

## بررسی تأثیر نوع و ضخامت رویه بر خواص مکانیکی پانل‌های ساندویچی

### چکیده

پانل‌های ساندویچی گروه ویژه‌ای از فرآورده‌های لایه‌ای هستند که اغلب سه‌لایه بوده و مغزی آن‌ها دارای ضخامت بیشتری است، اما سفتی و صلبیت کمتری نسبت به لایه پشت و رو دارند. در این پژوهش تأثیر نوع و ضخامت رویه بر خواص مکانیکی پانل‌های ساندویچی بررسی شده است. عوامل متغیر در این پژوهش شامل، نوع رویه (رویه راش و رویه صنوبر با ضخامت ۳، ۴ و ۵ میلی‌متر) و چسب مصرفی (ایزوسیانات (PMDI)) بوده است. پس از ساخت پانل‌ها، نمونه‌های آزمون مطابق با استاندارد DIN آیین‌نامه EN 326-1 تهیه شدند. خواص مکانیکی پانل‌ها شامل مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی مطابق با استاندارد DIN آلمان آیین‌نامه EN 310 و نیز مقاومت به ضربه پانل‌ها مطابق با استاندارد ASTM آیین‌نامه D3499 اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل، تحت آزمون فاکتوریل صورت گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که ضخامت رویه‌ها تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مقاومتی داشته است. با افزایش ضخامت رویه‌ها از ۳ به ۵ میلی‌متر مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و مقاومت به ضربه افزایش یافته است. با توجه به اثر متقابل بین گونه و ضخامت مشخص شده است که استفاده از گونه راش در ضخامت ۵ میلی‌متر باعث حداکثر شدن مقاومت‌های مکانیکی در پانل‌های ساندویچی شده است.

**واژگان کلیدی:** پانل‌های ساندویچی، خواص مکانیکی، چسب ایزوسیانات، ضخامت لایه، راش و صنوبر

محمد جباری<sup>۱</sup>

علی اصغر تاتاری<sup>۲</sup>

منصور غفاری<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

<sup>۲</sup> دانش‌آموخته کارشناسی صنایع چوب و کاغذ، دانشکده فنی امام خمینی<sup>(۶)</sup> علی آباد کتول

<sup>۳</sup> دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

\*مسئول مکاتبات:

papermaker862@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۰۳

### مقدمه

امروزه با توجه به اهمیت کامپوزیت‌ها در ساختمان سازی و سازه‌های چوبی، نظرها به سمت استفاده از مواد سازه‌ای سبک با هدف مصرف کمتر چوب و منابع چوبی جلب شده است. در طی سال‌های اخیر، تولیدکنندگان و صنعت‌گران صنعت چوب به ساخت پانل‌هایی با دانسیته کم و خواص مقاومتی زیاد توجه نموده‌اند. از مهم‌ترین محصولات نوین و مهندسی در صنعت کامپوزیت، تولید و

گسترش سازه‌های لانه زنبوری سبک بوده است. امروزه این سازه‌ها قابل رقابت با محصولات مثل تخته‌خرده چوب و تخته فیبر می‌باشند [۱]. پانل‌های ساندویچی از پیشرفته‌ترین اشکال سازه‌های کامپوزیتی هستند که در مقیاس وسیعی مصرف دارند. در واقع اکثر هواپیماها و شناورهای با تکنولوژی پیشرفته از این سازه‌ها بهره‌مندند. اصولاً یک سازه ساندویچی از ترکیب دو رویه محکم و نازک، یک مغزی سبک و ضخیم و یک لایه چسب تشکیل

به پانل سبک وزن ساخته شده از مغزی لانه‌زنبوری کاغذ کرافت بیشتر بوده‌است. همچنین در نمونه‌های ساخته شده از پوسته تخته فیبر، با افزایش ضخامت پوسته، مقاومت‌های پانل ساندویچی افزایش یافت [۵].

