Journal of Research on Archaeometry, 2020; 6 (2):91–106

Journal of Research on Archaeometry

DOI: 10.52547/jra.6.2.91 URL: http://jra-tabriziau.ir/

Original Paper

Technical and Comparative Study of Monochrome Turquoise Nare Tile of the Ilkhanid and Safavid Periods (Dome of Soltaniyeh and Sheikh Safi Al-Din Ardabili's Shrine as the Case Study)

Soodabeh Yousefnejad*

PhD in Conservation & Restoration of Historical Artifacts, Art University of Tehran, Tehran, IRAN

Received: 9/2/2020 **Accepted: 12/23/2020**

Abstract

In the current study, the samples of Nare tile (glazed bricks) of the Sheikh Safi Al-Din Ardabili's Shrine and Dome of Soltaniyeh were studied to understand the techniques of the tiling decorations applied in the architecture of the dome in the Safavid and Ilkhanid eras, with emphasizing on two prominent buildings of these two historical periods. The transition chromophore elements of the glazes were determined using Inductively Coupled Plasma (ICP) and constituent phases of the bodies by X-Ray Diffraction (XRD). According to the results, the nature of the glaze, its erosion, and chemical structure of the bodies of the studied samples was determined, and the possibility of the technical comparison of the samples of the two periods was provided in terms of the constituent compositions of the body and glaze and the rate of the erosion as well as the estimation of the historical Nare tile firing temperature.

Keywords: Nare Tile, Soltaniyeh, Sheikh Safi Al-Din Ardebili's Shrine, XRD, ICP

Introduction

Using glazed bricks in the buildings dates back to the Mesopotamian civilization, the first half of the third millennium BC. Sumerians and Akkadians covered the surfaces of their buildings with glazed bricks [1]. This tradition spread to Iran during the second millennium BC. The Elamites and then Achaemenid used glazed bricks to cover temples and palaces [2]. During the Seleucid, Parthian, and Sassanid periods, painting and plastering were mostly used to decorate buildings. However, in 903, in the early centuries of Islam during Abbasid Caliphate, Ibn Rasta stated about the Great Mosque of Baghdad: "the whole mosque was decorated with azure glazed bricks." Yaghoubi, a tenth-century writer, also described the green minaret of Bukhara in eastern Iran [3]. Tiling has been observed in the decoration of buildings since the Ghaznavids period and has reached its peak since the Seljuk period. At first, glazed tiles and bricks were used next to molded or carved bricks. At the end of the sixth century AH, patterned tiles were used in the altar of mosques, and faience mosaics were created by placing different pieces of monochrome tiles [4] [5]. Nare tiles were often used for the coverings of the domes. The difference between ordinary tiles and Nare tiles is in the thickness of the clay behind the tile glaze. The thickness of the Nare tiles is considered more to be better placed in the mortar and have more resistance [6].

Materials and Methods

The studied samples of the current research were three turquoise Nare tiles of the Sheikh Safi Al-Din Ardebili and two specimens from the Dom of Soltaniyeh. S_1 and S_2 were related to the Sheikh-

* Corresponding author: syousefnezhad@yahoo.com

Copyright© 2020, the Authors | This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any -medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution NonCommercial .terms

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2020-03-13]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]

[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]

Safi Al-Din dome and were older than S_3. S_3 was in the Shah Ismaeil's dome and was made in the contemporary era. S_4 and S_5 were in the Soltaniyeh Dome in the Ilkhanid era (Table 1) (Figure 4 & 5). The used devices were as follows: Celestron Digital Microscope, Philips X-Ray Diffraction, and Agilent Radial 375 Inductively Coupled Plasma. To identify the element and the possibility of scientific-technical comparison, the glazes were analyzed by the ICP method, and the bodies were examined by the XRD method to recognize the existing phases and estimate the firing temperature range.

Results and Discussion

Quantitative analysis of glazes by the ICP method showed that the studied glazes contain more than 3% lead (Table 2). Copper ions in different pH environments can produce different shades of blue. Its value is 2% in S_2, 2.3% in S_1 and 1.4% in S_3 (Figure 1-6), (Figure 2-6), (Figure 3-6). Cobalt also produces blue color. It has been less used compared to copper; Its maximum values are in S_1, S_5, S_3, S_2, S_4, respectively (Figure 8). The amount of alkaline elements of the glaze such as potassium in S_1 is 1.7%, S_2%2 and in S_3 1%, and sodium in S_1 is 5.7%, S_2 8.4%, and S_3 3.2%. In Soltaniyeh samples, the amount of copper as a turquoise agent is 1.3% in S_4 and 1.8% in S_5; Potassium in S4, S5 is 3.8%, 2.4%, and sodium is 3.8% and 6.7%, respectively. The amount of alkaline elements such as sodium and potassium as well as aluminum is a proper criterion for analyzing the erosion processes of glazes [30]. In the ion exchange process, the concentration of other ions, such as aluminum, increases as the alkaline ions are excluded from the glaze structure. The average amounts of sodium and potassium involved in the ion exchange process are: S_1%4, S_2%5, S_3% 2, S_4% 4, and S_5 4.5%. The amount of aluminum in S_1 is 1.7%, S_2 1.3%, S_3 0.6%, S_4 %2, S_5 0.7% (Figure 7). The body of the bricks was analyzed by XRD to identify the constituent phases. The main and minor phases were identified in them (Table 3) (Figure 9). S_1 has the main phase of quartz, anorthite, augite, and cristobalite. Its minor phases are calcite and gypsum. Due to the presence of high-temperature phases such as anorthite, cristobalite, the presence of a partial phase of calcite can indicate the formation of this phase over time as secondary calcite, because when the firing temperature reaches about 700 ° C, calcite and dolomite decomposes and disappears at about 870 ° C. Studies have shown that the conversion of quartz grains to cristobalite occurs at about 1200 ° C and the melting point of this phase is 1722 ° C [32]. S_2 is composed of the main phases of quartz and anorthite, and the minor phases of hematite are made of orthoclase. The anorthite phase is formed at about 1200 ° C. The process of its formation is as follows: first, gehlenite, which is the middle phase, is formed around 900 ° C, and gradually turns into anorthite by increasing temperature [33]. S_3 consists of the main phases of quartz, gehlenite, and the minor phases of orthoclase, wollastonite. S_4 has the main phase of quartz, augite, and minor phases of calcite, microcline, albite, gypsum, gehlenite. S_5 consists of the main phase of quartz and the minor phases of gehlenite, Illite, calcite, and amorphous phase.

Conclusion

According to the results, the transition chromophore element for creating the turquoise color in the glazes is the copper and less amount of cobalt. The amount of copper in the sample glazes of Sheikh Safi Al-Din Ardebili's Shrine is more than samples in the Dome of Soltaniyeh, except for S_3. S_4, then S_1, S_2 and S_5 have the highest erosion, and the samples of Shah Ismail's dome have the lowest erosion, which, considering its contemporaneity is not an unexpected result. Firing temperatures of S_1 and S_2 can be more than 1000 ° C due to the presence of the cristobalite phase as well as anorthite. Due to the presence of gehlenite and its formation at 900 ° C, the firing temperature of S_3 can be around 900 ° C. Due to the high-temperature phase of augite (from the group of pyroxene minerals) in S_4, the firing temperature can be around 1000 ° C. Due to the presence of gehlenite in S_5, the firing temperature can be around 900 ° C. The calcite phase indicates its secondary formation. Estimation of firing temperature has been reported in the case studies and only based on the XRD test.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-13]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]

پژوهه باستان‌سنجی ۱۳۹۹؛ ۶(۲): ۹۱-۱۰۶

پژوهه باستان‌سنجی

DOI: 10.52547/jra.6.2.91

URL: http://jra-tabriziau.ir/

مقاله پژوهشی

مطالعهٔ فنی و مقایسه‌ای کاشی نره تک‌رنگ فیروزه‌ای ایلخانی و صفوی با پژوهش موردی نمونه‌هایی از گنبد سلطانیه و گنبد بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی

سودابه یوسف‌نژاد *

دکتری مرمّت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۳۰

چکیده

در این پژوهش نمونه‌هایی از کاشی نره گنبد الله، بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی و گنبد سلطانیه به‌منظور فن‌شناسی تزئینات کاشی‌کاری به‌کاررفته در معماری گنبد در دو دورهٔ ایلخانی و صفوی و با تمرکز بر دو بنای شاخص مذکور از این دوره‌های تاریخی، موردمطالعه قرارگرفته است. در این پژوهش، عناصر واسطهٔ رنگ‌ساز لعاب نمونه‌ها به کمک روش پلاسمای جفت شدهٔ القایی ICP انجام‌شده و شناسایی فازهای تشکیل‌دهندهٔ بدنه‌ها به کمک روش پراش پرتوایکس XRD انجام‌شده است. بر اساس نتایج گزارش در این تحقیق، ماهیت لعاب و تحلیل فرایند فرسایش آن همچنین، ساختار شیمیایی بدنه‌های نمونه‌های موردمطالعه مشخص‌شد و بر اساس نتایج به دست آمده امکان مقایسهٔ فنّی نمونه‌های موردمطالعهٔ دو دوره، ازلحاظ ترکیبات سازندهٔ بدنه و لعاب و میزان فرسایش آن‌ها، همچنین تخمین دمای پخت این کاشی‌های نرهٔ تاریخی، فراهم شد.

