

## مطالعه تیمار روغن بزرک در چوب کبوده (*Populus alba* L.)

### به‌عنوان تیمار سنتی آثار تاریخی چوبی در برابر هوازدهی

#### چکیده

بخش مهمی از آثار چوبی در فضای باز و در معرض هوازدهی قرار دارند. حفاظت از این آثار با توجه به ارزش‌های فرهنگی آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. پیشینه استفاده از روغن بزرک به چند قرن گذشته بازمی‌گردد و امروزه نیز به شکل سنتی در سطح وسیعی جهت تیمار آثار چوبی در فضای باز به کار می‌رود؛ بنابراین، ویژگی‌های تیمار چوب کبوده (*Populus alba* L.) با روغن بزرک تحت تأثیر هوازدهی مورد مطالعه قرار گرفت. جذب روغن در فرایند تیمار بررسی شد و میزان آبشویی آن با استفاده از استاندارد BS EN 84:1997 اندازه‌گیری گردید. فرایند هوازدهی نیز با توجه به دستورالعمل ASTM 2565-99 انجام گرفت. نمونه‌ها پس از ۳۰۰ و ۸۰۰ ساعت هوازدهی از طریق رنگ سنجی، طیف‌سنجی FTIR و تصاویر SEM مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که نمونه‌های تیمار شده مقاومت خوبی در برابر آبشویی دارند ولی تیمار روغن بزرک موجب تغییرات بصری زیادی در چوب می‌شود که این تغییرات در طول فرایند هوازدهی ادامه پیدا می‌کند. داده‌های طیف‌سنجی نیز گویای تخریب ساختاری نمونه‌های تیمار شده پس از هوازدهی بود به‌گونه‌ای که به شکل شکست و ایجاد ترک در ساختار سلولی در تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح چوب دیده شد. به‌طور کلی، نتایج بر عدم عملکرد مناسب تیمار روغن بزرک در شرایط مطالعه در این تحقیق، جهت حفاظت چوب در فضای باز تأکید داشت.

**واژگان کلیدی:** چوب، آثار تاریخی، حفاظت، هوازدهی، روغن بزرک.

محسن محمدی آچاچلویی<sup>۱\*</sup>

حسین احمدی<sup>۲</sup>

کامبیز پورطهماسی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، <sup>۲</sup> استادیار گروه مرمت اشیاء، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:

mohsen.mohammadi@au.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۸

#### مقدمه

امروزه آثار چوبی بخش مهمی از میراث فرهنگی ملموس بشر را تشکیل می‌دهند. با توجه به ارزش‌های بالقوه و بالفعل این آثار، حفاظت از آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. بخش زیادی از آثار چوبی مربوط به ساختارهایی هستند که در فضای باز و در معرض عوامل

مخرب محیطی قرار دارند. هوازدهی از مهم‌ترین دلایل تخریب این آثار به شمار می‌رود [۱] و حفاظت چوب در برابر آن فرایندی قابل توجه است. روش‌ها و ترکیبات مختلفی تاکنون جهت حفاظت چوب به کار گرفته شده‌اند. روغن بزرک یکی از موادی است که به‌طور سنتی در سطح گسترده‌ای جهت تیمار سطحی آثار چوبی در ایران،

رطوبتی و تغییرات رنگی زیادی را در نمونه‌های تیمار شده با روغن بزرک گزارش کردند [۱۱]. روغن‌های طبیعی مانند روغن بزرک برای تیمار سطح آثار چوبی در برابر نور ماورا بنفش خورشید چندان مقاوم دانسته نشده است ولیکن پیش تیمار چوب با آن جهت آب‌گریز نمودن سطح و سپس پوشش دهی با رنگ‌های پایه روغنی نتایج رضایت بخشی در ترمیم چوب‌های شدیداً هوازده به همراه داشته است [۱۲]. صنوبرها *Populus sp.* جزء چوب‌های پرکاربرد در آثار تاریخی ایران هستند و مقاومت پایینی در برابر عوامل مخرب محیطی دارند [۱۳]. در پژوهش حاضر سعی شده است تأثیرات تیمار روغن بزرک در نمونه‌های چوب کبوده (*P. alba*) در برابر تأثیرات هوازده‌گی مورد مطالعه قرار گیرد تا امکان ارزیابی صحیحی از عملکرد این تیمار در آثار تاریخی میسر گردد.

### مواد و روش‌ها

گروه‌های نمونه‌های مورد ارزیابی در جدول ۱ نشان داده شده است. در این پژوهش نمونه‌ها از چوب کبوده (*Populus alba L.*) و فاقد عیب برش داده شدند. تمامی نمونه‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها، با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت چهار رقم اعشار (Sartorius LA230 S) توزین گشته و وزن اولیه آن‌ها ثبت شد. سپس در دمای  $20 \pm 10.3$  درجه سانتی‌گراد در آن (OSK EEZ-14S) به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند و پس از اطمینان از خشک شدن و ثبات وزنی (از طریق توزین‌های متوالی)، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۶۵٪ رطوبت نسبی قرار داده شدند تا به تعادل برسند. سپس به روش آغشتگی و با استفاده از قلم‌مو با روغن بزرک خام، به روش سنتی و به‌مانند فرایندهای سنتی حفاظتی تیمار شدند. بدین گونه که سه بار آغشتگی صورت گرفت و دیگر جذب سطحی مشاهده نگردید. این فرایند در تمامی نمونه‌ها به‌صورت یکسان انجام شد. روغن بزرک از کارگاه حفاظت و مرمت دانشگاه هنر اصفهان تهیه شد. این روغن به شیوه سنتی تهیه شده بود و در فرایندهای حفاظتی مورد استفاده قرار داشت. پس از تیمار، نمونه‌ها توزین شده و در آن در دمای  $20 \pm 10.3$  درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا به ثبات وزنی برسند. سپس توزین شده و جذب خالص و ناخالص نمونه‌ها نیز محاسبه گردید.

خصوصاً اجزای چوبی مربوط به ساختارهای معماری استفاده می‌شود. Unger و همکاران (۲۰۰۱) گزارش‌های متعدد از قرن هجدهم میلادی به بعد در مورد استفاده از روغن بزرک در حفاظت آثار چوبی را لیست نمودند و جذب گردوغبار، عدم مقاومت مناسب در برابر حشرات و بعضاً فساد و ایجاد بوی نامطبوع (ترش) را به‌عنوان معایب تیمار با آن ذکر کردند [۲]. روغن بزرک از دانه‌های گیاه *Linum usitatissimum* استخراج می‌شود و ساختار آن به‌طور کلی شامل اسیدهای چرب اشباع پالمیتیک (C16, 6-7%) و استئاریک (C18, 3-6%) و اسیدهای چرب غیراشباع اولئیک (C18, 14-24%) با یک پیوند دوگانه، لینولئیک (C18, 14-19%) با دو پیوند دوگانه و لینولنیک (C18, 48-60%) با سه پیوند دوگانه می‌شود [۳]. از قرن پانزدهم میلادی روغن بزرک کاربرد زیادی در جلاها و رنگ‌های پایه روغنی داشته است [۴]. از اواخر قرن شانزدهم میلادی تیمار چوب با روغن‌هایی مانند بزرک و گردو از اولین روش‌هایی بودند که برای حفاظت سطح چوب در مبلمان‌ها به کار گرفته شدند [۵]. استفاده از روغن بزرک در نقاشی روی درب‌های چوبی از دوره صفویه در ایران نیز معمول بوده است [۶]. تیمار با روغن بزرک و استفاده متوالی از واکس جهت بهبود ویژگی‌های سطحی کفپوش‌های چوبی در چند دهه قبل معمول بوده است [۷]. همچنین، Browne (۱۹۵۱) روغن بزرک را ساده‌ترین و قدیمی‌ترین روغن برای تیمار چوب در سطوح بیرونی ساختمان دانست ولیکن آن را به‌تنهایی کافی تشخیص نداد [۸]. استفاده از روغن بزرک همراه با تیمار زاج در درمان اشیاء باستان‌شناختی هرچند در زمان انجام فرایند رضایت‌بخش تشخیص داده شد ولی بعدها موجب آسیب در اشیاء مورد درمان گردید [۹]. تیمار حرارتی چوب با روغن داغ نتایج مناسبی در فرایندهای صنعتی داشته است. مطالعات Bazyar و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که تیمار حرارتی چوب تبریزی با استفاده از روغن بزرک داغ موجب کاهش رطوبت و جذب آب چوب و بهبود ثبات ابعادی آن می‌گردد، هرچند تیره‌تر شدن چوب تبریزی را در پی داشت [۱۰]. ولیکن تیمار گرمایی ساختارهای چوبی تاریخی چندان عملی به نظر نمی‌رسد و ریسک بالایی را به همراه خواهد داشت. Temiz و همکاران (۲۰۰۷) پس از ۸۰۰ ساعت هوازده‌گی کاهش تأثیرات

