

بررسی تاثیر نوع رویه و نوع چسب مصرفی بر خواص مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته شده از کاغذ لانه زنبوری

چکیده

پانل‌های ساندویچی گروه ویژه‌ای از فرآورده‌های لایه‌ای هستند که اغلب سه لایه بوده و مغزی آن‌ها دارای ضخامت بیشتری است اما سفتی و مقاومت به پیچش (صلبیت) کمتری نسبت به لایه پشت و رو دارند. مواد مغزی به‌طور معمول از لانه زنبوری، کارتن کرکره‌ای و موادی نظیر پلی‌اورتان تهیه می‌شود. در این پژوهش، تاثیر نوع رویه و نوع چسب مصرفی بر خواص مکانیکی پانل‌های ساندویچی بررسی شده است. عامل‌های متغیر در این پژوهش شامل، نوع رویه که از سه نوع رویه مختلف با ضخامت یکسان (رویه راش، رویه صنوبر و رویه تخته فیبر سخت دو رو صاف بدون روکش) و نوع چسب مصرفی که از دو نوع چسب سرد مختلف (چسب اپوکسی و چسب پلی‌وینیل استات) بودند. پس از ساخت پانل‌ها، نمونه‌های آزمونی برابر با استاندارد DIN آیین نامه EN 326-1 تهیه شد. مدول کشسانی و مدول گسیختگی در سطح و لبه برابر با استاندارد DIN آیین نامه EN 310 و نیز مقاومت به ضربه پانل‌ها برابر با استاندارد ASTM آیین نامه D 3499 اندازه‌گیری شد و نتایج با استفاده از طرح آماری فاکتوریل کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بیشترین مقادیر خواص مکانیکی برای تیمارهای تخته فیبر سخت و با استفاده از چسب اپوکسی دیده شد. با توجه به این نتایج، بهترین ترکیب جهت ساخت پانل‌های ساندویچی چوبی، ترکیب چسب اپوکسی و تخته فیبر سخت دو رو صاف بدون روکش می‌باشد.

واژگان کلیدی: پانل‌های ساندویچی، تخته فیبر سخت، چسب اپوکسی، چسب پلی‌وینیل استات، مدول گسیختگی

محسن صفاری^۱
محمد جبّاری^۲
عبدالله نجفی^۳
علی اصغر تاتاری^{۴*}
منصور غفاری^۵

^۱ استادیار و ^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس

^۳ دانش آموخته کارشناسی رشته صنایع چوب و کاغذ، دانشکده فنی امام خمینی (ره) علی آباد کتول

^۴ دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مسئول مکاتبات:

papermaker862@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۶/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۰۷

مقدمه

امروزه باتوجه به محدودیت‌های موجود در زمینه تامین مواد اولیه چوبی به منظور استفاده در ساختمان‌سازی و سازه‌های چوبی، نظرها به سوی استفاده

از مواد سازه‌ای سبک با هدف مصرف هرچه کمتر چوب و منابع چوبی جلب شده است. در طی چندین سال اخیر تولید کنندگان و صنعتگران صنعت چوب به ساخت پانل‌هایی با چگالی (دانسیته) کم و خواص مقاومتی بالا

توجه دارند. از مهمترین دستاوردهای نوین در صنعت پانل و صنعت چوبی، تولید و توسعه فرآورده‌های صفحه‌ای لانه زنبوری سبک بوده است. این پانل‌ها که چندسالی از ورود آنها به صنعت پانل‌های چوبی نمی‌گذرد، توانسته‌اند رقیبی بسیار قوی برای دیگر فرآورده‌های صفحه‌ای مانند تخته خرده چوب و تخته فیبر باشند [۱]. پانل‌های ساندویچی گروه ویژه‌ای از فرآورده‌های لایه‌ای هستند که اغلب سه لایه بوده و مغزی دارای ضخامت بیشتر است اما سفتی و مقاومت به پیچش کمتری از لایه پشت و رو دارد [۲]. Mazinani و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی، پانل‌های ساندویچی با مغزی بالزا و شبکه لانه زنبوری را از دیدگاه نظری و تجربی مقایسه کردند. آنان از بالزا و لانه زنبوری در لایه میانی چندسازه (کامپوزیت) مورد بررسی استفاده کرده‌اند. وزن سازه را می‌توان توسط مغزی بالزا در ساخت چندسازه کاهش داد و بهترین خواص را از نظر سبکی و افزایش استحکام به دست آورد و این امر باعث افزایش شتاب و کاهش توان مورد نیاز شناور می‌شود. مغزی بالزا در مقایسه با مغزی لانه زنبوری دارای مزایای بیشتری مانند استحکام کششی و فشاری بالا، تنش برشی و مدول برشی و سفتی خمشی بالا بوده و نسبت استحکام به وزن مغزی بالزا نسبت به لانه زنبوری بیشتر از ۵ برابر می‌باشد. آنان با توجه به مقایسه نتایج کاهش مصرف سوخت، ویژگی‌هایی مانند افزایش توان باربری با توجه به کاهش وزن مواد مصرفی در ساخت شناور که یکی از عامل‌های بسیار مهم در شناورهای تندرو با کاربری نظامی است، افزایش شتاب، استحکام بدنه شناور و در نتیجه قابلیت افزایش عملیات در فشارهای بالا را عنوان کردند. 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 لبه‌های یک تیر آهن I شکل در برابر بارهای خمشی مقاومت می‌کنند. مغزی ساندویچی هم مانند جان تیر آهن I شکل در برابر بارهای برشی مقاومت می‌کند و ضمن افزایش مقاومت خمشی سازه، تقویت مداوم و پیوسته رویه‌ها را باعث می‌شود [۳]. بین مقاومت خمشی صفحه‌های فشرده چوبی با جرم ویژه گونه‌های مورد

استفاده در ساخت آنها رابطه وجود دارد. به طوری که مقاومت خمشی تخته‌هایی با چگالی ثابت، با افزایش جرم ویژه و ماده اولیه کاهش می‌یابد. بنابر نتایج کاهش قابل ملاحظه‌ای را در مقاومت خمشی تخته‌های به نسبت سبک که از گونه‌های سنگین ساخته می‌شوند، بوجود می‌آید. هم چنین این نتایج نشان می‌دهد که برای تولید تخته‌هایی با مقاومت خمشی معین از گونه‌های سنگین لازم است چگالی این تخته‌ها افزایش یابد. به عنوان مثال اگر چگالی تخته‌هایی از گونه صنوبر ساخته می‌شوند حدود ۰/۶ گرم بر سانتی متر مکعب باشد، برای استفاده از گونه راش در ساخت همین تخته‌ها باید چگالی آنها را به بیش از ۰/۷ گرم بر سانتی متر مکعب افزایش داد تا مقاومت خمشی همانندی با تخته‌های صنوبر داشته باشند. علاوه بر آن، میزان چگالی تخته و جرم ویژه ماده اولیه مصرفی را جهت دستیابی به مقاومت خمشی معین، از این منحنی‌ها می‌توان برآورد کرد [۴].

