Journal of Research on Archaeometry, 2020; 6 (2):1–23

Journal of Research on Archaeometry

DOI: 10.52547/jra.6.2.1 URL: https://jra-tabriziau.ir/

Original Paper

Introduction, Classification and Compositional Structure of the Luster (zarrin-fām) Tiles from Qaleh Dokhtar Kerman

Saeed Amirhajloo [1*], Mohammadamin Emami[2], Davoud Agha-Aligol[3], Reza Riahiyan Gohorti[4]

[1] Assistant Professor, Department of Archeology, Tarbiat Modares University, Tehran, IRAN
[2] Associate Professor, Department of Conservation and Restoration of Cultural Properties and Archaeometry, Art University of Isfahan, IRAN
[3] Physics and Accelerators Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, IRAN
[4] Administration of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism of Kerman, IRAN

Received: 04/09/2020 **Accepted: 06/28/2020**

Abstract

Over a hundred pieces of luster (zarrin-fām) tiles were excavated in Qaleh Dokhtar, Kerman. This article discusses the characteristic features of the luster tiles of Qaleh Dokhtar, and the origins and sources of raw materials of these tiles. The tiles were classified in four groups: "octagonal star tiles", "crucifix tiles", "square tiles" and "rectangle tiles". Then, the relative chronology and dating was carried out based on an inscription on a tile that reads: in 661 Hijri/1263 CE. The inscriptions of the luster tiles of Qaleh Dokhtar also showed that they include poems. Eleven tiles have been chosen for chemical and microscopic analysis by Micro-PIXE and SEM-EDX. The results indicated that there were different elements in the luster and paste of the samples of Qaleh Dokhtar and other regions of Iran. Magnesium is the element of which was detected only in the samples of Qaleh Dokhtar at high weight percentages and likely its mines exist in Ashin Valley around Jiroft.

Keywords: Characterization, Chemical-Mineralogical Analysis, Luster Tiles, Pottery of Islamic period, Qal'eh Dokhtar.

Introduction

Over a hundred pieces of luster tiles were brought to light in Qal'eh Dokhtar excavation and restoration project, Kerman, during 2016-2018. A preliminary study of these tiles raised different questions about them. The first question is what are the characteristic features of these luster tiles? The second is where is the origins and sources of raw materials of these tiles? The importance of the study is to gain more information about the typology and characteristics of local productions of luster tiles in Kerman, Southeast Iran.

Materials and Methods

Case study

The luster tiles of Qaleh Dokhtar were classified into four groups: "octagonal star tiles", "crucifix

[*] Corresponding author: s.amirhajloo@modares.ac.ir

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 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

tiles", "square tiles" and "rectangle tiles" (Figs. 2, 3). Some poems are written in the frame of some tiles. Including:

- The creator of the world will be the protector everywhere. Such a poem has been written on the tiles of Takht-e Soleyman from 1272 and 1276 AD [19].
- You valued flowers and adorned your face with them. This poem was written by Ferdowsi [20].
- It is better to be patient in everything than to store a lot of gold.
- My beloved, your hair is a snare to my heart, and the world is not to my liking.
- Wine always triumphs over intellect and it is always the friend of the wise. Although wine is made in a jar, it is effective when it is in a glass. This poem was written by Zahir al-Din Faryabi [22].

Considering that the date 1263 was written on one of the luster tiles of Qaleh Dokhtar (Fig. 2, No. 3) we can consider the other tiles to be related to the same period. Because all of them have been excavated from the same archaeological context.

Methods

Microscopic studies on the 11 luster tiles were performed to investigate the sinter structure and chemical composition of the samples using an EDX-SEM scanning electron microscope with an X-ray spectrophotometer while accelerating voltage was kept at 20 kV. In addition, the measurements of the elemental composition of the glazes and paste were performed by the micro-PIXE method. The samples were analyzed using a beam of 2.5 MeV protons with the beam current in the range of 30–50 pA [35]. GUPIXWIN software is also used to calculate the concentration of the constituent elements [37]. The spot size of the proton beam is about 10 μm. A Si (Li) detector was used to detect X-rays at an angle of 135°relative to the incident proton beam direction with an energy resolution of 150 eV. Corning glasses as appropriate glass standard samples were analyzed in the same conditions of our samples in order to measure the accuracy of our measurements [38] (Table 1).

Results

The results of microscopic studies show a very good bond between the paste and the glaze of the tiles (Fig. 6, Table 2). The paste also has a cohesive and vitrified structure. Large cavities in the paste indicate that sintering has occurred at high temperatures (above 850 ° C) (Fig. 7). All of the samples have been characterized as the high calcareous body. The elemental composition of the tile bodies is plotted on a ternary diagram of system $SiO_2 - Al_2O_3 - (CaO + MgO)$. The uniformity of the Sn throughout the glaze section indicates a specific instruction for the production of the glaze. Sn is a geochemical fingerprint and important substance in the chemical composition of glazes. Sn in the form of oxide or cassiterite depends on the silicate network and is manifested along with calcium. Such minerals are found in Kerman in abundance along with some other metal minerals such as Cu-Zn-Pb-Au-Ag [47, 48, and 49]. Furthermore, different compounds of Si, Ca, and Mg are seen in the form of very fine crystals in the glaze. There are Na_2O, MgO, and Al_2O_3 with minor modifications and Si as the main materials in the glaze [52] (Table 4).

Discussion

Production Center

Comparison of the above results with the luster tiles of Kashan, Rey, Gorgan, and Takht-e Soleyman [11] shows different instructions in the glaze compositions of the Luster tiles of Qaleh Dokhtar (Table 5). Phosphorus is present only in the samples of the Qaleh Dokhtar. Furthermore, the average percentage of Si in Qaleh Dokhtar samples is 10% lower than other specimens in Iran. The presence of MgO in the glaze shows its dolomitic origin and it indicates that the mines used to produce these luster tiles have been geologically a metamorphic region. The existence of metamorphic formations in Kerman province is very significant. Mg is exposed in the Ashin Valley, Jiroft region [49].

The use of the Luster Tiles

The structures of the third floor in the corridor of Qaleh Dokhtar were built during the Qajar

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

period and there is no sign of connecting the tiles to its architectural surfaces. It seems that the tiles were used secondarily in Qaleh Dokhtar, and they were applied as wasters to fill the floor (Fig. 4). They were probably employed for the first time to decorate a seventh-century AH building such as the Qobbeh Sabz (green dome) of Kerman, and then the rubble of the Qobbeh Sabz was also transferred to Qaleh Dokhtar. Valuable tiles in the Qobbeh Sabz were mentioned in the book "royal history of Qara Kitai" [25]. But the stuff of the Qobbeh Sabz was used in the construction of other buildings [27] and the tiles were moved [25] after the Qobbeh Sabz was destroyed by an earthquake in Qajar period.

Conclusion

The Luster tiles of Qal'eh Dokhtar belong to the Qara Khitai government. These tiles were probably transferred from another building in Kerman to the Qal'eh Dokhtar. The analysis shows that the raw materials of these tiles were prepared from Kerman and Jiroft mines, especially Ashin valley. But the motifs and poems on these tiles are similar to the other tiles of Iran. Therefore, the tiles of Qal'eh Dokhtar were influenced by the general style of Luster tiles in Iran.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]

[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

پژوهه باستان‌سنجی ۱۳۹۹؛ ۶(۲): ۱-۲۳

پژوهه باستان‌سنجی

DOI: 10.52547/jra.6.2.1

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

مقاله پژوهشی

معرفی، طبقه‌بندی و ساختارشناسی کاشی‌های زرین‌فام یافت‌شده از قلعه دختر شهر کرمان

سعید امیرحاجلو [۱*]، سید محمدامین امامی [۲]، داوود آقاعلی‌گل [۳]، رضا ریاحیان گُهرتی [۴]

۱. استادیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. دانشیار دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان و استاد مدعو در مؤسسه تحقیقات فیزیک کاربردی در باستان‌شناسی و باستان‌سنجی، دانشگاه بوردو

۳. پژوهشگر پژوهشکده فیزیک و شتابگرها؛ گروه فیزیک تجربی و کاربردی؛ پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

۴. دانشجوی دکترای باستان‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۸

چکیده

در آواربرداری و مرمت قلعه دختر کرمان از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ قطعات زیادی کاشی زرین‌فام کشف شد. برپایهٔ طرح‌ها و رنگ‌های متفاوت، به نظر می‌رسید این کاشی‌ها، در چند منطقهٔ جداگانه تولید شده‌اند؛ اما کشف همهٔ آن‌ها از یک بافت و کانتکست باستان‌شناسی، نگارندگان را بر آن داشت با ساختارشناسی بر پایهٔ مطالعات آزمایشگاهی، منشأ این تولیدات را پیشنهاد کنند. پرسش‌ها این است که این کاشی‌ها چه ویژگی‌هایی دارند و محتوای نقوش و کتیبه‌های آن‌ها چیست؟ رابطهٔ کاشی‌ها با قلعه دختر چیست و منابع تأمین مواد اولیهٔ آن‌ها بر اساس آزمایش‌های تجزیهٔ عنصری کجا است؟ هدف از این پژوهش، این است که با تطبیق نتایج آزمایشگاهی و ویژگی‌های ظاهری کاشی‌ها، ابهامات دربارهٔ منشأ آن‌ها زدوده و شاخصه‌های تولیدات کاشی زرین‌فام کرمان در مقایسه با نواحی دیگر تبیین شود. در مرحلهٔ نخست، طبقه‌بندی کاشی‌ها صورت گرفت و با استناد به تاریخ ۶۶۱ هجری در کتیبهٔ یکی از کاشی‌ها، تاریخ‌گذاری نسبیِ سایر نمونه‌ها نیز پیشنهاد شد. کتیبهٔ کاشی‌ها شامل اشعار و عبارات رایج در کاشی‌های هم‌دوره در سایر نقاط ایران است. همچنین، به‌احتمال زیاد، کاشی‌ها در تختگاه قلعه دختر کاربرد ثانویه یافته‌اند و کاربرد اولیهٔ آن‌ها مرتبط با بخش‌های دیگرِ قلعه دختر یا بناهای قراختایی در کرمان است. نتایج آنالیز عنصری بدنه و لعاب یازده قطعه کاشی با روش‌های میکروپیکسی و میکروسکوپ الکترونی و مقایسه با نتایج آنالیز سایر نمونه‌های ایران نشانگر برخی عناصر متفاوت در لعاب و خمیره کاشی‌ها است. ازجمله منیزیم که تاکنون تنها در نمونه‌های قلعه دختر با درصد وزنی بالایی اندازه‌گیری شده و به‌احتمال‌زیاد، از معادن درّه آشین در نزدیکی جیرفت تأمین‌شده است. همچنین درصد وزنیِ عناصر زرین‌فام‌های قلعه دختر و نواحی دیگر ایران تفاوت‌های زیادی دارند؛ بنابراین به نظر می‌رسد مواد اولیهٔ کاشی‌های قلعه دختر بومی بوده و از استان کرمان تأمین‌شده است. به‌احتمال‌زیاد، هنرمندان جیرفت پس از رویدادهای سیاسی اواخر سدهٔ ششم و افول جیرفت در سدهٔ هفتم هجری، به کرمان مهاجرت کرده و به تولید زرین‌فام ادامه‌داده‌اند.

واژگان کلیدی: ساختارشناسی، تجزیهٔ عنصری، کاشی زرین‌فام، سفالگری اسلامی، قلعه دختر کرمان

*نویسنده مسئول مکاتبات: تهران، تقاطع بزرگراه چمران و جلال آل احمد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، گروه باستان‌شناسی

آدرس الکترونیکی: s.amirhajloo@modares.ac.ir

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 2023-03-12]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]

[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

۱. مقدمه

فن تولید لعاب زرین‌فام یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های هنرمندان در سرزمین‌های اسلامی بود و اشیاء تجمّلی و مهم به‌ویژه در سده‌های میانی اسلامی، با لعاب زرین‌فام آراسته می‌شد. کاشی‌های زرین‌فام در شمار زیادی از بناهای دوران سلجوقی، خوارزمشاهی و ایلخانی به‌کاررفته‌اند و علاوه بر جلوهٔ بصری و القاء شکوه معماری، به‌عنوان یک متن و بستر برای نشان دادن گرایش‌ها و علایق حامیان و بانیان آثار معماری کاربرد داشته‌اند. شیوهٔ نقش اندازی و کتیبه‌نگاری روی این کاشی‌ها این امکان را فراهم می‌کرد تا در مقایسه با کاشی‌های تک‌رنگ و معقلی و معرق، پیام‌های تصویری و نوشتاری به نحو مطلوب‌تری به کاربران بنا منتقل شود.

در محوطه‌های دوران اسلامی در جنوب شرق ایران، به‌ویژه در کرمان، نیز نمونه‌های زیادی از کاشی و سفال زرین‌فام یافت شده و تحلیل هنری، تاریخی و شناسایی مراکز تولید آن‌ها، یکی از مسائل باستان‌شناسی جنوب شرق ایران است، اما دربارهٔ نمونه‌های منسوب به کرمان، پژوهش‌های اندکی منتشرشده است. درحالی‌که زرین‌فام‌های نواحی دیگر در ایران بیشتر موردتوجه بوده‌اند و مطالعاتی دربارهٔ تولید زرین‌فام در کاشان، ری، گرگان، ساوه، سلطان‌آباد، تخت سلیمان و جیرفت صورت گرفته است [1-8]. باوجوداین، ابهامات و پرسش‌هایی دربارهٔ این مراکز تولید زرین‌فام وجود دارد، زیرا مطالعات آزمایشگاهی کافی دربارهٔ این زرین‌فام‌ها به انجام‌نرسیده است و هنوز آگاهی کاملی از منشأ ساخت کاشی‌های زرین‌فام در مراکز فوق وجود ندارد [3] و تنها، شواهدی از تولید زرین‌فام در کاشان [1]، گرگان [4]، جیرفت [9] و به‌صورت محدودتر در تخت سلیمان [7] وجود دارد. از میان محوطه‌های دوران اسلامی در استان کرمان، تاکنون تنها دربارهٔ تولید زرین‌فام در شهر اسلامی جیرفت گزارش‌هایی منتشرشده‌اند و قطعاتی از سفال زرین‌فام با لعاب سوخته و تاول‌زده و همچنین سه‌پایه سفالی با اثر لعاب و رنگ زرین‌فام روی آن معرفی‌شده‌اند [9] که تولید محلی این‌گونه سفال را نشان می‌دهند.

در طرح مرمت قلعه دختر در حاشیهٔ شرقی شهر کرمان در فاصله سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷، بیش از صد قطعه کاشی زرین‌فام با اشکال ستارهٔ هشت پر، چلیپایی، خشتی و مستطیلی حاشیه‌ای، از بخش تختگاه در شمال شرقی قلعه دختر کشف‌شد. در مقالهٔ حاضر، به مطالعهٔ این کاشی‌ها پرداخته‌شده است. پرسش‌ها این است که کاشی‌های زرین‌فام قلعه دختر کرمان چه ویژگی‌هایی دارند و محتوا و مضمون نقوش و کتیبه‌های آن‌ها چیست؟ منشأ و منابع تأمین مواد اولیهٔ این کاشی‌ها بر اساس آزمایش‌های تجزیهٔ عنصری کجا است؟ اهمیت پژوهش حاضر این است که اولاً اطلاعاتی را دربارهٔ نویافته‌هایی از کاشی زرین‌فام در جنوب شرق ایران و گونه‌شناسی و مطالعهٔ فنی و هنری آن‌ها ارائه می‌کند. ثانیاً بر اساس آنالیزهای شیمیایی و میکروسکوپی نمونه‌ها، مرکز جدیدی را برای تولید زرین‌فام در سده‌های میانی اسلامی در جنوب‌شرق ایران پیشنهاد می‌کند و آگاهی‌هایی را دربارهٔ بومی بودن زرین‌فام‌های نویافته از قلعه دختر شهر کرمان به‌دست‌می‌دهد.

