



## A Study of the Materials Used in Teymorid Miniature by Nondestructive Analyses

Mohsen Ghanooni<sup>1</sup>  | Yasin Sedghi<sup>2✉</sup>  | Mitra Saeedi<sup>3</sup> 

1. Shahed University, Tehran, Iran.
2. Art University, Tehran, Iran. E-mail: [sedghi.yassin@gmail.com](mailto:sedghi.yassin@gmail.com)
3. Art University, Tehran, Iran.

### Article Information:

#### Research Article

Received 9 October 2022

Revised 12 Nov. 2022

Accepted 22 Nov. 2022

### Keywords:

Characterization,  
Non-destructive Analysis,  
Teymorid Miniature,  
Pigment,  
15 Century AD.

### ABSTRACT

Identifying the type of pigments used in historical and cultural artifacts is one of the most important topics facing researchers in this scope, which can answer many questions and concepts in the field of conservation of historical and cultural artifacts. The use of non-destructive analysis methods to investigate and identify the type of materials and pigments used is also one of the most important technical topics in the field of cultural heritage studies, which is less discussed among researchers in this field. For this reason and for studying the historical artifact of the Timurid dynasty, non-destructive methods such as technical imaging (UVF, IRR, VIS), portable Raman spectroscopy, and portable X-Ray fluorescence spectroscopy are used. The studied artwork is a folio from the Timurid Zafarnama manuscript of the 15th century AD. The most important pigments used in this artwork include red, blue, white, green, gold, brown, cream and orange. Data analysis shows the use of Indigo blue, Vermilion and Minium pigments as red, lead white, Malachite green and Litharge yellow. Some other pigments were created by the artist in combination, and some of the existing examples have been identified.

**Cite this article:** Ghanooni, M., Sedghi, Y., & Saeedi, M. (2023). A Study of the Materials Used in Teymorid Miniature by Nondestructive Analyses. *Journal of Nondestructive Testing Technology*, 3 (11), 64-71. <http://doi.org/10.30494/JNDT.2022.363229.1104>

## بررسی ساختار رنگ‌های به کار رفته در یک قطعه نگارگری عهد تیموری با استفاده از روش‌های آنالیز غیرمخرب

محسن قانونی<sup>۱</sup> | یاسین صدقی<sup>۲</sup> | سیده میترا سعیدی<sup>۳</sup>

۱. دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

۲. دانشگاه هنر، تهران، ایران. رایانامه: [sedghi.yassin@gmail.com](mailto:sedghi.yassin@gmail.com)

۳. دانشگاه هنر، تهران، ایران.

### چکیده:

شناسایی نوع رنگدانه‌های به کار رفته در آثار تاریخی و فرهنگی یکی از مهم‌ترین مباحث پیش روی پژوهشگران این حوزه است که می‌تواند به بسیاری از سؤالات و مفاهیم در حوزه مرمت آثار تاریخی و فرهنگی پاسخ دهد. استفاده از روش‌های آنالیز غیرمخرب به منظور بررسی و شناسایی نوع مواد و رنگدانه‌های مصرفی نیز یکی از مهم‌ترین مباحث فنی در حوزه مطالعات میراث فرهنگی است که کمتر در میان پژوهشگران این حوزه مطرح است به همین منظور در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از روش‌های غیرمخرب همچون تصویربرداری فنی (UVF, IRR, VIS)، طیف‌سنجی رامان پرتابل و طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس پرتابل به مطالعه یک اثر تاریخی از دوره تیموری پرداخته شود. اثر مورد نظر برگی از ظفرنامه تیموری مربوط به سده نهم هجری قمری است. مهم‌ترین رنگدانه‌های استفاده شده در این اثر شامل قرمز، آبی، سفید، سبز، طلایی، قهوه‌ای، کرمی و نارنجی است. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آنالیزها نشان‌دهنده استفاده از رنگدانه‌های آبی نیل، قرمز شنگرف و قرمز سرب (سرنج)، سفید سرب، سبز مالاکیت و زرد لیتارژ است. برخی دیگر از رنگدانه‌ها به صورت ترکیبی، توسط هنرمند ساخته شده است که برخی از نمونه رنگدانه‌های موجود در آنها شناسایی شده‌اند.

### اطلاعات مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۷/۱۷

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۱/۰۸/۲۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۹/۰۱

### کلیدواژگان:

ساختارشناسی،

آنالیز غیرمخرب،

نگارگری تیموری،

رنگدانه،

سده نهم هجری قمری.