$$(۱) \quad \% \text{ جذب ناخالص} = \frac{\text{وزن خشک اولیه} - \text{وزن تر تیمار}}{\text{وزن خشک اولیه}} \times 100$$

$$(۲) \quad \% \text{ جذب خالص} = \frac{\text{وزن خشک اولیه} - \text{وزن خشک تیمار}}{\text{وزن خشک اولیه}} \times 100$$

جدول ۱- آزمون‌های مورد انجام و گروه نمونه‌های مربوط به آن‌ها

آزمون	آبشویی		هوازدهی مصنوعی		شاهد تیمار شده	شاهد چوب
	نرمال	فاقد مواد استخراجی	۳۰۰ س	۸۰۰ س		
گروه	Ln	Lx	AW-1	AW-2	TB	WB

خروج ترکیبات فنولیک، اسیدهای چرب، ترین‌ها، فلاونوئیدها و فیتوسترول‌ها می‌شود [۱۷]. نمونه‌ها پس از تیمار و تعادل در شرایط کلیما (۶۵٪ رطوبت نسبی و ۲۵ درجه سانتی‌گراد) همراه با پنج برابر حجم آب دیونیزه در ارلن خلأ قرار داده شدند و به مدت ۲۰ دقیقه تحت خلأ به میزان ۰/۰۴ بار قرار گرفتند. نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در آب باقی‌مانده و سپس آب تعویض گردید. در مدت چهارده روز، ده بار آب نمونه‌ها تعویض گشت. زمان تعویض آب نمونه‌ها شامل ۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶ و سپس هر ۴۸ ساعت بود. پس‌ازاین مدت نمونه‌ها در آون خشک‌شده و وزن خشک آن‌ها ثبت گردید. میزان آبشویی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$(۳) \quad \% \text{ آبشویی} = \frac{\text{وزن خشک آبشویی شده} - \text{وزن خشک تیمار}}{\text{وزن خشک تیمار}} \times 100$$

۳۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر و ۸ دقیقه پاشش آب همزمان با تأثیر نور بود. با توجه به فضای محفظه، فرایند هوازدهی مصنوعی در چهار نمونه و در سطوح ۳۰۰ و ۸۰۰ ساعت اعمال شد و تغییرات، مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از فرایند هوازدهی نمونه‌ها در آون خشک‌شده و توزین گشتند. درصد کاهش جرم نمونه‌ها تحت تأثیر هوازدهی، با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$(۴) \quad \% \text{ کاهش جرم} = \frac{\text{وزن خشک پس از هوازدهی} - \text{وزن خشک قبل از هوازدهی}}{\text{وزن خشک قبل از هوازدهی}} \times 100$$

جهت سنجش میزان آبشویی از استاندارد BS EN 84:1997 بهره گرفته شد [۱۴]. نمونه‌های به ابعاد ۶۰×۲۰×۲۰ میلی‌متر در دو دسته (هر دسته شامل شش عدد نمونه) تهیه شدند. فقط یک دسته از این نمونه‌ها با استفاده از استانداردهای TAPPI T207-OM88 و TAPPI T204-OM88 از مواد استخراجی عاری گردیدند [۱۶-۱۵] تا بتوان تأثیر مقدار مواد استخراجی در میزان آبشویی را مشاهده کرد. فرایند استخراج ابتدا به مدت ۷۲ ساعت و با استفاده از آب گرم انجام شد و سپس به مدت ۷۲ ساعت با استفاده از اتانول: پروپانول به نسبت یک به دو ادامه یافت. آب گرم موجب استخراج کربوهیدرات‌های با وزن مولکولی پایین و تانن‌ها گشته و اتانول: پروپانول باعث

آزمون هوازدهی با توجه به دستورالعمل ASTM 2565-99 انجام گردید [۱۸]. نمونه‌ها در ابعاد ۱۵۰×۷۵×۵ میلی‌متر تهیه و تیمار گشتند. پس از سنجش وزن خشک و کلیماتیزه کردن، نمونه‌ها در محیطی با دمای دیواره C ۵ ± ۶۰ و رطوبت نسبی ۵۰٪ قرار گرفتند. هوازدهی نمونه‌ها شامل ۱۰۲ دقیقه تابش نور با استفاده از لامپ Xenon (OSRAM Powerstar HQI-BT 400w/d pro) و لامپ UVa (Vilber-Lourmat T-15L) بین طول‌موج

کالیبره می‌گردید. شدت نوارهای جذبی از طریق محاسبه مساحت پیک با استفاده از نرم‌افزار OMNIC 6.1a انجام شد. شاخص‌های مربوط به ساختارهای چوب از طریق محاسبه نسبت‌های  $I_{1029}/I_{2925}$  به‌عنوان شاخص چوب،  $I_{1507}/I_{896}$  به‌عنوان شاخص تغییرات لیگنین،  $I_{1744}/I_{1158}$  به‌عنوان شاخص کربونیل،  $I_{1420}/I_{896}$  به‌عنوان سلولز و  $I_{1263}/I_{1339}$  به‌عنوان نسبت گویایسیل به سرینجیل در لیگنین [۲۰] مورد ارزیابی قرار گرفتند.

جهت ارزیابی سطح نمونه‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning Electron Microscope (SEM)) استفاده شد. نمونه‌های شاهد چوب و تیمار شده هوازده (۸۰۰ ساعت)، پس از پوشش‌دهی با طلا، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی ساخت کمپانی TESCAN جمهوری چک مدل VEGAII مورد مطالعه قرار گرفتند.

## نتایج و بحث

### تیمار و آبشویی

داده‌های مربوط به تیمار نمونه‌های آبشویی با روغن بزرک در جدول ۲ ارائه شده است که نشان می‌دهد نمونه‌های فاقد مواد استخراجی جذب بیشتری نسبت به نمونه‌های حاوی مواد استخراجی دارند یعنی مواد استخراجی موجب کاهش جذب در نمونه‌های چوب شده است. هرچند تفاوت جذب در این نمونه‌ها خیلی زیاد نیست ولی با توجه به میزان کم مواد استخراجی در نمونه‌های مورد بررسی، این مسئله قابل توجه خواهد بود و می‌توان گفت که در تیمار چوب با روغن بزرک یکی از عواملی که در میزان جذب مؤثر است میزان مواد استخراجی موجود در چوب خواهد بود. مقایسه تفاوت جذب خالص و ناخالص در دو دسته نمونه نشان می‌دهد که نمونه‌های بدون استخراج کاهش وزن بیشتری در طول خشک کردن پس از تیمار داشته‌اند که احتمالاً به دلیل میزان فراریت تیمار و مواد استخراجی است.

