

شناسایی سازوکار چسبندگی پوشش‌های چوب و روش‌های ارزیابی نفوذ پوشش

هادی غلامیان^{۱*}، بهنام غلامپور^۲

۱- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، صندوق پستی: ۴۱۱۱.

۲- دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، صندوق پستی: ۴۱۱۱.

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۲۵ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۹/۰۷/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۲۱ در دسترس به صورت الکترونیک: ۹۹/۰۹/۳۰

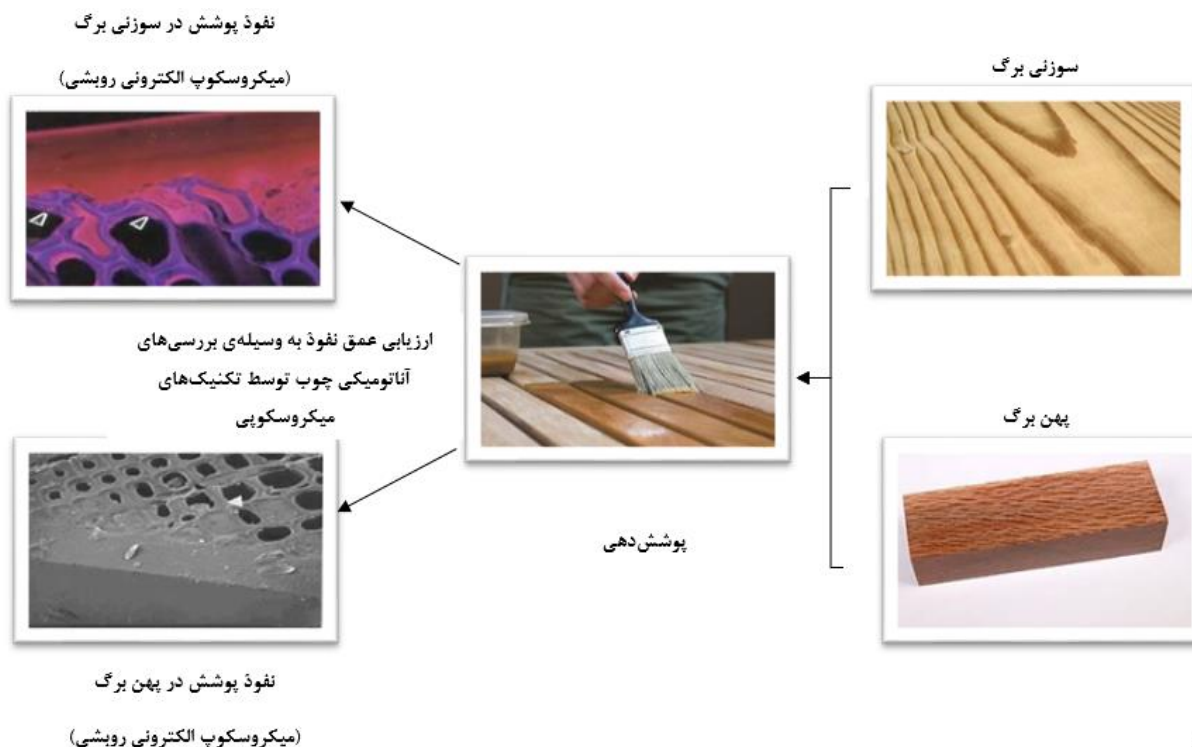
چکیده

در این مطالعه سازوکار نفوذ پوشش‌های مختلف به بافت چوب مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام شده در زمینه بررسی‌های میکروسکوپی، میزان نفوذ پوشش به بافت چوب سوزنی‌برگان و پهن‌برگان متفاوت بوده است. در میان عوامل موثر بر میزان نفوذ، تاثیر ساختار آناتومی از اهمیت بالایی نسبت به سایر عوامل برخوردار می‌باشد. در این مطالعه، ابتدا سلول‌های چوبی از دیدگاه آناتومی مورد بررسی قرار گرفت و سپس، سازوکارهای نفوذ پوشش به بافت چوب بررسی شد. به طور کلی، شناخت ساختار آناتومی چوب و ویژگی‌های پوشش، کمک شایانی به بهبود روش‌های پوشش‌دهی چوب کرده است. نتایج نشان داد، آماده‌سازی سطح زیرین پوشش نظیر رنده‌کاری و سنباده‌زنی سبب ایجاد تغییرات نفوذ پوشش در بافت چوب می‌شود. همچنین، سنباده‌زنی باعث تغییر شکل سلول و مسدود شدن منافذ شده و یا حتی کاملاً از نفوذ پوشش جلوگیری می‌کند. محل نفوذ پوشش در بافت چوب در داخل حفرات آوندی و منافذ می‌باشد. پوشش‌های پایه آب توانسته‌اند نفوذ بیشتری نسبت به پوشش‌های پایه حلال در چوب داشته باشند. به علاوه، وسایل چوبی دارای سطح زبر، جذب بیشتری از پوشش را دارد و باعث بهبود عملکرد در جذب مواد رنگی می‌شود.

واژه‌های کلیدی

انرژی سطحی، چسبندگی، نفوذپذیری، گرانروی، میکروسکوپ.

چکیده تصویری



A₁



Identify the Mechanism of Adhesion Wood Coatings and Coating Penetration Assessment Techniques

Hadi Gholamiyan*, Behnam Gholampoor

Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, P. O. Box: 4111, Karaj, Iran.

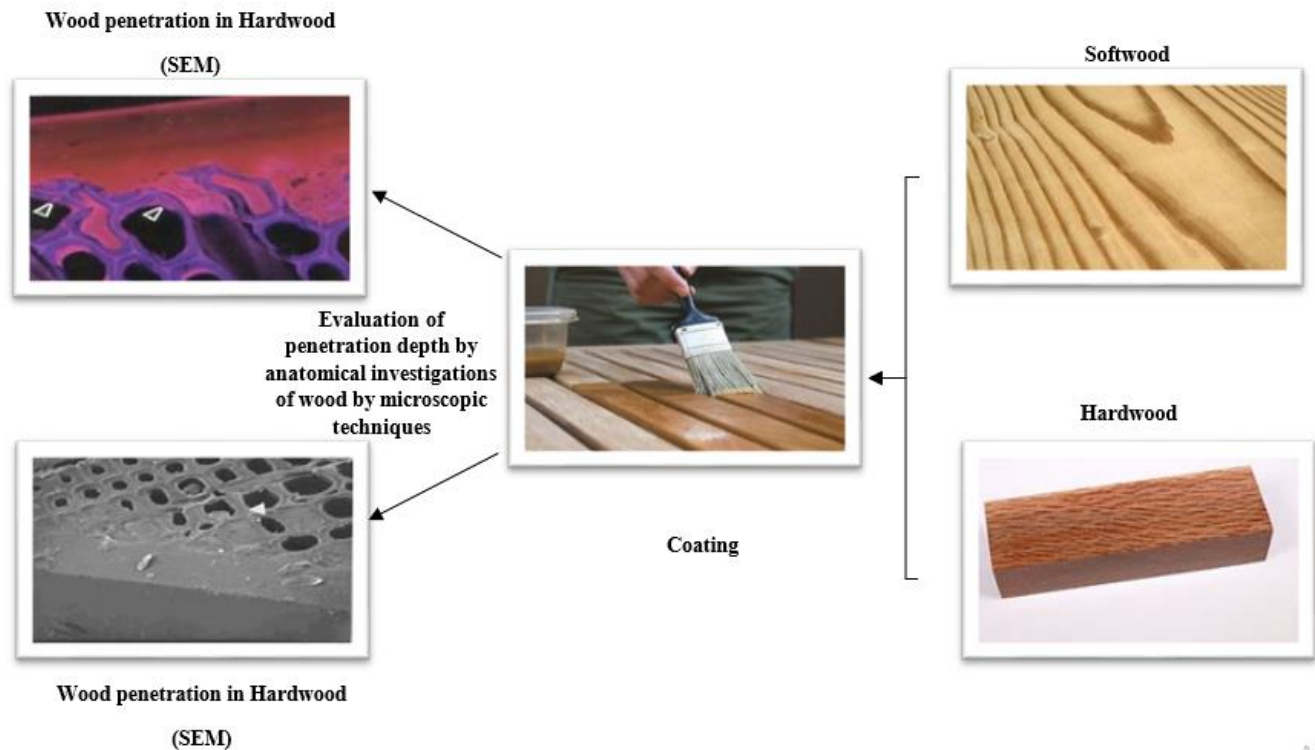
Abstract

In this study, the mechanism of penetration of various coatings on wood texture was investigated. Based on the results of microscopic studies, the penetration of the coating into the texture of soft and hard wood has been different. Among the factors affecting the penetration rate, the effect of anatomical structure is more important than other factors. In this study, wood cells were examined from an anatomical point of view and then, the mechanisms of coating penetration into wood tissue were investigated. In general, understanding the anatomical structure of wood and the characteristics of the coating has greatly contributed to the improvement of wood coating methods. The results showed that the preparation of the substrate surface such as grating and sanding causes changes in the penetration of the coating in the wood texture. Also, sanding causes the cell to deform and clog pores, or even completely prevent the coating from penetrating. The coating penetrates the wood tissue inside the vessel, wood rays and punctuation. Water-based coatings have been able to have more penetration than solvent-based coatings in wood. In addition, wood with a rough surface absorbs more of the coating and improves performance in absorbing pigments.

Keywords

Surface energy, Adhesion, Permeability, Viscosity, Microscope.