استناد: قانونی، محسن؛ صدقی، یاسین؛ و سعیدی، سیده میترا (۱۴۰۱). بررسی ساختار رنگ‌های به کار رفته در یک قطعه نگارگری عهد تیموری با استفاده از روش‌های آنالیز غیرمخرب. *مجله فناوری آزمون‌های غیرمخرب*، ۳ (۱۱)، ۶۴-۷۱.

<http://doi.org/10.30494/JNDT.2022.363229.1104>

## ۱- مقدمه

به روش‌های آنالیز در محل و تاکید بر غیرمخرب بودن روش‌های بررسی که به آنها اشاره گردید با سه نوع روش روبرو می‌شویم<sup>۳</sup>. در گام نخست، از اثر تصویربرداری‌های نوری که یکی از جدیدترین متدهای شناسایی رنگدانه‌ها در آثار تاریخی است استفاده شد، اگرچه ذکر این مورد ضروری به نظر می‌رسد که استفاده از این روش‌ها تاحدودی چالش برانگیز و پیچیده هستند و ممکن است نتایج نامشخصی در برخی از آثار ارائه نمایند، زیرا رنگدانه‌ها اغلب در لایه‌های مختلف با یکدیگر ترکیب و روی هم قرار می‌گیرند تا رنگ و جلوه مورد نظر ایجاد شود [۲].

در گام دوم از روش‌های رامان پرتابل و روش طیف سنجی فلورسانس پرتوی ایکس پرتابل استفاده شده است. طیف‌سنجی رامان یک تکنیک ایده‌آل برای شناسایی رنگدانه‌ها است. طیف رامان در واقع می‌تواند به‌عنوان یک اثر انگشت استفاده شود که امکان شناسایی ترکیب را فراهم می‌نماید و تاکنون از این روش استفاده بسیاری در شناسایی بخش گسترده‌ای از مواد تاریخی به‌ویژه انواع مواد رنگی شده است که طیف‌های رامان شفاف را تولید کرده است [۳]. روش طیف‌سنجی فلورسانس پرتوی ایکس پرتابل نیز یک روش شناسایی چند عنصری با حساسیت بالا است که می‌توان از آن برای مطالعات غیرمخرب و بدون نمونه‌برداری از اثر انجام داد [۴]. به‌همین دلیل به‌منظور شناسایی نوع رنگدانه‌های استفاده شده در اثر مورد مطالعه سعی شد از روش‌های نامبرده استفاده شود تا علاوه بر پاسخ به پرسش اصلی پژوهش که شناسایی نوع رنگدانه‌هاست، بحث استفاده از روش‌های پرتابل و غیرمخرب در میراث فرهنگی مطرح گردد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱ معرفی اثر مورد مطالعه

اثر مورد بررسی نگاره‌ای از یک مجموعه کتاب‌آرایی

مطالعات ساختارشناسی، شیمیایی و همچنین تصویربرداری‌های علمی و فنی مختلف به‌منظور شناسایی نوع رنگدانه‌های به کار رفته در آثار تاریخی، همواره یکی از چالش‌برانگیزترین و مهم‌ترین موضوعات در حوزه باستان‌سنجی و حفاظت و مرمت آثار فرهنگی و تاریخی بوده است. در بسیاری از موارد شناخت نوع رنگدانه مصرفی در آثار هنری و تاریخی توانسته است به پژوهشگران این حوزه کمک شایانی در امر مرمت و حفاظت و نیز اصالت‌سنجی آثار بنماید [۱]. این امر میسر نخواهد بود مگر با استفاده از روش‌های فنی و مطالعات دستگامی، که باتوجه به اهمیت نوع آثار و اهداف مورد نظر، روش‌های آنالیز دستگامی مناسب، باید انتخاب و به‌کارگیری شوند. امروزه بهترین و سریع‌ترین نوع روش در مطالعات آثار تاریخی و فرهنگی استفاده از روش‌های غیرمخرب<sup>۱</sup> و آنالیز در محل<sup>۲</sup> است. این روش به پژوهشگر اجازه آنالیز از اثر در مکان نگهداری اثر، در سریع‌ترین زمان ممکن و بدون برداشت هیچ‌گونه نمونه و تخریب آن را ممکن می‌سازد. امروزه بحث نوع و چگونگی نمونه‌برداری و استفاده از روش‌های کارآمد دستگامی در مطالعات میراث فرهنگی بسیار قابل تأکید و از نکات کلیدی یک پژوهش صحیح است؛ چرا که روش‌های مخرب و نمونه‌برداری‌های تصادفی و غیرهدفمند منسوخ و جایگاه علمی خود را کمابیش از دست داده‌اند. روش‌های پرتابل و آنالیز در محل یکی از بهترین روش‌های اجرایی به منظور آنالیز آثار تاریخی است چرا که در لحظه مورد نیاز و در سریع‌ترین زمان ممکن، اثر، آزمایش و داده‌های حاصل از آن در اختیار پژوهشگران قرار داده می‌شود. برهمین اساس نمونه‌ای که در این پژوهش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است، یک اثر تاریخی منحصربه‌فرد و حساس متعلق به دوره تیموری بوده که نویسندگان این سطور استفاده از آنالیزهای فنی و دستگامی غیرمخرب و پرتابل را برای آن در نظر گرفته‌اند. به همین منظور سعی شده است تا از سه نوع روش مختلف غیرمخرب استفاده و نتایج آن در کنار یکدیگر همسنجی شوند. به‌دلیل محدودیت‌های موجود و دسترسی

