Journal of Research on
ARCHAEOMETRY
A Peer-Reviewed Academic Journal of Archaeological and Conservation Science Studies

Tabriz Islamic Art University

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

Research Paper

Study of Polyvinyl Butyral Consolidant for Conservation of Painted Surfaces on Wooden Ceilings in Qajar Houses in Shiraz

Anisa Shiri[1,*], Hossein Ahmadi[2], Mohsen Mohammadi[3]

1. Department of Restoration of Cultural Objects and Objects, Faculty of Conservation and Restora-tion, Isfahan University of Art, Isfahan, Iran
2. Associate Professor, Department of Restoration of Cultural Objects and Objects, Faculty of Conservation and Restoration, Isfahan University of Art, Isfahan, Iran
3. Assistant Professor, Department of Restoration of Cultural Objects and Objects, Faculty of Conservation and Restoration, Isfahan University of Art, Isfahan, Iran

* Correspondence: Shiri.anisa0@gmail.com

Abstract

Contemporary consolidation treatments for tempera paintings on wood substrates, particularly those found in the Qajar-era ceilings of Shiraz, predominantly employ water-based acrylic polymer consolidants and coatings such as poly(methyl methacrylate) emulsions. However, the water content in these emulsions poses a risk to the wooden support and the delicate tempera paint layer, potentially causing damage such as paint layer wrinkling, creep, and moisture-related degradation within the wood. This necessity motivates the search for a more suitable and effective alternative consolidant for these specific artifacts. In this research, polyvinyl butyral (PVB) was evaluated for its efficacy in consolidating the surface of these Qajar-era paintings. The study employed a mixed-methods approach, integrating literature review, field surveys, and laboratory analyses with quantitative and qualitative assessments. Ethanol was selected as the solvent for the PVB consolidant. It offers key advantages over water-based acrylic systems, including a significantly faster evaporation rate of the solvent, desirable penetration depth, and better reversibility. Experimental samples, modeled after artifacts sourced from the Zinat al-Molk House, were prepared to investigate the consolidation effects. We evaluated the impact of PVB solutions at concentrations of 1%, 3%, and 5% (w/v), as well as a binary mixture of 1.5% PVB and 1.5% Paraloid B-72 in ethanol, on the consolidation of the Qajar-era paint layers. The treatments were assessed before and after accelerated aging to determine their long-term stability. Characterization techniques included measuring penetration depth and both gross and net absorption of the consolidants. Furthermore, we performed pH measurements (Sithole method), colorimetric analysis, hardness testing, FTIR, and SEM evaluation. The experimental results collectively demonstrate that polyvinyl butyral is a suitable and effective consolidant for the conservation and preservation of tempera paint layers on wooden supports.

Keywords: Polyvinyl Butyral, painted wood, Consolidation, Conservation, Restoration.

Received: 2024/4/13
Revised: 2025/6/3
Accepted: 2025/6/7
Published: 2025/6/30

Copyright: ©2025 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

Introduction

Painting on wooden panels can be regarded as one of the oldest artistic techniques in the history of visual arts. However, due to the organic nature of wood, these materials are highly susceptible to deterioration caused by environmental and natural factors, resulting in the loss or severe degradation of many wooden artworks over time. These paintings have been affected by various environmental stressors, and today, different consolidants—such as acrylic polymers—are employed to reinforce the support structure and re-adhere flaking paint layers. A significant limitation of

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

such materials, however, is their low reversibility and limited penetration depth in comparison to vinyl-based adhesives. Vinyl adhesives, in contrast to acrylic ones, are alcohol-soluble, exhibit faster solvent evaporation rates compared to water-based systems, and offer both greater reversibility and adequate penetration depth. In this study, polyvinyl butyral (PVB) was evaluated as a consolidant material for tempera paintings on wooden supports.

Methodology

Polyvinyl butyral (PVB), under the brand name C.T.S (Italy), was selected as the consolidant material for this research. The polymer was prepared at a concentration of 5% (Jelle, Ruther, Hovde, 2012), while lower concentrations of 3%, 1%, and a mixture of 1.5% PVB + 1.5% Paraloid B-72 were also formulated to assess the penetration capacity. Ethanol (Scharlau, Spain) was used as the solvent for the PVB solution. The solutions were prepared using a weight/volume (w/v) method and left undisturbed at room temperature for 24 hours to ensure complete dissolution.

Considering the nature of the experiments and the limited availability of original historical samples, mock wooden panels were prepared in three different dimensions: 10×10×12 mm, 20×20×12 mm, and 30×30×12 mm (length × width × thickness), with a consistent thickness of 12 mm for all samples. The treated samples were placed in a climate-controlled aging chamber (Behdad, model RVAC024, Iran) for a duration of 20 days, under controlled conditions of 63 ± 2 °C temperature and 50 ± 5% relative humidity.

Discussion

The experiments conducted in this study included: measuring the depth of penetration and net/gross absorption of the treatment, pH-metry (using the Sithole method), colorimetry, hardness testing, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and scanning electron microscopy (SEM) evaluation.

Depth of Penetration: The penetration depth of 1% PVB polymer was measured as 2.3 mm; for the 1.5%, 1.5% mixture of polyvinyl butyral and Paraloid B-72, the penetration depth was 0.8 mm; for 3% PVB, the depth was 1.0 mm, and for 5% PVB, it was 0.8 mm. Therefore, the highest penetration depth was observed in the 1% PVB solution, while the 5% PVB and the 1.5%, 1.5% mixture of polyvinyl butyral and Paraloid B-72 showed equal penetration depths. The paint layer thickness was measured as 146.50 μm.

Pure and Impure Absorption The highest pure absorption value of 0.6064 and the highest impure (apparent) absorption of 2.3612 were observed in the sample treated with 5% polyvinyl butyral. Conversely, the lowest pure absorption was recorded as 0.1997, and the lowest impure absorption was 1.1743, both corresponding to the sample treated with 1% polyvinyl butyral.

However, the three samples treated with the 1.5%, 1.5% mixture of polyvinyl butyral and Paraloid B-72 exhibited higher absorption values compared to the sample treated with 3% polyvinyl butyral alone.

pH Measurement: The greatest pH reduction was observed in the untreated sample (CW), with a decrease of 8.58%, while the lowest pH reduction was 1.96%, observed in the sample treated with 3% polyvinyl butyral, indicating the highest stability and resistance to acidic degradation.

Colorimetry: The greatest decrease in lightness (increase in darkness) was observed in the 1.5%, 1.5% mixture of polyvinyl butyral and Paraloid B-72, whereas the lowest decrease in lightness was recorded in the 1% polyvinyl butyral-treated sample. However, the difference in lightness reduction between the 1% treatment and the 3% and 5% polyvinyl butyral treatments was minimal. In all samples, a noticeable increase in redness was observed.

Hardness Testing: The untreated sample showed a greater decrease in hardness after accelerated aging compared to the treated samples. The 1% polyvinyl butyral-saturated samples and those treated with the 1.5%, 1.5% mixture of polyvinyl butyral and Paraloid B-72 exhibited a decrease in hardness after aging. In contrast, the 3% polyvinyl butyral-treated sample maintained consistent hardness before and after aging. The 5% polyvinyl butyral-treated sample, however, showed an increase in hardness after aging.

FTIR Spectroscopy: Based on the acetal structure of polyvinyl butyral, which is a polymeric resin, it can be inferred that the significant increase in the absorption peak in the range of 3200 cm^{-1} to 3600 cm^{-1} corresponds to the out-of-plane stretching vibrations of O–H bonds. These O–H stretching vibrations are not typical of conventional O–H bonds, but rather indicate the formation of hydrogen-bonded O–H groups. According to theoretical predictions, these O–H stretching vibrations should increase progressively from 1% to 5% butyral concentration. However, it should be noted that this increase occurs only to a certain extent, as the unstable nature of the O–H groups prevents their excessive formation in the environment. Hence, it can be interpreted that the variation in butyral content from 1% to 5% follows an optimal trend rather than a linear increase.

Conclusion

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

The results obtained from the application of PVB polymer on the studied samples indicate that, since the penetration depth of all tested concentrations exceeds the thickness of the paint layer, these concentrations not only reinforce the paint layer but also enhance the adhesion between the paint layer and the wooden support, and to some extent, improve the mechanical stability of the wooden substrate.

Furthermore, it was observed that higher concentrations of PVB polymer result in higher absorption rates, while lower concentrations lead to reduced absorption. This correlation may be attributed to the molecular weight of the polymer and the viscosity of the solution.

Colorimetric analysis before and after accelerated aging reveals that the untreated sample exhibited the highest color change, whereas the lowest color variation was observed in samples treated with 1% and 3% polyvinyl butyral. However, in the 1.5%, 1.5% mixture of polyvinyl butyral and Paraloid B-72, a more noticeable color change was observed compared to the 3% polyvinyl butyral-treated sample. This color shift is primarily due to the higher refractive index of Paraloid compared to polyvinyl butyral.

Hardness testing results indicate that polyvinyl butyral increases the hardness of the paint layer. Moreover, higher polymer concentrations result in greater hardness stability after accelerated aging. The 1% polyvinyl butyral-treated sample showed the highest reduction in hardness, while the 5% treated sample demonstrated an increase in hardness, likely due to cross-linking. In contrast, the 3% treated sample exhibited no significant change in hardness before and after aging.

In general, the acidity levels of the samples tend to increase over time; however, treatment with polyvinyl butyral helps reduce acidification, thereby contributing to the preservation of the material.

The analysis of FTIR spectra confirms that lower concentrations of butyral provide greater structural stability to the paint layer, indicating the presence of an optimal butyral content for conservation purposes. Specifically, in the comparison of 1% butyral-treated samples before and after aging, an increase in the absorption peak around 1400 cm^{-1} — corresponding to the carbonyl group of the green verdigris pigment — was observed. This increase suggests enhanced pigment stability. It is also worth noting that the 3% butyral-treated sample showed similar structural stability to the 1% butyral sample

A comparison of the untreated sample, the 1% butyral-treated sample, and the 1.5%, 1.5% mixture of polyvinyl butyral and Paraloid B-72 clearly demonstrates that the mixed treatment is more effective in preserving the paint structure. This is because the combined polymeric structure of Paraloid and polyvinyl butyral forms a complex, porous network, which facilitates the formation of polymer patches that protect the functional groups within the paint layer.

Author Contributions: A.Sh.: Conceptualization, Methodology, Software, Validation, Formal Analysis, Investigation, Resources, Data Curation, Writing – Original Draft Preparation, Visualization, Project Administration, and Funding Acquisition**. M.M.**: Conceptualization, Methodology, Formal Analysis, Data Curation, Writing – Review & Editing, and Supervision. **H.A.**: Writing – Review & Editing and Supervision.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: All data generated or analyzed during this study are included in this published article.