Graphical abstract



۱- مقدمه

پوشش‌دهی یکی از مهم‌ترین مراحل پرداخت نهایی محصولات چوبی می‌باشد. این مرحله از تولید، از دیدگاه نوع پوشش و همچنین بستر پوشش‌دهی (چوب ماسیو، تخته لایه یا سایر فرآورده‌های چوبی)، قابل بحث و بررسی می‌باشد [۱]. هدف از این تحقیق، جمع‌آوری نتایج مطالعات در زمینه نوع و تاثیر بافت گونه چوبی بر عمق نفوذ و شرایط پوشش‌دهی می‌باشد و سعی بر آن است که با بحث در زمینه ماده چوبی رویکردهای علمی برای پژوهش‌های آتی ارائه گردد.

در طول ۴۰ سال گذشته، نفوذ رزین‌ها به بافت چوب، موضوع تحقیقات گسترده‌ای در زمینه پوشش‌های چوب بوده است. جدیدترین فناوری‌های پوشش‌دهی چوب در این مطالعات بررسی شده است. این مطالعه در خصوص پوشش‌های آلیکده‌های پایه حلال، روغن‌های خشک‌کننده^۱ [۲-۴] آغاز و پوشش‌های پایه آب در حال گسترش می‌باشد [۵-۸]. پوشش‌های آلیکدی پایه آب با مقدار ماده جامد بالا و روغن‌های گیاهی محلول در آب به دلیل قابلیت نفوذ بهتری پس از پوشش‌های آکریلیکی قرار می‌گیرند [۹-۱۱]. همچنین مطالعات زیادی بر روی سیستم‌های پوشش‌دهی برای مصارف خارجی انجام شده است، اما درباره پوشش داخلی از جمله مبلمان یا پارکت به ندرت تحقیقاتی منتشر شده است.

۱-۱- روش‌های ارزیابی سطح تماس پوشش و چوب

بیشتر مطالعات در زمینه ویژگی‌های نفوذ پوشش در بافت چوب مربوط به مطالعات میکروسکوپی می‌باشد [۱۲، ۱۳]. یکی از متداول‌ترین روش‌ها، میکروسکوپ فلورسنس^۲ همراه با رنگ فلوروسنس پیوند خورده به پوشش می‌باشد. استفاده از فلوروکرم^۳ جهت رنگ‌آمیزی و شناسایی بافت چوبی و همچنین عمق نفوذ پوشش توسط خلل و فرج چوب امکان‌پذیر می‌باشد. اخیراً، از میکروسکوپ هم‌کانونی جهت شناسایی پوشش در چوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش دیگر برای تشخیص

نفوذ، استفاده از کربن ۱۴ است [۱۴]. در استفاده از رنگدانه فلوروسنس، رزین به لحاظ شیمیایی به شدت تغییر ماهیت و واکنش می‌دهد و رنگدانه فلوروسنس ممکن است تا حدودی خواص چسبندگی یا پوشش را تغییر دهد. بنابراین، استفاده از روش کربن ۱۴ در مقایسه با رنگدانه فلوروسنس دارای ارجحیت بیشتری می‌باشد. بزرگترین محدودیت میکروسکوپ فلوروسنس، عدم امکان دستیابی به بزرگنمایی‌های زیاد است. از این رو، برای بزرگنمایی حدود ۲۰۰ برابر، روش‌های میکروسکوپ الکترونی اسکن‌کننده به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند، اگر چه رسیدن به قدرت تفکیک^۴ مناسب بین پوشش و چوب بسیار آسان نیست. برای تشخیص رنگدانه می‌توان از تحلیل طیف‌سنجی پراکندگی انرژی^۵ (EDAX) استفاده کرد. این ابزار تحلیلی برای تشریح الگوی نفوذ پوشش خشک‌شده به ساختار منافذ چوب کاملاً مناسب می‌باشد. اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه ماهیت کیفی دارند، اما برخی مطالعات نیز داده‌های کمی را بر اساس اندازه‌گیری عمق نفوذ در جهت محوری یا با تجزیه و تحلیل تصویر ارائه می‌نمایند. چند نمونه از تصاویر فلورسنت و میکروسکوپ الکترونی روبشی از چوب دارای پوشش در شکل ۱ نشان داده شده است [۱۵].

امکان مطالعه سازوکار نفوذ پوشش مایع در محل^۶ و ارزیابی محل قرارگیری پوشش مایع در حفرات سلولی و دیواره سلول وجود ندارد. در این راستا بعضی از ابزار پیشرفته‌تر مانند میکروسکوپ رزونانس مغناطیسی (MRI) با کیفیت تصویر مناسب برای مطالعه الگوهای جریان در مقیاس سلولی، میکروسکوپ الکترونی روبشی محیطی (ESEM) و تصویربرداری از طریق طیف‌سنجی جرمی یون ثانویه (TOF-SIMS)^۷ به منظور مطالعه تغییرات ترکیب شیمیایی در طی نفوذ پوشش ممکن است در آینده استفاده شود. یکی دیگر از رویکردهای این تحقیق، بررسی جذب دینامیک مواد پوشش‌دهنده به داخل چوب، اندازه‌گیری میزان ماده نفوذ یافته در سطوح چوبی می‌باشد [۱۶].

⁴ Contrast

⁵ Energy Dispersive Spectroscopy

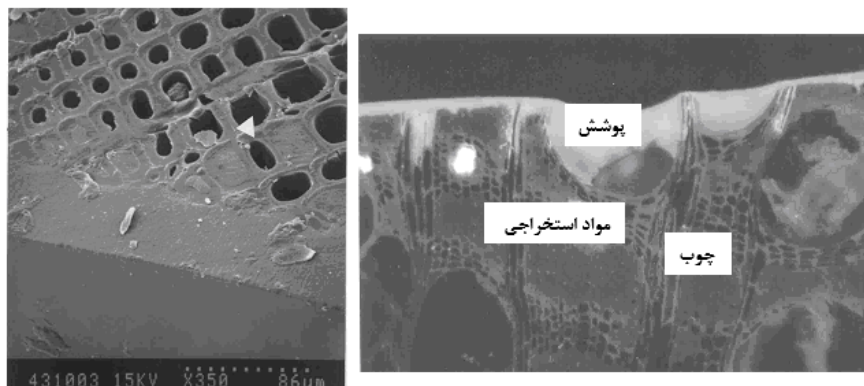
⁶ In situ

⁷ Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry

¹ Drying oils

² Fluorescence microscopy

³ Fluorochrome

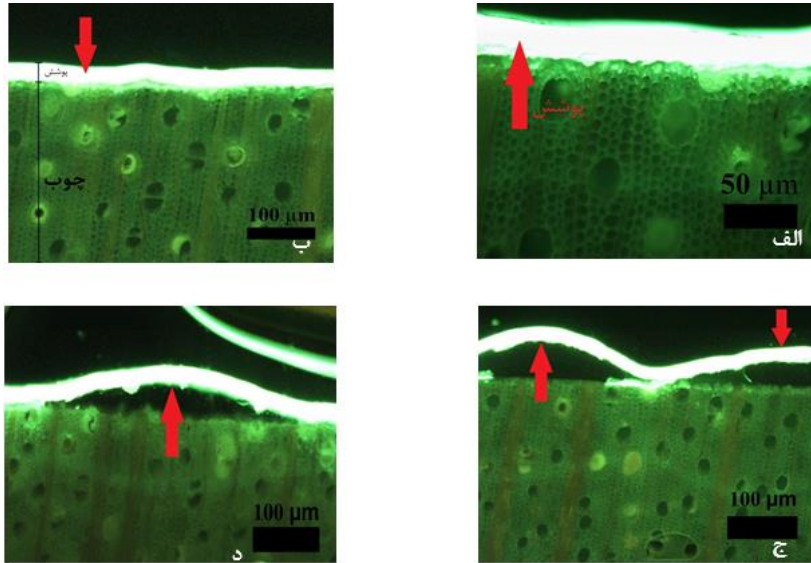


شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی پوشش با رنگدانه در چوب سوزنی‌برگ (سمت راست)، تصویر میکروسکوپ فلوروسنس از پوشش در چوب مراتی (سمت چپ) [۱۵]

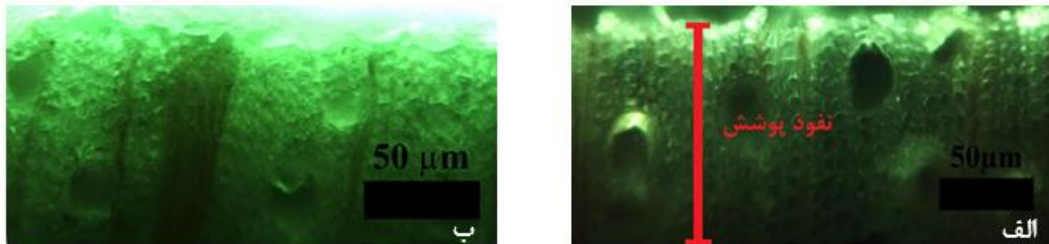
مقاله

دیوارهای سلولی نفوذ کرده بود. مطالعات میکروسکوپ هم‌کانونی نشان داد، در اثر آمایش سطح چوب با فرآیند سل‌ژل از میزان زبری پوشش‌های آلکیدی و پلی‌یورتان در اثر هوازگی کاسته می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳) [۱۷]. مطالعات میکروسکوپ فلوروسنس بر روی پوشش‌های چوب نشان داده است که تخریب سطحی نظیر ترک‌ها و برجستگی‌ها و میزان عمق نفوذ و میزان خمیدگی پوشش‌ها در اثر هوازگی افزایش می‌یابد (شکل ۴) [۲۰-۱۸].

