

شناسایی رنگدانه‌های سبز و قرمز دیوارنگاره‌های دوره زندیه در شیراز با روش دستگاهی

زهرا نیکویی^۱، کورس سامانیان^{۲*}

۱- دانشجوی دکترا، دانشکده حفاظت و مرمت دانشگاه هنر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۱۱۵۵-۶۵۵

۲- دانشیار، دانشکده حفاظت و مرمت دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۱۱۵۵-۶۵۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۳۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۹/۳/۲۰

چکیده

رنگدانه‌های به کار رفته در دیوارنگاره‌های دوره زندیه (حدود ۱۱۹۳-۱۱۷۵ ه.ق) کمتر مورد بررسی فن‌شناسی قرار گرفته‌اند. در این تحقیق دو رنگدانه قرمز و سبز دیوارنگاره‌های سه بنای زندیه کاخ کریم خان، عمارت دیوان‌خانه و عمارت هفت‌تَنان با روش‌های دستگاهی XRF، FT-IR، XRD و PLM مورد بررسی قرار گرفته‌است. با شناسایی عناصر و ترکیب‌های به کار رفته در این رنگدانه‌ها در روش‌های XRF، XRD و همچنین مقایسه طیف‌های دریافتی در روش FT-IR با طیف‌های موجود در پایگاه اطلاعاتی IRUG و عکس‌های گرفته‌شده از رنگدانه‌ها زیر میکروسکوپ نوری PLM و تطبیق آنها با کتاب اطلس مربوطه، نتایج نشان دادند که رنگدانه‌های قرمز و سبز استفاده شده در دیوارنگاره‌های این سه بنای دوره زندیه از رنگدانه‌های معدنی ساخته شده و با توجه به نتیجه آزمایش‌ها رنگ قرمز، قرمز سرب و شنگرف و سبز به کار رفته سبز مالاکیت است. با توجه به بررسی پیشنهادی شناخت رنگدانه‌های هنری و تاریخی قبل و بعد از دوره زندیه و نتیجه به دست آمده مشخص می‌شود که ایرانی‌ها از ترکیبات محدودی استفاده می‌کرده‌اند و همان‌طور که سبک نقاشی دوره زندیه ادامه دهنده دوره‌های قبل و بویژه دوره صفویه است. در دوره زندیه نیز از رنگدانه‌هایی که در دوره صفویه در نقاشی به کار برده شده استفاده می‌شده و در دوره قاجار نیز استفاده از این رنگدانه‌ها ادامه یافته است.

واژه‌های کلیدی: رنگدانه، دیوارنگاره، XRD، XRF، FT-IR، PLM، زندیه، فناوری، مرمت.

Identification of Green and Red Pigments Used at Mural Painting of Zandieh in Shiraz by Instrumental Methods

Z. Nikoei, K. Samanian*

Faculty of Conservation and Restoration, Tehran University of Arts, P. O. Box: 11155-655, Tehran, Iran

Received: 20-11-2018

Accepted: 22-07-2019

Available online: 09-06-2020

Abstract

The applied pigments in Zandieh period mural painting (Iran, 18th century) have been less studied technologically. This paper has examined two pigments, red and green, in mural paintings of the Zandieh buildings; Karim Khan palace, Divankhaneh mansion and Haft Tann mansion, by XRF, XRD, FT-IR and PLM methods. By identifying the elements and compositions used in these pigments using XRF, XRD methods, as well as comparing the FT-IR spectra with the IRUG database and the PLM images of pigments and matching them with the corresponding Atlas Book, The results showed that the used pigments are Vermilion red and Malachite green. So, based on the historical and artistic pigments background knowledge, related to before and after Zandieh period and the gained results, Iranian people used limited pigments, as the painting style of Zandieh era continues before, especially Safavid era. In Zandieh era, pigments are similar to those of Safavid and Qajar era also continued. *J. Color Sci. Tech.* 14(2020), 49-61©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Pigment, Mural painting, XRD, XRF, FT-IR, PLM, Technology, Restoration.

۱- مقدمه

زیرقرمز تبدیل فوریه^۱، طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس^۲، فلورسانس پرتو ایکس^۳، میکروسکوپ پلاریزه^۴، میکروسکوپ نوری^۵ و روش‌های تکمیلی اسکن نانومتر رامان^۶ و پراش پرتو ایکس و فلورسانس میکرو پرتو ایکس^۷ می‌باشد که باعث شناسایی مواد و روش در نقاشی‌های دیواری و سه‌پایه‌های دوره‌های مختلف شده است [۶].

بررسی و شناسایی مواد و رنگدانه‌های به کاررفته در دیوارنگاره‌های تاریخی ایران با روش‌های مختلف شیمیایی و دستگاهی نتایج جالبی را ارائه داده است: در تحقیق "حفاظت و مرمت بخشی از نقاشی دیواری امامزاده معصوم روستای کروژده سبزوار" این بنای دوره تیموری مورد بررسی قرار گرفته است. این بنا دارای دیوارنگاره‌هایی است با نقوش اسلیمی و ختایی با رنگ‌های سیاه و قرمز که روش‌های دستگاهی XRD, XRF برای شناسایی این رنگدانه‌ها استفاده شده است. نتایج حاصل از این آنالیزها نشان دهنده آن است که سیاه به کار رفته به احتمال زیاد ترکیب سینی‌خام و قرمز اخرا بوده است [۷]. در تحقیق "بررسی علمی و هنری دیوارنگاره‌های موجود در بنای تاریخی گنبد آزادان" دیوارنگاره موجود در بنای آزادان که از محدود دیوارنگاره‌های بجای مانده از دوران ایلخانی است، با روش‌های SEM و FT-IR بررسی شده است. پس از بررسی لایه‌ها و بست به کاررفته در این نگاره‌ها، مشخص شد که رنگ‌هایی که برای رنگ‌آمیزی و نقاشی طرح‌ها و موتیف‌های دیواری این بنا استفاده شده قرمز اخرا، سبز مالاکیت، سیاه دوده و نوعی گل سفید (کربنات کلسیم) می‌باشد [۸]. مسعود باتر ساختار رنگدانه‌های دیوارنگاره عصر پارتی کوه خواجه سیستان را به روش پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی، (EDX) بررسی نموده و نتیجه ناشی از این بررسی را اینگونه بیان نموده که رنگدانه‌های هنری این دیوارنگاره‌ها بیشتر معدنی هستند و در این نقاشی‌ها برای رنگ قرمز از هماتیت، برای رنگ زرد از لیمونیت، از ترکیب هماتیت و کلسیت برای رنگ صورتی، از آبی لاجورد (آلترامارین طبیعی) برای رنگ آبی و از ترکیب ژیپس و کلسیت به عنوان رنگ سفید استفاده شده است [۹]. علیرزاده در تحقیق با عنوان "بررسی و فن‌شناسی تحول هنر نقاشی در دوره اول قاجاری" انواع بست و رنگدانه‌های به کاررفته را در آثار رنگ و روغن، که بیشتر مربوط به دوره اول قاجار است، براساس تجزیه لایه‌های رنگ و زمینه، چنین طبقه‌بندی می‌کند: برای رنگ‌های معدنی؛ سفیدآب شیخ (سفید سرب)، گل سفید، سولفات باریم، اکسید روی، اخرا، گل ماشی یا اومبر،

در سال‌های اخیر در مورد شناسایی رنگدانه‌ها در آثار تاریخی ایران (به ویژه دیوارنگاره‌ها) بررسی‌های علمی چندانی با هدف ویژه شناسایی رنگدانه انجام نشده است. در مطالعات اندکی که انجام گرفته، بیشتر مطالعات درباره فن‌شناسی آثار تاریخی و شناسایی بخشی از مواد رنگی و رنگدانه‌ها است، متأسفانه در این بررسی‌ها، در مورد دیوارنگاره‌های دوره زندیه و شناسایی این رنگدانه‌ها تحقیق زیادی انجام نشده است. در این پژوهش تلاش شده ضمن معرفی مختصر سه بنای این عهد، کاخ کریم‌خان، عمارت دیوان‌خانه و عمارت هفت‌تنان، و بهره‌مندی از روش‌های علمی و دستگاهی، اطلاعاتی درباره مواد دیوارنگاره‌ها به دست آید.

رنگدانه‌ها به سبب قدرت ایجاد رنگ، پوشش و پایداری در برابر تغییرات عوامل محیطی، معمولاً در تمام رنگ‌های تخته رنگ نقاشان مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. بسیاری از رنگدانه‌ها، محصول اکتشافات اخیر و پیشرفت دانش سنتز مواد در آزمایشگاه‌های شیمی هستند. با این وجود برخی از رنگدانه‌های طبیعی معدنی یا آلی از دوران باستان نیز شناخته شده‌اند. بسیاری از رنگدانه‌های غیرآلی در طول پانصد سال گذشته کشف شده‌اند و رنگدانه‌های آلی قدمتی کمتر از یک صد سال دارند. شناسایی رنگدانه یکی از مهم‌ترین اهداف در بررسی علمی نقاشی‌ها، پارچه‌ها، نسخ و اسناد تزئین شده و سایر مواد تاریخی و باستان‌شناختی است. شناسایی رنگ و رنگدانه‌ها نه تنها از دیدگاه باستان‌شناسی، بلکه از منظر تاریخ هنر و درک تاریخی یک کار هنری، شناخت فرآیندهای تخریب و حتی توسعه روش‌های حفاظتی آثار تاریخی و رفع مشکلات تاریخ‌گذاری و انتساب به خالق اثر نیز حائز اهمیت است [۱].

