نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۴ شماره ۴، صفحه ۵۷۱-۵۶۳، (۱۳۹۸)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2020.128111.1576
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0913.1398.34.563.69.4.1578.32

# تأثیر نوع پوسته، نحوهٔ چیدمان و ارتفاع لوله‌های مقوایی به‌عنوان مغزی، بر مقاومت‌های مکانیکی پانل ساندویچی

علی خاکی[1*]، علی‌اکبر یزدی میمند[2]، سیدمجتبی میرحسینی طباء[2] و سیدصالح گوهری اصل[3]

۱* – نویسنده مسئول، استادیار، عضو هیات علمی دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران، پست الکترونیکی: Dr.alikhaki@yahoo.com

۲– دانشجوی کارشناسی ارشد، تربیت دبیر شهید رجایی، دانشکده مهندسی عمران، تهران ایران

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۸

## چکیده

در این پژوهش اثر نوع پوسته، نحوهٔ چیدمان و ضخامت مغزی بر مقاومت‌های مکانیکی پانل ساندویچی سبک وزن بررسی شد. برای ساخت پانل‌های ساندویچی از دو نوع پوسته شامل تخته فیبر با دانسیته متوسط و تخته خرده چوب با ضخامت ۸ میلی‌متر و مغزی از جنس لوله (بوبین)های مقوایی با ارتفاع‌های ۳۰ و ۵۰ میلی‌متر، در سه نوع چیدمان استفاده شد. چسب مصرفی اوره فرمالدهید انتخاب شد. در ادامه مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته براساس استاندارد ASTM C 393 و مقاومت به ضربه مطابق استاندارد DIN 5218 1992 مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضخامت مغزی‌ها تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مکانیکی داشته است، به‌طوری‌که با افزایش ضخامت مغزی‌ها، مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته کاهش اما مقاومت به ضربه افزایش یافت. بهترین نتایج مربوط به نمونه‌های ساخته‌شده با پوسته تخته فیبر نیمه‌سنگین و مغزی با ضخامت ۳۰ میلی‌متر در چیدمان زیگزاگی فشرده (نوع A) بود.

**واژه‌های کلیدی:** بوبین، پانل ساندویچی، پوسته، لوله مقوایی، مقاومت مکانیکی، مغزی.

## مقدمه

امروزه با توجه به کاهش مواد اولیه چوبی و افزایش قیمت فراورده‌های چوبی، محدودیت‌هایی در زمینه تأمین مواد اولیه چوبی به‌منظور استفاده در فضای داخلی ساختمان و سازه‌های چوبی مشهود است؛ بنابراین تقاضا به سمت استفاده از مواد سازه‌ای سبک، با هدف مصرف بهینه چوب و منابع چوبی در حال گسترش می‌باشد (Ghofrani *et al*., 2014). پانل‌های ساندویچی گروه ویژه‌ای از فراورده‌های لایه‌ای هستند که اغلب سه لایه بوده و لایه مغزی دارای ضخامت بیشتر است اما سفتی و مقاومت به پیچش کمتری از لایه پشتی و رویی دارد. به‌طورکلی با ساخت این نوع پانل وزن سازه کاهش می‌یابد، در نتیجه مواد اولیه کمتری مصرف می‌شود. این در حالی است که مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی را می‌توان در حد مطلوب و مورد نیاز افزایش داد (Ebrahimi, 2013). ساختار پانل ساندویچی به علت وزن سبک و مقاومت مناسب، به صورت گسترده در صنایع بسته‌بندی و دیگر صنایع مانند مبلمان و ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Wang, 2006). به‌طوری‌که وظیفه مغزی در پانل‌های ساندویچی انتقال نیرو از یک رویه به رویه دیگر می‌باشد و فیلم چسب قابلیت انتقال بارهای محوری و برشی را داراست. در اثر اعمال بار خمشی در یک سازه ساندویچی، یک رویه تحت تأثیر فشار و رویه دیگر تحت کشش قرار می‌گیرد. بدین‌ترتیب رویه‌های یک صفحه ساندویچی همانند لبه‌های یک تیر آهن I شکل در مقابل بارهای خمشی مقاومت می‌کنند و باعث

