



Chemical Composition of Glass Bracelets Excavated at the Coastal Site of Old Bandar Kong and the Hinterland Site of Shamd-e Dideban

Davoud Agha-Aligol ^{1*}, Kazem Omidi ², Tayebe Rahimi², Mahmoud Moradi ¹

¹. Expert, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Physics and Accelerators
Research School, Van de Graaff Laboratory, Tehran, IRAN.

². PhD in Archaeology, Department of Archaeology, Faculty of Humanities, University of
Tehran, Tehran, IRAN.

Received: 07/10/2022

Accepted: 22/01/2023

Abstract

In this study, a sample of 39 excavated glass pieces from the archaeological sites of Bandar Kong and Shamd-e Dideban on the western part of the northern Persian Gulf littoral was analyzed by micro-PIXE. The sample consisted of 30 black bracelets, four vessels in green, blue, brown, and white colors, and five pieces of production wastes and unused raw materials. The main objective was to specify the manufacturing techniques, the type of glass and raw materials, and the colorant and decolorant agents of the glassware used at Bandar Kong and Shamd-e Dideban in the middle Islamic period. Moreover, the differences and similarities of glass compositions between these two sites were examined through elemental analysis. The results of this study showed that all the analyzed glasses from the two sites are of the plant ash silica-soda-lime type. Furthermore, the results of elemental composition` indicated the use of different fluxes in the vessels and bracelets. Moreover, the elemental analysis showed a marked difference between the silica raw materials used in the bracelets at the two sites, evincing that they were procured from different impure sand resources.

Keywords: Glass Bracelets, Micro-PIXE, Persian Gulf, Bandar Kong, Shamd-e Dideban.

*Corresponding Author: daghaaligol@aeoi.org.ir

Introduction

While black glass comprises merely a very small percentage of the entire archaeological glassware assemblages, it was favored in certain historical periods and its distribution shows that it was an applicable category within the archaeological assemblage [1,2]. Excavations at the archaeological sites in Hormozgan province on the northern Persian Gulf littoral have yielded an abundant of glass artifacts. A common category in the related assemblages are bracelets in black glass. The main objective of the present study is to evaluate the elemental composition of the glass pieces to pinpoint the raw materials used in manufacturing glass artifacts in the middle Islamic centuries on the coasts of the Persian Gulf. The main question is whether there is any evidence for the import of glassware and jewelry items like bracelets from the Mediterranean region or the Indian Ocean through the Persian Gulf.

Materials and Methods

A sample of 39 glass artifacts excavated at the sites of old Bandar Kong and Shamd-e Dideban on the western part of the northern Persian Gulf coasts was subjected to analysis by the Micro-PIXE technique. The study sample includes 30 black glass bracelets, 4 glass vessels in different colors, and 5 pieces of manufacturing wastes or remaining raw materials. The sample is divided between 16 instances from the historical site of Bandar Kong and 23 specimens from Shamd-e Dideban.

Micro-PIXE or "Particle Induced X-ray Emission in Micron-scale" was performed with a Van de Graaff accelerator. The analysis involved bombarding the specimens in a vacuum chamber using a high-energy proton beam in the range of 2-3MeV. During the interaction of the high-energy proton with the samples, the characteristic X-rays of the constituent elements are emitted from the specimens. Each element has a specific energy of X-rays, which can be used to identify the types of elements that are present. Also, the number of X-rays with specific energy is used to determine the concentration of the elements within the specimen [3]. The concentration of Na (sodium) to U(uranium) can be detected by the Micro-PIXE technique with an accuracy in the range of 50-500 ppm [4]. In the present study, the micro-PIXE analysis was performed with an Oxford Instruments microprobe system [5] using the 3 MV Van de Graaff accelerators in NSTRI in the Atomic Energy Organization of Iran. The samples were analyzed using a beam of 2.2MeV protons focused to a diameter less than 10 μm . The beam current was in the range of 30 to 50 pA. Characteristic X-rays were detected using a Si(Li) detector with an active area of 60 mm² positioned at an angle of 135° relative to the incident beam direction and with an energy resolution of 150 eV for Fe-K α . Samples were scanned over a maximum area of 2.5 mm \times 2.5 mm, and digitized signals were recorded in the list-mode using the OM-DAQ data acquisition system. Moreover, the spectra were processed using the GUPIXWIN package to obtain the elemental composition of the glass objects [6].

Results and Discussion

The micro-PIXE results show the presence of the following elements in all 39 glass pieces from the two site of old Bandar Kong and Shamd-e Dideban: sodium oxide (Na₂O), magnesium oxide (MgO), aluminum oxide (Al₂O₃), silicon oxide (SiO₂), phosphorus oxide (P₂O₅), sulfur oxide (SO₃), chlorine (Cl), potassium oxide (K₂O), calcium oxide (CaO), titanium oxide (TiO₂), manganese oxide (MnO), and iron oxide (Fe₂O₃). Chromium oxide (Cr₂O₃), copper oxide (Cu₂O) and strontium oxide (SrO) were also detected in a small number of the specimens. The constituent elements of the analyzed glasses are presented in Table 1.

As shown in Table1, the main constituents of Bandar Kong and Shamd-e Dideban glasses are SiO₂ in the range of 58.72-67.19wt.%, Na₂O in the range of 13.60-21.45wt.% and CaO in the range of 3.62-7.79wt.%. Therefore, it is safe to conclude that all the analyzed pieces from these two sites are silica-soda-lime glasses. On the other hand, as shown in Fig.1a, the amount of MgO varies between 2.40-4.94wt.%, and the concentration of K₂O varies between 1.66-6.54wt.%. Hence, it is clear that the ashes obtained from halophytic plants are considered as supplying source for sodium oxide in the manufacturing the glasses. Therefore, all the analyzed glasses were classified as the plant ash silica-soda-lime glass type [7]. Moreover, according to the variations of Na₂O versus K₂O, as shown in Fig. 1b, different plant ashes can be identified in the sample. As can be seen in the Fig. 1b, the variation of these two oxides are very useful in distinguishing not only between the analyzed glass vessels and glass bracelets but also between the glass bracelets from Bandar Kong and Shamd-e Dideban.

