

## خصوصیات مکانیکی پانل ساندویچی سبک ساخته شده از

### ساقه آفتابگردان و ضایعات لایه صنوبر

- ❖ محمد شمسیان\*؛ استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه زابل، زابل، ایران
- ❖ طه سخندان؛ دانشجوی کارشناسی ارشد فرآورده‌های چندسازه چوبی دانشگاه زابل، زابل، ایران
- ❖ حمیدرضا منصوری؛ استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه زابل، زابل، ایران
- ❖ علی بیات کشکولی؛ دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه زابل، زابل، ایران

#### چکیده

پانل‌های ساندویچی چوبی به دلیل ساختار منحصربه‌فرد خود، ویژگی‌های خاصی دارند که مهم‌ترین آنها را می‌توان مقاومت مکانیکی زیاد نسبت به وزن کم دانست. این پانل‌ها می‌توانند جایگزین مناسبی برای سیستم‌های سنتی ساختمان در ایران باشند. هدف این پژوهش بررسی خصوصیات مکانیکی پانل ساندویچی سبک‌وزن ساخته شده از پسماند ساقه آفتابگردان و ضایعات لایه صنوبر است. برای ساخت این نوع پانل از چسب ملامین/اوره فرمالدئید با نسبت‌های (۲۰:۸۰، ۳۵:۶۵، ۵۰:۵۰)، خرده‌های ساقه آفتابگردان و ضایعات لایه صنوبر با نسبت اختلاط (۰:۱۰۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵، ۱۰۰:۰) و لایه صنوبر ۱/۸ میلی‌متری برای سطوح پانل و پرس یک‌مرحله‌ای استفاده شد. آزمون‌های مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی و مقاومت به فشار موازی الیاف به ترتیب مطابق با استاندارد ASTM آیین‌نامه C393، D1037 و C364 انجام گرفته است. نتایج آزمون‌های مکانیکی توسط تجزیه واریانس و گروه‌بندی میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن با سطح اطمینان ۹۵ درصد تجزیه و تحلیل شد. نتایج بیانگر این بود که با افزایش نسبت ملامین به اوره فرمالدئید مقاومت‌ها به صورت چشمگیری افزایش پیدا کرد. پانل‌ها با مغزی خالص ساقه آفتابگردان و لایه صنوبر به ترتیب بیشترین مقاومت خمشی ۱۹ و ۲۵ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته ۶۰۰۳ و ۸۰۰۴ مگاپاسکال و چسبندگی داخلی ۰/۳۱ و ۰/۴۳ مگاپاسکال را داشتند. در زمینه مقاومت به فشار موازی، الیاف پانل ساندویچی با مغزی خالص ساقه آفتابگردان با ۶/۹ مگاپاسکال بیشترین مقاومت را داشت و با افزایش نسبت اختلاط ساقه آفتابگردان با خرده لایه صنوبر در مغزی، مقاومت‌ها کاهش یافت.

واژگان کلیدی: پانل ساندویچی، پانل سبک‌وزن، خصوصیات مکانیکی، ساقه آفتابگردان، ملامین/اوره فرمالدئید.

## مقدمه

با افزایش روند مصرف فرآورده‌های چوبی در بخش‌های مختلف ساختمان‌ها، نیاز به تأمین منابع اولیه صنایع تولیدکننده پانل‌های ساختمانی بیشتر به چشم می‌خورد؛ مواد اولیه گسترده‌ای در ساخت انواع پانل ساختمانی استفاده می‌شود که مواد لیگنوسلولزی از مهم‌ترین آنها به‌شمار می‌روند و بیشترین سهم از این گروه متعلق به چوب است.

با توجه به محدود بودن منابع جنگلی ایران و سیاست حفظ محیط زیست و صیانت از جنگل‌های تأمین‌کننده چوب در کشور، بدیهی است یکی از چالش‌های مهم صاحبان صنعت ساخت صفحات فشرده و پانل‌های چوبی، تأمین حجم مورد نیاز مواد اولیه خط تولید و کاهش هزینه تهیه مواد اولیه در دوره‌های مختلف زمانی است که نیازمند برنامه‌ریزی گسترده و همه‌جانبه به‌منظور جبران کمبود مواد چوبی است. در این میان استفاده بهینه از مواد اولیه لیگنوسلولزی کشور ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. از این‌رو با توجه به این محدودیت‌ها، استفاده از مواد لیگنوسلولزی به‌دست‌آمده از پسماندهای کشاورزی و شناخت منابع لیگنوسلولزی کشور و نحوه کاربرد اصولی آنها، قبل از هر اقدامی، ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

یکی از منابع لیگنوسلولزی به‌دست‌آمده از پسماندهای کشاورزی، پسماند ساقه گیاه آفتابگردان است که هم‌اکنون در بخش بزرگی از اراضی کشاورزی ۲۲ استان کشت می‌شود. برپایه آمارهای سال ۱۳۸۸ وزارت جهاد کشاورزی، سطح کل برداشت آفتابگردان در سال زراعی ۱۳۸۷ در کشور ۶۳۹۶۸ هکتار بوده که از این سطح، در کل ۸۹۴۴۰ تن آفتابگردان برداشت شده

است [۱]. ساقه آفتابگردان به دلیل ارزش غذایی اندک، برای تغذیه دام مناسب نیست. این حجم چشمگیر سالانه بعد از برداشت محصول مدت زیادی در زمین کشاورزی بدون استفاده باقی می‌ماند و در نهایت توسط کشاورزان با صرف هزینه‌های بسیار زیاد سوزانده و به خاکستر تبدیل شده یا در فرایند شخم‌زنی دفن می‌شود؛ در صورتی که از این ماده می‌توان به‌عنوان جزء اصلی تشکیل‌دهنده پانل‌های ساختمانی چوبی سبک‌وزن استفاده کرد.

پانل‌های ساندویچی سبک و عایق ساخته‌شده حاصل از منابع لیگنوسلولزی، در بسیاری از کشورهای صنعتی و در حال توسعه از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است که دلیل آن را می‌توان تنوع کاربرد در قسمت‌های مختلف اجزای ساختمان، فرایند به‌نسبت ساده تولید، انعطاف‌پذیری بسیار زیاد در مواد اولیه و همچنین پتانسیل زیاد در ایجاد اشتغال ذکر کرد. بدین سبب استفاده مطلوب از منابع لیگنوسلولزی و بهبود کیفیت فرآورده‌های تولیدی صنایع تولیدکننده پانل‌های چوبی که تأکید ویژه‌ای بر مصرف پسماند، پوست درختان و مواد لیگنوسلولزی حاصل از مزارع کشاورزی و درختان باغی کم‌ارزش دارند، جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است.

پژوهش حاضر به بررسی خصوصیات مکانیکی و امکان استفاده از ضایعات ساقه آفتابگردان و لایه صنوبر در ساخت پانل ساندویچی سبک می‌پردازد. به‌واسطه استفاده از پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی، می‌توان پانل‌های ساندویچی با اجزا و مواد اولیه سبک و مقاوم در برابر تنش ساخت؛ علاوه بر این، با انتخاب نسبت صحیح مواد اولیه، می‌توان پانل‌هایی به‌دست آورد که در برابر رطوبت، عوامل جوی و ...