۲. پیشینهٔ پژوهش

کاشی‌های زرین‌فام قلعه دختر در شهر کرمان برای نخستین بار در چکیدهٔ مقاله‌ای با عنوان «نویافته‌های کاشی زرین‌فام قلعه دختر شهر کرمان» به‌طور مختصر معرفی‌شده‌اند [10]. همچنین زرین‌فام‌های شهر کهن جیرفت به‌عنوان یکی از نزدیک‌ترین محوطه‌های شاخص دوران اسلامی به شهر کرمان، در مقالهٔ «سفالینه‌های دوران اسلامی شهر کهن جیرفت» توسط حمیده چوبک معرفی‌شده است [9]. مقاله چوبک، به‌عنوان الگویی برای مقایسه و تحلیل نمونه‌های قلعه دختر مفید خواهند بود؛ اما وی تنها با تکیه‌بر روش‌های توصیفی به معرفی نمونه‌های سفال دوران اسلامی شهر کهن جیرفت پرداخته و طبقه‌بندی، مقایسه و منشأیابی بر پایهٔ روش‌های آزمایشگاهی، موردتوجه او نبوده‌است؛ بنابراین، مقالهٔ حاضر، نخستین نوشتار دربارهٔ کاشی‌های زرین‌فام در قلعه دختر کرمان است که به طبقه‌بندی و مقایسهٔ آن‌ها با نمونه‌های دیگر اختصاص‌یافته و بر پایهٔ

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

روش‌های آزمایشگاهی، پیشنهاد جدیدی برای یکی از مراکز تولید زرین‌فام در جنوب شرق ایران ارائه‌شده است. بررسی پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که از دیدگاه آنالیز دستگاهی نیز پژوهش‌های اندکی دربارهٔ لعاب‌های زمینه و لایه‌های زرین‌فام روی سفال و کاشی‌های ایران به انجام رسیده‌است. نتایج آنالیز عنصری لعاب‌های زمینه و لایه‌های زرین‌فام در تعدادی از زرین‌فام‌های به‌دست‌آمده از ری، نیشابور و کاشان قبلاً منتشرشده است [11-12]. همچنین روح‌فر و نیستانی، هفت نمونه از زرین‌فام‌های کاشان را به روش پیکسی آنالیز کرده‌اند [7]. علاوه بر این، با استفاده از تحلیل آماری نتایج آنالیز عنصری حدود هفتاد نمونه از بدنه سفال‌های زرین‌فامِ یافت‌شده از ری، الموت، کاشان، تخت سلیمان و جیرفت، خاستگاه و محل تولید برخی سفال‌های زرین‌فام ایران بررسی‌شده است [8].

همچنین احمدی و همکاران در سال ۱۳۹۶، تعریف مناسبی از زرین‌فام ارائه کردند و به بررسی ساختار زرین‌فام پرداختند. بر پایهٔ پژوهش ایشان، زرین‌فام با عنوان لایه‌نازکی با ساختار نانو معرفی‌شده که از نانوبلورهای مس و نقرهٔ فلزی پراکنده در یک بافت شیشه‌ای به وجود آمده است. در این رابطه چنین مطرح شده که در لعاب‌های زرین‌فام، دلیل ایجاد تنوع رنگی و یا درخشش، نتیجهٔ جذب و پخش (بازتاب پخشیده) نور است و به همین دلیل می‌توان عنوان کرد که درخشش در لعاب زرین‌فام به‌اندازهٔ نانو ذرات فلزی بستگی‌دارد. در این پژوهش، با به‌کارگیری پوشش‌های متفاوت روی یک نمونهٔ لعاب ماتشده با اکسید قلع ازلحاظ فرمول شیمیایی و شرایط پخت متفاوت (اکسایش و کاهش)، آن نمونه مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و مشخص شد که اندازه در لایهٔ پوشش، تأثیر مناسبی در نوع درخشش لایهٔ زرین‌فام دارد [13].

در یک بررسی آزمایشگاهی و کارگاهی دیگر، نحوهٔ ایجاد زرین‌فام روی لعاب‌ها و بسترهای شیشه‌ای توسط عابد اصفهانی و هلاکویی تبیین‌شده است. دستاوردهای این آزمایش‌ها مشخص کرد که شرایط پخت احیاء در کوره با اتمسفر احیاء ترکیبات متفاوت از مس و نقره می‌تواند منجر به تشکیل لایهٔ زرین‌فام فلزی شود [14].

ساخت و تهیهٔ لعاب زرین‌فام به‌صورت آزمایشگاهی و با استفاده از فرمولاسیون ارائه‌شده در کتب تاریخی (به‌عنوان‌مثال جواهر نامه) نیز در سال ۱۳۹۴ توسط مهدی محمدزاده و سید محمد میرشفیعی موردبررسی قرارگرفت [15]. چگونگی عملکرد یون‌ها و ارتباط آن‌ها با یکدیگر، به‌خصوص سدیم و پتاسیم، در داخل بافت لعاب می‌تواند بسیار حائز اهمیت‌باشد. در پژوهشی با موضوع تجزیه‌وتحلیل سرامیک‌های زرین‌فام سده‌های میانی، چنین مشخص‌شد که تشکیل لایهٔ درخشنده و جلادار می‌تواند نتیجهٔ یک تبادل یونی میان یون‌های قلیایی لعاب (Na) و (K) و مس و کاتیون نقره باشد. باوجوداین، به دلیل هوازدگی نمونه‌های موردمطالعه از سده‌های میانی، اندازه‌گیری دقیق تبادلاتی، به‌راحتی امکان‌پذیر نبود. بر این اساس و بر پایهٔ مطالعات شیمیایی گوناگون، نتیجهٔ روند تشکیل لایهٔ درخشان در این لعاب‌ها بر اساس نوعی فیوژن مکانیسم‌های فیزیکی و شیمیایی در داخل بافت لعاب است. علت اصلی آن، وجود ذرات مس و نقره است [16].

پرادل در ۲۰۱۶ میلادی، در ارتباط با نوع رنگ تزئینات درخشنده چنین مطرح کرد که درخشش تزئینی لعاب با یک فلز رنگارنگ، ظاهر زیبا و درخشانی تولید می‌کند. این درخشندگی بر پایهٔ ویژگی‌های نوری خاص و وجود نانو ذرات فلزی یا دیگر ترکیبات در بافت بدنهٔ لعاب است. بر اساس مطالعات پرادل، مارکازیت (سولفیدهای آهن و مس)، ویتریول (سولفات‌های مس)، دارچین و اسید استیک را می‌توان به‌عنوان عناصر اصلی در ایجاد درخشندگی معرفی کرد. اما پدیدار شدن درخشش طلایی را می‌توان به اوج صنعتگری و هنر به‌واسطهٔ استخراج فلزات و تصفیه‌سازی آن‌ها برای استفاده در مواد لعاب، مرتبط دانست [17].

۳. معرفی مجموعه بنا و کاشی‌ها

۳-۱. مجموعهٔ تاریخی قلعه دختر

مجموعهٔ تاریخی قلعه دختر در شمال شرقی شهر کرمان بر فراز یک برجستگی یا صخرهٔ طبیعیِ وسیع و مشرف‌به شهر کرمان واقع‌است. این مجموعه، دارای حصار اصلی، برج‌های دیده‌بانی، آب‌انبار، تعدادی اتاق و تالار است.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]



شکل ۱: بالا: موقعیت قلعه دختر در شهر و استان کرمان؛ پایین: بخشی از عناصر معماری «تختگاه» قلعه دختر
Fig. 1: Top- The location of Qal'eh Dokhtar in Kerman; down- The architecture remains of Takht-gah in Qal'eh Dokhtar

همچنین در گوشهٔ شمال‌شرقی مجموعه، بخشی موسوم به تختگاه وجود دارد که ساختارهایی در سه‌طبقه در آن شکل‌گرفته‌اند. اغلب ساختارهای معماری قلعه دختر با مصالح خشت و گل برپاشده‌اند (شکل ۱) و لایه‌های متعدد خشت و چینه و ابعاد متفاوت خشت‌ها نشانگر بازسازی‌های آن در دوره‌های مختلف است. در بخشی از طبقهٔ همکفِ تختگاه، راهرویی واقع‌است که به‌سوی جنوب تختگاه منتهی می‌شود. طاق این راهرو بیش از شش متر ارتفاع دارد و کف طبقه سوم را تشکیل می‌دهد؛ زیرا اتاق‌ها و فضاهای اطراف راهرو در سه‌طبقه ایجادشده‌اند، اما فضای راهرو و طبقه بالای آن، درمجموع، دوطبقه را تشکیل می‌دهند. در پی ریزش بخشی از طاق (کف طبقه سوم)، طرح مرمت آن پیشنهاد و اجرای آن آغاز شد و در آواربرداری و پیگردی فضای راهرو، بیش از یک‌صد قطعه کاشی زرین‌فام در لابه‌لای آوار کف طبقه سوم به‌دست آمد.

۳-۲. کاشی‌های زرین‌فام نویافتهٔ قلعه دختر

کاشی‌های زرین‌فام قلعه دختر ازنظر فرم و نقش به چهار گروه زیر تقسیم می‌شوند:

کاشی‌های ستاره‌ای هشت پر: فرم شمشه یا ستارهٔ هشت پر یکی از برگه‌های رایجِ کاشی‌های زرین‌فام در ایران است و در قلعه دختر کرمان نیز شمار زیادی از آن

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

به‌دست آمد. این نوع از کاشی، در دو اندازهٔ کوچک و بزرگ در قلعه دختر شناسایی‌شد. طول کاشی‌های کوچک ۱۴ سانتی‌متر و طول کاشی‌های بزرگ ۲۱ سانتی‌متر است. طیف رنگی لعاب زرین‌فام، اغلب قهوه‌ای، خرمایی یا زیتونی است که بر زمینه‌ای از سفید شیری ایجادشده است و رنگ‌های لاجوردی و فیروزه‌ای نیز در برخی از نقوش و کتیبه‌ها دیده‌می‌شوند (شکل‌های ۲ و ۳، نمونه‌های ۱ تا ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۳، ۲۴، ۳۲، ۴۱). نقش‌مایه‌های این گروه از کاشی‌ها شامل نقوش گیاهی (ترنج، زنبق و به‌احتمال‌زیاد، لوتوس)، حیوانی و پرنده (به احتمال زیاد، درنا) و انسانی است. همچنین در حاشیهٔ برخی از قطعات، کتیبه‌هایی نگاشته شده است. در کتیبهٔ حاشیه نمونهٔ شمارهٔ ۲ عبارتی با مضمون «... آفرین بهر جای کی باشد خداوند این خداوند دارنده ... یاد تو باد ...» آمده است (شکل ۲). به نظر می‌رسد بخش اول این کتیبه، بیت زیر است:

نگهدار بادا جهان‌آفرین
به هر جا که باشد خداوند این

این بیت، یکی از ابیات رایج در آثار هنری دوران اسلامی است و قدیمی‌ترین کاربرد شعر فارسی را روی یک سفالینه نشان می‌دهد [18]. همچنین این بیت بر تعداد زیادی از کاشی‌های تخت سلیمان نیز نوشته‌شده است. کاشی‌های مشابه در تخت سلیمان دارای تاریخ‌های ۶۷۰ تا ۶۷۴ هجری هستند [19]. سرایندهٔ این شعر به‌درستی مشخص نیست، اما با توجه به اینکه برای نخستین بار بر سفال‌های سدهٔ سوم و چهارم هجری از نیشابور نوشته‌شده و با توجه به وزن شعر یعنی بحر متقارب، به‌احتمال‌زیاد، به یکی از منظومه‌ها یا شاهنامه‌ها و متون حماسی قبل از فردوسی (مانند شاهنامهٔ دقیقی یا منظومه اشعار رودکی) تعلّق‌دارد.

همچنین در حاشیهٔ گوشهٔ سمت چپ نمونهٔ شمارهٔ ۳، عبارت «فی سنه ۶۶۱» و پس‌ازآن عبارت «همانا که گل را بها ...» آمده است (شکل ۲). این عبارت به‌احتمال زیاد، ابتدای بیت زیر از حکیم ابوالقاسم فردوسی است:

همانا که گل را بها خواستی
بدان رنگ و رخ را بیاراستی [20]

امکان قرائت بقیهٔ متن گوشهٔ چپ در نمونهٔ شماره ۳ فراهم نشد. این کاشی، ازنظر رسم‌الخط و شکل ظاهری مشابه کاشی‌هایی است که قوچانی در کتاب خود در بخش تصاویر رنگی با شماره‌های ۱۴ الف، ۷۶، ۷۸ و ۱۰۲ ب معرفی کرده است [19].

در نمونهٔ شمارهٔ ۴، کتیبه‌ای با مضمون «به از درّ و گوهر به خروارها ... زلفت صنما» آمده است (شکل ۲). بخش اول این کتیبه به‌احتمال‌زیاد بیت شعری است که در گنجِ بازیافته به بوشکور بلخی نسبت داده‌شده است [21]. این شعر در گنج بازیافته در باب یازدهم از اشعار بوشکور (اندر صبر و شکیبایی، بیت ۱۵۴) به‌صورت زیر آمده‌است:

شکیبایی اندر همه کارها
به از توشهٔ زر به خروارها

مشابه این کاشی در میان کاشی‌های تخت سلیمان نیز وجود دارد [19]. بخش دوم کتیبه، در حاشیهٔ سمت چپ، نشانگر عبارت «زلفت صنما» است و به‌احتمال‌زیاد، بیتی به شرح زیر، مشابه با برخی از کاشی‌های تخت سلیمان [19] بر آن نوشته‌شده بوده است:

زلفت صنما دام دلم می‌گردد
وین چرخ نه بر کام دلم می‌گردد
چوبک زن صبر کو کی دزد غم تو
شبهاست که بر بام دلم می‌گردد

یکی از کاشی‌های تخت سلیمان که دربردارنده بیت فوق است، تاریخ ۶۷۰ هجری را نشان می‌دهد [19].

در نمونهٔ شمارهٔ ۲۳ علاوه بر نقش پرنده‌ای در حال پرواز (به‌احتمال زیاد، درنا) و نقوش گیاهی، کتیبه‌ای با مضمون «می در خم گرچه سر ... نگر چه خرم و خندان است ... اوست که مونس خردمندان است» آمده و پس‌ازآن «نگه کردن اندر همه کارها» نوشته‌شده است (شکل ۲). شبیه این کاشی در مجموعه کاشی‌های تخت سلیمان با رباعی زیر در حاشیه و نقوش پرنده و حیوانات در مرکز وجود دارد و رباعی آن از ظهیرالدین فاریابی است [19]. متن کامل رباعی به این شرح است:

می را که همیشه بر خرد دندان است
هم اوست که مونس خردمندان است
می در خُم اگرچه سرگرفتست رواست
در شیشه نگر چه خرّم و خندان است [22]

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

شعر دوم در این کاشی، صورت دیگری از بیت «شکیبایی اندر همه کارها ... به از توشه زر به خروارها» یا «شکیبایی اندر همه کارها ... به از درّ و گوهر به خروارها» است که در قطعه کاشی شمارهٔ چهار نیز آمده بود.

کاشی‌های صلیبی یا چلیپایی: فرم چلیپایی نیز از فرم‌های پرتکرار در کاشی‌های زرین‌فام است و به‌عنوان مکمل کاشی ستاره‌ای برای پر کردن سطوح، به‌ویژه ازاره‌ها، به کار می‌رفت. بدین ترتیب که در فواصل میان کاشی‌های ستاره‌ای هشت پر، فضای خالی به فرم صلیب به وجود می‌آمد و کاشی چلیپایی مناسب‌ترین گزینه برای پر کردن این فواصل بود. با توجه به اینکه کاشی‌های ستاره‌ای هشت‌پَر در دو ابعاد کوچک و بزرگ شناسایی‌شده‌اند، به‌احتمال‌زیاد کاشی‌های چلیپایی نیز دارای دو اندازه بوده‌اند؛ اما در نمونه‌های یافته شده، تنها کاشی‌های چلیپایی با طول ۲۱ سانتی‌متر شناسایی شد که مکمل کاشی‌های ستاره‌ای ۲۱ سانتی‌متری بوده‌اند.

