

## ارزیابی پانل ساندویچی ساخته شده از ضایعات برگ نخل خرما و تخته سه لایه

علی اکبر یزدی میمند<sup>۱</sup>، علی خاکی<sup>۲</sup> و محمد غفرانی<sup>۳\*</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

۲- استادیار، عضو هیئت علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

۳- نویسنده مسئول، استاد، گروه کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران، پست الکترونیک: ghofrani@sru.ac.ir

### چکیده

پانل‌های ساندویچی یکی از انواع سازه‌های کامپوزیتی هستند که در مقیاس وسیعی مصرف می‌شوند. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر سه نوع چسب اوره فرمالدهید (UF)، ملامین فرمالدهید (MF) و ترکیب اوره فرمالدهید + ملامین فرمالدهید (UF+MF) و دو دانسیته لایه مغزی (۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب) بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته شده از برگ نخل انجام شده است. دما، فشار و زمان پرس برای تمامی پانل‌های ساخته شده به ترتیب ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، ۳۵ کیلوگرم بر سانتی‌گراد و ۹ دقیقه بود. ضخامت نهایی تمامی پانل‌ها یکسان و برابر ۲۵ میلی‌متر بود. بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی شامل جذب آب، واکنشیدگی ضخامت، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته خمشی، مقاومت به ضربه و چسبندگی داخلی روی نمونه‌ها انجام گردید. نتایج نشان داد که بین مقادیر تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار وجود دارد. خواص فیزیکی (بجز واکنشیدگی ضخامت) و خواص مکانیکی در دانسیته ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، بهبود یافت. استفاده از چسب MF و UF+MF به‌طور قابل ملاحظه‌ای خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: اوره فرمالدهید، برگ نخل، پانل‌های ساندویچی، خواص مکانیکی، ملامین فرمالدهید.

### مقدمه

بالا توجه دارند. از مهمترین دستاوردهای نوین در صنعت پانل و صنعت چوبی، تولید و توسعه پانل‌های ساندویچی سبک وزن بوده است (Jabbari et al., 2014). این پانل‌ها که چندسالی از ورود آنها به صنعت اوراق فشرده چوبی نمی‌گذرد، توانسته‌اند رقیبی بسیار قوی برای سایر فرآورده‌های صفحه‌ای مانند تخته خرده چوب و تخته فیبر محسوب شوند (Saffari et al., 2013).

اصلاح مهندسی کامپوزیت‌های حاصل از مواد لیگنوسلولزی (به‌ویژه چوب) مختلف با نگرش چند جانبه، به افزایش مقاومت‌ها و رفع معایب آن می‌پردازد. از سوی دیگر، اصلاح مهندسی کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی جایگزین مناسبی برای روش حفاظت چوب است (Mahdavi et al.,

چوب به‌عنوان یک ماده مهندسی و طبیعی هزاران سال است که برای ساخت سازه‌های مهندسی از قبیل ساختمان‌ها، پل‌ها، مبلمان و سازه‌های متعدد دیگری استفاده می‌شود (Ross, 2010). در سال‌های اخیر، کمبود شدید مواد لیگنوسلولزی برای تولید طیف وسیعی از کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی از جدی‌ترین چالش‌های صنایع مرتبط با تولید کامپوزیت در سراسر جهان محسوب می‌شود (Kiselyov et al., 2021). این چالش‌ها، نظرها را به سوی استفاده از مواد سازه‌ای سبک با هدف مصرف هرچه کمتر چوب و منابع چوبی جلب کرده است (Lv et al., 2021). اخیراً، محققان به ساخت پانل‌هایی با چگالی (دانسیته) کم و خواص مقاومتی

چندلا، تخته فیبر و تخته خرده چوب از جمله فرآورده‌های ترکیبی چوبی هستند که توانسته‌اند به تدریج جایگزین چوب ماسیو شوند (Lv et al., 2021). به طوری که امروزه پانل‌های ساندویچی به عنوان یکی از فرآورده‌های چوبی و مصالح ساختمانی سبک و مقاوم، طراحی و تولید می‌شوند (San Ha et al., 2019). بر همین اساس با رشد جمعیت و افزایش نیازهای جامعه برای تولید فرآورده‌های چوبی، به‌ویژه تولید فرآورده‌های چوبی با پسماندهای مختلف لیگنوسلولزی در دسترس مانند مواد لیگنوسلولزی حاصل از نخلستان‌ها، تدوین الگوی مناسب و برنامه‌ریزی در استفاده از مواد اولیه موضوعی ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، برای تحقق بخشیدن به الگوی صحیح مصرف منابع جنگلی و حفظ محیط زیست تولید پانل ساندویچی با ضایعات حاصل از نخل خرما مناسب است. همچنین در کنار فرایند تولید پانل‌های ساندویچی، پرداختن به مسائل تأثیرگذار خواص فیزیکی و مکانیکی (خمش، سختی، مدول الاستیسیته، ضربه و...) در آن بسیار حائز اهمیت است، زیرا امروزه با توجه به کاربردهای بسیار وسیعی که پانل‌های ساندویچی و تخته‌های ردیفی در صنایع مبلمان و مصالح ساختمانی سبک و مقاوم دارند، مسئله برآورد خواص فیزیکی و مکانیکی ضروریست. گزارش‌های زیادی در ارتباط با تولید پانل‌های ساندویچی منتشر شده است که از مهمترین آنها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد.

