

ارزیابی استحکام چسبندگی پوشش و ویژگی‌های لایه‌های سطحی تخته‌های سبک وزن هسته فوم

سعید خجسته خسرو^۱، علی شالبافان^{۲*}، هایکو تومن^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس نور، مازندران، ایران، صندوق پستی: ۴۶۴۱۴-۳۵۶

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس نور، مازندران، ایران، صندوق پستی: ۴۶۴۱۴-۳۵۶

۳- استاد، گروه مهندسی کشاورزی، چوب و عمران، دانشگاه علوم کاربردی برن، سوئیس، صندوق پستی: ۶۰۹۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲۸ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۹/۳/۲۰

چکیده

هدف از تحقیق حاضر ارزیابی استحکام چسبندگی پوشش تخته‌های سبک‌وزن هسته فوم می‌باشد. تخته‌های سبک‌وزن با روش پیوسته یک مرحله‌ای و لایه‌های سطحی با ضخامت‌های ۳، ۴ و ۵ میلی‌متر و با دمای پرس در دو سطح ۱۳۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد تولید شدند. ویژگی‌های لایه‌های سطحی و همچنین استحکام چسبندگی پوشش‌های آکرلیک پایه آب و پلی‌یورتان پایه حلال اعمالی روی تخته‌های سبک وزن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی در تخته‌های تولیدی با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد، استحکام سطحی، زبری و ترشوندگی سطح افزایش قابل توجهی یافته است. در حالی که در تخته‌های تولیدی با دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی، استحکام سطحی، زبری و ترشوندگی سطح کاهش قابل توجهی یافت. همچنین نتایج بیانگر بالاتر بودن میزان چسبندگی پوشش‌های پلی‌یورتان در اکثر تیمارها نسبت به پوشش‌های آکرلیک پایه آب بود. بیشترین میزان چسبندگی پوشش نیز در تخته‌های تولیدی با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد، لایه‌های سطحی ۵ میلی‌متر و با پوشش پلی‌یورتان به دست آمد. **واژه‌های کلیدی:** تخته‌های سبک‌وزن، پانل ساندویچی، آکرلیک، پلی‌یورتان، پروفیل چگالی، ترشوندگی، قدرت چسبندگی پوشش.

Evaluation of Adhesion Strength of Coatings and Face Layers Properties of Foam Core Lightweight Panels

S. Khojasteh Khosro¹, A. Shalbafan^{1*}, H. Thoemen²

1- Wood Science and Technology Department, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, P. O. Box: 46414-356, Noor, Iran.

2- Wood and Civil Engineering Department, Bern University of Applied Science, P. O. Box: 6096, Biel, Switzerland

Received: 30-01-2019

Accepted: 18-05-2019

Available online: 09-06-2020

Abstract

The aim of this study was the evaluation of adhesion strength of surface coatings in lightweight foam core panels. Lightweight foam core panels were manufactured with 3, 4, and 5 mm face layers thicknesses and two press temperature of 130 °C and 160 °C. Face layers properties and also adhesion strength of acrylic and polyurethane coating on lightweight panels was investigated. The results showed that the surface soundness, surface roughness, and surface wettability were significantly increased in panels produced by 130 °C whilst the face layers thicknesses increased from 3 to 5 mm. Conversely, the surface soundness, surface roughness, and surface wettability were significantly decreased in panels produced by 160 °C whilst the face layers thicknesses increased from 3 to 5 mm. The results also showed that the adhesion strength of polyurethane coating was drastically higher than that of water-based acrylic coating. The highest adhesion strength was obtained in panels manufactured with press temperature of 130°C, face layers thickness of 5 mm and polyurethane coating. *J. Color Sci. Tech.* 14(2020), 1-11©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Lightweight panels, Sandwich panels, Acrylic, Polyurethane, Density profile, Wettability, Adhesion strength of coating.

۱- مقدمه

فرآورده‌های فشرده چوبی نظیر تخته‌خرده‌چوب و تخته فیبر با چگالی متوسط (MDF) از جمله فرآورده‌های چوبی هستند که کاربرد آن‌ها برای مصارفی مانند کابینت‌های آشپزخانه، مبلمان صفحه‌ای، دکوراسیون منزل، فروشگاه‌ها و نمایشگاهی در حال افزایش است [۱، ۲]. علاوه بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی این فرآورده‌ها، ویژگی‌های لایه‌های تزئینی اعمالی روی سطح فرآورده‌های فشرده چوبی (روکش و پوشش اعمالی روی سطوح فرآورده‌های فشرده چوبی) تأثیر زیادی روی کاربرد نهایی این فرآورده‌ها می‌گذارند [۴]. پایداری مناسب روکش و پوشش اعمالی روی سطوح فرآورده‌های فشرده چوبی علاوه بر افزایش عمر سرویس‌دهی محصولات، بر روی میزان انتشار فرمالدهید از این فرآورده‌ها نیز تأثیرگذار است [۳]. ویژگی‌های سطحی فرآورده‌های فشرده چوبی از عوامل مهم و تأثیرگذار روی کیفیت روکش و پوشش اعمالی به روی این فرآورده‌ها هستند. از جمله ویژگی‌های سطحی مهم فرآورده‌های فشرده چوبی زبری و ترشوندگی سطح است [۵، ۶]. زبری عاملی است که روی کیفیت سطح و ترشوندگی سطح مواد مختلف تأثیر دارد. بسته به کاربردهای مختلف باید سطوحی با زبری سطحی متناسب آن کاربرد وجود داشته باشد. ترشوندگی توانایی یک مایع در برقراری تماس با سطح جامد است که منتج از نیروهای بین مولکولی می‌باشد. درجه ترشوندگی از تعادل میان نیروهای پیوستگی و چسبندگی تعیین می‌شود. ترشوندگی در صنایع چوب نیز، به معنای دیگر، تمایل به کسب بیشترین سطح تماس برای یک مایع مانند چسب و یا پوشش با سطح چوب و فرآورده‌های فشرده چوبی است [۷، ۸]. مواردی مانند نوع ماده اولیه در تولید اوراق فشرده چوبی، رطوبت کیک مواد، زمان، دما، فشار و سرعت بسته شدن پرس و همچنین چگالی نهایی تخته از عوامل تأثیرگذار فرآیند تولید روی کیفیت لایه‌های سطحی فرآورده‌های فشرده چوبی هستند که تأثیر بسزایی بر زبری و ترشوندگی سطح در این فرآورده‌ها می‌گذراند [۹، ۱۰].