واژگان کلیدی: فن‌شناسی، کاشی نره، سلطانیه، بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی، XRD، ICP

*نویسنده مسئول مکاتبات: تهران،خیابان حافظ، خیابان سرهنگ سخایی، دانشگاه هنر تهران، کد پستی: ۱۱۳۶۸۱۳۵۱۸

آدرس الکترونیکی: syousefnezhad@yahoo.com

حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله چاپ شده را با دیگران به اشتراک بگذارد منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-23]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]

[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]

۱. مقدمه

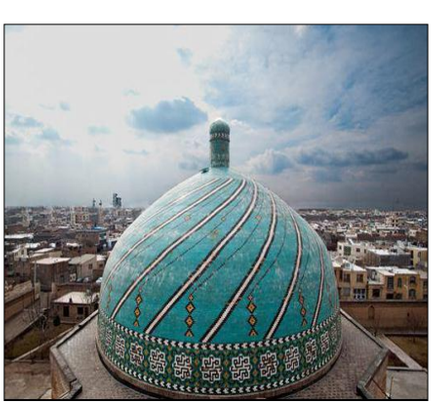
استفاده از تزئینات لعاب‌دار در بناها به تمدّن بین‌النهرین باستان در نیمهٔ اول هزارهٔ سوم قبل از میلاد بازمی‌گردد. سومری‌ها و آکدی‌ها در بین‌النهرین باستان، نمونه‌های هنری با کاربرد آجرهای لعاب‌دار خلق کردند. آنان سطوح بناهای خود را با تزئینات رنگین لعاب‌دار می‌پوشاندند [1]؛ این سنّت طی هزارهٔ دوم قبل از میلاد به ایران راه یافت به‌طوری‌که عیلامیان و پس‌ازآن هخامنشیان نیز برای تزیین و پوشش سطحی بناهای مهم خود، مانند معابد و کاخ‌ها، از آجرهای لعاب‌دار استفاده می‌کردند [2]. به نظر می‌رسد که کاربرد آجرهای رنگین لعاب‌دار در زمان سلوکیان، پارتیان و ساسانیان رواج زیادی نداشته است و آنان بیشتر از سایر روش‌ها مانند نقاشی و گچ‌بری در تزئین بناها استفاده می‌کرده‌اند؛ اما در سال ۹۰۳ میلادی مقارن با سده‌های آغازین دوران اسلامی و خلافت بنی‌عباس، ابن رسته دربارهٔ مسجد بزرگ بغداد می‌نویسد، تمام مسجد با آجرهای لعاب‌دار لاجوردی تزئین شده بود. همچنین یعقوبی نویسندهٔ سدهٔ دهم میلادی نیز از منارهٔ سبزرنگ بخارا که در آن زمان در شرق ایران بوده است، تعریف می‌کند [3].

شهریار عدل در بررسی‌های مسجد دامغان، کتیبهٔ کاشی منارهٔ این مسجد را که مربوط به سال ۴۵۰ هجری قمری است از قدیمی‌ترین نمونه‌های کاربرد کاشی در معماری اسلامی ایران بیان می‌کند [4]. به‌هرحال استفاده از تزئینات لعاب‌دار در بنا با روندی رو به گسترش در تاریخ هنر ایران، در دوران اسلامی رواج داشته است و از دورهٔ غزنویان در تزئینات بناها مشاهده می‌شود و چنین به نظر می‌رسد که این شیوه از دوران سلجوقیان به اوج خود می‌رسد. هرچند که در آن دوران نیز در بسیاری بناها هنوز شیوهٔ تزئینات آجرکاری به‌کاررفته می‌رفته است؛ مانند شیوه‌ای که خواجه نظام الملک برای ساختن مسجد جامع اصفهان به‌کاررفته برده است. آرتور پوپ دربارهٔ پیشرفت کاشی‌کاری در تزئین بناها می‌نویسد: «نخستین بار کاشی‌های لعابی در سدهٔ دوازدهم میلادی (حدود قرن ششم هجری قمری) در گنبد مسجد جامع قزوین پدید آمد، اما به‌محض این‌که این روش آغاز گردید، به‌تندی و با شتاب توسعه یافت و در چند نسل، تمام ساختمان‌ها با کاشی‌کاری‌های بسیار زیبا گوهر نشان شده بودند و این خود عصر جدیدی در تزئین هنر معماری ایران بود»[5]. در گنبد سرخ مراغه نیز، به تاریخ ساخت ۵۴۳ هجری قمری، در لابه‌لای آجرکاری‌های بنا تزئینات کاشی‌کاری به‌کاررفته است. بنا بر تاریخ‌های ذکرشده، این هنر در سده‌های آغازین اسلام وجود داشته و از دوران غزنویان در تزئینات بناها مشاهده‌شده و به‌تدریج از دوران سلجوقیان به بعد به‌وفور در بناهای مختلف تاریخی به‌کاررفته است (شکل ۱).

بنابراین، پس از دورهٔ سلجوقیان استفاده از کاشی بسیار رایج شده و در تزئین بناهای دوران ایلخانی و



الف



ب

شکل ۱: الف گنبد سرخ مراغه، ب گنبد مسجد جامع قزوین
Fig.1: a Red dome Maragheh, bJame mosque of Ghazvin dome
http://news.mrud.ir
http://iichs.org/ baharestan

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-13]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]

حکومت‌های بعد از آنان به‌وفور استفاده‌شده و به اوج رسیده است، به‌طوری‌که جلوه‌ای خاص به بناهایی دوران اسلامی ایران، مانند مساجد، مدارس، کاخ‌ها، حمام‌ها و ... داده است. این هنر در دوران اسلامی به‌منظور استحکام بیشتر و آرایش بنا به شیوه‌های کاشی تک‌رنگ، کاشی معرق، کاشی هفت‌رنگ، کاشی زرین‌فام، تلفیق کاشی و آجر و کاشی‌های مکتوب یا کتیبه‌نگار به‌کار می‌رفته است. در آغاز، تزئین بناها با کاشی توأم با آجر و آجرهای تراش‌دار و گچ همراه بود و قطعات کاشی و آجرهای لعاب‌دار را در شکل‌های مختلف در کنار آجرهای قالب‌زده یا تراش‌دار به‌کاررفته می‌بردند [4]، رنگ‌های اصلی در آن‌ها فیروزه‌ای، آبی آسمانی و نارنجی ملایم بوده است. بیشتر طرح‌ها اشکال هندسی مثل پنجرهٔ مشبک و چندضلعی بود.

در پایان قرن ششم ه.ق. نوع جدیدی از تزیین دیوارها در ایران پدید آمد و آن کاشی‌های منقوشی بود که در ساختمان محراب‌ها در مساجد به‌کاررفته می‌رفتند و اغلب در کاشان ساخته و ازآنجا به سایر نواحی در خاور نزدیک و میانه فرستاده می‌شدند. در آن زمان شیوهٔ دیگری نیز موسوم به کاشی یکرنگ پدید آمد که با قراردادن قطعات با شکل‌های مختلف از این کاشی‌ها تزئینات کاشی معرّق ایجاد شد. کاشی‌کاری‌های معرّق در تزئینات معماری در اندازه‌های متنوّع و مختلف قابل‌اجرا است؛ این نوع کاشی‌کاری ظاهراً نخست در شرق ایران پدید آمد و در زمان تیموریان، در هرات، به آخرین درجه از تکامل خود رسید. انتقال دربار تیموری از هرات به تبریز سبب شد که صنعت کاشی‌کاری نیز با آن منتقل شود و در آنجا کیفیت مرغوب‌تری به دست آورد، مانند نمونه کاشی‌های مسجد کبود تبریز. هنگامی‌که صفویان پایتخت خود را در آغاز قرن دهم ه.ق. به تبریز منتقل کردند، شاه اسماعیل هنرمندان را از سراسر کشور جمع‌آوری کرد و تزئینات بناهای به‌جای مانده از این دوران نشان می‌دهد که طرح‌های عالی گذشته و روش و کاربرد آن‌ها حفظ‌شده است؛ از قرن یازدهم ه.ق؛ یعنی زمان شاه‌عباس کاشی‌های چندرنگ جای کاشی‌های یکرنگ بریده‌شده را گرفت مانند نمونه‌های مسجد امام اصفهان، این هنر در سدهای ۱۲ و ۱۳ ه.ق. رو به تباهی گرایید و پس‌ازآن در دوران معاصر دوباره احیاء شد [3].

برای پوشش گنبدها به‌ندرت، کاشی هفت‌رنگ یا معرّق را به‌کار می‌گیرند. در پوشش گنبدها اغلب از نوعی کاشی ضخیم به نام کاشی نره‌ای استفاده می‌شود. تفاوت کاشی معمولی با کاشی نره‌ای در ضخامت گل پشت لعاب کاشی است. کاشی نره‌ای ازلحاظ خمیر گل و لعاب روی آن چندان تفاوتی با سایر کاشی‌ها ندارد و چون روی گنبدها برف زیادتری می‌نشیند و یخ می‌بندد، ضخامت کاشی نره را بیشتر می‌گیرند که بهتر در ملاط قرارگیرد و مقاومت بیشتری را به دست آورد [6].

در این تحقیق، دو نمونه از کاشی‌های نره تک‌رنگ گنبد سلطانیه و سه نمونه از کاشی‌های مذکور، در بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی برای شناسایی و مقایسهٔ ترکیبات سازندهٔ لعاب و بدنهٔ آن‌ها موردمطالعهٔ فن‌شناسی قرارگرفته‌اند. سؤالات پژوهش، در مورد مقدار و نوع عناصر رنگ‌ساز لعاب‌ها، میزان فرسایش آن‌ها و نیز شناسایی ترکیب شیمیایی بدنه‌های کاشی‌های نره و دمای پخت آن‌ها است. در ادامه نخست، به طور مختصر، به معرفی تاریخی این مکان‌ها پرداخته می‌شود.

۱-۱. اردبیل و بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی

اردبیل در شمال غرب ایران در امتداد سلسله جبال البرز بین دو رشته‌کوه سبلان و باغ رو واقع‌شده است. سابقهٔ سکونت در منطقهٔ اردبیل به گذشته‌های دور بازمی‌گردد، اما این شهر در زمان صفویان اهمیتی خاص یافت و به یکی از مراکز مهم بازرگانی تبدیل شد. از بناهای مهم آن، بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی است. مجموعهٔ شیخ صفی‌الدین شامل مقبرهٔ شیخ صفی‌الدین اسحاق و بناهای متعلّق به آن است که در پانزدهم دی‌ماه سال ۱۳۱۰ شمسی، به‌عنوان یکی از آثار ملّی ایران به ثبت رسیده است. این مجموعه در محلّهٔ قدیمی عالی‌قاپو قرارگرفته و شامل تعدادی بناها از دوران مختلف است که اساس آن‌ها در قرن هفتم ه.ق. پی افکنده شده است. گنبد الله الله که بنای اصلی مجموعه محسوب می‌شود، بر روی قبر شیخ صفی‌الدین و به دستور صدرالدین موسی که از مریدان وی بود، ساخته‌شده است که ابتدا به‌صورت بنایی منفرد

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2028-03-23]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]

بوده و بعدها با اضافه شدن بناهایی دیگر و حیاط‌هایی در میان آن‌ها به‌صورت مجموعه‌ای واحد درآمده است؛ کتیبهٔ آخرین سردر به سال ۱۰۵۷ ه.ق. اشاره دارد که می‌توان به تکمیل این بنا در طی چند سال پی برد. این بنا امروزه شامل: سردر ورودی، حیاط کوچک، صحن بقعه، قسمت‌های اصلی بقعه، گنبد شیخ صفی، گنبد شاه اسماعیل، سردر اصلی بقعه، حرم‌خانه، چینی‌خانه، رواق و شهید گاه است (شکل ۲-الف، ب). بیشتر نماهای اصلی بیرون مجموعه و قسمت‌هایی از فضاهای قابل‌دسترس داخل مجموعه شیخ صفی با کاشی پوشانده شده است اغلب این کاشی‌کاری‌ها به سبب آسیب‌های زیاد در قرن اخیر بازسازی‌شده‌اند. کاشی معرّق بیشترین حجم تزئینات کاشی‌کاری مجموعه را تشکیل می‌دهد و در نماهای خارجی مجموعه استفاده‌شده است (شکل۲-ج). در دیوار داخلی چینی‌خانه کاشی هفت‌رنگ و در نمای گنبد شاه اسماعیل نیز کاشی نره کارشده است. بقعهٔ شیخ صفی مرکز اصلی شکل‌گیری و توسعهٔ مجموعه است؛ بنایی است استوانه‌ای شکل و با گنبدی دو پوش که سطح بیرونی آن با کاشی‌های نره تک‌رنگ فیروزه‌ای و آجر پوشیده شده است. محیط آن ۲۲ متر است و بر روی ازارهٔ هشت‌ضلعی سنگی، به ارتفاع ۱/۴۰ متر قرارگرفته است.

