

مقاله پذیرفته شده

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

نویسندگان: سعید خجسته خسرو، علی شالبافان، هایکو تومن

شماره مقاله: JCST-1901-1034

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷-۱۱-۱۰

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸-۲-۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸-۲-۲۸

خواهشمند است این مقاله به صورت زیر در مراجع قید شود:

س. خجسته خسرو، ع. شالبافان، ه. تومن. : ارزیابی استحکام چسبندگی پوشش و ویژگی‌های لایه‌های سطحی تخته‌های سبک وزن هسته فوم. نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ، (۱۳۹۸)، JCST-1901-1034.

این فایل pdf مقاله ویرایش نشده است که برای چاپ پذیرفته شده است. مکت مقاله توسط دفتر نشریه علوم و فناوری رنگ تهیه شده و قبل از چاپ برای ویرایش نهایی به نویسنده مسئول مقاله ارسال می‌شود.

Accepted Manuscript

Title: Evaluation of adhesion strength of coatings and face layers properties of foam core lightweight panels

Authors: S. Khojasteh Khosro, A. Shalbfafan, H. Thoemen

To appear in: Journal of Color Science and Technology

Receives date: 30-01-2019

Revises date: 05-05-2019

Accepted date: 18-05-2019

Please cite this article as:

S. Khojasteh Khosro, A. Shalbfafan, H. Thoemen. Evaluation of adhesion strength of coatings and face layers properties of foam core lightweight panels. *J. Color. Sci. Tech.* (2019), JCST-1901-1034.

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form.



ارزیابی استحکام چسبندگی پوشش و ویژگی های لایه های سطحی تخته های سبک وزن

هسته فوم

سعید خجسته خسرو^۱، علی شالبافان^{۲*}، هایکو تومن^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.

۲* - استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.

a_sh1674@yahoo.com

۳- استاد گروه مهندسی کشاورزی، چوب و عمران، دانشگاه علوم کاربردی برن، سوئیس.

چکیده

هدف از تحقیق حاضر ارزیابی استحکام چسبندگی پوشش تخته های سبک وزن هسته فوم می باشد. تخته های سبک وزن با روش پیوسته یک مرحله ای و لایه های سطحی با ضخامت های ۳، ۴ و ۵ میلی متر و با دمای پرس در دو سطح ۱۳۰ و ۱۶۰ درجه سانتی گراد تولید شدند. استحکام چسبندگی پوشش های آکرلیک پایه آب و پلی یوتان پایه حلال اعمالی روی تخته های سبک وزن نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که با افزایش ضخامت لایه های سطحی در تخته های تولیدی با دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد، استحکام سطحی، زبری و ترشوندگی سطح افزایش قابل توجهی یافته است. در حالی که در تخته های تولیدی با دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد با افزایش ضخامت لایه های سطحی، استحکام سطحی، زبری و ترشوندگی سطح کاهش قابل توجهی یافت. همچنین نتایج بیانگر بالاتر بودن میزان چسبندگی پوشش های پلی اورتان در اکثر تیمارها نسبت به پوشش های آکرلیک پایه آب بود. بیشترین میزان چسبندگی پوشش نیز در تخته های تولیدی با دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد، لایه های سطحی ۵ میلی متر و با پوشش پلی یورتان به دست آمده است.

واژه های کلیدی: تخته های سبک وزن، پانل ساندویچی، پوشش آکرلیک، پلی یورتان، پروفیل دانسیته، ترشوندگی، چسبندگی پوشش.

Evaluation of adhesion strength of coatings and face layers properties of foam core lightweight panels

Saeed Khojasteh Khosro¹, Ali Shalbfan^{2*}, Heiko Thomen³

1- Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

2- Wood Science and Technology Department, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

3- Wood and Civil Engineering Department, Bern University of Applied Science, Biel, Switzerland.

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. Adhesion strength of acrylic and polyurethane coating on lightweight panels was also 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 poly 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.