Vassiliou و Barboutis (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 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 [۵]. تولید و بررسی خواص مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته شده از کاغذ لانه زنبوری و رویه‌های چوبی به عنوان یک محصول جدید دو محور اساسی این تحقیق هستند.

مواد و روش‌ها

عامل‌های متغیر

این بررسی بر روی دو عامل نوع رویه و نوع چسب مصرفی صورت پذیرفت.

الف - نوع رویه با ضخامت یکسان که شامل:

رویه راش، رویه صنوبر و رویه تخته فیبر سخت بودند.

شامل وضعیت ظاهری (مایع - شفاف)، وزن مخصوص (۱/۱۳۰ گرم بر سانتیمتر مکعب)، مواد جامد (۹۴/۵ درصد)، اسیدیته (۱۲)، چسبندگی (۳۱۳/۴ سانتی پواز) می‌باشد.

تخته فیبر سخت

تخته فیبر مصرفی در این تحقیق از نوع HDF دو رو صاف (بدون روکش) و با مارک تجاری رهاسان بوده که ویژگی‌های این تخته فیبر شامل: وزن مخصوص (۰/۸۶ گرم بر سانتی متر مکعب)، ضخامت (۳ میلی متر) و وزن (۴۵۰ گرم در متر مربع) می‌باشد.

کاغذ لانه زنبوری

ویژگی‌های کاغذ لانه زنبوری در این تحقیق شامل: ضخامت (۳ سانتی متر)، ابعاد سلول (۳×۳ سانتی متر) می‌باشد. که نوع مصرفی این کاغذ ساخت خارج می‌باشد.

آماده سازی مواد

خشک کردن لایه‌ها:

رطوبت رویه‌های صنوبر و راش پس از رویه گیری در حدود ۵۰ درصد بود و به منظور تنظیم رطوبت، رویه‌ها توسط یک خشک کن صنعتی و در درجه دمایی 2 ± 105 درجه سلسیوس خشک شدند تا رطوبت آنها به ۶ تا ۷ درصد برسد. سپس برای جلوگیری از جذب رطوبت محیط، همه رویه‌ها در درون پلاستیک‌های غیر قابل نفوذ نگهداری شدند.

چسب زنی و تشکیل پانل ساندویچی:

چسب پلی وینیل استات برای عبور از سوزن پیستوله به میزان کافی رقیق شد. هم چنین برای چسب اپوکسی، میزان ۱۰٪ ماده سخت کننده (هاردنر) به چسب مورد مصرف اضافه شد. میزان چسب نیز برای هر متر مربع و چسباندن یک سطح ۲۰۰ گرم منظور شد [۶]. پس از مهار کاغذ لانه زنبوری و تنظیم فاصله سلول‌های ۶ ضلعی توسط قاب چوبی عمل پاشش چسب بر روی پشت لایه با پیستوله و با هوای فشرده تامین شده از یک کمپرسور با فشاری در حد ۳ تا ۴ اتمسفر انجام شد.

پرس کردن:

رویه‌ها و کاغذ لانه زنبوری پس از مونتاژ شدن، برای فشرده‌گی لازم و بهبود اتصال‌ها، با یک پرس از نوع صنعتی (نوع آهنکوبان) و در فشار ۳۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع،

ب - نوع چسب سرد مصرفی شامل: چسب اپوکسی و چسب پلی وینیل استات بودند.

عامل‌های ثابت

برای کنترل عامل‌های متغیر یاد شده، دیگر عامل‌های ساخت تخته ثابت در نظر گرفته شدند که به‌طور خلاصه شامل موارد زیر می‌باشد.

- دما: از پرس سرد استفاده شد.

- فشار: به طور ثابت و در حد ۳۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع تنظیم شد.

- زمان: برای همه نمونه‌ها ثابت و در حد ۲۰ دقیقه تنظیم شد.

محل نمونه برداری از چوب

به منظور بررسی تاثیر نوع رویه گونه‌های صنوبر و راش، یک قطعه الوار صنوبر سالم و بی عیب از کارگاه چوب بری واقع در شهرستان خان ببین استان گلستان و یک قطعه الوار راش سالم و بی عیب از شهرستان بندر گز، روستای گز (طرح جنگلداری وطن) استان گلستان تهیه و به رویه‌های ۳ میلی متری تبدیل شد.

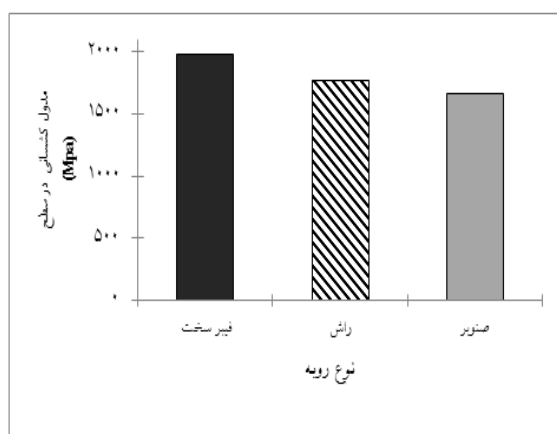
تهیه رویه از گونه صنوبر و راش

الوارها پس از تهیه به کارگاه چوب بری واقع در شهرستان علی آباد کتول، استان گلستان انتقال داده شد و پس از تبدیل آنها به ضخامت‌های ۲/۵ سانتی متری در هوای آزاد خشک شده و با استفاده از اره نواری به ضخامت ۵ میلی‌متر و سپس با دستگاه گندگی به ضخامت ۳ میلی‌متر (ضخامت مورد نیاز) تبدیل شدند.