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 ۳، ۶ و ۸ میلی‌متر، تخته خرده‌چوب با ضخامت ۸ میلی‌متر، تخته سه لایه با ضخامت ۳/۸ و تخته ۵ لایه با ضخامت ۷/۲۸ بودند. نتایج نشان داد در نمونه‌های ساخته شده از پوسته MDF، با افزایش ضخامت پوسته، مقاومت‌های پانل ساندویچی افزایش یافت و مقاومت‌های مکانیکی پانل سبک وزن ساخته شده از مغزی فوم پلی‌اورتان، به دلیل تراکم بیشتر و سطح اتصال مناسب با پوسته، نسبت به پانل سبک وزن ساخته شده از مغزی لانه زنبوری کاغذ کرافت

بیشتر بود.

Saffari و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر نوع رویه و نوع چسب مصرفی را بر خواص مکانیکی پانل‌های ساندویچی مطالعه کردند. عوامل متغیر در تحقیق آنان شامل سه نوع رویه با ضخامت یکسان (رویه راش، صنوبر و تخته فیبر سخت دو رو صاف بدون روکش) و دو نوع چسب سرد (اپوکسی و پلی وینیل استات) بود. بیشترین مقادیر خواص مکانیکی برای تیمارهای تخته فیبر سخت با استفاده از چسب اپوکسی مشاهده شد. تخته فیبر سخت به علت فشردگی زیاد تأثیر ویژه‌ای بر روی ویژگی‌های مکانیکی پانل‌های ساندویچی داشته است.

Mansouri و Shamsian (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر نسبت‌های مختلف اختلاط ضایعات ساقه آفتابگردان دانه‌ای و پسماند لایه صنوبر نیگرا در لایه میانی پانل و نسبت اختلاط رزین MF و UF به عنوان اتصال‌دهنده در ساخت پانل ساندویچی چوبی سبک وزن پرداختند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که با کاهش نسبت اختلاط ضایعات ساقه آفتابگردان به صنوبر و با افزایش نسبت اختلاط رزین MF، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مدول صلبیت و چسبندگی داخلی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد و پانل ساخته شده با صنوبر خالص بیشترین مقدار مقاومت‌های ذکر شده را داشته است.

یکی از مهمترین منابع الیاف سلولزی که به فراوانی در جنوب کشور یافت می‌شود، ضایعات موجود در نخلستان‌هاست. از سویی، به دلیل اینکه تهیه خوراک دام از ضایعات نخلستان‌ها توجیه اقتصادی ندارد، این ضایعات کم رقیب بوده و به نظر می‌رسد که استفاده از آن در تولید پانل‌های ساندویچی برای کاربردهای مختلف این محصول ضرورت خاصی دارد. بنابراین، در این پژوهش، خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی حاصل از ضایعات برگ نخل خرما بررسی می‌شود تا اطلاعات مورد نیاز از مقاومت‌های مکانیکی و خواص فیزیکی به دست آید.

## مواد و روش‌ها

### تهیه مواد اولیه

در این تحقیق، خرده‌های برگ نخل مورد نیاز از کارخانه

ضخامت اسمی ۳ میلی‌متر) به‌عنوان رویه پانل‌ها استفاده شد. چسب‌های مورد نیاز شامل دو نوع چسب اوره فرمالدهید و ملامین فرمالدهید برای اتصال خرده‌های برگ به‌عنوان مغزی پانل و اتصال رویه‌ها به مغزی مورد استفاده قرار گرفت. چسب‌ها از شرکت داروکو تیریز تهیه شدند و مشخصات آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

توپان نرماشیر بم تهیه شدند و هیچ‌گونه عملیات جداسازی ذرات انجام نشد. ابعاد آنها توسط کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی-متر اندازه‌گیری شد. میانگین طول ذرات ۹/۶۹ میلی‌متر، میانگین عرض ذرات ۱/۰۵ میلی‌متر و میانگین ضخامت ذرات ۰/۳۶ میلی‌متر بود. برای ساخت پانل‌های ساندویچی از تخته سه لایه ایرانی چوب سپیدار بدون عیب و سالم (با

جدول ۱- ویژگی‌های چسب‌های مورد استفاده

Table 1- Properties of adhesives used

نوع چسب Adhesive type	دانسیته Density (g/cm <sup>3</sup> )	مواد جامد Solid content (%)	pH	زمان ژله‌ای شدن Gel time (S)	ویسکوزیته Viscosity (CP)
UF	1.29	62-65	7.5-8.5	75-85	50-70
MF	1.26	57-60	7.5-9.5	60-90	100-200