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

فرآورده‌های فشرده چوبی نظیر تخته‌خرده‌چوب و تخته فیبر دانسیته متوسط (MDF) از جمله فرآورده‌های چوبی هستند که کاربرد آن‌ها برای مصارفی مانند کابینت‌های آشپزخانه، مبلمان صفحه‌ای، دکوراسیون منزل، فروشگاه‌ی و نمایشگاهی در حال افزایش است [۱، ۲]. علاوه بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی این فرآورده‌ها، ویژگی‌های لایه‌های دکوراتیو و تزئینی اعمالی روی سطح فرآورده‌های فشرده چوبی (روکش و پوشش اعمالی روی سطوح فرآورده‌های فشرده چوبی) تأثیر زیادی روی کاربرد نهایی این فرآورده‌ها می‌گذارند [۳، ۴]. پایداری مناسب روکش و پوشش اعمالی روی سطوح فرآورده‌های فشرده چوبی علاوه بر افزایش عمر سرویس‌دهی محصولات، بر روی میزان انتشار فرم‌آلدهید 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 نشأت‌گرفته 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 حداکثر 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 دانسیته 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 می‌گذارند [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]. Dilik و همکاران (۲۰۱۵) 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 [۶، ۱۴]. Taghiyari و همکاران (۲۰۱۵) هم دانسیته و خصوصیات مکانیکی فرآورده‌های فشرده چوبی را عاملی تأثیرگذار روی چسبندگی پوشش دانستند [۱۵]. Ozdemir و همکاران (۲۰۰۹) نیز رطوبت نسبی محیط را عاملی تأثیرگذار بر زبری سطح و استحکام چسبندگی پوشش پلی‌یوتان 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 Danu و Darsono (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

مقاله پذیرفته شده

پیدا نمود [۱۸]. تغییر فرآیند تولید در ساخت تخته‌های سبک‌وزن می‌تواند علاوه بر تأثیر روی ویژگی‌های مقاومتی آن‌ها، ویژگی‌های سطحی (زبری و ترشوندگی سطح، دانسیته و ...) تخته‌های تولیدی و همچنین میزان استحکام چسبندگی پوشش آن‌ها را تحت تاثیر قرار دهد [۱۳]. از طرف دیگر با توجه به اینکه کاربرد نهایی تخته‌های سبک‌وزن وابستگی زیادی به کیفیت مناسب لایه‌های دکوراتیو (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.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

برای لایه‌های سطحی تخته‌های سبک‌وزن، از 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 فرم‌آلدئید با درصد ماده خشک 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 آمونیوم 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^۱) با میانگین اندازه ذرات ۰/۵ میلی‌متر استفاده گردید. گرانول‌های EPS از شرکت SunporKunststoff GmbH کشور اتریش تهیه شدند. برای پوشش دهی لایه‌های سطحی پانل‌های سبک‌وزن نیز از پوشش‌های پایه آب آکرلیک سفید (Acro Reef - 312) و پلی‌یورتان پایه حلال بر پایه ایزوسیانات آلیفاتیکی (PU-W200) تولید شرکت ریف استفاده گردید. لازم به ذکر است که پوشش‌های آکرلیک و پلی‌یوتان سفید از جمله پوشش‌های بسیار پرکاربرد در پوشش دهی فرآورده‌های صفحه‌ای 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.

پوشش	دانسیته (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 ۲۰۰۰

جدول ۱- مشخصات فنی پوشش‌های آکرلیک و پلی‌یورتان

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

۲-۲- فرآیند تولید تخته‌ها

در این مطالعه تخته‌های سبک‌وزن هسته فوم سه لایه با ضخامت نهایی ۱۹ میلی‌متر و مطابق با روش Shalbfan و همکاران [۱۸] تولید شدند. بدین صورت که ابتدا خرده‌چوب‌ها درون چسب زن آزمایشگاهی قرار گرفته و عملیات چسب زنی 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

^۱Expandable Polystyrene

مقاله پذیرفته شده

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 مشروط سازی پانل‌های ساخته شده در شرایط آزمایشگاه، پانل‌ها به ابعاد مورد نیاز برای ارزیابی خصوصیات سطحی آن‌ها بریده شده و در شرایط استاندارد رطوبتی (5 ± 65 درصد رطوبت نسبی و 3 ± 20 درجه سانتی‌گراد) برای متعادل‌سازی رطوبت قرار گرفتند.