سطح خارجی بدنهٔ بنا با کلمات الله الله با کاشی نره فیروزه‌ای در بین آجرهای خفته‌وراسته پوشیده شده است [7]. گنبد شاه اسماعیل نیز گنبدی دو پوشش است که با کاشی‌هایی به رنگ مشکی، فیروزه‌ای، زرد و سفید و با نقوش هندسی تزئین شده است.

۱-۲. سلطانیه

سلطانیه در ناحیهٔ مرکزی متمایل به غرب استان زنجان قرارگرفته است و از شهرهای مهم دورهٔ ایلخانی است؛ که قبل از ایلخانان مغول نیز مورد توجّه بوده است و شواهد باستانی حاکی از آن است که دشت سلطانیه حداقل از هزارهٔ پنجم قبل از میلاد مسکونی بوده، نام قدیم این شهر تا پیش از تسلّط مغولان آگامبی و شرویاز بوده است [8]. پس از روی کار آمدن ایلخانیان این ناحیه به نام قنقور اولانگ تغییر نام یافت؛ حمدالله مستوفی در تاریخ گزیده نگاشته است که محل این شهر درجایی بود که مغولان به آن قنقور اولانگ می‌گفتند و اولانگ مرتع یا چمن‌زار را گویند [9]. پیش از اقدامات سلطان محمد خدابنده (الجایتو) سلطانیه با این نام شناخته نمی‌شد؛ سلطانیه قبل از آن‌که به پایتختی انتخاب شود به‌عنوان چراگاه و اردوگاه مورد استفاده بود تا این‌که در آغاز قرن


الف


ب


ج

شکل ۲. الف بقعه شیخ صفی، بقعه شاه اسماعیل و نمای قندیل‌خانه، ب نمای شمالی گنبد شیخ صفی‌الدین اردبیلی و گنبد شاه اسماعیل و گنبد حرم‌خانه ج گنبد شیخ صفی و گنبد شاه اسماعیل محل برداشت نمونه

Fig.2: a Boghe sheikh safi, Boghe Shah Esmaeil and façade of Ghandilkhane, b north facades of sheikh safi dome and Shah Esmaeil dome and Hram khane dome, c Sheykh safi dome and the place of sampling in shah Esmaeil dome

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-13]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]



شکل ۳: گنبد سلطانیه و نمای شرقی بنا
Fig.3: Soltaniyeh dome and east façade of monument

هشتم هجری ارغون‌خان (چهارمین پادشاه ایلخانی) تصمیم به احداث شهر جدیدی در این منطقه گرفت او ساخت حصار شهر را آغاز کرد که پس از مدّتی با درگذشت او کار ناتمام باقی ماند [10]. پس از او و در زمان پادشاهی برادرزاده‌اش الجایتو بود که عملیات ساخت شهر مورد توجّه بسیار قرار گرفت به‌طوری‌که او ساخت این بنا را بانام سلطانیه آغاز کرد و آن را در مدّت ۱۰ سال به انجام رساند. بدین ترتیب در سال ۷۱۳ ه.ق. در محلی که ابتدا چمن‌زار محسوب می‌شد، یکی از شهرهای بزرگ اسلامی بنا شد. دورتادور سلطانیه به دستور الجایتو بارویی مربع شکل و عظیم با دیوارهایی ضخیم ساختند و در وسط آن الجایتو قلعهٔ بزرگی ساخت که خود به بزرگی شهری بود و در آن قلعه گنبدی جهت مقبرهٔ خود بنا کرد که همان گنبد معروف سلطان محمد خدابنده است. این گنبد بزرگ‌ترین گنبد تاریخی معماری جهان اسلام است که در سال ۷۱۳ ه.ق. به پایان رسیده است و دارای پلان هشت‌ضلعی منظّم و سه‌طبقه است که دوطبقهٔ آن دارای نمای داخلی و طبقهٔ سوم نمای خارجی دارد. همچنین دارای هشت مناره با کاربرد تقویمی است (شکل ۳).

الجایتو پس از بنای سلطانیه تعدادی از اهل‌فن صنایع‌دستی را از تبریز به آنجا برد و در ترویج ساخت آثار مختلف، دستی مشغول داشت و در توسعهٔ شهر تلاش بسیار کرد تا این‌که سلطانیه پس از تبریز اولین شهر ممالک ایلخانی شد، اما اعتبار آن دوامی نداشت و پس از او و ابوسعید خان به‌یک‌باره از اهمیت افتاد و به همان سرعتی که آباد شده بود، ویران شد [11]. سلطانیه در دوران صفویان رونقی نداشته است. به‌طوری‌که پیر دلاواله از سیاحان ایتالیایی که در عهد صفوی از ایران بازدید کرده است از ویرانی‌های این شهر می‌گوید [12]. همچنین سخنان مادام دیولافوا نشان‌دهندهٔ ایجاد تغییرات در بنای سلطانیه در دورهٔ صفوی است، چنان‌که می‌گوید این بنا تاکنون محفوظ مانده است و اگر یکی از شاهان صفوی به‌عنوان تعمیر دستی در آن نبرده بود، عظمت و شکوه خود را بیشتر نشان می‌داد [13]. در دورهٔ قاجار و به دلیل جنگ‌های میان ایران و روسیه، سلطانیه مرکز تجمّع و تشکیل نیروهای ایران شد و بیشتر به‌عنوان منطقه‌ای ییلاقی مورد توجّه بوده است. در آن زمان نیز اقداماتی در موردبازسازی گنبد صورت گرفت. به‌طوری‌که بنا بر گفتهٔ فلاندن یکی از سیاحان این دوره، سلطانیه در زمان فتحعلی شاه متحمل خسارات بسیاری شد؛ در این زمان وی برای بنای شهری جدید مواد و مصالح گنبد سلطانیه را مورداستفاده قرارداد ولی موفّق به ساخت نشد [14]. پروفسور پائولزی رئیس وقت دانشکدهٔ معماری فلورانس، از افرادی بوده که در مورد این بنا مطالعه کرده است. او می‌گوید: این بنا از یک هشت‌وجهی تشکیل‌شده که قطر داخلی آن نزدیک به ۲۶ متر و فاصلهٔ بین دو وجه خارجی آن ۴۲ متر است [15]. قطر این گنبد ۲۹ متر و ارتفاع آن از سطح زمین بیش از ۵۰ متر است و با کاشی نرهٔ تک‌رنگ فیروزه‌ای پوشانده شده است. این بنا سومین گنبد عظیم جهان پس از گنبد کلیسای سانتا ماریا دلفیوره در فلورانس و گنبد مسجد ایا صوفیه در استانبول است که البته هر دو پس از گنبد سلطانیه ساخته‌شده‌اند.

در این تحقیق، تعداد پنج نمونه، موردمطالعه قرارگرفته‌اند که عبارت هستند از: دو نمونه کاشی نرهٔ تک‌رنگ فیروزه‌ای مربوط به دورهٔ صفوی از گنبد شیخ صفی‌الدین اردبیلی، یک نمونه معاصر (چهل سال گذشته) مربوط به تزئینات کاشی گنبد شاه اسماعیل و دو نمونه، مربوط به دوران ایلخانی از گنبد سلطانیه. باهدف بررسی تفاوت‌ها و شباهت‌های مواد سازنده و فنون به‌کاررفته در

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-13]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]

ساخت این تزئینات در دو دورهٔ مختلف تاریخی، برای بررسی فن‌شناسی، لعاب و بدنه با روش‌های شیمی تجزیهٔ دستگاهی مانند پلاسمای جفت شدهٔ القایی ICP و همچنین پراش پرتوایکس XRD موردمطالعه قرارگرفته‌اند. این تحقیق مستخرج از پروژهٔ عملی درس فن‌شناسی تطبیقی آثار در دورهٔ دکتری نگارنده است و انتخاب دوره‌ها بر اساس محتوای درسی کلاس و انتخاب مکان بر اساس آثار شاخص دوره‌های تاریخی انتخابی در کلاس بوده است.