یکی از خصوصیات مهم در مورد پوشش‌های اعمالی روی سطح فرآورده‌های فشرده چوبی، چسبندگی مناسب بین پوشش و سطح این فرآورده‌ها است. چسبندگی پوشش به زیرآیند خود از ویژگی‌های حفاظتی مهم پوشش بوده و تأثیر زیادی روی افزایش دوام محصول و ماندگاری محصولات پوشش داده شده دارد [۱۱، ۱۲]. نوع زیرآیند از جمله چوب، تخته‌خرده‌چوب و MDF، شرایط تولید آن‌ها و خصوصیات سطحی آن‌ها از عوامل تأثیرگذار بر چسبندگی پوشش‌ها هستند که برای دستیابی به چسبندگی مناسب و با توجه به کاربرد مورد نظر باید در انتخاب آنها دقت لازم به عمل آید [۱۳]. دلیک^۱ و

همکارانش نیز تأثیر قابل توجه زیرآیندهای تخته‌خرده‌چوب و MDF را روی چسبندگی پوشش‌های پلی‌یورتان و سلولزی نشان دادند در حالی که ضخامت و تعداد لایه‌های پوشش اعمالی روی سطح این مواد تأثیر معنی‌داری روی چسبندگی پوشش نداشتند [۳]. علاوه بر نوع سطح زیرآیند، تیمارهای اصلاحی صورت گرفته روی این سطوح مانند تیمارهای پلاسما و غیره نیز با تأثیر روی ترشوندگی سطح زیرآیند، چسبندگی پوشش‌هایی از قبیل پوشش آکرلیک پایه آب، پلی‌یورتان و سلولزی را تحت تأثیر قرار می‌دهند به طوری که با افزایش ترشوندگی، افزایش چسبندگی پوشش را به دست می‌آورند [۱۴، ۱۶]. تقی یاری^۲ و همکارانش هم چگالی و خصوصیات مکانیکی فرآورده‌های فشرده چوبی را عاملی تأثیرگذار روی چسبندگی پوشش دانستند [۱۵]. اوزدمیر^۳ و همکارانش نیز رطوبت نسبی محیط را عاملی تأثیرگذار بر زبری سطح و استحکام چسبندگی پوشش پلی‌یورتان روی سطح MDF دانستند [۱۸]. ضخامت پوشش نیز می‌تواند از دیگر عوامل تأثیرگذار بر استحکام چسبندگی پوشش به سطح فرآورده‌های فشرده چوبی باشد به طوری که دانو^۴ و دارسونو^۵ (۲۰۰۸) نشان دادند که افزایش ضخامت پوشش آکرلیک اپوکسی باعث کاهش چسبندگی این پوشش به سطح MDF شده است [۱۷]. یکی از فرآورده‌های فشرده چوبی که اخیراً توسعه پیدا کرده و می‌تواند کاربرد زیادی در صنایع مبلمان داشته باشد، تخته‌های سبک‌وزن هسته فوم با روش تولید یک مرحله‌ای هستند. خصوصیات نهایی این تخته‌ها به صورت قابل توجهی تحت تأثیر فرآیند تولید آن‌ها مانند ضخامت لایه‌های سطحی، دما و زمان پرس و غیره قرار می‌گیرند. به طوری که با شرایط مختلف پرس می‌توان به تخته‌هایی با خصوصیات فیزیکی و مکانیکی (ویژگی‌های خمشی، چسبندگی داخلی و مقاومت به پیچ) متفاوت برای کاربردهای مختلف دست پیدا نمود [۱۸]. تغییر فرآیند تولید در ساخت تخته‌های سبک‌وزن می‌تواند علاوه بر تأثیر روی ویژگی‌های مقاومتی آن‌ها، ویژگی‌های سطحی (زبری و ترشوندگی سطح، چگالی و غیره) تخته‌های تولیدی و همچنین میزان استحکام چسبندگی پوشش آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد [۱۳]. از طرف دیگر با توجه به اینکه کاربرد نهایی تخته‌های سبک‌وزن وابستگی زیادی به کیفیت مناسب لایه‌های تزئینی (روکش و پوشش) دارد؛ هدف از این تحقیق ارزیابی چسبندگی پوشش‌های آکرلیک پایه آب و پلی‌یورتان پایه حلال به سطوح تخته‌های سبک‌وزن تولید شده با شرایط مختلف پرس گرم و ارزیابی ویژگی‌های سطحی این تخته‌ها می‌باشد.

2- Taghiyari
3- Ozdemir
4- Danu
5- Darsono

1- Dilik

شدند. بدین صورت که ابتدا خرده‌چوب‌ها درون چسبزن آزمایشگاهی قرار گرفته و عملیات چسب‌زنی با ترکیب چسب و کاتالیزور صورت پذیرفت. سپس کیک سه لایه به صورت لایه زیری از خرده‌چوب‌های چسب خورده، لایه مرکزی از گرانول‌های قابل انبساط EPS و لایه سطحی نیز از خرده‌چوب‌های چسب خورده تشکیل شدند. سپس کیک تشکیل شده درون پرس گرم آزمایشگاهی قرار گرفته و دهانه پرس برای فشرده شدن کیک مواد و گیرایی چسب لایه‌های سطحی و زیری بسته شد. پس از گیرایی چسب و تشکیل لایه‌های سطحی و رسیدن دما به گرانول‌های قابل انبساط، دهانه پرس به اندازه ضخامت نهایی پانل (۱۹ میلی‌متر) باز شد تا فرآیند تشکیل فوم و انبساط گرانول‌ها و در نهایت تثبیت فوم در ضخامت نهایی صورت پذیرد. فرآیند پرس و تیمار بندی نمونه‌های تولید شده در این مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. ضخامت لایه‌های سطحی پانل‌ها در سه سطح ۳، ۴ و ۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی در حقیقت ضخامت فوم لایه مرکزی به ترتیب از ۱۳ به ۱۱ و ۹ میلی‌متر کاهش یافته است. برای ایجاد فوم با ساختار سلولی متفاوت نیز از دمای پرس در دو سطح ۱۳۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. فشار پرس برای همه تیمارها ثابت و برابر ۳ مگاپاسکال بوده است. تصاویر مربوط به تخته‌های سبک‌وزن با لایه مرکزی از جنس فوم در شکل ۱ ارائه گردیده است. تعداد تکرار تخته‌های تولیدی برای هر تیمار ۳ عدد در نظر گرفته شد. پس از مشروط‌سازی پانل‌های ساخته شده در شرایط آزمایشگاه، پانل‌ها به ابعاد مورد نیاز برای ارزیابی خصوصیات سطحی آن‌ها بریده شده و در شرایط استاندارد رطوبتی ($5 \pm 65\%$ رطوبت نسبی و $3 \pm 20^\circ\text{C}$) برای متعادل‌سازی رطوبت قرار گرفتند.

- 1- Expandable Polystyrene
2- Shalbfan

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

برای لایه‌های سطحی تخته‌های سبک‌وزن، خرده‌چوب‌های ریز حاصل از مخلوط گونه‌های چوبی با اندازه ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر از کارخانه تخته فشرده شمال فراهم گردید. برای چسب‌زنی خرده‌چوب‌ها، از چسب اوره فرم‌آلدهید با درصد جامد ۶۲ درصد و به میزان ۱۲ درصد وزن خشک خرده‌چوب‌ها استفاده شد که از شرکت رزین‌سازان آمل تهیه گردیده بود. به عنوان کاتالیزور نیز از ۱ درصد سولفات آمونیم بر اساس وزن خشک چسب تهیه شده از شرکت آریا شیمی آمل استفاده گردید. برای لایه‌های میانی پانل‌های سبک‌وزن، از گرانول‌های پلی‌استایرن قابل انبساط (EPS^1) با میانگین اندازه ذرات ۰٫۵ میلی‌متر استفاده گردید. گرانول‌های EPS از شرکت SunporKunststoff GmbH کشور اتریش تهیه شدند. برای پوشش‌دهی لایه‌های سطحی پانل‌های سبک‌وزن نیز از پوشش‌های پایه آب آکرلیک سفید (Acro Reef - 312) و پلی‌یورتان پایه حلال بر پایه ایزوسیانات آلیفاتیک (PU-W200) تولید شرکت ریف استفاده گردید. لازم به ذکر است که پوشش‌های آکرلیک و پلی‌یورتان سفید از جمله پوشش‌های بسیار پرکاربرد در پوشش‌دهی فرآورده‌های صفحه‌های تخته خرده چوب و MDF برای استفاده در مبلمان صفحه‌ای نمایشگاهی، فروشگاه‌ها، اداری و حتی مسکونی هستند که در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفتند. ویژگی‌های پوشش‌های مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

۲-۲- فرآیند تولید تخته‌ها

در این مطالعه تخته‌های سبک‌وزن هسته فوم سه لایه با ضخامت نهایی ۱۹ میلی‌متر و مطابق با روش شالبا فان^۲ و همکارانش [۱۸] تولید



شکل ۱: نمای عرضی تخته‌های سبک‌وزن تولید شده در شرایط مختلف پرس.

