

بررسی ساختار رنگدانه‌های نقاشی‌های دیواری عصر پارسی در کوه خواجهی سیستان

مسعود باتر*

زابل، میدان جهاد، دانشگاه زابل، دانشکده هنر و معماری، گروه مرمت آثار تاریخی

(دریافت مقاله: ۸۸/۷/۸، نسخه نهایی: ۸۸/۱۲/۱۲)

چکیده: بررسی ساختار رنگدانه‌های نقاشی‌های دیواری عصر پارسی در کوه خواجهی سیستان به روش پراش پرتو ایکس (XRD) و تکمیل داده‌ها با آنالیز عنصری با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (EDX) حاکی از آن است که رنگدانه‌های هنری مورد استفاده در دیوارنگاره‌ها بیشتر معدنی هستند.

واژه‌های کلیدی: رنگدانه، نقاشی دیواری، عصر پارسی، کوه خواجه.

مقدمه

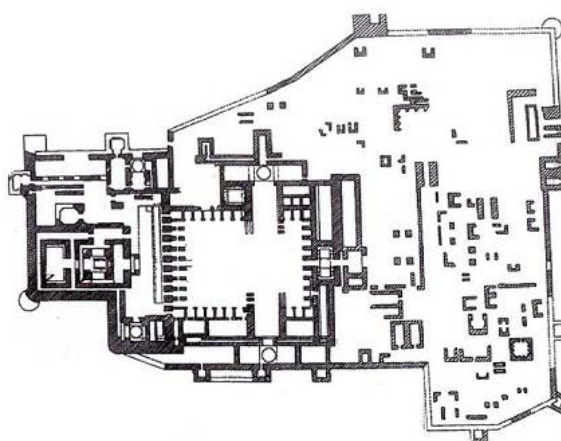
کوه خواجه به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و طبیعی خود در ادوار مختلف تاریخی محل اسکان اقوام ایرانی بوده است و به همین خاطر آثار معماری متعددی از ادوار مختلف را در آن شاهد هستیم که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: قلعه‌ی کافران، کک کهزاد، قلعه‌ی چهل دختران و زیارتگاه خواجه (شکل ۲). این منطقه تاکنون توسط تعداد زیادی از پژوهشگران مورد بررسی و کاوش قرار گرفته و همه بر اشکانی و ساسانی بودن بناها با کاربری توانمند زیستی، دفاعی و عبادی متفق القولند.

جلگه‌ی سیستان با ارتفاع متوسط ۵۰۰ متر از سطح دریا در جنوب شرقی ایران و جنوب غربی افغانستان واقع شده است و کوه خواجه تنها رویداد طبیعی آن است که در ۳۰ کیلومتری جنوب غربی زابل در میان دریاچه‌ی هامون هیرمند قرار گرفته است (شکل ۱). این کوه با ارتفاعی قریب به ۱۰۰ متر هنگام پر آبی جزیره‌ی کوچکی را در میان دریاچه هامون شکل می‌دهد. در باورهای زرتشتیان، مسیحیان و مسلمانان این کوه و دریاچه مقدس است.



شکل ۱. نمایی از کوه خواجهی زابل از جبهه‌ی شرقی.

* نویسنده مسئول، تلفن ۰۹۱۵۵۸۱۱۶۰۲، نامبر: ۲۲۴۱۶۹۹ (۰۵۴۲)، پست الکترونیکی: masood_bater@yahoo.com



شکل ۲ طرحی از بقایای معماری کوه خواجه.

ترین دستاوردهای این کاوش‌ها، کشف دو قطعه گچبری جدید بود [۱]. خانم دکتر غنیمتی از دانشگاه برکلی آمریکا نیز در سال ۲۰۰۱ میلادی بررسی‌هایی در زمینه‌ی معماری و ساخت و ساز قلعه سام انجام داده است [۳].

نقاشی‌های دیواری کوه خواجه

بر اساس شواهد و مستندات باقیمانده در این محل باستانی و گزارشات باستان‌شناسان، دیوارهای داخلی بناهای بخش مرکزی کهن دژ یا قلعه سام با تزیینات مختلفی چون نقاشی، گچبری و نقوش برجسته گلی مزین بوده است.

در میان این تزیینات بیش از همه، نقاشی‌های بسیار زیبا و رنگارنگ دیوارهای کاخ مرکزی با نقوش و مناظر مختلف طبیعی و انسانی چشم هر بیننده‌ای را خیره می‌ساخته است. در حال حاضر بخش اعظم نقاشی‌ها تخریب و تنها آثاری از آنها باقیمانده است.

نقاشی‌های کوه خواجه از نظر موضوع بسیار متنوع و شامل: پیکره‌های انسانی به صورت انفرادی و دسته جمعی، نقوش حیوانی چون اسب و پلنگ، نقوش گیاهی مانند گل رز یا لوتوس و نقوش هندسی بوده است (شکل‌های ۳-۴).

بیشتر این نقاشی‌ها در دروازه‌ی جنوبی و تالار نقاشی در قلعه-ی مرکزی به دست آمده اند. البته دو نقاشی نیز از اتاق بالایی دروازه‌ی شمالی کشف شده است.

مهم‌ترین و سالم‌ترین نقاشی‌های کوه خواجه در تالار نقاشی وجود داشته است که متأسفانه امروزه فقط لکه‌های رنگی از آن باقی مانده است. این نقاشی‌ها، دیوارهای جانبی و سقف این بخش از بنا را تزیین می‌کرده است [۳].

