



مطالعه فنی کاشی‌های تاریخی طیف لاجوردی و زرد در کاشی‌های معرق و دوال

فصلنامه
سرامیک ایران

وحیده رحیمی مهر

استادیار معماری، گروه معماری، دانشکده هنر، معماری و شهرسازی واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران



نویسنده اول:

دکتر وحیده رحیمی مهر

دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

نوع مقاله: پژوهشی

صفحه‌های: ۶۹ تا ۵۷

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۳۳۵۱

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۳۰۹۷

زبان نشریه: فارسی

دسترس پذیر در نشانی:

www.JICERS.ir

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۵/۱۰

*rahimimehr@iauk.ac.ir

DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.4.3.0

چکیده: در معماری ایران رنگ‌ها ابزاری قدرتمند در طراحی بودند که با بهره‌گیری صحیح از آن‌ها در تزئینات به هویت بخشی و تاثیرگذاری آن فضا می‌افزودند. یکی از تکنیک‌های معماران در تزئین فضا استفاده از رنگ‌های مکمل بوده است تا هارمونی مناسبی در دید بیننده ایجاد نماید. در این مطالعه تجربی-تحلیلی که با هدف شناسایی عناصر تشکیل‌دهنده لعاب و عامل ایجاد رنگ در کاشی‌های لاجوردی و زرد، جهت کمک در مرمت کاشی‌ها انجام شده است، برای اندازه‌گیری کمی رنگ‌های مکمل لاجوردی و زرد لعاب‌های تاریخی از آنالیز CIE Lab استفاده شد و سعی گردید عامل ایجاد طیف‌های متفاوت این دو رنگ از لعاب‌های کاشی معرق و دوال، با آنالیز EDS مورد مطالعه قرار گیرد و نیز Petrography و آنالیز XRD روی بیسکویت کاشی‌ها انجام شود. نتایج آنالیز نشان داد که لعاب‌های لاجوردی از نوع قلیایی‌اند و کبالت مولد رنگ در همه طیف‌ها بوده و سرب در شدت آن تاثیر گذاشته است. آهن به عنوان یکی از مولدهای رنگ زرد در همه نمونه لعاب‌های زرد وجود دارد. عناصری مانند تیتانیوم، کادمیوم، قلع، نیکل، وانادیوم و آنتیموانات سرب، عامل رنگ زرد در نمونه‌های مختلف بوده است و همین باعث ایجاد طیف رنگی متفاوت شده است. نتایج Petrography و فزانشناسی بیسکویت کاشی حاکی از دمای پخت کمتر از ۸۰۰ درجه است.

کلمات کلیدی: کاشی‌های تاریخی، Petrography، لعاب لاجوردی و زرد، EDS، CIE Lab.

۱- مقدمه

مرمت بنای تاریخی از مسائل مهمی است که استحکام کلی بنا تا الحاقات آن را شامل می‌شود. در این میان تزئینات همواره جز لاینفک معماری بوده و در معماری ایرانی به خصوص دوران اسلامی از روش‌های بی‌شماری برای تزئین بنا استفاده شده است. یکی از رکن‌های اساسی تزئینات بناهای دوران اسلامی، کاشی‌کاری است و از عواملی که در تحولات کاشی‌کاری نقش داشته، مواد و مصالح به کار رفته در بدنه و لعاب است [۱] که شناخت آن می‌تواند در مرمت بنا کمک زیادی نماید تا بنا در دید بازدیدکنندگان هماهنگ جلوه کند. فن‌شناسی یکی از بخش‌های مهم حفاظت و مرمت بناهای تاریخی است که برای تکمیل مباحث تاریخی و مرمت از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرفی یکی از چالش‌های حوزه مرمت کاشی، بازسازی رنگ‌ها و نحوه برخورد با نواحی ناقص است، در این راستا بازسازی و موزون‌سازی رنگی آن نیاز به یک فاکتور مشخص دارد که مرمت‌گر با استفاده از آن رنگ، جلوه بصری و اصالت بنا را حفظ کند. در یکی از محله‌های قدیمی کرمان، بقایای بنایی تاریخی به نام قطیبه (عصمتیه یا قبه سبز) وجود دارد [۲] که کاشی‌های آن به عنوان اثری با ارزش شناخته می‌شوند. این بنا یکی از مراکز مهم فرهنگی و مجهز کرمان در

دوره قراختائیان بوده است [۳] که حتی اساتید از بین‌النهرین برای تدریس در این مدرسه دعوت می‌شدند [۲]. کسانی مانند مارکوپولو، سایکس، استاک در سفرنامه‌های خود ساختمان این مدرسه را عجیب و جالب با تزئیناتی زیبا توصیف کرده‌اند [۶-۴]. زمان قطب‌الدین پادشاه وقت، به دلیل عجله برای بازگشایی، درون صدف‌های مدرسه را کاه‌گل نمودند و بعد از چند سال به دلیل شوره زدن گل و تخریب آن مجبور به کاشی‌کاری شدند [۷]. این بنا تا ۱۲۴ سال پیش پا برجا بوده است [۸] و در زلزله ۱۳۷۶ ه. ش از بین رفته و زیباترین قسمت باقی مانده از بنا ایوان بزرگی است که دو طرف آن، دو ستون پیچکی شکل دیده می‌شود که از شاهکارهای هنری معماری است [۲]. تکنیک‌های کاشی‌کاری به کار رفته در این بنا، شامل معرق، معرق زغره یا پیچ، دوال، معقلی، هفت رنگ و لعاب‌پران است. رنگ‌های به کار رفته در کاشی‌کاری بنا غالباً لاجوردی و زرد در کاشی‌های معرق و دوال است (شکل ۱ و ۲) که در کنار آن‌ها سایر رنگ‌ها مانند سبز زمردین و سبز تیره، سفید، فیروزه‌ای، سیاه نیز دیده می‌شود. بررسی ترکیبات لعاب‌های رنگی مکمل بنا که بیش‌ترین رنگ را در بین کاشی‌کاری‌های بنا شامل می‌شوند، موضوعی مهم است که می‌تواند در پژوهش‌های مرتبط با فرسایش لعاب کاشی‌ها و مرمت آن‌ها نقش مهمی ایفا کند و به هارمونی مناسب رنگ‌ها در الحاق تکه‌های کاشی باقی مانده در کنار کاشی‌های جدید هم‌رنگ کمک نماید.