۲. پیشینهٔ پژوهش

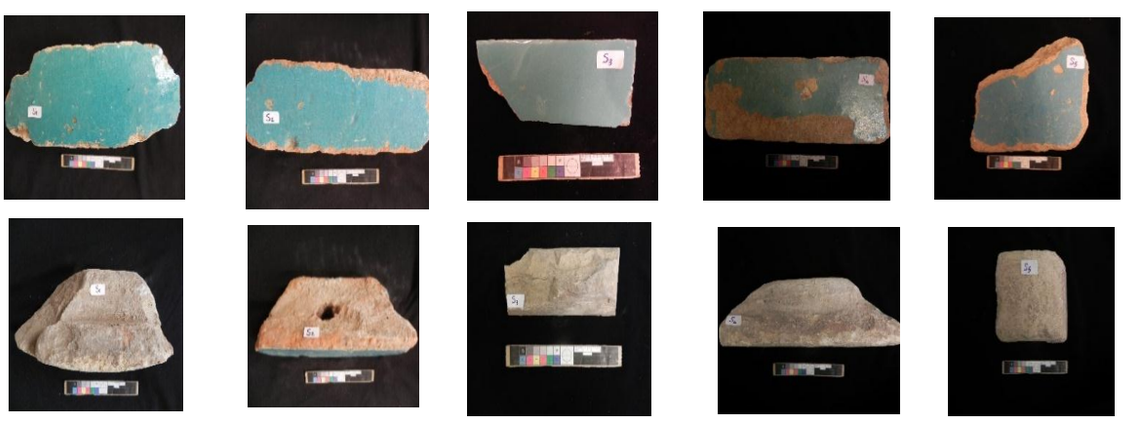
در مورد بناهای موردمطالعه در این پژوهش، تحقیقاتی انجام‌شده است که در اینجا مروری در مورد آن‌ها انجام می‌شود. بیشتر این مطالعات در مورد جنبه‌های تصویری و نقوش تزئینی و معرفی انواع تزئینات به‌کاررفته در بنا مانند کاشی‌کاری، کاشی و آجر، آجرکاری، حجاری و گچ‌کاری و ترسیم آن‌ها است [16] [17]. از نقوش به‌کاررفته در تزئینات گنبد سلطانیه، برای مطالعات تأثیر آن‌ها در سایر هنرها ازجمله کتاب‌آرایی نیز بهره برده شده است [18]. همچنین سلطانیه به‌عنوان آخرین مرکز حکومت ایلخانان و نشانگر هنر معماری و توانمندی شهرسازی در این دوره از تاریخ، نیز موردپژوهش قرارگرفته است و سیمای تاریخی شهر سلطانیه از طریق نقاشی‌های به‌جای مانده از گذشته در سفرنامه‌ها و آثار کالبدی باقی‌مانده در شهر که با توجّه به مطالعات باستان‌شناسی انجام‌شده، ترسیم‌شده است؛ در مطالعات باستان‌شناسی شهر با اتّکا به شواهد باستان‌شناسی از شکل، عملکرد، ساختار فضایی و اجتماعی ساکنان آن عوامل موثّر بر ظهور، توسعه و افول این شهر موردبررسی قرارگرفته است [19] [20]. آسیب‌شناسی و مستندنگاری تزئینات داخلی گنبد سلطانیه و شناسایی رنگ‌دانه‌ها و ملاط به‌کاررفته در تزئینات این بنا نیز با روش‌های آزمایشگاهی موردمطالعه قرارگرفته است. همچنین فن‌شناسی کاشی‌های پوستهٔ خارجی گنبد سلطانیه و طرح مرمّت آن‌ها ارائه‌شده است [21] [22]. سپس طرح ساماندهی اقدامات مرمّتی بر روی تزئینات بدنه‌های داخلی گنبد و مرمّت‌های انجام‌شده در این بنا موردبررسی و تفسیر گرفته است و تزئینات به‌کاررفته در این بنا مانند انواع کاشی‌کاری معرّق، معقّلی، زرین‌فام، آجرکاری قالبی، کنده‌کاری، آجر و کاشی، تزئینات گچی، حکاکی و... معرفی‌شده‌اند [23]. در تعدادی از پژوهش‌ها به بررسی جنبه‌های فرهنگی و قابلیت‌های گردشگری در این بنا و تحلیل عاملی موانع توسعهٔ گردشگری روستایی در بخش سلطانیه پرداخته‌شده است [24] [25]. در مواردی نیز به کمک تحقیق پیمایش میدانی و با نگاه حفاظت مردمی از میراث فرهنگی به بیان تعارضات اجتماعی در حفاظت از میراث معماری پرداخته‌شده است [26]. در مورد بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی نیز پژوهش‌هایی شامل معرفی بنا، بررسی جایگاه سیاسی و شخصیت متولیان این بقعه، تاریخ بنا و تزئینات به‌کاررفته در آن، انجام‌شده است. کتیبه‌های موجود بر کاشی‌های لاجوردی در نقاط مختلف ازجمله حاشیهٔ گنبد و بالای در و پنجره‌ها و... مورد بازخوانی و ترسیم قرارگرفته‌اند؛ همچنین یافته‌های باستان‌شناسی در محوطهٔ بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی معرفی‌شده است [27] [28]. در موردمطالعهٔ فنی کاشی‌های تاریخی به کمک روش‌های تجزیه دستگاهی نیز مطالعات بسیاری در سراسر جهان انجام‌شده است که یکی از روش‌های مطرح و مهم کاربردی آن‌ها، روش پراش پرتو X است.

۳. دستگاه‌ها و روش آزمایش

نمونه‌های موردمطالعه در این پژوهش، شامل سه نمونه کاشی نره فیروزه‌ای، مربوط به بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی و دو نمونه از گنبد سلطانیه زنجان است. تصویر نمونه‌ها و همچنین تصویر میکروسکوپی و مشخصات ظاهری آن‌ها در (جدول ۱) و (شکل ۴ و ۵) ذکرشده است. نمونه‌های S_1، S_2،S_3 مربوط به بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی است (شکل ۴ و ۵ الف–ب–ج) که از این سه، نمونه‌های S_2 و S_1 مربوط به گنبد بقعهٔ شیخ صفی، از دورهٔ صفوی و قدیمی‌تر از نمونهٔ S_3 هستند؛ S_3 مربوط به گنبد شاه اسماعیل و از نمونه‌های ساخته‌شدهٔ گنبد در دورهٔ معاصر است. از نمونه‌های مربوط به گنبد شیخ صفی نمونهٔ S_2 به لحاظ شکل هندسی بدون انحنا است و ازنظر

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2028-03-23]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]

رنگ بدنه و فام رنگی لعاب فیروزه‌ای با نمونهٔ S_1 تفاوت دارد. S_1 دارای انحنا در بدنه است. نمونه‌های S_5 و S_4 (شکل ۴ و ۵ ج–ه) مربوط به گنبد سلطانیه و دورهٔ ایلخانی هستند. نمونه‌های مطالعاتی با هماهنگی مسئولان میراث فرهنگی استان اردبیل و گنبد سلطانیه زنجان در اسفندماه ۱۳۹۲ و دی‌ماه ۱۳۹۳، برای انجام مطالعات آزمایشگاهی و پژوهش‌های فن‌شناسی در اختیار گذاشته‌شده‌اند. دستگاه‌های مورداستفاده در این تحقیق عبارت هستند از: میکروسکوپ دیجیتالی سلسترون، دستگاه پراش اشعه ایکس Philips و دستگاه پلاسمای



الفS_1 بS_2 جS_3 دS_4 هS_5

شکل ۴: نمونه‌های مورد مطالعه (تصویر از لعاب و بدنه)

Fig.4: samples (glazes and bodies)

جدول ۱. مشخصات ظاهری نمونه‌های موردمطالعه

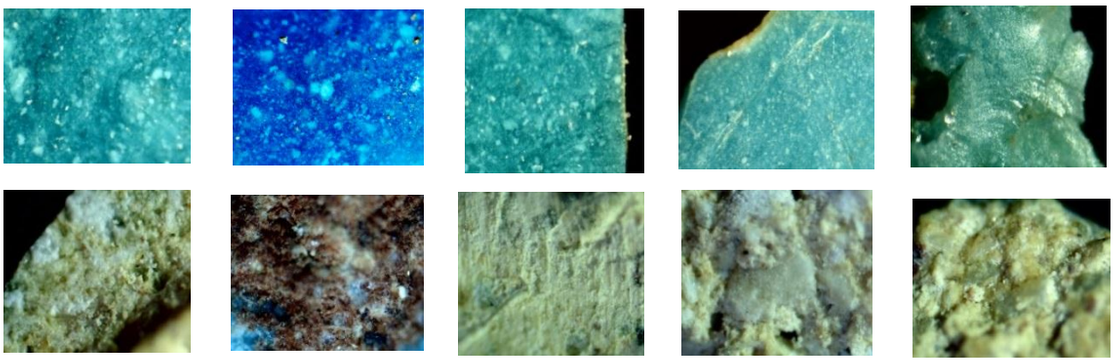
Table 1: aspects of samples

کد نمونه code	محل نمونه Place of sample	رنگ نمونه Color of samples: لعاب glaze	رنگ نمونه Color of samples: بدنه body	ابعاد نمونه* (cm) Dimansion of samples	وزن نمونه (kg) Weight of samples
S_1**	گنبد بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی Sheykh Safi-al-din dome			23x9x10	1.4
S_2	بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی Sheykh Safi-al-din dome			23x8x8	1.4
S_3	گنبد شاه اسماعیل صفوی Shah Esmaeil safavi dome			?x5.5x4	0.35
S_4	گنبد سلطانیه، ایلخانی Soltaniyeh dome, Ilkhani			25x8x7	1.5
S_5	گنبد سلطانیه، ایلخانی Soltaniyeh dome, Ilkhani			11x?x12	1.2

* اندازه‌های داده‌شده مربوط به ابعادی هستند که مشخص و قابل‌اندازه‌گیری بودند
The given dimensions correspond to the dimensions that were definite and measurable

** این نمونه انحنا دارد.This sample has a curvature

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2020-03-13]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]



الفS_1 بS_2 جS_3 د S_4 هS_5

شکل ۵: تصویر میکروسکوپیX40 بدنه (ردیف پایین) و لعاب نمونه‌های مورد مطالعه (ردیف بالا)

Fig.5: Microscopic X40 bodies (down) and glazes of samples (top)

جفت شدهٔ القایی Agilent Radial 375.

۳-۱. بحث و بررسی نتایج

نمونه‌برداری از لعاب و بدنه‌ها به کمک ابزار انجام شد و برای شناسایی عنصری لعاب‌ها و امکان مقایسهٔ علمی-فنی دوره‌ای آن‌ها، لعاب‌ها توسط روش پلاسمای جفت شدهٔ القایی، مورد تجزیه قرار گرفتند. نتایج آن‌ها به‌صورت عددی در (جدول ۲) و به شکل نمودار میله‌ای و مقایسه‌ای در (شکل ۱-۶)، (شکل ۲-۶) و (شکل ۳-۶) گزارش‌شده است. نمونه‌های برداشت‌شده از بدنه‌ها نیز برای شناسایی فازهای موجود و تخمین حدودی دمای پخت آن‌ها توسط روش پراش پرتوایکس XRD مورد تجزیه و بررسی قرار گرفتند و نتایج تجزیهٔ فازی، بر اساس گزارش آزمایشگاه در نمودارهایی ارائه‌شده است، مطابق با (شکل۹). تفاوت فام رنگی در لعاب‌های فیروزه‌ای و بدنهٔ نمونه‌های موردمطالعه، نشان از تفاوت ترکیب این نمونه‌ها دارد که در ادامه، نتایج تجزیهٔ عنصری در لعاب و تجزیهٔ فازی در بدنه، می‌تواند این تفاوت را نشان دهد.