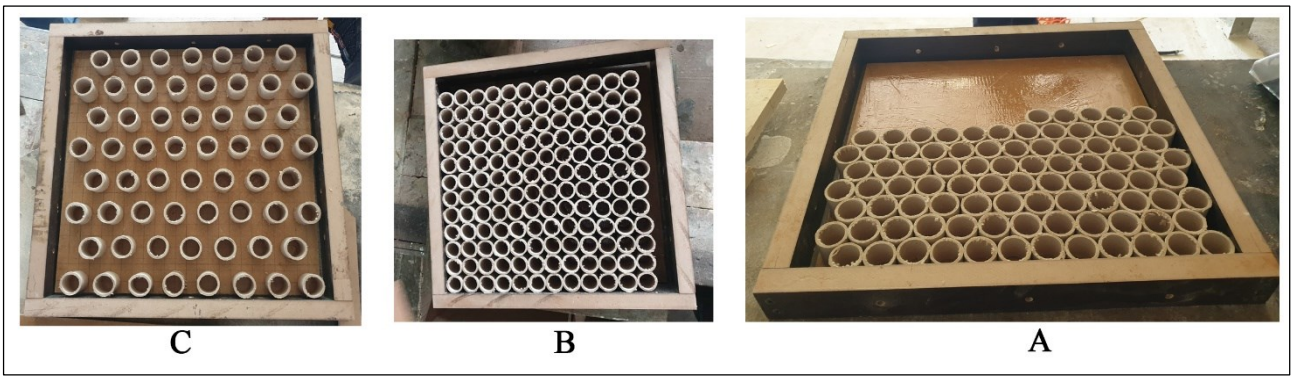
تقویت مداوم و پیوسته رویه‌ها می‌شود (Mazinani *et al*., 2007). Saffari و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر نوع رویه و نوع چسب مصرفی را بر خواص مکانیکی پانل‌های ساندویچی بررسی کردند. عامل‌های متغیر در این پژوهش شامل نوع رویه که از سه نوع رویه مختلف با ضخامت یکسان (رویه راش، صنوبر و تخته فیبر سخت دو رو صاف بدون روکش) و نوع چسب مصرفی که از دو نوع چسب سرد مختلف (چسب اپوکسی و پلی وینیل استات) بود. بیشترین مقادیر خواص مکانیکی برای تیمارهای تخته فیبر سخت با استفاده از چسب اپوکسی دیده شد و می‌توان بیان کرد که تخته فیبر سخت به علت فشردگی زیاد تأثیر ویژه‌ای بر روی ویژگی‌های مکانیکی پانل‌های ساندویچی داشته است. Chen و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی مدول‌الاستیسیته پانل ساندویچی ساخته‌شده از مغزی لانه زنبوری کاغذ کرافت و پوسته از جنس ام‌دی‌اف پرداختند. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که کاهش نسبت ضخامت مغزی به پوسته در این پانل‌ها موجب افزایش مدول‌الاستیسیته می‌شود و نمونه‌های ساخته‌شده با ضخامت مغزی کمتر و ضخامت پوسته بیشتر، مدول بیشتری دارند. Ghofrani و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر نوع مغزی و پوسته بر مقاومت‌های مکانیکی پانل ساندویچی سبک وزن پرداختند. پوسته‌ها از جنس MDF و با ضخامت ۶/۳ و ۸ میلی‌متر، تخته خرده چوب با ضخامت ۸ میلی‌متر، تخته سه لایه با ضخامت ۳/۸ و تخته ۵ لایه با ضخامت ۷/۲۸ بود. نتایج نشان داد در نمونه‌های ساخته‌شده از پوسته MDF، با افزایش ضخامت پوسته، مقاومت‌های پانل ساندویچی افزایش یافت. مقاومت خمشی تخته ۵ لایه نسبت به MDF با ضخامت ۸ میلی‌متر ۳۰ درصد و نسبت به نمونه ساخته‌شده از تخته خرده چوب با ضخامت ۸ میلی‌متر، ۹۹ درصد بیشتر بود. بالاترین مقدار مدول‌الاستیسیته و مقاومت به ضربه مربوط به تیمار پوسته تخته ۵ لایه و کمترین مربوط به تیمار پوسته تخته خرده چوب به‌دست آمد. سالمی و شیشه‌ساز (۱۳۹۲) تأثیر تغییرات تعداد سلول، اندازه سلول و ضخامت هسته، ضخامت چسب و حضور حفره در چسب را در سازه‌های لانه زنبوری بر تنش برشی و عمودی چسب و هسته سازه معادل به روش اجزاء محدود توسط نرم‌افزار مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده با افزایش تعداد سلول و ضخامت هسته، تنش در چسب و هسته کاهش می‌یابد و افزایش اندازه سلول باعث افزایش تنش‌ها می‌شود اما افزایش ضخامت هسته تأثیری در تنش‌ها ندارد و تا زمانی که حفره چسب به انتها نزدیک نشود تنش‌ها تغییر نمی‌کنند. Paulius و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی رفتار ساختار ساندویچی ساخته‌شده از مغزی لانه زنبوری پلی‌پروپیلن در مقابل بار ضربه مشاهده کردند که مغزی لانه زنبوری 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 لانه زنبوری کاغذی به این نتیجه رسید که افزایش دانسیته نسبی و افزایش ضخامت دیواره سلول لانه زنبوری، باعث بهبود جذب انرژی در پانل ساندویچی و افزایش قابلیت فشردگی پانل می‌گردد، همچنین افزایش طول دیواره سلول در ساختار لانه زنبوری، جذب انرژی را در پانل کاهش می‌دهد. Barboutis و Vassiliou (۲۰۰۴) خواص مقاومتی (مدول گسیختگی و مقاومت به ضربه) پانل‌های ساندویچی با ضخامت نهایی ۵۱/۷ میلی‌متر با مغزی کاغذ لانه زنبوری بازیافتی را مورد بررسی قرار دادند. اندازه سلول‌های کاغذ لانه زنبوری در این تحقیق ۳۰ ×۳۰ میلی‌متر بود و رویه‌های سطحی از تخته خرده چوب با ضخامت ۷/۸ میلی‌متر در نظر گرفته شد. آنان دریافتند که مدول گسیختگی و مدول کشسانی این پانل‌ها نسبت به مقاومت‌های تخته خرده چوب با ضخامت ۷/۸ میلی‌متر و ۱۶/۱ میلی‌متر کمتر است. همچنین مقاومت به ضربه پانل لانه زنبوری مورد آزمایش بسیار بالاتر از تخته خرده چوب با ضخامت ۷/۸ میلی‌متر و ۱۶/۱ میلی‌متر بود. Chenو همکاران (۲۰۱۱) در نتایج خود بیان نمودند که میزان از شکل افتادگی خزش در یک پانل ساندویچی با مغزی ضخیم‌تر بیشتر از پانل‌های دارای مغزی نازک‌تر است و علت آن‌هم میزان زیادتر بار می‌باشد که منجر به خزش بیشتر می‌شود. در نتیجه خزش خمشی پانل ساندویچی لانه زنبوری نسبت به ضخامت مغزی لانه زنبوری حساسیت دارد. ضخامت