Table 1: The elemental composition of analyzed samples in weight percent (wt.%) and oxide form in Bandar Kong and Shamd-e Dideban (nd= not detected).

Sample code	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	Cu ₂ O	SrO
Kong-1	16.28	4.42	2.69	61.99	0.25	0.55	0.80	5.11	6.53	0.14	nd	nd	1.09	nd	nd
Kong-2	20.21	4.09	3.59	60.42	0.51	0.42	1.04	3.11	5.21	0.17	nd	0.03	1.11	nd	nd
Kong-3	19.67	3.07	2.88	59.69	0.58	0.75	0.94	5.31	5.67	0.18	nd	0.02	1.10	nd	0.13
Kong-4	14.50	2.40	2.57	67.91	nd	0.24	0.84	6.54	4.34	0.07	nd	0.02	0.50	nd	nd
Kong-5	21.45	3.07	3.12	59.74	0.41	0.82	1.15	4.36	4.65	0.16	nd	0.03	0.94	nd	nd
Kong-6	18.16	4.53	3.61	60.88	0.42	0.61	0.80	3.82	5.44	0.18	nd	0.04	1.44	nd	nd
Kong-7	19.11	3.55	3.28	61.55	0.50	0.44	1.04	3.20	5.95	0.19	0.03	0.02	1.08	nd	nd
Kong-8	17.22	4.29	3.41	59.00	0.45	0.49	0.68	5.72	6.94	0.19	0.02	0.04	1.35	nd	0.17
Kong-9	17.03	4.25	2.46	64.64	0.38	0.16	1.03	3.18	6.27	0.09	nd	0.02	0.37	nd	0.13
Kong-10	16.68	4.77	3.58	61.10	nd	0.33	0.66	4.17	7.01	0.22	nd	0.03	1.35	nd	nd
Kong-11	21.18	3.11	3.53	61.88	nd	0.10	1.27	2.52	4.95	0.19	0.02	0.03	1.18	nd	nd
Kong-12	15.10	2.59	2.72	67.75	0.40	0.32	0.93	4.96	4.59	0.07	nd	0.02	0.48	0.02	nd
Kong-13	18.53	3.80	2.84	61.80	nd	0.51	1.00	6.21	4.46	0.09	nd	0.03	0.64	nd	nd
Kong-14	1.82	6.37	7.27	42.25	0.91	0.20	nd	1.00	20.93	0.33	nd	0.05	18.52	nd	nd
Kong-15	19.60	3.35	2.54	62.40	0.46	0.61	1.07	5.14	4.02	0.09	nd	0.03	0.65	nd	nd
Kong-16	16.98	4.04	3.07	61.21	nd	0.34	1.01	5.83	6.15	0.18	nd	0.04	1.04	nd	0.10
Shamad-1	18.38	4.88	3.48	59.00	0.77	0.44	0.98	4.92	5.37	0.11	nd	0.03	0.70	nd	0.11
Shamad-2	17.71	4.76	2.77	59.87	0.64	0.42	0.96	5.31	5.25	0.09	0.08	0.03	0.75	nd	nd
Shamad-3	18.83	3.95	3.22	59.66	0.65	0.54	0.86	5.51	5.67	0.11	0.03	0.02	0.79	nd	nd
Shamad-4	16.17	3.56	1.62	67.81	1.10	0.30	0.81	1.76	5.74	nd	0.11	0.21	0.23	nd	nd
Shamad-5	20.73	4.68	3.36	58.72	0.84	0.77	0.91	4.13	4.67	0.12	nd	0.02	0.74	nd	nd
Shamad-6	14.84	2.99	3.47	66.71	0.71	0.31	0.81	5.99	3.62	0.03	nd	0.02	0.34	nd	nd
Shamad-7	17.30	4.11	4.10	61.36	0.66	0.36	1.01	4.83	4.87	0.08	0.03	0.03	0.71	nd	nd
Shamad-8	17.43	3.63	2.76	64.48	0.90	0.28	0.92	4.97	4.02	0.05	nd	0.02	0.34	0.04	nd
Shamad-9	18.41	4.42	3.70	60.82	0.81	0.66	0.87	3.94	4.97	0.17	nd	0.02	1.06	nd	nd
Shamad-10	17.25	4.58	3.04	61.36	0.63	0.42	0.92	5.86	4.91	0.07	0.02	0.02	0.67	nd	nd
Shamad-11	17.81	4.24	4.14	60.85	0.79	0.70	0.71	3.71	4.87	0.15	nd	0.02	1.66	nd	nd
Shamad-12	14.96	3.07	1.90	65.45	0.46	0.21	0.60	1.66	7.74	0.36	nd	1.90	1.09	nd	0.17
Shamad-13	17.63	3.68	2.58	63.24	nd	0.29	1.09	4.83	4.88	0.08	0.02	0.02	0.76	nd	nd
Shamad-14	17.66	3.87	3.07	61.19	nd	0.34	1.06	5.43	5.21	0.10	nd	0.04	0.74	nd	0.17
Shamad-15	16.98	4.26	2.77	62.34	nd	0.22	0.84	5.41	5.02	0.07	nd	0.03	0.66	nd	nd
Shamad-16	17.70	4.94	3.16	60.27	0.54	0.39	0.98	5.16	5.04	0.10	nd	0.03	0.63	nd	nd
Shamad-17	18.11	4.14	2.57	61.34	0.54	0.40	1.06	4.83	4.77	0.12	nd	0.02	0.75	nd	nd
Shamad-18	17.76	3.53	2.06	61.58	nd	0.30	1.09	5.66	4.66	0.08	nd	0.02	0.83	nd	nd
Shamad-19	19.60	3.15	1.68	62.71	0.39	0.70	1.12	5.25	4.50	0.11	nd	0.04	0.75	nd	nd
Shamad-20	17.37	3.83	2.88	63.67	0.70	0.45	0.89	3.83	4.69	0.09	nd	0.03	0.47	nd	nd
Shamad-21	13.83	3.74	3.39	66.57	0.77	0.18	0.62	6.05	3.77	0.10	nd	0.02	0.80	nd	nd
Shamad-22	13.60	2.60	1.90	66.06	0.34	0.12	0.57	2.50	7.79	0.27	0.03	2.27	1.61	0.08	0.17
Shamad-23	17.58	4.36	2.40	64.37	nd	nd	0.49	1.91	7.28	0.08	nd	0.26	1.15	nd	0.10

