در دسترس بصورت الکترونیک @ www.jscw.icrc.ac.ir

نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، جلد ۹، شماره ۴، (۱۳۹۸) ۷۶-۶۵

نوع مقاله: مروری

مواد مورد مصرف در آستری و پوشش‌های چوب و انواع روش‌های میکروسکوپی جهت ارزیابی آن‌ها

بهنام غلامپور[۱]، هادی غلامیان[۲*]

۱- دانشجوی دکتری بیولوژی و آناتومی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، صندوق‌پستی: ۴۱۱۱.

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، صندوق‌پستی: ۴۱۱۱.

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۰۱ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۸/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۱۹ در دسترس به‌صورت الکترونیک: ۹۸/۱۲/۷

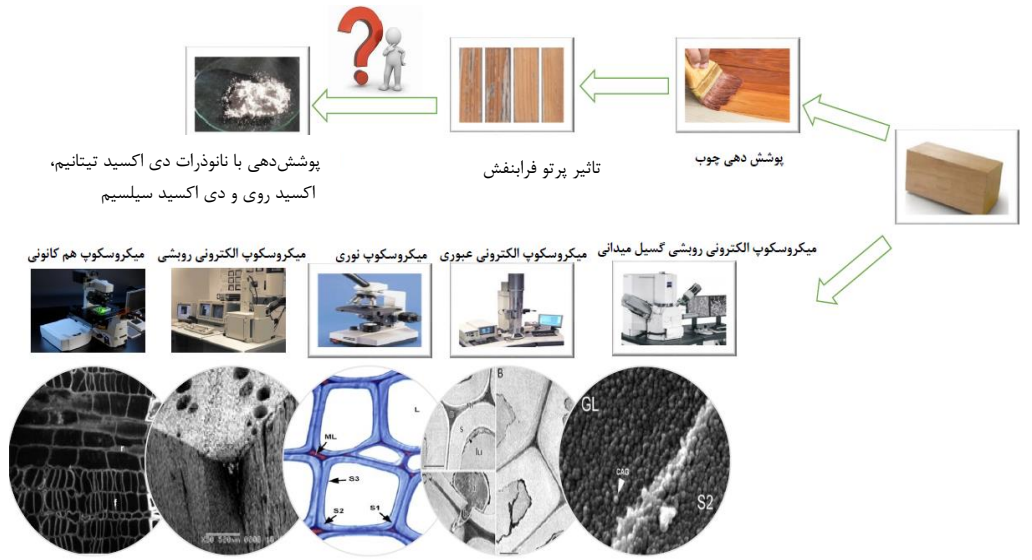
چکیده

پوشش‌های سطحی از سازه‌های چوبی در برابر هوازدگی و سایر عوامل پوسیدگی نظیر جذب رطوبت و تخریب میکروبی محافظت می‌کنند. میزان کارایی و بهره‌وری پوشش‌ها به عوامل زیادی از جمله اتصال مناسب پوشش‌های اعمال‌شده به چوب بستگی دارد. چسبندگی پوشش به چوب مستلزم ایجاد پیوندهای شیمیایی و فیزیکی بین پوشش و بافت‌های چوبی می‌باشد. امروزه اهمیت روز افزون رعایت الزامات بهداشتی، ایمنی و زیست‌محیطی در تولید صنعتی، تولیدکنندگان را موظف به تهیه پوشش‌های سبز مانند پوشش‌های پایه آب، پوشش‌های پودری، پوشش‌های با غلظت بالای ماده خشک و پوشش‌های مقاوم در برابر تابش نموده که دلیل آن کاهش انتشار ترکیبات آلی فرار (VOC) می‌باشد. در پوشش‌های نوین برای بهبود خواص پوشش نهایی چوب از فناوری نانو (نانوذرات دی اکسید سیلیکا، دی اکسید تیتانیم و سایر ترکیبات مانند اکسید روی و یون نقره) برای تولید پوشش‌های سطحی چوب استفاده می‌شود. استفاده از پوشش‌های نوین، نیازمند آشنایی با مواد و روش‌های کاربردی خاص نظیر سل-ژل، پلاسما و پوشش‌های پودری با پرتو زیر قرمز می‌باشد. پوشش‌های نوین چوب دارای ویژگی‌هایی می‌باشند که با مواد و روش‌های پوشش‌دهی رایج و قدیمی نمی‌توان به کیفیت خوب و ایده‌آل دست یافت، بنابراین شناخت مواد و روش‌های پوشش‌دهی در دنیای امروزی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. همچنین این بررسی بر پیشرفت‌های انجام شده به منظور درک جوانب فیزیکی سطح تماس با استفاده از بررسی سطح مشترک چوب و پوشش با استفاده از روش‌های تصویربرداری با وضوح بالا، از جمله میکروسکوپ هم‌کانونی (CLSM)، تصویربرداری میکروسکوپ الکترون روبشی و هماهنگی و ارتباط بررسی‌های میکروسکوپی نوری با استفاده از میکروسکوپ هم‌کانونی و میکروسکوپ الکترونی روبشی خواهد بود.

واژه‌های کلیدی

سطح تماس، تصویربرداری الکترونی روبشی، میکروسکوپ هم‌کانونی، پوشش پودری، نانو مواد.

چکیده تصویری



*نویسنده مسئول: hadi_gholamiyan@ut.ac.ir

Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color Science and Technology

Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir

Journal of Studies in Color World, Vol. 9, No.4, (2020) 65-76
Type: Review paper

نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

Materials Used in Varnish and Wood Coatings and a Variety of Microscopic Techniques to Identify Them

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

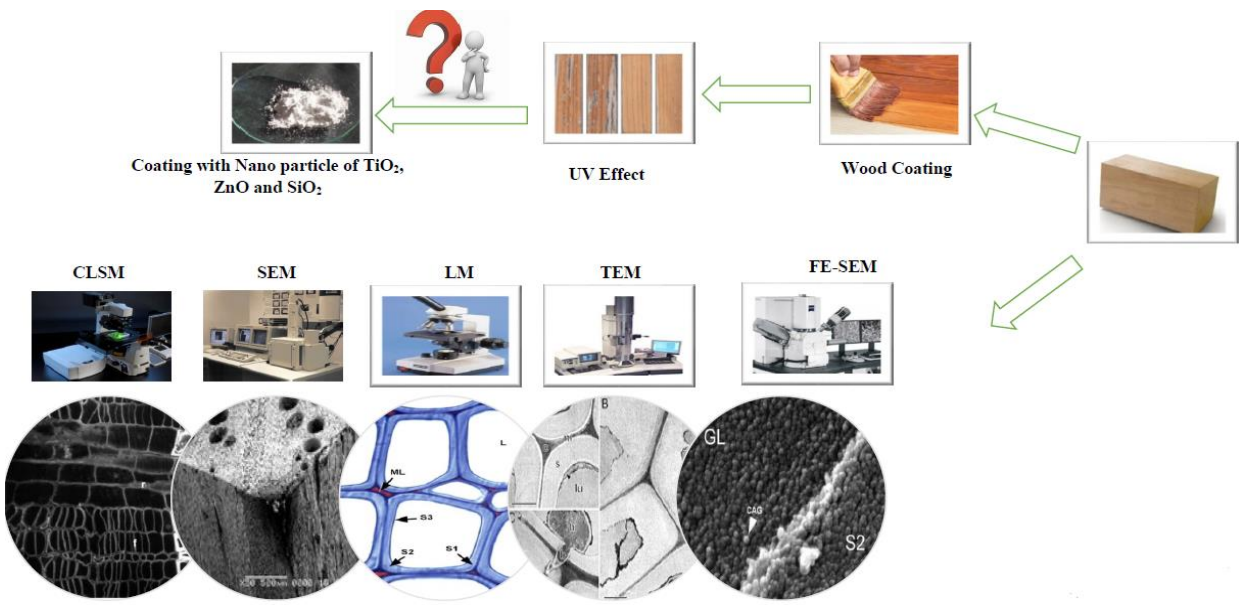
Abstract

Surface coatings protect wooden structures against weathering and other caries such as moisture absorption and microbial degradation. The efficiency and productivity of coatings depend on many factors, including the proper bonding of the coatings to the wood. Wood adhesion requires chemical and physical bonds between wood coatings and textures. Today, the increasing importance of hygiene, safety and environmental requirements in industrial production requires manufacturers to produce green coatings such as water-based coatings, powder coatings, high-density coatings, and coatings. It is radiation resistant due to the reduction of VOC emissions. Nowadays, modern coatings utilize nanotechnology (silicon dioxide nanoparticles, titanium dioxide and other compounds such as zinc oxide, silver ion) to improve the surface finish of wood. New coatings require the use of special materials and methods such as selegel, plasma and infrared powder coatings. Modern wood coatings include features that cannot be achieved with good or ideal coatings with conventional and past coating materials, so identifying new coating materials and methods It is very important in today's world.This study focuses specifically on advances made in understanding the physical aspects of contact surface using common surface and coating survey using high-resolution imaging techniques, including concurrent microscopy (CLSM) imaging. The scanning electron microscope will be the coordination and relevance of optical microscopy studies using confocal microscopy and scanning electron microscopy.

Keywords

Contact surface, Scanning electron imaging, Concentrated microscope, Plate furniture, Powder coating, Nano materials.

Graphical abstract



Corresponding author: hadi_gholamiyan@ut.ac.ir

۱- مقدمه

در دنیای امروز اهمیت الزامات رایج بهداشتی، ایمنی و زیست‌محیطی در تولید صنعتی پوشش رو به افزایش است. تولیدکنندگان در عین حفظ کیفیت و دوام محصولات خود با چالش‌های جدیدی در مسیر برآورد این الزامات مواجه می‌شوند. مقرراتی که برای تولیدکنندگان پوشش در اتحادیه اروپا اعمال می‌شود، بسیار زیاد است [۱].