جدول ۱: مشخصات فنی پوشش‌های آکرلیک و پلی‌یورتان.

پوشش	چگالی (g/cm ³)	محتوای جامد (%)	میزان سخت‌کننده (نسبت به جرم پوشش)	حلال
آکرلیک سفید	۱,۰۵	۳۷	-	آب
پلی‌یورتان سفید	۱,۱۵	۴۰	۲۵ درصد*	تینر فوری ۲۰۰۰۰

* پوشش پلی‌یورتان، پوششی غیر هوا خشک (دوجزئی) بوده و از ماده سخت‌کننده پلی‌ایزوسیانات برای خشک شدن آن استفاده می‌شود.

جدول ۲: مشخصات تیمارهای تحقیق.

کد تیمار	ضخامت لایه سطحی (mm)	دمای صفحه پرس (°C)	چگالی نهایی پانل (kg/m ³)	زمان پرس (ثانیه)		
				گام فشرده شدن	گام فوم شدن	گام تثبیت فوم
A	۳	۱۳۰	۳۲۰	۸۰	۴۵	۱۳۰
B	۴	۱۳۰	۳۹۰	۱۰۵	۴۵	۱۴۰
C	۵	۱۳۰	۴۶۰	۱۳۰	۴۵	۱۵۰
D	۳	۱۶۰	۳۲۰	۴۵	۱۰	۱۴۰
E	۴	۱۶۰	۳۹۰	۵۵	۱۰	۱۷۰
F	۵	۱۶۰	۴۶۰	۶۵	۱۰	۲۰۰

۲-۳- ارزیابی ویژگی‌های نمونه‌ها

به منظور بررسی تاثیر شرایط پرس روی لایه‌های سطحی نمونه‌ها، استحکام سطحی^۱ طبق استاندارد EN ۳۱۱ اندازه‌گیری گردید. استحکام سطحی عاملی برای نشان دادن استحکام و کیفیت چسبندگی بین خرده‌چوب‌ها یا الیاف لایه‌های سطحی با لایه‌های زیرین خود در فرآورده‌های فشرده چوبی مانند تخته خرده چوب و MDF است [۱۹]. گرادپان چگالی عمودی نمونه‌ها نیز با استفاده از دستگاه Gamma-ray densitometry مورد سنجش قرار گرفت. همچنین زبری سطح نمونه‌ها به وسیله دستگاه زبری سنج HUATEC مدل SRT-6200 صورت پذیرفت. زبری سطح نمونه‌ها در خط سیر ۲,۵ میلی‌متری اندازه‌گیری شد. دستگاه زبری‌سنج، دو مشخصه Ra (میانگین تمام بلندی‌های سطح) و Rz (میانگین ارتفاع ۵ قله مرتفع و ۵ دره عمیق) را اندازه‌گیری می‌کند.

میزان ترشوندگی سطح نمونه‌ها با استفاده از آزمون زاویه تماس قطره به روش قطره‌گذاری با آب دیونیزه تعیین گردید. برای این منظور ترشوندگی سطح نمونه‌های پرداخت شده با روش اندازه‌گیری زاویه تماس استاتیک پس از گذشت ۵ و ۱۰ ثانیه از لحظه رهاسازی قطره آب با حجم ۳,۵ میلی‌لیتر محاسبه شد. از دستگاه زاویه تماس مدل PG-X ساخت کشور سوئیس برای اندازه‌گیری زاویه تماس

1- Surface soundness

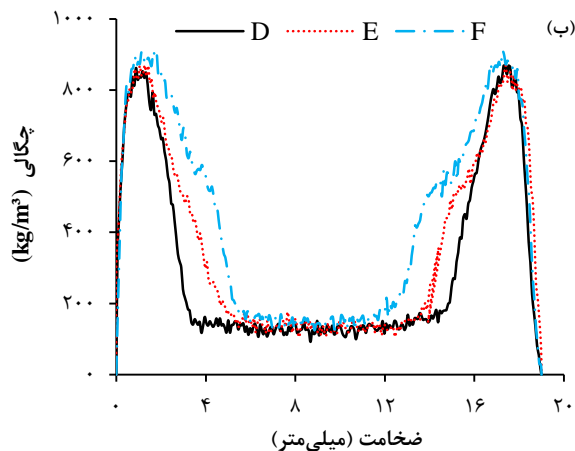
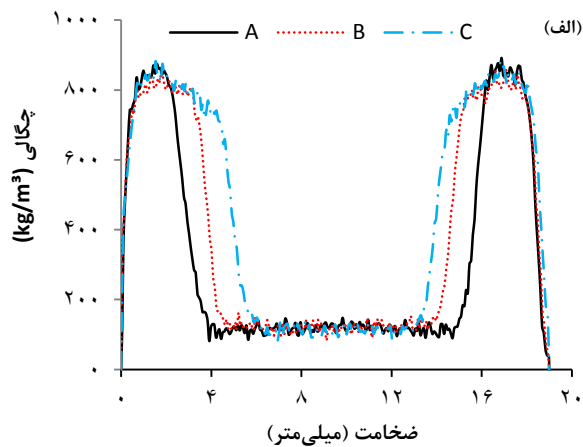
نمونه‌ها استفاده گردید. لازم به ذکر است که تعداد تکرار در نظر گرفته شده برای هر یک از آزمون‌های ذکر شده برای اطمینان از صحت نتایج به دست آمده ۱۲ مرتبه بود.

۲-۴- پوشش‌دهی سطح و ارزیابی استحکام چسبندگی پوشش

برای پوشش‌دهی سطح نمونه‌ها، ابتدا نمونه‌هایی به ابعاد ۱۷۰×۱۰۰ میلی‌متر از تخته‌های تولیدی تهیه شدند. سپس برای صاف و یکدست نمودن و ایجاد شرایط یکسان سطحی در تمامی نمونه‌ها، عملیات پرداخت آن‌ها توسط دستگاه سنباده لرزان دستی-برقی با سنباده درجه ۱۸۰ صورت پذیرفت. مراحل پوشش‌دهی سطح تخته‌های سبک‌وزن به این صورت بود که ابتدا پوشش آکرلیک پایه آب و پلی‌یورتان پایه حلال به‌وسیله فیلم‌کش روی سطوح نمونه‌های پرداخت شده اعمال شدند. ضخامت فیلم تر اعمالی روی سطوح نمونه‌ها در مرحله اول پوشش‌دهی ۱۵۰ میکرون بود. بعد از خشک شدن پوشش‌های اعمال شده روی سطح نمونه‌ها، سطوح آن‌ها برای صاف نمودن و از بین بردن پرزهای ایجاد شده به‌وسیله سنباده شماره ۳۶۰، به صورت کامل و طی مدت زمانی معین (۵ ثانیه) برای همه نمونه‌ها پرداخت شدند. بعد از پاک‌کردن گرد حاصل از سنباده کاری، لایه دوم پوشش‌های آکرلیک و پلی‌یورتان روی سطح نمونه‌ها با ضخامت ۲۰۰ میکرون اعمال گردید. شرایط محیطی پوشش‌دهی نمونه‌های چوبی در هر دو روش برای تمامی نمونه‌ها ثابت در نظر

کمتر فشرده شده موجود در سطح مشترک لایه‌های سطحی و مرکزی است که در شکل ۱ نیز قابل ملاحظه می‌باشد.

