فصلنامه سرامیک ایران

اهمیت صنعت باستانی کاشی‌های سرامیکی در هنر معماری اسلامی دوران صفویه و مروری بر روش‌های آنالیز

ابراهیم قاسمی، مریم حسینی زری، جواد فهیم

[۱] گروه پژوهشی رنگدانه‌های معدنی و لعاب، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

[۲] گروه مکاترونیک، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

چکیده: *آثار باستانی ارزشمندی که شامل انواع و اقسام متنوعی از بناهای و معماری قدیمی ایرانی می‌شود، جلوه گر خلاقیت و تحسین بشریت کل دنیاست. یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد دوران سلطنت صفویه در کشور ایران معماران منحصر به فرد آن دوران است که می‌توانستند از کاشی‌های رنگی خاصی استفاده کنند ولی هنر تولید آن‌ها رازی بود که فقط متعلق به یک خانواده (از پدر به پسر) بود و متاسفانه در حال حاضر رو به فراموشی است. برای درک فناوری به کار رفته در آثار باستانی، انتخاب آنالیز دستگاهی مناسب و غیرمخرب بسیار مهم است. در این مقاله قابلیت استفاده از آنالیز دستگاه‌های مختلف مانند میکروسکوپ الکترونی روبشی و عبوری، میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ نیرو اتمی برای بررسی ریزساختار و تصاویر ریخت‌شناسی و برجسته‌نگاری سطوح لعاب‌دار باستانی مرور و تشریح شده است. و از طرفی روش‌های ترکیبی از چند آنالیز نیز مثل طیف‌نگاری رامان، رنگ‌سنجی، طیف‌نگار اشعه گرمایی فوریه، اشعه ایکس در میکروپیکسی و ایدکس میکروسکوپ الکترونی روبشی، تفرق یا پراش اشعه ایکس توانایی فراهم کردن اطلاعاتی برای قابلیت شناسایی ترکیب و اتصالات شیمیایی و عنصری را دارند. فناوری روش پیکسی برای انالیز عنصری به کمک بیم ذراتی با انرژی بالاست و نیز اغلب برای تشخیص ترکیبات آلی، پلیمری و فقط در مواردی جزیی در مواد معدنی استفاده می‌شود.*

کلمات کلیدی: *روش‌های آنالیز، کاشی‌ها، باستانی، معماری اسلامی، دوران صفویه.*

نویسنده اول:
دکتر ابراهیم قاسمی
نویسنده مسئول:
دکتر مریم حسینی زری
پژوهشگاه رنگ
* mhosseini@icrc.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی
صفحه‌های: ۵۹ تا ۷۴
شاپا چاپی: ۳۳۵۱-۱۷۳۵
شاپا الکترونیکی: ۳۰۹۷-۲۷۸۳
زبان نشریه: فارسی
دسترس‌پذیر در نشانی:
www.JICERS.ir
تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۱۰/۰۶
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۱۲/۰۹
DOR: 20.1001.1.17353351.1402.0.0.6.2

۱- مقدمه

یکی از دوره‌های درخشان هنر معماری در کشور ایران، عصر صفویه در سال ۱۵۰۲ پس از میلاد است. شاه اسماعیل اول موسس استقرار و پایه‌گذاری سلسله صفویه بوده است. در هنگام آغاز این سلسله، شهر تبریز پایتخت صفویان محسوب می‌شد. در اواخر قرن دهم در زمان شاه عباس، پایتخت ایران از شهر قزوین به اصفهان منتقل شد. با انتخاب پایتخت جدید، شهر اصفهان یکی از درخشان‌ترین شهرهای خاورمیانه شد. با در نظر گرفتن امنیت کشور ایران در این دوره، ساختمان‌های بزرگ و عظیم نظیر کاخ عالی‌قاپو، چهل‌ستون، هشت بهشت (نمایی از سقف تالاری از کاخ هشت‌بهشت در شکل یک آورده شده است) و کاخ اشرف در اصفهان، مجسمه‌ها و بناهای قدیمی شاهپور حسین، سردر عالی‌قاپو و چهل‌ستون در قزوین بنا نهاده شد (شکل ۲).

پس از اینکه اصفهان توسط شاه عباس کبیر به عنوان پایتخت انتخاب شد، در طی ۴۲ سال فرمانروایی، او به توسعه کشور به ویژه اصفهان پرداخته است. میدان عظیم نقش جهان، عالی‌قاپو، مسجد شیخ لطف‌الله و مسجد سید قیصر، مسجد شاه، بازار شاهی،

خیابان چهارباغ، شهرستان جلفا و کلیساهای تاریخی در این شهر، نتایجی از جدیت‌های وافر شاه عباس در دوران صفویه محسوب می‌شود [۱].

شکل ۱: نمایی از سقف تالاری از کاخ هشت‌بهشت.

۲- معماری عصر صفویه

عصر صفویه دوره کمال و ترقی ابتکار در معماری و شهرسازی در ایران محسوب می‌شود. زیباترین و مجلل‌ترین کارهای انجام شده از معماری ایرانی در طی این دوره زمانی خلق شده است. مناظر دوره صفویه دقیق، باشکوه و مرتبط با ساختار هندسی است که در تناسب با ابعاد افقی ساختمان‌ها طراحی شده است. یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های سبک معماری این دوره، علاوه بر استحکام و زیبایی‌شکلی، تابناکی و حالت درخشش جلوه آن می‌باشد. در کارهای انجام شده مربوط به معماری این دوره، پرتودهی و تابش رنگ و نور و همچنین ظاهر با شکوه آن‌ها، منجر به تشدید رنگ‌ها و سطوح غالب سفال و کاشی‌ها، به یک نمای شفاف، منحصر به فرد و معنوی تبدیل می‌شود. در ساختمان‌های مذهبی از سفال‌های لعاب‌دار، موزاییک‌ها و هفت‌رنگ‌ها به منظور زینت‌دهی به دیواره‌های ساختمان‌ها، طاق‌ها، مناره‌ها، گنبدها و محراب‌ها استفاده شده است. کتیبه‌ها و نسخ سفید و درخشان نیز در طاقچه‌ها به کار رفته و نور از طریق فضای پنجره‌ها در تنه گنبدها در قالب یک سبک روحانی، جای گرفته است. مساجدی بسیار با شکوه، میادین با عظمت، پل‌ها و خیابان‌های بسیار زیبا، بازارهای بسیار بزرگ و مدارس و کاروانسراهای باشکوه نیز در این عصر ساخته شده‌اند و همه انواع آن‌ها در بالاترین سطح تکامل هنری، استحکام و کارآمدی و همچنین شکوه و زیبایی قرار دارند [۱].

شکل ۲: عمارت چهل‌ستون واقع در قزوین قرن ۱۶

۳- تاریخچه عصر صفویه

حکومت صفویه به عنوان یکی از مهم‌ترین حکومت‌های ایران بعد از اسلام به جهت نوع نگرشی که از آن برخاست و طولانی بودن زمان حکومت این سلسله، هم‌زمان شد با سه حکومت مقتدر همسایه چون ازبکان، گورکانیان و عثمانیان و کشاکش و درگیری‌های آنان هم‌زمان شد. از ویژگی‌های مهم دوره‌ی صفوی، معماری این دوره است که علاوه بر استحکام و زیبا بودن فرم، احساس زیبایی خیره‌کننده‌ای در بیننده ایجاد می‌کند [۲].

دولت صفویه، با حکومت واحد و منسجم خود باعث شد تا اکثر هنرها رونق گرفته و آثار فراوانی در تمامی زمینه‌های هنری توسعه یابد. دوره‌ی حکومت شاه عباس را عصر طلایی معماری مکتب اصفهانی می‌دانند. معماری مکتب اصفهان، تزئینی‌ترین سبک معماری ایرانی محسوب می‌شود و از ویژگی‌های آن پلان مستطیل شکل و چند ضلعی ساده، پلان ایوانی، مصالح مرغوب و بادوام هستند و در تزئینات بناها از کاشی خشتی، کاشی هفت‌رنگ، مقرنس‌کاری، یزدی‌بندی، کاربندی یا رسمی‌بندی استفاده شده است [۲].

