دست آمد که مربوط به پانل‌های کلزا بوده که در مقایسه با پانل‌های کاه گندم ضریب هدایت حرارتی این ماده به‌میزان ۱۹ درصد افزایش یافته است که نشان‌دهنده عملکرد ضعیف‌تر آن نسبت به دو ماده

دیگر علی‌رغم داشتن حجم بیش‌تر بافت پارانشیمی است. ضریب هدایت حرارتی مواد ذکر شده در مقایسه با ضریب هدایت حرارتی پلی‌استایرن (۰/۰۳۸۳ W/mK) مقادیر بالاتری داشتند و می‌توان گفت این ماده نسبت به مواد با منشأ طبیعی برتری دارد ولی بر اساس مطالعات انجام‌شده (۲)، مواد با ضریب هدایت حرارتی کم‌تر از ۰/۰۷ W/mK به‌عنوان ماده عایق حرارت محسوب شده و در این مورد پانل‌های ساخته شده با کاه گندم و کاه برنج عملکرد لازم را داشتند.



شکل ۸- مقایسه ضریب هدایت حرارتی پانل‌های عایقی منتخب.

Figures 8. Comparison between thermal conductivity coefficient of selected insulation panels.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با هدف ساخت پانل‌های عایقی با استفاده از پسماندهای لیگنوسلولزی مختلف که هر کدام در مقدار کلان و قابل‌توجهی تولید می‌شوند، انجام شد. نتایج مشخص نمود که نوع ماده لیگنوسلولزی تأثیر زیادی بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های عایقی دارد. نتایج آزمون تنش فشاری نشان داد که پانل‌های ساخته‌شده از کاه کلزا با اختلاف معنی‌دار عملکرد بهتری نسبت به پانل‌های ساخته‌شده از کاه گندم، کاه برنج و نمونه شاهد داشته‌اند. عملکرد بهتر پانل‌های کلزا به‌دلیل ساختار متفاوت این ماده و وجود بافت نسبتاً سفت ساقه است. رفتار پانل عایقی حاصل از کاه برنج در برابر فشار عمود بر سطح نسبت به دو ماده دیگر متفاوت بود و انعطاف‌پذیری بیش‌تری نشان داد. با بررسی نتایج آزمون جذب صوت این نتیجه حاصل شد که تمامی پانل‌های لیگنوسلولزی نسبت به پلی‌استایرن شاخص افت تراگسیل بیش‌تری دارند و به‌دلیل تنوع ساختار متخلخل در کاه گندم، کاه برنج و کاه کلزا و وجود فضاهای خالی، این ویژگی اختلاف قابل‌توجهی را تحت‌تأثیر نوع ماده اولیه نشان داد که البته مغایر با نتایج سایر پژوهشگران در مورد ضریب جذب صوت

بود (۱۱ و ۱۸). شاخص افت تراگسیل در پانل عایقی ساخته‌شده از کاه گندم ۱۷ دسی‌بل به‌دست آمد که با استفاده از پانل عایقی مذکور به‌عنوان ماده مغزی دیوارهای کاذب و درب‌های داخلی، می‌توان شاخص افت تراگسیل لازم برای کاربری مسکونی را تأمین نمود (۱۹). هم‌چنین نتایج آزمون هدایت حرارتی نشان داد مقادیر ضریب هدایت حرارتی پانل‌های گندم و برنج در دامنه مواد عایق حرارتی می‌باشد (۲) هر چند ضریب هدایت حرارتی پانل کلزا نیز اختلاف ناچیزی با معیار دارد. پیش‌بینی می‌شد که کاه کلزا به‌دلیل برخورداری از حجم قابل‌توجه پارانشیم مغزی، قابلیت عایقی بهتری در برابر حرارت و صوت نشان دهد ولی مشاهده گردید که علاوه بر جنس مواد تشکیل‌دهنده، شکل هندسی اجزا و ساختار حفرات به وجود آمده در اثر تماس آن‌ها می‌تواند تأثیر به‌سزایی بر عملکرد فیزیکی پانل بگذارد.