نکته حائز اهمیت در مورد کارایی پوشش‌های مورد استفاده برای فرآورده‌های مرکب چوبی میانگین چگالی در بیرونی‌ترین بخش‌های لایه‌های سطحی است [۲۰]. برای این منظور میانگین چگالی در فاصله ۱٫۵ میلی‌متری ابتدایی لایه‌های سطحی و زیری نمونه‌ها نیز محاسبه شد که نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بیشترین میانگین چگالی در این بخش متعلق به نمونه‌های تولید شده با دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد (۲-EPS) بوده است.



شکل ۲: پروفیل چگالی تخته‌های سبک‌وزن تولیدی با ضخامت لایه‌های سطحی و فرآیند پرس متفاوت. الف) تخته‌های ۱-EPS و ب) تخته‌های ۲-EPS.

گرفته شد. ضخامت فیلم خشک نهایی پوشش‌های آکرلیک و پلی‌یورتان اعمالی روی سطوح تخته‌های سبک وزن تولید شده به ترتیب $115 \pm 23/45$ و $121 \pm 20/38$ میکرون بودند. لازم به ذکر است که برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم خشک پوشش‌های اعمال شده از دستگاه Elcometer 456 ساخت کشور انگلیس استفاده گردید. در این دستگاه ضخامت پوشش به صورت غیر مخرب و تماسی از طریق روش التراسونیک اندازه‌گیری گردید.

به‌منظور ارزیابی استحکام چسبندگی پوشش ابتدا قطعاتی فلزی (دالی) با قطر ۲۰ میلی‌متر به‌وسیله چسب اپوکسی دوجزئی ساخت کشور آلمان روی سطح نمونه‌های حاصل از تخته‌های سبک‌وزن چسبانده شدند. نمونه‌ها برای سخت شدن کامل چسب به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند. سپس بعد از دور بری پوشش دور دالی‌ها با گردبر، میزان استحکام چسبندگی پوشش با روش پول‌آف به‌وسیله دستگاه اتوماتیک سنجش چسبندگی PosiTest AT ساخت کشور آمریکا با سرعت کشش ۰٫۳ مگاپاسکال در ثانیه براساس استاندارد ASTM D 4541 اندازه‌گیری گردید. برای اطمینان از دقت نتایج حاصل، چسبندگی پوشش برای هر نمونه ۶ بار تکرار شد.

۲-۵- طراحی آزمایش

برای بررسی آماری تاثیر عوامل مورد بررسی (شامل دمای پرس، ضخامت لایه‌های سطحی و نوع پوشش اعمالی روی سطوح) بر ویژگی‌های سطحی تخته‌های سبک وزن و استحکام چسبندگی پوشش، نتایج با استفاده از آزمون فاکتوریل مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ برای انجام کارهای آماری استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پروفیل چگالی

نتایج حاصل از ارزیابی پروفیل چگالی تخته‌های سبک‌وزن هسته فوم با ضخامت لایه‌های سطحی و دمای پرس متفاوت در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است اختلاف قابل‌توجهی بین پروفیل‌های چگالی تخته‌های تولیدی با دماهای متفاوت پرس مشاهده می‌شود. پروفیل چگالی در تخته‌های تولید شده با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد (۱-EPS) یکنواختی بیشتری را در لایه‌های سطحی و سطح مشترک لایه‌های سطحی و مرکزی نشان می‌دهند. کاهش چگالی از لایه‌های سطحی به مرکزی در نمونه‌های ساخته شده با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد (۱-EPS) شدت بیشتری نسبت به نمونه‌های متناظر ساخته شده با دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد داشت. دلیل این موضوع در نمونه‌های ۲-EPS مربوط به وجود خرده‌چوب‌های

فوم اتفاق افتاده است. به عبارت دیگر، شکست در محل وجود خرده‌چوب‌های کمتر فشرده شده در نزدیکی سطح مشترک لایه‌ها اتفاق افتاده است.

از طرف دیگر با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی در نمونه‌های EPS-۱، افزایش استحکام سطحی حاصل شده که می‌توان آن را به افزایش زمان فشرده‌سازی با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی (از ۸۰ ثانیه در لایه‌های سطحی ۳ میلی‌متر به ۱۳۰ ثانیه در لایه‌های سطحی ۵ میلی‌متر) نسبت داد. با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی در تخته‌های EPS-۲، کاهش استحکام سطحی مشاهده شد. لازم به ذکر است که با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی در نمونه‌های EPS-۲ میزان خرده‌چوب‌های کمتر فشرده شده در نزدیکی سطح مشترک لایه‌های سطحی و مرکزی بیشتر بوده است (شکل ۱). برآمدگی مشاهده شده در پروفیل چگالی نمونه‌های EPS-۲ نیز گواه بر این موضوع است. شالبافان و همکارانش نیز در مطالعه خود به نتایج مشابهی در این ارتباط دست یافته‌اند [۱۸].

۳-۲-۳- زبری سطح

نتایج به دست آمده از بررسی میزان زبری لایه‌های سطحی تخته‌های سبک‌وزن هسته فوم با دو مشخصه Ra و Rz در شکل ۳ آورده شده است. در تخته‌های EPS-۱ با افزایش ضخامت لایه سطحی از ۳ تا ۵ میلی‌متر زبری سطح در هر دو مشخصه Ra و Rz افزایش قابل‌توجهی یافته است. زبری سطح ارتباط مستقیمی با چگالی سطح چوب و فرآورده‌های فشرده چوبی دارد؛ به طوری که با کاهش چگالی میزان زبری افزایش می‌یابد. همانگونه که ملاحظه می‌شود میزان زبری نمونه‌های EPS-۱ با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی به طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. دلیل آن می‌تواند مربوط به کمتر بودن چگالی در فاصله ۱،۵ میلی‌متری ابتدایی لایه‌های سطحی نمونه‌های EPS-۱ باشد (جدول ۳).