دانسیتته متوسط، دارای ویژگی های مقاومتی استاندارد است و برای مصارف مبلمان و تزئینی توصیه می شود [۳].

اینس و همکاران (۲۰۰۵) مقاومت خمشی، مدول کشسانی و مقاومت به نیروی کششی ساقه آفتابگردان با کمترین میزان مغز ساقه (۲۰ درصد) را برای به کارگیری در ترکیب تخته های با دانسیته متوسط بررسی کردند. نتایج نشان داد تخته های به دست آمده، ویژگی های مقاومتی ضعیفی برای ساخت مبلمان و بسته بندی داشتند [۴].

رسام و همکاران (۲۰۱۲) امکان استفاده از ساقه آفتابگردان به منظور ساخت تخته خرده چوب سبک با دانسیته کم را بررسی کردند. نتایج این پژوهش بیانگر این بود که استفاده از خرده های ساقه آفتابگردان در تخته سبب افزایش واکشیدگی ضخامت طی ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب، میرایی صوتی، همچنین افزایش مقاومت خمشی، مدول کشسانی و چسبندگی درونی شد. با استفاده از ۷۰ درصد ساقه آفتابگردان و رزین ایزوسیانات تخته هایی با ویژگی های کاربردی قابل قبول و مناسب برای مصارف داخلی ساختمان تولید می شود [۱].

دوایگاو و همکاران (۲۰۱۱) خصوصیات مکانیکی مواد ساندویچی را بررسی کردند که هر کدام صد درصد از منابع زیستی بودند و با روش قالب گیری کیف خلأ ساخته شده بودند. زمان قالب گیری و دمای مطلوب برای اطمینان از اشباع خوب و اجتناب از تخریب، به ترتیب ۶۰ دقیقه و ۱۸۰ درجه سانتی گراد بود. خصوصیات مکانیکی پانل های ساندویچی از منابع

مقاوم باشند. همچنین اتصال مغزی به سطوحی با کیفیت بهتر، راهکار کارآمدی برای مقاومت مطلوب پانل ها در برابر خمش و بارهاست. سختی و مقاومت زیاد نسبت به وزن پانل ساندویچی تولید شده، موجب استفاده از آن در فضاییها، ساختمان هواپیماها، کشتی های نیروی دریایی، قطارها و کامیون ها، تانک ها، کانتینرها و اجزای بدنه ماشین و نیز در ساختمان سازی شده است. این پانل ها به واسطه نوع کاربرد در قسمت های مختلف اجزای ساختمان، فرایند به نسبت ساده تولید و همچنین انعطاف پذیری بسیار زیاد در مواد اولیه لازم، برای استفاده در ساختمان ها مناسب است و در صنعت ساختمان به صورت وسیعی در دیواره ها، سقف، کف و رویه درها کاربرد زیادی دارد. تحقیقات متعددی در زمینه ساخت پانل های ساندویچی و استفاده از ضایعات ساقه آفتابگردان صورت گرفته است که به مرور برخی از مهم ترین آنها پرداخته می شود.

جرت ججنسن (۱۹۷۷) پژوهشی در مورد استفاده از ساقه آفتابگردان در ساختن تخته خرده چوب انجام داد؛ وی با روش های مختلف ساقه آفتابگردان را مغزگیری کرد و با مخلوط آنها و خرده چوب های صنوبر، اقدام به ساخت تخته کرد. نتایج تحقیق وی نشان داد که خواص فیزیکی و مکانیکی تخته ساخته شده با افزوده شدن ساقه آفتابگردان به ترکیب ماده چوبی افزایش یافت و تخته هایی که از اختلاط ۵۰ درصد صنوبر و ۵۰ درصد ساقه آفتابگردان مغزگیری شده بودند، بیشترین افزایش را نشان دادند [۲].

کریستوا و همکاران (۱۹۹۸) بیان داشتند که تخته های ساخته شده از ساقه آفتابگردان بدون مغز با

چن و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی مدول الاستیسیته پانل ساندویچی ساخته شده از مغزی لانه زنبوری کاغذ کرافت و پوسته از جنس MDF پرداختند. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که کاهش نسبت ضخامت مغزی به پوسته در این پانل‌ها موجب افزایش مدول الاستیسیته می‌شود و نمونه‌های ساخته شده با ضخامت مغزی کمتر و ضخامت پوسته بیشتر، مدول الاستیسیته بیشتری دارند [۹].

خطیبی و رحیمی (۲۰۰۴) خواص فیزیکی و مکانیکی پانل ساندویچی ساخته شده از مغزی پلی پروپیلن و پوسته‌هایی از جنس کامپوزیت‌های چوبی را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که این ساختارها در مقابل فشار همانند فیر عمل می‌کنند و برای تغییر شکل آنها انرژی به نسبت زیادی لازم است. براساس نتایج این تحقیق، افزایش ضخامت لایه میانی اثر چندانی بر خواص فشاری ندارد، اما خواص خمشی با افزایش ضخامت تا حد زیادی افزایش می‌یابد [۱۰].

غفرانی و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر نوع مغزی و پوسته بر مقاومت‌های مکانیکی پانل ساندویچی سبک وزن پرداختند. نتایج نشان داد که مقاومت‌های مکانیکی پانل ساخته شده از مغزی فوم پلی اورتان، به دلیل تراکم بیشتر و سطح اتصال مناسب با پوسته، نسبت به پانل سبک وزن ساخته شده از مغزی لانه زنبوری کاغذ کرافت بیشتر بود. در نمونه‌های ساخته شده از پوسته MDF، با افزایش ضخامت پوسته، مقاومت‌های پانل ساندویچی افزایش یافت و بهترین نتایج در پانل ساندویچی ساخته شده از پوسته تخته لایه و مغزی فوم پلی اورتان به دست آمد [۱۱].

زیستی نسبت به پانل‌های ساندویچی ساخته شده از الیاف شیشه‌ای سستی، پلی استر و بالزا مطلوب‌تر بود. همچنین میانگین مقاومت خمشی ۳۰ درصد کمتر از پیش‌بینی‌ها بود [۵].

سمپاترچن و ویجی یارگاون (۱۹۹۲) بررسی‌هایی را به منظور ساخت تخته خرده‌چوب عایق با استفاده از پنج نوع از ضایعات لیگنوسلولزی کشاورزی انجام دادند و مشاهده کردند که تخته‌های ساخته شده از ساقه ذرت دارای حداکثر عامل تصفیه و حذف سر و صدای مزاحم (نویز) صوت بودند، به طوری که ساخت تخته خرده‌چوب معمولی از همین ضایعات نشان داد که تخته‌های ساخته شده از ساقه ذرت، کیفیت بهتری از نظر خواص مکانیکی و مقاومت به نگهداری پیچ و میخ نسبت به بقیه تخته‌ها دارند و برای استفاده در داخل ساختمان پیشنهاد می‌شوند [۶].

بارباتس و واسیلیو (۲۰۰۵) با بررسی خواص مقاومتی پانل ساندویچی با مغزی لانه زنبوری کاغذی و سطوحی از جنس تخته خرده‌چوب، نتیجه گرفتند که مقاومت به ضربه خمشی پانل‌های ساخته شده بسیار زیاد است. همچنین توان خمشی در مقابل ضربه این پانل نسبت به دانسیته و ضخامتش زیاد و قابل قبول بوده و بیشتر از توان خمشی تخته خرده‌چوب است [۷].