مغزی بر روی زمان گسیختگی خزش تأثیرگذار بوده و زمانی که ضخامت مغزی یکسان است، نسبت پوسته بر روی زمان گسیختگی خزش تأثیر معنی‌داری ندارد. Smardzewski و همکاران (۲۰۱۹) ویژگی‌های مکانیکی پانل‌های ساندویچی با سلول‌های مستطیلی هسته را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که مدول‌الاستیسیته نمونه‌های با ضخامت ۵۰ میلی‌متر و مغزی با سلول‌های مستطیلی ۲۳ درصد بیشتر از نمونه‌های با مغزی شش‌ضلعی مشابه بود ولی مدول‌الاستیسیته در نمونه‌های با ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر، ۱/۲ درصد کوچک‌تر بود. برای نمونه‌های با ضخامت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌متر، میزان کاهش مقاومت خمشی در مقایسه با پانل‌های با هسته‌های شش‌ضلعی به‌ترتیب ۳/۴ و ۱۸ درصد است. به‌طورکلی هسته‌هایی با سلول‌های شش‌ضلعی در پانل‌های ساندویچی در صنعت مبلمان می‌تواند توسط هسته‌های با سلول‌های مستطیلی جایگزین شود.

نوع چیدمان سلول‌های مغزی می‌تواند خواص مکانیکی را تحت تأثیر قرار دهد. در مورد استفاده از لوله‌های مقوایی باطله به‌عنوان مغزی پانل‌های ساندویچی نیز اطلاعاتی در دسترس نیست؛ بنابراین در این پژوهش به ساخت پانل ساندویچی با مغزی لوله‌های مقوایی با متغیرهای ذکر شده به‌منظور بررسی خواص مکانیکی آن پرداخته شده است.

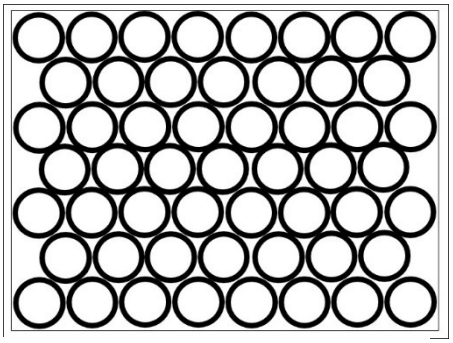
## مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای ساخت پانل ساندویچی سبک وزن، دو نوع کامپوزیت چوبی مختلف به‌عنوان پوسته مورد استفاده قرارگرفته است: MDF و تخته خرده چوب خام هر دو با ضخامت ۸ میلی‌متر. ورقه‌های یادشده از تولیدات کارخانه‌های داخل کشور بوده و از سایت چوب‌فروشان خاوران تهران تهیه شده‌اند. مغزی‌های مورد استفاده از جنس لوله مقوایی، تولید شرکت لاوین گستر اصفهان، با قطر داخلی ۲/۶ سانتی‌متر، قطر خارجی ۳/۲ سانتی‌متر و با دو ارتفاع ۳۰ و ۵۰ میلی‌متر تهیه شدند. مغزی‌ها با سه چیدمان مختلف، A (زیگزاگی فشرده)، B (مشبک ردیفی) و C (زیگزاگی فاصله‌دار) جایگذاری شدند (شکل ۱ و ۲).