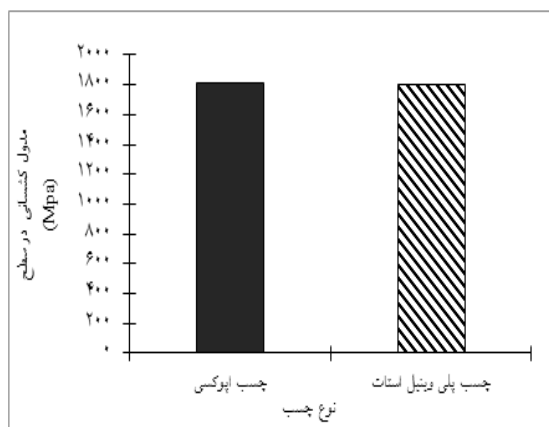
چسب‌های مصرفی

چسب‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل چسب پلی وینیل استات و چسب اپوکسی بوده که چسب پلی وینیل استات ساخت شرکت چسب سامد مشهد دارای ویژگی‌های زیر می‌باشد: وضعیت ظاهری (مایع - سفید)، وزن مخصوص (۱/۰۴۰ گرم بر سانتی متر مکعب)، مواد جامد (۲۱ درصد)، اسیدیته (۵/۵)، چسبندگی (ویسکوزیته) (۲۹۰/۱ سانتی پواز) و ویژگی‌های چسب اپوکسی ساخت شرکت PGW-HUNTSMAN سوئیس به همراه سخت‌کننده سیکلوالیفاتیک آمین (H⁺ ACTIVE=105)،

ساخته شده ایجاد می‌نماید، که تاثیر مستقل آن را می‌توان در جدول تجزیه واریانس (ضمیمه ۱) دیده نمود. بیشترین میزان مدول کشسانی مربوط به چسب اپوکسی به مقدار ۱۸۱۵/۴ مگاپاسکال و کمترین میزان آن مربوط به تیمار چسب پلی وینیل استات و به مقدار ۱۸۰۷/۳ مگاپاسکال می‌باشد که کاهش در حدود ۰/۴۴٪ را نشان می‌دهد. شکل ۲، تاثیر مستقل نوع چسب مصرفی را بر مدول کشسانی در سطح نشان می‌دهد.



شکل ۱- تاثیر مستقل نوع رویه بر مدول کشسانی در سطح



شکل ۲- تاثیر نوع چسب بر مدول کشسانی در سطح

تاثیر متقابل نوع رویه و نوع چسب بر مدول کشسانی

در سطح:

برابر جدول تجزیه واریانس (ضمیمه ۱)، بین تاثیر متقابل نوع رویه و نوع چسب مصرفی بر مدول کشسانی در سطح، اختلاف معنی داری آماری وجود ندارد.

زمان پرس ۲۰ دقیقه و با شتاب بسته شدن ۲۷۰ میلی‌متر در دقیقه پرس شده، همچنین برای تنظیم ضخامت پانل‌ها، از شابلون فلزی ۳۵ میلی متری استفاده شد. پرس هیدرولیکی مورد استفاده با قطر پیستون ۱۷ سانتی متر و ابعاد مفید صفحه‌های ۱۲۴×۲۶۶ سانتی متر می‌باشد.

تهیه نمونه‌ها و آزمون‌های مکانیکی:

پانل‌ها پس از پرس سرد برای رسیدن به رطوبت تعادل محیط به مدت ۱۵ روز در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند. آن‌گاه قاب چوبی که برای مهار کاغذ لانه زنبوری ایجاد شده بود. با اره گرد برش داده شد و از هر پانل نمونه‌های آزمایشگاهی برابر استاندارد DIN آیین نامه EN 326-1 تهیه شدند. برای اندازه گیری مدول کشسانی و مدول گسیختگی در سطح و لبه آزمایش PT5L استفاده شد. این دستگاه مجهز به دستگاه رسام بوده و همه نتایج بر روی صفحه رایانه رله شده و میزان بار و تغییر شکل نمونه را به صورت منحنی ثبت می‌کند. برای اندازه گیری مدول کشسانی و مدول گسیختگی در سطح و لبه از استاندارد DIN آیین نامه EN 310 و با سرعت بار گذاری ۱۰ میلی متر بر دقیقه استفاده شد. همچنین برای آزمون مقاومت به ضربه از استاندارد ASTM آیین نامه D3499 استفاده شد [۷-۹].

نتایج و بحث

مدول کشسانی در سطح

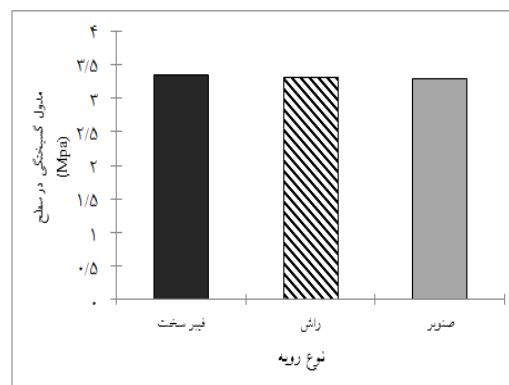
تاثیر مستقل نوع رویه بر مدول کشسانی در سطح برابر جدول تجزیه واریانس (ضمیمه ۱)، تاثیر مستقل نوع رویه بر مدول کشسانی در سطح پانل‌ها در سطح خطای آزمایش ۱ درصد اختلاف معنی دار آماری وجود دارد. شکل ۱ نشان می‌دهد بیشترین میزان مدول کشسانی در سطح مربوط به رویه از نوع فیبر سخت به میزان ۱۸۱۵/۴ مگاپاسکال می‌باشد و کمترین میزان آن مربوط به تیمار رویه صنوبر و به مقدار ۱۶۶۹ مگاپاسکال می‌باشد که کاهش در حدود ۰/۱۵/۹٪ را نشان می‌دهد.

تاثیر مستقل نوع چسب بر مدول کشسانی در سطح:

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که تغییر نوع چسب اختلاف معنی داری آماری در سطح خطای آزمایش ۵ درصد در میانگین مدول کشسانی در سطح پانل‌های

مدول گسیختگی در سطح

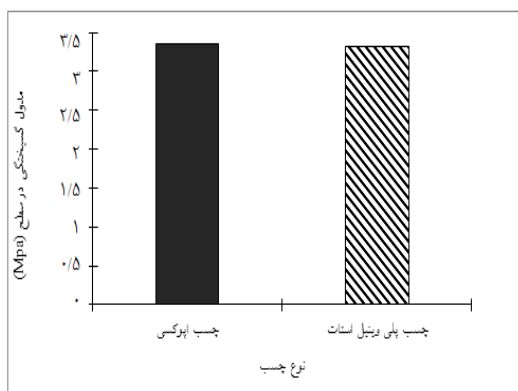
تأثیر مستقل نوع رویه بر مدول گسیختگی در سطح: با توجه به جدول تجزیه واریانس (ضمیمه ۱) بین مقادیر مربوط به تأثیر نوع رویه بر مدول گسیختگی در سطح خطای آزمایش ۱ درصد اختلاف معنی دار آماری وجود دارد. بیشترین مقدار مدول گسیختگی در سطح مربوط به تیمار تخته فیبر و کمترین مقدار مربوط به رویه گونه صنوبر می‌باشد. شکل ۳ نشان می‌دهد پانلهایی که تنها با تخته فیبر ساخته شده‌اند بیشترین مقدار مدول گسیختگی را داشته‌اند (۳/۳۴ مگاپاسکال) و با تغییر رویه از تخته فیبر سخت به رویه راش و رویه صنوبر از مقاومت مدول گسیختگی در سطح به ترتیب به میزان ۰/۸٪ و ۱/۴٪ کاسته می‌شود.