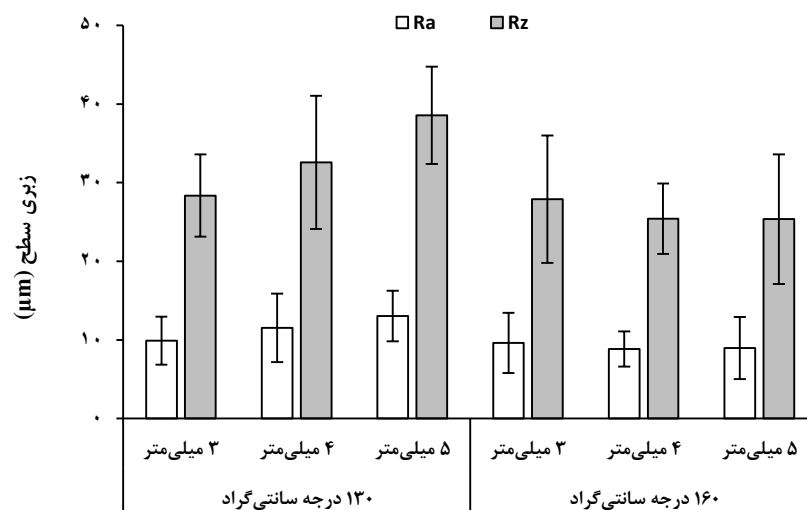
دلیل این موضوع مربوط به بالاتر بودن درجه حرارت پرس در نمونه‌های EPS-۲ می‌باشد، چرا که حرارت بالای پرس نرم‌شدگی بیشتر خرده‌چوب‌ها و در نتیجه فشرده‌گی بیشتر آن‌ها را به همراه داشته است [۲۰]. باید توجه داشت که میانگین چگالی در بخش ۱،۵ میلی‌متری در نمونه‌های EPS-۱ و EPS-۲ با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی از ۳ به ۵ میلی‌متر به ترتیب با کاهش و افزایش همراه بوده است (جدول ۳). با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی گام (زمان) فشرده‌گی در پرس نیز افزایش یافته است. در واقع خرده‌چوب‌های موجود در بخش بیرونی لایه‌های سطحی زمان بیشتری تحت تاثیر حرارت بالا قرار گرفته‌اند و نرم‌شدگی و فشرده‌گی بیشتری نیز حاصل شده است. اما در نمونه‌های EPS-۱ به دلیل پایین بودن حرارت پرس، نرم‌شدگی بیشتری در خرده‌چوب‌ها حتی با افزایش گام فشرده‌گی صورت نپذیرفته است. محققین مختلفی نیز در مطالعه‌های خویش بر فشرده‌گی بیشتر لایه‌های سطحی با افزایش دما و زمان پرس در طی فرآیند تولید تخته‌خرده‌چوب تأکید نمودند [۲۱، ۲۰، ۲].

۳-۲-۲- استحکام سطحی

نتایج مربوط به استحکام سطحی پانل‌های سبک وزن در جدول ۳ ارائه شده است. میزان استحکام سطحی نمونه‌های EPS-۱ به طور معنی‌داری بیشتر از مقادیر متناظر خود در نمونه‌های EPS-۲ است. دلیل این موضوع مربوط به زمان فشرده‌گی بالاتر این تخته‌ها در گام نخست پرس گرم است. به طوری که در زمان پرس طولانی‌تر فشرده‌گی در تمامی ضخامت (بخش عرضی) لایه‌های سطحی به صورت یکنواخت‌تر صورت گرفته است که در پروفیل چگالی نمونه‌ها نیز این امر به صورت کاملاً مشهود مشخص است (شکل ۲). همچنین مشاهده نمونه‌های شکسته شده نشان داد که شکست در نمونه‌های EPS-۲ در نزدیکی سطح مشترک لایه‌های سطحی و لایه مرکزی

جدول ۳: چگالی ۱،۵ میلی‌متر لایه سطحی و استحکام سطحی تخته‌های سبک‌وزن.

نوع تخته	چگالی ۱،۵ میلی‌متری سطح (kg/m ³)	استحکام سطحی (MPa)
A	۶۸۸	۱،۴۷ (±۰،۰۸)
B	۶۷۸	۱،۵۵ (±۰،۰۶)
C	۶۷۶	۱،۶۷ (±۰،۰۸)
D	۶۹۲	۱،۲۹ (±۰،۰۱)
E	۷۰۲	۱،۲۰ (±۰،۰۹)
F	۷۱۸	۱،۱۴ (±۰،۰۹)



شکل ۳: کیفیت سطح (زبری سطح) لایه‌های سطحی تخته‌های سبک‌وزن.

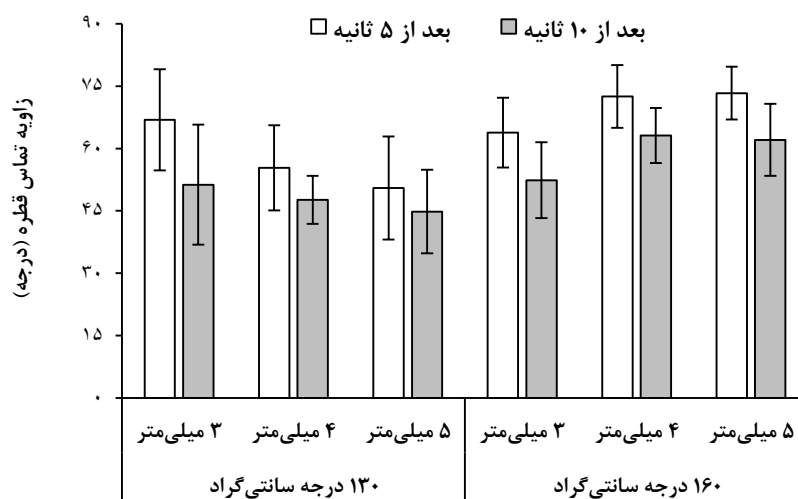
ژونگ^۱ و همکارانش نیز چگالی مواد چوبی را از عوامل مؤثر بر زبری سطح این مواد دانستند [۲۲]. نملی^۲ و همکارانش نیز تأثیر قابل توجه افزایش چگالی تخته‌خرده‌چوب بر کاهش زبری سطح آن را نشان دادند [۹]. به صورت کلی با افزایش چگالی لایه‌های سطحی تخته‌خرده‌چوب، میزان فشردگی و درهم رفتگی خرده‌چوب‌ها افزایش یافته و خلل و فرج بین خرده‌چوب‌ها کاهش می‌یابد [۱۰]. در نتیجه با کاهش خلل و فرج لایه‌های سطحی تخته‌های تولیدی و افزایش حجم ماده چوبی در واحد سطح مشخص، کیفیت سطح این لایه‌ها افزایش و زبری سطح نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

زبری سطح در نمونه‌های EPS-۲ با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی از ۳ به ۵ میلی‌متر کاهش یافته است. همانگونه که پیشتر مشاهده شد (جدول ۳)، میزان چگالی در فاصله ۱,۵ میلی‌متری ابتدایی لایه‌های سطحی نمونه‌های EPS-۲ با افزایش همراه بوده است؛ افزایش چگالی نیز کاهش زبری سطح نمونه‌ها را به همراه داشته است. البته بالاتر بودن دمای پرس و زمان طولانی‌تر گام فشردگی در نمونه‌های با ضخامت ۴ و ۵ میلی‌متر نیز از جمله دلایل دیگر کاهش زبری نمونه‌ها عنوان می‌شود. طبرسا^۳ و همکارانش نیز در بررسی تأثیر زمان پرس بر زبری سطح تخته‌خرده‌چوب به نتایج مشابهی دست یافتند [۲۳].

