



## مطالعه فن‌شناسی پالت رنگ آثار نقاشی سه پایه‌ای جعفر چهره‌نگار در موزه مجلس شورای اسلامی

کورس سامانیان<sup>۱\*</sup>، حمیده عباسیان<sup>۲</sup>، زهرا عباسی<sup>۳</sup>

- ۱- استادیار، گروه مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی و مطالعات موزه، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۱۱۵۵-۶۵۵  
 ۲- کارشناسی ارشد مرمت آثار فرهنگی و تاریخی دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۱۱۵۵-۶۵۵  
 ۳- دانشجوی دکتری مرمت آثار فرهنگی و تاریخی دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۱۱۵۵-۶۵۵  
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۶/۶/۲۰

### چکیده

دوره پهلوی (۱۳۰۴-۱۳۷۵ ه.ش) در تاریخ هنر ایران از ویژگی‌های خاصی برخوردار است. به دلیل نفوذ فرهنگ و هنر غربی در این دوره، هنر و آثار نقاشان ایران به شدت تحت تأثیر هنر و فرهنگ غرب قرار می‌گیرد. این تأثیر و نفوذ هنر غربی از مدت‌ها قبل یعنی در دوره صفوی آغاز گردیده بود که در دوره قاجار و پهلوی به اوج خود می‌رسد. مطالعات زیادی در رابطه با روش و مواد مورد استفاده در نقاشی‌های دوره صفوی و قاجار انجام گردیده است اما در رابطه با مواد مورد استفاده در نقاشی‌های دوره پهلوی مطالعات کمی صورت پذیرفته است. این مقاله سعی در بررسی مواد، مصالح و روش‌های به کار رفته و همچنین بررسی تأثیر فرهنگ و هنر غربی در تابلوهای پرتره "حسن اسفندیاری"، "محمدعلی فروغی" و "محمود احتشام‌السلطنه" از مجموعه نقاشی‌های جعفر چهره‌نگار (یکی از هنرمندان دوره پهلوی) در موزه مجلس شورای اسلامی را دارد. روش‌های تجزیه و تحلیل FT-IR، PLM، SEM-EDS و XRF به علاوه مطالعات تاریخی، روش‌های بنیانی در شناسایی رنگدانه‌ها و الیاف مورد استفاده در این تابلوها می‌باشند. با توجه به نتایج و تحلیل‌های انجام شده، رنگدانه‌های سفید سرب، سفید روی، سفید کلسیت، زرد اکر، اکسید آهن، قرمز اخرا، لاجورد و نیل مورد استفاده چهره‌نگار در تابلوهای بررسی شده در این تحقیق، تحت تأثیر دوره‌های هنری پیش از پهلوی در ایران می‌باشد. همچنین استفاده از سفید تیتانیم، سبز کروم، زرد روی، کرومات سرب زرد رنگ و قرمز رنگ و آبی پروس در این تابلوها، به تأثیر از هنرمندان خارجی و مواد وارداتی جدید بوده است. همچنین الیاف مورد استفاده برای بوم‌سازی تابلو کتان تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: نقاشی سه پایه‌ای، جعفر چهره‌نگار، رنگدانه، PLM، XRF، SEM-EDS، FT-IR.

## Technical Study of The Materials in Three Tablout Atrributed to Jafar-E-Chehrehnegar, in the Museum of the Iranian Islamic Parliament

K. Samanian, H. Abbasian, Z. Abbasi

Faculty member at the University of Arts, P. O. Box: 11155-655, Tehran, Iran.

Received: 18-08-2016

Accepted: 22-05-2017

Available online: 11-09-2017

### Abstract

Pahlavi Period has a special feature in the history of art in Iran. Due to the influence of Western's art and culture during this period, paintings and art are greatly influenced. The influence of Western art was beginning from long ago of the Safavid dynasty, which reached its peak in Qajar and Pahlavi period. This paper attempts to identify the materials used in Pahlavi easel paintings. For this purpose, the boards' portrait Hassan Esfandiari ", " portrait of Muhammad Ali Foroughi "and" Mahmoud Ehteshamosaltaneh portrait " from paintings collection of Jafar-e-Chehrehnegar, in the Museum of the Iranian Islamic Parliament will be used as a case study. Techniques for analyzing PLM, FT-IR, SEM-EDS, XRF, as well as historical studies, basic procedures the identification of pigments and fibers are used in the painting. According to the results of the analysis carried out, the artist used white lead, zinc white, calcite white, yellow ochre, iron oxide, red ochre, ultramarine, Indigo Blue, under the influence of artistic periods before Pahlavi in Iran. And used titanium white, green chrome, yellow zinc and lead chromate yellow and red, Prussian blue, under the impact of foreign artists and new materials have been imported. The fibers used for making canvas painting: canvas was diagnosed. J. Color Sci. Tech. 11(2017), 121-136©. Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Easel painings, Jafar-e-chehrehnegar, Pigments, PLM, XRF, FT-IR, SEM-EDS.

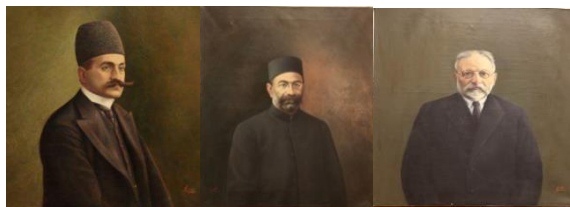
## ۱- مقدمه

کاغذسازی می‌توان مشاهده نمود [۱۹]. در این بین پژوهش‌های صورت گرفته در رابطه با بررسی رنگدانه‌ها در حوزه هنری نیز قابل مشاهده هستند [۲۱، ۲۰]. بررسی‌ها و مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه و پژوهشی در راستای معرفی، شناسایی و تحلیل بخش خاصی از نقاشی‌های سه‌پایه‌ای، از آغاز تاریخ معاصر ایران صورت نگرفته است؛ همچنین، تأکید خاصی بر مواد و مصالح نقاشی-های این دوره به چشم نمی‌خورد. در رابطه با شناسایی رنگدانه‌های هنری، بیشترین تحقیق در رابطه با آثار دوره قاجار به چشم می‌خورد [۱۶-۱۳]. به عنوان مثال می‌توان به دو مقاله سامانیان و همکارانش اشاره داشت که در هر دوی آنها، می‌توان به اهمیت مطالعات تاریخی و هنری، در کنار روش‌های تجزیه و تحلیل دستگاهی، برای شناسایی روش و مواد به کار رفته در اثر هنری، پی برد. محققان در یکی از این مقاله‌ها، سعی دارند مواد مورد استفاده در نقاشی سه‌پایه‌ای قاجار را شناسایی کنند [۱۸، ۱۷]. همچنین جهت انتخاب بهترین روش شناسایی رنگدانه‌های هنری، روش‌های تجزیه و تحلیل میکروسکوپ پلاریزه<sup>۱</sup>، طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه<sup>۲</sup>، میکروسکوپ الکترونی روبشی همراه با طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس<sup>۳</sup>، فلورسانس پرتو ایکس<sup>۴</sup> در حیطه نقاشی مورد بررسی قرار گرفتند. همان‌طور که ال-آیو و گافین در پژوهش خود ذکر می‌کنند، در برخی موارد، شناسایی رنگدانه تنها با ترکیب نتایج تحلیلی روش‌های مختلف ممکن است. آنها در این تحقیق، نتایج به‌دست آمده از میکروسکوپ نوری<sup>۵</sup> و میکروسکوپ الکترونی روبشی در ترکیب با انرژی تجزیه و تحلیل پراش پرتو ایکس و فلورسانس میکروپرتو ایکس<sup>۶</sup> را با نتایج اسکن نانومتر رامان<sup>۷</sup> مقایسه و در نهایت، رنگدانه‌ها را معرفی کرده‌اند [۱۹]. در رابطه با روش شناسایی رنگدانه‌های هنری می‌توان گفت روش FT-IR، به عنوان روش اصلی، با پشتیبانی روش دیگری، به‌عنوان مکمل، برای شناسایی و تجزیه و تحلیل رنگدانه‌های هنری استفاده شده است. به عنوان مثال میلیانی، در پژوهش خود، از ویژگی‌های خاص FT-IR و همچنین، امکان استفاده از دستگاه‌های قابل حمل در محل، برای شناسایی رزین‌ها و پلیمرهای طبیعی در نقاشی‌های سه‌پایه‌ای استفاده کردند [۲۰]. در بسیاری از این پژوهش‌ها، روش FT-IR و SEM-EDS، به عنوان روش‌های مکمل یکدیگر، برای آنالیز به کار رفته است [۲۱، ۲۲].

در رابطه با مواد مورد استفاده هنرمندان دوره پهلوی جای خالی تحقیق و پژوهش در این زمینه به وضوح احساس می‌شود چرا که

دوره پهلوی در تاریخ هنر ایران از اهمیت خاصی برخوردار است. چرا که در این دوره، هنر و آثار نقاشان ایران به شدت تحت تأثیر هنر و فرهنگ غرب قرار می‌گیرند [۱]. با شروع ارتباطات ایران با اروپا، در همان نخستین سال‌های حکومت خاندان صفوی، تأثیرات بر روی هنر ایران نیز آغاز می‌شود [۲]. از آغاز تا پایان دوره قاجار به مرور مشخصات هنر ایران کم شد و کپی‌برداری از آثار استادان رنسانس اروپا رواج بیشتری یافت. به گفته پاکباز میرزا بابا (نخستین نقاشباشی دربار قاجار) از جمله کسانی بود که باعث رواج رنگ روغن در ایران شد [۱]. به مدد محمد غفاری معروف به کمال‌الملک، یکی از مشهورترین و پر نفوذترین شخصیت‌های تاریخ هنر معاصر ایران [۳]، جریان دوپست ساله تلفیق سنت‌های ایران و اروپا پایان یافت و سنت طبیعت‌گرایی اروپایی در قالب هنری آکادمیک تثبیت شد [۴]. مکتب کمال‌الملک و شاگردانش از حیث صوری و اجرایی و فنی مکتبی تمام و کمال فرنگی است [۵]. قریب به اکثریت نقاشان دوره پهلوی، با پیروی از تعلیمات مستقیم یا غیرمستقیم کمال‌الملک، از نقاشی اروپایی و روش‌های مدرن تأثیر گرفتند. جعفر چهره‌نگار، یکی از نقاشان دوره پهلوی و به احتمال قوی از شاگردان غیرمستقیم کمال‌الملک است [۷، ۶، ۳]. در این مقاله، سه عدد از پرتونه‌نگارهای رجال مجلس شورای ملی، از بین ۹ اثر جعفر چهره‌نگار در موزه مجلس شورای اسلامی، انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در میان بررسی‌ها و مطالعات پیشین، در منابع موجود فارسی و غیرفارسی، نگارنده هیچ مورد مکتوبی در باب پرتونه‌نگارهای رجال مجلس شورای ملی مشاهده نکرد و از این منظر، پژوهش حاضر می‌تواند نخستین پژوهش در این زمینه باشد. در کتبی مانند کمال هنر [۸]، مکتب کمال‌الملک [۹]، یادنامه کمال‌الملک [۵] و احوال و آثار نقاشان قدیم ایران [۶]، اسامی شاگردان مستقیم کمال‌الملک و زندگی‌نامه آنها بیان شده اما، به احوال نقاشان پس از کمال‌الملک و همچنین، نوع مواد و رنگ‌های به‌کاررفته در آثار آنان اشاره‌ای نشده است. همچنین، در کتب تاریخ هنرهای ملی و هنرمندان ایرانی [۱۰]، آشنایی با مکاتب نقاشی [۱۱]، نگاهی به نگارگری در ایران در سده‌های ۱۲ و ۱۳ هـ.ق [۲]، هنرمند ایرانی و مدرنیسم [۱۲] و نقاشی ایران [۱]، که موضوع آنها بررسی تاریخی هنر نقاشی ایران و هنرمند ایرانی است، برخلاف عنوان کلی، تمام جنبه‌های قابل مطالعه در نقاشی ایران بررسی نشده و صرفاً به بررسی تاریخی موضوعات و نوع ترکیب‌بندی در نقاشی دوره‌های مختلف هنری، تحت تأثیر تحولات اجتماعی و فرهنگی و جابه‌جایی‌های سیاسی اکتفا شده است. مطالعه‌ای در رابطه با مواد و روش کار هنرمندان صورت نگرفته است. در حال حاضر، در بین پژوهش‌های داخلی، موضوعات متنوعی را در زمینه بررسی رنگدانه‌ها در حوزه‌های بررسی ساختار و شناسایی رنگدانه‌ها [۱۷-۱۳]، بررسی رنگدانه‌های طبیعی و شیوه‌های استخراج آنها [۱۸] و همچنین در حوزه اهمیت و کاربرد رنگدانه‌ها در صنایع

- 1- Polarized Light Microscope (PLM)
- 2- Fourier Transform Infrared Spectroscopy ( FTIR)
- 3- Scanning Electron Microscopy coupled with Energy Dispersive X- Ray (SEM-EDS)
- 4- X-Ray fluorescence ( XRF)
- 5- Optical Microscopy ( OM)
- 6- Micro -X-Ray fluorescence (M- XRF)
- 7- Nano-Raman Spectrometry(NRS)



شکل ۱: (الف) پرتره حسن اسفندیاری، جعفر چهره‌نگار، نقاشی رنگ‌روغن، ۸۵×۹۹، ۱۹۳۶ میلادی، (ب) پرتره محمد علی فروغی، جعفر چهره‌نگار، نقاشی رنگ‌روغن، ۸۶×۹۹، ۱۹۳۶ میلادی، (ج) پرتره محمود احتشام‌السلطنه، جعفر چهره‌نگار، نقاشی رنگ‌روغن، ۸۳×۹۹، تاریخ: نامشخص. منبع: نگارنده. محل نگهداری: موزه مجلس شورای اسلامی.