سانتی‌گراد انجام شد. ضخامت لایه میانی ۱۹ میلی‌متر در نظر گرفته شد. رطوبت کیک خرده ۱۲ درصد و تخته لایه‌ها ۶/۹ درصد بود. بعد از آماده‌سازی لایه میانی، رویه سطحی تخته با ۱۳۰ گرم چسب در هر مترمربع آغشته شد. با استفاده از کاردک چسب به صورت یکنواخت روی سطح رویه پخش شد. در این مرحله، یک رویه برای سطح پایینی و یک رویه برای سطح بالایی تخته‌ها چسب‌زنی شد و بعد رویه‌ها بر روی لایه میانی مونتاژ شدند. پس از چسب‌زنی و قرارگیری لایه مغزی بین رویه‌ها، سازه ساندویچی به پرس هیدرولیکی انتقال داده شد. دما، فشار، زمان و سرعت بسته شدن پرس برای تمامی پانل‌ها به ترتیب ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، ۳۵ کیلوگرم بر سانتی‌گراد، ۹ دقیقه و ۱ متر در دقیقه بود. ضخامت نهایی تمامی پانل‌ها یکسان و برابر ۲۵ میلی‌متر بود که این ضخامت با استفاده از شابلون‌هایی که در طرفین پانل قرار داده شده بود کنترل گردید. پس از اتمام فرایند پرس، نمونه‌ها برای رسیدن به رطوبت تعادل محیط به مدت دو هفته در شرایط آزمایشگاهی با رطوبت نسبی  $65 \pm 2$  درصد و دمای  $23 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد نگهداری و بعد از آن دوربری شدند.

## طراحی آزمایش‌ها

در این تحقیق با توجه به وجود دو متغیر نوع چسب (اوره فرمالدهید، ملامین فرمالدهید و اوره فرمالدهید + ملامین فرمالدهید) و دانسیته لایه مغزی (۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و با احتساب سه تکرار در نظر گرفته شده برای هر تیمار، در مجموع ۱۸ نمونه آزمایشگاهی برای ارزیابی‌های مورد نظر در این تحقیق ساخته شد.

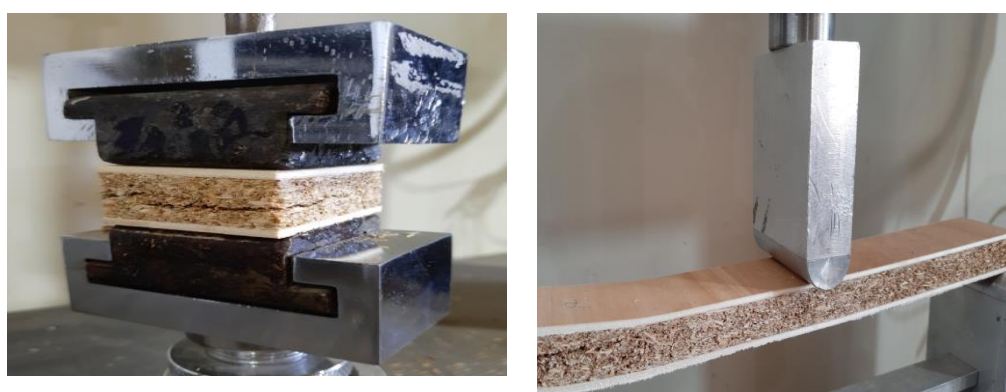
### ساخت لایه مغزی و تشکیل ترکیب پانل

از یک چسب‌زن استوانه‌ای برای اختلاط رزین با ضایعات برگ نخل استفاده شد. بدین منظور، پس از ریختن مقدار معینی از ضایعات برگ نخل (بر اساس دانسیته لایه مغزی) در داخل چسب‌زن آزمایشگاهی، چسب با نسبت ۱۱ درصد وزن خشک ذرات بر روی ذرات اسپری شد و به‌منظور پخش و توزیع یکنواخت چسب به مدت ۲ دقیقه با هم مخلوط شدند. نسبت درصد UF و MF در ساخت چسب ترکیبی UF+MF به ترتیب ۶۰ و ۴۰ درصد بود. پس از خارج کردن ضایعات برگ نخل آغشته به چسب از دستگاه چسب‌زن، تشکیل کیک خرده چوب به صورت دستی و در یک قالب ۴۵×۴۵

آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی

نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آزمون مکانیکی ساخت شرکت Sanaf با مشخصات Tensile Tester STT-5T تحت آزمون قرار گرفتند. آزمون جذب آب و واکنش ضخامت طبق استاندارد ISO 16983 انجام شد. آزمایش مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته مطابق با استاندارد DIN-EN310 انجام و بارگذاری با میزان ثابت و با سرعت بارگذاری ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه بر نمونه اعمال شد. آزمون

مقاومت به ضربه طبق استاندارد DIN 52189:1992 انجام شد. نمونه‌ها از سمت ضخامت و به حالت افقی در وسط دهانه دستگاه قرار گرفته و نیروی ضربه بر سطح وارد شد. آزمون کشش عمود بر سطح (چسبندگی داخلی) مطابق با استاندارد DIN-EN319 اندازه‌گیری شد و سرعت کشش ۱۰ میلی‌متر در دقیقه بود. شکل ۱، نمونه‌های آزمایشی تحت آزمون خمش و چسبندگی داخلی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمونه‌های آزمایشی: آزمون خمشی (راست) و چسبندگی داخلی (چپ)

