

ساخت و ارزیابی تخته فیبر سبک با استفاده از فوم اتیلن وینیل استات

چکیده

در سال‌های اخیر، مهم‌ترین چالش کارخانه‌های تولیدکننده اوراق فشرده چوبی، افزایش تقاضا برای مواد متنوع چوبی و افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل است. از طرف دیگر، استفاده از عناصر سبک‌وزن در ساخت دکوراسیون و مبلمان بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این تحقیق باهدف ساخت و ارزیابی تخته فیبر سبک با استفاده از اتیلن وینیل استات (EVA) انجام شده است. در این تحقیق برای ساخت تخته فیبر سبک از دو سطح رزین اوره فرمالدهید (۱۰ و ۱۲ درصد) و سه سطح EVA (۱، ۳ و ۵ درصد) استفاده گردید. به‌طور کلی با کاربرد EVA مدول الاستیسیته خمشی، چسبندگی و مقاومت به ضربه نسبت به شاهد (بدون کاربرد EVA) کاهش می‌یابد. اما این کاهش می‌تواند با مصرف ۱۲ درصد چسب و ۵ درصد EVA بهبود یابد. همچنین نتایج بیانگر بهبود قابل توجه‌ای در خصوصیات فیزیکی تخته‌ها (کاهش جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت) به دلیل افزایش مقدار رزین و EVA است.

واژگان کلیدی: اتیلن وینیل استات، تخته فیبر، خواص فیزیکی و مکانیکی، سبک‌سازی.

شکوه اعتدالی شهنی^۱

ابوالقاسم خزاعیان^{۲*}

علیرضا شاکری^۳

^۱ دانشجوی دکتری کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

^۲ دانشیار، گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

^۳ استاد گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:

khazaeian@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۶

مقدمه

کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی موادی هستند که از طریق اتصال مواد لیگنوسلولزی، رزین و سایر مواد (معمولاً تقویت‌کننده) ساخته می‌شوند که می‌توانند برای اهداف مختلف مورد استفاده قرار بگیرند [۱]. امروزه، مواد سبک و فوق سبک در چندین صنعت مانند هوافضا، ساختمان و مبلمان نقش مهم و اساسی دارند. کاهش وزن به دلایل اقتصادی (مصالح و هزینه‌های حمل‌ونقل) و دلایل زیست-محیطی (منابع، بازده زیست‌محیطی) مطلوب است [۲]. هنگامی که کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی در این صنایع به کار گرفته می‌شوند، دانسیته کم بسیار مورد توجه و الزامی است. روش‌های مختلفی برای کاهش وزن این کامپوزیت‌ها مانند استفاده از گونه‌های چوبی با دانسیته کم، کنترل دانسیته کامپوزیت [۳]، ترکیب مواد پرکننده سبک در

لایه اصلی تخته و استفاده از ساندویچ پانل لانه‌زنبوری [۴] مورد مطالعه قرار گرفته است. همه این استراتژی‌ها با توجه به ساخت، قابلیت ماشین‌کاری (اتصالات و لمینیت لبه‌ها) و عملکرد (ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی) دارای چالش‌هایی هستند [۱].

تأمین مواد اولیه در آینده به دلیل افزایش پیوسته رقابت در زمینه زیست‌توده لیگنوسلولزی همواره مورد توجه عمده تولیدکنندگان اوراق فشرده چوبی است [۵]. در حال حاضر، رقابت بین تولیدکنندگان اوراق فشرده چوبی، کارخانه‌های تولید خمیر کاغذ به‌صورت الیاف بکر (دست‌اول) یا الیاف بازیافتی وجود دارد. تخته‌های سبک می‌توانند از طریق توسعه ساختارهای کامپوزیتی چوب-فوم (ساندویچی شکل) که عملکردی مشابه اوراق فشرده چوبی (تخته خرده چوب و تخته فیبر) دارند، مقدار مواد

سطح از ۱ به ۵ میلی‌متر، به‌طور قابل توجهی دانسیته تخته‌ها را به ترتیب از ۲۲۰ به ۴۶۰ کیلوگرم در مترمکعب افزایش داد [۲].

Shalban و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای، تخته خرده چوب فوق سبک‌وزن با لایه مرکزی فوم را بر اساس روش توصیف لایه هسته فوم به همبستگی تصویر دیجیتال‌آمورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آنان بیانگر این بود که رفتار پلیمر سلولی تحت تأثیر طبیعت پلیمر قرار دارد؛ درحالی‌که اندازه سلول‌های فوم بیشترین تأثیر را در مدول یانگ لایه‌های هسته فوم دارد [۵].

Shalban و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای، تولید کامپوزیت چوب پلاستیک از ضایعات تخته خرده چوب سبک‌وزن با لایه مغزی فوم را مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه آنان، کامپوزیت چوب پلاستیک با استفاده از مخلوط آرد چوب، رزین اوره فرمالدهید و پلی استایرن منبسط شونده (به‌عنوان عامل فوم زا) توسط پرس مسطح ساخته شد. نتایج آنان نشان داد که تخته‌های ساخته‌شده با مقدار آرد چوب کمتر (۷۵ درصد) در مقایسه با تخته‌های دارای آرد چوب بیشتر از خواص فیزیکی و مکانیکی بهتری برخوردار هستند. همچنین عامل جفت کننده فقط وقتی روی ویژگی‌های تخته اثرگذار بود که در هنگام ترکیب مواد به آن‌ها اضافه شود [۶].

Mir و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی، سبک‌سازی تخته خرده چوب را با استفاده از پلی‌استایرن منبسط شونده مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که افزایش میزان گرانول‌های پلی‌استایرن فوم شده و دمای پرس تأثیر منفی بر چسبندگی داخلی داشته است. نتایج آنان همچنین نشان داد که با افزایش دما و درصد پلی‌استایرن منبسط شونده، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته بهبود می‌یابند. بیشترین مقاومت نگهداری پیچ به تخته‌های ساخته‌شده با ۱ درصد پلی‌استایرن منبسط شونده اختصاص داشت و تغییرات دما اثر معنی‌داری بر این مقاومت نداشت. تخته‌های ساخته‌شده با ۵ درصد پلی‌استایرن منبسط شونده، مطلوب‌ترین میزان واکنشیدگی ضخامت و جذب آب را از خود نشان دادند [۱۱].