Nourbakhsh و همکاران (۲۰۰۱)، در بررسی اثر گونه و ضخامت لایه چوبی بر ویژگی‌های مکانیکی چوب‌های لایه‌ای (L.V.L) به این نتیجه رسیدند که تأثیر گونه چوبی و ضخامت لایه‌ها تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مقاومتی داشته‌است. بطوری که با افزایش ضخامت لایه‌ها از ۲ به ۴ میلی‌متر در ضخامت ثابت تخته‌لایه‌ای، مدول الاستیسیته خمشی کاهش و مقاومت به ضربه افزایش یافته‌است. با توجه به اثر متقابل بین دو گونه افرا و توسکا و ضخامت مشخص شده‌است که استفاده از گونه توسکا در ضخامت ۴ میلی‌متر باعث حداکثر شدن مقاومت به ضربه در چوب-های لایه‌ای گردیده‌است [۶].

Vassiliou و Barboutis (۲۰۰۵)، خواص مقاومتی (مدول گسیختگی و مقاومت به ضربه) پانل‌های ساندویچی با ضخامت نهایی ۵۱/۷ میلی‌متر با مغزی کاغذ لانه زنبوری بازیافتی را مورد مطالعه قرار دادند. اندازه سلول‌های کاغذ لانه زنبوری در این تحقیق ۳۰×۳۰ میلی‌متر بود و رویه‌های سطحی از تخته‌خرده‌چوب با ضخامت ۷/۸ میلی‌متر در نظر گرفته‌شد. آنان دریافتند مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته پانل‌ها نسبت به تخته‌خرده‌چوب با ضخامت ۷/۸ میلی‌متر و ۱۶/۱ میلی‌متر کم‌تر می‌باشد. همچنین مقاومت به ضربه پانل لانه زنبوری مورد آزمایش بیشتر از تخته‌خرده‌چوب با ضخامت ۷/۸ میلی‌متر و نیز ۱۶/۱ میلی‌متر بود [۷]. تولید پانل‌های ساندویچی و نیز بررسی تأثیر نوع و ضخامت رویه بر خواص مکانیکی پانل‌های ساندویچی، دو محور اساسی این تحقیق هستند.

## مواد و روش‌ها

### عوامل متغیر

نوع لایه با ضخامت (۳، ۴ و ۵ میلی‌متر) که شامل: رویه گونه راش و رویه گونه صنوبر بودند.

### عوامل ثابت

برای کنترل عوامل متغیر ذکر شده، سایر فاکتورهای ساخت پانل ثابت در نظر گرفته شدند که خلاصه آن به شرح زیر می‌باشد:

یافته‌است [۲]. پانل‌های ساندویچی گروه ویژه‌ای از فرآورده‌های لایه‌ای هستند که اغلب سه‌لایه بوده و مغزی دارای ضخامت بیشتر است اما سفتی و صلبیت کمتری از لایه پشت و رو دارد [۳]. مغزی بالزا در مقایسه با مغزی لانه زنبوری دارای مزایای بیشتری نظیر استحکام کششی و فشاری بالا، تنش برشی، مدول برشی و سفتی خمشی بالا است [۲]. متخصصان، فناوری‌های جدید برای تولید پانل‌های سبک وزن مبتنی بر چوب را بررسی کرده‌اند. در یکی از این مطالعات، تأثیر ضخامت رویه‌های بالایی و پایینی پانل‌های سبک‌وزن و تأثیر آن را بر مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی بررسی شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی در پانلی با ضخامت نهایی ۱۱ میلی‌متر و دانسیته نسبی ۳۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب، دانسیته رویه‌های بالایی و پایینی ۳۸۰ کیلوگرم بر متر مکعب و میانگین دانسیته مغزی فوم پلی‌اورتان ۱۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب، در ضخامت رویه‌های بالایی و پایینی در سه سطح (۳، ۴ و ۵ میلی‌متر) به مقدار قابل توجهی تغییر می‌کند. به‌طوری‌که میانگین مقاومت خمشی برای رویه ۳ میلی‌متری (۶/۵ مگاپاسکال)، برای رویه ۴ میلی‌متری (۷/۷ مگاپاسکال) و برای رویه ۵ میلی‌متری (۱۲ مگاپاسکال) و همچنین چسبندگی داخلی برای رویه ۳ میلی‌متری (۰/۱۷ مگاپاسکال)، رویه ۴ میلی‌متری (۰/۲۱ مگاپاسکال) و رویه ۵ میلی‌متری (۰/۲۸ مگاپاسکال) محاسبه شده‌است [۴].

