



هوازدگی چوب و روش‌های پیشگیری و کنترل آن با استفاده از پوشش‌ها

مه‌رن‌از اکبرن‌زاد^{۱*}، داود رسولی^۲، حسین یوسفی^۳، مهدی مشکور^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، کدپستی: ۴۳۴۶۴-۴۹۱۸۹

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، کدپستی: ۴۳۴۶۴-۴۹۱۸۹

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۱۱ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۴/۱۰/۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۶ در دسترس بصورت الکترونیک: ۹۴/۱۰/۱۶

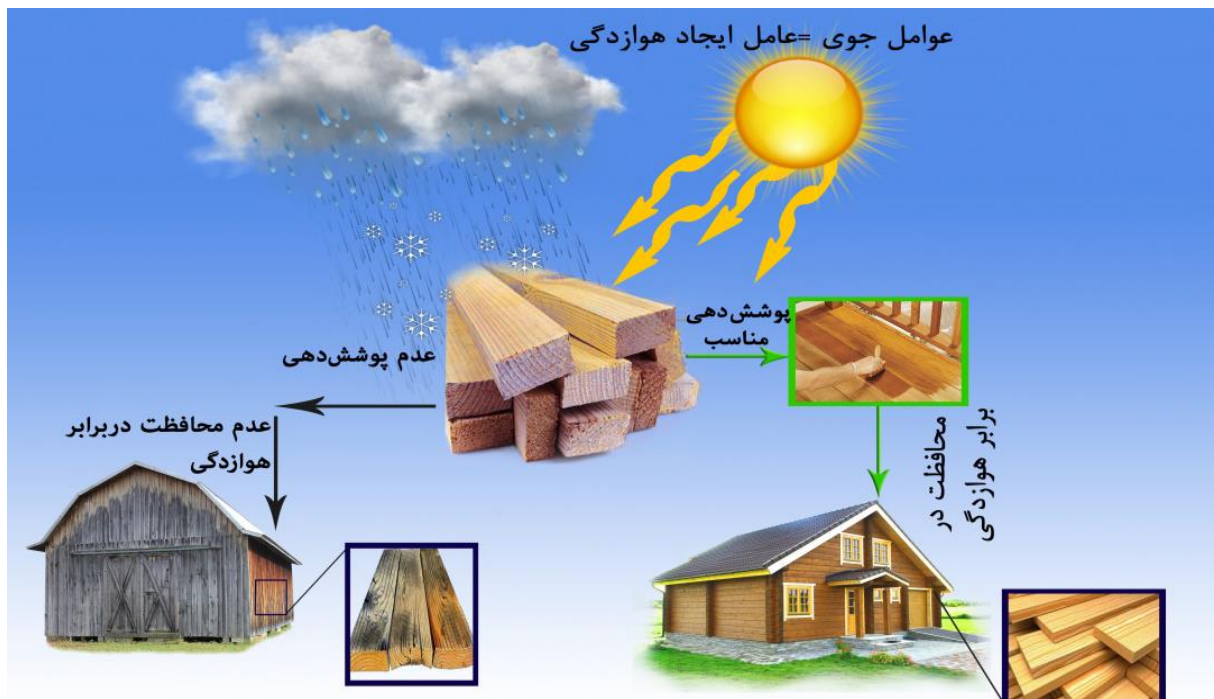
چکیده

محصولات چوبی مورد استفاده در محیط‌های بیرونی به سبب قرارگیری در برابر تابش پرتو فرابنفش خورشید و آب دچار پدیده هوازدگی می‌شوند، که این امر اثرات نامطلوبی بر خواص کاربردی چوب از جمله زیبایی، مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی دارد. برای مقابله با این پدیده، تولید و استفاده از پوشش‌های مناسب یکی از راهکارهای موثر در این زمینه می‌باشد که بسته به محل کاربرد در محیط‌های بیرونی و یا مکان‌های سرپوشیده به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند، همچنین اخیراً اصلاح چوب با روش‌های شیمیایی، حرارتی و یا اصلاح با نانو مواد جهت کاهش پدیده هوازدگی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله سعی شده ضمن معرفی فرآیند هوازدگی چوب، روش‌های کنترل و توسعه نوین محافظت در برابر این پدیده مورد بررسی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی

پرتو فرابنفش، اصلاح چوب، نانومواد، هوازدگی چوب.

چکیده تصویری





Wood Weathering, Prevention and Control Using Coatings

Mehrnaz Akbarnezhad*, Davod Rasouli, Hossein Yousefi, Mahdi Mshkoor

Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, P. O.
Code: 43464-49189.

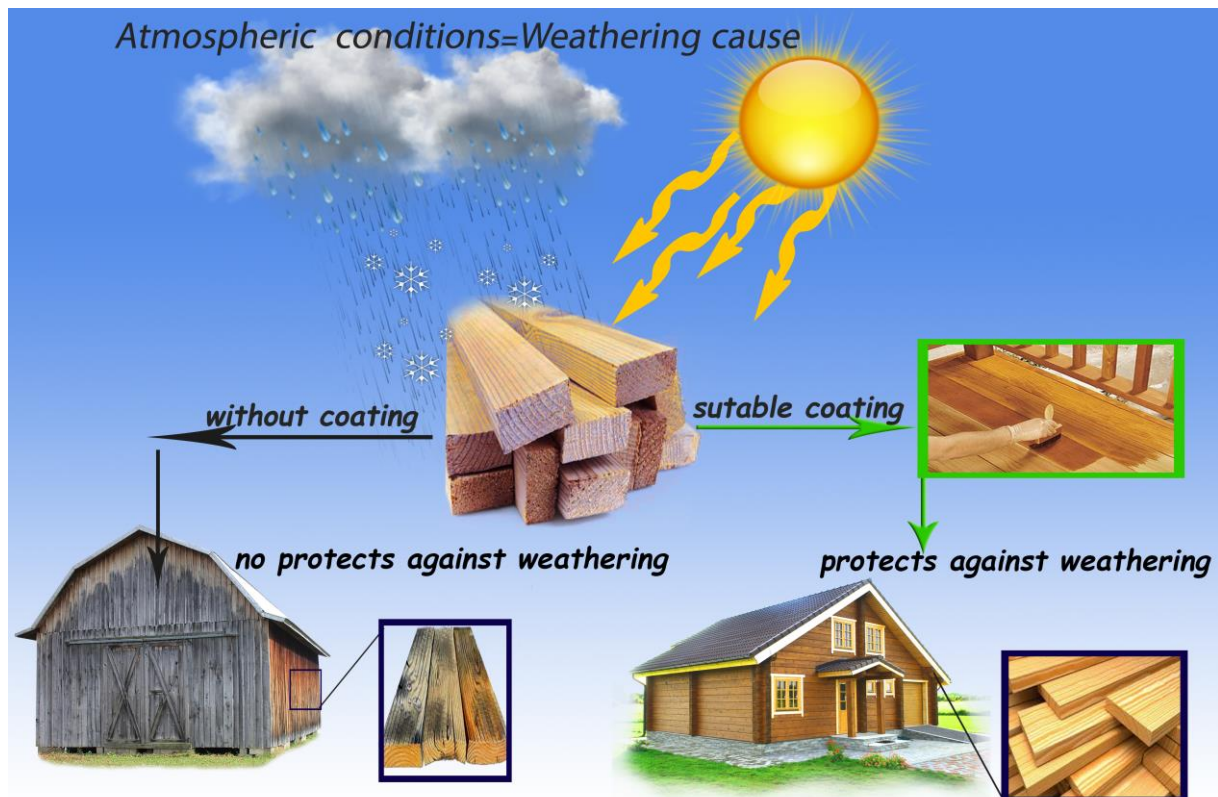
Abstract

The use of wood products in outdoors leads to weathering phenomen by ultraviolet radiation and water. It has negative effects on the functional properties of wood such as aesthetics, physical and mechanical properties. One of the effective stertegy is producing and applying suitable coatings depending on the used enviroment divided into different types. Recently, modification wood by chemichal, thermal or nano materilas is also considered to reduce weathering phenomen in wood. In this paper, we introduce the weathering process of wood and methods to control this phenomenon.