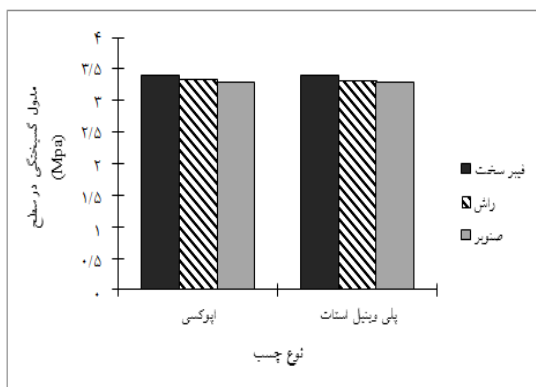
شکل ۳- تأثیر نوع رویه بر مدول گسیختگی در سطح

تأثیر متقابل نوع رویه و نوع چسب بر مدول گسیختگی در سطح:

تأثیر متقابل نوع رویه و نوع چسب بر مدول گسیختگی در سطح پانل ساندویچی در سطح خطای آزمایش ۱ درصد اختلاف معنی دار آماری وجود دارد. بیشترین میزان مدول گسیختگی در سطح با تیمار چسب اپوکسی مربوط به تیمار با تخته فیبر می‌باشد (۳/۴۱ مگاپاسکال) و کمترین مدول گسیختگی در سطح با تیمار چسب اپوکسی مربوط به رویه گونه صنوبر (۳/۳۰ مگاپاسکال) می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود تفاوت معنی‌داری بین نوع رویه و نوع چسب در میزان مدول گسیختگی وجود داشته است. همچنین در تیمار با چسب پلی وینیل استات بیشترین میزان مدول گسیختگی مربوط به تیمار تخته فیبر می‌باشد (۳/۳۹) و کمترین مقدار مدول گسیختگی در سطح مربوط به رویه گونه صنوبر (۳/۲۹ مگاپاسکال) می‌باشد.



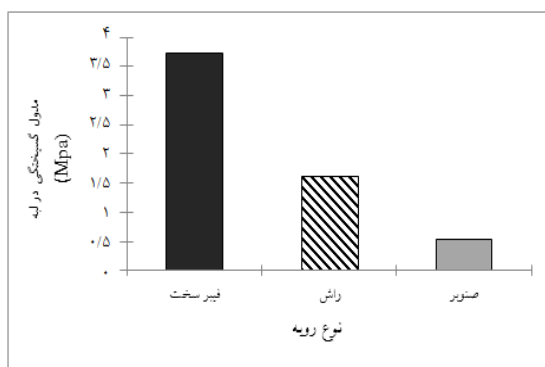
شکل ۴- تأثیر نوع چسب بر مدول گسیختگی در سطح



شکل ۵- تأثیر نوع رویه و نوع چسب بر مدول گسیختگی در سطح

تأثیر مستقل نوع چسب بر مدول گسیختگی در سطح: تجزیه و تحلیل تأثیر نوع چسب بر مدول گسیختگی در سطح پانل ساندویچی در جدول تجزیه واریانس (ضمیمه ۱) آمده است. همان‌طور که دیده می‌شود بین نوع چسب و مدول گسیختگی در سطح خطای آزمایش ۱ درصد اختلاف معنی دار آماری وجود دارد. بنابراین نتایج به‌دست آمده از گروه‌بندی تیمار نوع چسب مصرفی، بیشترین مقدار مدول گسیختگی در سطح متعلق به چسب اپوکسی می‌باشد و کمترین مقدار آن متعلق به چسب پلی وینیل استات می‌باشد. شکل ۴ نشان می‌دهد پانلهایی که تنها با چسب اپوکسی ساخته شده‌اند بیشترین مقدار مدول را داشته‌اند و با تغییر نوع چسب از اپوکسی به چسب پلی وینیل استات به میزان ۰/۵۶٪ کاهش مقدار مدول گسیختگی در سطح را نشان می‌دهد.

وجود دارد، یعنی به احتمال بیش از ۹۹٪ درصد تغییرات مدول گسیختگی در لبه ناشی از تغییر نوع رویه می‌باشد. بالاترین مقدار مدول گسیختگی در لبه مربوط به تیمار تخته فیبر و کمترین مقدار مربوط به رویه گونه صنوبر می‌باشد. شکل ۷ نشان می‌دهد. پانلهایی که تنها با تخته فیبر ساخته شده‌اند بیشترین مدول گسیختگی را داشته‌اند (۳/۷ مگاپاسکال) و با تغییر رویه از تخته فیبر به رویه راش و رویه صنوبر به ترتیب از مدول گسیختگی در سطح به میزان ۵۶/۲٪ و ۵۸/۶٪ کاسته می‌شود.



شکل ۷- تاثیر مستقل نوع رویه بر مدول گسیختگی در لبه

تاثیر مستقل نوع چسب بر مدول گسیختگی در لبه:

بررسی های انجام شده نشان می‌دهد که تغییر نوع چسب اختلاف معنی داری آماری در سطح خطای آزمایش ۵ درصد در میانگین مدول گسیختگی در لبه پانل ساخته شده ایجاد می‌نماید، که تاثیر مستقل آن را می‌توان در جدول تجزیه واریانس (ضمیمه ۱) دیده نمود. بیشترین میزان مدول گسیختگی مربوط به چسب اپوکسی به مقدار (۱/۹۷ مگاپاسکال) و کمترین میزان آن مربوط به تیمار چسب پلی وینیل استات و به مقدار (۱/۹۵ مگاپاسکال) می‌باشد. که کاهش در حدود ۰/۹٪ را نشان می‌دهد. شکل ۸ تاثیر مستقل چسب اپوکسی را بر مدول گسیختگی در لبه نشان می‌دهد.