Figure 1- Experimental samples. (Right) MOR and (Left) Internal bonding

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته شده

Table 2 – ANOVA results of variables on physical and mechanical properties of sandwich panels were made

منبع تغییرات Source of variation	مقاومت خمشی	مدول الاستیسیته خمشی	چسبندگی داخلی	مقاومت به ضربه (ژول)	جذب آب (%) Water absorption (%)		واکنش ضخامت (%) Thickness swelling (%)	
	(مگاپاسکال) Modulus of rapture (Mpa)	(مگاپاسکال) Modulus of elasticity (Mpa)	(مگاپاسکال) Bending strength (Mpa)	impact bending strength (J)	۲ ساعت 2 hours	۲۴ ساعت 24 hours	۲ ساعت 2 hours	۲۴ ساعت 24 hours
نوع چسب (A) Adhesive type (A)	0.000**	0.000**	0.002**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**
دانسیته (B) Density (B)	0.000**	0.136ns	0.061ns	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**
A×B	0.000**	0.000**	0.775ns	0.003**	0.864ns	0.930ns	0.000**	0.000**

\*\* : معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد (Significant at 99%)؛ ns : عدم تفاوت معنی‌دار (Non-significant)

چسب و دانسیته بر مقاومت خمشی در سطح ۹۹ درصد معنی-دار است ( $p < 0.01$ ). همچنین اثر متقابل نوع چسب  $\times$  دانسیته نیز بر مقاومت خمشی در سطح ۹۹ درصد معنی-دار است. طبق شکل (۲)، بیشترین مقاومت خمشی در حدود ۱۶/۲۱ مگاپاسکال مربوط به تخته‌های ساخته شده با چسب MF با دانسیته لایه مغزی ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن (۱/۹۵ مگاپاسکال) مربوط به تخته‌های ساخته شده با چسب UF با دانسیته لایه مغزی ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش دانسیته لایه مغزی و به‌طورکلی دانسیته بیشتر و استفاده از چسب MF، مقاومت خمشی بهبود می‌یابد.

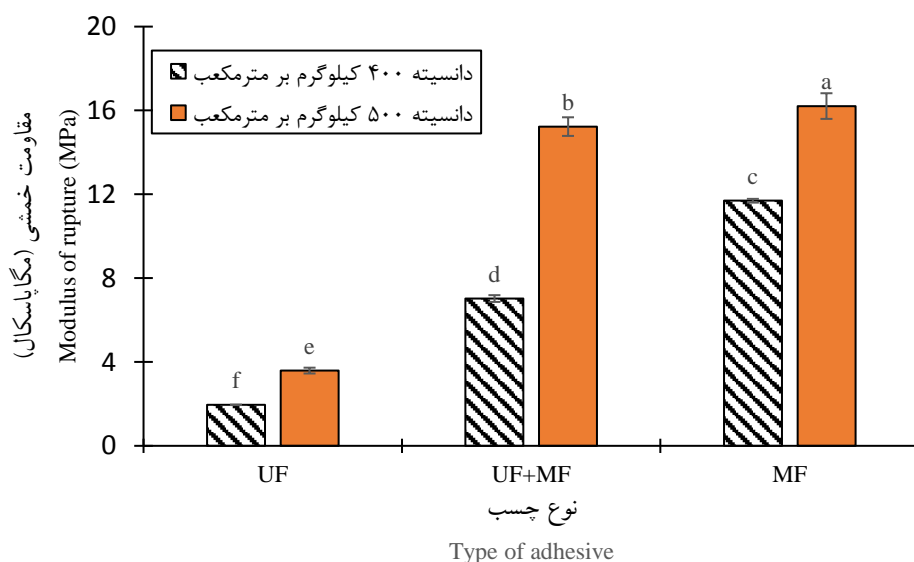
روش تجزیه و تحلیل آماری

نتایج با استفاده از آزمون فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی به کمک نرم‌افزار SPSS 25 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. اثر مستقل و متقابل هر یک از عوامل متغیر بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌ها در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد بررسی شد. در صورت معنی‌دار بودن اثر هر یک از فاکتورها، از آزمون چند دامنه دانکن برای گروه‌بندی و مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید.