آماده‌سازی محصولات جدید مطابق با تمام این مقررات، با در نظر داشتن نیازهای زیبایی شناسی و همچنین نیاز به محصول مقاوم و پایدار، کار ساده‌ای نیست. همچنین، محصولات چوبی در شرایط سرویس در فضای باز در اثر تابش خورشید تخریب می‌شوند و این موضوع می‌تواند باعث هوازدگی دیواره‌های سلولی [۱۱-۲] و تخریب آن توسط میکروارگانیسم‌ها شود [۱۳، ۱۲]. استفاده از پوشش‌های مناسب روی سطح محصولات چوبی می‌تواند با جلوگیری از رسیدن پرتو خورشید به سطح چوب و مانع حمله آفات زنده و تماس مستقیم رطوبت با بافت‌های چوبی شود و در نهایت باعث افزایش عمر مفید سازه چوبی می‌شود. در میان عوامل موثر بر عملکرد پوشش‌های چوب، چسبندگی پوشش به بافت چوب از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۴] که در درجه اول به میزان عمق نفوذ پوشش در چوب [۱۵] و همچنین به میزان چسبندگی مکانیکی و شیمیایی از طریق پیوند با بافت سطحی چوب و حفرات زیرین بافت‌های چوبی بستگی دارد [۱۷، ۱۶]. بررسی سطح تماس پوشش با بافت چوب برای درک ماهیت میزان اتصال چوب با پوشش از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین این اطلاعات در ارزیابی چسبندگی و بررسی عملکرد پوشش‌ها در بهینه‌سازی فرآیند تولید، نوع پوشش و نحوه پوشش‌دهی بسیار اهمیت دارد.

میکروسکوپ یکی از رایج‌ترین ابزار جهت بررسی و تصویربرداری از سطح مشترک تماس بافت چوب با پوشش می‌باشد. در حالی که اکثر مطالعات میکروسکوپی با هدف ثبت اطلاعاتی در مورد عمق نفوذ پوشش‌های اعمال شده در محصولات چوبی ساخته شده از انواع مختلف چوب ثبت شده است [۲۵-۱۸، ۱۵]. روش‌های میکروسکوپی تخصصی که قابلیت به تصویر کشیدن میزان سطح تماس پوشش و چوب را با وضوح بیشتر داشته و درک بهتری از اتصال پوشش و چوب در سطح سلولی و کوچک‌تر از سلول ارائه می‌دهند، توسعه یافته و به کار گرفته شده‌اند [۲۶، ۱۷، ۱۶]. در بخش اول این مقاله تلاش شده است روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل و بررسی میکروسکوپی با امکان سنجش و بررسی سطح تماس پوشش و بافت چوب معرفی گردد و سپس به معرفی برخی از مواد جدید که اغلب به عنوان نوآوری در زمینه پوشش نهایی چوب از آن‌ها یاد شده، اشاره می‌شود. همچنین، اطلاعاتی در زمینه سطح تماس فیزیکی پوشش با سطح چوب و نیز تمام سطوح مشترک تماسی بین پوشش‌های نفوذ کرده و دیواره‌های سلولی اطراف حفرات سلولی و ترک‌های دیواره سلولی در لایه‌های زیرین بافت چوب پرداخته شود.

۲-پوشش‌های زیست‌محیطی مناسب

۲-۱-پوشش‌های چوبی در دنیای امروز

در سال‌های اخیر برخی از تولید کنندگان رنگ‌ها و پوشش‌ها[1] با افزایش نیازهای مصرف‌کنندگان برای محصولات ایمن‌تر و سالم‌تر روبرو شده‌اند. این افزایش نیاز، منجر به تولید پوشش‌های سبز و مطابق با مقررات زیست‌محیطی شده است [۲۷]. پوشش‌های سبز شامل پوشش‌های پایه آب، پوشش‌های پودری، پوشش‌های با غلظت بالای ماده خشک و پوشش‌های مقاوم در برابر تابش می‌باشد. تاکید اصلی در تولید این پوشش‌ها، کاهش انتشار ترکیبات آلی فرار[2] (VOC) می‌باشد. با توجه به محدودیت مقررات زیست‌محیطی، پوشش‌های پایه آب در چند سال اخیر گسترش یافته است. از مزایای قابل توجه پوشش‌های پایه آب نسبت به پوشش‌های پایه حلال می‌توان به کاهش انتشار ترکیبات آلی فرار و سلامت مصرف‌کنندگان اشاره کرد. پوشش‌های پایه آب به طور موفقیت‌آمیزی در پوشش نهایی مبلمان، کفپوش‌ها و پنجره‌ها نیز به کار گرفته شده‌اند. بعضی از شرکت‌ها از سیستم‌های پایه آب (یک جزئی، دو جزئی و پوشش‌های پایه آب تابش‌پز [۲۸] با کیفیت عالی استفاده می‌کنند. این سیستم قابل مقایسه با پوشش‌های دو جزئی معمولی پلی‌یورتان هستند. پوشش‌های با ماده جامد بالا، حاوی ۶۵ تا ۷۵ درصد ماده خشک، برای کاربرد در غلطک‌ها و افشانه‌ها توسعه یافته است. امکان استفاده از منابع تجدیدپذیر در پوشش نیز به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین، روغن‌های گیاهی بر پایه مونومرها (مانند روغن کرچک یا روغن سویا) به عنوان جایگزینی ناتمام برای مونومرهای آکریلیکی پایه نفت استفاده می‌شود [۲۷]. همچنین رقیق‌کننده[3] و حلال‌های پایه نفت با گرانروی کم در پوشش‌های پایه حلال سبب افزایش میزان قابلیت انتشار این پوشش‌ها شده و در نتیجه مقدار ترکیبات آلی فرار کاهش می‌یابد [۲۹].

۲-۲- تثبیت‌کننده‌های[4] نوری جدید

درک این حقیقت که چوب نسبت به نور حساس است، عامل مهمی در توسعه سیستم‌های جدید برای حفاظت از سطوح و پوشش‌های چوب از تخریب ناشی از نور فرابنفش می‌باشد. برای انواع چوب‌ها یک "سیستم محافظ لیگنین" وجود دارد که شامل جاذب‌های فرابنفش، تثبیت‌کننده‌های نوری سبک آمین (HALS) و تثبیت‌کننده‌های ویژه لیگنین می‌باشد [۲۹]. با این حال، از این سیستم نمی‌توان برای محافظت جهت جلوگیری از نفوذ نور استفاده کرد زیرا تنها می‌تواند به صورت جزئی از تغییر رنگ انواع چوب‌های تیره‌تر جلوگیری کند. بنابراین، یک سیستم جدید برای جلوگیری از نفوذ نور بر چوب‌های تیره‌تر تولید گردید [۳۰]. اصل اساسی این سیستم جدید استفاده از

[1] Varnish
[2] Volatile organic compounds
[3] Diluters
[4] Stabilizers

ترکیبی از جاذب‌های آلی پرتو فرابنفش است که بر پایه ترکیبات تریس-رزروسینول تری آزین[1] و جاذب‌های نوری است [۳۱]. جاذب‌های فرابنفش سبب حفاظت از آسیب‌های نوری UV-A/B می‌شود و در نتیجه باعث تفکیک طیف نور مرئی و در نهایت موجب حفاظت سطح چوب می‌شود. مزایای این جاذب‌ها، میزان جذب و پایداری نوری بیشتر است. همچنین نتایج مطالعات پیتر و همکارانش نشان داد حداکثر جذب در طول موج ۳۶۰ نانومتر رخ می‌دهد. ضعف اصلی جاذب‌های نور فرابنفش، تغییر رنگ چوب به مقدار مشخص می‌باشد. این تغییر رنگ به این دلیل می‌باشد که چوب رنگدانه نور مرئی را جذب می‌کند و این تغییر رنگ اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بنابراین، انتخاب نوع جاذب نور مرئی با توجه به نوع چوب و نوع پوشش متغیر است و بسیار مهم می‌باشد [۳۲].

۲-۳- نانومواد

امروزه در پوشش‌های نوین از فناوری نانو برای پوشش نهایی چوب استفاده می‌شود [۳۵-۳۳]. دلیل اصلی گرایش به این فناوری، توانایی آن در بهبود قابل توجه خواص پوشش می‌باشد. اصطلاح مواد نانوساختار یا نانومواد به ترکیباتی (ذرات پودر، دانه‌های ساختاری یا لایه‌های تولید شده) در ابعاد مختلف بین چند و تقریبا صد نانومتر اشاره می‌کند. بر این اساس، توسعه نانو پوشش‌ها بر پایه نانو لایه‌ها[2] و نانوساختارها[3] است [۳۶]. تحقیقات مطالعه فرناندو نشان می‌دهد که پوشش‌های نانو ذرات دارای دو مزیت بزرگ یعنی انرژی بین مولکولی نسبتا بالا و شفافیت پوشش می‌باشد [۳۷].

افزودن نانوذرات به پوشش می‌تواند به طور قابل توجهی بر خواص آن تأثیرگذار باشد. ابتدا، خواص مکانیکی آن مانند مقاومت به خراش، سایش و ترک‌خوردگی بهبود می‌یابد. همچنین، به دلیل کوچک‌بودن اندازه، نانوذرات پراکندگی نور را به صورت قابل ملاحظه کاهش می‌دهند و به حفظ شفافیت پوشش کمک می‌کنند. ترکیب و اندازه مناسب نانوذرات ممکن است بر تخلخل پوشش در حضور بخار آب و گازها تاثیر بگذارد [۳۸].