وظیفه مغزی در پانل‌های ساندویچی، انتقال نیرو از یک رویه به رویه دیگر می‌باشد و فیلم چسب قابلیت انتقال بارهای محوری و برشی را دارا است. در اثر اعمال بار خمشی در یک سازه ساندویچی، یک رویه، تحت فشار و رویه دیگر تحت کشش واقع می‌شود. بدین ترتیب رویه‌های یک صفحه ساندویچی همانند لایه‌های یک تیر آهن I شکل در مقابل بارهای خمشی مقاومت می‌کنند. مغزی ساندویچی همانند جان تیر آهن I شکل در مقابل بارهای برشی مقاومت می‌کند و ضمن افزایش مقاومت خمشی سازه، باعث تقویت مداوم و پیوسته رویه‌ها می‌شود [۲].

Ghofrani و همکاران (۲۰۱۴)، در بررسی اثر نوع مغزی و پوسته بر مقاومت‌های مکانیکی پانل ساندویچی سبک وزن به این نتیجه رسیدند که مقاومت‌های مکانیکی پانل سبک وزن ساخته شده از مغزی فوم پلی‌اورتان، به دلیل تراکم بیشتر و سطح اتصال مناسب با پوسته، نسبت

### پرس کردن

پس از چسب زنی جهت فشردگی لازم، بهبود اتصالات و چسبندگی بین کاغذ لانه زنبوری و رویه ها، از یک پرس صنعتی (نوع آهنکوبان) و در فشار (۳۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) و با سرعت بسته شدن ۲۷۰ میلی متر در دقیقه استفاده شد. با توجه به اینکه این پرس قادر به اعمال فشار بیشتر نیز می باشد لذا از فشار ذکر شده استفاده شد که در این پرس قابل تنظیم است. برای کنترل ضخامت پانل ها، از شابلون های فلزی ۳۵، ۳۷ و ۳۹ میلی متری استفاده گردید. پرس هیدرولیکی مورد استفاده با قطر پیستون ۱۷ سانتی متر و ابعاد مفید صفحات ۱۲۴×۲۶۶ سانتی متر می باشد.

### تهیه نمونه ها و آزمون های مکانیکی

پانل ها پس از پرس، برای رسیدن به رطوبت تعادل محیط به مدت ۱۵ روز در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند. سپس از هر پانل نمونه های آزمونی بر طبق دستور العمل EN 326-1 تهیه شد. با توجه به اینکه استفاده از پانل های ساندویچی در این تحقیق به عنوان دیوارکوب برای خانه های پیش ساخته در نظر گرفته شده، لذا آزمون های مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی و مقاومت به ضربه نسبت به لبه برای تعیین خواص مکانیکی پانل ها، انجام شد. برای اندازه گیری مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته نسبت به لبه از ماشین آزمایش PT5L استفاده شد. این دستگاه مجهز به دستگاه رسام بوده و کلیه نتایج بر روی صفحه کامپیوتر رله شده و میزان بار و تغییر شکل نمونه را به صورت منحنی ثبت می کند. برای اندازه گیری مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی از استاندارد DIN آلمان آیین نامه EN 310 و با سرعت بارگذاری ۱۰ میلی متر بر دقیقه استفاده گردید. همچنین برای آزمون مقاومت به ضربه از استاندارد ASTM آیین نامه D3499 و از ماشین AMSLER استفاده شد [۹-۱۱].

### روش تجزیه و تحلیل آماری

طرح آماری مورد استفاده در این تحقیق، طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل تحت آزمایش فاکتوریل بود که جمعاً ۴۸ نمونه حاصل از ترکیب ۲ فاکتور متغیر مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر، نتایج با استفاده از آزمون فاکتوریل در سطح ۱ و ۵٪ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در نهایت تراکنش و

- نوع چسب مصرفی که چسب ایزوسیانات<sup>۱</sup> بود.
- دما: ثابت و برابر با ۱۲۰ درجه سلسیوس تنظیم شد.
- فشار: ثابت و در حد ۳۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع تنظیم شد.
- زمان: برای تمام نمونه ها ثابت و در حد ۱۰ دقیقه تنظیم شد.

