

بررسی اثر نوع مغزی و پوسته بر مقاومت‌های مکانیکی پانل ساندویچی سبک‌وزن

محمد غفرانی^{۱*}، سکینه پیشان^۲ و آیسونا طلایی^۳

*- نویسنده مسئول، استادیار گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

پست الکترونیک: Ghofrani@srttu.edu

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه صنایع چوب، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

۳- استادیار گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۱

چکیده

افزایش روزافزون تقاضای استفاده از مواد اولیه مقاوم و سبک‌وزن در ساخت مبلمان منزل و اداری، ضرورت بررسی و بهینه‌سازی خواص آنها را آشکار می‌سازد. در این پژوهش اثر نوع پوسته و مغزی بر مقاومت‌های مکانیکی پانل ساندویچی سبک‌وزن مورد بررسی قرار گرفت. پوسته‌ها از جنس MDF و با ضخامت ۳، ۶ و ۸ میلی‌متر، تخته خرده‌چوب با ضخامت ۸ میلی‌متر، تخته ۳ لایه با ضخامت ۳/۸۰ و تخته ۵ لایه با ضخامت ۷/۲۸ میلی‌متر انتخاب شد. نوع مغزی از جنس فوم پلی‌اورتان و لانه‌زنبوری از جنس کاغذ کرافت با پهنای ۳ سانتی‌متر بود. در ادامه مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت به ضربه و مقاومت به فشار پانل‌های ساندویچی سبک‌وزن ساخته شده بر اساس استانداردهای ASTM C365-94، ASTM C 393 و DIN 52189: 1992 مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقاومت‌های مکانیکی پانل سبک‌وزن ساخته شده از مغزی فوم پلی‌اورتان، به دلیل تراکم بیشتر و سطح اتصال مناسب با پوسته، نسبت به پانل سبک‌وزن ساخته شده از مغزی لانه‌زنبوری کاغذ کرافت بیشتر بود. در نمونه‌های ساخته شده از پوسته MDF، با افزایش ضخامت پوسته، مقاومت‌های پانل ساندویچی افزایش یافت. بنابراین بهترین نتایج برای پانل ساندویچی سبک‌وزن ساخته شده از پوسته تخته لایه و مغزی فوم پلی‌اورتان بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: پانل ساندویچی، لانه‌زنبوری، فوم پلی‌اورتان، مقاومت‌های مکانیکی.

مقدمه

بهینه چوب و منابع چوبی در حال توسعه می‌باشد. در سازه‌های ساندویچی، وزن سازه کاهش می‌یابد و در نتیجه مواد اولیه کمتری مصرف می‌شود. این در حالیست که نه تنها کاهشی در مقاومت سازه دیده نمی‌شود بلکه در بیشتر موارد افزایش مقاومت‌های مکانیکی آن نیز فراهم می‌گردد. در طی چندین سال اخیر تولیدکنندگان و صنعت‌گران

امروزه با توجه به کاهش مواد اولیه چوبی و افزایش قیمت فرآورده‌های چوبی، محدودیت‌هایی در زمینه تأمین مواد اولیه چوبی به‌منظور استفاده در فضاها داخلی ساختمان و سازه‌های چوبی مشهود است، بنابراین تقاضا به سمت استفاده از مواد سازه‌ای سبک، با هدف مصرف

صنایع چوب به ساخت پانل‌هایی با دانسیته کم و خواص مقاومتی بالا توجه دارند، که از مهمترین دستاوردهای نوین در صنعت پانل و صفحات چوبی، می‌توان به تولید و توسعه پانل‌های ساندویچی لانه‌زنبوری سبک اشاره نمود (یوسفی، ۱۳۹۰). در طی سال‌های اخیر در ایران و جهان، تمایل به استفاده از پانل‌های سبک‌وزن در راستای جایگزین شدن با پانل‌های متداول ساخته شده از چوب مانند تخته‌خرده چوب، تخته فیبر، تخته لایه و غیره در ساخت مبلمان دیده می‌شود. ایده ساختار لانه‌زنبوری از لانه زنبورهای عسل در طبیعت الهام گرفته شده و تاکنون بیش از ۵۰۰ نوع از ساختارهای لانه‌زنبوری کاغذی^۱ توسط چینی‌ها ساخته شده است، که هم اکنون این کشور مبدأ ساختار لانه‌زنبوری‌های کاغذی می‌باشد (Bitzer, 1997). ساختار ساندویچی لانه‌زنبوری کاغذی به علت وزن سبک و مقاومت بالا، به صورت گسترده در صنایع بسته‌بندی و دیگر صنایع نظیر مبلمان و ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد (wang, 2006). Paulius و همکاران (۲۰۱۰)، در بررسی رفتار ساختار ساندویچی ساخته شده از مغزی لانه‌زنبوری پلی‌پروپیلن در مقابل بار ضربه مشاهده کردند که مغزی لانه‌زنبوری حدود ۵۰ تا ۹۵ درصد انرژی کل سازه را جذب می‌کند، درحالی‌که پوسته‌های فوقانی تنها ۷ تا ۳۵ درصد انرژی ضربه را جذب می‌نمایند. Wang (۲۰۰۸) در بررسی مقاومت به ضربه و جذب انرژی پانل‌های ساندویچی لانه‌زنبوری کاغذی به این نتیجه رسید که افزایش دانسیته نسبی و افزایش ضخامت دیواره سلول لانه‌زنبوری، باعث بهبود جذب انرژی در پانل ساندویچی و افزایش قابلیت فشردگی پانل می‌گردد، همچنین افزایش طول دیواره

1-Paper honeycomb

سلول در ساختار لانه‌زنبوری، جذب انرژی در پانل را کاهش می‌دهد.