میزان آبشویی در هر دو دسته یکسان بود. در واقع حضور و یا فقدان مواد استخراجی تأثیری در مقدار آبشویی روغن بزرک از چوب نداشت. همچنین میزان ماده آبشویی شده کم است که گویای این مطلب است که تأثیر آب موجب فروشست چندان زیادی در ماده تیمار نشده است. این مسئله با توجه به آب‌گریز بودن ساختار روغن بزرک چندان عجیب

حفظ ویژگی‌های بصری اهمیت بالایی در فرایندهای حفاظتی و مرمتی دارد. به همین جهت برای سنجش تغییرات رنگی در نمونه‌های مورد مطالعه از دستگاه رنگ سنج ساخت شرکت Salutron کشور آلمان، مدل Colortector Alpha و سامانه رنگی CIE L\*a\*b استفاده شد. رنگ‌سنجی در هر نمونه پنج بار تکرار شد. تغییرات رنگی ایجادشده در نمونه‌های مختلف نیز با استفاده از روابط زیر محاسبه شد.

$$\Delta L = L_2 - L_1 \quad (5)$$

$$\Delta b = b_2 - b_1 \quad (6)$$

$$\Delta a = a_1 - a_2 \quad (7)$$

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta b^2 + \Delta a^2)^{1/2} \quad (8)$$

مؤلفه L روشنی/تیرگی را نشان می‌دهد که از صفر تا صد درجه‌بندی می‌شود. مقادیر مثبت  $\Delta L$  گویای افزایش روشنی و مقادیر منفی نشان‌دهنده کاهش آن یا افزایش تیرگی است. مؤلفه b به میزان زردی/آبی است و مقادیر مثبت  $\Delta b$  افزایش زردی و مقادیر منفی کاهش آن یا افزایش آبی را نشان می‌دهد. مؤلفه a ناشی از میزان قرمز/سبز است و مقادیر مثبت  $\Delta a$  نشان‌دهنده افزایش قرمزی و مقادیر منفی گویای کاهش آن یا افزایش سبز است.  $\Delta E$  نیز تفاوت رنگی کلی را نشان می‌دهد [۱۹].

تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SigmaPlot Version 12.3 Build 12.3.0.36 انجام گشت و درصد معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد تعیین گردید.

طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)) جهت مطالعه ساختاری، با استفاده از دستگاه FTIR Spectrometer مدل Nicolet Nexus 470 ساخت شرکت Thermo Nicolet آمریکا، متصل به نرم‌افزار OMNIC، مجهز به PIKE MIRacle attenuated total reflectance (ATR) با سطح آنالیزور کریستال ZnSe و به روش انعکاس کل تضعیف‌شده، انجام گردید. نمونه‌ها در محدوده  $650 \text{ cm}^{-1}$  الی  $4000 \text{ cm}^{-1}$  مورد آنالیز قرار گرفتند؛ و طیف‌ها حاصل ۳۲ پیمایش با رزولوشن  $4 \text{ cm}^{-1}$  بودند. پس از هر آنالیز، دستگاه با طیف هوا به عنوان زمینه،

قابلیت خوبی برای ایجاد پیوند هیدروژنی با اجزای تشکیل دهنده چوب دارد و موجب کاهش جذب آب و نفوذ رطوبت و همچنین افزایش ثبات ابعادی چوب می شود که این امر از طریق ایجاد مانع بین آب و اجزای چوب و آب گریز کردن الیاف صورت می گیرد [۲۳].

به نظر نمی رسد. بسیاری از روغن های گیاهی به عنوان ترکیبات دافع آب جهت محافظت چوب به کار برده شده اند [۲۱]. مواد شیمیایی که توانایی ایجاد پیوند هیدروژنی دارند موجب دسترسی کمتر مولکول های آب به گروه های کربونیل و کربوکسیل اجزای شیمیایی چوب می شوند [۲۲]. روغن بزرک مولکول های بسیار بزرگ تری نسبت به آب داشته و

جدول ۲- میانگین داده های مربوط به میزان مواد استخراجی، جذب تیمار و آبشویی

گروه آزمون	مواد استخراجی (%)	جذب ناخالص (%)	جذب خالص (%)	$\Delta$ جذب (%)	آبشویی (%)
Ln	-	۲/۸۶	۲/۱۹	۰/۶۶	۰/۶۱
انحراف معیار	-	۰/۳۵	۰/۳۳	-	۰/۰۳
Lx	۱/۱۰	۳/۱۶	۲/۶۹	۰/۴۷	۰/۶۱
انحراف معیار	۰/۰۷	۰/۳۵	۰/۳۴	-	۰/۰۳

### رنگ سنجی

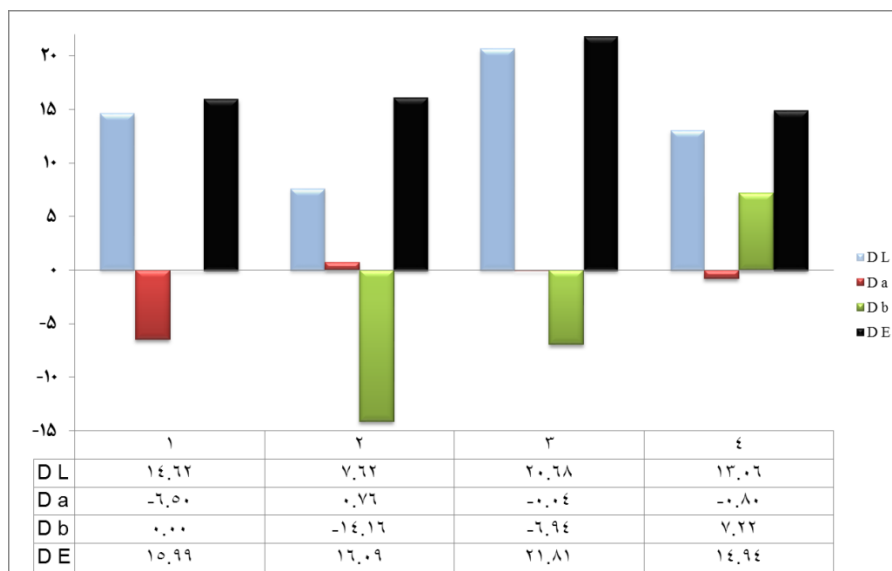
فاکتورهای مؤثر در رنگ سنجی شامل  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  در نمونه های شاهد (بدون تیمار)، تیمار شده بدون هوازدهگی و پس از ۳۰۰ و ۸۰۰ ساعت هوازدهگی اندازه گیری شد (جدول ۳). اختلاف موجود در داده های به دست آمده نشان می دهد که تیمار چوب با روغن بزرک موجب افزایش روشنی در چوب شده است ولی به میزان قابل ملاحظه ای از قرمزی نمونه کاسته شده و سبزی آن بیشتر گردیده است. تغییری در زردی/آبی دیده نمی شود. به طور کلی، تیمار روغن بزرک موجب تغییرات رنگی ( $\Delta E$ ) می گردد که در زمینه حفاظت آثار تاریخی درخور تأمل است (شکل ۱).

پس از ۳۰۰ ساعت هوازدهگی افزایش روشنی در نتایج مشهود است. به میزان ناچیزی به قرمزی نمونه ها افزوده شده ولی مقدار زیادی از زردی کاسته شده و به سمت آبی پیش رفته است. تفاوت رنگی بین نمونه بدون هوازدهگی و پس از ۳۰۰ ساعت هوازدهگی، از تفاوت بین

چوب شاهد و نمونه تیمار شده نیز بیشتر است. پس از ۸۰۰ ساعت هوازدهگی نیز به روشنی نمونه ها اضافه شده ولی از قرمز و زردی آن ها کاسته شده است. تفاوت قرمزی در نمونه های هوازده چندان زیاد نیست. در مرحله اول هوازدهگی (۳۰۰ ساعت) هر چند در ابتدا اکسیداسیون لیگنین موجب تشکیل اورتو و پاراکینون می شود ولیکن در ادامه، احیا شدن گروه های پاراکینون به هیدروکینونی کاهش زردی را در پی خواهد داشت [۲۴]. افزایش زردی در ادامه فرایند هوازدهگی احتمالاً در نتیجه تشکیل ساختار کینوئید است. در واقع تخریب رادیکالی لیگنین موجب تشکیل کرمفورهای ثانویه می گردد. از آن جمله می توان به تشکیل رادیکال های متوکسی و در نتیجه گواپیاکوکسی اشاره کرد که به ساختار کینوئید تبدیل می شود و از عوامل اصلی زردشدگی به شمار می رود [۲۵]. به طور کلی تغییرات رنگی ناشی از هوازدهگی نشان می دهد که تیمار روغن بزرک علاوه بر ایجاد تغییرات بصری در چوب، از تغییرات بصری ناشی از تأثیرات محیط جلوگیری نمی نماید.