شالبافان و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی پانل‌های چوبی سبک وزن ساخته شده از مغزی‌های فومی، تأثیر ضخامت پوسته و نوع مغزی بر مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی و مقاومت ویژه پانل‌های تولید شده را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش ضخامت سطح، مقاومت خمشی پانل‌ها افزایش می‌یابد [۸].

می دهد که تخته های حاصل از رزین اوره ملامین فرمالدئید خصوصیات فیزیکی بهتری دارند و سبب کاهش انتشار فرمالدئید تخته خرده چوب و تخته های مشابه می شوند [۱۴].

تام یورا و همکاران (۲۰۰۱) اثر مقدار ملامین موجود در رزین ملامین اوره فرمالدئید را بر ساختار رزین گیرا شده بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که با افزایش نسبت ملامین به دلیل افزایش پیوند عرضی در ساختار نهایی رزین گیرا شده، قدرت اتصال بهبود می یابد [۱۵].

مطابق با موارد ذکر شده هدف از این پژوهش بررسی خواص مکانیکی پانل ساندویچی سبک و تعیین حد مطلوب نسبت های چسب ملامین/اوره فرمالدئید و همچنین ساقه آفتابگردان به ضایعات لایه صنوبر در لایه میانی است.

### مواد و روش ها

در این پژوهش به منظور ساخت پانل ساندویچی سبک، از ضایعات ساقه آفتابگردان و ضایعات لایه صنوبر برای مغزی و لایه صنوبر برای رویه استفاده شده است. خرده های ضایعات ساقه آفتابگردان و ضایعات لایه صنوبر در پنج سطح (۱۰۰:۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۱۰۰:۰) با همدیگر مخلوط و استفاده شد. به منظور چسباندن خرده ها از ۳ نسبت چسب ملامین - اوره فرمالدئید (۲۰:۸۰، ۳۵:۶۵ و ۵۰:۵۰) استفاده شد (جدول ۱). بنابراین ۱۵ (۵×۳) تیمار وجود دارد که هر کدام با سه تکرار انجام گرفته و در کل ۴۵ پانل ساخته شده است.

مواد استفاده شده به شرح زیر است:

صفراری و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تأثیر نوع پوسته و نوع چسب مصرفی بر خواص مکانیکی پانل های ساندویچی ساخته شده از کاغذ لانه زنبوری دریافتند که بیشترین مقادیر خواص مکانیکی متعلق به تیمارهای تخته فیبر سخت و با استفاده از چسب اپوکسی، و بهترین ترکیب برای ساخت پانل های ساندویچی چوبی، ترکیب چسب اپوکسی و تخته فیبر سخت دورو صاف بدون روکش است [۱۲].

مزینانی و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی، پانل های ساندویچی با مغزی بالزا و شبکه لانه زنبوری را از دیدگاه نظری و تجربی مقایسه کردند. آنان از بالزا و لانه زنبوری در لایه میانی استفاده کردند. وزن سازه پانل را توسط مغزی بالزا کاهش دادند و بهترین خواص را از نظر سبکی و افزایش استحکام به دست آوردند. مغزی بالزا در مقایسه با مغزی لانه زنبوری دارای مزایای بیشتری مانند استحکام کششی و فشاری زیاد، تنش برشی و مدول برشی و سفتی خمشی زیاد بوده و نسبت استحکام به وزن مغزی بالزا نسبت به لانه زنبوری بیشتر از پنج برابر است. آنان با توجه به مقایسه نتایج کاهش مصرف سوخت، ویژگی هایی مانند افزایش توان باربری با توجه به کاهش وزن مواد مصرفی در ساخت شناور (که یکی از عامل های بسیار مهم در شناورهای تندرو با کاربری نظامی است)، افزایش شتاب، استحکام بدنه شناور و در نتیجه قابلیت افزایش عملیات در فشارهای شدید را عنوان کردند [۱۳].

نو و کیم (۲۰۰۷) ویژگی های فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب ساخته شده از رزین اوره ملامین فرمالدئید را بررسی و با تخته خرده چوب ساخته شده از اوره فرمالدئید مقایسه کردند. یافته های آنها نشان

رطوبت تا ۸ درصد قرار گرفت. پس از خشک شدن، لایه‌ها به ابعاد  $62 \times 52$  سانتی متر برش خوردند و آماده استفاده شدند. همچنین ضایعات لوله‌بری صنوبر نیز از این کارخانه تهیه و با استفاده از خرمن کوب و الک آزمایشگاهی مشابه ساقه‌های آفتابگردان فراوری و برای استفاده آماده شد.

**چسب:** چسب اوره فرمالدئید پودری از کارخانه چسب سامد مشهد و چسب ملامین فرمالدئید پودری از کارخانه چسب شیراز تهیه و با نسبت‌های ذکر شده با هم مخلوط و بدون استفاده از هاردنر در ساخت پانل‌ها استفاده شد. جدول ۲ مشخصات رزین‌های مایع به کاررفته در سطوح لایه‌ها را به اختصار نمایش می‌دهد.

تجزیه و تحلیل آماری در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و طرح فاکتوریل برای تعیین اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۰) انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

**ضایعات ساقه آفتابگردان:** ساقه آفتابگردان از زمین‌های کشاورزی روستای بدل‌آباد شهرستان خوی تهیه و به منظور خشک شدن دو هفته در معرض نور خورشید در هوای آزاد قرار داده شد. ساقه‌ها با استفاده از دستگاه خرمن کوب خرد و تا رطوبت ۶ درصد تحت تابش آفتاب شهرستان زابل خشک شدند. برای اطمینان از خشک شدن خرده‌های ساقه آفتابگردان به میزان ۶ درصد، رطوبت خرده‌ها با استفاده از دستگاه اتو اندازه‌گیری شد. سپس خرده‌ها همراه با مغزی ساقه با استفاده از الک آزمایشگاهی دانشگاه زابل الک شد. در این مرحله الک‌هایی با سوراخ‌های ۱۰ میلی‌متری و ۶ میلی‌متری و هر بار به مدت ۳ دقیقه به کار گرفته شد و از ذرات باقی‌مانده بر روی الک ۶ میلی‌متری در این پژوهش استفاده شد.