شکل ۱: نمای نزدیک از لعاب‌های زرد و لاجوردی بنا، ماخذ: نگارنده



شکل ۲: رنگ‌های مکمل زرد و لاجوردی در داخل ایوان بنای مدرسه، ماخذ: نگارنده



پیشینه از دو منظر مورد بررسی است؛ یکی بررسی لعاب‌های تاریخی آبی تیره (لاجوردی) و زرد سفالینه‌ها است که نتایج وجود حداکثر تا یک درصد کروم، در دمای پایین را عامل رنگ زرد لعاب دانسته‌اند [۲] و اینکه در محیط پخت اکسیدی اکسید آهن می‌تواند رنگ لعاب را به ترتیب از رنگ زرد و سپس طیف رنگ‌های قرمز به قهوه‌ای تغییر دهد [۱۰]. همچنین وجود اکسید تیتان در لعاب سربی نیز می‌تواند منجر به ایجاد رنگ زرد شود و وجود تیتان با آهن بر شدت رنگ بیافزاید [۱۱]. بررسی ترکیبات شیمیایی لعاب آبی لاجوردی گنبدخانه مسجد جامع سلطان حسن تبریز نشان داده، جوهر آبی برای رنگ در لعاب‌های زیر رنگی استفاده شده است [۱۲]. بررسی برخی از لعاب‌های دوره صفویه مانند مسجد کبود، پل خواجو، مسجد امام اصفهان، امامزاده اسماعیل قزوین و عالی‌قاپو نشان داده که از کبالت برای ایجاد رنگ لاجورد و از سرب برای ایجاد رنگ زرد استفاده شده است [۱۶-۱۳] و در بررسی لعاب برخی از نمونه‌های زرد در بناهای دوره صفویه مانند کاشی‌های کتیبه ثلث حرم حضرت علی (ع) تیتانیوم، آنتیموانات سرب و کروم که می‌تواند عامل رنگ زرد باشند، مشاهده نشده است [۱۷]. پژوهشی جهت آنالیز لعاب‌ها به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی بر روی یک نمونه لعاب لاجوردی و یک نمونه زرد مربوط به مصلی تاریخی مشهد نشان داده که رنگ لاجورد از اکسید کبالت و رنگ زرد لعاب از آنتیموانات سرب است [۱۸]. در تحقیقی دیگر با استفاده از آنالیز میکروسکوپ اشعه ایکس به روش غیر تخریبی نتایج نشان داد که لعاب زرد کاشی تاریخی دوره صفوی از نوع لعاب سربی بوده و اکسید آهن در مجاور اکسید کلسیم عامل ایجاد رنگ زرد بوده‌اند [۱۹]. نتایج آنالیز لعاب کاشی معرق ضلع شمالی عمارت خوابگاه کاخ گلستان نیز نشان داد که به ترتیب از سرب و اکسید کبالت در لعاب‌های رنگی زرد و لاجوردی استفاده شده است [۲۰]. در پژوهشی مرتبطتر نتایج آنالیز عنصری روی دو نمونه کاشی معرق بنای قبه سبز، حاوی شش رنگ، نشان داد که برای رنگ نمونه لاجوردی، اکسید کبالت و برای رنگ زرد از آنتیموانات سرب، اکسید آهن و کادمیوم استفاده شده است [۲۱] ولی طیف‌های مختلف لاجوردی و زرد موجود در بنا مورد مطالعه قرار نگرفت.

از منظر دوم پیشینه را می‌توان در مطالعات کیفی پیرامون بنای قبه سبز پیگیری نمود که این پژوهش‌ها یا به معرفی زیبایی و ویژگی‌های معماری و ارزش مرمتی آن پرداخته‌اند [۲۱ و ۵] یا در خصوص قدمت کاشی‌های بنا به بحث پرداخته‌اند و کاشی‌های معرق بنا را قدیمی‌ترین کاشی‌های معرق ایران دانسته‌اند [۲۴-۲۲] و برخی با بررسی‌های تاریخی قدمت کتیبه‌های بنا را به دوران صفویه نسبت داده‌اند [۲۵] مرور ادبیات و پیشینه تحقیق، حاکی از آن است که مطالعه بسیار محدودی بر روی شناخت ترکیب لعاب کاشی‌های تاریخی به روش‌های آزمایشگاهی انجام شده اما هیچ یک تمرکز بر طیف متفاوت رنگ‌های مکمل بنا نداشته‌اند. توجه به اهمیت رنگ‌های مکمل لاجورد و زرد به دلیل غالب بودن این رنگ‌ها در نمای بنا و وجود کاشی‌های معقلی دوال و لعاب پران ریخته شده از بنا که در جعبه‌های داخل محوطه نگه‌داری می‌شوند، می‌تواند به ناسازی مجدد بنا در مرمت‌های آتی کمک شایانی نماید.

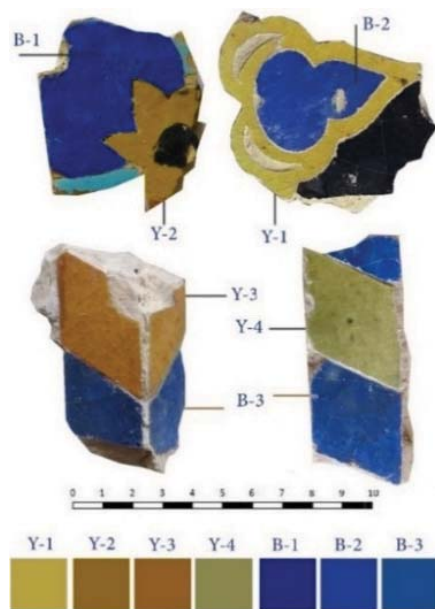
۲- فعالیت‌های تجربی

در این مطالعه آزمایشگاهی سه نمونه از لعاب‌های لاجوردی و چهار نمونه لعاب زرد (از کاشی معرق و دوال) در طیف‌های مختلف جهت آزمایش برای شناخت عناصر تشکیل‌دهنده لعاب و عوامل ایجاد رنگ در آن به بنیاد علوم کاربردی رازی ارسال و از میکروسکوپ الکترونی مدل MIRA3 ساخت شرکت TESCAN مجهز به آشکار ساز BSE جهت تشخیص تغییرات فازی بر اساس عدد اتمی در نمونه استفاده شده است. آنالیز (EDS) به کار رفته در این دستگاه دارای قدرت تفکیک 126 eV و حد تفکیک بیش تر از 5000 ppm برای شناسایی عناصر موجود از عنصر بور (B) به بعد در جدول تناوبی می‌باشد.

برای مطالعه ساختار بدنه از روش Petrography مقطع نازک به روش میکروسکوپی بر روی سه نمونه بیسکویت کاشی استفاده شده است. مقاطع در آزمایشگاه پترولوژی زر آزما ماهان تهیه شده است و عکس‌ها توسط دوربین دیجیتال Canon Powershot SX50 HS تهیه شده است.

همچنین جهت بررسی و تعیین ترکیبات شیمیایی بیسکویت کاشی‌ها، آنالیز XRD روی بدنه در آزمایشگاه زر آزما ماهان صورت گرفت. برای اندازه‌گیری کمی رنگ‌های لعاب و بررسی وضعیت رنگی سطوح از آنالیز CIE Lab در مرکز توسعه فناوری سرامیک

ایران بهره گرفته شد و پارامترهای رنگی لعاب ها مشخص گردید.