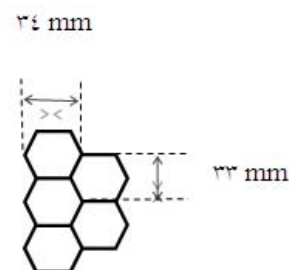
Pflug و همکاران (۲۰۰۴)، مقاومت به فشار و سختی پانل‌های لانه‌زنبوری کاغذی را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که مقاومت به فشار این پانل‌ها در دامنه $0/25-0/94 \text{ N/mm}^2$ قرار دارد. Barboutis و Vassiliou (۲۰۰۵)، با بررسی خواص مقاومتی پانل ساندویچی با مغزی لانه‌زنبوری کاغذی و پوسته‌هایی از جنس تخته خرده‌چوب، به این نتیجه دست یافتند که مقاومت به ضربه خمشی پانل‌های ساخته شده بسیار بالا می‌باشد. همچنین توان خمشی در مقابل ضربه این پانل نسبت به دانسیته و ضخامتش در محدوده‌ای بالا، قابل قبول و بیشتر از توان خمشی تخته خرده‌چوب است. Shalbfan و همکاران (۲۰۱۱)، در بررسی پانل‌های چوبی سبک‌وزن ساخته شده از مغزی‌های فومی، تأثیر ضخامت پوسته و نوع مغزی را روی مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی و مقاومت ویژه پانل‌های تولید شده مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش ضخامت سطح، مقاومت خمشی در هر دو نوع پانل افزایش می‌یابد. Chen و همکاران (۲۰۱۲)، به بررسی مدول الاستیسیته پانل ساندویچی ساخته شده از مغزی لانه‌زنبوری کاغذ کرافت و پوسته از جنس MDF پرداختند. نتایج بدست آمده از تحلیل نشان می‌دهد که کاهش نسبت ضخامت مغزی به پوسته در این پانل‌ها موجب افزایش مدول الاستیسیته می‌گردد و نمونه‌های ساخته شده با ضخامت مغزی کمتر و ضخامت پوسته بیشتر، دارای مدول الاستیسیته بیشتری می‌باشند. آقای تیمورزاده در سال ۱۳۹۰ امکان استفاده از لایه‌های چندسازه‌ای چوب-پلاستیک در ساخت پانل‌های چوب-

خمشی با افزایش ضخامت به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد. با توجه به اهمیت تحقیق حاضر محقق با هدف بررسی مقاومت‌های مکانیکی پانل ساندویچی سبک‌وزن، به بررسی اثر نوع مغزی و نوع و ضخامت پوسته پرداخته است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای ساخت پانل ساندویچی سبک‌وزن، سه نوع کامپوزیت چوبی مختلف به‌عنوان پوسته مورد استفاده قرار گرفته است: MDF با ضخامت ۳، ۶ و ۸ میلی‌متر، تخته خرده‌چوب با ضخامت ۸ میلی‌متر و تخته ۳ و ۵ لایه به‌ترتیب با ضخامت‌های ۳/۸۰ و ۷/۲۸ میلی‌متر، ورق‌های فوق از تولیدات داخل کشور بوده، و از سایت چوب فروشان خاوران تهران تهیه شده است. مغزی‌های مورد استفاده به دو صورت: لانه‌زنبوری با مقطع شش ضلعی و ضخامت اسمی ۲/۹۰ سانتی‌متر از جنس کاغذ کرافت، خریداری شده از شرکت ایران شبک و فوم پلی‌اورتان^۱ نیز به صورت ورق با ابعاد ۲×۱ متر و ضخامت ۳ سانتی‌متر، تهیه شده از شرکت یورتان رشت، به‌عنوان مغزی در ساخت پانل سبک‌وزن مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

لاستیک لایه‌ای را بررسی نمود و چگونگی استفاده از سه نوع مختلف ماده‌ی اسفنجی در مغزی پانل‌های ساندویچی و تأثیر آنها بر دانسیته، مقاومت فشاری و هدایت حرارتی را مورد مطالعه قرار داد. در تحقیقی دیگر، سبجانی (۱۳۹۰) امکان تولید پانل ساندویچی با استفاده از چوب پالونیا و رویه فایبر گلاس را مورد مطالعه قرار داده است. جباری (۱۳۹۰)، با بررسی اثر نوع لایه و نوع چسب بر ویژگی‌های مکانیکی پانل ساندویچی ساخته شده از کاغذ لانه‌زنبوری به این نتیجه رسید که در اثر اعمال بار خمشی در یک سازه ساندویچی، یک رویه تحت فشار و رویه دیگر تحت کشش واقع می‌گردد و مغزی ساندویچی همانند تیر آهن در مقابل بارهای برشی مقاومت می‌کند و ضمن افزایش مقاومت خمشی سازه، سبب تقویت مداوم و پیوسته رویه‌ها می‌شود. خطیبی و رحیمی (۱۳۸۳)، خواص فیزیکی و مکانیکی پانل ساندویچی ساخته شده از مغزی پلی‌پروپیلن و پوسته‌هایی از جنس کامپوزیت‌های چوبی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که این ساختارها در مقابل فشار همانند فنر عمل می‌کنند و برای تغییر شکل آنها انرژی نسبتاً زیادی مورد نیاز است. طبق نتایج این تحقیق افزایش ضخامت لایه میانی اثر چندانی روی خواص فشاری ندارد، اما خواص