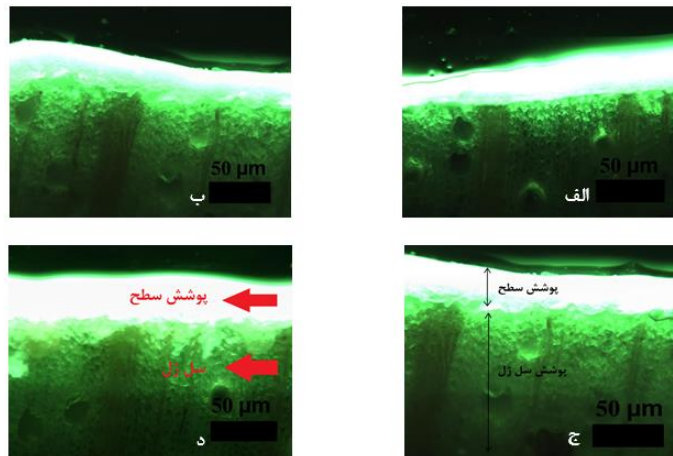
در مطالعات انجام شده در زمینه اثرات اصلاح سطح چوب صنوبر با فرآیند سل‌ژل بر کیفیت پوشش‌دهی آن با پوشش‌های آلکیدی و پلی‌یورتان برای کاربرد در فضای باز، نتایج مطالعات طیف‌سنجی پراکندگی انرژی حاکمی از حضور گروه‌های سیلانی در نمونه اصلاح شده با فرآیند سل‌ژل بود. طبق نتایج مطالعات میکروسکوپی فلوروسنس، بر خلاف پوشش‌های آلکیدی و پلی‌یورتان که فقط حفرات سلولی را پر کرده بودند، پوشش سل‌ژل بیشتر در



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی محل قرارگیری پوشش‌های آلکیدی (الف و ج) پلی‌یورتان، (ب و د) قبل و بعد از هوازگی؛ شکل‌های بالا: قبل از هوازگی و شکل‌های پایین: بعد از هوازگی [۱۷].



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی محل قرارگیری پوشش‌های سل‌ژل قبل و بعد از هوازگی؛ الف: قبل از هوازگی و ب: بعد از هوازگی [۱۷].



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از نمونه پوشش خورده با پوشش‌های ترکیبی سل‌ژل، آلکیدی و پلی‌یورتان (TAS: الف و ج TPS: ب و د) قبل از هوازگی (الف و ب) و بعد از هوازگی (ج و د) [۱۷].

۱-۲- تأثیر ساختار آناتومی سوزنی‌برگان و پهن‌برگان بر نفوذ پوشش

در صورت پوشش‌دهی سلول‌های چوبی، سه روش مختلف نفوذ به داخل حفرات سلولی سوزنی‌برگان، قابل تشخیص است (شکل ۵). ابتدا، تراکئیدهای طولی^۱ بیرونی به طور مستقیم با پوشش‌هایی که از انتهای باز تراکئیدها روی سطح جریان می‌یابند، پر می‌شوند. این پدیده عمدتاً در چوب آغاز^۲ رخ می‌دهد. زاویه بین محور طولی تراکئید و سطح تماس تأثیر زیادی بر اهمیت این سازوکار دارد. در روش دوم، همانند روش اول نفوذ از طریق انتهای باز سلول‌های اشعه شروع می‌شود. میزان انتقال پوشش در جهت سلول‌های اشعه چوبی به شدت وابسته به نوع گونه چوبی می‌باشد. در چوب کاج، بخش عمده پوشش در طول سلول‌های پارانشیم^۳ جریان می‌یابد، بنابراین انتقال از یک سلول به دیگر سلول باید امکان‌پذیر باشد. در چوب نوتل، پوشش تقریباً فقط از طریق تراکئیدهای اشعه نفوذ می‌کند. سومین روش نفوذ، از سلول‌های اشعه به تراکئیدهای طولی مجاور در چوب‌پایان است. میزان حمل و نقل از اشعه‌ها به تراکئیدها به شدت وابسته به نفوذپذیری منافذ میدان تلاقی^۴ است و تقریباً به طور کامل به برون‌چوب کاج محدود می‌شود. اهمیت اهمیت سه سازوکار نفوذ ذکر شده، نشان می‌دهد که نفوذ پوشش‌ها می‌تواند به شدت تحت تأثیر روش برش تخته‌ها از یک گرده‌بینه قرار بگیرد. این امر به دلیل اثر تفاوت در حلقه‌های رویشی عمودی و افقی، جهت‌گیری الیاف نسبت به سطح، پهنای چوب آغاز و چوب‌پایان و تعداد اشعه‌ها در سطوح شعاعی و مماسی می‌باشد. منشاء چوب ممکن است به دلیل اختلاف در نسبت چوب آغاز و پایان، شرایط منافذ، تعداد اشعه‌ها و طول تراکئیدهای طولی نفوذ چوب را تحت تأثیر قرار دهد. شرایط خشک شدن چوب نیز ممکن است به دلیل مکش منفذی^۵ تأثیراتی بر روی نفوذ پوشش بگذارد [۱۵].

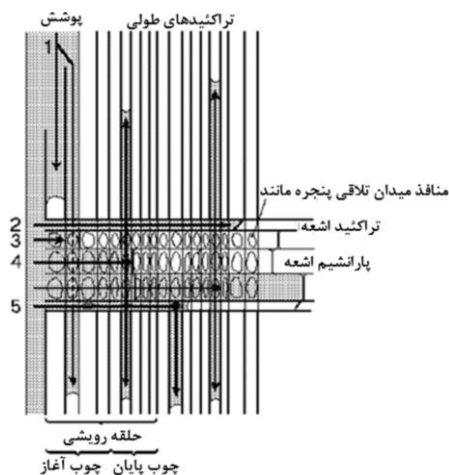
۱. حرکت به داخل در تراکئیدهای طولی با انتهای باز
۲. حرکت به داخل در تراکئید اشعه
۳. حرکت به داخل در پارانشیم اشعه
۴. حرکت از پارانشیم اشعه به داخل تراکئید طولی چوب‌پایان
۵. حرکت از تراکئید اشعه به داخل تراکئید طولی

نفوذ در پهن‌برگان، به طور عمده به پر شدن آوندها و سلول‌های ابتدایی اشعه‌ها و خیلی به ندرت پارانشیم محوری و اسکلرانشیم^۶ (بافت محافظ یا تکیه‌گاه در گیاهان متشکل از سلول‌هایی با دیواره‌های ضخیم و لیگنینی شده) محدود است. در گونه‌های پهن‌برگ با نفوذپذیری بیشتر مانند راش، در ابتدا آوندها پر شده و سپس پوشش‌های رنگی در پارانشیم محوری و اسکلرانشیم نفوذ می‌یابد. پر شدن آوند توسط پوشش در صورت وجود تیل‌ها^۷ به شدت کاهش می‌یابد اما مواد استخراجی به هیچ وجه تأثیری منفی بر روی نفوذ نداشته و یا تأثیر خیلی کمی دارند. آماده‌سازی سطح

می‌تواند روی نفوذ پوشش تأثیر بگذارد، زیرا سنباده‌زنی^۸ باعث کاهش تعداد حفرات آوندی باز در سطح چوب می‌شود [۱۵].

۱-۳- تأثیر ترکیبات پوشش، جریان‌شناسی^۹ و انرژی سطحی بر عمق نفوذ

مطالعات مختلفی در زمینه نفوذ پوشش در بافت چوب با توجه به تفاوت در عمق نفوذ انجام شده و نتایج مشابهی به دست آمده است. طبق تحقیقات، پوشش‌های پایه روغن بدون رنگدانه عمیق‌ترین عمق نفوذ در میان تمامی پوشش‌ها، به ویژه از طریق اشعه‌ها و تراکئیدهای مجاور را نشان داده‌اند. این پدیده در هر دو فرمول‌بندی پوشش‌های پایه حلال، پایه آب و یا بدون حلال مشاهده شده است. رزین‌های آلکیدی بدون رنگدانه با حلال آلی (عمدتاً شفاف) نیز عمق نفوذ زیادی را نشان می‌دهند و همچنین، امولسیون رزین‌های آلکیدی به وضوح به میزان کمتری به لایه‌های بین سلولی نفوذ می‌کند. میزان عمق نفوذ و میزان پراکندگی پوشش‌های آکرلیکی پایه آب بسیار محدود است. لازم به ذکر است، هنگامی که رنگدانه‌ها به ترکیبات افزوده می‌شوند، نفوذ تمام انواع رنگ‌ها به شدت کاهش می‌یابد. این کاهش شدید در عمق نفوذ در رنگ‌های مات بسیار مشهودتر می‌باشد. همچنین، رنگدانه‌ها برای نفوذ از طریق منافذ به اندازه کافی کوچک هستند و تنها در میدان‌های تلاقی ممکن است، مسدود شدن رخ دهد. جهت نفوذ رنگدانه‌ها از طریق منافذ کوچک بین دیواره سلولی و میدان‌های تلاقی (پونکتوآسیون‌ها) نیازمند آن می‌باشند که به اندازه‌های بسیار کوچک‌تری تقسیم شده باشند تا امکان عبور فراهم شود و در غیر این صورت باعث انسداد این منافذ پونکتوآسیونی در چوب می‌شوند. حفرات با اندازه ۰/۱ تا ۱ نانومتر در دیواره سلولی حفرات چوب، تنها به مواد با وزن مولکولی پایین مانند آب و حلال اجازه ورود به دیواره سلولی را می‌دهند. مواد و مولکول‌های پلیمری بزرگ‌تر در داخل حفرات ریز باقی خواهند ماند (شکل ۶) [۲۲].



شکل ۵- طرح‌واره بررسی الگوهای نفوذ پوشش محتمل در سوزنی‌برگان [۲۱].