در تحقیقات جدید علاقه‌مندی به نانوذرات سیلیکا، تیتانیم، روی، سریم، آلومینیم و نقره در حال افزایش است. چنین نانو پوشش‌هایی نه تنها قادر به محافظت از رنگ طبیعی چوب هستند بلکه می‌توانند سطح چوب را از نور خورشید و رطوبت، در برابر تخریب حفاظت کنند. نانو ذرات می‌توانند به عنوان افزودنی‌های پوشش یا به عنوان یک فیلم نازک (نانولایه) به طور مستقیم در سطح چوب بکار برده شوند [۳۹].

نانوذرات دی اکسید سیلیکا (SiO_2) در پوشش‌ها می‌توانند در دامنه اندازه تقریبا ۲ تا ۱۰۰ نانومتر باشند. این نانو ذرات در عین حفظ براقیت و شفافیت پوشش، عمدتا برای افزایش مقاومت در برابر سایش، ترک‌خوردگی، خراش و مواد شیمیایی استفاده می‌شوند. در استفاده از پوشش‌های شفاف، لازم است اندازه ذرات به اندازه کافی کوچک (۵ تا ۲۰ نانومتر) باشد تا از پراکندگی نور، کاهش براقیت و شفافیت پوشش جلوگیری کند [۴۰، ۴۱].

نانو ذرات دی اکسید تیتانیم (TiO_2) از طریق مسدودکردن نفوذ نور فرابنفش، از پوشش و سطح زیرین آن محافظت کرده و باعث افزایش دوام آن می‌شوند. مزیت دی اکسید تیتانیم در غیرسمی‌بودن آن گنجانده می‌شود. این نانوذرات تحت تاثیر نور فرابنفش شکسته و به سمت سطح پوشش جابجا نمی‌شوند. از جمله نقاط ضعف این نانو ذرات می‌توان به سختی در پراکندگی و کاتالیزور نوری‌بودن آن اشاره کرد. به ترتیب نانو ذرات دی اکسید تیتانیم موجب کاهش تاثیر نور در UVA و UVB از طریق پراکنده‌کردن و جذب نور شوند [۴۲]. این نانو ذرات به طور فزاینده‌ای در پوشش "خودتمیزشونده[4]"، که عمدتا به طور گسترده در مصارف بیرونی استفاده می‌شود، به کار برده می‌شوند. همانند دی اکسید تیتانیم، اکسید سریم[5] نیز محافظت در برابر نور فرابنفش را فراهم می‌کند. تفاوت بین این نانوذرات با یکدیگر این است که، بر خلاف دی اکسید تیتانیم، هیچ اثر کاتالیزوری نوری در اکسید سریم رخ نمی‌دهد. بنابراین لازم است که سازگاری خوب نانوذرات با پوشش‌های پایه آب و پایه حلال برای فرآیند پوشش‌دهی در نظر گرفته شود. اکسید سریم شفافیت پوشش را در طول موج‌های ۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر با ضریب شکست ۲/۱ تا ۲/۲ ایجاد می‌نماید و همچنین، اکسید سریم می‌تواند مقاومت در برابر خراش را افزایش و حساسیت به آب را کاهش دهد [۴۳]. اکسید روی (ZnO) در ابعاد نانو غالبا برای حفاظت از پوشش چوب از آسیب نور فرابنفش استفاده می‌شود. همچنین، نانوذرات اکسید روی در پوشش‌ها پایدار می‌باشند و جابجا نمی‌شوند، و از این رو سبب افزایش دوام پوشش می‌شود [۴۴]. اکسید روی به عنوان عامل ضدباکتری و ضدقارچ نیز شناخته می‌شود [۳۷]. فعالیت ضدقارچ و باکتری یون‌های نقره می‌تواند در تولید پوشش‌های بهداشتی استفاده شود [۳۶]. همچنین از نانوذرات آلومینیم برای افزایش مقاومت در برابر خراش استفاده می‌شوند و اثر "خود بازسازی[6]" فیلم را در عین حفظ براقیت به وجود می‌آورند [۴۵].

جالب توجه است که، نانوذرات شکر می‌توانند به عنوان اتصال‌دهنده‌های محلول در آب در پوشش‌های چوب مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، از نانوذرات طبیعی اینولین، ساکارز و نشاسته هم می‌توان استفاده نمود. تحقیقات انجام شده روی چوب نشان داده است که این پوشش‌ها خواص چسبندگی و کشسانی بسیار خوبی دارند. بعلاوه این مواد تجدیدپذیر می‌توانند به عنوان مواد افزودنی به پوشش‌های پایه روغن معدنی استفاده شود [۴۶]. از هیدروتالکیت[7] ($Mg_4Al_2(OH)_{12}CO_3xH_2O$) به منظور ممانعت خروج صمغ و تانن از چوب به مقادیر بسیار کم در پوشش‌های پایه آب می‌توان استفاده کرد. این ماده شامل نانوذرات رس است که

[1] Tris-resorcinol triazine
[2] Nanolayers
[3] Nanostructures

[4] Self-Cleaning
[5] Cerium-oxide
[6] Self-Regenerating
[7] Hydrotalcite

آنیون رس[1] یا هیدروکسید دو لایه نامیده می‌شود. همچنین، به منظور جلوگیری از تیره شدن پوشش، هیدروتالکیت باید به ذرات کوچک‌تر شکسته شود که این عمل از طریق ترکیب امولسیون هیدروتالکیت[2] و محیط مناسب آنیون با پراکندگی متوسط انجام می‌شود [۴۰]. پوشش‌های نانولایه‌ای، لایه‌های نازک نانومتری هستند که به صورت مستقل بر روی زیر لایه قرار می‌گیرند. چنین لایه‌هایی می‌توانند خواص چوب را به طور قابل توجهی تغییر دهند.

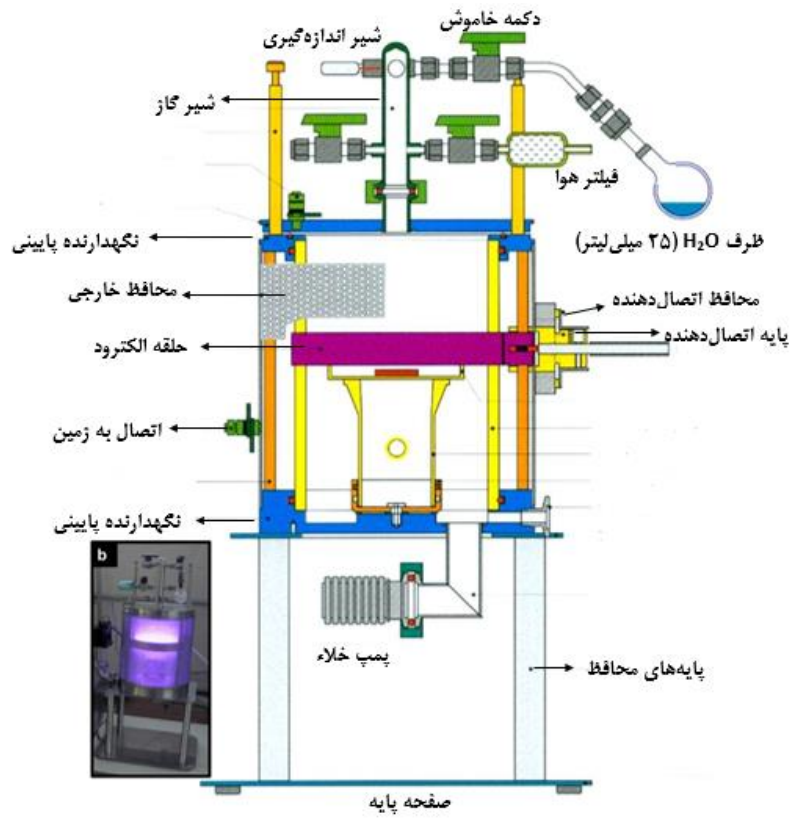
برای اعمال نانو ذرات به سطح چوب می‌توان از دو روش پلاسمای سرد[3] و روش سل-ژل[4] استفاده نمود. در استفاده از نانو ذرات با روش پلاسمای سرد، پلاسما در فشار اتمسفر در هلیم و / یا گاز آرگن ایجاد می‌شود و در ولتاژ بالا فرکانس بین کاتد و آند جریان می‌یابد. گاز بی اثر از طریق کاتد به داخل پلاسما تزریق شده و سپس پلاسما بر روی سطح چوب پاشیده می‌شود [۴۷]. این روش امکان استفاده از یک لایه ضخیم ترکیبی چندین نانومتری که بر روی لایه زیرین که در تماس با پلاسما قرار دارد را فراهم می‌کند [۴۸]. همچنین، روش سل ژل (شکل ۱) امکان استفاده از فیلم‌های نازک در دمای اتاق و امکان ایجاد مواد کاملا جدید معدنی یا معدنی-آلی (نانو کامپوزیت) با خواص و ساختارهای مختلف را فراهم می‌سازد [۳۶]. تحقیقات متعددی نشان داده است که فیلم‌ها، خواص شیمیایی و مکانیکی سطح و ثبات رنگ چوب را افزایش می‌دهند [۳۹]. به‌علاوه، پوشش‌های هیبرید معدنی-آلی در بازار تحت نام اورموسل[5] و نانومر[6] یافت می‌شوند. این پوشش‌ها می‌توانند خواص سطحی بعضی از مواد، از جمله چوب را بهبود بخشند [۳۶].

جایگزین رنگ‌ها و پوشش‌های رایج، نانو پوشش‌های جدید می‌باشند که دارای ویژگی‌هایی از جمله انعطاف‌پذیری بالا، مقاومت مناسب در برابر آسیب‌ها، سوختگی و بخار آب هستند [۵۰]. نانو پوشش‌های پلیمری حاوی ترکیبات پلی‌یورتان، مقاومت بالایی به تغییر شکل داشته و حالت الاستیک بسیار مناسبی را ایجاد می‌نمایند [۵۱]. در روش‌های جدید، از نانوذرات به منظور ضد آب کردن سطح چوب استفاده می‌شود (شکل ۲) [۵۲]. نانوپوشش‌ها از پدیده‌های طبیعی الهام گرفته‌اند. به عنوان مثال پوست دلفین دارای ناهمواری‌هایی در ابعاد نانو است که چسبندگی موجودات دریایی را کاهش می‌دهد [۳۷].