1- Polyurethane foam

ساخت نمونه‌ها از پرس گرم موجود در کارخانه جلیس استفاده شده است. پارامترهای ثابت پرس در این پژوهش، دما 80°C ، فشار 60 Kg/cm^2 و زمان ۷ دقیقه می‌باشد. بعد از پرس، نمونه‌های ساخته شده به منظور متعادل‌سازی، باید به مدت دو هفته در فضای خط تولید کارخانه جلیس نگهداری شوند. پیش از انجام آزمون‌های مکانیکی، نمونه‌های آزمونی برش داده شده (ابعاد نمونه مقاومت خمشی: 25×5 ، مقاومت به ضربه: 6×30 و مقاومت به فشار: $7/5 \times 7/5$) به مدت ۲ هفته در آزمایشگاه دانشگاه با شرایط دمای $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی ۶۵٪ متعادل‌سازی می‌شوند. برای اندازه‌گیری مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی از استاندارد ASTM C 393 و با سرعت بارگذاری 2 mm/min استفاده شده است. همچنین اندازه‌گیری مقاومت به ضربه مطابق با استاندارد DIN 52189: 1992 و آزمون فشار مطابق با استاندارد ASTM C 365-94 و با سرعت بارگذاری 2 mm/min انجام شده است. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمون‌های مکانیکی با استفاده از آزمون فاکتوریل و به کمک نرم‌افزار SAS در سطح اعتماد ۹۹٪ و گروه‌بندی میانگین‌ها، مطابق آزمون دانکن صورت پذیرفته است (جدول ۱).

الف: لانه زنبوری کاغذ کرافت
اندازه سلول: $33 \times 33\text{ mm}$
وزن: 210 g/m^2
دانسیته: 0.36 g/cm^3
ضخامت: $2/90\text{ cm}$

ب: فوم پلی اورتان
دانسیته: 0.35 g/cm^3
ضخامت: 3 cm



ج: پانل‌های ساندویچی سبک وزن
شکل ۱- مغزی‌های مورد استفاده در ساخت پانل
ساندویچی سبک‌وزن

چسب پلی‌وینیل استات از گروه تولیدی رزین BON اصفهان تهیه و به‌عنوان ماده چسبنده در ساخت نمونه‌ها استفاده شده است. در ساخت نمونه‌ها از فریم (چارچوب) استفاده شد. بعد از چسب‌زنی پوسته‌ها و اتصال آن به مغزی، نمونه‌ها بلافاصله داخل پرس قرار می‌گیرند. برای

جدول ۱- سطوح و علائم متغیرهای تحقیق

نوع مغزی	نوع پوسته					
	تخته خرده چوب		MDF		تخته لایه	
	۸ میلی‌متر	۳ میلی‌متر	۶ میلی‌متر	۸ میلی‌متر	۳ لایه	۵ لایه
فوم	P3-Pb8	P3-M3	P3-M6	P3-M8	P3-PL 3	P3-PL5
پلی اورتان						
لانه زنبوری	H3-Pb8	H3-M3	H3-M6	H3-M8	H3-PL 3	H3-PL 5
کاغذ کرافت						

نتایج و بحث

مقاومت خمشی

با توجه به تجزیه واریانس (جدول ۲)، بین مقادیر مربوط به تأثیر نوع پوسته بر مقاومت خمشی در سطح اعتماد ۹۹٪ اختلاف معنی داری وجود دارد. براساس گروه بندی دانکن، بالاترین مقدار مقاومت خمشی مربوط به پانل ساخته شده از پوسته تخته ۵ لایه و کمترین مقدار مقاومت خمشی مربوط به پانل ساخته شده از پوسته تخته ۵ خرده چوب ۸ میلی متر می باشد (شکل ۲). با انتخاب تخته ۵ لایه به عنوان پوسته، پانل سبک وزن نسبت به نمونه های ساخته شده از پوسته MDF و تخته خرده چوب مقاوم تر

می باشد. با اندازه گیری مقدار مقاومت خمشی پوسته ها دیده می شود که تخته لایه به دلیل ساختار لایه ای و مقاوم نسبت به تخته خرده چوب و MDF، مقاومت خمشی و ظرفیت تحمل تنش بیشتری دارد (Cai و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به این که مقاومت خمشی پوسته و خزش خمشی پانل ساندویچی سبک وزن رابطه ای نزدیک به یکدیگر دارند و با افزایش مقاومت خمشی پوسته ها در لایه های سطحی پانل مقاومت بیشتری نسبت به تغییر شکل از خود نشان می دهد، مقاومت خمشی مربوط به پانل ساخته شده از پوسته تخته ۵ لایه از سایر پانل ها بیشتر است (Chen و همکاران، ۲۰۱۱).

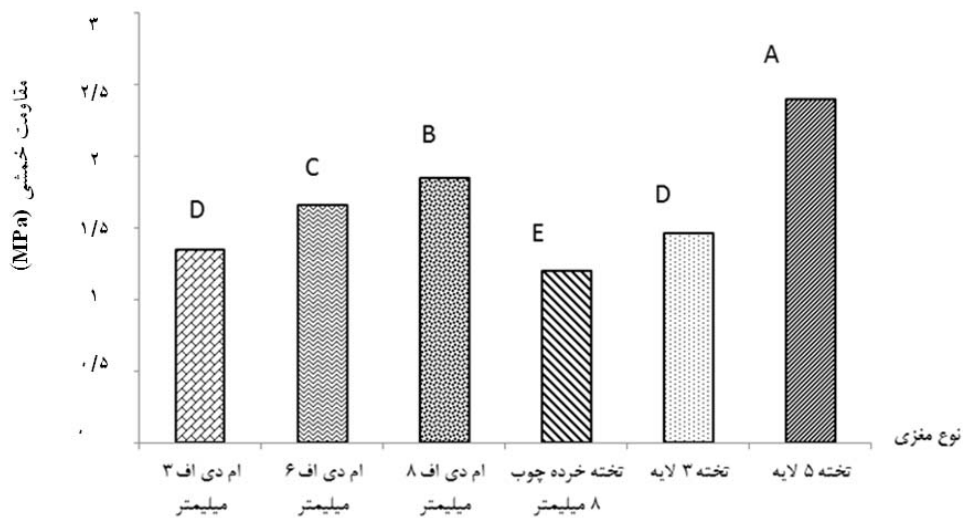
جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات مستقل و متقابل متغیرها بر ویژگی های مختلف پانل سبک وزن