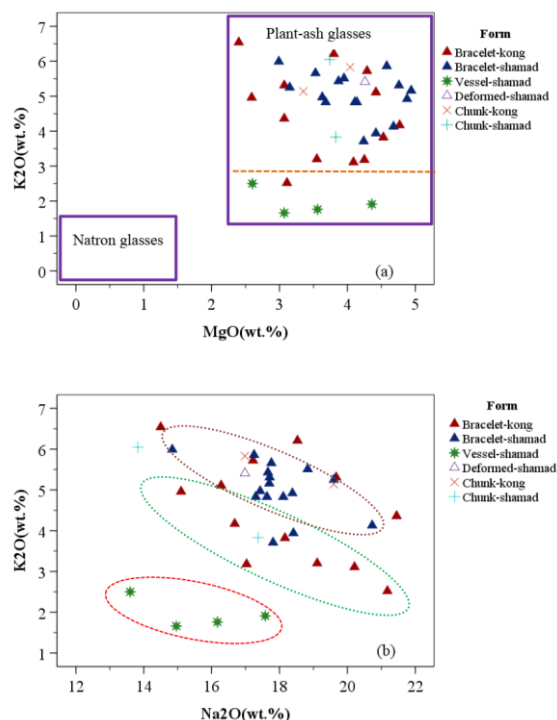


Fig. 1: Bi-scatter plot in wt.% of (a): MgO versus K_2O , (b): Na_2O versus K_2O , in analyzed sample from Bandar Kong and Shamd-e Dideban.

Conclusions

Based on the measurement of the elemental compositions of the analyzed glasses it can be concluded that the glasses recovered at the considered sites are of silica-soda-lime type. The source of its flux supply was the ash obtained from halophytic plants. Also, it is clear that in manufacturing the glass bracelets from these two sites different fluxes were used. On the basis of the impurities of silica raw materials and fluxes, the use of different sources of silica and soda in the bracelets of the two sites as well as the glass vessels from Shamd-e Dideban is clearly evident. Moreover, the chemical composition shows that iron oxide was unintentionally introduced into all glasses. The concentration of Fe_2O_3 is in the range which can originate from impurities in silica sources.

References

- [1] Cosyns P. The production, distribution and consumption of black glass in the Roman Empire during the 1st-5th century AD: An archaeological, archaeometric and historical approach: PHD thesis, Brussels, 2012.
- [2] Cagno S, Cosyns P, Izmer A, Vanhaecke F, Nys K, Janssens K. Deeply colored and black-appearing Roman glass: a continued research. *Journal of Archaeological Science*. 2014;42(Supplement C):128-39.
- [3] Sven A. E. Johansson JLC. PIXE: a novel technique for elemental analysis: Wiley; 1988.
- [4] Demortier G. Ion Beam Techniques for the Non-destructive Analysis of Archaeological Materials. In: Uda M, Demortier G, Nakai I, editors. *X-rays for Archaeology*. Dordrecht: Springer Netherlands; 2005. p. 67-100.
- [5] Grime GW, Watt F. Focusing protons and light ions to micron and submicron dimensions. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 1988;30(3):227-34.
- [6] Campbell JL, Boyd NI, Grassi N, Bonnicksen P, Maxwell JA. The Guelph PIXE software package IV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*. 2010;268(20):3356-63.
- [7] Sayre EV, Smith RW. Compositional Categories of Ancient Glass. *Science*. 1961;133(3467):1824-6.



شناسایی ترکیبات شیمیایی الگوهای شیشه‌ای به‌دست‌آمده از محوطه کرانه‌ای بندر کنگ قدیم و پَسکرانه‌ای شمد دیده‌بان

داود آقا علی‌گل^{۱*}، کاظم امیدی^۲، طیبه رحیمی^۲، محمود مرادی^۱

۱. پژوهشگر، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده فیزیک و شتابگرها، آزمایشگاه واندوگراف، تهران، ایران.
۲. دکتری باستان‌شناسی، گروه باستان‌شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۵

چکیده

در این طرح پژوهشی، ۳۹ نمونه از مصنوعات شیشه‌ای به‌دست‌آمده در محوطه‌های باستانی بندر کنگ قدیم و شمد دیده‌بان در ساحل بخش شمالی و پَسکرانه‌ای خلیج فارس که قدمت آن‌ها به قرون میانی و متأخر دوران اسلامی برمی‌گردد، برای مطالعه و اندازه‌گیری ترکیبات عنصری انتخاب شده‌اند. این مصنوعات شیشه‌ای شامل سی نمونه الگوی شیشه‌ای سیاه‌رنگ، چهار نمونه ظروف شیشه‌ای با رنگ‌های سبز، آبی، قهوه‌ای و سفید، و پنج نمونه نیز از پسماندها و باقیمانده مواد اولیه تولید شیشه است. هدف اساسی در این پژوهش شناسایی ترکیبات شیمیایی و بررسی مواد اولیه استفاده‌شده در ساخت الگوهای شیشه‌ای دو محوطه بندر کنگ و شمد دیده‌بان در سواحل خلیج فارس و میانه دوره اسلامی است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد تمام شیشه‌های آنالیزشده از این دو محوطه، در گروه شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک طبقه‌بندی می‌شوند و بر اساس درصد وزنی اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم اندازه‌گیری شده در این نمونه‌ها که بیشتر از ۲/۵ درصد است، در ساخت آن‌ها از خاکستر گیاهان به‌عنوان گداز‌آور و منبع اصلی تأمین سودا استفاده شده است. همچنین نتایج ترکیبات عنصری نشان می‌دهد که نوع گداز‌آور استفاده‌شده در ظروف آنالیزشده و الگوها با یکدیگر متفاوت است. از طرف دیگر، بررسی نتایج آنالیز عنصری نشان می‌دهد سیلیس استفاده‌شده در الگوهای دو محوطه نیز کاملاً با یکدیگر متفاوت است و از منابع متفاوتی تأمین شده‌اند.