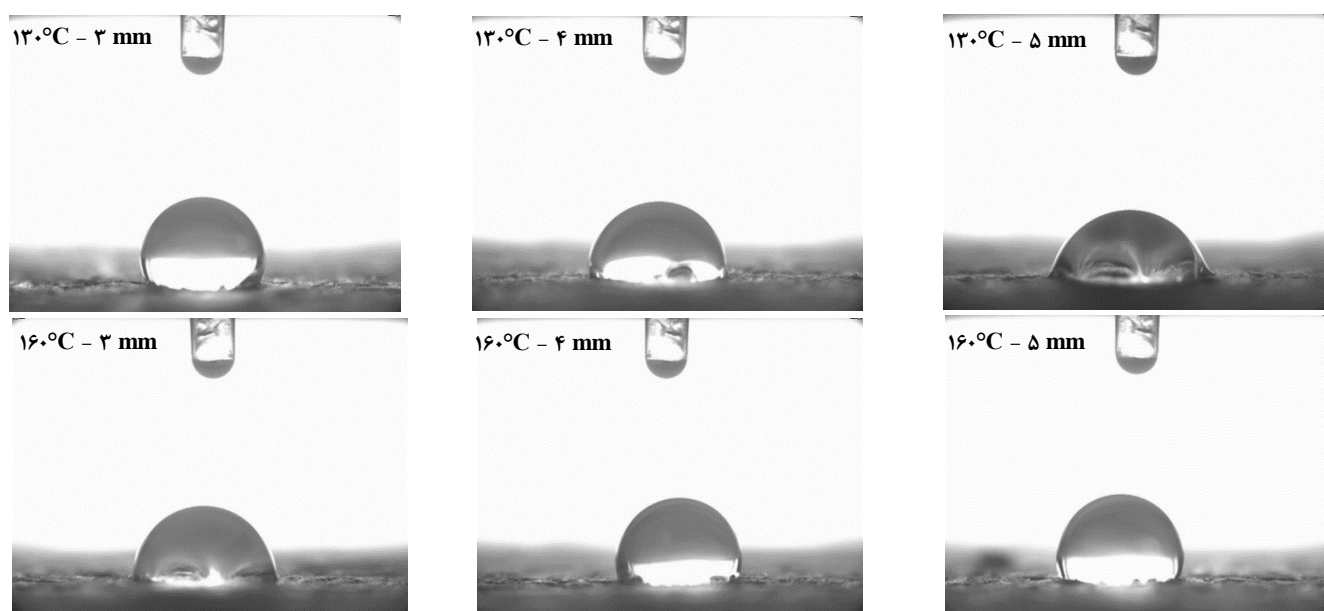
۳-۴- زاویه تماس قطره

زاویه تماس قطره شاخصی برای نشان دادن میزان ترشوندگی سطح فرآورده‌های فشرده‌چوبی است. بررسی زاویه تماس تخته‌های سبک‌وزن هسته فوم پس از ۵ و ۱۰ ثانیه از رها نمودن قطره اندازه‌گیری و نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج بیانگر وجود اختلاف قابل توجه در میزان زاویه تماس بین نمونه‌های EPS-۱ و

1- Zhong
2- Nemli
3- Tabarsa
4- Latibari
5- Csanády



شکل ۴: زاویه تماس قطره پس از ۵ و ۱۰ ثانیه رهاسازی به روی لایه‌های سطحی تخته‌های سبک‌وزن.



شکل ۵: شکل قطره پس از ۱۰ ثانیه رهاسازی روی لایه‌های سطحی تخته‌های سبک‌وزن.

چسب اوره فرم آلدهید موجود در لایه‌های سطحی در مراحل اولیه پرس گرم نسبت داد. به طوری که افزایش دما باعث روانی و پخش شونده‌گی بهتر چسب در تمامی سطوح خرده‌چوب‌ها می‌شود که در پی آن نقاط در دسترس خرده‌چوب‌ها برای نفوذ مایع ترک‌کننده چوب (چسب و پوشش) کاهش می‌یابد [۲۶] که نتیجه آن افزایش زاویه تماس و کاهش ترشوندگی سطح تخته‌های سبک وزن است. از طرف دیگر اعمال دماهای بیش از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد باعث تخریب

علاوه بر تاثیر زبری سطح روی زاویه تماس و ترشوندگی سطح تخته‌های سبک وزن، افزایش زاویه تماس و کاهش ترشوندگی نمونه‌های EPS-۲ را می‌توان با دمای فرآیند تولید تخته‌های سبک وزن مرتبط دانست. تاثیر دما روی تغییر رفتار آب‌دوستی سطوح تخته‌های سبک وزن را می‌توان از دو جنبه بررسی نمود. مهم‌ترین دلیل کاهش آبگریزی سطح تخته‌های سبک وزن با افزایش دما در حین فرآیند تولید تخته‌های سبک وزن را می‌توان به کاهش گرانی

خجسته خسرو^۲ نیز بر تأثیر زبری سطح روی افزایش سطح تماس مایع با زیرآیند و ترشوندگی مناسب روی بهبود چسبندگی پوشش به سطح تأکید کردند [۱۱]. کادمارتوری^۳ و همکارانش و همچنین غفرانی و همکارانش نیز در تأثیر کاهش زاویه تماس قطره بر افزایش ترشوندگی سطح و چسبندگی پوشش به نتایج مشابهی دست یافتند [۳۲، ۶]. از طرف دیگر مشاهده سطح شکست نمونه‌های آزمونی چسبندگی پوشش نشان داد که شکست در تمامی نمونه‌های آزمونی در لایه‌های سطحی تخته‌خرده‌چوب صورت گرفته است. به طوری که در تخته‌های EPS-۱ بخصوص تخته‌های با لایه سطحی ۴ و ۵ میلی‌متر به دلیل یکنواختی و پیوستگی مناسب چگالی در کل لایه‌های سطحی (شکل ۲)، در هنگام بررسی چسبندگی پوشش طی فرآیند کشش دالی‌ها سطوح تخته‌خرده‌چوب مقاومت بالایی از خود نشان داده و نیروی زیادی برای شکست این لایه‌ها نیاز بود. نتایج بررسی استحکام سطحی تخته‌های ساخته شده (جدول ۳) نیز گواهی بر این مطلب است؛ اما در تخته‌های EPS-۲ بخصوص نمونه‌ها با لایه‌های سطحی ۴ و ۵ میلی‌متر به دلیل وجود خرده‌چوب‌های کمتر فشرده شده نزدیک سطح مشترک لایه‌ها، مقاومت در برابر کشش طی بررسی چسبندگی پایین بوده و شکست در این بخش‌ها به سرعت رخ داده است. دلیل و همکارانش نیز یکنواختی چگالی را عاملی مهم بر چسبندگی مناسب پوشش دانستند [۳].

بررسی تأثیر نوع پوشش بر میزان استحکام چسبندگی با سطح تخته‌های سبک‌وزن نشان دهنده بالاتر بودن چسبندگی پوشش پلی‌یورتان نسبت به پوشش آکرلیک پایه آب بوده است. البته تأثیر نوع پوشش بر میزان چسبندگی پوشش در دو نمونه EPS-۲ با لایه‌های سطحی ۴ و ۵ میلی‌متر تغییر محسوسی نداشته است. در این دو نمونه با توجه به توضیحاتی که در قسمت اول بخش چسبندگی پوشش در مورد استحکام سطحی پایین این نمونه‌ها ارائه شد، قبل از اینکه پوشش‌های پلی‌یورتان و آکرلیک بیشترین مقاومت خود را نشان دهند شکست در لایه سطحی تخته‌های سبک وزن رخ داده و از این روی چسبندگی این دو پوشش تقریباً در یک سطح مشاهده شده است. در مورد بالاتر بودن چسبندگی پوشش پلی‌یورتان نسبت به پوشش آکرلیک پایه آب باید بیان نمود که پوشش آکرلیک از نوع پوشش‌های تک جزئی بوده و خشک شدن آن بر اثر خروج حلال (آب) بوده و چسبندگی مکانیکی بین این پوشش و سطوح تخته‌های سبک وزن رخ می‌دهد.