۳-۱-۱. پلاسمای جفت شدهٔ القایی ICP

تجزیهٔ کمّی عنصری نمونه‌های لعاب موردمطالعه به روش پلاسمای جفت شدهٔ القایی همچنان‌که در (جدول ۲) آمده است، نشان می‌دهد که لعاب‌های موردمطالعه در این پژوهش دارای مقدار بیش از ۳٪ سرب هستند و عامل ایجاد رنگ آبی در نمونه‌های موردمطالعهٔ هر دو دورهٔ موردبررسی در این پژوهش، عنصر مس است؛ اما مقدار آن حتی در نمونه‌های یک دوره متفاوت است. مقدار این عنصر به ترتیب در نمونه‌های گنبد بقعهٔ شیخ صفوی، S_1 برابر با ۳/۲٪، در S_2، ۲٪ و در نمونهٔ S_3 مربوط به گنبد شاه اسماعیل به مقدار ۱/۴٪ است. میزان عنصر کبالت که آن‌هم از عوامل ایجاد رنگ آبی در نمونه‌های لعاب است، در مقایسه با مقدار مس گزارش‌شده در هر نمونه بسیار کم است، بیشترین مقدار کبالت به ترتیب درS_1، S_5 S_3, S_2, S_4 گزارش‌شده است. مقادیر مس و کبالت برای مقایسه در نمونه‌ها به‌صورت نمودار در (شکل ۸) نشان داده‌شده است. مقدار عناصر قلیایی موجود در لعاب مانند، پتاسیم در نمونه‌های موردمطالعه S_1 ۱/۷٪، S_2 ۲٪ و S_3 ۱٪ و عنصر سدیم S_1 ۵/۷٪ در S_2 ۸/۴٪ و در نمونهٔ S_3 ۳/۲٪ است. نتایج به‌صورت نمودار برای مقایسه در (شکل ۱-۶)، (شکل ۲-۶)، (شکل ۳-۶)، (شکل ۴-۶) و (شکل ۷) ارائه‌شده است؛ در نمونه‌های گنبد سلطانیه نیز مانند سایر نمونه‌های این پژوهش، مقدار سرب بیش از ۳٪ گزارش‌شده است و مقدار عنصر مس به‌عنوان عامل ایجاد رنگ آبی در این نمونه‌ها به ترتیب مقدار ۱/۳٪ و ۱/۸٪ در نمونه‌های S_4 و S_5 است؛ همچنین مقدار عنصر پتاسیم به ترتیب در نمونه S_4، S_5 ۳/۸٪ و ۲/۴٪، سدیم ۳/۸٪، ۶/۷٪ است، مطابق با نمودار (شکل ۱-۶)، (شکل ۲-۶)، (شکل ۳-۶)، (شکل ۴-۶) و (شکل ۷). عناصر واسطهٔ رنگ‌ساز مانند مس و کبالت عوامل ایجاد رنگ در لعاب

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2028-03-13]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]

هستند و میزان عناصر قلیایی مانند سدیم و پتاسیم و همچنین مقدار عنصر آلومینیوم برای تحلیل فرایندهای فرسایش در لعاب‌ها معیاری مناسب است [29]. در فرایندهای فرسایش لعاب یعنی فرایند تبادل یونی، با خروج یون‌های قلیایی از ساختار لعاب، غلظت سایر یون‌ها مانند آلومینیوم افزایش می‌یابد، این موضوع در نمودارهای میله‌ای (شکل ۶-۱)، (شکل ۶-۲)، (شکل ۶-۳) (شکل ۴-۶) و (شکل ۷)، برای مقایسهٔ میزان فرسایش در این نمونه‌ها ترسیم‌شده است. بر این اساس، مقدار متوسط عناصر قلیایی سدیم و پتاسیم که در فرایند تبادل یونی در فرسایش لعاب شرکت می‌کنند عبارت هستند از: نمونه S_1 ۴٪، S_2 ۵٪، S_3 ۲٪، S_4 ۴٪، S ۴/۵٪. همان‌طور که گفته شد با خروج یون‌های قلیایی از ساختار لعاب، غلظت سایر یون‌ها مانند آلومینیوم افزایش می‌یابد. بدین منظور در اینجا به بررسی مقدار آلومینیوم در هر یک از نمونه‌ها بر اساس نتایج حاصل از گزارش پرداخته می‌شود: S_1 ۱/۷٪، S_2 ۱/۳٪، S_3 ۰/۶٪، S_4 ۲٪، S_5 ۰/۷٪. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین غلظت آلومینیوم در نمونهٔ S_4 و پس‌ازآن به ترتیب در نمونه‌های S_1، S_2، S_5 و در آخر نمونهٔ S_3 که کم‌ترین مقدار در آن گزارش‌شده است، وجود دارد (شکل ۷).

۳-۱-۲. پراش پرتوایکس XRD

نمونه‌های بدنه‌های سرامیکی آجرهای لعاب‌دار

جدول ۲: نتایج تجزیهٔ کمّی عنصری نمونه‌های لعاب به روش پلاسمای جفت شدهٔ القایی بر حسب ppm

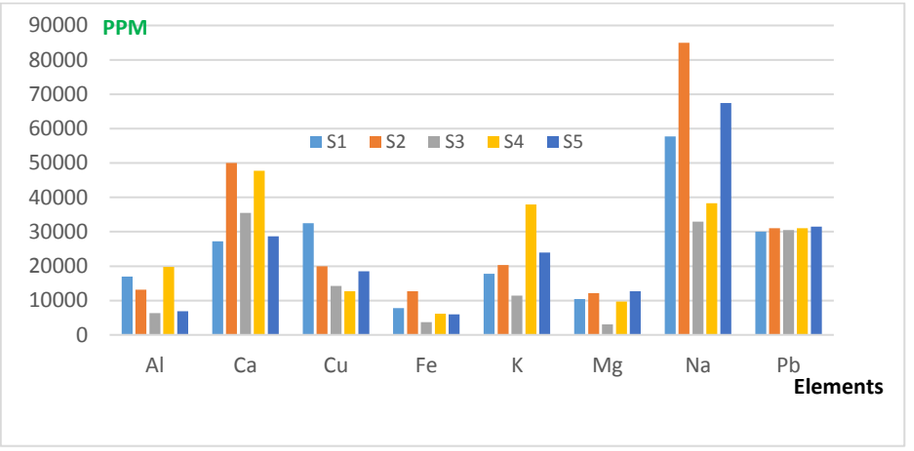
Table 2: Results of quantitative analysis of glazes by inductively coupled plasma (ICP)

	Ag	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	K
DL	*0.1*	*100*	*0.5*	*5*	*0.2*	*100*	*0.1*	*1*	*1*	*1*	*1*	*100*	*100*
S_1	2.6	17000	>100	234	1	27228	0.42	21	164	34	32443	7770	17774
S_2	48.9	13143	43	357	1	49962	0.36	19	9	43	19956	12721	20284
S_3	5	6309	4.3	127	0.8	35457	1.8	9	8	8	14250	3747	11416
S_4	3.9	19760	41.8	297	1	47779	0.35	20	30	80	12688	6145	37973
S_5	7.3	6860	43.3	91	0.9	28705	0.36	9	37	11	18462	5967	23916

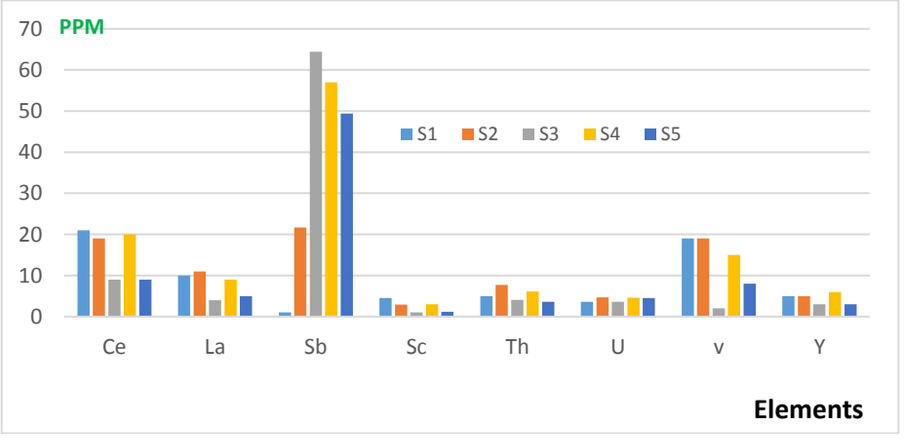
	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Sr
DL	*1*	*1*	*100*	*5*	*0.5*	*100*	*1*	*10*	*1*	*50*	*0.5*	*0.5*	*2*
S_1	10	88	10435	229	1.52	57683	3846	813	>3%	1992	1.03	4.5	292
S_2	11	69	12142	296	1.7	84968	2519	1578	>3%	2043	21.7	2.9	704
S_3	4	33	3090	90	0.71	32920	1561	143	>3%	845	64.4	1	152
S_4	9	103	9690	318	1.05	38333	1647	868	>3%	2262	57	3	465
S_5	5	37	12686	240	0.86	67453	2708	469	>3%	1076	49.4	1.2	353

	Th	Ti	U	v	Y	Yb	Zn	Zr
DL	*0.5*	*10*	*0.5*	*1*	*0.5*	*0.2*	*1*	*5*
S_1	5	2480	3.6	19	5	0.6	123	111
S_2	7.7	1463	4.7	19	5	0.6	77	57
S_3	4.1	51	3.6	2	3	0.4	418	60
S_4	6.1	939	4.6	15	6	0.7	157	60
S_5	3.6	173	4.5	8	3	0.4	64	21