کاشی‌های چلیپاییِ قلعه دختر دارای نقوش گیاهی هستند. لعاب زرین‌فام در این کاشی‌ها به رنگ قهوه‌ای یا زیتونی بر زمینهٔ سفید شیری است (شکل ۲، نمونهٔ ۱۵ و به‌احتمال‌زیاد ۲۰)

کاشی‌های خشتی: کاشی‌های خشتی یا مربعی یا چهارگوش، دارای نقوشی بر زمینهٔ سفید شیری هستند و نقش‌مایهٔ اغلب آن‌ها گیاهی (به‌صورت گل و برگ) است و روی برخی از آن‌ها نقش محرابی به‌صورت نوار برجسته ایجادشده است (شکل ۲: نمونهٔ ۱۷، شکل ۳: نمونه‌های ۲۵ و ۲۶). همچنین، برخی از آن‌ها دارای نقوش برجسته (نمونه ۳۰) یا کتیبه‌های برجسته (نمونه‌های ۲۷، ۴۲، ۴۳) هستند. رنگ غالب لعاب زرین‌فام در آن‌ها قهوه‌ای یا خرمایی یا زیتونی است و رنگ‌های لاجوردی و فیروزه‌ای نیز به‌کاررفته است. در کاشی‌های خشتی با نقش یا کتیبهٔ برجسته، اغلب بخش‌های برجستهٔ کاشی، بارنگ لاجوردی یا فیروزه‌ای آراسته‌شده است.

کاشی‌های مستطیلی حاشیه‌ای: این کاشی‌ها برای قاب‌بندی و حاشیهٔ اطراف کاشی‌های بزرگ‌تر استفاده‌می‌شود و دربردارندهٔ نقوش گیاهیِ تکرارشونده (به شکل واگیرهای غنچه و برگ) و کادربندی‌هایی با طرح شبه کتیبه هستند. رنگ لعاب زرین‌فام در آن‌ها زیتونی یا قهوه‌ای است و نقش بر زمینهٔ سفید شیری ایجادشده است (شکل ۳، نمونه‌های ۳۹، ۴۰ و به‌احتمال‌زیاد ۳۱). عرض این کاشی‌ها نُه سانتی‌متر است، اما طول آن‌ها به دلیل شکستگی مشخص‌نیست.



شکل ۲: کاشی‌های زرین‌فام قلعه دختر
Fig. 2: The Luster tiles of Qal'eh Dokhtar

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]



شکل ۳: کاشی‌های زرین‌فام قلعه دختر
Fig. 3: The Luster tiles of Qal'eh Dokhtar

۳-۳. تاریخ‌گذاری کاشی‌ها

یک قطعه کاشی کتیبه‌دار به تاریخ ۶۶۱ هجری در میان نمونه‌ها (شکل ۲، نمونه شماره ۳) راهنما و معیاری برای تاریخ‌گذاری نسبی سایر کاشی‌ها است؛ زیرا همهٔ نمونه‌ها از یک بافت و کانتکستِ باستان‌شناختی کشف‌شده‌اند و از بسیاری جهات، با یکدیگر قابل‌مقایسه هستند. بر این اساس، تاریخ‌گذاری پیشنهادی برای کاشی‌های زرین‌فام قلعه دختر، اواسط سدهٔ هفتم هجری است.

اگر احتمال انتقال کاشی‌ها از بنای دیگر به قلعه دختر نادیده گرفته شود و چنین فرض شود که این کاشی‌ها از ابتدا به‌عنوان عنصر زینتی در ساختارهای معماری قلعه دختر به‌کاررفته‌اند، تاریخ‌گذاری فوق با گاه‌نگاری قلعه دختر بر اساس منابع تاریخی نیز مطابقت دارد؛ زیرا در منابع مکتوب سده‌های میانی اسلامی اطلاعاتی درباره فراز و فرود قلعه دختر آمده است. قلعه دختر در اوایل سدهٔ هفتم هجری به دستور ملک عمادالدین ویران شد [23]، اما در همین سده و در زمان حاکمیت قراختائیان ـ یکی از ادوار درخشانِ تاریخ کرمان ـ بازسازی شد و محل رویدادهای مهمی بود [24].

۳-٤. کارکرد کاشی‌های زرین‌فام قلعه دختر

با توجه به وضعیت تراکم کاشی‌ها و کانتکست باستان‌شناسی آن و کشف آن‌ها در لابه‌لای آواری که از کف طبقهٔ سوم تختگاه به فضای راهرو ریخته شده، به نظر می‌رسد کاشی‌های زرین‌فام پس از جدایی و خروج از محل نصب اولیه، به‌عنوان قطعات دور ریز به‌منظور پر کردنِ کف طبقهٔ سوم مورداستفاده قرارگرفته‌اند و پس از تخریب، به پایین سقوط کرده‌اند (شکل ۴)؛ زیرا هیچ نشانه‌ای از کاشی‌کاری در عناصر ساختاری طبقه سوم ازجمله ازاره‌ها وجود ندارد و نمی‌توان کاشی‌ها را به‌عنوان تزیین فضاهای طبقه سوم محسوب کرد. بر این اساس، کاربرد آن‌ها در کف طبقه سوم، کاربرد ثانویه بوده است؛ زیرا ساختارهای طبقه سوم با استناد به نوع قوس‌ها و ابعاد خشت‌ها، در دورهٔ قاجار ایجادشده‌اند؛ اما کاشی‌ها مربوط به اواسط سدهٔ هفتم هجری هستند؛ بنابراین، دربارهٔ محل کاربرد اولیهٔ کاشی‌ها فرضیات زیر مطرح است:

فرضیهٔ نخست، انتقال کاشی‌ها از یک بنای سدهٔ هفتم هجری (دوره قراختایی) به قلعه دختر است. بررسی معماری سده‌های میانی اسلامی در ایران نشان می‌دهد حامیان و بانیان آثار معماری، استفاده از کاشی زرین‌فام را اغلب برای بناهای مذهبی ازجمله مساجد و زیارتگاه‌ها ترجیح داده‌اند؛ بنابراین، یکی از احتمالات دراین‌باره، انتقال کاشی‌ها از قبّه سبز کرمان و مدرسهٔ آن به قلعه دختر است. برای این فرضیه چند دلیل مطرح است: دلیل نخست هم‌زمانی تاریخ ساخت قبّه سبز با تاریخ کاشی‌های زرین‌فامِ موردمطالعه است؛ زیرا قبه

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

سبز در تاریخ ۶۴۰ هجری [25] و مدرسه مجاور آن در فاصله ۶۵۰ تا ۶۵۵ هجری و در زمان حکومت ترکان خاتون قراختایی ساخته‌شده‌اند [26]. دلیل دوم اینکه در جعبه‌های محتوی کاشی‌های معرق منسوب به قبّه سبز کرمان که در حال حاضر در محوطهٔ همین بنا نگهداری می‌شوند، یک کاشی زرین‌فام مشابه با نمونه‌های قلعه دختر وجود دارد (شکل ۵) و به‌احتمال‌زیاد، این بنا در سده‌های میانی و قبل از تخریب، با کاشی‌های زرین‌فام مشابهی آراسته‌شده بود. چنان‌که در تاریخ شاهی نیز آمده است: «... در وقتی‌که سلطان اعظم [ترکان خاتون قراختایی] انار الله برهانه، اساس و بنیاد مدرسه مقدسه می‌فرمود و می‌نهاد، بر آن سیاق و نسق ترتیب آن می‌داد که اندرون صفّه‌های بزرگ به کاشی پوشش و آرایش کنند» [25]. سوم اینکه پس از خرابی قبّه سبز براثر زمین‌لرزهٔ دورهٔ قاجار، مصالح آن در ساخت بناهای جدید به‌کاررفته‌است [27] و مردم، کاشی‌های آن را جابه‌جا کرده و برده‌اند [25]. چهارم اینکه در جریان تخریب آرامگاه حاکمان قراختایی در قبّه سبز و مدرسه ترکان خاتون در کنار آن، حجم زیادی از آوار به‌جامانده و به‌احتمال‌زیاد این حجم از آوار را به قلعه دختر در حاشیهٔ شهر منتقل کرده‌اند تا از یک‌سو، محوطهٔ قبّه سبز پاک‌سازی و برای اقدامات عمرانی بعدی آماده شود؛ و از سوی دیگر، آوار معماری قبّه سبز در کف‌سازی طبقهٔ سومِ تختگاه قلعه دختر مورداستفاده قرارگیرد. پنجم اینکه بر پایهٔ منابع تاریخی، وکیل‌الملک نوری در دورهٔ قاجار بخش‌هایی از قبه سبز را به خیال یافتن گنج تخریب کرده‌است [25]. از سوی دیگر، در همین دوره، او دستور پر کردن چاه بزرگ قلعه دختر را داده‌است [28]. بر این اساس، احتمال انتقال آوار قبه سبز به قلعه دختر توسط وکیل‌الملک و استفاده از بخشی از آوار برای پر کردن چاه و استفاده از بخش دیگر آوار برای ساخت‌وسازهای طبقه سوم تختگاه نیز وجود دارد. باوجوداین، موارد فوق تنها به‌عنوان احتمالات مطرح‌شده‌اند و لازم است شواهد بیشتری از کاشی‌های زرین‌فام در قبّه سبز کشف و با کاشی‌های قلعه دختر مقایسه‌شود. بر این اساس، پذیرش قطعی استفاده از کاشی زرین‌فام در قبّه سبز نیز نیازمند کاوش‌های باستان‌شناسی در محل این بنا است؛ زیرا امروزه آرامگاه و مدرسه تخریب‌شده و تنها یک سردر از آن باقی‌مانده است. از سوی دیگر، تاکنون کاوش باستان‌شناسی در قبّه سبز و مدرسهٔ آن صورت نگرفته‌است و تنها فعالیت‌های میدانی مرتبط با آن، بررسی باستان‌شناسی محوطهٔ قبّه سبز به سرپرستی هایده لاله [29] بوده‌است.

فرضیهٔ دوم دربارهٔ کاربرد اولیهٔ کاشی‌های زرین‌فام قلعه دختر، این است که کاشی‌ها از ابتدا به‌منظور تزیین بخش‌هایی از خود قلعه دختر به‌عنوان یک قلعهٔ حکومتی یا کاخ ـ قلعه تولید و استفاده‌شده‌اند؛ زیرا با استناد به منابع تاریخی، قلعه دختر در برخی دوره‌ها ازجمله دوران سلجوقیان کرمان و قراختایی به‌عنوان مقر حکومتی کاربرد داشته‌است و حاکمان کرمان و خانوادهٔ آنان در آن مستقر بوده‌اند [30؛ 24؛ 23]. همچنین در طرح گمانه‌زنی به‌منظور تعیین عرصه و حریم قلعه دختر، در گمانه‌های ۴ و ۱۰ در حدفاصل قلعه دختر و قلعه اردشیر، تعدادی کاشی زرین‌فام مشابه با نمونه‌های موردمطالعه به دست آمد [31]؛ بنابراین تزیین برخی از فضاهای معماری قلعه دختر (غیر از تختگاه) با کاشی زرین‌فام نیز یکی از احتمالات است. بر پایهٔ نتایج کاوش‌ها و بررسی‌های باستان‌شناسی در برخی قلاع حکومتی یا کاخ ـ قلعه‌ها ازجمله قلعه الموت [32] و قلعه وشاق نطنز [33] نیز از کاشی زرین‌فام برای تزیین بناها استفاده‌شده است.

٤- مواد و روش‌ها

٤-١. مطالعات آزمایشگاهی

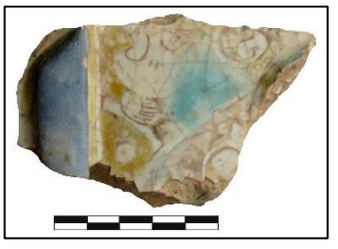
در این مقاله، علاوه بر مطالعهٔ سبک‌شناسی و طبقه‌بندی بیش از یک‌صد قطعه کاشی زرین‌فامِ قلعه دختر، نتایج آنالیزهای عنصری، ساختارشناسی و میکروسکوپی یازده نمونه از مجموع کاشی‌ها ارائه‌شده است. این نمونه‌ها شامل نمونه‌های شماره ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۹، ۲۰، ۲۲، ۲۴ (شکل ۲)، ۲۸، ۲۹ و ۳۹ (شکل ۳) هستند. انتخابِ این یازده نمونه بر پایهٔ فرم‌های چهارگانه و ویژگی‌های ظاهریِ لعاب و نقش کاشی‌ها صورت گرفته‌است. سپس یک تا دو سانتی‌متر از هر نمونه برای آنالیزها جداشده

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]



شکل ۴: محل کشف کاشی‌ها؛ A: کف طبقه سوم تختگاه قلعه دختر B: بخش فروریخته کف تختگاه، C: آوار کف طبقه سوم و محل کشف کاشی‌ها

Fig. 4: The archaeological context of the luster tiles, A: the 3rd floor of Takht-Gah in Qal'eh Dokhtar, B: the collapsed floor, C: the debris of 3rd floor and the location of the founded tiles.



شکل ۵: کاشی زرین‌فام از قبّه سبز کرمان؛ به‌احتمال‌زیاد با بخش فوقانی حرف «الف» یا «ل» به صورت برجسته

Fig. 5: The luster tile excavated from Qobbeh Sabz in Kerman; Probably including the upper part of Alef (A) or Lam (L)

است (شکل ۱۰). نمونه‌های انتخابی، دارای لعاب‌هایی با رنگ‌های متفاوت هستند. تفاوت رنگ لعاب کاشی‌ها یا ناشی از تولید آن‌ها در کارگاه‌های متفاوت یا با مواد اولیه متفاوت است، یا ناشی از تغییرات عناصر شیمیایی در لعاب است؛ زیرا تنالیته‌های متفاوت رنگ لعاب در کاشی‌های زرین‌فام براثر هوازدگی و تغییرات شیمیایی در روی سطح لعاب پدید می‌آید [34].

پس از انتخاب نمونه‌ها مطالعات میکروسکوپی در مقیاس میکرومتر برای بررسی ساختار زینتر و ترکیب شیمیایی نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی EDX-SEM مدل Quanta von FEI 250 به همراه دستگاه اسپکتروفوتومتر اشعه ایکس باانرژی 20keV به انجام رسید. نمونه‌ها در این روش به‌صورت کاملاً غیر تخریبی در دستگاه قرار داده‌شدند و بدون پوشش کربن و یا طلا مورد آزمایش قرارگرفتند.

افزون بر این، به‌منظور مطالعهٔ ترکیبات عنصری لعاب‌ها و بدنهٔ کاشی‌ها از روش میکروپیکسی با باریکهٔ پروتون باانرژی MeV2.5 و جریان باریکه‌ای در حدود 30-50 pA استفاده‌شده است که توسط شتاب‌دهنده واندوگراف 3MV مستقر در آزمایشگاه واندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای قابل انجام‌است [35]. روش میکروپیکسی، روشی غیر مخرب، سریع، بس عنصری و رایج در آنالیز عنصری نمونه‌های تاریخی‌است و امکان آنالیز بس عنصری از سدیم تا اورانیوم با این روش وجود دارد [36]. با این روش، امکان تهیهٔ نقشهٔ توزیع عنصری نمونه در ابعاد میکرون فراهم می‌شود. دقت و حساسیت این روش، بنا بر نوع عنصر از 50- 1000ppm متغیر است. همچنین برای محاسبهٔ غلظت

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

جدول ۱: نتایج اندازه‌گیری شده، گزارش‌شده و انحراف معیار ترکیبات عنصری برحسب درصد وزنی (wt%)، مقادیر خطا نسبی برحسب درصد و همچنین حداقل مقدار قابل‌اندازه‌گیری (LOD) این عناصر برحسب ppm برای نمونه‌های استاندارد شیشه تولیدشده توسط موزه کورنینگ با کدهای A و C موزه کورنینگ.