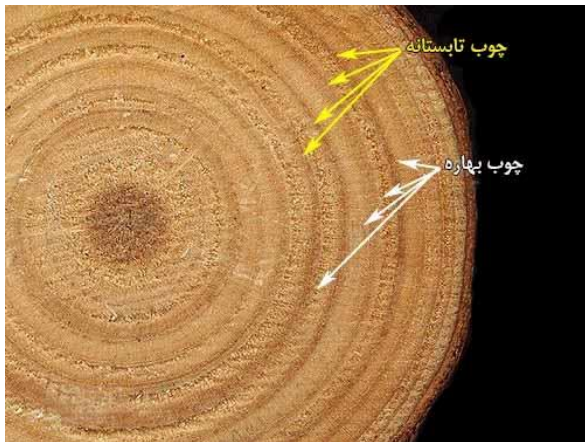
Keywords

Ultraviolet, Wood, Nanoparticles, Nanomaterials, Wood weathering.

Graphical abstract



۱- مقدمه



شکل ۱- نمایی از چوب بهاره و تابستانه [۵].

چوب فرآورده بی نظیری است که به عنوان سرمایه الهی در کارخانه ای به نام جنگل، پیوسته در حال تولید می باشد و به دلیل ویژگی های گسترده ای از جمله: تجدیدپذیری، سهولت نسبی کار با آن، خواص مکانیکی برجسته و غیره کاربردهای فراوانی پیدا کرده است [۱]. چوب نتیجه فعالیت موجود زنده ای به نام درخت است که در طی سالیان متوالی به وجود می آید و در اصطلاح گیاه شناسی، به گیاهی گفته می شود که آوندی و چندساله، دارای یک تنه دائمی و ساقه ای با ساختمان پسین باشد. ویژگی های آناتومی، فیزیکی و شیمیایی چوب گونه های مختلف همواره معیارهای مهمی جهت تعیین کاربرد آنها در مصارف مختلف است. کیفیت گونه های چوبی مختلف با توجه به شرایط محل رویش متفاوت است. به عبارت دیگر چوب ها و درختانی که آنها را تولید می کنند به دو طبقه پهن برگان و سوزنی برگان تقسیم بندی می شوند که از دیدگاه گیاه شناسی کاملاً متفاوت اند. پهن برگان در زیرشاخه نهان دانگان و سوزنی برگان در زیرشاخه باز دانگان قرار می گیرند. برگ های سوزنی و فلس مانند و همیشه سبز بودن مشخصه اصلی درختان سوزنی برگ است در حالی که پهن برگان نهان دانگانی هستند با برگ های پهن که در فصل پاییز تغییر رنگ داده و خزان می کنند. چوب پهن برگان عمدتاً متشکل از آوند و الیاف است. الیاف سلول های باریک و کشیده با دیواره ضخیم هستند که نقش حمایتی گیاه را بر عهده دارند. در حالی که آوندها لوله های انتقال آب می باشند که در مقطع عرضی به واسطه قطر زیاد و حاشیه خارجی گرد یا بیضی شکل از الیاف متمایز می شوند. هر لوله آوندی خود شامل عناصر آوندی متعدد است که دیواره نسبتاً ضخیم داشته و روی هم قرار می گیرند و توسط دریچه آوندی باهم ارتباط دارند، این نوع سلول ها در اکثر پهن برگان موجودند اما بندرت در سوزنی برگان دیده می شوند. در سوزنی برگان هر دو وظیفه استحکام درخت و هدایت آب و املاح توسط سلول هایی به نام تراکئید انجام می شود که دارای منافذ دیواره ای هستند که آب را از خود عبور داده و بین سلول های همسایه ارتباط برقرار می کنند [۲، ۳، ۴]. در نواحی معتدل، عملیات رشد درخت در آغاز بهار سریع و در انتهای تابستان کند می گردد. این نوع روند رویش منجر به تشکیل یک حلقه رشد سالیانه می شود که منشأ آن تفاوت در چوب بهاره و تابستانه است. با توجه به شکل ۱ چوب بهاره یا آغاز چوبی است به رنگ روشن، که در آغاز فصل رویش تشکیل می شود و معمولاً حاوی سلول هایی درشت با دیواره سلولی نازک است در حالی که چوب تابستانه به دلیل اینکه در پایان دوره رویش به وجود می آید دارای سلول هایی با حفره های سلولی تنگ تر و به هم چسبیده بوده و غشای سلولی آنها نیز ضخیم تر می باشد.

ساختمان میکروسکوپی و مایکروسکوپی چوب شرایطی را به وجود می آورد که بتوان آن را به عنوان ماده ای پر خلل و فرج به حساب آورد. این خلل و فرج ها در درختان سرپا به وسیله مایعات و تا حدودی از گازها پر شده اند. مقدار رطوبت چوب قبل از هر چیز به گونه چوبی، سن درخت، شرایط توده جنگلی و نیز فصول سال بستگی دارد که مقدار آن بین ۲۰۰-۲۰٪ در نوسان می باشد. باید توجه داشت که پس از قرارگیری سازه چوبی در یک محیط، تبادل رطوبتی بین محیط و سازه برقرار می گردد. در این صورت اگر سازه رطوبت بیشتری نسبت به محیط داشته باشد با پس دادن رطوبت سلول های چوب (الیاف) هم کشیده^۱ (جمع) می شوند که در این وضعیت اتصالات و پوشش های رنگی اعمال شده در سطح چوب جدا شده و یا کیفیت چسبندگی آنها کاهش می یابد، اما اگر رطوبت سازه نسبت به محیط مجاور کم باشد، سازه چوبی در تبادل رطوبت با محیط خود برای ایجاد تبادل، رطوبت از محیط جذب و واکشیده^۲ (تورم الیاف) می شود. در این صورت نیز به سطح پوشش داده شده، اتصالات و سایر اعضاء سازه آسیب وارد می شود. از طرفی از دیرباز چوب به واسطه ظاهری زیبا مورد توجه معماران و طراحان قرار داشته است به طوری که امروزه استفاده از آن در نمای خارجی ساختمان با شیشه و فولاد برابری می کند و به عنوان یک ماده مرغوب برای ساختمان سازی، پنجره ها، وسایل باغبانی، قایق، کشتی و غیره مورد استفاده قرار می گیرد. علی رغم تمام مزایا، چوب مستعد تخریب زیستی و هوازگی می باشد. پرتوفراپنفش خورشید از جمله عواملی است که سبب تخریب سطح چوب شده و در کنار سایر شرایط آب و هوایی باعث پدیده هوازگی می گردد [۶]. این فرآیند مخرب اغلب باعث تغییر رنگ و تخریب فیزیکی در سطح چوب شده و شکاف و ترک هایی در سطح چوب پدید می آید (شکل ۲). در کنار تغییرات فیزیکی، بعضی از مواد پلیمری تشکیل دهنده چوب، تجزیه شده و ماهیت شیمیایی در لایه های سطحی تغییر می کند. هنگامی که از چوب در هوای آزاد استفاده گردد، تحت تأثیر تجزیه فتوشیمیایی که عمدتاً در لیگنین رخ می دهد قرار گرفته و موجب تغییرات رنگی در چوب می شود. از آنجایی که لیگنین در چوب

¹ Shrinkage

² Swelling

این امر موجب کاهش کیفیت رنگ پذیری چوب‌های مذکور می‌گردد [۱۱]. با به کارگیری پوشش‌های مناسب بر روی چوب قبل از استفاده در شرایط بیرونی تخریب چوب به علت هوازدگی کاهش می‌یابد. اصولاً برای ایجاد حفاظت، پوشش‌ها باید حاوی رنگ‌دانه باشد که با توجه به نوع درخواست و کاربرد نهایی انواع متفاوتی از رنگ‌دانه‌ها (معدنی و آلی) استفاده می‌شود. در پوشش‌های شفاف از تثبیت‌کننده‌های پرتو فرابنفش به میزان مناسب تحت شرایط سرویس استفاده خواهد شد. پوشش‌های مات اصولاً به دلیل پوشش سطح چوب، آن را در مقابل هوازدگی محافظت می‌نمایند اما در این صورت علاوه بر حذف شدن زیبایی چوب، رنگ اعمال شده در سطح به‌مرور زمان تخریب و از بین می‌رود (شکل ۳) [۱۲، ۱۳].