Acknowledgments: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

پژوهه باستان سنجی
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

مقاله پژوهشی

مطالعه استحکام‌بخش پلی‌وینیل‌بوتیرال جهت حفاظت سطح نقاشی روی چوب در سقف خانه‌های قاجاری در شیراز

آنیسا شیری[۱*]، حسین احمدی[۲]، محسن محمدی[۳]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران
۲. دانشیار، گروه مرمت آثار و اشیاء فرهنگی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران
۳. استادیار، گروه مرمت آثار و اشیاء فرهنگی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران
* مسئول مکاتبات: Shiri.anisa0@gmail.com

چکیده

امروزه جهت استحکام‌بخشی سطح نقاشی روی چوب در سقف خانه‌های قاجاری در شیراز بیشتر از استحکام‌بخش‌ها و پوشش‌های پلیمری اکریلیکی همچون پلی‌متیل‌متاکریلات استفاده می‌شود. رطوبت حاصل از حلال آب موجود در امولسیون‌های این چسب، برای تکیه‌گاه چوبی و تکنیک تمپرای نقاشی‌های این دوره آسیب‌هایی از جمله چروک شدن و خزش لایه رنگ و آسیب‌های رطوبتی در چوب را به همراه دارد. بنابراین نیاز به استفاده از یک ماده مناسب‌تر جهت استحکام‌بخشی این گونه آثار وجود دارد. در این پژوهش پلی‌وینیل‌بوتیرال جهت استحکام‌بخشی سطح این نقاشی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. این پژوهش با استفاده از مطالعه کتابخانه‌ای، بررسی‌های میدانی و مطالعات آزمایشگاهی به همراه تجزیه و تحلیل کمی و کیفی صورت گرفت. حلال مورد استفاده برای این استحکام بخش، اتانول بود. سرعت تبخیر حلال آن نسبت به آب بیشتر است و از طرفی دارای عمق نفوذ و خاصیت برگشت پذیری مناسبی نسبت به چسب‌های اکریلیکی است. برای نمونه سازی از نمونه‌های مطالعاتی به دست آمده از خانه زینت‌الملک استفاده شد. تأثیرات تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال با غلظت‌های ۱، ۳ و ۵٪ و مخلوط ۱/۵، ۱/۵٪ پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالوئید B-72 در اتانول بر روی سطح نقاشی‌های قاجاری جهت استحکام‌بخشی در قبل و بعد از پیرسازی تسریعی مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی جهت سنجش میزان عمق نفوذ و جذب خالص و ناخالص تیمار، pH متری (روش Sithole) و رنگ سنجی، سختی سنجی، طیف سنجی مادون قرمز و ارزیابی با میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام گرفت. طبق نتایج حاصل از آزمایشات، تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال می‌تواند به عنوان یک استحکام‌بخش مناسب جهت حفظ و نگهداری سطح نقاشی با تکنیک تمپرا بر روی تکیه‌گاه چوبی استفاده شود.

واژگان کلیدی: پلی‌وینیل‌بوتیرال، نقاشی روی چوب، استحکام‌بخشی، حفاظت، مرمت.

دریافت: ۱۴۰۳/۱/۲۵
آخرین اصلاح: ۱۴۰۴/۳/۱۳
پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۱۷
انتشار: ۱۴۰۴/۴/۹

Copyright: ©2025 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

۱. مقدمه

به طور کلی معماری دوره قاجاریه را معماری خلنه سازی و خلنه‌های مسکونی نامیده‌اند (ساریخانی، ۱۳۸۲: ۷۵). خانه ی حیاط دار، اصلی ترین عنصر تشکیل دهنده قطعات مسکونی بافت شهری شیراز است. از خصوصیات این خانه‌ها، درونگرایی کامل آن است (معماریان، ۱۳۸۶: ۱۵۶). از جمله تزیینات معماری که در اکثر خانه‌های با ارزش در این دوره دیده می‌شود، می‌توان به: گچبری‌های و مقرنس، آینه‌کاری و نقاشی پشت آینه، حجاری، پنجره‌های مشبک سنگی، کاشیکاری‌های ،آجرکاری ، ارسی، پنج و سه دری‌های گره‌چینی و پارچبری با شیشه‌های رنگی اشاره کرد. یکی از مهم‌ترین تزیینات این خانه‌ها نقاش بر روی چوب است، که در بیشتر این بناها و در جاهایی بر روی در و پنجره‌ها دیده می‌شود. اجرای نقاشی بر روی این سقف‌ها به سه سبک: لمبه‌کوبی (پنل)، مرجوک[۱] و گره‌سازی متداول بوده است.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

نقاشی روی چوب را باید از قدیمی‌ترین نوع نقاشی‌های جهان به شمار آورد. اما به دلیل ماهیت آلی چوب، این ماده در مقابل عوامل طبیعی و محیطی تخریب شده، لذا بسیاری از این تصاویر بر روی چوب از بین رفته است. در تخت جمشید، ستون‌های خزانه دارای پایه‌هایی با ساقه‌هایی چوبی بوده‌اند، که روی این ساقه‌ها اندود و رنگ‌آمیزی شده بود(دهقان، ۱۳۸۹: ۱۱). همچنین قطعه چوبی از دوره ساسانی پیدا شده که روی آن نقاشی ساده‌ای انجام گرفته است. در دوران اسلامی نیز کم و بیش آثاری از نقاشی روی چوب یافت می‌شود. اما بیشترین آثار چوبی به دست آمده مربوط به دوره‌های صفوی و قاجار است که عمدتاً در تزیینات معماری به کار رفته‌اند. در واقع نقاشی گل‌وبوته که موضوع اصلی نقاشی روی چوب است در دوره صفوی به اوج شکوفایی می‌رسد. یکی از تزیینات مهم در خانه‌های قاجاری در شیراز، سقف های مزین به نقاشی بر روی چوب است (رشوند، ۱۳۹۱: ۱۰).

این نقاشی‌ها در اثر عوامل مختلف محیطی دچار آسیب شده‌اند و امروزه جهت استحکام‌بخشی و برگرداندن لایه‌های رنگ پوسته شده به تکیه‌گاه از ترکیبات مختلفی مانند پلیمرهای اکریلیک استفاده می‌شود. مشکل عمده این ترکیبات عدم برگشت‌پذیری و عمق نفوذ کمتر نسبت به چسب‌های وینیلی است (یونگر، شنیویند، یونگر، ۱۳۸۹: ۶۴۸). استفاده از پلیمر به عنوان استحکام‌بخش با حلال آب، مثل پلی‌متیل‌متاکریلات برای نقاشی با تکنیک تمپرا بر روی تکیه‌گاه چوبی، خود به عنوان یک آسیب تلقی می‌شود. آسیب‌هایی از جمله انحلال بست نقاشی توسط آب موجود در این پلیمر که در نهایت باعث خزش و چروک شدن لایهٔ رنگ از سطح تکیه‌گاه می‌شود. همچنین به علت آب‌دوست بودن چوب و جذب آب توسط تکیه‌گاه چوبی آسیب‌های بعدی را به دنبال خواهد داشت. چسب‌های وینیلی در مقایسه با چسب‌های اکریلیکی علاوه بر این که محلول در الکل هستند و در مقایسه با آب سرعت تبخیر حلال سریع‌تر است، دارای خاصیت برگشت‌پذیری و عمق نفوذ مناسب نیز هستند(یونگر، شنیویند و یونگر ، ۱۳۸۹: ۶۳۵). در این پژوهش، پلی‌وینیل‌بوتیرال به عنوان استحکام‌بخش برای نقاشی با تکنیک تمپرا بر روی تکیه‌گاه چوبی مورد ارزیابی قرار گرفت.

از پلی‌وینیل‌بوتیرال در بسیاری از آثار تاریخی جهت حفاظت و استحکام‌بخشی استفاده می‌شود (Ploeger et al., 2012). پلی‌وینیل‌بوتیرال به عنوان استحکام‌بخش برای اشیاء تاریخی چوبی در چندین دهه استفاده می‌شود. از مزایای این استحکام‌بخش ثبات و برگشت‌پذیری آن است. بوتیرال برای دمای (TG) بالا در مناطق گرم به عنوان مثال در قلعه اسکاتی جهت استحکام‌بخشی مورد استفاده قرارگرفت. رزین بوتیرال گرمانرم بوده و دارای یک ترکیب منحصر به فرد از خواص به عنوان پوشش دهنده است. PVB در الکل قابل حل است و دارای ویژگی‌های پیر شدگی خوبی است (Liau, Yang, & Viswanath, 1996). در این پژوهش کاربرد پلی‌وینیل-بوتیرال برای چوب‌هایی که دارای نقاشی هستند و تأثیر این پلیمر بر روی لایه رنگ و همچنین استحکام‌بخشی لایه رنگ بر روی تکیه‌گاه چوبی مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت ارزیابی دیگر پارامترها از جمله تغییرات بصری رنگ، عمق نفوذ و میزان جذب خالص و ناخالص، سختی سنجی،pHمتری این پلیمر بر روی نقاشی روی چوب نیازمند پژوهش‌های بیشتری است که در تحقیق پیش‌رو نتایج حاصل از انجام آزمایشات مورد بحث قرار گرفته است.

۲. پیشینه پژوهش

نقاشی روی چوب را باید از قدیمی‌ترین نقاشی‌های جهان به شمارآورد که در ایران نیز دارای سابقه‌ای طولانی است(دهقان، ۱۳۸۹: ۱۱). در دوره قاجار از چوب به عنوان یک مصالح مهم در ساخت‌وساز بناها و تزیینات معماری استفاده شده‌است. در شیراز تعدد این خانه‌ها بسیار زیاد می‌باشد، که اکثراً دارای تزیینات چوبی بخصوص نقاشی بر روی چوب برای پوشش سقف می‌باشد(یونگر، شنیویند و یونگر ، ۱۳۸۹: ۶۹). تأثیرات رطوبت و هوازدگی بر روی اتصالات و چسبندگی بین لایه رنگ و تکیه‌گاه چوبی، باعث ایجاد آسیب‌هایی بر روی لایه رنگ می‌شود. بعلاوه رطوبت بالا موجب کاهش چسبندگی لایه رنگ می‌شود (Van Duin et al., 2014). برای استحکام‌بخشی چوب‌های آسیب دیده با استفاده ار رزین پلی‌وینیل‌بوتیرال پژوهش‌های زیادی در حوزه حفاظت و مرمت انجام شده است که بخشی از این تحقیقات در این‌جا آورده شده است. یک روش برای بهبود چوب‌های آسیب‌دیده، استحکام‌بخشی با مواد سنتزی می‌باشد. از رزین‌های سنتزی می‌توان خانواده رزین‌های وینیلی و اکریلیک‌ها نام برد. از مزایای چسب‌های وینیلی برگشت‌پذیری و انعطاف‌پذیری آن است و عمق نفوذ مناسب دارد. رزین‌های اکریلیکی ، خواص مکانیکی چوب و مقاومت آن به عوامل پوسیدگی به مقدار زیاد بهبود می‌یابد اما رنگ چوب و لایه‌های رنگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد (یونگر، شنیویند و یونگر ، ۱۳۸۹: ۶۶۱). همچنین اندازه تأثیر این استحکام‌بخش‌ها در اشباع، مربوط به خواص فیزیکی و شیمیایی است. نکته مهم عمق نفوذ حفرها و پرشدن آنها و توزیع در ساختار چوب است (Bugani et al., 2009). هرگونه تغییرات ناشی از پلیمرهای نامناسب مورد استفاده در این زمینه می‌تواند سبب آسیب شود. تغییرات زیادی ممکن است توسط فیلم پلیمر استفاده شده برای اشیاء صورت گیرد. از آن جمله می‌توان به زردشدگی، سست و شکننده‌شدن، انقباض و چرکی اشاره کرد. پلیمرها در طول دوره‌های بلند وکوتاه سبب واکنش فیزیکی و شیمیایی می‌شود (Horie, 2010). در این پژوهش یک تحقیق اوّلیه جهت استفاده از رزین‌های ترموپلاست به عنوان استحکام‌بخش برای اشیاء چوبی سوخته