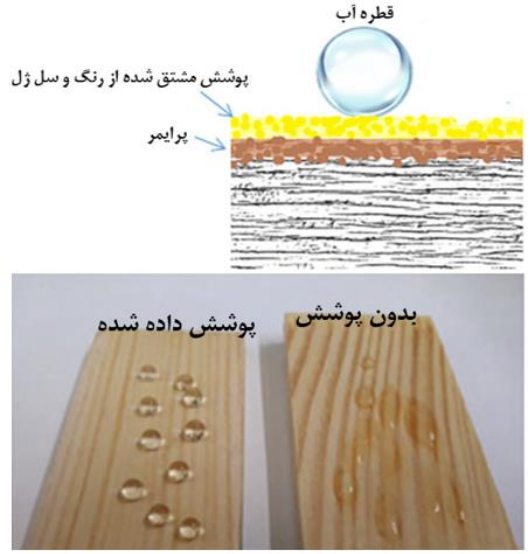
۲-۴-مواد پودری

پوشش‌های پودری پایه حلال از لحاظ زیست‌محیطی جایگزین قابل قبولی برای پوشش‌های سطحی چوب می‌باشند [۵۵-۵۳]. این پوشش‌ها از روی ویژگی‌هایی مانند نرخ انتشار بسیار کم مواد آلی فرار (VOC)، کاهش مصرف انرژی و مقدار ضایعات قابل تشخیص بسیار مفید می‌باشند.

[1] Anion clay
[2] Hydrotalcite
[3] Cold plasma
[4] Sol-gel procedure
[5] Ormocel
[6] Nanomer



شکل ۱- راکتور پلاسمای چوب [۴۹].



شکل ۲- استفاده از نانو ذرات برای ضدآب‌کردن سطح چوب [۵۲].

فناوری‌های پیشین برای استفاده از پوشش‌های پودری، به درجه حرارت بالا یعنی شرایطی که چوب قادر به تحمل آن نیست، نیاز داشتند. با این وجود در چند سال گذشته، پوشش‌های پودری دما پایین در صنعت مبلمان صفحه‌ای و کامپوزیت‌های چوبی توسعه یافته است [۵۶]. امکان پوشش‌دهی صفحات تخته فیبر با استفاده از پوشش‌های پودری، به طور موفقیت‌آمیز انجام شده است، اما کاربرد آن در چوب ماسیو، به ویژه در چوب‌های دارای حفرات با قطر زیاد، نتایج خوبی را ارائه نداده است. به طور کلی پوشش‌های پودری در دو گروه بر اساس سازوکار سخت‌شدن طبقه‌بندی شده است که عبارتند از: ۱) پوشش‌های پودری گرما نرم[1]: اعمال از طریق حرارت‌دهی با هوای گرم، پرتوهای زیر قرمز یا ترکیبی از این دو روش و ۲) پوشش پودری گرما سخت با پرتو فرابنفش[2]؛ این پوشش مانند پوشش‌های پودری گرما نرم، ابتدا گرم و ذوب شد. سپس سخت‌شدن با کمک پرتو فرابنفش اتفاق می‌افتد. در نتیجه کیفیت سطح افزایش یافته و مدت زمان کل فرآیند کاهش می‌یابد [۳۶]. هر یک از این روش‌ها می‌تواند در پوشش‌دهی محصولات چوبی استفاده شود.

از مزایای بسیار زیاد پوشش‌های پودری می‌توان به تعداد کم لایه‌ها، امکان استفاده در موارد صاف و منحنی، پتانسیل بسیار بالای بازیافت و زمان پلیمرشدن کوتاه اشاره نمود. پوشش‌های پودری ۱۰۰ درصد ماده خشک بوده و بدون حلال استفاده می‌شود. مهم‌ترین محدودیت این پوشش‌ها، تعداد محدود ترکیبات رنگی می‌باشد.

۲-۵- رنگدانه‌های ترکیبی

به طور کلی هر پوشش از سه قسمت اصلی رزین، حلال و رنگدانه تشکیل شده است. از رنگدانه‌های ترکیبی برای کم کردن فاصله میان قیمت پوشش و خواص مورد نیاز مصرف‌کنندگان آن‌ها استفاده می‌شود.

همچنین رنگدانه‌ها بسته به محل استفاده به عنوان پرکننده، تغییر رنگ‌دهنده و تغییر در غلظت پوشش‌ها استفاده می‌شود. رنگدانه‌های ترکیبی می‌توانند آلی-آلی، معدنی- معدنی و آلی-معدنی باشند. امروزه با کشف و ارزیابی رنگدانه‌های متنوع کاربرد و ویژگی‌های آن‌ها بسیار افزایش یافته است که می‌تواند ویژگی‌های خاص و منحصر به فردی را در پوشش‌های چوبی ایجاد نماید.

۲-۶- پوشش‌های آب‌گریز (اثر لوتوس[3])

مطالعات متعددی در زمینه پوشش‌های آب‌گریز و اثر آن بر چوب انجام شده است [۵۷، ۵۸]. اثر لوتوس به قابلیت خودتمیزشوندگی برگ‌های درخت سدر اشاره دارد. به منظور دست‌یابی به چنین اثری در پوشش‌ها، لازم است یک سطح آب‌گریز با سطح انرژی بسیار پایین و یک ریز ساختار مناسب ایجاد شود. ویژگی آبگریزی سطح و کاهش انرژی سطحی با اضافه‌کردن مواد افزودنی حاصل می‌شود. استفاده از پوشش‌های آبگریز و ریزساختار (اثر لوتوس) می‌تواند باعث شود سطح بسیار راحت‌تر از سطوح معمولی تمیز شود. همچنین از مزیت دیگر سطح دارای ریزساختار، امکان ایجاد پوشش‌های شفاف با براقیت بالا است. نتایج تحقیقات دو[4] و همکارانش نشان می‌دهد با اندازه‌گیری زاویه تماس قطره قطره آب، زاویه تماس در سطح پوششی که افزودنی‌ها به آن اضافه شده حدود ۱۲۵ درجه بود، در حالی که استفاده از پوشش‌های ریز ساختار یا میکروساختار می‌تواند این زاویه را تا ۱۶۰ درجه افزایش دهد (زاویه تماس روی سطوح معمولی اجسامی مانند شیشه، ۴۰ درجه است). ترکیبات سیلیکا و تیتانیم به عنوان مواد افزودنی و ایجاد پوشش‌های آب‌گریز قابل استفاده می‌باشند. این پوشش‌ها در صنعت ساختمان که در آن سطوح به آسانی توسط باران تمیز می‌شود بسیار جذاب هستند [۵۹].

[1] Thermo-reactive
[2] UV-hardening
[3] Lotus-Effect
[4] Du

با این حال، سطح چوب پوشش داده شده نسبت به بخار متخلخل باقی می‌ماند و چوب از لحاظ رطوبت‌پذیری، در طول مدت قرار گرفتن در معرض رطوبت، به ویژه در پانل‌های افقی و زاویه‌دار، رطوبت زیادی را در خود ذخیره می‌کند [۶۰]. با این حال، سطح چوب پوشش داده‌شده با ترکیبات سیلیکا و تیتانیم (پوشش اثرنیلوفر آبی) مقاومت بهتری نسبت به جذب رطوبت از خود نشان می‌دهند و می‌توانند سطوح خود تمیز شونده بهتری را نسبت به سایر پوشش‌ها از خود نشان دهد. همچنین زمانی که از پانل‌های چوبی در سطوح بیرونی ساختمانی استفاده می‌شود با هر بار بارندگی نه تنها دوام آن کاهش نیافته بلکه سطوح آن تمیز می‌گردد.

۳- روش‌های میکروسکوپی

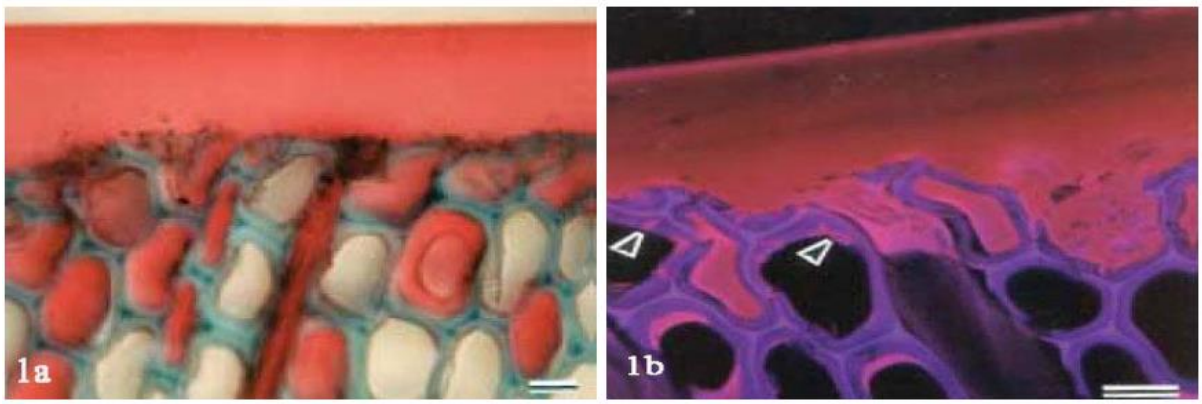
۳-۱- روش‌های نوین میکروسکوپی برای تصویربرداری از سطح تماس پوشش و بافت چوبی