## نتایج

### مقاومت خمشی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثر مستقل نوع



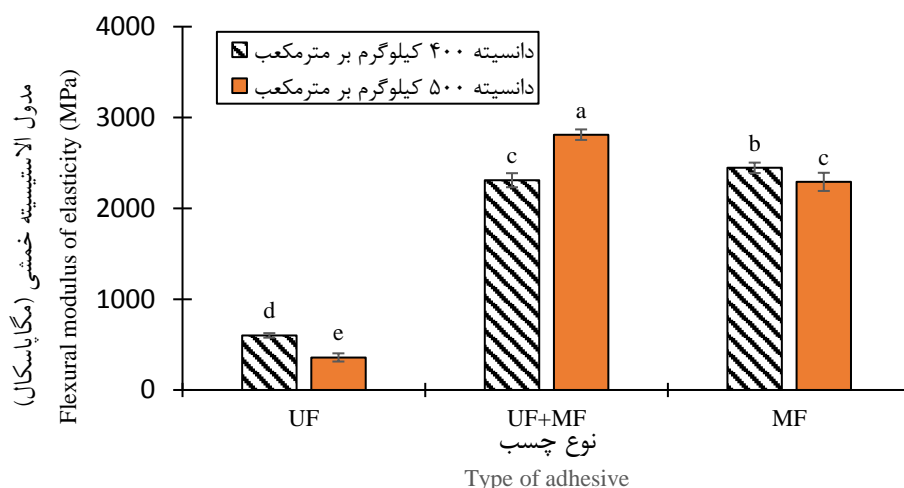
شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت خمشی

Figure 2- The effect of different treatments on flexural strength

شکل (۳)، بیشترین مدول الاستیسیته خمشی در حدود ۲۸۱۰/۸ مگاپاسکال مربوط به تخته‌های ساخته شده با چسب UF+MF و کمترین آن (۳۵۸/۴ مگاپاسکال) مربوط به تخته‌های ساخته شده با چسب UF است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش دانسیته لایه مغزی و به‌طورکلی دانسیته بیشتر، مدول الاستیسیته خمشی بهبود می‌یابد.

مدول الاستیسیته خمشی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثر مستقل نوع چسب و اثر متقابل نوع چسب  $\times$  دانسیته بر مدول الاستیسیته خمشی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است ( $p < 0.01$ ). در مورد اثر مستقل دانسیته، تأثیر معنی‌دار مشاهده نشد ( $p > 0.05$ ). این بدین معنی است که دانسیته به تنهایی نتوانسته است موجب تغییر حالت معنی‌دار مدول الاستیسیته شود. طبق



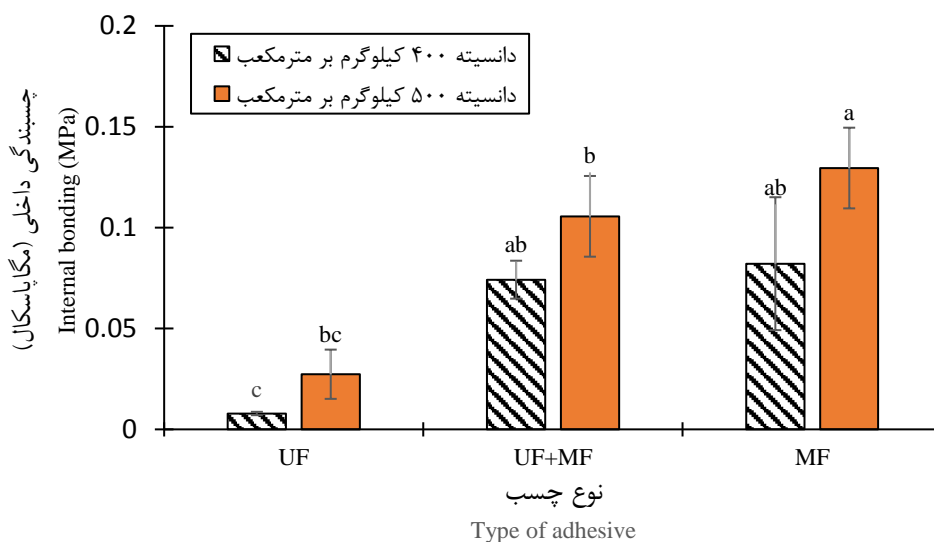
شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف بر مدول الاستیسیته خمشی

Figure 3 - The effect of different treatments on the modulus of flexural elasticity

نتوانسته است موجب تغییر حالت معنی‌دار چسبندگی داخلی شود. بیشترین میزان چسبندگی داخلی مربوط به نمونه‌های پانل ساخته شده از ضایعات برگ نخل با دانسیته ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب با چسب MF و کمترین آن مربوط به نمونه‌های پانل ساخته شده از ضایعات برگ نخل با دانسیته ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب با چسب UF است (شکل ۴).

#### چسبندگی داخلی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثر مستقل نوع چسب بر چسبندگی داخلی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است ( $p < 0.01$ ). در مورد اثر مستقل دانسیته و اثر متقابل نوع چسب × دانسیته، تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد ( $p > 0.05$ ). این بدین معنی است که دانسیته و نوع چسب × دانسیته