جدول ۳- داده های رنگ سنجی در نمونه های مورد مطالعه

گروه	$L^*$	انحراف معیار	$a^*$	انحراف معیار	$b^*$	انحراف معیار
WB	۸۷/۵۴	۲/۱۸	۰/۴۰	۰/۰۴	۱۴/۵۰	۰/۶۶
TB	۷۲/۹۲	۳/۰۲	۶/۹۰	۱/۴۶	۱۴/۵۰	۰/۶۶
AW-1	۶۵/۳۰	۳/۸۲	۶/۱۴	۰/۸۱	۲۸/۶۶	۱/۷۹
AW-2	۵۲/۲۴	۴/۴۷	۶/۹۴	۰/۸۵	۲۱/۴۴	۲/۷۱

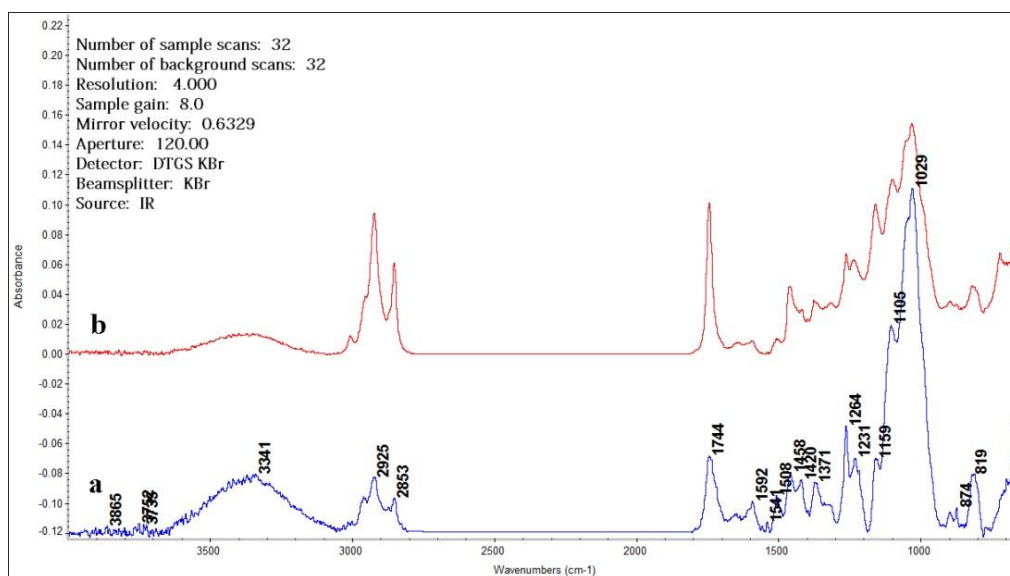


شکل ۱- اختلاف داده‌های رنگ‌سنجی بین نمونه‌های مورد مطالعه: WB و TB (۱)، TB و AW-1 (۲)، TB و AW-2 (۳)، و AW-2 و AW-1 (۴)

مربوطه برقرار است [۲۶]. نتایج مربوط به شاخص‌های مربوط به نمونه شاهد و تیمار شده در جدول ۴ ارائه شده است. اکثر شاخص‌ها پس از تیمار با روغن بزرک دچار افت شده‌اند. روغن بزرک هرچند در اکثر این نواحی جذبی نشان نمی‌دهد ولی اضافه شدن آن در سطح چوب موجب کاهش جذب در ساختارهای شیمیایی چوب گردیده است. البته شاخص کربونیل افزایش قابل توجهی دارد که در نتیجه جذب قابل توجه روغن بزرک در این ناحیه است.

### طیف‌سنجی FTIR

طیف‌های FTIR نمونه چوب شاهد و نمونه تیمار شده در شکل ۲ نشان داده شده است. حالت جذب IR جهت بررسی مقادیر ساختارهای تشکیل دهنده به کار گرفته شده است؛ زیرا بر اساس قانون بیر شدت هر نوار جذبی با مقدار مربوطه در نمونه متناسب است یعنی رابطه‌ای خطی بین شدت جذب و غلظت برقرار است که این رابطه خطی فقط در طیف‌های جذب به کار می‌رود در حالی که در حالت عبوری رابطه‌ای لگاریتمی بین شدت باند و غلظت ساختار



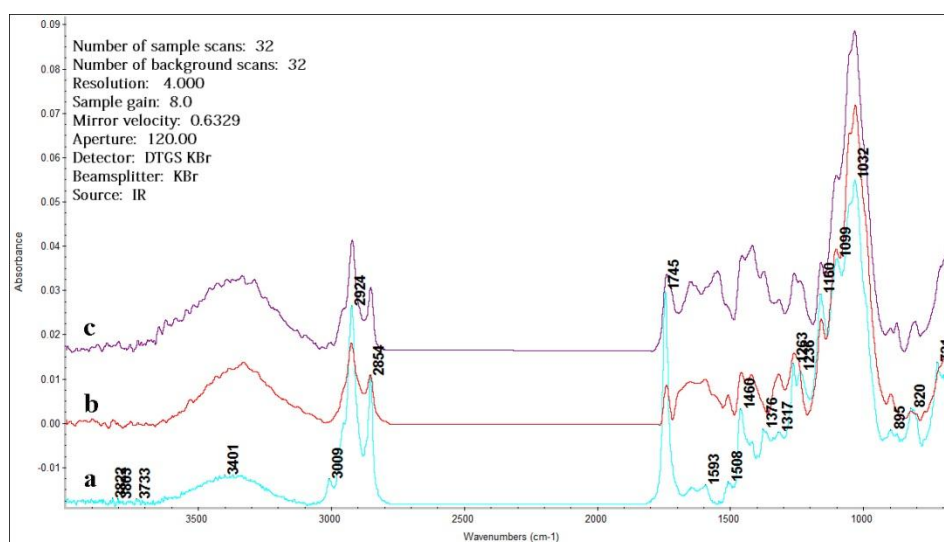
شکل ۲- طیف‌های FTIR نمونه چوب شاهد (a) و نمونه تیمار شده (b)

جدول ۴- شاخص‌های طیفی نمونه‌های شاهد و تیمار شده

نمونه	$I_{1029}/I_{2925}$	$I_{1744}/I_{1158}$	$I_{1507}/I_{896}$	$I_{1283}/I_{1339}$	$I_{1420}/I_{896}$
چوب شاهد	۲/۱۴۳	۲/۰۶۴	۱/۱۰۵	۲۶/۳۳۳	۱/۸۹۵
تیمار شده	۰/۳۱۴	۳/۲۰۰	۰/۷۱۴	۱۶/۰۰۰	۱/۰۰۰

باند‌های ضعیف  $1317\text{cm}^{-1}$  و  $1397\text{cm}^{-1}$  نیز دیده می‌شود. این نوارهای جذبی متأثر از برهمکنش بین ارتعاش C-O کششی و ارتعاش C-O-H خمشی می‌باشند [۲۷]. طیف‌های FTIR نمونه‌های شاهد و هوازده در شکل ۳ نشان داده شده است. پس از هوازده‌گی اکثر نوارهای جذبی کاهش یافته‌اند. نوار جذبی  $896\text{cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش تغییر شکل C-H و ارتعاش کششی نامتقارن سلولز است [۲۸]. پیک  $1029\text{cm}^{-1}$  ناشی از ارتعاش کششی متقارن C-O در سلولز و همی‌سلولزها [۲۰] و ارتعاش تغییر شکل درون صفحه‌ای C-H آروماتیک شکل گرفته است. ارتعاش کششی نامتقارن پل C-O-C در سلولز و همی سلولزها در  $1158\text{cm}^{-1}$  دیده می‌شود. جذب در این ناحیه مربوط به سلولز آمورف دانسته شده است [۲۹].