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

شده انجام شده است. استحکام‌بخش مورد استفاده برای اشیاء چوبی سوخته، شامل محلول ۱۰٪ بوتیرال در یک محلولی به نسبت ۶۰/۴۰ اتانول و تولوئن است (Cobb, 2005). پارامترها مورد آزمایش برای چوب‌های پوسیده شده مورد آزمایش، شامل نفوذپذیری مایع در چوب به روش اشباع و خواص فیزیکی و شیمیایی محلول استحکام‌بخش است (وزن نسبی مخصوص مولکولی، غلظت و ویسکوزیته). بنابراین در مدت پروسه اشباع باید در نظر داشت که عمق نفوذ استحکام‌بخش در چوب کافی باشد(Kučerová, 2012). حفاظت از نقاشی‌ها در طی استحکام‌بخشی به وسیله اشباع و پلیمریزاسیون اگرچه مشکل است اما امکان پذیر است. برای این منظور نفوذ محلول منومر متیل‌متاکریلات مطالعه شده‌است (Schaffer, 1971). به علّت خواص فیزیکی بسیار مناسب و مقاومت و چسبندگی بسیار قوی پلی‌وینیل‌بوتیرال، علاوه بر آثار چوبی، برای ساخت شیشه‌های ایمنی نیز استفاده شده‌است (El-Din & Sabaa, 1995). در استحکام‌بخشی چوب پلی‌وینیل‌بوتیرال ویژگی بهتری نسبت به پارالویید B72 نشان داده است (هرندی، ۱۳۹۳: ۲۸). رزین بوتیرال به طور گسترده به عنوان یک پوشش دهنده و مهروموم در چوب استفاده می‌شود. این مادّه چسبندگی، مقاومت در برابر رطوبت، انعطاف‌پذیری، مقاومت در برابر فشار را فراهم می‌کند. علاوه بر این از بوتیرال به عنوان حفاظت چوب در برابر تغییر رنگ ناشی از نور استفاده می‌شود (Ambrósio,et al., 2011). برای درمان چوب خشک از پلی‌وینیل‌بوتیرال به عنوان استحکام‌بخش استفاده می‌شود. به دلیل اینکه این ماده نسبت به رزین‌های اکریلیکی و پلی‌وینیل‌استات از نظر قدرت مکانیکی، انعطاف‌پذیری، ثبات و قابلیت انحلال در حلال غیرسمّی مناسب تر است. همچنین هیچ نوع انقباض یا انبساط در چوب تحت درمان مشاهده نشده و تغییررنگ بسیار کمی دارد. بوتیرال دارای خواص چسبندگی بسیار خوب و از عمق نفوذ کافی برخوردار است (Harrison, 2008) .پلی‌وینیل‌بوتیرال به عنوان استحکام‌بخش برای اشیاء تاریخی چوبی در چندین دهه استفاده می‌شود. از مزایای این استحکام‌بخش ثبات و برگشت‌پذیری آن است. بوتیرال برای دمای (TG) بالا در مناطق گرم به عنوان مثال در قلعه اسکاتی جهت استحکام‌بخشی مورد استفاده قرارگرفت. رزین بوتیرال گرمانرم بوده و دارای یک ترکیب منحصر به فرد از خواص به عنوان پوشش دهنده است. PVB در الکل قابل حل است و دارای ویژگی‌های پیری خوبی است (Liau, Yang, & Viswanath, 1996). در یافته های باستان‌شناسی برای تثبیت پارچه‌ها تاریخی و برای چوب‌هایی که مورد حمله موریانه قرار گرفته و بسیار شکننده شده‌اند از محلول PVB%5 در اتانول استفاده شده است (Henriques,et al., 2014). رزین PVB به عنوان یک فیلم ساپورت کنند، علاوه بر پایداری مکانیکی بالا دارای کاهش رانش ناشی از پرتو الکترونی نیز می‌باشد (Handley & Olsen, 1979). از نتایج پژوهش‌های انجام شده مشخص شد که پلیمرPVB جهت استحکام‌بخش آثار چوبی مناسب است. مزیت‌های PVB در این مطالعه شامل نفوذپذیری مناسب، انعطاف‌پذیری بالا، سازگاری با محیط زیست، قابلیت ترکیب با افزودنی‌ها، افزایش مقاومت در برابر تخریب و پایداری طولانی مدت است. این ویژگی‌ها باعث شده‌اند که PVB به‌عنوان یک ماده تثبیت‌کننده ایده‌آل برای آثار چوبی تخریب شده، به ویژه در پروژه‌های حفاظتی مرتبط با میراث فرهنگی، مورد توجه قرار گیرد. همچنین، ترکیب آن با افزودنی‌هایی مانند نانو اکسید روی، پتانسیل آن را برای بهبود عملکرد در فرآیندهای حفاظتی افزایش می‌دهد (Abbasi et al., 2014). اما برای آثار چوبی دارای نقاشی، استفاده از این پلیمر جهت استحکام‌بخش لایه رنگ و همچنین اتصال لایه رنگ به سطح تکیه‌گاه، پژوهش زیادی انجام نگرفته است. تنها مطلب یافت شده در این زمینه که اشاره ای اجمالی به این موضوع دارد این است که: مواد مورد استفاده برای تثبیت رنگ در قرن بیستم بر روی اشیاء: موم، ژلاتین، نیترات سلولز، پلی‌وینیل استات، پلی متیل‌متاکریلات، پلی وینیل الکل، Acryloid B-72، پلی‌وینیل‌بوتیرال، نایلون محلول و استرهای سلولزی است. پلیمرهای مصنوعی نسبت به رزین های طبیعی پایدارتر هستند. اما ممکن است خواص پیری مطلوبی نداشته باشد. و پلیمرهای ترموپلاست در غلظت کم برای استحکام‌بخشی رنگ مقاوم تر هستند نسبت به رزین های ترموست (Williamsburg, 1994). رزین پلی‌وینیل‌بوتیرال به دلیل خواص شیمیایی و فیزیکی خاص خود، معمولاً به عنوان یک ماده با برگشت‌پذیری نسبی شناخته می‌شود. در حلال‌های قطبی و غیر قطبی مانند اتانول، استون و تولوئن حل می‌شود. بنابراین، در صورت نیاز، می‌توان از این حلال‌ها برای حذف یا نرم کردن PVB استفاده کرد. این ویژگی می‌تولند به برگشت‌پذیری آن کمک کند (Smith & Johnson, 2020).

۳. مواد و روش ها

برای آماده‌سازی ماده تیمار از پلی‌وینیل‌بوتیرال(PVB)، مارک C.T.S محصول کشور ایتالیا استفاده شد. این پلیمر با درصد ۵(Jelle, Ruther, Hovde, 2012)و برای نفوذ بیشتر درصدهای ۳، ۱ و مخلوط ۱/۵ ، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالوییدB-72) آماده شد. حلال تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال، اتانول با نام تجاری Scharlau محصول کشور اسپانیا بود. آماده سازی غلظت‌های ذکر شده، به صورت وزنی/حجمی انجام شد. بعد از آماده سازی، محلول به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار گرفت. برای برش دادن نمونه‌های تاریخی مطالعاتی (جدول۱)، با توجه به نوع آزمایش و کمبود نمونه در ابعادهای مختلف از ۱۰×۱۰×۱۲ میلی‌متر ، ۲۰×۲۰× ۱۲

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

میلی‌متر و ۳۰×۳۰×۱۲میلی‌متر (طول، عرض، ارتفاع) آماده شد. (ضخامت نمونه‌های مطالعاتی «پنل» ۱۲میلی‌متر بود).

جدول ۱. اطلاعات مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه
Table 1. Information related to the studied samples

Building name	Building Location	Wood Sampling Location	Registration Number
Zinat-al-Molk	*Bala Keft* neighborhood	Western Side Roof Wood	938

جدول ۲. کد گذاری نمونه‌های مورد مطالعه
Table 2. Coding of the Studied Samples

Code	Specification
CW	Control Sample (Painting)
ACW	Aged Control Sample (Aged Painting)
AC1-V	Aged painting sample treated with 1% Polyvinyl Butyral
AC1.5-V-P	Aged painting sample treated with a 1.5% + 1.5% = 3% mixture of Polyvinyl Butyral and Paraloid
AC3-V	Aged painting sample treated with 3% Polyvinyl Butyral
AC5-V	Aged painting sample treated with 5% Polyvinyl Butyral
BC1-V	Painting sample treated with 1% Polyvinyl Butyral before aging
BC1.5-V-P	Painting sample treated with a 1.5% + 1.5% = 3% mixture of Polyvinyl Butyral and Paraloid before aging
BC3-V	Painting sample treated with 3% Polyvinyl Butyral before aging
BC5-V	Painting sample treated with 5% Polyvinyl Butyral before aging

برای تیمار کردن نمونه‌ها از روش آغشتگی با استفاده از قلم‌مو (سطحی) و از قلم‌موی با نام تجاری Rahavard Seri-1379, FDACO8 استفاده شد. بعد از تیمار، نمونه‌ها به مدت ۱ هفته در دمای محیط آزمایشگاه قرار داده شد تا ماده تیمار از سطح نمونه، کاملاً خشک شود. سپس نمونه‌های تیمار شده در دمای ۲±۶۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۵۰ به مدت ۲۰ روز (Jelle, Ruther, Hovde, 2012)، در آون با نام تجاری Behdad مدل RvAC024ساخت کشور ایران قرار داده شد.

برای نشان دادن میزان نفوذ، ماده تیمار با متیل بلو رنگی شد. میزان ۰/۱ گرم متیل بلو در ۱۰ سی‌سی اتانول با نام تجاری Scharlau محصول کشور اسپانیا اضافه شد و ۰/۵ سی‌سی از محلول را در بشر ریخته و با ماده تیمار به حجم ۱۰ سی‌سی رسید (برای درصدهای مختلف تکرار شد). سپس ماده تیمار رنگی، با همان نوع قلم‌موی، به سطح نمونه‌ها آغشته شد. پس از یک هفته که از تبخیر حلال اطمینان حاصل شد، نمونه‌ها برش داده شدند و با لوپ دیجیتال Dino-Lite ساخت کشور تایوان همراه با اشل .Min Pitch= 0.2 mm با بزرگنمایی ۵۵ برابر عکسبرداری شد.

