Archive of SID

دانشکده منابع طبیعی
دانشگاه تهران

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۳، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۹
ص ۳۹-۴۹

DOI: 10.22059/jfwp.2020.293524.1045

خصوصیات مکانیکی پانل ساندویچی سبک با مغزی کاغذ بازیافت‌شده

محمد بهرامی[۱]، سعیدرضا فرخ‌پیام[۲*]، حمیدرضا منصوری[۲]، محمد شمسیان[۲]، احسان صانعی[۳] و عبدالله کریمی[۴]

۱. کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲. دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۳. مربی گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۴. دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۸

چکیده

پانل‌های ساندویچی به‌دلیل داشتن خصوصیاتی همچون وزن کم، عایق صوتی و حرارتی خوب، نصب و راه‌اندازی آسان، مقاومت زیاد و قیمت کم امروزه کاربردهای بی‌شماری در صنعت و ساختمان‌سازی پیدا کرده‌اند. در این پژوهش امکان بهبود استحکام پانل ساندویچی از طریق تغییر در جنس و شکل مغزی بررسی شد. جنس مغزی ساخته‌شده در این پژوهش کاغذ باطلهٔ روزنامه و شکل آن حفره‌دار بود. برای ساخت این نوع مغزی، نیاز به طراحی و ساخت نوعی قالب بود تا مواد اولیه با نسبت‌های مشخص برای ساخت مغزی کاغذی درون آن شکل نهایی خود را پیدا کنند. شرایط ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی با مغزی کاغذی و رویه‌هایی از جنس MDF با استفاده از مقادیر متفاوت کاغذهای خردشده با ابعاد مشخص و به‌کارگیری دو نوع چسب متداول اوره‌فرمالدئید و فنل‌فرمالدئید در سازگاری با قالب پیچیده‌ای که طراحی و ساخته شده بود، فراهم شد. تأثیر نوع چسب به‌کاررفته در مغزی و چگالی مغزی که از عوامل متغیر این پژوهش بودند، بر ویژگی‌های مکانیکی پانل ساندویچی بررسی شد. اولین نتایج این پژوهش نشان داد که ضایعات کاغذ روزنامه در شکل لایهٔ مغزی (هسته) اجرای قابل قبولی در ساخت یک پانل ساندویچی سبک با پایداری مناسب داشته است. چگالی مغزی کاغذی نیز در بهبود مقاومت‌های خمشی اثر کاملاً معنی‌دار دارد، به‌طوری که با افزودن چگالی، این مقاومت‌ها نیز افزایش یافت. افزون‌بر اینها نوع چسب مصرفی در ساخت مغزی اثر معنی‌داری بر مقاومت خمشی پانل ساندویچی دارد، به‌طوری که چسب فنل‌فرمالدئید نسبت به اوره‌فرمالدئید موجب بهبود بیشتر مقاومت‌های خمشی شد.

واژه‌های کلیدی: پانل ساندویچی، چسب، خواص مکانیکی، کاغذ بازیافتی، لایهٔ مغزی کاغذی.

مقدمه

امروزه با توجه به محدودیت‌های موجود در زمینهٔ تأمین مواد اولیهٔ چوبی به‌منظور استفاده در ساختمان‌سازی و سازه‌های چوبی، نظرها به‌سوی استفاده از مواد سازه‌ای سبک با هدف مصرف هرچه کمتر چوب و منابع چوبی جلب شده است [۱]. در بحث تولید چنین سازه‌هایی، پانل‌های ساندویچی بیشترین آمار را به خود اختصاص داده‌اند. در کامپوزیت‌های ساندویچی وزن سازه کاهش می‌یابد و مواد اولیهٔ کمتری مصرف می‌شود. این در حالی است که نه‌تنها کاهشی در مقاومت سازه دیده نمی‌شود، بلکه در بیشتر موارد مقاومت‌های مکانیکی آن افزایش نیز می‌یابد [۲]. پانل‌های ساندویچی از دو صفحهٔ نازک، سخت و قوی از جنس مواد

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۳۹۷۲۹۷۷۸۷
Email: farrokhpayam@uoz.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