جدول ۲- مشخصات تیمارهای تحقیق

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



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

۲-۳- ارزیابی ویژگی‌های نمونه‌ها

به منظور بررسی تاثیر شرایط پرس روی لایه‌های سطحی نمونه‌ها، استحکام سطحی (Surface soundness) طبق استاندارد EN ۳۱۱ اندازه‌گیری گردید. استحکام سطحی پارامتری 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]. گرادیان دانسیته عمودی

مقاله پذیرفته شده

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 زبری سنج، دو فاکتور 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 قطره گذاری 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 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.

۴-۲- پوشش دهی سطح و ارزیابی استحکام چسبندگی پوشش

برای پوشش دهی سطح نمونه‌ها، ابتدا نمونه‌هایی به ابعاد 170×100 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 پوشش دهی سطح تخته‌های سبک‌وزن به این صورت بود که ابتدا پوشش آکرلیک پایه آب و پلی‌یورتان پایه حلال به‌وسیله فیلم کش روی سطوح نمونه‌های پرداخت شده اعمال شدند. ضخامت فیلم تر اعمالی روی سطوح نمونه‌ها در مرحله اول پوشش دهی 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 پاک کردن گرد حاصل از سنباده کاری، لایه دوم پوشش‌های آکرلیک و پلی‌یورتان روی سطح نمونه‌ها با ضخامت ۲۰۰ میکرون اعمال گردید. شرایط محیطی پوشش دهی نمونه‌های چوبی در هر دو روش برای تمامی نمونه‌ها ثابت در نظر 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 بر اساس استاندارد ASTM D 4541 اندازه‌گیری گردید. برای اطمینان از دقت نتایج حاصل، چسبندگی پوشش برای هر نمونه ۶ بار تکرار شد.

۵-۲- 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 نرم افزار SPSS نسخه ۲۵ برای انجام کارهای آماری استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۱-۳- پروفیل دانسیته

نتایج حاصل از ارزیابی پروفیل دانسیته 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 قابل توجهی بین پروفیل‌های دانسیته تخته‌های تولیدی با دماهای

مقاله پذیرفته شده

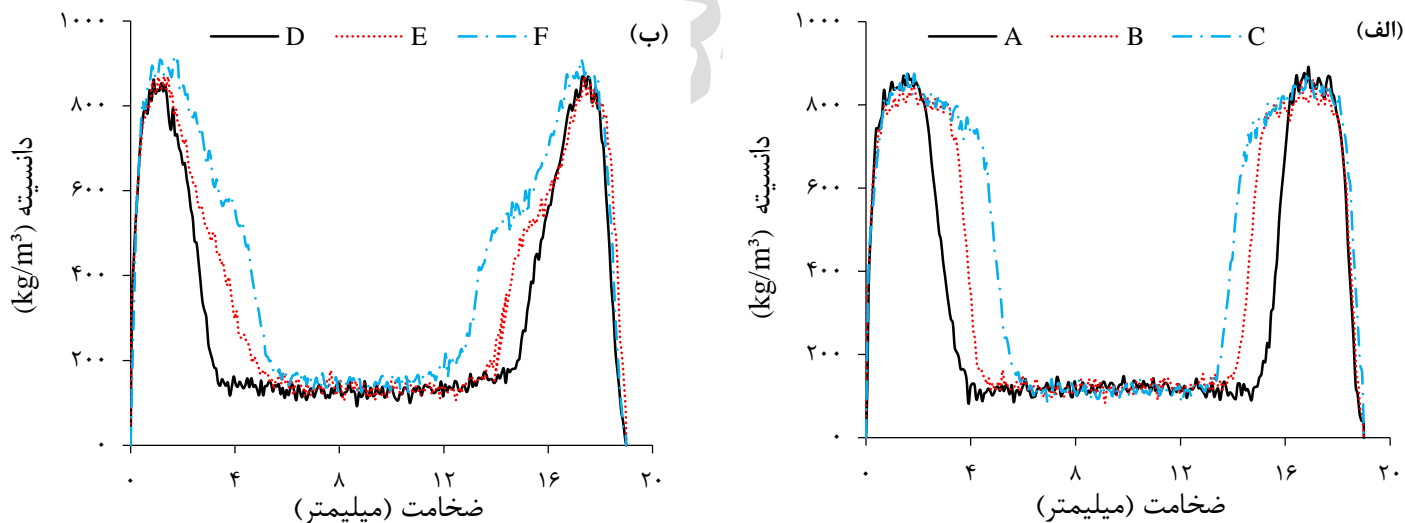
متفاوت پرس مشاهده می‌شود. پروفیل دانسیته در تخته‌های تولید شده با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد (۱-EPS) یکنواختی بیشتری را در لایه‌های سطحی و سطح مشترک لایه‌های سطحی و مرکزی نشان می‌دهند. کاهش دانسیته از لایه‌های سطحی به مرکزی در نمونه‌های ساخته شده با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد (۱-EPS) شدت بیشتری نسبت به نمونه‌های متناظر ساخته شده با دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد داشت. دلیل این موضوع در نمونه‌های EPS-۲ مربوط به وجود خرده‌چوب‌های 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 دانسیته در بیرونی‌ترین بخش‌های لایه‌های سطحی است [۲۰]. برای این منظور میانگین دانسیته 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 دانسیته در این بخش متعلق به نمونه‌های تولید شده با دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد (۲-EPS) بوده است.