^۸ Sanding
^۹ Rheology

^۱ Longitudinal Tracheids
^۲ Earlywood
^۳ Parenchyma cells
^۴ Cross-field pits
^۵ Pit aspiration
^۶ Sclerenchyma
^۷ Tyloses

مقاله

- بهبود چسبندگی از طریق فراهم ساختن چسبندگی مکانیکی
- بهبود دوام خارجی با استفاده از یک پرایمر اشباع‌کننده. برخلاف مشکلات چسبندگی، بعضی از مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از یک پرایمر آغشته‌کننده، ترک‌خوردگی و پوسته‌پوسته شدن پوشش سطحی را کاهش می‌دهد [۲۸، ۲۷]. همچنین دلیل این پدیده می‌تواند از طریق کاهش تنش‌های بین پوشش و چوب به دلیل وجود یک لایه میانی توضیح داده شود [۲۹].

۱-۵- پدیده نفوذپذیری و انتشار در پوشش‌های چوب

نتایج تحقیقات در زمینه تاثیر پرداخت و رنگ‌کاری چوب با رنگ‌های نیم پلی‌استر و سیلر و کیلر و نانوذرات زایکوسیل^۳ و زایکوفیل^۴ بر فرآیند انتقال انتقال سیال در برون‌چوب تبریزی (*Pinus nigra*) نشان داد که کمترین نفوذپذیری گازی و ضریب نفوذپذیری مایع مربوط به نمونه‌های پوشش داده‌شده با رنگ سیلر و کیلر بود و بیشترین میزان ضرایب نفوذپذیری گازی و مایع مربوط به نمونه‌های پوشش داده‌شده با نانوزایکوفیل بود [۳۰].

۲-۲- بررسی انرژی سطحی چوب

۲-۲-۱- تئوری‌ها و مدل‌های موجود برای انرژی سطح

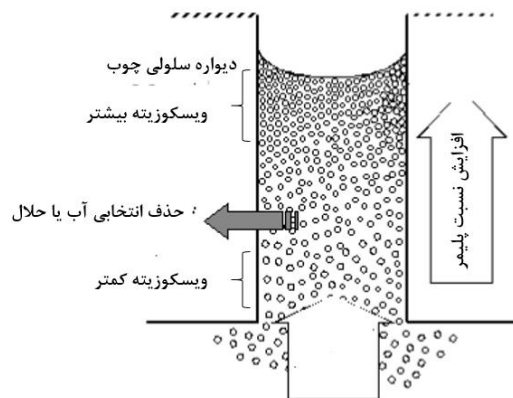
آگاهی در زمینه انرژی سطح و شیمی چوب می‌تواند به درک پدیده‌های مرطوب‌کردن و چسبندگی پوشش‌ها روی چوب کمک کند. در این بخش انرژی سطحی چوب مورد بحث قرار گرفته است. انرژی سطوح چوبی در دهه‌های اخیر، به دنبال تحولات نظری در این زمینه، مورد توجه محققین قرار گرفته است. اولین تحقیق بر مبنای اندازه‌گیری کشش سطحی بحرانی (γ_c) [۳۱، ۳۲] بود، سپس با اندازه‌گیری اجزای انرژی قطبی (γ^p) و انرژی غیرقطبی یا پراکنده (γ^d) بر اساس روش‌های هندسی انجام شد [۳۳-۳۶]. اخیراً اجزای واندروالس و (γ^{LW}) اجزای پایه اسید (لوپس) (γ^{AB}) را برای اندازه‌گیری سطح انرژی آزاد استفاده کردند [۳۷-۴۰]. به طور کلی روش‌های مورد استفاده برای بررسی انرژی سطح چوب، بر اساس اندازه‌گیری زاویه تماس استاتیک و یا اندازه‌گیری زاویه تماس دینامیک^۵ است. همچنین باید تأکید کرد که تمام این روش‌ها براساس رابطه یانگ انجام می‌شود (رابطه ۱).

$$\gamma_s = \gamma_{s1} + \gamma_1 \cos \theta \quad (1)$$

در این رابطه، γ_1 کشش سطحی (میلی‌ژول بر متر مربع یا میلی‌نیوتون بر متر) در جامدات (s)، جامدات-مایعات (sl) و مایعات (l) است. در رابطه یانگ فرض بر این است که کل سیستم در تعادل ترمودینامیکی است.

۲-۲-۲- بررسی انرژی سطحی گونه‌های مختلف چوبی

جدول ۱ نتایج انرژی سطحی محاسبه‌شده برای گونه‌های مختلف چوبی و روش‌های اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.



شکل ۶- طرح‌واره بررسی فرآیندهای حمل در طول نفوذ ماده مایع حاوی پلیمر به داخل مویرگ‌های سلول چوب [۱۹].

حذف انتخابی حلال یا آب در طول فرآیند نفوذ، باعث افزایش شکست پلیمر در مایع و در نتیجه افزایش گرانشی محلول می‌شود [۲۲]. به بیان دیگر طی زمانی که پوشش رنگی در حفرات نفوذ می‌کند به علت کاهش میزان مواد فرار (آب یا حلال‌های دیگر) نسبت به مواد پلیمری رزین جامد باعث بالا رفتن گرانشی خواهد شد که در شکل ۴ نمای تغییرات گرانشی نشان داده شده است. افزایش گرانشی از طریق افزایش محتوای ماده جامد به شدت به ماهیت فیزیکی پلیمر وابسته است. افزایش نامحدود گرانشی در میزان ماده جامد بین ۶۰-۴۰ درصد را وابستگی به ماهیت و توزیع اندازه ذرات نشان می‌دهد. امولسیون‌ها در گرانشی پایین‌تر باقی می‌مانند تا زمانی که فاز انتقالی^۱ از روغن به آب در امولسیون پوشش‌های روغنی اتفاق می‌افتد که با افزایش بسیار زیاد گرانشی ارتباط دارد. در برخی موارد گرانشی حتی با افزایش محتوای ماده جامد ممکن است، کاهش یابد.

در صورت نفوذ پوشش به عمق چوب، به نظر می‌رسد یکی از مهم‌ترین عوامل نفوذ افزایش گرانشی در محتوای ماده جامد باشد. به طور کلی رفتار وابسته به جریان^۲ پوشش‌ها در زمان افزایش محتوای ماده جامد یا در طول خشک‌شدن به خوبی درک نشده و تنها تحقیقات اندکی در زمینه آن انجام شده است [۲۶-۲۳].

۱-۴- بررسی رابطه عمق نفوذ پوشش و کارایی آن‌ها

به غیر از سازوکار نفوذ پوشش در چوب، باید میزان کارایی و مفید بودن آن نسبت به عملکرد کلی پوشش را نیز مورد توجه قرار داد. از دیدگاه‌های دیگر می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- پوشش‌های حاوی مواد ضد آفت، در برابر قارچ‌های آبی رنگ و یا قارچ پوسیدگی مقاوم می‌باشند برای اثر بخشی این مواد، نیاز است تا به داخل چوب نفوذ داده شوند. بنابراین لازم است پوشش‌های با قابلیت نفوذ بالا مورد استفاده قرار گیرند. به همین دلیل پرایمرهای آبی رنگ اغلب با گرانشی کم در پوشش‌های روغنی قابلیت نفوذ بیشتری دارند.

³ Zycosil

⁴ Zycofil

⁵ Wilhelmy plate

¹ Phase transition

² Rheological

جدول ۱- سطح انرژی آزاد برای گونه‌های چوبی مختلف (میلی ژول بر متر مربع).

