Archive of SID

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

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

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 موردتوجه قرارگرفته است. این تحقیق باهدف ساخت و ارزیابی تخته فیبر سبک با استفاده از اتیلن وینیل استات (EVA) انجام‌شده 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. به‌طورکلی 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 واکشیدگی ضخامت) به دلیل افزایش مقدار رزین و EVA است.

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

مقدمه

کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی موادی هستند که از طریق اتصال مواد لیگنوسلولزی، رزین و سایر مواد (معمولاً تقویت‌کننده) ساخته می‌شوند که می‌توانند برای اهداف مختلف مورداستفاده 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 زیست‌محیطی (منابع، بازده زیست‌محیطی) مطلوب است [۲]. هنگامی‌که کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی در این صنایع به کار گرفته می‌شوند، دانسیته کم بسیار موردتوجه 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] موردمطالعه قرارگرفته 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 درزمینه زیست‌توده لیگنوسلولزی همواره موردتوجه عمده تولیدکنندگان اوراق فشرده چوبی است [۵]. در حال حاضر، رقابت بین تولیدکنندگان اوراق فشرده چوبی، کارخانه‌های تولید خمیرکاغذ 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

www.SID.ir

Archive of SID

اولیه ورودی را به‌طور قابل توجه‌ای 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 ازنظر 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) تبدیل‌شده است [۹]. بیش از همه، کاغذهای بازیافتی و انواع خمیرکاغذ توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند و تخته فیبرساخته‌شده 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 فوم زا موردبررسی و مطالعه قرارگرفته است.

Khojasteh-Khosro و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی متغیرهای ساخت مانند قطر پلی‌استایرن منبسط شونده[1] (۰/۵، ۱ و ۲/۵ میلی‌متر) و ضخامت لایه سطح (۵-۱ میلی‌متر) برساخت تخته فیبر بسیار سبک با هسته فوم برای کاربرد در بخش مبلمان به این نتیجه رسیدند که قطر پلی استایرن منبسط شونده تأثیر قابل توجه‌ای بر ویژگی‌های تخته فیبر نشان داد. افزایش ضخامت لایه سطح از ۱ به ۵ میلی‌متر، به‌طور قابل‌توجهی دانسیته تخته‌ها را به ترتیب از ۲۲۰ به ۴۶۰ کیلوگرم در مترمکعب افزایش داد [۲].

Shalbafan 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 دیجیتال[2] مورد ارزیابی قراردادند. 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].

Shalbafan و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای، تولید کامپوزیت چوب پلاستیک از ضایعات تخته خرده چوب سبک‌وزن با لایه مغزی فوم را موردبررسی 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 تخته-های 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 موردبررسی 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 واکشیدگی ضخامت و جذب آب را از خود نشان دادند [۱۱].

[1]Expanded Polystyrene (EPS)

[2]Digital image correlation

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به موارد ذکرشده 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 درنهایت افزایش مقاومت فرآورده بوده است. ازاین‌رو، 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.

مواد و روش‌ها

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

جدول ۱- ویژگی‌های رزین اوره فرمالدهید

دانسیته (g/cm^3)	مواد جامد (٪)	ویسکوزیته (CP)	زمان ژله‌ای 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	$(C_2H_4)n(C_4H_6O_2)m$

* موارد ارائه‌شده در این جدول بر اساس اطلاعات شرکت سیگما آلدریچ است.

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 خشک‌کردن 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 کیکی با ابعاد ۱۶×۵۰۰×۵۰۰ 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-DIN 319 و آزمون مقاومت به ضربه مطابق با استاندارد EN 10048-2 انجام شد. جذب آب و واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب مطابق با استاندارد DIN EN-317 اندازه‌گیری شد.

www.SID.ir

Archive of SID

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 تجزیه‌وتحلیل آماری

به‌منظور تجزیه‌وتحلیل 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)