واژگان کلیدی: الگوهای شیشه‌ای، میکروپیکسی، خلیج فارس، بندر کنگ، شمد دیده‌بان.

* نویسنده مسئول مکاتبات: تهران، انتهای خیابان کارگر شمالی، سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای
پست الکترونیکی: daghaaligol@acoj.org.ir

۱. مقدمه

بررسی پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه شیشه‌های تاریخی نشان می‌دهد که شیشه‌های سیاه استفاده‌شده در مصنوعات شیشه‌ای قدیمی، اگرچه تنها بخش بسیار کوچکی از کل تولیدات شیشه در دوران مختلف تاریخی و از جمله شیشه‌های رومی را شامل می‌شوند، در قرون اول تا پنجم پس از میلاد در سرتاسر امپراتوری روم، شیشه سیاه بسیار پُرطرفدار بوده است [1]. در آن دوران شیشه‌های سیاه در دو شکل ظروف شیشه‌ای و اشیای تزئینی تولید می‌شدند. تولید ظروف با شیشه‌های سیاه یا ظاهراً سیاه، در سراسر امپراتوری روم و به‌ویژه در نیمه غربی آن، اولین بار در بازه زمانی سی تا هشتاد پس از میلاد رونق داشته است [1,2]. ظهور مجدد ظروف شیشه‌ای سیاه‌رنگ، از سال ۱۷۰ تا ۲۳۰ پس از میلاد به صورت منطقه‌ای در برخی از قلمرو حکومت رومیان اتفاق افتاده است [3] و تا قرن چهارم پس از میلاد نیز در جنوب شرقی مدیترانه رواج داشته است [1]. اشیای تزئینی مانند الگو و مهره شیشه‌ای سیاه در کل دوره امپراتوری روم تولید می‌شده و تا اوایل دوران بیزانس نیز مشاهده شده است.

مطالعات باستان‌شناسی در محوطه‌های باستانی واقع در سواحل شمال خلیج فارس که در استان هرمزگان قرار دارند، نشان می‌دهد که طی بررسی‌های باستان‌شناسی تعداد قابل توجهی مصنوعات شیشه‌ای از این محوطه‌ها یافت شده است. از نظر ریخت‌شناسی و شکل ظاهری، شیشه‌های یافت‌شده غالباً شامل الگوهای شیشه‌ای و ظروف شیشه‌ای هستند. اما نکته قابل توجه در این یافته‌ها این است که، اگرچه ظروف شیشه‌ای یافت‌شده در این محوطه‌ها در رنگ‌های مختلفی ساخته شده‌اند، تعداد بسیاری از الگوهای یافته‌شده در این محوطه‌ها سیاه‌رنگ‌اند.

بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داده است که مواد تشکیل‌دهنده شیشه‌های تاریخی به چهار دسته عمده تقسیم می‌شوند [4]: ۱- مواد پایه یا شبکه‌ساز که ماده اصلی تمام اشیای شیشه‌ای سیلیکاتی است و یکی از مهم‌ترین این مواد اولیه، اکسید سیلیسیم است که برای

تهیه آن از شن، ماسه و یا رگه‌های خالص کوارتز استفاده می‌شده است. ۲- مواد گدازآور که باعث کاهش نقطه ذوب سیلیس می‌شود و یکی از مهم‌ترین گدازآورها، اکسید سدیم (سودا) است. ۳- مواد تثبیت‌کننده که به منظور افزایش استحکام بیشتر شیشه استفاده می‌شده است که کربنات کلسیم (آهک) از رایج‌ترین مواد تثبیت‌کننده بوده است. ۴- مواد رنگبر و رنگزا که به منظور خنثی کردن رنگ ناشی از ناخالصی‌های موجود در خمیره شیشه و یا ایجاد شیشه‌های رنگی مختلف از آن‌ها بهره می‌گرفته‌اند. مواد رنگبر شامل اکسید منگنز یا اکسید آنتیموان و یا ترکیب این دو بوده است. همچنین مواد رنگزا غالباً شامل اکسیدهای فلزی مانند اکسیدهای منگنز، آهن، مس و کبالت بوده‌اند که در حین ساخت به خمیره شیشه اضافه می‌شده‌اند.

با استفاده از مواد بالا شیشه‌گران طی دوران باستان و دوران تاریخی توانسته‌اند شیشه‌هایی با ترکیبات بسیار متنوع تولید کنند. با این حال، بررسی‌های آزمایشگاهی و آنالیز عنصری مصنوعات شیشه‌ای نشان می‌دهد شیشه‌های تاریخی به چهار گروه عمده تقسیم می‌شوند که هر یک از این گروه شیشه‌ها تقریباً در یک دوره زمانی مشخص و همچنین در یک جغرافیای خاص، تولیدشان رواج و رونق داشتند [5,6]. این طبقه‌بندی عبارت است از: ۱- شیشه‌هایی که درصد وزنی اکسید منیزیم بیشتر از ۲/۵ درصد وزنی است که با عنوان شیشه‌های ساخته‌شده از خاکستر گیاهان (plant-ash glasses) شناخته می‌شوند. ۲- شیشه‌هایی که درصد وزنی اکسید منیزیم در آن‌ها کمتر از ۱/۵ درصد وزنی است که به آن‌ها شیشه‌های ناترونی (natron glasses) گفته می‌شود. ۳- شیشه‌هایی که درصد وزنی سرب در آن‌ها بالاست که به آن‌ها شیشه‌های سربی گفته می‌شود. ۴- شیشه‌هایی که درصد وزنی اکسید پتاسیم در آن‌ها بالاست و به شیشه‌های پتاسی معروف‌اند و در تهیه گدازآور آن‌ها به جای استفاده از خاکستر گیاهان، از خاکستر درختان جنگلی استفاده شده است [4-6].