با بررسی منابع، مشخص می‌شود که پیشینه تحقیق و پژوهش‌های فنی در ارتباط با شناسایی رنگدانه‌های دیوارنگاره‌های ایران و به طور کلی درباره هنر ایران بسیار کم است و به ویژه پژوهشگران ایرانی در این بررسی‌ها نقش بسیار کم رنگی دارند. یکی از دلایل این کم کاری شاید این باشد که در هنر سنتی ایران مرسوم بوده است که روش و سبک از استاد به شاگرد منتقل شود و به همین دلیل مستندات زیادی درباره رنگ‌سازی و آماده‌کردن رنگ جهت استفاده هنری وجود ندارد. در سال‌های اخیر پژوهشگران در این رابطه بررسی‌هایی انجام داده و نتیجه آنها را منتشر نموده‌اند، در پژوهش‌های انجام شده، شناسایی رنگدانه‌های هنری دوره‌های ایلخانی، تیموری، صفوی و بیشتر قاجار دیده می‌شود [۵-۲]. در تحقیق‌های ارائه شده در این جهت در کنار مطالعه‌های تاریخی از روش‌های دستگاهی، برای شناسایی مواد و روش‌های به کاررفته در دیوارنگاره‌ها و نقاشی‌های سه‌پایه‌ای استفاده شده است. روش‌های استفاده شده در این تجزیه و تحلیل‌ها، روش‌های طیف‌سنجی

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

اطلاعات مدون و کافی درباره ساختار مواد دیوارنگاره‌های دوره زندیه، از رنگدانه‌های قرمز و سبز این سه بنای مهم دوره زندیه نمونه‌برداری شد و مورد بررسی قرار گرفتند. در این مقاله با استفاده از مطالعات و پژوهش‌های کتابخانه‌ای و آزمایشگاهی و همچنین از نتایج علمی تجزیه مواد برای شناخت ساختار استفاده شده‌است. نتیجه این شناخت می‌تواند بخشی از تاریخ هنر را در زمینه نقاشی و از نظر فن‌شناسی آثار تکمیل و راه حفظ و مرمت این آثار را هموارتر نماید.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مطالعه موردی

از دیوارنگاره‌های به‌جا مانده از دوران زندیه می‌توان به دیوارنگاره‌های کاخ کریم‌خان زند، عمارت کلاه فرنگی باغ نظر و پنج مجلس نقاشی شده در ایوان تکیه هفت‌تنان (منسوب به آقا صادق) را نام برد [۱۶]. دیگر بنای این شهر که با نقش برجسته‌های زیبا و دیوارنگاره‌های بی‌نظیر در محوطه باغی زیبا ایجاد شده، عمارت دیوانخانه است.

نقاشی‌های زیبا و چشم‌نواز کاخ کریم‌خانی ریشه‌های تاریخ کهن هنر ایران زمین، خصوصاً منطقه پارسه را در خود دارند. ورود طبیعت به اتاق‌ها و هماهنگی بین نقوش و رنگ‌ها، آرامش خاصی را برای بیننده به ارمغان می‌آورد. نقوش به‌کار رفته در دیوارنگاره‌های کاخ شامل نقوش گل و گیاه، نقش پرندگان و نقوش تزیینی-تذهیبی است. این نقوش متنوع بوده و به روش لایه‌چینی، طلاکاری شده‌است. نگاره‌های تزیینی شامل ترنج‌ها و سرترنج‌ها، لچک و ترنج، شمشه و حاشیه‌ها می‌باشند.

در زمان کریم خان زند عمارت دیوانخانه به منظور انجام کارهای دیوانی ساخته شده و نقشه آن شبیه به ساختمان کاخ است. نقاشی‌های رنگ و روغن این بناها اصالت ایرانی دارند و تقلیدی در آنها نمی‌توان دید. تزیینات دیوارنگاره‌ها بیشتر در ایوان مرکزی بنا رسم شده‌است و در قسمت‌های دیگر، طاق‌ها و مقرنس‌های گچکاری جالب توجهی دیده می‌شود، نقاشی‌ها بر روی دیوار، طاقچه‌ها و سقف کشیده شده‌اند و نقوش گیاهی زیبایی همراه با پرندگانی که در حال آواز خواندن هستند با طبیعت‌گرایی بر زمینه طلایی اجرا شده‌اند.

بنای ارزنده عمارت هفت‌تنان متعلق به دوره زندیه و در باغی است که مدفن چند عارف می‌باشد. حاج میرزا ابوالحسن فسایی در کتاب فارس‌نامه نصری [۱۷] این عمارت را توصیف کرده‌است. این بنا نیز مانند دیگر بناهای دوره زندیه دارای تزیینات فراوانی است، از تزیینات منحصر به فرد این بنا، نقاشی‌های روی ستون‌های سنگی ایوان و ۵ مجلس نقاشی شده دیوارهای پنج طاقچه ایوان است که در هر کدام نقاشی از شاهکارهای دوره زندیه وجود دارد. این نقاشی‌ها شامل مجالس درویش کشکول به دست و تبر زین بر دوش بر دیوار غربی، سه تصویر حضرت موسی در حال شبانی، شیخ صنغان و دختر ترسا و داستان قربانی شدن حضرت اسماعیل بر دیوار شمالی و تصویر درویش

زرنیخ، سرنج، شنگرف، زرد کرومات سرب، زنگار، سبز سیلو، آبی مسی یا آزوریت، آبی لاجوردی یا اولترامارین، آبی پروس، ورق نقره، ورق و پودر طلا، طلای اکلیلی یا فرنگی و برای رنگ‌های آلی سیاه، قرمز دانه و آبی نیل استفاده می‌شده‌است [۱۰]. کریمی و هولاکویی، رنگدانه‌های استفاده شده در مسجد جامع ابرقو، در ایران مرکزی، با روش‌های طیف‌سنجی میکرو رامان^۱، میکرو X-Ray فلورسنس (Micro XRF)، SEM و PLM مورد آزمایش قرار دادند و آزمایش‌ها نشان داد که رنگ سبز؛ آتاکامیت، قرمز؛ قرمز سرب، آبی؛ لاجورد مخلوط با آلتامارین و رنگ سفید هانتیت است. نتایج به دست آمده نشان داد که روش طیف‌سنجی میکرورامان برای شناسایی رنگدانه‌ها روش موثر و مناسبی است [۱۱]. رنگدانه‌های قرمز مورد استفاده در دیوارنگاره‌های دوره صفویه قرمز اکسید آهن، قرمز اکر و قرمز اخرا گزارش شده است [۱۴-۱۰] و در ایران، رنگدانه مالاکیت فقط در نقاشی دیواری کاربرد داشته است [۱۴].

با توجه به مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای انجام شده و با بررسی مطالعات پیشین در منابع موجود، نویسندگان موارد مکتوبی را در ارتباط با شناسایی آزمایشگاهی دقیق رنگدانه‌های دوره تاریخی زندیه مشاهده نکرده‌اند. تنها یک نمونه از شناسایی رنگدانه‌ها در کاخ کریم‌خان در کتاب "جلوه‌گاه هنر و معماری در کاخ کریم‌خانی" دیده می‌شود که این کار با استفاده از آزمایش نقطه‌ای^۲ و طیف‌سنجی جذب اتمی^۳ انجام شد. شناسایی رنگدانه‌ها در این کتاب بدین گونه است، برای رنگدانه آبی، نتیجه لاجورد با فرمول شیمیایی $(Al_6Si_6O_{24}S_2)$ (4Na6-10) گزارش شده، رنگدانه‌های قرمز، شنگرف (HgS) سبز، مالاکیت $(CaCO_3 \cdot Cu(OH)_2)$ ، سفید، سفیداب شیخ یا سفید سرب با فرمول شیمیایی $(2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2)$ و قهوه‌ای، اخرا (Fe_2O_3) شناسایی شده‌است. رنگدانه گل‌بهی، ترکیبی از اخرای قرمز همراه با سفیداب شیخ $(2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2 + Fe_2O_3)$ ، رنگدانه مشکی، کربن (C)، همچنین ورقه طلا به‌کار رفته در تزیینات از طلای با عیار بالا (Au_{44}) و رنگ قرمز لایه‌چینی، اخرای قرمز (Fe_2O_3) می‌باشد [۱۵].