روغن بزرک از چندین اسید چرب بلند زنجیر اشباع و غیراشباع تشکیل شده است [۳]. ارتعاشات کششی دایمر اسیدهای کربوکسیلیک معمولاً در  $1700-1730\text{cm}^{-1}$  آشکار می‌گردد اما در اسیدهای آلیفاتیک اشباع در  $1760\text{cm}^{-1}$  دیده می‌شود که پیوند هیدروژنی موجب کاهش فرکانس جذب می‌گردد [۲۷]. قابلیت بالای اجزای شیمیایی چوب و مخلوط اسیدهای کربوکسیلیک اشباع و غیراشباع در روغن بزرک جهت ایجاد پیوند هیدروژنی احتمالاً باعث کاهش فرکانس جذب تا  $1744\text{cm}^{-1}$  گردیده است. به همین دلیل ارتعاش کششی C=O در روغن بزرک معمولاً بین  $1730-1750\text{cm}^{-1}$  آشکار می‌شود [۲۶]. جذب C-H کششی مربوط به اسیدهای کربوکسیلیک در  $2855-2950\text{cm}^{-1}$  موجب تشدید نوارهای جذبی این محدوده شده است که این امر در



شکل ۳- طیف‌های FTIR نمونه شاهد تیمار (a)، هوازده ۳۰۰ ساعت (b) و هوازده ۸۰۰ ساعت (c)

جدول ۵- شاخص‌های طیفی نمونه‌های هوازده پس از ۳۰۰ و ۸۰۰ ساعت هوازده‌گی

نمونه	$I_{1029}/I_{2925}$	$I_{1744}/I_{1158}$	$I_{1507}/I_{896}$	$I_{1283}/I_{1339}$	$I_{1420}/I_{896}$
۳۰۰ ساعت هوازده‌گی	۱/۱۵	۰/۳۶۱	۰/۸۲۷	۵/۲۳۱	۰/۵۱۷
۸۰۰ ساعت هوازده‌گی	۰/۸۲۳	۰/۱۵۸	۰/۴۶۰	۴/۱۹۰	۰/۵۰۰

کمتر شیفت پیدا می‌کند که این امر به دلیل شکست و یا تشکیل پیوند هیدروژنی  $C=O \cdots H$  در نتیجه تخریب فتوشیمیایی رخ می‌دهد [۳۰]. هرچند پیدایش شانه پیک در ۱۷۳۳ در نمونه‌های هوازده مشاهده می‌شود اما فرایند هوازده‌گی و ادامه آن کاهش شاخص کربونیل را در پی داشته است زیرا در تحقیقاتی که بر افزایش جذب کربونیل تأکید داشته‌اند، تخریب چوب را تنها تحت تأثیر نور بررسی نموده‌اند ولی کاهش جذب کربونیل در طیف‌های مورد مطالعه نشانگر فروشت ساختاری تحت تأثیر پاشش آب است. تخریب پیوند فتوشیمیایی موجب شکست پیوند  $C=C$  در مجاورت گروه‌های کربونیل می‌گردد و محصولات این تخریب وزن مولکولی پایینی داشته و در آب محلول‌اند و به راحتی می‌توانند آبشویی شوند [۲۹]. داده‌های مربوط به میزان کاهش جرم نمونه‌ها پس از هوازده‌گی (جدول ۶)، کم شدن اجزای تشکیل‌دهنده چوب پس از هوازده‌گی را تأیید می‌کند. در واقع کاهش در حدود یک و نیم درصد وزنی نمونه در اثر هوازده‌گی که فرایندی سطحی است قابل توجه خواهد بود.

جدول ۶- میزان کاهش جرم در نمونه‌های هوازده

نمونه	درصد کاهش جرم
هوازده‌گی ۳۰۰ ساعت	۰/۲۸
هوازده‌گی ۸۰۰ ساعت	۱/۴۲

شاخص تغییرات لیگنین نیز در طول فرایند هوازده‌گی دچار کاهش شده است. به‌طور کلی تأثیر هوازده‌گی موجب تخریب شدید لیگنین و کاهش جذب آن در ۱۵۰۷ می‌گردد [۳۳]. هرچند کاهش جذب در ۸۹۶ گویای تخریب پلی‌ساکاریدها در نمونه هوازده است ولیکن سرعت بالاتر تخریب لیگنین موجب کاهش این شاخص می‌گردد چراکه تحت تأثیر نور ماورا بنفش، لیگنین سریع‌تر دچار تخریب می‌شود و از طرفی با کاهش جذب ۱۵۰۷ در طول هوازده‌گی، جذب در ۱۶۴۸ افزایش یافته است؛ زیرا شدت این دو نوار جذبی با هم نسبت دارد و تخریب لیگنین موجب ایجاد گروه‌های کربونیل ساختاری جدید می‌شود [۳۴]. بعلاوه، تأثیر هوازده‌گی باعث رشد جذب در ۱۵۵۹ و ۱۵۹۲ ناشی از اتصال‌های غیراشباع  $C=C$  در حلقه آروماتیک لیگنین و ۱۶۴۸ ناشی از ارتعاشات کششی

باند  $1263 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی  $C-O$  و حلقه گویاسیل در لیگنین و جذب  $1339 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از ارتعاش کششی  $C-O$  در حلقه سرینجیل است [۲۰]. ارتعاش تغییر شکل  $C-H$  درون صفحه‌ای سلولز نیز در  $1420 \text{ cm}^{-1}$  آشکار شده است [۳۰]. نوار جذبی  $1507 \text{ cm}^{-1}$  به‌عنوان شاخص لیگنین، ناشی از ارتعاش کششی  $C=C$  در ساختار آروماتیک حلقه بنزن در لیگنین در طیف‌ها دیده می‌شود. پیک  $1744 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از ارتعاش کششی  $C=O$  گروه استیل و گروه کربوکسیلیک غیر مزدوج و استرهای آن (در زایلان) و همچنین ارتعاش کششی کربونیل در کتون‌های غیر مزدوج و آلدئیدهای آزاد موجود در لیگنین دانسته شده و به‌عنوان شاخص جهت سنجش گروه‌های کربونیل به کار می‌رود [۲۹]. جذب در  $2850-2960 \text{ cm}^{-1}$  نیز به ارتعاشات کششی نامتقارن  $CH_2$  و  $C-H$  در گروه‌های متیل و متیلن تعیین گردیده است [۲۰]. نتایج اندازه‌گیری شاخص‌های مربوط به نمونه‌های هوازده در جدول ۵ نشان داده شده است. شاخص چوب در نمونه‌های هوازده نسبت به نمونه شاهد کاهش قابل‌ملاحظه‌ای داشته است زیرا جذب در ۱۰۲۹ در طول هوازده‌گی کاهش یافته است در حالی که جذب ۲۹۲۵ تغییر زیادی نکرده است. کاهش جذب ۱۰۲۹ نشان‌دهنده کاهش پلی‌ساکاریدها و ترکیبات آروماتیک در سطح چوب است. تأثیری که روغن بزرک در کاهش جذب اجزای شیمیایی چوب داشت در نمونه‌های هوازده دیده نمی‌شود. این مسئله احتمالاً به دلیل تخریب ساختاری روغن بزرک و فروشت آن از سطح چوب در فرایند هوازده‌گی است. کاهش میزان جذب نوار ۱۷۴۴ و ۱۳۱۷ و همچنین عدم وجود جذب ۱۳۹۷ در نمونه‌های هوازده این امر را تأیید می‌کند. شاخص کربونیل در چوب نیز در طول فرایند هوازده‌گی کاهش یافته است. تأثیر نور ماورا بنفش موجب تخریب ساختاری پلی‌ساکاریدها و باز شدن حلقه لیگنین از طریق مکانیسم جدایش موکونیک اسید (که از طریق کربوکسیلیک اسیدها و یا لاکتون‌های آن‌ها قبلاً شکل گرفته‌اند) می‌گردد [۳۱] که این امر تولید گروه‌های جدید کربونیل را به همراه خواهد داشت و در نتیجه افزایش قابل توجه جذب کربونیل در طول تابش را به همراه خواهد داشت [۳۲]. در واقع جذب ارتعاش کششی  $C=O$  در طول تابش به آرامی پهن‌تر شده و به اعداد موجی