<sup>۳</sup> استفاده از روش‌هایی با حساسیت بالا و دقیق‌تر نیازمند انتقال آثار به آزمایشگاه‌های مراکز مختلف و نیز خروج آثار از خزانه محل نگهداری است. در صورت خروج می‌توان به راحتی آثار را با روش‌های مختلفی همچون PIXE و یا SEM-EDX مطالعه نمود و پاسخی قاطع‌تر دریافت نمود. اما تکیه این پژوهش بر روی آنالیز اثر در محل نگهداری و غیرمخرب بودن روش‌ها بوده است.

<sup>۱</sup> Non-destructive (ND)

<sup>۲</sup> In Situ

می‌شود. همچنین کاربست رنگ طلائی بر زمینه لاجورد که در جامه‌ها و پرچم سربازان دیده می‌شود نیز این ادعا را تقویت می‌کند (شکل ۱-جدول ۱).



شکل ۱- اثر مورد مطالعه در پژوهش حاضر، نگارگری تیموری، نقاط آنالیز شده با عدد بر روی تصویر مشخص شده است. آرشیو اداره مرمت موسسه فرهنگی موزه‌های بنیاد

جدول ۱- مشخصات اثر مورد مطالعه

ردیف	عنوان	توضیحات
۱	نوع اثر	نگارگری
۲	نام اثر	میدان جنگ
۳	نام خالق	نامعلوم
۴	دوره تاریخی	تیموریان / نیمه دوم سده نهم ه.ق.
۵	مبدا	ایران / مکتب شیراز
۶	تکنیک ساخت	آبرنگ روی کاغذ
۷	طول	۴۴.۵ سانتی‌متر
۸	عرض	۳۲.۴ سانتی‌متر
۹	محل نمایش	موزه هنرهای ملی اصفهان

## ۲-۲ روش‌های تجربی

استفاده از روش‌های تصویربرداری نوری همچون

است که به صورت قطعه‌ای مجزا قاب و جدول کشی شده است. آنچه از محتوای اثر به دست می‌آید نگاره احتمالاً برگی از ظفرنامه تیموری که مربوط به فتوحات امیر تیمور گورکانی است، و توسط شرف‌الدین علی یزدی به نظم درآمده است. براساس ویژگی ساختاری نگاره، اثر نبرد فاتحانه سربازان جبهه تیمور لنگ و شخص وی را نشان می‌دهد که با توجه به تطبیق با نگاره‌های هم‌دوره آن موضوع اثر را به اثبات می‌رساند. پس از مرگ امیر تیمور در سال ۸۰۷ ه.ق. پسرش شاهرخ مرکز قلمرو را به سمت هرات گسیل داشت و به مدت ۴۲ سال در آنجا فرمانروایی کرد [۵]. پس از وی سه پسر شاهرخ به نام‌های بایسنقر، ابراهیم-سلطان و الغ‌بیگ به ترتیب کارگاه‌هایی را در هرات، شیراز و سمرقند برپا کردند. مهم‌ترین اثری که در شیراز و در زمان ابراهیم سلطان به وجود آمد نگارش ظفرنامه تیموری است که در سال ۸۲۸ ه.ق. به اتمام رسید. پس از آن نسخه‌های مختلفی از آن در مکاتب مختلف نگارگری تیموری نگاشته و مصور گردید [۶]. اما تحول مهم در این دوره مربوط به اقدامات اسکندر سلطان نواده تیمور بود که توانست مکتب نگارگری شیراز عهد تیموری را پایه‌ریزی کند و نخستین سبک منحصر به فرد شیراز را پایه‌گذاری کند. اسکندر سلطان و ابراهیم سلطان شاخص‌هایی را در مکتب شیراز عهد تیموری پایه‌گذاری کردند که بسیار مهم و تاثیرگذار بودند که به شکل‌گیری نگارگری پس از آن تا دوران صفویه و مکتب تبریز کمک شایانی کرده است. نسخه‌هایی از شاهنامه، ظفرنامه تیموری و جنگ‌هایی است که همگی سده نهم ه.ق. مصور گردیدند. نسخه‌های قدیمی ظفرنامه مانند نمونه به‌جای‌مانده از گالری فری‌یر مربوط به تاریخ ۸۳۷ ه.ق. به‌عنوان نخستین نمونه‌های به‌جای‌مانده از ظفرنامه تیموری است، اما نگاره به‌جای‌مانده و مورد بحث در این متن بیشتر شاخص‌های دوره تکامل تیموریان در نیمه دوم سده نهم ه.ق. را دارد. براساس آنچه می‌توان از نظر شمایل‌نگاری مورد بررسی قرار داد، شاخص مکتب نگارگری شیراز عهد تیموری با نگاره مورد بررسی در این مقاله تطابق دارد. آسمان طلائی درخشان، افق رفیع، رنگ‌بندی متنوع با رنگ‌های زنده، زمینه با گلبوته‌های گوناگون و اندام‌های کشیده در جامه‌های رنگین همگی جز شاخص‌های اصلی مکتب نگارگری شیراز عهد تیموری است که در نگاره دیده