۳- عوامل مؤثر در پایداری پوشش‌ها

گونه چوبی اولین عامل برای تعیین خصوصیات سطح چوب، کیفیت چسبندگی و عملکرد پوشش‌هاست. کارایی پوشش‌ها روی چوب‌ها تحت تأثیر عوامل متعددی است که در زیر به آنها اشاره شده است [۱۵].

- گرانیروی چوب
- تغییر ابعاد
- زبری سطح
- درصد مواد استخراجی
- و غیره

۳-۱- گرانیروی

جرم مخصوص چوب، عامل اثرگذار بر دوام پوشش‌ها می‌باشد. چوب‌هایی با گرانیروی بالا نسبت به چوب‌هایی با گرانیروی کمتر در محیط‌های بیرونی قابلیت هم‌کشیدگی و واکنشیدگی بالاتری دارند [۱۶]. گرانیروی تنها از یک گونه به گونه دیگر متغیر نیست بلکه در درختان مشابه نیز متفاوت است. برای مثال بین چوب بهاره و چوب تابستانه هم تفاوت زیادی دیده می‌شود که خود بر روی عملکرد پوشش‌ها از طریق ایجاد تنش در فیلم تشکیل شده، تأثیر می‌گذارد. به همین دلیل است که در بعضی گونه‌ها نظیر کاج جنوبی رنگ‌پذیری مناسبی صورت نمی‌گیرد به عبارت دیگر چوب‌هایی با گرانیروی کمتر نسبت به چوب‌هایی با گرانیروی بالا، رنگ را بهتر نگه می‌دارند [۱۷].

همانند یک چسب عمل می‌کند و الیاف را به هم متصل می‌نماید، پس از تجزیه، سطح چوب، از نظر مقدار سلولز غنی‌تر شده و به دلیل حساسیت کمتر سلولز در برابر تخریب پرتوهای فرابنفش، به‌مرور زمان تضعیف شده و طی بارندگی از سطح چوب شسته می‌شود. باید توجه داشت که امواج فرابنفش قادرند تنها تا عمق ۷۵ میکرومتری نفوذ نمایند، به همین دلیل هوازدگی را پدیده‌ای سطحی می‌نامند که بیشتر خواص ظاهری و زیبایی چوب، نظیر تغییر رنگ، ترک خوردگی، آب شویی مواد استخراجی قابل حل در آب و تغییرات شیمیایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۷]. در صورت ادامه یافتن پدیده هوازدگی، تقریباً ۶ میلی‌متر چوب در هر صد سال از بین می‌رود و همین امر سبب محدود شدن کاربردهای چوب در محیط بیرونی ساختمان می‌گردد [۵، ۶، ۸].



شکل ۲- نمونه‌ای از یک ساختمان چوبی در معرض هوازدگی [۱۰].

امروزه پژوهش‌های بسیاری برای یافتن راه حل مناسب برای افزایش دوام چوب در برابر عوامل مخرب انجام و به نتایج خوبی منجر شده‌اند، اما از آنجایی که بسیاری از مواد حفاظتی پیشنهادی از لحاظ زیست‌محیطی و سلامت انسان مورد تأیید نیستند، برای اجتناب از آثار سوء مواد و روش‌های حفاظتی، پیشنهاد می‌شود روند تحقیقات هم‌سوی با مسائل زیست‌محیطی باشد [۹].

۲- تأثیر پوشش‌ها در مقابل هوازدگی

چوب در معرض پرتو فرابنفش خورشید دستخوش تخریب شیمیایی بوده و زمانی که تخته‌های تیمار نشده و بدون پوشش در برابر پرتو فرابنفش قرار گیرند لیگنین سطح چوب تخریب و موجب جدا شدن الیاف می‌شود که



شکل ۳- تصویر چوب‌های رنگ‌آمیزی شده پس از هوازدگی [۱۴].

۳-۲- چوب آغاز و پایان

در ساختار چوب آغاز (بهاره) و پایان (تابستانه) تفاوت‌هایی وجود دارد. در چوب‌های بهاره وجود حفرات بزرگ‌تر نسبت به چوب تابستانه اجازه نفوذ بیشتری به رنگ می‌دهد در حالی که در پهن‌برگان استفاده از پرکننده‌ها متداول می‌باشد. این مواد انتهای آزاد آوند را مسدود و به‌طور مصنوعی نفوذ رنگ، سیالیت و روانی آن را یکنواخت می‌کنند. از جهت دیگر سلول‌های چوب پایان به‌واسطه جرم ویژه بالاتر نسبت به چوب بهاره در هنگام برش کاری لایه سلولی، هموار و صاف‌تر می‌باشند، بنابراین رنگ در این نواحی کاملاً صاف و یکدست پخش می‌گردد [۱۸].

۳-۳- زبری سطح

یک عامل مهم در چسبندگی پوشش بر سطح چوب، زبری آن می‌باشد. هر چه سطح چوب صاف‌تر باشد درگیری مکانیکی پوشش با زیر لایه کمتر شده، زبری سطح کاهش و رنگ‌پذیری تسهیل می‌یابد [۱۹، ۲۰].

۳-۴- تغییرات ابعاد

تغییر ابعاد وابسته به گونه چوبی است. میانگین هم‌کشیدگی در حین خشک شدن از حالت خیس به حالت خشک در جهت مماسی دو برابر جهت شعاعی است. وقتی سطح چوب پوشش داده می‌شود، تمایل آن برای هم‌کشیده یا واکشیده شدن کاهش یافته و سطح پوشیده از رنگ، دوام بهتری می‌یابد [۲۱].

۴- انواع پوشش‌های مورد استفاده روی چوب آلات در

محیط بیرون

انتخاب مناسب پوشش برای چوب آلات بسته به اینکه چوب در معرض نور خورشید، باران و یا در مکان‌های سرپوشیده باشد متفاوت است [۲۲].

۴-۱- رزین‌های طبیعی و رزین‌های اصلاح‌شده

رزین، ترکیبی طبیعی یا مصنوعی و بسیار چسبناک است که تحت شرایط ویژه‌ای سخت می‌شود. این ترکیب به طرق گوناگون طبقه‌بندی می‌شود که بستگی به ترکیب شیمیایی و موارد مصرف آن دارد. همچنین کاربردهای زیادی در هنر، تولید پلیمر و غیره دارد و مصرف‌کنندگان زیادی روزانه با محصولات حاوی رزین سروکار دارند. رزین طبیعی، از گیاهان به دست می‌آید. بهترین نمونه آن شیره درخت کاج است که بوی تند ترکیبات ترپن را دارد. این ماده بسیار چسبنده است، ولی در اثر گذشت زمان سفت می‌شود. تعدادی از گیاهان دیگر نیز رزین تولید می‌کنند. صمغ‌های (رزین) طبیعی از قبیل النورزین^۱ (رزین درخت کاج)، صمغ عربی^۲، رزین سنگواره شده درختان قاره‌ای^۳، صمغ معمولی یا