هدف این پژوهش شناخت بخشی از ترکیبات موجود در دیوارنگاره‌های ایرانی یکی از مهم‌ترین دوره‌های تاریخ ایران یعنی دوره زندیه است. به همین منظور رنگدانه‌های قرمز و سبز سه بنای تاریخی دوره زندیه مورد بررسی قرار گرفتند تا علاوه بر شناخت نوع و ترکیب شیمیایی این دو رنگدانه، مشخص شود که آیا رنگدانه‌های به‌کار رفته در این دوره مشابه دوره قبل یعنی رنگدانه‌های بکار رفته در دیوارنگاره‌های دوره صفویه است یا خیر؟ و آیا رنگدانه‌های به‌کار رفته در سه بنای مورد مطالعه یکسان است یا اینکه در دوره زندیه برای یک رنگ از مواد متنوع استفاده می‌کرده‌اند؟ بنابراین با توجه به کمبود

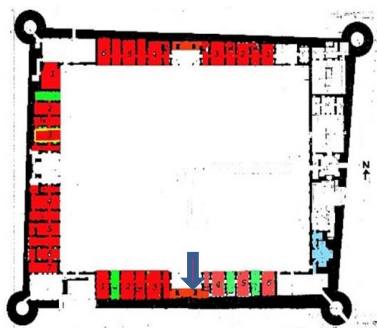
1- Micro Raman

2- Spot test

3- Atomic absorption spectroscopy (AAS)

نمونه‌ها، سعی شد از محل‌هایی نمونه‌برداری شود که در طی سال‌ها در آن قسمت‌ها کمترین دخالت انجام شده باشد. بنابراین پس از شناسایی نقاط مناسب اقدام به نمونه‌برداری شد.

کاخ کریم‌خان، تا به امروز کاربری‌های متفاوتی داشته است. در دوران پهلوی مدت زمانی این کاخ به زندان تبدیل شد و در این مدت بر روی دیوارنگاره‌ها لایه‌ای از گچ کشیدند که این اقدام باعث شد در این قسمت‌ها نقاشی‌ها دست نخورده باقی بمانند. در سال‌های بعد، از دهه ۵۰ شمسی که اقدامات مرمتی کاخ آغاز شد شروع لایه‌برداری این نقاشی‌ها انجام شد (برگرفته از گزارش‌های موجود در بخش اسناد اداره میراث فرهنگی شیراز) اما هنوز اتاق‌هایی در کاخ وجود دارد که لایه‌برداری نشده و نقاشی‌ها زیر لایه‌ای از گچ قرار دارند. این قسمت‌ها بهترین نمونه برای شناسایی رنگدانه‌های دوره زندیه هستند. به همین دلیل نمونه‌های رنگ‌های قرمز و سبز مورد پژوهش از یکی اتاق‌های ایوان جنوبی که هنوز اقدام مرمتی روی آن انجام نشده و در قسمت‌هایی از نقاشی‌ها زیر لایه گچ قرار دارند انتخاب شد. با توجه به تحقیق انجام شده در مورد مرمت دیوارنگاره‌های عمارت دیوان‌خانه، مشخص شد که بر روی برخی از دیوارنگاره‌های این عمارت تنها اقدام مرمتی، تمیز کاری نقاشی‌ها و تثبیت آنها بوده است و تثبیت با پارالوئید B72 انجام شده است [۱۸]. هنگام نمونه‌برداری، محل نمونه‌برداری با کمی استن ۵٪ تمیز شده و سپس نمونه‌ها از دیوارنگاره‌ها برداشته شدند. همچنین در این عمارت دیوارنگاره‌ها در سال‌های گذشته (دهه ۱۳۳۰ ه.ش) تجدید رنگ شده است (برگرفته از گزارش‌های موجود در بخش اسناد اداره میراث فرهنگی شیراز)، نقاشی که بر دیوار شرقی ایوان قرار گرفته کم‌ترین بازسازی رنگی را داشته‌است، بنابراین رنگدانه‌های مورد نظر از این قسمت نمونه‌برداری شد. تعداد شش نمونه از رنگ‌های سبز و قرمز از هر سه بنا برداشته شد که در نقشه‌های ارائه شده از بناها، محل نمونه‌برداری‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱: پلان کاخ کریم‌خانی (طبقه اول)، تزیینات دوره زندیه ■ تزیینات دوره قاجار، ■ تزیینات گچ‌بری، ■ تزیینات آهک‌بری، محل نمونه‌برداری، ایوان جنوبی ↓

جوان بر دیوار شرقی می‌باشد. مقرنس‌های بالای طاقچه‌ها و اطراف این طاقچه‌ها را نقاشی‌هایی از گل و پرند مختص دوره زندیه با زیبایی فراگرفته‌است. این سه بنا که در زمان کریم‌خان ساخته شده‌اند و هر سه دارای دیوارنگاره‌های زندیه می‌باشند و نمونه‌های مناسبی برای بررسی رنگدانه‌های دیوارنگاره‌های این دوره هستند.

۲-۲- روش کار و دستگاه‌های مورد استفاده

برای شناسایی رنگدانه‌های به کار رفته در دیوارنگاره‌های سه بنای مورد مطالعه از دوره زندیه از روش‌های دستگاهی XRF، XRD، FT-IR و PLM استفاده شده‌است. آزمایش XRD نمونه رنگدانه مربوط به سه بنا توسط دستگاه XRD ساخت کارخانه فیلیپس^۱ و مدل PW1800 و لامپ دستگاه مس بود.

دستگاه XRF شرکت بروکر و مدل S1 SD و دستگاه FT-IR ساخت شرکت Bruker آلمان مدل Tensor 27 با محدوده طول موج $400-4000 \text{ cm}^{-1}$ به کار گرفته شد. برای آزمایش PLM از دستگاه میکروسکوپ پلاریزه ساخت شرکت Jenuse مدل Pol-BK استفاده شد. روش تحقیق، روشی آزمایشی تحلیلی شناسایی رنگدانه‌های هنری، به روش FT-IR، به عنوان روش اصلی در کنار استفاده از روش‌های دستگاهی دیگر به عنوان روش‌های مکمل، برای بررسی نمونه‌ها به کار گرفته شد [۶].

۲-۳- نمونه برداری

مطالعه مواد فرهنگی و تاریخی یکی از مهم‌ترین اهداف فن‌شناسی آثار در راستای شناخت آن‌ها است، در این راستا مطالعات عنصری مواد و آثار تاریخی عامل مهمی در تحقق این مهم است. شناسایی مواد اصلی که هنرمند در اثر هنری - تاریخی استفاده کرده است برای مرمت کننده به منظور ارائه روش‌های مناسب حفاظت و مرمت بسیار مهم است.

با توجه به آیین‌نامه‌های حفاظت و مرمت آثار تاریخی - همان‌طور که در منشور بین‌المللی حفاظت و مرمت ونیز ۱۹۶۶ و قطعنامه پنجمین مجمع عمومی ایکوموس مسکو در سال ۱۹۷۶، اشاره شده است، حفاظت از یک اثر تاریخی، بر این اساس است که کم‌ترین مداخله فیزیکی در اثر اتفاق بیفتد [۱۸]. با توجه به این موضوع و اعمال کم‌ترین میزان دخل و تصرف در اثر تاریخی در راستای حفظ اصول مرمتی و حفاظتی آثار تاریخی و فرهنگی، در این مرحله، نمونه‌برداری از محل‌هایی انجام شد که کم‌ترین آسیب و دخالت را در آن ناحیه داشته باشد. اما در هر سه بنا در دوره‌هایی مرمت و بازسازی‌هایی روی نقاشی‌ها انجام شده است که این اقدامات می‌تواند خطای آزمایش‌ها را در شناسایی افزایش دهد، به منظور خلوص

1- PHILIPS



شکل ۶: دیوارنگاره نمونه برداری شده در عمارت هفت تن.



شکل ۲: محل نمونه برداری از دیوارنگاره کاخ کریم‌خانی.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی رنگدانه‌ها با روش FT-IR

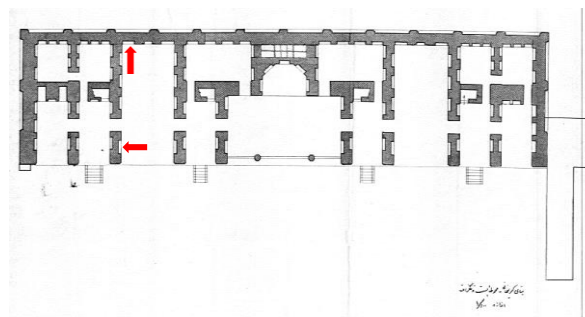
یک طیف زیر قرمز سه ناحیه دارد که عبارتند از: ناحیه زیر قرمز دور $400 > \text{cm}^{-1}$ ناحیه زیر قرمز میانی $400-4000 \text{ cm}^{-1}$ و زیر قرمز نزدیک $13000-4000 \text{ cm}^{-1}$. ناحیه زیر قرمز میانی دارای ناحیه‌های کششی، پیوندهای سه گانه، ناحیه پیوندهای دوگانه و ناحیه اثر انگشتی که بین $1500-600 \text{ cm}^{-1}$ می‌باشد، رنگدانه‌های معدنی ساده همچون اکسیدهای فلزی و سولفیدهای فلزی در ناحیه زیر قرمز میانی هیچ ارتعاشی تولید نمی‌کنند، رنگدانه‌های معدنی که از ساختار پیچیده تری همچون آنیون‌ها تشکیل یافته باشند نوار جذب در محدوده زیر قرمز میانی نشان می‌دهند [۱۹].

با بررسی نمودار به دست آمده از FT-IR، نمونه سبز دارای ناحیه جذبی قوی مشترک در محدوده عدد موجی $1500-1383 \text{ cm}^{-1}$ می‌باشد. علاوه بر این نوارهای جذبی در نواحی $1100-500 \text{ cm}^{-1}$ مشاهده می‌شود که با طیف‌های رنگدانه مالاکیت در پایگاه اطلاعاتی IRUG مطابقت دارد [۲۰].