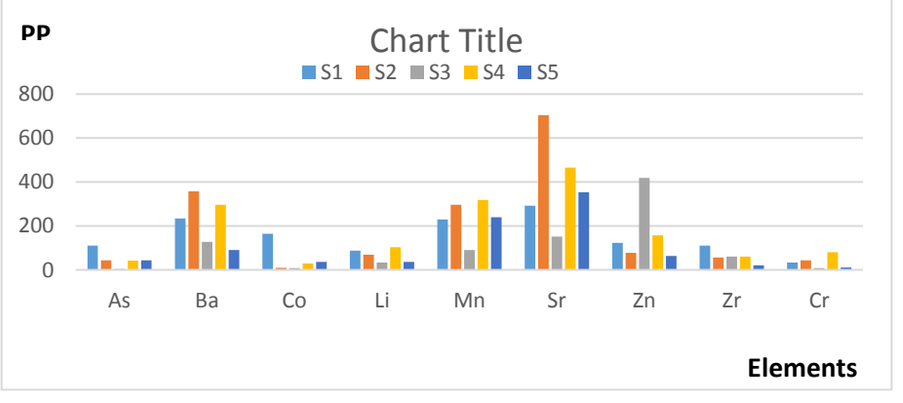
[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2028-03-23]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]



شکل ۶-۱: نمودار میله‌ای مقایسهٔ عنصری بین نمونه‌های لعاب مورد مطالعه
Fig. 6-1: Elemental comparison bar chart of the studied glaze samples

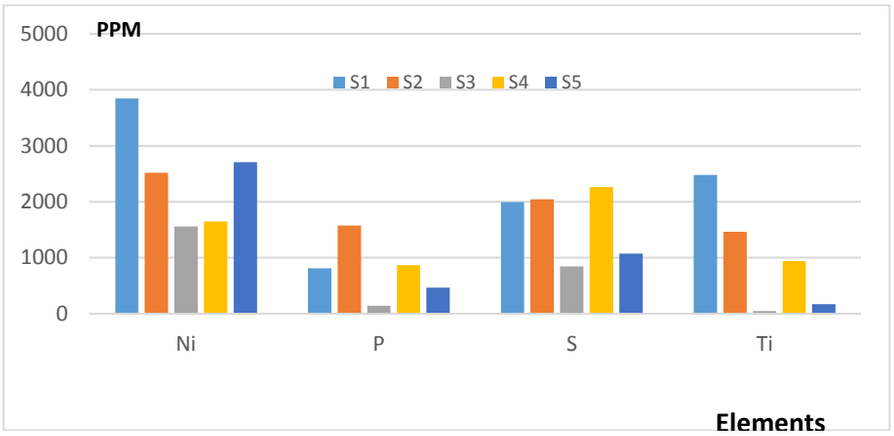


شکل ۶-۲: نمودار میله‌ای مقایسهٔ عنصری بین نمونه‌های لعاب مورد مطالعه
Fig 6-2: Elemental comparison bar chart of the studied glaze samples



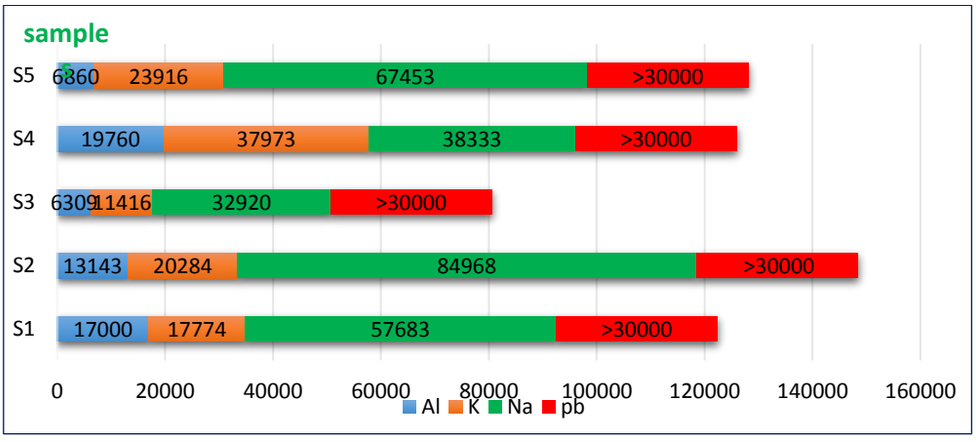
شکل ۶-۳: نمودار میله‌ای مقایسهٔ عنصری نمونه‌های لعاب مورد مطالعه
Fig. 6-3: Elemental comparison bar chart of the studied glaze samples

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2020-03-13]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]



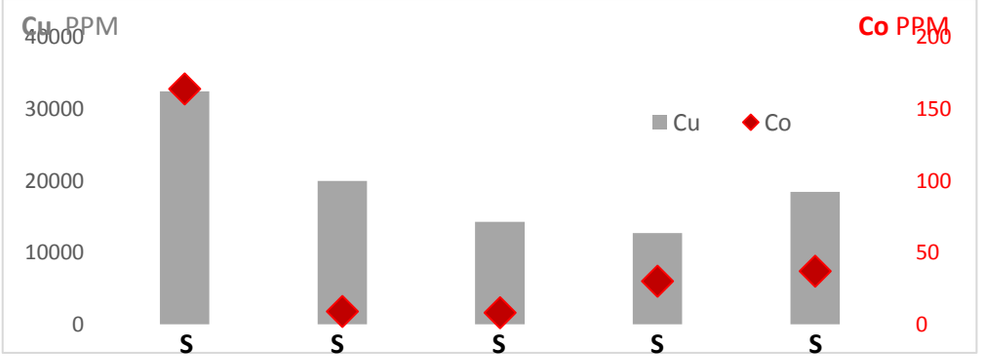
شکل ۴-۶: نمودار میله‌ای مقایسهٔ عنصری بین نمونه‌های لعاب مورد مطالعه

Fig. 6-4: Elemental comparison bar chart of the studied glaze samples



شکل ۷: نمودار مقایسهٔ مقداری عناصر قلیایی، آلومینیوم و سرب در نمونه‌های لعاب مورد مطالعه

Fig. 7: Comparison diagram of some alkaline elements, aluminum and lead in the studied glaze samples



شکل ۸: نمودار مقایسهٔ مقداری عناصرکبالت و مس در نمونه‌های لعاب مورد مطالعه

Fig. 8: Comparison diagram of some cobalt and copper elements in the studied glaze sample

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2028-03-13]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]

موردمطالعه برای شناسایی فازهای تشکیل‌دهنده، با دستگاه XRD مورد تجزیه قرار گرفتند و فازهای اصلی و جزئی در آن‌ها شناسایی شدند، مطابق با (جدول ۳) و (شکل۹). بنا بر نتایج گزارش‌شده که در (جدول ۳) خلاصه‌شده است، تفاوت‌هایی در ترکیب بدنه‌های سرامیکی موردمطالعه مشاهده می‌شود. نمونهٔ S_1 مربوط به گنبد بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی، دارای فاز اصلی کوارتز، آنورتیت، اوژیت، کریستوبالیت است و فازهای جزئی در این نمونه کلسیت و ژیپس است. در این نمونه با توجه به حضور فازهای دماباالا مانند آنورتیت و کریستوبالیت، وجود فاز جزئی کلسیت می‌تواند نشان از تشکیل این فاز در طی زمان به‌صورت کلسیت ثانویه باشد، زیرا وقتی دمای پخت به حدود ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، کلسیت و همچنین دولومیت شروع به تجزیه شدن می‌کنند و در حدود ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد از بین می‌روند [30]. بررسی‌ها نشان داده است که تبدیل دانه‌های کوارتز به کریستوبالیت در حدود ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد و نقطهٔ ذوب این فاز، ۱۷۲۲ درجه سانتی‌گراد است [31]؛ بنابراین با توجّه به وجود کریستوبالیت همچنین آنورتیت، در این نمونه، دمای پخت نمونه S_1 می‌تواند بیش از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده باشد. نمونهٔ S_2 از فازهای اصلی کوارتز و آنورتیت تشکیل‌شده و فازهای جزئی در این نمونه هماتیت و ارتوکلاز است. فاز آنورتیت نیز در حدود ۱۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد تشکیل می‌شود. روند تشکیل فاز آنورتیت به این صورت است که در مرحلهٔ اول ژلنیت که فاز میانی است در حدود ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل و به‌تدریج با افزایش دما به آنورتیت تبدیل می‌شود [32]. در نمونهٔ S_3 مربوط به گنبد شاه اسماعیل، از فازهای اصلی، کوارتز و ژلنیت و از فازهای جزئی ارتوکلاز، ولاستونیت تشکیل‌شده است. با توجّه به حضور ژلنیت به‌عنوان فاز اصلی و تشکیل این فاز در ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد، دمای پخت این نمونه می‌تواند حدود ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد (همان منبع). از نمونه‌های گنبد سلطانیه، S_4 دارای فاز اصلی کوارتز و اوژیت و فازهای جزئی کلسیت، میکروکلین، آلبیت، ژیپس و ژلنیت است. با توجّه به گزارش فاز دماباالای اوژیت (از گروه کانی‌های پیروکسن) دمای پخت این نمونه می‌تواند حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد. نمونهٔ S_5 سلطانیه از فاز اصلی کوارتز و فازهای جزئی ژلنیت، ایلیت، کلسیت و فاز بی‌شکل تشکیل‌شده است. در این نمونه با توجّه به حضور فاز ژلنیت دمای پخت می‌تواند در حدود ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد و حضور فاز کلسیت نشان از تشکیل ثانویهٔ آن دارد.