دوزین^۴ و صمغ مانیلا^۵ به‌طور وسیعی به‌عنوان یک اتصال‌دهنده در پرداخت دهنده‌های شفاف تا اواخر سال ۱۹۴۰ استفاده می‌شدند. رنگ رزین گیاهی، از شفاف تا قهوه‌ای تیره متغیر و میزان سختی و کدورت آن متفاوت است. بعضی از آنها به‌شدت فرار هستند چون حاوی ترکیبات ناپایدارند. اشتباه در تشخیص درختان رزین‌دار نیز گاهی می‌تواند سبب بروز حوادث ناگوار شود، زیرا برخی از آنها حاوی هپتان که هیدروکربنی قابل اشتعال و انفجار است می‌باشند. ماده معروف و زینتی کهربا نیز در اثر سخت شدن رزین گیاهی به دست می‌آید و اغلب به رنگ طلایی تیره می‌باشد که رنگ متعارف رزین‌های گیاهی است. کهربا در رنگ‌های نادر دیگری مانند آبی نیز، دیده می‌شود. هزاران سال است که بشر از رزین‌های طبیعی استفاده می‌کند. از جمله رزین کاج که برای درزگیری قایق‌ها، مومیایی کردن اجساد، ظروف غذا و مصارف دیگر استفاده شده است. از طرفی امروزه نیز در ساخت لاک، جلا، جوهر، عطر، جواهر و بسیاری از اشیاء دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. با پیشرفت فناوری، بشر پی برد که این ماده می‌تواند به پلیمر تبدیل شود و کمی بعد از آن، رزین‌های مصنوعی کشف شد. رزین‌های مصنوعی ارزان‌تر، پایدارتر، قابل پیش‌بینی‌تر و یکنواخت‌تر از رزین‌های طبیعی می‌باشند. چون تحت شرایط کنترل‌شده ساخته می‌شوند و امکان تولیدات ناخالص در آنها وجود ندارد. این مواد از طریق ترکیب شدن مواد شیمیایی در آزمایشگاه ساخته می‌شوند و نتیجه واکنش تشکیل ترکیبات چسبناک می‌باشند. این ماده می‌تواند در تولید پلاستیک، رنگ و بسیاری از مواد مشابه بجای رزین طبیعی مصرف شود. همان‌طور که گفته شد رزین‌های طبیعی، منشأ گیاهی یا جانوری دارند و با لاک و الکل رقیق مورد استفاده قرار می‌گیرند در ادامه به تعدادی از این رزین‌ها اشاره شده است [۲۲].

۴-۱-۱- شلاک^۶

شلاک از جمله رزین‌هایی با منشأ جانوری می‌باشد که از حشره‌ای به نام "کو کوس لاکا"^۷ (شکل ۴)، وقتی به درختان حمله می‌کند تهیه می‌گردد. در دوران باستان شلاک همراه با رنگ‌دانه‌های قرمز گران‌قیمت مورد استفاده قرار می‌گرفت. پوشش‌دهنده‌های بر پایه شلاک در اوایل قرن شانزدهم وارد اروپا شدند (شکل ۵) و برای تیمار نهایی مبلمان استفاده می‌شدند تا آنکه نیترو سلولز کم‌کم جایگزین آن گردید. این ماده می‌تواند در محلول‌های آلی همچون الکل‌ها حل شده و در سطح چوب با استفاده از روش‌هایی همچون پاشیدن و قلم‌موزنی به‌کار برده شود. در مقایسه با رزین‌های دیگر، پوشش شلاک سختی بهتر، جلای بیشتر و مقاومت بالاتری در برابر رطوبت از خود نشان می‌دهد. امروزه از شلاک برای پوشش مبلمان و گاهی به‌طور ترکیبی با دیگر پوشش‌دهنده‌ها (به‌عنوان مثال نیترو سلولز) برای متعادل‌سازی خواص پوشش‌دهنده استفاده می‌گردد [۲۳، ۱۳].

⁴ Dammar

⁵ Manilla copar

⁶ Shellac

⁷ Coccus Lacca

¹ Oleoresin

² Olemi

³ Copal

می‌شد. امروزه کلوفان موردنیاز از درختان کاج آمریکای شمالی^۳ تأمین می‌شود. این رزین مخلوطی از اسیدهای آلی، عموماً ترکیبات حلقوی غیراشباع حاوی ۲۰ اتم کربن و نیز یک گروه کربوکسیلیک است و به‌منظور بهبود ترکیب، شفافیت و سختی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای جمع‌آوری این رزین پوست درخت را به‌صورت عدد ۷ برش داده و صمغ آن را مطابق شکل ۶ جمع‌آوری می‌نمایند [۱۳].



شکل ۴- حشره کوکوس لاکا [۲۴].

۴-۱-۳- واکس‌ها

واکس‌های طبیعی دارای ترکیبات متفاوتی بوده و سبب افزایش مقاومت در برابر آب می‌گردند. از این مواد در پوشش‌ها به‌منظور افزایش مقاومت سطح، کف پوش‌ها و مبلمان در برابر آب استفاده می‌شود. واکس‌ها عموماً به‌عنوان یک افزودنی در فرمول‌بندی‌های مختلف پوشش، برای شفافیت، جلا و ضدآب‌شدن سطوح مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۳].



شکل ۵- شلاک-رزین حیوانی [۲۵].

۴-۱-۴- واکس کارنائوبا^۴

این ماده حاصل برگ نوعی درخت نخل بانام "کوپرنیسیا سریفرا"^۵ می‌باشد که این واکس را از خود ترشح کرده و درخت را در برابر بادهای گرم و خشک حفاظت می‌کند. واکس کارنائوبا حاوی استرهای چرب، الکل‌هایی با زنجیره بلند، اسیدها و هیدروکربن‌ها می‌باشد. سختی خوبی داشته و دارای دمای ذوب بالایی در حدود ۸۰ °C می‌باشد که آن را برای استفاده به‌عنوان جلادهنده و پولیش بسیار مناسب می‌گرداند [۱۳].

۴-۲- آلکیدها

رزین‌های آلکیدی یکی از اولین پوشش‌هایی هستند که به‌صورت مصنوعی ساخته شده‌اند [۲۷، ۱۳]. در گذشته به دلیل استفاده از گلیسیترین و اسید فتالیک در ساختار رزین‌های آلکیدی، شکنندگی سریع‌تر و غیرمحلول بودن آنها بسیار نمایان بود [۲۹، ۱۳، ۱۲].

۴-۱-۲- کلوفان یا روغن رزین^۱

اصطلاح کلوفان از نام شهری در یونان باستان به نام کلوفون^۲ (ازمیر کنونی در کشور ترکیه) می‌آید. کلوفان از درختان سوزنی‌برگ به‌ویژه کاج استخراج و در دوران باستان به‌عنوان منبع ارزشمند رزین شناخته

^۳ Scotch pine (Pinus sylvestris) And longleaf pine (Pinus palustris)

^۴ Carnauba wax

^۵ Copernicia cerifera

^۱ Colophony, Rosin

^۲ Colophon



شکل ۶- نمایی از جمع‌آوری کلوفان از جنگل‌های آمریکای شمالی [۲۶].

۴-۳-۱- رزین‌های آکریلیک گرمانرم^۱

این نوع رزین‌ها جرم مولکولی بالایی دارند و به‌صورت فیزیکی، به‌واسطه تبخیر حلال و بدون هیچ‌گونه واکنش شیمیایی تشکیل فیلم می‌دهند. از طرفی نسبت به رزین‌هایی با کاربرد و قیمت مشابه، رنگ بهتر، مقاومت‌های نوری و محیطی بالاتری از خود نشان می‌دهند. خواص کاربردی مهم این دسته از رزین‌ها که باعث استفاده از آنها در تولید پوشش‌های مختلف هوا خشک می‌شود عبارت‌اند از: شفافیت، پایداری رنگ رزین، مقاومت شیمیایی و جوی مناسب، سرعت خشک‌شدن بالا، چسبندگی عالی به سطوح و مقاومت در محیط‌های خارجی [۱۲، ۳۳].

۴-۳-۲- رزین‌های آکریلیک گرماسخت^۲

به دنبال پیشرفت تولید محصولات پلیمری آکریلیکی، دسته جدیدی از این رزین‌ها به بازار معرفی شد که دارای خصوصیات جدیدی از جمله سخت شدن، تشکیل فیلم به‌وسیله گرما، خواص فیزیکی و شیمیایی بهتر برای مصارف صنعتی چه در داخل و در شرایط خارجی بودند. از جمله خواص بسیار مهم آنها مقاومت‌های شیمیایی و نوری، درصد جامد بالاتر در زمان بعد از اعمال و سختی می‌باشد [۱۲، ۳۳].