شاه عباس، چهار سال پس از به قدرت رسیدن (سال ۱۰۰۰ ق) پایتخت را از قزوین به اصفهان انتقال داد. در مدت حکومت شاه عباس در اصفهان، آثار معماری بسیاری از خود به یادگار گذاشت، به طوری که هر زمان سخن از شکوه و جلال شهر اصفهان به زبان می‌آید به دنبال آن نام شاه عباس نیز آورده می‌شود . برخی، انتقال پایتخت را به عنوان اولین و مهم‌ترین اقدام حکومت صفوی در زمینه‌ی برنامه‌ریزی ملی، منطقه‌ای و شهری به شمار می‌آورند. تشکیل حکومت واحد و مقتدر شاهان صفوی کمک موثری به بسط و گسترش هنر نمود. اعتقاد شاهان به تشّیع و توجه آن‌ها به هنر، فرصتی را فراهم آورد تا معماری و دیگر هنرها به بهترین نحو در قالب ایده‌های مرتبط با جهان‌بینی خاص دوران بروز نماید. شاه عباس به عنوان یک مسلمان شیعه می‌خواست شهر خود را بر اساس ذهنیات خود، مانند شهرهای بهشت که در قرآن و در متون حکمای عارف ایرانی ذکر شده است، احداث کند. بلندترین نقاط اوج سلسله صفوی در دوران شاه عباس اول، بازخوانی متعدد حکمت ایرانی و جهت‌دهی به باورهای مذهبی می‌باشد که بار دیگر به معماری ایرانی هویت بخشید. معماری این دوران، عالی‌ترین شکل وحدت فرهنگ دین اسلام با فرهنگ ایرانی را آشکار می‌سازد [۳].

حکومت صفوی با تکیه بر مفاهیم مذهب شیعه، متمرکزترین دولت ایرانی پس از اسلام را پایه‌گذاری کرد و شاه عباس با رشد و توسعه روابط سیاسی و اجتماعی با ملل جهان، اقتصاد و بازرگانی کشور را توسعه داده و شکوفا ساخت [۳].

۴- سیر تحول هنر کاشی‌کاری در ایران با تاکید بر دوره صفوی

۴-۱- تاریخچه کاشی و سرامیک

اشکال اولیه کاشی‌های سرامیکی مربوط به دوران قبل از تاریخ است وقتی که استفاده از رس به عنوان یکی از مصالح ساختمانی در چندین تمدن اولیه توسعه یافت. کاشی‌های مدرن اولیه به طور زمخت شکل داده شده بود و استقامت کاشی‌های امروزی را دارا نبودند.

مصالح کاشی‌ها از کف رودخانه‌ها استخراج شده در بلوک‌های ساختمانی فرم داده شده و در آفتاب خشک می‌شدند. کاشی‌های اولیه خام بوده‌اند ولی حتی در ۶۰۰۰ سال قبل مردم با استفاده از رنگ زدن و کنده‌کاری ظریف روی کاشی‌ها از آن‌ها برای تزیین استفاده می‌کردند.

اینکه اولین بار کاشی به وسیله چه کسی و در چه کشور و در چه تاریخی ساخته شد اطلاعی در دست نیست ولی اگر کاشی را یک نوع آجر فرض کنیم که دارای سطحی شیشه‌ای بوده و آب در آن نفوذ نمی‌کند در نتیجه می‌توانیم آجر جوش را یک نوع کاشی فرض کرده و در این صورت می‌توانیم زمان پیدایش کاشی را تقریباً هم‌زمان با پیدایش آتش و آجر بدانیم. بدین صورت که خاک‌های رس مجاور با اجاق انسان‌های اولیه تبدیل به آجر شده و آن قسمت از آجر که بیش‌تر در مجاورت آتش بود و حرارت بیش‌تری دید به مرحله ذوب شدن رسیده و تبدیل به آجرجوش گردید و در نتیجه اولین قطعات کاشی (آجری که آب در آن نفوذ

نمی‌کند) در اختیار بشر قرار گرفت.
نخستین کاشی به مفهوم امروزی که به دست بشر ساخته شد و باستان‌شناسان به آن دسترسی پیدا کرده‌اند مربوط به مصر است که قدمت آن را مربوط به ۴۷۰۰ سال قبل از میلاد می‌دانند. در ناحیه بین‌النهرین در نزدیکی شهر نینوا پایتخت امپراطوری آشور در ساحل شرقی رودخانه دجله در ۷۰۰ سال قبل از میلاد نیز کاشی‌سازی رواج داشته است. نخستین کاشی‌های ایرانی از دوران باستان در معبد چغازنبیل شوش (شکل ۳) در خوزستان یافت شده است. در این بنا، برای اولین بار در تاریخ معماری ایرانیان در تزئینات فراوان معبد های اطراف محوطه زیگورات، از کاشی لعاب‌دار استفاده شده است.

شکل۳: نمونه‌ای از کاشی‌های کشف شده در چغازنبیل [۴].

۴-۲- کاشی و انواع کاشی

کلمه کاشی (TILE) از کلمه لاتین تگولا[1] گرفته شده که مترادف فرانسوی تویل[2] می‌باشد به معنای گل پخته سقف و کلمه انگلیسی تایل[3] نیز به معنای پوشش بر روی ساختمان است. کلمه سرامیک نیز از ریشه یونانی آن یعنی کراموس[4] گرفته شده به معنی سفالگری (POTIERY) و چیزی که سوخته شود. در این رابطه در یونان باستان نیز سرامیک‌های قدیمی مربوط به ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح پیدا شده است هر چند کاشی‌های آجرنمای لعاب‌دار در ۵۱۸ سال قبل از میلاد مسیح در تخت جمشید (پرسپولیس) ایران به کار رفته است و در عراق نیز ۵۷۵ سال قبل از میلاد و در یونان ۸۸۰ سال قبل از میلاد آثار کاشی بنیان‌گذاری شده است. در لغت‌نامه‌ی دهخدا، کاشی، "نوعی از خشت تنک باشد که نقاشی کنند و آبگینه ساییده بر روی آن بمالند و بپزند چنانکه شبیه به چینی شود" معنی شده است. از زبان دکتر معین، کاشی، "خشت تنک پخته‌ای که روی آن‌را لعاب شیشه‌ای داده باشند" بیان شده است. کاشی‌سازی، محصول تکامل هنر سفال‌سازی است و شکل گرفتن آن از نظر اصول و ضوابط فنی و نحوه‌ی ساخت و پرداخت و رنگ‌آمیزی و نقوش از شکل‌های تکامل نیافته‌ی گذشته تا نمونه‌های تکامل یافته‌ی امروزی، نتیجه‌ی تجربه و تحقیق و مطالعه و ذوق هنرمندان سفالگر در طی قرون متمادی بوده است.

۴-۲-۱- هنر کاشی‌کاری عصر صفویه

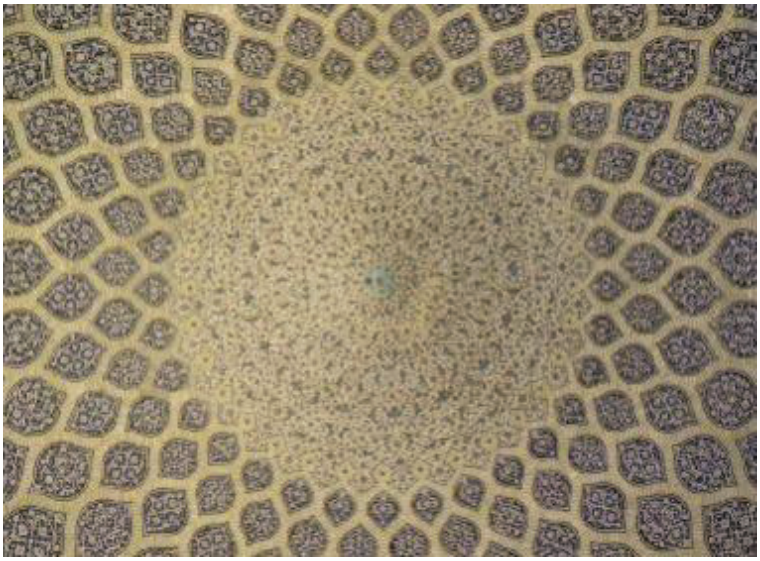
اگر سیر تکامل هنر کاشی‌کاری ایران را در دو دوره عمده قبل اسلام و بعد اسلام مورد بررسی قرار دهیم شاهکار این هنر در دوره‌ی قبل از اسلام، آجرهای لعاب‌دار عهد هخامنشیان و در دوره‌ی اسلامی تزئینات کاشی‌کاری مجموعه‌های مذهبی بزرگی

[1] Tegula
[2] Tuile
[3] Tile
[4] Keramus

مثل حرم امام رضا (ع) می‌باشد. در هنر کاشی‌کاری اسلامی، کاشی با جلا و درخشندگی خود گل بی‌ارزش را شکوه و معنای تازه‌ای بخشید و هنرمندان از طریق تزئین آن با نقوش اسلیمی، ختایی، هندسی و ... توانستند مفاهیم عرفانی دینی و ملی را به منصه‌ی ظهور برسانند. از نظر هنر کاشی‌کاری و تجلی آن در معماری صفویه می‌توان دوره صفویه را به سه دوره مجزا تقسیم کرد: دوران قبل از شاه عباس اول، دوران شاه عباس کبیر و دوران بعد از شاه عباس. تا زمان سلطنت شاه عباس اول (۹۹۶ – ۱۰۳۷ هجری قمری مطابق با ۱۶۲۸–۱۵۸۷ میلادی) طرح‌ها و تزیینات هنری صفوی، اساسا ادامه طرح‌های تیموری بود و کاشی‌کاری معرق بیش‌تر از سایر انواع کاشی‌کاری استفاده می‌شد. از این دوران، آثار کاشی‌کاری چندان مهمی وجود ندارد و شاید یکی از علل آن را بتوان تازه به قدرت رسیدن دولت صفوی و جنگ‌های مداوم آن با دولت عثمانی به شمار آورد و بهترین مثال برای این مطلب این است که در تبریز که در سال‌های اولیه به قدرت رسیدن دولت صفوی پایتخت بوده هیچ گونه آثار معماری و کاشی‌کاری وجود ندارد.