متراکم ساخته می‌شوند که یک لایهٔ ضخیم از موادی با چگالی کم را که ممکن است ضعیف و نرم باشد در برگرفته‌اند [۳]. لایهٔ مغزی پانل‌های ساندویچی در یک دسته‌بندی کلی به مغزی توپر و مغزی توخالی تقسیم می‌شود. لایه‌های متخلخل و چوبی از مغزی‌های توپر محسوب می‌شوند، درحالی که لانه‌زنبوری‌ها ازجمله مغزی‌هایی هستند که در دستهٔ توخالی یا حفره‌دار می‌گنجند [۴]. مغزی در پانل‌های ساندویچی در حکم جان تیر عمل می‌کند و با افزایش مدول خمشی، استحکام خمشی سازه را چندبرابر افزایش می‌دهد [۴]. با توجه به نیاز روزافزون کشورهای پیشرفته و در حال توسعه به سازه‌های ساندویچی مرکب، استفاده از مغزی‌های متنوع نیز رو به افزایش است. نتایج پژوهش Ghofrani و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که مقاومت‌های مکانیکی پانل ساخته‌شده از مغزی فوم پلی‌اورتان، به‌دلیل تراکم بیشتر و سطح اتصال مناسب با پوسته، نسبت به پانل سبک‌وزن ساخته‌شده از مغزی لانه‌زنبوری کاغذ کرافت بیشتر بود. در نمونه‌های ساخته‌شده از لایهٔ رویه MDF، با افزایش ضخامت این لایه، مقاومت‌های پانل ساندویچی افزایش یافت و بهترین نتایج در پانل ساندویچی ساخته‌شده از رویهٔ تخته‌لایه و مغزی فوم پلی‌اورتان به‌دست آمد [۲]. Mazinani و همکاران (۲۰۰۷) پانل ساندویچی با مغزی بالزا و شبکه لانه‌زنبوری پلی‌پروپیلنی را از دیدگاه نظری و تجربی در ساخت شناور مقایسه کردند. وزن سازه با استفاده از مغزی بالزا کاهش یافت و همزمان با افزایش استحکام، کاهش توان و افزایش شتاب مشاهده شد. مغزی بالزا در مقایسه با لانه‌زنبوری دارای مزایای بیشتری مانند استحکام کششی و فشاری بیشتر، تنش برشی و مدول برشی و سفتی خمشی زیاد بود، درحالی که نسبت استحکام به وزن مغزی بالزا نسبت به لانه‌زنبوری بیشتر از پنج‌برابر بود. آنان با توجه به مقایسهٔ نتایج کاهش مصرف سوخت، ویژگی‌هایی مانند افزایش توان باربری با توجه به کاهش وزن مواد مصرفی در ساخت شناور را که از عامل‌های بسیار مهم در شناورهای تندرو با کاربری نظامی است، افزایش شتاب، استحکام بدنهٔ شناور و در نتیجه قابلیت افزایش عملیات در فشارهای زیاد را عنوان کردند [۵]. Setiadi و همکاران (۲۰۱۶) ساندویچ پانلی را با استفاده از پلی‌اتیلن بازیافتی با چگالی زیاد و الیاف کنتالا تولید کردند. در این پژوهش از پلی‌اتیلن بازیافتی با چگالی زیاد به‌عنوان رویه و از ترکیب الیاف کنتالا- پلی‌اتیلن بازیافتی با چگالی زیاد (با نسبت اختلاط ۳۰ به ۷۰) به‌عنوان مغزی استفاده کردند. مغزی با ضخامت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر از عوامل متغیر این پژوهش و آزمون خمش سه‌نقطه از جمله خواص مکانیکی بررسی‌شده در این پژوهش بود. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین مقاومت خمشی (۲۲/۶۹ مگاپاسکال) در ساندویچ پانلی مشاهده شد که مغزی‌ای با ضخامت ۱۵ میلی‌متر داشت و کمترین مقاومت خمشی (۱۱/۵۲ مگاپاسکال) مربوط به ساندویچ پانلی بود که مغزی آن ۲۰ میلی‌متر ضخامت داشت [۶]. Codyre و همکاران (۲۰۱۶) ساندویچ پانل‌هایی تولید کرده و نوع رویه و چگالی مغزی را به‌عنوان عوامل متغیر انتخاب کردند. در این پژوهش رویه‌ها از جنس پلاستیک تقویت‌شده با الیاف شیشه (فایبرگلاس) و پلاستیک تقویت‌شده با الیاف فلکس و مغزی از جنس فوم پلی‌ایزوسیانورات با چگالی‌های متفاوت بود. این پژوهشگران اثر نوع رویه و چگالی مغزی بر رفتار خمشی ساندویچ پانل‌ها را بررسی کردند [۷]. به‌طورکلی جنس و شکل لایهٔ مغزی تأثیر زیادی بر رفتار پانل ساندویچی می‌گذارد. پژوهش حاضر سعی کرده است لایهٔ مغزی جدیدی را معرفی کرده و تأثیر چگالی آن و نوع چسب به‌کاررفته در آن را بر ویژگی‌های مکانیکی پانل ساندویچی بررسی کند.

مواد و روش‌ها

برای ساخت لایهٔ مغزی حفره‌دار از کاغذ روزنامهٔ کهنه در بخش مرجع کتابخانه دانشگاه زابل با تاریخ انتشار کمتر از ۶ ماه استفاده شد. در این پژوهش از سه نوع چسب