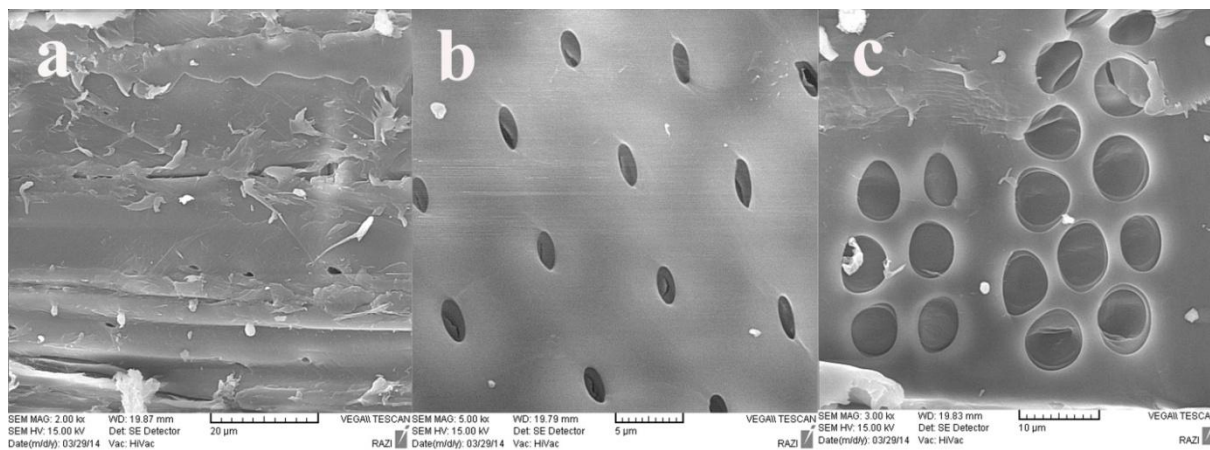


موجب تشکیل رادیکال‌های آلکوکسی در موقعیت‌های  $C_1$  و  $C_4$  در زمان جذب انرژی تابش توسط باندهای گلیکوزیدی می‌شود ولی پس از مدتی این شاخص تقریباً ثابت می‌ماند لیگنین و محصولات تخریب آن باعث حفاظت سلولز در برابر تخریب نوری می‌شوند. انرژی باقی‌مانده در سلولز به‌جای اینکه پراکنده شود می‌تواند در یک گروه داخلی اصلی مانند یک گروه آروماتیک در لیگنین متمرکز شود [۳۶]. به‌طور کلی نتایج طیف‌سنجی نشان می‌دهد که سطح نمونه‌های تیمار شده با روغن بزرک تحت تأثیر فرایند هوازگی دچار تغییرات ساختاری جدی در اجزای اصلی تشکیل‌دهنده ساختار چوب شده است و تیمار چوب با روغن بزرک عمل حفاظتی چندانی در فضای باز ندارد.

#### بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی

بررسی ریخت‌شناسی سطح در نمونه‌های شاهد چوب و تیمار شده هوازده (۸۰۰ ساعت)، انجام گرفت. در نمونه شاهد الیاف چوب در کنار یکدیگر قرار داشته و هیچ تخریب اساسی، شکست و یا جدایش را نشان نمی‌دهد (شکل ۴-ا) و بافت فیبر از نظر فیزیکی در وضعیت سالمی قرار دارد. منافذ هاله‌ای در سطح دیده می‌شود (شکل ۴-ب). منافذ بین آوند-پارانشیم نیز مدور، درشت و به شکل متناوب آرایش یافته‌اند (شکل ۴-ج). منافذ کاملاً سالم‌اند و شکست و یا ترکی در آن‌ها دیده نمی‌شود. در نمونه‌های شاهد الیاف سطح چوب سالم و یکپارچه آرایش یافته‌اند. این امر نشان‌دهنده عدم تخریب سلولز و لیگنین در دیواره سلولی و لیگنین در دیواره بین سلولی است.

$C=O$  مزدوج همراه با یک حلقه آروماتیک [۳۵] گردیده است. همچنین نوار جذبی ۱۶۵۲ ناشی از ارتعاش کششی  $C=O$  در کتون‌های مزدوج آروماتیک یا کربونیل مزدوج (آریل کتون) [۲۰]، پس از ۸۰۰ ساعت هوازگی در طیف نمونه دیده می‌شود. تشکیل و یا تشدید این نوارهای جذبی در نتیجه تشکیل ساختار کینوئید که حاوی گروه‌های  $C=O$  جدید هستند رخ می‌دهد [۳۶]. از طرف دیگر نسبت واحد گویایسیل به واحد سرینجیل نیز در نمونه‌های هوازده کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. این مسئله گویای تخریب شدیدتر واحد گویایسیل در لیگنین است. به‌طور کلی گویایسیل در مقایسه با سرینجیل به دلیل تفاوت ساختاری نسبت به تخریب نوری حساس‌تر است زیرا فقط یک گروه متوکسی متا در مجاور گروه هیدروکسیل فنولیک در واحد گویایسیل وجود دارد در حالی که واحد سرینجیل دارای دو گروه متوکسی در مجاورت گروه هیدروکسیل فنولیک است [۲۰]. این موارد نتایج رنگ‌سنجی مربوط به افزایش زردی نمونه پس از ۸۰۰ ساعت هوازگی تحت مکانیسم تخریب رادیکالی لیگنین و تشکیل رادیکال گویایکوکسی و تبدیل آن را به کینوئید تأیید می‌کند. پس از ۳۰۰ ساعت هوازگی افت زیادی در شاخص بلورینگی سلولز دیده می‌شود ولی با ادامه فرایند هوازگی تغییر چندانی در این شاخص مشاهده نمی‌گردد. به نظر می‌رسد که در مرحله اول هوازگی سلولز دچار تخریب گردیده است اما سرعت تخریب در مرحله دوم به میزان بسیار کمی تنزل یافته است. کاهش اولیه در شاخص بلورینگی سلولز در فرایند هوازگی به دلیل شکست زنجیره پلی‌ساکاریدهاست که