اهمیت چسبندگی پوشش برای بررسی میزان دوام و عملکرد پوشش برای مدت زمان طولانی است. در میان عوامل موثر بر چسبندگی پوشش به سطح چوب، میزان عمق نفوذ پوشش به لایه‌های زیرین و بافت‌های چوبی دارای اهمیت زیادی می‌باشد. از آنجا که بهبود در دفع آب منجر به ثبات ابعادی بیشتر و ترک‌خوردگی کمتر چوب در فضای بیرونی می‌شود، در راستای مطالعات انجام شده [۶۰، ۲۵، ۲۴، ۱۵]. اهمیت خاصیت مویینگی چوب[1]، یعنی نفوذ پوشش به منافذ بزرگتر در بافت‌های چوبی نظیر حفرات سلولی، آوندها، تراکئید و پرتوها را می‌توان با استفاده از تصاویر میکروسکوپی در یک مطالعه ترکیبی با میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی عبوری به منظور درک سازوکار اتصال یک پوشش شفاف با چوب کاج رادیاتا[2] را مشاهده نمود [۱۰]. نتایج تحقیقات کو[3] نشان داد عامل اصلی در تخریب پوشش‌های شفافی که در فضاهای باز مورد استفاده قرار می‌گیرند، به علت تخریبی که توسط لیگنین در اثر برخورد پرتو فرابنفش خورشید و همچنین در ادامه جداشدن لایه رنگی از سطح چوب می‌باشد، رخ می‌دهد. تمرکز اصلی این بررسی، آشنایی و درک سطح تماس چوب و پوشش در راستای توسعه و استفاده از روش‌های جدید میکروسکوپی به صورت جداگانه و ترکیبی است. این بررسی مبتنی بر فعالیت‌های پژوهشی محققان مختلف و همچنین بررسی‌های خود نویسندگان می‌باشد.

۳-۲- تصویربرداری از سطح تماس پوشش و سطح چوب توسط میکروسکوپ هم‌کانونی (CLSM)

میکروسکوپ هم‌کانونی به دلیل قابلیت‌های پیشرفته در تجزیه و تقسیم‌بندی لیزری نمونه‌های پوشش داده‌شده و بازسازی سه‌بعدی بر اساس تصاویر تولید شده از بخش‌های مختلف سطح اسکن‌شده، به عنوان ابزاری دقیق در بسیاری از مطالعات میکروسکوپی استفاده و مورد تایید قرار گرفته است. این امر نیاز به تثبیت شیمیایی و قالب‌گیری برای مقطع‌گیری که روش وقت‌گیر و خسته‌کننده‌ای بوده و می‌تواند سبب تغییر ساختارهای سلولی شود را از بین می‌برد. میکروسکوپ هم‌کانونی تصاویر واضح‌تری نسبت به میکروسکوپ‌های نوری ایجاد می‌کند، زیرا با کمک دیافراگم با بزرگنمایی بیشتر تضادهای رنگی تا حد زیادی از بین رفته و در نهایت منجر به افزایش توان تفکیک، وضوح تصویر و حساسیت در تشخیص می‌شود. مطالعات تحقیقاتی سینگ[4] در مورد مقایسه میکروسکوپ هم‌کانونی و میکروسکوپ نوری (LM) برای تصویربرداری سطح تماس بین چوب کاج رادیاتا و یک پوشش شفاف نشان داد که میکروسکوپ هم‌کانونی به طور قابل توجهی نسبت به میکروسکوپ نوری نتایج بهتری در بدست آوردن اطلاعات در مورد ماهیت فیزیکی واکنشی بین پوشش و بافت داخلی و خارجی سطح چوب ارائه می‌دهد (شکل۳).

[1] Capillary penetration
[2] Pinus radiata
[3] Kuo
[4] Singh



شکل ۳- (a) تصویر میکروسکوپ نوری سطح تماس چوب-پوشش. وجود ماده پوشش (رنگ قرمز) در حفرات سلولی قابل تشخیص است اما نفوذ آن به داخل شکاف‌ها درون دیواره سلولی قابل تمایز نیست (آبی کمرنگ). مقیاس: ۲۰ میکرومتر، (b) تصویر میکروسکوپ هم‌کانونی از سطح تماس چوب و پوشش. وجود ماده پوشش (رنگ زرشکی) درون دیواره سلولی (رنگ بنفش) شکاف‌ها (سر فلش‌ها) می‌توانند به وضوح تمایز داده شوند. مقیاس تصاویر: ۲۰ میکرومتر [۶۱].

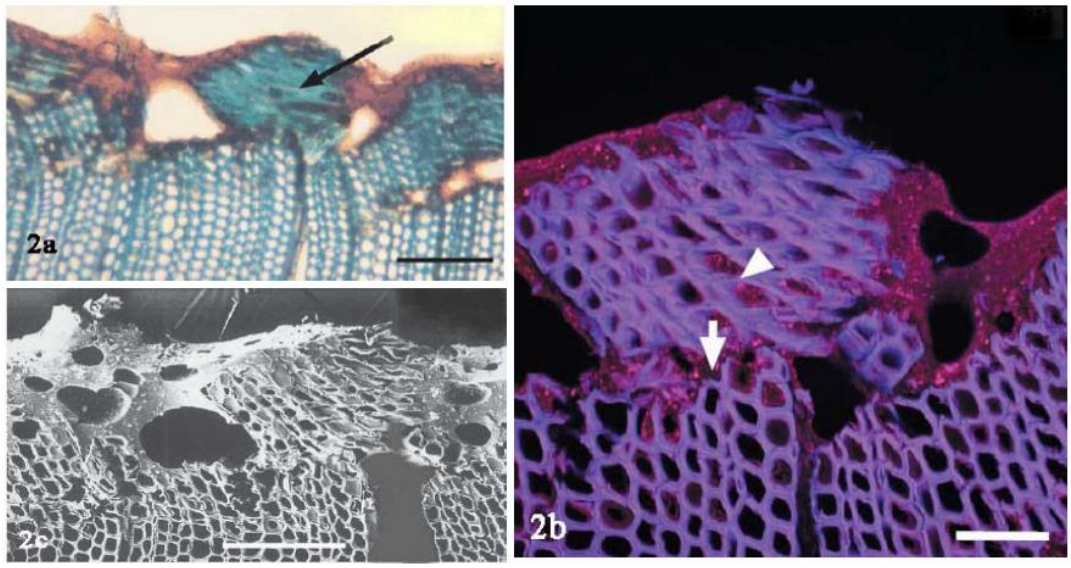
در حالی که سطح تماس پوشش با چوب در تصاویر میکروسکوپ نوری "در هم آمیخته[1]" به نظر می‌رسید، میکروسکوپ هم‌کانونی به وضوح سطح مشترک را نشان می‌دهد. همچنین، این امکان را فراهم ساخته است تا نفوذ پوشش به ترک‌های ریز به وضوح نشان داده شود. از آنجایی که وجود ترک‌ها با ابعاد کوچک می‌تواند سطح تماس دیواره سلولی را با پوشش‌های اعمال‌شده به میزان زیادی افزایش دهد و از این طریق چسبندگی پوشش را از طریق اتصال مکانیکی تقویت می‌نماید، همچنین توسعه و استفاده از روش‌های میکروسکوپی نه تنها اطلاعاتی در مورد نفوذ پوشش به خلل و فرج چوبی مانند حفره سلولی، آوندها، تراکئید و پرتوها را نشان می‌دهد [۲۴] بلکه می تواند میزان نفوذ به شکاف دیواره سلولی که در طول عملیات پوشش‌کاری و پرداخت در سطح چوب شکل گرفته را نمایان سازد. همچنین لازم به ذکر است میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) توان تفکیک بیشتری را در مقایسه با میکروسکوپ هم‌کانونی ارائه می‌دهند، تصویربرداری از سطح پوشش و چوب با استفاده از چنین ابزارهایی برای تصویرسازی پوشش‌ها به روش‌های آماده‌سازی ویژه‌ای نیاز دارد [۲۵] و شامل کار بسیار زمان‌بر و هزینه‌بر می‌باشد. پردازش و بررسی نمونه‌ها [۶] با میکروسکوپ هم‌کانونی می‌تواند تصاویر با وضوح بالا را در مدت زمان نسبتاً کوتاهی ارائه دهد و در نتیجه پتانسیل استفاده و کاربردهای گسترده‌ای در بررسی‌های پوشش‌های چوبی دارند.