Table 1: Measured and reported elemental composition and standard deviation in weight percent (wt%), relative analytical errors in percentage (%), as well as the minimum detectable level (LOD) for all elements in ppm in Corning Standard glasses A and C.

Standard samples		Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	CoO	NiO	Cu_2O	ZnO	SrO	SnO_2	Sb_2O_5	BaO	PbO
Corning A	Measured	14.21	2.69	1.12	67.52	0.16	0.12	0.13	2.69	4.71	0.77	1.02	1.12	0.19	0.03	1.19	0.07	0.12	0.51	1.20	0.49	0.09
	Quoted	14.30	2.66	1.00	66.56	0.13	0.10	0.10	2.87	5.03	0.79	1.00	1.09	0.17	0.02	1.17	0.04	0.10	0.19	1.75	0.56	0.12
	St.dev.	0.19	0.12	0.10	0.16	0.08	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.12	0.21	0.05	0.02
	Relative Error	1.2	1.1	12.0	1.4	23.0	20.0	30.0	6.2	6.3	2.5	2.0	2.7	12.0	50.0	1.7	50.0	20.0	-	31.4	12.5	25
	LOD	289	238	270	70	230	99	75	80	244	108	28	107	89	45	57	44	205	1537	3585	969	150
Corning C	Measured	0.79	2.05	0.89	34.22	nd	nd	nd	2.53	4.67	0.58	nd	0.29	0.19	0.02	1.35	0.05	0.21	0.17	n.d	11.80	37.88
	Quoted	1.07	2.76	0.87	34.87	0.14	0.10	0.10	2.84	5.07	0.79	0.82	0.34	0.18	0.02	1.13	0.05	0.29	0.19	0.03	11.40	36.70
	St.dev.	0.09	0.11	0.05	0.11	nd	nd	nd	0.03	0.04	0.07	nd	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.06	nd	0.11	0.26
	Relative Error	26.16	25.72	2.30	1.86	nd	nd	nd	10.91	7.89	26.58	nd	14.70	5.55	0.0	19.47	0.0	27.58	10.53	nd	3.51	3.21
	LOD	916	373	308	193	nd	nd	nd	163	197	1084	nd	34	65	59	68	70	463	1709	nd	977	209

عناصر تشکیل‌دهنده، از نرم‌افزار GUPIXWIN استفاده‌شده است [37]. قطر باریکهٔ پروتون در این آزمایش‌ها در حدود ۱۰ میکرون است. برای آشکارسازی اشعهٔ X از آشکارساز Si(Li) استفاده‌شده که در زاویهٔ ۱۳۵ درجه نسبت به پرتوهای پروتون فرودی قرارگرفته و دارای قدرت تفکیک ۱۵۰eV است. در این آزمایش‌ها از سیستم میکرو باریکه و جمع‌آوری دادهٔ ساخت شرکت آکسفورد استفاده‌شده است.

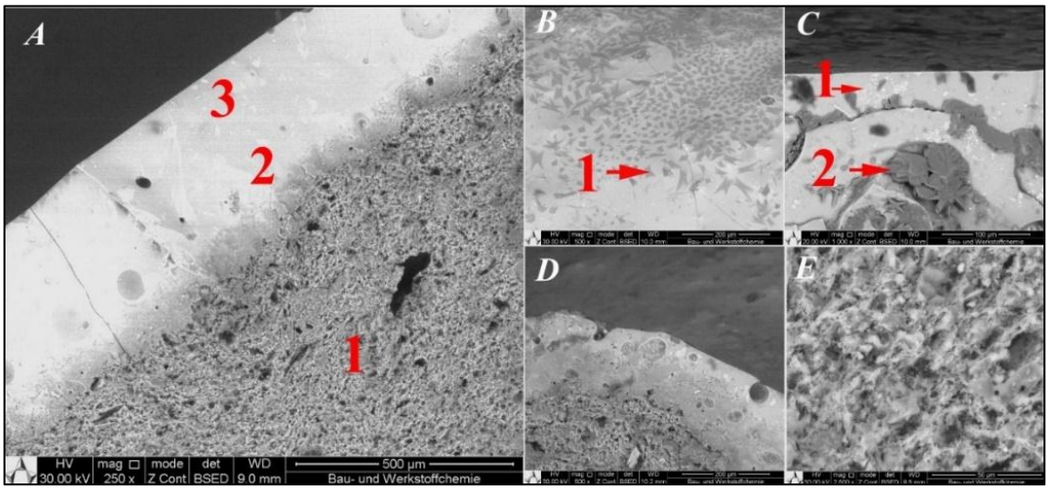
برای اندازه‌گیری مقدار خطا و عدم دقت در اندازه‌گیری درصدِ وزنی عناصر تشکیل‌دهنده، متناسب با ترکیبات اصلی نمونه‌های موردبررسی، نمونه‌های استانداردی از جنس شیشه که توسط موزهٔ کورنیگ تولیدشده است، به‌صورت هم‌زمان و تحت شرایط یکسان با نمونه‌ها مورد آنالیز قرار گرفتند [38]. با توجه به جنس بدنهٔ کاشی‌ها و نوع لعاب‌هایی که در این پژوهش بررسی و آنالیز شده‌اند، نمونه‌های استاندارد شیشه با کدهای A و C آنالیز و نتایج ترکیبات عنصری اندازه‌گیری شده، میزان خطای نسبی، انحراف معیار (Standard deviation) و حداقل مقدار قابل‌اندازه‌گیری (LOD) برای هر عنصر در جدول ۱ ارائه‌شده است. همچنین در این جدول، مقادیر ترکیبات عنصری گزارش‌شده از نمونه‌های استاندارد توسط آزمایشگاه‌های مرجع، به‌منظور مقایسه آورده‌شده است [38].

٤-۲. نتایج مطالعات شیمیاییِ مواد

٤-۲-۱. نتایج مشاهدات و بررسی نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی

بر اساس رنگ‌های شاخصِ نمونه‌ها، دو نمونهٔ شماره ۱۲ و ۲۰ موردبررسی میکروسکوپی به روش SEM-EDX قرار گرفتند. نمونه‌های موردمطالعه از قسمت‌های مرزی بدنهٔ کاشی‌ها با لعاب روی آن انتخاب شدند و به‌صورت آنالیز منطقه‌ای و نقطه‌ای بسته به محل موردنظر، با استفاده از فلورسانس اشعهٔ ایکس در میکروسکوپ (EDX) موردبررسی قرارگرفتند. آزمایش‌های میکروسکوپ الکترونی روی مناطقی از بدنه و مرز بین بدنه و لایهٔ لعاب انجام‌گرفته است. به‌این‌ترتیب، امکان شناخت بهتر فابریک یا ساختار بدنه و مشخصات مرز بین بدنه و لایهٔ لعاب فراهم‌می‌شود و میکرو کریستال‌های احتمالی به وجود آمده در داخل لعاب قابل‌شناسایی هستند [39]. نتایج مطالعات میکروسکوپی در درجهٔ اول حاکی از پیوستگی بسیار خوب بدنه و ترکیبات شیشه‌ای لعاب است (شکل ۶ و جدول ۲). همچنین بدنه دارای ساختار منسجم و شیشه‌ای شده (Vitrified Structure) است. این ساختارهای منسجم و با خصلت‌های غلیظ و به هم چسبنده به دلیل درجه حرارت‌های زینترینگ بالا ایجاد می‌شود [40]. همچنین خلل و فرج در بافت خمیره براثر خارج شدن گازهای CO_2 و بخارآب در حین تخریب کربنات‌ها پدید آمده‌است. وجود حفرات زیاد در بدنهٔ سفال

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]



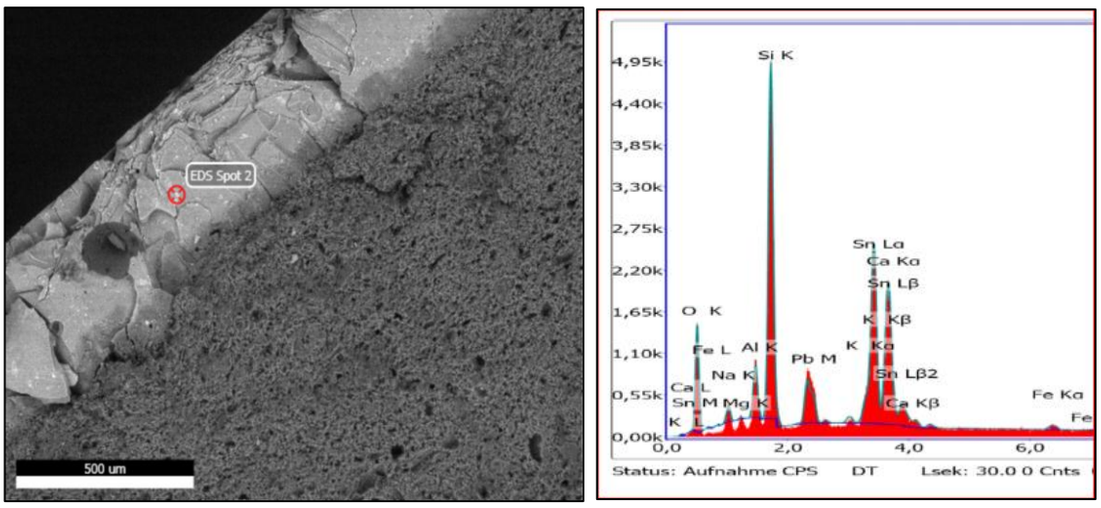
شکل ۶: A: ساختار لایه لعاب و بدنه کاشی‌ها، B: ذرات ریز منیزیم دیوپسید، C: بافت شیشه‌ای لعاب به همراه میکروکریستالیت های درون آن، D: بافت شیشه‌ای شده خمیره، E: حباب‌های موجود در لایه لعاب.

Fig. 6: A- The structure of the glaze layer and the body on the ceramic parts of the body. B- micro-crystals of Mg-diopside, C- glassy structure of glaze including the micro-crystalites within it. D- Vitreous fabrication of the body. E- The bubbles within the glaze layer.

جدول ۲: نتایج آنالیز لعاب و خمیرهٔ کاشی‌ها به روش EDX و همچنین خصوصیات ساختاری خمیره ـ لعاب

Table 2: Point and area analysis of the glaze and body of samples obtained by EDX, as well as the structural properties of the body-glaze phase interphase areas.

Analyze area	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	Ag	SO_3	K_2O	SnO2	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	PbO	CuO
Fig. 7A; area 1	5.38	4.97	15.66	36.25		0.22	3.47		25.89	0.63	7.47		
Fig. 7A; area 2	13.81	3.29	6.06	31.56	0.40		1.71	30.99	4.29			7.85	
Fig. 7A; area 3	13.39	2.67	10.65	41.64			3.11	13.63	4.43		0.81	12.73	
Fig. 7B; area 1	4.21	13.86	1.96	45.46				4.91	21.78		1.15	4.5	2.17
Fig. 7C; area 1	2.17	1.03	1.30	16.93				67.82	3.31		0.68	6.10	0.61
Fig. 7C; area 2	4.38	0.87	3.60	10.89		3.30	1.27		46.59				



شکل ۷: طیف به دست از لعاب آنالیز شده دریکی از نمونه‌ها که وجود میزان زیاد قلع، سرب و کلسیم را نشان می‌دهد. در این لعاب، قلع به‌عنوان کورکننده، سرب به‌عنوان گدازآور و کاهش‌دهندهٔ دمای ذوب لعاب و کلسیم به‌عنوان شبکه‌ساز استفاده‌شده است.

Fig. 7: SEM-EDX spectrum obtained from the sample (?)which has shown high levels of tin, lead, and calcium. The tin, lead and calcium have used as an opacifier, flux to reduce firing temperature and networker in the glaze, respectively

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

همچنین نشانگر پدیدهٔ زینترینگ در درجه حرارت بالا یا اصطلاحاً شیشه‌ای شدن (Vitrification) بدنهٔ کاشی‌ها است (شکل ۷). بافت زینتر شدهٔ بدنهٔ کاشی همان‌طور که در تصویر ۶E دیده می‌شود دارای ساختار شیشه‌ای شده با تخلخل بالا است. این ویژگی تا حد بسیار زیادی به نوع ورز و دانه‌بندی مواد اولیه در بدنهٔ کاشی ارتباط دارد [41]. بر این اساس درجهٔ حرارت پخت بدنهٔ کاشی بدون شک از مرز ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد گذشته‌است.

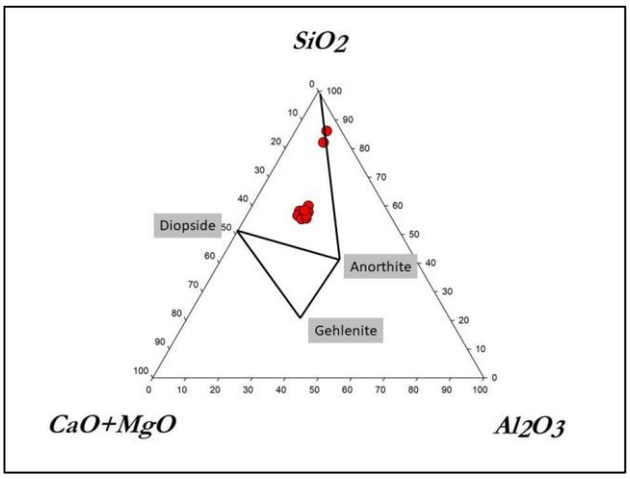
٤-۲-۲. نتایج مطالعات پیکسی روی بدنه و لعاب نمونه‌های مطالعه شده

نتایج آنالیز خمیرهٔ کاشی‌ها به روش میکروپیکسی نیز در جدول ۳ ارائه‌شده است. بر پایهٔ آنالیز ترکیبات عنصری خمیره، همه کاشی‌ها دارای بدنهٔ آهکی هستند. این نتیجه، با نتایج آنالیزهای پراش اشعهٔ ایکس همخوانی دارد؛ اما در ترکیبات عنصری دو نمونهٔ شمارهٔ ۲۰ و ۱۵ تفاوت‌های فاحشی دیده‌می‌شود (جدول ۳). در این دو نمونه درصد وزنی MgO، Al_2O_3، CaO و Fe_2O_3 بسیار کمتر از سایر نمونه‌ها و درصد وزنی Na_2O و SiO_2 بسیار بیشتر است. این تفاوت‌ها بیانگر دو احتمال هستند: نخست اینکه، در ساخت کاشی‌ها از مواد اولیهٔ متفاوتی استفاده‌شده است. دوم اینکه، این دو نمونه از مکان‌های

جدول ۳: ترکیب عنصری بدنهٔ کاشی‌های موردمطالعه به‌صورت اکسید و برحسب درصد وزنی (wt%) با استفاده از روش میکروپیکسی (nd= not detected)

Table 3: Chemical composition of the studied tiles in oxide **برگه** and in terms of weight percent (wt%) by Micro-PIXE (nd= not detected)

Sample	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	PbO
10	1.44	6.16	15.70	50.49	0.52	0.62	0.08	1.39	18.80	0.50	0.05	4.21	0.11
12	1.37	6.00	15.43	50.60	0.40	0.08	0.03	1.91	17.59	0.62	0.10	5.79	0.06
14	1.37	5.88	15.24	53.75	0.56	0.18	9.12	1.97	14.78	0.56	0.07	5.40	0.14
15	3.42	1.98	8.74	79.09	1.86	0.12	0.07	0.83	2.09	1.12	0.02	0.54	0.12
19	1.91	6.59	16.61	49.82	0.49	1.40	0.04	1.38	16.61	0.44	0.08	4.57	nd
20	3.47	1.84	9.52	74.24	1.38	1.52	0.07	1.09	4.83	0.68	0.04	0.96	0.38
22	1.51	6.45	16.27	52.03	1.25	0.18	0.12	1.71	15.30	0.48	0.07	4.63	0.19
24	1.66	6.39	16.33	50.94	0.77	0.54	0.05	1.58	16.44	0.51	0.10	4.67	nd
28	1.70	5.38	13.91	50.89	0.42	1.07	0.13	1.44	19.75	0.55	0.09	4.60	0.21
29	1.94	5.29	13.69	52.36	0.35	0.31	0.08	1.83	18.72	0.53	0.08	4.79	nd
39	1.49	6.49	15.23	53.41	0.41	0.15	0.14	1.63	16.37	0.52	0.04	4.11	0.27



شکل ۸: نمودار طبقه‌بندی بدنهٔ کاشی‌ها در دیاگرام نول در سیستم $SiO_2 - Al_2O_3 - CaO+MgO$ بر اساس اندازه‌گیری میکروپیکسی

Fig. 8: Representation of the studied samples in the SiO2–Al2O3–CaO ternary diagram, as obtained by micro-PIXE measurement.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

دیگری به این محوطه واردشده‌اند. ترکیب عنصری خمیرهٔ کاشی‌ها در نمودار مثلث نول در سیستم $SiO_2 - Al_2O_3 - CaO+MgO$ قرار داده‌شد و همان‌گونه که انتظار می‌رفت، ترکیب خمیرهٔ کاشی‌ها در محدودهٔ دیوپسید ـ آنورتیت ـ کوارتز قرار دارد. به نمونه‌هایی با این ترکیبات، نمونه‌های آهک بالا گفته می‌شود [41] (شکل ۸).