طیف‌های به دست آمده از FT-IR نمونه قرمز در ناحیه جذبی، با طیف‌های موجود در پایگاه اطلاعاتی IRUG تطبیق و مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به دستورالعمل‌هایی که باربارا استوارت در کتاب "روش‌های تجزیه مواد در مرمت و حفاظت آثار تاریخی" بیان کرده‌است، نوار جذب مشترک بین نمونه‌ها و دستورالعمل‌های وی بررسی شد که نمونه مورد آزمایش با نوار جذب رنگدانه‌های شن‌گرف و قرمز سرب که رنگدانه تاریخی استفاده شده در دوران قبل از دوره زندیه بوده‌است، مطابقت نشان نمی‌دهد.

۳-۲- بررسی رنگدانه‌ها با روش XRF

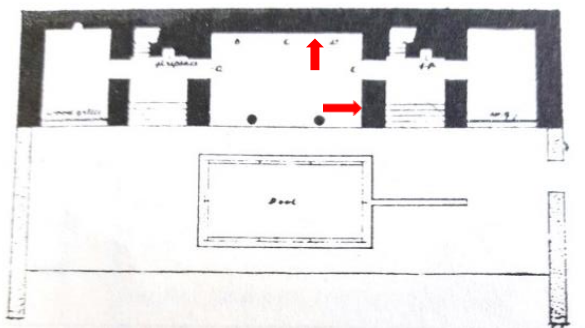
طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس XRF یک روش غیر تخریبی است که به طور گسترده‌ای برای اندازه‌گیری ترکیب عنصری مواد به کار می‌رود. اگر چه این روش غیر تخریبی است اما نمونه‌ها باید خرد شده و به صورت قرص‌هایی فشرده شده و یا روی گوی‌های شیشه‌ای نشانده شوند [۱۹]. از آنجا که بسیاری از رنگدانه‌ها را می‌توان توسط



شکل ۳: نقشه عمارت دیوان‌خانه، محل نمونه برداری.



شکل ۴: محل نمونه برداری از دیوارنگاره عمارت دیوان‌خانه.



شکل ۵: پلان عمارت هفت تن، محل نمونه برداری.

قرمز، عناصر Hg و Pb و در رنگدانه سبز Zn، Cu و Fe مشاهده شد. وجود این عناصر می‌تواند توجیه کند که رنگ قرمز شنگرف، با ترکیب HgS و یا قرمز سرب با ترکیب Pb_3O_4 می‌باشد و یا ترکیبی از هر دو رنگ بوده‌است. در رنگدانه سبز با وجود عنصر Cu احتمال اینکه رنگدانه سبز به کار رفته یکی از کربنات‌های قلیایی مس، آتاکامیت یا مالاکیت، و یا سبز سیلو باشد، بیشتر است. عناصر مشابه‌ای که در رنگدانه‌های تاریخی وجود داشته در این بررسی‌ها نیز شناسایی شده است و با توجه به اینکه سبز شناسایی شده در رنگدانه‌های تاریخی آتاکامیت^۱ و مالاکیت^۲ با فرمول شیمیایی $Cu_2(OH)_2CO_3$ ، از استات‌های قلیایی مس است، همچنین سبز سیلو یا خاک سبز که بخش عمده مواد معدنی آن از آهن آبدار، منیزیم، سیلیکات‌های پتاسیم و آلومینیم تشکیل شده است [۲۱]، بنابراین احتمال اینکه رنگدانه مورد مطالعه از ترکیبات مس باشد بیشتر است.

حضور یک یا دو عنصر قابل اندازه‌گیری شناسایی نمود، روش XRF می‌تواند به شناسایی رنگدانه‌های معدنی کمک شایانی نماید. با روش معمول XRF نمونه‌برداری زمانی امکان‌پذیر است که لایه رنگ توسط جلا پوشیده نشده باشد. به دلیل اشتراک بسیاری از رنگدانه‌ها در دارا بودن عناصر کلیدی، روش XRF همواره نتایج صریحی در مورد رنگدانه‌ها ارائه نمی‌کند. مزیت عمده روش XRF امکان اندازه‌گیری مقادیر عناصر اصلی به همراه عناصر جزئی است که این امر امکان مطالعه نسبت رنگدانه‌های اصلی را فراهم می‌کند [۱۹].

آزمایش‌های XRF دو نمونه رنگ قرمز و سبز یکی از بناها با دو بار طیف‌گیری برای هر نمونه، انجام‌شد، یک بار با ولتاژ بالا (H) و میکروآمپر پایین و بار دیگر با ولتاژ پایین (L) و میکروآمپر بالا برای همان نمونه تا هر دو دسته عناصر سنگین و عناصر سبک شناسایی شوند.

در بررسی عناصر رنگدانه‌های سبز و قرمز، در طیف‌سنجی رنگدانه

- 1- Atacamit
2- Malachite

جدول ۱: نمونه‌های آزمایشگاهی.

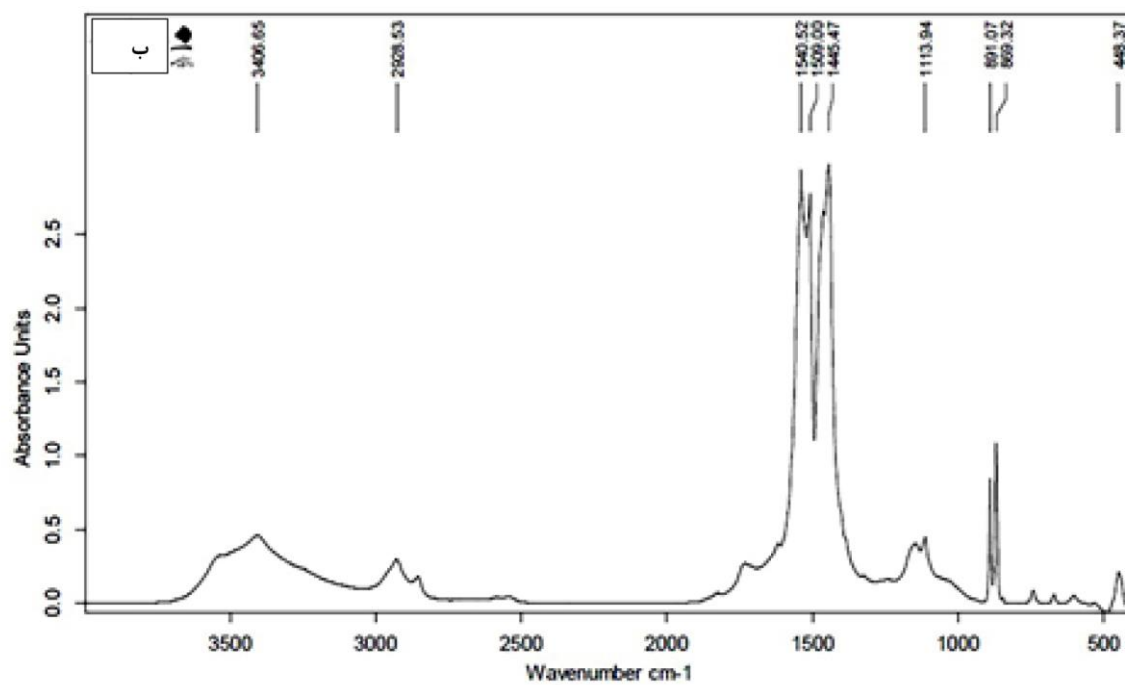
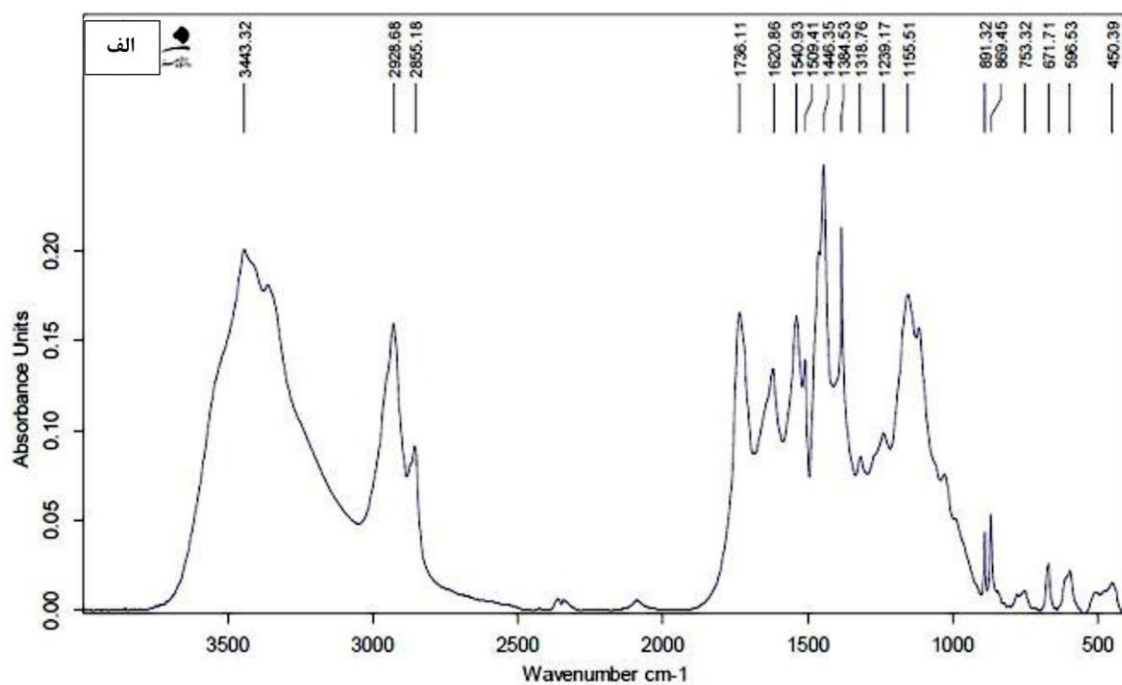
ردیف	کد نمونه	فام نمونه	محل قرارگیری نمونه	آزمایش‌های انجام شده
۱	A ₁	قرمز	طاقچه شماره ۱، اتاق M، عمارت دیوان‌خانه	PLM، FT-IR، XRF، XRD
۲	A ₂	سبز	طاقچه شماره ۱، اتاق M، عمارت دیوان‌خانه	PLM، FT-IR، XRF، XRD
۳	B ₁	قرمز	ایوان جنوبی، کاخ کریم‌خان	PLM، FT-IR، XRD
۴	B ₂	سبز	ایوان جنوبی، کاخ کریم‌خان	PLM، XRD
۵	C ₁	قرمز	نقاشی شماره ۱، دیوار شرقی ایوان عمارت هفت‌تنان	PLM، XRD
۶	C ₂	سبز	نقاشی شماره ۱، عمارت هفت‌تنان	PLM، XRD