www.SID.ir

Archive of SID

اوره‌فرمالدئید (UF) با وزن مخصوص ۱/۲۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، pH= ۷/۶، مواد جامد ۶۳ درصد و گرانروی ۵۰۰ سانتی‌پواز، فنل‌فرمالدئید (PF) با وزن مخصوص ۱/۲۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب، pH= ۹، مواد جامد ۵۰ درصد و گرانروی ۴۵۰ سانتی‌پواز) و پلی‌وینیل‌استات (PVA) با وزن مخصوص ۱/۰۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، pH= ۵/۵، مواد جامد ۲۱ درصد و گرانروی ۷۰۰ سانتی‌پواز استفاده شد که موارد مصرف دو نوع اول در ساخت لایهٔ مغزی بود و نوع آخری برای چسباندن رویه‌ها به مغزی استفاده شد. مقدار مصرف هر سه نوع چسب ذکرشده ۱۲ درصد بود. چسب‌های اوره‌فرمالدئید به‌صورت پودر و پلی‌وینیل‌استات به‌صورت مایع از کارخانهٔ سامد مشهد تهیه شده و چسب فنل‌فرمالدئید به‌صورت پودر از بازار تهران خریداری شد. رویه‌های پانل ساندویچی از جنس تخته‌فیبر با چگالی متوسط روکش‌شدهٔ ملامینه از فروشگاه‌های شهر زابل تهیه شد. خصوصیات رویه‌ها عبارت بود از: چگالی ۷۹۰ کیلوگرم بر مترمکعب، ضخامت ۳ میلی‌متر، مدول الاستیسیتهٔ ۲۴۰۰ مگاپاسکال، مقاومت خمشی ۲۴ مگاپاسکال و چسبندگی داخلی ۰/۵۵ مگاپاسکال. ابتدا طرحی سه‌بعدی از لایهٔ مغزی آماده شد تا در طی فرایند قالب‌گیری تحت پرس گرم نمونهٔ آن ساخته شود. بدین منظور پس از بررسی خصوصیات هندسی و ابعاد همهٔ قطعات قالب و همچنین تحلیل افزایش ابعاد قطعات هنگام قرار گرفتن زیر پرس داغ، نقشه‌کشی آن توسط نرم‌افزار ترسیمی اتوکد انجام گرفت. پس از ساخت قالب فلزی (از جنس آهن تجارتی با ساختاری متشکل از ۳۶ حفره با سطح مقطع مربعی ۴۰×۴۰ میلی‌متر، ارتفاع ۳۰ میلی‌متر و ضخامت دیوارهٔ سلولی ۵ میلی‌متر در سه ردیف دوازده‌تایی (شکل ۱) لایه‌های مغزی با کاغذهای برش‌خورده به ابعاد ۱۰۰ × ۳ میلی‌متر و با متغیرهای چگالی (۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، نوع چسب (اوره و فنل‌فرمالدهید) و شرایط دمای پرس ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، زمان ۱۲۰۰ ثانیه و فشار ۵۰ بار مطابق شکل ۲ ساخته شدند. پس از متصل کردن رویه‌ها به مغزی با چسب پلی‌وینیل‌استات پانل‌های ساندویچی آماده‌شده به ابعاد ۱۴×۵۴/۵ سانتی‌متر تحت آزمون‌های مکانیکی خمش سه‌نقطه (ASTM D7249-06)، خمش چهارنقطه (ASTM C393-06) و فشار بر سطح پهن[1] (ASTM C365-05) قرار گرفتند (شکل ۳). تجزیه‌وتحلیل نتایج در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. در صورت وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها و سطوح، از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای مقایسهٔ میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به اثر مستقل چگالی مغزی و نوع چسب به‌کاررفته در مغزی بر خواص مکانیکی پانل ساندویچی و ارزیابی آماری نتایج در سطح ۵ درصد در جدول ۱ و اثرات متقابل چگالی مغزی و نوع چسب به‌کاررفته در مغزی بر ویژگی‌های مکانیکی پانل ساندویچی در شکل‌های ۴ تا ۹ نشان داده شده است.

آزمون فشار بر سطح پهن

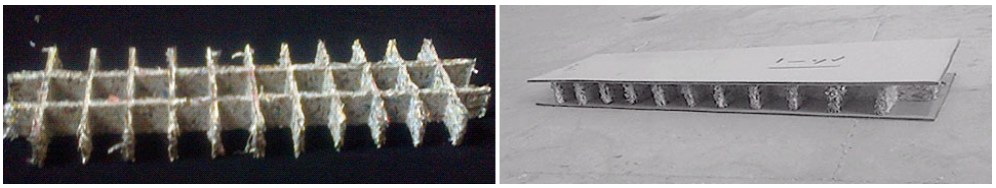
روش اجرای این آزمون در شکل ۳ نشان داده شده است. اثر متقابل چگالی مغزی و نوع چسب به‌کاررفته در مغزی بر مدول الاستیسیتهٔ فشاری بر سطح پهن پانل ساندویچی مشخص می‌کند که با افزایش چگالی و مصرف چسب فنل‌فرمالدئید، مدول الاستیسیتهٔ فشاری بر سطح پهن نمونه‌های بررسی‌شده افزایش یافته است (شکل ۴). همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین مدول الاستیسیتهٔ فشاری بر سطح پهن مربوط به نمونه‌های با سطح چگالی ۰/۷ و چسب فنل‌فرمالدئید و برابر ۲/۸۵ مگاپاسکال و

1. Flatwise Compression

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱. ساختار قالب فلزی برای شکل دادن به لایهٔ مغزی کاغذی



شکل ۲. لایهٔ مغزی کاغذی و پانل ساندویچی آماده‌شده

جدول ۱. نتایج اثر مستقل چگالی مغزی و نوع چسب به‌کاررفته در مغزی بر ویژگی‌های مکانیکی پانل ساندویچی

منبع تغییرات		آزمون فشار بر سطح پهن		آزمون خمش سه‌نقطه		آزمون خمش چهارنقطه	
		مدول (مگاپاسکال)	مقاومت (مگاپاسکال)	مدول (مگاپاسکال)	مقاومت (مگاپاسکال)	مدول (مگاپاسکال)	مقاومت (مگاپاسکال)
چگالی مغزی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۰/۳	۰/۳۸	۲۲/۵۳	۱۰۴/۶۷	۰/۲۱	۱۳۲/۱۷	۰/۳۰
	۰/۵	۱/۳۷	۵۸/۳۳	۱۲۰/۶۷	۰/۲۶	۱۵۶/۵	۰/۴۵
	۰/۷	۲/۰۷	۱۶۰/۹۷	۱۴۳/۵۳	۰/۳۲	۱۸۲/۶۷	۰/۴۶
نوع چسب	UF	۰/۷۹	۵۹/۳۳	۱۱۶/۱۲	۰/۲۲	۱۴۹/۰۰	۰/۳۶
	PF	۱/۷۵	۱۰۱/۸۳	۱۳۰/۲۴	۰/۳۲	۱۶۵/۰۰	۰/۴۴
درصد احتمال		**	**	**	**	**	**

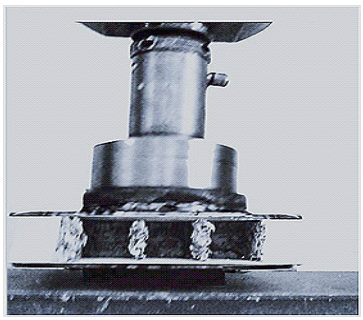
** معنی‌دار در سطح ۵ درصد

کمترین مدول الاستیسیتهٔ فشاری بر سطح پهن نیز مربوط به نمونه‌های با سطح چگالی ۰/۳ و چسب اوره‌فرمالدئید و برابر ۰/۱۰ مگاپاسکال است. بر این اساس، کاهش مدول الاستیسیتهٔ فشاری بر سطح پهن حدود ۹۷ درصد است.