برای به دست آوردن میزان جذب ماده تیمار، باید میزان جذب خالص و ناخالص مورد ارزیابی قرار می‌گرفت. ابتدا وزن اولیه نمونه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت چهار رقم اعشار (Sartorius LA230 S) ثبت شد. سپس ماده تیمار با قلم‌موی با نام تجاری Rahavard Seri-1379, FDACO8، به سطح نمونه‌ها آغشته شد و مجدداً وزن گردید. پس از خشک شدن ماده تیمار دوباره نمونه‌ها توزین شدند و اعداد به‌دست آمده در رابطه‌های زیر قرار داده شد.

رابطه (۱) $\text{درصد جذب ناخالص} = \frac{\text{وزن اولیه} - \text{وزن خیس}}{\text{وزن اولیه}} \times ۱۰۰٪$

رابطه (۲) $\text{درصد جذب خالص} = \frac{\text{وزن اولیه} - \text{وزن خشک}}{\text{وزن اولیه}} \times ۱۰۰٪$

برای سنجش pH نمونه‌های مورد مطالعه از روش Sithole و با دستگاه pH متر دیجیتال مدل Metrohm744 با الکترود شیشه‌ای استفاده شد. که پیش از انجام آزمایش، ابزارها با محلول‌های بافر استاندارد ۴ و ۷ کالیبره شدند.

در ابتدا محلول پلی‌وینیل‌بوتیرال مورد سنجش قرار گرفت و پس از آن نمونه‌ها در قبل و بعد تیمار و مرحله پیرسازی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین ترتیب که مقدار ۲۵ گرم لایه رنگ به همراه تکیه‌گاه چوب در ۵ سی‌سی آب مقطر در لوله آزمایش درب‌دار ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در شرایط استاندارد محیطی نگهداری شد. پس از آماده شدن محلول، میزان اسیدیته مورد سنجش قرار گرفت که برای هر نمونه دو بار انجام و سپس میانگین هر نمونه محاسبه شد. درصد کاهش pH پس از پیرسازی نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

رابطه (۳)

$$\text{درصد کاهش pH پس از پیرسازی} = \frac{pH_{\text{اولیه}} - pH_{\text{پس از پیرسازی}}}{pH_{\text{اولیه}}} \times ۱۰۰$$

برای سنجش میزان تغییرات رنگی نمونه‌های نقاشی بر روی چوب، از دستگاه رنگ‌سنج دستی (پرتابل) Color tector alpha و سامانه رنگی CIE L*a**b* استفاده شد. برای هر نمونه به طور متوسط ۶ نقطه مورد سنجش قرار گرفت و میانگین آنها محاسبه گردید. برای تغییرات رنگی ایجا شده اعداد به دست آمده در نمونه‌های مطالعاتی، در رابطه‌های زیر قرار داده‌شد.

رابطه (۴)

$$\Delta L = L_2 - L_1$$

$$\Delta b = b_2 - b_1$$

$$\Delta a = a_2 - a_1$$

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

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

برای اندازه‌گیری میزان سختی نمونه‌های مطالعاتی با دستگاه سختی‌سنج میکرو ویکرز محصول کشور ژاپن، با نام تجاری Future tech corp انجام شد. که برای هر نمونه ۳ بار تکرار شد و سپس میانگین آن محاسبه گردید.

طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه با دستگاه Nicolet 470 محصول Nexus آمریکا متصل به نرم‌افزار OMNIC انجام گرفت. طیف‌ها در محدوده ۴۰۰۰–۴۰۰ cm^{-1} ثبت شدند. طیف‌ها حاصل ۳۲ پیمایش با تفکیک پذیری ۴ cm^{-1} بودند.

٤. یافته ها و بحث

٤-١. آسیب‌های لایه رنگ در سطح چوب

آسیب‌های موجود در این آثار به دو گروه آسیب تکیه‌گاه و آسیب لایه رنگ تقسیم می‌شود. در این پژوهش به انواع آسیب لایه رنگ که شامل ترک‌ها است پرداخته می‌شود.

٤-١-١. ترک‌های کهنگی و انقباضی

نقاشی‌های نو دارای انعطاف بیشتری نسبت به آثار قدیمی هستند. رنگ کهنه که کاملاً اکسید و پلیمریزه شده است در برابر تنش‌ها و رفتار مکانیکی، منعطف نیست و در نهایت شکست لایه رنگ را به همراه دارد. شکل‌گیری ترک‌های کهنگی (Aging cracks) به عواملی مانند تکیه‌گاه نقاشی، شکل لایه‌رنگ، شکل حرکت‌های مکانیکی و وجود ترک‌های ناشی از خشک شدن بستگی دارد (Nicolaus, 1999: 190). شبکه‌ای از ریزترک‌ها ممکن است در سطح نقاشی در اثر ترک‌های پیری به‌وجود آیدکه این نوع ترک‌ها عمود بر الیاف پنل‌های چوبی هستند (Hanbury, Kammerer, zolda, 2003). انواع ترک‌های کهنگی در لایه رنگ در سقف خانه‌های قاجاری در شیراز شامل جدایش لایه رنگ، ترک‌های نواری، ترک‌های کاسه‌ای، و ترک‌های انقباضی شامل ترک‌های شبکه‌ای است که در شکل ۱ قابل مشاهده است.

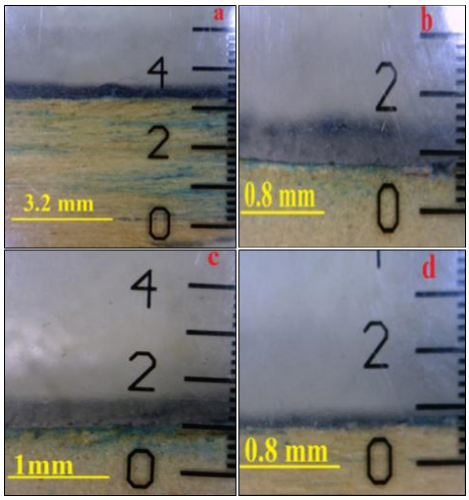
٤-٢. عمق نفوذ و میزان جذب تیمار

نفوذ محلول استحکام‌بخش با کاهش ویسکوزیته، افزایش می‌یابد. و اگر ویسکوزیته محلول استحکام‌بخش ثابت نگه داشته شود و وزن مولکولی استحکام‌بخش افزایش یابد، نفوذپذیری محلول استحکام‌بخش کاهش می‌یابد. نفوذپذیری محلول استحکام‌بخش بستگی به خواص فیزیکی و روش اشباع دارد. نفوذ استحکام‌بخش یک پارامتر مهم است چرا که بر نتایج اشباع پلیمر تأثیر می‌گذارد(Kučerová, 2012).

با توجه به شکل ۲ گرفته شده با لوپ دیجیتال که از مقاطع نمونه‌ها گرفته شد، نشان می‌دهد که عمق نفوذ پلیمرPVB با غلظت ۱ درصد، ۳/۲ میلی‌متر؛ مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالوییدB-72، ۰/۸ میلی‌متر؛ پلیمر PVB با غلظت ۳ درصد، ۱ میلی‌متر و عمق نفوذ پلیمر با غلظت ۵ درصد، ۰/۸ میلی‌متر می باشد. پس بیشترین عمق نفوذ مربوط به غلظت ۱ درصد و عمق نفوذ غلظت ۵ درصد PVB و مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالوییدB-72 به یک اندازه می‌باشد. میزان عمق نفوذ پلیمر با درصدهای ذکر شده در شکل ۳ قابل مشاهده است.

شکل ۱. جدایش لایه رنگ خانه زینت‌الملک (a)؛ ترک‌های نواری خانه صبار (b)؛ ترک‌های کاسه‌ای خانه صبار (c)؛ ترک‌های‌شبکه‌ای خانه محتشم (d)

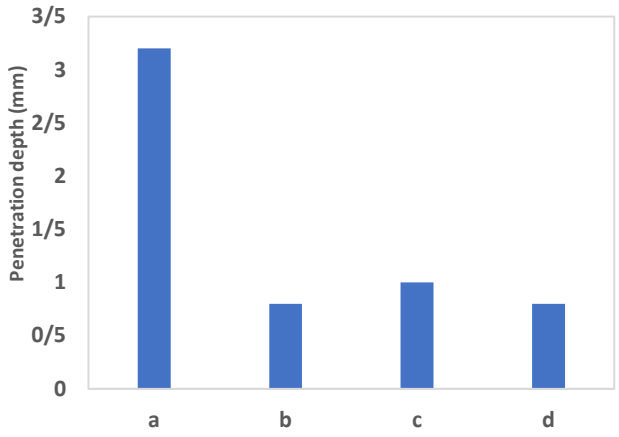
Figure 1. a: Separation of the paint layer at *Zinat al-Molk* House; b: Band-shaped cracks at *Sabar* House; c: Cupping cracks at *Sabar* House; d: Network cracks at *Mohtasham* House



شکل ۲. عمق نفوذ پلی‌وینیل‌بوتیرال با غلظت ۱ درصد(a) ، عمق نفوذ مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالوییدB-72 (b)، عمق نفوذ پلی‌وینیل‌بوتیرال با غلظت ۳ درصد(c)، عمق نفوذ پلی‌وینیل‌بوتیرال با غلظت ۵ درصد(d).

Figure 2. Penetration depth of 1% polyvinyl butyral (a), penetration depth of a mixed treatment of 1.5% polyvinyl butyral and 1.5% Paraloid B-72 (b), penetration depth of 3% polyvinyl butyral (c), penetration depth of 5% polyvinyl butyral (d).

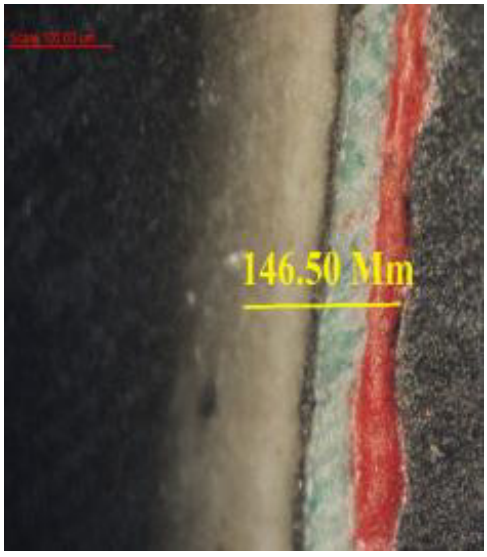
[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026



شکل ۳. میزان عمق نفوذ تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال بر حسب میلی‌متر: عمق نفوذ با تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال۱درصد(a)، میزان عمق نفوذ با تیمار مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالویید B-72 (b)، میزان عمق نفوذ با تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال ۳درصد(c)، میزان عمق نفوذ با تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال ۵ درصد(d).