جدول ۲: نتایج حاصل از بررسی نمونه‌ها با روش FT-IR.

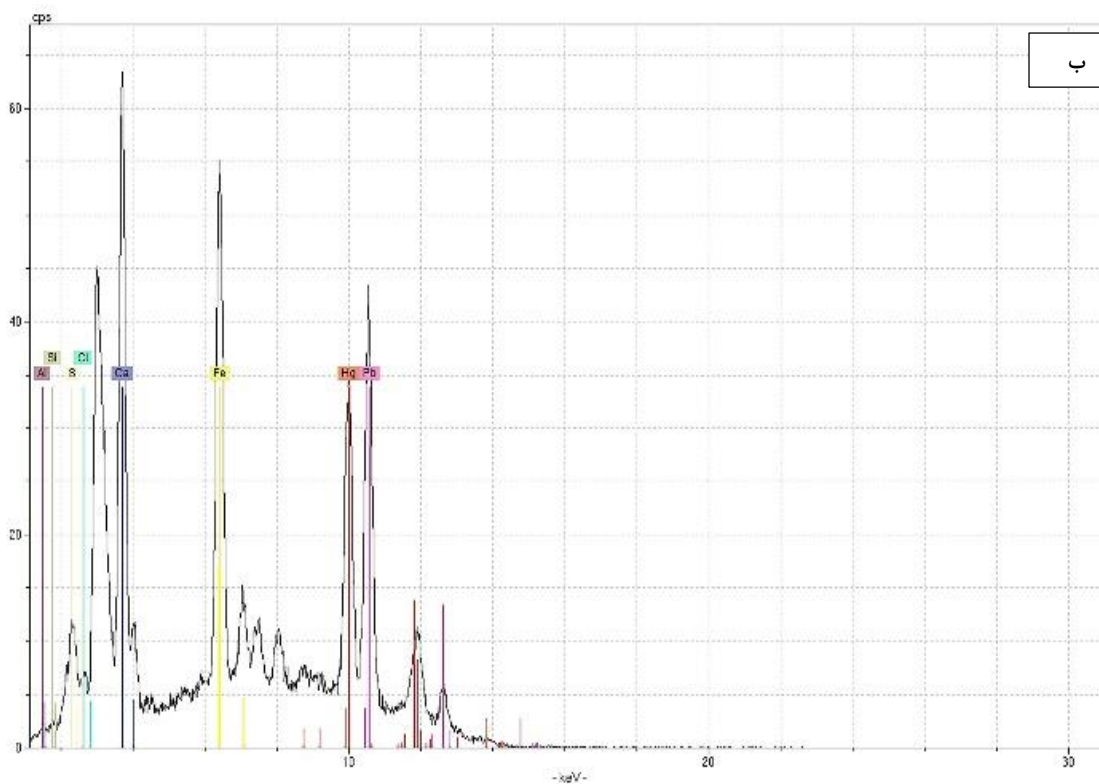
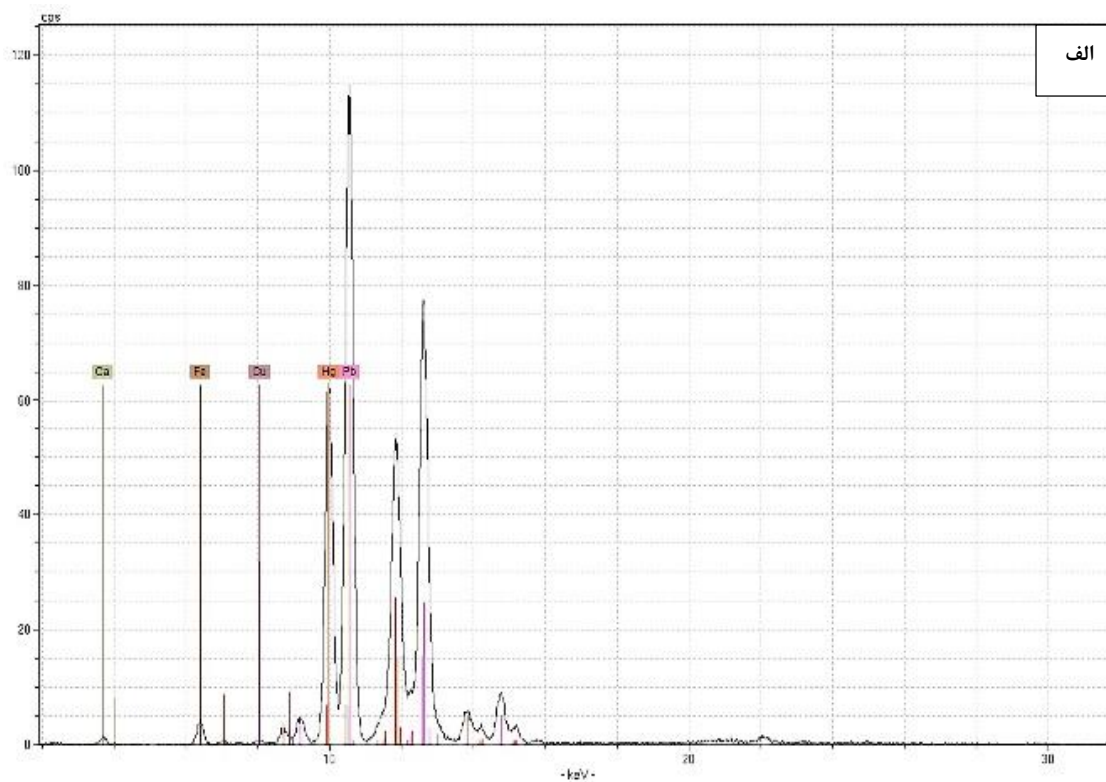
ردیف	کد نمونه	فام نمونه	عدد موجی (cm ⁻¹)
1	A ₁	قرمز	۱۷۳۱، ۱۵۳۸، ۱۱۴۹، ۱۱۱۲، ۸۹۰، ۸۶۸، ۷۷۹، ۶۷۹، ۶۰۱، ۵۳۰
2	A ₂	سبز	۱۷۳۵، ۱۶۲۰، ۱۵۴۰، ۱۵۰۹، ۱۴۴۶، ۱۳۸۴، ۱۳۱۸، ۱۲۳۹، ۱۱۵۵، ۸۹۱، ۸۶۹، ۷۵۳، ۶۷۱، ۵۹۶، ۴۵۰
3	B ₁	قرمز	۱۵۴۰، ۱۵۰۹، ۱۴۴۵، ۱۱۱۳، ۸۹۱، ۸۶۹، ۴۴۸

جدول ۳: نتایج حاصل از بررسی نمونه‌ها با روش XRF.