با توجه به فراوانی مصنوعات شیشه‌ای در محوطه‌های تاریخی سواحل خلیج فارس، در این پژوهش برای

آنالیز شده به شش گروه مختلف که همگی از نوع شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک ساخته شده از خاکستر گیاهی هستند، طبقه‌بندی شدند که سه گروه از این شیشه‌ها منشأ بین‌النهرینی داشتند، در حالی که سه گروه دیگر گمان می‌رود که با مواد اولیه تولید شده در ایران ساخته شده باشند. همچنین در بین اندک مطالعات انجام شده روی شیشه‌های ایران که در گذشته انجام شده است، غالب پژوهش‌های انجام شده روی شیشه‌های به‌دست‌آمده از نیشابور تمرکز داشته‌اند [8,9]. در مطالعات اخیر که داخل کشور در این زمینه انجام شده است، مجموعه‌ای از ظروف شیشه‌های تاریخ‌دار اوایل دوره اسلامی که در موزه ملی ایران نگهداری می‌شوند و از محوطه‌های مختلف در ایران به‌دست آمده‌اند، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند [10]. نتایج این آنالیزها نشان می‌دهد که شیشه‌های آنالیز شده غالباً از نوع شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک هستند که از خاکستر گیاهان به‌عنوان ماده‌گذار آور استفاده شده و تنها یک نمونه نیز از نوع شیشه‌های ناترونی که احتمالاً از حوزه مدیترانه وارد شده است، شناسایی شد. همچنین بررسی و مطالعه مصنوعات شیشه‌ای کاخ شاتور و آنالیز عنصری مهره‌ها و ظروف شیشه‌ای به‌دست‌آمده از محوطه صالح داود در شوش که دوره تاریخی این مصنوعات شیشه‌ای به دوره اشکانیان می‌رسد، نیز با هدف اندازه‌گیری ترکیبات عنصری و بررسی و تعیین نوع‌گذار آور به‌کاررفته در آن‌ها، انجام شده است [11,12]. آنالیز شیشه‌های به‌دست‌آمده از تپه صالح داود نشان می‌دهد که مهره‌های شیشه‌ای صالح داود از نوع شیشه‌های ناترونی بوده و از حوزه دریای مدیترانه به شوش وارد شده‌اند. اما ظروف شیشه‌ای کاخ شاتور و تپه صالح داود از مود اولیه محلی تولید شده‌اند و از نوع شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک هستند که ماده‌گذار آور استفاده شده در آن‌ها از خاکستر گیاهان به‌دست آمده است. علاوه بر این، آنالیز عنصری و اندازه‌گیری ترکیبات تشکیل‌دهنده شیشه‌های دوره اسلامی به‌دست‌آمده از مجموعه میراث جهانی تخت سلیمان و محوطه‌های باستانی اردبیل در شمال غربی ایران و همچنین مطالعه

نخستین بار، تعداد ۳۹ نمونه از مصنوعات شیشه‌ای به‌دست‌آمده در محوطه‌های تاریخی بندر کنگ قدیم و شمد دیده‌بان که شامل سی‌انگونی شیشه‌ای سیاه‌رنگ، چهار نمونه از ظروف شیشه‌ای با رنگ‌های سبز، سفید و قهوه‌ای و پنج نمونه نیز از پسماندهای ذوب شیشه که غالباً سیاه‌رنگ هستند، برای مطالعه و اندازه‌گیری ترکیبات عنصری انتخاب شده‌اند. یکی از اهداف اصلی در این پژوهش بررسی مواد اولیه استفاده شده در ساخت مصنوعات شیشه‌ای دوره میانه اسلامی در سواحل خلیج فارس است. با اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی نمونه‌های مورد بررسی به‌دنبال پاسخ به این پرسش‌ها هستیم که آیا ظروف و الگوهای به‌دست‌آمده در این محوطه‌ها با مواد اولیه یکسانی تولید شده‌اند؟ آیا شواهدی مبنی بر واردات ظروف و اشیای تزئینی شیشه‌ای از حوزه مدیترانه که از طریق خلیج فارس انجام شده باشد، می‌توان یافت؟ برای این منظور، در این پژوهش نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز این شیشه‌ها، با نمونه‌های آنالیز شده از مناطق مختلف در حوزه مدیترانه که یکی از مناطق اصلی تولید شیشه در دوران تاریخی بوده است، مقایسه شده است. همچنین بر اساس آنالیز عنصری و ترکیبات تشکیل‌دهنده نمونه‌های پسماند و دور ریز به‌دست‌آمده در بندر کنگ و شمد دیده‌بان، به‌دنبال یافتن پاسخ این پرسش هستیم که آیا نمونه‌های پسماند به‌دست‌آمده در این محوطه‌ها می‌توانند به‌عنوان شواهدی از فعالیت‌های شیشه‌گری و ساخت الگوهای شیشه‌ای در این محوطه‌ها محسوب شوند.