۳-۳- هماهنگی و ارتباط بررسی‌های میکروسکوپی در پوشش‌های چوب

تحقیقات زیادی با استفاده از روش‌های میکروسکوپ نوری [۲۴]، میکروسکوپ هم‌کانونی [۱۶] و میکروسکوپ الکترونی اسکن‌کننده [۱۵، ۲۵] انجام شده و نتایج و اطلاعات ارزشمندی را از نفوذ پوشش به داخل چوب که مرتبط با چسبندگی پوشش است را ارائه می‌دهند، اما مطالعات جدیدتری صورت پذیرفته است، مانند بررسی هماهنگی و ارتباط مطالعات میکروسکوپی سینگ[2] و داوسون[3] [۱۷] که با تصویربرداری و تجزیه و تحلیل با پرتو ایکس [۶۲] اطلاعات دقیق‌تر و کامل‌تری در مورد پوشش چوبی ارائه می‌دهند. در اینجا مثالی برای مقایسه توانایی‌های میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ هم‌کانونی و میکروسکوپ الکترونی اسکن‌کننده در تمایز بافت‌های سطحی بسیار متراکم در یک کامپوزیت (تخته چندلایی) ساخته‌شده از کاج رادیاتا به منظور درک توزیع پوشش رنگ در این بافت‌ها آورده شده است. در این تحقیق [۱۶] ابتدا تخته‌لایه کاج رادیاتا توسط اره برش داده‌شده و سطح ناهمواری در آن ایجاد می‌گردد و سپس توسط رنگ آکریلی پوشش داده شده و بررسی میکروسکوپی صورت می‌پذیرد. سپس با استفاده از دستگاه میکروتوم کشویی[4] نمونه‌ای از سطح مشترک پوشش و چوب تهیه شده و با رنگ آبی تولوئیدن جهت تمایز دیواره‌های سلولی لیگنینی‌شده رنگ‌آمیزی گردید [۶۳]. این نمونه‌های تهیه شده ابتدا توسط میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تصویر دارای سطح بسیار نامنظم و بافت‌های بسیار ناهموار می‌باشد. همچنین می‌توان گفت میکروسکوپ نوری برای مقایسه و تمایز بافت‌های چوب آغاز و چوب‌پایان در زمینه‌های متفاوت ریزساختارها و دارای اعوجاج مفید می‌باشد. با این حال، میکروسکوپ نوری در تفکیک سلول‌ها به صورت جداگانه و تمایز دیواره‌های سلولی از حفرات سلولی به ویژه در بافت‌های از شکل افتاده نامناسب بود. بنابراین استفاده ازمیکروسکوپ نوری به تنهایی برای ردیابی مسیرها و محل قرارگیری نفوذ پوشش در بافت چوب و الگوی توزیع آن در بافت‌های سطحی تغییر شکل یافته امکان‌پذیر نمی‌باشد. در ادامه از همان نمونه و مقطع میکروسکوپی تهیه‌شده که مطالعات میکروسکوپ نوری انجام شد، توسط میکروسکوپ لیزری و الکترونی مطالعاتی جهت تفکیک‌پذیری بافت‌های از شکل افتاده با هدف مقایسه و درک اطلاعات دقیق‌تر در زمینه نفوذ و توزیع پوشش، در بافت چوبی مورد بررسی قرار گرفتند (شکل ۴). بر اساس تصویرb وجود ماده پوشش در حفرات سلولی (سر فلش) و درون یک شکاف در طول دیواره‌های سلولی (فلش‌ها) قابل تشخیص است اما وجود ماده پوشش در حفرات سلولی نیز در تصویر c به وضوح تصویر b نیست. بافت از شکل افتاده (فلش‌ها) در تصویر میکروسکوپ نوری در هم آمیخته ظاهر می‌شود (a) اما همان بافت در تصاویر میکروسکوپ هم‌کانونی (b) و میکروسکوپ الکترونی اسکن‌کننده (c) به وضوح قابل تشخیص است.

نتایج بررسی هماهنگی و ارتباط مطالعات میکروسکوپ‌ها نشان می‌دهد تجزیه و تحلیل ناحیه در هم پیچیده چوبی توسط میکروسکوپ‌ها متفاوت می‌باشد و می‌توان گفت بررسی عمق نفوذ پوشش در بافت چوبی که از طریق آن می‌توان اطلاعات بسیار خوبی را دریافت نمود، با استفاده از میکروسکوپ نوری به خوبی قابل انجام نیست و در مقایسه با میکروسکوپ هم‌کانونی یا میکروسکوپ الکترونی روبشی بسیار قابلیت محدودتری دارد. بنابراین بر اساس نتایج می‌توان گفت، در حالی که منطقه بافت چوبی که پیچ خورده در زیر میکروسکوپ نوری " در هم آمیخته" دیده می‌شود اما، ویژگی‌های سلول‌ها به صورت مجزا در این بافت توسط میکروسکوپ هم‌کانونی و میکروسکوپ الکترونی به وضوح قابل رویت می‌باشد. میکروسکوپ هم‌کانونی مناسب‌تر می‌باشد، زیرا تمایز رنگی درخشانی بین پوشش و دیواره سلولی و همچنین مشاهده وضح الگوی در هم آمیختگی نفوذ و توزیع پوشش در بافت چوبی قابل مشاهده می‌باشد. نتایج میکروسکوپ لیزری نشان می‌دهد، علاوه بر نفوذ پوشش به داخل حفرات سلولی، وجود پوشش درون ترک‌های دیواره سلولی تشکیل شده در حین برش صفحات چوبی با اره نواری قابل رویت می‌باشد که نشان‌دهنده عملکرد عالی این میکروسکوپ است[۶۴]. نتایج بررسی هماهنگی و ارتباط مطالعات میکروسکوپی نشان‌دهنده ارزش بالای اطلاعات در سطح حفرات و دیواره سلولی است که علاوه بر عمق نفوذ پوشش به داخل حفرات سلولی، نفوذ پوشش به شکاف‌ها و فضاهای کوچکتر (مانند ترک دیواره سلولی) در سطح و بافت های زیرسطحی برای پوشش را نشان می‌دهد و در نتیجه تاثیر آن بر چسبندگی پوشش در چوب را نمایان می‌سازد. این امر به ویژه در مورد سطوح چوبی بسیار زبر و ناهموار که در سطح آن بافت‌های شکننده وجود دارد از طریق نفوذ پوشش در عمق بافت و نفوذ موثر پوشش قابل تشخیص است، دارای اهمیت می‌باشد.

[1] Fuzzy
[2] Singh
[3] Dawson
[4] Sliding microtome



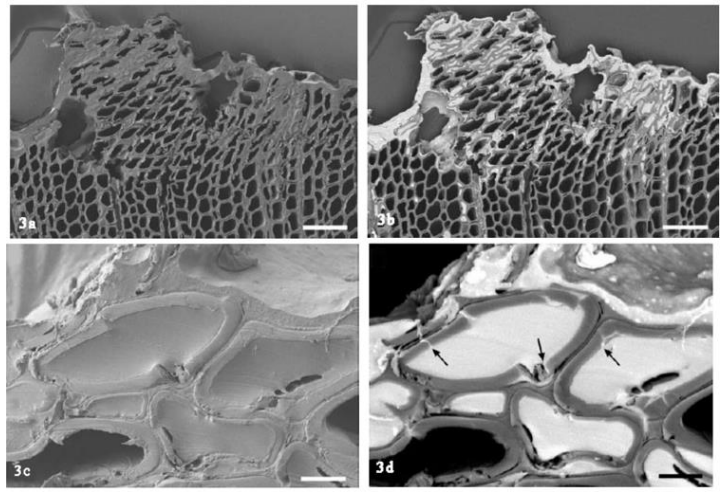
شکل ۴-a) میکروگراف‌های میکروسکوپ نوری (مقیاس تصویر برابر ۲۰۰ میکرومتر)، b) میکروسکوپ هم‌کانونی، مقیاس تصویر برابر ۱۰۰ میکرومتر و c) میکروسکوپ الکترونی روبشی از یک مقطع در امتداد سطح پوشش داده‌شده تخته لایه (مقیاس تصویر ۲۰۰ میکرومتر) [۶۲].

۳-۴- بررسی سطح تماس چوب و پوشش با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

اکثر مطالعات با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی با هدف ارزیابی عمق نفوذ پوشش انجام شده است [۱۵، ۲۱، ۲۳، ۲۵]. میکروسکوپ الکترونی روبشی یک ابزار تصویربرداری با توان تفکیک بالا با قابلیت تهیه اطلاعات دقیق مربوط به سطح سلول و کوچک‌تر از سلول می‌باشد. با این حال، یکی از نقایص مهم میکروسکوپ الکترونی روبشی در بررسی‌ها در زمینه پوشش، این است که پوشش‌ها و بافت‌های چوب به دلیل ظاهر خاکستری یکسان به خوبی از هم جدا نیستند. در اینجا ما یک مطالعه را مورد بررسی قرار داده‌ایم که در آن از روش میکروسکوپ الکترونی-روبشی استفاده شده تا توان تفکیک یک ماده از بافت‌های چوبی نفوذ کرده را تقویت کرده و این امکان را فراهم سازد تا مسیرهای نفوذ پوشش و الگوی توزیع پوشش در بافت چوبی به وضوح مشخص و نمایان شود (شکل ۵). در تصویر (a) ماده پوشش در توان تفکیک یکسان از دیواره‌های سلولی چوب خیلی سخت تشخیص داده می‌شود اما در تصویر (b) ماده پوشش به وضوح با ظاهر روشن قابل تمایز است. در تصویر (c) ماده پوشش از دیواره‌های سلولی خیلی سخت تشخیص داده می‌شود اما در تصویر (d) وجود ماده پوشش درون سلول‌های چوبی و شکاف‌های ریز دیواره‌های سلولی (فلش‌ها) قابل تشخیص است.

در این مطالعه همانند بخش ۴ پانل چوب رادیاتا پوشش داده شد و سپس برش مقاطع به صورت عرضی در امتداد سطح تماس چوب و پوشش تیمار شده با فلز سنگین تتراکسید اسمیم[1] که با پوشش پایه روغن واکنش می‌دهد اما با دیواره‌های سلولی چوب واکنش نمی‌دهد، انجام شد. در ابتدا مقاطع چوبی تیمارشده با اسمیم با حالت SEI (تصویربرداری الکترون ثانویه) از یک FE-SEM (میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان) تصویربرداری شد، و سپس همان مقاطع در حالت BEI (تصویربرداری الکترون روبشی) بررسی گردید. مقایسه دو حالت تصویربرداری با استفاده از مقاطع یکسان، برتری واضح تصویربرداری BEI نسبت به تصویربرداری SEI نشان داد. در حالی که در حالت SEI پوشش از بافت به راحتی قابل تمایز بود، در حالت BEI ماده پوشش‌تر روشن ظاهر شده و به آسانی از بافت چوب تشخیص داده می‌شود، که این نوع مطالعه محل قرارگیری و عمق نفوذ و توزیع پوشش در بافت‌های سطحی اره خورده را نشان می‌دهد و همچنین امکان مطالعه نفوذ ماده پوشش به شکاف‌های بسیار ریز دیواره سلولی در داخل این بافت‌ها را فراهم ساخته است. لازم به ذکر است رنگ‌آمیزی بافت چوبی و پوشش توسط تتراکسید اسمیم یک مرحله مهم در فرآیند ارزیابی شناخته شد [۶۶].