### تهیه الوار و رویه

یک الوار صنوبر سالم و بی عیب از کارگاه چوب بری واقع در شهرستان خان بیین استان گلستان و یک الوار راش سالم و بی عیب از شهرستان بندرگز، روستای گز (طرح جنگلداری وطننا) استان گلستان تهیه گردید. پس از تهیه الوارها به کارگاه چوب بری واقع در شهرستان علی آباد کتول، استان گلستان انتقال داده شد و پس از تبدیل به ضخامت های ۲/۵ سانتی متری توسط خشک کن صنعتی خشک شده و با استفاده از اره نواری به ضخامت ۶ میلی متر و سپس توسط دستگاه گندگی به ضخامت ۴،۳ و ۵ میلی متر (ضخامت های مورد نیاز) تبدیل گردیدند. چسب مورد استفاده در این تحقیق چسب ایزوسیانات با ویژگی های: وضعیت ظاهری (مایع تیره)، وزن مخصوص (۰/۶۶ گرم بر سانتی متر مکعب)، مواد جامد (۱۰۰ درصد)، ویسکوزیته (۳۰۰ سانتی پواز) بود. ویژگی های لانه زنبوری کاغذی در این تحقیق شامل: ضخامت کاغذ (۳ میلی متر)، ابعاد سلول (۳×۳ سانتی متر) بود.

### آماده سازی مواد

#### خشک کردن لایه ها

رطوبت لایه های صنوبر و راش بعد از لایه گیری در حدود ۵۰ درصد بود و به منظور تنظیم رطوبت، لایه ها توسط خشک کن صنعتی و در درجه حرارت  $105 \pm 2$  درجه سلسیوس خشک شدند تا رطوبت آنها به ۶ تا ۷ درصد برسد. سپس برای جلوگیری از جذب رطوبت محیط، تمام لایه ها در داخل پلاستیک های غیر قابل نفوذ نگهداری شدند.

#### چسب زنی و تشکیل پانل های آزمایشگاهی

میزان چسب برای هر متر مربع و چسباندن یک سطح ۲۰۰ گرم منظور گردید [۸]. عمل اسپری کردن چسب توسط پیستوله و با هوای فشرده تأمین شده از یک کمپرسور و با فشاری در حد ۳ تا ۴ اتمسفر انجام گردید.

<sup>۱</sup> PMDI

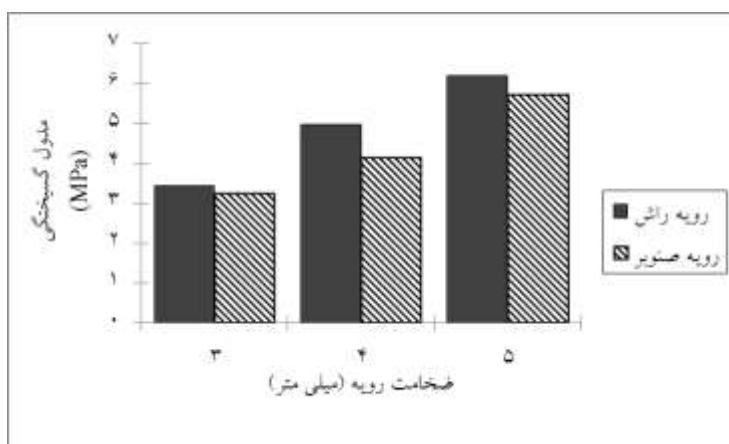
خروجی داده‌ها بر روی نرم‌افزار SPSS ۱۶ عملیاتی شد.

## نتایج و بحث

### اثر نوع و ضخامت رویه بر مدول گسیختگی

نتایج نشان داد که بین مقادیر مدول گسیختگی پانل‌ها در سطح خطای آزمایش ۱ درصد اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. مدول گسیختگی به شدت تحت تأثیر نوع و ضخامت رویه بوده و تغییر نوع رویه از رویه راش

به رویه صنوبر باعث کاهش مدول گسیختگی و همچنین افزایش ضخامت باعث افزایش مدول گسیختگی خواهد شد. طبق شکل ۱، بیشترین مقدار مدول گسیختگی مربوط به رویه راش و ضخامت ۵ میلی‌متر (۶/۱۸ مگاپاسکال) بوده و کم‌ترین مقدار آن مربوط به رویه صنوبر و ضخامت ۳ میلی‌متر (۳/۲۵ مگاپاسکال) است که کاهش در حدود ۴۷/۴٪ را نشان می‌دهد.