نخستین بررسی مقدماتی در کوه خواجه، از نظر زمین‌شناسی توسط هیأتی به سرپرستی یک نظامی انگلیسی بنام ف. ج. گلداسمیت^۱ انجام شد، سپس جی. پی. تیت^۲ ضمن بازدیدی از این مجموعه مطالبی در مورد تاریخچه‌ی آن همراه با نقشه‌ای ابتدایی و شرح مختصری از بنا در سال ۱۹۱۰ میلادی منتشر کرد. اولین بررسی باستان‌شناسی توسط سر اورل استاین^۳ در سال ۱۹۱۵ میلادی انجام شد [۱]. باستان‌شناس معروف آلمانی ارنست هرتسفلد^۴ طی بازدیدهایی که در سال‌های ۱۹۲۵ و ۱۹۲۹ میلادی از این منطقه‌ی باستانی داشت کاوش‌هایی را انجام داد که گزارش نهایی آن را در کتابی تحت عنوان "ایران در شرق باستان" منتشر کرد [۱]. در سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۴ میلادی جورجیو گلبینی^۵ به عنوان سرپرست هیأت باستان‌شناسی ایزمئو^۶ در قلعه سام به کاوش و فعالیت پرداخت که نتایج آن بررسی‌ها در کتاب "معماری ایرانی" در سال ۱۹۸۷ میلادی انتشار یافت [۲]. از سال ۱۹۷۴ تا ۱۹۷۵ میلادی دومینیکو فاسنا^۷ باستان‌شناس ایتالیایی در بررسی‌های خود در کوه خواجه موفق به کشف قطعات جدیدی از نقاشی‌های دیواری در این بنا شد که نتایج آن در مجله "شرق و غرب"^۸ در سال ۱۹۸۱ میلادی منتشر شد [۳]. در سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۲ هجری شمسی، گروه باستان‌شناسی ایران به سرپرستی محمود موسوی به کاوش در این منطقه پرداخت که یکی از مهم-

1. Goldsmith F, J.

2. Tate G, P.

3. Stein M, A.

4. Herzfeld.

5. Gullini.

6. ISMEO.

7. Faccenna, D.

8. East West.



شکل ۴ نقاشی معروف به سه مغ بین پنجره دوم و سوم



شکل ۳ نقاشی شاه و ملکه بر دیوار شمالی تالار نقاشی

روش بررسی

بررسی میدانی نقاشی‌های کوه خواجه نشان داد که از نظر ساختاری تمامی این دیوار نگاره‌ها روی تکیه گاهی از خشت و گل اجرا شده است. برای صاف و هموار کردن سطح تکیه گاه خشتی، روی آن با اندودی از کاهگل به‌عنوان آستر پوشانیده شده و پس از اندودن سطح آن با لایه‌ی بستری از گچ، روی آن نقاشی شده

است. مهم‌ترین رنگ‌هایی که امروزه در دیواره‌های داخلی ویرانه‌های قلعه‌ی مرکزی مشاهده می‌شود عبارتند از: رنگ‌های قرمز، صورتی، زرد، سفید و آبی (شکل‌های ۵-۹). در این میان رنگ آبی برای اولین بار است که پس از آخرین کاوش‌های هرتسفلد در میان بقایای نقاشی‌های کوه خواجه، دوباره بازیابی و مورد شناسایی قرار گرفته است.



شکل ۶ بقایای رنگ زرد



شکل ۵ بقایای رنگ قرمز



شکل ۸ بقایای رنگ آبی



شکل ۷ بقایای رنگ صورتی



شکل ۹ بقایای رنگ سفید

بیشترین درصد فراوانی را دارند از سوی دیگر میزان کلسیم نمونه ۱۵/۳۳ درصد، گوگرد ۱۲/۳۶ درصد و میزان سدیم در آن ۳/۰۳ درصد وزنی است. ترکیبهای عنصری بالا از نظر کمی و کیفی با ترکیب شیمیایی آبی لاجورد طبیعی (الترامارین) دارای همخوانی منظمی است که از نظر شیمیایی یک آلومینوسیلیکات سدیم گوگرد دار است، بنابراین به نظر می‌رسد که رنگدانه‌ی آبی به کار رفته در نقاشی‌های کوه خواجه احتمالاً آبی لاجورد (آبی الترامارین) است [۴].

بررسی نمودار رنگدانه‌ی قرمز (شکل ۱۲) و نتایج آنالیز EDX آن (جدول ۳) نشان دهنده‌ی آن است که این رنگدانه با توجه به مقدار بسیار زیاد عنصر آهن به میزان ۴۵/۹۱ درصد، احتمالاً قرمز اخرا است.

نمودار نمونه‌ی رنگدانه زرد (شکل ۱۳) و نتایج آنالیز EDX آن (جدول ۴) نشان می‌دهد که این رنگدانه نیز به دلیل حضور بارز کاتیون آهن III به میزان ۲۶/۵۳ درصد احتمالاً رنگدانه‌ی زرد لیمونیت است.

بررسی نمودار نمونه‌ی رنگدانه سفید (شکل ۱۴) و نتایج آنالیز EDX آن (جدول ۵) نشان‌دهنده‌ی آن است که در این رنگدانه عنصر کلسیم با ۳۴/۷۲ درصد بیشترین میزان را داراست و درصد عناصری چون سرب، آهن و تیتانیوم در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. اظهار نظر قطعی در مورد این رنگ به نتایج آنالیز نمونه به روش پراش پرتو ایکس نیاز دارد.