۴-۴- رزین‌های پلی‌یورتان

پلی‌یورتان‌ها از واکنش افزایش میان گروه‌های عاملی ایزوسیانات و عامل هیدروکسیل تشکیل می‌شوند. از جمله ویژگی مهم این مواد ساختار پایدار این ترکیب‌ها می‌باشد. پلی‌یورتان‌ها در برابر عواملی که از کیفیت رنگ و جلا می‌کاهند از جمله آب، دمای بسیار کم یا بسیار زیاد، قارچ‌ها و کپک پایدارند. پوشش پلی‌یورتان نسبت به لاک یا روغن، لایه‌نازک، سخت و بادوام‌تری ایجاد می‌کنند که به‌ویژه کف‌پوش‌های چوبی را در برابر خوردگی و ساییده‌شدن حفظ می‌نمایند، اما این پوشش در برابر ضربه و گرما لایه‌لایه شده که البته اگر به‌خوبی در چوب نفوذ کند این مشکل تا اندازه‌ای برطرف خواهد شد. استفاده از پلی‌یورتان به‌عنوان پوشش بیرونی دشوار است، زیرا این ماده به پرتوهای فرابنفش حساس است. برای رفع این کاستی از جاذب‌های پرتو فرابنفش یا جلا دهنده‌ها همراه با پلی‌یورتان‌ها استفاده می‌شود [۳۴].

۵- اصلاح چوب با استفاده از نانو پوشش‌ها

در سال‌های اخیر استفاده از نانو مواد یکی از روش‌های مؤثر در حفاظت چوب می‌باشد. در یک تعریف کلی می‌توان گفت: فناوری نانو، دست‌کاری مواد در سطوح اتمی و مولکولی است. تفاوت فناوری نانو با فناوری‌های دیگر در مقیاس مواد و ساختارهایی است که در این فناوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته تنها کوچک بودن اندازه مدنظر نیست، بلکه زمانی که اندازه مواد در این مقیاس قرار می‌گیرد، خصوصیات ذاتی آنها از

این مشکل با افزوده شدن اسیدهای چرب و روغن‌ها به‌عنوان جز اصلی شیمیایی رزین‌های الکییدی برطرف شد [۳۰]. در نتیجه امروزه رزین‌های الکییدی برحسب مقدار روغن موجود در آنها طبقه‌بندی می‌شوند: [۱۲، ۳۱]

- رزین‌های الکییدی با روغن زیاد: درصد روغن یا اسید چرب بیش از ۶۵٪
- رزین‌های الکییدی با روغن متوسط: درصد روغن یا اسید چرب برابر با ۴۰ تا ۶۰٪
- رزین‌های الکییدی با روغن کم: درصد روغن یا اسید چرب کمتر از ۴۰٪.

این ویژگی سبب شده است که رنگ‌های الکییدی دارای قابلیت ارتجاعی بالا، دوام خوب در شرایط بیرون و درخور استفاده برای پوشش‌دادن چوب‌های ایوان، کف‌پوش‌ها و دیگر کاربردهای وابسته به معماری باشند. تفاوت مهم دیگر الکیدها ویژگی خشک‌شدن آنها می‌باشد که به دو گروه خشک‌شونده و خشک‌نشونده تقسیم می‌گردند [۲۹].

۴-۲-۱- الکیدهای خشک‌نشونده

الکیدهایی که درصد روغن کمی دارند، در هوا خشک نمی‌شوند و برای سخت‌شدن نیاز به گرما (حرارت‌دهی) دارند. رنگ‌های الکییدی خشک‌نشونده عمدتاً به‌عنوان نرم‌کننده برای دیگر رزین‌های ترکیبی استفاده می‌شوند، زیرا قابلیت انعطاف رزین‌ها را به‌واسطه کاهش دمای شیشه‌ای بهبود می‌دهند [۱۲، ۳۱].

۴-۲-۲- الکیدهای خشک‌شونده

الکیدهای خشک‌شونده (روغن متوسط تا روغن زیاد) عموماً برای پوشش تولیدات ساختمانی چوب با کاربرد در محیط‌های بیرونی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این نوع الکیید برای محیط‌های داخلی و در اختلاط با رنگ‌ها نیز استفاده می‌گردد، اما با توجه به قوانین استفاده از حلال‌ها در محیط داخلی امروزه استفاده از آنها کاهش یافته است [۱۲، ۳۱].

۴-۳- رزین‌های آکریلیک

آکریلیک‌ها برای کاربردهای برجسته در شرایطی که نیاز به تمیزی سطوح و مقاومت شیمیایی و فیزیکی بالا می‌باشد، با ارزش هستند. آکریلیک‌ها دو مزیت عمده دارند: (۱) عبور جریان هوا و گازها را به‌طور معنی‌داری میسر می‌سازند، به‌طوری‌که امکان تبخیر رطوبت داخل چوب را از سطح، بدون ایجاد تاول در پوشش سطحی افزایش می‌دهند (نفوذپذیری خوبی به بخار آب دارند).

(۲) تا حد بسیار زیادی در برابر تخریب پرتو فرابنفش خورشید مقاوم می‌باشند [۳۲].

رزین‌های آکریلیک مورد استفاده توسط صنعت پوشش به دو دسته رزین‌های آکریلیک گرمانرم و گرماسخت تقسیم می‌شوند [۱۲، ۳۳].

¹ Thermoplastic

² Thermoset

۶-۱- جذب‌کننده‌های پرتو فرابنفش

جذب‌کننده‌های پرتو فرابنفش قادر به جلوگیری از تشکیل رادیکال آزاد هستند. به علاوه چوب را به واسطه روند تبدیل انرژی در مقابل تخریب نوری محافظت می‌نمایند [۴۲]. این مواد در حفاظت پوشش‌ها و با هدف افزایش مقاومت سطح در برابر پرتو فرابنفش خورشید مورد استفاده قرار می‌گیرند. هیدرو کسی بنزوفنون‌ها^۲ و هیدرو کسی بنزوتتری آزل‌ها^۳ از عمده موادی هستند که به عنوان جاذب پرتو فرابنفش مورد استفاده قرار می‌گیرند. تفاوت اصلی بین این افزودنی‌ها در میزان جذب متفاوت پرتو فرابنفش و در نتیجه اثر حفاظتی آنها می‌باشد. امروزه تثبیت‌کننده‌های معدنی نظیر نانو اکسیدهای فلزی (اکسید روی، دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید سریم) مکرر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت اصلی این مواد در مقایسه با تثبیت‌کننده‌های آلی پرتو فرابنفش، مقاومت بالای آنها در برابر تخریب نوری و آب شویی طی فرآیند هواز دگی می‌باشد. طی یک پژوهش کلاوسن و همکارانش^۴ (۲۰۱۰) به بررسی مقاومت به هواز دگی نمونه‌های چوب کاج زرد جنوبی تیمار شده با نانوروی با غلظت‌های ۱، ۲/۵ و ۵٪ پرداختند. در این تحقیق نمونه‌ها به مدت ۱۲ ماه در معرض هواز دگی طبیعی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده مطابق شکل ۷ نشان داد که کلیه نمونه‌های تیمار شده با نانوروی دارای سطح روشن تری نسبت به نمونه‌های تیمار نشده بودند و تغییر رنگ به‌ویژه در غلظت‌های بیشتر نانو اکسید روی به‌طور قابل توجهی کاهش داشت. همچنین در نمونه‌های تیمار شده با غلظت ۱٪ جذب آب تقریباً به میزان ۱۰٪ کاهش را نشان داد در حالی که نمونه‌های تیمار شده با غلظت‌های ۲/۵ و ۵٪ تا ۳۲٪ کاهش را از خود نشان دادند که این نشان از افزایش مقاومت در برابر جذب آب در غلظت‌های بیشتر نانو اکسید روی است. طی این تحقیق مشخص شد که نانو اکسید روی را می‌توان به‌عنوان ماده‌ای جدید جهت مقاومت در برابر هواز دگی چوب استفاده کرد. از طرفی به دلیل قابل حل بودن این مواد در آب، برای پوشش‌های بر پایه آب همچون آکرلیک و پلیمرهای آلکیدی که به تازگی در صنایع چوب توجه زیادی را به خود معطوف کرده‌اند نیز مناسب می‌باشند. با این حال با توجه به نسبت سطح به حجم و انرژی زیاد سطح نانوذرات، تمایل به کلوخه شدن در آنها افزایش می‌یابد و در نتیجه توانایی جذب پرتو فرابنفش و خاصیت محافظتی آنها به شدت کاهش می‌یابد. به همین دلیل بایستی توسط امواج فراصوت پراکنده و تثبیت گردند تا از کلوخه شدن مجدد آنها جلوگیری شود. همچنین اصلاح پوشش‌ها با نانومواد سلولزی به همراه مواد جاذب پرتوهای خورشیدی به دلیل ایجاد پوشش شفاف در سطح چوب، افزایش خواص فیزیکی، مکانیکی و دوست‌دار محیط‌زیست بودن اخیراً بیش از سایر روش‌ها مورد توجه قرار گرفته است. گرچه نیاز انسان به احیای جنگل‌ها و تقاضای رو به گسترش مواد ساختمانی بادوام‌تر فرصت‌هایی را در آینده برای پژوهش و مطالعه بیشتر در این زمینه طلب می‌کند. همچنان که در سطح دنیا تحقیقات بر روی این مواد کماکان ادامه دارد.