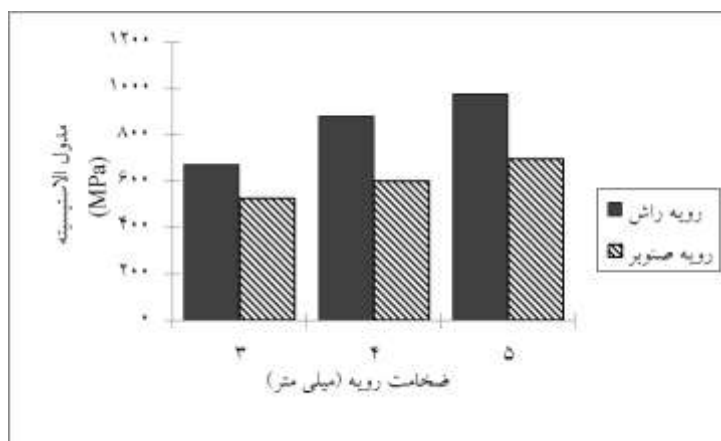


شکل ۱- اثر متقابل نوع رویه و ضخامت بر مدول گسیختگی

### اثر نوع و ضخامت رویه بر مدول الاستیسیته

نتایج نشان داد که بین مقادیر مدول الاستیسیته پانل‌ها در سطح خطای آزمایش ۱ درصد اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. مدول الاستیسیته به شدت تحت تأثیر نوع و ضخامت رویه بوده و تغییر نوع رویه از رویه راش به رویه صنوبر سبب کاهش مدول الاستیسیته می‌شود و

همچنین با افزایش ضخامت، مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد. طبق شکل ۲، بیشترین مقدار مدول الاستیسیته مربوط به رویه راش و ضخامت ۵ میلی‌متر (۹۷۵/۶ مگاپاسکال) بوده و کم‌ترین مقدار آن مربوط به رویه صنوبر و ضخامت ۳ میلی‌متر (۵۲۵/۶ مگاپاسکال) است که کاهش در حدود ۴۶/۱٪ را نشان می‌دهد.

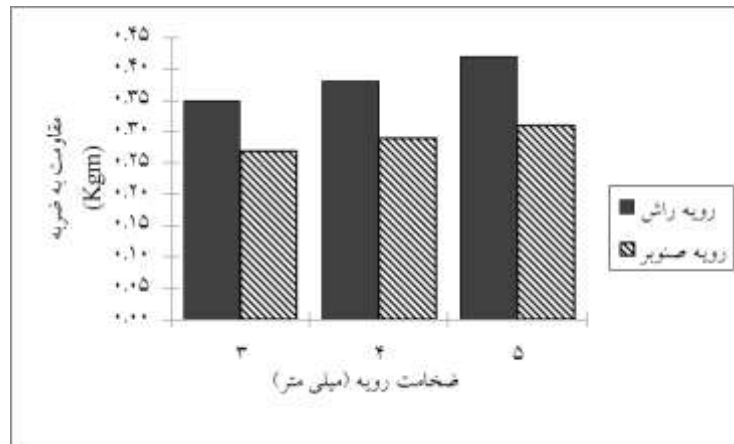


شکل ۲- اثر عوامل متغیر بر مدول الاستیسیته

### اثر نوع و ضخامت رویه بر مقاومت به ضربه

نتایج نشان داد که بین مقادیر مقاومت به ضربه پانل‌ها در سطح خطای آزمایش ۱ درصد اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. با افزایش ضخامت، مقدار مقاومت به ضربه افزایش می‌یابد. شکل ۳ نشان می‌دهد، بیشترین مقدار

مقاومت به ضربه مربوط به لایه راش و ضخامت ۵ میلی‌متر (۰/۴۲ کیلوگرم در متر) بوده و کم‌ترین مقدار آن مربوط به لایه صنوبر و ضخامت ۳ میلی‌متر (۰/۲۷ کیلوگرم در متر) می‌باشد که کاهش در حدود ۳۵/۷٪ را نشان می‌دهد.