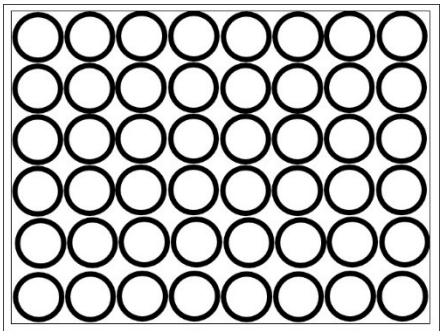



**شکل ۱- انواع چیدمان لوله‌های مقوایی مغزی (A- زیگزاگی فشرده، B- مشبک ردیفی، C- زیگزاگی فاصله‌دار)**

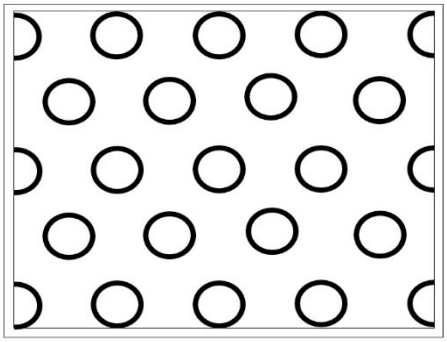
از چسب اوره فرمالدهید تولید کارخانه‌های داخلی، با نسبت پودر به آب ۱:۱، به‌عنوان ماده چسبنده و به‌میزان ۱۷۰ $gr/m^2$ در ساخت نمونه‌ها استفاده شده است. برای ساخت پانل‌های ساندویچی، از فریم (قاب) استفاده گردید تا فشار پرس موجب جابجایی لوله‌های مقوایی (بوبین‌های مغزی) نشود. پوسته زیرین پس از چسب‌زنی داخل فریم قرار گرفته، سپس لوله‌های مقوایی تشکیل‌دهنده مغزی با توجه به نوع چیدمان مورد نظر، روی پوسته قرار داده شدند.



چیدمان نوع A (زیگزاگی فشرده)



چیدمان نوع B (مشبک ردیفی)



چیدمان نوع C (زیگزاگی فاصله‌دار)

**شکل ۲- انواع چیدمان لوله‌های مقوایی در مغزی**

پس‌ازآن، پوسته رویی چسب زده شده و روی سطح بوبین‌های مغزی قرار گرفت. برای ساخت پانل‌های ساندویچی از پرس گرم استفاده گردید. پارامترهای ثابت پرس در این پژوهش؛ دما ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد، فشار ۳۰ بار و زمان ۱۲ دقیقه بود. بعد از پرس نمونه‌های ساخته‌شده، به‌منظور متعادل‌سازی به مدت دو هفته در فضای آزمایشگاه نگهداری شدند. تعداد لوله‌های مقوایی استفاده شده در مغزی، در چیدمان نوع A (زیگزاگی فشرده)، نوع B (مشبک ردیفی) و نوع C (زیگزاگی فاصله‌دار) به‌ترتیب ۱۶۸، ۱۴۸ و ۶۰ عدد بود.

**جدول ۱- سطوح و علائم متغیرهای تحقیق**

| ارتفاع مغزی | نوع پوسته | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | تخته فیبر با دانسیته متوسط (MDF) | | | تخته خرده چوب | | |
| | چیدمان | | | چیدمان | | |
| | A | B | C | A | B | C |
| ۳۰ میلی‌متر | MA30 | MB30 | MC30 | PA30 | PB30 | PC30 |
| ۵۰ میلی‌متر | MA50 | MB50 | MC50 | PA50 | PB50 | PC50 |