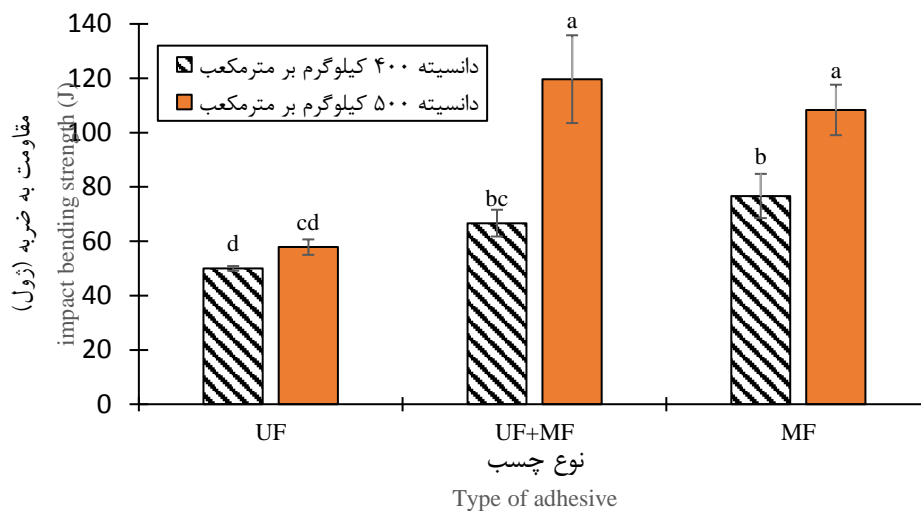
شکل ۴- اثر تیمارهای مختلف بر چسبندگی داخلی

Figure 4 - The effect of different treatments on internal adhesion

## مقاومت به ضربه

در دانسیته مشابه است (شکل ۵). چسب ملامین فرمالدهید در مقایسه با چسب اوره فرمالدهید اتصالات مقاومی به وجود آورده و باعث افزایش مقاومت به ضربه شده است. به عبارتی استفاده از رویه تخته لایه به همراه چسب ملامین فرمالدهید، مقاومت به ضربه را نسبت به زمانی که از رویه تخته لایه به همراه چسب اوره فرمالدهید استفاده شود، به میزان بیشتری بهبود می‌دهد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مستقل و متقابل کلیه عوامل متغیر (نوع چسب و دانسیته) بر مقاومت به ضربه در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). بررسی میانگین‌ها نشان داد که مقاومت به ضربه مربوط به نمونه‌های ساخته شده با چسب UF+MF (۱۱۹/۶۶ ژول) بیشتر از پانل‌های ساخته شده با چسب اوره فرمالدهید (۵۷/۸ ژول)



شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت به ضربه

Figure 5 - The effect of different treatments on impact resistance

است.

## ثبات ابعادی

جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر مستقل نوع چسب و دانسیته بر واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. همچنین اثر متقابل نوع چسب × دانسیته در دو بازه زمانی ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. بیشترین میزان درصد واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب مربوط به پانل ساخته شده با چسب UF با دانسیته مغزی ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن مربوط به پانل ساخته شده با چسب MF با دانسیته مغزی ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است.

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر مستقل نوع چسب و دانسیته بر درصد جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. اما اثر متقابل نوع چسب × دانسیته در دو بازه زمانی ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب غیرمعنی‌دار بود ( $p > 0.05$ ). جدول ۴، اثر نوع چسب و دانسیته مغزی را بر درصد جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری نشان می‌دهد. بیشترین میزان جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری مربوط به پانل ساخته شده با چسب UF با دانسیته مغزی ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن مربوط به پانل ساخته شده با چسب MF با دانسیته مغزی ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب

## بحث

نتایج نشان داد با کاربرد چسب ترکیبی UF+ MF مدول الاستیسیته بهبود می‌یابد. کمترین مدول الاستیسیته مربوط به چسب UF بود. دلیل کاهش مدول الاستیسیته را می‌توان ضعف اتصالات چسب اوره فرمالدهید نسبت به چسب ملامین فرمالدهید دانست. یکی از دلایل آن می‌تواند مربوط به وجود پیوندهای آمین بیشتر در ساختار رزین ملامین فرمالدهید باشد. پیوندهای آمین بسیار محکم بوده و به راحتی هیدرولیز و شکسته نمی‌شود (Kim and Kim, 2006). در گزارش‌های متعددی، به بهبود قابل توجه مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته با چسب MF اشاره شده است که نتایج این تحقیق با آنها مطابقت دارد (Epmeier et al., 2004; Esposito Corcione et al., 2021). هسته پانل ساندویچی، تأثیر قابل توجهی در مقاومت در برابر ضربه دارد (Griškevičius et al., 2010). هسته‌های مترکم‌تر و سخت‌تر در طول آزمون ضربه، تحمل بار بیشتری دارند و در مقابل ضربه، مقاومت خوبی نشان می‌دهند (Saffari et al., 2013; Jabbari et al., 2014). پانل‌های ساندویچی که هسته مترکم تری دارند، انرژی بیشتری را جذب می‌کنند (Wang et al., 2009).

در گزارش‌های متعددی، به بهبود قابل توجه مقاومت به ضربه با چسب MF اشاره شده است که نتایج این تحقیق با آنها مطابقت دارد (Bollmus et al., 2020; Guo et al., 2016). با کاربرد چسب MF در پانل‌های ساخته شده، میزان آغستگی الیاف بیشتر شده و اتصالات محکم‌تری بین آنها ایجاد می‌شود که در نهایت موجب بهبود چسبندگی داخلی پانل‌ها می‌شود (Kim et al., 2006; Bos et al., 2004).