شکل ۳- اثر عوامل متغیر بر مقاومت به ضربه

سطوح لایه‌ها باشد. ضخامت لایه در چوب‌های لایه‌ای عاملی مهم در تعیین مقاومت به ضربه می‌باشد [۶]. همچنین افزایش مقاومت‌های مکانیکی با تغییر نوع لایه و افزایش ضخامت را نیز Nourbakhsh و همکاران (۲۰۰۱) و Barbu و همکاران (۲۰۱۰) تأیید کرده‌اند [۴ و ۶].

Ghofrani و همکاران (۲۰۱۴)، در تحقیق خود به این نکته اشاره کرده‌اند که پاسخ به ضربه یک ساختار ساندویچی بستگی به نوع رویه و مغزی آن دارد. همچنین آنان ذکر کردند که با افزایش ضخامت رویه، مقاومت‌های پانل ساندویچی افزایش یافت [۵].

Jahanlatibari و همکاران (۲۰۰۰)، در بررسی ساخت چوب‌های لایه‌ای و تعیین خواص کاربردی آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ویژگی‌های مقاومتی چوب لایه‌ای ممرز بیشتر از افرا و راش بوده‌است. همچنین آنان بیان داشتند که اثر ضخامت لایه در ویژگی الاستیسیته خمشی معنی‌دار بوده‌است [۱۳]. William و Bodig (۱۹۸۹)، در بررسی کاربرد چوب‌های لایه‌ای در مصارف خارجی گزارش کردند که نقش ضخامت چوب لایه و رزین مصرفی اهمیت زیادی در کاربرد این مصارف دارد [۱۴].

Saffari و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تأثیر نوع رویه

مقدار مدول گسیختگی گونه راش دارای مقدار بیشتری نسبت به گونه صنوبر می‌باشد. گونه راش به دلیل داشتن الیاف مناسب و وزن مخصوص بیشتر نسبت به صنوبر دارای کیفیت بهتر برش در سطوح و میزان فشردگی مناسب‌تر می‌باشد و اتصال این گونه با رزین ایزوسیانات، سبب اتصالات محکم و قوی‌تر در حالت خمشی شده‌است. مقدار کم مدول گسیختگی پانل‌های ساندویچی نیز توسط Pflug و همکاران (۲۰۰۴) اثبات شده‌است [۱۲]. علت این امر سبک‌وزن بودن لایه مغزی پانل است و بستگی به اندازه سلول دارد [۷]. هرچه تعداد سلول‌های کاغذ لانه زنبوری بیشتر و اندازه سلول‌ها کمتر باشد در نتیجه سطح چسب‌خوری بیشتر می‌شود و به دنبال آن افزایش مدول گسیختگی حاصل می‌شود. مقاومت‌های مکانیکی با افزایش ضخامت و همچنین تغییر نوع رویه افزایش می‌یابند و در ضخامت ۵ میلی‌متر بیشترین مقادیر مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و مقاومت به ضربه را خواهیم داشت. در ضخامت ۳ میلی‌متر کاهش را ملاحظه می‌کنیم که به نظر می‌رسد به دلیل حجم کمتر ماده چوبی در اثر کاهش ضخامت و ترک‌های ناشی از خشک شدن و عدم چسب‌پذیری مناسب در