همانند قهوه‌ای، صورتی و کرمی موجود در اثر با استفاده از این روش قابل شناسایی نیستند چرا که این رنگدانه ترکیبی بوده و نیز هیچگونه مرجعی برای شناسایی رنگ‌های ترکیبی وجود ندارد. همچنین نوع رنگدانه زرد و طلایی به کار رفته در اثر نیز به دلیل فلورسانس بالای رنگ‌های زرد با نمونه‌های مرجع و مقالات دیگر منتشر شده قابل قیاس نیستند (شکل ۲) [۷-۲].



شکل ۲- تصاویر گرفته به سه روش تصویربرداری فنی، آرشیو اداره مرمت موسسه فرهنگی موزه‌های بنیاد

رنگ آبی به کار رفته در اثر دارای فام‌های مختلفی است که بیشترین کاربرد آن مربوط به دو نوع فام آبی مصرفی است که از آنها آنالیز گرفته شده است. آنالیز رامان گرفته شده از رنگ آبی، باندهای (۵۳۷-۳۴۲-۲۴۹-۱۰۵۵-۷۴۵-۶۰۱-۵۵۴-۵۳۷)  $\text{cm}^{-1}$  را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده ترکیب چند نوع رنگدانه در ساخت رنگ آبی است. باندهای شناسایی شده نشان‌دهنده نیل (Indigo)، مالاکیت (Malachite)، سفید سرب (Lead White) و سیاه کربن (Carbon Black) است. آنالیز عنصری نشان‌دهنده عناصر (Pb, Fe, Au, Ni, Nb, Sn) است. آبی نیل دارای فرمول شیمیایی  $\text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2$  و مالاکیت دارای فرمول  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$  و سیاه کربن دارای فرمول C و همچنین سفید سرب دارای فرمول شیمیایی  $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$  است. آنالیز رامان انجام شده از رنگ قرمز نشان‌دهنده باندهای (۵۳۷-۳۴۲-۲۴۹  $\text{cm}^{-1}$ ) است. در دو نقطه از رنگ قرمز اثر آنالیز رامان انجام شده است که هر دو نقطه، دارای طیفی مشابه هم بوده و نقاط یکسانی را نشان می‌دهند. پیک نشان داده شده، بیانگر قرمز شنگر (Cinnabar) (۳۴۲-۲۴۹) است [۸]. پیک ۵۳۷ نشان‌دهنده رنگ طلایی است. باتوجه به اینکه زمینه اثر با رنگ زرد طلایی نقاشی

فلورسانس مرئی فرابنفش ( $\text{UVF}^1$ )، مادون قرمز بازتابی ( $\text{IRR}^2$ ) و مرئی بازتابی ( $\text{VIS}^3$ ) به منظور مطالعه اثر مدنظر قرار گرفته شده است. تصاویر با دوربین Nikon D750 پس از حذف فیلتر داخلی UV-IR گرفته و با به کارگیری فیلترهای فوق و نیز دوربین مجهز به لنز Nikon AF Nikkor 50 mm f/1.8D بوده است. دوربین در حالت دستی قرار داشته است.