تصویربرداری الکترون روبشی اطلاعاتی در مورد وجود و محل قرارگیری مواد با عدد اتمی بالا در یک نمونه ارائه می‌دهد، که در حالت تصویربرداری به دلیل مقادیر بالای سیگنال‌های الکترون برگشت داده شده (ثانویه) روشن ظاهر می‌شود، و این امر اساس اتصال فلز سنگین تتراکسید اسمیم با پوشش می‌باشد. تتراکسید اسمیم قبلاً به عنوان رنگ یا ردیاب در سیستم‌های تصویربرداری از جمله تصویربرداری الکترون روبشی استفاده شده است [۶۷، ۶۶]، اما در کار شرح داده شده، نخستین بار بود که از تصویربرداری الکترون روبشی برای انجام تصویربرداری با وضوح بالا در زمینه نفوذ و توزیع پوشش به چوب استفاده شده است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت برای سایر مطالعات بررسی سطح تماس پوشش با بافت چوب نیز قابل انجام می‌باشد، با این شرط که از تعدادی ماده با عدد اتمی بالا که بطور خاص می‌تواند با پوشش‌های سازگار و دارای قابلیت واکنش و پیوند با دیواره‌های سلول چوبی باشد، استفاده شود [۶۶].



شکل ۵- a) و (b) میکروگراف‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان از مقطع یکسان در حالت‌های a) الکترون ثانویه و b) الکترون روبشی (مقیاس: ۱۰۰ میکرومتر)، تصاویر c) و d) میکروگراف‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان با بزرگنمایی بالا از ناحیه بافت مشابه در یک مقطع در حالت‌های تصویربرداری الکترون ثانویه c) و الکترون روبشی d) مقیاس: ۱۰ میکرومتر [۶۵].

۴-نتیجه‌گیری

این مقاله خلاصه‌ای از مواد نوین در پوشش چوب را ارائه داده است. بسیاری از این مواد هنوز در مرحله تحقیق هستند و در آینده مشخص خواهد شد که امکان کاربرد عملی و میزان این کاربرد در صنعت چوب و مبلمان به چه اندازه وجود دارد. واقعیت این است که پوشش‌های نوین چوب شامل ویژگی‌هایی می‌باشند که با مواد و روش‌های پوشش‌دهی رایج و گذشته نمی‌توان به کیفیت‌های خوب و ایده‌آل دست یافت که برای استفاده از این پوشش‌های نوین نیازمند مواد و روش‌های کاربردی منحصر به فرد خود نظیر سل‌ژل، پلاسما و پوشش‌های پودری با پرتو زیرقرمز می‌باشیم. لازم به ذکر است پوشش‌های چوبی پس از گذشت زمان دچار پدیده‌ی هوازدگی می‌شوند و با توجه به ویژگی‌های آن‌ها برای حفظ دوام و کارایی بایستی هر چند سال یک بار پوشش‌دهی مجدد صورت پذیرد. همچنین یکی از راه‌های شناخت پوشش بررسی میکروسکوپی است که استفاده از میکروسکوپ نوری برای تعیین عمق نفوذ پوشش در چوب کاربردهای زیادی دارد، اما به دلیل عدم توانایی برای تفکیک‌پذیری واضح به خصوص در سطح مشترک بین سطوح بیرونی‌ترین لایه سطحی بافت‌های چوب، برای بررسی سطح تماس پوشش و چوب مناسب نیست. روش‌های میکروسکوپی جدیدی که در سال‌های اخیر معرفی شده است، در مطالعات سطح تماس پوشش و چوب، به ویژه بررسی سطوح داخلی چوب با بافت زبر بسیار پیچیده و حائز اهمیت می‌باشد. پیشرفت‌های فنی در تصویربرداری از سطح مشترک چوب و پوشش، درک بیشتری از جنبه‌های فیزیکی سطح تماس پوشش و چوب را ارائه می‌دهد. استفاده همزمان از روش‌های مختلف میکروسکوپی با قابلیت‌های مکمل می‌تواند هم‌افزایی ایجاد نماید، اطلاعات کامل‌تری را ارائه دهد و همچنین، در مطالعات آینده پوشش و چوب باید دامنه این رویکرد گسترش یابد. بیشتر مطالعات میکروسکوپی انجام شده عمدتاً روی بررسی عمق نفوذ پوشش متمرکز شده‌اند. در حالی که درک این موضوع در زمینه ارزیابی چسبندگی پوشش بسیار حائز اهمیت می‌باشد، به‌علاوه تصویربرداری با وضوح بالاتر نیازمند استفاده از روش‌های نوین، به عنوان مثال روش آماده‌سازی سطح بر بافت‌های چوبی در سطوح نازک‌تر می‌باشد. نتایج حاصل از میکروسکوپ هم‌کانونی نشان می‌دهد که در سطوح نرم با استفاده از تیغه‌های رنده[1]، می‌توان شکاف‌هایی با ابعاد مختلف در دیواره سلولی ایجاد نمود که در مجموع می‌توانند مساحت سطح دیواره سلولی را به میزان قابل توجهی افزایش دهند. در حالی که میکروسکوپ نوری هنوز هم می‌تواند به عنوان ابزار اصلی تصویربرداری برای ارزیابی سریع نفوذ و توزیع پوشش استفاده شود، دامنه مطالعات آینده باید برای ارزیابی با استفاده از ابزارهایی که قابلیت تصویربرداری سه‌بعدی و وضوح تصویر بالا از جمله میکروسکوپ هم‌کانونی، میکروسکوپ روبشی گسیل میدان و میکروسکوپ الکترونی عبوری، فراهم شود. این ابزارها علاوه بر آشکار ساختن جنبه‌های ظریف سطح تماس پوشش و چوب، می‌توانند اطلاعات مفیدی به منظور ارزیابی عملکرد پوشش ارائه دهند.

[1] Planer knives

۵- مراجع

1. J. A. Graystone, "Progress in the development and evaluation of coating additives. Surf. Coating Int. 92, 144-155, **2009.**
2. R. M. Rowell, W. C. Feist, W. D. Ellis, "Weathering of chemically modified southern pine", Wood Sci. 13, 202-208, **1981**.
3. D. N. S. Hon, "Weathering reactions and protection of wood surfaces", J.Appl. Polym. Sci. 37, 845-864, **1983**.
4. W. C. Feist, R. M. Rowell, J. Youngquist, "Weathering and finish performance of acetylated aspen fiber- board", Wood Fiber Sci. 23, 260-272, **1991**.
5. M. Kuo, H. N. Hu, "ltrastructural changes of photo-degradation of wood surfaces exposed to uv light", Holz, 45, 347-353, **1991**.
6. A. P. Singh, E. A. Dunningham, D. V. Plackett, "Assessing the performance of a commercial wood stain by transmission electron microscopy", Holz. 49, 255-258, **1995**.
7. P. D. Evans, P. D. Thay, K. J. Schmalzl, "Degradation of wood surfaces during natural weathering. Effect of lignin and cellulose and on the adhesion of acrylic La- tex primers", Wood Sci. Tech. 30, 411-422, **1996**.
8. D. V. Plackett, E. A. Dunningham, A. P. Singh, "*Weathering of chemically modified wood*", Chemical Modification of Lignocellulosic Materials, Marcel Dekker, Inc. New York, 277- 294, **1996**.
9. R. S. Williams, M. T. Knaebe, W. C. Feist, "Erosion rates of wood during natural weathering. Part II. Earlywood and latewood erosion rates", Wood Fiber Sci. 33, 43-49, **2001**.
10. A. P. Singh, B. S. W. Dawson, "The Mechanism of failure of clear coated wooden boards as revealed by microscopy", IAWA J. 24, 1- 11, **2003**.
11. P. D. Evans, "*Weathering of wood and wood composites*", Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, 2nd Edition, CRC Press, Taylor and francis group, Boca Raton, 151-216, **2013**.
12. R. A. Blanchette, T. Nilsson, G. F. Daniel, A. R. Abad, "*Biological degradation of wood*", Archaeological Wood: Properties, Chemistry and Preservation, ACS, Washington DC, 147-174. **1990**.
13. A. P. Singh, J. A. Butcher, "Bacterial degradation of wood cell walls: A review of degradation patterns", J. Inst. Wood Sci. 12, 143-157, **1991**.
14. R. S. Williams, W. C. Feist, "Durability of paint or solid-color stain applied to preweathered wood", FPJ, 43, 8-14, **1993**.
15. M. de Meijer, H. Militz, "Wet adhesion of low-VOC coatings on wood: a quantitative analysis", Prog. Org. Coat. 38, 223-240, **2000**.
16. A. P. Singh, B. S. W. Dawson, "Confocal microscope—a valuable tool for examining wood-coating interface", JCTR, 1, 235-237, **2004**.
17. A. P. Singh and B. S. W. Dawson, "Microscopic assessment of the effect of saw-textured pinus radiata plywood surface on the distribution of a film-forming acrylic Stain", JCTR, 3, 193-201, **2006**.
18. M. H. Schneider and W. A. Côté, "Studies of wood and coating interactions using fluorescence microscopy and pyrolysis gas-liquid chromatography" J. Paint Technol. 39, 465-471, **1967**.
19. W. A. Côté, R. G. Robinson, "A comparative study of wood-coating interaction using incident fluorescence and transmitted fluorescence microscopy", J. Paint Technol. 40, 427-432, **1968**.
20. M. H. Schneider, "Coating penetration into wood sub- stance studied with electron microscopy using replica techniques", J.Paint Technol. 42, 457-460, **1970**.
21. M. H. Schneider, "canning electron microscope study of a coating component deposited from solution into wood", OCCA, 62, 441-444, **1979**.
22. M. H. Schneider, "Microscopic distribution of linseed oil after application to wood surface", JCTR, 52, 64-67, **1980**.
23. R. M. Nussbaum, "Penetration of water-Borne alkyd emulsions and solvent borne alkyds into wood", Holz. Roh. Werkst. 52, 389-393, **1994**.
24. M. de Meijer, K. Thurich, H. Militz, "Comparative study on penetration characteristics of modern wood coatings" Wood. Sci. Technol. 32, 347-365, **1998**.
25. R. E. Hernández, J. Cool, "Evaluation of three surfacing methods on paper birch wood in relation to water and solvent-borne coating performance", Wood Fiber Sci. 40, 459-469, **2008**.
26. A. P. Singh, A. Ratz , B. S. W. Dawson, "A novel method for high resolution imaging of coating distribution within a rough textured plywood surface" JCTR, 4, 207-210, **2007**.
27. R. Joshi, T. Provder, K. Kustron, "Green coatings: a trend that is becoming the rule rather than the exception". JCTR, 5, 38-42, **2008**.