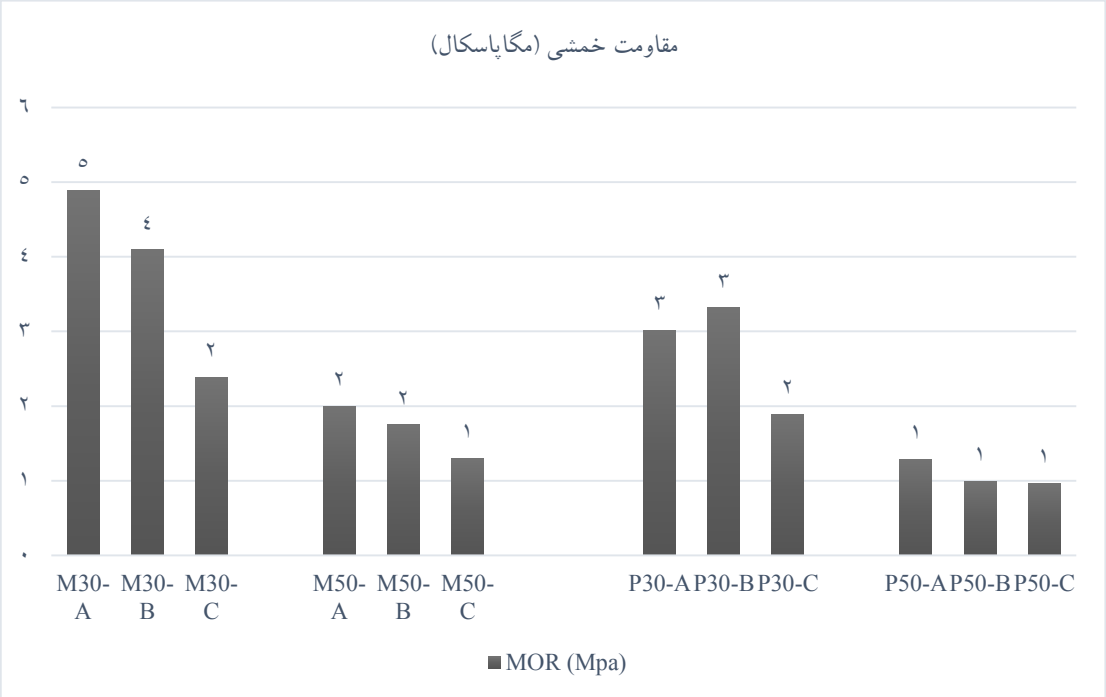
M: تخته فیبر با دانسیته متوسط، P: تخته خرده چوب

برای انجام آزمون‌های مکانیکی، نمونه‌ها طبق استاندارد ASTM C393 برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته، با ابعاد ۲۵ × ۵ سانتی‌متر و برای اندازه‌گیری مقاومت به ضربه مطابق با استاندارد Din 52189:1992 با ابعاد ۳۰ × ۶ سانتی‌متر برش داده شدند.

## نتایج

### مقاومت خمشی

نمونه‌های دارای پوسته از جنس MDF به‌طور معنی‌داری از مقاومت خمشی بالاتری نسبت به نمونه‌های دارای پوسته از جنس تخته خرده چوب برخوردار بودند. با اندازه‌گیری مقدار مقاومت خمشی پوسته‌ها دیده می‌شود که MDF به دلیل ساختار خاص و مقاوم نسبت به تخته خرده چوب، مقاومت خمشی و ظرفیت تحمل تنش بیشتری دارد (Cai *et al*., 2010). با توجه به اینکه 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، ازاین‌رو مقاومت خمشی مربوط به پانل ساخته‌شده از پوسته MDF نسبت به پوسته تخته خرده چوب بیشتر است (Ghofrani *et al*., 2014). همچنین نمونه‌های دارای مغزی با ارتفاع ۳۰ میلی‌متر نسبت به نمونه‌های دارای مغزی با ارتفاع ۵۰ میلی‌متر، مقاومت خمشی بالاتری را ارائه دادند. تحقیقات گذشته نیز نشان می‌دهد با کاهش ضخامت مغزی، مقاومت خمشی افزایش می‌یابد (Chen *et al*., 2011).