دستگاه رامان مورد استفاده در این پژوهش از نوع پرتابل (دستی) (Handheld Raman Analyzer) بوده است. مدل دستگاه First Guard، شرکت سازنده آن Rigaku و محصول کشور آمریکا (USA) است. محدوده‌ی طیفی آن  $2000-200 \text{ cm}^{-1}$  و دارای طول موج لیزر ۱۰۶۴ nm است. به منظور آنالیز عنصری از رنگ‌های به کار رفته در اثر از روش طیفسنجی فلورسانس پرتوی ایکس پرتابل (Micro-XRF) استفاده شده است. دستگاه استفاده شده در این پژوهش مدل Niton XL3t، ساخت شرکت Thermo Scientific<sup>TM</sup> محصول کشور آمریکا (USA) است.

### ۳- بحث و تحلیل داده‌ها

تصویربرداری‌های نوری انجام شده از نمونه موردنظر تا حدودی نشان‌دهنده نوع رنگدانه‌های به کار رفته در اثر است. براساس یافته‌های حاصل و مقایسه آنها با داده‌های مرجع می‌توان تا حدودی درباره مواد رنگی به کار رفته اظهار نظر نمود که باید نتایج این بخش با یافته‌های دیگر آنالیزها همسنگی و مطابقت داده شوند. نتایج این بخش نشان‌دهنده استفاده از دو نوع رنگدانه آبی در ساخت ترکیبات رنگی آبی است که یکی از رنگدانه‌ها آبی نیل و دیگری به صورت ترکیبی (به- علت ترکیب برخی رنگدانه‌ها با رنگدانه‌های دیگر امکان شناسایی سریع آن وجود ندارد) ساخته شده است. نیازمند مطالعات آزمایشگاهی برای شناخت آن است. رنگدانه سبز نیز دو نوع است که می‌تواند مالاکیت/زنگار و نیز یک نمونه رنگدانه ترکیبی (ترکیب آبی و زرد) باشد. همچنین دو نوع رنگدانه قرمز قابل تشخیص است که می‌تواند شنگر و یا قرمز سرنج باشد. رنگدانه سفید نیز می‌تواند از نوع ژپس و سفید سرب باشد. رنگ‌های ترکیبی

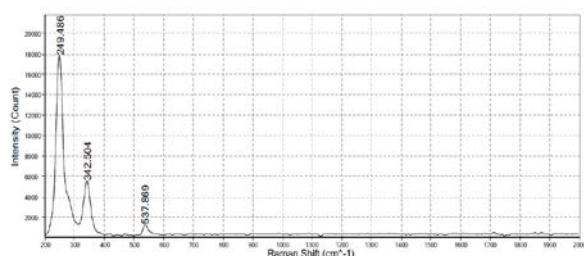
<sup>1</sup> Ultra-Violet Fluorescence

<sup>2</sup> Infrared Reflectography

<sup>3</sup> Visible-Reflected

شده است احتمال حضور باند مربوط به رنگ طلائی در بیشتر طیف‌های آنالیز رامان قابل مشاهده خواهد بود [۹]. این موضوع در آنالیزهای عنصری گرفته شده از رنگ‌های مختلف قابل اثبات است چرا که عنصر Au در بیشتر آنالیزهای عنصری قابل مشاهده است. همچنین پیک مربوط به حضور سفید سرب قابل مشاهده است که عنصر Pb نیز در ترکیب موجود است. آنالیز عنصری نشان‌دهنده عناصر (Hg, Pb, Fe, Sn, Au, Zn, Cu, Ag) در رنگ قرمز است. شنگرف دارای ترکیب HgS است که عنصر جیوه شناسایی شده می‌تواند مربوط به آن باشد، و احتمالاً قرمز روشن بیانگر حضور Fe در ترکیب است [۱۰]. در این بین باید به این نکته اشاره نمود که در برخی از آنالیزهای رامان به دلیل اینکه نمونه مرجعی برای تطبیق وجود نداشته، محتمل‌ترین نتایج ارائه شده است. چرا که کمتر پژوهشگری با استفاده از روش طیف‌سنجی رامان پرتابل با طول موج ۱۰۶۴ nm به شناسایی رنگدانه پرداخته است (شکل ۳ و ۴).

نمونه رنگ زرد است. بنابر نتایج آنالیزهای صورت گرفته، رنگ زرد از ترکیب زرد طلائی/ لیتارژ و سفید سرب تشکیل شده است. البته نوع ترکیب شیمیایی به‌دست آمده تا حدودی ناخالصی‌های موجود در ترکیب رنگ زرد را نشان می‌دهد. آنالیز رامان رنگ قهوه‌ای نشان‌دهنده باندهای (۵۳۶-۵۵۷-۵۵۹-۶۹۹-۱۱۲۰-۱۲۹۰-۱۳۴۲-۱۴۸۹-۱۵۲۲-۱۵۸۶-۱۶۰۴)  $\text{cm}^{-1}$  است. آنالیز عنصری نشان‌دهنده عناصر (Pb, Fe, Ca, Ga, Cr, Kr, Nb, Ba) در نمونه رنگ قهوه‌ای است. این رنگ می‌تواند براساس آزمایش‌های گرفته شده ترکیبی از چند نوع رنگدانه همچون سفید سرب، سیاه کربن، گوتیت و زرد لیتارژ باشد [۱۳].