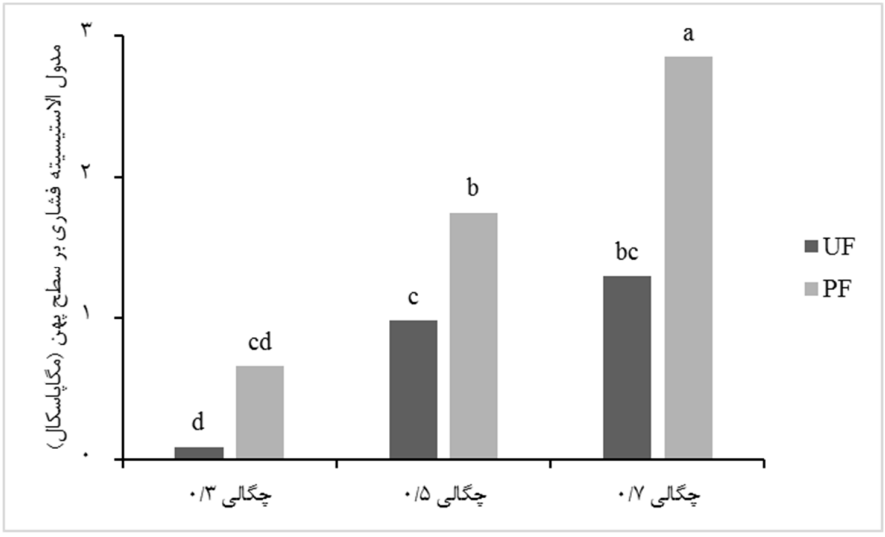
شکل ۵ اثر متقابل چگالی مغزی و نوع چسب به‌کاررفته در مغزی را بر مقاومت فشاری پانل ساندویچی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بیشترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه‌های با چگالی ۰/۷ و چسب فنل‌فرمالدئید با ۱۹۳/۴۶ مگاپاسکال و کمترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه‌های با چگالی ۰/۳ و چسب اوره‌فرمالدئید با ۲۰/۸۷ مگاپاسکال است که به‌طور تقریبی سبب کاهش ۸۹ درصدی مقاومت فشاری می‌شود.