ردیف	گونه چوبی	نوع اندازه‌گیری	γ_c	γ^p	γ^D	γ^{S1}	γ^{LW}	γ^+	γ^-	γ^{AB}	γ^{S2}
۱	زبان گنجشک	صفحه ویلهلمی	۴۲/۹	۸۵/۱۶	۲/۶۸	۸۷/۸	۴۲/۶	۰/۰۰	۶۷/۳۵	۰/۶	۴۴/۲
۲	زبان گنجشک	صفحه ویلهلمی	-	۶۰/۱۵	۱۳/۸۷	۷۴	-	-	-	-	-
۳	صنوبر	صفحه ویلهلمی	-	۱۳/۱۲	۴۱/۸	۵۵	۴۵	۰/۰۲	۱۲/۶۴	۰/۹۱	۴۵/۹
۴	راش	روش قطره بی پایه	-	۱۹/۱۸	۳۱/۸۸	۵۰	-	-	-	-	-
۵	راش	روش قطره بی پایه	-	۴۵/۵۳	۲۴/۴۸	۶۸/۸	-	-	-	-	-
۶	راش	روش قطره بی پایه	۵۰/۶	۵۳/۱	۶/۹	۶۰	-	-	-	-	-
۷	گیلاس	صفحه ویلهلمی	۴۸/۱	۳۸/۱	۱۶/۱۹	۵۴/۳	۴۷/۵	۰/۴۲	۲۸	۶/۸۴	۵۴/۳
۸	گیلاس	صفحه ویلهلمی	-	۳۵/۱	۲۰/۰۹	۵۵/۲	-	-	-	-	-
۹	دوگلاس فر	صفحه ویلهلمی	-	۱۱/۸	۳۶/۲	۴۸	۳۸/۷	۲/۸۶	۳/۲۹	۶/۱۳	۴۴/۸
۱۰	دوگلاس فر	روش قطره بی پایه	۵۲/۸	۱۹/۲	۲۸/۸	۴۸	-	-	-	-	-
۱۱	دوگلاس فر	روش قطره بی پایه	-	۱۱/۵	۳۷/۵	۴۹	-	-	-	-	-
۱۲	افرا	صفحه ویلهلمی	۴۶/۸	۵۶/۰۷	۸/۷۷	۶۴/۸	۴۵/۵	۰/۴۶	۳۳/۱۹	۷/۸۵	۵۲/۳
۱۳	افرا	صفحه ویلهلمی	-	۴۰/۹۳	۲۰/۱۳	۶۱/۱	-	-	-	-	-
۱۴	افرا	صفحه ویلهلمی	۴۲	۱۶/۴	۴۰/۲	۵۶/۶	۴۳/۲	۰/۷۱	۱۳/۲۹	۶/۱۵	۴۹/۴
۱۵	*کاج	روش قطره بی پایه	-	-	-	-	۴۰/۷	۱/۷۳	۸/۴۱	۷/۶۳	۴۸/۳
۱۶	*کاج	صفحه ویلهلمی	-	-	-	-	۳۸/۹	۰/۰۵	۱۷/۳۳	۱/۸۶	۴۰/۸
۱۷	**کاج	روش قطره بی پایه	۵۰/۹	۸۳/۴	۰/۴	۸۳/۸	-	-	-	-	-
۱۸	***کاج	روش قطره بی پایه	۵۴/۳	۶۸/۱	۳	۷۱/۱	-	-	-	-	-
۱۹	صنوبر	روش قطره بی پایه	۵۳/۱	۲۸/۵	۲۵/۲	۵۳/۷	-	-	-	-	-
۲۰	افرای قرمز	روش قطره بی پایه	-	۷۲/۷	۳/۹	۷۶/۶	۴۵/۵	۰/۰۲	۵۷/۰۱	۲/۱۴	۴۷/۴
۲۱	بلوط قرمز	صفحه ویلهلمی	۴۶/۸	۴۲/۲	۱۰/۴	۵۲/۶	۳۹/۷	۰/۴۶	۳۷/۷۴	۸/۳۰	۴۸
۲۲	بلوط قرمز	صفحه ویلهلمی	-	۳۵/۰۴	۱۶/۸۷	۵۱/۹	-	-	-	-	-
۲۳	سرخ چوب	روش قطره بی پایه	۵۷	۳۱/۵	۲۲/۷	۵۴/۲	-	-	-	-	-
۲۴	نوتل	صفحه ویلهلمی	۴۵	۱۶/۵	۴۵	۶۱/۵	۴۹/۴	۰/۸۱	۱۱/۳۵	۶/۰۶	۵۵/۵
۲۵	نوتل	روش قطره بی پایه	۵۱/۸	۷۱/۶	۲	۷۳/۶	-	-	-	-	-
۲۶	نوتل	روش قطره بی پایه	۵۳/۲	۴۱/۹	۱۳/۹	۵۵/۸	-	-	-	-	-
۲۷	گردو	صفحه ویلهلمی	۱۰/۸	۸۶/۱۴	۱/۲۸	۸۷/۴	۳۷/۹	۰/۰۹	۵۸/۹۳	۴/۶۳	۴۲/۶
۲۸	بلوط سفید	صفحه ویلهلمی	۳۱/۴	۴۱/۶۵	۵/۲۹	۴۶/۹	۳۴	۰/۳۹	۲۲/۸	۵/۹۸	۴۰

* اندازه‌گیری شده موازی با الیاف چوب

** ناحیه چوب آغاز

*** ناحیه چوب پایان

کشش سطحی بحرانی بوده و به طور کلی بسیار پایین تر است. جدا از تفاوت در روش‌های محاسبه انرژی سطحی، بخش زیادی از تغییرات می‌تواند با ماهیت پیچیده سطح چوب با توجه به اندازه‌گیری‌های زاویه تماس توضیح داده شده و مربوط باشد. یکی دیگر از عوامل پیچیده‌کننده انرژی سطحی در چوب، ناهمگنی شیمیایی سطح چوب می‌باشد. جدا از اجزای اصلی یعنی سلولز (۵۰-۴۰ درصد)، همی سلولز (۲۵-۱۵ درصد) و لیگنین (۳۰-۲۵ درصد) چوب می‌تواند حاوی ۱۵-۵ درصد از موادی باشد که طیف گسترده‌ای از تریپنئیدها، اسیدهای چرب یا مواد پلی فنل را شامل می‌شود. این مواد که به اصطلاح مواد استخراجی نامیده می‌شوند، می‌توانند روی رطوبت سطوح چوب تاثیر منفی قابل توجهی داشته باشند [۴۱]. با توجه به آنکه اجزای تشکیل‌دهنده شیمیایی به طور مساوی و یکسان در دیواره سلولی

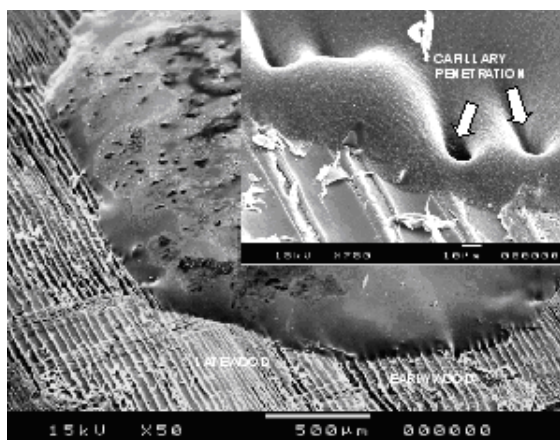
اندازه‌گیری سطح انرژی آزاد برای گونه‌های چوبی مختلف توسط روش‌های گوناگونی مانند صفحه ویلهلمی^۱ و قطره بی پایه^۲ انجام می‌شود. در کشش سطحی بحرانی بیش تر گونه‌های چوبی در محدوده نسبتاً کوچک ۴۰ تا ۵۵ مگاژول بر مترمربع قرار دارد، هرچند گونه‌های چوبی از لحاظ ترکیبات شیمیایی متفاوت هستند. انرژی سطحی در یک گونه چوبی خاص، مقادیر بسیار متفاوتی دارد. به عنوان مثال، انرژی سطحی چوب راش بین ۱۹/۱۸ و ۵۱/۳ مگاژول بر مترمربع و جز غیرقطبی بین ۶/۹ و ۳۲/۱ مگاژول بر متر مربع است. در روش واندروالس، کل انرژی سطح آزاد عموماً کمتر یا برابر با

¹ Wilhelmy plate

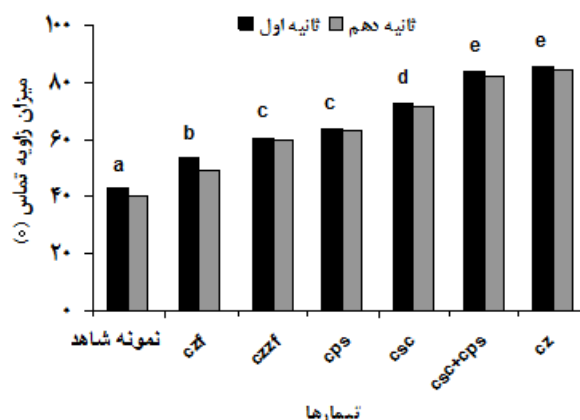
² Sessile drop

مقاله

۲-۳- ابزارهای اندازه‌گیری چسبندگی پوشش‌ها بر سطح چوب اغلب روش‌های قابل استفاده برای اندازه‌گیری میزان چسبندگی پوشش‌ها بر سطح چوب آزمون کشش محوری (ISO 4624) [۴۴-۴۶]، آزمون برش در حالت گشتاوری [۴۷-۴۹] و آزمون برشی نیمه‌کیفی یا برش عرضی (ASTM D3359 یا ISO 2409) می‌باشند. تفسیر دو روش اول اغلب دشوار است زیرا ممکن است شکست چسبندگی پوشش، بین چسب یا چوب رخ دهد. به علاوه، اگر محل شکست در خط چسبندگی پوشش به سطح چوب رخ ندهد و مقداری از خط چسب و یا خرده‌چوب‌ها جدا شود باعث پیچیدگی تحلیل می‌گردد. علاوه بر این ممکن است، نیروی اندازه‌گیری شده تحت تأثیر توزیع تنش در زیر دالی^۱ دستگاه و یا روش برش پوشش در اطراف دالی باشد. یکی دیگر از روش‌هایی که در اندازه‌گیری چسبندگی موثر می‌باشد، اندازه‌گیری چسبندگی از طریق لایه‌برداری پوشش‌ها با نوار حساس به فشار در یک دستگاه آزمون کشش است که تحقیقاتی که بر روی فلزات، شیشه و چوب انجام شده، نتایج موفقیت‌آمیزی را نشان می‌دهد [۵۱، ۵۰].



شکل ۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی روشی نشان‌دهنده تأثیر ساختار چوب روی پخش شدن قطرات پوشش [۴۲].



شکل ۸- میزان زاویه تماس اندازه‌گیری شده بر روی نمونه شاهد و نمونه‌های پوشش داده شده [۴۳].

توزیع نشده‌اند، بنابراین با اندازه‌گیری میزان کشش سطحی، بسته به مقطع عرضی دیواره بیرون و مقطع داخلی دیواره سلولی نتایج متفاوتی به دست می‌آید. علاوه بر این، جذب آب در دیواره سلولی همواره به مقدار قابل توجهی وجود دارد؛ با این حال، مقدار دقیق آن بسته به نوع چوب و رطوبت نسبی محیط متفاوت خواهد بود. نتایج مطالعات نشان می‌دهد مایعات مورد استفاده برای اندازه‌گیری زاویه تماس در سطح چوب ممکن است جذب یا حتی پخش شوند. بنابراین این بدین معنی است که لایه نازکی از بخار مایع و یا خود مایع در فرآیند جذب و پخش‌شوندگی دخالت دارد.