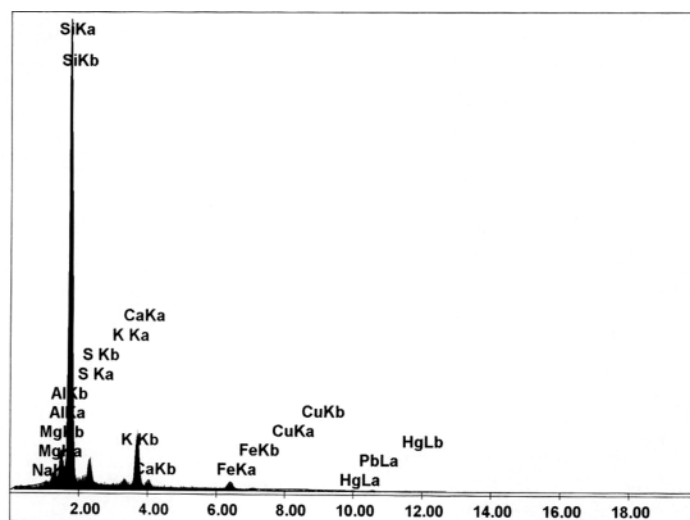
به منظور شناسایی رنگدانه‌های به کار رفته در نقاشی‌های دیواری کوه خواجه، پس از تعیین نقاط مناسب در کوه خواجه، از رنگدانه‌های مختلف به مقدار اندک برای بررسی‌های آزمایشگاهی به روش‌های مختلف دستگاهی نمونه برداری شد. آنالیز عنصری رنگدانه‌ها به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی (EDX) در دانشگاه تربیت مدرس تهران و با دستگاه SEM مدل XL30 فیلیپس (Philips) ساخت کشور هلند انجام شد. به منظور تکمیل داده‌ها و بررسی ساختار رنگدانه‌ها، نمونه‌ها در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان به روش پراش سنجی پرتو ایکس (XRD) با دستگاه XRD مدل D8 ADVANCE Bruker ساخت کشور آلمان با تیوب [لوله] مس پراش سنجی شد.

بررسی آزمایشگاهی رنگدانه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی (EDX)

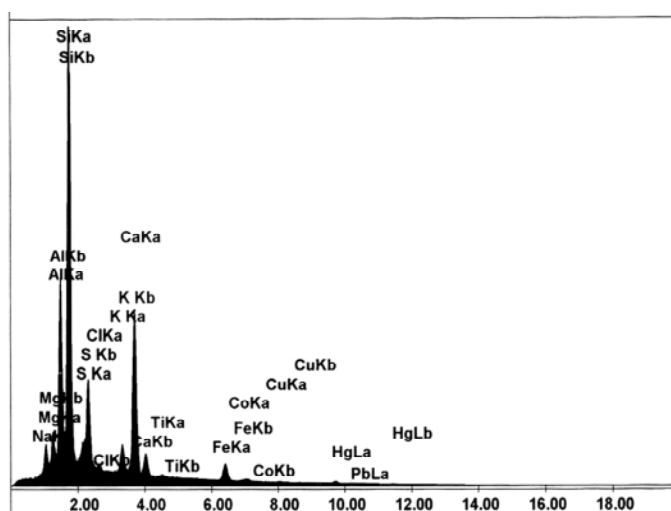
برای آنالیز عنصری رنگدانه‌ها از نظر کمی و کیفی از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها به شرح زیرند:

بررسی نمودار نمونه‌ی رنگدانه‌ی صورتی (شکل ۱۰) و نتایج آنالیز EDX آن (جدول ۱) نشان می‌دهد که با توجه به حضور کاتیون آهن III در نمونه به مقدار ۳/۰۲ درصد، می‌توان گفت که این رنگدانه از نوع رنگدانه‌های اکسید آهن سه ظرفیتی است.

بررسی نمودار نمونه‌ی رنگدانه‌ی آبی (شکل ۱۱) و نتایج آنالیز EDX آن (جدول ۲) نشان دهنده‌ی آن است که عنصر سیلیسیم با میزان ۳۹/۳۷ درصد و آلومینیوم با میزان ۱۵/۸۰ درصد



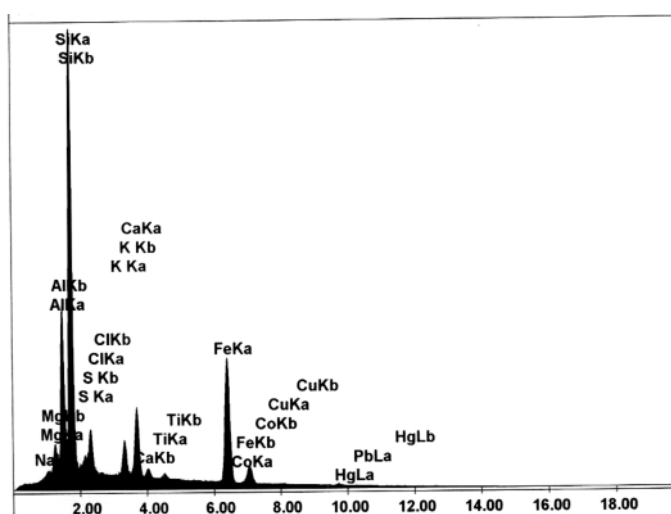
شکل ۱۰ نمودار EDX نمونه‌ی رنگدانه‌ی صورتی.



شکل ۱۱ نمودار EDX نمونه‌ی رنگدانه‌ی آبی.

جدول ۱ نتایج آنالیز نمونه رنگدانه صورتی.

نام اکسید	درصد وزنی	درصد اتمی
Na ₂ O	۰٫۱۸	۰٫۱۹
MgO	۱٫۴۸	۲٫۴۱
Al ₂ O ₃	۴٫۹۲	۳٫۱۶
SiO ₂	۶۹٫۳۱	۷۵٫۷۲
SO ₃	۵٫۹۱	۴٫۸۵
K ₂ O	۰٫۹۳	۰٫۶۵
CaO	۸٫۷۷	۱۰٫۲۷
Fe ₂ O ₃	۳٫۰۲	۱٫۲۴
HgO ₂	۱٫۱۷	۰٫۳۳
PbO ₂	۴٫۳۲	۱٫۱۹



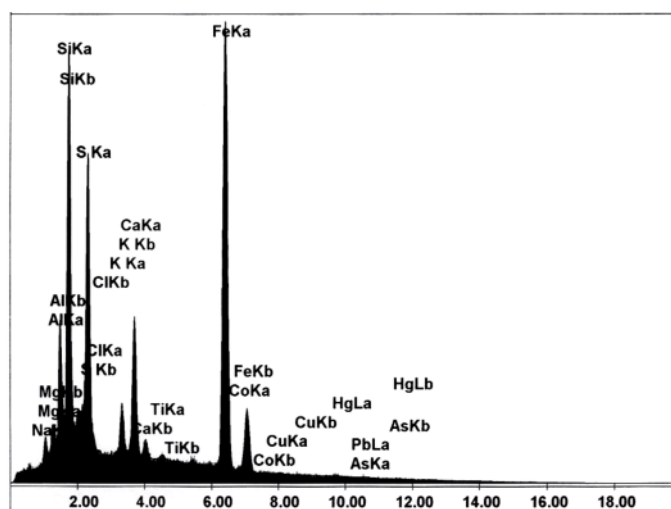
شکل ۱۲ دیاگرام EDX نمونه رنگدانه قرمز.