شکل ۳: نمونه‌های کاشی مورد مطالعه

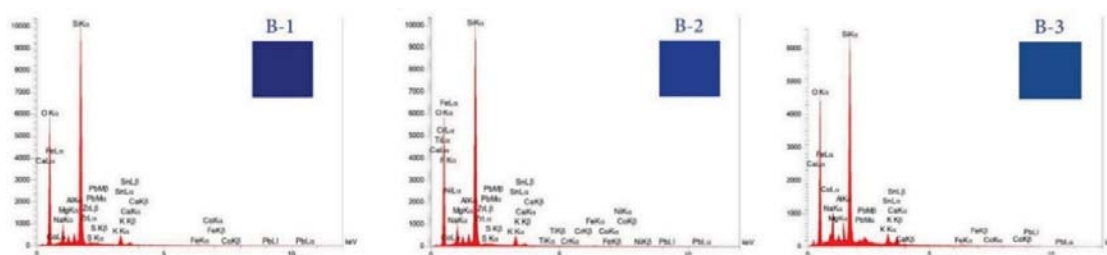
۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج آنالیز عنصری

آنالیز روی لعاب‌های لاجوردی (جدول ۱، شکل ۴) نشان داد که در همه نمونه‌ها سیلیس ماده‌ی اولیه سازنده‌ی لعاب و به عنوان شبکه‌ساز است و میزان این عنصر در لعاب‌های آنالیز شده بالای ۲۰ درصد است. چنانچه در تهیه لعاب‌های سنتی بیش از ۲۰ درصد سیلیس، به عنوان مهم‌ترین شبکه‌ساز، استفاده می‌شده است [۲۸-۲۶]. بعد از سیلیس، سدیم و پتاسیم بیش‌ترین میزان را به خود اختصاص داده است، اکسید این عناصر روان‌کننده خوبی هستند که می‌توانند تا حد زیادی جایگزین اکسید سرب شوند [۲۶]. سرب در رده بعدی عناصر به دست آمده است و با توجه به میزان کم سرب در لعاب‌ها و میزان بالای عناصر قلیایی و قلیایی خاکی، این لعاب‌ها از نوع لعاب‌های قلیایی است. لعاب‌های قلیایی خالص شامل گدازآوره‌های عمده اکسید سدیم و پتاسیم است که دمای ذوب پایین بیاید. همچنین اکسیدهای قلیایی در این لعاب باعث افزایش ضریب انبساط حرارتی، حلالیت اکسیدهای رنگی و پایین آمدن دمای پخت می‌شده و روی اکثر بدنه‌ها ترک‌های مویی ایجاد می‌کرده است [۲۶]. آنالیز روی لعاب لاجوردی کاشی معرق B-۱ نشان داد که آلومینیوم، منیزیم، زیرکونیوم و کلسیم در رده‌های بعد، از نظر میزان می‌باشند. عناصر دیگر تشکیل‌دهنده لعاب شامل آهن، گوگرد، کبالت و کروم می‌باشند. لاجوردی به واسطه وجود کبالت در لعاب ایجاد شده است و وجود زیرکونیوم باعث شده که لعاب لاجوردی در بنا کم‌تر ترک داشته باشد. البته چون روی در لعاب وجود ندارد ترکیب کبالت، آهن و وجود اکسید منیزیم در لعاب نیز به ایجاد آبی تیره کمک کرده است. آنالیز روی لعاب لاجوردی کاشی معرق B-۲ نشان داد که آلومینیوم، منیزیم، زیرکونیوم و کلسیم در رده‌های بعد از نظر میزان می‌باشند. عناصر دیگر تشکیل‌دهنده لعاب شامل آهن، تیتانیوم، گوگرد، کبالت و کروم می‌باشند. در این لعاب تیتانیوم به عنوان پایدارساز مورد استفاده قرار گرفته است. آنالیز روی لعاب لاجوردی کاشی معرق B-۳ نشان داده است و سرب، کلسیم، آلومینیوم، قلع، در رده‌های بعد از نظر میزان می‌باشند. کبالت به عنوان عامل رنگ‌زا در لعاب با میزان قابل توجه ۱/۰۷ وجود دارد و عناصر دیگر تشکیل‌دهنده لعاب آهن و منیزیم می‌باشند. میزان سرب در لعاب نمونه مورد بررسی ۳/۵۴ است و از نمونه‌های لاجوردی دیگر بیش‌تر است. افزایش میزان سرب باعث روشن شدن رنگ لعاب شده است.

جدول ۱: نتایج تجزیه عنصری لعاب‌های لاجوردی

نمونه	B-1	B-2	B-3
Elt	W% درصد وزنی		
Na	3.63	3.82	4.60
O	57.98	56.46	54.31
Mg	1.28	1.48	1.25
Al	1.48	1.66	2.57
Si	28.32	27.62	22.34
S	0.13	0.18	-
K	2.70	2.79	3.66
Ca	0.64	0.75	2.80
Ti	-	0.19	-
Cr	-	0.1	-
Fe	0.36	0.39	1.46
Co	0.12	0.12	1.07
Zr	0.85	1.1	-
Sn	0.47	0.72	2.30
Pb	2.03	2.54	3.54



شکل ۴: طیف تجزیه عنصری لعاب کاشی‌های لاجوردی به روش SEM-EDS

۳-۲- آنالیز عنصری لعاب‌های زرد

نتایج آنالیز عنصری نمونه‌های زرد به روش SEM-EDS در جدول و گراف زیر آمده است (جدول ۲- شکل ۵). نتایج آنالیز نشان داد که بعد از اکسیژن شاخص‌ترین پیک در لعاب‌های زرد مورد بررسی مربوط به دو عنصر سیلیس، سرب است و با توجه به ترکیب شیمیایی این لعاب‌ها و عناصر قلیایی موجود در آنها، لعاب این کاشی‌ها جزء لعاب‌های سرب قلیایی است. لعاب‌های متشکل از سرب، قابلیت حلالیت خوبی برای اکسیدهای رنگ کننده دارند [۲۶]. در همه نمونه‌ها سدیم و پتاسیم دیده می‌شود که همانند سرب در لعاب‌سازی اهمیت بالایی دارند و آنها را به مقدار زیادی می‌توان جایگزین اکسید سرب نمود [۲۶].

نتایج آنالیز نمونه لعاب زرد کاشی معرق لعاب پران ۷-۱ نشان می‌دهد پتاسیم با ۳/۲۱ درصد وزنی در رده بعدی عناصر تشکیل دهنده لعاب بوده است. سدیم، کلسیم و آلومینیوم پنجمین تا هفتمین پیک عناصر تشکیل دهنده لعاب‌اند. همچنین در لعاب عناصر دیگر شامل آهن، قلع، منیزیم، کادمیوم، روی، زیرکونیوم، نیکل، وانادیوم، گوگرد و تیتان نیز مشاهده شد. نتایج آنالیز عنصری لعاب زرد

۷-۲ نتایج نشان می‌دهد که سومین تا پنجمین پیک شاخص مربوط به کلسیم، آلومینیوم و آهن است. ششمین تا دوازدهمین عنصر از نظر میزان درصد وزنی در لعاب، عناصر پتاسیم، قلع، گوگرد، کادمیوم، منیزیم، زیرکونیوم و سدیم است و مابقی عناصر شناسایی شده در لعاب شامل؛ سفر، روی، کلر، سلنیوم، نیکل، تیتانیوم وانادیوم است. طبق نتایج آنالیز عنصری لعاب زرد رنگ با کد ۷-۳، در رده بعد از سیلیس و سرب به ترتیب پتاسیم، کلسیم، سدیم و آلومینیوم سایر عناصر تشکیل دهنده لعاب هستند و عناصری چون آهن، آنتیموان، روی، تیتانیوم، وانادیوم، نیکل و منیزیم دیگر عناصر موجود در لعاب هستند. نتایج آنالیز نمونه ۷-۴ نشان می‌دهد که بعد از سیلیس و سرب، پتاسیم، سدیم، آلومینیوم، کلسیم، قلع و منیزیم و آهن با مقدار جزعی دیگر عناصر شاخص در تشکیل

لعاب‌اند و عنصری چون مس هم به میزان اندک در لعاب دیده می‌شود.