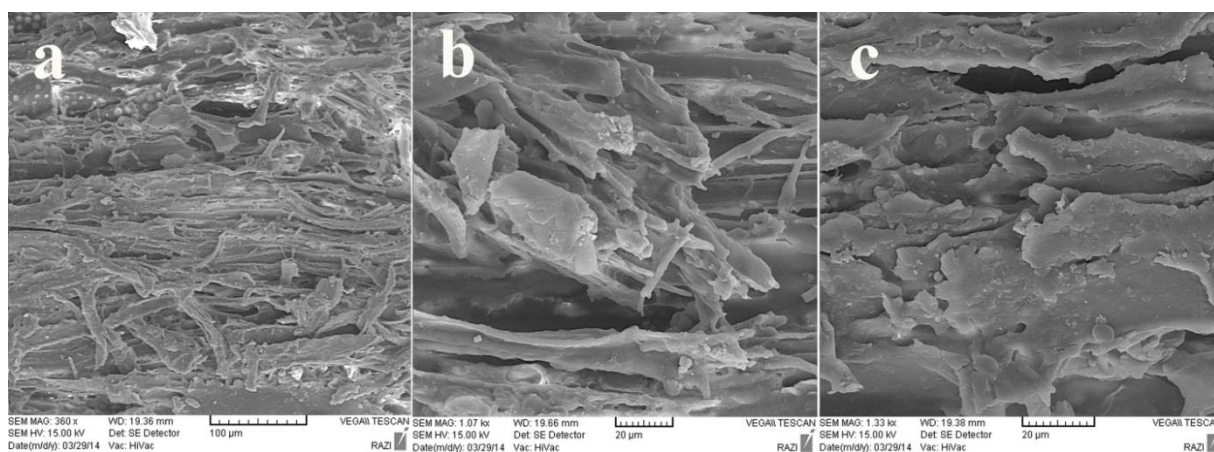


شکل ۴- سطح چوب کبوده در نمونه شاهد بدون هوازگی: فیبرهای سطح (a)، منافذ بین آوندی (b) و منافذ بین آوند-پارانشیم (c)

موجود در سطح و همچنین شکست طولی الیاف گویای شکست زنجیر سلولزی است. الیاف کوتاه و به صورت شکسته دیده می شود. همچنین شکست های زیادی در ریزساختار الیاف سطح نمونه مشاهده می گردد (شکل c-۵). این مسئله اکسیداسیون سلولز و ایجاد محصولات با وزن مولکولی پایین تر را تأیید می کند که در ادامه فرایند تحت تأثیر آب دچار فروشست می شوند. البته جدایش الیاف سطح نمونه نسبت به شکست های طولی الیاف شدیدتر است. این مسئله تخریب بیشتر و سریع تر لیگنین را نسبت به سلولز نشان می دهد که تأییدکننده نتایج مربوط به طیف سنجی است.

به طور کلی، بررسی میکروسکوپی در این تحقیق نشان می دهد که تیمار روغن بزرک از تغییرات ریخت شناسی چوب تحت تأثیر هوازگی، جلوگیری نکرده است و کارایی مناسبی جهت حفاظت چوب در برابر هوازگی در فضای باز نشان نمی دهد.

در نمونه تیمار شده، بررسی سطح پس از هوازگی، جدایش و به هم ریختگی آرایش الیاف مشهود است. الیاف کوتاه و به صورت شکسته دیده می شود. همچنین شکست های زیادی در ریزساختار سطح نمونه مشاهده می گردد. شکاف های بین الیاف و در راستای طولی، تخریب لیگنین را تأیید می کند چراکه لیگنین به عنوان عامل چسباننده الیاف سلولزی در ساختار چوبی عمل می کند و بیشتر در دیواره بین سلولی متمرکز است. تخریب لیگنین ابتدا موجب افت یکپارچگی الیاف در کنار یکدیگر شده و پس از فروشست محصولات تخریب آن الیاف به شدت دچار جدایش شده اند که این امر به هم ریختگی الیاف را در پی داشته است (شکل a-۵). شکست طولی الیاف نیز گویای تخریب سلولز است. از آنجایی که سلولز بیشتر در دیواره سلولی متمرکز است در نتیجه، تخریب ساختاری آن شکست طولی الیاف سطحی را به دنبال داشته است (شکل b-۵). ترک های



شکل ۵- تخریب نمونه تیمار شده پس از هوازگی: جدایش و به هم ریختگی الیاف (a)، شکست های طولی الیاف (b)، شکست های موجود در سطح الیاف (c)

آن نسبت داد. نتایج نشان می دهند که مواد استخراجی نمونه ها تأثیر قابل توجهی در میزان آبشویی ماده تیمار ندارد. رنگ سنجی نمونه ها نشان گر افزایش روشنی نمونه ها پس از تیمار و پس از هوازگی بود. تیمار روغن بزرک موجب کاهش قابل توجه قرمزی گردید ولی تغییری در میزان زردی نمونه ها نشان نداد. پس از ۳۰۰ ساعت هوازگی به دلیل احیای گروه های پاراکینون به

## نتیجه گیری

نتایج حاصل نشان دهنده ی میزان ۱/۰۹۶۷ درصد مواد استخراجی در نمونه های چوب *P. alba* بود. وجود این مقدار ماده استخراجی موجب کاهش در حدود ۰/۵ درصدی در میزان جذب روغن بزرک در فرآیند تیمار بود. به علاوه تیمار روغن بزرک تحت آبشویی دچار فروشست چندانی نگردید که این امر را می توان به ساختار آب گریز

منافذ آوندی در سطح نمونه‌ها دیده می‌شود ولی تخریب شدیدتر مربوط به جدایش الیاف است که در اثر تخریب شدید لیگنین در دیواره بین‌سلولی رخ داده است. به‌طور کلی تیمار روغن بزرک هرچند مقاومت خوبی در برابر آبشویی از خود نشان داد ولیکن با توجه به تغییرات بصری زیاد و عدم جلوگیری از تأثیرات هوازدهی در ساختار شیمیایی و ویژگی‌های ریخت‌شناسی سطح فاقد ویژگی‌های لازم جهت استفاده در حفاظت جهت تیمار آثار چوبی در فضای باز است.

### سپاسگزاری

نگارندگان لازم می‌دانند از دانشجویان دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان آقایان علیرضا کوچکزایی، دانیال هرنیدی، بهروز قجر و آرمان رزم جهت همکاری در آماده‌سازی نمونه‌ها و فرایندهای آزمایشگاهی تشکر و قدردانی نمایند.

هیدروکینون به میزان زیادی از زردی نمونه‌ها کاسته شد ولی با افزایش هوازدهی تا ۸۰۰ ساعت زردی نمونه‌ها افزایش یافت که نتایج طیف‌سنجی FTIR مؤید تشکیل گروه‌های کینوئید در سطح است. ولیکن به‌طور کلی تیمار روغن بزرک باعث تغییرات بصری قابل‌توجهی در نمونه‌های چوب گردید که این تغییرات بصری در طول هوازدهی نیز ادامه یافت. طیف‌های FTIR نمونه‌های مورد مطالعه نشان‌گر تخریب پلی‌ساکاریدها و لیگنین و فروشست محصولات تخریب از سطح نمونه‌ها بود به‌گونه‌ای که در نمونه‌های هوازده نسبت به نمونه‌ی شاهد تقریباً به نصف کاهش یافت. لیگنین سریع‌تر از سلولز تخریب گردید که در این میان لیگنین گواییاسیل نسبت به سرینجیل کاهش بیشتری نشان داد. بلورینگی سلولز نیز هرچند در مرحله اول هوازدهی کاهش چشم‌گیری داشت ولیکن با ادامه هوازدهی تغییر چندان زیادی نداشت که این امر مربوط به عملکرد حفاظتی لیگنین و محصولات تخریب آن است. تخریب پلی‌ساکاریدهای چوب پس از هوازدهی به صورت ترک در الیاف و شکست در

### مراجع

- [1] Feist, W.C., 1990. Outdoor wood weathering and protection. In: Archaeological wood: properties, chemistry, and preservation. American Chemical Society, Washington DC, p 263-298.
- [2] Unger, A., Schniewind, A. P., and Unger, W., 2001. Conservation of Wood Artifacts: A Handbook, Springer, Berlin, 165, 363, 381-383 pp.
- [3] Juita, A., Dlugogorski, B.Z., Kennedy E.M. and Mackie J.C., 2012. Low temperature oxidation of linseed oil: a review. Fire Science Reviews, 1(3): 1-36.
- [4] Lazzari, M. and Chiantore, O., 1999. Drying and oxidative degradation of linseed oil. Polymer Degradation and Stability, 65: 303-313.
- [5] Rivers, S. and Umney, N., 2003. Conservation of furniture, Butterworth-Heinemann, Oxford, 12 p.
- [6] Alizadeh, S., 2012. Survey on ways of Painting Development in the First Part of Qajar Period. Journal of Faculty of Art, Shahed University, 22: 72-83. (In Persian).
- [7] Browne, F. L., 1953. Finishing of wood floors. U.S Forest Service Res. Rept. No. 1962, Madison, WI. 190p.
- [8] Browne, F. L. 1951. Natural wood finishes for exteriors of houses. U.S Forest Service Res. Rept. No. 1908, Madison, WI.
- [9] Haggstrom, C. and Sandstrom T., 2013. Alum-treated archaeological wood Characterization and re-conservation, Swedish National Heritage Board, Stockholm, 6-10 pp.