جمله رنگ، استحکام، مقاومت به خوردگی و غیره تغییر می‌یابد. در حقیقت اگر بخواهیم تفاوت این فناوری را با فناوری‌های دیگر به صورت قابل ارزیابی بیان نماییم، می‌توانیم وجود "عناصر پایه" را به عنوان یک معیار ذکر کنیم. عناصر پایه در حقیقت همان عناصر در مقیاس نانو هستند که خواص آنها در حالت نانو نسبت به مقیاس بزرگ‌تر تفاوت دارد [۳۵]. تحقیقات پیشین نشان دادند که نانوذرات می‌توانند مقاومت‌های مکانیکی (سفتی و مقاومت به سائیدگی)، مقاومت در برابر آتش و مقاومت در برابر پرتو فرابنفش پلیمرهای چوب را افزایش دهند. به‌عنوان نمونه ساها و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی مقایسه اثر نانو ذرات تیتانیوم و اکسید روی و نیز جاذب‌های آلی نور فرابنفش بر عملکرد رنگ پلی یورتان و آکرلیک روی سطح چوب کاج تیمار شده در دمای °C ۲۱۰ در طی ۱۵۰۰ ساعت هواز دگی مصنوعی پرداختند. آنها گزارش دادند که تخریب بعد از ۶۷۲ ساعت هواز دگی در قسمت‌های زیرین پوشش‌های حاوی جذب‌کننده‌های آلی نور فرابنفش نسبت به پوشش‌های نانوذرات تیتانیوم بسیار شدیدتر بود. همچنین بعد از ۱۵۰۰ ساعت تمامی پوشش‌ها در قسمت بیرونی دچار تخریب شدند. به‌طور کلی در میان همه پوشش‌ها، پوشش‌های نانوذرات تیتانیوم نسبت به دو پوشش دیگر برای حفاظت چوب اثربخش‌تر گزارش شد.

از طرفی در سال‌های اخیر توجه زیادی به استفاده از نانو سلولز، به‌عنوان فاز تقویت‌کننده در مواد پلیمری و کامپوزیت‌ها شده است. مطالعات صورت گرفته نشان داده است که استفاده از نانوسلولز باعث بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی پلیمرها و کامپوزیت‌ها می‌شود [۳۶، ۳۷]. از مزایای استفاده از نانوسلولز، امکان تولید کامپوزیت‌های شفاف و بی‌رنگ است. در واقع استفاده از نانوسلولز تغییری در شفافیت محصول نهایی ایجاد نمی‌کند [۳۸، ۳۹]. همچنین بر پایه بررسی صورت گرفته، مشخص شده است که با اصلاح نانو سلولز می‌توان از آن به‌عنوان تقویت‌کننده پوشش‌های بر پایه الکیل برمیدهای مختلف از جمله آمونیم برمید و آکرلیک استفاده کرد به‌طوری‌که علاوه بر پراکندگی مناسب نانوسلولز در ساختار این پوشش‌ها، مقاومت به سایش آنها نیز افزایش می‌یابد [۴۰].

۶-۲ دوام و سازوکار شکست در پوشش‌های شفاف

پایداری پوشش‌های شفاف در سطوح چوب مورد استفاده در کاربردهای بیرونی ضعیف است. بر اساس اظهارات کاسنز و فیست^۱ (۱۹۹۱) پوشش‌های شفاف معمولاً در مدت ۲ سال در شرایط بیرونی، تخریب می‌شوند. دلیل اصلی این امر، تخریب سطح چوب در اثر نفوذ نور فرابنفش و نور مرئی می‌باشد. برای تسلط بر این مشکل، هدف آن است که یا انتقال پرتو خورشید از طریق پوشش‌های شفاف کاهش یابد و یا پایداری نوری چوب قرار گرفته در زیر پوشش افزایش یابد [۴۱].

² Hydroxybenzophenone

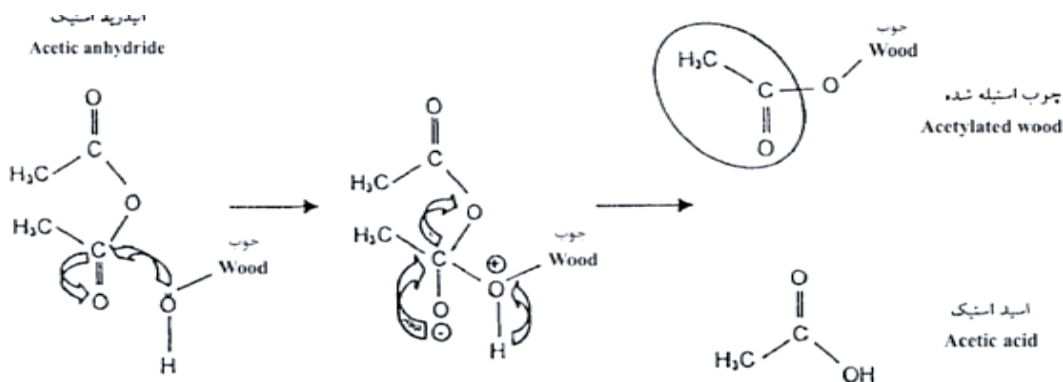
³ Hydroxybenzotriazole

⁴ Clausen Et al.

¹ Cassense and feist



شکل ۷- نمونه‌های تیمار شده و نشده با نانواکسید روی پس از ۱۲ ماه هوازدگی. نمونه‌های تیمار نشده در سمت چپ تصویر می‌باشند [۴۳].



شکل ۸- واکنش چوب با انیدرید استیک [۴۹].

مرکب یکی از روش‌های اصلاح شیمیایی دوست‌دار طبیعت است که بر روی بسیاری از ویژگی‌های کاربردی این فرآورده‌ها تأثیر مثبت دارد و مسائل و عوارض مواد حفاظتی خطرناک را ندارد. چوب و مواد لیگنو سلولزی استیل‌دار شده امکان کاربرد این فرآورده‌ها را در طیف وسیع‌تری مهیا می‌کنند که قبلاً به دلایل فنی امکان‌پذیر نبوده است. برای مثال، در مصارف بیرون ساختمان می‌توان از چوب‌های استیل‌دار شده استفاده کرد که نه تنها در برابر جذب رطوبت مقاوم هستند بلکه می‌توانند در برابر تخریب شیمیایی نوری دوام بیاورند و تغییر رنگ ندهند و در عین حال مقاومت مکانیکی خود را نیز حفظ کنند. از استری کردن می‌توان به‌منظور بهبود ثبات ابعادی چوب، سختی، مقاومت در برابر پرتو فرابنفش و جلوگیری از حمله عوامل مخرب زیستی مانند قارچ‌ها نیز استفاده نمود