بنابراین، نتیجهٔ کلی این آنالیز، وجود خمیرهٔ کاملاً شیشه‌ای و پخت کاشی‌ها در درجه حرارت بالا را نشان می‌دهد. همچنین ازنظر تراکم و تجمع عناصر شیمیایی، کاشی‌های زرین‌فام قلعه دختر به جزء دو نمونه، کاملاً بر یکدیگر منطبق هستند؛ بنابراین به نظر می‌رسد نمونه‌ها ازنظر درصد مواد اولیه متفاوت بوده و تنها از یک منبع یا ترکیب مشابهی از یک نوع مواد خام نشئت نگرفته‌اند. گروه اول به دسته سیلیس بالا و گروه دوم به دسته آهک بالا تقسیم‌بندی می‌شوند.

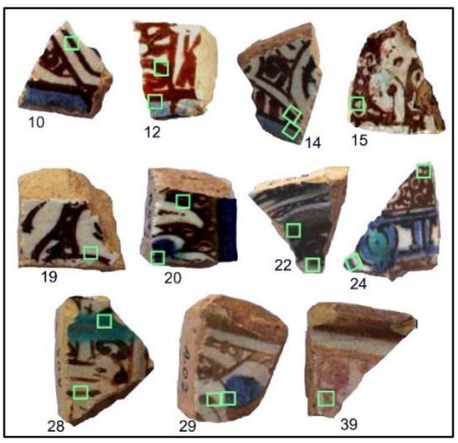
بر پایهٔ تصاویر میکروسکوپی، وجود حباب‌هایی در اندازه‌های متفاوت در لعاب نمونه‌ها، حاکی از درجه حرارت بالا برای ایجاد لعاب روی بدنهٔ کاشی‌است. ترکیبات با رنگ روشن درون فازهای شیشه‌ای، نشانگر غیریکنواخت بودن لعاب و وجود ترکیبات جزئی دیگر در آن است (شکل ۷) [42]. همچنین نتایج کمّیِ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهند که بیشترین میزانِ عناصر سازندهٔ لعاب شامل سیلیس، کلسیم، سپس سرب و قلع است (جدول ۲). نکتهٔ مهم، پخش شدن یکنواخت قلع (Sn) در تمام مقطع لعاب است که نشانگر یک دستورالعمل مشخص برای ساخت لعاب است. سرب نیز به‌عنوان عنصری متمرکز در لعاب حضور دارد [43]. وجود کلسیم، اثبات‌کنندهٔ ترکیب شیمیایی حاوی کلسیم ـ سرب ـ قلع در ترکیب این نوع لعاب است. در این رابطه، ترکیب شیمیایی حاوی کلسیم، سرب، قلع و سیلیس در بسیاری از نقاط دیگر به‌صورت پراکندگی‌های بسیار ظریفی در مقطع لعاب‌ها قابل‌مشاهده است. وجود سرب و قلع به میزان مناسب در بافت شیشه‌ای لعاب‌ها به‌عنوان شبکه‌ساز لعاب مطرح می‌شود. سرب، بیشتر با آنتیموان، کلسیم، یا کلسیم ـ آلومینیوم و قلع تشکیل آلیاژ می‌دهد. این آلیاژها را به‌طورمعمول، سرب سخت یا خشک، آنتیموان‌دار، کلسیم‌دار، فلز سفید، آلیاژهای ذوب شدنی و اتصال‌دهندهٔ نرم می‌نامند که در لعاب‌سازی و شیشه‌های صنعتی به «شبکه‌سازهای بسیار مناسب» معروف‌هستند [44-46].

همچنین ترکیبات متفاوتی از سیلیسیم، کلسیم و منیزیم به‌صورت کریستال‌های کاملاً مشخص و در اندازه‌های بسیار ریز در بافت شیشه‌ای لعاب دیده می شوند. ترکیب عادی این کریستال‌ها نزدیک به پیروکسن و یا دیوپسید است؛ اما این مهم که ترکیبات فوق، حامل یون قلع نیز بوده‌اند، از موارد گزارش‌شدهٔ بسیار مهم در این زمینه‌است. بر این اساس، به نظر می‌رسد قلع به‌عنوان ماده‌ای مهم در ساختار شیمیایی این لعاب‌ها ظاهرشده است و به‌عنوان یک اثرانگشت ژئوشیمیایی اهمیت دارد. قلع به‌صورت بلورهای خالص نیز روی سطح لعاب‌ها دیده‌شده است. نکتهٔ مهم این است که قلع در این ترکیبات به‌صورت اکسید و یا کاسیتریت است و در بسیاری از موارد به شبکهٔ سیلیکات وابسته است و همراه با کلسیم آشکار می‌شود. چنین ترکیبات معدنی با توجه به موقعیت زمین‌شناسی کرمان و وفور چند کانی فلزی در کنار یکدیگر، به‌وفور یافت می‌شوند که حاوی عناصر Cu-Zn-Pb-Au-Ag هستند [47, 48, 49].

ترکیبات عنصری لعاب در این نمونه‌ها با روش میکروپیکسی نیز آنالیز شده‌اند (جدول ۴). ابعاد نواحی آنالیز شده در هر آنالیز حدود ۲/۵ میلی‌متر مربع‌است (شکل ۹). بدین منظور سعی شده است تا حد امکان، تمام‌رنگ‌های لعاب‌های زمینه، ناحیه و لعاب زرین‌فام و تزیینات زیرسطحی آنالیز شود. هدف چنین آنالیز دقیق از این لعاب‌ها، آگاهی از مواد معدنی تشکیل‌دهندهٔ رنگ لعاب‌ها و ارتباط احتمالی این مواد خام با معادن منطقهٔ کرمان است.

ترکیبات شیمیایی Na_2O، MgO و Al_2O_3 با تغییرات جزئی در جدول ۵ مشاهده می‌شوند. سدیم به‌عنوان گدازآور در ترکیب لعاب زمینه، نقش مهمی را ایفا می‌کند و به نظر می‌رسد این ترکیب به‌طور آگاهانه و با درصد تقریباً مشابهی از کمتر از ۰٫۱ تا حدود ۴ درصد به لعاب واردشده است. البته این عنصر در چند نمونه از رنگ‌های قهوه‌ای تیره مشاهده نمی‌شود.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]



شکل ۹: نواحی مختلف آنالیز شده با روش میکروپیکسی در نمونهٔ کاشی‌های زرین‌فام قلعه دختر
Fig. 9: The analysed areas on the lustre tiles by micro-PIXE

همچنین، اکسید آلومینیوم به‌عنوان جزئی از مواد اولیه در ترکیب لعاب وجود دارد. اکسید منیزیم، هم به‌عنوان رنگ‌دانه [51-50] و هم به‌عنوان جزئی از ترکیبات عنصری لعاب مشاهده می‌شود. سیلیس طبیعتاً به‌عنوان عمده‌ترین مادهٔ اولیه در لعاب مورداستفاده قرارگرفته است و درصد وزنی آن تا حدود ۶۸ درصد از ترکیب لعاب را شامل می‌شود. SO_3، Cl و P_2O_5 از ترکیبات شیمیایی هستند که با مقادیر بسیار ناچیز در نتایج داده‌ها مشاهده می‌شوند [52]. موجودیت این عناصر به دلیل ترکیب شیمیایی محیط خاکی است. سولفات‌ها نیز بیشتر به‌صورت ترکیبات با منشأ شوره و یا آلاینده از محیط‌های باتلاقی و مرطوبی تولید می‌شوند که هم‌جوار با منابع تولید گازهای فاضلابی و صنعتی هستند. همچنین ممکن است به‌واسطهٔ شسته شدن گچ در محیط کاوش ایجاد شوند.

پتاسیم در ترکیب K_2O و کلسیم به‌صورت CaO، جزو دسته ترکیبات شیمیایی هستند که هم در ساختار لعاب‌ها به‌عنوان گدازآور و شبکه‌ساز نقش مهمی را ایفا می‌کنند و هم در بدنه و لعاب سفال‌ها سبب ایجاد خصلت‌های مکانیکی و شیمیایی مناسبی می‌شوند. TiO_2 و MnO ترکیبات بسیار کمیابی در ترکیب شیمیایی لعاب‌ها هستند؛ زیرا اکسید تیتانیوم برای نخستین بار در قرن نوزدهم میلادی شناسایی‌شده و اکسید منگنز نیز معمولاً برای ایجاد رنگ قرمز و قهوه‌ای در لعاب «سفال‌های گلابه‌ای یا نقاشی زیر لعاب» استفاده می‌شده‌است. درحالی‌که دو طیف رنگی قرمز و قهوه‌ای در زرین‌فام، متناسب با احیا مس و تشکیل مس فلزی در بافت لعاب به همراه میزان نقره و احیا شدن آن‌ها ایجاد می‌شود [53]. این در حالی است که میزان ایجاد رنگ زرین‌فام در بسیاری موارد متأثر از مقدار Cu/Cu+Ag است [38].

ترکیبات اکسید آهن (Fe_2O_3)، اکسید کبالت و اکسید مس (Cu_2O) به‌عنوان منبع تولید رنگ آبی و سبز در لعاب‌های زمینه نیز از تغییرات بسیار یکنواختی پیروی می‌کنند و درصد آن‌ها در محدودهٔ میان ۰٫۹ تا ۱٫۳ درصد متغیر است. وجود مقادیر تا ۲٫۶ درصد اکسید مس در لعاب زمینه سبب ایجاد رنگ فیروزه‌ای شده است. اکسید کبالت (CoO) با نسبت ۱:۱ با اکسید مس و به میزان کمتر از ۰٫۱ درصد تا ۲ درصد، سبب ایجاد رنگ آبی در تزیینات زیر لعاب شده و در لعاب‌های دیگر دیده نمی‌شود. این موضوع حاکی از استفاده کاملاً آگاهانه از اکسید کبالت برای ایجاد رنگ آبی است. اکسید نقره (Ag_2O) در تمامی رنگ‌های قهوه‌ای تیره آشکار است. تنها در یک نمونه از لعاب بارنگ زیتونی، نقره در بیشترین مقدار یعنی حدود ۳ درصد استفاده‌شده که این ترکیب رنگی احتمالاً به‌واسطه همراهی نقره و قلع است. قسمت اصلی ترکیبات رنگی هم در لعاب و هم در رنگ‌دانه زرین‌فام در ترکیبات بر پایه مقادیر بالای اکسید سرب (PbO) و اکسید قلع (SnO_2) مشاهده می‌شود. در این خصوص می‌توان گفت این دو اکسید هم سبب شفافیت شده‌اند و هم‌رنگ لعاب زرین‌فام را بهتر روی بدنهٔ سفالین بروز داده‌اند [47].

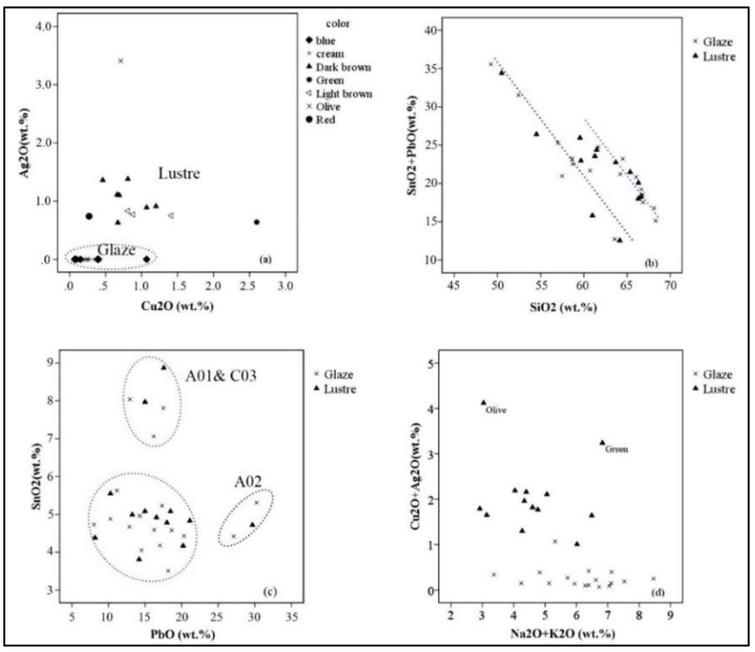
به‌طورکلی در خصوص تشخیص رنگ‌دانه‌های ایجادکنندهٔ زرین‌فام باید چنین عنوان کرد که تمامی رنگ‌های قهوه‌ای تیره، قهوه‌ای روشن و در یک مورد زیتونی، قرمز و سبز دارای جلای زرین‌فام هستند. در این نواحی مقادیر ترکیبات نقره و مس بالاترین نقش را در ایجاد لایهٔ زرین‌فام دارند [17]. تغییرات ترکیب عنصری لعاب زرین‌فام و لعاب زمینه نیز برحسب برخی از ترکیبات اصلی و مهم و درصد وزنی عناصر، به‌صورت دوبعدی در شکل ۱۰ مشاهده می‌شوند.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

جدول ۴: ترکیبات عنصری لعاب‌های آنالیز شده در کاشی‌های زرین‌فام قلعه دختر به‌صورت اکسید و برحسب درصد وزنی با استفاده از روش میکروپیکسی (L= رنگ‌دانه زرین‌فام، G= لعاب زمینه، nd=not detected)

Table 4: Chemical composition of the glaze of luster tiles in terms of weight percent (wt%) by micro-PIXE (L= luster pigment, G=base glaze, nd=not detected)