جدول ۲ نتایج آنالیز رنگدانه‌ی آبی.

نام اکسید	درصد وزنی	درصد اتمی
Na ₂ O	۳,۰۳	۳,۳۶
MgO	۳,۶۸	۶,۲۶
Al ₂ O ₃	۱۵,۸۰	۱۰,۶۳
SiO ₂	۳۹,۳۷	۴۴,۹۳
SO ₃	۱۲,۳۶	۱۰,۵۸
Cl ₂ O	۰,۸۵	۰,۶۷
K ₂ O	۲,۳۰	۱,۶۷
CaO	۱۵,۳۳	۱۸,۷۴
TiO ₂	۰,۴۴	۰,۳۸
Fe ₂ O ₃	۴,۰۸	۱,۷۵
CoO	۰,۱۶	۰,۱۵
CuO	۰,۲۳	۰,۲۰
HgO ₂	۱,۲۰	۰,۳۵
PbO ₂	۱,۱۸	۰,۳۴

جدول ۳ نتایج آنالیز نمونه‌ی رنگدانه‌ی قرمز.

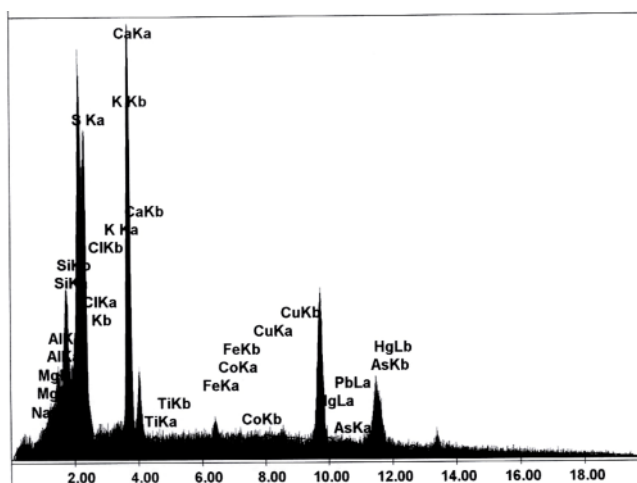
نام اکسید	درصد وزنی	درصد اتمی
Na ₂ O	۱,۷۵	۲,۶۵
MgO	۱,۹۶	۴,۵۶
Al ₂ O ₃	۶,۷۲	۶,۱۸
SiO ₂	۱۸,۴۵	۲۱,۸۱
SO ₃	۱۵,۶۶	۱۸,۳۵
Cl ₂ O	۰,۱۴	۰,۱۵
K ₂ O	۱,۶۴	۱,۶۴
CaO	۵,۲۹	۸,۸۵
TiO ₂	۰,۳۰	۰,۳۵
Fe ₂ O ₃	۴۵,۹۱	۲۶,۹۷
CoO	۰,۴۷	۰,۵۹
CuO	۰,۲۹	۰,۳۴
PbO ₂	۱,۴۷	۰,۵۵



شکل ۱۳ نمودار EDX نمونه‌ی رنگدانه زرد.

جدول ۴ نتایج آنالیز نمونه‌ی رنگدانه زرد.

نام اکسید	درصد وزنی	درصد اتمی
Na ₂ O	۰.۵۵	۰.۷۰
MgO	۲.۷۴	۵.۳۹
Al ₂ O ₃	۱۴.۵۲	۱۱.۲۸
SiO ₂	۳۹.۹۳	۵۲.۶۷
SO ₃	۵.۱۲	۵.۰۷
Cl ₂ O	۰.۱۵	۰.۱۳
K ₂ O	۲.۳۰	۱.۹۴
CaO	۵.۵۴	۷.۸۳
TiO ₂	۰.۶۵	۰.۶۴
Fe ₂ O ₃	۲۶.۵۳	۱۳.۱۷
CoO	۰.۴۳	۰.۴۶
CuO	۰.۳۲	۰.۳۲
PbO ₂	۱.۲۱	۰.۴۰



شکل ۱۴ نمودار EDX نمونه رنگدانه سفید.

جدول ۵ نتایج آنالیز نمونه‌ی رنگدانه‌ی سفید

نام اکسید	درصد وزنی	درصد اتمی
Na ₂ O	۰.۴۴	۰.۵۷
SiO ₂	۷.۴۸	۶.۹۶
SO ₃	۲۶.۶۳	۲۶.۵۸
Cl ₂ O	۰.۱۹	۰.۱۸
K ₂ O	۰.۹۵	۰.۸۱
CaO	۳۴.۷۲	۴۹.۴۸
TiO ₂	۰.۴۶	۰.۴۶
Fe ₂ O ₃	۴.۱۶	۲.۰۸
CoO	۱.۲۲	۱.۳۰
CuO	۰.۸۳	۰.۸۳
HgO ₂	۹.۹۷	۳.۴۳
PbO ₂	۱۲.۹۵	۴.۳۳