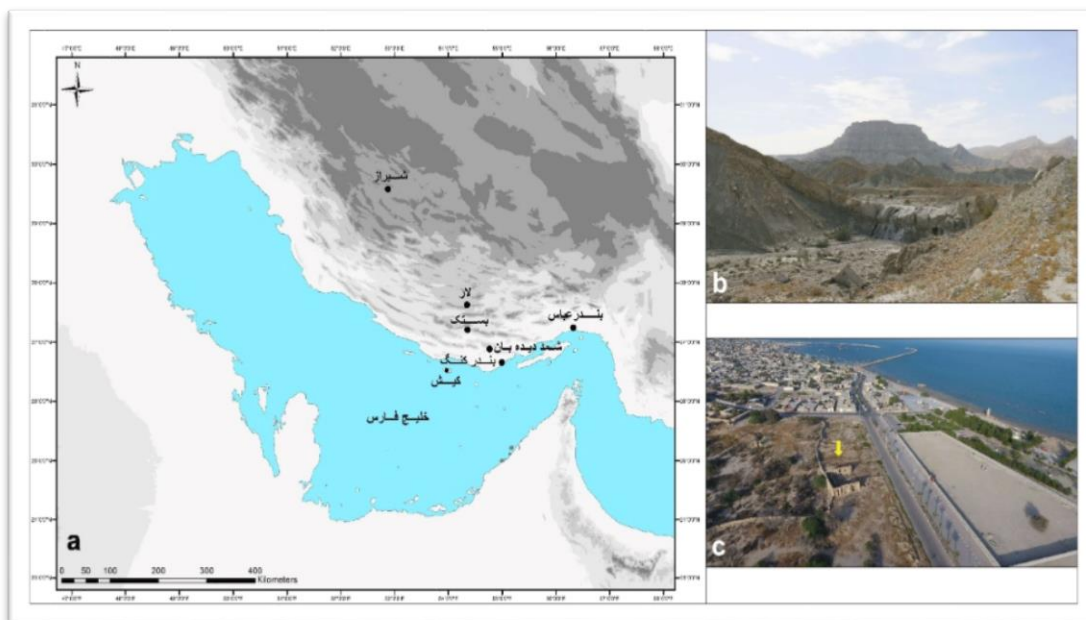
۲. پیشینه پژوهش

بررسی‌ها نشان می‌دهد که تاکنون مطالعات آزمایشگاهی بسیار محدودی روی مصنوعات شیشه‌ای به‌دست‌آمده در ایران انجام شده است. در جدیدترین پژوهش انجام شده روی شیشه‌های ایرانی که برای تعیین منشأ و پراکنش شیشه‌های اوایل دوران اسلامی انجام شده است، مجموعه‌ای متشکل از ۱۶۹ نمونه شیشه از پنج مکان مختلف که شامل همدان، ری، قم، گرگان و نیشابور است، با استفاده از روش ICP-MS آنالیز شده است [7]. بر اساس این پژوهش، شیشه‌های

۳. موقعیت جغرافیایی و پیشینه مطالعات باستان‌شناسی محوطه‌های بندر کنگ قدیم و شمد دیده‌بان

محوطه‌های کنگ قدیم و شمد دیده‌بان مطابق با تقسیمات امروزی هر دو در شهرستان بندر لنگه و در استان هرمزگان قرار دارند. همان‌طور که در شکل ۱ قابل مشاهده است، محوطه بندر کنگ قدیم با مختصات N: ۲۶,۳۵,۱۷ و E: ۵۴,۵۶,۰۱ محوطه شمد دیده‌بان با مختصات N: ۲۶,۵۳,۲۲ و E: ۵۴,۴۷,۰۱ در ۵۵ کیلومتری از سواحل خلیج فارس و در منطقه‌ای کوهستانی مابین مسیر ارتباطی بندر لنگه به لار قرار دارد.

شیشه‌های ساسانی محوطه گنبد جهانگیر و (تپه) گوریه در استان ایلام با استفاده از روش میکروویکسی در راستای اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی و بررسی منشاء تولید این اشیاء انجام شده است [13,14]. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که از محوطه‌های تاریخی سواحل خلیج فارس، تاکنون تنها مجموعه‌ای از شیشه‌های دوره اسلامی به دست آمده از بندر سیراف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [15]. بنابراین، پژوهش حاضر می‌تواند به تکمیل مطالعه آزمایشگاهی شیشه‌های به دست آمده در جنوب ایران و به‌ویژه محوطه‌های تاریخی واقع در سواحل خلیج فارس کمک قابل توجهی نماید.



شکل ۱: (a) موقعیت جغرافیایی محوطه‌های بندر کنگ قدیم و شمد دیده‌بان در حوزه خلیج فارس، (b) نمایی از محوطه شمد دیده‌بان (c) نمایی از بندر کنگ قدیم

Fig. 1: (a) A map of Iran showing the geographical location of Bandar Kong and Shamd-e-Dideban archaeological sites, (b) a view of Shamad-e Dideban, (c) a view of old Bandar Kong.

محوطه کنگ قدیم که در مجاورت بندر کنگ فعلی قرار دارد، بنا به شواهد تاریخی، قدمت آن به اواسط دوره صفویه برمی‌گردد. این بندر با توافق دولت صفویه با پرتغالی‌های اخراج‌شده از هرمز، برای تأسیس یک دفتر تجاری شکل گرفت. بندر کنگ بنا به دلایلی از قبیل فاصله نزدیک با بندر عباسی و امکان مبادله کالا در این بندر با مناطق پسرانهای

همان‌طور که در نقشه فوق قابل مشاهده است، محوطه کنگ قدیم در مجاورت ساحل و در محیطی هموار واقع است. اما محوطه شمد دیده‌بان در یک محیط کوهستانی و روی یک تراس طبیعی استوانه‌ای شکل با بستر صخره‌ای قرار گرفته است که حدود هفتصد متر از سطح دریا و ۳۵۰ متر از محیط اطراف ارتفاع دارد.