میانگین مربعات MS			درجه آزادی	منابع تغییرات S.O.V	
مقاومت به ضربه Impact	مقاومت به فشار Compression	مدول الاستیسیته MOE	MOR	MOR	
۸۱/۳۰۹۸۳۳۳*	۰/۱۰۵۷۶۰۰*	۶۸۴۹۴۷/۰۵۷*	۴/۴۶۴۰۸۴۰۳*	۵	نوع پوسته
۲۶/۷۶۳۳۳۷۸*	۰/۳۸۸۵۴۴۴۴*	۱۰۳۰۰۵۵/۸۴۰*	۳۰/۰۰۳۰۰۶۲۵*	۱	نوع مغزی
۲/۲۸۵۲۴۴۴*	۰/۰۱۱۴۲۶۱۱*	۷۲۲۴/۹۹۰*	۲/۱۶۳۹۰۲۹۲*	۱	نوع پوسته × نوع مغزی

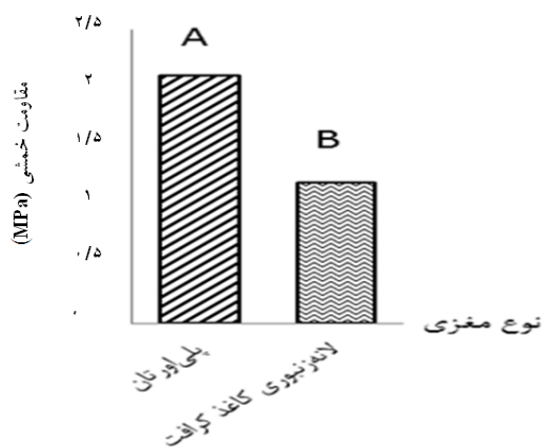
* : معنی دار در سطح احتمال ادرصد، $p \leq 0/01$.

سبک وزن، موجب افزایش مقاومت خمشی می گردد (Shalbafan و همکاران، ۲۰۱۱).
با توجه به نتایج تجزیه واریانس، بین سطوح مختلف متغیر نوع مغزی، اختلاف معنی داری در سطح اعتماد ۹۹٪ وجود دارد. طبق نتایج حاصل از گروه بندی دانکن متغیر نوع مغزی بیشترین مقدار مقاومت خمشی متعلق به مغزی پلی اورتان و کمترین مقدار مربوط به مغزی لانه زنبوری کاغذ کرافت می باشد (شکل ۳).

نتایج آزمون نشان می دهد که مقاومت خمشی تخته ۵ لایه با ضخامت ۷/۲۸ میلی متر نسبت به MDF با ضخامت ۸ میلی متر ۳۰ درصد و نسبت به نمونه ساخته شده از تخته خرده چوب با ضخامت ۸ میلی متر ۹۹ درصد بیشتر است. در میان پانل های ساخته شده از پوسته MDF، افزایش مقاومت خمشی از MDF سه میلی متری به MDF هشت میلی متر مشاهده می شود؛ بنابراین در این گروه افزایش ضخامت پوسته در پانل



شکل ۲- اثر مستقل نوع پوسته بر مقاومت خمشی



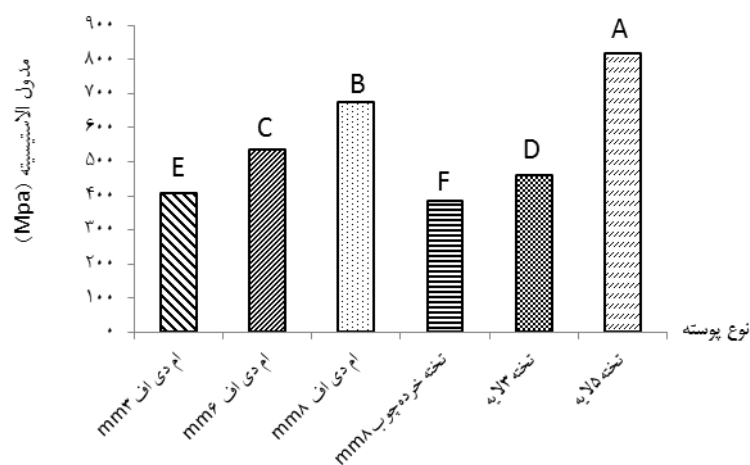
شکل ۳- اثر مستقل نوع مغزی بر مقاومت خمشی

مدول الاستیسیته

با توجه به تجزیه واریانس (جدول ۲)، بین مقادیر مربوط به تأثیر نوع پوسته بر مدول الاستیسیته در سطح اعتماد ۹۹٪ اختلاف معنی داری وجود دارد. براساس گروه بندی دانکن، بالاترین مقدار مدول الاستیسیته مربوط به تیمار پوسته تخته ۵ لایه و کمترین مقدار مدول الاستیسیته مربوط به تیمار پوسته تخته خرده چوب با ضخامت ۸ میلی متر می باشد (شکل ۴). تخته لایه نسبت به سایر پوسته ها به دلیل ساختار لایه ای