جدول ۲: نتایج تجزیه عنصری لعاب‌های زرد

نمونه	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4
Elt	W% درصد وزنی			
Na	1.85	0.63	1.71	2.86
O	41.06	42.24	38.39	47.34
Mg	0.38	0.82	0.06	1.06
Al	1.32	3.28	1.17	1.72
Si	23.54	21.48	21.92	21.38
P	-	0.49	-	-
S	0.08	1.04	-	-
Cl	-	0.43	-	-
K	3.21	2.17	2.8	2.95
Ca	1.51	3.62	1.9	1.58
Ti	0.07	0.14	0.22	-
V	0.08	0.07	0.15	-
Fe	0.65	2.7	2.78	0.60
Cu	-	-	-	0.20
Ni	0.1	0.18	0.12	-
Zn	0.29	0.45	0.26	-
Se	-	0.24	-	-
Zr	0.25	0.79	-	-
Cd	0.34	0.86	-	-
Sn	0.59	1.27	-	1.06
Sb	-	0.6	0.44	-
Pb	24.69	16.47	28.08	19.25

نتایج آنالیز عنصری نشان می‌دهد که عناصر در شکل‌گیری و تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی لعاب موثراند. (جدول ۳)

جدول ۳: تاثیر عناصر شاخص در آنالیز همه نمونه‌ها

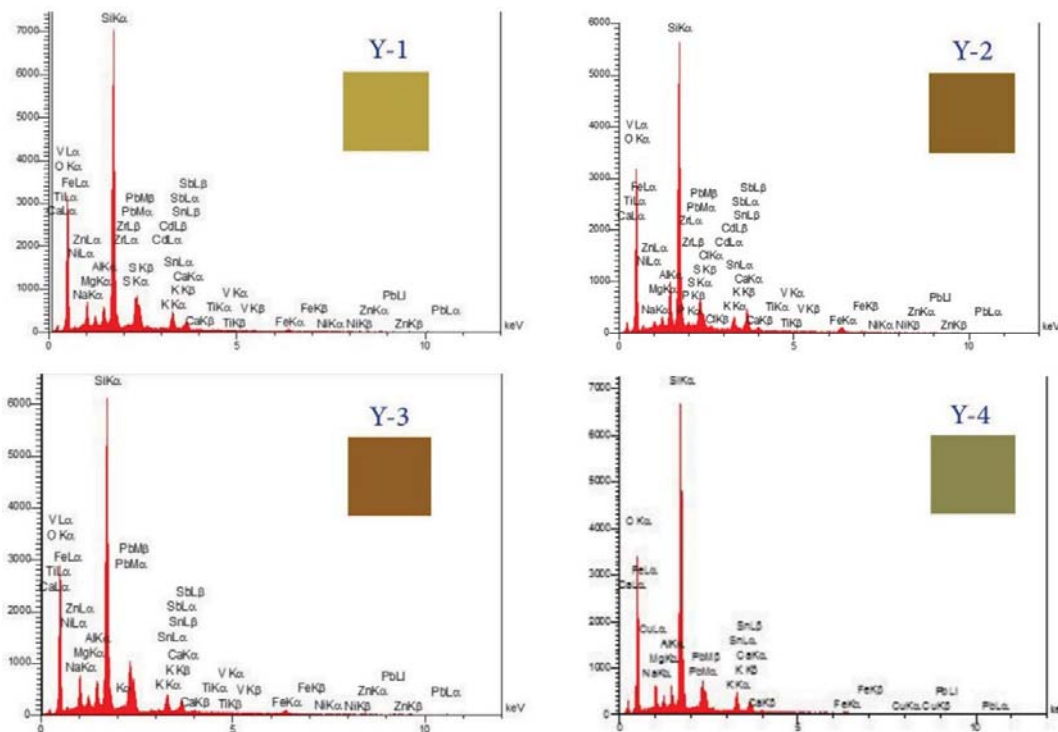
عناصر	اثرات
سیلیس	شبکه‌ساز و افزایش‌دهنده دمای ذوب
سرب	قابلیت حلالیت خوب برای اکسیدهای رنگ‌کننده لعاب و عامل ایجاد درخشندگی و روشنایی رنگ
پتاسیم	اکسید آن روان‌کننده و گدازآور بسیار فعال، تاثیر بر رنگ‌های قلیایی
سدیم	اکسید آن دگرگون‌ساز شبکه در لعاب است و لعاب حاوی آن تحت تاثیر اکسیدهای رنگین، رنگ‌ها را به وجود آورند.
کلسیم	دگرگون‌ساز شبکه در لعاب
آلومینوم	افزایش‌دهنده مقاومت مکانیکی و شیمیایی لعاب

۳-۲- نتایج Petrography بدنه کاشی

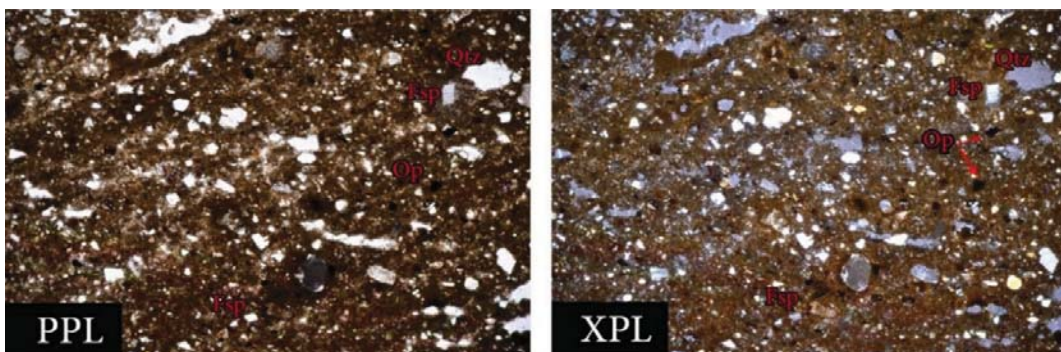
پتروگرافی مقطع نازک برای مطالعه و طبقه‌بندی ساختار رسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات به دست آمده از Petrography، سبب شناخت تکنیک تولید آن‌ها خواهد شد. روی سه نمونه بدنه کاشی‌های مورد مطالعه Petrography صورت گرفت. چون غالب اجزاء سازنده نمونه‌های مورد بررسی بسیار ریز هستند، برای بررسی‌های دقیق میکروسکوپی و به ویژه شناسایی انواع کانی‌های رسی موجود در بدنه، آنالیز XRD بر روی نمونه‌ها صورت گرفت که بعد از ارائه نتایج مربوط به Petrography نتایج ایکس آر دی نیز ارائه می‌گردد. کوارتز شاخص‌ترین کانی مشاهده شده در مقاطع نازک، کوارتز است. در نمونه A، بافت آوری خیلی ریز، میکرو و کریستوکریستالین است. بلورهای بی‌شکل و اغلب زاویه‌دار کوارتز، فلدسپارهای تجزیه شده و کانی‌های کدر، قطعات ریز سنگی