بر اساس ماهیت پژوهش، روش تحقیق، به‌صورت پژوهش آزمایشی و تحلیلی ارائه می‌شود؛ با وجود اینکه، روش‌های FT-IR و SEM-EDS در کنار هم، روش‌های مناسبی جهت شناسایی رنگدانه‌های هنری محسوب می‌شوند، در این تحقیق برای اطمینان از صحت نتایج و از بین بردن ابهامات موجود در شناسایی نمونه‌ها، از روش XRF نیز استفاده شده است. همچنین برای شناسایی الیاف تکیه‌گاه آثار، مشاهده با PLM استفاده شده است. مجموعه این روش‌ها، نتایج محکم‌تری ارائه می‌دهد. علاوه بر این، از مطالعات تاریخی نیز برای تکمیل و پیشبرد موضوع استفاده می‌شود و در نهایت، روش یافته‌اندوزی بر پایه داده‌های حاصل از ابزارهای مطالعاتی همچون کتابخانه، اینترنت و آزمایشگاه استوار است. تجمع این داده‌ها در کنار هم، مجموعه یکپارچه و مرتبطی از مطالعات تجربی و توصیفی است که رسیدن به اهداف این پژوهش را میسر می‌سازد. برای انجام مراحل مختلف این تحقیق، مرحله مستندنگاری اثر با دوربین دیجیتال تک‌لنزی انعکاسی Power Shot A490 ساخت شرکت Canon انجام پذیرفته است همچنین از نرم‌افزار Adobe Photoshop CS4 برای تدوین تصاویر جهت مستندنگاری دیجیتال استفاده شده است. از دستگاه طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه، ساخت شرکت Bruker آلمان مدل Tensor 27 با محدوده عدد موجی بین ۴۰۰ تا ۴۰۰۰  $\text{cm}^{-1}$ ، برای شناسایی و تجزیه و تحلیل رنگدانه‌ها، چسب‌ها و بست‌ها، از دستگاه میکروسکوپ پلاریزه، ساخت شرکت Jenuse مدل BK-POL، برای شناسایی و آنالیز الیاف مورد استفاده در تابلوها، از دستگاه XRF، ساخت شرکت Bruker آلمان مدل S1 Tracer، برای شناسایی عناصر موجود در برخی رنگدانه‌های مورد استفاده در تابلوها و از دستگاه SEM-EDS، مدل VEGA\\TESCAN-XMU، به‌منظور شناسایی و تجزیه کمی و کیفی مواد موجود در نمونه برداشتی از تابلوها استفاده شده است. گراف‌های موجود در نتایج بررسی‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌ها، با پایگاه داده گراف‌های طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه نرم‌افزار

اطلاعات ما در زمینه مواد مورد استفاده هنرمندان سرزمینمان عموماً منحصر به نسخ خطی به جای مانده از دوران تیموری و صفوی می‌باشد [۲۳]. با توجه به نتیجه‌گیری پاکباز مبنی بر این‌که، نقاشی ایران در خلال دو قرن، قبل از آغاز دوره معاصر، عرصه چالش عناصر ایرانی و اروپایی است، ولی سرانجام عنصر اروپایی پیروز می‌شود [۱۵]، می‌توان اهمیت دوره تاریخی پهلوی را درک نمود. در این دوره نقاشی ایرانی شکل جدیدی به خود گرفته بوده است. در این بین برخی از نقاشان راه تجدد و تقلید از هنر غرب را در پیش گرفتند [۲۴]. حال این سؤال مطرح می‌شود که آیا می‌توان فرض نمود که جعفر چهره‌نگار، به عنوان هنرمند دوره پهلوی، تحت تأثیر عوامل خارجی، مواد مورد استفاده خود در نقاشی‌ها را دستخوش تغییر قرار داده است؟ و یا خیر، همچنان در ادامه هنر گذشتگان خود گام برداشته است؟ و آیا در سه تابلوی مورد بحث جعفر چهره‌نگار، تأثیرات اروپا فقط در باب مضمون نقاشی‌ها بوده و یا اینکه در حیطه مواد و رنگدانه‌های مورد استفاده، روش نیز تأثیرگذار بوده است؟ مرزبانی اظهار می‌کند که در دوره‌هایی که گرایش به غرب بیشتر می‌شود، نقاشان فقط از پوسته روش استفاده کرده و توجهی به مغز و محتوای آن نداشته و خود به خود نقاشی ایرانی از رشد و درجه‌ای که بدان دست پیدا کرده بود، باز ماند [۲۵].

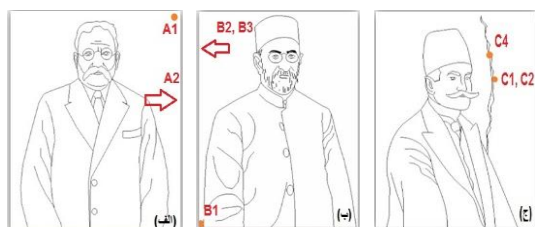
این مقاله به دنبال آنالیز مواد و مصالح به کار رفته در پرتره‌نگاری‌های رجال مجلس شورای ملی، اثر جعفر چهره‌نگار، در جایگاه نقاش دوره پهلوی (عصر آغاز نقاشی معاصر ایران) است تا مشخص گردد که مواد به کار رفته در این نقاشی‌ها تا چه حد دنباله روی مواد و مصالح دوره صفوی و قاجار است و تا چه اندازه هنر نقاشی اروپایی بر آن تأثیر گذار بوده است؟

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- ابزار، دستگاه و روش‌های مورد استفاده در پژوهش

در جهت شناسایی مواد و مصالح به کار رفته در پرتره‌نگاری‌های رجال مجلس شورای ملی، اثر جعفر چهره‌نگار، در جایگاه نقاش دوره پهلوی، تابلوهای "پرتره حسن اسفندیاری"، "پرتره محمد علی فروغی" و "پرتره محمود احتشام‌السلطنه"، از بین ۹ اثر جعفر چهره‌نگار در موزه مجلس شورای اسلامی، انتخاب شده‌اند و در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرند (شکل ۱). روش هر سه اثر، رنگ و روغن بر روی بوم پارچه‌ای است. تاریخ اجرای تابلوی "پرتره حسن اسفندیاری"، براساس شناسنامه اثر، ۱۳۱۵ هـ/ش/ ۱۹۳۶ م است. قطع آن، ۸۵×۹۹ سانتی‌متر است. تاریخ اجرای تابلوی "پرتره محمد علی فروغی"، در ۱۳۱۵ هـ/ش/ ۱۹۳۶ م می‌باشد. تابلو، با طول ۹۹ و عرض ۸۶ سانتی‌متر به نمایش درآمده است. "پرتره محمود احتشام‌السلطنه"، تاریخ مشخصی ندارد؛ قطع آن هم، یعنی ۸۳×۹۹ سانتی‌متر است.

شده است که پنج عدد از نمونه‌ها مربوط به رنگ تابلوها، دو عدد از نمونه‌ها مربوط به بستر تابلوها و سه عدد از نمونه‌ها هم مربوط به الیاف تابلوها می‌باشد. در شکل ۲ نقاط نمونه‌برداری شده در هر تابلو نمایش داده شده است و در جدول ۱، نام تابلوها، محل قرارگیری نمونه‌ها، نوع نمونه‌ها و همچنین آزمایشات صورت گرفته بر روی نمونه‌ها ارائه شده است.



شکل ۲: (الف) نقاط نمونه‌برداری شده از تابلوی پرتره حسن اسفندیاری، (ب) نقاط نمونه‌برداری شده از تابلوی پرتره محمدعلی فروغی، (ج) نقاط نمونه‌برداری شده از تابلوی پرتره احتشام‌السلطنه.

IRUG 2000 مورد مطالعه تطبیقی قرار گرفته است. علاوه بر این پیک‌های گراف‌های به دست آمده در بررسی نمونه‌ها به وسیله این دستگاه با دستورالعمل باربارا استوارت<sup>۱</sup> در کتاب<sup>۱</sup> "روش‌های تجزیه و تحلیل در مواد حفاظتی"<sup>۲</sup> مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و در نهایت نمونه مورد نظر شناسایی شده است.

## ۲-۲- نمونه‌برداری

با توجه به منشور بین‌المللی حفاظت و مرمت یادمان‌ها و محوطه‌ها (ونیز ۱۹۶۶)، و قطعنامه پنجمین مجمع عمومی ایکوموس (مسکو ۱۹۷۶)، شالوده "حفاظت" از یک اثر تاریخی، باید در برگزیده حداقل مداخله فیزیکی ممکن باشد [۲۶]. با در نظر گرفتن محدودیت در نمونه‌برداری و همچنین با توجه به اعمال کمترین میزان دخل و تصرف در اثر تاریخی، در راستای حفظ اصول مرمتی و حفاظتی آثار تاریخی و فرهنگی، در مرحله نمونه‌برداری، سعی می‌شود نمونه‌ها از نقاط آسیب‌دیده و تخریب شده برداشته شود؛ در نتیجه با توجه به آسیب‌های کم در سطح آثار انتخابی، به‌ناچار، نمونه‌برداری از رنگ‌های اضافی و شره کرده روی لبه برگشته تکیه‌گاه روی کلاف، انجام پذیرفت و تنها در یک تابلو، که سطح آن دچار پارگی و ریختگی شده بود، برداشت نمونه از سطح اثر امکان‌پذیر شد. به طور کلی ۱۰ عدد نمونه از سه عدد تابلو مورد بررسی جمع‌آوری

جدول ۱: کد، نوع و محل جمع‌آوری نمونه‌ها، و همچنین، آزمایشات انجام شده بر روی هر نمونه.

شماره	نام تابلو	کد نمونه	نوع نمونه	محل جمع‌آوری نمونه‌ها	آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌ها
۱	تابلوی پرتره حسن اسفندیاری	A1	رنگ ترکیبی زمینه (سبز زیتونی)	گوشه سمت راست بالا	FT-IR, XRF
		A2	بستر	لبه برگشته دور چارچوب	FT-IR
		A3	الیاف	لبه برگشته دور چارچوب	PLM
۲	تابلوی پرتره محمدعلی فروغی	B1	رنگ ترکیبی زمینه (سبز، قهوه‌ای، زرد)	گوشه سمت چپ پایین	FT-IR, XRF
		B2	رنگ قهوه‌ای	لبه برگشته دور چارچوب	FT-IR, XRF
		B3	الیاف	لبه برگشته دور چارچوب	XRF, PLM
۳	تابلوی پرتره احتشام‌السلطنه	C1	رنگ ترکیبی زمینه (سبز تیره، مشکی)	قسمت آسیب‌دیده وسط	FT-IR, XRF
		C2	بستر	قسمت آسیب‌دیده وسط	FT-IR
		C3	الیاف	قسمت آسیب‌دیده وسط	PLM, SEM-EDS
		C4	لایه اصلی	قسمت آسیب‌دیده وسط	XRF, SEM-EDS
		C4	لایه مرمتی	قسمت آسیب‌دیده وسط	SEM-EDS
		C4	بستر	قسمت آسیب‌دیده وسط	SEM-EDS

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- آنالیز توسط دستگاه FT-IR

با توجه به طیف‌های FT-IR نمونه‌های مورد مطالعه، مشخص می‌شود که تمام نمونه‌های مورد آزمایش دارای حداقل یک پیوند O-H هیدروژنی هستند. که این پیوند در محدوده عدد موجی  $3600 \text{ cm}^{-1}$  تا  $3200 \text{ cm}^{-1}$  جذب طیف دارد. از دیدگاه دیگر با توجه به گفته‌های استوارت، بسترهای روغنی، کربوهیدرات‌ها و رزین‌ها دارای گروه‌های هیدروکسی می‌باشند که در این ناحیه ارتعاش می‌کنند که می‌تواند حاکی از روش رنگ و روغن باشد. البته بسیاری از رنگدانه‌ها، به ویژه رنگدانه‌هایی که ساختارشان آبدار است و در کره کوردینانسین خود حداقل یک مولکول آب دارند در این ناحیه پیک جذب از خود نشان می‌دهند. به عنوان مثال ترکیب زنگار مس  $(\text{Cu}_2(\text{OAc})_4(\text{H}_2\text{O})_2)$  که در ساختار خود دو مولکول آب دارد در این عدد موجی پیک جذب نشان می‌دهد.