نتایج نشان می دهد که مقاومت خمشی در پانل های ساخته شده از مغزی پلی اورتان نسبت به پانل های ساخته شده از مغزی لانه زنبوری کاغذ کرافت ۷۶ درصد بیشتر است. اتصال بین پوسته و مغزی در نمونه های ساخته شده از فوم پلی اورتان بیشتر از لانه زنبوری کاغذ کرافت می باشد، زیرا در مغزی لانه زنبوری کاغذ کرافت، اتصال بین مغزی در مرکز و دو پوسته در سطوح بالایی و پایینی پانل به ضخامت دیواره های سلول لانه زنبوری محدود می شود. در حالی که به دلیل اینکه مغزی های پلی اورتان همانند مغزی های لانه زنبوری تو خالی نمی باشد، در پانل های ساخته شده از این نوع مغزی، اتصال در کل سطح مغزی با پوسته برقرار است و امکان اتصال بیشتری دارد، بنابراین می توان نتیجه گرفت که نمونه های ساخته شده از مغزی پلی اورتان نسبت به لانه زنبوری کاغذ کرافت، مقاومت خمشی بالاتری دارند، زیرا اتصال بهتری با پوسته ها برقرار کرده و تحمل تنش پانل را افزایش می دهد.

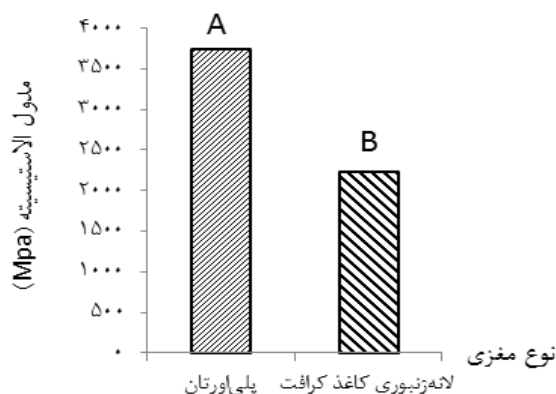
مدول الاستیسیته شده است (لتیباری و همکاران، ۱۳۷۹). همان‌طور که ملاحظه می‌شود بین سطوح مختلف متغیر نوع مغزی، اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۹٪ وجود دارد، طبق نتایج حاصل از گروه‌بندی متغیر نوع مغزی، کمترین مقدار مدول الاستیسیته متعلق به مغزی لانه‌زنبوری کاغذ کرافت و بیشترین مقدار مربوط به مغزی پلی‌اورتان می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۴- اثر مستقل نوع پوسته بر مدول الاستیسیته

اعتماد ۹۹٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد. براساس گروه‌بندی دانکن، بالاترین مقدار مقاومت به ضربه مربوط به تیمار پوسته تخته ۵ لایه و کمترین مقدار مقاومت به ضربه مربوط به تیمار پوسته تخته خرده چوب با ضخامت ۸ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۶). مقاومت به ضربه در نمونه‌های ساخته شده از پوسته MDF با افزایش ضخامت پوسته بتدریج افزایش یافته است، همچنین در نمونه‌های حاوی تخته لایه، افزایش تعداد لایه‌ها، افزایش مقاومت به ضربه را به دنبال خواهد داشت. تحقیقات گذشته نیز نشان می‌دهد با افزایش ضخامت لایه‌ها، مقاومت به ضربه در تخته‌لایه افزایش می‌یابد (لتیباری و همکاران، ۱۳۷۹). نمونه‌های ساخته شده از پوسته تخته سه لایه و MDF با

مناسب، مدول الاستیسیته بالاتری دارد و استفاده از آن در لایه سطحی مدول الاستیسیته پانل سبک‌وزن را افزایش می‌دهد (Cai و همکاران، ۲۰۱۰). شکل ۵ نشان می‌دهد که مدول الاستیسیته در نمونه‌های ساخته شده از پوسته MDF با افزایش ضخامت پوسته بتدریج افزایش یافته و همچنین در نمونه‌های حاوی تخته لایه نیز افزایش تعداد لایه‌ها، سبب افزایش