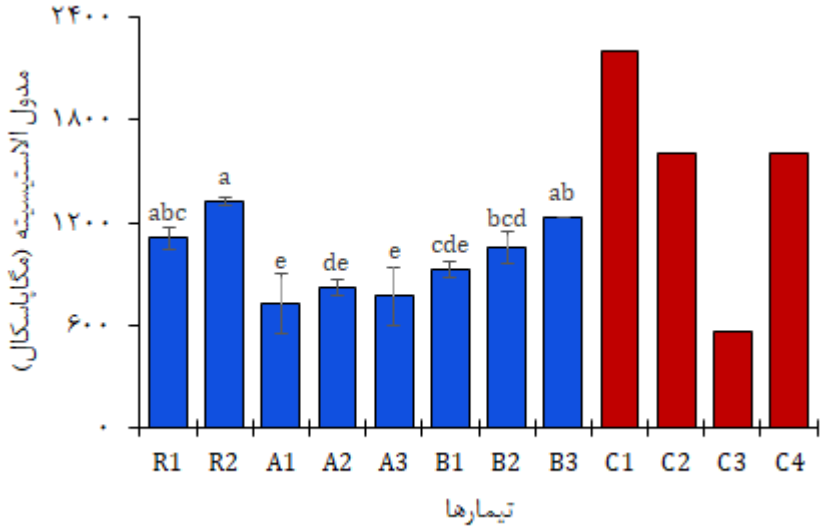
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد اثر تیمارهای مختلف بر مدول الاستیسیته خمشی تخته‌های ساخته‌شده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد ($p<۰/۰۵$). طبق شکل (۱)، بیشترین مدول الاستیسیته خمشی معادل ۱۳۲۱/۴ مگا پاسکال مربوط به تخته‌های شاهد بدون اتیلن وینیل استات با ۱۲ درصد رزین و کمترین آن (۷۲۳/۵ مگا پاسکال) مربوط به تخته‌هایی است که از ۱ درصد مواد فوم اتیلن وینیل استات در آن استفاده‌شده 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			

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف بر مدول الاستیسیته خمشی و مقایسه آن با مقادیر ذکرشده 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 کاهش‌یافته 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 به‌شدت 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 به‌طورکلی پذیرفته‌شده است که ویژگی‌های مکانیکی فوم‌ها شدیداً با افزایش دانسیته و اندازه سلول‌ها بهبود پیدا می‌یابند [۵، ۱۱]. نتایج این تحقیق با نتایج بررسی‌های Shalbafan و همکاران (۲۰۱۷) و Mir و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد [۵، ۱۱]. همچنین در مقایسه مقادیر مدول الاستیسیته خمشی به‌دست‌آمده از تیمارهای این تحقیق می‌توان بیان کرد که مقاومت‌های به‌دست‌آمده با مقادیر میانگین ذکرشده در استانداردهای EN 312 و EN 622-5 نتایج بسیار مطلوبی ارائه کرده است. به‌طوری‌که مقادیر تمامی تیمارها از مقادیر ذکرشده در استاندارد تخته فیبر فوق سبک (استاندارد EN 622-5, 2010) بالاتر است.

چسبندگی داخلی (IB)

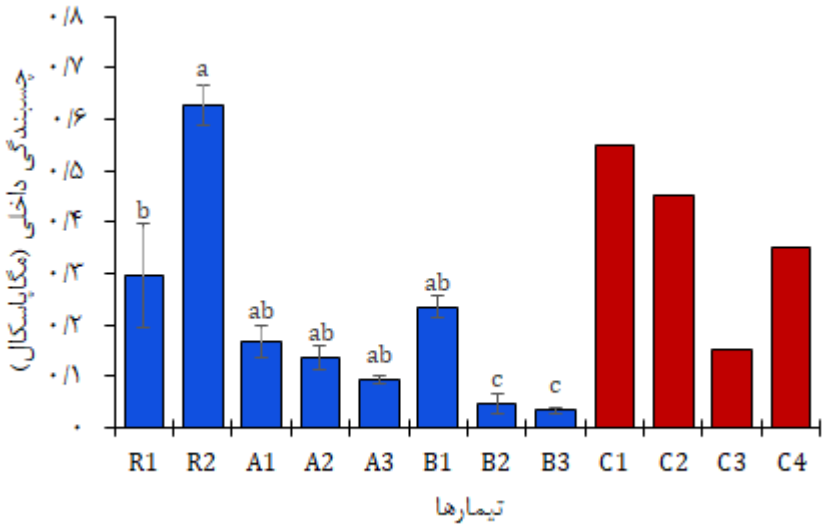
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد اثر تمام تیمارهای مختلف بر چسبندگی داخلی تخته‌های ساخته‌شده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد ($p<۰/۰۵$). طبق شکل (۲)، بیشترین چسبندگی داخلی معادل ۰/۶۲۸ مگاپاسکال مربوط به تخته‌های شاهد و کمترین آن (۰/۰۳۳ مگاپاسکال) مربوط به تخته‌هایی است که از ۵ درصد اتیلن وینیل استات در آن استفاده‌شده است.