سال ۱۳۹۶، با هدف مطالعه محوطه‌های لشتان و شمد دیده‌بان و چند محوطه دیگر در شهرستان بستک، با صدور مجوز از سوی پژوهشکده باستان‌شناسی و با هماهنگی اداره کل استان هرمزگان، مطالعه باستان‌شناسی محوطه کنگ قدیم یک‌بار دیگر به ثمر رسید و این محوطه نیز مورد بازدید و بررسی قرار گرفت [19]. محوطه شمد دیده‌بان نیز نخستین بار توسط کاظم امیدی در سال ۱۳۹۶ مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است و در این بررسی‌ها این محوطه شناسایی و پرونده ثبتی آن تهیه شده است.

تراکم بالای یافته‌های فرهنگی به دست آمده از این دو محوطه، نقش مهمی در ارائه گاه‌نگاری آن دارد. با توجه به اینکه بیشترین یافته‌های این دو محوطه از نظر تعداد و تنوع مربوط به قطعات سفالی هستند و طی مطالعات انجام گرفته، گونه‌های سفالی متعددی از این محوطه‌ها شناسایی شده است. قطعات سفالی این محوطه‌ها از نظر ریخت‌شناسی و فرم ظاهری به لحاظ محل تولید در سه گروه تولیدات بومی در منطقه خلیج فارس، وارداتی از بخش‌های پسران‌های و وارداتی از حوزه چین و جنوب شرق آسیا قابل طبقه‌بندی هستند. بر اساس شکل ظاهری و فرم سفالینه‌ها، قدمت یافته‌های سفالی محوطه کنگ قدیم به دوره صفویه و از این تاریخ به بعد را گواهی می‌دهد. نمونه‌های به دست آمده از شمد دیده‌بان نیز بر دو دوره‌ای بودن آن دلالت دارند: مرحله نخست، قرون میانی دوران اسلامی و مرحله دوم، هم‌زمان با حضور شیخ محمد بستکی بعد از فروپاشی دولت صفویه. قطعات و اشیای شیشه‌ای از نظر فراوانی یکی دیگر از مواد فرهنگی و باستان‌شناسی بودند که در کاوش‌های بندر کنگ و شمد دیده‌بان به دست آمده است. با توجه به مطالعات تطبیقی با سفال‌ها و دیگر اشیاء و مواد فرهنگی به دست آمده در این دو محوطه که همگی مربوط به دوره میانی و متأخر اسلامی هستند، قطعات شیشه‌ای این محوطه‌ها نیز با اطمینان مربوط به این دوره‌ها هستند.

۴. مواد و روش انجام کار

۴-۱. مشخصات نمونه‌های مطالعه شده

در این کار پژوهشی، ۳۹ نمونه از مصنوعات شیشه‌ای تاریخی شامل سی نمونه از دستبند/ انگوی شیشه‌ای،

و همچنین موقعیت ایستگاهی آن برای عبور و مرور کشتی‌ها به سمت بصره بوده است [16]. این بندر به عنوان پایگاه شراکتی دولت صفویه و پرتغالی‌ها از تاریخ ۱۰۴۰ ه.ق تا ۱۱۳۵ ه.ق مورد بهره‌برداری قرار گرفته است و به عنوان بندر فعال در منطقه خلیج فارس نقش آفرین بوده است. اما پس از اینکه دولت صفوی از صحنه قدرت کنار گذاشته شد و همچنین خروج پرتغالی‌ها از منطقه خلیج فارس، رونق و پویایی خود را از دست داده است.

محوطه شمد دیده‌بان، نخستین بار در کتاب فارسنامه ناصری از آن به نام قلعه دیده‌بان یاد شده است [17]. در وجه تسمیه شمد دیده‌بان گفته شده است که، زمانی که شیخ محمدخان بستکی در دوره افشاریه و زندیه در آنجا مستقر می‌شود، نام آن با نام شیخ محمدخان همراه می‌گردد. امروزه این قلعه در گویش محلی به شکل «کله شمد دیده بان» ایراد می‌شود و شمد کوتاه شده نام شیخ محمد است. بررسی باستان‌شناسی این قلعه نشان می‌دهد که طی دو دوره استقرار در قرون میانی و متأخر دوران اسلامی مورد استفاده قرار گرفته است. بنا به نظر پژوهشگران تحولات عمده‌ای که در نیمه دوم قرن چهارم و نیمه اول قرن پنجم ه.ق در جهان اسلام به وجود آمد، موجب ایجاد تغییرات وسیعی در جغرافیای سیاسی خلیج فارس شد. اساسی‌ترین تغییر در این دوره ناامن شدن مسیرهای پشت ساحل در ایالات فارس، کرمان، خوزستان و دریای عمان بود. به عبارتی ناامن شدن راه‌ها و عدم ثبات سیاسی در خشکی موجب شد تا زمینه مناسبی برای جابه‌جایی تجارت و سرمایه‌های آنان به بخش‌های دیگر فراهم شود. این اتفاق با جابه‌جایی مرکز تجارت از سیراف به کیش همراه بوده است [16]. از طرفی، همگام با این جابه‌جایی، جاده‌های میانی ایالت فارس که به سواحل روبه‌روی جزیره کیش منتهی می‌شد، رونق گرفت. شواهد باستان‌شناسی نشان می‌دهد که این مسیر موجب رشد و ترقی و به وجود آمدن محوطه‌هایی شده است که حیات آن‌ها وابسته به حیات اقتصادی این مسیرهای تجاری بوده است [16].