اولیه ورودی را به‌طور قابل توجهی کاهش دهند [۶، ۷]. تقاضای مشتریان برای محصولات جدید چوبی وابسته به عوامل متعددی مانند توسعه تخته‌های چوبی سبک و فوق سبک است. به‌علاوه به نظر می‌رسد سبکی تخته‌های چوبی از نظر اقتصادی (بر اساس حجم) منطقی باشد، اگر مواد فوم‌زا در مقایسه با مواد چوبی جایگزین شده از قیمت‌های یکسان یا حتی کمتر برخوردار باشند [۸]. از طرفی، حفاظت از محیط‌زیست به یکی از مباحث مهم تحقیقاتی اخیر (به‌ویژه توسعه پایدار) تبدیل شده است [۹]. بیش از همه، کاغذهای بازیافتی و انواع خمیر کاغذ توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند و تخته فیبر ساخته‌شده از این مواد یکی از امیدوارکننده‌ترین گزینه‌ها برای استفاده عملی و کاربردی است [۱۰]. تخته فیبر نسبت به فرآورده‌های جدید مهندسی‌شده چوب دارای هزینه کمتر و فرآیند ساخت ساده‌تر است، اما از طرف دیگر، ویژگی‌های ضد آب، ضد آتش و مکانیکی آن باید بهبود یابد [۷]. همچنین کاهش دانسیته تأثیر نامطلوبی بر روی ویژگی‌های مکانیکی اوراق فشرده چوبی دارد، اما در فضای صنعتی و تولید تجاری تمایل شدید به کاهش وزن فرآورده‌های چوبی احساس می‌شود. مصرف کمتر چوب به شرایط حساس محیط‌زیست ایران و کاهش هزینه ماده اولیه کمک کرده و جابجایی راحت‌تر و ارزان‌تر سازه‌ها را در پی خواهد داشت. بدیهی است که تلاش‌های اولیه برای دستیابی به این منظور در مقایسه با تخته‌های متداول نمی‌تواند همه اهداف را پوشش دهد [۱۱]. در بسیاری از تحقیقات آزمایشگاهی، اثر پارامترهایی مانند نوع ماده هسته کامپوزیت (لایه میانی)، نوع ماده فوم زا، درصد استفاده از ماده فوم‌زا مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

Khojasteh-Khosro و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی متغیرهای ساخت مانند قطر پلی‌استایرن منبسط شونده^۱ (۰/۵، ۱ و ۲/۵ میلی‌متر) و ضخامت لایه سطح (۵-۱ میلی‌متر) بر ساخت تخته فیبر بسیار سبک با هسته فوم برای کاربرد در بخش مبلمان به این نتیجه رسیدند که قطر پلی‌استایرن منبسط شونده تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های تخته فیبر نشان داد. افزایش ضخامت لایه

² Digital image correlation

¹ Expanded Polystyrene (EPS)

مواد و روش‌ها

الیاف حاصل از مخلوط خرده چوب صنعتی و چسب مایع اوره فرمالدهید مورد استفاده در این تحقیق از شرکت تخته فشرده ممتاز گلستان تهیه گردید. ویژگی‌های چسب مورد استفاده در جدول (۱)، ارائه شده است. الیاف پس از خشک شدن برای جلوگیری از جذب رطوبت تا زمان ساخت تخته‌های آزمایشی در کیسه‌های پلاستیکی نگهداری شدند. اتیلن وینیل استات از شرکت سیگما آلد ریچ تهیه شد و مشخصات آن در جدول (۲) ارائه شده است.

با توجه به موارد ذکر شده در بخش مقدمه می‌توان بیان کرد که اکثر تمرکز تحقیقات پژوهشگران قبلی در ابتدا تعیین و مشخص کردن پلیمرهای فوق سبکی است که با ساختار اوراق فشرده چوبی، رزین‌های متداول و متغیرهای فرآیندی مانند درجه حرارت، زمان پرس و فشار پرس و در مرحله بعد، تقویت اتصالات و در نهایت افزایش مقاومت فرآورده بوده است. از این رو، در این مطالعه تلاش شده است با تلفیق الیاف چوبی و نوعی پلیمر در دسترس بانام اتیلن وینیل استات و همچنین رزین اوره فرمالدهید، فرآورده‌ای ساخته شود که مهم‌ترین ویژگی‌های آن سبکی تخته با حفظ مهم‌ترین ویژگی‌های آن است.

جدول ۱- ویژگی‌های رزین اوره فرمالدهید

دانسیته (g/cm ³)	مواد جامد (/.)	ویسکوزیته (CP)	زمان ژلای شدن (S)	pH
1/275	58	300	50	7/6

جدول ۲- ویژگی‌های اتیلن وینیل استات*

دانسیته (g/cm ³)	خاکستر (درصد)	مواد جامد (درصد)	ابعاد ذرات (میکرومتر)	فرمول مولکولی
۰/۴۷	۱۰/۵	۱۰۰-۹۸	۰/۵-۸	(C ₂ H ₄) _n (C ₄ H ₆ O ₂) _m

* موارد ارائه شده در این جدول بر اساس اطلاعات شرکت سیگما آلد ریچ است.

ابعاد ۱۶×۵۰×۵۰ میلی‌متر تهیه شد و زیر پرس قرار داده شد. پس از خروج تخته‌ها از پرس به مدت دو هفته قبل از آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی در شرایط کلیما نگهداری شدند.

تهیه نمونه آزمونی و اندازه‌گیری ویژگی‌های

مکانیکی

برای تهیه نمونه‌های آزمونی تخته‌ها ابتدا کناره بری و بعد مطابق با استاندارد DIN EN-326-1 نمونه‌های آزمونی تهیه شدند. آزمون خمشی مطابق با استاندارد EN-310 DIN، آزمون چسبندگی داخلی مطابق با استاندارد EN-319 و آزمون مقاومت به ضربه مطابق با استاندارد EN 10048-2 انجام شد. جذب آب و واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب مطابق با استاندارد DIN EN-317 اندازه‌گیری شد.