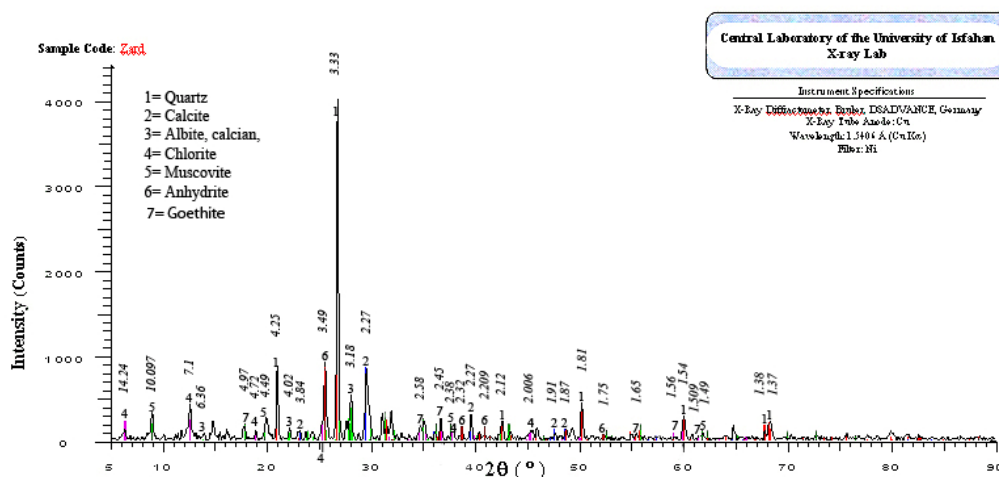
شناسایی کیفی رنگدانه‌ها به روش پراش پرتو ایکس (XRD)

به‌منظور شناسایی دقیق ساختار ترکیب کانی شناسی رنگدانه‌های به‌کار رفته در نقاشی‌های کوه خواجه، نمونه‌ها به روش پراش پرتو ایکس نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن به شرح زیرند:

نمودار حاصل از پراش نمونه ی رنگدانه زرد (شکل ۱۵) نشان- دهنده‌ی حضور فازهای کوارتز، کلسیت، آلبیت کلسین، کلریت (Clinocllore)، مسکوویت، انیدریت (سولفات کلسیم) و گوتیت است (جدول ۶). با توجه به حضور فاز گوتیت در الگوی پراش این

رنگدانه که با کارت ICDD شماره ی ۷۱۳-۲۹ همخوانی دارد، و نتایج حاصل از آنالیز عنصری به روش EDX با درصد بالای آهن، به نظر می رسد رنگ زرد مورد استفاده در این نقاشی ها زرد لیمونیت است [۴-۸].

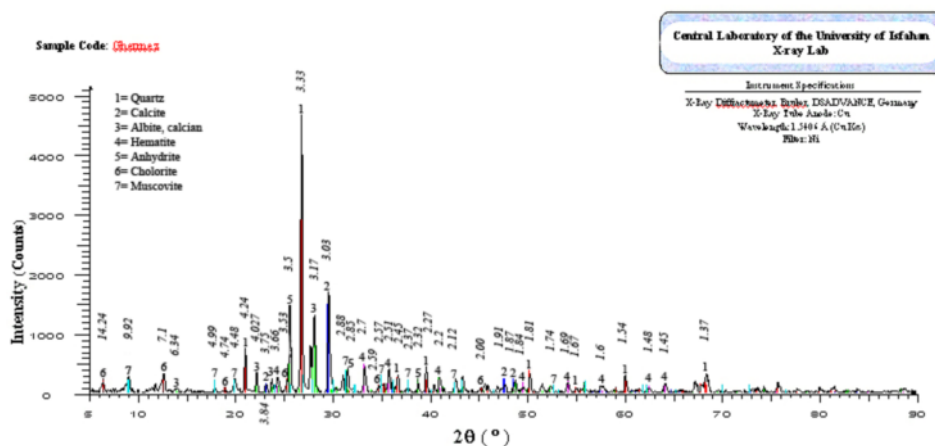
است. وجود فازهای دیگری چون کلسیت، کوارتز، انیدریت، آلیت و مسکوویت را می‌توان ترکیب‌های همراه این رنگ دانست (جدول ۷). وجود فاز همتایت در این رنگدانه به‌خوبی با نتایج حاصل از آنالیز عنصری به‌روش EDX هماهنگی داشته و میزان بالای درصد آهن را در این رنگ توجیه می‌کند و نشان‌دهنده استفاده از قرمز اخرا Fe_2O_3 به‌عنوان رنگدانه قرمز برای نقاشی است [۴-۱۲].



شکل ۱۵ نمودار XRD نمونه‌ی رنگدانه زرد.

جدول ۶ نتایج آنالیز نمونه‌ی رنگدانه زرد به روش XRD.

Sample Identification and Quantification			
Line Color	Compound Name	Formula	PDF Number
	Quartz, syn	SiO ₂	۴۶-۱۰۴۵
	Calcite, syn	CaCO ₃	۰۵-۰۵۸۶
	Albite, calcian, ordered	(Na,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈	۴۱-۱۴۸۰
	Clinochlore-1 ITMlb-2 RG	(Mg,Al,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	۴۶-۱۳۳۳
	Muscovite, lithian, 2M1	K(Li,Al) ₂ (Si ₃ AlO ₁₀)(OH) ₂	۱۰-۰۰۴۸۲
	Anhydrite, syn	CaSO ₄	۳۷-۱۴۹۶
	Goethite	αFeO.OH	۲۹-۰۷۱۳



شکل ۱۶ نمودار XRD نمونه رنگدانه‌ی قرمز.