تاثیر متقابل نوع رویه و نوع چسب بر مدول

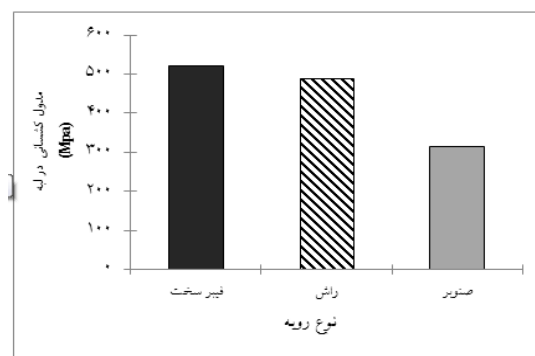
گسیختگی در لبه:

بنابر جدول تجزیه واریانس (ضمیمه ۱) تاثیر مستقل نوع رویه و نوع چسب بر مدول گسیختگی در لبه، در سطح خطای آزمایش ۱ درصد اختلاف معنی داری وجود دارد. مدول گسیختگی در لبه به شدت تحت تاثیر

مدول کشسانی در لبه

تاثیر مستقل نوع رویه بر مدول کشسانی در لبه:

طبق جدول تجزیه واریانس (ضمیمه ۱) بین مقادیر مربوط به تاثیر نوع رویه بر مدول کشسانی در لبه در سطح خطای آزمایش ۱ درصد اختلاف معنی دار آماری وجود دارد. بالاترین مقدار مدول کشسانی در لبه مربوط به تیمار تخته فیبر و کمترین آن مربوط به رویه گونه صنوبر می‌باشد. شکل ۶ نشان می‌دهد پانلهایی که تنها با تخته فیبر ساخته شده‌اند بیشترین مقدار مدول کشسانی را داشته‌اند (۵۲۱/۴ مگاپاسکال) و با تغییر لایه از تخته فیبر به رویه راش و رویه صنوبر به ترتیب از مدول کشسانی در لبه به میزان ۶/۳٪ و ۳۸/۸٪ کاسته می‌شود.



شکل ۶- تاثیر مستقل نوع رویه بر مدول کشسانی در لبه

تاثیر مستقل نوع چسب بر مدول کشسانی در لبه:

طبق جدول تجزیه واریانس (ضمیمه ۱) بین مقادیر مربوط به تاثیر نوع چسب مصرفی بر مدول کشسانی در لبه، اختلاف معنی دار آماری وجود ندارد.

تاثیر متقابل نوع رویه و نوع چسب بر مدول کشسانی

در لبه:

بنابر جدول تجزیه واریانس (ضمیمه ۱) بین مقادیر مربوط به تاثیر نوع رویه و نوع چسب بر مدول کشسانی در لبه اختلاف معنی دار آماری وجود ندارد.

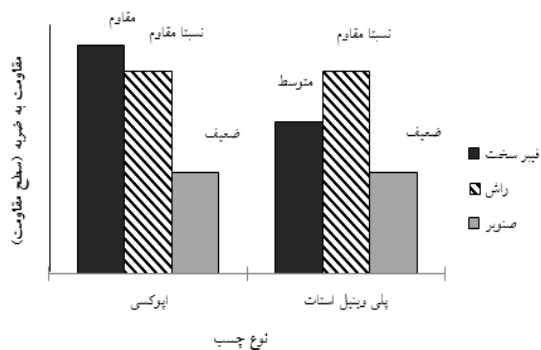
مدول گسیختگی در لبه

تاثیر مستقل نوع رویه بر مدول گسیختگی در لبه:

بنابر جدول تجزیه واریانس (ضمیمه ۱) بین مقادیر مربوط به تاثیر نوع رویه بر مدول گسیختگی در لبه در سطح خطای آزمایش ۱ درصد اختلاف معنی دار آماری

همین دلیل در این آزمون میزان آسیب‌های وارد شده با مشاهده‌های چشمی و در ۴ سطح مقاوم، به نسبت مقاوم، متوسط و ضعیف طبقه بندی گردید (شکل ۱۰).

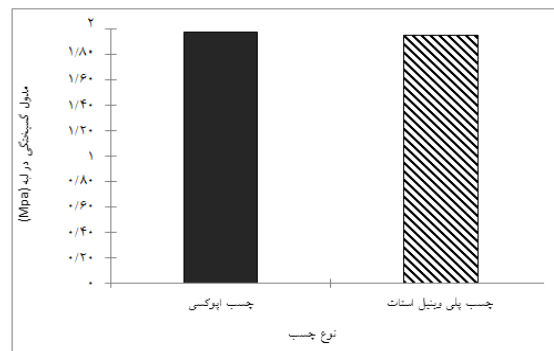
بررسی‌های زیادی در مورد بکارگیری رزین اپوکسی انجام شده است [۱۰، ۱۱]. گزارش‌های زیادی مبتنی بر نبود چسبندگی مناسب در انواع الیاف و رزین‌های مورد استفاده در صنعت کامپوزیت گزارش شده است [۱۲، ۱۳، ۱۴]. به همین دلیل پیش از استفاده از آنها در مقیاس‌های مختلف تولید نیازمند بررسی کیفیت چسبندگی و درصد مصرف بهینه می‌باشند. تاثیر استفاده از چسب اپوکسی مشخص تر بوده و باعث افزایش مقاومت‌ها به‌طور معنی‌دار در بین تیمارها می‌شود.



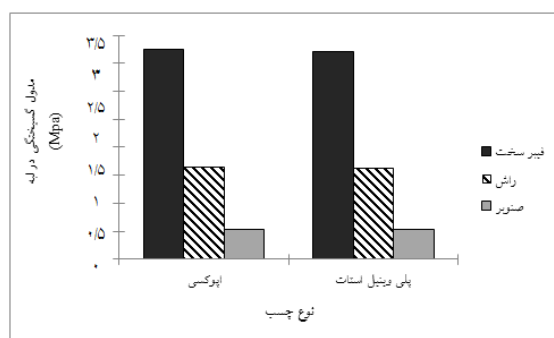
شکل ۱۰- تاثیر متقابل نوع رزین و نوع چسب بر مقاومت به ضربه