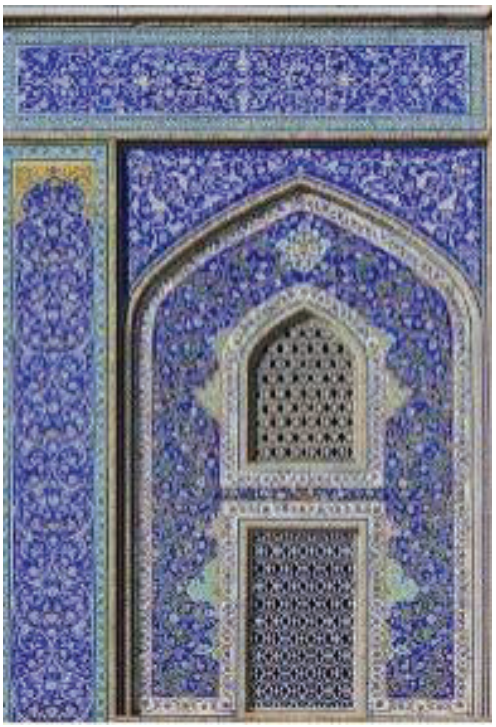
از کاشی‌کاری‌های باقی‌مانده دوران قبل از شاه عباس اول می‌توان از عمارت هارون ولایت اصفهان یاد کرد که بقعه و سر در آن از کاشی‌های دوران شاه اسماعیل اول است. بین در اصلی و در مقبره، رواقی است که تزیینات آن از کاشی‌های چهارضلعی کوچک از نوع سنگینه است که دارای نقوش گل و بوته به رنگ آبی بر زمینه‌ی سفید هستند. این کاشی‌ها در نوع خود بی‌نظیر و در سایر ابنیه اصفهان کم‌تر دیده می‌شوند. ابنیه مهم مذهبی چه از خارج و چه از داخل به طور کامل با کاشی‌های رنگارنگ، کاشی‌کاری می‌شدند. کاشی‌های معرق با جنس بسیار عالی تهیه می‌شد، اما از سال ۱۰۲۵ هجری (معادل: ۱۶۱۶ م). به بعد، بیش‌تر از کاشی‌های هفت‌رنگ استفاده گردید. این کاشی‌ها اگر چه از درخشندگی مانند کاشی‌های معرق نبودند ولی بسیار سریع‌تر و ارزان‌تر تهیه می‌شدند. از مهم‌ترین ابنیه دوران شاه عباس اول در اصفهان می‌توان از مساجد شیخ لطف‌الله و شاه نام برد.

مسجد شیخ لطف‌الله به فرمان شاه عباس و مخصوص خاندان سلطنتی ساخته شده است. این مسجد صحن و مناره ندارد و گنبد آن شاید زیباترین گنبد آن یک پارچه است و با خطوط ملایم اسلیمی تزیین گردیده و به طور کلی گنبد مسجد شیخ لطف‌الله نمونه کاملی از جلوه و شکوه رنگ و طرح، سطح صاف و شفافیت است. کاشی‌کاری‌های این مسجد از نوع معرق قرون ۱۵، ۱۶، ۱۷ میلادی به شمار می‌روند. دیواره‌های داخلی آن دارای دقیق‌ترین ریزه‌کاری‌ها در کاشی‌کاری معرق است. محراب کاشی‌کاری این مسجد با کاشی‌کاری معرق است. محراب کاشی‌کاری این مسجد با کاشی‌های معرق بی‌نظیر تزیین شده است. "مسجد شیخ لطف‌الله توافقی است بین یک دنیا شور و هیجان و یک سکوت با شکوه که نماینده ذوق سرشار زیبایی‌شناسی بوده، منبعی جز ایمان مذهبی و الهام آسمانی نمی‌تواند داشته باشد". زیبایی کاشی‌کاری های این مسجد، اعم از کاشی‌های معرق (شکل۴) و یا کاشی‌های هفت‌رنگ (شکل۵) در نوع خود بی‌نظیر است و اصولا شروع تزئین دیواره‌های صحن با کاشی هفت‌رنگ و آن به کاشی‌های معرق، تنوع دل‌پذیری به شمار می‌رود.



شکل۴: کاشی‌کاری‌های معرق به کار رفته در زیر گنبد مسجد شیخ لطف‌الله [۴].

در دوران جانشینان شاه عباس، کم و بیش اسلوب کاشی‌کاری دوران شاه عباس مورد استفاده واقع شد. در اوایل صده هفدهم میلادی و در حدود زمان شاه عباس دوم کاشی‌کاران به ایجاد نقش‌های بزرگ‌تر بر مبنای نقاشی‌های زمان دست بردند. قاعده عمومی حفظ تعادل رنگ و ملاحضه آن‌ها بر روی یکدیگر که در هر نقش‌اندازی رعایت می‌شد، در کاشی‌کاری‌های این زمان نیز دیده می‌شود (شکل ۶). آثار باقی‌مانده از این دوران در اصفهان که دارای کاشی‌کاری‌های زیبایی می‌باشند فراوان‌اند و از همه آنان مهم‌تر مدرسه مادر شاه یا مدرسه چهارباغ را می‌توان نام برد که در دوران شاه سلطان حسین بنا شده است.



شکل ۵: کاشی‌کاری‌های هفت‌رنگ به کار رفته در زیر گنبد مسجد شیخ لطف‌الله [۴].

شکل۶: نمونه کاشی‌کاری مسجد شاه اصفهان [۴].

۵- روش‌های آنالیز دستگاهی مورد استفاده در مشخصه‌یابی مواد باستانی

مشخصه‌یابی مواد ساختمانی باستانی و تاریخی به منظور بررسی ترکیب‌های شیمیایی، میکروساختار و ویژگی‌های ریخت‌شناسی با هدف مطالعه و بررسی آخرین وضعیت و شرایط آن‌ها، اثرات محیطزیستی و ساز و کارهای تغییرات ناشی از فرسودگی طبیعی و یا

فرآیندهای زوال مصنوعی (بشری)، لازم و ضروری است.

مطالعه و بررسی ساختار سرامیک‌های باستانی اعم از سفال، آجر، کاشی و غیره با استفاده از روش‌های آنالیز دستگاهی، امروزه به عنوان یکی از مهم‌ترین زمینه‌های دانش باستان‌سنجی مورد توجه پژوهشگران است. کاربرد روش‌های میکروآنالیز و آنالیز غیرتخریبی برای تجزیه و تحلیل و شناسایی مواد تشکیل‌دهنده‌ی اثر است.

براساس تعریف استاندارد انجمن آزمون مواد آمریکا[1] (ASTM) در خصوص آزمون‌های غیرتخریبی[2] (NDT) این حوزه شامل توسعه و به کارگیری روش‌های فنّاورانه به جهت آنالیز مواد یا ترکیبات است؛ به گونه‌ای که سبب از بین رفتن بخشی از اثر و عدم قابلیت استفاده مجدد از آن در شناسایی و اندازه‌گیری و ارزیابی اجزا و ترکیب ماده و ویژگی‌های آن و اندازه‌گیری مشخصات هندسی آن نشود [۵]. به علت تفاوت‌های متعدد مواد شیمیایی که می‌تواند مورد آنالیز قرار گیرند، مسائل پیچیده مرتبط با مواد باستانی را می‌توان از طریق روش شناسی بهینه‌سازی شده، مورد بررسی قرار داد. معماری قدیمی و باستانی مشتمل بر انواع متعددی از موزه‌ها و سازه‌های قدیمی، خود گواهی بر خلاقیت و نوآوری و زیبایی‌شناسی ملیت‌ها و اقوام مختلف در نواحی گوناگون می‌باشند. دو مقوله مرمت و محافظت از معماری قدیمی و تاریخی به عنوان یک مولفه یکپارچه‌ای از تمدن بشری محسوب می‌شوند که دارای جنبه‌های جهان شمول می‌باشند [۶-۹].