جدول ۷ نتایج آنالیز نمونه‌ی رنگدانه قرمز به روش XRD

Sample Identification and Quantification			
Line Color	Compound Name	Formula	PDF Number
	Quartz, syn	SiO ₂	۴۶-۱۰۴۵
	Calcite, syn	CaCO ₃	۰۵-۰۵۸۶
	Albite, calcian, ordered	(Na,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈	۴۱-۱۴۸۰
	Hematite, syn	Fe ₂ O ₃	۳۳-۰۶۶۴
	Anhydrite, syn	CaSO ₄	۳۷-۱۴۹۶
	Clinocllore-1 ITMIib-2 RG	(Mg,Al,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	۴۶-۱۳۲۳
	Muscovite, lithian, 2M1	K(Li,Al) ₂ (Si ₃ AlO ₁₀)(OH) ₂	۱۰-۰۴۸۲

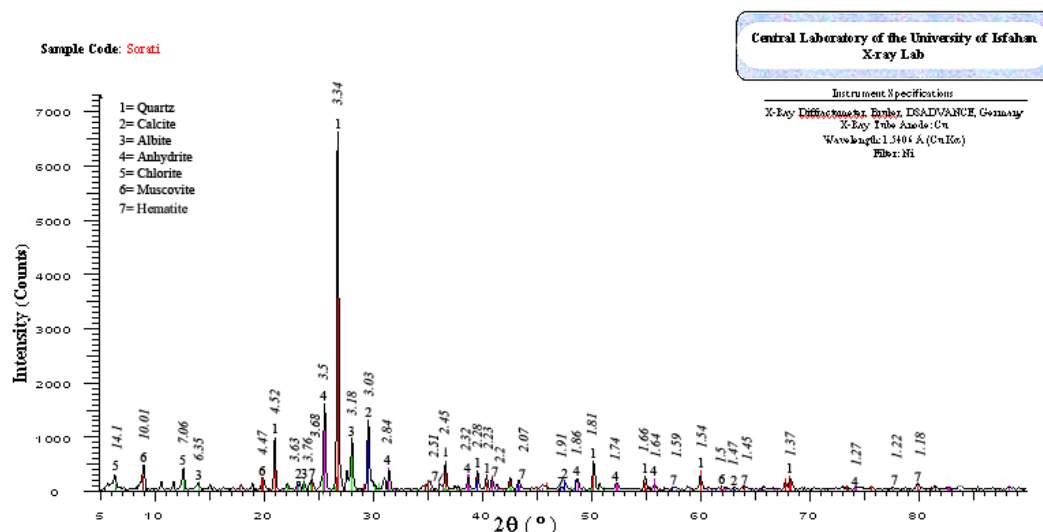
اصلی استخراج این سنگ از دیرباز استان بدخشان افغانستان بوده است. نام فعلی این ماده اولترامارین است که کاربرد آن به‌عنوان رنگدانه در نقاشی در آغاز در دیوارنگاره‌های سده‌ی ۶ و ۷ میلادی در معابد بامیان افغانستان و سپس در نقاشی‌های ترکستان چین، دست‌نوشته‌های بیزانسی و مینیاتورهای ایرانی قرون ۱۳ و ۱۴ میلادی شناسایی و گزارش شده است. به‌تدریج استفاده از این ماده به‌عنوان رنگدانه در نقاشی مرسوم می‌شود چنان که در بیشتر شاهکارهای هنری نقاشی اروپا از دوران بیزانس تا سده‌ی ۱۸ میلادی از آن استفاده شده است [۱۷-۱۹].

علاوه بر لازوریت فازهایی چون ایلیت، ژیپس و کوارتز نیز مشاهده می‌شوند که ترکیب‌های همراه این رنگدانه‌اند (جدول ۹). نمودار پراش رنگدانه‌ی سفید (شکل ۱۹) برازشی منطقی با کارت‌های ICDD شماره‌ی ۳۳-۳۱۱ و ۵-۵۸۶ دارد که به ترتیب به فاز ژیپس و کلسیت وابسته‌اند (جدول ۱۰). با توجه به وجود این فازها به نظر می‌رسد که نقاشان هنرمند کوه خواجه از ترکیب ژیپس و کلسیت، به‌عنوان رنگ سفید استفاده کرده‌اند [۲۰-۲۲].

در نمودار رنگدانه‌ی صورتی (شکل ۱۷) فازهای مختلفی چون کوارتز، کلسیت، آلبیت، انیدریت، کلریت، مسکوویت و هماتیت دیده می‌شوند (جدول ۸). بررسی نمودار این رنگ حاکی از آن است که در اینجا ما با ترکیبی از چند فاز مختلف برای رسیدن به رنگ صورتی مواجه هستیم و به عبارت دیگر این رنگ ترکیبی از رنگ قرمز فاز هماتیت و رنگ سفید ناشی فاز کلسیت و انیدریت است [۱۳، ۵].

نمودار الگوی پراش رنگدانه‌ی آبی (شکل ۱۸) برازشی منطقی با کارت ICDD شماره‌ی ۴۱-۱۳۹۲ دارد که حاکی از وجود فاز لازوریت است. وجود این فاز به‌خوبی فرضیه‌ی استفاده از رنگدانه‌ی آبی الترامارین یا لاجورد طبیعی را به‌عنوان رنگ آبی در نقاشی‌های کوه خواجه ثابت می‌کند. رنگ آبی لاجورد (الترامارین طبیعی) جزء کانی‌های سیلیکاتی و یک آلومینوسیلیکات سدیم گوگرددار است [۱۴-۱۶].