۲-۳- بررسی خاصیت ترکندگی پوشش‌ها

میزان خاصیت ترکندگی سطح چوب پوشش داده‌شده مستقیماً از طریق اندازه‌گیری زاویه تماس قطره قرار گرفته روی سطح آن اندازه‌گیری می‌شود. به منظور نم‌پذیری و ترکندگی سطح چوب بایستی انرژی سطح پوشش کمتر از سطح چوب (پوشش > چوب) باشد. از آنجا که قسمت اعظم سطح چوب دارای انرژی سطح بین ۴۰ تا ۵۰ میلی‌ژول بر متر مربع و اکثر پوشش‌ها دارای انرژی سطح بین ۳۰ تا ۴۰ میلی‌ژول بر متر مربع هستند، در نتیجه ترکندگی سطح چوب بدون مشکل انجام می‌شود. یکی از عوامل دیگر که در میزان پخش‌شوندگی قطره پوشش جدا از انرژی سطحی وجود دارد، گرانی می‌باشد (شکل ۷) [۳]. پس از قرارگیری پوشش در سطح چوب ابتدا به سرعت زاویه تماس کاهش می‌یابد و تقریباً بعد از ۵۰ ثانیه به تعادل می‌رسد. همچنین می‌توان به این نتیجه دست یافت که میان میزان نفوذپذیری پوشش در چوب و زاویه تماس رابطه و همبستگی مناسبی وجود دارد.

بررسی تأثیرات نانوذرات زایکوسیل و زایکوفیل و رنگ‌های پلی‌استر و سیلر و کیلر در بهبود مقاومت به جذب آب و افزایش زاویه تماس چوب صنوبر (*Populus nigra*) نشان داد که برای هر یک از پوشش‌ها، الگوی تغییرات جذب آب و زاویه تماس آب متفاوت بود. نمونه‌های پوشش داده‌شده با ترکیب دو رنگ سیلر و کیلر و نیم پلی‌استر براق و نمونه‌های پوشش داده‌شده با نانوذرات زایکوسیل بیشترین مقاومت را به جذب آب از خود نشان دادند. بیشترین زاویه تماس در نمونه پوشش داده‌شده با نانوزایکوسیل مشاهده شد (شکل ۸) [۴۳].

۳- عوامل موثر بر چسبندگی پوشش‌ها به چوب

۳-۱- چسبندگی عملی در مقابل چسبندگی نظری

به دلیل تأثیر روش‌ها و سازوکارهای مختلف در اندازه‌گیری میزان چسبندگی، آشنایی، اندازه‌گیری و پیش‌بینی میزان چسبندگی پوشش‌ها بر سطح چوب نسبتاً پیچیده است. بنابراین، تأثیر روش اندازه‌گیری، کاهش مقدار چسبندگی اندازه‌گیری شده از طریق انرژی ذخیره شده در پوشش به دلیل فشار داخلی، تغییر شکل در طول لایه‌برداری یا پیچ‌خوردن پوشش هنگام اندازه‌گیری مقدار چسبندگی، تأثیر رطوبت بر پوشش‌ها یا چوب، نیروهای مولکولی بین پوشش و چوب که چسبندگی سطحی را تعیین می‌کنند از مهم‌ترین موضوعاتی هستند که باید مورد توجه قرار گیرند.

¹ Dolly

۳-۳- اثر چسبندگی مکانیکی

چسبندگی مرطوب تأثیر بگذارند، زیرا ممکن است یک لایه مرزی ضعیف ایجاد کنند [۵۵-۵۲]. دلیل دیگر برای کاهش چسبندگی می‌تواند تخریب پلیمر (پوشش) در سطح تماس با چوب دانست و از طریق افزایش جذب سطحی پلیمر در سطح چوب می‌توان بر عامل تخریب غلبه نمود [۵۶].

۳-۵- سازوکار اندازه‌گیری چسبندگی پوشش

از انرژی‌های آزاد سطح پوشش (γ_c) و انرژی‌های آزاد سطح چوب (γ_w)، می‌توان نیروی چسبندگی (W_{cw}^a) بین دو فاز را طبق رابطه‌های ۲ و ۳ با استفاده از ضرایب واندروالس پایه اسید محاسبه کرد.

$$W_{cw}^a = \gamma_c + \gamma_w + \gamma_{cw} \quad (2)$$

$$W_{cw}^a = 2 \left(\sqrt{\gamma_c^L \gamma_w^L} + \sqrt{\gamma_c^+ \gamma_w^+} + \sqrt{\gamma_c^- \gamma_w^-} \right) \quad (3)$$

چسبندگی سطحی پس از قرار گرفتن در معرض آب (W_{wet}^a) می‌تواند از طریق انرژی‌های سطحی بین پوشش-آب (γ_{CL})، چوب-آب (γ_{WL}) و پوشش-چوب (γ_{CW}) طبق رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$W_{wet}^a = \gamma_{CL} - \gamma_{WL} - \gamma_{CW} \quad (4)$$

۳-۶- بهبود سازوکار چسبندگی پوشش‌ها بر سطح چوب

برای بهبود چسبندگی پوشش‌ها بر روی سطح چوب تلاش‌های زیادی انجام گرفته است. به نظر می‌رسد مهم‌ترین سازوکار چسبندگی بررسی شرایط خاصیت ترکندگی سطح می‌باشد. به طور کلی، جهت بهبود سازوکار چسبندگی می‌توان پیش‌تیمار چوب از طریق اشعه یونیزاسیون^۲ یا تیمار با پلاسما و همچنین ترکیب مونومرهای بهبود دهنده چسبندگی در آکرلیک‌های غیرقطبی را انجام داد. این روش‌ها به منظور افزایش انرژی سطحی چوب و تغییر نسبت اجزای قطبی و غیرقطبی انجام می‌شوند. بهبود چسبندگی با چنین روش‌هایی محدودیت دارد و تغییرات میزان خاصیت ترکندگی به طور کلی عامل اصلی در چسبندگی مناسب سطح چوب می‌باشد. حتی اگر بهبود خاصیت ترکندگی چوب به وسیله پوشش به طور کامل انجام نشود، به احتمال بیشتر به دلیل اثرات گرانیوی بوده است. در روش ترکیب مونومرهای بهبود دهنده چسبندگی در آکرلیک‌های غیرقطبی، مونومرهای مورد استفاده معمولاً بر مبنای (متا) آکريلات‌ها، نمک یا استر مالئیک اسید^۳، اجزای آلکیل یا وینیل استر که حاوی آمینو هستند، استواسات، سینواسات، اوره، تیواوره^۴ یا گروه‌های چرخه اوره (چرخه واکنش‌های زیست‌شیمیایی تولید اوره از آمونیاک) هستند. کار اصلی این مونومرها در چوب، در این متن توضیح داده نشده است. مونومرها برای بهبود چسبندگی بر روی رنگ‌های آلکیدی قدیمی (با میزان چسبندگی ضعیف) ممکن است از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی یا واکنش‌های اسید-پایه عمل کنند [۵۸، ۵۷].

بر اساس اظهارات برخی از کارشناسان، هیچ ارتباطی میان میزان چسبندگی و عمق نفوذ پوشش وجود ندارد. با این حال، مطالعات زیادی در رابطه با چسبندگی پوشش‌ها وجود دارد که در آن تفاوت چسبندگی بین مناطق چوب آغاز و چوب‌پایان مربوط به درجات مختلف نفوذ در بافت چوب ارائه شده است. معمولاً مقاومت چسبندگی^۱ در چوب آغاز بیشتر از چوب پایان می‌باشد، که علت آن نفوذ عمیق‌تر و بیشتر در این ناحیه می‌باشد. اگر چوب قبل از پوشش‌دهی دچار هوازدگی شده باشد، چسبندگی در چوب‌پایان بیشتر از چوب‌آغاز مشاهده می‌شود. علت این رخداد این است که دیواره سلولی چوب آغاز در اثر هوازدگی سریع‌تر تخریب شده و در نتیجه مقاومت چسبندگی آن کاهش می‌یابد [۴۲].

۳-۴- اثر رطوبت بر چسبندگی پوشش

تجربیات عملی و تحقیقات علمی به خوبی نشان داده‌اند که چسبندگی پوشش‌ها متأثر از شرایط رطوبتی چوب می‌باشد. در چوب‌های با رطوبت بالاتر میزان چسبندگی ضعیف‌تر می‌باشد (که اصطلاحاً چسبندگی مرطوب نامیده می‌شود). تفاوت چسبندگی در حالت مرطوب و خشک در رنگ‌های پایه آکرلیکی (پایه آب) مشهودتر است، رنگ‌های آلکیدی محلول در آب چسبندگی ملایم‌تری نسبت به رنگ‌های آلکیدی پایه حلال دارند. اگر چه دلایل چسبندگی ضعیف‌تر در شرایط مرطوب به طور کامل شناسایی نشده است، اما برخی عوامل می‌توانند به عنوان علت کاهش چسبندگی تحت شرایط مرطوب شناخته شوند. واکنشیدگی پوشش به عنوان یک عامل مهم در جذب رطوبت و به دنبال آن افزایش تدریجی تنش داخلی می‌تواند از عوامل موثر باشند. اگر واکنشیدگی پوشش بسیار بیشتر از چوب باشد، فشار پوشش سطحی زیاد خواهد شد و ممکن است میزان چسبندگی سطحی کاهش یابد که در برخی از مطالعات [۵۱، ۵۰] به صورت تجربی نشان داده شده است. همچنین، تحقیقات نشان می‌دهد ضخامت فیلم و مدول الاستیسیته بالا در پوشش می‌تواند چسبندگی را کاهش دهد. تفاوت چسبندگی پوشش‌های چوبی پس از قرار گرفتن در معرض بخار آب و رطوبت (بسیار زیاد)، می‌تواند به علت تفاوت در واکنشیدگی میان بخار آب که ترکیب رطوبت، دما و بخارات مایع است، مشاهده شود و می‌توان گفت زمانی که از بخار آب استفاده شود به علت همراه بودن دمای بالا میزان واکنشیدگی در پوشش و چوب بیشتر خواهد بود. علاوه بر فشار داخلی که موجب کاهش چسبندگی می‌شود، عوامل دیگری نیز باعث کاهش چسبندگی می‌شوند. نظریه لایه مرزی ضعیف، عامل شکست در لایه میانی بین پوشش و سطح زیرین را با بررسی سازوکار چسبندگی توضیح می‌دهد. این لایه مولکولی حاوی ناخالصی‌های مولکولی سبک از منابع مختلفی از جمله آب است. این تئوری هرگز برای چوب تایید نشده است، اما مشخص است که مواد استخراجی با وزن مولکولی کم به راحتی می‌توانند به سطح انتقال یابند و چسبندگی را کاهش دهند. همچنین ضرایب کاهش وزن مولکولی در پوشش (به عنوان مثال مواد استخراجی) می‌توانند بر