برای صیانت و محافظت از مواد باستانی و معماری آن، آنچه را که می‌بایست مورد توجه قرار گیرد مولفه‌هایی است که با مواردی از قبیل تمدید عمر و صیانت از اصالت و یکپارچگی مشخصه‌های ساختمانی نظیر سبک طراحی و مواد تشکیل دهنده آن‌ها مشتمل بر ماسه سنگ‌ها [۱۰-۱۳]، آجر [۱۴-۱۶]، شیشه [۲۰-۱۷]، چوب [۲۱، ۲۲]، لایه‌های نقاشی [۲۳-۲۵]، هاون‌ها [۲۶-۲۹] و مواد و مصالح دیواره‌ای [۳۰، ۳۱]، سر و کار دارند. علاوه بر این، در کنار خود مواد اولیه و اصلی، مواد سازه‌ها و ساختمان‌های قدیمی و باستانی، خود متحمل پوسیدگی و رخدادهایی در طی فرآیندهای مختلف در قالب ۳ موضوع ذیل خواهند بود:

الف) شرایط زیست‌محیطی نظیر مواد آلاینده در محیط مستقیم [۳۲-۳۴] می‌توانند به صورت قابل توجهی موجب تغییر در ترکیب شیمیایی و ساختار مواد ساختمانی گردد.

ب) خسارت‌های زیستی می‌توانند موجب از بین رفتن مواد ساختمانی از طریق فعل و انفعالات مکانیکی نظیر رشد ریشه‌های گیاهان و تشکیل لایه‌های زیستی و تجزیه (متابولیت‌های تولید شده توسط میکروارگانیسم‌ها) شده و بدین ترتیب به صورت فزآینده‌ای موجب تاثیر بر زیبایی ظاهری و همچنین افزایش هزینه‌های تمیز کردن، حراست و نگهداشت معماری باستانی می‌گردند [۳۵، ۳۶].

ج) برخی از آلاینده‌ها در محیط‌های اتمسفر، آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و خاک می‌توانند منجر به تخریب مواد و مصالح ساختمانی باستانی آن هم به صورت برگشت‌ناپذیر شوند. آلاینده‌های طبیعی عمدتا نمک‌های غیرمعدنی و ریزگردها می‌باشند [۳۷، ۳۸] در حالی که آلاینده‌های ساخت بشری مشتمل بر فلزات سنگین، اکسیدهای سولفور (اکسیدهای گوگرد)، اکسیدهای نیتروژن [۳۱، ۳۹]، ترکیبات آلی فرار، آلاینده‌های آلی پایدار و بسیاری از ترکیبات آلی و غیرآلی [۳۱-۴۲] می‌باشند که احتمالا به دلیل فعالیت‌های متعدد انسانی نظیر تولید انرژی، حمل و نقل و فعالیت‌های کشاورزی تشکیل می‌شوند [۴۳، ۴۴]. تمامی موارد آلاینده‌های مورد اشاره می‌توانند با مواد و مصالح ساختمانی واکنش داده، خواص ابتدایی و اصلی آن‌ها را تحت تاثیر قرار داده و یا حتی به عنوان یک کاتالیست برای تسریع در خسارت و تخریب این مواد به صورت اثرات زیستی، شیمیایی و فیزیکی، نقش اساسی ایفا نمایند. همان‌گونه که برای محافظت و حراست بایستی از جنبه‌های فیزیکی، شیمیایی و ساختاری مواد و مصالح اطمینان حاصل نمود و همچنین اثرات زیست‌محیطی و فرآیندهای تخریب مواد را مورد توجه قرار داد. انتخاب روش‌های مرمت و ترمیم مناسب به منظور حفظ و صیانت از وضعیت و حالت فعلی آن‌ها و حتی برای توصیف فرآیند دگرگونی و تبدیل مواد و مصالح ساختمانی و همچنین اصلاح آن‌ها با گذر زمان، بسیار مفید و سودمند خواهد بود [۴۵].

در طی سال‌های گذشته مداخلات فزآینده و کاربردها و استفاده‌های از مواد ناسازگار (غیرقابل انطباق با هم)، موجب افزایش خسارت گونه معماری باستانی شده و موجبات تسریع در فرآیند فروپاشی و پوسیدگی معماری آثار باستانی را فراهم نموده است [۴۶]. با این

[1] ASTM (American Society of Testing Material)
[2] NDT (Non Destructive Testing)

وجود، روش علمی تر برای محافظت از معماری باستانی که می‌بایست مورد توجه قرار گیرد مشتمل بر توجه به مشخصات فنی وضعیت موجود، معیارهای بالغ و مطمئن و روش شناسی معتبر به منظور حفظ یکپارچگی و صحت و اعتبار آن‌ها خواهد بود. در اصل می‌بایست برای تصمیم‌گیری در این خصوص، از صحت و اعتبار مواد و ساختار آن‌ها، به کارگیری فناوری‌های قابل اعتماد، حفظ اجزای اصلی ساختارها و محیط پیرامونی آن‌ها و تخمین و برآورد اثرات اجتماعی– اقتصادی آن‌ها اطمینان حاصل نمود [۴۷، ۴۸]. نگهداری و حفاظت از معماری باستانی به صورت کارآمد و موثر نیازمند به به کارگیری فعالان و متخصصانی است که درک عمیقی از مواد و مصالح ساختمانی باستانی داشته تا واجد شرایط برای تشخیص مسائل و مشکلات موجود و همچنین روش‌های مداخله به صورت دقیق باشند. با اتکا بر فرمان و منشور بین‌المللی حفاظت و مرمت مجسمه‌های یادبود و اماکن قدیمی که در سال ۱۹۴۶ مورد پذیرش قرار گرفته است [۴۹]، برای حفاظت و مرمت مجسمه‌ها ملزم به استفاده از تمامی علوم و فناوری‌هایی خواهیم بود که در برگیرنده مطالعات علمی فراوان و ایمن‌سازی مواد باستانی باشد. تعداد فزآینده‌ای از محققان، ابزارآلات بسیار دقیق و پیشرفته‌ای را با هدف مشخصه‌یابی مواد معماری باستانی به کار گرفته‌اند [۱۹، ۲۳، ۵۰ و ۵۱].

در جدول شماره ۱، دورنمایی از انواع متعدد فناوری‌های مورد استفاده برای مشخصه‌یابی مواد به کار رفته در معماری باستانی ارایه شده است که کاربردهای هرکدام از آن‌ها و ویژگی‌های اصلی آن‌ها مبتنی بر روش‌های میکروسکوپ نوری (OM)، میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، طیف‌سنجی مادون قرمز (IR)، طیف‌سنجی رامان (RS)، میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی و عبوری (SEM-TEM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی محیطی (ESEM)، آنالیز پراکنشی انرژی اشعه ایکس (EDX)، آنالیز وزن‌سنجی حرارتی (TG)، آنالیز حرارتی تفاضلی (DTA)، آنالیز کالری‌سنجی تفاضلی روبشی (DSC)، آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)، آنالیز فلورسانس اشعه ایکس (XRF)، آزمون طیف‌سنجی فتوالکترونی اشعه ایکس (XPS)، آزمون طیف‌سنجی جذبی اشعه ایکس (XAS)، آزمون طیف‌سنجی فرابنفش–مرعی (UV-Visible)، آزمون طیف‌سنجی تجزیه لیزر القایی (LIBS)، آنالیز پرتودهی یونی (IBA) و فناوری‌های طیف‌سنجی مبتنی بر جرم ارائه شده است. تمرکز اصلی موارد ذکر شده در جدول شماره۱، بر روی فناوری‌های آنالیز دستگاهی است که غالبا به منظور محافظت از معماری باستانی و با تاکید بر روی تجزیه شیمیایی مواد، نفوذ و تاثیرات محیط زیستی طبیعی/انسان محور و همچنین سازوکارهای زوال و فرسودگی مورد استفاده قرار گرفته است. قابل توجه است که بدانیم فناوری‌های اشاره شده در جدول شماره ۱، تحت عناوینی نظیر قابلیت کاربردی و به کارگیری آن‌ها و همچنین کیفیت‌های ویژه شناخته می‌شوند. به عنوان مثال فناوری‌های SEM/TEM/SEM/AFM/OM قابلیت فراهم کردن تصاویر ریخت‌شناسی و برجسته‌نگاری هستند و از طرفی روش‌های Raman/FTIR/LIBS/UV-vis/XRF/PIXE/PIGE نیز توانایی فراهم کردن اطلاعاتی از سطوح مولکولی و عنصری می‌باشند. روش‌های DSC/DTA/TG نیز اندازه‌گیری کننده منحنی‌های افت وزنی بر حسب درجه حرارت بوده و خواص حرارتی مشابهی را مشخص می‌نمایند. روش‌های EXAFS/XANES/XPS/XRD نیز قابلیت شناسایی نمونه‌های بلورین، حالت‌های شیمیایی و محیط‌های موضعی همه اتم‌های مورد هدف قرار گرفته در نمونه‌ها می‌باشند. علاوه بر آن فناوری‌های طیف‌سنجی جرمی می‌توانند فرمول‌های مولکولی را شناسایی کرده و همچنین ساختارهای مولکولی را نیز تشخیص می‌دهند.