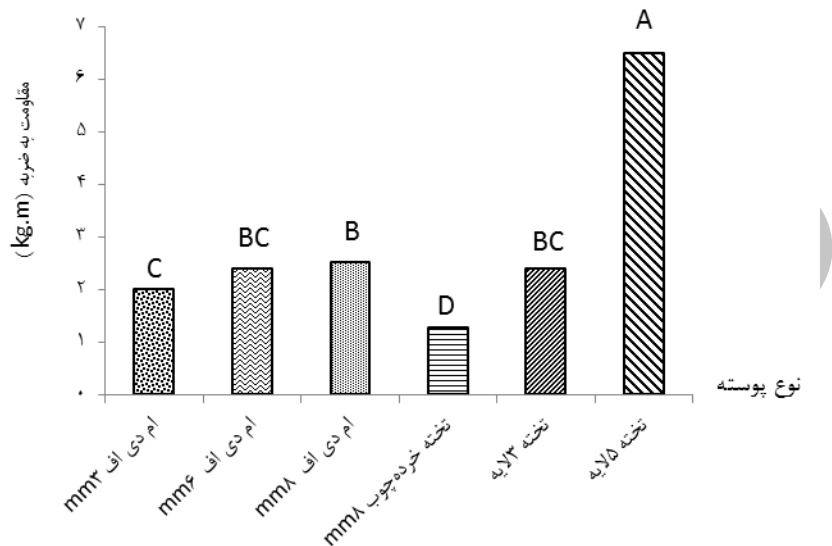


شکل ۵- اثر مستقل نوع مغزی بر مدول الاستیسیته

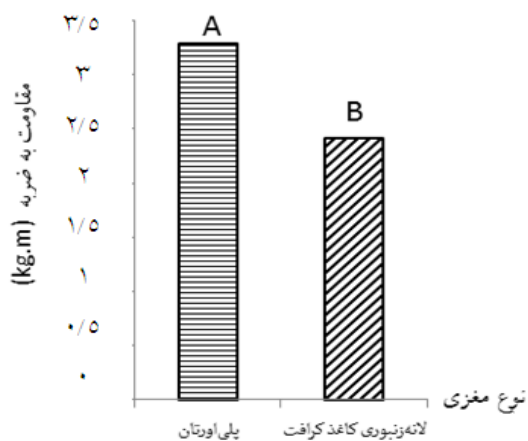
با توجه به تجزیه واریانس (جدول ۲)، بین مقادیر مربوط به تأثیر نوع پوسته بر مقاومت به ضربه در سطح

انجام شده در این زمینه روشن است که مقاومت به ضربه پانل سبک وزن ساخته شده از پوسته تخته خرده چوب و مغزی لانه زنبوری کاغذی نسبت به تخته خرده چوب بیشتر می باشد (Barboutis و همکاران، ۲۰۰۵).

ضخامت ۶ میلی متر در یک گروه قرار گرفته اند، ولی با توجه به میانگین ها، اختلاف منطقی بین آنها وجود دارد و پوسته تخته ۳ لایه مقاومت به ضربه بیشتری نسبت به MDF با ضخامت ۶ میلی متر دارد. با توجه به مطالعات



شکل ۶- اثر مستقل نوع پوسته بر مقاومت به ضربه



شکل ۷- اثر مستقل نوع مغزی بر مقاومت به ضربه

با توجه به تجزیه و تحلیل اثر نوع مغزی بر مقاومت به ضربه نمونه ها در جدول تجزیه واریانس، بین سطوح مختلف متغیر نوع مغزی، اختلاف معنی داری در سطح اعتماد ۹۹٪ وجود دارد. طبق نتایج حاصل از گروه بندی متغیر نوع مغزی، مغزی پلی اورتان و لانه زنبوری کاغذ کرافت به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار مقاومت به ضربه را به خود اختصاص داده اند (شکل ۷). تحقیقات نشان می دهد که پاسخ به ضربه یک ساختار ساندویچی بستگی به نوع پوسته و نوع مغزی دارد (Tan و همکاران، ۲۰۱۱).

تجزیه و تحلیل اثر نوع مغزی بر مقاومت به فشار نمونه‌ها نشان می‌دهد که بین سطوح مختلف متغیر نوع مغزی اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۹٪ وجود دارد (جدول ۲). طبق نتایج حاصل از گروه‌بندی متغیر نوع مغزی، بیشترین مقدار مقاومت به فشار متعلق به مغزی پلی‌اورتان می‌باشد و کمترین مقدار مربوط به مغزی لانه‌زنبوری از جنس کاغذ کرافت می‌باشد (شکل ۹). مقاومت به فشار با تغییر نوع مغزی از لانه‌زنبوری کاغذی به فوم پلی‌اورتان ۱۲۹ درصد افزایش یافته است. با توجه به این‌که در مغزی لانه‌زنبوری اتصال بین مغزی در مرکز و دو پوسته در سطوح بالایی و پایین پانل به ضخامت دیواره‌های سلول لانه‌زنبوری محدود می‌شود، بنابراین در پانل ساخته شده از مغزی فوم پلی‌اورتان، اتصال در کل سطح مغزی با پوسته برقرار است، بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های ساخته شده از مغزی پلی‌اورتان اتصال بهتری را با پوسته‌ها برقرار می‌کنند و مقاومت به فشار بیشتری از خود نشان می‌دهند، زیرا نیرو در سطح بیشتری پخش می‌شود و مقاومت فشاری پانل افزایش می‌یابد. مغزی‌های فوم پلی‌اورتان نسبت به لانه‌زنبوری کاغذی از تراکم بیشتری برخوردار می‌باشند و مغزی‌های تراکم‌تر و سخت‌تر، تحمل بار بیشتری دارند (Erickson و همکاران، ۲۰۰۵).

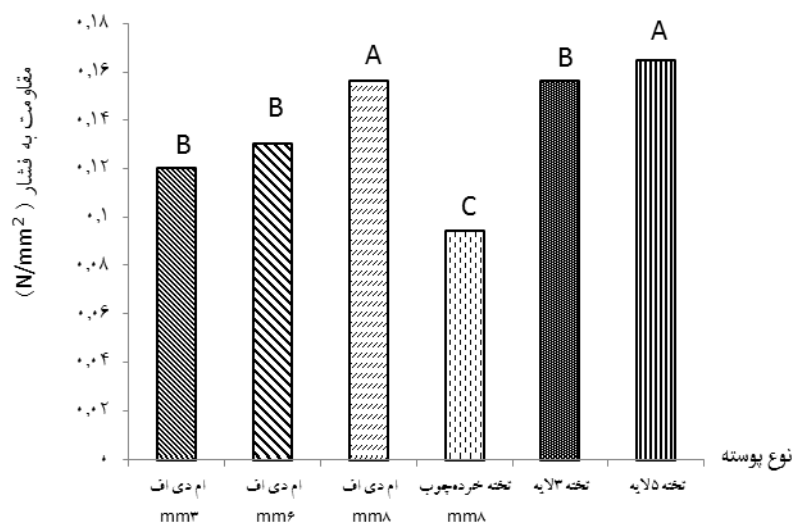
نتیجه‌گیری

مزیت‌های تأثیرگذار در تولید انواع محصولات صنعت مبلمان موجب استفاده رو به رشد از فرآورده‌های سبک‌وزن به‌عنوان مواد اولیه در ساخت مبلمان اداری و منزل گردیده و به‌طور قابل توجهی مورد استقبال تولیدکنندگان صنعت مبلمان ایران و جهان قرار گرفته است.