عوامل متغیر و ساخت تخته‌های آزمایشگاهی

عوامل متغیر این تحقیق شامل دو سطح رزین (۱۰ و ۱۲ درصد نسبت به وزن خشک ماده اولیه) و سه سطح ماده فوم اتیلن وینیل استات (۱، ۳ و ۵ درصد نسبت به وزن خشک ماده اولیه) بود (جدول ۳). عوامل ثابت این تحقیق شامل دمای پرس (۱۷۰ درجه سانتی‌گراد)، دانسیته تخته‌ها (حدود ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب)، سرعت بسته شدن پرس (۴/۵ میلی‌متر بر دقیقه) و ضخامت تخته (۱۵ میلی‌متر) به‌طور ثابت برای کلیه تیمارها در نظر گرفته شد. پس از خشک کردن الیاف تا رطوبت ۱۰ درصد، مقدار مشخصی از ذرات الیاف و اتیلن وینیل استات در یک چسب زن استوانه‌ای ریخته شد و با استفاده از پیستوله چسب‌زنی شدند [۱۱]. مقدار الیاف شامل متغیرهای این تحقیق نمی‌باشد و دانسیته تخته‌ها ثابت در نظر گرفته شد. پس از چسب‌زنی، الیاف به یک قالب با ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی‌متر انتقال داده شد و کیک با

جدول ۳- تیمارهای تحقیق و جزئیات آن

کد تیمار	اتیلن وینیل استات (درصد)	رزین اوره فرمالدهید (درصد)
R1	-	۱۰
R2	-	۱۲
A1	۱	۱۰
A2	۳	۱۰
A3	۵	۱۰
B1	۱	۱۲
B2	۳	۱۲
B3	۵	۱۲
C1	تخته فیبر با دانسیته متوسط، استاندارد EN 622-5, 2010	
C2	تخته فیبر سبک، استاندارد EN 622-5, 2010	
C3	تخته فیبر فوق سبک، استاندارد EN 622-5, 2010	
C4	تخته خرده چوب، استاندارد EN 312, 2010	

ویژگی‌های ریخت‌شناسی

برای بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل TESCAN-XMU مستقر در دانشگاه تهران استفاده شد. برای این منظور، ابتدا نمونه‌ها در درجه حرارت ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با دستگاه فلزدار کننده همراه با تزریق گاز آرگون (به‌عنوان حامل) با طلا (جهت رسانا کردن) پوشش دهی شدند. نمونه‌های پوشش دهی شده با طلا در ولتاژ ۳۰ کیلوولت (kV) مشاهده شدند.

روش تجزیه و تحلیل آماری

به منظور تجزیه و تحلیل ویژگی‌های نمونه‌ها از آزمون تجزیه واریانس استفاده شد و سپس گروه‌بندی میانگین‌ها با کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) در سطح ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 24 صورت گرفت.

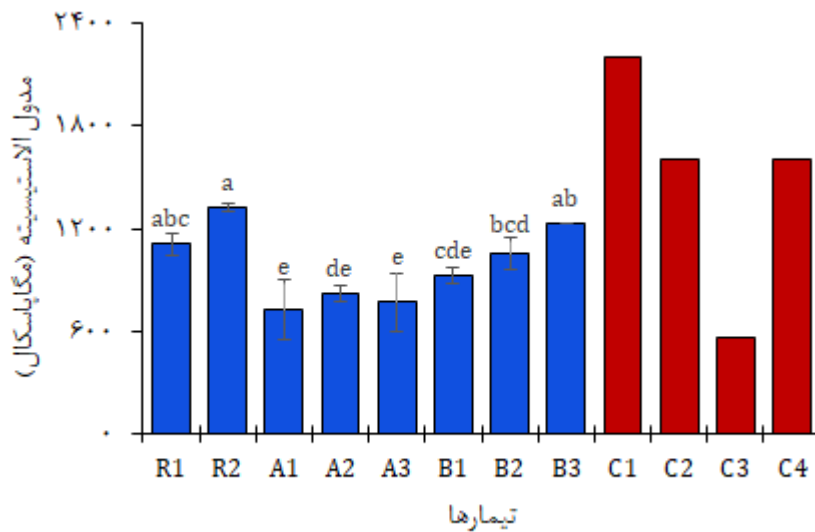
نتایج و بحث

مدول الاستیسیته خمشی (MOE)

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد اثر تیمارهای مختلف بر مدول الاستیسیته خمشی تخته‌های ساخته شده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد ($p < 0.05$). طبق شکل (۱)، بیشترین مدول الاستیسیته خمشی معادل ۱۳۲۱/۴ مگا پاسکال مربوط به تخته‌های شاهد بدون اتیلن وینیل استات با ۱۲ درصد رزین و کمترین آن (۷۲۳/۵ مگا پاسکال) مربوط به تخته‌هایی است که از ۱ درصد مواد فوم اتیلن وینیل استات در آن استفاده شده است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش میزان چسب مصرفی، مدول الاستیسیته خمشی بهبود می‌یابد. این نتایج بدین معنی است که مصرف بهینه چسب باعث جبران افت کاهش مدول الاستیسیته خمشی در اثر مصرف اتیلن وینیل استات می‌شود.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر مدول الاستیسیته خمشی

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
تیمار	۶۷۲۶۵۰/۱۵۴	۷	۹۶۰۹۲/۸۷۹	۱۰/۲۵۸	۰/۰۰۲
خطا	۷۴۹۳۹/۴۸۳	۸	۹۳۶۷/۴۳۵		
مجموع	۷۴۷۵۸۹/۶۳۷	۱۵			



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف بر مدول الاستیسیته خمشی و مقایسه آن با مقادیر ذکر شده در استاندارد

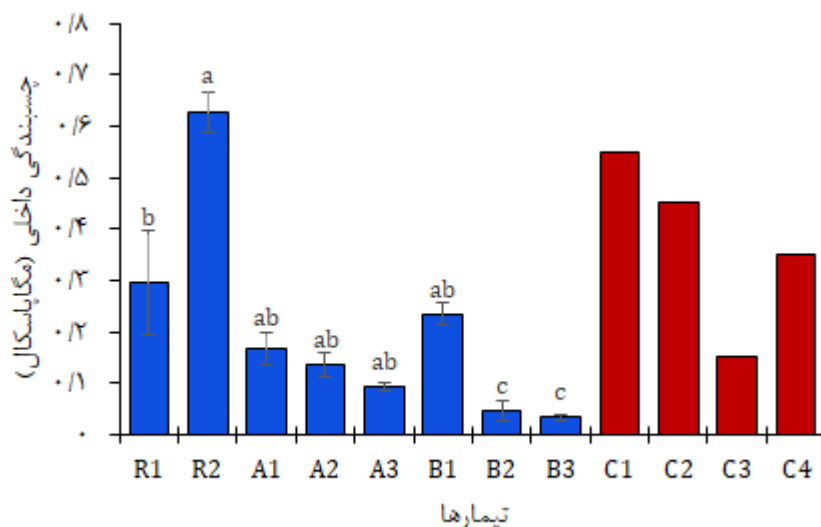
در تیمارهای سری A (نمونه‌های حاوی ۱، ۳ و ۵ درصد ماده فوم اتیلن وینیل استات و ۱۰ درصد رزین) این پژوهش اگرچه مدول الاستیسیته نسبت به شاهد کاهش یافته است، اما در این دامنه با افزایش مصرف رزین از ۱۰ به ۱۲ درصد موجب بهبود مدول الاستیسیته شده است. افزایش مقدار اتیلن وینیل استات از ۱ به ۵ درصد موجب افزایش مدول الاستیسیته خمشی تخته گردید. این امر منجر به افزایش مقاومت خمشی نواحی پراکنده حاوی پلی فوم شده که مجموع آن‌ها نهایتاً کمک به بهبود مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته خمشی کلی کامپوزیت می‌کند [۱۱]. همچنین در هر دو درصد رزین (۱۰ و ۱۲ درصد) افزایش مقدار پلیمر به شدت باعث کاهش مقدار خلل و فرج ناشی از حذف الیاف شده و باعث فشردگی بیشتر تخته و افزایش مقاومت خمشی آن می‌شود [۱۲]. از طرف دیگر به‌طور کلی پذیرفته شده است که ویژگی‌های مکانیکی فوم‌ها شدیداً با افزایش دانسیته و اندازه سلول‌ها بهبود پیدا می‌یابند [۵، ۱۱]. نتایج این تحقیق با نتایج بررسی‌های Shalbfan و همکاران