دلیل این موضوع مربوط به بالاتر بودن درجه حرارت پرس در نمونه‌های ۲-EPS 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 دانسیته در بخش ۱/۵ میلی‌متری در نمونه‌های ۱-EPS و ۲-EPS با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی از ۳ به ۵ میلی‌متر به ترتیب با کاهش و افزایش نیز 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 ۱-EPS بدلیل 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 [۲۰، ۲۱].

۲-۳- استحکام سطحی

نتایج مربوط به استحکام سطحی پانل‌های سبک وزن در جدول ۳ ارائه شده است. میزان استحکام سطحی نمونه‌های ۱-EPS به طور



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

معنی‌داری بیشتر از مقادیر متناظر خود در نمونه‌های ۲-EPS 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 دانسیته نمونه‌ها نیز این امر به صورت کاملاً مشهود مشخص است (شکل ۲).

مقاله پذیرفته شده

همچنین مشاهده نمونه‌های شکسته شده نشان داد که شکست در نمونه‌های EPS-۲ در نزدیکی سطح مشترک لایه‌های سطحی و لایه مرکزی فوم اتفاق افتاده است. به عبارت دیگر، شکست در محل وجود خرده‌چوب‌های کمتر فشرده شده در نزدیکی سطح مشترک لایه‌ها اتفاق افتاده است.

جدول ۳- دانسیته ۱/۵ میلی‌متر لایه سطحی و استحکام سطحی تخته‌های سبک‌وزن

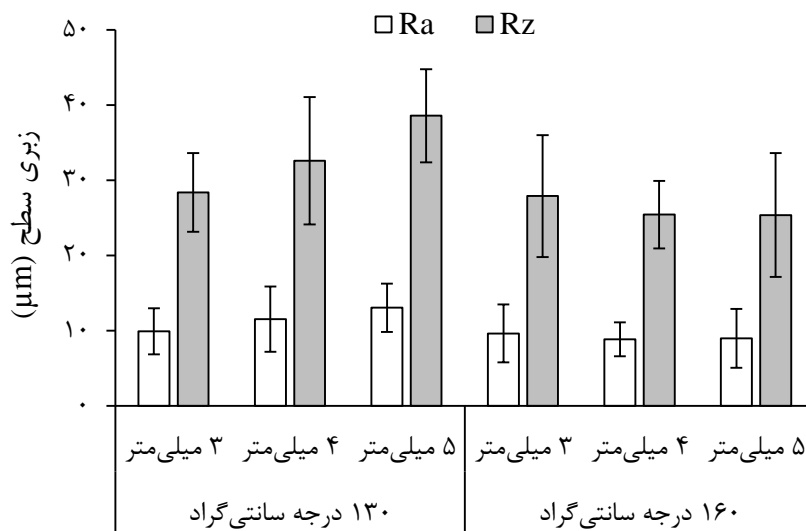
نوع تخته	دانسیته ۱/۵ میلی‌متری سطح (kg/m ³)	استحکام سطحی (MPa)
A	۶۸۸	۱/۴۷ (±۰/۰۸)
B	۶۷۸	۱/۵۵ (±۰/۰۶)
C	۶۷۶	۱/۶۷ (±۰/۰۸)
D	۶۹۲	۱/۲۹ (±۰/۰۱)
E	۷۰۲	۱/۲۰ (±۰/۰۹)
F	۷۱۸	۱/۱۴ (±۰/۰۹)