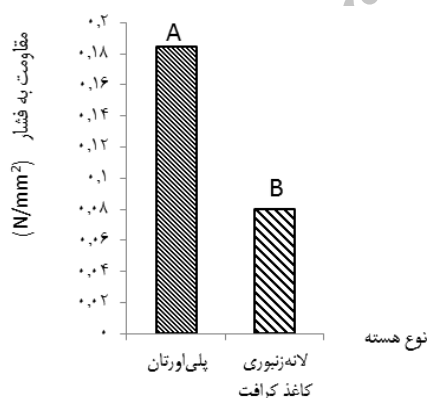
در مغزی لانه‌زنبوری اتصال بین مغزی در مرکز و دو پوسته در سطوح بالایی و پایین پانل به ضخامت دیواره‌های سلول لانه‌زنبوری محدود می‌شود، درحالی‌که در پانل ساخته شده از مغزی فوم پلی‌اورتان، اتصال در کل سطح مغزی با پوسته برقرار است، ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های ساخته شده از مغزی پلی‌اورتان اتصال بهتری را با پوسته‌ها برقرار می‌کنند و مقاومت به ضربه بیشتری از خود نشان می‌دهند. همچنین مغزی‌های تراکم‌تر و سخت‌تر در طول آزمون ضربه، تحمل بار بیشتری دارند و در مقابل ضربه، مقاومت خوبی نشان می‌دهند (Erickson و همکاران، ۲۰۰۵).

مقاومت به فشار

با توجه به تجزیه و آریانس (جدول ۲)، بین مقادیر مربوط به تأثیر نوع پوسته بر مقاومت به فشار در سطح اعتماد ۹۹٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد. براساس گروه‌بندی دانکن، بالاترین مقدار مقاومت به فشار مربوط به پانل ساخته شده از پوسته تخته ۵ لایه و MDF با ضخامت ۸ میلی‌متر و کمترین مقدار مقاومت به فشار مربوط به پانل ساخته شده از پوسته تخته خرده‌چوب با ضخامت ۸ میلی‌متر می‌باشد. (شکل ۸) نمودار شکل ۸ بیانگر این موضوع است که مقاومت به فشار در نمونه‌های حاوی پوسته MDF با افزایش ضخامت پوسته، افزایش یافته است، زیرا با افزایش ضخامت پوسته نیروی واکنش افزایش می‌یابد و پانل مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد (خلیلی و همکاران، ۱۳۸۷). همچنین در نمونه‌های حاوی تخته لایه نیز با افزایش تعداد لایه‌ها، مقاومت به فشار افزایش یافته است (لتیباری و همکاران، ۱۳۷۹).



شکل ۸- اثر مستقل نوع پوسته بر مقاومت به فشار



شکل ۹- اثر مستقل نوع مغزی بر مقاومت به فشار

پلی اورتان و ضعیف ترین نتایج در پانل سبک وزن ساخته شده از پوسته تخته خرده چوب و مغزی لانه زنبوری کاغذ کرافت بدست آمده است. نتایج حکایت از آن دارد که پانل سبک وزن ساخته شده از پوسته تخته ۵ لایه به دلیل ساختار لایه ای و مقاوم پوسته، مقاومت های مکانیکی بالاتری نسبت به سایر نمونه ها دارد و پانل سبک وزن ساخته شده از مغزی فوم پلی اورتان به دلیل تراکم مناسب، ایجاد سطح تماس بیشتر با پوسته، توزیع مناسب بار و کاهش تنش وارد شده به

در حقیقت این پانل ها به دلیل مصرف حداقل مواد اولیه دارای وزن کم هستند، قابلیت مونتاژ سریع را دارند و از خواص مقاومتی خوبی نیز برخوردار می باشند. در این تحقیق با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی ویژگی های مکانیکی پانل سبک وزن ساخته شده از مغزی لانه زنبوری کاغذ کرافت و فوم پلی اورتان و همچنین تجزیه و تحلیل آماری داده ها، می توان به این نتیجه دست یافت که بهترین نتایج در پانل سبک وزن ساخته شده از پوسته تخته ۵ لایه و مغزی فوم