Figure 3. Penetration depth of polyvinyl butyral treatment in millimeters: Penetration depth with 1% polyvinyl butyral treatment (a), penetration depth with a mixed treatment of 1.5% polyvinyl butyral and Paraloid B-72 (b), penetration depth with 3% polyvinyl butyral treatment (c), penetration depth with 5% polyvinyl butyral treatment (d).

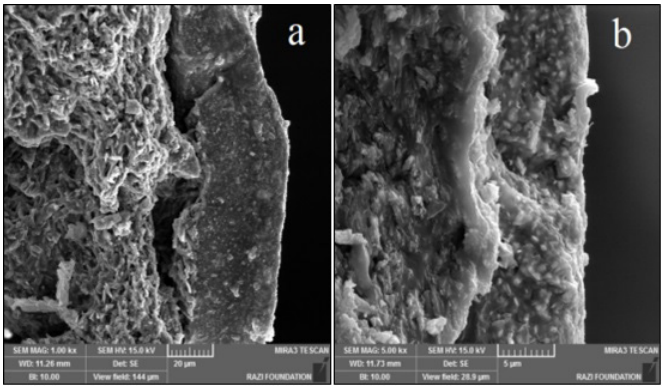
شکل ۴ ضخامت لایه رنگ را نشان می‌دهد. ضخامت لایه رنگ ۱۴۶/۵۰ میکرومتر است. از آنجا که عمق نفوذ همه درصدها بیشتر از ضخامت لایه رنگ است. پس این غلظت‌های ذکر شده علاوه بر استحکام‌بخشی لایه رنگ، باعث اتصال لایه رنگ به سطح تکیه‌گاه چوبی و همچنین تا حدودی باعث استحکام‌بخشی تکیه‌گاه چوبی می‌شود.



شکل ٤. ضخامت لایه رنگ

Figure 4. Thickness of the paint layer

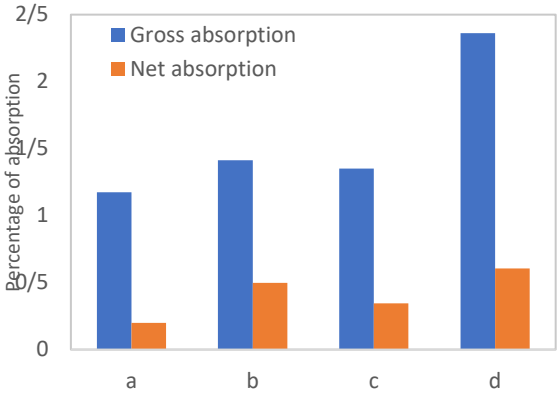
شکل ۵ وضعیت نمونه‌ها را در قبل و بعد از تیمار و نفوذ ماده تیمار در بافت نمونه را با تصاویر SEM نشان می‌دهد. در این عکس نفوذ پلیمر در خلل و فرج و هم چنین تر ک و ریز ترک‌ها در مقطع لایه رنگ قابل مشاهده است.



شکل ۵. مقطع نمونه بدون تیمار (a)، مقطع نمونه تیمار شده و نفوذ ماده تیمار در منافذ و بافت نمونه (b).

Figure 5. Cross-section of the untreated sample (a), cross-section of the treated sample and penetration of the treatment material into the pores and texture of the sample (b).

برای سنجش میزان جذب خالص و ناخالص با غلظت‌های مختلف، پس توزین نمونه در قبل و بعد از تیمار در رابطه مربوطه قرار داده شد. اعداد حاصل از این رابطه در شکل ۶ قابل مشاهده است. طبق این جدول بیشترین درصد جذب خالص با ۰/۶۰۶۴ و جذب ناخالص با ۲/۳۶۱۲ در نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۵ درصد دیده می‌شود. و کمترین درصد میزان جذب خالص با ۰/۱۹۹۷ و جذب ناخالص با ۱/۱۷۴۳ مربوط به نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۱ درصد است. اما در نمونه‌های ۳ مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالویید B-72 نسبت به نمونه تیمار شده ۳ درصد با پلی‌وینیل‌بوتیرال میزان جذب بیشتری داشته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که هر چه میزان درصد غلظت پلیمر بیشتر باشد میزان جذب نیز بیشتر و بلعکس هر چه میزان درصد غلظت پلیمر کمتر باشد میزان جذب نیز کمتر است که این رابطه می‌تواند به علت وزن مولکولی پلیمر و ویسکوزیته محلول باشد.



شکل ٦. میزان جذب خالص و ناخالص بر حسب گرم، در تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال ۱ درصد (a)، میزان جذب خالص و ناخالص در تیمار مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالویید B-72 (b)، میزان جذب خالص و ناخالص در تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال ۵ درصد (c)، میزان جذب خالص و ناخالص در تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال ۵ درصد (d).

Figure 6. Net and gross absorption rates in grams for the 1% polyvinyl butyral treatment (a), net and gross absorption rates for the mixed treatment of 1.5% polyvinyl butyral and 1.5% Paraloid B-72 (b), net and gross absorption rates for the 5% polyvinyl butyral treatment (c), net and gross absorption rates for the 5% polyvinyl butyral treatment (d).

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

٤-٣. pHمتری

برای ارزیابی تأثیر ماده تیمار بر pH نمونه‌های مورد مطالعه، pH نمونه‌های تیمار شده در قبل و بعد از پیرسازی مورد سنجش قرار گرفت و سپس از تفاضل اعداد به دست آمده، میزان درصد pH محاسبه گردید که در جدول ۳ قابل مشاهده است. بیشترین کاهش pH مربوط به نمونه بدون تیمار(CW) با ۸/۵۸ درصد، کاهش است. و کمترین کاهش pH با ۱/۹۶درصد، مربوط به نمونه تیمار شده با غلظت ۳ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال است، که بیشترین ثبات و پایداری را دارد. پس نمونه‌ها معمولاً با گذشت زمان میزان اسیدیته آن‌ها افزایش می‌یابد. میزان افزایش اسیدیته چوب در اثر گذر زمان به عوامل مختلفی از جمله نوع چوب، سن درخت، نمک و مواد استخراجی و همچنین گروه اسیدی در همی‌سلولز و اسیدهای آلی محلول و نامحلول بستگی دارد (Hernandez, 2013). اما با توجه به pH اولیه تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال با غلظت‌های ذکر شده که نسبتاً از pH مناسبی برخوردار هستند؛ تیمار کردن نمونه‌ها با پلی‌وینیل‌بوتیرال باعث می‌شود که میزان اسیدیته کاهش و pH افزایش یابد.

جدول ۳- داده‌های حاصل از اندازه‌گیری pH نمونه‌های مورد مطالعه

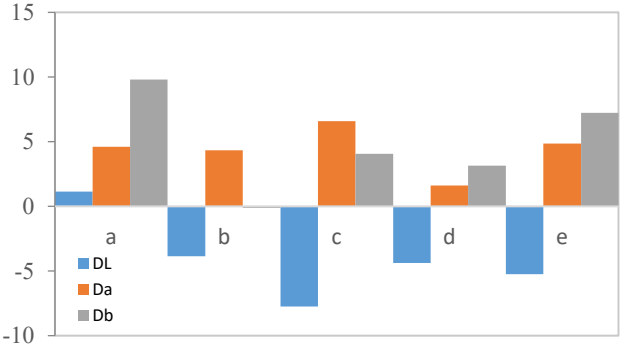
Table 3. pH measurement data of the studied samples

Sample Code	pH of Treatment Material	pH Before Aging	pH After Aging	pH Decrease (%)
CW	-	5.71	5.22	8.58
C1-V	6.7	6.42	6.23	2.95
C1.5-V-P	6.75	6.59	6.45	2.12
C3-V	6.8	6.63	6.5	1.96
C5-V	6.89	6.76	6.59	2.51

٤-٤. رنگ سنجی

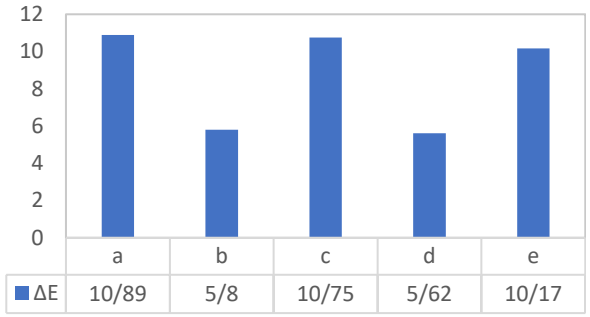
در نمونه بدون تیمار بعد از پیرسازی تسریعی افزایش روشنایی (کاهش تیرگی)، به دلیل رنگ پریدگی لایه رنگ دیده می‌شود. بیشترین کاهش روشنایی (افزایش تیرگی)، در نمونه مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالوئید B-72 و کمترین کاهش روشنایی مربوط به نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال یک درصد است. اما این کاهش روشنایی در نمونه تیمار شده یک درصد در مقایسه با تیمار ۳و ۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال تفاوت چندانی ندارد. در همه نمونه‌ها افزایش میزان قرمزی مشهود است. که بیشترین افزایش قرمزی در نمونه مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالوئید B-72 و کمترین میزان قرمزی در نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال دیده می‌شود. و بیشترین افزایش میزان زردی در نمونه بدون تیمار و کمترین میزان زردی در نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۳ درصد و در نمونه تیمار شده یک درصد به میزان خیلی کم افزایش آبی مشهود است. پس تیمار کردن نمونه‌ها با پلی‌وینیل‌بوتیرال به میزان قابل توجهی از زرد شدن لایه رنگ می‌کاهد. این تغییرات رنگ در شکل ۷ قابل مشاهده است.

در شکل ۸ تغییرات کلی رنگ گزارش شده است. بیشترین تغییرات رنگ در نمونه بدون تیمار و کمترین تغییرات رنگ مربوط به نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۱ و ۳ درصد است. اما در نمونه مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالوئید B-72 در مقایسه با نمونه تیمار شده با تیمار ۳ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال تغییرات رنگ قابل توجهی دیده می‌شود. که این تغییر رنگ بیشتر در نتیجه ضریب شکست بیشتر پارالوئید نسبت به پلی‌وینیل‌بوتیرال است.



شکل ۷. تغییر مؤلفه‌های رنگ سنجی: نمونه بدون تیمار در قبل و بعد از پیرسازی(a)، نمونه تیمار شده با تیمار ۱ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال در قبل و بعد از پیرسازی(b)، نمونه تیمار شده با مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالوئید B-72 در قبل و بعد از پیرسازی(c)، نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۳ درصد در قبل و بعد از پیرسازی (d)، نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۵ درصد در قبل و بعد از پیرسازی (e).

Figure 7. Changes in colorimetric components for the untreated sample before and after aging (a), the sample treated with 1% polyvinyl butyral (PVB) before and after aging (b), the sample treated with a mixture of 1.5% polyvinyl butyral (PVB) and 1.5% Paraloid B-72 before and after aging (c), the sample treated with 3% polyvinyl butyral (PVB) before and after aging (d), and the sample treated with 5% polyvinyl butyral (PVB) before and after aging (e).