**لایه صنوبر:** لایه‌ها از کارخانه برادران گوشچی شهرستان خوی فراهم شد. لایه‌ها با دستگاه لوله‌بر به ضخامت  $1/8$  میلی‌متر تهیه شد و سپس در اتاق خشک‌کنی کارخانه به مدت دو روز به منظور کاهش

جدول ۱. سطوح و علامت‌های متغیرهای پژوهش

نسبت رزین ملامین به اوره فرمالدئید			نسبت ساقه آفتابگردان به ضایعات لایه صنوبر
۵۰:۵۰	۳۵:۶۵	۲۰:۸۰	
P100-M50	P100-M35	P100-M20	۰:۱۰۰
P75-M50	P75-M35	P75-M20	۲۵:۷۵
P50-M50	P50-M35	P50-M20	۵۰:۵۰
P25-M50	P25-M35	P25-M20	۷۵:۲۵
S100-M50	S100-M35	S100-M20	۱۰۰:۰

S: خرده ساقه آفتابگردان، P: خرده لایه صنوبر، M: ملامین فرمالدئید

جدول ۲. ویژگی رزین‌های استفاده شده

نوع رزین	دانسیتته ( $gr/cm^3$ )	ویسکوزیته (cps)	زمان زله‌ای شدن (s)	اسیدیته (pH)
اوره فرمالدئید	۱/۲۷	۳۵۰	۵۵	۷/۶
ملامین فرمالدئید	۱/۲۱	۴۴۵	۵۸	۹/۱

cps: centipoise

### ساخت پانل ساندویچی

بعد از تهیه مواد، قالبی به ابعاد  $60 \times 50$  سانتی متر برای تشکیل کیک ساخته شد. دانسیته هدف  $g/cm^3$  برای لایه میانی پانل ساندویچی ثابت در نظر گرفته شد. خرده‌های ساقه آفتابگردان و ضایعات لایه صنوبر با نسبت‌های مذکور مخلوط شده و در دستگاه چسبزن آزمایشگاهی دانشگاه زابل با ۱۲ درصد چسب ملامین/اوره فرمالدئید و به صورت اسپری آب تا رساندن رطوبت کیک به ۱۴ درصد و به صورت پودری به مدت ۱ دقیقه چسب زنی شد. دو لایه صنوبر با ابعاد  $62 \times 52$  سانتی متر برای هر پانل با استفاده از همان نسبت ملامین به اوره و با غلظت ۷۰ درصد و بر مبنای ۱۰۰ گرم پودر چسب برای هر متر مربع رزین مایع آماده شده بر روی لایه‌ها با کاردک به صورت همسان و یکنواخت پخش شد. سپس قالب بر روی لایه چسب زنی شده قرار گرفت و کیک لایه میانی تشکیل و پیش پرس شد و لایه صنوبر دوم بعد از برداشتن قالب بر روی لایه میانی قرار گرفت. سپس کیک نهایی ۱۵ دقیقه در داخل پرس گرم آزمایشگاهی دانشگاه زابل با دمای ۱۸۰ درجه، فشار  $30 \text{ kg/cm}^2$  بر روی پانل قرار گرفت. از دو شابلون به ضخامت ۲۵ میلی متر در فرایند پرس استفاده شد. پانل ساخته شده ۱۰ روز در محیط آزمایشگاه برای متعادل سازی باقی ماند و سپس برای تهیه نمونه آزمایشگاهی پانل‌ها برش خورد و آماده شد.

### رطوبت

رطوبت کیک پانل ساندویچی متشکل از رطوبت خرده‌های ساقه آفتابگردان و صنوبر، لایه چوبی صنوبر سطوح پانل ساندویچی و همچنین رطوبت

رزین مایع استفاده شده در سطح لایه صنوبر و آب اسپری شده بر روی خرده‌ها در لایه مغزی است. همچنین شایان ذکر است که رطوبت پانل بعد از پرس و متعادل سازی به صورت میانگین در حدود ۶ درصد اندازه گیری شد.

### دانسیته

افزایش دانسیته عامل بسیار تأثیرگذاری بر بهبود ویژگی‌های مکانیکی پانل‌های ساختمانی سبک از جمله پانل‌های ساندویچی است؛ اما افزایش وزن در اجزای ساختمان‌ها موجب بروز مشکلاتی همچون برشکاری و ماشین کاری دشوار، افزایش هزینه‌های حمل و نقل، زمان نصب و تحمیل بار مرده به سازه ساختمان‌ها و ... می‌شود. یکی از راه‌های کاهش وزن و سبک سازی استفاده از مواد اولیه سبک و فوق سبک در ساخت این گروه از پانل‌ها به خصوص در قسمت مغزی آنهاست. ساقه آفتابگردان با دانسیته  $0.36$  گرم بر سانتی متر مکعب و لایه صنوبر و خرده‌های آن با دانسیته  $0.49$  گرم بر سانتی متر مکعب در ساخت پانل ساندویچی با دانسیته هدف  $0.4$  گرم بر سانتی متر مکعب استفاده شد. بعد از ساخت پانل‌ها و متعادل سازی میانگین دانسیته نهایی پانل‌ها  $0.38$  گرم بر سانتی متر مکعب اندازه گیری شد.

### ضریب فشردگی

محاسبه ضریب فشردگی در همه پانل‌های چوبی به خصوص پانل‌های دانسیته کم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ضریب فشردگی عبارت است از دانسیته پانل ساخته شده به دانسیته ماده اولیه لیگنوسلولزی مورد استفاده که در این پژوهش شامل خرده ساقه آفتابگردان و ضایعات لایه صنوبر است. پانل‌های ساخته شده دارای دانسیته  $0.38$  گرم بر

• نمونه‌های مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته مطابق استاندارد ASTM C393 و با طول و عرض به ترتیب ۴۲ و ۷/۵ سانتی متر با سرعت بارگذاری ۵ میلی متر در دقیقه آزمایش شدند [۱۶].

• نمونه‌های چسبندگی داخلی مطابق استاندارد ASTM D1037 و با طول و عرض ۵ سانتی متر و با سرعت بارگذاری ۱ میلی متر در دقیقه آزمایش شدند [۱۷].

• نمونه‌های فشار موازی الیاف مطابق استاندارد ASTM C364 و با طول و عرض به ترتیب ۱۵ و ۵ سانتی متر آزمایش شدند [۱۸].

### نتایج و بحث

نتایج مقاومت‌های مکانیکی توسط تجزیه واریانس و گروه‌بندی میانگین‌ها با آزمون دانکن و با سطح اطمینان ۹۹ درصد تجزیه و تحلیل شد. نتایج تجزیه واریانس و میزان معنی داری در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول نسبت اختلاط ساقه صنوبر و نسبت رزین ملاین اوهر فرمالدئید و اثرگذاری متقابل آنها قرار داده شده است. همچنین جدول ۴ ضریب فشردگی لایه میانی پانل ساندویچی ساخته شده را ارائه می‌کند.

سانتی متر مکعب بود و پانل‌هایی که از نسبت بیشتر ذرات ساقه آفتابگردان تشکیل شده بودند ضریب فشردگی بالاتری داشتند.

### آزمون‌های مکانیکی

در پانل‌های ساندویچی سطوح، مقاومت خمشی و لایه مغزی، مقاومت برشی را تأمین می‌کند. مقاوم بودن در برابر تنش‌های وارد شده به هنگام مصرف و اندازه‌گیری این مقاومت‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. با توجه به اینکه در برخی از موارد پانل‌های ساندویچی نقش دیوار باربر را دارند، در این پانل‌ها مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی و مقاومت به فشار موازی الیاف از ضروریات کار است که باید اندازه‌گیری شود. در آیین‌نامه‌های منتشر شده استاندارد آمریکا نیز این گروه از مقاومت‌ها به عنوان آزمون‌های اصلی معرفی شده است. بنابراین متناسب با هدف و استاندارد آمریکا آزمون‌های مقاومت به برش عمود بر الیاف (چسبندگی داخلی) و مقاومت به خمش و مدول الاستیسیته و مقاومت به فشار متناسب با کاربرد این پانل در این تحقیق مدنظر قرار گرفت.