نتایج نشان داد که کمترین درصد واکنش‌دهی ضخامت مربوط به پانل ساخته شده از چسب MF و دانسیته ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. کاربرد چسب ترکیبی UF+ MF موجب کاهش جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت شده است. دلیل این موضوع می‌تواند به علت مقاومت زیاد چسب ملامین فرمالدهید و فشردگی بیشتر مغزی پانل‌ها که ساختار بهم پیوسته‌تری دارند در برابر واکنش‌دهی ضخامت باشد.

واکنش‌دهی ضخامت در کامپوزیت‌ها یک پدیده غیرقابل برگشت است که بعد از جذب آب تخته‌ها رخ می‌دهد که ناشی از آزاد شدن تنش‌های موجود در تخته می‌باشد که با شکست و از هم گسیختگی اتصال بین ذرات نمود بیشتری پیدا می‌کند (Mohebbi et al., 2009). پدیده واکنش‌دهی ضخامت از کیفیت اتصال و خواص چسب تأثیرپذیر است (Abdolzadeh et al., 2011). مواد لیگنوسولوزی به دلیل خاصیت هیگروسکوپیک و تخلخل بالا باعث افزایش جذب آب و در نتیجه افزایش واکنش‌دهی ضخامت می‌شوند (Biswas et al., 2011). گروهی از رزین‌ها مانند اوره فرمالدهید مقاومت لازم را در برابر رطوبت نداشته و توان مقابله با جذب آب را ندارند که این عمل روی کیفیت چسبندگی و خواص چسب تأثیر دارد (Abdolzadeh et al., 2011). رزین ملامین فرمالدهید یک رزین مقاوم در برابر آب شناخته می‌شود که موجب کاهش هیدرولیز و مسدود کردن مسیر انتقال آب و کاهش ضریب پخش آب و در نتیجه کاهش درصد واکنش‌دهی می‌شود. مقاومت بیشتر آن در برابر رطوبت ناشی از ساختار رزین و انحلال کمتر آنها در آب است (Fathy et al., 2010). اتصالات و پیوندها در رزین MF نسبت به UF در مقابل شرایط رطوبتی بالا کمتر تخریب می‌شود، در نتیجه نفوذ آب به داخل پانل کمتر انجام می‌شود (Jeong and Park, 2016; Xian et al., 2013).

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تأثیر دو متغیر یعنی نوع چسب و دانسیته لایه مغزی بر خواص ساندویچ پانل حاصل از برگ نخل و رویه تخته سه لایه مطالعه شده است. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر خواص فیزیکی (جذب آب و واکنش‌دهی پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب) و خواص مکانیکی (مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی و مقاومت به ضربه) در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار است. خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌ها در شرایطی که از چسب MF و UF+MF استفاده شده است و خواص فیزیکی (بجز



- particles. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 25(2): 321-331. (In Persian)
- 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. (In Persian)
- Griškevičius, P., Zeleniakienė, D., Leišis, V. and Ostrowski, M., 2010. Experimental and numerical study of impact energy absorption of safety important honeycomb core sandwich structures. Materials Science (Medžiagotyra), 16(2): 119-123.
- Guo, X., Cao, J., Peng, Y. and Liu, R., 2016. Incorporation of microencapsulated dodecanol into wood flour/high-density polyethylene composite as a phase change material for thermal energy storage. Materials and Design, 89: 1325-1334.
- 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. (In Persian)
- Jeong, B. and Park, B.D., 2016. Measurement of molecular weights of melamine-urea-formaldehyde resins and their influences to properties of medium density fiberboards. Journal of the Korean Wood Science and Technology, 44(6): 913-922.
- Kim, S., Kim, H. J., Kim, H.S. and Lee, H. H., 2006. Effect of Bio- Scavengers on the Curing Behavior and Bonding Properties of Melamine- Formaldehyde Resins. Macromolecular Materials and Engineering, 291(9): 1027-1034.
- Kim, S. and Kim, H.J., 2006. Study of miscibility of melamine-formaldehyde resin and poly (vinyl acetate) blends for use as adhesives in engineered flooring. Journal of adhesion science and technology, 20(2-3): 209-219.
- Kiselyov, A., Mayorova, M., Shishkina, N. and Markin, M., 2021. Solving the problems of conservation and rational use of natural resources as a modern factor in the development of the world and regional economy. In E3S Web of Conferences (Vol. 291, p. 02015). EDP Sciences.
- Hindman, D.P., Timko, P.D. and Nussbaum, M.A., 2013. Mechanical response of unbraced wood composite I-joist to walking loads. Journal of construction engineering and management, 139(11): 04013023.
- International Standard ISO 16983: Wood-based panels - Determination of swelling in thickness after immersion in water, 2003.
- Lv, W., Li, D. and Dong, L., 2021. Study on blast resistance of a composite sandwich panel with isotropic foam core with negative Poisson's واکشیدگی ضخامت) و خواص مکانیکی در دانسیته ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب نیز بهبود یافت. بنابراین امکان استفاده از ضایعات برگ نخل به دلیل فراوانی آن در نیمه جنوبی کشور و افزایش ارزش افزوده جانبی در کشت و صنعت خرما وجود دارد.
- ### منابع مورد استفاده
- Abdolzadeh, H., Doosthoseini, K., Karimi, A.N. and Enayati, A.A., 2011. The effect of acetylated particle distribution and type of resin on physical and mechanical properties of poplar particleboard. European Journal of Wood and Wood Products, 69(1): 3-10.
- Biswas, D., Bose, S.K. and Hossain, M.M., 2011. Physical and mechanical properties of urea formaldehyde-bonded particleboard made from bamboo waste. International Journal of Adhesion and Adhesives, 31(2): 84-87.
- Bollmus, S., Beeretz, C. and Militz, H., 2020. Tensile and impact bending properties of chemically modified Scots pine. Forests, 11(1): 84.
- Bos, H. L., Molenveld, K., Teunissen, W., Van Wingerde, A.M. and Van Delft, D.R.V., 2004. Compressive behaviour of unidirectional flax fibre reinforced composites. Journal of materials science, 39(6): 2159-2168.
- DIN 52189 (1981). Testing of wood; determination of impact bending strength (Schlagbiegeversuch; Bestimmung der Bruchschlagarbeit).
- 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.
- DIN (European Standard), EN 319, 1993. Particle boards and fiber boards. Determination of Tensile Strength Perpendicular to plane of the board, CEN European Committee for Standardization.
- Epmeier, H., Westin, M. and Rapp, A., 2004. Differently modified wood: Comparison of some selected properties. Scandinavian Journal of Forest Research, 19: 31-37.
- Esposito Corcione, C., Ferrari, F., Striani, R., Dubrulle, L., Visconti, P., Zammarano, M. and Greco, A., 2021. Optimizing Flame Retardancy and Durability of Melamine-Formaldehyde/Solid-Urban-Waste Composite Panels. Polymers, 13(5): 712.
- Fathy, L., Faezipour, M. and Bahmani, M., 2010. Effect of UF and MUF resins on the practical properties of particleboard produced from rice straw and aspen