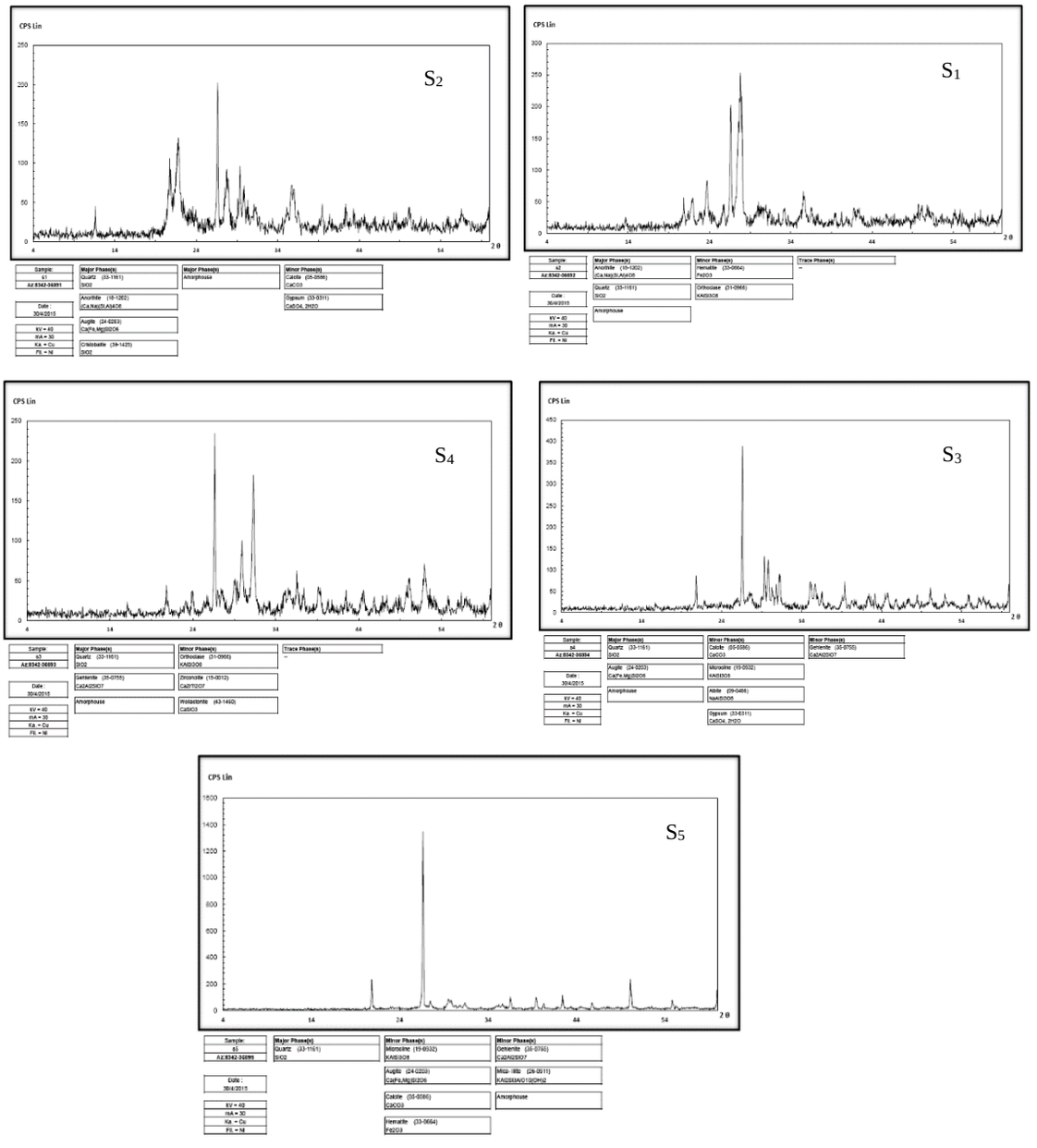
٤. نتیجه‌گیری

بر اساس آزمایش‌های انجام‌شده در این پژوهش، نتایج تجزیهٔ کمّی عنصری لعاب‌های فیروزه‌ای موردمطالعه به روش پلاسمای جفت شدهٔ القایی نشان می‌دهد که همهٔ لعاب‌های موردمطالعه در این پژوهش، در ترکیب عنصری خود بیش از ۳٪ سرب دارند. عنصر واسطهٔ رنگ‌ساز برای ایجاد رنگ آبی فیروزه‌ای در این لعاب‌ها مس و به مقدار کمتری نیز کبالت است. یون مس در محیط‌هایی با pH متفاوت می‌تواند فام‌های متفاوتی از رنگ آبی را ایجاد کند. همچنین حضور یون کبالت نیز در ایجاد فام‌های مختلف آبی موثّر است. بیشترین میزان این یون بر اساس

جدول ۳: نتایج تجزیه پراش پرتو X بدنه‌های سرامیکی موردمطالعه
Table 3: XRD analysis results

samples	Major phases	Minor phases
S_1	Quartz, Anorthite, Augite, cristobalite amorphouse,	Calcite, gypsum
S_2	Anorthite, Quartz, amorphouse	Hematite, orthoclase
S_3	Quartz, gehlenite, amorphouse	Orthoclase, zirconolite, wollastonite
S_4	Quartz, augite, amourphouse	Calcite, microcline, albite, gypsum, gehlenite
S_5	Quartz	Microcline, augite, calcite, hematite, Gehlenite, mica-illite, amourphouse

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-13]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]



شکل ۹: نمودارهای تجزیه بدنه‌های سرامیکی به روش XRD

Fig. 9: Diagrams of decomposition of ceramic bodies by XRD

نتایج تجزیه ICP به ترتیب در نمونه‌های S1، S_4، S_5، S_2 و S_3 گزارش‌شده است. در مورد نمونه‌های بقعهٔ شیخ صفی مشاهده می‌شود که مقدار عنصر رنگ‌ساز مس در نمونهٔ S_1، S_2 و S_3 به ترتیب ۳/۲٪، ۲٪ و ۱/۴٪ است و در نمونه‌های گنبد سلطانیه S_4 و S_5 برابر با مقدار ۱/۳٪ و ۱/۸٪ است که نشان می‌دهد در نمونه لعاب‌های بقعهٔ شیخ صفی به‌جز S_3 مقدار مس بیش از نمونه‌های سلطانیه است. با توجّه به سپری شدن فرایندهای فرسایش و انجام فرایندهای تبادل یونی در لعاب با سپری شدن زمان و خروج یون‌های قلیایی از ساختار لعاب و بالا رفتن غلظت سایر یون‌ها در لعاب ازجمله Al، با مشاهدهٔ نمودار مقایسه‌ای عناصر در (شکل‌های ۶) و (شکل ۷) می‌توان گفت بیشترین فرسودگی را نمونهٔ S_4 ایلخانی از گنبد سلطانیه دارد و پس‌ازآن نمونه‌های S_1 و S_2 صفوی و پس‌ازآن S_5 از گنبد سلطانیه و کم‌ترین میزان فرسودگی در نمونهٔ S_3 از گنبد شاه اسماعیل است که با توجّه به

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2020-03-23]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]

معاصر بودن آن بناها، این نتیجه دور از انتظار نیست. با توجّه به نتایج حاصل از تجزیهٔ پراش پرتو ایکس XRD با شناسایی فازهای موجود در بدنه‌های کاشی‌های نره می‌توان در مورد حدود تقریبی دمای پخت نمونه‌ها تخمین‌هایی زد؛ برای گزارش دقیق، روش‌های مکمّل نیز مانند آنالیز حرارتی نیاز است. بر این اساس در نمونه‌های S_1 و S_2 با توجّه به گزارش کریستوبالیت و آنورتیت، دمای پخت تقریبی بیش از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد تخمین زده می‌شود و با توجّه به اینکه کانی کلسیت در حدود ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد از بین می‌رود، حضور این فاز در همهٔ نمونه‌های موردمطالعه در این آزمایش نشان از تشکیل آن به‌صورت فاز کلسیت ثانویه در طی زمان است. در نمونهٔ S_3 مربوط به گنبد شاه اسماعیل با توجه به گزارش XRD و حضور فاز ژلنیت، دمای پخت در حدود ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد تخمین زده می‌شود و در نمونهٔ S_4 گنبد سلطانیه نیز با توجّه به نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ پراش پرتوایکس با حضور فاز اوژیت، دمای پخت می‌تواند در حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد و در نمونهٔ S_5 نیز با حضور فاز ژلنیت گزارش‌شده در نتایج آزمایش، دمای پخت در حدود ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد تخمین زده می‌شود. این نتایج در مورد نمونه‌های موردی مطالعه شده در این پژوهش و بر اساس آزمایش پراش پرتوایکس XRD گزارش‌شده است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از استاد ارجمند سرکار خانم دکتر حمیده چوبک، همچنین مسئولین محترم میراث فرهنگی استان اردبیل و گنبد سلطانیه زنجان و کارشناسان محترم آزمایشگاه مطالعات مواد معدنی زرآزما برای انجام آزمایش‌های آنالیز دستگاهی، قدردانی می‌شود.

References

[1] Moortgat, A. The Art of Ancient Mesopotamia (The Classical Art of the Near East) English Translation: Judith Filson, (Translatoed by Zahra Basti, Mohammad Rahim Sarraf.). Tehran: SAMT, 2008: 296-302. [in Persian]
[مورتگات آنتون. هنر بین‌النهرین باستان (هنر کلاسیک خاور نزدیک) ترجمه انگلیسی: جودیت فیلسون، مترجمان: زهرا باستی، محمدرحیم صراف، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها؛ ۱۳۸۷، ۲۹۶-۳۰۲.]

[2] Girshman, R. The ziggurat of Tchogha Zanbil. Volume one. Translated by Asghar Karimi. Tehran: Cultural Heritage Organization; 1994: 130-139. [in Persian]
[گیرشمن رومن. زیگورات چغازنبیل. جلد اول. ترجمه اصغر کریمی. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور؛ ۱۳۷۳، ۱۳۰-۱۳۹.]

[3] Wolf, H. Ancient Iranian Crafts, Translated by Sirus Ebrahimzadeh. Tehran: Scientific and Cultural Publishing Company; 2005:105-108. [in Persian]
[ولف هانس. صنایع‌دستی کهن ایران. ترجمه سیروس ابراهیم‌زاده. تهران: شرکت انتشارات علمی و فرهنگی؛ ۱۳۸۴، ۱۰۵-۱۰۸.]

[4] Graminejad, A.; Geraminejad, H. Tiling. Tehran: Ettehad Publications; 2009, 8. [in Persian]
[گرامی‌نژاد ابولقاسم. گرامی‌نژاد حمیدرضا. کاشی‌کاری. تهران: انتشارات اتحاد؛ ۱۳۸۸، ۸.]

[5] Pope, A.; Ackerman, P. A survey of Persian art, from prehistoric times to the present. Translated by Najaf Daryabandari. Tehran: Scientific and Cultural Publications; 2009:1324. [in Persian]
[پوپ آرتور اپهام، آکرمن فیلیس. سیری در هنر ایران از دوران پیش از تاریخ تا امروز معماری دوران اسلامی. ترجمه نجف دریابندری. تهران: انتشارات علمی و فرهنگی؛ ۱۳۸۸: ۱۳۲۴.]