نمونه‌های آزمون مکانیکی با استفاده از دستگاه تست مکانیکی (HounSFIELD-H25KS) گروه صنایع چوب دانشگاه زابل با سه تکرار مطابق شرایط زیر آزمایش شدند:

جدول ۳. نتایج جدول‌های تجزیه واریانس اثر عوامل مختلف بر مقاومت‌های مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته شده

مقادیر F و معنی داری در آزمون‌های مکانیک				عوامل متغیر مستقل و متقابل
مقاومت خمشی	مدول الاستیسیته	چسبندگی داخلی	فشار موازی الیاف	
۱۱۰/۵۴**	۲۵۶/۸۱**	۶۵/۲۴**	۲/۸۵ (ns)	نسبت ملامین به اوهر فرمالدئید
۹۰۴/۷۳**	۲۷۳۳/۳۹**	۶۶۵/۸۱**	۳۲/۸۳**	نسبت آفتابگردان به صنوبر
۲/۸۹*	۸/۸۱**	۲/۲۹*	۰/۶۲ (ns)	نسبت رزین × نسبت اختلاط ماده اولیه
۰/۹۹۲	۰/۹۹۷	۰/۹۸۹	۰/۸۲۶	ضریب تغییرات

\* معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد، \*\* معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد، (ns) فاقد اثر معنی دار



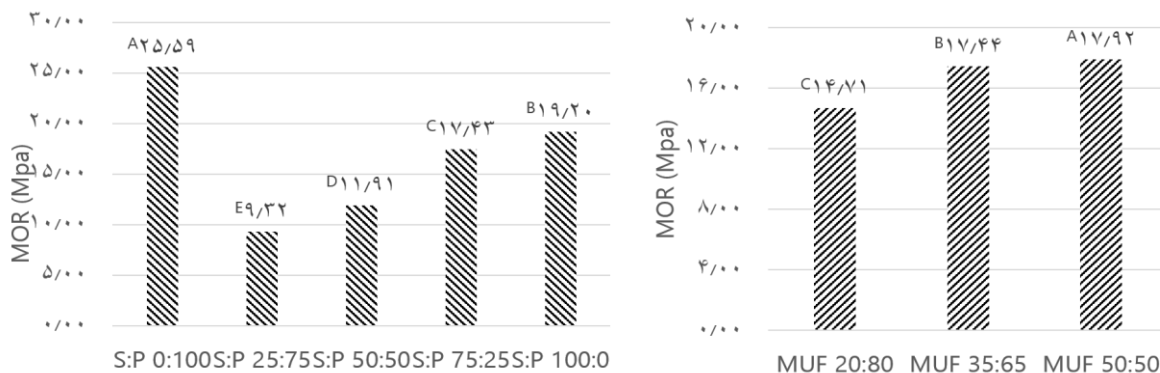
جدول ۴. چگالی ذرات و ضریب فشردگی مواد لایه میانی در دانسیته  $0.38 \text{ g/cm}^3$ 

نوع ماده اولیه	میانگین دانسیته	ضریب فشردگی
ساقه آفتابگردان	۰/۳۶	۱/۰۵۵
ضایعات لایه صنوبر	۰/۴۹	۰/۷۷۵

### مقاومت خمشی

آزمون مقاومت خمشی یکی از مهم‌ترین آزمون‌های تعیین کیفیت و مقاومت پانل‌های ساختمانی چوبی از جمله پانل‌های ساندویچی است. این آزمون نشان‌دهنده تحمل پانل در برابر نیروی خمش است و ارتباط تنگاتنگی با ماده اولیه لایه میانی و رویی، ضریب فشردگی آن و به صورت خاص با کیفیت اتصال رویه به مغزی و فیلم چسب رویه در پانل‌های ساندویچی دارد. مقاومت خمشی پوسته و خزش خمشی پانل ساندویچی سبک وزن رابطه‌ای نزدیک با یکدیگر دارند و با افزایش مقاومت خمشی پوسته‌ها در لایه‌های سطحی پانل مقاومت بیشتری نسبت به تغییر شکل از خود نشان می‌دهد [۹]. همچنین افزایش ضخامت پوسته در پانل سبک وزن، موجب افزایش مقاومت خمشی می‌شود [۸]. استفاده از لایه صنوبر  $1/8$  میلی‌متری در سطوح پانل ساندویچ سبب پوشش مقاومت خمشی پایین لایه میانی شد و مقاومت‌های حاصل در همه سطوح بسیار بالاتر از استاندارد ملی آمریکا بود، به گونه‌ای که مقدار  $5 \text{ MPa}$  اعلام شده استاندارد ملی آمریکا برای مقاومت خمشی پانل‌هایی با دانسیته کمتر از  $0.64$  گرم بر سانتی‌متر مکعب را به دست آورد [۱۹]. شکل ۱ اثر مستقل نسبت رزین و اختلاط ساقه آفتابگردان با ضایعات لایه صنوبر بر مقاومت خمشی پانل‌های ساندویچی ساخته شده را نشان می‌دهد.

اتصال رویه‌ها و لایه میانی در پانل‌هایی که از صنوبر یا آفتابگردان خالص بودند، از کیفیت بهتری برخوردار بود و تحمل تنش بیشتری را داشتند. پانل‌هایی که در لایه میانی از درصد بیشتری ساقه آفتابگردان تشکیل شده بودند به واسطه نفوذ چسب و فشردگی بیشتر، مقاومت بهتری داشتند. به واسطه استفاده از خرده‌های درشت با ضریب لاغری بالا در همه تیمارها خواص خمشی افزایش داشت. مطابق نتایج تجزیه و تحلیل آماری رزین ملامین / اوره فرمالدئید با نسبت ملامین فرمالدئید بیشتر، مقاومت خمشی بیشتری داشت و تیمار نسبت اختلاط رزین در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دار شد. در تیمار ماده اولیه لایه میانی، نسبت اختلاط صنوبر و آفتابگردان خالص بهترین مقاومت خمشی را ایجاد کرد و با افزایش نسبت اختلاط مقاومت خمشی کاهش چشمگیری یافت، به گونه‌ای که اختلاط ۲۵ درصد ساقه آفتابگردان با ۷۵ درصد خرده لایه صنوبر کمترین مقاومت را داشت که در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دار شد. همچنین اثرهای متقابل دو تیمار یاد شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار شد. گرتیه‌جانسن (۱۹۷۷)، کریستوا و همکاران (۱۹۹۸) و رسام و همکاران (۲۰۱۲) نیز در مطالعات خود به نتایج مشابهی دست یافتند [۱، ۲ و ۳].



(حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است).