در تیمارهای سری A (نمونه‌های حاوی ۱، ۳ و ۵ درصد ماده فوم اتیلن وینیل استات و ۱۰ درصد رزین) این پژوهش اگرچه مدول الاستیسیته نسبت به شاهد کاهش یافته است، اما در این دامنه با افزایش مصرف رزین از ۱۰ به ۱۲ درصد موجب بهبود مدول الاستیسیته شده است. افزایش مقدار اتیلن وینیل استات از ۱ به ۵ درصد موجب افزایش مدول الاستیسیته خمشی تخته گردید. این امر منجر به افزایش مقاومت خمشی نواحی پراکنده حاوی پلی فوم شده که مجموع آن‌ها نهایتاً کمک به بهبود مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته خمشی کلی کامپوزیت می‌کند [۱۱]. همچنین در هر دو درصد رزین (۱۰ و ۱۲ درصد) افزایش مقدار پلیمر به شدت باعث کاهش مقدار خلل و فرج ناشی از حذف الیاف شده و باعث فشردگی بیشتر تخته و افزایش مقاومت خمشی آن می‌شود [۱۲]. از طرف دیگر به‌طور کلی پذیرفته شده است که ویژگی‌های مکانیکی فوم‌ها شدیداً با افزایش دانسیته و اندازه سلول‌ها بهبود پیدا می‌یابند [۵، ۱۱]. نتایج این تحقیق با نتایج بررسی‌های Shalbfan و همکاران

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر چسبندگی داخلی

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
تیمار	۰/۵۲۴	۷	۰/۰۷۵	۹/۵۰۵	۰/۰۰۲
خطا	۰/۰۶۳	۸	۰/۰۰۸		
مجموع	۰/۵۸۷	۱۵			

چسبندگی داخلی (IB)
 نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد اثر تمام تیمارهای مختلف بر چسبندگی داخلی تخته‌های ساخته شده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد ($p < 0.05$). طبق شکل (۲)، بیشترین چسبندگی داخلی معادل ۰/۶۲۸ مگاپاسکال مربوط به تخته‌های شاهد و کمترین آن ۰/۰۳۳ مگاپاسکال) مربوط به تخته‌هایی است که از ۵ درصد اتیلن وینیل استات در آن استفاده شده است.



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف بر چسبندگی داخلی و مقایسه آن با مقادیر ذکر شده در استاندارد

چسبندگی داخلی نیز کاهش یافته است. در مکانیسم دیگری، می توان کاهش چسبندگی داخلی در نتیجه مصرف اتیلن وینیل استات را به چسبندگی ضعیف بین پلیمر غیر قطبی (سطح خارجی فوم سلول بسته اتیلن وینیل استات) و ذرات چوب قطبی مرتبط دانست.

مقاومت به ضربه (IBS)

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶) نشان داد، بین مقادیر میانگین مقاومت به ضربه تخته‌های ساخته شده تفاوت معنی داری وجود ندارد ($p > 0.05$). هرچند میانگین‌های مقاومت به ضربه دارای حالت غیر معنی دار بود، اما تغییرات قابل توجهی در مقاومت به ضربه نمونه‌ها ایجاد شده است. به طوری که استفاده از اتیلن وینیل استات موجب کاهش مقاومت به ضربه در نمونه‌ها شده است. هرچند این روند از نظر آماری معنی دار نبوده است، اما موجب کاهش مقاومت به ضربه شده است (شکل ۳). نتایج نشان داد با مصرف اتیلن وینیل استات مقاومت به ضربه نسبت به تیمار شاهد کاهش می‌یابد، اما از نظر آماری معنی دار نیست. هرچه مقدار مصرف اتیلن وینیل استات بیشتر باشد، در شرایط برابر مقادیر مقاومت به ضربه نیز بیشتر است. همچنین این افزایش در تیمارهای سری B نسبت به سری A که از ۱۲ درصد رزین استفاده شده بود بیشتر است. با افزایش درصد اتیلن وینیل استات، فشار