www.SID.ir

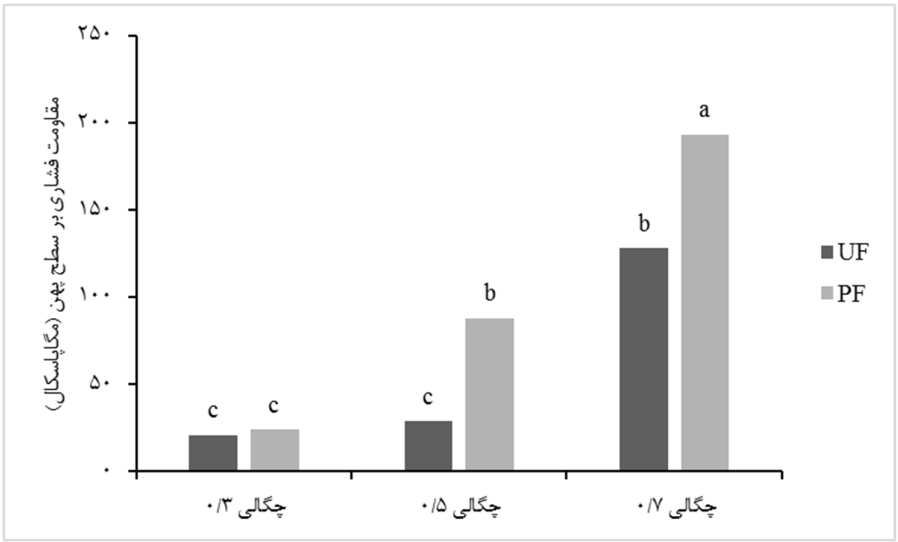
Archive of SID



شکل ۳. آزمون فشار بر سطح پهن پانل



شکل ۴. اثر متقابل چگالی و چسب بر مدول الاستیسیتهٔ فشاری بر سطح پهن پانل



شکل ۵. اثر متقابل چگالی و چسب بر مقاومت فشاری بر سطح پهن پانل

www.SID.ir

Archive of SID

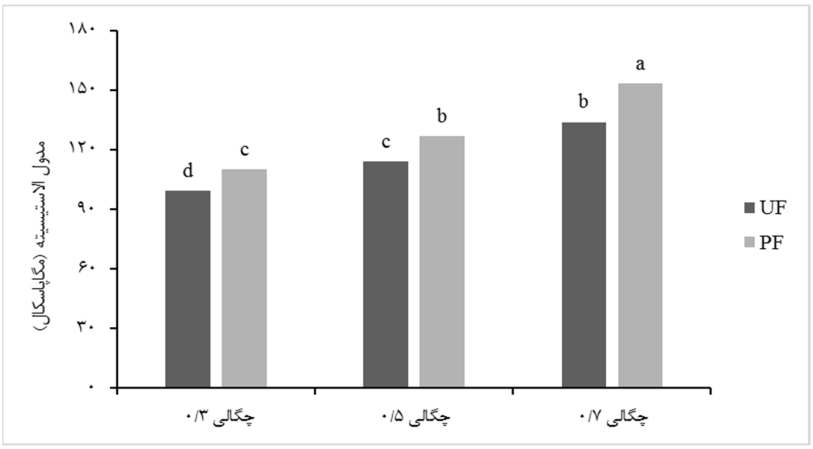
خسارت کامپوزیت ساندویچی عمدتاً به آسیب در مواد لایهٔ داخلی محدود شده که نتایج آن در آزمون فشاری بر سطح پهن منعکس می‌شود. این آزمون یک روش استاندارد از مدول و مقاومت فشاری به‌دست‌آمده از خواص ساختاری طراحی‌شدهٔ یک مغزی ساندویچی، مشخصات مواد و تضمین کیفیت فراهم می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده از آزمون فشار بر سطح پهن آشکار می‌سازد که لایهٔ مغزی پانل ساندویچی با توجه به یکسان بودن لایهٔ رویه تعیین‌کنندهٔ مقاومت‌های فشاری بر سطح پهن پانل است که به‌شدت به چگالی هسته یا همان لایهٔ مغزی وابسته است. در بررسی چگالی لایهٔ مغزی حفره‌دار که از کاغذ باطلهٔ روزنامه تهیه شده بودند، مشخص شد که تراکم بیشتر مادهٔ تشکیل‌دهندهٔ لایهٔ مغزی مسئول افزایش مدول و مقاومت فشاری بر سطح پهن پانل است. در بررسی مقدار چگالی لایهٔ مغزی بر مقاومت‌های فشاری، پانل‌هایی که چگالی لایهٔ مغزی در آنها ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود، از مدول الاستیسیتهٔ فشاری بر سطح پهن و مقاومت فشاری بر سطح پهن بیشتری نسبت به دو سطح ۰/۵ و ۰/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب برخوردار بودند. افزایش فشردگی خرده‌های کاغذ در واحد حجم به حداکثر تنش در لایهٔ مغزی منتهی شد. افزایش چگالی برای زیاد کردن استحکام کامپوزیت‌ها پیشتر بررسی شده و یکی از ساده‌ترین شیوه‌ها برای افزایش مقاومت‌های مکانیکی تخته، افزایش تراکم جرم آن است [۸]. اما در این کار پژوهشی، افزایش این تراکم باید در محدوده‌ای باشد که فراوردهٔ نهایی از تعریف کامپوزیت سبک خارج نشود. ازآنجا که بافت کاغذی لایهٔ مغزی نسبتاً همگن بوده نتایج حاصل‌شده مستقل از تأثیر جهت توزیع تنش در جهات مختلف ارزیابی شده است. لایه‌های مغزی با چگالی کمتر به‌معنای اجازه دادن به فشردگی بیشتر و مقادیر کمتر مدول الاستیسیتهٔ فشاری بر سطح پهن خواهد بود. مدول و مقاومت فشاری بر سطح پهن پانل‌های ساندویچی تحت تأثیر نوع چسبی که برای لایهٔ مغزی استفاده شد نیز قرار گرفتند، به‌طوری‌که پانل‌هایی که در ساخت لایهٔ مغزی آنها از چسب فنل‌فرمالدئید استفاده شده بود مدول و مقاومت فشاری بیشتری نسبت به پانل‌هایی که در ساخت آنها از اوره‌فرمالدئید استفاده شد، از خود نشان دادند که علت آن ممکن است توانایی چسب فنل‌فرمالدئید در تشکیل شبکه‌ای از اتصال‌های عرضی هیدروژنی به‌ویژه با ساختار کاغذی این لایه باشد [۹].

آزمون خمش سه‌نقطه

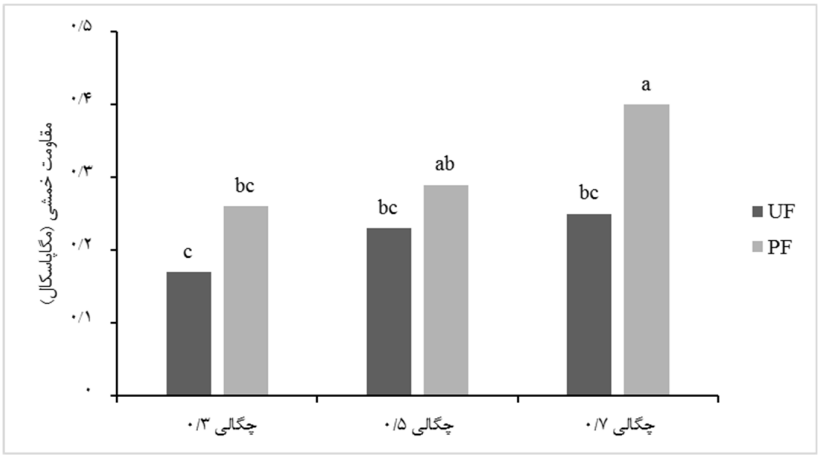
شکل ۶ اثر متقابل چگالی مغزی و نوع چسب به‌کاررفته در لایهٔ مغزی بر مدول الاستیسیتهٔ پانل ساندویچی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، بیشترین مدول الاستیسیته مربوط به نمونه‌های با چگالی لایهٔ مغزی در سطح ۰/۷ و چسب مصرفی فنل‌فرمالدئید با ۱۵۳/۳۳ مگاپاسکال و کمترین مدول الاستیسیته مربوط به نمونه‌های با چگالی لایهٔ مغزی در سطح ۰/۳ و چسب مصرفی اوره‌فرمالدئید با ۹۹/۳۳ مگاپاسکال است؛ بر این اساس از مقدار مدول الاستیسیته حدود ۳۵ درصد کاسته شده است. شکل ۷ نیز اثر متقابل چگالی مغزی و نوع چسب به‌کاررفته در مغزی بر مقاومت خمشی پانل ساندویچی را نشان می‌دهد. بیشترین مقاومت خمشی مربوط به نمونه‌های با چگالی لایهٔ مغزی در سطح ۰/۷ و چسب مصرفی فنل‌فرمالدئید، به مقدار ۰/۴۰ مگاپاسکال و کمترین مقاومت خمشی مربوط به نمونه‌های با چگالی لایهٔ مغزی در سطح ۰/۳ و چسب مصرفی اوره‌فرمالدئید با ۰/۱۷ مگاپاسکال است که ۵۷ درصد کاهش مقاومت خمشی مشهود است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. اثر متقابل چگالی و چسب بر مدول الاستیسیته