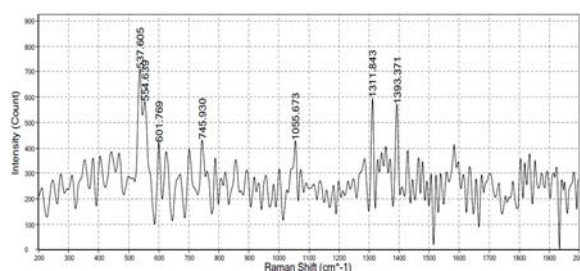
شکل ۴- طیف رامان رنگ قرمز

رنگ سفید نشان‌دهنده پیک‌های (۵۳۷-۵۵۵-۱۰۵۱-۱۳۱۲) است. همچنین آنالیز عنصری بیان‌کننده عناصر (Pb, Fe, Sn, Cu, As, Hg) در نمونه سفید است. سرب به‌دست آمده در آنالیز عنصری بیان‌کننده این موضوع است، اما پیک‌های دیگری که نشان‌دهنده ژیپس و لیتارژ است در این طیف دیده می‌شود. آنالیز رامان گرفته شده از بخش کرمی رنگ و صورت سرباز، پیک‌های (۵۳۷-۱۳۱۲) را نشان می‌دهد. همچنین آنالیز pXRF نشان‌دهنده عناصر (Pb, Hg, Sn, Au, Zn, Fe, Ag, Mn) در رنگ کرمی بوده است، که نشان‌دهنده رنگدانه‌های سفید سرب و زرد لیتارژ است. بسیاری از عناصر به‌دست آمده مربوط به ناخالصی‌های موجود در رنگدانه طلائی و احتمالاً دیگر رنگدانه‌ها است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شده است تا با به‌کارگیری برخی روش‌های آنالیز و تصویربرداری نوری به شناسایی نوع رنگدانه‌های استفاده شده در یک اثر نگارگری از ظرف‌نامه تیموری پرداخته شود. باتوجه به اهمیت و حساسیت نمونه نگارگری، سعی شده است تا از روش‌های غیرمخرب و آنالیز

شده است احتمال حضور باند مربوط به رنگ طلائی در بیشتر طیف‌های آنالیز رامان قابل مشاهده خواهد بود [۹]. این موضوع در آنالیزهای عنصری گرفته شده از رنگ‌های مختلف قابل اثبات است چرا که عنصر Au در بیشتر آنالیزهای عنصری قابل مشاهده است. همچنین پیک مربوط به حضور سفید سرب قابل مشاهده است که عنصر Pb نیز در ترکیب موجود است. آنالیز عنصری نشان‌دهنده عناصر (Hg, Pb, Fe, Sn, Au, Zn, Cu, Ag) در رنگ قرمز است. شنگرف دارای ترکیب HgS است که عنصر جیوه شناسایی شده می‌تواند مربوط به آن باشد، و احتمالاً قرمز روشن بیانگر حضور Fe در ترکیب است [۱۰]. در این بین باید به این نکته اشاره نمود که در برخی از آنالیزهای رامان به دلیل اینکه نمونه مرجعی برای تطبیق وجود نداشته، محتمل‌ترین نتایج ارائه شده است. چرا که کمتر پژوهشگری با استفاده از روش طیف‌سنجی رامان پرتابل با طول موج ۱۰۶۴ nm به شناسایی رنگدانه پرداخته است (شکل ۳ و ۴).



شکل ۳- طیف رامان رنگ آبی

در یکی دیگر از نقاط که آنالیز رامان گرفته شده است، طیف‌های مربوط به رنگدانه قرمز سرنج نشان داده می‌شود. از این رنگ در رنگ قرمز تزئین لباس‌های سربازان استفاده شده است. آنالیز رامان رنگ سبز نشان‌دهنده باندهای (۲۹۳-۳۴۱-۳۶۳-۳۸۴-۴۵۳-۸۳۶-۹۷۵-۱۰۱۰-۱۲۵۶-۱۲۷۶-۱۲۹۴-۱۳۲۱-۱۳۴۹-۱۳۶۵-۱۴۶۶-۱۵۷۷-۱۶۰۲-۱۶۱۹)  $\text{cm}^{-1}$  است [۹]. آنالیز عنصری نشان‌دهنده عناصر (Hg, Sn, Au, Zn, Cu, Fe, Pb, Ag) در نمونه رنگ سبز است. طیف رامان نشان‌دهنده رنگدانه سبز مالاکیت  $(\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2)$ ، سیاه کربن، ژیپس  $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  و آزوریت  $(\text{Cu}_3[\text{OH}|\text{CO}_3]_2)$  است [۱۲].