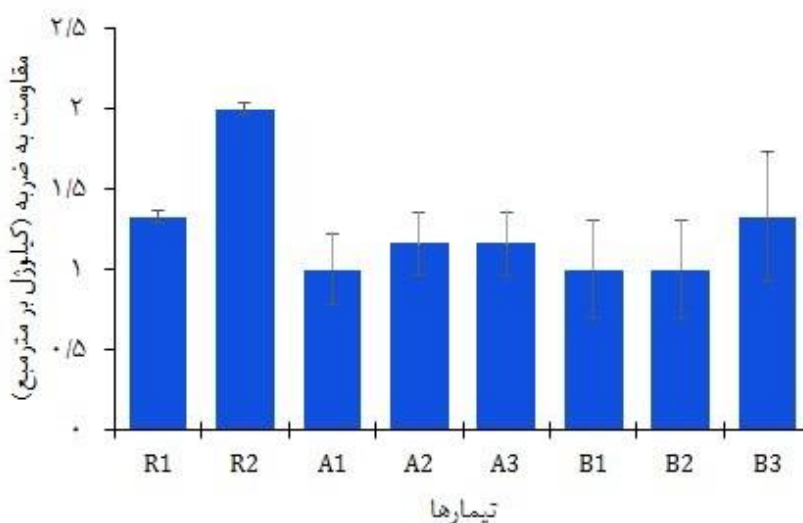
بهبود چسبندگی داخلی در تیمارهای سری B فقط در تیمار B1 اتفاق افتاده است که نسبت به تمام تیمارهای سری A بیشتر بوده است. این موضوع نشان‌دهنده تأثیر مصرف رزین از ۱۰ به ۱۲ درصد است. با افزایش مقدار چسب در تخته فیبر، میزان آغشتگی الیاف بیشتر شده و اتصالات محکم‌تری بین آن‌ها ایجاد می‌شود که در نهایت موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته می‌شود. نتایج به دست آمده با نتایج Ayrimis و همکاران (۲۰۱۲) و Hong و همکاران (۲۰۱۷) که افزایش مصرف چسب را موجب بهبود ویژگی‌های مکانیکی تخته تلقی می‌کنند، مطابقت دارد [۱۲، ۱۳]. اما افزایش درصد اتیلن وینیل استات در تخته موجب کاهش چسبندگی داخلی شده است ($p < 0.05$). علت این امر را می‌توان به دانسیته بسیار کم اتیلن وینیل استات (۴۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب) در مقایسه با دانسیته الیاف مرتبط دانست. زیرا افزایش تصاعدی حجم نسبت به وزن موجب افزایش مقدار سطح جذب‌کننده چسب شده و سهم الیاف از چسب کم کاهش می‌یابد. بنابراین با توجه به اینکه خط چسبندگی بین الیاف از خط چسبندگی بین الیاف- پلیمر و پلیمر- پلیمر بیشتر است، چسبندگی داخلی کاهش می‌یابد [۱۱]. در واقع با افزایش درصد اتیلن وینیل استات و در نتیجه آن افزایش سطح تماس اتیلن وینیل استات و الیاف میزان آغشتگی الیاف به چسب کاهش یافته و در نتیجه

سطحی عمیق تر باشد، به نظر می‌رسد با این مکانیسم مقادیر مقاومت به ضربه بیشتری مشاهده گردد [۱۴].

بیشتری در هنگام فومی شدن درجا در تخته ایجاد می‌شود که احتمالاً بر نفوذ فوم بین الیاف چوب تأثیر می‌گذارد. هرچه عمق نفوذ ماده فوم زا به ذرات لایه‌های

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت به ضربه

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
تیمار	۱/۵۵۶	۷	۰/۲۲۲	۱/۰۶۸	۰/۴۵۹
خطا	۱/۶۶۵	۸	۰/۲۰۸		
مجموع	۳/۲۲۱	۱۵			



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت به ضربه

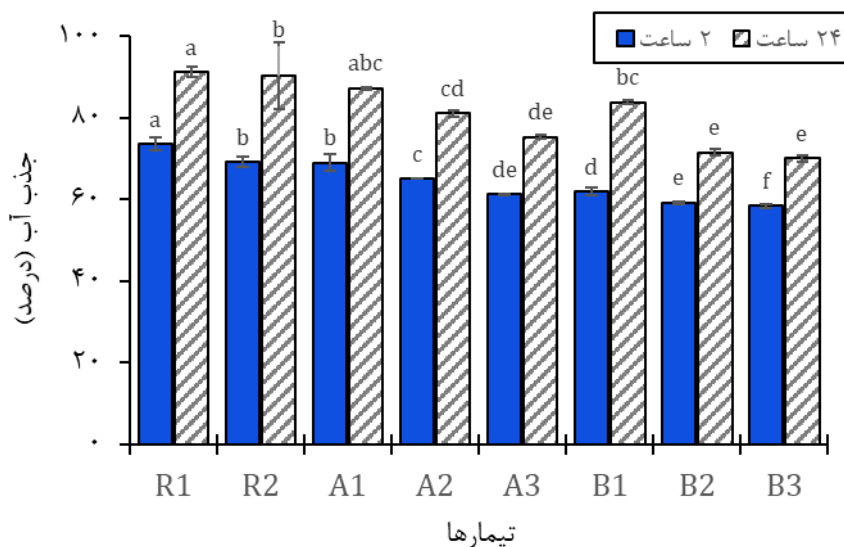
۱۲ درصد، جذب آب کاهش می‌یابد. بیشترین جذب آب بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب (به ترتیب ۷۳/۶ و ۹۱/۱۵ درصد) مربوط به تیمار شاهد (۱۰ درصد رزین و فاقد ماده اتیلن وینیل استات) و کمترین آن (به ترتیب ۵۸/۴ و ۷۰ درصد) مربوط به تیمار B3 (۱۲ درصد رزین ۵ درصد اتیلن وینیل استات) بود (شکل ۴).

جذب آب و پایداری ابعاد تخته‌ها

جذب آب: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۷) نشان داد بین اثر تیمارهای مختلف بر میانگین جذب آب تخته‌های ساخته‌شده بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($p < 0.05$). مطابق نتایج، با افزایش مصرف اتیلن وینیل استات جذب آب به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش مصرف رزین از ۱۰ به

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری

زمان جذب آب	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
۲ ساعت	تیمار	۴۱۴/۶۲۸	۷	۵۹/۲۳۳	۴۷/۷۲۰	۰/۰۰۰
	خطا	۹/۹۳۰	۸	۱/۲۴۱		
	مجموع	۴۲۴/۵۵۸	۱۵			
۲۴ ساعت	تیمار	۹۵۵/۳۴۹	۷	۱۳۶/۴۷۸	۱۵/۴۱۸	۰/۰۰۰
	خطا	۷۰/۸۱۵	۸	۸/۸۵۲		
	مجموع	۱۰۲۶/۱۶۴	۱۵			



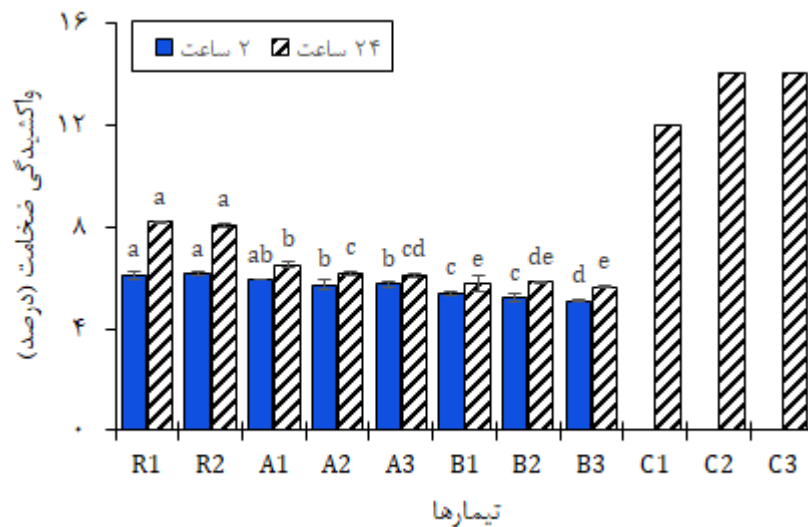
شکل ۴- اثر تیمارهای مختلف بر جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری

واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب کاهش می‌یابد. بیشترین واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب (به ترتیب ۶/۱۱ و ۸/۱۸ درصد) مربوط به تیمار شاهد (۱۰ درصد رزین و فاقد اتیلن وینیل استات) و کمترین آن (به ترتیب ۵/۱ و ۵/۶۶ درصد) مربوط به تیمار B3 (۱۲ درصد رزین ۵ درصد اتیلن وینیل استات) بود (شکل ۵).

واکشیدگی ضخامت: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۸) نشان داد بین اثر تیمارهای مختلف بر میانگین واکشیدگی ضخامت تخته‌های ساخته‌شده پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($p < 0.05$). مطابق نتایج، با افزایش مصرف اتیلن وینیل استات، واکشیدگی ضخامت به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش مصرف رزین از ۱۰ به ۱۲ درصد،

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

زمان واکشیدگی ضخامت	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
۲ ساعت	تیمار	۲/۲۱۳	۷	۰/۳۱۶	۲۱/۷۳۱	۰/۰۰۰
	خطا	۰/۱۱۶	۸	۰/۰۱۵		
	مجموع	۲/۳۲۹	۱۵			
۲۴ ساعت	تیمار	۱۴/۵۶۵	۷	۲/۰۸۱	۱۲۵/۰۱۸	۰/۰۰۰
	خطا	۰/۱۳۳	۸	۰/۰۱۷		
	مجموع	۱۴/۶۹۸	۱۵			



شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف بر واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب و مقایسه آن با مقادیر ذکر شده در استاندارد

لیگنوسولوزی را ندارد و واکنش کمتری در برابر آب دارد [۱۹]. در نتیجه، افزایش میزان اتیلن وینیل استات باعث بهبود مقاومت به جذب آب تخته‌های ساخته شده می‌گردد. در تحقیقی که توسط Mir و همکاران (۲۰۱۶) انجام شد مشخص گردید استفاده از پلی استایرن منبسط شونده موجب کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته خرده چوب شده است [۱۱]. اصولاً پلیمر اتیلن وینیل استات آگریز است و در فرآورده حاصله، سهم فوم آگریز نسبتاً زیاد و نسبت آبدوستی مواد لیگنوسولوزی کاهش پیدا کرده و در نتیجه جذب آب و واکشیدگی ضخامت کاهش یافت.

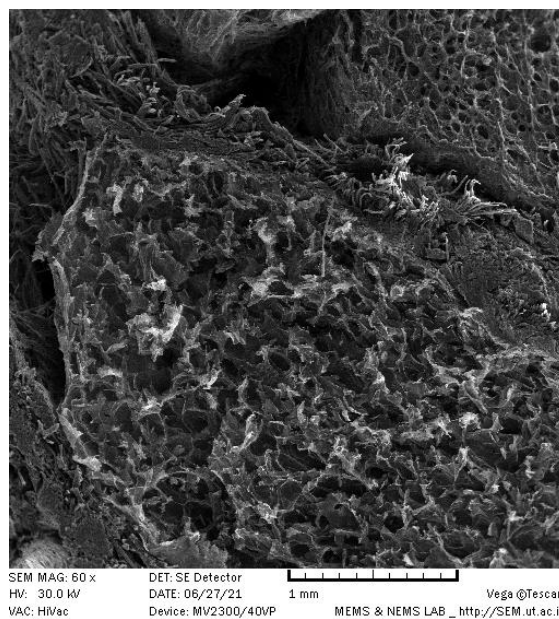
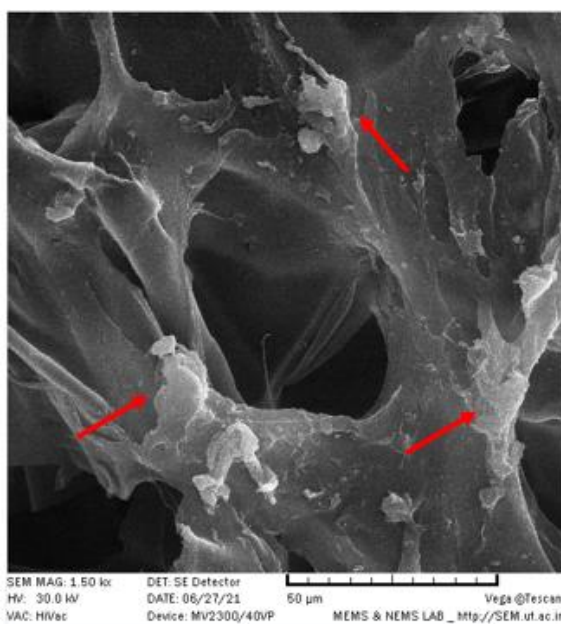
با توجه به اینکه ضعف جزئی در مقاومت‌های مکانیکی عمدتاً مربوط به استفاده از اتیلن وینیل استات است، اما کاهش جذب آب و واکشیدگی (بهبود ثبات ابعادی) این تخته‌ها نقطه وقت آنها محسوب می‌شود. این امر به دلیل خاصیت آگریزی نسبی پلیمر مورد استفاده است که در نتیجه آن تخته‌ها نسبت به تخته‌های مرسوم جذب آب کمتری از خود نشان می‌دهند و با افزایش مقدار پلیمر منبسط شونده، الیاف چوب بیشتر در محاصره آن قرار گرفته و دسترسی آن به آب را به حداقل ممکن می‌رساند [۱۱].

تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که بهبود قابل توجهی در ویژگی‌های ثبات ابعادی تخته‌ها (کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب) به دلیل افزایش مقدار رزین وجود دارد. از این رو، تخته‌های ساخته شده با مقدار رزین بیشتر (۱۲ درصد) به طور کلی منجر به ثبات ابعادی بهتر یعنی جذب آب و واکشیدگی ضخامت کمتر از تخته‌های ساخته شده با مقدار رزین کمتر (۱۰ درصد) می‌شوند. سطوح بیشتر رزین می‌تواند پیوند بین فیبر را افزایش داده و فضاهای خالی را کاهش دهد، در نتیجه منجر به جذب آب و واکشیدگی ضخامت کمتر می‌شود [۱۵]. این نتایج با نتایج به دست آمده توسط سایر محققین در مورد کامپوزیت‌های الیاف طبیعی مطابقت دارد [۱۵، ۱۶، ۱۷]. افزودن پلیمر اتیلن وینیل استات در ترکیب تخته میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته‌ها را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داده است. شایان ذکر است درصد ماده چوبی مورد استفاده در ترکیب فرمولاسیون تخته‌های ساخته شده ارتباط مستقیمی با درصد جذب آب و واکشیدگی ضخامت دارد و با افزایش مصرف آن این ویژگی‌ها افزایش می‌یابند [۱۸]. اتیلن وینیل استات از مشتقات نفتی بوده و به همین دلیل ویژگی‌های آبدوستی مشابه مواد

ریخت‌شناسی نمونه‌ها

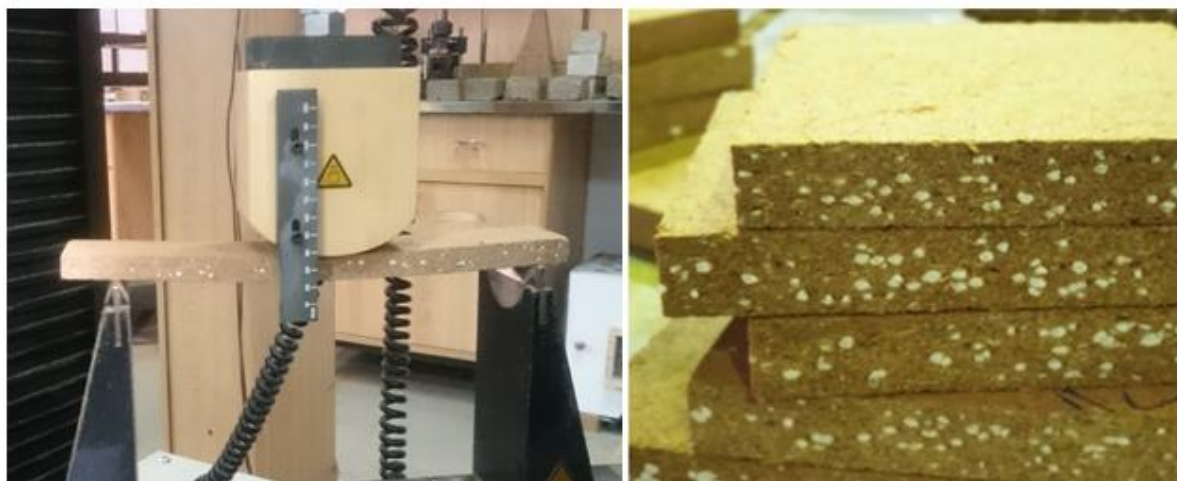
در شکل (۶)، تصاویر SEM حاصل از تخته ساخته‌شده با ۱۲ درصد رزین و ۵ درصد اتیلن وینیل استات نشان داده‌شده است. طبق این شکل، ساختارهای سلولز به صورت دسته‌ای و منفرد در تصویر قابل مشاهده هستند و نمونه از ریخت‌شناسی نسبتاً قطره‌ای برخوردار است و اتیلن وینیل استات درون فاز زمینه قرار گرفته است. با مقایسه بصری و همچنین تصاویر SEM، یک رابط کاربری بی‌عیب و نقص در همه تخته‌ها مشاهده می‌شود که حاکی از وجود درهم‌آمیختگی مکانیکی خوب بین الیاف چوب و اتیلن وینیل استات است (شکل ۷). اتصال الیاف و اتیلن وینیل استات به طور قابل توجهی بر ویژگی‌های مکانیکی تخته‌های نهایی تأثیر می‌گذارد [۲]. به طور کلی، تصاویر SEM نشان داد که چسبندگی میان الیاف چوبی و اتیلن وینیل استات شکل گرفته است و این امر ناشی از اتصالات

هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل مواد لیگنوسولوزی و گروه‌های استات موجود در اتیلن وینیل استات است. این بدین معنی است که اتیلن وینیل استات در شرایط عملیاتی ذکر شده درون بخش تجربی پژوهش، قادر به باز شدن و پخش شدن درون ماتریس سلولزی بوده و بنابراین تجمعات آن هم در ریزساختار و هم در ماکرو ساختار تخته قابل مشاهده است. در این خصوص، افزودن سازگار کننده می‌تواند منجر به سازگاری بین زنجیره‌های کopolymer و الیاف سلولزی شود، چراکه سازگار کننده از یک طرف با الیاف سلولزی و از طرف دیگر با پلیمر پیوند داده و موجب سازگاری میان زنجیره‌ها و الیاف سلولزی خواهد شد. نتایج این قسمت از تحقیق با نتایج به دست آمده توسط همکاران Khojasteh-Khosro و همکاران (۲۰۲۱) و Shalbanan و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد [۲، ۶].



شکل ۶- تصویر SEM نمونه حاوی ۱۲ درصد رزین و ۵ درصد اتیلن وینیل استات.

(راست): بزرگنمایی ۵۰X، (چپ) بزرگنمایی ۱۵۰kX



شکل ۷- تصاویر تخته‌های ساخته‌شده

گردد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تخته‌های آزمایشی و همچنین با توجه به افت برخی ویژگی‌های مهم مانند مدول الاستیسیته خمشی و چسبندگی داخلی، کاربردهای جدید برای این محصول مرکب چوب و پلیمر منبسط شونده می‌تواند در بخش‌هایی مثل جداکننده‌های غیر باربر در فضاهای اداری، کامپوزیت‌های عایق، اجزای غیر درگیر در سازه‌های مبلمان و اهداف دکوراتیو (تزئینی) باشد. کاهش چسبندگی داخلی با افزایش بسیار جزئی رزین کاملاً قابل جبران است و چسبندگی داخلی را بهبود می‌دهد. تخته‌های حاوی اتیلن وینیل استات با توجه به کاربردهایی که برای این محصول تعریف شده است مقاومت‌های مکانیکی قابل قبول ارائه می‌دهند.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مطالعه تعیین امکان استفاده از اتیلن وینیل استات به‌منظور ساخت تخته فیبر سبک فوم بود. این مطالعه نشان می‌دهد که می‌توان تخته‌هایی با ویژگی‌های قابل قبول و قابل رقابت با سایر تخته‌های سبک تولید کرد. نتایج نشان داد با افزایش مصرف رزین، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بهبود می‌یابد، اما استفاده از مقادیر مختلف اتیلن وینیل استات موجب کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت، مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی و مقاومت به ضربه می‌گردد. به‌طور کلی ثابت شد استفاده از مقادیر مختلف ماده اتیلن وینیل استات (۱، ۳ و ۵ درصد) همراه با درصد مصرف بهینه رزین (۱۲ درصد) موجب جبران افت کاهش مقاومت‌ها نسبت به شاهد می‌-