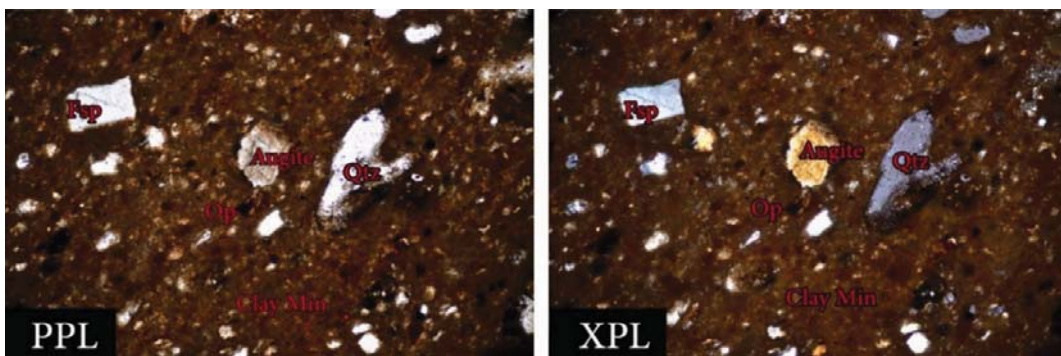
آهکی و سیلیسی در ماتریکس گلی متشکل از کانی‌های رسی جای دارند (شکل ۶-۷).



شکل ۵: طیف تجزیه عنصری لعاب کاشی‌های زرد به روش SEM-EDS



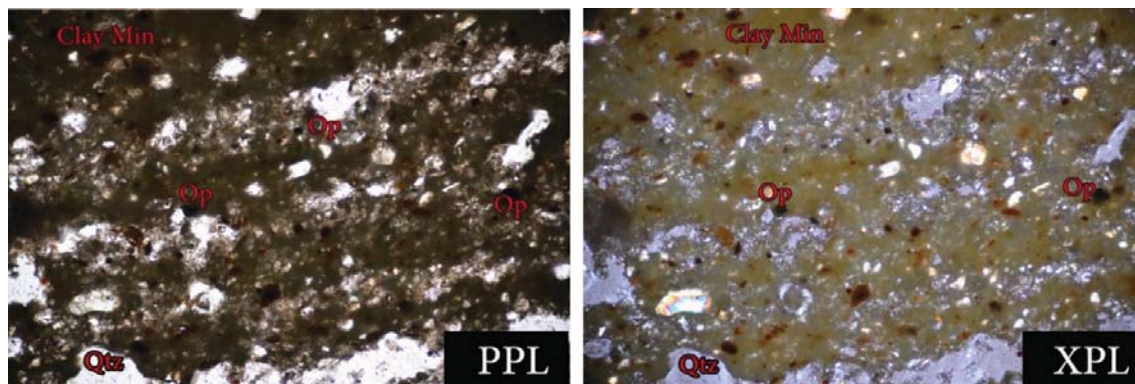
شکل ۶: وجود کانی کوارتز و اپک و فلدسپات، بزرگنمایی ۴۰



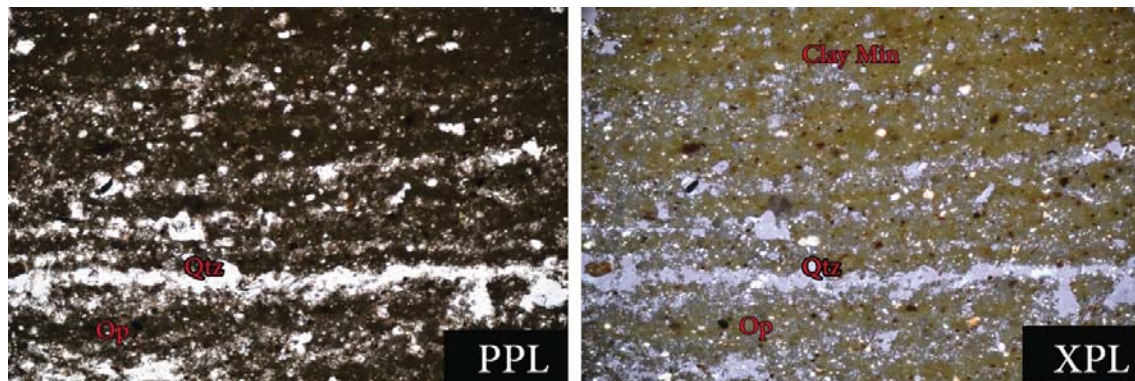
شکل ۷: وجود کانی کوارتز، اوژیت و فلدسپات، بزرگنمایی ۱۰۰



بافت نمونه B، دانه‌ای خیلی ریز، میکرو و کریپتوکریستالین است و کانیهای رسی فراوانترین سازنده نمونه است که مانند بلورهای بی‌شکل و اغلب زاویه دار کوارتز (عمدتاً در ابعاد سیلت یا با قطر کمتر از ۶۰ میکرون و بندرت در محدوده ماسه ریز) با فراوانی کم، کانی کدر خیلی ریز، معدود فلدسپار است. (شکل ۸-۹).