پیک دوم که در گراف تمام نمونه‌ها مشاهده می‌شود مربوط به ارتعاش کششی پیوند C-H آلکانی می‌باشد که در محدوده عدد موجی  $3000 \text{ cm}^{-1}$  تا  $2800 \text{ cm}^{-1}$  صورت می‌پذیرد. به طور کلی این ارتعاش به صورت یک پیک قوی و شاخه‌دار (دو یا چندشاخه) ظاهر می‌شود. از طرفی روغن‌ها، کربوهیدرات‌ها و موم‌ها در محدوده عدد موجی  $3000 \text{ cm}^{-1}$  تا  $2800 \text{ cm}^{-1}$  ارتعاش کرده و از خود پیک جذب نشان می‌دهند. بدین ترتیب، از آنجا که تقریباً تمام ترکیبات آلی ارتعاشات پیوند C-H کششی را دارند به طور مستقیم نمی‌توان این ارتعاشات را به گروه خاصی نسبت داد. با توجه به گراف FT-IR روغن بزرک در کتاب استوارت در می‌یابیم که پیک دو شاخه پیوند C-H کششی در این روغن وجود دارد، از این رو این احتمال وجود دارد که روغن بزرک در نمونه‌های مورد آزمایش موجود باشد [۲۷]. با توجه به گفته‌های استوارت و همچنین گراف FT-IR روغن بزرک ارائه شده توسط استوارت، این نکته روشن می‌شود که روغن‌ها و رزین‌ها دارای یک پیک تیز در ناحیه ظاهر شدن گروه‌های کربنیل می‌باشند که بسته به نوع گروه کربنیل در این ساختارها (آلدیدی، کتونی، اسید کربوکسیلی، استری، آمیدی، انیدریدی و کلرواسیدی) مکان ارتعاش پیک جذب متفاوت است. این ناحیه از عدد موجی  $1810 \text{ cm}^{-1}$  تا  $1650 \text{ cm}^{-1}$  متغییر می‌باشد. با توجه به اینکه در گراف‌های FT-IR نمونه‌های مورد آزمایش، هیچ‌گونه پیک تیزی در این ناحیه مشاهده نمی‌شود، دو استدلال قابل نتیجه‌گیری است: اول اینکه این گروه‌های کربونیل به مرور زمان تحت تاثیر رطوبت و شرایط متغیر اسیدی آبکافت شده و فراوانی آنها در بافت نمونه کم شده است تا اندازه‌ای که از آنها فقط یک پیک ضعیف باقی‌مانده است. دوم اینکه به طور کلی زمینه نمونه‌ها چیزی غیر از روغن‌ها و رزین‌ها (به عنوان مثال موم‌ها و کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها) باشند که در نواحی پیوندهای هیدروژنی مشابه O-H و C-H کششی، پیک مشترک با روغن‌ها و رزین‌ها داشته باشند ولی در

نواحی ظهور گروه‌های کربنیلی، ارتعاشات جذبی از خود نشان نمی‌دهند.

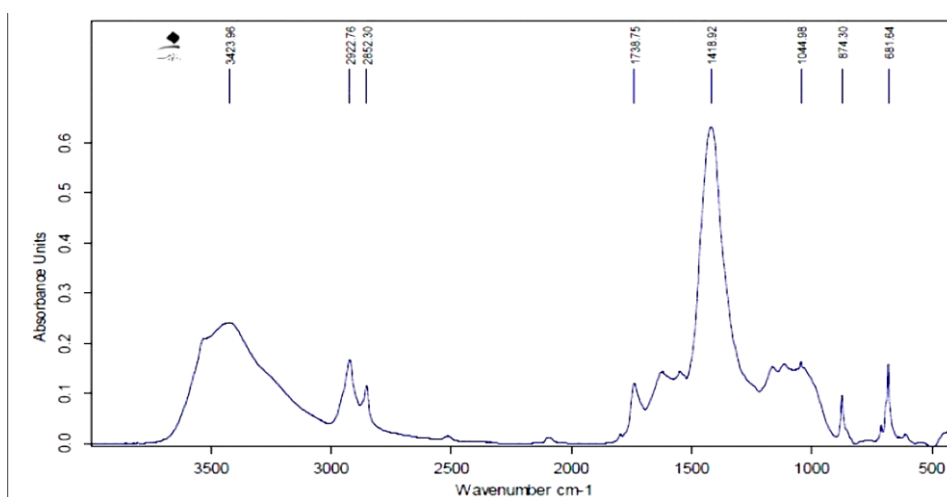
قسمت قابل توجه دیگر در گراف FT-IR به دست آمده از نمونه‌های آزمایشگاهی، پیک جذبی عدد موجی  $1400 \pm 30$  برای تمامی نمونه‌ها می‌باشد که در گراف FT-IR مرجع مربوط به روغن بزرک در کتاب استوارت دیده نمی‌شود. این پیک شدید و پهن احتمالاً یا به خاطر وجود نمک‌های کربوکسیلات در نمونه‌ها می‌باشد و یا اینکه مربوط به بافت رزینی موجود در نمونه به صورت ناحیه اثر انگشتی است. این نمک‌ها یک ارتعاش کششی نامتقارن قوی در نزدیکی عدد موجی  $1400 \text{ cm}^{-1}$  نشان می‌دهند که منشأ آن رزونانس گروه کربنیل با گروه C-O مجاور می‌باشد. قسمت مشابه دیگر در نمودار FT-IR نمونه‌های آزمایشگاهی و نمودار مرجع FT-IR روغن بزرک در کتاب استوارت، پیک جذبی عریض (با شدت متوسط) عدد موجی  $1300 \text{ cm}^{-1}$  تا  $900 \text{ cm}^{-1}$  می‌باشد که در همه نمونه‌ها دیده می‌شود. این پیک‌های جذبی مشخص کننده وجود ارتعاشات کششی قوی برای پیوند C-O (منفرد) می‌باشند و در الکل‌ها، اترها، استرها، اسیدهای کربوکسیلیک و انیدریدها مشاهده می‌شود. با توجه به گفته‌های استوارت زنجیره‌های روغنی که یکی از بنیان‌های قبل را دارا هستند در این ناحیه از عدد موجی جذبی ارتعاش می‌نمایند. در این کتاب، استوارت یکی دیگر از مشخصه‌های روغن‌ها را به صورت توالی بلندی از زنجیره‌های آلیفاتیک بیان کرده است و آن ارتعاش جذبی در ناحیه  $750 \text{ cm}^{-1}$  تا  $700 \text{ cm}^{-1}$  ( $720 \text{ cm}^{-1}$ ) می‌باشد. بسیاری از روغن‌ها به خاطر اینکه ساختار میکرو مولکولی دارند دارای این ارتعاش جذبی می‌باشند که اصطلاحاً ارتعاش جذبی زنجیره طویل نامیده می‌شوند. اما همان‌طور که در نمودارهای FT-IR نمونه‌های آزمایشگاهی دیده می‌شود هیچ یک از نمونه‌ها در ناحیه  $750 \text{ cm}^{-1}$  تا  $700 \text{ cm}^{-1}$  از خود پیک جذبی نشان نداده‌اند و ارتعاش نکرده‌اند از طرف دیگر تمامی نمونه‌ها در ناحیه  $1000 \text{ cm}^{-1}$  تا  $650 \text{ cm}^{-1}$  طیف جذبی دارند که مربوط به ارتعاشات خمشی خارج از صفحه آلکن‌ها می‌باشد. این نوع ارتعاشات مختص گروه‌های روغنی می‌باشند که در ساختار خود توالی‌های کربنی غیراشباع دارند. همچنین بسیاری از رنگ‌ها به ویژه رنگ‌هایی که شدت رنگی بیشتری دارند، شامل زنجیره‌های بزرگی از پیوندهای سیر نشده کربنی هستند (مانند زعفران). باید عنوان کرد که از آنجایی که در نتایج FT-IR تمامی نمونه‌ها، به جزء نمونه B1، مواد مشابه با بالاترین درصد تشابه، از اولین ماده تا پنجمین ماده گزارش شده، سفید سرب تشخیص داده شده است، در نتیجه با توجه به رنگ قسمت‌های نمونه‌برداری شده، نتایج گزارش شده در رابطه با نمونه‌های مورد مطالعه تا ۲۰ ماده مشابه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. چرا که شاید بتوان از این طریق به اطلاعات بیشتری دست پیدا کرد. از طرفی گزارش سفید سرب به عنوان ماده‌ای با بالاترین درصد تشابه در پنج نمونه از شش نمونه

بررسی نمودار به دست آمده از FT-IR این نمونه‌ها، پیک‌های قوی مشترکی در محدوده عدد موجی‌های  $3600$  تا  $3200$   $\text{cm}^{-1}$ ،  $3000$  تا  $2800$   $\text{cm}^{-1}$ ،  $1480$  تا  $1300$   $\text{cm}^{-1}$  و در نزدیکی  $680$   $\text{cm}^{-1}$  مشاهده می‌شود. با توجه به نمودار به دست آمده از FT-IR نمونه A1، A2، B2، C1 و C2 و تطبیق آن با گراف‌های موجود در پایگاه اطلاعاتی IRUG 2000، سه ماده اول تطبیق داده شده با بالاترین درصد تشابه، برای تمامی نمونه‌ها، کربنات سرب ( $\text{PbCO}_3$ )، کربنات سرب آبدار  $^1$  و سفید سرب ( $\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ ) گزارش شده است.

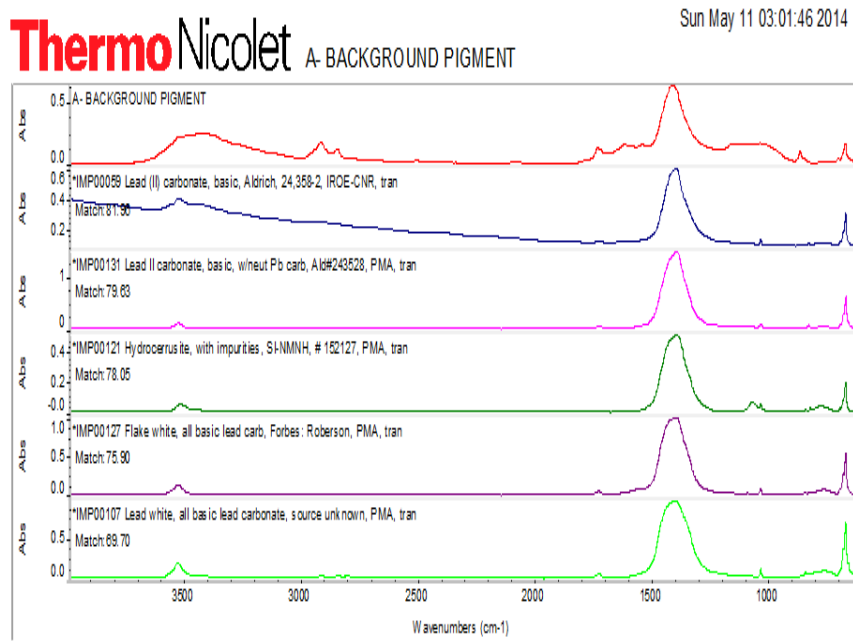
#### 1- Hydrocerussite

جمع‌آوری شده از سه تابلوی یک هنرمند می‌تواند نتیجه استفاده غالب هنرمند از رنگ سفید سرب در ترکیب دیگر رنگ‌ها باشد.