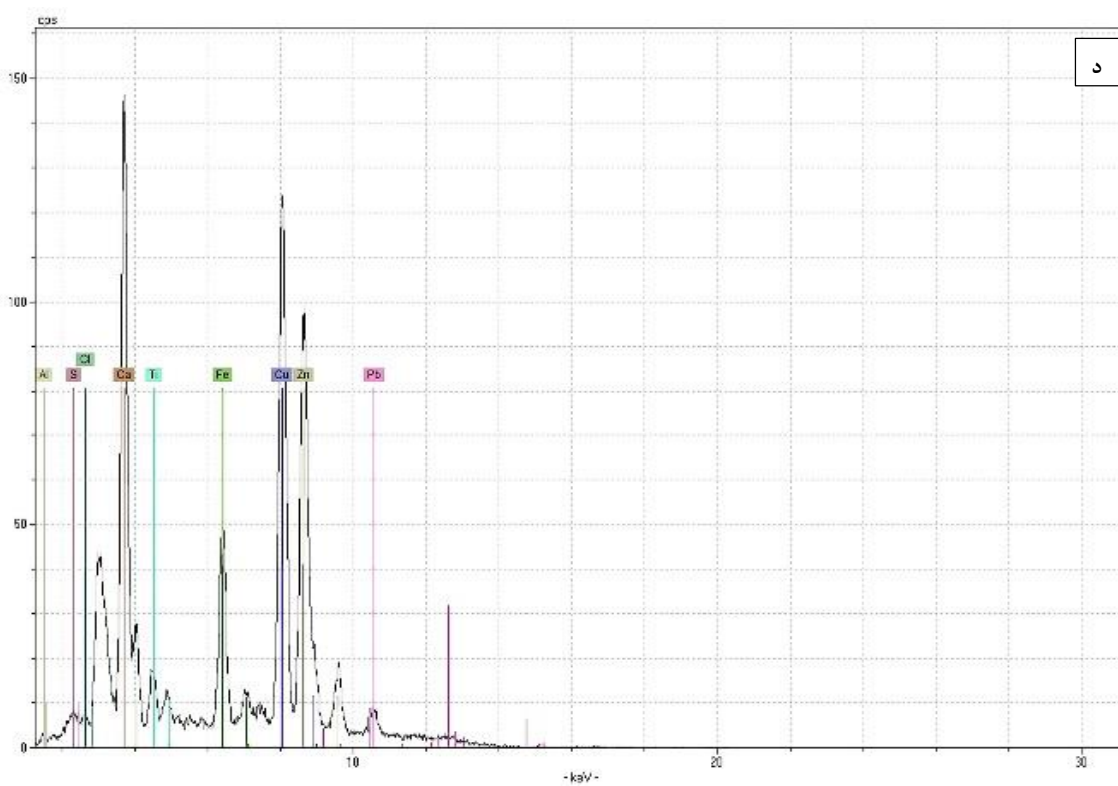
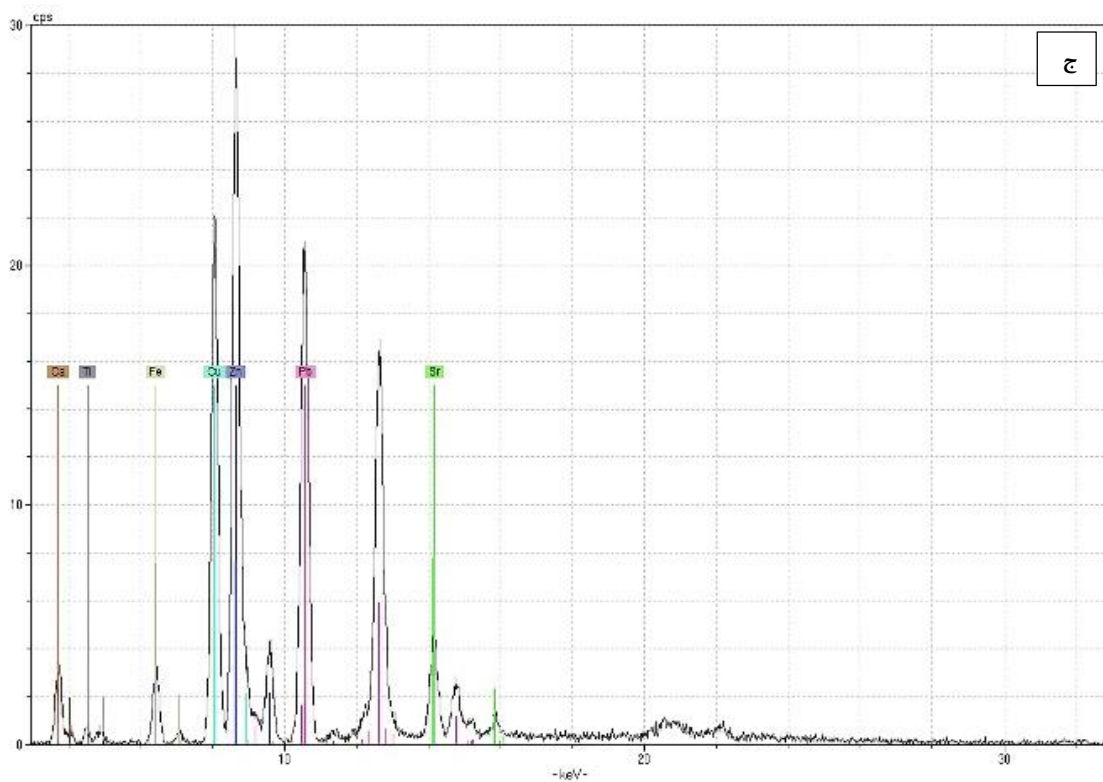
نتایج حاصل از بررسی نمونه‌ها با روش XRF (با ولتاژ بالا)																	
ردیف	کد نمونه	Cu	Hg	Al	Si	Pb	Fe	Ca	Cl	Ti	Sr	Zn	S	As	Au	Co	Ni
۱	A ₁	✓	✓	-	-	✓	✓	✓									
۲	A ₂	✓				✓	✓	✓		✓	✓	✓					
نتایج حاصل از بررسی نمونه‌ها با روش XRF (با ولتاژ پایین)																	
ردیف	کد نمونه	Cu	Hg	Al	Si	Pb	Fe	Ca	Cl	Ti	Sr	Zn	S	As	Au	Co	Ni
۱	A ₁	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓				✓				
۲	A ₂	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓				



شکل ۷: نمودار FT-IR الف) A و ب) B.



شکل ۸: نمودار XRF الف) نمونه A₁ (ولتاژ بالا) ، ب) A₁ (ولتاژ پایین) ، ج) نمونه A₂ (ولتاژ بالا) و د) A₂ (ولتاژ پایین).



شکل ۸: ادامه.

آشکارسازی پرتوهای X موثر است و هرچه استانداردهای دستگاه در کالیبراسیون به نمونه نزدیکتر باشد اندازه‌گیری دقیق‌تری می‌توان انجام داد.

در مورد رنگ سبز دیاگرام XRD علاوه بر Pb_3O_4 و HgS ترکیب سولفات کلسیم آبدار $Ca(SO_4)(H_2O)$ را نشان می‌دهد که ژپس یا گچ است که به عنوان بستر به کار برده شده و مسلماً مقداری از آن در نمونه وجود داشته است. ترکیب دیگر $Mg_3Ca(CO_3)_4$ می‌باشد که فرمول شیمیایی هانتیت^۱ است [۲۲]. این ترکیب نیز احتمالاً همراه با ژپس در لایه بستر یا لایه تدارکاتی وجود داشته است.

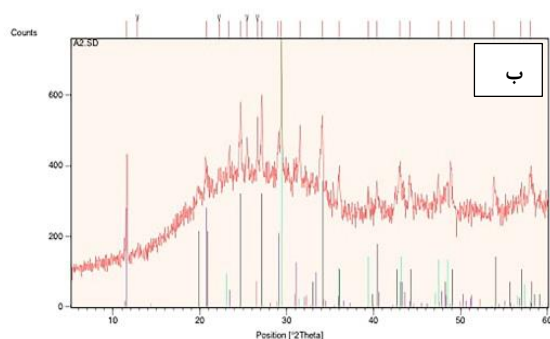
1- Huntite

۳-۳- بررسی رنگدانه‌ها با روش XRD

به علت اینکه لایه رنگ هنوز به لایه بستر اتصال داشت، سعی شد که این لایه تا حد امکان حذف شود تا در انجام آزمایش خطای کمتری صورت بگیرد. در آزمایش XRD نمونه باید به پودری با مش حدود ۳۰۰ میکرومتر آسیاب و نهایتاً به کمک بست سیال، بر روی یک شیشه یا صفحه فلزی پهن گردد. برای انجام آزمون به حدود ۱۰۰ میلی گرم از هر نمونه نیاز است. آزمایش XRD به علت سرعت عمل و غیرمخرب بودن ابزار مناسبی برای مطالعه اشیاء هنری به حساب می‌آید، اما متأسفانه به دلیل برخی محدودیت‌ها انجام آن کمی دشوار است و به همین دلیل در اغلب موارد بیشتر به صورت کیفی و نیمه کمی می‌توان نتیجه را بدست آورد. از طرفی بافت نمونه در سرعت

جدول ۴: نتایج حاصل از بررسی نمونه‌ها با روش XRD.