به عنوان مثالی از کاربرد برخی آنالیزهای مذکور در این خصوص می‌توان به بررسی و احیای رنگ لاجورد مصری اشاره کرد: در دوره پادشاهان باستان (۲۶۰۰ قبل از میلاد)، صنعتگران مصری یک رنگدانه آبی به نام آبی مصری را با مخلوطی از کلسیم، سیلیکون و مس همراه با گدازآور سودا ساختند. این رنگدانه به جای لاجورد در سراسر منطقه مدیترانه استفاده شد. اما فناوری ساخت چنین رنگدانه‌ای پس از قرن هفتم پس از میلاد مفقود گردید [۲۳، ۲۴]. از سوی دیگر، رنگدانه مصنوعی به نام سبز مصری از نسبت‌های متفاوتی از اجزای مشابهی که برای ساخت آبی مصری استفاده می‌شد، تولید گردید [۲۵–۲۸]. مشخص است که تنوع شرایط تولید (دمای پخت، اتمسفر، سرعت سرد شدن) بر خواص حاصل از رنگدانه تأثیر می‌گذارد [۲۸]. با این حال، یک ترکیب غنی از سیلیکات به عنوان محصول نهایی مورد انتظار بوده است. از سوی دیگر هیچ دستورالعمل قدیمی برای تولید این رنگدانه سبز وجود ندارد [۲۶]. Pages-Camagna و همکاران [۲۸] این نوع رنگدانه را در تعدادی از کاشی‌های سرامیکی از پادشاهی قدیم (هزاره سوم قبل از میلاد) تا سلسله ۲۱ (قرن ۱۰ قبل از میلاد) شناسایی کردند. اولریچ [۲۹] ترکیب سبز مصری را بر روی نیم‌تنه

مجسمه نفرتیتی حفاری شده در تل ال آمارنا در مقبره توتانخامن شناسایی کرده است.

شماره ۱: مشخصه‌ها و کاربردهای عمده هر کدام از فناوری‌های به کارگرفته شده در حوزه محافظت از معماری باستانی

کاربردهای شاخص	قابلیت جابجایی	تخریب‌پذیری	آنالیز دستگاهی
مشخصه‌یابی ریخت‌شناسی هاون، پوسته‌های تیره رنگ، آجر، سرامیک و فرآیندهای پوسیدگی و زوال مشابه	قابلیت دارد	میکروتخریبی/ عدم تخریب	OM
آنالیز سطحی (زبری، تقارن و میزان جلا و شفافیت) مواد قبل و بعد از عملیات شیمیایی و فیزیکی)	عدم قابلیت	میکروتخریبی	AFM
مشخصه‌یابی سطح هاون، رنگ‌دانه، سنگ و موارد دیگر. قابلیت تجهیز توسط ایدکس و توانایی انجام آنالیز عنصری	عدم قابلیت	تخریبی	SEM
مشخصه‌یابی ریخت‌شناسی رسوب‌های زیستی و لایه های زیستی	عدم قابلیت	تخریبی	ESEM
مشخصه‌یابی مقاطع عرضی، سازوکار شکل‌گیری ترکیبت آلی و غیرآلی موجود در فصل مشترک مواد مختلف	عدم قابلیت	تخریبی	TEM
مشخصه‌یابی رنگ دانه و شیشه‌های لک‌دار و آلوده جمع‌آوری شده از ساختمان‌های قدیمی	قابلیت دارد	تخریبی	UV-vis
آنالیز عنصری و مقاطع عرضی رنگ‌دانه‌ها، سنگ، آجر و ...	عدم قابلیت	میکروتخریبی	LIBS
شناسایی گروه‌های عاملی ارگانیک در هاون‌ها، رنگ‌دانه ها، پوسته‌های تیره و ...	قابلیت دارد	تخریبی/ عدم تخریب	FTIR
مشخصه‌یابی رنگ‌دانه‌ها و رنگینه‌های به کار رفته در معماری باستانی	قابلیت دارد	تخریبی/ عدم تخریب	Raman
شناسایی میزان کربوناسیون و واکنش‌های هیدراته در هاون‌ها	عدم قابلیت	تخریبی	TG/DTA/DSC
آنالیز عنصری اصلی و جزئی رنگ‌دانه، سنگ، هاون و .... ارزیابی اثرات زیستی و آلودگی بر روی مواد باستانی	قابلیت دارد	تخریبی/ عدم تخریب	XRF
شناسایی فازهای بلوری هاون، آجر، رنگ‌دانه، سنگ، افزودنی‌ها و ...	قابلیت دارد	تخریبی	XRD
مشخصه‌یابی آلودگی‌های سطحی یا محصولات خوردگی	عدم قابلیت	تخریبی	XPS
شناسایی عناصر ویژه موجود در شیشه، رنگ‌دانه، سنگ، سرامیک، فلز، هاون، چوب و ...	عدم قابلیت	عدم تخریب	XAS(XANES/EXAFS)
شناسایی عناصر در حد جزئی موجود در رنگ دانه، شیشه، هاون و ...	عدم قابلیت	عدم تخریب	PIXE/PIGE
شناسایی و تعیین مقدار ترکیبات آلی ناشناخته در مقیاس مولکولی	عدم قابلیت	تخریبی	MS-based technique

صنعتگران مصری با سوزاندن مخلوطی از ترکیبات حاوی سیلیکون (که از طریق طیف FTIR از محدوده ۱۰۷۰ تا ۱۰۸۰ سانتی‌متر منفی یک قابل مشاهده است)، کلسیم و مس با سودا یا پتاسیم مشتق شده از گیاهان به‌عنوان یک گدازآور در محدوده حرارتی ۸۵۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد، یک رنگدانه آبی (آبی مصری) ایجاد کردند [۳۱و۳۰]. در طی تحقیقات دیگری گزارش شده است که، آبی مصری (کاپروریویت با فرمول شیمیایی $CaCuSi_4O_{10}$ (رنگدانه‌ای مصنوعی است که پس از حرارت دادن یک مخلوطی از کوارتز در دمای ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت (SiO_2)، کربنات کلسیم ($CaCO_3$)، کربنات سدیم (Na_2CO_3) و اکسیدهای مس یا کربنات‌ها به دست می‌آید [۳۲]. از طرفی دیگر گاهی اوقات آبی مصری با رس‌های سلادونیت با فرمول شیمیایی $(Mg, Fe, Al)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$ و گلوکونیت با فرمول شیمیایی $K(Fe, Al)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$ مخلوط می‌شود و باعث مشکلاتی در شناسایی آن می‌شود زیرا طیف‌های رامان آن‌ها کاملاً مشابه هم است. به گفته Ospitali و همکاران [۳۳]. رنگ دانه سبز مصری معمولاً از رنگدانه آبی مصری (cuprorivaite) $CaCuSi_4O_{10}$ در طی حرارت‌دهی آن یا مواد خام آن مانند CuO، $CaCO_3$، SiO_2 و Na_2CO_3 در دمای بالای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد، به دست می‌آید [۳۴]. ضمنا این احتمال وجود دارد که پیگمنت سبز مصری (ولاستونیت با فرمول شیمیایی ($CaSiO_3$) در رنگدانه آبی مصری وجود داشته باشد، که این امر نشان می‌دهد دمای استفاده شده در فرآیند ساخت رنگدانه آبی مصری بالاتر از ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد بوده است [۳۵]. در جدول شماره ۲، مروری بر ترکیبات شیمیایی موجود در نمونه‌های باستانی پیگمنت آبی مصری و سبز مصری که تا کنون توسط محققان گزارش شده، ارائه شده است.

پژوهشگران در حال کاوش برای چگونگی ساخت این نوع پیگمنت‌ها و لعاب‌ها هستند. می توان لعاب‌های سبز–آبی مصری را با استفاده از مخلوط مواد اولیه لعاب به همراه مس و کلسیم ساخت یا اینکه پیگمنت سبز–آبی مصری را به صورت جداگانه سنتز نمود و بعد از آن در لعاب استفاده کرد. بقایای کارگاه‌های تولید و ساخت این ماده باستانی در گذشته مبین این موضوع مهم می‌باشد [۳۶–۳۸].