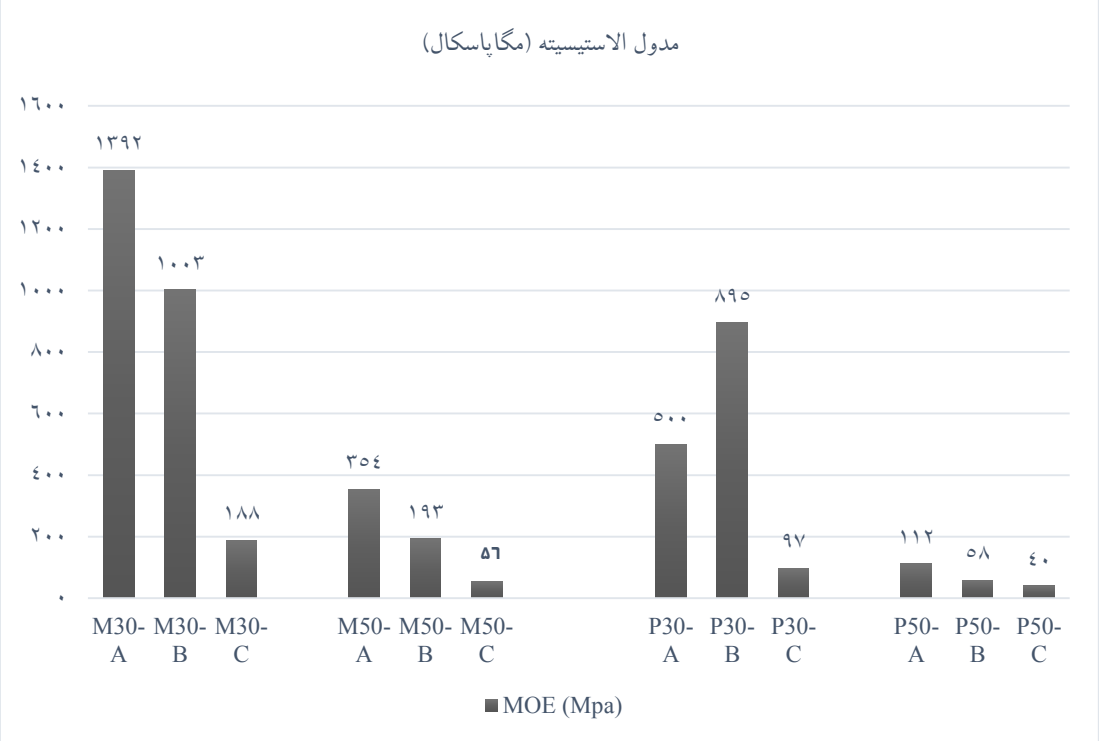

**شکل ۳- مقاومت خمشی نمونه‌های پانل ساندویچی**

از نظر نوع چیدمان لوله‌های مغزی، از چیدمان نوع A (زیگزاگی فشرده) تا C (زیگزاگی فاصله‌دار) مقدار مقاومت خمشی کاهشی بود. در چیدمان زیگزاگی فشرده، تعداد لوله‌های مقوایی در مغزی بیشتر بوده، پس اتصال بین پوسته و مغزی بیشتر است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که چیدمان زیگزاگی فشرده بالاترین مقاومت خمشی را دارد، زیرا اتصال بهتر و بیشتری با پوسته‌ها برقرار کرده و تحمل تنش پانل را افزایش می‌دهد. از سویی با افزایش تعداد لوله در مغزی، تنش

در چسب و مغزی کاهش می‌یابد (Salemi & Shishehsaz, 2013). به‌طورکلی بهترین نتیجه مربوط به نمونه‌های دارای پوسته از جنس MDF، با ارتفاع مغزی ۳۰ میلی‌متر و چیدمان زیگزاگی فشرده بود (شکل ۳).

**مدول‌الاستیسیته**

مدول‌الاستیسیته به‌طور معنی‌داری در نمونه‌های دارای پوسته از جنس MDF در هر سه نوع چیدمان بالاتر از نمونه‌های دارای پوسته‌های تخته خرده چوب بود. MDF نسبت به تخته خرده چوب مدول‌الاستیسیته بالاتری دارد و استفاده از آن در لایه سطحی مدول‌الاستیسیته پانل سبک وزن را افزایش می‌دهد (Cai *et al*., 2010). نمونه‌های دارای مغزی با ارتفاع ۳۰ میلی‌متر نسبت به نمونه‌های دارای مغزی با ارتفاع ۵۰ میلی‌متر مدول‌الاستیسیته بالاتری را از خود نشان دادند. طبق تحقیقات گذشته نیز با کاهش ضخامت مغزی، مقاومت خمشی افزایش می‌یابد (Chen *et al*., 2011). نمونه‌های دارای پوسته تخته خرده چوب، مغزی با ارتفاع ۳۰ میلی‌متری و چیدمان مشبک ردیفی، دارای مدول بالاتری بودند. به‌طورکلی بالاترین مدول‌الاستیسیته مربوط به چیدمان زیگزاگی فشرده (نوع A) و کمترین مقدار مدول‌الاستیسیته مربوط به چیدمان زیگزاگی فاصله‌دار (نوع C) است. به‌طورکلی بهترین نتیجه از نظر مدول‌الاستیسیته، در پانل‌های ساندویچی با پوسته MDF، مغزی با ارتفاع ۳۰ میلی‌متر و چیدمان مغزی زیگزاگی فشرده مشاهده شد.