- Cai, Z., Ross, R.G., 2010. Mechanical properties of wood-based composites materials, In: Wood Handbook, Wood as an Engineering Material, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, 12-1-12-12.
- Chen, Z., Yan, N., Deng, J., Smith, G., 2011. Flexural creep behavior of sandwich panels containing Kraft paper honeycomb core and wood composite skins. *Materials Science and Engineering A*. vol.528, issue 16-17, pp: 5621-5626.
- Chen, Z., Yan, N., 2012. Investigation of elastic moduli of Kraft paper honeycomb core sandwich panels, *Composites: Part B*, vol. 43, pp:2107-2114.
- DIN 52189 (1981) Testing of wood; determination of impact bending strength (Schlagbiegeversuch; Bestimmung der Bruchschlagarbeit).
- Erickson, M.D., Kallmeyer, A.R. and Kellogg, K.G., 2005. Effect of temperature on the low-velocity impact behavior of composite sandwich panels. *Journal of Sandwich Structures and Materials*. vol. 7, pp: 245-264.
- Paulius, G., Daiva, Z., Vitalis, L., and Marian, O., 2010. Experimental and numerical study of impact energy absorption of safety important honeycomb core sandwich structures. *Mater Sci.*, vol.16, Issue 2, pp:119-23.
- Pflug, J., Fan, X.Y., Vangrimde, B., Verpoest, I., Bratfish, Ph. and vanderpitte, D., 2002. Development of a sandwich material with polypropylene/natural fiber skins and paper honeycomb core, Proc. of 10th European conference on Composite Materials (ECCM-10). Brugge, Belgium, June 3-7, 2002, DROM, paper 331. Pp: 51.
- Shalbanan, A., Luedtke, J., Welling, J., and Thoemen, H., 2011. Comparison of foam core materials in innovative lightweight wood-based panels. DOI 10.1007/s00107-011-0552-0.
- Tan, C.Y., Hazizan Md. Akil, 2011. Impact response of fiber metal laminate sandwich composite structure with polypropylene honeycomb core. *Composites: Part B*, vol. 43, pp: 1433-1438.
- Wang D., 2006. Compression breakage properties research on the honeycomb, paperboard Packaging Engineering. vol.27. Issue, pp: 37-39.
- Wang D., 2008. Impact behavior and energy absorption of paper honeycomb sandwich panels, *International Journal of Impact Engineering*, *International Journal of Impact Engineering*. vol. 36, Issue 1, pp: 110-114.
- سطح دارای برتری محسوس نسبت به پانل سبک‌وزن ساخته شده از مغزی لانه‌زنبوری کاغذ کرافت می‌باشد.
- ### منابع مورد استفاده
- یوسفی، ا.، ۱۳۹۰. تولید پانل‌های لانه‌زنبوری با استفاده از ضایعات محصولات کشاورزی. همایش ملی مدیریت کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم.
- تیمورزاده، ه.، ۱۳۹۰. بررسی امکان استفاده از لایه‌های چندسازه‌ی چوب-پلاستیک، در ساخت پانل‌های چوب-لاستیک لایه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- سبحانی، م.، ۱۳۹۰. بررسی تولید پانل ساندویچی با استفاده از چوب پالونیا و رویه فایبرگلاس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- جباری، م.، ۱۳۹۰. تاثیر نوع لایه و نوع چسب بر ویژگی‌های مکانیکی پانل ساندویچی ساخته شده از کاغذ لانه‌زنبوری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی چالوس.
- خطیبی، م.، رحیمی، ح.، ۱۳۸۳. ساخت و بررسی خواص صفحات ساندویچی لانه‌زنبوری گرمانرم. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر. ۱۷(۶): ۳۴۵-۳۵۱.
- لتیباری، ج.، عرب تبار فیروزجایی، ح.، گلبابایی، ف.، کارگرفرد، ا. و نوربخش، ا.، ۱۳۷۹. بررسی ساخت چوب‌های لایه‌ای L. B. و L. تعیین خواص کاربردی آنها. مجله تحقیقات چوب و کاغذ ایران، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، شماره انتشار ۱۳: ۲۵۱-۱.
- خلیلی، م.، رحیمی، ح.، قریشی، م.، رضادوست، ا. و اسفنده، م.، ۱۳۸۷. مدل‌سازی رفتار تورفتگی دیواره‌های ساندویچی لانه‌زنبوری گرمانرم. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، ۲۱ (۲): ۱۶۶-۱۵۷.
- American Society for Testing Materials (ASTM), Standard Test Methods for Flexural Properties of Sandwich Construction, C393-00, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2000.
- ASTM C-365-94. Standard test method for flatwise compressive properties of sandwich cores, 1994 (American Society for Testing and Materials, Philadelphia).
- Barboutis, I., Vassiliou, V., 2005. Strength properties of lightweight paper honeycomb panels for furniture. In: Proceedings of International Scientific Conference, 10th Anniversary of Engineering Design (Interior and Furniture Design). 17-18 October, Sofia, page: 6.
- Bitzer, T., 1997. Honeycomb Technology, Materials, Design, Manufacturing, Application and Testing, Chapman and Hall. New York. pp:1-199.

The effect of core type and skin on the mechanical properties of lightweight sandwich Panels

Ghofrani, M.^{1*}, Pishan, S.² and Talaei, A.³

1*-Corresponding author, Assistant Prof., Wood Industries Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.
Email: Ghofrani@srttu.edu

2-M.Sc., Student of Wood Industries Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.

3-Assistant Prof., Wood Industries Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.

Received: Feb., 2012

Accepted: Nov., 2013

Abstract

Increasing demand for light and durable materials in home and office furniture requires optimizing the properties of the products used. In this research the effect of skin type and core on mechanical properties of light weight sandwich panel was investigated. The skins were made of MDF with 3, 6 and 8 mm thickness, particle board with 8 mm thickness, three layer plywood with 3.8 mm thickness and five layers plywood with 7.28mm thickness. The cores of polyurethane foam and honeycomb of kraft paper (3 cm thickness) were used. Mechanical tests including bending strength, modulus of elasticity; impact bending and compression were performed according to DIN and ASTM standards. Result showed that, light sandwich panels made from polyurethane foam core had higher mechanical properties than the light panel made of kraft honeycomb core which indicates that the dense and homogenous structure and better linkage with skin. By increasing the thickness of skin in the samples made from MDF skin, the properties of sandwich panel increased. The best result of mechanical properties was observed in light weight sandwich panel made of plywood skin and polyurethane core.

Key words: Lightweight panel, paper honeycomb, polyurethane foam, mechanical properties.