در شکل ۳، نمودار نمونه A1 و در شکل ۴ نمودار مشابه نمونه A1 موجود در پایگاه اطلاعاتی IRUG 2000 نمایش داده شده است. نمونه A1، نمونه جمع‌آوری شده از رنگ ترکیبی زمینه (سبز زیتونی) و نمونه A2، نمونه جمع‌آوری شده از بستر نقاشی می‌باشد که از قسمت اصلی تابلو "پرتره حسن اسفندیاری" جمع‌آوری شده است. نمونه B2، نمونه جمع‌آوری شده رنگ قهوه‌ای زمینه تابلو "پرتره محمدعلی فروغی"، نمونه C1 از رنگ ترکیبی زمینه (سبز و مشکی) و نمونه C2 که نمونه‌ای از بستر تابلوی "پرتره محموداحتمام‌السلطنه" می‌باشد، جمع‌آوری شده است.



شکل ۳: نمودار FT-IR نمونه A1.



شکل ۴: جستجوی تطبیقی نمودار FT-IR حاصل از آنالیز نمونه A1 با پایگاه اطلاعاتی IRUG 2000.

همان ناحیه‌ای پیک جذبی نشان می‌دهند که گروه OH کششی پیک جذبی دارد و این حاکی از هم‌پوشانی پیک جذبی OH و NH است. به همین دلیل به علت بالا بودن غلظت آب کوردینه در نمونه پیک NH دیده نمی‌شود. نتیجه اینکه از روی طیف FT-IR نمی‌توان به قطعیت این را بیان نمود که در این نمونه‌ها قیر طبیعی وجود دارد یا خیر. با توجه به ترکیب شیمیایی یوروشی ( $R-C_6H_5O_2$ ) پیک پهن ارتعاشات جذبی O-H در ناحیه  $3600$  تا  $3200$   $cm^{-1}$  می‌تواند مربوط به گروه O-H رنگدانه یوروشی ( $R-C_6H_5O_2$ ) باشد. اما از آنجایی که نمونه‌های B1، C1 و C2، در ناحیه  $750$  تا  $700$   $cm^{-1}$  فاقد ارتعاشاتی است که می‌تواند مربوط به گروه R قرار گرفته در وضعیت متای رنگ یوروشی ( $R-C_6H_5O_2$ ) باشد که یک زنجیره کربنی بالاتر از چهار کربن است، در نتیجه احتمال وجود رنگدانه یوروشی ( $R-C_6H_5O_2$ ) در این سه نمونه رد می‌شود. در نهایت می‌توان چنین گفت که با توجه به اینکه نمونه A1 نمونه جمع‌آوری شده از زمینه تابلوی نقاشی است و به صورت رنگ سبز زیتونی دیده می‌شود و از طرفی با در نظر گرفتن این نکته که یکی از روش‌های ساخت رنگ سبز زیتونی برای هنرمندان ترکیب کردن سه رنگ سفید، مشکی و زرد می‌باشد، می‌توان چنین نتیجه گرفت که هنرمند از میزان بیشتر رنگ سفید برای ساخت این نوع سبز بهره برده است. همچنین با توجه به اینکه نمونه A2 از بستر نقاشی جمع‌آوری شده ولی باز به عنوان رنگ سفید سرب تشخیص داده شده است، می‌توان چنین گفت که رنگ سفید مورد استفاده هنرمند، بیشتر سفید سرب بوده است. روند تحلیل فوق برای سایر نمونه‌های آنالیز شده با FT-IR نیز طی شده است و در نهایت جمع‌بندی، تحلیل و نتایج حاصل در جدول ۲ ارائه شده است.

### ۳-۲- بررسی نمونه‌ها با روش XRF

با توجه به اینکه روش XRF اساساً یک روش بسیار حساس می‌باشد و به کم‌ترین مقادیر آنالیت در نمونه پاسخ می‌دهد پس نتیجه می‌گیریم که حتی حضور کمترین مقادیر گونه مورد نظر در نمونه آنالیزی قابل تشخیص است. برای اعلام نتیجه قابل اطمینان و قطعی، به منظور اطمینان از صحت نتایج، از طیف‌نگاری فلورسانس پرتو ایکس، بر روی نمونه‌هایی که مورد آنالیز FT-IR قرار گرفتند، استفاده شد. لازم به ذکر است، به دلیل مقدار ناچیز برخی نمونه‌ها، آنالیز آنها توسط دستگاه XRF ممکن نبود. نتایج حاصل از تست XRF بر روی نمونه‌ها در جدول ۳ نمایش داده شده است.

پس از انجام تست XRF بر روی نمونه A1 (شکل ۶) و روشن شدن این موضوع که در نمونه مورد مطالعه توسط آزمون XRF آهن و کلسیم یافت شده است و با توجه به اینکه در نتیجه FT-IR این نمونه شاهد وجود سیدریت ( $FeCO_3$ ) و کلسیت ( $CaCO_3$ ) بودیم، این نتیجه حاصل می‌گردد که احتمال دارد رنگ‌های زرد اکریل، قرمز اکریل و اکسید آهن سیاه و کلسیت در نمونه وجود داشته باشند.

حضور این مواد شاید به مواد موجود در بستر نقاشی‌ها نزدیک باشد. در نمودار FT-IR این نمونه‌ها، در نزدیکی محدوده عدد موجی  $1400$   $cm^{-1}$  یک پیک جذبی قوی وجود دارد که مربوط به بنیان آنیونی کربنات در ترکیب سرب است. علت وجود این پیک جذبی در این محدوده عدد موجی، تشکیل فرم‌های رزونانسی برای ترکیب کربنات می‌باشد. همچنین این نکته قابل ذکر می‌باشد که ترکیب سفید سرب فقط و فقط می‌تواند در همین عدد موجی پیک جذبی داشته باشد و به این ترتیب سایر پیک‌های جذبی مشاهده شده در نمودار FT-IR این نمونه مربوط به بست‌های روغنی، رزینی و کربوهیدراتی می‌باشد.

در نمودار تطبیقی نمونه‌های A1 و B2 مواد سیدریت<sup>۱</sup> ( $FeCO_3$ )، سنگ مرمر ( $CaCO_3$ )، اسمیت سونیت<sup>۲</sup> ( $ZnCO_3$ )، کربنات کلسیم ( $CaCO_3$ ) و کلسیت ( $CaCO_3$ ) حدود  $45\%$  تا  $60\%$  تشابه گزارش شده‌اند. در نمودار تطبیقی نمونه‌های C1 و C2 نیز سیدریت مشاهده می‌شود. سیدریت ( $FeCO_3$ ) یک نوع کانی آهن‌دار می‌باشد که به رنگ‌های قهوه‌ای زرد رنگ، خاکستری زرد رنگ و خاکستری سبز رنگ وجود دارد. با توجه به اینکه ناحیه نمونه‌برداری شده از رنگ‌های سبز، قهوه‌ای، رنگ ترکیبی زمینه (سبز و مشکی) و بستر تابلوهای مورد مطالعه، می‌باشند می‌توان با توجه به گزارش FT-IR و ارائه این ماده، وجود زرد اکریل، قرمز اکریل و اکسید آهن سیاه را نیز بررسی کرد همچنین با توجه به گزارش FT-IR مبنی بر وجود اسمیت سونیت ( $ZnCO_3$ )، می‌توان احتمال وجود زرد روی ( $Zn, Cr$ )، اکسید روی ( $ZnO$ )، سبز کبالت ( $Zn, Co$ ) را نیز بررسی کرد. سنگ مرمر و کلسیت نیز از ترکیب کربنات کلسیم ( $CaCO_3$ ) شکل گرفته‌اند. وجود کلسیم ممکن است مربوط به بستر نقاشی باشد. همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد، در گراف FT-IR این نمونه‌ها، در نزدیکی محدوده عدد موجی  $1400$   $cm^{-1}$  یک پیک جذبی قوی وجود دارد که مربوط به بنیان آنیونی کربنات است. وجود این پیک قوی می‌تواند مرتبط با کربنات سرب، کربنات کلسیم، کربنات آهن و یا کربنات روی باشد. بررسی این احتمالات نیاز به انجام آزمایش‌های بیشتری دارد.

در نمونه‌های A2، B2، C1 و C2 ماده قیر طبیعی و در نمونه‌های B1، C1 و C2، ماده یوروشی<sup>۳</sup> ( $R-C_6H_5O_2$ ) با حدود  $45\%$  تا  $50\%$  تطابق گزارش شده‌اند. از آنجا که قیر طبیعی مجموعه‌ای از هیدروکربن‌های سنگین، سبک، مایع و جامد می‌باشد، تشخیص اینکه در طیف FT-IR در چه نواحی خاصی پیک جذبی قوی از خود نشان می‌دهد، بسیار مشکل است و دلیل این امر، هم‌پوشانی گروه‌های عاملی مختلف در هنگام ارتعاش است. به عنوان مثال گروه‌های آمینی در

- 1- Siderite
- 2- Smithsonite
- 3- Urushi

جدول ۲: نتایج طیفسنجی FT-IR بر روی نمونه های مورد مطالعه.

شماره	کد نمونه	نوع نمونه	ناحیه	نتیجه FT-IR
۱	A1	رنگ ترکیبی زمینه (سبز زیتونی)	گوشه سمت راست بالا	سفید سرب $(Pb_3(CO_3)_2(OH)_2)$ ، سیدریت $(FeCO_3)$ (Siderite)، کلسیت $(CaCO_3)$ ، اسمیت سونیت $(ZnCO_3)$ (Smithsonite)
۲	A2	بستر	لبه برگشته دور چارچوب	سفید سرب $(Pb_3(CO_3)_2(OH)_2)$
۳	B1	رنگ ترکیبی زمینه (سبز، قهوه‌ای، زرد و غیره)	گوشه سمت چپ پایین	رنگ سفید باریم $(BaSO_4)$ ، زرد کادمیوم $(CdSO_4)$ ، نیل $(C_{16}H_{10}N_2O_2)$ ، آبی منگنز $(BaSO_4.Ba_3(MnO_4)_2)$
۴	B2	رنگ قهوه‌ای	لبه برگشته دور چارچوب	سفید سرب $(Pb_3(CO_3)_2(OH)_2)$ ، سیدریت $(FeCO_3)$ (Siderite)، اسمیت سونیت $(ZnCO_3)$ (Smithsonite)، کلسیت $(CaCO_3)$
۵	C1	رنگ ترکیبی زمینه (سبز تیره، مشکی)	قسمت آسیب دیده وسط	سفید سرب $(Pb_3(CO_3)_2(OH)_2)$ ، زنگار مس در روغن بزرک $(Cu_2(OAc)_4(H_2O)_2)$ ، سیدریت $(FeCO_3)$ (Siderite)، آمبر $(C_{11}H_{14}ClNO)$
۶	C2	بستر	قسمت آسیب دیده وسط	سفید سرب $(Pb_3(CO_3)_2(OH)_2)$ ، سیدریت $(FeCO_3)$ (Siderite)

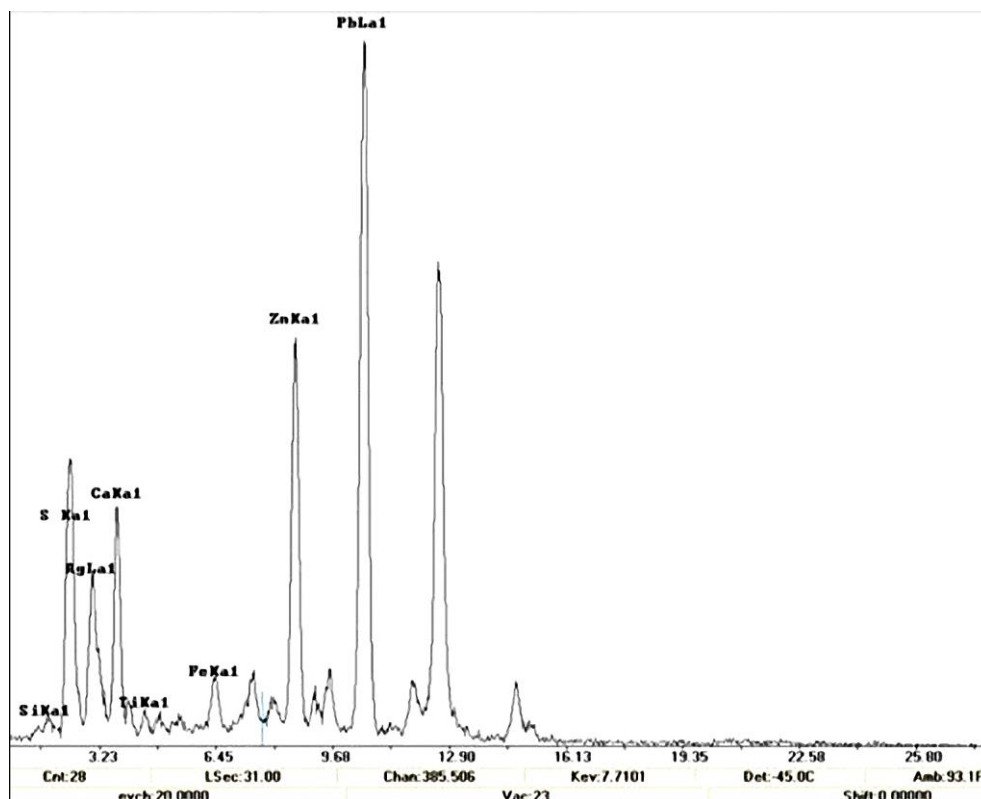
جدول ۳: نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها توسط دستگاه XRF.