شکل ۱. اثر مستقل نسبت رزین (راست) و اختلاط ساقه آفتابگردان با ضایعات لایه صنوبر (چپ) بر مقاومت خمشی پانل‌ها

### مدول الاستیسیته

در پانل‌های ساختمانی ارتجاعی بودن<sup>۱</sup> و انعطاف‌پذیری زیاد در برابر بارهای دینامیکی به‌ویژه زلزله و شوک جزو مزایای شایان توجه آنهاست. اغلب پانل‌های ساختمانی برپایه مواد لیگنوسولوزی نیز قابلیت جذب انرژی زیادی در شوک‌های وارد بر اثر زلزله دارند. از مزایای مهم دیگر پانل‌ها ساختمانی سختی و مقاومت زیاد در برابر بارها و تنش‌های وارد شده است که باید ارزیابی شود. مدول الاستیسیته در پانل‌ها ارتباط زیادی به تنش و کرنش حد تناسب دارد و با افزایش مدول الاستیسیته مقاومت نمونه‌ها به‌طور معمول افزایش پیدا می‌کند. در شکل ۲ اثر مستقل نسبت رزین و اختلاط ساقه آفتابگردان با ضایعات لایه صنوبر بر مدول الاستیسیته پانل‌های ساخته‌شده نمایش داده شده است. مطابق نتایج حاصل رزین ملامین اوره فرمالدئید با نسبت ۵۰:۵۰ و پانل‌های ساخته‌شده با ضایعات لایه صنوبر خالص و ساقه آفتابگردان خالص بیشترین مقاومت‌ها را به خود اختصاص دادند و از نظر آماری تیمار رزین و ماده اولیه لایه میانی و اثرهای متقابل آنها در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود. استفاده از اوراق لایه‌ای و چوب

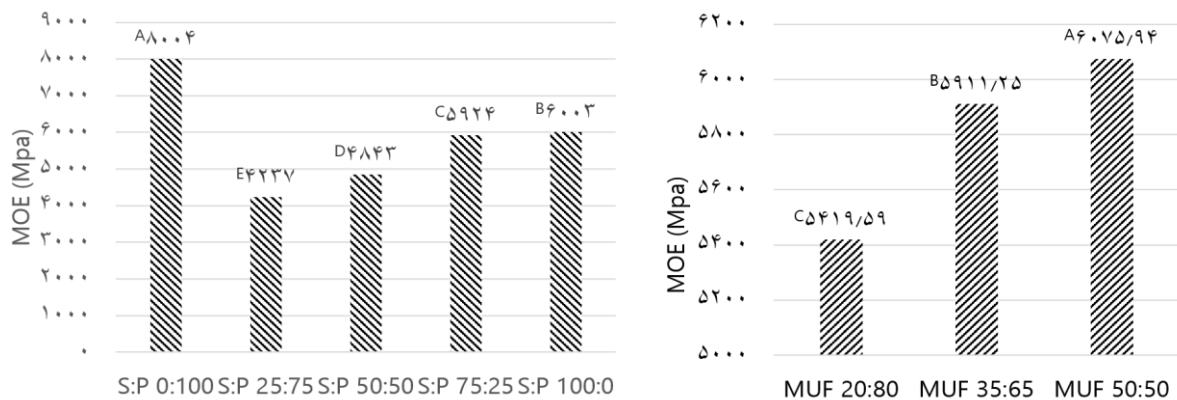
مدول الاستیسیته بیشتری را ایجاد می‌کند و استفاده از آنها در لایه سطحی مدول الاستیسیته پانل سبک‌وزن را افزایش می‌دهد [۲۰]. پانل‌های ساندویچی توپر در مقایسه با پانل‌های ساندویچی لانه‌زنبوری مدول الاستیسیته بیشتری دارند [۱۱].

مطابق با استاندارد ملی آمریکا مقدار مجاز مدول الاستیسیته برای پانل‌هایی با دانسیته کمتر از ۰/۶۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، ۵۵۰ MPa است که همه تیمارها مقدار مجاز اعلام‌شده را کسب کردند.

فیبرهای طولی محصولات کشاورزی بهبود سیستم شبکه‌ای را فراهم می‌کنند و خواص خمشی چندسازه را افزایش می‌دهد [۲۱]. همچنین به‌دلیل پرس یک‌مرحله‌ای لایه‌های سطحی و میانی، پانل‌های ساندویچی ساخته‌شده فیلم چسب قوی و مطلوب داشتند. تر شدن کامل رویه‌های پانل ساندویچی توسط چسب، سبب ایجاد برهمکنش‌های قوی بین رویه‌های چوبی و چسب می‌شود [۲۲]. گاهی علت مقاوم بودن برخی از چسب‌ها، کوچک‌تر بودن مولکول‌های چسب، توزیع یکنواخت‌تر آن روی ذرات و کیفیت مطلوب چسبندگی شیمیایی و مکانیکی آن است [۲۲]. همچنین روش چسب‌زنی

رزین ملامین فرمالدئید بود. رزین ملامین اوره فرمالدئید در ساختار خود دارای پیوندهایی با گروه آمین بیشتری است، به طوری که در چسب اوره دو گروه آمین و در چسب ملامین سه گروه آمین وجود دارد. پیوندهای آمین بسیار محکم اند و به راحتی هیدرولیز و شکسته نمی شوند و هرچه تعداد گروه های آمین در چسب بیشتر باشد، پیوندهای برقرار شده بیشتر و محکم تر خواهند بود [۲۳].

پودری سبب یکنواختی و پخش مناسب رزین در سطوح خرده ها شد و هیچ گونه ضعف اعم از ایجاد حباب یا چسبندگی نامناسب بین ذرات لایه میانی (ساقه آفتابگردان و لایه صنوبر) و رزین پودری ملامین/اوره فرمالدئید وجود نداشت. با کاهش نسبت ملامین فرمالدئید در ترکیب رزین ملامین فرمالدئید به اوره فرمالدئید مقاومت های مکانیکی کاهش یافت که دلیل آن، مقاومت کم رزین اوره فرمالدئید نسبت به



(حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است).

شکل ۲. اثر مستقل نسبت رزین (راست) و اختلاط ساقه آفتابگردان با ضایعات لایه صنوبر (چپ) بر روی مدول الاستیسیته پانل ها

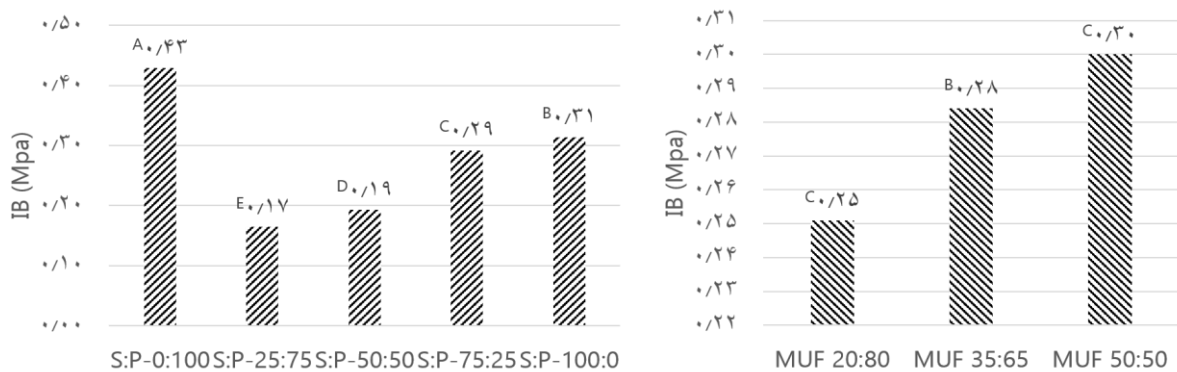
سطح ۹۹ درصد معنی دار است، اما اثرهای متقابل آنها در سطح ۹۵ درصد معنی دار است. مطابق استاندارد ملی آمریکا، مقدار مجاز مقاومت چسبندگی داخلی برای پانل هایی با دانسیته کمتر از ۰/۶۴ گرم بر سانتی متر مکعب MPa ۰/۱۵ است که همه تیمارها مقدار مجاز اعلام شده را کسب کردند. مقاومت چسبندگی داخلی نسبت اختلاط ۲۵:۷۵ و ۵۰:۵۰ ساقه آفتابگردان و خرده لایه صنوبر کمترین حد را به خود اختصاص داد. اغلب ضایعات کشاورزی لایه های موم مانند و شفاف دارند که نفوذ مکانیکی اندکی در برابر چسب دارند. در کل ناسازگاری بین لایه مومی و رزین