- 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. (In Persian)
- Shamsian, M. and Mansouri, H., 2016. Mechanical properties of a light weight wood base sandwich panel made from sunflower stalks and poplar layer scrap. *Journal of Forest and Wood Products*, 69(1): 199-214. (In Persian)
- Wang, D., 2009. Impact behavior and energy absorption of paper honeycomb sandwich panels. *International Journal of Impact Engineering*, 36(1): 110-114.
- Xian, D., Semple, K.E., Haghdan, S. and Smith, G. D., 2013. Properties and wood bonding capacity of nanoclay-modified urea and melamine formaldehyde resins. *Wood and Fiber science*, 45(4), 383-395.
- ratio. *International Journal of Mechanical Sciences*, 191: 106105.
- Mahdavi, S., Kermanian, H. and Varshoei, A., 2010. Comparison of mechanical properties of date palm fiber-polyethylene composite. *BioResources*, 5(4): 2391-2403.
- Mohebby, B., Gorbani-Kokandeh, M. and Soltani, M., 2009. Springback in acetylated wood based composites. *Construction and Building Materials*, 23(9): 3103-3106.
- San Ha, N., Lu, G. and Xiang, X., 2019. Energy absorption of a bio-inspired honeycomb sandwich panel. *Journal of materials science*, 54(8), 6286-6300.
- Ross, R. J., 2010. *Wood handbook: wood as an engineering material*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, 2010: 509 p. 1 v., 190.

## Evaluation of sandwich panels made from palm leaves waste and plywood

A. Yazdi Meymand<sup>1</sup>, A. Khaki<sup>2</sup> and M. Ghofrani<sup>3\*</sup>

1- M.Sc. Graduated in lignocellulosic composites, Shahid Rajaei Teacher Training University (SRTTU), Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Technical and Vocational University Tehran, Iran

3\*- Corresponding author, Professor, Department of lignocellulosic composites, Shahid Rajaei Teacher Training University (SRTTU), Tehran, Iran, E-mail: ghofrani@sru.ac.ir

Received: Nov., 2021

Accepted: Aug., 2022

### Abstract

Sandwich panels are one form of composite structures that are widely used. The objective of this study was to investigate the effect of three types of resin: urea formaldehyde (UF), melamine formaldehyde (MF) and the combination of urea formaldehyde + melamine formaldehyde (UF + MF) and two core layer densities (400 and 500 kg/m<sup>3</sup>) on physical and mechanical properties of sandwich panels made of date palm leaves waste. Press pressure, temperature, and time for all panels were 175°C, 35 kg/cm<sup>2</sup> and 9 minutes, respectively. The final thickness of all panels was selected as 25 mm. Physical and mechanical properties including water absorption (WA), thickness swelling (TS), modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), impact bending strength (IBS) and internal bonding (IB) of the samples were measured. The results showed that there was a significant difference between the values of different treatments. Physical properties (except thickness swelling) and mechanical properties of panels with a density of 500 kg/m<sup>3</sup> was improved. The use of MF and UF + MF resins significantly improved the physical and mechanical properties of sandwich panels.

**Keywords:** Urea formaldehyde, palm leaves, sandwich panels, mechanical properties, melamine formaldehyde.