آنالیز رامان رنگ طلائی نشان‌دهنده باندهای (۵۳۷-۵۵۵-۱۳۱۲-۱۶۱۹)  $\text{cm}^{-1}$  است. همچنین آنالیز عنصری نشان‌دهنده عناصر (Pb, Hg, As, Sn, Au, Zn, Cu, Fe) در

رنگ‌های پایه در نقاشی آبرنگ باشد، از اینرو است که در بسیاری از موارد شناسایی شده است. آنالیز گرفته شده از رنگ‌های قهوه‌ای ترکیبی از چند نوع رنگدانه همچون سفید سرب، سیاه کربن، گوتیت و زرد طلائی / لیتارژ است. همچنین رنگ کرمی نشان‌دهنده ترکیب دو رنگدانه سفید سرب و زرد لیتارژ است.

استفاده از روش‌های غیرمخرب و آنالیز در محل به منظور مطالعه و بررسی آثار تاریخی و میراث فرهنگی یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مطالعه آثار مذکور است که امروزه به طوری جدی باید روش‌ها و کارآیی‌های گوناگون آن را واکاوی نمود. برداشت نمونه و تخریب آثار تاریخی به بهانه حفاظت و مرمت آنها گامی اشتباه و خطرناک محسوب می‌شود. به همین منظور تکیه اصلی این پژوهش مطالعه و نتیجه‌گیری با استفاده از روش‌های غیرمخرب و آنالیز در محل بوده است تا پیشنهادی برای دیگر همکاران و پژوهشگران حوزه حفاظت و مرمت آثار تاریخی گردد.

#### ۵- قدردانی و تشکر

پژوهش حاضر با حمایت‌های مادی و معنوی مؤسسه فرهنگی موزه‌های بنیاد مستضعفان انجام شده است که بدین وسیله از آن مدیریت سپاسگزاری و قدردانی می‌گردد. همچنین از تمامی اعضای گروه اداره مرمت و مهندس بهروز جلوداریان قدردانی می‌شود. همچنین از سرکار خانم نظری تکنسین آزمایشگاه کیمیاژی به منظور همراهی و انجام آنالیزهای پرتابل در اداره مرمت بنیاد تشکر و قدردانی می‌گردد، چراکه بدون کمک‌های تمامی این عزیزان تحقق این پژوهش امکان‌پذیر نمی‌بود.

#### ۶- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

#### ۷- منابع

- [1] JH. Clark, Robin. Applications of Raman Spectroscopy to the Identification and Conservation of Pigments on Art Objects. *Handbook of vibrational spectroscopy*, 2006.
- [2] A. Cosentino. Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science* 2.1, pp. 1-12, 2004.
- [3] B. Wehling, , et al. Investigation of pigments in