² Flame-ionisation

³ Maleates

⁴ Thiourea

¹ Adhesion strength

۵- نتیجه‌گیری

ساختار آناتومی چوب و توانایی نفوذ پوشش به داخل حفرات چوبی می‌تواند عامل موثر در چسبندگی باشد. تفاوت در ظرفیت نفوذ پوشش‌ها عمدتاً با افزایش گرانشی (محتوای جامد) به دلیل جذب انتخابی آب یا حلال در دیواره سلولی قابل محاسبه می‌باشد. به نظر می‌رسد تغییرات در خاصیت ترکندگی و کشش‌پذیری سطحی پوشش نقش مهمی ایفا می‌کنند و کاهش خاصیت ترکندگی در نهایت باعث افزایش گرانشی رنگ می‌گردد. تعیین انرژی سطح بر حسب بخش‌ها و اجزا تشکیل‌دهنده بافت چوب که خاصیت قطبی، غیرقطبی، اجزا واندروالس و ویژگی‌های اسیدی و قلیایی متغیری در گونه‌های چوبی مختلف دارد انجام می‌شود. نفوذ پوشش‌ها به داخل حفرات داخلی چوب در زمان پوشش‌دهی، قطعاً به بهبود چسبندگی پوشش کمک می‌کند. نفوذ بسیار عمیق به طور مستقیم به چسبندگی کمک نخواهد کرد، اما ممکن است باعث ثبات ابعاد و افزایش دوام سطح تماس پوشش و چوب گردد. چسبندگی پوشش به چوب به ویژه در پوشش‌های پایه آب به دلیل کاربرد وسیع و چشم‌انداز صنعتی بسیار قابل اهمیت می‌باشد. پوشش‌های محلول در آب (پوشش پایه آکریلیکی و آلکیدی) به طور کلی چسبندگی کمتری نسبت به پوشش‌های پایه حلال دارند. از دلایل اصلی کاهش مقاومت پوشش‌های پایه آب نسبت به پوشش‌های پایه حلال را می‌توان به واکنش‌دهی بالاتر و تغییر ابعاد آن نسبت به رطوبت دانست. همچنین عوامل دیگری نقش آفرین است که نیازمند بررسی و تحقیق بیشتر می‌باشد. آماده‌سازی سطح می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر عملکرد پوشش داشته باشد. جریان‌شناسی پوشش در افزایش محتوای جامد و یا در طول خشک‌کردن به سختی شناخته شده است، اما برای درک اختلاف‌ها در ظرفیت نفوذ ضروری است. با این حال، آشنایی با دانش‌های نوین می‌تواند به درک اختلاف‌ها بین پوشش‌های پایه حلال و پایه آب با توجه به فرآیند نفوذ در چوب و سایر عوامل کمک نمود. تلاش‌های زیادی در زمینه افزایش مقاومت پوشش‌های پایه آب و پایه حلال در شرایط مرطوب صورت پذیرفته است اما به دلیل وجود نقاط ضعف، نیازمند مطالعات بیشتر می‌باشد. با توجه به تحقیقات انجام شده، هنوز مقاومت به چسبندگی پوشش‌های پایه حلال بهتر از پایه آب مشاهده می‌شود که اختلاف در نفوذ و واکنش‌دهی پوشش‌های پایه آب از دلایل اصلی آن می‌باشد و بررسی مباحث انرژی سطحی هنوز نتوانسته جواب کامل و قانع‌کننده‌ای را بیان نماید. بنابراین، دانش و پژوهش بیشتری لازم می‌باشد تا علوم در سازوکار چسبندگی پوشش به چوب مورد درک و شناسایی قرار گیرد.

روش‌های دیگر عبارتند از:

- کاهش جذب آب و یا واکنش‌دهی پوشش از طریق پیوند عرضی پلیمر یا کاهش آب‌دوستی.
- چسبندگی شیمیایی بین پوشش و چوب. در اصل انواع مختلفی از گروه‌های واکنش‌پذیر در دو جز پوشش‌ها مانند ایزوسیانات و یا اپوکسیدها می‌توانند با گروه‌های هیدروکسیل چوب واکنش نشان دهند [۵۹، ۶۰].

۴- آماده‌سازی سطح چوب

آماده‌سازی سطح چوب قبل از استفاده از پوشش از جمله مواردی است که توجه کمتری به آن شده است، در صورتی که ممکن است تأثیر مهمی در عملکرد پوشش داشته باشد. از انواع مختلف آماده‌سازی سطح می‌توان به رنده‌کاری چوب، سنباده‌زنی چوب‌آلات برش خورده با اشاره کرد. در اثر سنباده‌زنی نفوذ پوشش به علت تغییر شکل سلول و مسدود شدن منافذ با گرد و غبار کاهش می‌یابد و حتی گاهی کاملاً از نفوذ پوشش جلوگیری می‌کند [۶۱، ۶۲]. همچنین، به طور کلی چوب‌آلات برش خورده با سطوح زبر باعث جذب بالای مواد رنگی و بهبود عملکرد در جذب پوشش می‌شود.

مطالعات بر روی تاثیر شرایط رنده‌کاری چوب بر دوام پوشش‌های چوبی و ارتباط آن با ترک‌خوردگی‌های اولیه پوشش‌های پایه حلال بر روی چوب سوزنی‌برگان نشان می‌دهد که استفاده از تیغه‌های رنده تیز برای جلوگیری از فشردگی سلول‌های چوب در طی رنده‌کاری چوب ضروری است [۶۳]. یک نمونه از سلول‌های فشردگی در شکل ۹ نشان داده شده است. اگر سلول‌های فشردگی با یک رنگ پایه حلال پوشش داده شوند، سلول‌ها در ابتدا فشردگی می‌شوند، اما در طول هوازدهی سلول‌ها از حالت فشردگی خارج می‌شوند. چرا که باز شدن بیش از حد سلول‌ها پس از فشردگی باعث می‌شود اکثر پوشش‌ها ترک بردارند. برای رفع این مشکل می‌توان با استفاده از رنگ‌های محلول در آب، فاصله سلول‌ها را در طی رنگ‌کاری افزایش داد. این امر منجر به افزایش شکست پوشش و ناهمواری سطح می‌شود اما از ترک خوردگی‌ها در شرایط سرویس جلوگیری می‌کند. مقایسه‌ای از افزایش شکست با ترکیب آب و رنگ‌های حلال در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۹- چوب نوئل فشردگی شده به علت رنده‌کاری نامناسب [۳۸].



شکل ۱۰- واکنش چوب فشردگی شده به آب و رنگ‌ها [۳۸].