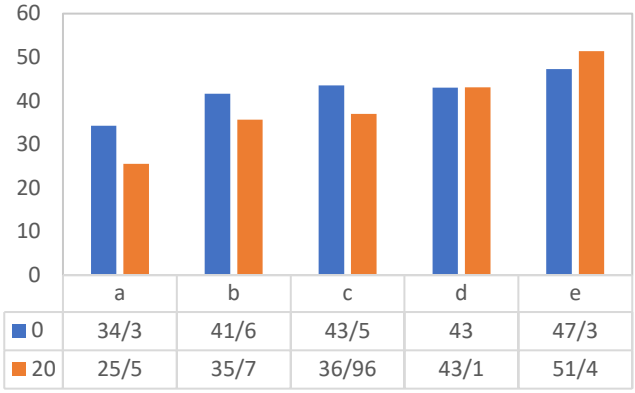
شکل ۸. تغییرات کلی رنگ : نمونه بدون تیمار در قبل و بعد از پیرسازی(a)، نمونه تیمار شده با تیمار ۱ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال در قبل و بعد از پیرسازی(b)، نمونه تیمار شده با مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالوئید B-72 در قبل و بعد از پیرسازی(c)، نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۳ درصد در قبل و بعد از پیرسازی (d)، نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۵ درصد در قبل و بعد از پیرسازی (e).

Figure 8. Total color changes: untreated sample before and after aging (a), sample treated with 1% polyvinyl butyral (PVB) before and after aging (b), sample treated with a mixture of 1.5% polyvinyl butyral (PVB) and 1.5% Paraloid B-72 before and after aging (c), sample treated with 3% polyvinyl butyral (PVB) before and after aging (d), and sample treated with 5% polyvinyl butyral (PVB) before and after aging (e).

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

٤-٥. سختی سنجی

نتایج حاصل از شکل ۹ نشان می‌دهد که نمونه‌های اشباع شده با تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال افزایش سختی را به همراه دارد و در نمونه بدون تیمار پس از پیرسازی تسریعی، در مقایسه با نمونه‌های تیمار پیرسازی شده، میزان کاهش سختی بیشتر است. نمونه‌های اشباع شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۱ درصد و مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالوید B-72، بعد از پیرسازی میزان سختی آن‌ها کاهش یافته و در نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۳ درصد سختی نمونه در قبل و بعد از پیرسازی ثابت مانده است. اما در نمونه اشباع شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۵ درصد میزان سختی پس از پیرسازی افزایش یافته است؛ که این افزایش میزان سختی می‌تواند به دلیل ایجاد پیوند عرضی باشد.



شکل ۹. میزان سختی : نمونه بدون تیمار در قبل و بعد از پیرسازی(a)، نمونه تیمار شده با تیمار ۱ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال در قبل و بعد از پیرسازی(b)، نمونه تیمار شده با مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالوید B-72 در قبل و بعد از پیرسازی(c)، نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۳ درصد در قبل و بعد از پیرسازی (d)، نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۵ درصد در قبل و بعد از پیرسازی (e).

Figure 9. Hardness levels: untreated sample before (0) and after (20) aging (a), sample treated with 1% polyvinyl butyral (PVB) before and after aging (b), sample treated with a mixture of 1.5% polyvinyl butyral (PVB) and 1.5% Paraloid B-72 before and after aging (c), sample treated with 3% polyvinyl butyral (PVB) before and after aging (d), and sample treated with 5% polyvinyl butyral (PVB) before and after aging (e).

یکی از عوامل مهم در ایجاد پیوند عرضی پیوندهای دوگانه و سه‌گانه بر روی زنجیره‌های پلیمری است. تعداد پیوندها و درصد نسبی آن‌ها به کل پیوندهای زنجیر پلیمری یکی از عوامل تعیین کننده برای ایجاد پیوند عرضی است. از دیگر عوامل در تشکیل پیوند عرضی، گروه‌های جانبی بر روی زنجیره می‌باشند که می‌تواند با قطبی یا غیر قطبی نمودن زنجیره‌ها خواص نهایی پلیمرهای "کراسلینک" را تعریف نمایند. پلیمر اتصال عرضی می‌تواند برگشت پذیر یا برگشت ناپذیر باشد. هر چه غلظت پلیمر بیشتر باشد پیوند عرضی ایجاد شده سخت‌تر است و متقابلاً هر چه غلظت پلیمر کمتر باشد پیوند عرضی ایجاد شده انعطاف پذیرتر و سست‌تر است (Mane, Ponrathnam, Chavan, 2016). پس به همین جهت در غلظت ۵ درصد به علت تغلیظ یک لایه پلیمر بر روی نمونه تشکیل شده که پس از پیرسازی سبب ایجاد پیوند عرضی و افزایش سختی شده است. اما در غلظت ۱ درصد به علت رقیق بودن تیمار، پس از پیرسازی کاهش سختی مشاهده می‌شود. و این در حالی است که در غلظت ۳ درصد میزان سختی پس از پیرسازی تغییری نکرده است. پس اشباع لایه نقاشی با پلیمر پلی‌وینیل‌بوتیرال در غلظت ۳ و ۵ درصد می‌تواند باعث استحکام شود.

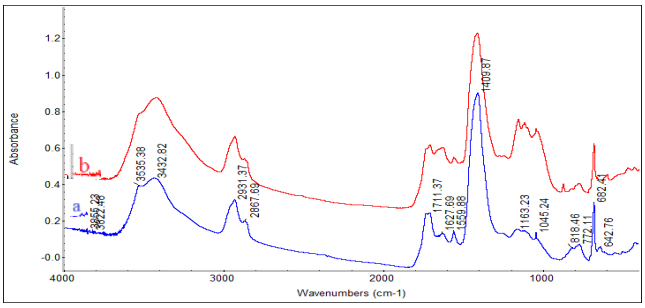
٤-٦. طیف سنجی FTIR

با توجه به مشاهدات طیف سنجی در تمامی نمونه‌های تیمار شده به جزء ناحیه عدد موجی cm^{-1} ۳۲۰۰ تا cm^{-1} ۳۶۰۰ هیچگونه تغییر مشهودی در سه گراف بوتیرال با درصدهای مختلف مشاهده نمی‌شود(شکل‌های ۱۰، ۱۱، ۱۲). مصداق این بیان از اینجا روشن می‌شود که مقیاس‌های طیف‌ها هم خوانی نداشته و مقایسه آنها با یک اسلوب امکان پذیر نیست و دلیل اختلاف خط مبنای هر طیف تکرار ناپذیر بودن روش آماده سازی نمونه (قرص سازی) است.

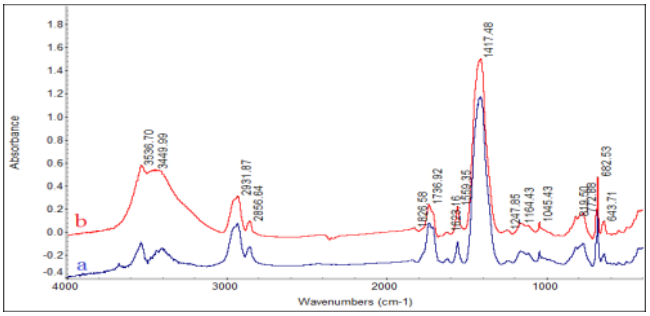
با توجه به ساختار استال پلی‌وینیل‌بوتیرال که یک رزین پلیمری است استنباط می‌شود که افزایش چشمگیر پیک جذبی ناحیه cm^{-1} ۳۲۰۰ تا cm^{-1} ۳۶۰۰ مربوط به پیوندهای کششی خارج از صفحه O-H است و این O-H کششی از نوع O-H های کششی معمول نبوده و O-H کششی ایجاد می‌کند. بر اساس پیش بینی تئوری این O-H کششی می‌بایست به ترتیب از ۱ تا ۵ درصد بوتیرال افزایش یابد اما باید خاطر نشان کرد که تا حدی این رویداد اتفاق می‌افتد و O-H کششی به علت ناپایدار بودن به مقدار زیاد در محیط تشکیل نمی‌شود از این روی می‌توان این گونه توجیه کرد که از ۱ تا ۵ درصد تغییرات لحاظ شده در مقدار بوتیرال دارای نقطه بهینه است. همان طور که در گراف FTIR به دست آمده از سه نمونه تیمار شده با درصدهای مختلف پلی‌وینیل‌بوتیرال مشاهد می‌شود طیف جذبی ناحیه cm^{-1} ۳۲۰۰ تا cm^{-1} ۳۶۰۰ در نمونه ۱ درصد بوتیرال بسیار ضعیف است. با فرض صحیح و دقیق بودن فرآیند ساخت نمونه و با فرض تکرار پذیری در فرآیند آماده‌سازی نمونه می‌توان این گونه استنباط نمود که O-H کششی در نمونه بوتیرال ۱ درصد به مقدار بسیار کم وجود دارد و به همین دلیل در ناحیه cm^{-1} ۳۲۰۰ تا cm^{-1} ۳۶۰۰ پیک جذبی مشاهده نمی‌شود از طرف دیگر مقدار اتانول موجود در نمونه باعث خشک شدن رطوبت بافت شده و به طور کل پیک جذبی این ناحیه حذف می‌گردد. ولی در نمونه بوتیرال ۳ درصد با افزایش چشمگیر O-H کششی شاهد یک پیک جذبی بسیار قوی با دیده می‌شود که این نشان دهنده حداکثر میزان O-H کششی در محیط است و از آنجا که به علت وارد شدن اتانول به محیط آب نمونه خشک شده است می‌توان مستقیما پیک جذبی قوی در ناحیه cm^{-1} ۳۲۰۰ تا cm^{-1} ۳۶۰۰ را به O-H کششی نسبت داد. به همین ترتیب انتظار می‌رود که در نمونه تیمار شده با بوتیرال ۵ درصد نیز همین رفتار افزایشی مشاهده گردد.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