### مقاومت چسبندگی داخلی

آزمون چسبندگی داخلی، مربوط به لایه میانی تخته و بیانگر توانایی چسبندگی ذرات ساقه آفتابگردان و لایه صنوبر به همدیگر در مرکزی ترین نقطه تخته است. شرایط مطلوب دمایی در پرس و کیفیت مناسب چسب زنی و چسب مصرفی تأثیر زیادی در موفق بودن نتایج این آزمون دارد. در شکل ۳ اثر مستقل نسبت رزین و اختلاط ساقه آفتابگردان با ضایعات لایه صنوبر بر چسبندگی داخلی پانل های ساخته شده نمایش داده شده است. نتایج تجزیه و تحلیل ها بیانگر این است که تیمار نسبت رزین و اختلاط آفتابگردان و صنوبر در

مطلوب رزین بر ذرات ساقه آفتابگردان و صنوبر به واسطه دانسیته کم و ساختار متخلخل چوب، سبب ورود بسیاری از زنجیره‌های پلیمری به درون این ساختار و در نتیجه خیس شدن چوب توسط رزین می‌شود، درحالی که به دلیل انرژی زیاد زنجیره‌های پلیمری، که با افزایش دما همراه است بسیاری از آنها می‌توانند در درون چوب که انرژی سطحی پایینی دارد نفوذ کنند. قفل شدن مکانیکی بسیاری از زنجیره‌های پلیمری در خلل و فرج چوب نیز به آسانی رخ می‌دهد که می‌توان انتظار داشت فصل مشترکی قوی در سطح تماس رزین و چوب صنوبر ایجاد شود [۱۲]. رسام و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان داشتند که با افزایش نسبت ساقه آفتابگردان، چسبندگی داخلی تخته افزایش پیدا می‌کند [۱].

مابع در سطح ضایعات کشاورزی وجود دارد. ساقه آفتابگردان نیز دارای لایه شفافی است، اما میزان آن از نظر وزنی بسیار کم و از نظر ضخامت نیز نازک است. محلول بودن چسب در آب و از طرفی ناسازگاری آن با لایه مومی سبب می‌شود که ساختار تخته در اثر قرار گرفتن در آب باز شود و خلل و فرج آن افزایش یابد. افزایش خلل و فرج و باز شدن آنها موجب نفوذ بیشتر در خرده‌های لایه صنوبر شده و ممکن است سبب ایجاد خط چسب گرسنه (کمبود میزان چسب) و کاهش چسبندگی با ساقه‌های آفتابگردان شود. به علاوه وجود قسمت مغزی ساقه در ترکیب با صنوبر سبب ناسازگاری و کاهش چسبندگی در نسبت‌های بالای صنوبر شده است. از سوی دیگر، پیوند بسیار قوی بین رزین ملامین فرمالدئید / اوره فرمالدئید و نفوذ مکانیکی



شکل ۳. اثر مستقل نسبت رزین (راست) و اختلاط ساقه آفتابگردان با ضایعات لایه صنوبر (چپ) بر چسبندگی داخلی پانل‌ها (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است).

شکل ۳. اثر مستقل نسبت رزین (راست) و اختلاط ساقه آفتابگردان با ضایعات لایه صنوبر (چپ) بر چسبندگی داخلی پانل‌ها

ضایعات لایه صنوبر بر مقاومت فشار موازی الیاف پانل‌های ساندویچی سبک ساخته شده، در شکل ۴ ارائه شده است. مطابق نتایج تجزیه و تحلیل آماری نسبت رزین ملامین فرمالدئید به اوره فرمالدئید معنی‌دار نبود. رزین‌های ملامین فرمالدئید با شیمی مشابه اوره فرمالدئید و ساختار مولکولی متفاوت با آن، عملکرد

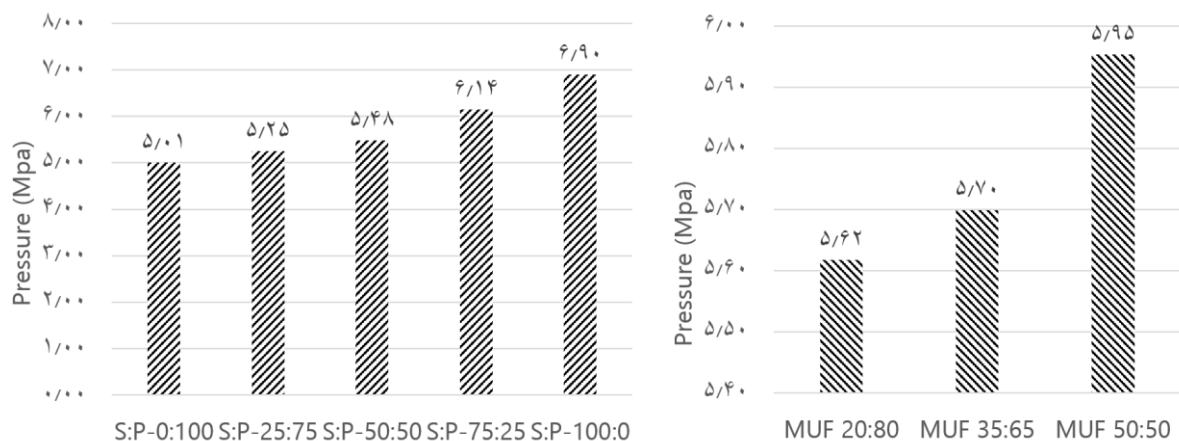
### مقاومت فشار موازی الیاف

آزمون مقاومت به فشار در پانل‌های ساختمانی که تحت بارهای مرده ساختمان واقع می‌شوند، مهم تلقی می‌شود. این آزمون رابطه مستقیمی با دانسیته و نوع ماده اولیه دارد. در دانسیته‌های کم، این مقاومت زیاد نیست. اثر مستقل نسبت رزین و اختلاط ساقه آفتابگردان با

بیشتری به فشار دارند [۱۱]. تراکم بیشتر لایه مغزی موجب تحمل بار بیشتر در پانل های ساندویچی می شود. بهبود اندک برخی ویژگی های تخته ها به ویژه واکنشیدگی ضخامت با افزایش مقدار ملامین، ممکن است به دلیل پیوندهای محکم تر رزین ملامین فرمالدئید و مقاومت به رطوبت این نوع رزین نسبت به رزین اوره فرمالدئید باشد [۱۴، ۱۵]. جرت ججنسن (۱۹۷۷) نیز بیان داشت که با افزایش خرده های ساقه آفتابگردان در ترکیب ماده چوبی، ویژگی های مکانیکی آن افزایش یافت [۲].