- [10] Bazyar, B., Parsapajouh D., Khademi-Eslam, H. and Hemmasi, A-H., 2008. Physical characteristics of poplar wood treated with hot linseed oil. *Journal of Agricultural Sciences*, 13 (1): 197-206. (In Persian)
- [11] Temiz, A., Terziev N., Eikenes M. and Hafren J., 2007. Effect of accelerated weathering on surface chemistry of modified wood. *Applied Surface Science*, 253: 5355–5362.
- [12] Williams, R. S. and Knaebe M. T., 2000. Restoration of Severely Weathered Wood. *Journal of Coatings Technology*, 72(902): 43-51.
- [13] Mohammadi Achachluei M., Ahmadi H. and Pourtahmasi K., 2014. Patination of Wood with Diethanolamine: Characteristics and its Resistance against Weathering. *Journal of Color Science and Technology*, 8: 237-248. (In Persian).
- [14] Wood preservatives: Accelerated ageing of treated wood prior to biological testing, Leaching procedure. British-Adopted European Standard, BS EN 84-97, 2002.
- [15] Solvent extractives of wood and pulp. TAPPI (US technical association of pulp and paper industry), TAPPI T204 om-88, 1988.
- [16] Water solubility of wood and pulp. TAPPI (US technical association of pulp and paper industry), TAPPI T207 om-88, 1988.
- [17] Ajuong, E.M.A. and Breese M. C., 1997. The Role of Extractives on Short-Term Creep In Compression Parallel To The Grain of Pai Wood (*Afzelia Africana Smith*). *Wood and Fiber Science*, 29(2):161–170.
- [18] Standard Practice for Xenon-Arc Exposure of Plastics Intended for Outdoor Applications. Annual Book of ASTM Standard, 08.01, D2565-99, 2008.
- [19] Johnston-Feller, R., 2001. Color science in the examination of museum objects: nondestructive Procedures, Getty, Los Angeles, 34-36 pp.
- [20] Chang, H.T., Yeh T.F. and Chang S.T., 2002. Comparisons of chemical characteristic variations for photodegraded softwood and hardwood with/without polyurethane clear coatings. *Polymer Degradation and Stability*, 77: 129–135.
- [21] Panov, D., Terziev N., Daniel G., 2010. Using plant oils as hydrophobic substances for wood protection. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 10-30550.
- [22] Schneider, M. H., 1980. Hygroscopicity of Wood Impregnated with Linseed Oil. *Wood Science and Technology*, 14: 107-114.
- [23] Humar, M. and Lesar, B., 2013. Efficacy of linseed- and tung-oil-treated wood against wood-decay fungi and water uptake. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85: 223-227.
- [24] Darabi, P., Abdolzadeh, H., karimi, A.N., Mirshokraie, A. and Doosthoseini, K., 2010. The Investigation of Acetylation and Anti-Oxidant Effect on Weathering of wood Plastic Composites By Means of FTIR and Color Metry (Color measurement). *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 25 (1): 70-79. (In Persian)
- [25] Hon, D.N.S., 2001. Weathering and Photochemistry of Wood. In: *Wood and cellulosic chemistry*, 2nd ed., Marcel Dekker, New York, 513-546 pp.
- [26] Derrick, M. R., Stulik, D. and Landry, J.M., 1999. *Infrared spectroscopy in conservation science*. Getty, Los Angeles, 85, 185 pp.
- [27] Pavia, D.L., Lampman, G.M., Kriz, G.S., and Vyvyan J.R., 2008. *Introduction to Spectroscopy*, 4<sup>th</sup> Ed., Cengage Learning, Belmont, 62-64 pp.

- [28] Colom, X., Carrillo, F., Nogues, F. and Garriga, P., 2003. Structural analysis of photodegraded wood by means of FTIR spectroscopy. *Polymer Degradation and Stability*, 80: 543–549.
- [29] Yamauchi, S., Sudiyani Y., Imamura, Y. and Doi, S., 2004. Depth profiling of weathered tropical wood using Fourier transform infrared photoacoustic spectroscopy. *Journal of Wood Science*, 50: 433–438.
- [30] Sudiyani, Y., Imamura, Y., Doi, S. and Yamauchi, S., 2003. Infrared spectroscopic investigations of weathering effects on the surface of tropical wood. *Journal of Wood Science*, 49: 86–92.
- [31] Tolvaj, L. and Faix, O., 1995. Artificial ageing of wood monitored by DRIFT spectroscopy and CIE L\*a\*b\* color measurements. 1. Effect of UV light. *Holzforschung*, 49: 397–404.
- [32] Anderson, L.E., Pawlak, Z., Owen, N. and Feist, W.C., 1991. Infrared Studies of Wood Weathering. Part II: Hardwoods. *Applied Spectroscopy*, 45 (4): 648-652.
- [33] Muller, U., Rätzsch, M., Schwanninger, M., Steiner M. and Zobl, H., 2003. Yellowing and IR changes of spruce wood as result of UV-irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 69: 97–105.
- [34] Rosu, D., Carmen-Alice, T., Bodirlau, R. and Rosu, L., 2010. FTIR and color change of the modified wood as a result of artificial light irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 99: 144–149.
- [35] Bjarnestad S. and Dahlman O., 2002. Chemical compositions of hardwood and softwood pulps employing photoacoustic Fourier Transform infrared spectroscopy in combination with partial least-squares analysis. *Analytical Chemistry*, 74: 5851–5858.
- [36] Hon, D.N.S., 1991. Photochemistry of wood. In: *Wood and cellulosic chemistry*. Marcel Dekker, New York, 525–555 pp.

## Study of linseed oil on white poplar wood (*Populus alba* L.) as a traditional treatment for historical wooden relics against weathering

### Abstract

Large part of wooden relics is located in open air spaces under weathering exposure. Conservation of the relics has a great importance due to their cultural values. Application of linseed oil in conservation backs to centuries ago. Today, it is used as a traditional treatment of wooden relics extensively. Regarding to importance of historical wooden relics, there is a need for detail study of traditional treatments. Therefore, conservative properties of linseed oil treatment on white poplar wood (*Populus alba* L.) was studied under weathering exposure. Firstly, linseed oil absorption of the wood samples was measured and its leaching was evaluated according to BS EN 84:1997. Treated wood samples were artificially weathered regarding to ASTM 2565-99. After 300 and 800 hours weathering, samples were analyzed by Colorimeter, FTIR spectroscopy and Scanning electron microscopy. Results showed that linseed oil treatment has a good resistance against leaching but causes to serious aesthetical changes which were continued during weathering process. FTIR data were indicated structural degradation of treated samples after weathering. The degradation was clarified as rupture and cracks of cell walls and vessel pits in SEM images of wood surface. Results signified inappropriate effects of linseed oil for conservation of wood in open air spaces.

**Keywords:** wood, historical relics, conservation, weathering, linseed oil.

**M. Mohammadi Achachluei** <sup>1\*</sup>

**H. Ahmadi** <sup>2</sup>

**K. Pourtahmasi** <sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD student, <sup>2</sup>Assistant Professor, Conservation faculty, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran

<sup>3</sup>Associate Professor, Department of Wood & Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:  
mohsen.mohammadi@au.ac.ir

Received: 2013.06.21

Accepted: 2014.11.29