رنگدانه آبی لاجورد اصل از سنگ نیمه بلوری لاجورد (لاپیس لازولی Lapis lazuli) به دست می‌آید که مخلوطی از کانه آبی لازوریت، اسپات ايسلند (Calcspar) و پیریت آهن است. معادن



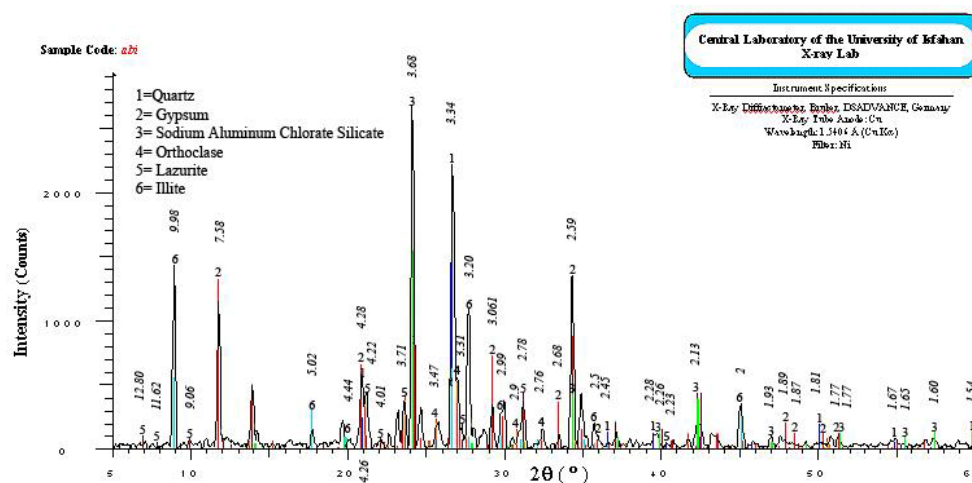
شکل ۱۷ نمودار XRD نمونه‌ی رنگدانه‌ی صورتی.

Central Laboratory of the University of Isfahan
X-ray Lab

Instrument Specifications
X-Ray Diffractometer: Bruker, D8 ADVANCE, Germany
X-Ray Tube Anode: Cu
Wavelength: 1.5406 Å (CuKα)
Filter: Ni

جدول ۸ نتایج آنالیز نمونه‌ی رنگدانه‌ی صورتی به روش XRD.

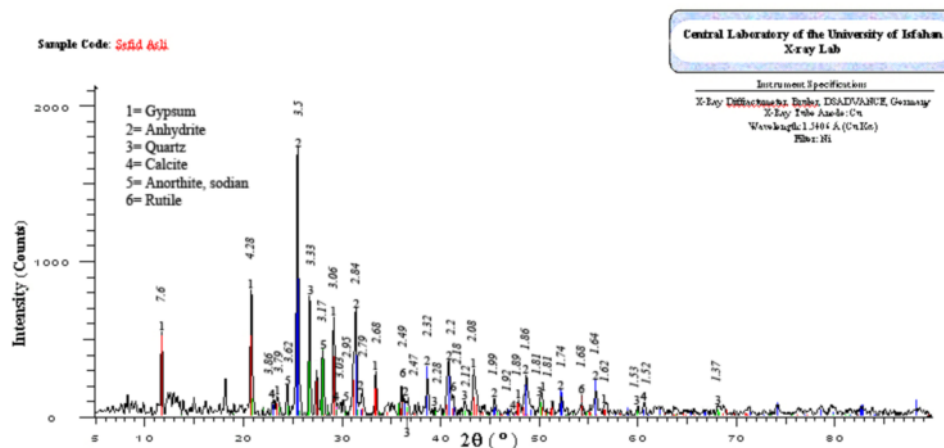
Sample Identification and Quantification			
Line Color	Compound Name	Formula	PDF Number
	Quartz, syn	SiO ₂	۴۶-۱۰۴۵
	Calcite, syn	CaCO ₃	۰۵-۰۵۸۶
	Albite, ordered	NaAlSi ₃ O ₈	۰۹-۰۴۶۶
	Anhydrite, syn	CaSO ₄	۳۷-۱۴۹۶
	Clinocllore-1 ITM1b RG, ferroan	(Mg,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	۲۹-۰۷۰۱
	Muscovite-1 ITM RG, syn	KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	۰۷-۰۰۲۵
	Hematite, syn	Fe ₂ O ₃	۳۳-۰۶۶۴



شکل ۱۸ نمودار XRD نمونه‌ی رنگدانه آبی.

جدول ۹ نتایج آنالیز نمونه‌ی رنگدانه‌ی آبی به روش XRD.

Sample Identification and Quantification			
Line Color	Compound Name	Formula	PDF Number
-	Gypsum	CaSO ₄ ·2H ₂ O	۰۶-۰۰۴۶
-	Quartz, syn	SiO ₂	۴۶-۱۰۴۵
-	Sodium Aluminum Chlorate Silicate	Na ₄ Al ₃ ClO ₄ (SiO ₃) ₃ /Na ₆ (SiO ₂) ₆ (AlO ₂) ₆ NaClO ₄	۴۱-۰۰۷۴
-	Orthoclase	KAlSi ₃ O ₈	۳۱-۰۹۶۶
-	Lazurite- ITA RG	Na ₆ Ca ₂ Al ₆ Si ₆ O ₂₄ (SO ₄) ₂	۴۱-۱۳۹۲
-	Illite-2 ITM1 RG	(K,H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	۲۶-۰۹۱۱



شکل ۱۹ نمودار XRD نمونه سفید.

جدول ۱۰ نتایج آنالیز نمونه‌ی رنگدانه‌ی سفید به روش XRD

Sample Identification and Quantification			
Line Color	Compound Name	Formula	PDF Number
 -	Gypsum, syn	CaSO ₄ ·2H ₂ O	۳۳-۰۳۱۱
 -	Anhydrite, syn	CaSO ₄	۳۷-۱۴۹۶
 -	Quartz, syn	SiO ₂	۴۶-۱۰۴۵
 -----	Calcite, syn	CaCO ₃	۰۵-۰۵۸۶
 -	Anorthite, sodian, disordered	(Ca,Na)(Si,Al) ₄ O ₈	۴۱-۱۴۸۱
 -	Rutile, syn	TiO ₂	۲۱-۱۲۷۶

برداشت

بررسی ساختار رنگدانه‌های به کار رفته در نقاشی‌های دیواری کوه خواجه به روش‌های مختلف آزمایشگاهی، از جمله: میکروسکوپ الکترونی روبشی (EDX) و پراش پرتو ایکس (XRD)، نشان داد که بیشتر رنگدانه‌های به کار رفته در این دیوارنگاره‌ها معدنی هستند. در این نقاشی‌ها از هماتیت برای رنگ قرمز، از لیمونیت برای رنگ زرد، از ترکیب هماتیت و کلسیت برای رنگ صورتی، از آبی لاجورد (الترامارین طبیعی) برای رنگ آبی و از ترکیب ژپس و کلسیت به عنوان رنگ سفید استفاده شده است.