ردیف	کد نمونه	فام نمونه	ترکیبات شناسایی شده
۱	A ₁	قرمز	Ca (SO ₄) (H ₂ O) - Pb ₃ O ₄ - Na _{0.3} (Al Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ O
۲	A ₂	سبز	Pb ₃ O ₄ - Pb ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂ - CaCO ₃ - Ca (SO ₄) (H ₂ O)
۳	B ₁	قرمز	Ca (SO ₄) (H ₂ O) ، Hg S
۴	B ₂	سبز	Mg ₃ Ca (CO ₃) ₄ ، Ca (SO ₄) (H ₂ O) ، Hg S
۵	C ₁	قرمز	BaSO ₄
۶	C ₂	سبز	Ca (SO ₄) ₂ (H ₂ O) - BaSO ₄ - Mg ₃ Ca (CO ₃) ₄

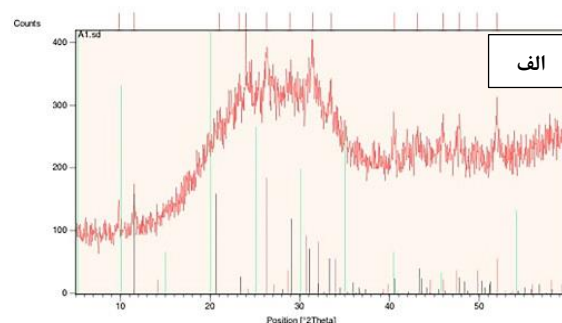


Peak List
00-008-0019
00-013-0131
00-005-0586
00-033-0311

Peak List: (Bookmark 3)

Pattern List: (Bookmark 4)

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	Scale Factor
00-008-0019	red lead	Pb ₃ O ₄	1	0.095
00-013-0131	Hydrocerussite, syn	Pb ₃ (C O ₃) ₂ (O H) ₂	18	0.468
00-005-0586	Calcite, syn	Ca C O ₃	27	1.035
00-033-0311	Gypsum, syn	Ca S O ₄ !2 H ₂ O	10	0.368



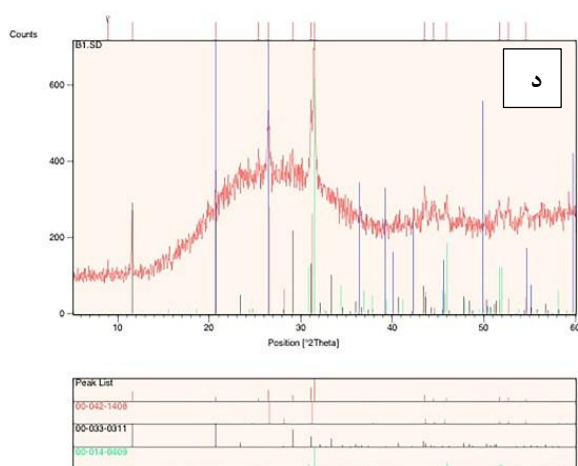
Peak List
00-008-0019
00-033-0311
00-012-0219

Peak List: (Bookmark 3)

Pattern List: (Bookmark 4)

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	Scale Factor
00-008-0019	red lead	Pb ₃ O ₄	8	0.438
00-033-0311	Gypsum, syn	Ca S O ₄ !2 H ₂ O	7	0.379
00-012-0219	Montmorillonite-18A	Na _{0.3} (Al Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ O H ₂ !6 H ₂ O	0	1.577

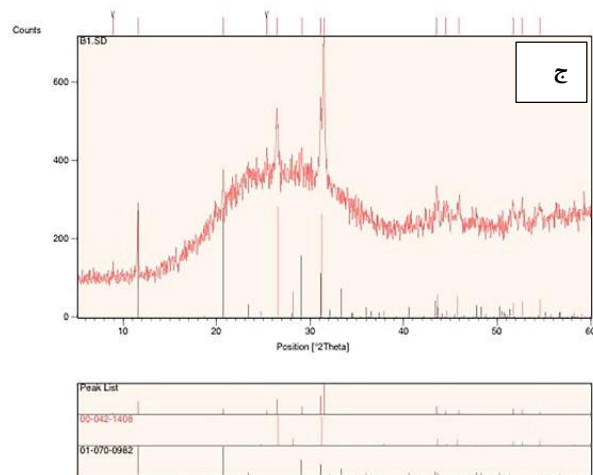
شکل ۹: نمودار XRD نمونه‌ها (الف) A₁، (ب) A₂، (ج) B₁، (د) B₂، (ه) C₁ و (و) C₂.



Peak List: (Bookmark 3)

Pattern List: (Bookmark 4)

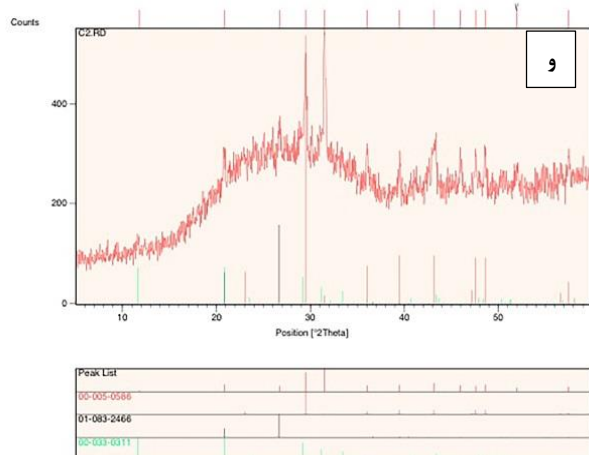
Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	Scale Factor
00-042-1408	vermilion	Hg S	31	0.388
00-033-0311	Gypsum, syn	Ca S O4 !2 H2 O	18	0.402
00-014-0409	Huntite	Mg3 Ca (C O3)4	20	0.852



Peak List: (Bookmark 3)

Pattern List: (Bookmark 4)

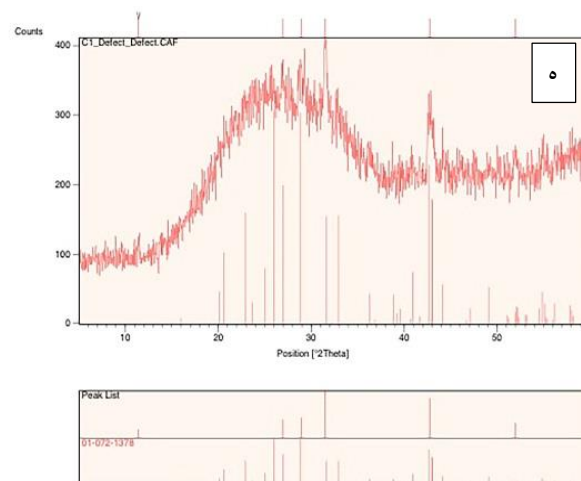
Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	Scale Factor
00-042-1408	vermilion	Hg S	31	0.388
01-070-0982	Gypsum	Ca (S O4) (H2 O)2	20	0.402



Peak List: (Bookmark 3)

Pattern List: (Bookmark 4)

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	Scale Factor
00-005-0586	Calcite, syn	Ca C O3	46	0.973
01-083-2466	Quartz, syn	Si O2	22	0.285
00-033-0311	Gypsum, syn	Ca S O4 !2 H2 O	9	0.130



Peak List: (Bookmark 3)

Pattern List: (Bookmark 4)

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	Scale Factor
01-072-1378	Baryte	Ba S O4	16	0.737

شکل ۹: ادامه.

مطابق اطلس ذرات سینابار یا ورمیلیون به طور یکنواخت و ظاهری شیشه‌ای با رنگ قرمز کم نور و شفاف هستند. قرمز سرب نیز ذرات همگن کوچکی دارد که اغلب با هم جمع می‌شوند و رنگ قهوه‌ای تیره یا قرمز-قهوه‌ای پررنگ، یا پر زرق و برق دارد، اما برخی از ذرات که نور از آنها عبور می‌کند، شفاف و نارنجی به نظر می‌رسند. بنابراین تصاویر میکروسکوپی، نمونه رنگ قرمز با نمونه‌های شاهد

۴-۳- بررسی رنگدانه‌ها با روش PLM

تصاویر میکروسکوپی همه نمونه‌ها با نمونه‌های شاهد موجود در اطلس گتی مقایسه شدند [۲۳]. مشخصه میکروسکوپی مالاکیت به صورت بلورهای همگن بوده و برخی ممکن است به رنگ سبز مایل به روشن باشند. بلورها در اندازه‌های مختلف می‌باشند و اندازه آنها به فرآیند تولید و میزان آسیاب کردن آنها بستگی دارد.

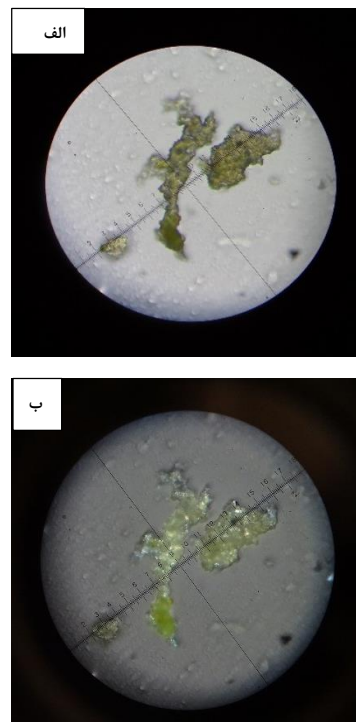
بنابراین همان‌طور که پیش از این گفته شد و نیز براساس پژوهش‌ها و آزمایش‌های انجام شده، در بیشتر موارد از رنگدانه‌های معدنی برای دیوارنگاره‌ها از زمان پارتی تا قاجار استفاده می‌شده‌است. تحقیق‌های انجام شده با روش‌های شیمی‌تر، FT-IR، SEM، XRD طیف‌سنجی میکرو رامان، میکرو X-Ray فلورسنس (Micro XRF) و PLM مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج ارائه شده به شرح زیر است: در دوره پارتی برای رنگ قرمز از رنگدانه هماتیت و برای رنگ زرد از لیمونیت استفاده کرده‌اند، از ترکیب هماتیت و کلسیت برای رنگ صورتی و از ترکیب ژیپس و کلسیت به عنوان رنگ سفید استفاده می‌شده است، همچنین برای رنگ آبی، لاجورد (آلترامارین طبیعی) گزارش شده است. رنگ‌های دیوارنگاره‌های ایلخانی، قرمز اخرا، سبز مالاکیت، سیاه دوده و نوعی گل سفید (کربنات کلسیم) می‌باشد و نتایج حاصل از شناسایی رنگدانه‌های به کاررفته در دیوارنگاره‌های تاریخی دوره تیموری نشان می‌دهد رنگ سیاه ترکیب سینی خام و قرمز اخرا بوده است و همچنین سبز آتاکامیت، قرمز سرب، آبی لاجورد مخلوط با آلترامارین و سفید هانتیت نیز استفاده می‌شده است. در دیوارنگاره‌های دوره صفویه قرمز اکسید آهن، قرمز اکر و قرمز اخرا گزارش شده‌است. در دوره قاجار برای رنگدانه‌های معدنی؛ سفیدآب شیخ (سفید سرب)، گل سفید، سولفات باریم، اکسید روی، اخرا، گل ماشی یا اومبر، زرنیخ، سرنج، شنگرف، زرد کرومات سرب، زنگار، سبز سیلو، آبی مسی یا آزوریت، آبی لاجوردی یا اولترامارین، آبی پروس، ورق نقره، ورق و پودر طلا، طلای اکیلی یا فرنگی و برای مواد رنگزای آلی سیاه، قرمز دانه و آبی نیل استفاده می‌شده است.