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			

www.SID.ir

Archive of SID



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

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 درنهایت موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج Ayrilmis 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 ($p<۰/۰۵$). 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]. درواقع با افزایش درصد اتیلن وینیل استات و درنتیجه آن افزایش سطح تماس اتیلن وینیل استات و الیاف میزان آغشتگی الیاف به چسب کاهش‌یافته و درنتیجه چسبندگی داخلی نیز کاهش‌یافته است. در مکانیسم دیگری، می‌توان کاهش چسبندگی داخلی درنتیجه 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 ساخته‌شده تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($p>۰/۰۵$). هرچند میانگین‌های مقاومت به ضربه دارای حالت غیر معنی‌دار بود، اما تغییرات قابل‌توجهی در مقاومت به ضربه نمونه‌ها ایجادشده است. به‌طوری‌که استفاده از اتیلن وینیل استات موجب کاهش مقاومت به ضربه در نمونه‌ها شده است. هرچند این روند ازنظر آماری معنی‌دار 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 ازنظر آماری معنی‌دار 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 استفاده‌شده بود بیشتر است. با افزایش درصد اتیلن وینیل استات، فشار

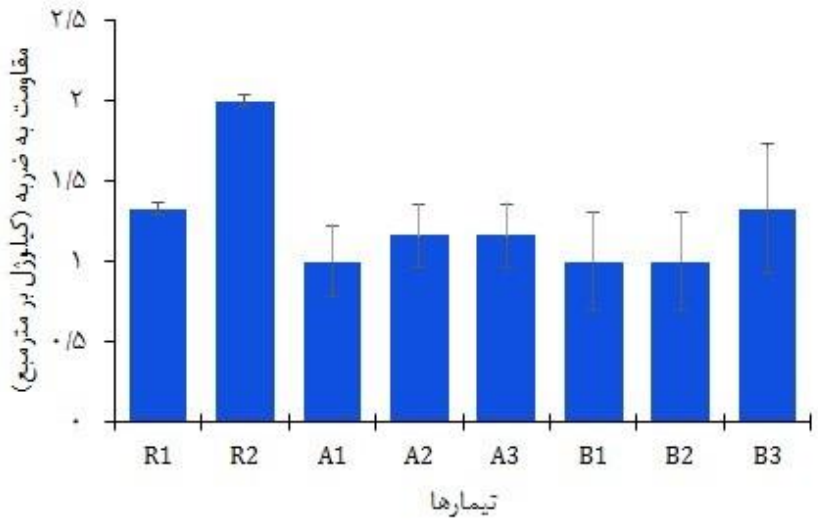
www.SID.ir

Archive of SID

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

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

جذب آب و پایداری ابعاد تخته‌ها

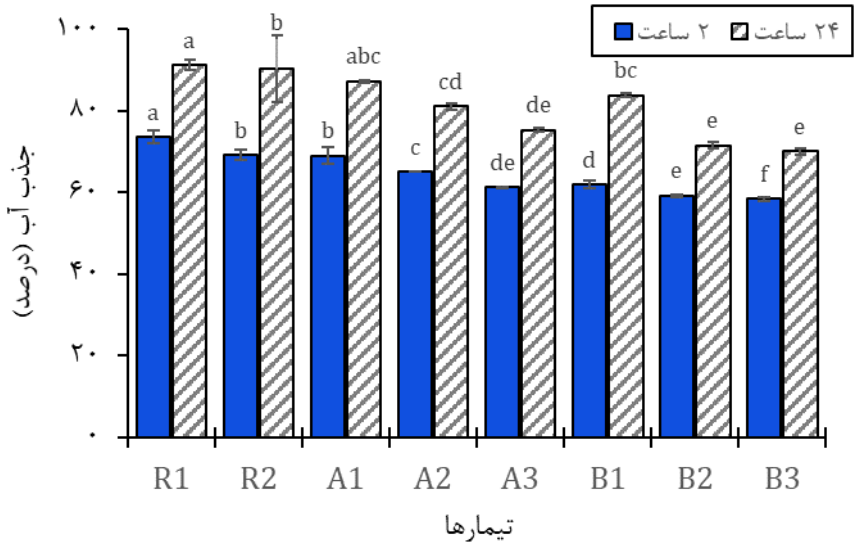
جذب آب: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۷) نشان داد بین اثر تیمارهای مختلف بر میانگین جذب آب تخته‌های ساخته‌شده بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($p<۰/۰۵$). مطابق نتایج، با افزایش مصرف اتیلن وینیل استات جذب آب به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش مصرف رزین از ۱۰ به ۱۲ 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).