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 دانسیته نمونه‌های EPS-۲ نیز گواه بر این موضوع است. Shalbanan و همکاران (۲۰۱۲) نیز در مطالعه خود به نتایج مشابهی در این ارتباط دست یافته‌اند [۱۸].

۳-۳- زبری سطح

نتایج به دست آمده از بررسی میزان زبری لایه‌های سطحی تخته‌های سبک‌وزن هسته فوم با دو پارامتر Ra و Rz در شکل ۴ آورده شده است. در تخته‌های EPS-۱ با افزایش ضخامت لایه سطحی از ۳ تا ۵ میلی‌متر زبری سطح در هر دو پارامتر Ra و Rz افزایش قابل توجهی یافته است. زبری سطح ارتباط مستقیمی با دانسیته سطح چوب و فرآورده‌های فشرده چوبی دارد؛ به طوری که با کاهش دانسیته میزان زبری افزایش می‌یابد. همانگونه که ملاحظه می‌شود میزان زبری نمونه‌های EPS-۱ با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی به طور قابل توجهی افزایش یافته است. دلیل آن می‌تواند مربوط به کمتر بودن دانسیته در فاصله ۱/۵ میلی‌متری ابتدایی لایه‌های سطحی نمونه‌های EPS-۱ باشد (جدول ۳). Zhong و همکاران (۲۰۱۳) نیز دانسیته مواد چوبی را از عوامل مؤثر بر زبری سطح این مواد دانستند [۲۲]. Nemli و همکاران (۲۰۰۵) نیز تأثیر قابل توجه افزایش دانسیته تخته‌خرده‌چوب بر کاهش زبری سطح آن را نشان دادند [۹]. به صورت کلی با افزایش دانسیته 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 دانسیته در فاصله ۱/۵ میلی‌متری ابتدایی لایه‌های سطحی نمونه‌های EPS-۲ با افزایش همراه بوده است؛ افزایش دانسیته 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. Tabarsa و همکاران (۲۰۱۱) نیز در بررسی تأثیر زمان پرس بر زبری سطوح تخته‌خرده‌چوب به نتایج مشابهی دست یافتند [۲۳].