یکی از چالش‌های موجود در کاربرد پسماندهای لیگنوسلولزی محدودیت ایجاد چسبندگی کارآمد و سریع بین اجزا است. به‌بیان‌دیگر به‌دلیل ماهیت ضعیف کاه حاصل از مواد لیگنوسلولزی، پایین بودن انرژی سطحی اجزا به‌دلیل لایه محافظ مومی و برخورداری از مقادیر قابل‌توجهی از بافت پارانشیمی، ساخت تخته با دانسیته متوسط از این مواد معمولاً با مشکل مواجه بوده است. البته راهکارهایی مانند استفاده از رزین‌های ایزوسیانات و رزین اپوکسی سویای اکریلیکی منجر به ساخت پانل‌های فشرده با دانسیته متوسط در مقیاس آزمایشگاهی از این مواد شده است. تولید پانل‌های عایقی ضخیم بدون استفاده از پرس گرم و نیز با استفاده از هوموپلیمر وینیل استات به‌عنوان ماده اتصال‌دهنده آب پایه[1] و زیست‌تخریب‌پذیر می‌تواند زمینه جدیدی برای کاربرد بهینه پسماندهای لیگنوسلولزی در محیط‌های خشک باشد. برخورداری از سطح قابل‌قبول مقاومت فشاری و جذب صوت و نیز برخورداری از ضریب انتقال حرارت مناسب در کنار سایر مزایای آن‌ها مانند فراوانی، ارزان بودن، منشأ طبیعی و ... می‌تواند این مواد را به گزینه مناسبی برای جایگزین نمودن برخی مواد مصنوعی حاصل از مشتقات نفتی، تبدیل نماید. دانسیته کم‌تر پانل‌های عایقی و اهمیت بیش‌تر ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها نسبت به خواص مکانیکی، کاربرد ویژه‌ای را برای مواد لیگنوسلولزی فراهم می‌آورد و می‌توان گفت چسبندگی ضعیف‌تر اجزا در این نوع کامپوزیت همانند پانل‌های فشرده یک معضل نبوده و در عین برخورداری از حداقل خواص مکانیکی می‌توان از قابلیت ویژه آن‌ها در خواص فیزیکی بهره جست. با استفاده از مقادیر ناچیز مواد سخت‌کننده بر پایه ایزوسیانات می‌توان با ایجاد اتصالات عرضی، علاوه بر کاهش چشمگیر زمان گیرایی و زمان تولید پانل‌ها، مقاومت به رطوبت اتصالات در رزین پلی‌وینیل‌استات را تا حد زیادی بهبود بخشید. شایان ذکر است که کاربرد مواد لیگنوسلولزی حاصل از کشاورزی با توجه به اهمیت ارزیابی چرخه زندگی (LCA) در جوامع بین‌المللی و هم‌چنین ایجاد ارزش افزوده در این مواد با تولید فرآورده‌های ساختمانی، امتیازاتی است که در سایر فرآورده‌های سنتزی دیده نمی‌شود.

سپاسگزاری

از شرکت رزین‌سازان بابت همکاری صمیمانه و در اختیار قرار دادن رزین هوموپلیمر وینیل‌استات و اطلاعات فنّی جهت انجام پژوهش قدردانی می‌گردد.

1- Water-based binder

منابع

1. AL-Oqla, F.M., and Omari, M.A. 2017. Sustainable biocomposites: challenges, potential, and barriers for development. P 13-29. In: M. Jawaid, S. Sapuan, and O. Alothman (eds). Green biocomposites. Green energy and technology. Springer Press, Cham, Switzerland.
2. Asdrubali, F., Alessandro, F., and Schiavoni, S. 2015. A review of unconventional sustainable building insulation materials. J. of Sustainable Materials and Technology. 4: 1-17.
3. Asdrubali, F., Schiavoni, S., and Horoshenkov, K.V. 2012. A review of sustainable materials for acoustic applications. J. of Building acoustics. 19: 4. 283-311.
4. ASTM C165-07, Standard test method for measuring compressive properties of thermal insulations, ASTM International, West Conshohocken, PA. 2017.
5. ASTM E413-15, Classification for rating sound insulation, ASTM International, West Conshohocken, PA. 2015.
6. Balador, Z., Gjerde, M., Isaacs N., and Imani, M. 2018. Thermal and acoustic building insulations from agricultural wastes. P 324-344. In: L. Martínez, O. Kharissova, and B. Kharisov (eds). Handbook of eco-materials. Springer, Cham. Switzerland.
7. Beck, A., Heinemann, U., Reidinger, M., and Fricke, J. 2004. Thermal transport in straw insulation. J. of thermal envelope and building science. 27: 3. 227-234.
8. Berardi, U., and Iannace, G. 2015. Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. Building and Environment. 94: 2. 840-852.
9. Bribián, I.Z., Capilla, A.V., and Usón, A.A. 2011. Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. Building and Environment. 46: 5. 1133-1140.
10. Doosthoseini, K., Taghiyari, H., and Elyasi, A. 2014. Correlation between sound absorption coefficients with physical and mechanical properties of insulation boards made from sugar cane bagasse. Composite Part B. 58: 10-15.
11. Doosthoseini, K., and Elyasi, A. 2012. Study on the possibility of using bagasse in manufacture of sound-proof particleboard. Iranian J. of Wood and Paper Industries. 3: 1. 43-52. (In Persian)
12. Fowler, P.A., Hughes, J.M., and Elias, R.M. 2006. Bio composites: technology, environmental credentials and market forces. J. of the science of food and agriculture. 86: 12. 1781-1789.
13. INSO 14827. Thermal insulations-Determination of steady-state transmission properties-calibrated and guarded hot box. Iran national standard organization press. 2013. (In Persian)
14. ISIRI 8621. 2006. Construction materials - Thermal performance of building material and products with high and medium thermal resistance - Determination of thermal resistance-Guarded hot plate and heat flow meter. Test method. Iran national standard organization press. (In Persian)
15. Liu, D., and Xia, K.F. 2012. Manufacturing of a bio composite with both thermal and acoustic properties. J. of Composite Materials. 46: 9. 1011-1020.
16. Manfred, A., and Oliver, M.E. 2011. Biodegradability of poly vinyl acetate and related polymers. J. of Advanced Polymer Science. 245: 137-172.
17. Mati-Baouche, N., Baynast, H.D., Michaud, P., Dupont, T., and Leclaire, P. 2016. Sound absorption properties of a sunflower composite made from crushed stem particles and from chitosan bio-binder. J. of Applied Acoustic. 111: 179-187.
18. Nandanwar, A., Kiran, M., and Varadarajulu, K. 2017. Influence of density on sound absorption coefficient of fiber board. J. of Acoustics. 7: 1. 1-9.
19. National building regulation of Iran. 2009. 18th Chapter; Sound insulation and adjustment. National regulations of building office. 37p. (In Persian)
20. Paiva, A., Pereira, S., Sá, A., Cruz, D., Varum, H., and Pinto, J. 2012. A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards. Energy and Buildings. 45: 274-279.