همچنین این مطلب بیانگر برقراری پیوندهای فیزیکی و شیمیایی بسیار قوی بین چوب و اپوکسی است که می‌توان آن را به سبب تر شدن کامل رویه‌ها توسط چسب اپوکسی و بعد برهمکنش‌های قوی ایجاد شده بین رویه‌ها و چسب اپوکسی دانست. همچنین Mo و همکاران (۲۰۰۳) و Papadopoulos و همکاران (۲۰۰۲)، علت مقاوم بودن بعضی چسب‌ها را کوچک‌تر بودن مولکول‌های چسب، توزیع یکنواخت تر آن روی ذرات و کیفیت چسبندگی شیمیایی و مکانیکی بالای آن عنوان کردند [۱۵، ۱۶]. این امر بر این واقعیت صحت می‌گذارد که هیچ گونه نقاط ضعف، حباب و یا نبود چسبندگی و سازگاری بین چوب و اپوکسی وجود ندارد. بدین ترتیب این مهم با بررسی‌های چشمی نیز تأیید شد. ساختار متخلخل چوب سبب ورود بسیاری از زنجیره‌های پلیمری به درون این ساختار و در نتیجه خیس شدن چوب توسط رزین می‌شود، این در حالی است که به دلیل انرژی زیاد

نوع رویه و نوع چسب بوده و تغییر نوع رویه از فیبر سخت به رویه‌های راش و صنوبر کاهش مدول گسیختگی در لبه را در بر دارد. با توجه به شکل ۹ بیشترین میزان مدول گسیختگی در لبه با تیمار چسب اپوکسی مربوط به تخته فیبر می‌باشد (۳/۷۴ مگاپاسکال) و کمترین آن مربوط به رویه گونه صنوبر (۰/۵۴ مگاپاسکال) می‌باشد که سبب کاهش مقدار مدول گسیختگی به میزان ۸۵/۵٪ شده است. همچنین در تیمار با چسب پلی وینیل استات بیشترین میزان مدول گسیختگی مربوط به تیمار تخته فیبر می‌باشد (۳/۷۱ مگاپاسکال) و کمترین آن مربوط به رویه گونه صنوبر (۰/۵۳ مگاپاسکال) می‌باشد که سبب کاهش در مقدار مدول گسیختگی در لبه به میزان ۸۵/۷٪ شده است.



شکل ۸- تاثیر مستقل نوع چسب بر مدول گسیختگی در لبه



شکل ۹- تاثیر متقابل نوع رزین و نوع چسب بر مدول گسیختگی در لبه

مقاومت به ضربه

تاثیر متقابل نوع رزین و نوع چسب بر مقاومت به ضربه: در آزمون مقاومت به ضربه به علت نداشتن اعداد کمی نمی‌توان این آزمون را با نرم افزار SPSS انجام داد. به

لانه زنبوری از عامل‌های موثر بر مدول کشسانی می‌باشد. در یک نتیجه کلی افزایش پلیمریزاسیون چسب اپوکسی به همراه رویه تخته فیبر سخت با چگالی و یکنواختی بیشتر نسبت به رویه راش و صنوبر از دلایل افزایش مقاومت‌ها بوده است که سبب سخت تر شدن اتصال میان رویه، کاغذ لانه زنبوری و چسب شده است. مقدار کم مدول گسیختگی نیز توسط Pflug و همکاران (۲۰۰۴) اثبات شده است [۲۳]. علت این امر سبک وزن بودن لایه مغزی پانل است و بستگی به اندازه سلول دارد [۵]. هرچه شمار سلول‌های کاغذ لانه زنبوری بیشتر و اندازه سلول‌ها کمتر باشد در نتیجه سطح چسب خوری بیشتر می‌شود و به دنبال آن افزایش مدول گسیختگی به دست می‌آید. دلایل کم بودن مقاومت‌های رویه‌های راش و صنوبر نسبت به تخته فیبر سخت می‌تواند به دلیل شکستگی‌های ریز و پنهانی، ترک‌های خشک شدن و نبود چسب پذیری مناسب در سطوح باشد. رویه راش به دلیل داشتن الیاف مناسب و وزن مخصوص کمتر نسبت به تخته فیبر سخت دارای کیفیت بهتر برش در سطوح و میزان فشردگی مناسب‌تر نسبت به چوب صنوبر بوده و به همین دلیل از نظر مجموع مقاومت‌های مکانیکی در رتبه دوم قرار دارد. همچنین نتایج این تحقیق در مورد مقاومت به ضربه نشان می‌دهد هنگامی که چسب پلی‌وینیل استات استفاده شده باشد لایه‌ها و بخصوص کاغذ لانه زنبوری خیلی آسان‌تر تحت بارگذاری ناشی از ضربه تغییر شکل می‌دهند و انرژی جذب می‌کنند. اما هنگامی که چسب اپوکسی استفاده شود، شمار اتصال‌های شیمیایی افزایش می‌یابد و پیوندهای درون مولکولی غیر قابل تغییر و انعطاف می‌شوند. در این آزمون بیشترین مقاومت‌ها در تیمار چسب اپوکسی و تخته فیبر سخت می‌باشد. در آزمون مقاومت به ضربه به علت نداشتن اعداد کمی نمی‌توان این آزمون را با نرم افزار SPSS انجام داد. به همین دلیل میزان آسیب‌های وارد شده با مشاهدات عینی و در ۴ سطح مقاوم، به نسبت مقاوم، متوسط و ضعیف طبقه‌بندی شد. با توجه به معنی‌دار بودن تاثیر مستقل و متقابل نوع رویه و نوع چسب در بعضی آزمون‌ها می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب‌های مورد استفاده با چسب‌های مصرف شده توانسته است موجب تغییر معنی‌دار مقاومت‌های پانل‌های ساندویچی لانه زنبوری شود. همچنین افزایش

زنجیرهای پلیمری، که با افزایش دما همراه است بسیاری از آنها می‌توانند در درون چوب که انرژی سطحی پایینی دارد نفوذ نمایند. در این میان قفل شدن مکانیکی بسیاری از زنجیرهای پلیمری در خلل فرج موجود در چوب نیز به آسانی رخ می‌دهد، به علاوه اینکه به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیلی بر روی چوب و واکنش این گروه عاملی با عامل اپوکسی، می‌توان انتظار به وجود آمدن فصل مشترک قوی در سطح تماس رزین و چوب را داشت و به همین دلیل مطلوب تر از چسب پلی‌وینیل استات بوده است. در صورت استفاده از چسب پلی‌وینیل استات از میزان مقاومت‌های مکانیکی کاسته می‌شود که به دلیل آغستگی کمتر رویه‌ها و کاغذ لانه زنبوری به چسب و در نتیجه ضعیف تر شدن اتصال‌های بین رویه و کاغذ لانه زنبوری می‌باشد که می‌توان ضعیف بودن آن را نسبت به اپوکسی به پرکننده چسب ربط داد که برای بهبود این چسب می‌توان از پرکننده‌های مناسب مانند الیاف سلولزی و پرکننده‌های معدنی استفاده کرد. به طور کلی ساز و کارهای ایجاد کننده چسبندگی بین رزین و پرکننده شامل موارد زیر می‌باشد [۱۷، ۱۸].