شماره	کد نمونه	عناصر شناسایی شده توسط XRF								
		Cr	Al	Pb	Zn	Fe	Ti	Ca	S	Si
۱	A1	-	-	*	*	*	*	*	*	*
۲	B1	-	-	*	*	*	*	*	*	*
۳	B2	-	*	*	*	*	*	*	*	*
۴	C1	-	-	*	*	*	-	*	*	-
۵	C4	*	-	*	*	*	*	*	*	-

سیلیکات‌ها قسمت اعظم ترکیبات خاک را تشکیل می‌دهند و  $SiO_2$  بیشترین ترکیب یافت شده در خاک می‌باشد، در نهایت این نتیجه حاصل می‌شود که وجود Si در آنالیز XRF نمونه A1 نشان دهنده حضور گرد و غبار و ذرات خاک بر روی تابلو مورد بررسی است. در رابطه با وجود پیک قوی Pb نسبت به پیک نسبتاً ضعیف Fe در گراف XRF نمونه A1، می‌توان چنین گفت که از آنجایی که رنگ نمونه برداری شده، رنگ سبز زیتونی می‌باشد و یکی از راه‌های ساخت رنگ سبزی‌تونی، ترکیب مقدار فراوان سفید به علاوه مشکی و زرد است، در نتیجه طبیعی است که در نمودار XRF نمونه، پیک سرب مربوط به رنگدانه سفید سرب قوی تر از پیک عنصر آهن مربوط به رنگ‌های زرد اکرا، قرمز اکرا و اکسید آهن سیاه باشد.

با توجه به اینکه در آزمون FT-IR بر روی نمونه A1 مشخص می‌کند که اسمیت سونیت  $(ZnCO_3)$  وجود دارد، پس نتیجه می‌گیریم که احتمال حضور چهار رنگ اکسید روی  $(ZnO)$ ، زرد روی  $(Zn, Cr)$  و سبز کبالت  $(Zn, Co)$  در A1 وجود دارد و از آنجایی که با توجه به مقایسه انجام شده توسط XRF و مشخص شدن وجود عنصر Zn، در این نمونه، می‌توان اینطور استنباط کرد که اکسید روی در نمونه آنالیز شده وجود دارد. در رابطه با بقیه عناصر تشخیص داده شده در آزمون XRF این نمونه یعنی عناصر S، Ti و Si، می‌توان گفت که حضور عناصر Si و Ti، S به عنوان بخشی از یک رنگدانه هنری منتفی می‌باشد و این عناصر وجود آلاینده‌های محیطی را ثابت می‌کنند. به عنوان مثال، برای توجیه حضور Si در نمونه مورد بررسی اینگونه می‌توان گفت که





شکل ۶: نمودار XRF حاصل از آنالیز نمونه A1.

رویش ارائه می‌دهد. به منظور آنالیز عنصری نمونه، از هر قسمت آن، طیف EDS جداگانه‌ای تهیه شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. در طیف EDS سطح مقطع طولی لایه اصلی نمونه C4، همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، عناصری شامل کربن، اکسیژن، سدیم، آلومینیم، سیلیکون، گوگرد و کلر شناسایی شده است. با توجه به آنالیز این طیف، بیشترین مقدار پیک، به کربن و اکسیژن مربوط است که با توجه به نتایج FT-IR، مبنی بر حضور ترکیبات کربناته در اکثر نمونه‌ها، حضور این ترکیبات در نمونه تأیید می‌شود. بعد از کربن و اکسیژن، بیشترین مقدار پیک به سدیم مربوط است که با توجه به لیست رنگدانه‌های معدنی، تنها رنگدانه حاوی سدیم، آبی اولترامارین با ترکیب شیمیایی  $\text{Na}_8\text{-}10\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_2\text{-}4$  است. با توجه به پیک‌های طیف این لایه، بقیه عناصر این ترکیب، یعنی Al با  $11.1\% \text{ wt}$ ، Si با  $0.97\% \text{ wt}$ ، O با  $41.33\% \text{ wt}$  و S با  $0.99\% \text{ wt}$  شناسایی شده است. برای اطلاعات بیشتر و آنالیز دقیق‌تر این نمونه، از مقطع عرضی آن هم تصویر SEM گرفته شد و سپس از تک‌تک لایه‌های آن، طیف EDS و همچنین، از آن یک Map هم تهیه شد که در آن، پراکندگی عناصر شاخص در نمونه هم مشخص شده است.

از طرفی در نتیجه FT-IR این نمونه نیز توجیه‌پذیر است که چرا اولین نمونه مورد تشابه با بالاترین درصد تشابه سفید سرب گزارش شده است. نتیجه نهایی A1، را می‌توان با توجه به آزمایش‌های صورت گرفته، سفید سرب، سفید روی و رنگدانه‌های حاوی آهن (زرد اکری، قرمز اکری و اکسید آهن سیاه، آبی پروس) اعلام کرد. همین روند تحلیلی برای سایر نمونه‌ها انجام گرفت. برای مطالعه بیشتر در رابطه با این نقاشی‌ها و روش و مواد اجرای آنها از روش SEM کمک گرفته شد.

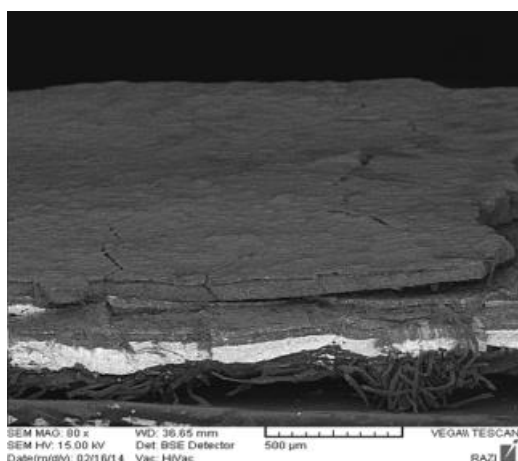
### ۳-۳ آنالیز نمونه‌ها توسط دستگاه SEM

در این بخش، تصاویر الکترونی ثانویه<sup>۱</sup> و برگشت-پراکنده<sup>۲</sup> که با SEM از سطح نمونه C4 گرفته شده (تصاویر الف و ب در شکل ۷) و همچنین، تصویر الکترونی برگشت-پراکنده و Map، که از سطح مقطع عرضی آن است، مشاهده می‌شود (تصاویر ج و د در شکل ۷). این تصاویر، اطلاعات مختلفی از سطح نمونه، مثل تصاویری از پستی و بلندی سطح، آسیب‌ها و تصاویری از توزیع عناصر در لایه‌های سطح

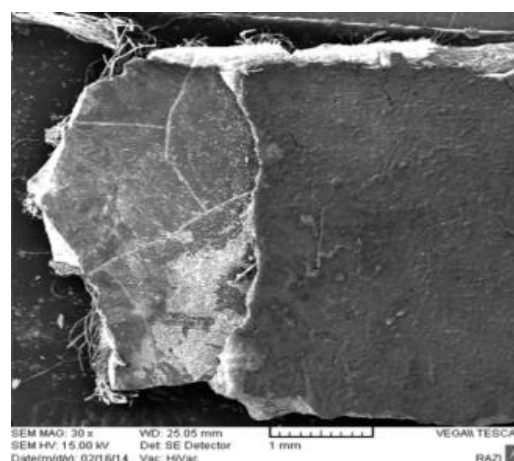
- 1- Secondary electrons
- 2- Backscattered electrons

جدول ۴: نتایج حاصل از آنالیز عنصری نمونه با دستگاه SEM-EDS.

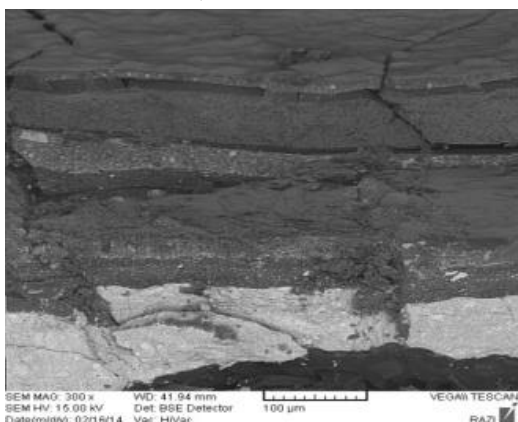
کد نمونه	نوع نمونه	عناصر شناسایی شده از سطح مقطع طولی توسط SEM-EDS	عناصر شناسایی شده از سطح مقطع عرضی توسط SEM-EDS
	لایه اصلی	C-O-Na-Al-S-Si-Cl	
	لایه مرمتی	O-C-Na-Mg-Al-S-Si-Cl	
	بستر	Pb-O-C-Na	
C4	Zone-A		C-O-S-Ca-Na-Si-Cl-Ba-Cr-Fe-Br-Pb
	Zone-B		O-C-Na-Cl-S-Al-K-Ca
	Zone-C		O-Ca-C-Al-S
	Zone-D		C-O-S-Ca-Na-Al-Cl
	Zone-E		C-O-Ti-S-Cr-Ca-Na-Zn-Fe-Pb
	Zone-F		C-O-Ca-S
	Zone-G		C-O- Ca-Al-S-Na-Mg-Ba-Cr-Ti-Zn-Fe-Pb
	Zone-H		C-Zn-O-Na-Ca-Al-Cl-Pb
	Zone- I		Pb-C-O-Al-Fe-S



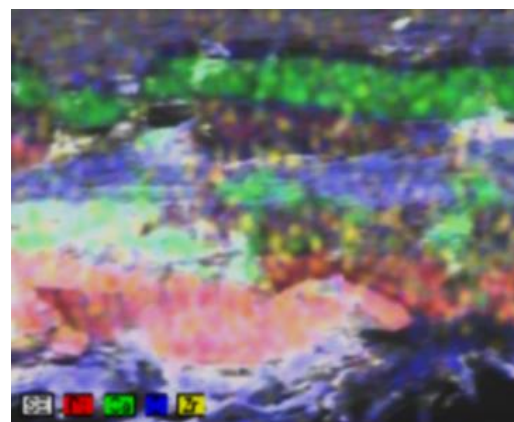
ب



الف



د



ج

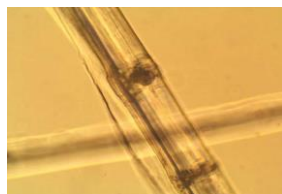
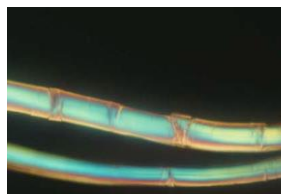
شکل ۷: (الف) تصویر Back-scattered electrons از سطح مقطع طولی نمونه، (ب) تصویر secondary electrons از سطح مقطع طولی نمونه، (ج) تصویر Back-scattered electrons از سطح مقطع عرضی نمونه و (د) Map data از سطح مقطع عرضی نمونه.

می‌کند که سفید تیتانیوم، به‌عنوان رنگدانه سفید در پالت رنگی هنرمند، به وفور، حضور داشته است. در آخر با توجه به نتایج XRF نمونه C4 می‌توان وجود ترکیبات سفید سرب، رنگدانه‌های حاوی آهن (زرد اکر، قرمز اکر و اکسید آهن سیاه، آبی پروس)، سفید روی، کربنات روی، کربنات کلسیم (کلسیت)، اکسید کرم به‌عنوان رنگدانه سبز، کرومات سرب زرد رنگ یا قرمز رنگ، سبز کرم (ترکیبی از آبی پروس و کرومات سرب)، سفید تیتانیوم و زرد روی و آبی اولترامارین را در این نمونه تشخیص داد.