شکل ۷. اثر متقابل چگالی و چسب بر مقاومت خمشی

آزمون خمش که نشان‌دهندهٔ رفتار عضو بر اثر نیرو و تحمل پانل در مقابل خمش است با لایهٔ رویی و مغزی و همچنین مقدار فشردگی هستهٔ پانل رابطهٔ تنگاتنگی دارد. آزمون خمش سه‌نقطه، تعیین خواص رویهٔ سازهٔ ساندویچی تحت بار خمشی را پوشش می‌دهد. چنین روشی لحظات ایجاد انحنا در رویهٔ ساندویچ در نتیجه نیروهای فشاری و کششی را مشخص می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده از این آزمون نشان می‌دهد که با افزایش چگالی مغزی پانل ساندویچی، افزایش معنی‌داری در مقاومت خمشی و مدول الاستیسیتهٔ پانل مشاهده شد. تحقیقات در زمینهٔ تأثیر جرم ویژهٔ مادهٔ اولیه و چگالی تخته بر مقاومت خمشی آن، همبستگی زیادی را بین آنها نشان می‌دهد [۱۰]. تراکم جرم پانل تأثیر مستقیم بر مقاومت خمشی دارد، زیرا با افزایش تراکم مادهٔ چوبی در واحد حجم، مقاومت در برابر نیرو بیشتر افزایش یافته و در نتیجه مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد [۱۱]. همچنین نتایج حاصل از تأثیر نوع چسب به‌کاررفته در مغزی، نشان داد که نوع چسب هم تأثیر چشمگیری در بهبود مقاومت خمشی و مدول الاستیسیتهٔ پانل‌ها داشت، به‌طوری که پانل‌هایی که در ساخت لایهٔ مغزی آنها از چسب فنل‌فرمالدئید استفاده شد، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیتهٔ بیشتری نسبت به پانل‌هایی که در ساخت آنها از اوره‌فرمالدئید استفاده شد داشتند.

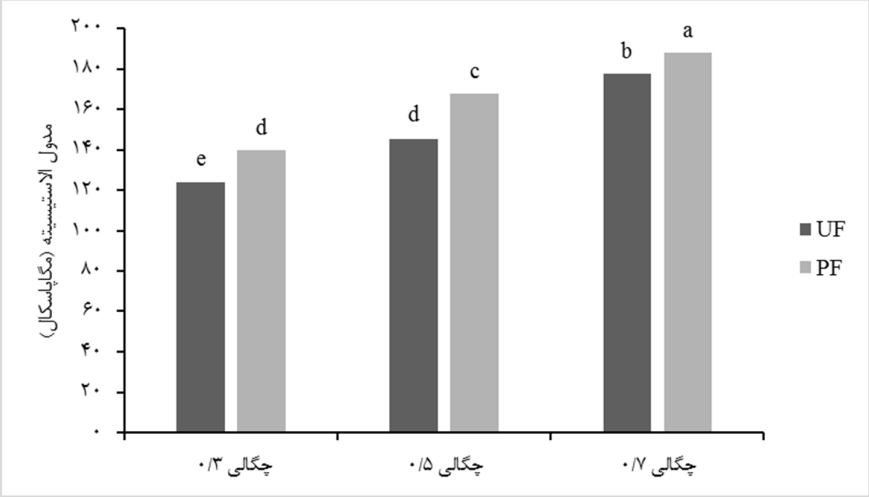
www.SID.ir

Archive of SID

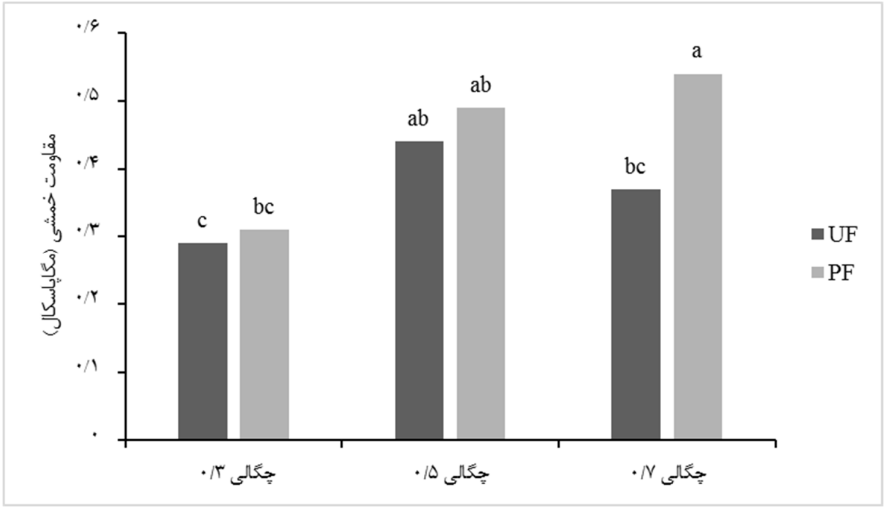
آزمون خمش چهارنقطه

تأثیر متقابل چگالی مغزی و نوع چسب به‌کاررفته در مغزی بر مدول الاستیسیتهٔ پانل ساندویچی در شکل ۸ دیده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار مدول الاستیسیته در لایهٔ مغزی با چگالی ۰/۷ و چسب مصرفی فنل‌فرمالدئید با ۱۸۸ مگاپاسکال، و کمترین مقدار مدول الاستیسیته در لایهٔ مغزی با چگالی ۰/۳ و چسب مصرفی اوره‌فرمالدئید با ۱۲۴/۳۳ مگاپاسکال است که دربرگیرندهٔ کاهشی به مقدار ۳۴ درصد در مدول الاستیسیته بوده است.