منابع

- [1] Monteiro, S., Martins, J., Magalhães, F.D., and Carvalho, L., 2018. Lightweight wood composites: challenges, production, and performance. In *Lignocellulosic Composite Materials* (pp. 293-322). Springer, Cham.
- [2] Khojasteh-Khosro, S., Shalbafan, A., and Thoemen, H., 2021. Development of ultra-light foam-core fibreboard for furniture application. *European Journal of Wood and Wood Products*, 1-15. DOI: 10.1007/s00107-021-01723-0.
- [3] Pham Van, T., Schöpfer, C., Klüppel, A., and Mai, C., 2019. Effect of wood and panel density on the properties of lightweight strand boards. *Wood Material Science & Engineering*, 1-9.
- [4] Saffari, M., Jabbari, M., Najafi, A., Tatari, A., and Ghaffari, M., 2013. The Effect of the face and adhesive types on mechanical properties of sandwich panels made from honeycomb paper, *Iranian Journal of Wood and Paper Industries* 4(2): 141-152. (In Persian)

- [5] Shalbahfan, A., Rhême, M., and Thoemen, H., 2017. Ultra-light particleboard: characterization of foam core layer by digital image correlation. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75(1): 43-53.
- [6] Shalbahfan, A., Welling, J., and Luedtke, J., 2012. Effect of processing parameters on mechanical properties of lightweight foam core sandwich panels. *Wood Material Science & Engineering*, 7(2): 69-75.
- [7] Chang, C.P., and Hung, S.C., 2003. Manufacture of flame-retardant foaming board from waste papers reinforced with phenol-formaldehyde resin. *Bioresource Technology*, 86(2): 201-202.
- [8] Paoletti, S., Spinelli, M., and Amico, M., 2012. The European market for RTA furniture. Centre for Industrial Studies, Milano MI, Italy.
- [9] Mohanty, A.K., Vivekanandhan, S., Pin, J. M., and Misra, M., 2018. Composites from renewable and sustainable resources: Challenges and innovations. *Science*, 362(6414): 536-542.
- [10] Jaber, M.A., 2013. Study and evaluation of the medium density fiberboard made from old newspaper. *Al-Qadisiyah Journal Of Pure Science*, 18(3): 83-90.
- [11] Mir, S., Farrokhpayam, S., Nazarian, M., and Mansouri, H., 2016. Lightweight particleboard using expanded polystyrene. *J. of Wood & Forest Science and Technology*, 22(4): 239-253. (In Persian)
- [12] Ayrilmis, N., Kwon, J.H., and Han, T.H., 2012. Effect of resin type and content on properties of composite particleboard made of a mixture of wood and rice husk. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 38, 79-83.
- [13] Hong, M.K., Lubis, M.A.R., and Park, B.D., 2017. Effect of panel density and resin content on properties of medium density fiberboard. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 45(4): 444-455.
- [14] Shalbahfan, A., Choupani Chaydarreh, K., and Welling, J., 2019. Effect of blowing agent concentration on rigid polyurethane foam and the properties of foam-core particleboard. *Wood Material Science & Engineering*, 1-9. DOI: 10.1080/17480272.2019.1626480.
- [15] Tangjuank, S., and Kumfu, S., 2011. Particleboards from papyrus fibers as thermal insulation. *Journal of Applied Sciences*, 11(14): 2640-2645.
- [16] Norul, I., Paridah, M.T., Astimar, A. A., Mohd, N., and Anwar, U.M.K., 2012. Mechanical and dimensional stability properties of medium-density fibreboard produced from treated oil palm empty fruit bunch. *Journal of Applied Sciences*, 12(6): 561-567.
- [17] Sihag, K., Negi, A., Poonia, P. K., and Khali, D.P., 2017. Physical and mechanical properties of MDF board from bamboo (*Dendrocalamus strictus*) using needle punching technique. *International Journal of Chemical Studies*, 5(6): 2028-2030.
- [18] Shalbahfan, A., Benthien, J.T., Welling, J., and Barbu, M.C., 2013. Flat pressed wood plastic composites made of milled foam core particleboard residues. *European Journal of Wood and Wood Products*, 71(6): 805-813.
- [19] McGrath, J.E., Hickner, M.A., and Höfer, R., 2013. Polymers for a sustainable environment and green energy. *Polymer Science: a comprehensive reference*, 10, 849.

Production and evaluation of lightweight fiberboard using ethylene-vinyl acetate foam

Abstract

In recent years, the most important challenge for industries and companies producing wood-based composites was an increase in transportation costs due to increasing demand for a variety of wood materials. On the other hand, the use of lightweight elements in the manufacture of decoration and furniture has received much attention. The objective of this study was to produce and evaluate lightweight fiberboard using ethylene vinyl acetate (EVA). In this study, a mixture of industrial wood chips, two levels of resin (10 and 12%), and three levels of EVA as a foaming agent (1, 3, and 5%) were used to produce light fiberboard. In general, the application of EVA reduces the MOE, IB, and IBS compared with the control (without the use of EVA). However, this reduction can be improved by using 12% glue and 5% EVA. Statistical analysis showed that there was a significant improvement in the physical properties of the boards (reduced WA and TS) due to increased resin and EVA content.

Keywords: Ethylene-vinyl acetate, fiberboard, physical and mechanical properties, lightening.

Sh. Etedali-Shehni¹

A. Khazaeian^{2*}

A. Shakeri³

¹ Ph.D. candidate in lignocellulosic composites, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resource, Gorgan, Iran

² Associate professor, Department of wood technology and engineering, Faculty of wood and paper engineering, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resource, Gorgan, Iran

³ Professor, Department of applied chemistry, Faculty of Chemistry, University of Tehran, Tehran, Iran

Corresponding author:

khazaeian@gmail.com

Received: 2021/08/05

Accepted: 2021/11/17