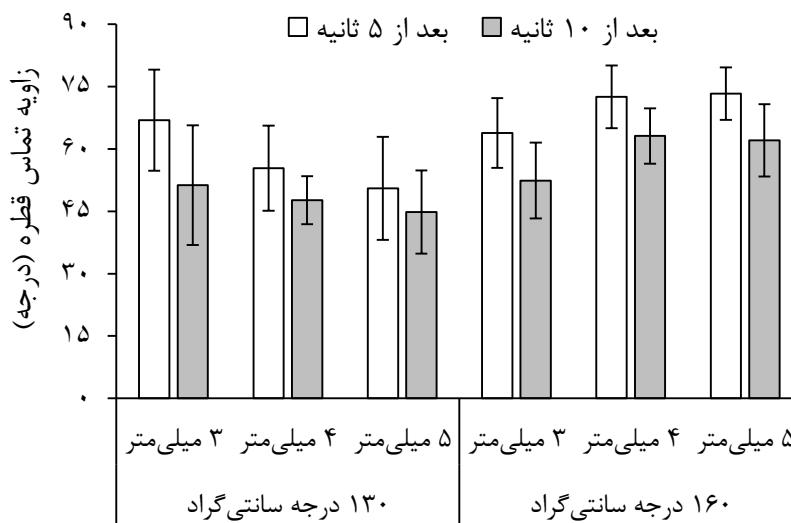


شکل ۴- کیفیت سطح (زبری سطح) لایه‌های سطحی تخته‌های سبک‌وزن

۳-۴- زاویه تماس قطره

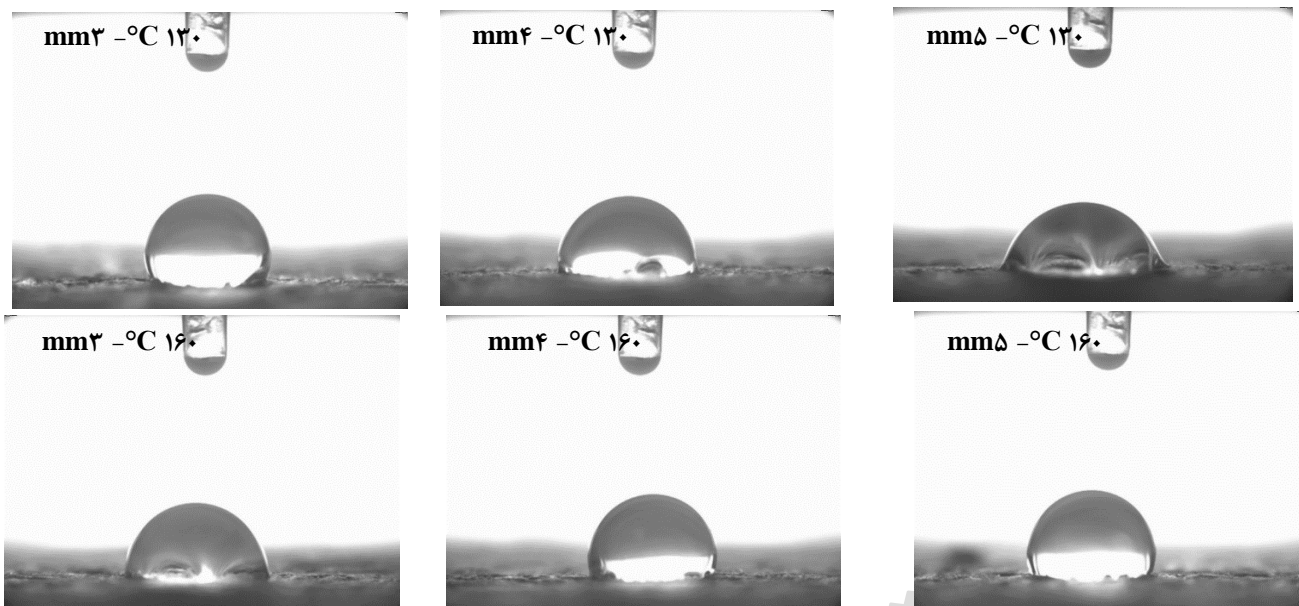
زاویه تماس قطره شاخصی برای نشان دادن میزان ترشوندگی سطح فرآورده‌های فشرده چوبی است. بررسی زاویه تماس تخته‌های سبک‌وزن هسته فوم پس از ۵ و ۱۰ ثانیه از رها نمودن قطره اندازه‌گیری و نتایج در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج بیانگر وجود اختلاف قابل توجه در میزان زبری سطح بین نمونه‌های ۱-EPS و ۲-EPS است. زاویه تماس قطره روی سطوح نمونه‌های ۱-EPS با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی از ۳ تا ۵ میلی‌متر کاهش قابل توجهی یافته است که در هر دو زمان ۵ و ۱۰ ثانیه پس از رهاسازی قطره روی سطح این اتفاق مشاهده گردید (شکل ۵)؛ به عبارت دیگر افزایش ضخامت لایه‌های سطحی باعث افزایش ترشوندگی سطوح تخته‌خرده‌چوب‌های تولیدی شده است. همانطور که در شکل ۶ نیز قابل مشاهده است در نمونه‌های ۱-EPS روند کاهش زاویه تماس در قطرات رها شده روی سطوح تخته‌های سبک وزن با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی مشخص است. این در حالی است که در نمونه‌های ۲-EPS نتیجه کاملاً عکس نسبت به نمونه‌های ۱-EPS با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی به دست آمده است. افزایش ترشوندگی سطح (کاهش زاویه تماس) در این نمونه‌ها ارتباط مستقیم با افزایش زبری سطح این نمونه‌ها دارد (شکل ۴). به صورت کلی با افزایش زبری سطح، سطح تماس در سطوح تخته‌های سبک وزن با مایع ترکننده (آب یا پوشش) افزایش می‌یابد که نتیجه آن افزایش نفوذ مایع و ترشوندگی آن است. Latibari (۲۰۰۷) و همچنین Csanády و همکاران (۲۰۱۵) بر تأثیر قابل توجه زبری سطح روی افزایش ترشوندگی سطح تأکید نموده‌اند [۲۴، ۲۶]. این در حالی است که در نمونه‌های ۲-EPS با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی تا ۴ میلی‌متر، زاویه تماس افزایش قابل توجهی داشته است. البته اختلاف زیادی بین زاویه تماس در نمونه‌های با لایه‌های سطحی ۴ و ۵ میلی‌متر مشاهده نشد که چنین روندی نیز در زبری سطح آن‌ها مشاهده شد.