۷- سایر روش‌های اصلاح چوب

۷-۱- اصلاح شیمیایی چوب

واکنش شیمیایی بین برخی از بخش‌های فعال اجزای تشکیل‌دهنده چوب (سلولز، همی سلولز و لیگنین) با ماده شیمیایی است که در نهایت منجر به ایجاد پیوند کووالانسی بین چوب و ماده شیمیایی می‌شود [۴۴]. از مهم‌ترین روش‌های اصلاح شیمیایی روش استری کردن می‌باشد. استری کردن واکنش بین گروه هیدروکسیل یک جزء چوب و گروه کربوکسیلی، انیدرید کربوکسیلیک یا اسید کربوکسیلیک در حضور یا بدون حضور کاتالیزور می‌باشد که منجر به تشکیل پیوند استری بین ماده استری‌کننده و جزء چوب می‌گردد [۴۵]. استیله کردن چوب و مواد

اکسیداسیون را در پی داشته [۴۵، ۵۱، ۵۲]. که این امر تغییرات قابل ملاحظه‌ای در شیمی چوب و همچنین خواص آن حاصل می‌آورد. برای جلوگیری از اکسیداسیون، از تیمار حرارتی در محیط‌های خنثی و یا روغن استفاده می‌شود [۴۵]. روغن انتقال حرارتی سریع و یکسان را در تمامی عناصر چوب به وجود آورده و با ایجاد مانع بین چوب و اکسیژن از اکسایش چوب جلوگیری می‌کند [۵۳]. وزن چوب تیمار حرارتی شده با روغن به دلیل جذب روغن در طی تیمار حرارتی افزایش می‌یابد [۵۴]. این در حالی است که تیمار حرارتی در محیط خنثی و هوای معمولی، کاهش وزن چوب را به دلیل پیرولیز همی سلولوز، سلولز و لیگنین به دنبال دارد [۵۵]. به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت واکنش‌دهی و هم‌کشیدگی چوب در اثر فرآیند تیمار حرارتی کاهش و مقاومت در برابر تخریب زیستی بهبود می‌یابد. تیره‌تر شدن سطح چوب و خروج مواد استخراجی در طی فرآیند تیمار حرارتی منجر به کاهش وزن و چگالی نمونه تیمار شده می‌گردد. همچنین درصد رطوبت تعادل و pH چوب در اثر فرآیند تیمار حرارتی کاهش می‌یابد اگرچه استحکام و خواص مقاومتی نیز تغییر می‌یابد.

۸- نتیجه‌گیری

با آغاز به قرن بیست و یکم و به‌دنبال پیشرفت مستمر و روزافزون دانش بشری ضروری است تمهیداتی جهت تداوم فناوری و افزایش طول عمر تجهیزات موجود در صنایع فراهم گردد. پوشش‌ها و رنگ‌ها، مهم‌ترین نقش را در محافظت از مصنوعات ایفا می‌نمایند. علاوه بر این با ایجاد تنوع در محصولات سبب رونق بیشتر صنعت و تجارت می‌شوند. در این مقاله سعی شده است به بررسی پژوهش‌های انجام گرفته بر روی پوشش‌های مختلف جهت بهبود هواز دگی چوب‌های مورد استفاده در ساختمان پرداخته شود. در صنعت چوب بر اساس ویژگی‌های فنی، اقتصادی و شرایط محیطی، از انواع پوشش‌ها از قبیل آکرلیکی، آلکیدی، پلی یورتان، پوشش‌های طبیعی و غیره استفاده می‌شود. این پوشش‌ها به همراه روش‌های اصلاح چوب سعی دارند با استفاده از مواد و روش‌هایی که آثار مخربی بر محیط زیست نداشته و یا به عبارتی دوست‌دار طبیعت می‌باشند، خواص چوب را برای بسیاری از کاربردها از جمله محافظت سطح در برابر هواز دگی، خوردگی و افزایش خواص محوری مانند تقویت لایه، ایجاد سختی مناسب و بازدارندگی اشتعال بهبود بخشند.

[۴۵، ۴۶]. علاوه بر انیدرید استیک از انیدریدهای خطی دیگر مانند انیدرید پروپیونیک که طول زنجیر آن کمی بلندتر از انیدرید استیک است نیز در بهبود خواص مقاومتی چوب استفاده می‌شود [۴۷]. در اثر اصلاح با انیدریدهای خطی، چوب واکنشیده شده و رطوبت‌پذیری آن کاهش می‌یابد که کلیه این تغییرات می‌توانند بر روی کیفیت سطح چوب مؤثر باشند [۴۸].

۷-۲- اصلاح حرارتی چوب

از میان طرق مختلف اصلاح و تیمار چوب که تا به حال مورد مطالعه و پژوهش قرار گرفته‌اند، اصلاح یا تیمار حرارتی، یکی از روش‌های تجاری پرکاربرد به شمار می‌آید. تیمار حرارتی چوب از دیرباز به‌عنوان روشی مفید و سودمند برای بهبود ثبات ابعادی و افزایش مقاومت در برابر پوسیدگی شناخته شده است. به‌طور عمده، امروزه پنج فرآیند تجاری-صنعتی تیمار حرارتی در دنیا به بهره‌برداری رسیده‌اند [۵۰].

- در کشور فنلاند: ترمو وود^۱
- در کشور هلند: پلاتو وود^۲
- در کشور آلمان: فرآیند تیمار حرارتی با روغن داغ^۳
- در کشور فرانسه: دو فرآیند: بایوس^۴ و رتیفیکیشن^۵

در سال‌های اخیر استفاده از فرآیندهای تیمار حرارتی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. بونسترا^۶ این امر را ناشی از عوامل زیر می‌داند:

کاهش تولید چوب‌های بادوام، تقاضای رو به گسترش برای مواد ساختمانی بادوام، کاهش تخریب جنگل‌ها بخصوص جنگل‌های استوایی، افزایش آئین‌نامه‌ها و مقررات محدودکننده دولتی برای استفاده از مواد سمی و شیمیایی.

تیمارهای حرارتی در دامنه حرارتی ۱۸۰-۲۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شوند. درجه حرارت‌های کمتر از ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد تغییرات ناچیزی را در خواص ماده (چوب) به همراه داشته‌اند، همچنین درجه حرارت‌های بیشتر از ۳۰۰ سانتی‌گراد موجب تخریب چوب می‌شود. تیمار حرارتی در هوای معمولی به علت وجود اکسیژن، فرآیند

¹ Thermo wood
² Plato wood
³ Oil Heat treatment (OHT)
⁴ Bios perdure
⁵ Rectification
⁶ Boonstra

۹- مراجع

1. A. Tamiz, N. Trezive, M. Eillkenes, J. Hafren, "Effect of accelerated weathering on surface chemistry of modified wood", Surf. Sci. 25(3), 5355-5362. 2007.
2. J. Bowyer, R. Shmulsky, J. Haygreen, "Forest production and wood science an introduction", 4th ed, 36-64, 2002.
3. N. Toghraie, "Wood understanding part1- modern woods", j d book, 15-27, 2013.
4. R. Gorgij, A. Tarmian, S. Nasiriani, R. Oladi, "Some anatomical, physical and chemical properties of toothbrush wood (salvadora persica L.) grown In zabol region", Iran. J. Wood & Pap. Sci. Res. 29(1), 132-141, 2014.
5. W. P. Armstrong, "Annual rings wood", Wood Anatomy and Plant Fibers, 2008, http://waynes word.palmar.edu
6. D. Jones, 2004. UK grown sitkaspruce for high-performance cladding: Scoping study report Building Research Establishment. Client report, Garston: 211-547.