در محل استفاده شود، در همین راستا تمامی تجهیزات آزمایشگاهی به محل نگهداری اثر انتقال و آنالیزها انجام شدند. داده‌های به دست آمده و نتایج حاصل از آنها به خوبی ثابت می‌نماید روش‌های آنالیز غیرمخرب برای بسیاری از نمونه‌های تاریخی حساس و موجود در خزانه‌های مجموعه‌های میراث فرهنگی و هنری که امکان خروج برای آنها وجود ندارند، می‌تواند مفید واقع شود تا پژوهشگران به دنبال برداشت نمونه و در پی آن تخریب اثر نباشند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در بسیاری از نمونه رنگدانه‌های ساخته شده از جمله کرمی، قهوه‌ای، نارنجی، یک نوع سبز و یک نوع آبی رنگ‌هایی ترکیبی بوده‌اند که توسط هنرمند ساخته شده‌اند. برای شناسایی این نوع رنگدانه‌ها یا باید به پالت رنگی هنرمند دست یافت یا با استفاده از روش‌های علمی پیچیده نمونه‌های ترکیبی، ساخته تا مرجعی برای تطابق نمونه‌ها و شناسایی آنها باشد. اما برخی از رنگدانه‌ها به خوبی شناسایی شدند. مثلاً رنگدانه آبی استفاده شده در این اثر دارای دو طیف رنگی است که یکی از نوع نیل و دیگری از نوعی رنگدانه‌ای ترکیبی است که حاوی رنگدانه‌های سفید، سیاه کربن، مالاکیت و همچنین نیل است که در اینجا هنرمند برای ساخت رنگ آبی طیفی متفاوت از ترکیب رنگدانه‌ها استفاده نموده است. رنگدانه قرمز شناسایی شده از دو نوع قرمز شنگرف و قرمز سرب است. رنگدانه سبز می‌تواند از نوع مالاکیت باشد. در شناسایی رنگدانه‌های سبز دو نوع رنگدانه می‌توان مشاهده نمود که نمونه دومی ترکیبی و ساخته شده توسط هنرمند اثر است. برای رنگ زرد دو نوع ترکیب می‌توان در نظر گرفت، ترکیب اول شناسایی شده رنگدانه لیتارژ و ترکیب دومی که هنرمند برای ساخت رنگ طلائی و زرد در این اثر استفاده نموده، رنگدانه‌ای حاوی پودر طلا با ناخالصی‌های همچون مس، روی، قلع و نقره است. ذکر این مورد الزامی است که در بیشتر طیف‌های رامان و عناصر شناسایی شده عنصر طلا وجود دارد، این مورد می‌تواند به علت زیرسازی اثر با استفاده از رنگ طلائی باشد. رنگ سفید به کار رفته در تزئینات اثر مورد نظر از نوع سفید سرب و تا حدودی شاید به توان گفت ژپس می‌تواند باشد. اما از سفید سرب در بسیاری از رنگدانه‌های به کار گرفته شده به ویژه رنگ‌های ترکیبی استفاده شده است، چراکه سفید می‌تواند یکی از

Feb;50(2), pp.150-60, 2019.

- medieval manuscripts by micro Raman spectroscopy and total reflection X-ray fluorescence spectrometry. *Microchimica Acta* 130.4, pp. 253-260, 1999.
- [4] J. Ruvalcaba Sil. et al. SANDRA: a portable XRF system for the study of Mexican cultural heritage. *X-Ray Spectrometry* 39.5, pp. 338-345, 2010.
- [5] R. Pakbaz. Persian Painting: from yesterday to tomorrow. Zarin and Simin Publication, 2019.
- [6] B. Gray. Persian Painting. (Araabali Sherveh Trans.), Donyayeh Now Publication, 2013.
- [7] A. Koochakzaei, S. Alizadeh Gharetapeh, and B. Jelodarian Bidgoli. Identification of pigments used in a Qajar manuscript from Iran by using atomic and molecular spectroscopy and technical photography methods. *Heritage Science* 10.1, pp. 1-16, 2022.
- [8] V. Guglielmi, M. Andreoli, V. Comite, A. Baroni, P. Fermo, The combined use of SEM-EDX, Raman, ATR-FTIR and visible reflectance techniques for the characterisation of Roman wall painting pigments from Monte d'Oro area (Rome): an insight into red, yellow and pink shades. *Environmental Science and Pollution Research*. Apr;29(20):29419-37, 2022.
- [9] I. Lukačević, G. Theodore, and T. Katsaros, Pigments Identification Using Raman Spectroscopy of the 16th Century Printed Book "Osorio". *Euro-Mediterranean Conference*. Springer, Cham, 2016.
- [10] K. Sugihara, K. Tamura, M. Satoh, Y. Hayakawa, Y. Hirao, S. Miura, ... & Y. Tokugawa, Analysis of pigments used in scroll paintings of a national treasure "Tale of Genji" using a portable x-ray fluorescence spectrometer. *Adv X-ray Anal*, pp. 44, 432-41, 2001.
- [11] A. Klisińska-Kopacz, Non-destructive characterization of 17th century painted silk banner by the combined use of Raman and XRF portable systems. *Journal of Raman Spectroscopy*. Mar;46(3), pp. 317-21, 2015.
- [12] A. Coccato, D. Bersani, A. Coudray, J. Sanyova, L. Moens, and P. Vandenabeele, Raman spectroscopy of green minerals and reaction products with an application in Cultural Heritage research. *Journal of Raman Spectroscopy*, 47(12), pp.1429-1443. 2016.
- [13] A. Sodo, L. Tortora, P. Biocca, A. Casanova Municchia, E. Fiorin, MA. Ricci, Raman and time of flight secondary ion mass spectrometry investigation answers specific conservation questions on Bosch painting Saint Wilgefortis Triptych. *Journal of Raman Spectroscopy*.