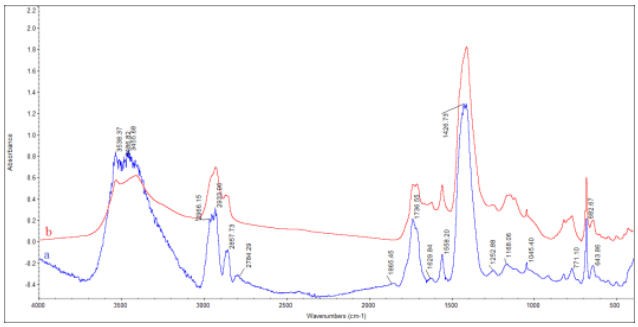
همان طور که در شکل ۱۳ مشخص است برخلاف سایر تیمارها و پیرسازی‌های انجام شده پیک جذبی در ناحیه ۱۴۰۰ cm^{-1} در نمونه پیرسازی شده بوتیرال ۵ درصد به شدت کاهش یافته است و این نتیجه گیری انجام می‌شود که فرآیند تیمار با بوتیرال ۵ درصد به همراه فرآیند پیرسازی تاثیر بسیار زیادی بر روی ساختار مسطح رنگ سبز زنگار مس (برداشت نمونه جهت آماده‌سازی قرص در همه درصدها،از رنگ سبز زنگار است) می‌گذارد (تبدیل کربن SP^2 به کربن SP^3) و به این ترتیب فرآوانی گروه $-CH_3$ کاهش می‌یابد و در نتیجه ارتعاش خمشی خارج از صفحه مربوط به این گروه نیز کاهش می‌یابد و دلیل این که در تیمارهای قبلی علی رغم پیرسازی این اتفاق نمی‌افتد این است که درصد بوتیرال در آن حد نیست که بتواند ترکیبات آلکواکسیدی فعال محیط را تامین نماید در واقع با درصد تیمارهای پایین از بوتیرال هم آب به محیط اضافه شده و هم ساختار رنگ دچار فروپاشی گردیده است و بهترین درصد بوتیرال برای حفاظت از ساختار رنگ بوتیرال ۱ درصد است. نتیجه‌ای که می‌توان حاصل نمود این است که با فرآیند پیرسازی درصدهای کمتر بوتیرال توانایی بیشتری برای حفظ ساختار رنگ دارا می‌باشند که در واقع موید این نکته است که یک مقدار بهینه در افزودن بوتیرال وجود دارد. همان طور که مشخص است در مقایسه دو طیف نمونه تیمارشده با بوتیرال ۱ درصد در قبل و بعد از پیرسازی، شاهد افزایش ارتفاع پیک جذبی در محدوده cm^{-1} ۱۴۰۰ که مربوط به گروه عاملی کربونیلی ساختار استات در رنگ سبز زنگار است و این افزایش نشان دهنده پایداری بیشتر ساختار رنگ است. به جزء دو ناحیه cm^{-1} ۳۲۰۰ تا cm^{-1} ۳۶۰۰ و محدوده cm^{-1} ۱۳۷۵ تا cm^{-1} ۱۴۵۰ هیچ گونه تغییر مشهود دیگری در طیف های گرفته شده وجود ندارد. البته این نکته هم باید ذکر شود که در نمونه تیمار شده با بوتیرال ۳ درصد نیز مانند نمونه تیمار شده با بوتیرال ۱ درصد تغییر کمی در ساختار رنگ ایجاد شده (از نظر دوام ساختار رنگ هر دو مانند هم هستند).



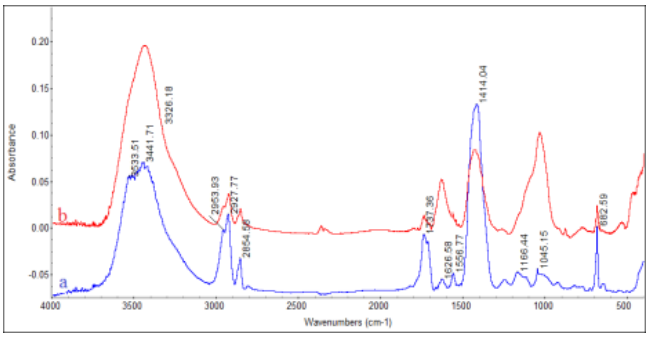
شکل ۱۰. نمونه بدون تیمار: قبل از پیرسازی(a) ، قرمز: بعد از پیر سازی(b).
Figure 10. Untreated sample: before aging (a), red: after aging (b).



شکل ۱۱. نمونه تیمار شده با بوتیرال ۱ درصد: قبل از پیرسازی(a) ، قرمز: بعد از پیرسازی(b).
Figure 11. Sample treated with 1% butyral: before aging (a), red: after aging (b).



شکل ۱۲. نمونه تیمار شده با بوتیرال ۳ درصد: قبل از پیرسازی(a)، بعد از پیر سازی(b).
Figure 12. Sample treated with 3% butyral: before aging (a), after aging (b).

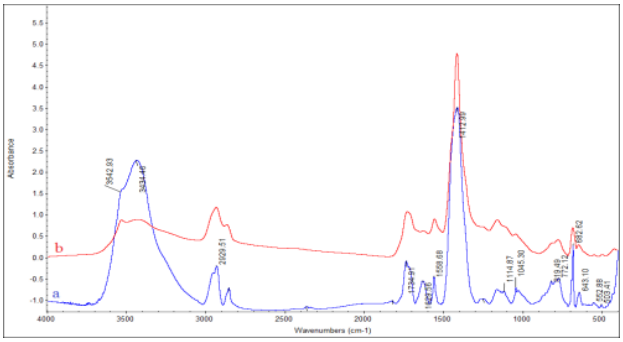


شکل ۱۳. نمونه تیمار شده با بوتیرال ۵ درصد: قبل از پیرسازی(a)، بعد از پیر سازی(b).
Figure 13. Sample treated with 5% butyral: before aging (a), after aging (b).

با مقایسه سه گراف نمونه بدون تیمار و نمونه تیمار شده با بوتیرال ۱ درصد و نمونه تیمار شده با مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالویید B-72 (شکل ۱۴)، کاملا مشخص می‌شود که حالت نمونه تیمارشده با مخلوط ۱/۵ ، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالوییدB-72 نسبت به نمونه تیمارشده با بوتیرال ۱ درصد در حفظ ساختار رنگ بسیار موفق تر عمل نموده است. چرا که ساختار پلیمری پارالویید و بوتیرال توامان سبب ایجاد یک شبکه درهم پیچیده و خلل و فرجدار می‌شود و این ساختار توده‌ای موجب ایجاد پانچ‌های پلیمری در محافظت گروه‌های عاملی یک ساختار می‌شود. بدین ترتیب می‌تواند در رشد بیشتر پیک جذبی گروه کربنیل موثر باشد که رشد این پیک نشان دهنده افزایش پایداری ساختار رنگ می‌باشد. دلیل این امر این است که در داخل پانچ های پلیمری برهم کنش‌های فعال

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

از نوع آبگریز- آبگریز است و علی‌رغم این که آب در محیط باقی می‌ماند اما امکان تماس با گروه های عاملی رنگ را نداشته و بدین ترتیب ساختار رنگ حفاظت بیشتری می‌شود. همان طور که مشاهده می‌شود با جذب مقدار ۳/۵ که نشان دهنده فراوانی بیشتر گروه‌های کربنیل است می‌توان این ادعا را ثابت کرد. مزیت دیگر این نوع تیمار در این است که به علت تجمع رطوبت در نقاط مشخص(خاصی آبگریزی پانچ‌های پلیمری) نمونه بعد از پیرسازی به شدت دچار کاهش رطوبت شده و این به دلیل کاهش فراوانی پیوند O-H کششی در ناحیه cm^{-1} ۳۲۰۰ تا cm^{-1} ۳۶۰۰ است. همان طور که کاملا مشخص شده جذب ناحیه cm^{-1} ۳۲۰۰ تا cm^{-1} ۳۰۰۰ در نمونه تیمار شده با تیمار مخلوط پارالویید و بوتیرال در مقایسه با نمونه بدون تیمار و نمونه تیمار شده با بوتیرال ۱ درصد بسیار کمتر است.



شکل ۱۴. نمونه سبز تیمار شده مخلوط ۱/۵ ، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالویید(B-72): قبل از پیرسازی(a) ، بعد از پیرسازی(b).

Figure 14. Green sample treated with a mixture of 1.5% polyvinyl butyral (PVB) and 1.5% Paraloid B-72: before aging (a), after aging (b).

۵.نتیجه‌گیری

بر اساس آزمایش حاصل از عمق نفوذ تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال، بیشترین میزان عمق نفوذ با ۳/۲ میلی‌متر، مربوط به غلظت ۱ درصد و کمترین میزان عمق نفوذ با ۰/۸ میلی‌متر، مربوط به غلظت ۵ درصد و مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالویید B-72 است؛ اما با توجه به اینکه ضخامت لایهٔ رنگ ۱۴۶/۵۰ میکرومتر است، پس این غلظت‌های ذکر شده علاوه بر استحکام‌بخشی لایهٔ رنگ، باعث اتصال لایهٔ رنگ به سطح تکیه‌گاه چوبی و همچنین تا حدودی باعث استحکام‌بخشی تکیه‌گاه چوبی می‌شود. بیشترین میزان جذب خالص و ناخالص در غلظت ۵ درصد و کمترین جذب خالص و ناخالص در نمونه ۱ درصد مشاهده می‌شود.

رنگ سنجی نمونه‌های قبل و بعد از پیرسازی تسریعی نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات رنگ در نمونه بدون تیمار و کمترین تغییرات رنگ مربوط به نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال ۱ و ۳ درصد است؛ اما در نمونه مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالویید B-72 در مقایسه با نمونه تیمار شده با تیمار ۳ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال تغییرات رنگ قابل توجهی دیده می‌شود؛ که این تغییر رنگ بیشتر در نتیجه ضریب شکست بیشتر پارالویید نسبت به پلی‌وینیل‌بوتیرال هست.

نتایج حاصل از سختی سنجی در نمونه‌های تیمار شده و بدون تیمار نشان می‌دهد که پلی‌وینیل‌بوتیرال باعث افزایش سختی شده است. هر چه میزان غلظت پلیمر بیشتر باشد میزان ثبات سختی بعد از پیرسازی تسریعی نیز بیشتر است. در نمونه تیمار شده با پلی‌وینیل‌بوتیرال با غلظت ۱ درصد بیشترین کاهش سختی و نمونه تیمار شده با غلظت ۵ درصد افزایش سختی به دلیل ایجاد پیوند عرضی و در نمونه ۳ درصد بدون تغییر میزان سختی بعد از پیرسازی تسریعی به همراه داشته است.

بیشترین کاهش pH مربوط به نمونه بدون تیمار با ۸/۵۸ درصد، کاهش؛ و کمترین کاهش pH با ۱/۹۶ درصد، مربوط به نمونه تیمار شده با غلظت ۳ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال است که بیشترین ثبات و پایداری را دارد؛ اما با توجه به pH اولیه تیمار پلی‌وینیل‌بوتیرال که نسبتاً از pH مناسبی برخوردار هستند؛ تیمار کردن نمونه‌ها با پلی‌وینیل‌بوتیرال باعث می‌شود که میزان اسیدیته کاهش یابد.