7. I. T. Macleod, A. Scully, K. Ghigginio, P. Ritchie, O. Paravagna, B. Leary, "Photodegradation at the wood-clear coat interface", *Wood & Sci. Technol.*, 29(3), 183-189, **1995**.
8. H. Hodges, *Technology in the ancient world*. U. S. A., Barnes & Noble publishing, 287, **1970**.
9. W. C. Feist, D. N. S. Hon, "Chemistry of weathering protection. in the chemistry of solid wood advances in chemistry series", American Chemical Society. Washington, Am. Chem. Soc., 401-451, **1984**.
10. S. Branstellers, "Weathered painted wood", *Weathering Wood for Beginners*, 2015, <http://shortline.com>.
11. R. S. Williams, J. E. Windy, W. C. Feist, "Adhesion of paint to weathered wood", *Forest Products Journal*. 37 (11/12):29-31, **1987a**.
12. M. F. Ali, "Paints, pigments and industrial coatings", In *Handbook Of Industrial Chemistry* Eds McGraw, J. Hill, C. 201-257, **2005**.
13. F. Bulian, J. Graystone, "Industrial wood coatings", Elsevier Radarw, BV. 320 **2009**.
14. T. Kraeutler, L. Segrete, "Making good homes better", <http://www.money.com/community>, **1999-2015** Squeaky Door Productions, Inc. All rights reserved.
15. R. S. Williams, "Handbook: finishing of wood, chapter 16", *General Technical Report, FPL-GTR.190*. U. S. A. **2008**.
16. W. Simpson, A. Ten Walde, "Physical properties and Moisture relations of wood", In: *Wood As An Engineering Material*, Washington: U.S. **1999**.
17. R. S. Williams, "Effect of graft UV stabilizers on wood surface erosion and clear coating performance", *Appl. Polym. Sci.* 28(6), 2093-2103, **1983**.
18. S. Saha, D. Kocaefe, D. Sarkar, Y. Boluk, A. Pichetie, "Effect of TiO₂ containing nano-coatings on the color protection of heat treated jack pine", *J. Coat. Technol. Res.*, 8(2), 183-190, **2011**.
19. J. Vitosyte, K. Ukvalbergiene, G. Keturakis, "The effect of surface roughness on adhesion strength of coated ash (*Fraxinus excelsior* L.) and birch (*Betula* L.) Wood", *Mater. Sci.* 18 (4), 347-351, **2012**.
20. M. Arnold, "Planing and sanding of wood surfaces effect on surface properties and coating performance", 7th International Wood Coat. Congr. Sci. Technol., **2010**.
21. B. George, E. Suttie, A. Merlin, X. Deglise, "Photodegradation and photostabilisation of wood- the state of the art", *Polym. Degrad. Stab.* 88(2), 268-274, **2005**.
22. H. Zaker hamidi, "What is rosine", <http://mojtametooba.mihanblog.com/post/35>, **1392**.
23. T. Suanmuang, "Silk dyeing with natural dyestuffs in northeastern", Thailand, 26-30, **1999**.
24. Studyblue, <http://www.studyblue.com/about/legal/privacy/>, **2015**.
25. M. Ethnobotanical, *Coccus lacca (Shellac)*, <https://maya-ethnobotanicals.com/herbs/animal-products/coccus-lacca>, **2015**.
26. K. Roth, "Chemical secrets of the violin virtuosi – part 3", H. Kohlross/ www.schwartzfoehre.at. the collection rosine (colophony), **2012**.
27. N. I. Gaynes, G. N. Danziger, F. C. Kinsler, "Formulation of organic coatings", Princeton. D. VanNostrand Company, Inc, N.J., U. S. A., **1967**.
28. K. Doren, W. Freitag, D. Stoye, "Water-borne coatings-the environmentally friendly alternative", Munich-New York, Carl Hanser Verlag Publishers. P.204, **1994**.
29. A. G. Roberts, "Organic coatings-properties, selection, and use", United States Department of commerce, **1968**.
30. S. Paul, "Surface coatings-science and technology", UK, John Wiley & Sons, Chichester, SXW, **1985**.
31. R. Talbert, "Paint technology handbook", Taylor & Francis Group, **2008**.
32. E. Nejad, F. Cooper, "Exterior wood coatings. part-1: performance of semi transparent stains on preservative treated wood", *J. Coat. Technol. Res.*, 8(4), 449-458, **2011**.
33. J. M. Friel, "Acrylic polymers as coatings binders. in: paint and coating test manual", Fourteenth Ed of The Gardner. Philadelphia, U. S.A., 39-52, **1995**.
34. M. Koorepazanmofakhar, *Quarterly chemistry education magazine*, 26, 1, **2012**.
35. M. khayamnekouee, A. Beeazar, G. Salehi, "Nano technology in agriculture science", *Biotechnol. Res. Institute*, 1-100, **1389**.
36. J. Juntaro, S. Ummartyotin, M. Sain, H. Manuspiya, "Bacterial cellulose reinforced polyurethane. Based resin nano composite: A study of how ethanol and processing pressure affect physical, mechanical and dielectric properties. *Carbohydrate polym.*, 87: 2468-2469, **2012**.
37. Y. Pu, J. Zhang, T. Elder, Y. Deng, P. Gatenholm, A. J. Ranauskas, "Investigation into nanocellulosic versus acacia reinforced acrylic films", *Composites: part B*, 38:360-366, **2007**.
38. K. Spence, Y. Habibi, A. Dufresne, *Nanocellulose-based composites. Cellulose Fibers: Bio-and Nano-Polymer Composites*, Springer: 179-213, **2011**.
39. H. P. S. Abdul Khalil, A. H. Bhat, A. F. Ireana Yusra, "Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: A review", *Carbohydrate Polym.* **87**(2): 963-979, **2012**.
40. B. Poaty, V. Vardanyan, L. Wilczak, Chauve, G. B. Riedl, "Modification of cellulose nano crystals as reinforcement derivatives for wood coatings", *Org. Coat.* **2014**.
41. H. Ashton, "Predicting durability of clear finishes for wood from basic properties", *Coat. Technol.*, 52 (663), 63-71, **1980**.
42. T. Debroy, "Stabilization of coatings –conference presentation", In: 2nd Annual Wood Coatings and Substrates Conference. Greensboro, NC, U. S.A. **2006**.
43. C. A. Clausen, F. Green, S. N. Karal, "Weatherability and leach resistance of wood impregnated with Nano zinc oxide", *Nanoscale Reslet* 5.Pp1464-1467, **2010**.
44. P. B. Larsson, "Acetylation of solid wood: Ph.D. Thesis" Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, **1998**.
45. C. Hill, "Wood modification: chemical, thermal and other processes", John Wiley and Sons Press, 260, **2006**.
46. T. Mohebbi, A. Talaii, S. Kazemi, "Influence of acetylation on fire resistance of beech plywood", *Sci. Direct- Mater.*, 61, 359-362, **2007**.
47. A. N. Papadopulus, E. Taboulay, "Dimensional stability of OSB made from acetylated fir strands", *Holz and Roh-und Werkstoff*, 60(2), 92-95, **2003**.
48. D. Dirol, R. Guyonnet, "The improvement of wood durability by rectification process", *Int. Res. Group Wood Preserv.* 93, **1993**.
49. M. R. M. Farahani, S. M. Hosseini, "Decay resistance of propionylated Iranian beech against the white rot fungus *Trametes versicolor*", Department of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
50. I. Talaii, B. Mohebbi, S. Kazemi-Najafi, "Thermal analysis of acetylated beech layers", The 1st Iranian Combustion Conference 15-16th Feb. (26-27th Bahman 1384), Tehran, Iran. (In Persian language), **2006**.
51. T. Elder, "The Pyrolysis of Wood. D. N. S. and Shiraishi, N.(Eds)". Marcel Dekker, New York. In: Hill. 2006 *Wood Modification.*, **1991**.
52. S. A. Mirshokraei, "Wood chemistry". Aeeizh Press, 248p. (In Persian), **2003**.
53. A. O. Rapp, M. Sailer, "Oil heat treatments of wood in Germany-state of the art", In: Review on heat treatments of wood. Cost Action E22, Environmental optimization of

- woodproduction. Proceedings of the special seminar held in Antibes, Forestry and Forestry Products, France, 66, **2001**.
54. M. J. Spear, P. A. Fowler, C. A. S. Hill, R. M. Elias, "Assessment of the envelope effect of the hot oil treatments", Resistance to decay by *coniphora puteana* and *postia placenta*. The International Research Group on Wood Protection, IRG/ WP 06-40, 209-216, **2006**.
55. H. Rushe, Thermal Degradation of Wood at Temperatures up to 200 °C. I. Strength Properties of Wood After Heat Treatment. Journal of Holz als Roh-und Werkstoff, 31(7), 273-281, **1973**.