۱- قفل شدن مکانیکی ۲- فرضیه الکترونیک و الکتروستاتیک ۳- فرضیه جذب یا توانایی خیس کردن ۴- فرضیه نفوذ ۵- فرضیه ایجاد پیوند شیمیایی ۶- فرضیه تشکیل لایه‌های مرزی ضعیف و بین فازی.

Araba (۲۰۱۰)، در بررسی ساخت پانل‌های ساندویچی تاثیر ضخامت و ابعاد سلول‌ها را بر مقاومت پانل ساندویچی معنی‌دار اعلام کرد [۱۹]. Fei و Yang (۲۰۱۲)، در بررسی ساخت پانل‌های ساندویچی با مغزی کنگره‌ای بیشترین مقاومت به دست آمده این پانل‌ها از رویه چوب نی‌خیزران (بامبو) و MDF اعلام کردند [۲۰]. Phol (۲۰۰۹)، در بررسی مقاومت‌های مکانیکی کاغذ لانه زنبوری کنگره‌ای برای کاربرد عناصر ساختمان به نتایج همانندی دست یافت [۲۱]. Wen (۲۰۱۲)، در ارزیابی کارایی و مقاومت فشاری نسبت به لبه، بین کاغذ لانه زنبوری و مقوای کنگره‌ای به این نتیجه رسید که مقاومت فشاری کاغذ لانه زنبوری در جهت عرضی بیشتر از جهت طولی است و مقادیر مقاومت فشاری در دو جهت یاد شده در مقوای کنگره‌ای کمتر از کاغذ لانه زنبوری است [۲۲]. اتصال قوی و فشردگی مناسب و یکنواخت رویه و کاغذ

ویژگی‌های مکانیکی را خواهد داشت. برپایه این نتایج، رویه راش با تیمار چسب اپوکسی در رتبه دوم قرار دارد. می‌توان بیان کرد که تخته فیبر سخت به علت فشردگی زیاد و همچنین چسب اپوکسی به دلیل ایجاد اتصال بهتر، تاثیر ویژه‌ای بر روی ویژگی‌های مکانیکی پانل‌های ساندویچی داشته‌اند. با توجه به معنی دار نبودن تاثیر نوع چسب و نوع لایه بر برخی آزمون‌ها نشان می‌دهد که ترکیب‌های بالا نتوانسته است موجب تغییر معنی‌دار حالت‌های آزمون شود. این پانل‌ها دارای ویژگی‌های مطلوبی به عنوان یک چندسازه جدید در صنعت چوب بوده و می‌توان از آن در ساختمان سازی به عنوان دیواره‌های جدا کننده غیر باربر استفاده کرد. نتیجه مطلوب کاربرد این فرآورده چوبی ناشی از تفاوت ماهیت مواد اولیه می‌باشد. در نهایت، بهترین ترکیب برای ساخت پانل‌های ساندویچی، ترکیب تخته فیبر سخت و چسب اپوکسی معرفی می‌شود.

مقاومت‌های مکانیکی با تغییر نوع لایه و افزایش ضخامت را نیز Nourbaksh و همکاران (۲۰۰۱) و Barbu و همکاران (۲۰۱۰) تایید کرده‌اند [۲۴، ۲۵].

نتایج این تحقیق با نتایج بررسی Barboutis و Vassiliou (۲۰۰۴)، Nourbaksh و همکاران (۲۰۰۱)، Pflug و همکاران (۲۰۰۴)، Araba (۲۰۱۰) و Barbu و همکاران (۲۰۱۰) همخوانی دارد [۲۴، ۲۳، ۱۹، ۲۵].

نتیجه گیری

در این پژوهش تاثیر نوع رویه و نوع چسب مصرفی بر خواص مکانیکی پانل‌های ساندویچی مورد بررسی قرار گرفت. پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی پانل‌های ساندویچی، بهترین تیمار آزمایشی از نظر مجموع ویژگی‌های مکانیکی تعیین شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بهترین ترکیب نوع چسب مصرفی و نوع رویه، ترکیب چسب اپوکسی و تخته فیبر می‌باشد که بهترین

مراجع

- [1] Dehghani Firouzabadi, M. And Yousefi, A., 2011. Production of honeycomb panels, using agricultural waste, National Conference of Agriculture, Islamic Azad University, Jahrome-iran, 4 pages. (In Persian).
- [2] Ebrahimi, G., 1989. Mechanical Wood Composite Products, Tehran University Press, 680 p. (Translate In Persian).
- [3] 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 pages.(In Persian).
- [4] Doosthuseini, k., 2001. Wood composite material: manufacturing, applications, Tehran University press, 648 p. (In Persian).
- [5] 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.
- [6] Mirshokraei, S.A., 2001. Chemistry and Technology Wood Adhesives, Tehran- center for Academic Publishing, 350 p. (Translate In Persian).
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] ASTM, Standard, 2000. Standard Test Method for Toughness of Wood-Base Structural Panel, American Society for Testing and Material, D 3499.