بر اساس تحلیل گراف‌های به‌دست‌آمده از آنالیز دستگاهی FTIR، برخلاف سایر تیمارها و پیرسازی‌های انجام شده پیک جذبی در ناحیه cm^{-1} ۱۴۰۰ در نمونه پیرسازی شده بوتیرال ۵ درصد به شدت کاهش یافته است و نتیجه‌گیری این که فرآیند تیمار با بوتیرال ۵ درصد به همراه فرآیند پیرسازی تأثیر بسیار زیادی بر روی ساختار مسطح رنگ سبز زنگار مس (برداشت نمونه جهت آماده‌سازی قرص در همه درصدها، از رنگ سبز زنگار هست) می‌گذارد (تبدیل کربن SP^2 به کربن SP^3) و به این ترتیب فراوانی گروه $-CH_3$ کاهش می‌یابد و در نتیجه ارتعاش خمشی خارج از صفحه مربوط به این گروه نیز کاهش می‌یابد و دلیل اینکه در تیمارهای قبلی علی‌رغم پیرسازی این اتفاق نمی‌افتد این است که درصد بوتیرال در آن حد نیست که بتواند ترکیبات آلکواکسیدی فعال محیط را تأمین نماید، در واقع با درصد تیمارهای پایین از بوتیرال هم آب به محیط اضافه شده، هم ساختار رنگ دچار فروپاشی گردیده است. بهترین درصد بوتیرال برای حفاظت از ساختار رنگ بوتیرال ۱ درصد می‌باشد. نتیجهٔ بدست آمده این است که با فرآیند پیرسازی، درصدهای کمتر بوتیرال توانایی بیشتری برای حفظ ساختار رنگ را دارا می‌باشند که در واقع مؤید این نکته است که یک مقدار بهینه در افزودن بوتیرال وجود دارد. همان طور که مشخص است در مقایسه دو طیف نمونه تیمارشده با بوتیرال ۱ درصد در قبل و بعد از پیرسازی افزایش ارتفاع پیک جذبی در محدوده cm^{-1} ۱۴۰۰ که مربوط به گروه عاملی کربونیلی ساختار استات در رنگ سبز زنگار است مشاهده می‌شود و این افزایش نشان دهنده پایداری بیشتر ساختار رنگ می‌باشد. البته این نکته هم باید ذکر شود که در نمونه تیمار شده با بوتیرال ۳ درصد نیز مانند نمونه تیمار شده با

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

بوتیرال ۱ درصد تغییر کمی در ساختار رنگ دیده می‌شود (از نظر دوام ساختار رنگ هر دو مانند هم هستند). با مقایسه سه گراف نمونه بدون تیمار و نمونه تیمار شده با بوتیرال ۱ درصد و نمونه تیمار شده با مخلوط ۱/۵، ۱/۵ درصد پلی‌وینیل‌بوتیرال و پارالویید B-72، کاملاً مشخص می‌شود که حالت نمونه تیمارشده با مخلوط پارالوئید و بوتیرال نسبت به نمونه تیمارشده با بوتیرال ۱ درصد در حفظ ساختار رنگ بسیار موفق‌تر عمل نموده است. چرا که ساختار پلیمری پارالوئید و بوتیرال توأمان سبب ایجاد یک شبکه درهم‌پیچیده و خلل و فرج دار می‌شود و این ساختار توده‌ای موجب ایجاد پانچ‌های پلیمری در محافظت گروه‌های عاملی یک ساختار می‌شود.

مشارکت نویسندگان: «ایده‌پردازی: م.م و آ.ش؛ روش‌شناسی: م.م و آ.ش؛ نرم‌افزار: آ.ش؛ اعتبارسنجی: آ.ش؛ تحلیل رسمی: آ.ش و م.م ؛ تحقیق و بررسی: آ.ش؛ منابع: آ.ش؛ مدیریت و تنظیم داده‌ها: آ.ش و م.م؛ نگارش پیش‌نویس اولیه: آ.ش؛ بازبینی و ویرایش متن: ح.ا و م.م؛ تصویرسازی داده‌ها: آ.ش ؛ نظارت:: م.م و ح.ا؛ مدیریت پروژه: آ.ش؛ تأمین مالی: آ.ش؛

تأمین مالی: هزینه پردازش مقاله توسط آ.ش؛ تأمین شد.

تضاد منافع: نویسندگان هیچ گونه تضاد منافع را اعلام نمی کنند.

دسترسی به داده ها و مواد: مجموعه داده‌های تولید شده و تحلیل شده در طول پژوهش حاضر در مخزن کتابخانه دانشکده حفاظت و مرمت دانشگاه هنر اصفهان، در دسترس هستند.

References

Abbasi, J., Samanian, K., & Afsharpor, M. (2017). Evaluation of polyvinyl butyral and zinc oxide nano-composite for consolidation of historical woods. *International Journal of Conservation Science*, *8*(2).

Ambrósio, J. D., Lucas, A. A., Otaguro, H., & Costa, L. C. (2011). Preparation and characterization of poly(vinyl butyral)-leather fiber composites. *Polymer Composites, 32*(5), 776-785. https://doi.org/10.1002/pc.21098

Ardeshiri, M., & Memarian, G. H. (2010). *The urban identity of Shiraz*. Navid Publications. [In Persian]

Bugani, S., Modugno, F., Łucejko, J. J., Giachi, G., Cagno, S., Cloetens, P., & Morselli, L. (2009). Study on the impregnation of archaeological waterlogged wood with consolidation. *Journal of Cultural Heritage , 10* (3), 45–56. https://doi.org/10.xxxx/j.culher.2009.01.001

Dehghan, N. (2010). *Wooden motifs in the mosques of East Azerbaijan*. Tehran: Matn Publishing. [In Persian]

Dobrică, I., Bugheanu, P., Stănculescu, I., & Ponta, C. (2008). FTIR spectral data of wood used in Romanian traditional village constructions. *Ann. Univ. Buc. Chim*, *17*, 33-37.

Cobb, K. C. (2005). *Charred wood consolidated with thermoplastic resins* (Master's thesis, College of Architecture and Urban Studies, Virginia Polytechnic Institute and State University). Retrieved from https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/31244

El-Din, N. M. S., & Sabaa, M. W. (1995). Thermal degradation of poly(vinyl butyral) laminated safety glass. *Polymer Degradation and Stability, 47* (2), 283–288. https://doi.org/10.1016/0141-3910 (95)90020-4

Hadley, B. (2009). *Wood identification: Accurate results using simple tools* (M. H. Ekhtara, K. Pour Tahmasbi, & A. N. Karimi, Trans.). Ayizh Publications. (Original work published 1980). [In Persian]

Hanbury, A., Kammerer, P., & Zolda, E. (2003, September). Painting crack elimination using viscous morphological reconstruction. In *Proceedings of the 12th International Conference on Image Analysis and Processing* (pp. 226–231). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICIAP.2003.1234085

Handley, D. A., & Olsen, B. R. (1979). Butvar B-98 as a thin support film. *Ultramicroscopy, 4* (4), 479–480. https://doi.org/10.1016/S0304-3991 (79)80027-5.

Harrison, A. (2008). The Effects of Butvar B-98 on Bronze.

Henriques, D., de Brito, J., Duarte, S., & Nunes, L. (2014). Consolidating preservative-treated wood: Combined mechanical performance of boron and polymeric products in wood degraded by *Coniophora puteana* . *Journal of Cultural Heritage, 15* (1), 10–17. https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.03.002

Hernández, V. (2013). Radiata pine pH and buffering capacity: Effect of age and location in the stem. *Maderas. Ciencia y tecnología, 15*(1), 73-78. https://doi.org/10.4067/S0718-221X2013005000006

Horie, C. V. (2010). *Materials for conservation: organic consolidants, adhesives and coatings*: Routledge.

Jelle, B. P., Rüther, P., & Hovde, P. J. (2012). Investigations of accelerated climate aged wood substrates by Fourier transform infrared material characterization. *Advances in Materials Science and Engineering* , 2012. https://doi.org/10.1155/2012/869431

Kohlmann, F. J. (2003). What Is pH, and How Is It Measured, A Technical Handbook for Industry. *Hatch company*.

Kučerová, I. (2012). Methods to measure the penetration of consolidant solutions into 'dry' wood. *Journal of Cultural Heritage* , 13(3), S191–S195. https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.08.017

Liau, L. C., Yang, T. C., & Viswanath, D. S. (1996). Mechanism of degradation of poly(vinyl butyral) using thermogravimetry/fourier transform infrared spectrometry. *Polymer Engineering & Science* , 36(21), 2589–2600. https://doi.org/10.1002/pen.10647

Mane, S., Ponrathnam, S., & Chavan, N. (2016). Effect of chemical cross-linking on properties of polymer microbeads: A review. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 20*(3), 593–598. https://doi.org/10.4314/jasem.v20i3.15

Memarian, G. (2007). *Introduction to Iranian Residential Architecture: Extroverted Typology*. Soroush Danesh Publications. [In Persian]

Mohammadi, M. (2015). *Preservation of historical artifacts made of broadleaf wood in outdoor environments against structural changes caused by photochemical weathering* [Doctoral dissertation, University of Art, Isfahan]. [In Persian]

Mosaheb, G. (2001). *Persian Encyclopedia*. Amir Kabir Publications. [In Persian]

Nicolaus, K., (1999). The Restoration of Painting, 1998. Konemann Verlagsgesellschaft mbH.

Ploeger, R., de la Rie, E. R., McGlinchey, C., Forster, A. M., & Hunston, D. (2012). Consolidating adhesives for the conservation of paintings: The development of new heat-seal

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 15:24 +0330 on Saturday November 7th 2026

adhesives. *Studies in Conservation, 57*(sup1), S1–S2. https://doi.org/10.1179/2047058412Y.0000000046

Rashvand, S. (2012). *Conservation and restoration of a wooden panel painting with emphasis on the wooden support structure* [Master's thesis, University of Art, Isfahan]. [In Persian]

Sari Khani, M. (2003). Archaeological, architectural and urban planning study of Malayer during the Qajar period. *Elm-e Gostar*. [In Persian]

Schaffer, E. (1971). Consolidation of softwood artifacts. *Studies in Conservation, 16*(3), 110–113. https://doi.org/10.1179/sic.1971.016

Smith, J. A., & Johnson, L. M. (2020). Structural repair of plaster sculpture using polyvinyl butyral resin. *Journal of Conservation and Restoration, 15* (3), 45-60.

Stuart, B. H. (2007). *Analytical techniques in materials conservation*. John Wiley & Sons.

Stuart, B. (2014). *Ravesh-ha-ye tajzie-ye mavad dar marammat va hefazat-e asar-e tarikhi* [Analytical techniques in materials conservation] (M. Bagherzadeh Kasiri, Trans.). Tabriz Islamic Art University. (Original work published 2007). [In Persian]

Unger, A., Schniewind, A. P., & Unger, W. (2010). *Conservation of wooden artworks* (A. Taramian, Trans.). University of Tehran Press. (Original work published [original publication year]). [In Persian]

Van Duin, P., van Gompel, D., van Grevenstein-Kruse, A., Groves, R. M., Horie, V., Kos, N., . . . Seymour, K. (2014). *The conservation of panel paintings and related objects*. Netherlands Cultural Heritage Agency. https://doi.org/10.17026/dans-x6g-s3eh

Williamsburg, V. (1994). Painted Wood: History and Conservation

Zumdahl, S. S., & Zumdahl, S. A. (2015). Chemistry: An atoms first approach (2nded.). Cengage learning.

Shiri, A., Ahmadi, H. & Mohammadi, H. (2025). Study of Polyvinyl butyral consolidant for conservation of painted surfaces on wooden ceilings in Qajarid houses in Shiraz. *Journal of research on Archaeometry, 11*(1), 404. DOI: 10.61882/jra.2025.11.105