۲۸. س. عبداللهی باغبان،"مروری بر الیگومرها و مونومرهـای تجدیدپـذیر جهـت تهیه پوشش‌های تابش‌پز". نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۸، ۷۶-۵۱، **۱۳۹۷**.

29. V. Jirouš-Rajković, H.Turkulin, V. Živković, "Metode poboljšanja svojstva građevnog drva", Drvna Ind. 58, 19-22, **2007**.
30. C. Schaller, D. Rogez, "New approaches in wood coatings stabilization", J. Coat. Technol. Res. 4, 401-409, **2007**.
31. C. Schaller, D. Rogez, "New concepts for light stabilization of coloured wood", PRA`s 6th International Wood coatings Congress: Preserve, Protect, Prolong, Amsterdam, **2008**.
32. W. Peter, C. Schellenberg, "Water-compatible hydrophobic additives: optimising UV protection additives for water-borne coatings", SCI Part A: 89, 254-258, **2006**.
33. H. Xie, X. Lai, H. Li, J. Gao, X. Zeng, X. Huang, X. Lin, "A highly efficient flame retardant nacre-inspired nanocoating with ultrasensitive fire-warning and self-healing capabilities", Chem. Eng. J. 369, 8-17**, 2019.**
34. H. Xie, X. Lai, H. Li, J. Gao, X. Zeng, X. Huang, S. Zhang, "A sandwich-like flame retardant nanocoating for supersensitive fire-warning", Chem. Eng. J. 382, DOI**:** 10.1016/j. cej.2019. 122929**, 2019.**
35. L. N. Vakhitova, "Fire retardant nanocoating for wood protection". In Nanotech in Eco-efficient Cons. 361-391, **2019.**
36. V. Jirouš-Rajković, "*Noviteti u površinskoj obradi drva*", Stručni skup za nastavnike u obrazovnom podsektoru prerada i obrada drva, Karlovac, **2008**.
37. R. Fernardo, "Nanomaterial technology applications in coatings", JCT, 1, 32-38, **2004**.
38. B. P. Mallik, "Nanotechnology opens up new vistas for surface coatings", Surf. Coating Int. Part. A. 89, 248-253, **2006**.
39. M. A.Tshabalala, LP. Sung, "Wood surface modification by in-situ sol-gel deposition of hybrid inorganic-organic thin films", J. Coat. Technol. Res. 4, 483-490, **2007**.
40. D. Mestach, D. Twene, "Inorganic nanoparticles as functional additives in water-borne coatings", Surf. Coating Int. Part A. 88, 323-327, **2005**.

۴۱. آ. حاجی بابا،" مروری بر استفاده از نانوذرات سیلیکا در بهبود خواص رنـگ و پوشش ". نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۸ ، ۴۴-۳۷، **۱۳۹۷**.

42. N. Burniston, C. Bygott, J. Stratton, "Nano technology meets titanium dioxide", Surf. Coating Int. Part A. 87, 179-184, **2004**.
43. P. Boehm, "Applications for cerium oxide nanoparticles in

coatings: protect your wood for ten years!", Surf. Coating Int. Part A. 88, 359-362, **2005**.
44. C. Hegedus, F. Pepe, D. Lindenmuth, D. Burgard, "Zinc oxide nanoparticle dispersions as unique additives for coatings". JCT Coatings Tech. 5, 42-52, **2008**.
45. S. Bastani, , Ebrahini, M., Kardar, P., Jalili, M. "Improvement of scratch resistance of UV cured wood coatings by using nano aluminia particles via nano indentation", PRA`s 6th Internacional Woodcoatings Congress: Preserve, Protect, Prolong, Amsterdam, October 14-15, **2008**.
46. B. Brune, K. Friedrch, D. Meine, S. Schulte, "Full marks across the board", ECJ .6, 34-47, **2007**.
47. T. Terajima, H. Koinuma, "Development of a combinatorial atmospheric pressure processor", Appl Surf Sci. 223, 259-263. **2004**.
48. S. Leadley, A. Goodwin, G. Lord, "ambient plasma processing: Revolution in surface engineering", Surf. Coating Int. 90, 128-130. **2007**.
49. J. G. Haase, "*Plasma Modification of Wood to Improve the Performance of Clear Coatings*", Universidad del Valle de Guatemala Master's thesis, **2007.**
50. J. Leuninger, Tiarks, H. Wiese, B. Schuler, "Wässrige Nanocomposite". Fabre. Lack. 110, 30-38, **2004**.
51. A. Rössler, , "*Nanotechnologische Aplicationen in der Farbenund Lackindustrie*". Bachofner Consulting/SVC, CH-5502 Hunzenschwil, **2005**.
52. I. N. Tsvetkova, L. N. Krasil'nikova, Y. V. Khoroshavina, A. S. Galushko, V. Frantsuzova Yu, A. K. Kychkin, O. A. Shilova, "Sol-gel preparation of protective and decorative coatings on wood". Solgel. Sci. Technol. 92, 474-483, **2019.**
53. E.Hazir, K. Huseyin Koc, "Evaluation of wood surface coating performance using water based, solvent based and powder coating", Maderas. Ciencia Y Tecnología, 21, 467-480, **2019.**
54. R. Köhler, P. Sauerbier, G. Ohms, W.Viöl, H. Militz, "Wood protection through plasma powder deposition-An alternative coating process", For. 10. Doi: 10.3390/f10100898, **2019.**
55. X.Yan, , L.Wang, , X. Qian, "Effect of high-temperature calcined wheat straw powder after lignin removal on properties of waterborne wood coatings", Coat**.** 9, 44, **2019.**
56. O. André, , K. Buysens, "Powder coatings: The ultimate solutions for wood coatings?", Surf. Coating Int. Part A. 87, 347-351, **2004**.
57. T. Ma, L. Li, Q. Wang, C. Guo, "Construction of intumescent flame retardant and hydrophobic coating on wood substrates based on thiol-ene click chemistry without photoinitiators", Composites Part B. 177, Doi: 10.1016/j. compositesb. 2019 107357 , **2019.**
58. M. Pánek, O. Dvořák, E. Oberhofnerová, K. Šimůnková, A. Zeidler, "Effectiveness of two different hydrophobic topcoats for increasing of durability of exterior coating systems on oak wood", Coat. 9, 280, **2019.**
59. J. W. Du, J. Hajas, W. Scholz, A. Wooker, A.Fank, M. Jadliwala, B. Weber, W. Wessels, "New additive to enhance surface cleanability", Surf. Coating Int. Part. A. 88, 18-22, **2004**.
60. H.Turkulin, M. Arnold, S E.trub, V. Jirouš-Rajković, G.Mihulja, "Hydrophobic treatment for improvement of wood surface durability", Fifth International Woodcoatings Congress, Prague, October 17-18, **2006**.
61. L. F. de Moura, R. E. Hernández, "Evaluation of Varnish coating performance for two surfacing methods on sugar maple wood" Wood Fiber Sci. 37, 355-366, **2005**.
62. A. P.Singh, B. S. W. Dawson, "Confocal microscope - A valuable tool for examining wood-coating interface", JCTR, 1, 10.1007/s11998-004-0017-z, 2004.
63. R. S. Williams, W. C. Feist, "Effect of preweathering, surface roughness and wood species on the performance of paints and stains" JCTR, 66, 109, **1994**.
64. B. S. W. Dawson, S. Gallagher, A. P. Singh, "*Microscopic view of wood and coating interaction and coating performance on wood*", Forest Research Bulletin, 228, New Zealand Forest Research Institute, Rotorua, **2003**.
65. 65. A. P. Singh, B.D Park, A.Nuryawan, M. Kazayawoko, "Advances in probing wood-coating interface by microscopy: a Review". JSEMAT, 3, 49-54, **2013**.
66. A. P.Singh, , B. D.Park, A.Nuryawan, M. Kazayawoko, "Advances in probing wood-coating interface by microscopy: A review". JSEMAT, 3, 49-54, **2013**.
67. P. B. DeNee, R. L. Carpenter, "Application of heavy metal staining (OsO4)/backscattered electron imaging technique to the study of organic aerosols", Proceedings of the 14th Annual Conference of the Microbeam Analysis Society, San Antonio, 8-10, **1979**.
68. D. E. Schraufnagel, D. P. Ganesan, "Tracers in vascular casting resins enhance backscattering brightness", Scanning. 12, 631-639, **1998**.