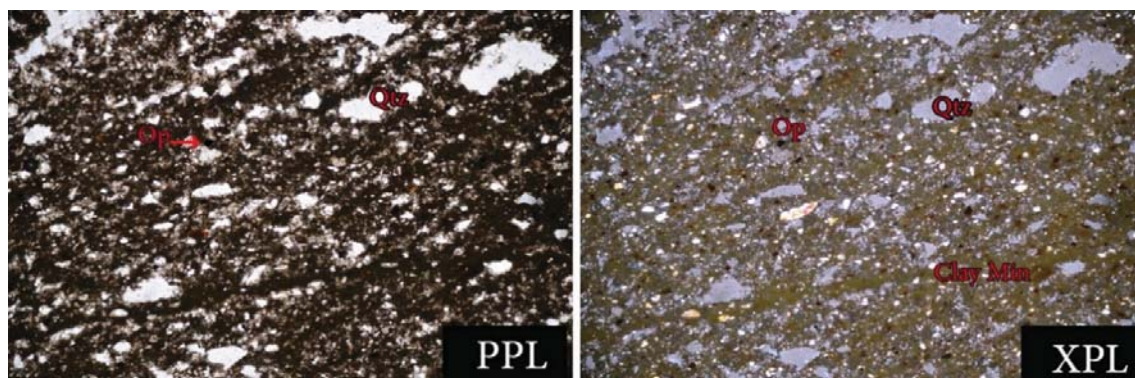


شکل ۸: وجود کانی کوارتز، اپک و کانی‌های رسی، بزرگنمایی ۱۰۰

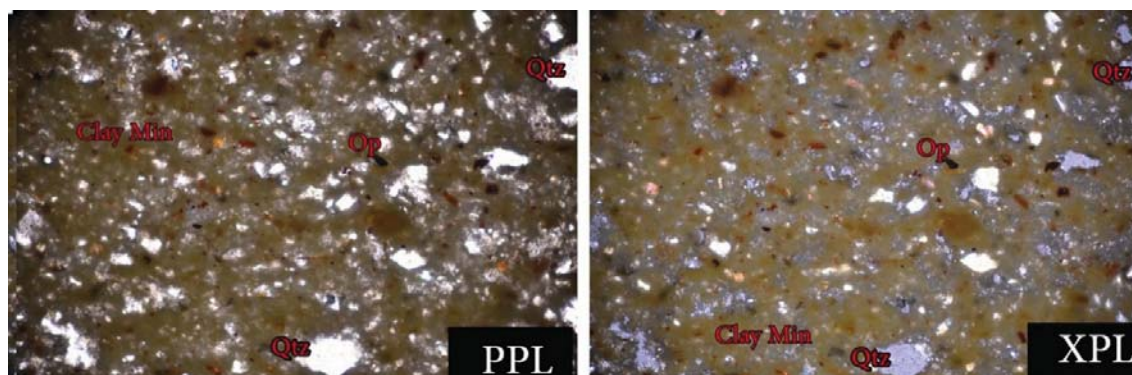


شکل ۹: وجود کانی کوارتز، اپک و کانی‌های رسی، بزرگنمایی ۴۰

بافت نمونه C آوری خیلی ریز، میکرو و کریپتوکریستالین است و کانی‌های رسی فراوانترین سازنده نمونه بوده که همراه اکسید آهن چون ماتریکسی دربرگیرنده بلورهای بی‌شکل و اغلب زاویه دار کوارتز (بیشتر در ابعاد سیلت یا قطر کمتر از ۶۰ میکرون و شماری کمی هم بزرگتر) و شمار کمی میکا است. کانی‌های کدر-اکسید آهن است. (شکل ۱۰-۱۱).



شکل ۱۰: وجود کانی کوارتز، اپک و کانی‌های رسی، بزرگنمایی ۴۰



شکل ۱۱: وجود کانی کوارتز، اپک و کانی‌های رسی، بزرگنمایی ۱۰۰

۳-۴- کانی‌شناسی بدنه کاشی‌ها به روش XRD

فازهای کریستالی شناخته شده در نمونه بدنه کاشی A به روش XRD شامل فازهای اصلی کوارتز، آلپیت، اوژیت و فازهای فرعی شامل فلدسپات، ژپیس، ایلپیت و گوتیت است و مقدار حداقلی کلسیت نیز در نمونه دیده می‌شود. نمونه B شامل فازهای اصلی کوارتز، آلپیت، اوژیت می‌باشند و فازهای فرعی فلدسپات سدیم، ایلپیت، کلسیت و گوتیت است. همچنین در نمونه C فازهای اصلی شناخته شده کوارتز، آلپیت و فازهای فرعی شامل فلدسپات سدیم، اوژیت، کلسیت و گوتیت می‌باشد (جدول ۴، شکل ۱۲).

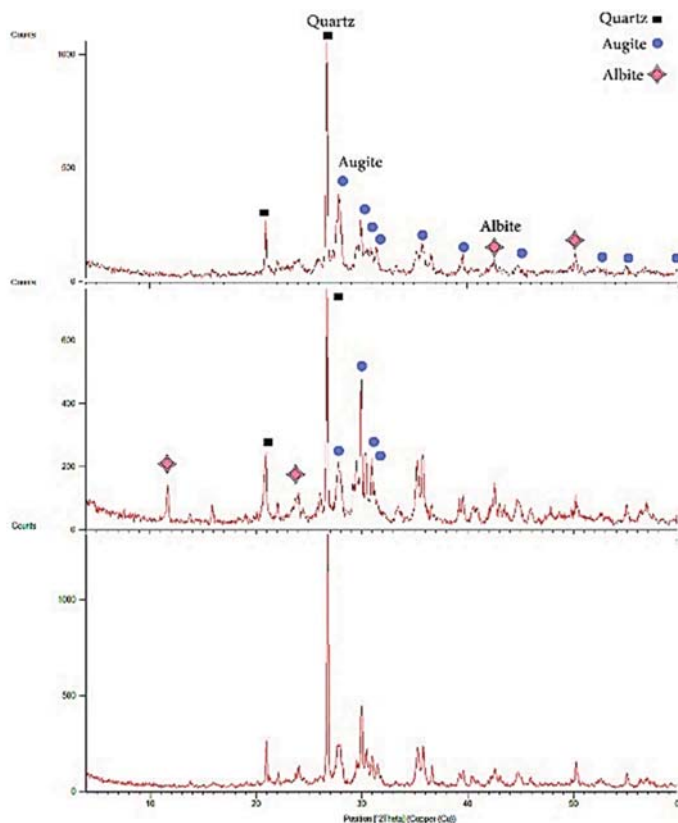
در نمونه بدنه کاشی A و C الگوی XRD تقریباً مطابق یکدیگر است ولی درصد اوژیت در نمونه A بیش‌تر از نمونه‌های B و C است. با توجه به نتایج می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که خاک به کار رفته در بدنه کاشی B با دیگر نمونه‌ها کمی متفاوت است. همچنین پراش‌های مربوط به فازهای فرعی شامل فلدسپات سدیم، گهلنیت، سدیم آلومینیوم اکساید و آنورتیت نیز در الگوی XRD وجود دارد که از شدت کم‌تری برخوردارند و یا توسط پراش‌های اصلی پوشیده شده‌اند.

جدول ۴: نتایج XRD بدنه کاشی‌ها

نمونه	A	B	C
کانی شاخص در نتایج Petrography و XRD	کوارتز	کوارتز	کوارتز
نتایج پراش اشعه ی پرتو ایکس	آلپیت	اوژیت	آلپیت
	فلدسپات پتاسیم	آلپیت	اوژیت
	اوژیت	فلدسپات پتاسیم	فلدسپات پتاسیم
	کلسیت	ژپیس	ایلپیت
	گوتیت	ایلپیت	کلسیت
	-	گوتیت	گوتیت
	-	کلسیت	-

۳-۵- آنالیز CIE Lab

نتایج آنالیز کمی رنگ‌ها در جدول زیر آمده است. L^* نشان‌دهنده شدت روشنایی است و مقدار آن نشان می‌دهد که نمونه b-3 روشن‌تر از سایر نمونه‌ها است و در نمونه b-1 نیز که تیره‌تر است مقدار L بیش‌تر است و مقدار b^* که نشان‌دهنده موقعیت رنگ بین آبی و زرد است نشان می‌دهد در نمونه b-1 با مقدار $-57,06$ ، میزان آبی از سایر نمونه‌ها بیش‌تر است. در بررسی مقدار کمی نمونه‌های زرد رنگ، نتایج نشان می‌دهد که نمونه $\gamma-1$ روشن‌تر از سایر نمونه‌ها و $\gamma-3$ کدرترین است. مقدار a^* در نمونه $\gamma-3$ نشان می‌دهد که قرمزی رنگ در این نمونه بیش‌تر از نمونه $\gamma-2$ است و در نمونه $\gamma-4$ رنگ در موقعیت سبز قرار دارد.