21. Pinto, J., Paiva, A., Varum, H., and Cruz, D. 2011. Corn's cob as a potential ecological thermal insulation material. Energy and Buildings. 43: 8. 1985-1990.
22. Rassam, G.H., Rangavar, H., Taghiary, H.R., and Taheri, A. 2012. Study on the possibility of using sunflower stalk in particleboard production. Iranian J. of Wood and Paper Industries. 2: 2. 83-97. (In Persian)
23. Ryan, C. 2011. Traditional construction for a sustainable future. Taylor & Francis. London. 373p.
24. Saadatnia, M., Ebrahimi, Gh., and Tajvidi, M. 2008. Comparing sound absorption characteristic of acoustic boards made of aspen particles and different percentages of wheat and barley straws. In|: 17th world conference on nondestructive testing, 25-28 Oct 2008, Shanghai, China.
25. Thompson, R., and Thompson, M. 2013. Sustainable materials, processes, and production. Thames and Hudson, London. 224p.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 27 (3), 2020
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2020.17720.1853

Investigation on the influence of raw material type on properties of ligno-cellulosic green insulation composite

***H.R. Edalat[1], A. Najafi Amiri[2], T. Tabarsa[1] and M. Madhoushi[1]**
[1]Faculty Member of Wood Technology and Engineering Department, Faculty of Wood and Paper Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,
[2]Ph.D. Student of Wood-Based Composite, Wood Technology and Engineering Department, Faculty of Wood and Paper Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
Received: 03.02.2020; Accepted: 05.24.2020

Abstract

Background and Objectives: The goal of this study was the production of thick insulation panel with ligno-cellulosic residuals and biodegradable binder and evaluation of their physical and mechanical properties. Previous studies showed that the application of ligno-cellulosic residuals in the building has a long history in different places of the world. Many research found that it is useful to use ligno-cellulosic materials such as bagasse, wheat, and rice straw, and sunflower stem in the composition of wood-based panels to improve physical performance.

Materials and Methods: The panels were made with 150, 175, and 200 $kg.m^{-3}$ density and 30 mm thickness using three types of raw materials include; wheat, rice, and rapeseed straws. The bonding agent was Vinyl-Acetate homopolymer and the production process consisted of a cold press and 55 °C close system dryer. The compression strength perpendicular to surface and modulus of elasticity were evaluated as mechanical characteristics and sound transmitted class, the rate of temperature exchange and heat conductivity tests were done to probe the physical performances.

Results: The results showed that the material type has a significant effect on the physical properties and mechanical performances of produced panels. The panels made with rapeseed straws represented a higher amount of compression strength (64 kPa) and modulus (930 kPa) compare to two other raw materials while the physical performance of it was lower than that of wheat and rice straws. Overall, the insulation panels made with natural raw materials represented higher STC than Polystyrene panels. The STC of insulation panels made from wheat straw with the highest density was measured as 17 dB. The results of the heat conductivity test showed that the heat conductivity coefficient of panels made with wheat and rice straws meets the coefficient of heat insulation materials. An increase in panel density caused an enhancement in all properties, especially in wheat straw panels.

Conclusion: The ligno-cellulosic materials result from agricultural crops like wheat, rice, and rapeseed could be used as suitable raw materials to produce green insulating panels. Among them, the wheat and rice straw due to better performance in sound absorption and heat insulation are preferred rather than rapeseed. With this kind of panels, it is possible to reduce petroleum derivatives usage in construction and compensate a part of the minus effects of this industry on the environment. Using lower energy during the production and a small amount of greenhouse gas outcome compare to synthetic materials are two specific features of biodegradable composites which caused production and wide application of them especially in industrialized nations.

Keywords: Biodegradable, Green insulation panel, Sound transmitted class, Thermal conductivity coefficient, Vinyl-acetate homo-polymer

*Corresponding author: edalat.hr@gmail.com