[6] Kiyani, F. An Introduction to the Art of Tiling in Iran, Mah-e Honar Book, No.153; 2011.[in Persian]
[کیانی فاطمه. در آمدی بر هنر کاشیکاری ایران، کتاب ماه هنر، شماره ۱۵۳؛ ۱۳۹۰.]

[7] Mesbahi, Sh; Lost Safavid Art and Architecture: Sheikh Safi Al-Din Ardabili Complex, Reconstruction of Aali Qapu Portal and Regeneration of Its decorations with an introduction by Dr. Baqer Ayatollah Zadeh Shirazi. Tehran: Rasaneh-Pardaz Publications; 2009: 9-14. [in Persian]
[مصباحی شکوفه. گمشده‌ای از هنر و معماری صفویه

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2028-03-13]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]

تهران: انتشارات روزنامه نقش‌جهان؛۱۳۲۴: ۸۵.]

[15] Pirnia, M.K. Introduction to Islamic architecture in Iran, Urban and suburban buildings. Tehran: Iran University of Science and Technology Press; 1995: 224.[in Persian]
[پیرنیا محمد کریم. آشنایی با معماری اسلامی ایران ساختمان‌های درون‌شهری و برون‌شهری. تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران؛۱۳۷۴: ۲۲۴.]

[16] Hamzelou M. Soltaniyeh: Applied Arts in Soltaniyeh dome; 2001. [in Persian]
[حمزه‌لو منوچهر، سلطانیه : هنرهای کاربردی در گنبد سلطانیه. تهران: انتشارات بهدید،۱۳۸۰]

[17] Asgari A. "Decorative motifs of Soltanieh historical monuments". Thesis for obtaining a bachelor's degree in handicrafts. Tehran University of Arts; 1991. [in Persian]
[عسگری ابراهیم. «نقوش تزئینی بناهای تاریخی سلطانیه». پایان‌نامه برای اخذ درجه کارشناسی صنایع‌دستی. دانشگاه هنر تهران؛ ۱۳۷۰.]

[18] Bagchee, Nandini. Book illumination and architectural decoration: the Mausoleum of Uljaytu in Sultaniyya Massachusetts Institute of Technology. Dept. of Architecture Massachusetts Institute of Technology. Date Issued; 2000.

[19] Karimian, R. The Rise and Fall of a Capital: The Formation, Development, Authority and Destruction of the City of Soltanieh. Archaeological Studies; 2014, 6(1): 54 -39. [in Persian]
[کریمیان رضوانه، طلوع و غروب یک پایتخت: شکل‌یابی، توسعه، اقتدار و اضمحلال شهر سلطانیه. مطالعات باستان‌شناسی ۱۳۹۳، ۶(۱): ۵۴ –۳۹.]

[20] Ahmadi N., Lotfi M. The Trusteeship of Sheikh Safi al-Din Ardabili's Shrine during the Safavid period. Islamic History Quarterly; 2009,19(3): 47-28. [in Persian]
[احمدی نزهت، لطفی مریم. تولیت بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی در دوره حکومت صفویان. فصلنامه تاریخ اسلام ۱۳۸۸؛ ۱۹(۳): ۴۷–۲۸.]

[21] Moradi P. "Technology and pathology and restoration plan of the outer shell tiles of Soltanieh Dome", Thesis for obtaining a master's degree in the restoration of historical-artistic works, University of Art, Tehran; 2012. [in Persian]
[مرادی پری‌چهر. «فن‌شناسی و آسیب‌شناسی و طرح مجموعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی طرح بازسازی سردر عالی‌قاپو و احیای تزیینات آن با مقدمه دکتر باقر آیت‌الله زاده شیرازی. تهران: انتشارات رسانه‌پرداز؛ ۱۳۸۸: ۹–۱۴.]

[8] Mokhlesi, M. A. Historical geography of Soltanieh. Tehran: Mokhlesi Publications; 1985: 3. [in Persian]
[مخلصی محمدعلی. جغرافیای تاریخی سلطانیه. تهران: انتشارات مخلصی؛ ۱۳۶۴: ۳.]

[9] Mostofi, H. Selected history.Tehran: Amirkabir Publications; 2002: 67. [in Persian]
[مستوفی حمدالله. تاریخ گزیده. تهران: انتشارات امیرکبیر؛۱۳۸۱: ۶۷.]

[10] Kiani, M. Y. Iranian Architecture (Islamic Period), SAMT Press; 2000: 72. [in Persian]
[کیانی محمد یوسف. معماری ایران (دوره اسلامی). انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)؛ ۱۳۷۹: ۷۲.]

[11] Iqbal Ashtiani A. Detailed history of Iran from the Mongol conquest to the proclamation of constitutionalism. First volume. Tehran: Amirkabir Publications; 1995: 525. [in Persian]
[اقبال آشتیانی عباس. تاریخ مفصل ایران از استیلای مغول تا اعلان مشروطیت. جلد اول. تهران: انتشارات امیرکبیر؛ ۱۳۷۴.]

[12] Della Valle, P. Travelogue of Peter Della Valle, Travel to Persia. Translated by Shoa'uddin Shafa. Tehran: Book Translation and Publishing Company; 1969: 262. [in Persian]
[دلاواله پیترو. سفرنامه پیترو دلاواله قسمت مربوط به ایران. ترجمه شعاع‌الدین شفا. تهران: بنگاه ترجمه و نشر کتاب؛ ۱۳۴۸]

[13] Dieulafoy, J. Madame Dieulafoy's travelogue. Translated by Homayoun Farahvashi. Tehran: Donyay-e KetabPublications; 2013: 110. [in Persian]
[دیولافوا ژان. سفرنامه مادام دیولافوا. ترجمه همایون فره‌وشی. تهران: انتشارات دنیای کتاب؛ ۱۳۹۲: ۱۱۰.]

[14] Flandin, E. Eugene Flandin's travelogue to Iran in 1840-1841. Translated by Hossein Noursadeghi. Tehran: Naghsh-e Jahan Press; 1945: 85. [in Persian]
[فلاندن اوژن. سفرنامه اوژن فلاندن به ایران در سال‌های ۱۸۴۰ — ۱۸۴۱. ترجمه حسین نور صادقی.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-23]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]

architectural heritage, a case study: The Word Registered Heritage of Soltanieh Dome and citadel. Iranian Islamic City Studies Quarterly; 2013, 13: 54-45. [in Persian]

[رازقی علیرضا، پیربابایی محمد تقی، ندیمی حمید. علل بروز تعارض‌ها در حفاظت از میراث معماری، مطالعه موردی: مجموعه ثبت جهانی گنبد و ارگ سلطانیه. فصلنامه مطالعات شهر ایرانی اسلامی ۱۳۹۲، ۱۳: ۵۴-۴۵.]

[27] Shayestehfar, M., Golmaghanizadeh Asl, M. The Ornaments of the inscriptions on the Exterior Facade of Sheikh Safi Al-Din Ardabili, Shrine, Social Sciences and Humanities, Shiraz University; 2002, 19(1): 103-84. [in Persian]

[شایسته‌فر مهناز، گلمغانی‌زاده اصل ملکه. تزئینات کتیبه‌ای نمای بیرونی بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی، علوم اجتماعی و انسانی دانشگاه شیراز ۱۳۸۱، ۱۹(۱): ۱۰۳-۸۴.]

[28] Yousefi, H., et al. Reconsidering the Architecture of Shaikh Safi al-Din Ardabili's Shrine: New Findings in Archeological Excavations at Janat Sara Site, Intl. J. Humanities; 2013, 2(1): 49-67.

[29] Eppler, R. A. Glazes and glass coatings / by Richard A. Eppler and Douglas R. Eppler. The American Ceramic Society735 Ceramic Place Westerville, Ohio USA; 1998: 236-238.

[30] Cultrone,G., Sidraba,I., Sebastina,E. Mineralogical and physical characterization of the bricks used in the construction of the" Triangul Bastion"Riga(Latvia), Applied clay science; 2005, (289): 297-308.

[31] Rahaman, M., N. Ceramic Processing and Sintering, CRC press, New York; 2003.

[32] Okada, k., et al. Effects of Grinding and Firing Conditions on CaAl2Si2O8 Phase Formation by Solid-State Reaction of Kaolinite with $CaCO_3$, Applied Clay Science; 2003, 23(5-6): 329-336· DOI: 10.1016/S0169-1317(03)00132-7

مرمت کاشی‌های پوسته خارجی گنبد سلطانیه» پایان‌نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مرمت آثار تاریخی- هنری، دانشگاه هنر، تهران؛ ۱۳۹۱.]

[22] Rahmani R. "Pathology and documentation of interior decorations of Soltanieh dome". Thesis for obtaining a master's degree in restoration of historical and cultural monuments. Art Campus of Isfahan University; 1999. [in Persian]

[رحمانی رضا. «آسیب‌شناسی و مستند نگاری تزئینات داخلی بنای گنبد سلطانیه». پایان‌نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مرمت آثار تاریخی-فرهنگی. دانشکده پردیس هنر اصفهان؛ ۱۳۷۸.]

[23] Mo'ayedzadeh, M. "The Organization Plan for the restoration of the interior body decorations of Soltanieh Dome", Thesis for obtaining a master's degree in the restoration of historical and artistic works. Tehran University of Arts; 2014. [in Persian]

[مؤیدزاده مونا. «طرح ساماندهی اقدامات مرمت تزئینات بدنه‌های داخلی گنبد سلطانیه» پایان‌نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مرمت آثار تاریخی- هنری. دانشگاه هنر تهران؛ ۱۳۹۳.]

[24] Afghan A. Investigating and Recognizing the tourism-recreational-cultural Complex in Soltanieh. Thesis for obtaining a master's degree in architecture. Art Campus of Isfahan University; 1999. [in Persian]

[افغان آتوسا. مطالعه و شناخت مجموعه جهانگردی - تفریحی- فرهنگی در سلطانیه. پایان‌نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد معماری. دانشکده پردیس هنر اصفهان؛ ۱۳۷۸.]

[25] Yaqubi J. Factor analysis of barriers to tourism development in Soltanieh County of Zanjan province. Geographical Research Quarterly; 2013, 28(4): 194-183. [in Persian]

[یعقوبی جعفر. تحلیل عامل موانع توسعه گردشگری در بخش سلطانیه استان زنجان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی ۱۳۹۲، ۲۸(۴): ۱۹۴-۱۸۳.]

[26] Razeqi A. Pir Babaei M. Nadimi H. Causes of conflicts in the conservation of

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-13]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.6.2]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.91]