شکل ۱۲: الگوی XRD بدنه کاشی‌های A , B & C

جدول ۴: مقدار کمی رنگ لعاب‌های مورد مطالعه از آنالیز CIE Lab

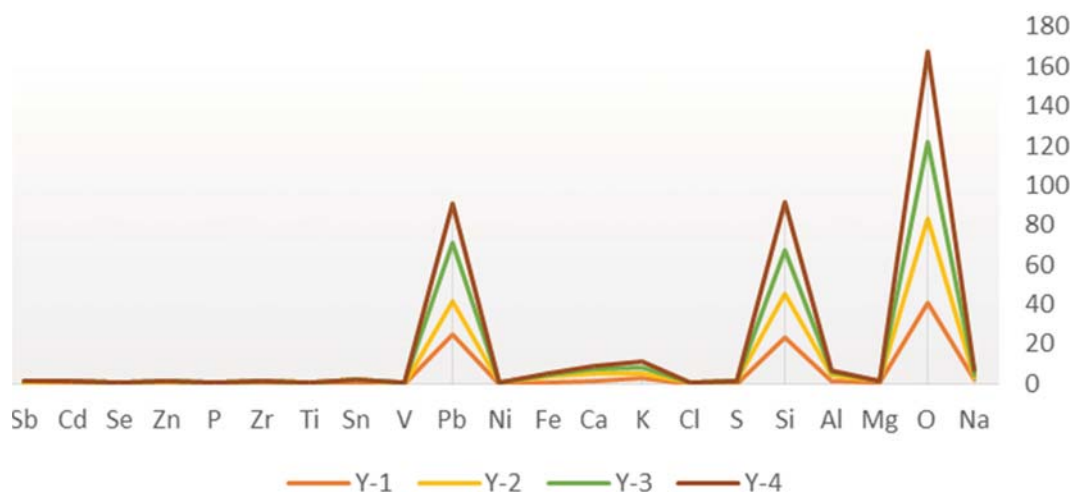
Code	L*	a*	b*
B-1	۱۷,۳۲	۲۶,۰۲	-۵۷,۰۶
B-2	۲۷,۳۲	۱۹,۴۲	-۵۵,۵
B-3	۳۲,۱	۴,۲۲	-۴۱,۸۸
Y-1	۶۷,۲۵	۰	۵۰,۰۳
Y-2	۴۶,۸۸	۱۳,۲۴	۵۲,۱
Y-3	۴۴,۶۵	۱۸,۱۸	۴۴,۳
Y-4	۶۳	-۶	۲۹,۲

۴- نتایج

در این تحقیق سعی شد به دلیل اهمیت کاشی‌کاری‌های بنای تاریخی مورد مطالعه، بررسی فنی بر روی تزئینات کاشی بنا صورت گیرد. این پژوهش با هدف شناسایی عناصر تشکیل‌دهنده لعاب و عامل ایجاد رنگ در کاشی‌های لاجوردی و زرد، جهت کمک در مرمت کاشی‌ها، سعی بر شناخت بهتر کاشی‌های بنا داشته است. در این پژوهش از طیف‌سنجی اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی برای آنالیز عنصری اکسیدهای فلزی رنگساز موجود در لعاب‌های طیف لاجوردی و زرد استفاده شده است. نتایج حاصل از آنالیز EDS نشان داد که سرب در تمامی نمونه‌ها وجود دارد. سرب سبب درخشندگی و جلا در لعاب شده و رنگ‌ها را به خوبی نشان می‌دهد. همچنین در همه نمونه‌های مورد بررسی کلسیم به عنوان اصلاح‌ساز لعاب به کار گرفته شده است. آنالیز نمونه لعاب‌های طیف لاجوردی نشان می‌دهد که رنگ لاجوردی هر سه نمونه به واسطه کبالت در لعاب قلیایی ایجاد شده است و در

لعابی که تیتانیوم وجود دارد این عنصر به عنوان پایدار ساز مورد استفاده قرار گرفته و استفاده از زیرکونیوم باعث شده که لعاب لاجوردی پر رنگ در بنا کم‌تر از بقیه ترک داشته باشد. میزان سرب موجود در لعاب‌ها بر روشنی رنگ تاثیر گذاشته است و با افزایش میزان آن لعاب، رنگ روشن‌تری دارد که نتایج آنالیز CIE Lab نیز این مطلب را نشان می‌دهد. با توجه به میزان سرب در نمونه‌ها، لعاب‌های لاجوردی از نوع قلیایی می‌باشند.

بررسی نمونه‌های لعاب زرد رنگ نتایج نشان داد که در نمونه‌ها عامل رنگ متفاوتی وجود دارد. عناصر کادمیوم، نیکل، وانادیوم، آهن و آنتیموان در کنار سرب، تیتانیوم، وانادیوم و قلع و گوگرد عامل ایجاد طیف رنگ زرد نمونه‌ها بوده است. البته به طور کلی اکسید آهن به عنوان یکی از اکسیدهای رنگی عامل رنگ زرد، در همه نمونه لعاب‌های رنگی زرد موجود است و افزایش میزان آهن سبب افزایش شدت رنگ شده است. همچنین نیکل نیز به عنوان عامل رنگ در همه نمونه‌ها به جز Y-4 موجود است. بررسی نمونه‌های زرد رنگ مورد مطالعه، نتایج نشان داد در نمونه Y-1 کادمیوم، سرب و قلع در ایجاد رنگ نقش داشته و در نمونه Y-2 در کنار کادمیوم، گوگرد، تیتانیوم، سرب و آنتیموان به ایجاد رنگ پر رنگ‌تر کمک کرده است. در نمونه Y-3 که شدت رنگ از همه بیش‌تر است چند عامل رنگی شامل وانادیوم، تیتانیوم، آنتیموان، سرب نیز موجود است. نتایج آنالیز نمونه Y-4 نشان می‌دهد که تنها آهن به عنوان عامل رنگ زرد در لعاب وجود داشته و وجود مس باعث شده رنگ لعاب به سبز نزدیک شود که نتایج CIE Lab هم موید این مطلب است. البته وجود نقطه‌های سیاه به عنوان عارضه بر سطح لعاب نشان می‌دهد که عدم همگن‌سازی مناسب رنگ لعاب سبب ایجاد نقاط رنگی مزاحم در لعاب شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که لعاب‌های زرد از نوع سرب قلیایی می‌باشند.



شکل ۱۳: مقایسه عناصر موجود در لعاب‌های زرد رنگ

نتایج آنالیزهای فازشناسی نشان داد که در بدنه کاشی‌های مورد بررسی از کوارتز به عنوان پرکننده به صورت ریزدانه و کلسیت کربنات به عنوان گدازآور استفاده شده است. همچنین با توجه به نتایج Petrography و فازشناسی به نظر می‌رسد که کانی اوژیت که در همه نمونه‌ها وجود دارد عامل رنگزا در بیسکویت کاشی‌ها بوده است. حضور کلسیت در نتایج نیز این احتمال را می‌دهد که دمای پخت بدنه‌ها کم‌تر از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده است.