مقاله پذیرفته شده



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

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 فریند تولید تخته‌های سبک وزن را می‌توان به کاهش ویسکوزیته چسب اوره فرم آلدئید 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 ترکننده 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 تخریب بخشی از ساختار بسیاری دیواره‌های سلولی (به ویژه همی سلولزها) می‌شود [۲۷-۳۰]. گروه‌های هیدروکسیل مستقر در روی بسیاری مانند سلولز و همی سلولز منشأ آبدوست بودن و جذب رطوبت در ساختار چوب هستند [۳۱]. در نتیجه تخریب ساختارهای بسیاری بخصوص همی سلولز 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 تاثیر گذار باشد.



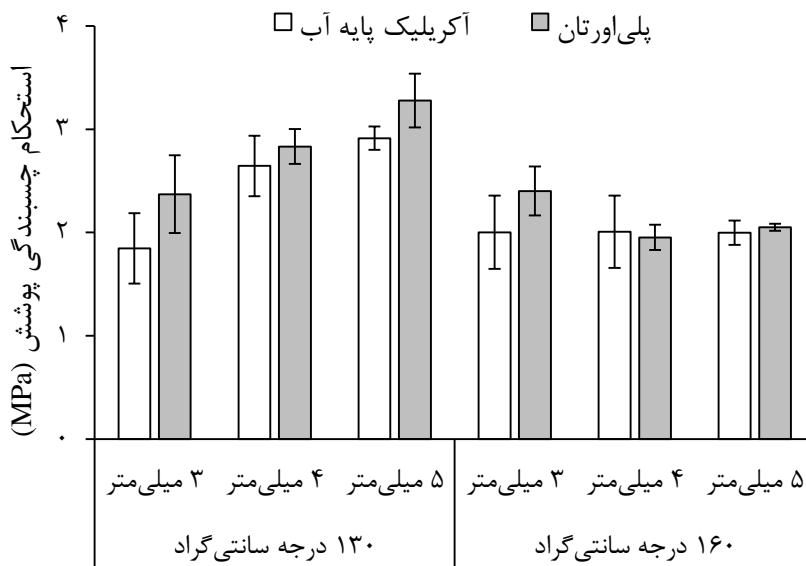
شکل ۶- شکل قطره پس ۱۰ ثانیه رهاسازی روی لایه‌های سطحی تخته‌های سبکوزن

۵-۳- 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 ۵) نیز مشخص بود، پوشش استفاده شده قابلیت بیشتری برای نفوذ به عمق لایه‌های سطحی و تشکیل اتصال چسبندگی مکانیکی با نمونه‌ها را داشته است که نتیجه آن بیشتر بودن چسبندگی پوشش در این نمونه‌ها است. همچنین بدلیل 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. Ghofrani و Khojasteh Khosro (۲۰۱۴) نیز بر تأثیر زبری سطح روی افزایش سطح تماس مایع با زیرآیند و ترشوندگی مناسب روی بهبود چسبندگی پوشش به سطح تأکید کردند [۱۱]. de Cademartori و همکاران (۲۰۱۶) و همچنین Ghofrani و همکاران (۲۰۱۶) 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 تخته‌خردده‌چوب 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 دانسیته در کل لایه‌های سطحی

مقاله پذیرفته شده

(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 (شکل ۳) نیز گواهی بر این مطلب است؛ اما در تخته‌های EPS-۲ به‌خصوص 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. Dilik و همکاران، (۲۰۱۵) نیز یکنواختی دانسیته را عاملی مهم بر چسبندگی مناسب پوشش دانستند [۳].