در شکل ۹ اثر متقابل چگالی مغزی و نوع چسب به‌کاررفته در مغزی بر مقاومت خمشی پانل ساندویچی دیده می‌شود. بیشترین مقدار مقاومت خمشی در لایهٔ مغزی با چگالی ۰/۷ و چسب مصرفی فنل‌فرمالدئید با ۰/۵۴ مگاپاسکال و کمترین مقدار مقاومت خمشی در لایهٔ مغزی با چگالی ۰/۳ و چسب مصرفی اوره‌فرمالدئید با ۰/۲۹ مگاپاسکال است که براساس آن، حدود ۴۶ درصد کاهش در مقاومت خمشی ایجاد شده است.



شکل ۸. اثر متقابل چگالی و چسب بر مدول الاستیسیته



شکل ۹. اثر متقابل چگالی و چسب بر مقاومت خمشی

www.SID.ir

Archive of SID

به‌دلیل اینکه کامپوزیت پانل ساندویچی را نمی‌توان یک مادهٔ همگن در نظر گرفت (لایهٔ مغزی و رویی متفاوت)، آزمون خمش چهارنقطه به‌سبب اینکه حداکثر تنش خمشی در بخش بزرگ‌تری از پانل (میان دو نقطهٔ بارگذاری) اتفاق می‌افتد و ارزیابی صورت‌گرفته بخش وسیع‌تری از یک مادهٔ غیرهمگن را پوشش می‌دهد ضروری به نظر می‌رسد. آزمون خمش چهارنقطه، تعیین خواص برشی مغزی در ساختار ساندویچی را که در معرض بار خمشی قرار گرفته است پوشش می‌دهد. از این روش آزمون می‌توان برای تولید داده‌های مقاومت برشی مغزی و مقاومت برشی اتصال لایهٔ مغزی به رویه برای طراحی ساختار، مشخصات مواد و کاربردهای تحقیقی و توسعه‌ای استفاده کرد. نتایج این آزمون نشان می‌دهد که با افزایش چگالی مغزی پانل ساندویچی، افزایش معنی‌داری در مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته پانل مشاهده شد. همچنین نوع چسب مصرفی در ساخت لایهٔ مغزی نیز بر مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی پانل ساندویچی اثر چشمگیری داشت، به‌طوری که پانل‌هایی که در ساخت لایهٔ مغزی آنها از چسب فنل‌فرمالدئید استفاده شد، مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی بیشتری نسبت به پانل‌هایی که در ساخت آنها از اوره‌فرمالدئید استفاده شد داشتند. دلیل آن را می‌توان افزایش سختی لایهٔ مغزی در اثر فشردگی بیشتر و همچنین عملکرد بهتر چسب فنل‌فرمالدهید دانست. لایهٔ مغزی ضعیف موجب می‌شود که لایه‌های قوی‌تر رویی بیشتر در برابر نیروی برشی از خود مقاومت نشان دهند. از عوامل مؤثر بر افزایش خواص مکانیکی در خمش چهارنقطه، سطح اتصال بین هسته و لایه‌های رویه است. هرچه تماس لایهٔ مغزی و رویهٔ پانل کمتر باشد، از مقدار مقاومت و خمش برشی پانل کاسته می‌شود. در این زمینه Ghofrani و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کرده‌اند که پانل‌های ساندویچی ساخته‌شده با مغزی پلی‌اورتان در مقایسه با پانل‌های ساخته‌شده از مغزی لانه‌زنبوری مقاومت خمشی بیشتری داشتند [۲]. Nemati و همکاران (۲۰۱۰) اثر تغییرات چگالی مغزی بر خواص مکانیکی خمشی و برشی ساختارهای ساندویچی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که خواص مکانیکی با افزایش چگالی مغزی تا حدی افزایش می‌یابد، ولی پس از رسیدن به مقدار بهینه، از وابستگی خواص مکانیکی به چگالی کاسته می‌شود. آنها علت این پدیده را شدت یافتن نیروی برش و نبود قابلیت مغزی در ایجاد خواص مکانیکی بهتر در چگالی‌های بیشتر بیان کردند [۱۲]. اگرچه قوی‌ترین لایهٔ مغزی کاغذی این پژوهش با چگالی ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب نتایج بهتری نشان داده است، به هر حال به‌دلیل نبود فشردگی کافی به‌منظور افزودن سختی این لایه و همچنین ضعف در محل اتصال به لایه‌های رویی و زیری به‌دلیل ناصافی سطح مقاطع مغزی کاغذی هنوز چندان کافی به نظر نمی‌رسد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی یک پانل ساندویچی از سه قسمت تشکیل شده است: دو رویهٔ نازک و محکم، یک مغزی سبک و ضخیم که به‌وسیلهٔ لایه‌ای از چسب به هم متصل شده‌اند. در بین قسمت‌های مختلف این پانل، مغزی مهم‌ترین بخش است و تغییرات در این بخش (اعم از شکل، جنس، ضخامت) تأثیر زیادی بر خواص نهایی محصول می‌گذارد. با توجه به اهمیت مغزی به‌عنوان مهم‌ترین بخش پانل ساندویچی، در این پژوهش سعی شد نوعی مغزی با ساختار جدید معرفی شود. مغزی جدید مورد نظر از کاغذ روزنامهٔ باطله و با ساختاری حفره‌ای ساخته شد. سپس با قرارگیری آن بین دو رویهٔ MDF و اتصال آنها به‌وسیلهٔ چسب پلی‌وینیل‌استات پانل ساندویچی مورد نظر تولید شد. چگالی مغزی و نوع چسب به‌کاررفته در مغزی از عوامل متغیر این پژوهش انتخاب شد و تأثیر این متغیرها بر خواص مکانیکی پانل ساندویچی بررسی شد. نخستین نتیجه این بود که لایهٔ مغزی ساخته‌شده با کاغذ باطلهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