منابع

- [۱]. م. مکی‌نژاد، تاریخ هنر ایران در دوره اسلامی: تزئینات معماری، تهران: سمت، ۱۳۹۷.
- [۲]. م. دانشور، محله‌های قدیمی شهر کرمان، کرمان: مرکز کرمان‌شناسی، ۱۳۸۸.
- [۳]. م. محمدی؛ م. محمدی؛ م. خواجه پور، بازشناسی و حفاظت ارزش‌های موجود در اثر تاریخی «قبه سبز» کرمان، فصلنامه مطالعات شهر ایرانی اسلامی، ۱۳۹۲، ۱۲: ۷۹-۸۸.
- [۴]. ا. استاک، شش ماه در ایران؛ سفرنامه ادوارد استاک، ترجمه شهلا طهماسبی، تهران: ققنوس، ۱۳۹۹.



- [5]. پ. سایکس، سفرنامه ژنرال سرپرسی سایکس یا ده هزار میل در ایران، ترجمه حسین سعادت نوری، تهران: لوحه، ۱۳۶۳.
- [6]. آ. گابریل، مارکوپولو در ایران، ناشر: اساطیر، تهران، ۱۳۸۵.
- [7]. بی نام، تاریخ شاهی قراختائیان، تصحیح محمد ابراهیم باستانی پاریزی، تهران، علم، ۱۳۹۰.
- [8]. م. ا. باستانی پاریزی، فهرست آثار تاریخی کرمان، سازمان حفاظت آثار باستانی، کرمان، ۱۳۴۸.
- [9]. - Barsoum, M. W., Fundamentals of ceramics. NewYork, McGraw-Hill, 1997.
- [10]. Sabia, R., Einishing of Advanced Ceramics and Glasses. USA, The American Ceramic Society, 1999
- [11]. س. سامانیان، س. بهمنی، ا. بهمنی، شناسایی ترکیبات لعاب‌های به کاررفته در آجرهای لعاب‌دار تخت‌چمشید با تأکید بر لعاب سبز و زرد. مطالعات باستان شناسی پارسه. ۱۴۰۰؛ ۱۵(۱۵): ۱۳۵-۱۳۵
- [12]. م. هادیان دهکردی، ب. عمرانی، ویژگی‌های فنی لعاب‌های آبی و سفید صفوی: مطالعات آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های مکشوفه از گنبدخانه مسجد جامع سلطان حسن تبریز. علم و مهندسی سرامیک. ۱۴۰۰؛ ۱۰(۴): ۱۷-۱۷
- [13]. ش. سلطان زاده، ر. وطن دوست، ع. بهرمان، طرح حفاظت و مرمت رنگ پریدگی لعاب کاشی‌های هفت رنگ حرم حضرت علی (ع)، مرمت و پژوهش، ۱۳۸۸، ۳(۶): ۳۷-۴۲.
- [14]. Holakooei P. Technological study of the seventeenth century haft rang tiles in Iran with a comparative view to the cuerda seca tiles in Spain (Doctoral dissertation, Università degli Studi di Ferrara), 2014.
- [15]. Mishmastnehi M, Holakooei P. Technological study of the gilded haft-rang tiles of the Imamzadih Ismail mausoleum in Qazvin, Iran. Heritage Science 2015; 3,15.
- [16]. Lamehi-Rachti M, Oliayi P, Rahighi J, Shokouhi F, Fakhrai M. Application of PIXRF in the analysis of archaeological glazed tiles. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 2001,184:430-6.
- [17]. ع. عابد اصفهانی؛ ک. زاهدیان، بررسی عوامل تغییر رنگ در لعاب‌های زرد و سبز کاش‌های هفت رنگ مسجد امام (دوره صفویه)، ۱۳۸۶، ۳-۳۷-۴۲
- [18]. م. باتر، م. صابرنیا، ح. احمدی، شناسایی مواد و رنگ‌های به کاررفته در تزیینات کاشی کاری معرق بنای تاریخی مصلای شهید، پژوهش باستان سنجی، ۱۳۹۶، ۳(۱): ۲۹-۴۶
- [19]. س. نوغانی، ف. شیرانی، م. م. کریم‌نژاد، ارزیابی استفاده از آنالیز میکروپروب اشعه ایکس (XPMA) به عنوان روش غیرتخریبی در شناسایی ترکیب شیمیایی لعاب‌های تاریخی، مطالعات باستان شناسی، ۱۳۹۶، ۲(۲۹): ۱۹۳-۲۱۰
- [20]. ف. شکبیا پور، آسیب شناسی لعاب کاشی معرق ضلع شمالی کاخ گلستان (عمارت خوابگاه)، به منظور ارائه راهکار حفاظتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر، ۱۳۹۶.
- [21]. و. رحیمی مهر. مطالعه فنی ترکیبات شیمیایی لعاب کاشی‌های معرق قبه سبز کرمان. پژوهش باستان سنجی. ۱۴۰۰؛ ۷(۲): ۷-۷
- [22]. ج. نظریه، تحلیل معماری گنبد سبز، اولین همایش قبه سبز کرمان، ۱۳۸۵.
- [23]. ش. جوادی، قبه سبز، قدیمی‌ترین نمونه کاشی کاری معرق در ایران، نشریه هنرهای زیبا، ۱۳۷۹، ۷(۱۲): ۱۲-۲۰
- [24]. م. پیرنیا، آشنایی با معماری اسلامی ایران " ساختمان‌های درون‌شهری و برون‌شهری"، تهران: دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۷۱.
- [25]. م. ح. اسلام پناه، تاریخ کتیبه قبه سبز کرمان، یادنامه یغما، ۱۳۷۰: ۴۰۰-۴۰۵



Technical Study of Historical Tiles of Azure and Yellow Color Spectrum in Mosaic and Dual Tiles

Vahideh Rahimi mehr

Assistant professor, Department of Architecture, Faculty of Art, Architecture & Urbanism, Kerman branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran.

* rahimimehr@iauk.ac.ir

Abstract: In Iranian architecture, colors were a powerful tool in design that, by using them correctly in decorations, added to the identity and impact of that space. One of the techniques of architects in decorating the space has been the use of complementary colors to create a proper harmony in the viewer's eyes. In this experimental-analytical study that has been carried out with the aim of identifying the glaze constituent elements and the color-creating agent in azure and yellow tiles, to help restore the tiles, CIE Lab analysis was used to quantitatively measure the complementary colors of azure and yellow historical glazes, And was tried to study the cause of different spectra of these two colors of mosaic and dual tile glazes by EDS analysis. Also, petrography and XRD analysis should be done on the tile biscuits. The results of the analysis showed that azure glazes are alkaline and cobalt is a color producer in all spectrums and lead has an effect on its intensity. Iron is present as one of the yellow color agents in all samples of yellow glazes Elements such as titanium, cadmium, tin, nickel, vanadium and lead antimony have been the cause of yellow color in various samples. And this has caused the different color tonality. Petrographic and XRD results of tile biscuits indicate baking temperature less than 800 degrees.

Keywords: Historical tiles, petrography, azure and yellow glaze, EDS, CIE Lab.