قدردانی

از همکار گرامی آقای مهندس مسلم میش مست که در انجام آزمایشها اینجانب را یاری کردند تشکر و قدردانی می شود.

مراجع

- [۱] موسوی محمود، "یادمان خشتی کوه خواجه زابل"، مجموعه مقالات گنکره معماری و شهرسازی (ارگ بم)، جلد چهارم، نشر سازمان میراث فرهنگی کشور، تهران (۱۳۷۴) ص ۶۸-۶۹.
- [2] Gullini G., "Architettura Iranica de gli Achemenidi ai Sasanidi", il Palazzo di Kuhi Kwagia, Turin (1964).
- [3] Ghanimati S., "Kuhe Khwaga Building Complex in Sistan", Berkley (1995) 4.
- [4] Eastaugh N., Walsh V., Chaplin T., Siddal R., "Pigment Compendium A Dictionary and Optical Microscopy of Historical Pigments", Elsevier, OXFORD (2008) 381.

[5] Mazzocchin G.A., Agnoli F., Mazzocchin S., Colpo I., "Analysis of pigments from Roman wall paintings found in Vicenza", Talanta 61 (2003) 565-572.

[6] Gil M., Carvalho M.L., Seruya A., Ribeiro I., Queralt I., Candeias A.E., Mirao J., "Limewashing paintings in Alentejo urban heritage: pigment characterization and differentiation by WDXRF and XRD" Materials Science & Processing, Appl. Physics. A 90 (2008) 49-54.

[7] Salvad N., Buti S., Pantos E., Bahrami F., Labrador A., Pradell T., "The use of combined synchrotron radiation micro FT-IR and XRD for the characterization of Romanesque wall paintings" Materials Science & Processing, Appl. Physics. A 90 (2008) 67-73.

[8] Stodulski L., Farrell E., Newman R., "Identification of Ancient Persian Pigments from Persepolis and Pasargadae" Studies in Conservation, Vol. 29, No. 3 (1984) 143-154.

[9] Calza C., Anjos M.J., Mendonca de Souza S.M.F., Brancaglioni Jr A., Lopes R.T., "X-ray microfluorescence analysis of pigments in decorative paintings from the sarcophagus cartonnage of an Egyptian mummy" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 263 (2007) 249-252.

[10] Hradila D., Grygara T., Hradilova J., Bezdieckaa P., "Clay and iron oxide pigments in the history of painting" Applied Clay Science 22 (2003) 223- 236.

- [17] Wehling B., Vandenabeele P., Moens L., Klockenkemper R., von Bohlen A., Van Hooydonk G., de Reu M., "Investigation of Pigments in Medieval Manuscripts by Micro Raman Spectroscopy and Total Reflection X-Ray Fluorescence" Mikrochim. Acta 130, Springer-Verlag, Austria (1999) 257.
- [18] Hein A., Karatasios I., Mourelatos D., "Byzantine wall paintings from Mani (Greece): microanalytical investigation of pigments and plasters" Anal Bioanal Chem (2009) 395: 2061-2071.
- [۱۹] رادرفورد ج، جتتنز، ال استات جورج، "فرهنگ فشرده رنگدانه های هنری"، ترجمه حمید فرهنگد بروجنی، نشر حمید فرهنگد بروجنی، اصفهان (۱۳۷۸) ص ۱۶۴ - ۱۶۱.
- [20] Welcomme E., Walter P., Elslande E.V., Tsoucaris G., "Investigation of white pigments used as make-up during the Greco-Roman period" Materials Science & Processing, Appl. Physics, A 83 (2006) 551-556.
- [21] Welcomme E., Walter P., Bleuet P., Hodeau J.L., Dooryhee E., Martinetto P., Menu M., "Classification of lead white pigments using synchrotron radiation micro X-ray diffraction" Materials Science & Processing, Appl. Physics, A 89 (2007) 825-832.
- [22] Kallithrakas-Kontos N., Maravelaki - Kalaitzaki P., "EDXRF as an analytical tool in art: Case studies from pigment identification and treatment assessment" Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 262, No. 3 (2004) 713-719.
- [11] Tenorio D., Almazán- Torres M.G., Monroy-Guzmán F., Rodríguez-García N.L., Longoria L.C., "Characterization of ceramics from the archaeological site of San Miguel Ixtapan, Mexico State, Mexico, using NAA, SEM, XRD and PIXE techniques" Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 266, No. 3 (2005) 471-480.
- [12] Duran A., Perez-Rodriguez J.L., Espejo T., Franquelo M.L., Castaing J., Walter P., "Characterization of illuminated manuscripts by laboratory-made portable XRD and micro-XRD systems" Anal Bioanal Chem (2009) 1997-2004.
- [13] Brysbaert A., "Painted plaster from Bronze Age Thebes, Boeotia (Greece): a technological study" Journal of Archaeological Science 35 (2008) 2761-2769.
- [14] Hochleitner B., Desnica V., Mantler M., Schreiner M., "Historical pigments: a collection analyzed with X-ray diffraction analysis and X-ray fluorescence analysis in order to create a database" Spectrochimica Acta Part B 58 (2003) 641-649.
- [15] Villar S.E.J., Edwards H.G.M., "An extensive colour palette in Roman villas in Burgos, Northern Spain: a Raman spectroscopic analysis" Anal Bioanal Chem (2005) 382, 283-289.
- [16] Scott D.A., Warmlander S., Mazurek J., Quirke S., "Examination of some pigments, grounds and media from Egyptian cartonnage fragments in the Petrie Museum, University College London" Journal of Archaeological Science 36 (2009) 923-932.