- [10] Lawrence, E., 1994. *Mechanical Properties of Polymers and Composites*, Marcel Dekker, INC.
- [11] Bodig, O. and Jayne, B.A., 1982, *Mechanics of Wood and Wood Composites*, Van Nostrand Reinhold Company.
- [12] Marieta, C., Schulz, E., and Mondragon, I., 2002. Characterization of interfacial behavior in carbon fiber/cyanate composites, *International Journal of Composites Science Technology*, 62(2): 299–309.
- [13] Marieta, C., Schulz, E., Irusta, L., Gabilondo, N., Tercjak, A., and Mondragon, I., 2005. Evaluation of fiber surface treatment and toughening of thermoset matrix on the interfacial behavior of carbon fiber reinforced cyanate matrix composites, *International Journal of Composites Science Technology*, 65(14): 2189–2197.
- [14] Chen, W., Yu, Y., Li, P., Wang, C., Zhou, T., and Yang, X., 2007. Effect of new epoxy matrix for T800 carbon fiber/epoxy filament wound composites, *International Journal of Composites Science and Technology*, 67: 2261–2270.
- [15] 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.
- [16] 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*, 1-3.
- [17] Clark Jr, R.L., Kander, R.G., and Sauer, B.B, 1999. Nylon 66/poly (vinyl pyrrolidone) reinforced composites: 1. Interphase microstructure and evaluation of fiber–matrix adhesion, *International Journal of Composites: Part A*, 30: 27–36.
- [18] Broyles, N.S., Verghese, K.N.E., Davis, S.V., Li, H., Davis, R.M., Lesko, J.J., and Riffle, J.S., 1998. Fatigue performance of carbon fiber/vinyl ester composites: the effect of two dissimilar polymeric sizing agents, *International Journal of Polymer*, 39(15): 3417-3424.
- [19] Araba Sam-Brew, S., 2010. *The Development of Hollow Core Composite Panels For Value Added Applications*, M.Sc. Thesis, University of British Columbia, 92 pages.
- [20] Yang, F. and Fei, B., 2012. *The Research on Bamboo-Wood Corrugated Sandwich Panel*”, *Proceeding of the 55 th International Convention of Society of Wood Science and Technology*, August 27-31, 2012-Beijing, China, 8 p.
- [21] Pohl, A., 2009. *Strengthened Corrugated Paper Honeycomb for Application In Structural Elements*, Ph.D. thesis, Dipl.-Ing. Technics University Wien, 355 pages.
- [22] Wen, S., 2012. *Compressive Performance Investigation between Thin Honeycomb Paperboard and Corrugated Paperboard of Flute A*, *Journal of Advanced Materials Research*, 487: 198-202.
- [23] 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 10th European Conference on Composites Materials*.
- [24] Nourbaksh, A., Tabarsa, T., Kargarfard, A., Golbabei, F., 2001. effect of species and thickness layer on properties woods layer (L.V.L), *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 19(2):211-224. (In Persian).
- [25] Barbu, M., Romania, B., Ludtke, J., Thomen, H., Welling, J., 2010. *New Technology for the Continuous Production of Wood-based Lightweight Panels*, *United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee*, 10 p.

جدول ضمیمه ۱- خلاصه تجزیه واریانس تاثیر مستقل و متقابل عامل‌های متغیر بر آزمون‌های مکانیکی

تفاوت	Sig	مقدار F	میانگین مربعات MS	درجه آزادی DF	مجموع مربعات SS	منبع تغییرات S.O.V	آزمون
**	۰/۰۰۰	۴۲۸/۰۹۵	۱۵۴۲۹۳/۸۷۰	۲	۳۰۸۵۸۷/۷۴۰	نوع رویه	مدول کشسانی در سطح
*	۰/۰۱۵	۸/۰۹۴	۲۹۱/۷۷۲	۱	۲۹۱/۷۷۲	نوع چسب	
N.S	۰/۵۷۲	۰/۵۸۶	۲۱/۱۱۵	۲	۴۲/۲۳۱	رویه × چسب	
			۳۶/۰۴۹	۱۲	۴۳۲/۵۹۰	خطا	
				۱۸	۵/۹۳۷E۷	مجموع	
**	۰/۰۰۰	۱۸/۳۶۸	۰/۰۰۲	۲	۰/۰۰۴	نوع رویه	مدول گسیختگی در سطح
**	۰/۰۰۲	۱۵/۲۱۱	۰/۰۰۲	۱	۰/۰۰۲	نوع چسب	
**	۰/۰۰۰	۱۵۷/۳۱۶	۰/۰۱۷	۲	۰/۰۳۳	رویه × چسب	
			۰/۰۰۰	۱۲	۰/۰۰۱	خطا	
				۱۸	۲۰۰/۵۰۷	مجموع	
**	۰/۰۰۰	۱۵۰/۰۶۹	۷۴۹۹۸/۲۶۰	۲	۱۴۹۹۹۶/۵۲۰	نوع رویه	مدول کشسانی در لبه
N.S	۰/۱۹۴	۱/۸۹۵	۹۴۷/۲۸۵	۱	۹۴۷/۲۸۵	نوع چسب	
N.S	۰/۵۲۸	۰/۶۷۴	۳۳۷/۰۵۶	۲	۶۷۴/۱۱۲	رویه × چسب	
			۴۹۹/۷۵۹	۱۲	۵۹۹۷/۱۰۷	خطا	
				۱۸	۳۶۵۹۹۴۹/۰۲۵	مجموع	
**	۰/۰۰۰	۹۲۴۸/۰۶۵	۳/۹۵۶	۲	۷/۹۱۲	نوع رویه	مدول گسیختگی در لبه
*	۰/۰۹۳	۳/۳۲۵	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱	نوع چسب	
**	۰/۰۰۰	۲۷۹۰۲/۸۱۸	۱۱/۹۳۶	۲	۲۳/۸۷۲	رویه × چسب	
			۰/۰۰۰	۱۲	۰/۰۰۵	خطا	
				۱۸	۱۰۱/۶۴۷	مجموع	

** تفاوت معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹٪

* تفاوت معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵٪

N.S نبود تفاوت معنی‌دار

The Effect of Face and Adhesive Types on Mechanical Properties of Sandwich Panels Made from Honeycomb Paper

Abstract

Sandwich panels are new kind of layered composites that usually are composed of three layers and their core layer's thickness is higher and the outer layers are determinative in determination of the products strength and stiffness. The core layer is commonly made of honeycomb paper, corrugated paper and polyurethane etc. In this study, effects of face and adhesive types on mechanical properties of sandwich panels made from honeycomb paper were investigated. The variables included three types; beech face, poplar face and hardboard (S₂S face, veneer less) and adhesive type (two types; epoxy and PVA). Out of experimental panels specimens were cut and tested according to DIN E 326-1 standard. Mechanical properties of panels, included modulus of elasticity as well as modulus of rupture at the edge and surface (based on DIN EN 310 standard) and Impact Bending Strength (IBS) of the panels (based on ASTM D 3499 standard) were measured. The gathered data were analyzed as completely randomized factorial design. Highest mechanical properties were reported for panels glued with epoxy resin and containing fiberboard at the middle. According to results, optimum condition of producing sandwich panels was observed in uses of epoxy resin and fiberboard (S₂S face, veneer less) at the middle.

Keywords: Sandwich panels, Hard fiberboard, Epoxy resin, PVA resin, Modulus of rupture

M.Saffari¹
M.Jabbari²
A .Najafi³
A .Tatari^{4*}
M. Ghaffari⁵

¹ and ³ Assistant Professor and
² M.Sc. Graduate of wood and paper technology, Islamic Azad University, chalus Branch

⁴ B.Sc. Graduate of wood and paper technology, University of Aliabad Katoul

⁵ M.Sc. Graduate of Pulp and Paper technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan

Corresponding author:
papermaker862@gmail.com

Received: 2012.09.10
Accepted: 2013.04.27