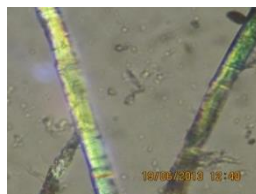
### ۳-۴- آنالیز نمونه‌ها توسط میکروسکوپ پلاریزان PLM

بر اساس تفاوت‌هایی که بین ساختمان الیاف مختلف بر حسب ترکیبات سازنده‌شان وجود دارد شکل ظاهری آنها نیز متفاوت است. مشاهده این اختلاف‌ها با بررسی سطح مقطع طولی و عرضی الیاف می‌تواند به‌عنوان دستمایه‌ای جهت شناسایی تفاوت الیاف از یکدیگر مورد استفاده قرار گیرد. این آزمون بخصوص در مورد شناسایی الیاف طبیعی می‌تواند روش مناسبی باشد، زیرا این الیاف دارای ساختمان شناخته شده و نسبتاً منحصر به فردی هستند. در روش میکروسکوپی، در سطح مقطع طولی الیاف پنبه، تاب‌هایی در الیاف دیده می‌شود که می‌توان آن‌را به‌روبان‌ی تشبیه کرد که تاب خورده باشد. سطح مقطع طولی پشم از سلول‌های پوسته‌ای یا پولکی شکل، که آنها را فلس می‌نامند پوشیده شده است. جهت‌گیری این فلس‌ها از ریشه به سمت نوک لیف پشمی است. نحوه جهت‌گیری فلس‌ها در پشم‌های ضخیم و ظریف متفاوت است. سطح مقطع طولی ابریشم به صورت لوله‌ای و سطح لیف صاف و براق دیده می‌شود. در سطح مقطع کتان گره‌هایی دیده می‌شود که آن‌ها نشان دهنده تجمع لیگنین است. با مشاهده این تفاوت‌های ظاهری می‌توان یک لیف مجهول را شناسایی کرد [۲۸]. با توجه به شکل ظاهری، نمونه‌های الیاف A3، B4 و C3 کتان شناسایی شد. زیرا گره‌هایی در طول لیف وجود داشت، از مشخصه‌های لیف کتان است. همچنین، با تطبیق آنها با تصاویر میکروسکوپی از الیاف کتان در مقاله‌ها و مراجع علمی معتبر، از جمله اطلس لیف و ذرات رنگدانه [۲۸]، متعلق به آزمایشگاه حفاظتی دانشگاه کرنل، این نتیجه قطعی شد.

لایه‌های A تا E، لایه مرمتی و لایه‌های F تا I، لایه اصلی نمونه است. با بررسی طیف‌های EDS لایه‌های F تا H، می‌توان شاخص‌ترین پیک را دید، که به کربن مربوط است، همچنین، در تصویر Map، که تجمع کربن را در این لایه‌ها، به‌ویژه zone-f نشان می‌دهد. بعد از آن، می‌توان اشتراک پیک کلسیم را با مقادیر قابل توجهی در طیف هر کدام از این لایه‌ها و همچنین، پراکندگی آن در این لایه‌ها، مشاهده کرد؛ البته، در لایه zone-g، بیشتر از لایه‌های دیگر این قسمت، تجمع کلسیم دیده می‌شود. لازم به ذکر است، در آنالیز XRF این نمونه، پیک کلسیم شاخص‌ترین پیک شناسایی شده بود. نکته قابل توجه در این قسمت، حضور پیک مربوط به روی، با مقدار ۲۳,۱۱ wt در لایه zone-H است که بعد از کربن، بیشترین مقدار را در این لایه دارد. البته، با توجه به تصویر Map، روی جزء عناصر شاخصی است، که پراکندگی تقریباً یکدست آن، در کل نمونه نشان داده شده است. ولی با دقت بیشتر می‌توان تجمع آن در محدوده zone-H را تشخیص داد. از طرف دیگر، با توجه به طیف EDS از لایه zone-I، مشاهده می‌شود که پیک شاخص شناسایی شده در آن، به سرب مربوط است. این امر، نتیجه آنالیزهای XRF و FT-IR را کاملاً تأیید می‌کند. چرا که، لایه I، همان‌طور که در تصویر SEM هم مشخص است، لایه بستر نقاشی است؛ حتی در طیف حاصل از سطح مقطع طولی بستر هم، شاخص‌ترین پیک به سرب مربوط و نشانگر بسترسازی این تابلو، با سفید سرب است. در طیف EDS حاصل از سطح مقطع طولی لایه مرمتی، اکسیژن با بیشترین مقدار و بعد از آن، کربن شناسایی شده است. بقیه عناصر شناسایی شده، مانند عناصر لایه اصلی است. با این تفاوت که، در طیف این قسمت، منیزیم هم از خود پیک نشان داده است. با توجه به سایر پیک‌های شناسایی شده، یعنی Al, Si, S, O می‌توان آن‌را تنها به رنگدانه‌های خاکی نسبت داد. کلسیم با ۳۲,۴۱ wt%، بعد از اکسیژن، بیشترین مقدار را در لایه C دارد؛ البته حضور آن در سایر لایه‌ها هم دیده می‌شود، با این تفاوت که مقدار آن در این لایه بیش از سایرین است. دلیل این امر را می‌توان، استفاده از کربنات کلسیم برای بتونه‌گذاری روی لایه رنگ اصلی اثر و زمینه‌سازی برای رنگ‌گذاری دوباره، برای مرمت تابلو، دانست. در طیف EDS ناحیه E، بعد از کربن و اکسیژن، تیتانیوم با بیشترین مقدار شناسایی شده است؛ این نتیجه، با توجه به نتیجه آنالیز XRF، این نکته را قطعی



تصاویر PLM از لیف کتان ارائه شده در اطلس لیف



تصاویر PLM تهیه شده از لیف نمونه

شکل ۸: تطبیق تصویر حاصل از آنالیز PLM نمونه با نمونه مشابه [۲۸].

## ۴- نتیجه گیری

نتایج نهایی، حاصل از بررسی نمونه‌ها را بدین ترتیب می‌توان بیان کرد: با مقایسه نتایج آزمایش‌ها، وجود سفید سرب، سفید روی و رنگدانه‌های حاوی آهن (زرد اکر، قرمز اکر و اکسید آهن سیاه، آبی پروس)، در نمونه A1، که رنگی ترکیبی است، بیش از همه محتمل است. در نمونه B1 هم، که ترکیبی از رنگ‌های سبز، قهوه‌ای، زرد و غیره است، احتمال وجود ایندیگو (آبی نیل)، رنگدانه‌های حاوی آهن (زرد اکر، قرمز اکر و اکسید آهن سیاه، آبی پروس)، سفید تیتانیم، سفید روی و کربنات کلسیم (کلسیت) بیشتر است؛ در نمونه B2، که رنگ قهوه‌ای است، ترکیبات سفید سرب، رنگدانه‌های حاوی آهن (زرد اکر، قرمز اکر و اکسید آهن سیاه، آبی پروس)، آبی اولترامارین و کربنات کلسیم (کلسیت) شناسایی شده است. نمونه C1 که آن هم از رنگ ترکیبی زمینه تابلو و بیشتر متمایل به سبز تیره است، ترکیبات سفید سرب، رنگدانه‌های حاوی آهن (زرد اکر، قرمز اکر و اکسید آهن سیاه، آبی پروس)، سفید روی و کربنات کلسیم (کلسیت) تشخیص داده شد؛ در نمونه C4، بیشترین ترکیبات در لایه اصلی، متعلق به کربنات کلسیم (کلسیت) و سفید روی و بیشترین ترکیبات در لایه مرمتی، کربنات کلسیم (کلسیت) و سفید تیتانیم، شناسایی شده است. به طور کلی می‌توان وجود ترکیبات سفید سرب، رنگدانه‌های حاوی آهن (زرد اکر، قرمز اکر و اکسید آهن سیاه، آبی پروس)، سفید روی، کربنات کلسیم (کلسیت)، اکسید کرم به عنوان رنگدانه سبز، کرومات سرب زرد رنگ یا قرمز رنگ، سبز کرم (ترکیبی از آبی پروس و کرومات سرب)، سفید تیتانیم، زرد روی و آبی اولترامارین را در نمونه C4 تشخیص داد. در نمونه‌های C2، C4 و A2، که نمونه‌برداری شده از بستر تابلوهای مورد بررسی بوده است، سفید سرب شناسایی شده است. همچنین نتایج آزمایشات استفاده هنرمند را از لیف کتان، به عنوان تکیه گاه پارچه‌ای مورد استفاد در نمونه‌های B3، A3 و C3 نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج می‌توان گفت که هنرمند برای بسترسازی تابلوهای خود بیشتر از رنگ سفید سرب بهره برده است. همچنین هنرمند به طور کلی از رنگ سفید سرب به مقدار فراوان در ترکیب رنگ‌های مختلف استفاده کرده است. رنگدانه‌های سفید مورد استفاده هنرمند شامل سفید سرب، سفید روی، سفید تیتانیم و کلسیت می‌باشند. که در این میان از رنگدانه سفید تیتانیم در کار مرمتی نیز بهره برده شده است. رنگدانه‌های آبی مورد استفاده هنرمند شامل آبی پروس، ایندیگو (آبی نیل)، آبی اولترامارین، رنگدانه‌های زرد رنگ و قرمز رنگ مورد استفاده هنرمند شامل ترکیبات حاوی آهن (زرد اکر، قرمز اکر)، کرومات سرب زرد رنگ یا قرمز رنگ و زرد روی، رنگدانه سیاه مورد استفاده هنرمند اکسید آهن سیاه و در آخر رنگدانه‌های سبز مورد استفاده هنرمند اکسید کرم و سبز کرم (ترکیبی از آبی پروس و کرومات سرب) می‌باشند.

رنگدانه سفید سرب به عنوان رنگدانه سفید در تمامی نقاشی‌های دیواری، نقاشی‌های نسخ خطی و نقاشی‌های سه پایه‌ای دوره صفوی و قاجار استفاده شده است. در این رابطه می‌توان گفت که هنرمند ایرانی در دوره پهلوی، در استفاده از رنگدانه سفید سرب دنباله روی هنرمندان گذشته ایران در دوره‌های صفوی و قاجار بوده است. سفید سرب از زمان‌های قدیم به صورت مصنوعی ساخته می‌شده است [۲۹]. نتایج حاصل از بررسی رنگدانه‌های سفید مورد استفاده جعفر چهره‌نگار در این مقاله، چهار نوع رنگدانه سفید سرب، سفید تیتانیم، سفید روی و پودر گچ را نشان داد. اما همان‌طور که پیش‌تر نیز گفتیم، هنرمند به طور کلی از رنگ سفید سرب به مقدار فراوان در ترکیب رنگ‌های مختلف استفاده کرده است که در این میان رنگدانه سفید تیتانیم می‌تواند ردپای عملیات مرمتی باشد. سفید روی به صورت مصنوعی تهیه می‌گردد و استفاده از آن به صورت رنگدانه از سال ۱۷۸۲ پیشنهاد شد [۲۹]. به توجه به این گفته هارلی، رنگدانه سفید روی در دوره قاجار شناخته شده بوده است. استفاده از سفید روی، به عنوان رنگدانه و بسترسازی، از دوره قاجار متداول شد و همچنان تا دوره پهلوی ادامه یافت. همچنین در مورد استفاده هنرمند از رنگدانه سفید گچ می‌توان گفت که سفید گچ/ به صورت کانی در طبیعت به مقدار فراوان یافت می‌شود، با توجه به مطالب بررسی شده در این مقاله، استفاده آن در بسترسازی نقاشی‌های دوره صفوی و قاجار و پهلوی مرسوم بوده است. در نتیجه می‌توان گفت که رنگدانه سفید سرب و سفید روی و سفید کلسیت مورد استفاده جعفر چهره‌نگار در تابلوهای بررسی شده در این مقاله، تحت تأثیر دوره‌های هنری پیش از پهلوی در ایران بوده است. از دیگر رنگدانه‌های شناسایی شده در این تابلوها، سفید تیتانیم است که تا قبل از آن، در فهرست رنگدانه‌های نقاشی‌های رنگ‌روغن دوره‌های قاجار و صفوی دیده نمی‌شود. با مراجعه به جدول ترکیب شیمیایی رنگدانه‌های معدنی، مشاهده می‌شود که سفید تیتانیم، رنگدانه‌ای سنتزی است که در قرن ۲۰ شناخته شده است. علاوه بر این، در پژوهش‌های انجام شده در شناسایی مواد نقاشی‌های سه پایه‌ای خارج از ایران هم عنوان شده است که این رنگدانه، به‌طور معمول، به‌عنوان رنگدانه سفید، در نقاشی‌های قرن ۲۰ اروپا به کار می‌رفته است. در نتیجه، می‌توان گفت هنرمند دوره پهلوی، در استفاده از سفید تیتانیم، به عنوان رنگ سفید، تحت تأثیر نقاشان خارجی بوده است.