۱. ب. غلامپور، ه. غلامیان، "مواد مورد مصرف در آستری و پوشش‌های چوب و انواع روش‌های میکروسکوپی جهت ارزیابی آن‌ها". نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۹، ۶۵-۷۶، ۱۳۹۸.
2. Ö. Özgenç, S. Durmaz, S. Şahin, I. H. Boyaci. "Evaluation of the weathering resistance of waterborne acrylic-and alkyd-based coatings containing HALS, UV absorber, and bark extracts on wood surfaces", JCTR. 17, 461-475. 2020.
3. W. Darmawan, M. B. Ginting, A. Gayatri, R. L. Putri, D. Lumongga, A. Hasanusi. "Influence of surface roughness of ten tropical woods species on their surface free energy, varnishes wettability and bonding quality", Pigment. Resin Technol. Doi: 10.1108/PRT-01-2020-0005, 2020.
4. H. Gholamiyan, A. Tarmian. "The Effect of layers made off clear coats on the color changes and surface quality of wood after accelerated weathering in urban furniture", IJWP. 9, 561-574. 2019.
5. E. Hazir, K. H. Koc. "Evaluation of wood surface coating performance using water based, solvent based and powder coating", Maderas Cienc. Tecnol. 21, 467-480. 2019.
6. S. Shukla, K. K. Pandey, K. Kumar VS. "Chemical and Application Properties of Some Solvent and Water Based Coatings on Wooden Substrate", Drvna industrija. 70, 107-114. 2019.
7. R. Moya, A. Rodríguez-Zúñiga, J. Vega-Baudrit, A. Puente-Urbina. "Effects of adding TiO₂ nanoparticles to a water-based varnish for wood applied to nine tropical woods of Costa Rica exposed to natural and accelerated weathering", J. Coat. Technol. Res. 14, 141-152. 2017.
8. Y. Huang, Q. Feng, C. Ye, S. S. Nair, N. Yan. "Incorporation of ligno-cellulose nanofibrils and bark extractives in water-based coatings for improved wood protection", Prog. Org. Coat. 138, 105210. 2020.
9. M. de Meijer, K. Thurich, H. Militz. "Comparative study on penetration characteristics of modern wood coatings", JFST. 32, 347-365. 1998.
10. V. Rijckaert, M. Stevens, J. Van Acker. "Effect of some formulation parameters on the penetration and adhesion of water-borne primers into wood". Holz, 59, 344-350, 2001.
11. V. Rijckaert, M. Stevens, J. Van Acker. M. de Meijer, H. Militz. "Quantitative assessment of the penetration of water-borne and solvent-borne wood coatings", Scots. pine sapwood Holz. 59 278 - 287. 2001.
۱۲. T. Kanbayashi, A. Ishikawa, M. Matsunaga, M. Kobayashi, Y. Kataoka. "Application of Confocal Raman Microscopy for the Analysis of the Distribution of Wood Preservative Coatings", Coat. 9, Doi: 10.3390/coatings9100621, 2019.
۱۳. س. خسته، ح. ا. عراقی، "بررسی تغییرات ریزساختاری پوشش‌های نانوساختار سخت با تغییر ترکیب شیمیایی آنها با استفاده از میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی SEM و عبوری TEM". نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۶، ۶۳-۵۵، ۱۳۹۵.
14. J. Van den Bulcke, V. Rijckaert, J. Van Acker. "Quantitative measurement of the penetration of water-borne coatings in wood with confocal laser microscopy and image analysis". Holz. 61, 304 - 310. 2003.
15. De Meijer, M. "A review of interfacial aspects in wood coatings: wetting, surface energy, substrate penetration and adhesion". COST E18, High Performance Wood Coating Seminar, 1-16. 2005.
16. M. Meijer, K. Thurich, H. Militz. "Quantitative measurements of capillary coating penetration in relation to wood and coating properties", Holz, 59, 35-45. 2001.
17. H. Gholamiyan, A. Tarmian, K. Pourtahmasi. "Microscopic investigation on the effects of wood surface modification with sol-gel method on the quality of polyurethane and alkyd coatings", IJWP, 8, 509-520. 2018.
18. G. Jayme, M. Harders-Steinhäuser, "Microscopy of wood and paper fibres. Microscopic staining procedures", Handbook of microscopy in technology, Vol. V Microscopy of wood and paper, Part 2 Microscopy in technology of wood converting and wood degradation, Umschau-Verlag, Frankfurt/Main, 1970.
۱۹. B. Werthmann, "Microscopic testing of chemical pulps, mechanical pulps, and paper". Microscopic staining methods, In Franke, W., Testing of Paper, board, chemical pulp and mechanical pulp, Microscopical and photometrical testing procedures", Springer Berlin Heidelberg. 2, 66-99. 1993.
۲۰. م. اکبرنژاد، د. رسولی، ح. یوسفی، م. مشکور، "هوازدگی چوب و روش‌های پیشگیری و کنترل آن با استفاده از پوشش‌ها". نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۵، ۴۷-۵۸، ۱۳۹۴.
21. M. De Meijer, K. Thurich, H. Militz, "Comparative study on penetration characteristics of modern wood coatings", SWST. 32, 347-365. 1998.
22. M. Meijer, B. van de Veld, H. Militz, "Rheological Approach to the capillary penetration of coating into wood", JCT. 39-50. 2001.
23. F. Löfflath, M. Gebhard, "Rheological changes during the drying of a waterborne latex coating", JCTR. 69, 55-66, 1997.
24. J. Beetsma, "Alkyd paints: from the ease of organic solvents to the difficulties of water", XXIIth Fatitec Conference Budapest, 157-167. 1994.
۲۵. R. Hoffman. "Factors affecting the viscosity of unimodal and multimodal colloidal dispersions", J. Rheol. 9747-965. 1992.
۲۶. د. قنبری، ب. شیرکوند هداوند، م. پیشوایی، "بررسی رفتار ویسکوالاستیک در رزین‌ها، پوشش‌های آلی و نانو کامپوزیت‌ها". نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۹، ۸۷-۷۱، ۱۳۹۸.
27. R. S. Williams, P. L. Plantinga, W. C. Feist, "Photodegradation of wood affects paint adhesion". FPJ. 1990.
28. M. de Meijer, J. Creemers, W. Cobben, P. Ahola, The Int. Res. Group on Wood Preserv, Stockholm, Doc. No. IRG/WP 98-40121. 1998.
29. M. de Meijer. "Mechanisms of failure in exterior wood coatings", 3thd PRA Wood Coatings Conference, The Hague, 2002.
30. H. Gholamiyan, A. Tarmian, M. Azadfallah. "Gas and Water Permeability of Poplar Coated with Paints and Nanoparticles". JFWP, 63, 281-291. 2010.
31. V.R. Gray, "The wettability of wood", FPJ. 15 (11), 499-505. 1965.
32. W.A. Zisman, "Surface energetics of wetting spreading and adhesion". JPT, 44 (564), 42-57. 1972.
33. L.A. Girifalco, R.J. Good, "A theory for the estimation of surface and interfacial energies I. Derivation and application to interfacial tension", JPC, 61, 904. 1957.
34. S. Wu, "Calculation of interfacial tension in polymer systems". JPC Part C, 34, 19-30. 1971.
35. M. Scheikl, M. Dunky, "Measurement of dynamic and static contact angles on wood for the determination of its surface tension and the penetration of liquids into the wood surface". Holz, 52, 89-94. 1998.
36. T. Nguyen, W.E. Johns, "Polar and dispersion force contributions to the total surface free energy of wood", SWST. 12, 63-74. 1978.
37. Q. Shen, J. Nylund, J.B. Rosenholm "Estimation of the surface energy and acid-base properties of wood by means of wetting method", Holz. 52, 521-529. 1998.

38. D. J. Gardner, "Application of the Lifshitz-van der Waals acid-base approach to determine wood surface tension components". *Wood Fiber Sci.* 28, 422-428. **1996**.
39. M. de Meijer, S. Haemers, W. Cobben, H. Militz, "Surface energy determinations of wood", *Langmuir.* 16, 9352-9359. **2000**.
40. C.J. Van Oss, M.K. Chaudhury, R.J. Good, "Interfacial Lifshitz-van der Waals and polar interactions in macroscopic systems", *JCR.* 88, 927-941. **1988**.
41. C-M. Chen, "Effect of extractive removal on adhesion and wettability of some tropical woods", *FPJ.* 20, 36-41. **1970**.
42. M. de Meijer. "A review of interfacial aspects in wood coatings: wetting, surface energy, substrate penetration and adhesion, COST E18 Final Seminar, **2005**.
43. H. Gholamiyan, A. Tarmian, K. Doost Hosseini, M. Azadfallah. "The effect of clear paints, nanozycofil and nanozycosil on water absorption and contact angle of poplar wood", *IJWP.* 2, 17-26, **2011**.
44. T. Krystofiak, B. Lis, M. Muszyńska, S. Proszyk. "The effect of aging tests on gloss and adhesion of lacquer coatings on window elements from pine wood", *Drewno: prace naukowe.* 59, 127-137. **2016**.
45. M. Budakçı, E. Saygin, S. Senol. "Effect of resin cleaning process on adhesion strength of water-based varnishes", *Bioresources.* 14, 1317-1332. **2019**.
46. B. Ugolino, R. E. Hernández. "Analysis of sanding parameters on surface properties and coating performance of red oak wood". *Wood Mater. Sci. Eng.* 13, 64-72. **2018**.
47. S. L. Bardage, J. Bjurman. "Adhesion of waterborne paints to wood", *JCT.* 70, 39-47. **1998**.
48. P. Ahola. "Adhesion between paint and wood substrate", *Jocca.* 74, 173-176, **1991**.
49. J. Boxall, "Exterior wood finishes: performance testing by accelerated natural weathering", *JOCCA.* 2, 40-44. **1984**.
50. J. Barbehön. "Haffestigkeit reproduzierbar prüfen", *Metalloberfläche.* 46, 546-552. **1996**.
51. E. Kientz, J.Y. Charneau, Y. Holl, G. Nanse. "Adhesion of latex films". Part I Poly (2-ethyl-hexyl methacrylate) on glass", *JAST.* 10 (8). 745-759. **1996**.
52. J. J. Bikerman. "Causes of poor adhesion Weak boundary layer", *Ind. Eng. Chem.* 59 (9) 40-44. **1967**.
53. R.M. Nussbaum. "The critical time limit to avoid natural surface inactivation of spruce surfaces (Picea Abies) intended for painting and gluing". *Holz.* 53 384. **1995**.
54. S.M. Kambanis, G. Chip. "Polymer and paint properties affecting wet adhesion". *JCT.* 53, 57-64. **1981**.
55. J. Ekstedt. "Influence of Coating Additives on Water Vapour Absorption and Desorption in Norway Spruce", *Holz.* 663-668. **2002**.
56. G. Frens, "Depletion, A key factor in polymer adhesion". *AAPC, Mittal* (ed.), 2-21. **2003**.
57. M. Schwartz, R. Baumstark. "Waterbased acrylates for decorative coatings". **2001**.
58. B. Singh, L. W. Chang, R. R. DiLeone, D. R. Siesel, "Novel wet adhesion monomers for use in latex paints". *Prog. Org. coat.* 34, 214-219, **1998**.
59. M. Gnatowski, "Method for protecting wood surfaces and a wood product produced thereby", Patent WO 93/19858, **1993**.
60. J. G. Nienhuis, M .A. J. Akkerman, "Durable systems for wooden window frames", *Surf. Coat. Int.* 123-129, **2002**.
61. M. de Meijer. "A review of interfacial aspects in wood coatings: wetting, surface energy, substrate penetration and adhesion, COST E18 Final Seminar, 26-27. **2004**.
62. M. Ghofrani, K. S. Khojasteh. "Investigation on the effect of different methods of applying transparent coatings on adhesion strength of coating in wooden surfaces", *ISTT.* 31, 248-260. **2016**.
63. B.F. Tjeerdsma, W. Cobben. "Wood machining and cell derformation (in dutch)", *SHR report* 1.157, **2002**.