Sample	Color	G/L	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	Cu_2O	ZnO	CoO	Ag_2O	SnO_2	PbO
15	Light brown	L	1.78	2.07	3.20	54.52	Nd	0.78	0.30	2.62	4.78	0.10	0.02	1.08	1.41	nd	nd	0.75	8.87	17.56
15	Cream	G	3.21	2.12	2.72	56.98	Nd	Nd	0.21	3.18	3.92	0.11	nd	0.93	0.42	nd	nd	Nd	7.81	17.50
29	Light brown	L	0.09	1.32	1.72	50.49	Nd	1.18	0.23	3.05	4.20	0.11	nd	0.56	0.88	nd	nd	0.77	4.72	29.68
29	Cream	G	3.20	0.90	2.39	49.25	Nd	Nd	0.54	3.42	3.59	Nd	nd	0.54	0.22	nd	nd	nd	5.31	30.25
29	Blue	G	1.44	1.13	2.63	52.44	Nd	0.73	0.43	3.39	4.35	Nd	0.05	0.60	0.39	nd	0.20	nd	4.42	27.11
28	Light brown	L	2.25	2.53	4.15	64.15	0.95	0.33	0.07	4.24	6.06	0.13	0.05	0.86	0.81	0.05	nd	0.83	4.38	8.17
28	Cream	G	3.78	2.27	4.01	63.56	0.78	0.37	0.15	4.68	6.10	0.12	0.04	0.93	0.25	0.05	nd	Nd	4.73	8.01
28	Green	L	2.09	1.74	3.52	60.99	0.52	Nd	0.21	4.74	5.73	0.10	0.05	0.85	2.60	0.22	nd	0.64	5.55	10.27
12	Dark brown	L	1.13	1.43	2.53	66.60	0.85	Nd	0.19	3.64	2.96	0.09	0.03	0.49	0.66	Nd	nd	1.11	4.99	13.25
12	Cream	G	2.07	1.59	2.51	66.83	0.81	Nd	0.28	4.21	3.06	0.12	Nd	0.51	0.10	Nd	nd	Nd	4.67	12.87
12	Blue	G	2.97	1.17	2.66	68.31	0.67	Nd	0.20	4.08	3.39	0.12	0.04	0.52	0.09	0.04	0.07	Nd	4.88	10.25
10	Dark Brown	L	0.86	1.43	4.01	61.27	0.53	nd	0.19	3.41	2.84	0.09	Nd	0.52	0.67	nd	nd	0.63	5.08	18.48
10	Cream	G	3.13	1.70	4.28	60.72	0.74	Nd	0.15	3.98	2.87	0.05	nd	0.54	0.15	nd	nd	nd	3.51	18.16
20	Dark Brown	L	2.56	1.67	2.91	61.47	0.68	Nd	Nd	1.78	1.89	Nd	Nd	0.55	1.07	nd	nd	0.89	4.17	20.20
20	Olive	L	1.03	0.77	2.71	59.55	Nd	Nd	0.33	2.01	2.13	Nd	Nd	0.62	0.71	nd	nd	3.41	4.83	21.12
20	Cream	G	3.84	1.48	2.44	61.65	0.95	Nd	Nd	1.88	1.94	0.07	Nd	0.57	0.27	nd	nd	nd	4.43	20.32
20	Blue	G	3.64	2.44	3.77	58.70	0.74	Nd	0.17	1.68	3.66	0.12	0.03	0.83	1.07	0.05	0.29	nd	5.23	17.32
19	Dark Brown	L	Nd	Nd	3.07	65.35	Nd	Nd	0.18	4.04	2.59	Nd	Nd	0.35	0.81	Nd	Nd	1.38	4.92	16.56
19	Cream	G	1.02	0.78	3.40	66.05	0.58	Nd	0.17	4.11	2.17	0.07		0.33	0.15	nd	nd	Nd	4.59	16.25
14	Dark Brown	L	0.65	1.25	1.79	66.31	0.82	Nd	0.25	3.95	2.50	0.05	0.02	0.33	0.46	nd	nd	1.36	5.08	14.99
14	Blue	G	2.30	1.56	2.09	68.12	0.83	Nd	0.36	4.42	2.82	0.05	nd	0.37	0.07	nd	0.03	nd	5.63	11.15
14	Cream	G	2.30	1.57	1.97	66.65	0.57	Nd	0.21	4.09	2.43	Nd	Nd	0.32	0.11	nd	nd	Nd	4.96	14.27
22	Dark brown	L	1.11	1.58	3.42	59.66	Nd	Nd	0.19	3.95	3.39	0.08	Nd	1.09	1.20	nd	nd	0.91	7.97	15.00
22	Blue	G	3.66	3.83	4.63	57.48	0.54	Nd	0.27	3.46	3.63	Nd	Nd	0.89	0.40	nd	0.05	nd	8.04	12.93
22	Cream	G	3.67	1.80	3.27	58.64	Nd	Nd	0.16	3.86	3.31	0.07	Nd	0.94	0.19	nd	nd	Nd	7.06	16.18
24	Dark brown	L	Nd	1.17	3.20	63.69	0.77	Nd	Nd	2.92	2.85	0.05	Nd	0.41	0.69	nd	nd	1.10	4.78	17.99
24	Blue	G	1.13	2.20	3.83	64.22	Nd	Nd	0.27	3.11	3.04	nd	nd	0.43	0.15	nd	0.09	nd	4.18	17.03
24	Cream	G	Nd	0.85	2.90	64.51	Nd	Nd	Nd	3.37	2.95	0.07	0.04	0.37	0.34	nd	nd	Nd	4.58	18.64
39	Red	L	2.59	1.58	2.38	66.29	0.53	Nd	0.23	3.43	3.36	0.05	Nd	0.46	0.27	nd	nd	0.74	3.81	14.19
39	Cream	G	2.56	1.38	2.38	66.81	0.35	Nd	0.17	3.38	3.23	Nd	Nd	0.44	0.14	nd	nd	Nd	4.05	14.51



شکل ۱۰: a- تغییرات درصد وزنی اکسید مس برحسب اکسید نقره برای رنگ‌های مختلف زرین‌فام و همچنین لعاب‌های زمینه، b- تغییرات درصد وزنی اکسید سیلیسیم برحسب مجموع اکسیدهای سرب و قلع برای لعاب‌های زرین‌فام و زمینه، c- تغییرات درصد وزنی اکسید سرب برحسب اکسید قلع برای لعاب‌های زرین‌فام و زمینه، d- تغییرات درصد وزنی مجموع اکسیدهای سدیم و پتاسیم برحسب درصد وزنی مجموع اکسیدهای مس و نقره جهت بررسی فرایند تبادل یونی در فرایند ساخت لایه‌های زرین‌فام.

Fig. 10: a - Changes in weight percent of copper oxide in terms of silver oxide for different colors of luster as well as base glazes, b- the variation of weight percentage of silicon oxide in terms of the total weight percent of lead oxide and tin oxide in the base glazes and luster, c- changes in the percentage of lead oxide in terms of tin oxide for base glazes and luster, d- changes in weight percentages of total sodium and potassium oxides in terms of weight percent of total copper and silver oxides in the ion exchange in the process of making luster layers.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

ارتباط و نقش مقدار وزنی اکسیدهای مس و نقره در ایجاد رنگ‌های لعاب زرین‌فام و زمینه، در شکل ۱۰a نشان داده‌شده است. بر این اساس، در تمام‌رنگ‌های لایه‌های زرین‌فام که شامل قرمز، قهوه‌ای تیره، قهوه‌ای روشن، سبز و زیتونی هستند دو عنصر اکسید مس و اکسید نقره وجود دارد و این دو عنصر، عامل اصلی ایجاد لایهٔ زرین‌فام و درخشندگی نمونه‌ها هستند؛ اما درصد وزنی این دو اکسید در رنگ‌های مختلف، با یکدیگر متفاوت است. مثلاً در رنگ سبز، بیشترین درصد وزنی مربوط به اکسید مس با بیش از ۲/۵ درصد وزنی است و در رنگ زیتونی، بیشترین درصد وزنی مربوط به نقره با بیش از ۳/۵ درصد است؛ اما در دو رنگ قهوه‌ای تیره و قهوه‌ای روشن، مقدار این دو اکسید در یک گسترهٔ نسبتاً محدودی تغییر می‌کند که می‌تواند نشان‌دهندهٔ تسلط و آگاهی کامل سفالگران در کنترل شرایط و دمای احیاء این دو اکسید باشد.

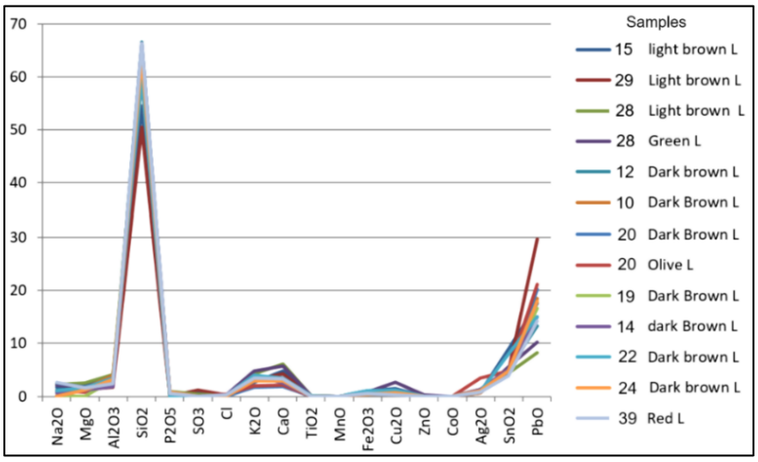
همچنین در شکل ۱۰b تغییرات درصد وزنی اکسید سیلیسیم برحسب درصد وزنی مجموع اکسید سرب و اکسید قلع در لعاب‌های زمینه و زرین‌فام نشان داده‌شده است. از اکسید سرب در این نوع از لعاب‌ها به‌عنوان گدازآور به‌منظور کاهش نقطهٔ ذوب لعاب استفاده شده و از اکسید قلع به‌عنوان مات‌کننده و عامل احیاکننده نیز استفاده‌شده است [55]. بر اساس شکل ۱۰b، نمونه‌ها در محدودهٔ دو خط تقریباً موازی قرارگرفته‌اند و همبستگی بسیار قوی میان درصد وزنی اکسید سیلیسیم و مجموع اکسید سرب و اکسید قلع در ترکیبات لعاب‌های زمینه و زرین‌فام مشاهده می‌شود؛ اما این رابطهٔ همبستگی به‌صورت معکوس بین مقدار اکسید سیلیسیم و مجموع اکسید سرب و اکسید قلع در تمام نمونه‌ها وجود دارد. به‌گونه‌ای که با افزایش مجموع اکسید سرب و اکسید قلع از میزان اکسید سیلیسیم در لعاب‌ها کاسته شده است. این دو نوع همبستگی می‌تواند نشان‌دهندهٔ وجود حداقل دو دستورالعمل و فرمولاسیون متفاوت در کارگاه‌های سفالگری کرمان در آن دوره باشد.

همچنین برای بررسی بیشتر نقش اکسید سرب و اکسید قلع در لعاب‌ها، تغییرات درصد وزنی اکسید سرب برحسب اکسید قلع برای لعاب‌های زمینه و زرین‌فام در شکل ۱۰c نشان داده‌شده است. با توجه به شکل ۱۰c به جزء سه نمونهٔ شمارهٔ ۱۵، ۲۲ و ۲۹ سایر نمونه‌ها بر اساس درصد وزنی اکسیدهای سرب و قلع در یک گروه طبقه‌بندی می‌شوند. اکسید سرب در این نمونه‌ها بین ۸ تا ۲۰ درصد و اکسید قلع بین ۳ تا ۶ درصد تغییر می‌کند. همچنین در نمونهٔ ۲۹، اکسید سرب بین ۲۵ تا ۳۰ درصد و اکسید قلع نیز بین ۴ تا ۶ درصد متغیر است. از طرفی در دو نمونهٔ ۱۵ و ۲۲، اکسید سرب بین ۱۰ تا ۲۰ درصد و اکسید قلع نیز بین ۷ تا ۹ درصد متغیر است.

علاوه بر این، برای بررسی فرایند جانشینی و تبادل یون‌های مس و نقره با یون‌های عناصر قلیایی مانند سدیم و پتاسیم در حین تشکیل لایهٔ زرین‌فام، در شکل ۱۰d تغییرات درصد وزنی مجموع اکسیدهای سدیم و پتاسیم برحسب درصد وزنی مجموع اکسیدهای مس و نقره رسم شده‌است. بر اساس این شکل، میزان مجموع دو اکسید سدیم و پتاسیم در اکثر لعاب‌های زمینه بین ۴ تا ۷ درصد و میزان مجموع دو اکسید مس و نقره کمتر از یک درصد تغییر می‌کند. از طرفی، مجموع میزان تغییرات برای دو اکسید سدیم و پتاسیم در لایهٔ زرین‌فام بین ۲ تا ۵ درصد و مجموع میزان اکسید مس و نقره در لایهٔ زرین‌فام در اکثر نمونه‌ها بین ۱ تا ۲/۵ درصد است. این بدین معنی است که در فرایند تشکیل لایهٔ زرین‌فام، یون‌های مس و نقره جانشین یون‌های سدیم و پتاسیم در لعاب زمینه شده‌اند. این فرایند سبب شده با وارد شدن دو اکسید مس و نقره در لایهٔ زرین‌فام از درصد وزنی دو اکسید سدیم و پتاسیم در لعاب زمینه کم شود و همبستگی معکوس بین مجموع این دو اکسید ایجاد شود.

ترکیب شیمیایی لعاب زرین‌فام در تمامی نمونه‌ها، مشابهت‌های تکنیکی خوب و بسیار مناسبی را از خود نشان می‌دهد. قسمت اصلی این ترکیبات شامل سیلیس و سرب است و قلع نیز از تغییرات نسبتاً فراوانی برخوردار است (در شکل ۱۰، تغییرات قلع نشان داده نشده است). در دو نمونهٔ ۲۴ و ۲۲ مقدار قلع بیشتر از بقیهٔ نمونه‌ها است و در این دو نمونه، شفافیت لعاب نیز بسیار بهتر است. بر پایهٔ این نمودار، میزان Cu_2O متغیر است و سبب

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]



شکل ۱۱: تغییرات ترکیب عنصری لعاب زرین‌فام در تمامی نمونه‌های موردمطالعه

Fig. 11: The changes of the elemental composition of the glaze in the analysed samples

ایجاد رنگ زیتونی در لعاب‌ها شده است. مقادیر نقره (Ag_2O) نیز در نمونهٔ ۲۰ کاملاً با درصد بالاتری مشهود است. مقادیر CaO و K_2O در لعاب‌ها هم به‌واسطهٔ ایجاد خصلت گدازآوری و همچنین ایجاد خصلت شبکه‌سازی در بافت سیلیسی نقش دارند؛ اما این دو ترکیب با تغییرات بسیار جزئی در لعاب مشاهده می‌شوند. این نتایج سبب شد که برای مطالعات میکروسکوپی از نمونه‌های شاخص مطالعاتی استفاده‌شود.

۵. بحث

مقایسهٔ نتایج آنالیز نمونه‌های قلعه دختر با نمونه‌های زرین‌فام منتسب به کاشان، ری، گرگان و تخت سلیمان، اطلاعات مفیدی را درباره منشأ تولید نمونه‌های قلعه دختر به‌دست می‌دهد. بر پایهٔ جدول ۵، مقایسه نوع و درصد و عناصر در نمونه‌های کاشان [12-11 و 7] و قلعه دختر کرمان، نشانگر وجود دستورالعمل متفاوت برای تهیهٔ ترکیبات لعاب در کاشان و قلعه دختر است. برای نمونه، وجود عنصر منیزیم به‌صورت MgO در لعاب زرین‌فام‌های قلعه دختر نشانگر منشأ دولومیتی آن است و بیانگر این موضوع است که معادن مورداستفاده برای ساخت این زرین‌فام‌ها ازلحاظ زمین‌شناسی، منطقه‌ای متامورفیکی بوده‌است. وجود تشکیلات اوفیولیتی و تشکیلات متامورفیکی در محدودهٔ استان کرمان بسیار شاخص است. بر پایهٔ مطالعات زمین‌شناسی در استان کرمان، منیزیم به‌ویژه در منطقهٔ جیرفت و محدودهٔ درّه آشین رخنمون دارد [49]؛ بنابراین، وجود منیزیم در لعاب زرین‌فام‌های قلعه دختر را می‌توان دلیلی برای تولید این کاشی‌ها در محدودهٔ استان کرمان دانست. البته اگرچه در زرین‌فام‌های منتسب به کاشان و ری نیز عنصر منیزیم دیده می‌شود، در نمونه‌های تخت سلیمان و گرگان، این عنصر وجود ندارد.