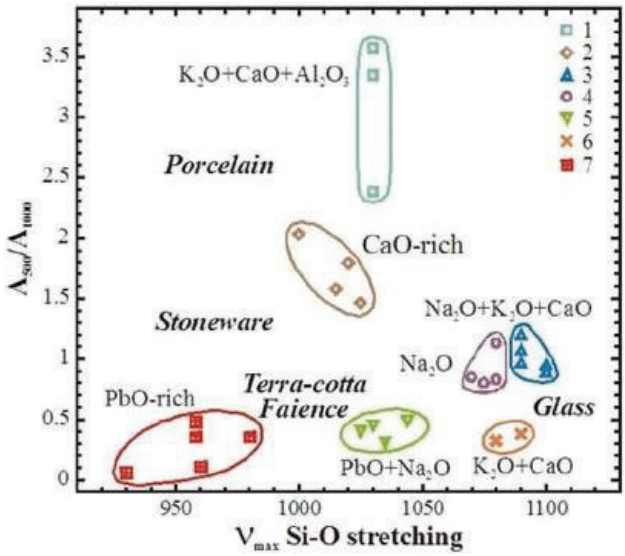
جدول۲: مروری بر ترکیبات شیمیایی موجود در دو پیگمنت آبی و سبز مصری

Ref	Chemical compounds	pigments
[۳۹]	Calcite, Quartz, Gypsum, Cuprorivate (minor)	Egyptian Blue
[۳۰]	Quartz, trydimite, Cuprorivaite	
[۴۰]	Cuprorivaite (major), Quartz, Cristobalite	
[۲۸]	Cuprorivaite, Quartz, Tenorite (CuO)	
[۴۱]	Cuprorivaite (major), Wollastonite (minor)	
[۳۴]	$CaCO_3$, tridymite SiO_2, potassium carbonates, magnesium silicate Mg_2SiO_4, copper oxide CuO	Egyptian Green
[۳۰]	Quartz, Wollastonite	
[۳۹]	Quartz(major), Calcite, Gypsum and Anhydrite ($CaSO_4$)(minor), Cuprorivate Wollastonite (Trace) (Trace)	
[۲۸]	Parawollastonite ($CaSiO_3$), Cristobalite, Tenorite (CuO)	
[۴۲]	Wollastonite, Quartz, lime	
[۴۱]	Quartz, trydimite	

طیف‌سنجی رامان یکی از روش‌های غیرمخرب و مناسب برای آنالیز ریزساختاری و نانوساختاری سرامیک، شیشه و انامل معرفی شده است [۵۲]. این روش برای تعیین فرآیند و تاریخ ساخت قطعات بسیار مفید و کاربردی است. در شکل ۷ نمونه‌ای از روش کاربرد این فناوری مشاهده می‌شود.

در آنالیز غیرمخرب، یک تجزیه و تحلیل سیستماتیک برای به دست آوردن اطلاعات در مورد مصنوعات باستانی که منشا آن‌ها در بحث است ضروری است. با استفاده از پروتکل‌های موجود، چنین مصنوعاتی با ترسیم شاخص پلیمریزاسیون به عنوان تابعی از، شماره موج اصلی جزء کشش Si-O به هفت خانواده مجزا طبقه‌بندی می‌شوند.

شکل۷: نمونه‌ای از آنالیز بدنه‌های سرامیکی باستانی با استفاده از روش رامان [۵۲]



شکل۸: نمودار اندیس پلیمریزاسیون بر اساس عدد موج اصلی جز کششی پیوند Si-O [۵۲]

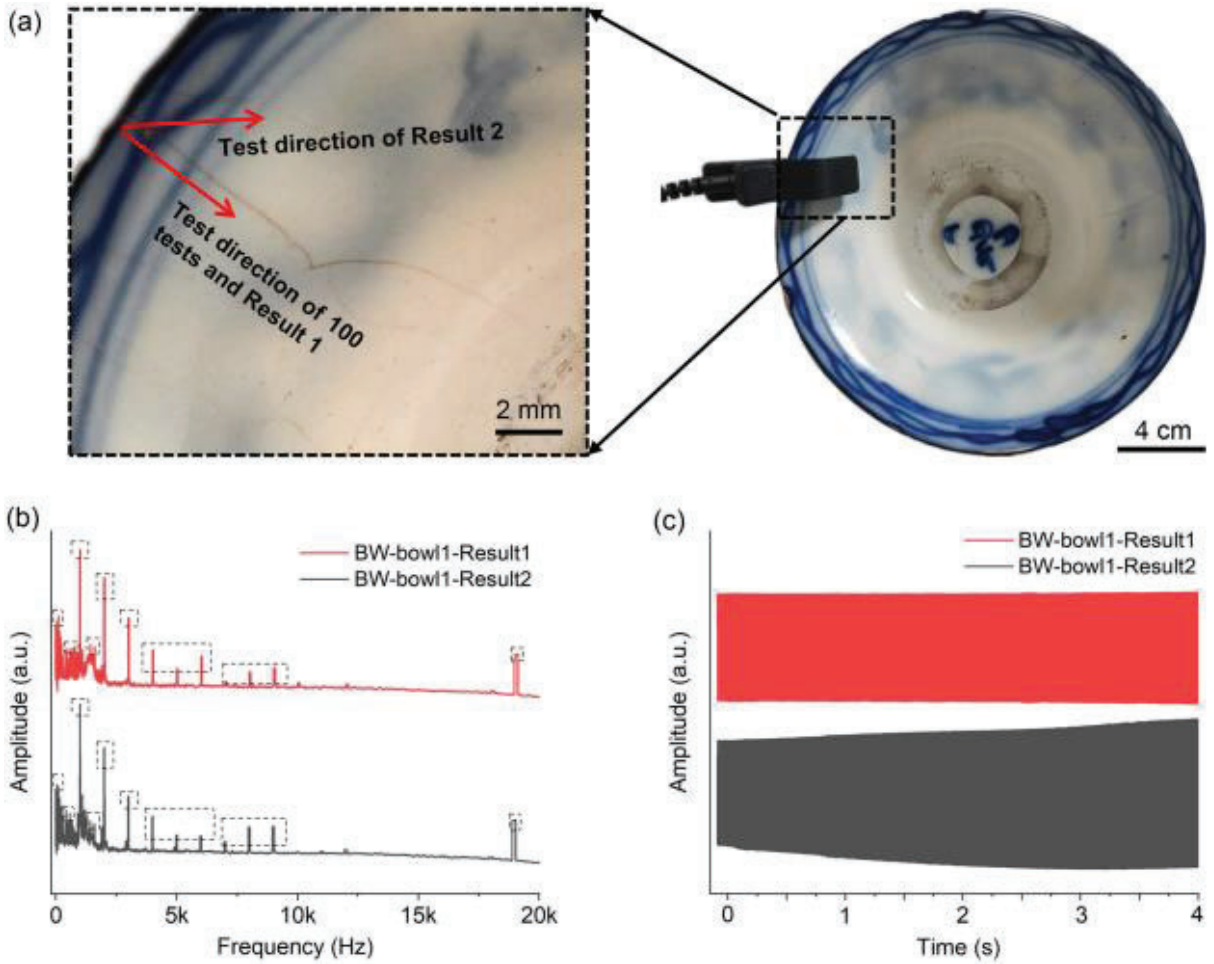
جین و گروهش [۵۳] یک روش غیرمخرب آکوستیک را معرفی کرده‌اند که در آن با استفاده از امواج صوتی و در زمان کوتاه می‌توان به تشخیص عیوب و ترک‌های بدنه‌های سرامیکی باستانی پی برد.

روش آنالیز پیکسی یک روش توانمند، بس‌عنصری و غیرمخرب است که برای مشخصه‌یابی نمونه‌های مختلف به کار می‌رود. هدف از این روش آنالیز، تشخیص عناصر موجود در نمونه و تعیین غلظت آن‌ها است. در این روش، یون فرودی پس از برخورد با اتم‌های نمونه باعث برانگیختگی لایه‌های اتمی می‌شود. انرژی پرتوهای ایکس ایجاد شده تحت عنوان ایکس مشخصه، مبین حضور یک عنصر و تعداد پرتوهای ایکس مشخصه مبین غلظت آن عنصر در نمونه است. بیش‌تر عناصر سنگین‌تر از سدیم (Na) که پرتوهای ایکس مشخصه آن‌ها بین ۱ تا ۱۰۰ keV است، با این روش قابل شناسائی‌اند. در روش پیکسی تقریباً ۲۵ تا ۳۰ عنصر را می‌توان همزمان تشخیص داد و حساسیت در مورد برخی از عناصر کم‌تر از ۱ µg/g است [۵۴].