اتصال بهبود یافته ای همانند رزین های فنلی دارند. بدین سبب در نسبت های ملامین فرمالدئید بیشتر روند افزایشی مشخصی در مقاومت فشاری در جهت موازی الیاف مشهود بود. در پژوهش حاضر نسبت اختلاط ماده اولیه لایه مغزی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دار شد، اما اثر متقابل دو تیمار معنی دار نشد.

پانل های ساندویچی با رویه لایه ای و چوبی نسبت به رویه های فیبری و خرده ای فشار بیشتری را تحمل می کنند و پانل های ساندویچی با مغزی توپر در مقایسه با پانل های ساندویچی لانه زنبوری مقاومت



(حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است).

شکل ۴. اثر مستقل نسبت رزین (راست) و اختلاط ساقه آفتابگردان با ضایعات لایه صنوبر (چپ) بر مقاومت فشار موازی الیاف پانل ها

چشمگیر نیست و به جز نسبت ۲۵:۷۵ همگی نسبت ها در حد استانداردند. استفاده از ضایعات ساقه آفتابگردان در لایه میانی پانل های ساندویچی ساخته شده نتایج مطلوبی در برابر فشار دارد و با افزایش نسبت آن همواره مقاومت در برابر فشار افزایش می یابد. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که استفاده از اختلاط ساقه آفتابگردان و ضایعات لایه صنوبر در نسبت های بالای ساقه و به صورت خالص، خواص مکانیکی

### نتیجه گیری

نتایج نهایی آزمون های مکانیکی پانل های ساخته شده از ساقه آفتابگردان و ضایعات لایه صنوبر نشان داد که استفاده از ساقه آفتابگردان و ضایعات لایه صنوبر به صورت خالص بهترین مقاومت های خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی را دارد و دیگر نسبت های اختلاط ماده اولیه لایه میانی در رده های بعدی قرار می گیرند؛ اما با وجود کاهش مقاومت ها

به پانل توخالی است و در کاربردهای ساختمانی غیربازبر به عنوان پانل‌های مورد مصرف در دیواره‌ها، سقف، کف، رویه درها و ... به عنوان نوعی پانل سبک و زیست‌محیطی کاربرد دارد.

مطلوب‌تری دارد. پانل سبک‌وزن ساخته شده از ضایعات لیگنوسلولزی به دلیل تراکم مناسب، ایجاد سطح تماس بیشتر با پوسته، توزیع مناسب بار و کاهش تنش وارد شده به سطح دارای برتری محسوسی نسبت

## References

- [1]. Rassam, G., Rangavar, H., Taghiary, HR., and Taheri, A. (2012). Study on the possibility of using sunflower stalk in particleboard production. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 2(2): 83-97.
- [2]. Gertjens, R. O. (1977). Properties of particleboard from sunflower stalks and aspen Planer shavings. *Technical. Bulletin*, 311 (24): 1-8.
- [3]. Khristova, P., Yussifou, N., Gabir, S., Glavche, I., and Osman, Z. (1998). Particleboards from sunflower stalks and tannin modified UF resin. *Cellulose Chemistry and Technology*, 32: 327-337.
- [4]. Ince, A., Ugurluay, S., Guzel, E., and Ozcan, M. T. (2005). Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue. *Biosystem Engineering*, 92(2): 175-181.
- [5]. Duigou, A. L., Deux, J. M., Davies, P., and Baley, C. (2011). PLLA/flax mat/balsa bio-sandwich manufacture and mechanical properties. *Applied Composite Materials*, 18(5): 421-438.
- [6]. Sampathrajan, A., and Vijayaraghavan, N. C. (1992). Mechanical and thermal properties of particle boards made from farm residues. *Bioresources Technology Journal*, 40(3): 249-251.
- [7]. Barboutis, I., and Vassiliou, V., (2005). Strength properties of lightweight paper honeycomb panels for furniture. In :Proceedings of International Scientific Conference, 10th Anniversary of Engineering Design. 17-18 October, Sofia, pp. 1-6.
- [8]. Shalbafan, A., Luedtke, J., Welling, J., and Thoemen, H. (2012). Comparison of foam core materials in innovative lightweight wood-based panels. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(1-3): 287-292.
- [9]. Chen, Z., Yan, N., Deng, J., and Smith, G. (2011). Flexural creep behavior of sandwich panels containing Kraft paper honeycomb core and wood composite skins. *Materials Science and Engineering*, 528(16): 5621-5626.
- [10]. Khatibi, M. A., and Rahimi, H. (2004). Fabrication process and an investigation of properties of thermoplastic honeycomb sandwich panels. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 17(6): 345-351.
- [11]. Ghofrani, M., Pishan, S., and Talaei, A. (2014). The effect of core type and skin on the mechanical properties of lightweight sandwich Panels. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 28(4): 720-731.
- [12]. Saffari, M., Jabbari, M., Najafi, A., Tatari, A., and Ghaffari, M. (2013). The effect of face and adhesive types on mechanical properties of sandwich panels made from honeycomb paper. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 4(2): 157-169.
- [13]. Mazinani, M., Rezaei, H., and Nikfarjam, M. (2007). Comparison between theory and experiment and Balsa sheet honeycomb sandwich construction with cerebral vessels Extremist. In :Ninth Conference on Maritime, , pp. 1-13
- [14]. No, B. Y., and Kim, M. G. (2007). Evaluation of melamine-modified urea-formaldehyde resins as particleboard binders. *Journal of Applied Polymer Science*, 106(6): 4148-4156.
- [15]. Tohmura , S., Inoue, A., and Sahari, S. H. (2001). Influence of the melamine content in melamine-ureaformaldehyde resins on formaldehyde emission and cured resin structure. *Journal of Wood Science*, 47(6): 451-457.
- [16]. ASTM. (2004). Standard test method for flexural properties of sandwich constructions, Annual book of ASTM standard, C 393-00, 2004.

- [17]. ASTM. (2004). Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials, Annual Book of ASTM Standard, D 1037-99, 1999.
- [18]. ASTM. (2004). Standard test method for edgewise compressive strength of sandwich constructions, Annual Book of ASTM Standard, C 364-99, 1999.
- [19]. American National Standard for Particleboard. Composite panel association, Gaithersburg, A208.1, 1999.
- [20]. Cai, Z., and Ross, R. G. (2010) Mechanical properties of woodbased composites materials. Forest Products Laboratory, General Technical Report, 12.1-12.12.
- [21]. Mo, X., Cheng, F., Wang, D., and Sun, X. S. (2003). Physical properties of mediumdensity wheat straw particleboard using different adhesives. *Industrial Crops and Products* 18(1): 47-53.
- [22]. Zanneti, M., and Pizzi, A. (2004). Dependence on the adhesive formulation of the upgrading of MUF particleboard adhesives and decrease of melamine content by buffer and additives. *Holz Roh Werkst*, 62: 445-451.
- [23]. Tasooji, M., Tabarsa, T., and Mohamadi, A. (2010). Manufacturing of wheat straw particleboards based on the mixture of MF and UF resins. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 25(2): 291-301.