شکل ۶- چسبندگی پوشش‌های پلی‌یورتان و آکرلیک پایه آب به سطوح تخته‌های سبک‌وزن

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 حداکثر 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 جزو 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. در حالی که پوشش پلی‌یورتان استفاده شده جزو پوشش‌های دوجزئی است و سخت شدن آن منوط به اضافه نمودن سخت‌کننده ایزوسیاناتی است. در پوشش پلی‌یورتان 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. Latibari (۲۰۰۷) 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 Chelak و Newman (۱۹۹۱) نیز امکان تشکیل پیوندهای شیمیایی از طریق پیوندهای هیدروژنی و پلی‌اورتان کووالانس را در ایزوسیانات با گروه‌های OH چوب نشان دادند [۳۳]. Choupani و همکاران (۲۰۱۷) 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 تأثیر دو نوع پوشش اعمالی (پلی‌یورتان 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 تخته‌های تولید شده با دمای پرس ۱۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، پروفیل دانسیته همگن‌تر، دانسیته 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 درجه‌ی سانتی‌گراد، با افزایش ضخامت لایه‌های سطحی از ۳ تا ۵ میلی‌متر، دانسیته 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 پلی‌یورتان 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 پلی‌یورتان 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.

۵- مراجع

1. Ü. Büyüksarı, Surface characteristics and hardness of MDF panels laminated with thermally compressed veneer. *Composites Part B: Engineering*, 44(2013), 675-678.
2. A. Falahatnezhad, HR. Mansouri, F. Heydari, Investigation of characteristics of green particleboard made with natural adhesive corn flour/soybean meal flour. *Journal of Forest and Wood Products*, 71(2018), 61-70. (in Persian)
3. T. Dilik, S. Erdinler, E. Hazır, H. Koç, S. Hiziroglu, Adhesion strength of wood based composites coated with cellulosic and polyurethane paints. *Advances in Materials Science and Engineering*, (2015), 5p.
4. N. Ayrilmis, 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. Ciencia y tecnología*, 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. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 70(2016), 322-328.
7. N. Ayrilmis, J. T. Benthien, H. Thoemen, Effects of formulation variables on surface properties of wood plastic composites. *Composites part b: engineering*, 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. *Building and environment*, 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.
11. M. Ghofrani, S. Khojasteh Khosro, The effect of wood surface finishing quality on the adhesion strength of clear coat. *Journal of Color Science and Technology*, 7(2014), 339-345. (in Persian)
12. A. Miszczyk, T. Schauer, Electrochemical approach to evaluate the interlayer adhesion of organic coatings. *Progress in Organic Coatings*, 52(2005), 298-305.
13. P. Bekhta, T. Krystofiak, S. Proszkyk, B. Lis, Adhesion strength of thermally compressed and varnished wood (TCW) substrate. *Progress in Organic Coatings*, 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. Ciencia y Tecnología*, 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. *Materials & Design*, 30(2009), 2543-2546.
17. S. Danu, D. Darsono, Electron beam curing of epoxy acrylate coatings on medium-density fiberboard. *Indonesian Journal of Chemistry*, 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 Material Science & Engineering*, 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. 12(2006), 33-40.
21. S., Saadati, H. R. Mansouri, B. Nosrati, Manufacturing of adhesive free wood-based panels by using sanding dust. *Journal of Forest and 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. *Measurement*, 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: Engineering*, 42(2011), 1330-1335.
24. A. Jahan Latibari, Science and technology of adhesion for lignocellulosic substances, Islamic Azad university, Karaj. (2007). (in Persian)
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 Journal of Wood and Wood Products*, 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. Mirzaei1, B. Mohebbi, T. Tabarsa, Collapsibility and Wettability of Hydrothermally Treated Wood. *Iranian Journal of Wood and 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 Journal of Wood and Paper Science Research*, 31(2016), 362-373. (in Persian)
33. W. Chelak, WH. 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. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(2017), 44722-44729.