هنگامی که ذرات باردار سنگین، با قدرت و توان مگا الکترون‌ولت MeV، اتم‌های هدف را بمباران می‌کنند، اشعه ایکس مشخصه اتم‌های هدف تولید می‌شود. این پدیده را انتشار اشعه ایکس ناشی از ذرات (PIXE)[1] می‌نامند. از آنجایی که پس‌زمینه پیوسته‌ای

[1] particle-induced X-ray emission (PIXE)

که در طیف انرژی پرتو ایکس به دست آمده از بمباران ذرات باردار سنگین ظاهر می‌شود، بسیار کوچک‌تر از پس‌زمینه ناشی از بمباران الکترونی است، لذا آنالیز PIXE می‌تواند برای تجزیه و تحلیل عناصر کمیاب استفاده شود [۵۴].



شکل۹: روش اندازه‌گیری و آنالیز فاکتورهای موثر در فناوری آنالیز صوتی [۵۳]

در آنالیز پیکسی معمولا از پروتون‌ها و ذرات استفاده می‌شود. این نوع تجزیه و تحلیل به طور گسترده‌ای در شیمی، پزشکی، زیست‌شناسی، کشاورزی، شیلات، صنعت، آلودگی محیط زیست، باستان‌شناسی، تحقیقات جنایی و جستجو برای منابع معدنی به عنوان کاربردهای مختلف استفاده شده است [۵۴].

۶- نتیجه‌گیری

در دوران صفویه، یک عصر جدید و درخشان در هنر ایرانی، طلوع کرده است. در هر دوره زمانی، هنر به صورت زیبا و کامل در نوع خود بروز و ظهور نموده است. در قرن دهم، هنرمندان ایرانی به نتایج و منافعی جدیدی دست یافته‌اند. کاخ خورشید و برج‌های دیده‌بانی شهر کلات، از هنرهای معماری این دوره محسوب می‌شوند. در بسیاری از ساختمان‌های ساخته شده به ویژه در اوج قدرت صفویه، اهمیت پوشش‌های تزئینی به حدی بوده است که هنرمندان مجبور به انجام فعالیت و حرکت از فونداسیون و پایه‌های ساختمان‌ها بوده که این امر خود درک بیش‌تری از پوشش‌های تزئینی را نمایان می‌سازد. در این مقاله هنر معماری اسلامی طی دوره صفویه و تبلیغ دین مبین اسلام و اصول معماری عصر صفویه همراه با سیر تحول هنر کاشی‌کاری در ایران با تاکید بر دوره صفویه مورد بررسی قرار گرفت. انجام فعالیت آزمایشگاهی بر روی لعاب نمونه‌های سرامیکی باستانی می‌تواند در قالب انجام آزمون‌های مشخصه‌یابی بر روی لعاب‌های مورد بررسی مشتمل بر آزمون‌های میکروپیکسه، پراش اشعه ایکس،

میکرو رامان و میکروسکوپ الکترونی روبشی باشد تا بر اساس آن‌ها بتوان ترکیب شیمیایی آن‌ها و همچنین کیفیت سطوح در طی مواجهه با محیط‌های فرسایشی را مشخص کرد تا در ادامه بتوان به انجام مرمت و صیانت از این میراث قدیمی با ارزش اقدام نمود.

مراجع

[1]. Khajegir. A.R, Afroogh. M.R, Fahim. A.R, (2018), The Art of Islamic Architecture during the Safavid Period and the Introduction of the Teachings of Islam, Journal of Fine Arts Volume 1, Issue 3, PP 37-42.

[۲]. هارونی جمالویی زهرا، کبیری سامانی علی، (۱۳۹۶)، بررسی اصول معماری صفوی و مکتب اصفهان، پنجمین کنفرانس علمی پژوهشی افق‌های نوین در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی.

[۳]. زینالی عظیم علی، بهنود الناز، روئین‌تن مهسا، باطنیه مهناز، (1393)، بررسی معماری اسلامی دوره صفویه در ایران، همایش ملی معماری، عمران و توسعه نوین شهری.

[۴]. نوری زینت، (1392)، جستاري در خصوص سير تحول هنر كاشی‌كاري در ايران با تاكيد بر دوره صفوي، نخستين همايش فناوري و سازه‌هاي سنتی با محور گنبد.

[۵]. نوغاني سميه، شيراني فهيمه و كريم نژاد محمد مهدی، (1396)، ارزيابي استفاده از آناليز ميكروپروب اشعه ايكس (XPMA) به عنوان روش غيرتخريبي در شناسايي تركيب شيميايي لعاب های تاريخي، مطالعات باستان شناسي، 9(2).

[6]. Núñez Andrés. MA, Buill Pozuelo. F (2009), Evolution of the architectural and heritage representation. Landsc Urban Plan.; 91:105–12.

[7]. Pickard. R. (2002) A comparative review of policy for the protection of the architectural heritage of Europe. Int J Herit Stud. 8:349–63.

[8]. Houben. H, Balderrama. AA, Simon. S. (2011) Our earthen architectural heritage: materials research and conservation. MRS Bull.; 29:338–41.

[9]. Fratini. F, Pecchioni. E, Rovero. L, Tonietti. U. (2011), The earth in the architecture of the historical centre of Lamezia Terme (Italy): characterization for restoration. Appl Clay Sci.; 53:509–16.

[10]. Quagliarini. E, Bondioli. F, Gofredo. GB, Licciulli. A, Munafò.P (2013). Self-cleaning materials on architectural heritage: compatibility of photo-induced hydrophilicity of TiO_2 coatings on stone surfaces. J Cult Herit.; 14:1–7.

[11]. Friolo. KH, Stuart. B, Ray. A. (2003), Characterisation of weathering of Sydney sandstones in heritage buildings. J Cult Herit.; 4:211–20.

[12]. Molina. E, Benavente. D, Sebastian. E, Cultrone. G. (2015), The infuence of rock fabric in the durability of two sandstones used in the Andalusian ,Eng Geol.; 197:67–81.

[13]. Daly. C. (2016), The design of a legacy indicator tool for measuring climate change related impacts on built heritage. Herit Sci.; 4:19–31.

[14]. Adorni. E, Coïsson. E, Ferretti. D. (2013), In situ characterization of archaeological adobe bricks. Constr Build Mater.; 40:1–9.

[15]. Graziani. L, Quagliarini. E, Osimani. A, Aquilanti. L, Clementi. F, Yéprémian. C, Lariccia. V, Amoroso. S,'Orazio. M. (2013), Evaluation of inhibi- tory efect of TiO_2 nanocoatings against microalgal growth on clay brick façades under weak UV exposure conditions. Build Environ.; 64:38–45.

[16]. Vítková. G, Prokeš. L, Novotný. K, Pořízka. P, Novotný. J, Všianský. D, Čelko. L, Kaiser. J. (2014), Comparative study on fast classifcation of brick samples by combination of principal component analysis and linear discrimi- nant analysis using stand-of and table-top laser-induced breakdown spectroscopy. Spectrochim Acta B.; 101:191–9.

[17]. De Bardi. M, Hutter. H, Schreiner. M, Bertoncello. R. (2015), Potash-lime-silica glass: protection from weathering. Herit Sci.; 3:22–31.

[18]. Van Wersch. L, Loisel. C, Mathis. F, Strivay. D, Bully. S. (2015), Analyses of early medieval stained window glass from the monastery of Baume-LesMessieurs (Jura, France). Archaeometry.; 58:930–46.

[19]. Carmona. N, Ortega-Feliu. I, Gómez-Tubío. B, Villegas. MA. (2010), Advantages and disadvantages of PIXE/PIGE, XRF and EDX spectrometries applied to archaeometric characterisation of glasses. Mater Charact.; 61:257–67.

[20]. Fernandes. P, Vilarigues. M, Alves. LC, Silva. RC. (2008), Stained glasses from Monastery of Batalha: non-destructive characterisation of glasses and glass paintings. J Cult Herit.; 9:5–9.

[21]. Mazzeo. R, Cam. D, Chiavari. G, Fabbri. D, Ling. H, Prati. S. (2004), Analytical study of traditional decorative materials and techniques used in Ming Dynasty wooden architecture. The case of the Drum Tower in Xi'an, PR of China. J Cult Herit.; 5:273–83.

[22]. Saito. K, Mitsutani. T, Imai. T, Matsushita. Y, Fukushima. K. (2008), Discriminating the indistinguishable sapwood from heartwood in discolored ancient wood by direct molecular mapping of specifc extractives using time-of-fight secondary ion mass spectrometry. Anal Chem.; 80:1552–7.

[23]. Şerifaki. K, Böke. H, Yalçın. Ş, İpekoğlu. B. (2009), Characterization of materials used in the execution of historic oil paintings by XRD, SEM-EDS, TGA and LIBS analysis. Mater Charact.; 60:303–11.

[24]. Rosado. T, Gil. M, Caldeira. AT, Martins. MDR, Dias. CB, Carvalho. L, Mirão. J, (2014), Candeias AE. Material characterization and biodegradation assessment of mural paintings: renaissance frescoes from Santo Aleixo Church, Southern Portugal. Int J Archit Herit.; 8:835–52.