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف برجذب 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			

www.SID.ir

Archive of SID



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

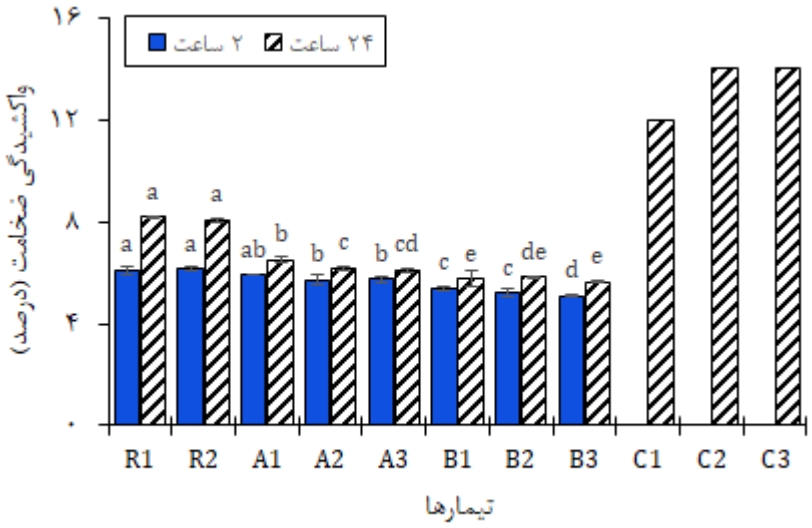
واکشیدگی ضخامت: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۸) نشان داد بین اثر تیمارهای مختلف بر میانگین واکشیدگی ضخامت تخته‌های ساخته‌شده پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($p<۰/۰۵$). مطابق نتایج، با افزایش مصرف اتیلن وینیل استات، واکشیدگی ضخامت به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش مصرف رزین از ۱۰ به ۱۲ درصد، 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).

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			

www.SID.ir

Archive of SID



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

تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که بهبود قابل‌توجهی ($p<۰/۰۵$) 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. ازاین‌رو، تخته‌های ساخته‌شده با مقدار رزین بیشتر (۱۲ درصد) به‌طورکلی منجر به ثبات ابعادی بهتر یعنی جذب آب و واکشیدگی ضخامت کمتر از تخته‌های ساخته‌شده با مقدار رزین کمتر (۱۰ درصد) می‌شوند. سطوح بیشتر رزین می‌تواند پیوند بین فیبر را افزایش داده و فضاهای خالی را کاهش دهد، درنتیجه منجر به جذب آب و واکشیدگی ضخامت کمتر می‌شود [۱۵]. این نتایج با نتایج به‌دست‌آمده 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 به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش داده است. شایان‌ذکر است درصد ماده چوبی مورداستفاده در ترکیب فرمولاسیون تخته‌های ساخته‌شده 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 لیگنوسلولزی را ندارد و واکنش کمتری در برابر آب دارد [۱۹]. درنتیجه، افزایش میزان اتیلن وینیل استات باعث بهبود مقاومت به جذب آب تخته‌های ساخته‌شده 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 آبگریز است و در فرآورده حاصله، سهم فوم آبگریز نسبتاً زیاد و نسبت آبدوستی مواد لیگنوسلولزی کاهش پیداکرده و درنتیجه جذب آب و واکشیدگی ضخامت کاهش یافت.