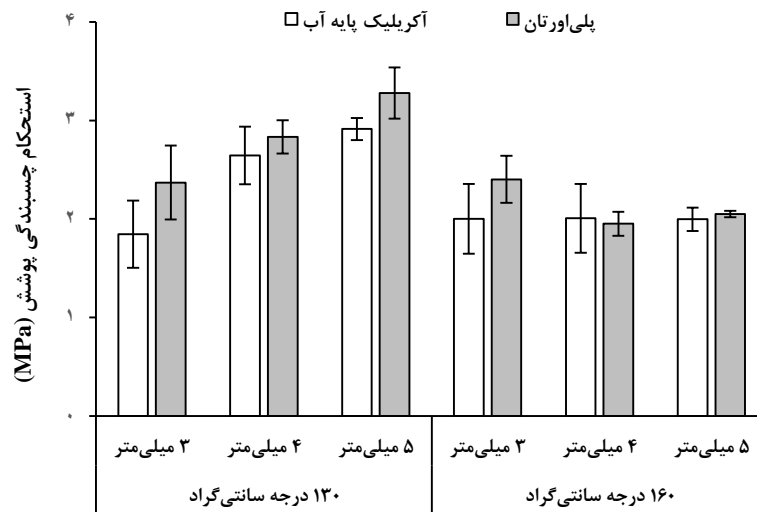
بخشی از ساختار بسیاری دیواره‌های سلولی (به ویژه همی‌سلولزها) می‌شود [۲۷-۳۰]. گروه‌های هیدروکسیل مستقر در روی بسپارهایی مانند سلولز و همی‌سلولز منشأ آب‌دوست بودن و جذب رطوبت در ساختار چوب هستند [۳۱]. در نتیجه تخریب ساختارهای بسیاری بخصوص همی‌سلولز باعث کاهش قابل توجه آب‌دوستی و افزایش آبگریزی چوب می‌شود. در تولید تخته‌های سبک وزن نیز افزایش دما تا ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند بر افزایش آب‌گریزی چوب تأثیرگذار باشد.

۳-۵- استحکام چسبندگی پوشش

استحکام چسبندگی پوشش به سطح چوب و فرآورده‌های چوبی از جمله شاخص‌های مهم سنجش کیفیت پوشش است که به طور قابل توجهی به نوع پوشش اعمالی و همچنین نوع زیرآیند آن بستگی دارد [۱۱]. نتایج بررسی استحکام چسبندگی پوشش‌های آکرلیک و همچنین پوشش پلی‌یورتان روی سطوح تخته‌های سبک‌وزن هسته فوم در شکل ۶ ارائه شده است. طبق این نتایج، تأثیر نوع زیرآیند (لایه سطحی تخته‌های سبک‌وزن) بر چسبندگی پوشش بیانگر این است که بیشترین میزان چسبندگی پوشش در تخته‌های EPS-۱ به دست آمد. البته بین میزان استحکام چسبندگی پوشش‌ها در نمونه‌های EPS-۱ و EPS-۲ تولیدی با لایه‌های سطحی ۳ میلی‌متر اختلاف قابل توجهی مشاهده نشد. در تخته‌های EPS-۱ با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی تخته‌ها از ۳ تا ۵ میلی‌متر، چسبندگی پوشش‌ها به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. از طرف دیگر، در نمونه‌های EPS-۲ با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی از ۳ تا ۴ میلی‌متر، کاهش چسبندگی مشاهده شد. البته میزان چسبندگی پوشش در نمونه‌ها با لایه‌های سطحی ۴ و ۵ میلی‌متر تفاوت اندکی داشته است. تفاوت بین چسبندگی بین نمونه‌های مختلف را می‌توان از دو جنبه بررسی نمود.

مهم‌ترین نکته در مورد افزایش چسبندگی در نمونه‌های EPS-۱ با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی را می‌توان به خاصیت ترشوندگی بیشتر این نمونه‌ها مرتبط دانست. با توجه به قابلیت بالای ترشوندگی نمونه‌های EPS-۱ که در بخش زاویه تماس (شکل ۴) نیز مشخص بود، پوشش استفاده شده قابلیت بیشتری برای نفوذ به عمق لایه‌های سطحی و تشکیل پیوند چسبندگی مکانیکی با نمونه‌ها را داشته است که نتیجه آن بیشتر بودن چسبندگی پوشش در این نمونه‌ها است. همچنین به دلیل کمتر بودن قابلیت ترشوندگی در نمونه‌های EPS-۲ با لایه‌های سطحی ۴ و ۵ میلی‌متر، نفوذ مناسبی از پوشش در عمق لایه‌های سطحی صورت نگرفته و در نتیجه میزان چسبندگی بالایی در این نمونه‌ها مشاهده نشده است. غفرانی^۱ و

1- Ghofrani
2- Khojasteh Khosro
3- Cademartori



شکل ۶: چسبندگی پوشش‌های پلی‌اورتان و آکرلیک پایه آب به سطوح تخته‌های سبک‌وزن.

تخته‌های تولید شده با دمای پرس ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد، پروفیل چگالی همگن‌تر، چگالی سطحی یکنواخت‌تر، استحکام سطحی بالاتر، زبری و ترشوندگی سطح بیشتر نسبت به نمونه‌های تولید شده با دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد داشته‌اند. در تخته‌های سبک‌وزن تولیدی با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد، با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی از ۳ تا ۵ میلی‌متر، چگالی بخش‌های بیرونی لایه‌های سطحی (۱,۵ میلی‌متر نخستین) کاهش یافته است و افزایش زبری سطح و ترشوندگی را به همراه داشته است. نتایج همچنین بیانگر تاثیر قابل توجه کیفیت سطح زیرآیند بر میزان چسبندگی پوشش بوده است. بیشترین میزان چسبندگی پوشش‌های آکرلیک و پلی‌اورتان در تخته‌های سبک وزن تولیدی در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین میزان چسبندگی پوشش نیز در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. از طرف دیگر نتایج نشان دهنده تاثیر قابل توجه نوع پوشش مصرفی بر چسبندگی بوده است به گونه‌ای که پوشش پلی‌اورتان میزان چسبندگی بهتری از خود نشان داد. به طور کلی نیز مناسب‌ترین ویژگی‌های سطحی و چسبندگی پوشش در تخته‌های سبک وزن هسته فوم متعلق به نمونه‌های تولید شده با دمای پایین (۱۳۰ درجه سانتی‌گراد) و با ضخیم‌ترین لایه‌های سطحی (۵ میلی‌متر) بوده است.

- 1- Chelak
- 2- Newman
- 3- Choupani

در حالی که پوشش پلی‌اورتان استفاده شده از پوشش‌های دوجزئی است و سخت‌شدن آن منوط به اضافه نمودن سخت‌کننده ایزوسیاناتی است. در پوشش پلی‌اورتان به دلیل وجود ایزوسیانات امکان تشکیل پیوندهای شیمیایی با چوب (پیوندهای کووالانسی) هم‌زمان با چسبندگی مکانیکی وجود دارد، که نتیجه آن بالاتر بودن چسبندگی این پوشش به سطح تخته‌خرده‌چوب است. لتیباری نیز بیان نمود که امکان واکنش مستقیم بین گروه ایزوسانات با چندین گروه هیدروکسیل موجود در لیگنین، مخصوصاً کربوهیدرات‌های چوب و تشکیل پیوندهای کووالانسی (چسبندگی شیمیایی) وجود دارد [۲۴]. در همین رابطه چلاک^۱ و نیومن^۲ نیز امکان تشکیل پیوندهای شیمیایی از طریق پیوندهای هیدروژنی و پلی‌اورتان کووالانسی را در ایزوسیانات با گروه‌های OH چوب نشان دادند [۳۳]. چوپانی^۳ و همکارانش نیز به نتایج مشابهی در مورد امکان تشکیل پیوندهای شیمیایی بین گروه‌های ایزوسیانات و چوب دست یافتند [۳۴].