نتایج آنالیز نمونه‌های زرین‌فام منتسب به ری، کاشان و نیشابور نیز در پژوهش‌های پیشین منتشرشده است [11]. طیف‌های رنگی لایهٔ زرین‌فام در نمونه‌های زرین‌فام می‌توانند متفاوت باشند، اما بر پایهٔ نتایج اندازه‌گیری‌ها و همان‌گونه که در جدول ۴ نیز نشان داده‌شد، تنها حدود ۲ تا ۳ درصد وزنی لایهٔ زرین‌فام از این دو عنصر تشکیل می‌شود و بقیهٔ ترکیبات لایهٔ زرین‌فام با ترکیب عنصری لعاب زمینه مشترک است. از طرفی، با توجه به اینکه در سفال‌های زرین‌فام، ازنظر ظاهری غالباً رنگ لعاب زمینه، سفید یا کرم است و در برخی نمونه‌ها همواره با تزئینات آبی لاجوردی همراه است، بنابراین برای بررسی مادهٔ اولیه مورداستفاده می‌توان نمونه‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد. مقایسهٔ میانگین ترکیبات عنصری نمونه‌های زرین‌فام به‌دست‌آمده از ری، کاشان و نیشابور با نمونه‌های قلعه دختر نشان می‌دهد که عنصر فسفر تنها در نمونه‌های قلعه دختر وجود دارد. همچنین بررسی میانگین ترکیبات

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

جدول ۵: میانگین درصد وزنی عناصر موجود در لعاب نمونه‌های زرین‌فام قلعه دختر در مقایسه با میانگین درصد وزنی عناصر در نواحی دیگر
Table 5: Mean weight percent of elements present in luster glaze of tiles from Qal'eh-e-Dokhtar in comparison with other areas

	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Co	Ag	Sn	Pb
Qal'eh Dokhtar	1.57	3.01	61.70	0.11	0.203	3.46	3.39	0.06	0.012	0.607	0.55	0.013	0.024	0.484	5.24	16.67
Nishabur-Kashan[54]	2.50	2.65	70.62	0	1.6	1.79	2.24	0.05	0.02	0.43	0.57	0.01	0.3	0.81	4.68	18.72
Ray [7]	2.50	3.22	69.82	3.61	1.43	2.08	2.2	0.1	0.042	0.72	0.99	0.085	0.18	1.6	4.11	15.93
Gorgan [7]	0	0	72.47	0	1.72	2.25	3.56	0.07	0.04	0.62	0.68	0	0	0.46	5.62	15.12
Takht-e- Soleiman [7]	0	3.93	71.09	0	1.33	1.36	2.93	0.06	0.02	0.63	0.506	0	0.21	1.78	4.54	16.62

عنصری نمونه‌های قلعه دختر و نمونه‌های آنالیز شده دیگر از ایران، نشان می‌دهد که درصد برخی از عناصر مانند سیلیسیم در نمونه‌های قله دختر در مقایسه با نمونه‌های دیگر مناطق حدود دَه درصد کمتر است؛ اما میزان اکسید سرب و اکسید قلع در نمونه‌های قلعه دختر با نمونه‌های دیگر تقریباً یکسان است. با بررسی عناصر تشکیل‌دهندهٔ نمونه‌های دیگر و قلعه دختر می‌توان تفاوت‌های دیگری را نیز مشاهده کرد (جدول ۵). از طرف دیگر، مقایسهٔ نتایج آنالیز رنگ آبی در لعاب چهار نمونه از زرین‌فام‌های منسوب به گرگان [7] و آنالیز لعاب پنج نمونه از کاشی‌های زرین‌فام تخت سلیمان [7] با نتایج آنالیز نمونه‌های قلعه دختر نیز نشانگر وجود برخی عناصر در نمونه‌های قلعه دختر و عدم وجود آن عناصر در نمونه‌های گرگان و تخت سلیمان است و درصدهای متفاوتی از منیزیم، سولفید، روی و کبالت در این آنالیزها نشان داده شده‌اند.

افزون بر موارد فوق، در موضوع منشأ و پیشینهٔ کاشی‌های زرین‌فام قلعه دختر، به نظر می‌رسد این کاشی‌ها با تولیدات زرین‌فام جیرفت ارتباط داشته یا حاصل تداوم فعالیت هنرمندان جیرفت و بازماندگان آن‌ها در کرمان بوده‌اند. در کاوش‌ها و مطالعات باستان‌شناسی جیرفت، شواهدی از تولید «کاشی» زرین‌فام گزارش نشده است؛ اما بر پایهٔ داده‌های باستان‌شناسی و مطالعات آزمایشگاهی به روش پیکسی، شواهد تولید «سفال» زرین‌فام در جیرفت وجود دارد. کشف دورریزهای کوره‌های سفالگری در شهر قدیم جیرفت شامل یک نمونه بشقاب زرین‌فام با لعاب سوخته و تاول‌زده و یک قطعه سه‌پایهٔ سفالگری که روی آن قطرات لعاب زرین‌فام ریخته [9] و نتایج آنالیزهای عنصری به روش پیکسی [6, 8] نشانگر تولید سفالینه‌های زرین‌فام در جیرفت است.

مطالعات آزمایشگاهیِ هفت نمونه از بدنهٔ سفالینه‌های زرین‌فام جیرفت نشان می‌دهد که این سفال‌ها منشأیی متفاوت از زرین‌فام‌های نواحی مرکزی و شمال غربی ایران دارند و ویژگی خمیرهٔ آن‌ها متفاوت است [6, 8].

موضوع پژوهش حاضر کاشی‌های زرین‌فام اواسط سدهٔ هفتم هجری است، اما تولید سفال زرین‌فام در کارگاه‌های سفالگری جیرفت در سدهٔ ششم هجری [9] اهمیت زیادی در منشأیابی کاشی‌های زرین‌فام کرمان دارد. دوران عظمت و رونق شهر قدیم جیرفت، هم‌زمان با عصر سلجوقیان و تا نیمهٔ دوم سدهٔ ششم هجری بود؛ اما در پی درگیری‌های پس از مرگ طغرل و حملات بهرام شاه، ایبک دراز و غزها در اواخر سدهٔ ششم، جیرفت رو به انحطاط گذاشت [56]. در اوایل سدهٔ هفتم هجری، باقدرت‌گیری قراختائیان در کرمان، جیرفت دوباره آرامش نسبی یافت، اما هرگز مانند گذشتهٔ پرشکوه خود، رونق نیافت. چنان‌که مارکوپولو در اواسط سدهٔ هفتم هجری، جیرفت را «شهری ویران» توصیف کرده است [57]؛ بنابراین، به‌احتمال‌زیاد، پس از تولید سفال زرین‌فام در جیرفت در سدهٔ ششم هجری (عصر سلاجقه)، با وقوع شورش‌ها و ناآرامی‌ها، حجم تولیدات در جیرفت در سدهٔ هفتم هجری کاهش‌یافته است. چنین پیشینه‌ای در تولید سفال زرین‌فام در جیرفت، می‌تواند تغییر نوع محصول (از سفال به کاشی) و تداوم تکنیک لعاب دهی را از سدهٔ ششم به هفتم هجری و از جیرفت به کرمان نشان دهد؛ زیرا کرمان در سدهٔ هفتم هجری، تحت حکومت قراختائیان، توسعه و رونق فراوانی یافت [24] و حضور یک قطعه کاشی زرین‌فام قلعه دختر از تاریخ ۶۶۱ هجری، در مجموعه کاشی‌های قلعه دختر و تاریخ‌گذاری سایر کاشی‌ها به نیمهٔ سدهٔ هفتم هجری، نشانگر توسعهٔ استفاده از کاشی زرین‌فام در اواسط سدهٔ هفتم هجری در

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

شهر کرمان است. این تاریخ، همان زمانی است که به گفتهٔ مارکوپولو، جیرفت ویران‌شده بود؛ بنابراین، انتقال هنرمندانِ سازندهٔ زرین‌فام از جیرفت به کرمان در سدهٔ هفتم هجری، محتمل به نظر می‌رسد.

به‌بیان‌دیگر، بر پایهٔ مقایسه‌های بالا و با توجه به اینکه منابع و مواد اولیهٔ تولید کاشی‌های زرین‌فام قلعه دختر در خود ناحیهٔ کرمان به‌ویژه جیرفت و درّه آشین در اسفندقه بوده است، می‌توان چنین پنداشت که هنرمندان تولیدکنندهٔ کاشی زرین‌فام در کرمان در سدهٔ هفتم هجری، بازماندگان هنرمندانی بودند که در سدهٔ ششم هجری در جیرفت به تولید سفال زرین‌فام اشتغال داشته‌اند. به‌احتمال‌زیاد، این هنرمندان یا بازماندگان آن‌ها در پی آشوب‌ها و هرج‌ومرج‌های اواخر سدهٔ ششم هجری و استقرار آرامش نسبی در اوایل سدهٔ هفتم هجری (آغاز حکومت قراختائیان) در کرمان، به این شهر مهاجرت کردند. آن‌ها ضمن تأمین مواد اولیه از معادن غنی در کرمان و جیرفت، تولید کاشی‌های زرین‌فام را در کرمان ادامه داده‌اند.

٦. نتیجه‌گیری

کاشی‌های زرین‌فام یافت شده از قلعه دختر، مجموعه‌ای متعلق به سدهٔ هفتم هجری، هم‌زمان با حکومت قراختائیان در کرمان است که به‌احتمال‌زیاد، از بنای دیگری در شهر کرمان یا از بخش‌های دیگر قلعه دختر، به طبقه سوم راهروی تختگاه منتقل‌شده‌اند. بر پایهٔ مطالعهٔ اولیهٔ این کاشی‌ها و ویژگی‌های ظاهری آن‌ها، چنین به نظر می‌رسید که کاشی‌ها با نمونه‌های مناطق دیگر ایران مانند کاشان، ری، گرگان و تخت سلیمان همسان هستند و به‌احتمال‌زیاد، در چند مرکز، تولیدشده‌اند؛ زیرا اولاً رنگ لایه‌های زرین‌فام در آن‌ها طیف‌های مختلف قهوه‌ای روشن مایل به زیتونی، قهوه‌ای تیره و قهوه‌ای مایل به قرمز یا عنابی است و نقوش در برخی از آن‌ها پرکارتر و ظریف‌تر و در برخی دیگر ساده‌تر و خلوت‌تر است. ثانیاً برخی از اشعار روی این کاشی‌ها با نمونه‌های مناطق دیگر کاملاً همسان است؛ اما مطالعات آزمایشگاهی و میکروسکوپی نشان داد که خصوصیات شیمیایی و فیزیکی بدنهٔ این کاشی‌ها کاملاً با یکدیگر مشابه نیستند ولی اکثراً به‌عنوان ترکیبات آهک بالا طبقه‌بندی می‌شوند. با توجه به وجود معادن فراوان در استان کرمان به‌احتمال‌زیاد همهٔ مواد موردنیاز برای تولید این کاشی‌ها از معادنی مشخص و ثابت در نواحی کرمان تا جیرفت، به‌ویژه درّه آشین در اسفندقهٔ جیرفت استحصال‌شده‌اند. آنالیز لعاب نمونه‌ها نیز نشان داد که ترکیب عنصری و میکروسکوپی لعاب هر یازده کاشی تقریباً همسان است و طیف‌های رنگی لعاب‌ها به‌واسطهٔ وجود برخی یون‌ها مانند مس، کبالت، آهن، منیزیم، منگنز، کلسیم، سرب و قلع در شرایط پایداری یونی خاص خود پدید آمده‌اند. همچنین کلسیم و سرب و قلع در شبکه‌سازی و درخشندگی نقش داشته‌اند.

سپاسگزاری

نگارندگان از دکتر مجید منتظر ظهوری و دکتر مریم کلبادی‌نژاد برای مشاوره‌هایشان سپاسگزار هستند.

References

[1] Watson O. Persian Lustre Ware. Tr. Shokouh Zakeri. Tehran: Soroush; 2011. [in Persian].
[واتسون الیور. سفال زرین‌فام ایرانی. ترجمه شکوه ذاکری. چاپ دوم. تهران: سروش؛ ۱۳۹۰.]

[2] Towhidi F. Pottery Technique and Art. Tehran: SAMT; 2003. [in Persian].
[توحیدی فائق. فن و هنر سفالگری. تهران: سمت؛ ۱۳۸۲.]

[3] Lashkari A, Sharifiniya A, Mohajervatan S. A Study of Luster Tile Designs from Aveh in Ilkhanid Period. J Negareh 2015;32:38–54. [in Persian].
[لشکری، آرش شریفی‌نیا اکبر، مهاجر وطن سمیه. بررسی نقوش کاشی‌های زرین‌فام آوه از دورهٔ ایلخانان. فصلنامه علمی پژوهشی نگره ۱۳۹۳؛ ۳۲: ۳۹-۵۳.]

[4] Sedighian H, Hajnaseri P. The Lustre Ware during the Middle Islamic Period and its Production Centers in Iran. Islamic Archaeological Studies 2016;1:37-48. [in Persian].
[صدیقیان حسین، حاج ناصری پانته‌آ. سفال زرین‌فام

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

Tarbiat Modares University. [in Persian].
[ریاحیان رضا. نویافته‌های کاشی زرین‌فام قلعه دختر شهر کرمان. چکیده مقاله در: نخستین همایش دوسالانه بین‌المللی انجمن علمی باستان‌شناسی ایران؛ برهمکنش‌های فرهنگی، پیوست و گسست ۱۳۹۸. انجمن علمی باستان‌شناسی ایران و دانشگاه تربیت مدرس؛ آذر ۱۳۹۸. تهران: انتشارات آریارمنا.]

[11] Borgia I, Brunetti B, Giulivi A, et al. Characterisation of decorations on Iranian (10th–13th century) lusterware. Applied Physics A 2004; 79: 257-261. https://doi.org/10.1007/s00339-004-2519-z.

[12] Pradell T, Molera J, Smith AD, Tite MS. Early Islamic lustre from Egypt, Syria and Iran (10th to 13th century AD). Journal of Archaeological Science. 2008 Sep 1;35(9):2649-62.

[13] Ahmadi H., Salehi Kakhki A., Abed Esfahani A. Relationship between Color and Metallic Shine With the Size of Metal Nanoparticles in Luster Decorations. Journal of color Science and Technology 2017;11(1):69-77. [in Persian].
[احمدی حسین، صالحی کاخکی احمد، عابد اصفهانی عباس. رابطهٔ رنگ و درخشش فلزی با اندازهٔ نانو ذرات فلزی در تزئینات زرین‌فام. نشریه علوم و فناوری رنگ ۱۳۹۶؛ ۱۱: ۷۷-۶۹.]

[14] Abed Esfahani A., Hollakoei P. The Practical Observation of the Formation of Luster Decorations on Islamic Glazes. Islamic Art 2006;5:155-169. [in Persian].
[عابد اصفهانی عباس، هلاکویی پرویز. بررسی عملی تکنیک ایجاد تزیینات زرین‌فام بر روی لعاب‌های دوران اسلامی. مجله مطالعات هنر اسلامی ۱۳۸۵؛ ۵: ۱۶۹-۱۵۵.]