نتایج به دست آمده با روش دستگاهی XRD نشان می‌دهند که در رنگ قرمز کاخ کریم‌خان HgS و در رنگ قرمز عمارت دیوان خانه Pb_3O_4 دیده می‌شود. با انجام آزمایش تجزیه عنصری XRF در رنگ قرمز عناصر Pb, Hg, S نیز دیده می‌شود که نشان‌دهنده این است که رنگدانه به کار رفته در رنگ قرمز می‌تواند شنگرف با فرمول شیمیایی HgS و یا قرمز سرب باشد. شنگرف سولفید جیوه قرمز است و ماده معدنی آن سینابار است که خرد کردن و آسیا کردن آن از دیر باز رایج بوده است و قرمز سرب یا سرنگ نیز رنگدانه‌ایی است که از دوران باستان بر روی اشیاء یافت می‌شود [۲۱].

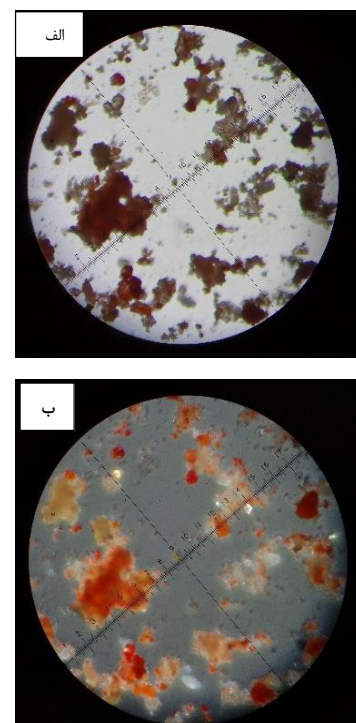
۴- نتیجه‌گیری

با توجه به آزمایش‌های انجام شده FT-IR، XRF، SEM و PLM، که در این پژوهش انجام شد و نتایج به دست آمده و همچنین پژوهش‌های پیشین که بر روی رنگدانه‌های دیوارنگاره‌های ایرانی در دوره‌های مختلف انجام شده است اولین نتیجه‌ای که می‌توان گرفت این است که رنگ‌های قرمز و سبز استفاده شده در دیوارنگاره‌های این سه بنای دوره زندیه از رنگدانه‌های معدنی ساخته شده‌اند. با

موجود در اطلس با نمونه رنگدانه قرمز سرب و نمونه رنگ سبز با نمونه‌های رنگدانه مالاکیت موجود در اطلس مطابقت دارد.



شکل ۹: نمونه رنگدانه سبز، عمارت دیوان‌خانه، (الف) میکروسکوپ نوری و (ب) PLM.



شکل ۱۱: نمونه رنگدانه قرمز، عمارت دیوان‌خانه، (الف) میکروسکوپ نوری و (ب) PLM.

تکمیل این بررسی و شناسایی رنگ‌های دیگر می‌توان نمونه‌های بیشتری را مورد آزمایش قرار داد و از روش‌های دیگر مثل میکرو رامان که برای شناسایی رنگدانه‌ها روش موثر و مناسبی است استفاده کرد. شناسایی مواد و روش‌های به کار رفته در دیوارنگاره‌ها بخش مهمی در شناخت آثار تاریخی و مستندسازی آنها می‌باشد.

توجه به نتیجه آزمایش‌ها رنگ قرمز، قرمز سرب و شنگرف و یا ترکیبی از هر دو است و سبز به کار رفته سبز مالاکیت، و یا سبز سیلو است که با توجه به شواهد تاریخی احتمال ترکیبات قلیایی مس از سبز سیلو قوی‌تر است. برای اطمینان بیشتر از نتیجه شناسایی رنگدانه‌های این دوره و

۵- مراجع

۱. ع. کوچکرایی، ع. نعمتی بابایلو، ل. دانشپور، شناسایی رنگدانه‌های مورد استفاده در تزئین کتیبه کاغذی خانه انصارین تبریز. نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ. ۹(۱۳۹۴)، ۳۰۶-۲۹۷.
2. R. Shamse, Protection and restoration panel's coronation Mary, M.A thesis, Art University of Isfahan, Iran 2002.
3. P. Bayer Shams Muguvi, Conservation and restoration of two ghahveh khaneh paintings, M.A thesis, Art University of Isfahan, Iran 2003.
4. 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.* 1(2013), 75-92.
۵. ک. سامانیان، ج. عباسیان، ز. عباسی، مطالعه فن شناسی پالت رنگ آثار نقاشی سه‌پایه‌ای جعفر چهره‌نگار در موزه مجلس شورای اسلامی. نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ. ۱۱(۱۳۹۶)، ۱۳۶-۱۲۱.
6. A. Amiriyeh, Study of four famous Safavid wall paintings, M.A thesis, Art University of Isfahan, Iran, 1998.
۷. م. مقدسی، م. باتر، حفاظت و مرمت بخشی از نقاشی دیواری امامزاده معصوم روستای کروژده سبزوار. نشریه مرمت و پژوهش. ۳(۱۳۸۶)، ۱۱۴-۱۰۵.
8. S. Torabi, B. Pedram, Scientific and artistic research of murals in Gonbad- Azadan, Maremat & Pezhouhesh, 3(2006), 93-104.
۹. م. میش مست، م. باتر، شناسایی رنگدانه‌های دیوارنگاره‌های تاریخی قلعه سام در کوه خواجه زابل. *دوفصل‌نامه مرمت و پژوهش*. ۳(۱۳۸۸)، ۳۳۴-۳۲۳.
- 10.S. Alizade, Recognizing the artistic value and how to repair the easel painting of Beitholahm church, B.A thesis, Art University of Isfahan, Iran, 1990.
- 11.P. Holakouee, A. Karimi, Analytical studies leading to the identification of the pigments used in the Pir-I Hamza Sabzpush tomb in Abarqu, Iran. *Periodico di Mineralogia.* 84 (3A)(2015), 389-405.
- 12.L. Gabriel Zadeh Kargar, Study, conservation, and restoration of wall paintings of Chehl Sotun in Qazvin, M.A thesis, Art University of Isfahan, Iran, 1994.
- 13.S. Khajeean, Photochemical degradation oil painting of restoration: case study Bie & Shery Hazrat Yusof by Mohammad Zaman, B.A thesis, Art University of Isfahan, Iran, 1995.
- 14.Z. Abbasi, Technical study of qajar easel paintings (1794_1925) for conservation Plan: A case study an Egyptian girl attributed to Kamal-al-Molk, M.A thesis, Art University of Tehran, Iran, 2012.
۱۵. ف. شفیعی، ه. اسفندیاری پور، جلوه گاه هنر و معماری در کاخ کریم خانی، نشر سازمان میراث فرهنگی و گردشگری، فارس. (۱۳۸۴)، ۱۱۶.
- 16.L. Shokrgozar, Restoration of paintings on plaster: case study conservation and restoration of paintings in Jahan Nama mansion in Shiraz B.A thesis, Art University of Isfahan, Iran, 2007.
۱۷. ح. حسینی فسایی، فارسانه ناصری، نشر امیرکبیر، تهران، (۱۳۷۸)، ۱۱۲-۴۳۳.
- 18.Z. Nikoei, Studying the fundamentals restoration of wall painting (case study: three historical monuments in Shiraz), M.A thesis, Azad Islamic University, Iran, 2010.
- 19.B. H. Stuart, Analytical techniques in materials conservation, translated by M. Bagherzade kasiri, Islamic art university of Tabriz, Tabriz, 2013, 176, 314-317.
20. <http://www.irug.org/jcamp-details?id=868>, accessed online Apr. 2019.
- 21.R. Jentens, A. Estat, Artist pigments, Esfahan, translated by H. Farahmand Brugeni, 2000, 55,78.
- 22.N. Eastaugh, V. Walsh, T. Chaplin, R. Siddall, Pigment compendium- science – 2008, 830-831.
- 23.C. McBride, A pigment particle & fiber atlas for paper conservators, Getty Trust Postgraduate, USA, 2002, 5-43.