پانل‌های ساندویچی، با تغییر نوع رویه و افزایش ضخامت، به‌طور معنی‌داری بهبود و افزایش می‌یابد و این ویژگی‌ها در رویه راش و ضخامت ۵ میلی‌متر، دارای حد بهینه و بیشترین مقدار خود بوده‌است. رویه راش با ضخامت ۴ میلی‌متر از نظر مجموع مقاومت‌های مکانیکی در رتبه دوم قرار دارد. همچنین، استفاده از رویه صنوبر سبب کاهش مقاومت‌های مکانیکی گردید. در ضخامت ۳ میلی‌متر کاهش را ملاحظه می‌کنیم که می‌تواند به دلیل افزایش ترک‌های ناشی از خشک‌شدن و عدم چسب‌پذیری مناسب در سطوح رویه‌ها و در نتیجه کاهش مقاومت‌ها باشد. مقدار مدول گسیختگی گونه راش دارای مقدار بیشتری نسبت به گونه صنوبر بوده‌است. گونه راش به دلیل داشتن الیاف مناسب و وزن مخصوص بیشتر نسبت به صنوبر دارای کیفیت بهتر برش در سطوح و میزان فشردگی مناسب‌تر می‌باشد و اتصال این گونه با رزین ایزوسیانات سبب اتصالات محکم و قوی‌تر در حالت خمشی شده‌است. ساخت این پانل‌ها نشان داد که ویژگی‌های مناسبی را به عنوان یک کامپوزیت جدید در صنعت چوب دارا بوده و می‌توان از آن در صنعت و به‌ویژه در ساختمان‌سازی به عنوان تیغه‌های جداکننده غیر باربر استفاده کرد و در بررسی‌های تکمیلی می‌توان به نتیجه مطلوب دست یافت و تفاوت خواص این پانل‌ها را که عمدتاً می‌تواند ناشی از تفاوت ماهیت مواد اولیه باشد بهبود بخشید.

و نوع چسب بر خواص مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته شده از کاغذ لانه زنبوری به این نتیجه رسیدند که تغییر نوع رویه و نوع چسب باعث تغییر معنی‌دار مقاومت‌های پانل ساندویچی شده‌است [۱۵]. Mo و همکاران (۲۰۰۳) و Papadopoulos و همکاران (۲۰۰۲)، علت مقاوم بودن چسب ایزوسیانات را کوچک‌تر بودن مولکول‌های این چسب دانستند، که این امر موجب توزیع یکنواخت‌تر آن و در نتیجه افزایش کیفیت چسبندگی مکانیکی و شیمیایی زیاد آن خواهد شد [۱۶ و ۱۷]. با استفاده از چسب ایزوسیانات تعداد اتصالات شیمیایی افزایش می‌یابد و پیوندهای درون مولکولی غیرقابل‌تغییر و انعطاف می‌شوند [۱۸]. اکثر شکستگی‌ها در تیمار راش به صورت عمودی به‌نظر می‌رسد که نشان دهنده مقاومت بالاتر این گونه نسبت به صنوبر می‌باشد [۶].

نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات (Pflug و همکاران، ۲۰۰۴؛ Barbu و همکاران، ۲۰۱۰؛ Jajanlatibari و همکاران، ۲۰۰۰؛ William و Bodig، ۱۹۸۹؛ Nourbakhsh و همکاران، ۲۰۰۱؛ Saffari و همکاران، ۲۰۱۳) مطابقت دارد [۴، ۶، ۱۵-۱۲].

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، خواص مکانیکی (مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و مقاومت به ضربه)

### مراجع

- [1] Yousefi, A., and Deghani Firouzabadi, M.R., 2011. Production of honeycomb panels, using agricultural waste, National Conference of Agriculture, Islamic Azad University, Jahrom Branch. (In Persian).
- [2] Mazinani M., Rezaei, H., and Nikfarjam, M., 2007. Comparison between theory and experiment and balsa sheet honeycomb sandwich construction with cerebral vessels extremist, 9<sup>th</sup> Conference on Maritime, Noor-Mazandaran Province, p13. (In Persian).
- [3] Ebrahimi, G., 1989. Mechanical wood and composite products, Tehran University Press, 680p. (Translated to Persian).
- [4] Barbu, M., Ludtke, J., Thomen, H., and Welling, J., 2010. New technology for the continuous production of wood-based lightweight panels, Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe, Timber Committee, Geneva, Switzerland.