[25]. Colombini. MP, Modugno. F, Giacomelli. M, Francesconi. S. (1999). Characterisation of proteinaceous binders and drying oils in wall painting samples by gas chromatography–mass spectrometry. J Chromatogr

A.; 846:113–24.
[26]. Torney. C, Forster. AM, Szadurski. EM. (2014), Specialist ‘restoration mortars’ for stone elements: a comparison of the physical properties of two stone repair materials. Herit Sci.; 2:1–13.
[27]. Hormes. J, Diekamp. A, Klysubun. W, Bovenkamp. GL, Börste. N. (2016), The characterization of historic mortars: a comparison between powder difraction and synchrotron radiation based X-ray absorption and X-ray fuorescence spectroscopy. Microchem J.; 125:190–5.
[28]. Wei. G, Zhang. H, Wang. H, Fang. S, Zhang. B, Yang. F. (2012), An experimen- tal study on application of sticky rice-lime mortar in conserva- tion of the stone tower in the Xiangji Temple. Constr Build Mater.; 28:624–32.
[29]. Faria. P, Henriques. F, Rato. V (2008), Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation. J Cult Herit.; 9:338–46.
[30]. Rufolo. SA, Comite. V, Russa. MF, Belfore. CM, Barca. D, Bonazza. A, Crisci. GM, Pezzino. A, Sabbioni. C. (2015), An analysis of the black crusts from the Seville Cathedral: a challenge to deepen the understanding of the relationships among microstructure, microchemical features and pollution sources. Sci Total Environ.; 502:157–66.
[31]. Böke. H, Göktürk. EH, Caner-Saltık. EN, Demirci. S. (1999) Efect of airborne particle on SO_2-calcite reaction. Appl Surf Sci.; 140:70–82.
[32]. Fang. L, Clausen. G, Fanger. PO. (2004), Impact of temperature and humidity on chemical and sensory emissions from building materials. Indoor Air.; 9:193–201
[33]. Mimura. AMS, Almeida. JM, Vaz. FAS, Oliveira. MAL, Ferreira. CCM, Silva. JCJ. (2016), Chemical composition monitoring of tropical rainwater during an atypical dry year. Atmos Res.; 169:391–9.
[34]. Lin. X, He. L, Zhang. R, Guo. X, Li. H. (2018), Rainwater in Guangzhou, China: oxidizing properties and physicochemical characteristics. Atmos Pollut Res. https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.08.005.
[35]. Monte. MD, Sabbioni. C. (1986), Chemical and biological weathering of an historical building: Reggio Emilia Cathedral. Sci Total Environ.; 50:165–82.
[36]. Luque. A, De Yuso. MM, Cultrone. G, Sebastián. E. (2013), Analysis of the surface of diferent marbles by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) to evaluate decay by SO_2 attack. Environ Earth Sci.; 68:833–45.
[37]. Chiari. M, Lucarelli. F, Migliori. A, Nava. S, Valli. G, Vecchi. R, Garcia-Orellana. I, Mazzei. F. (2006), PIXE analysis of PM10-2.5 and PM2.5 with hourly resolution from Michelozzo’s Courtyard in Palazzo Vecchio (Florence, Italy). Nucl Instrum Methods B.; 249:552–5.
[38]. Atzei. D, Fantauzzi. M, Rossi. A, Fermo. P, Piazzalunga. A, Valli. G, Vecchi. R. (2014), Surface chemical characterization of PM10 samples by XPS. Appl Surf Sci.; 307:120–8.
[39]. Maguregui. M, Sarmiento. A, Martínez-Arkarazo. I, Angulo. M, Castro. K, Arana. G, Etxebarria. N, Madariaga. JM. (2008), Analytical diagnosis methodology to evaluate nitrate impact on historical building materials. Anal Bioanal Chem.; 391:1361–70.
[40]. Charola. AE, Pühringer. J, Steiger. M. (2007), Gypsum: a review of its role in the deterioration of building materials. Eng Geol.; 52:339–52.
[41]. Belfore. CM, Barca. D, Bonazza. A, Comite. V, La Russa. MF, Pezzino. A, Rufolo. SA, Sabbioni. C. (2013), Application of spectrometric analysis to the identifcation of pollution sources causing cultural heritage damage. Environ Sci Pollut R.; 20:8848–59.
[42]. Sandrolini. F, Franzoni. E, Cuppini. G, Caggiati. L. (2007), Materials decay and environmental attack in the Pio Palace at Carpi: a holistic approach for historical architectural surfaces conservation. Build Environ.; 42:1966–74.
[43]. Gulotta. D, Bertoldi. M, Bortolotto. S, Fermo. P, Piazzalunga. A, Toniolo. L. (2013), The Angera stone: a challenging conservation issue in the polluted environment of Milan (Italy). Environ Earth Sci.; 69:1085–94.
[44]. Herrera. LK, Videla. HA. (2009), Surface analysis and materials characterization for the study of biodeterioration and weathering efects on cultural property. Int Biodeterior Biodegrad.; 63:813–22.
[45]. Adriaens. A. (2004), European actions to promote and coordinate the use of analytical techniques for cultural heritage studies. TRAC Trend Anal Chem.; 23:583–6.
[46]. Moropoulou. A, Labropoulos. KC, Delegou. ET, Karoglou. M, Bakolas. A. (2013), Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage. Constr Build Mater.; 48:1222–39.
[47]. Elsorady. DA. (2014), Assessment of the compatibility of new uses for heritage buildings: the example of Alexandria National Museum, Alexandria, Egypt. J Cult Herit.; 15:511–21.
[48]. Cardiel. BI, Lourdes. GC., (2015), Multidisciplinary, diachronic methodology for the conservation of archeological remains. Restoration of the Arab baths of the San Francisco Parador Hotel in the grounds of the Alhambra (Granada, Spain). J Cult Herit.; 16:623–31.
[49]. Elia. RJ (2013), ICOMOS adopts archaeological heritage charter: text and commentary. J Field Archaeol.; 20:97–104.
[50]. Vornicu. N, Bibire. C, Murariu. E, Ivanov. D. (2013), Analysis of mural paintings using in situ non-invasive XRF, FTIR spectroscopy and optical microscopy. X-Ray Spectrom.; 42:380–7.
[51]. Thirumalini. S, Ravi. R, Rajesh. M. (2018), Experimental investigation on physical and mechanical properties of lime mortar: efect of organic addition. J Cult Herit.; 31:97–104.
[52]. Dating and Archaeometric Analysis of Ancient Pottery, https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=10090.
[53]. Xiaoxue Jin, Xiufeng Wang, Chaohua Xue, Nondestructive characterization and artificial intelligence recognition of acoustic identifiers of ancient ceramicsHeritage Science (2023) 11:144, https://doi.org/10.1186/s40494-023-00990-9.

[54]. Keizo Ishii, (2019), PIXE and Its Applications to Elemental Analysis, Quantum Beam Sci., 3, 12; pp.1-15, doi:10.3390/qubs3020012.

Importance of Ancient Ceramic Tiles Industry in Islamic Architect Art of Safavid Era and Study on Analysis Methods

E. Ghasemi[1], M. Hosseini-Zori[1]*, J. Fahim[2]

[1] **Institute for Color Science and Technology, Department of Inorganic Pigments and Glaze, Tehran, Iran**

[2] **Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran**

* mhosseini@icrc.ac.ir

Abstract: Ancient relics that includes of various kinds of monuments and historical architect buildings of Iran, is the evidence of creativity and praise of human from all of the world. One of the specifics of Safavid eras in Iran country, is its unique Architectures that could apply unique colorful tiles but the art of those production was secret and just it was known by a family (a father to a boy) and then now, it is forgotten. In order to evaluation of ancient samples, selection of a suitable non Destructive Testing analyses instrument is really important to provide best results. In this literature, it have been summarized that by several analyses such as Scanning Electron Microscopy, Transmission Electron Microscopy, Atomic Force Microscopy, Optical Microscopy can study on the topography and microstructures of an historical colored glazed surface and by multi-analytical study composed of Raman spectroscopy, Colorimetric method UV- vis, Fourier Transform Infrared spectroscopy (FTIR), X- Ray Probe Micro Analyzer (XPMA), X-ray (Scanning Electron Microscopy SEM-EDS), X-ray diffraction analysis (XRD), LIBS, PIGE perform some information about elemental compositions and chemical bonds. Particle-induced X-ray emission (PIXE) is a technique for elemental analysis using a beam of high-energy particles as probe and characteristic X-rays of the elements as analytical signal. FTIR Analysis or FTIR Spectroscopy, is an analytical technique used to identify organic, polymeric, and, in some cases, inorganic materials.

Keywords: Analyses routes, Ancients, Tiles, Islamic, Safavid era.