رنگدانه سبز مشترک مورد استفاده هنرمندان خارجی و ایرانی در نقاشی سه پایه‌ای سبز کرم می‌باشد. به گفته کوئلین<sup>۱</sup> کاشف کروم استفاده از  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  را در لعاب‌های سرامیکی در سال ۱۸۰۹ میلادی پیشنهاد داد اما احتمالاً به عنوان رنگدانه هنری تا چند سال بعد به کار رفته است. با توجه به این گفته این امر واضح می‌باشد که

1- Vauquelin

در نتیجه می‌توان اذعان نمود که استفاده هنرمند از رنگدانه قرمز اکر، تحت تأثیر استفاده از این رنگدانه‌ها در دوره‌های هنری پیش از دوره پهلوی بوده است. همچنین همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، هنرمندان ایرانی در به کارگیری رنگدانه کرومات سرب قرمز رنگ از نقاشان خارجی تأثیر پذیرفته‌اند.

نتایج بیشتر محققان ایرانی در سیر بررسی‌های صورت گرفته در این تحقیق، آبی پروس را به عنوان آبی مورد استفاده نقاشان ایرانی ذکر کرده‌اند [۳۹-۳۱ و ۱۵-۱۳]. بر طبق این یافته‌ها استفاده از رنگدانه آبی پروس در نقاشی‌های دوره صفوی و دوره قاجار، امری عادی بوده است و این در حالی است که به گفته دانلییا آبی پروس در سال ۱۷۰۴ به طور مصنوعی ساخته شد و به طور گسترده‌ای به عنوان رنگدانه هنرمندان پس از ۱۷۵۰ استفاده شد [۳۳]. رایج‌ترین رنگدانه آبی رنگ گزارش شده توسط محققان خارجی، در نقاشی‌های سه پایه ای ایرانی، آبی پروس می‌باشد [۴۰، ۳۳، ۲۲-۲۰]. از طرفی پورینتن و مارک در تحقیقات خود ادعا دارند که تنها رنگدانه آبی مورد استفاده نقاشان ایرانی را آبی اولترامارین (لاجورد) می‌باشد [۴۱]. از دیگر رنگدانه‌های آبی رنگ، آبی نیل در نقاشی‌های سه پایه‌ای دوره قاجار کاربرد داشته است [۱۵، ۱۴]. علاوه بر این ما در نسخ خطی قدیمی ایرانی دستورالعمل‌های تهیه آبی لاجورد را داریم [۲۳]. رنگ نیل (ایندیگو در انگلیسی) یک نوع آمیزه طبیعی و آلی با رنگ آبی خاصی (نیلی) است. در گذشته، نیل به صورت طبیعی از گیاهان گرفته می‌شد. ایندیگوی مصنوعی در سال ۱۸۸۰ میلادی توسط باتیر کشف گردید [۲۹]. در رابطه با رنگ نیل در نسخه خطی به شماره ۴۱۸۶ در کتابخانه مرکزی و مرکز اسناد دانشگاه تهران، به عنوان رنگ بنفش مطالبی ذکر شده است [۸]. در نتیجه قدمت استفاده هنرمندان ایرانی از نیل در نقاشی‌ها نیز به گذشته‌های دور بر می‌گردد و تحت تأثیر مواد مورد استفاده هنرمندان در ادوار پیشین می‌باشد. بنابراین استفاده از رنگدانه لاجورد در نقاشی‌ها نیز، از زمان‌های قدیم در بین نقاشان ایرانی متداول بوده است. با توجه به اطلاعات ارائه شده، می‌توان گفت که استفاده هنرمند ایرانی از رنگدانه آبی پروس به عنوان رنگدانه آبی در نقاشی‌های خود، در دوره صفوی، قاجار و پهلوی، تحت تأثیر نقاشی‌های خارجی بوده است.

در نقاشی‌های ایرانی نیز بیشترین رنگدانه گزارش شده به عنوان رنگدانه سیاه رنگ، رنگدانه سیاه کربن می‌باشد [۱۳، ۱۵، ۳۲، ۴۲]. در نقاشی دیواری ایرانی دوره صفوی و در نقاشی سه پایه‌ای ایرانی دوره قاجار علاوه بر سیاه کربن از رنگدانه اکسید آهن نیز استفاده شده است [۱۴، ۳۵، ۳۸]. استفاده از رنگدانه اکسید آهن در نقاشی سه پایه‌ای ایرانی دوره قاجار می‌تواند در ادامه روند استفاده از این نوع رنگدانه در نقاشی دیواری دوره صفوی باشد. در این تحقیق، رنگ مشکی مورد استفاده در تابلوهای جعفر چهره‌نگار، اکسید آهن می‌باشد، تشخیص

هنرمندان ایرانی در به کارگیری رنگدانه سبز کروم، کرومات سرب زرد رنگ و قرمز رنگ از نقاشان خارجی تأثیر پذیرفته‌اند.

با در نظر گرفتن نتایج حاصل از بررسی‌های صورت گرفته در این پروژه، رایج‌ترین رنگدانه زرد مورد استفاده نقاشان ایرانی، رنگدانه زرد اکر می‌باشد [۳۱، ۳۰، ۱۵، ۱۴]. دیگر رنگدانه‌های زرد رنگ مورد استفاده در نقاشی سه پایه‌ای دوره قاجار، رنگدانه‌های اکسید آهن می‌باشد [۱۴]. زرد اکر، کانی طبیعی است که به صورت گسترده استفاده می‌شده است و فرم مصنوعی آن به صورت زرد مارس ساخته می‌شود [۲۹]. وقتی یک نوع رنگدانه به صورت طبیعی به مقدار فراوان یافت شود، این بسیار طبیعی به نظر می‌رسد که به دست آوردن و تهیه آن برای هنرمندان نقاش ایرانی راحت بوده باشد و همین می‌تواند علت استفاده زیاد نقاشان ایرانی از رنگدانه زرد اکر، در انواع نقاشی دیواری و نقاشی نسخ خطی و نقاشی سه پایه‌ای باشد با توجه به گفته‌های این بخش، رنگدانه زرد اکسید آهن در نقاشی دیواری دوره صفوی و نقاشی سه پایه‌ای دوره قاجار مورد استفاده بوده است [۳۲، ۱۴]. همان‌طور که گفته شد، زرد اکر در نقاشی‌های خارجی و ایرانی دوره قاجار در نقاشی‌ها کاربرد داشته است [۲۱، ۳۳، ۳۴]. رنگدانه‌های زرد مورد استفاده هنرمندان ایرانی در دوره پهلوی، رنگدانه‌هایی بوده است که در دوره صفوی و قاجار نیز استفاده می‌شده است. از طرفی رنگدانه‌های زرد اکر و اکسید آهن به اندازه‌ای شناخته شده بودند که بین نقاشی‌های ایرانی و نقاشی‌های خارجی دوره قاجار مشترک بوده است. زرد روی هم رنگدانه سنتزی دیگری است که به اوایل قرن ۱۹ مربوط است [۲۷]. ولی در پژوهش‌هایی که به شناسایی مواد نقاشی‌های سه پایه‌ای قاجار پرداخته‌اند، همچون مقاله علیزاده و عباسی، استفاده از این رنگدانه به چشم نمی‌خورد. در نتیجه، شاید بتوان گفت هنرمند دوره پهلوی این رنگدانه را به تأثیر از هنرمندان خارجی و مواد وارداتی جدید درآرش به کار گرفته است. همچنین همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، هنرمندان ایرانی در به کارگیری رنگدانه کرومات سرب زرد رنگ از نقاشان خارجی تأثیر پذیرفته‌اند.

رنگدانه قرمز رنگ مورد استفاده در نقاشی‌های سه پایه‌ای دوره قاجار رنگدانه‌های قرمز اخرا، سرنج و شنگرف گزارش شده اند [۱۵، ۳۵، ۳۶]. رنگدانه قرمز اخرا به علت اینکه به صورت طبیعی در طبیعت وجود دارد، در نتیجه استفاده از این رنگدانه در دوره پهلوی نباید مسئله جدیدی باشد همچنان که شاهد استفاده از این رنگدانه در نقاشی‌های سه پایه‌ای خارجی، نقاشی‌های سه پایه‌ای دوره صفوی و نقاشی‌های سه پایه‌ای دوره قاجار هستیم. در نهایت می‌توان چنین گفت که استفاده از قرمز اخرا در دوره پهلوی در ادامه استفاده از این رنگدانه در دوره صفوی و قاجار می‌باشد. رنگدانه قرمز رنگ مورد استفاده در تابلوهای جعفر چهره‌نگار، جزء رنگدانه‌های قرمز رنگ شناخته شده در بین نقاشان ایرانی در دوره صفوی و قاجار بوده است.

"پرتره محمود احتشام السلطنه" از مجموعه نقاشی‌های جعفر چهره‌نگار چنین گزارش می‌شوند:

سبز: سبز کرم، سفید: سفید سرب، سفید روی، سفید کلسیت  
سفید تیتانیوم قرمز: قرمز اکر و کرومات سرب قرمز رنگ، آبی: آبی  
ایندیگو (آبی نیل)، آبی پروس و آبی اولترامارین، زرد: رنگ زرد اکر، زرد  
روی و کرومات سرب زرد رنگ، مشکی: اکسید آهن سیاه و رنگ سفید  
مورد استفاده در مرمت: سفید تیتانیوم. الیاف مورد استفاده برای  
بوم‌سازی تابلو: کتان تشخیص داده شد.

داده شد. می‌توان گفت که این رنگدانه، رنگدانه خاکی محسوب می‌شود  
که در دوره پهلوی رنگدانه جدیدی نبوده است، بلکه پیش از پهلوی در  
دوره صفوی و قاجار نیز در نقاشی‌ها استفاده می‌شده است. نتایج نهایی  
حاصل از مقایسه آزمایشات FT-IR، PLM، XRF و SEM-EDS برای به  
دست آوردن یک دید کلی نسبت به نتایج آزمایشات و مقایسه آنها با  
یکدیگر، به صورت جدول ۵ ارائه شده است.  
در نهایت، می‌توان چنین گفت که، پالت رنگی مورد استفاده در  
تابلوهای "پرتره حسن اسفندیاری"، "پرتره محمد علی فروغی" و

جدول ۵: نتایج نهایی حاصل از مقایسه آزمایشات FT-IR، PLM، XRF و SEM-EDS

کد نمونه	نوع نمونه	FTIR	PLM	XRF	SEM-EDS	نتیجه نهایی
A1	رنگ ترکیبی زمینه (سبز زیتونی)	سفید سرب $(\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2)$ ، سیدریت $(\text{FeCO}_3)$ ، کلسیت $(\text{CaCO}_3)$ ، اسمیت سونیت $(\text{ZnCO}_3)$ (Smithsonite)	-	Pb-Zn- S-Si-Ti- Ca-Fe	-	سفید سرب، سفید روی و رنگدانه‌های حاوی آهن (زرد اکر، قرمز اکر و اکسید آهن سیاه، آبی پروس)
A2	بستر	سفید سرب $(\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2)$	-	-	-	سفید سرب
A3	الیاف	-	کتان	-	-	کتان
B1	رنگ ترکیبی زمینه (سبز، قهوه‌ای، زرد)	رنگ سفید باریوم $(\text{BaSO}_4)$ ، زرد کادمیم $(\text{CdSO}_4)$ ، نیل $(\text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2)$ ، آبی منگنز $(\text{BaSO}_4 \cdot \text{Ba}_3(\text{MnO}_4)_2)$	-	S-Zn-Fe- Ti-Ca- Pb-Si	-	ایندیگو (آبی نیل)، رنگدانه‌های حاوی آهن (زرد اکر، قرمز اکر و اکسید آهن سیاه، آبی پروس)، سفید تیتانیوم، سفید روی و کربنات کلسیم (کلسیت)
B2	رنگ قهوه‌ای	سفید سرب $(\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2)$ ، سیدریت $(\text{FeCO}_3)$ ، اسمیت سونیت $(\text{ZnCO}_3)$ (Smithsonite)، کلسیت $(\text{CaCO}_3)$	-	-	-	سفید سرب، رنگدانه‌های حاوی آهن (زرد اکر، قرمز اکر و اکسید آهن سیاه، آبی پروس)، آبی اولترامارین و کربنات کلسیم (کلسیت)
B3	الیاف	-	-	Pb-S- Zn-Ti- Si-Al- Ca-Fe	-	کتان
C1	رنگ ترکیبی زمینه (سبز تیره، مشکی)	سفید سرب $(\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2)$ ، زنگار مس در روغن بزرک $(\text{Cu}_2(\text{OAc})_4(\text{H}_2\text{O})_2)$ ، سیدریت $(\text{FeCO}_3)$ ، اسمیت سونیت $(\text{ZnCO}_3)$ (Smithsonite)، آمبر $(\text{C}_{11}\text{H}_{14}\text{ClNO})$ (Siderite)	کتان	S-Ca-Fe- Zn-As- Pb	-	سفید سرب، رنگدانه‌های حاوی آهن (زرد اکر، قرمز اکر و اکسید آهن سیاه، آبی پروس)، سفید روی و کربنات کلسیم (کلسیت)
C2	بستر	سفید سرب $(\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2)$ ، سیدریت $(\text{FeCO}_3)$ ، اسمیت سونیت $(\text{ZnCO}_3)$ (Smithsonite)	-	Zn-Pb- Ca-S-Fe	-	سفید سرب
C3	الیاف	-	-	-	-	کتان
	لایه اصلی	-	کتان	-	C-O-Na- Al-S-Si-cl	کربنات کلسیم (کلسیت) و سفید روی
C4	لایه مرمتی	-	-	Ca-S-Ti- Fe-Zn- Cr-Pb	O-C-Na- Mg-Al-S- Si-Cl	کربنات کلسیم (کلسیت) و سفید تیتانیوم
	بستر	-	-	-	Pb-O-C- Na	سفید سرب

مورد استفاده هنرمندان در ادوار پیشین می‌باشد. از طرفی استفاده هنرمند ایرانی از رنگدانه آبی پروس به عنوان رنگدانه آبی در نقاشی‌های خود، در دوره صفوی، قاجار و پهلوی، تحت تأثیر نقاشی‌های خارجی بوده است. رنگ مشکی مورد استفاده در تابلوهای جعفر چهره‌نگار، اکسید آهن می‌باشد که این رنگدانه، رنگدانه خاکی محسوب می‌شود که در دوره پهلوی رنگدانه جدیدی نبوده است، بلکه پیش از پهلوی در دوره صفوی و قاجار نیز در نقاشی‌ها استفاده می‌شده است.