۴- نتیجه‌گیری

ویژگی‌های سطحی و میزان چسبندگی پوشش پانل‌های سبک وزن هسته فوم به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار در افزایش قابلیت کاربرد آن‌ها در صنایع مبلمان است. از این روی در تحقیق حاضر تاثیر دو نوع پوشش اعمالی (پلی‌اورتان و آکرلیک پایه آب) و همچنین نوع زیرآیند حاصل از شرایط مختلف پرس گرم بر ویژگی‌های سطحی و میزان استحکام چسبندگی پوشش پانل‌های سبک وزن هسته فوم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که

1. Ü. Büyüksarı, Surface characteristics and hardness of MDF panels laminated with thermally compressed veneer. *Composites Part B*. 44(2013), 675-678.
2. A. Falahatnezhad, H. R. Mansouri, F. Heydari, Investigation of characteristics of green particleboard made with natural adhesive corn flour/soybean meal flour. *J. For. Wood Prod.* 71(2018), 61-70.
3. T. Dilik, S. Erdinler, E. Hazır, H. Koç, S. Hiziroglu, Adhesion strength of wood based composites coated with cellulosic and polyurethane paints. *Adv. Mater. Sci. Eng.* (2015), 1-5.
4. N. Ayırlımış, Z. Candan, T. Akbulut, O. Balkiz, Effect of sanding on surface properties of medium density fiberboard. *Drvna industrija: Znanstveni časopis za pitanja drvne tehnologije*. 61(2010), 175-181.
5. M. Akgül, S. Korkut, O. Çamlıbel, Z. Candan, T. Akbulut, Wettability and surface roughness characteristics of medium density fiberboard panels from rhododendron (*Rhododendron ponticum*) biomass. *Maderas. Cienc. Tecnol.* 14(2012), 185-193.
6. P. H. G. de Cademartori, A. R. de Carvalho, P. R. D. Marangoni, M. A. C. Berton, P. Blanchet, G. I. B. de Muniz, W. L. E. Magalhães, Adhesion performance and film formation of acrylic emulsion coating on medium density fiberboard treated with Ar plasma. *Int. Adhes. Adhes.* 70(2016), 322-328.
7. N. Ayırlımış, J. T. Benthien, H. Thoemen, Effects of formulation variables on surface properties of wood plastic composites. *Composites part B*. 43(2012), 325-331.
8. S. C. Moldoveanu, V. David., Selection of the HPLC method in chemical analysis. Elsevier. (2016).
9. G. Nemli, I. Ozturk, I. Aydin, Some of the parameters influencing surface roughness of particleboard. *Build. Environ.* 40(2005), 1337-1340.
10. G. Nemli, I. Aydin, E. Zeković, Evaluation of some of the properties of particleboard as function of manufacturing parameters. *Mater Des*, 28(2007), 1169-76.
۱۱. م. غفرانی، س. خجسته خسرو، اثر کیفیت پرداخت سطح چوب بر مقاومت چسبندگی در شفاف پوشه‌ها. نشریه علمی علوم و فناوری رنگ. ۴(۱۳۹۲)، ۳۳۹-۳۴۵.
12. A. Miszczyk, T. Schauer, Electrochemical approach to evaluate the interlayer adhesion of organic coatings. *Prog. Org. Coat.* 52(2005), 298-305.
13. P. Bekhta, T. Krystofiak, S. Proszkyk, B. Lis, Adhesion strength of thermally compressed and varnished wood (TCW) substrate. *Prog. Org. Coat.* 125(2018), 331-338.
14. E. S. Erdinler, K. H. Koc, T. Dilik, E. Hazır, Layer thickness performances of coatings on MDF: Polyurethane and cellulosic paints. *Maderas. Cienc. Tecnol.* 21(2019).
15. H. R. Taghiyari, A. Samadarpour, Effects of nanosilver-impregnation and heat treatment on coating pull-off adhesion strength on solid wood. *Wood Industry/Drvna Industrija*, 66(2015), 321-327.
16. T. Ozdemir, S. Hiziroglu, A. Malkocoglu, Influence of relative humidity on surface quality and adhesion strength of coated medium density fiberboard (MDF) panels. *Mater. Design*. 30(2009), 2543-2546.
17. S. Danu, D. Darsono, Electron beam curing of epoxy acrylate coatings on medium-density fiberboard. *Indonesian J. Chem.* 8(2008), 207-214.
18. A. Shalbafan, J. Welling, J. Luedtke, Effect of processing parameters on mechanical properties of lightweight foam core sandwich panels. *Wood Mater. Sci. Eng.* 7(2012), 69-75.
19. BS EN 311, Wood-based panels. Surface soundness. Test method. European Standardization Committee, Brussels; (2002).
20. J. G. Boon, R. Hashim, O. Sulaiman, T. Sugimoto, M. Sato, N. Salim, M. S. Fatimah, Importance of lignin on the properties of binderless particleboard made from oil palm trunk. *ARPJ J. Eng. Appl. Sci.* 12(2006), 33-40.
21. S., Saadati, H. R. Mansouri, B. Nosrati, Manufacturing of adhesive free wood-based panels by using sanding dust. *J. For. Wood Products*. 70(2017), 325-331. (in Persian)
22. Z. W. Zhong, S. Hiziroglu, C. T. M. Chan, Measurement of the surface roughness of wood based materials used in furniture manufacture. *Meas.* 46(2013), 1482-1487.
23. T. Tabarsa, A. Ashori, M. Gholamzadeh, Evaluation of surface roughness and mechanical properties of particleboard panels made from bagasse. *Composites Part B*. 42(2011), 1330-1335.
24. A. Jahan Latibari, Science and technology of adhesion for lignocellulosic substances, Islamic Azad university, Karaj. (2007).
25. E. Csanády, E. Magoss, L. Tolvaj, Quality of machined wood surfaces, Springer. (2015).
26. A. Pizzi, K. L. Mittal, Wood adhesives. CRC Press, (2011).
27. K. Yaghoobi, Influence of hydrothermal treatment on physical, mechanical and acoustic properties of mulberry (*Morus alba L.*) Wood. Master's thesis, Noshahr and Chalous Islamic Azad University (2007).
28. G. Mirzaei, B. Mohebbi, M. Tasooji, The effect of hydrothermal treatment on bond shear strength of beech wood. *European J. Wood Wood Prod.* 70(2012a), 705-709.
29. J. J. Weiland, R. Guyonnet, Study of chemical modification and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 61(2003), 216-220.
30. M. J. Boonstra, B. Tjeerdsma, Chemical analysis of heat treated softwoods. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 64(2006), 204-211.
31. Gh. Mirzaei, B. Mohebbi, T. Tabarsa, Collapsibility and wettability of hydrothermally treated wood. *Iranian J. Wood Paper Industries*. 3(2012b), 1-11.
32. M. Ghofrani, E. Samadi, S. Khojasteh khosro, Heat treatment of wood and the investigation of its effect on surface wettability and adhesion strength of coating. *Iranian J. Wood Paper Sci. Res.* 31(2016), 362-373. (in Persian)
33. W. Chelak, W. H. Newman, MDI high moisture content bonding mechanism, parameters, and benefits using MDI in composite wood products. Proc. the. Washingt. State Univ. *Int. Part. Mater. Ser. Symp.* 1991.
34. K. Choupani, A. Shalbafan, J. Welling, Effect of ingredient ratios of rigid polyurethane foam on foam core panels properties. *J. Appl. Polym. Sci.* 134(2017), 44722-44729.