[15] Mohammadzadeh M., Mirshafiei S M. Persian نورافشان Glaze making based on Javaher Name-ye-Nezami. Honar-ha-ye Ziba 2015;20:59-66. http://doi: 10.22059/JFAVA.2015.55445 [in Persian].
[محمد زاده، مهدی، میر شفیعی سید محمد. ساخت لعاب زرین‌فام ایرانی بر اساس کتاب جواهر نامهٔ نظامی. نشریه هنرهای زیبا – هنرهای تجسمی ۱۳۹۴؛ دورهٔ ۲۰، شمارهٔ ۱: ۶۶-۵۹.]

[16] Pradell T, Molera J, Roque J, Vendrell-Saz M, Smith AD, Pantos E, Crespo D. Ionic-exchange mechanism in the formation of medieval luster decorations. Journal of the

قرون میانی اسلامی و مراکز تولیدی آن در ایران. مطالعات باستان‌شناسی دوران اسلامی ۱۳۹۵؛ ۱: ۳۷-۴۷.]

[5] Kiyani M, Karimi F. Pottery during the Islamic Period in Iran. Tehran: the Center of Archaeology of Iran; 1985. [in Persian].
[کیانی محمد یوسف، کریمی، فاطمه. هنر سفالگری دورهٔ اسلامی ایران. تهران: مرکز باستان‌شناسی ایران؛ ۱۳۶۴.]

[6] Mohsenian M. The Study of Lusterware Ceramics of Iran from 12th – 13th centuries CE by the Instrumental Analysis methods [unpublished dissertation]. Tehran: Tarbiat Modares Univerity; 2004. [in Persian].
[محسنیان محمد. بررسی سفالینه‌های زرین‌فام قرون شش و هفت هجری ایران به کمک روش‌های تجزیهٔ دستگاهی [منتشرنشده]. پایان‌نامه دورهٔ کارشناسی ارشد باستان‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس: دانشکده علوم انسانی. ۱۳۸۳.]

[7] Neyestani J, Roohfar Z. Production of Luster Glaze in Iran; Based on the Historical Studies and Laboratory Research. Tehran; Armanshahr; 2010. [in Persian].
[نیستانی جواد، روح‌فر زهره. ساخت لعاب زرین‌فام در ایران بر اساس مطالعات تاریخی و پژوهش‌های آزمایشگاهی. تهران: آرمان‌شهر؛ ۱۳۸۹.]

[8] Agha-Aligol D, Oliaiy P, Mohsenian M., Lamehi-Rachti M., Shokouhi F. Provenance Study of Ancient Iranian Luster Pottery Using PIXE Multivariate Statistical Analysis. Journal of Cultural Heritage 2009;10:487-492. https://doi.org/10.1016/j.culher.2009.01.003.

[9] Choubak H. Islamic pottery of ancient city of Jiroft. Journal of Archaeological Studies 2012;4(1);83-112. https://doi.org/10.22059/jarcs.2012.35377. [in Persian].
[چوبک حمیده. سفالینه‌های دوران اسلامی شهر کهن جیرفت. مطالعات باستان‌شناسی ۱۳۹۱؛ ۴ (۱): ۱۱۲-۸۳.]

[10] Riahiyan R. The Newly Discovered Tiles from Qal'eh Dokhtar, Kerman. Paper presented at: 1st Beinnial International Conference of the Society of Iranian Archaeology: Cultural Interactions, Continuity and Disruption; 2019; Tehran,

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

[25] Bastani Parizi M E. Tarikh-e Shahi Qarakitaee. Tehran: the institute of the Culture of Iran; 1976. [in Persain].
[باستانی پاریزی محمدابراهیم (مصحح). تاریخ شاهی قراختایی. تهران: بنیاد فرهنگ ایران؛ ۲۵۳۵.]

[26] Ziyaee A. the Cultural Heritage of Qarakhitaee in Kerman. J Iranian studies 2016;5(10):127-160. [in Persian].
[ضیایی سید عباس. میراث فرهنگی قراختائیان کرمان دانشگاه ۷۵۰ سالهٔ ترکان خاتون. مجله مطالعات ایرانی ۱۳۸۵؛ ۵ (۱۰): ۱۶۰–۱۲۷.]

[27] Islampanah M H. the History of the Inscription on the Qobbeh-e Sabz in Kerman. J Yaghma 1991:400-405. [in Persian].
[اسلام‌پناه محمدحسین. تاریخ کتیبه قبّه سبز کرمان. مجله یغما. یادنامه یغما ۱۳۷۰: ۴۰۵–۴۰۰.]

[28] Sykes P M. Ten thousand Miles in Iran. Tr. Sa'adat Nouri H. Tehran: Ibn-e Sina; 1957. [in Persian].
[سایکس سرپرسی. سفرنامه ژنرال سرپرسی سایکس یا ده هزار میل در ایران. ترجمه حسین سعادت نوری. چاپ دوم. تهران: کتابخانه ابن‌سینا؛ ۱۳۳۶.]

[29] Laleh H, Shojaee A, Hajialiloo S, Lorzadeh Z, Varahram L, Rafiee Alavi B. the Archaeological Survey of Kerman: the Qobbeh-e Sabz and the role of the Civil management during Qarakhitaee on the Development of Kerman. Paper presented in: 11th Annual Symposium on the Iranian Archaeology; 2013. Tehran. [in Persian].
[لاله هایده، شجاعی علی، حاجی علیلو سولماز، لرزاده زهرا، ورهرام لیلی، رفیعی علوی بابک. بررسی باستان شناختی کرمان: قبه سبز و نقش مدیریت عمرانی قراختاییان در توسعه و تحول شهر کرمان. مقاله ارائه شده در: یازدهمین گردهمایی سالانه باستان‌شناسی ایران. تهران؛ ۲۵–۲۸ آبان. ۱۳۹۱.]

[30] Afzal-al-Din Kermani. Badaye al-Azman fi Vaqaye Kerman. Compiled by Mahdi Bayani. Tehran: University of Tehran; 1947. [in Persian].
[افضل‌الدین کرمانی ابوحامد احمد بن حامد. بدایع الازمان فی وقایع کرمان. به کوشش دکتر مهدی بیانی. تهران: دانشگاه تهران؛ ۱۳۲۶.]

[31] Riyahian R. Sonding for Delimitation of the Qal'eh Ardeshir and Qal'eh Dokhtar in Kerman. The Archives of the Administration of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism of Kerman;

American Ceramic Society. 2005 May;88(5):1281-9.

[17] Pradell T. Lustre and nanostructures—ancient technologies revisited. InNanoscience and Cultural Heritage 2016 (pp. 3-39). Atlantis Press, Paris.

[18] Mousavi Haji R, Ataee M, Askari Vashareh M. Survey the Meaning and Form of Persian Poetic Inscriptions on Potteries of Timurid and Safavid Era. J Negareh 2015;36:18–37. [in Persian].
[موسوی حاجی سید رسول، عطایی مرتضی، عسکری و شاره مریم. بررسی محتوایی و شکلی کتیبه‌های منظوم فارسی در سفالینه‌های دوران تیموری و صفوی، فصلنامه نگره ۱۳۹۴؛ ۳۶: ۳۷–۱۸.]

[19] Gouchani A. The Persian Poems on the Tiles of Takht-e Soleyman. Tehran: The Institute of University Publication; 1992. [in Persian].
[قوچانی عبدالله. اشعار فارسی کاشی‌های تخت سلیمان. تهران: مرکز نشر دانشگاهی؛ ۱۳۷۱.]

[20] Shahnameh of Ferdowsi. printed in Moskow: knowledge publication. Eastern litareture branch; 1970. [in Persian].
[شاهنامه فردوسی. چاپ مسکو. جلد هشتم. تصحیح متن به اهتمام رستم علی‌اف. زیر نظر ع. آذر. انتشارات دانش شعبه ادبیات خاور: ۱۹۷۰.]

[21] Dabirsiyaghi M. Retrieved treasure. Tehran: Khayyam; 1955. [in Persian].
[دبیر سیاقی محمد (گردآورنده). گنج بازیافته (بخش نخست). تهران: کتابخانه خیام؛ ۱۳۳۴.]

[22] Zahir al-Din. Diwan-e Zahir al-Din. Mashahd: Toos; 1958. [in Persian].
[ظهیرالدین فاریابی. دیوان ظهیر فاریابی. به کوشش محمدتقی بینش. مشهد: چاپخانه طوس؛ ۱۳۳۷.]

[23] Khabisi M E. Seljuqs and Oghuz in Kerman. Ed. M. E. Bastani Parizi. Tehran: Kourosh; 1994. [in Persian].
[خبیصی محمد ابن ابراهیم. سلجوقیان و غز در کرمان. مقدمه و تصحیح محمدابراهیم باستانی پاریزی. تهران: کوروش؛ ۱۳۷۳.]

[24] Monshi Kermani N. Samat-al-Ola Lelhazrat-al-Olia, Edited by Mohammad Qazvini and Abbas Eqbal Ashtiani. Tehran: book printing corporation company; 1949. [in Persian].
[منشی کرمانی ناصرالدین. سمط العلی للحضره العلیا. زیرنظر محمد قزوینی. به تصحیح عباس اقبال آشتیانی. تهران: شرکت سهامی طبع کتاب؛ ۱۳۲۸.]

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

2019 (Unpublished report) [in Persian].
[ریاحیان رضا. گزارش گمانه‌زنی به منظور تدقیق و بازنگری عرصه و حریم قلعه اردشیر و دختر شهر کرمان. بایگانی اداره کل میراث فرهنگی استان کرمان؛ ۱۳۹۸ (گزارش منتشر نشده).]

[32] Choubak H. Alamut Castle (Eagle's Nest): Hassan Sabbah Stronghold. The International Journal of Humanities. 2009 May 10;16(2):1-28.

[33] Siroux M. the Ancient Roads of Isfahan and the midway Buildings. Tr. Mashayekhi M. Tehran: National Antiquities Preservation Organization; 1978. [in Persian].
[سیرو ماکسیم. راه‌های باستانی ناحیه اصفهان و بناهای وابسته به آن‌ها. ترجمه مهدی مشایخی. تهران: سازمان ملی حفاظت آثار باستانی؛ ۱۳۵۷.]

[34] Henderson J. The raw materials of early glass production. Oxford Journal of Archaeology. 1985 Nov;4(3):267-91.

[35] Agha-Aligol D, Khosravi F, Lamehi-Rachti M, Baghizadeh A, Oliaiy P, Shokouhi F. Analysis of 18th–19th century's historical samples of Iranian ink and paper belonging to the Qajar dynasty. Applied Physics A. 2007 Nov 1;89(3):799.

[36] Agha-Aligol D, Jafarizadeh M, Moradi M. Micro-PIXE: A Powerful Technique in Measurement and Determination of Raw Materials of Glass Artifacts of Parthian Period from Shaur (Susa), Journal of Reasearch on Archaeometry, 2018;4(1):47-65. Doi: 10.29252/jra.4.1.47 [in Persian].
[آقاعلی‌گل داوود، جعفری‌زاده مسلم، مرادی محمود، میکروپیکسی: روشی توانمند در بررسی و تعیین مواد اولیه مصنوعات شیشه‌ای دوره اشکانی کاخ شائور (شوش)، پژوهه باستان‌سنجی، ۱۳۹۷؛ ۴(۱): ۴۷-۶۵.]

[37] Campbell J L, Boyd N I, Grassi N, Bonnick P, Maxwell J A. The Guelph PIXE software package IV. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B 2010:268:3356-3363. https://doi.org/10.1016/j.nimb.2010.07.012.

[38] Vicenzi EP, Eggins S, Logan A, Wysoczanski R. Microbeam characterization of corning archeological reference glasses: new additions to the smithsonian microbeam standard collection. Journal of Research of the National Institute of Standards and technology. 2002 Nov;107(6):719.

[39] Pradell T, Molera J, Molina G, Tite MS. Analysis of Syrian lustre pottery (12th–14th centuries AD). Applied clay science. 2013 Sep 1;82:106-12.

[40] Maniatis Y, Simopoulos A, Kostikas A, Perdikatsis V. Effect of reducing atmosphere on minerals and iron oxides developed in fired clays: the role of Ca. Journal of the American ceramic Society. 1983 Nov;66(11):773-81.

[41] Maniatis Y, Tite M S. Technological examination of Neolithic-Bronze Age pottery from central and southeast Europe and from the Near East, Journal of Archaeological Science 1981;8(1):59-76.

[42] Emami SM, Volkmar J, Trettin R. Quantitative characterisation of damage mechanisms in ancient ceramics by quantitative X-ray powder diffraction, polarisation microscopy, confocal laser scanning microscopy and non-contact mode atomic force microscopy. Surface Engineering. 2008 Mar 1;24(2):129-37.

[43] Hidaka M, Takeuchi K, Wijesundera RP, Kumara LS, Sugihara S, Momoshima N, Kubuki S, Sung NE. Structural and electronic properties of iron oxides in the celadon glazes (II)(Propriedades estruturais e eletrônicas de óxidos de ferro em esmaltes celadon (II)). Cerâmica. 2012;58:534-41.

[44] Cheng HS, Zhang ZQ, Xia HN, Jiang JC, Yang FJ. Non-destructive analysis and appraisal of ancient Chinese porcelain by PIXE. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2002 May 1;190(1-4):488-91.

[45] González-García F, Romero-Acosta V, García-Ramos G, González-Rodríguez M. Firing transformations of mixtures of clays containing illite, kaolinite and calcium carbonate used by ornamental tile industries. Applied Clay Science. 1990 Dec 1;5(4):361-75.

[46] Pollard AM, Hatcher H. The chemical analysis of oriental ceramic body compositions: Part 2—greenwares. Journal of Archaeological Science. 1986 May 1;13(3):261-87.

[47] Singh M, Kumar S V. Multi-analytical characterization of XVII century Mughal

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]

glaze tiles from northern India. International Journal of Conservation Science 2017;8:389-400.

[48] Matin M. Tin-based opacifiers in archaeological glass and ceramic glazes: a review and new perspectives. Archaeological and Anthropological Sciences 2018;11:1155- 1167. https://doi.org/10.1007/s12520-018-0735-2.

[49] Matin M, Tite M, Watson O. On the origins of tin-opacified ceramic glazes: New evidence from early Islamic Egypt, the Levant, Mesopotamia, Iran, and Central Asia. Journal of Archaeological Science. 2018 Sep 1;97:42-66.

[50] Emami M, Razani M, Soleimani NA, Madjidzadeh Y. New insights into the characterization and provenance of chlorite objects from the Jiroft civilization in Iran. Journal of Archaeological Science: Reports. 2017 Dec 1;16:194-204.

[51] Lin DF, Luo HL, Luo HL, Sheen YN. Glazed tiles manufactured from incinerated sewage sludge ash and clay. Journal of the Air & Waste Management Association. 2005 Feb 1;55(2):163-72.

[42] Swann CP, McGovern PE, Fleming SJ. Colorants used in ancient Egyptian glassmaking: Specialized studies using PIXE spectrometry. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 1990 Jan 2;45(1-4):311-4.

[53] Freestone IC. Composition and microstructure of early opaque red glass. Early vitreous materials. 1987;56:173-91.

[54] Mason RB. Shine like the sun: lustre-painted and associated pottery from the medieval Middle East. Mazda Pub; 2004.

[55] Pradell T, Fernandes R, Molina G, Smith AD, Molera J, Climent-Font A, Tite MS. Technology of production of Syrian lustre (11th to 13th century). Journal of the European Ceramic Society. 2018 Jul 1;38(7):2716-27.

[56] Amirhajloo S. Explanation of the Role of Ecological Variables in Life of Islamic City of Jiroft. Pazhoheshha-ye Bastan shenasi Iran 2015;7:173-192. [in Persian].
[امیرحاجلو سعید. تبیین نقش متغیرهای بـوم‌شناسـی در حیات شهر اسلامی جیرفت، پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران ۱۳۹۳؛ ۷: ۱۷۵-۱۹۴.]

[57] Marko Polo. The Travels of Marco Polo the Venetian. London: Published by J. M. Dent Sons; 1914.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-12]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.4.0]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.1]