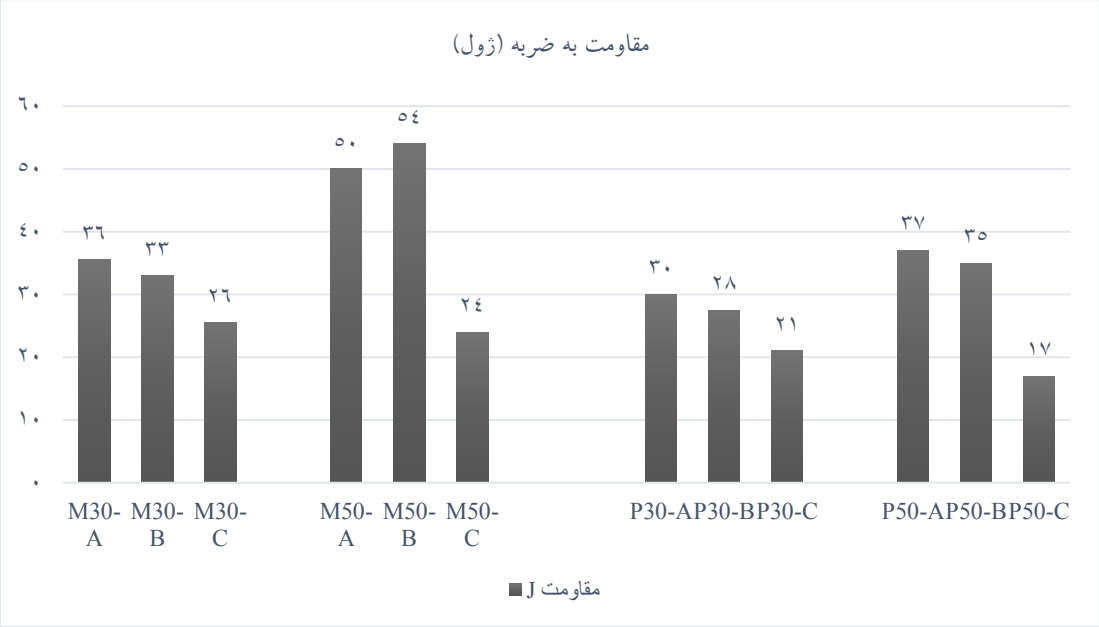



**شکل ۴- مدول‌الاستیسیته نمونه‌های پانل ساندویچی**

**مقاومت به ضربه**

پوسته‌های MDF نسبت به تخته خرده چوب مقاومت به ضربه بالاتری را ارائه کردند که به‌دلیل ساختار خاص و مقاوم MDF نسبت به تخته خرده چوب، MDF جذب انرژی بالاتری دارد. تحقیقات نشان می‌دهد که پاسخ به ضربه یک ساختار ساندویچی بستگی به نوع پوسته و نوع مغزی دارد

(Tan *et al*., 2011). به‌طوری‌که بالاترین مقدار مقاومت به ضربه مربوط به چیدمان زیگزاگی فشرده (نوع A) و کمترین مقدار مقاومت به ضربه مربوط به چیدمان زیگزاگی فاصله‌دار (نوع C) است (شکل ۵). در چیدمان زیگزاگی فشرده، بیشترین تعداد لوله‌های مقوایی در مغزی وجود دارد و در چیدمان زیگزاگی فاصله‌دار، کمترین تعداد لوله‌های مقوایی در مغزی قرار می‌گیرد. همچنین مغزی‌های متراکم‌تر و سخت‌تر در طول آزمون ضربه، تحمل بار بیشتری دارند و در مقابل ضربه مقاومت خوبی نشان می‌دهند (Erickson *et al*., 2011). نمونه‌های دارای مغزی با ارتفاع ۵۰ میلی‌متر نسبت به نمونه‌های با ارتفاع ۳۰ میلی‌متر نتایج بهتری را ارائه دادند. مغزی پانل سبک وزن حدود ۵۰ تا ۹۵ درصد انرژی کل سازه را جذب می‌کند (Wang, 2008) و از سویی افزایش دانسیته نسبی باعث بهبود جذب انرژی در پانل ساندویچی می‌شود (Barboutis Vassiliou, 2013). ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های دارای مغزی با ارتفاع ۵۰ میلی‌متر مقاومت بیشتری را داشتند.




**شکل ۵- مقاومت به ضربه نمونه‌های پانل ساندویچی**

## بحث

مزیت‌های تأثیرگذار در تولید انواع محصولات صنعت مبلمان موجب استفاده رو به رشد از فراورده‌های سبک وزن به‌عنوان مواد اولیه در ساخت مبلمان اداری و منزل شده و به‌طور قابل‌توجهی مورد استقبال تولیدکنندگان صنعت مبلمان ایران و جهان قرار گرفته است. در حقیقت این پانل‌ها به دلیل مصرف حداقل مواد اولیه دارای وزن کم هستند و از خواص مقاومتی خوبی نیز برخوردار می‌باشند. در این تحقیق با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از بررسی ویژگی‌های مکانیکی پانل سبک وزن ساخته‌شده از مغزی لوله‌های مقوایی می‌توان به این نتیجه دست‌یافت که بهترین نتایج در پانل سبک وزن ساخته‌شده از پوسته MDF، با ارتفاع ۳۰ میلی‌متری لوله مقوایی در مغزی و چیدمان زیگزاگی فشرده و ضعیف‌ترین نتایج در پانل سبک وزن ساخته‌شده از پوسته تخته خرده چوب، با ارتفاع ۵۰ میلی‌متری لوله مقوایی به‌عنوان مغزی و چیدمان زیگزاگی فاصله‌دار به‌دست‌آمده است. نتایج نهایی آزمون‌های مکانیکی پانل‌های ساخته‌شده از مغزی لوله‌های مقوایی نشان داد که استفاده از لوله مقوایی به‌عنوان مغزی،

نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. به‌گونه‌ای که پانل‌های ساخته‌شده از لوله مقوایی با ارتفاع ۳۰ میلی‌متر و چیدمان زیگزاگی فشرده (نوع A)، بهترین مدول‌الاستیسیته و مقاومت خمشی را در مقایسه با سایر نمونه‌ها ارائه نمودند. در مورد مقاومت به ضربه نیز نتایج به‌دست‌آمده تفاوت معنی‌داری نسبت به هم نداشتند، اما به‌طورکلی پوسته‌های MDF و ارتفاع ۵۰ میلی‌متری لوله مغزی نتایج بهتری داشتند، به‌گونه‌ای که بهترین نتیجه مربوط به نمونه‌های M50-A و M50-B بود. نتایج حکایت از آن دارد که پانل سبک وزن ساخته‌شده از پوسته MDF به دلیل ساختار خاص و مقاوم پوسته، مقاومت‌های مکانیکی بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد. همچنین نوع چیدمان لوله‌ها در مغزی پانل سبک وزن تأثیر بسزایی در مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته دارد. چیدمان زیگزاگی فشرده نسبت به چیدمان‌های دیگر، به دلیل قرارگیری تعداد لوله‌های مقوایی بیشتر در یک سطح ثابت و تراکم بیشتر، ایجاد سطح تماس بیشتر با پوسته، توزیع مناسب بار و کاهش تنش واردشده به سطح دارای برتری محسوسی می‌باشد.

بنابراین با توجه به نتایج مطلوب به‌دست‌آمده، استفاده از لوله‌های مقوایی به‌عنوان مغزی پیشنهاد می‌شود. این لوله‌ها را می‌توان از ضایعات صنایع نساجی و سایر صنایع مختلف تهیه نمود.

## منابع مورد استفاده

-Barboutis, I. and Vassiliou, V., 2004. Strength Properties Of Lightweight Paper Honeycomb Panels For The Furniture, Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Forestry and Natural Environment and Department of Harvesting and Forest Products Technology,6 p.

-Cai, Z. and 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. 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.

-Ebrahimi, G., 2013. Mechanical Wood Composite Products. Tehran Univ. Press, 680p.

-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.

-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.

-Mazinani M., Rezaei, H. and Nikfarjam, M., 2007. Comparison between theory and experiment and balsa sheet honeycomb sandwich construction with cerebral vessels extremist, 9th Conference on Maritime, Noor- Mazandaran Province, p13.

-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, 16(2): 119–23.

-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.

-Salemi, M. and Shishehsaz, M., 2013. Investigating the impact of geometrical parameters on stress in honeycomb structures. Second National Conference on Mechanical Systems and Industrial Innovation. Islamic Azad University of Ahvaz, 17-18 December

-Smardzewski, J., Gajęcki, A, and Wojnowska, M., 2019. Investigation of Elastic Properties of Paper Honycomb Panels With Rectangular Cells. BioResources, 14(1): 1435–1451.

-Tan, C.Y. and Hazizan Md.A., 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, 27: 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, 36(1): 110–114.

# Influence of sheet type, layout, and height of cardboard tubes as cores on the mechanical properties of the sandwich panel

**A. Khaki[1*], A.A. Yazdi Mymand[2], M. Mir Hoseini Taba[2] and S. Gohari Asl[2]**

1-* Corresponding author, Assistant Prof., Assistant Professor, Technical and Vocational UniversityTehran, Iran,
Email: Dr.alikhaki@yahoo.com
3-M.Sc., Student wood industries department, Faculty of civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

Received: Dec., 2019 Accepted: Jan., 2020

## Abstract

The increasing demand for durable and lightweight raw materials in home and office furniture makes it necessary to investigate and optimize their properties. In this study, the effect of the sheet type, layout, and thickness were investigated on the mechanical properties of lightweight sandwich panels. Two types of sheets were used for making sandwich panels; medium density fiberboards and particle boards with the thickness of 8 mm and cores were made of tube (bobbins) cardboard with heights of 30 and 50 mm, in three types of layouts. Urea formaldehyde glue was selected. The bending stiffness and modulus of elasticity were evaluated according to ASTM C 393 and impact strength according to DIN 5218 1992. The results showed that the thickness of the core had a significant effect on the mechanical properties, and with increasing the thickness of the core, bending stiffness and modulus of elasticity decrease, but impact strength increases. The highest values were measured from specimens made with a 30mm thick core, medium density fiberboard and Type A layout.

**Keywords:** Bobbin, sandwich panel, Sheet, cardboard tube, mechanical properties, core.