- [5] 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.
- [6] Nourbakhsh, A., Tabarsa, T., Kargarfard, A., and Golbabaie, F., 2001. Effect of species and thickness layer on mechanical properties woods layer (L.V.L), *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* 19(2): 211-224.
- [7] Barboutis, I., and Vassiliou, V., 2005. Strength properties of lightweight paper honeycomb panels for the furniture, In: *Proceedings of International Scientific Conference, 10<sup>th</sup> Anniversary of Engineering Design (Interior and Furniture Design)*, 17-18 October, Sofia, p6.
- [8] Mirshokraei, S.A., 2001. *Chemistry and technology wood adhesives*, Tehran Center Academic Publishing, 350p. (Translated to Persian).
- [9] ASTM, standard, 2000. Standard test method for toughness of wood-base structural panel, American Society for Testing and material, D 3499.
- [10] DIN (European Standard), EN 310, 1993. Wood- based panels: determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength, CEN European Committee for Standardization.
- [11] DIN (European Standard), EN 326-1, 1993. Wood- based panels, sampling, cutting and inspection. sampling and cutting of test pieces and expression of test results.
- [12] Pflug, J., XinYu, F., Vangrimde, B., Verpoest, I., Bratfisch, P., and Vandepitte, D., 2004. Development of a sandwich material with polypropylene/natural fibre skins and paper honeycomb core, *Proceedings of the 10<sup>th</sup> European Conference on Composites Materials*.
- [13] Jahanlatibari, A., Arab tabar Firouzjaei, H., Golbabaie, F., Kargarfard, A., Nourbakhsh, A., and Fakhrian roghani, A., 2000. The investigated production layers wooden (L.V.L, L.B) and determination of applications properties, *Journal of Research Wood & Paper Iran* 12(1): 1-38. (In Persian).
- [14] William, L., and Bodig, J., 1989. Design and specification of hardwood laminated veneer- lumber for furniture application, *Forest Products Journal*, 38(1): 31-34.
- [15] 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): 141-152.
- [16] Mo, X., Cheng, E., Wang, D., and Sun, X.S., 2003. Physical properties of medium density wheat straw particleboard using different adhesives. *Industrial Crops and Products* 18: 47-53.
- [17] Papadopoulos, A.N., Hill, C.A.S., Traboulay, E., and Hague, J.R.B., 2002. Isocyanate resins for particleboard: PMDI vs EMDI, *Holz als Roh- und Werkstoff* 60: 81–83.
- [18] Jabbari, M., Tatari, A., and Ghaffari, M., 2012. Investigation of mechanical properties of honeycomb sandwich panels for use in construction, *The First National Conference on Lightweight Construction and insulation of buildings*, Islamic Azad University, Bojnord Branch.

## Effect of Faces Type and Thickness on Mechanical Properties of Sandwich Panels

### Abstract

Sandwich panels are new kind of layered composites that usually are composed of three layers and their core layers thickness is higher but the top layers are determinative indetermination of the products strength and stiffness. In this study, effect of faces type and thickness on mechanical properties of sandwich panels was investigated. The variables included, faces type with 3, 4 and 5 mm thickness (beech face, popular face) and adhesive type (PMDI). After making panels, sampling test (based on DIN- EN 326-1) was considered. Mechanical properties of panels included modulus of elasticity as well as module of rupture (based on DIN- EN 310 standard) and impact bending strength (IBS) (based on ASTM- D 3499 standard) were measured. The gathered data were analyzed as completely randomized factorial design. The results showed that, the thickness of faces has a significant effect on the mechanical properties. With increasing thickness of 3 to 5 mm, modulus of rupture, modulus of elasticity and impact bending strength (IBS) increased. The interaction effect between species and thickness showed that using of beech genus with 5 mm thickness leads to increase of mechanical properties in sandwich panels.

**Keywords:** Sandwich Panels, Mechanical Properties, PMDI, Layer Thickness, Beech and Popular

**M. Jabbari<sup>1</sup>**  
**A. Tatari<sup>2</sup>**  
**M. Ghaffari<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate in Wood and Paper Engineering, Islamic Azad University, chaloos Branch

<sup>2</sup>B.Sc. Graduate in Wood and Paper Engineering, Imam Khomeini Technical and Vocation Institute

<sup>3</sup>M.Sc. Graduate in Pulp and Paper technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

**\*Corresponding author:**  
papermaker862@gmail.com

Received: 2012.11.14

Accepted: 2013.04.23