فشرده‌شده با موفقیت بین لایه‌های رویه از جنس تخته‌فیبر مونتاژ شده و افزون‌بر تأمین شکل فیزیکی معمول یک پانل ساندویچی، نتایج آزمون‌های مکانیکی انجام‌گرفته، پایداری و یکپارچگی آن را نشان داد. همچنین مشخص شد که چگالی مغزی و نوع چسب مصرفی برای اتصال خرده‌های نوارشکل کاغذ اثر زیادی در مقاومت‌های مکانیکی دارند. به‌طور کلی پانل‌های ساخته‌شده با چگالی مغزی ۰/۷ و چسب فنل‌فرمالدئید بهترین خواص مکانیکی را در بین همهٔ تیمارها داشتند. این پانل ساندویچی جدید، نوعی فراوردهٔ مرکب کاملاً سبک معرفی می‌شود، چراکه چگالی آن از ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب کمتر است.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل (شمارهٔ گرنت: UOZ-GR-9517-46) انجام گرفت. نویسندگان بدین وسیله مراتب قدردانی خود را از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه زابل اعلام می‌دارند.

References

[1]. Jabbari, M., Tatari, A., and Ghaffari, M. (2014). Effect of faces type and thickness on mechanical properties of sandwich panels. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 5(1): 85-92.

[2]. 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.

[3]. Mirzapour, N., and Yarmohammad-Toski, M. (2018). Experimental investigation of dynamic behavior of composite sandwich panel using self-healing materials under CHARPY impact and 3-point bending destruction. Journal of Science and Technology of Composites, 4(4): 434-442.

[4]. Mardan Shahi, A., and Mokhtari, M. (2015). Manufacturing and testing of aluminum honeycomb samples for composite sandwich panels. Twenty-third Annual International Conference on Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Amir Kabir University of Technology, 4 p.

[5]. Mazinani, M., Rezaei, H., and Nikfarjam, M. (2007). Comparison between theory and experiment and Balsa sheet honeycomb sandwich construction with cerebral vessels Extremist. Ninth Conference on Maritime, Noor-Mazandaran Province, 13 p.

[6]. Setiadi, A., Raharjo, W.W., and Triyono, T. (2016). The Effect of Core Thickness Variation of Sandwich Composite Cantala rHDPE on Mechanical Strength of Bending Test. International Conference on Engineering, Science and Nanotechnology, 5p.

[7]. CoDyre, L., Mak, K., and Fam, A. (2018). Flexural and axial behavior of sandwich panels with bio-based flax fibre reinforced polymer skins and various foam core densities. Journal of Sandwich Structures and Materials, 20(5): 595-616.

[8]. Doosthuseini, K. (2007). Wood Composite Material: Manufacturing, Applications. Tehran University press, 728p.

[9]. Wang, D. (2008). Impact behavior and energy absorption of paper honeycomb sandwich panels. International Journal of Impact Engineering, 36(1): 110-114.

[10]. Canadido, L.S., Saito, F., and Suzuki, S. (1990). Influence of strand thickness and board density on the orthotropic properties of oriented strand board. Mokuzai Gakkaishi, 36(8): 632–636.

[11]. 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.

[12]. Nemati, S., Jam, J.E., and Beheshty, M.H., 2010. Effect of rigid polyurethane foam core density on flexural and compressive properties of sandwich panels with glass/epoxy faces. Iranian Journal of Polymer Science and Technology, 23(1): 3-16.

www.SID.ir

Archive of SID

Mechanical properties of light weight sandwich panel with recycled paper core

M. Bahrami; M.Sc., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Zabol University, Zabol, I.R. Iran

S.R. FarrokhPayam*; Assoc., Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Zabol University, Zabol, I.R. Iran

H.R. Mansouri; Assoc., Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Zabol University, Zabol, I.R. Iran

M. Shamsian; Assoc., Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Zabol University, Zabol, I.R. Iran

E. Sanei; Lecturer, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Zabol University, Zabol, I.R. Iran

A. Karimi; Ph.D. Student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Zabol University, Zabol, I.R. Iran

(Received: 08 December 2019, Accepted: 07 February 2020)

ABSTRACT

Light weight, good thermal and sound insulation, easy installation, high strength and low price are characteristics of sandwich panels that have found numerous applications in industry and construction today. In this composite two thin faces enclose a thick core layer that resists shear forces, which can be made of wood or wooden products. In this work, the improvement of the sandwich panel strength was investigated through changes on the material and cross-sectional shape of the core layer made from waste paper with square hollow shape. For the fabrication of the samples, it was necessary to design and manufacture a metal mold to form raw materials with specific ratios and hollow shaped. Different quantities of crushed paper with specified dimensions and two types of common resin in wood composites industry were used to prepare the core layers. The square honeycomb cores were sandwiched between the face layers from medium density fiber board. The first results of this study showed that compressed waste paper in the form of a core layer was an acceptable function in the structure of a lightweight sandwich panel. The density of the paper core had a significant effect on the improvement of flexural strength, which increased with increasing density. In addition, the type of adhesive had a significant effect on the flexural strength of the sandwich panel. Phenol formaldehyde adhesive further improved flexural strength, compared with the urea formaldehyde.

Keywords: Sandwich panels, core layer, recycled paper, adhesive, mechanical properties.

* Corresponding Author, Email: farrokhpayam@uoz.ac.ir, Tel: +989397297787

www.SID.ir