### تشکر و قدردانی

در انتها لازم است از مسئولین و مدیر محترم موزه مجلس شورای اسلامی جهت همکاری بسیار در انجام این پژوهش سپاسگزاری نمایم.

رنگدانه سفید سرب و سفید روی و سفید کلسیت مورد استفاده جعفر چهره‌نگار در تابلوهای بررسی شده در این مقاله، تحت تأثیر دوره‌های هنری پیش از پهلوی در ایران بوده است. همچنین در استفاده از سفید تیتانیوم، به عنوان رنگ سفید، تحت تأثیر نقاشان خارجی بوده است. در به کارگیری رنگدانه سبز کرم از نقاشان خارجی تأثیر پذیرفته است. رنگدانه‌های زرد اکسید آهن تحت تأثیر دوره‌های هنری پیش از پهلوی در ایران بوده است. زرد روی و کرومات سرب زرد رنگ مورد استفاده هنرمند دوره پهلوی به تأثیر از هنرمندان خارجی و مواد وارداتی جدید به کار گرفته شده است. استفاده از قرمز اخرا در دوره پهلوی در ادامه استفاده از این رنگدانه در دوره صفوی و قاجار می‌باشد. همچنین هنرمندان ایرانی در به کارگیری رنگدانه کرومات سرب قرمز رنگ از نقاشان خارجی تأثیر پذیرفته‌اند. قدمت استفاده هنرمندان ایرانی از رنگدانه لاجورد و نیل در نقاشی‌ها نیز به گذشته‌های دور بر می‌گردد و تحت تأثیر مواد

### ۵- مراجع

1. R. Pakbaz, Encyclopedia of art: painting, sculpture, graphic arts, Farhang-e-Moaser, Tehran. 2010
2. Y. Zoka, Look at the Negargari in Iran in 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> countries, Special office of Farah Pahlavi, Tehran. 1976.
3. M. a. KarimzadeTabrizi, Old Iranian painters' life and works, Satrup, London. 1991.
4. A. Dehbashi, B. Shabahang, A memorial on Kamal-al-Molk, Chakmeh, Tehran. 1987.
5. E. Ashtiani, Description and life history of Kamal-al-Molk. *J. Art People*. 11(1963), No 7, Tehran.
6. A. Sarmaddy, Encyclopedia of Iranian artists, Hirmand Publications, Tehran. 2001
7. Unknown author, Kamal-al-Molk School, Abgineh publication, Tehran. 1986
8. A. Soheili Khansari, Perfection of art, life and works of Mohammad-e-Gaffari, Soroush, Iran. 1989
9. Haqiqat, National art history and artists, authors and translators of Iran, Tehran. 1990
10. Lotfi, F. Familiarity with painting schools, Mir Shams Ashtiani, Tehran. (In Farsi). 2005
11. Thesis painting. Tehran's University of Art. 1988
12. Afshar -e-Mohajer, K. Iranian artist and Modernism, University of art, Tehran. (In Farsi). 2005
۱۳. ع.ا. جاویدپرور، ب. رمضان‌زاده، ا. قاسمی، مروری بر خواص ضد خوردگی نانو رنگدانه‌های بر پایه اکسید آهن، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، (۱۳۹۳)، ۳، ۴۷-۶۰.
۱۴. ز. بذرافشان، م. عطایی‌فرد، ف. نورمحمدیان، بررسی اثر رنگ دهی و شارژپذیری رنگدانه‌های مورد استفاده در تونرهای الکتروگرافیک، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، (۱۳۹۱)، ۲، ۳۳-۴۱.
۱۵. ص. مهیودی، ع. آشتیانی، ف. نورمحمدیان، ارتباط رنگ و ساختار مواد رنگزای آلی: مروری بر بیش از یک قرن پژوهش، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، (۱۳۹۳)، ۳، ۸۵-۱۰۳.
۱۶. ن. انزایی، مروری بر رنگ‌های ساختاری در طبیعت با بررسی نمونه‌هایی از توری پراش، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، (۱۳۹۵)، ۳، ۲۹-۱۷.
۱۷. ف. جانبازی، ح. سرپولکی، بررسی عوامل موثر در ایجاد طیف‌های رنگی سبز و آبی در لعاب‌های حاوی ترکیبات مس، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، (۱۳۹۲)، ۳، ۱۲-۳.
۱۸. م. حسین‌نژاد، ک. قرن‌جیگ، مروری بر آخرین تحقیقات درباره کاربردهای مواد رنگزای طبیعی در رنگرزی، مواد خوراکی و سلول‌های خورشیدی، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، (۱۳۹۶)، ۱، ۲۷-۱۷.
۱۹. ر. ابراهیمی بریسا، ح. رسالتی، ز. صبا زودخیز، مروری بر اهمیت و کاربرد انواع رنگدانه‌ها و رنگ‌های مورد مصرف در صنایع کاغذسازی، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، (۱۳۹۳)، ۴، ۱۹-۱۱.
۲۰. س. گرجی، ک. قرن‌جیگ، ع. محمودی‌نهادی، مروری بر روش‌های شناسایی روناس و ترکیبات آن در منسوجات و آثار هنری، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، (۱۳۹۰)، ۱، ۲۸-۱۹.
۲۱. ا. کریمی، ع. عبدالصفاغی، م. شیردوانی، بررسی کارایی آزمایش‌های شیمی‌تر در شناخت بست رنگ نقاشی سنتی ایران، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، (۱۳۹۲)، ۲، ۱۴-۳.
22. Shams, R Protection and Restoration panel's coronation Mary, M.A thesis, Art University of Isfahan. . 2002
23. Nikbar, M. Conservation and restoration of a Ghahveh khaneh painting. BA Project. Faculty of Pardis, Isfahan. .2003
24. Bayer Shams Muguyi, P. Conservation and restoration of two Ghahveh khaneh paintings. BA project, Faculty of Pardis, Isfahan. (In Farsi).2003
25. Z. Abbasi, Technical Study of Qajar Easel Paintings (1794-1925) for Conservation Plan: A Case Study an Egyptian Girl Attributed to Kamal-al-Molk, Master's thesis, Conservation

- of Historical & Cultural Objects, University of Art, Tehran. 2012
26. K. Samanian, Z. Abbasi, A. Ismailzadeh Kaldareh. Archaeometrical study of used materials in Qajar easel painting using XRD, XRF, PLM and FTIR techniques: A case study of "Egyptian Girl" tablout. *Mediterr. Archaeol. Archaeom.* 13(2013), 159-179.
  27. K. Samanian, Z. Abbasi, M. Dashtizadeh. Archaeological perspective on the Egyptian Girl tableau attributed to Kamal-al-molk iranian painter in the Qajar era (1794 -1925 AD). *Mediterr. Archaeol. Archaeom.* 14(2013), 75-92.
  28. L. Aibeo, S. Goffin, O. Schalm. Micro-Raman analysis for the identification of pigments from 19th and 20th century paintings. *Raman Spectrosc.* 39(2008), 1091-1098.
  29. Miliani, Francesca Rosi, Aviva Burnstock, Klaas Jan Van den Berg, Brunetto Giovanni Brunetti, Antonio Sgamellotti. A non-invasive XRF study supported by multivariate statistical analysis and reflectance FT-IR to assess the composition of modern painting materials. *Spectrochim. Acta Part A.* 71(2009), 1655-1662.
  30. M. Favaro, Sara Bianchin, Pietro A. Vigato, Muriel Vervat. The palette of the Macchia Italian artist Giovanni Fattori in the second half of the sixteenth century. *J. Cult. Heritage.* 11(2010), 265-278.
  31. P. M. Vandenabeele, Ortega-Avil's, D. Tenorio, G. Murillo, e M. Jim'nez-Reyes, N. Guti' rez. Spectroscopic investigation of a 'Virgin of Sorrows' canvas painting: A multi-method approach. *Anal. Chim. Acta.* 550(2005), 164-172.
  32. Q. Monshi Qomi, by Ahmed Soheili Khansari. Manouchehri publisher. 1987
  33. F. Dehbashi Sharif, study of Kamal-al-Molk's students' works and of his influence on them. MA. Thesis, Faculty of Art, Alzahra University. 2004
  34. M. Marzbani, Space and color in iranian paintings, painting graduate thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran. 1993
  35. ICOMOS Principles for the Preservation and Conservation/Restoration of Wall Paintings. <http://www.icomos.org/en/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/166-icomos-principles-for-the-preservation-and-conservationrestoration-of-wall-paintings>. 2016.2.12
  36. B. H. Stuart. Analytical Techniques in Material Conservation, Wiley and Sons Ltd. 2007
  37. McBride, Claire, A Pigment Particle & Fiber Atlas for Paper Conservators, Getty publication. 2002
  38. R. D. Harley. Artists' Pigments C. 1600-1835, Archetype Publications Ltd. 2001
  39. S. Khwajeian, Photochemical degradation in easel paintings-restoration of a painting Attributed to Mohammad Zaman, M. A thesis, Art University of Isfahan, 1994.
  40. S. Alizade, Recognizing the artistic value and how to repair the easel painting of Beitholahm church, University of Art, Tehran. 1990
  41. Amiriyeh, study of four famous Safavi wall paintings, M.A thesis, Art University of Isfahan. 1998
  42. S. Daniilia, D. Bikiaris, S. Sotiropoulou, O. Katsimbiri, E. Pavlidou, A.P. Moutsatsou, Y. Chrysoulakis. Ochre-differentiation through micro-Raman and micro-FT-IR spectroscopies: application on wall paintings at Meteora and Mount Athos, Greece. *Spectrochim. Acta Part A.* 56(2008), 3-18.
  43. S. Marras, Giulio Pojana, Renzo Ganzerla, Antonio Marcomini. Study and characterization of mural paintings from XIX Century in a noble Venetian (Italy) palace. *Microchem. J.* 96(2010), 397-405
  44. M. Rezaee, Study of the painter, Agha Ebrahim's work (late Qajar). BA project. Art University of Isfahan. 1995
  45. H. Nasrabadi, Conservation and restoration of oil painting on cloth support. BA project, Faculty of Pardis, University of Isfahan. 1997
  46. Amiriyeh, Examining the structure of a piece of painting attributed to the Qajar era, B.A thesis, Art University of Isfahan. 1994.
  47. L. Gabriel Zadeh Kargar, Study, conservation, and restoration of Wall Paintings of Chehel Setun in Qazvin, M.A thesis, Art University of Isfahan. 1994
  48. R. Jahanbegloo, Iran and modernity, Second Edition, published Goftegoo, Tehran. 2001
  49. M. Picollo, Mauro Bacci, Donata Magrini, Muriel Vervat. A study of the blue colors used by Telemaco Signorini (1835-1901). *J. Cultural Heritage* 10(2009), 275-280.
  50. N. Purinton, M. Watters. A Study of the Materials Used by Medieval Persian Painters. *J. Am. Institute Conserv.* 30(1991), 125-14.
  51. S. Saeedi, Technical Study of color in Persian painting of the Safavid period "a paint on a paper conservation methods (use of hydrogen peroxide on the SefidAb Sheikh, M.A thesis, Art University of Isfahan. 1995.