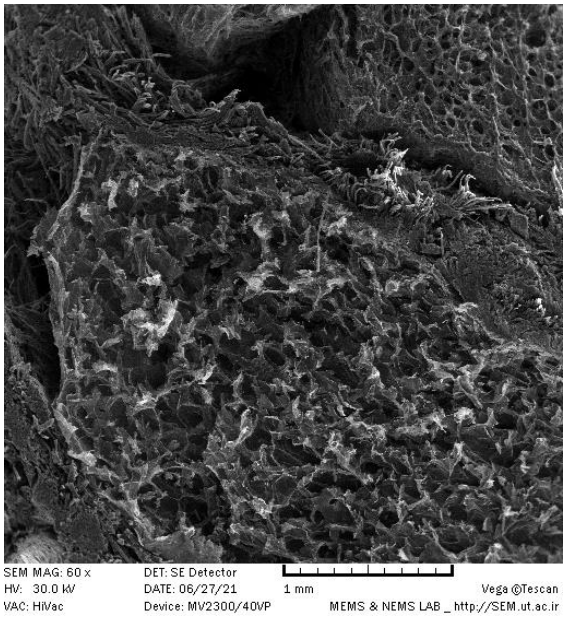
با توجه به اینکه ضعف جزئی در مقاومت‌های مکانیکی عمدتاً مربوط به استفاده از اتیلن وینیل استات است، اما کاهش جذب آب و واکشیدگی (بهبود ثبات ابعادی) این تخته‌ها نقطه وقت آنها محسوب می‌شود. این امر به دلیل خاصیت آبگریزی نسبی پلیمر مورداستفاده است که درنتیجه آن تخته‌ها نسبت به تخته‌های مرسوم جذب آب کمتری از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

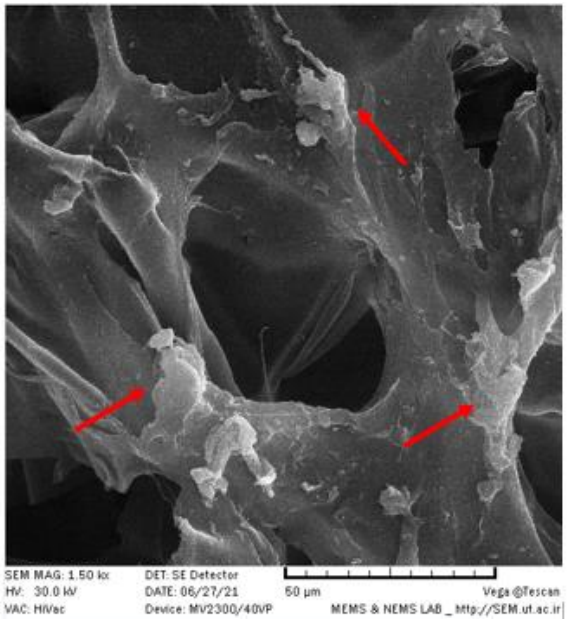
www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌صورت دسته‌ای و منفرد در تصویر قابل‌مشاهده هستند و نمونه از ریخت‌شناسی نسبتاً قطره‌ای برخوردار است و اتیلن وینیل استات درون فاز زمینه قرارگرفته 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 به‌طور قابل توجه‌ای بر ویژگی‌های مکانیکی تخته‌های نهایی تأثیر می‌گذارد [۲]. به‌طورکلی، تصاویر SEM نشان داد که چسبندگی میان الیاف چوبی و اتیلن وینیل استات شکل‌گرفته است و این امر ناشی از اتصالات هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل مواد لیگنوسلولزی و گروه‌های استات موجود در اتیلن وینیل استات است. این بدین معنی است که اتیلن وینیل استات در شرایط عملیاتی ذکرشده 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 قابل‌مشاهده است. در این خصوص، افزودن سازگار کننده می‌تواند منجر به سازگاری بین زنجیره‌های کوپلیمر و الیاف سلولزی شود، چراکه سازگار کننده از یک‌طرف 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 به‌دست‌آمده توسط Khojasteh-Khosro و همکاران (۲۰۲۱) و Shalbafan 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

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۷- تصاویر تخته‌های ساخته‌شده

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 قابل‌قبول و قابل‌رقابت 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 واکشیدگی ضخامت، مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی و مقاومت به ضربه می‌گردد. به‌طورکلی 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 می‌گردد. 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 تعریف‌شده است مقاومت‌های مکانیکی قابل‌قبول ارائه می‌دهند.

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., Schöpper, 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)

www.SID.ir

Archive of SID

[5] Shalbafan, 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] Shalbafan, 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] Shalbafan, 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] Shalbafan, 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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-Shehni[1]
A. Khazaeian[2*]
A. Shakeri[3]

[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

www.SID.ir