در سال‌های گذشته، محوطه کنگ قدیم توسط داود آبیان مورد بررسی باستان‌شناسی قرار گرفته است و تاریخ قرون متأخر دوران اسلامی برای آن پیشنهاد شده است [18]. در

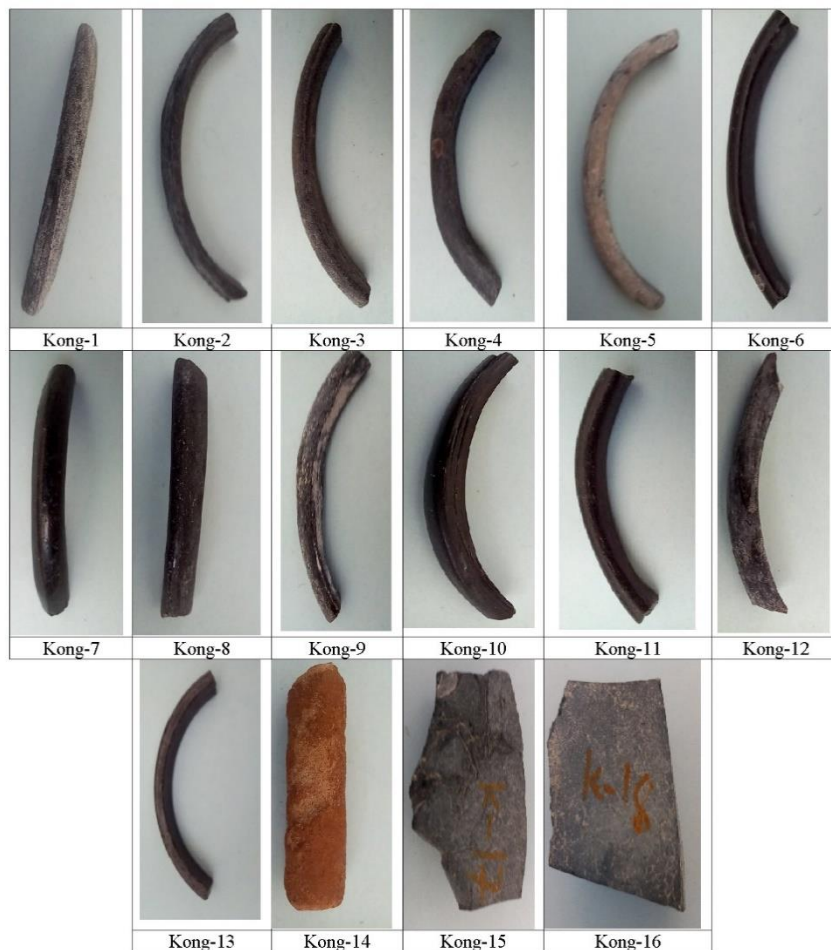
نظر شکل ظاهری الگوها و ظروف آنالیز شده بدون تزئین سطحی هستند. همچنین نمونه‌های دور ریز نیز دارای شکل نامشخص هستند و علت اصلی انتخاب نمونه‌های پسماند و دور ریز این است که این نمونه‌های پسماند شیشه‌ای می‌توانند شواهد قوی مبنی بر ارتباط این قطعات با فرآیند ذوب شیشه در این محوطه‌ها را فراهم کنند. همچنین رنگ این پسماندهای شیشه‌ای با رنگ نمونه‌های آنالیز شده یکسان هستند.

چهار نمونه ظروف شیشه‌ای و پنج نمونه نیز از مواد پسماند فرایندهای شیشه‌گری آنالیز و مورد مطالعه قرار گرفته است. در نمونه‌های آنالیز شده، شانزده نمونه از محوطه تاریخی بندر کنگ و ۲۳ نمونه از محوطه شمد دیدبان به دست آمده است. اطلاعات و مشخصات نمونه‌های شیشه‌ای آنالیز شده که شامل فرم و شکل ظاهری، رنگ، شفافیت و محل یافت این نمونه‌هاست، در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین تصاویر اپتیکی نمونه‌های آنالیز شده از این دو محوطه در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۱: اطلاعات ریخت‌شناسی و برخی از مشخصات ظاهری قطعات شیشه آنالیز شده از محوطه‌های تاریخی بند کنگ و شمد دیدبان
Table 1: Morphological information and some appearance characteristics of the analyzed glass fragments from the historical sites of Band Kong and Shamd-e Dideban.

Sample code کد نمونه	Form شکل	Color رنگ	Opacity شفافیت	Cross-section/Radius(mm) شعاع(میلیمتر)/سطح مقطع	Site محوطه
Kong-1	Bracelet الگو	Black سیاه	Opaque مات	semi-circle/25 نیم‌دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-2	Bracelet الگو	Black سیاه	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-3	Bracelet الگو	Black سیاه	Opaque مات	semi-circle/25 نیم‌دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-4	Bracelet الگو	Black سیاه	Opaque مات	semi-circle/25 نیم‌دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-5	Bracelet الگو	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-6	Bracelet الگو	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-7	Bracelet الگو	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-8	Bracelet الگو	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-9	Bracelet الگو	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-10	Bracelet الگو	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	semi-circle/20 نیم‌دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-11	Bracelet الگو	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-12	Bracelet الگو	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-13	Bracelet الگو	Black سیاه	Transparent شفاف	semi-circle/20 نیم‌دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-14	Cylindrical Rod میله استوانه‌ای	Orange نارنجی	Opaque مات	Circle/50 دایره	Bandar-e Kong بندر کنگ
Kong-15	Waste پسماند	Black سیاه	Opaque مات	unknown نامشخص	Bandar-e Kong بندر کنگ

Kong-16	Waste پسماند	Black سیاه	Opaque مات	unknown نامشخص	Bandar-e Kong بندر کنگ
Shamad-1	Bracelet النگو	Black سیاه	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-2	Bracelet النگو	Black سیاه	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-3	Bracelet النگو	Black سیاه	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-4	Vessel ظرف	White سفید	Transparent شفاف	semi-circle/20 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-5	Bracelet النگو	Black سیاه	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-6	Bracelet النگو	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-7	Bracelet النگو	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-8	Bracelet النگو	Brown قهوه‌ای	Opaque مات	semi-circle/25 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-9	Bracelet النگو	Black سیاه	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-10	Bracelet النگو	Black سیاه	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-11	Bracelet النگو	Black سیاه	Transparent شفاف	semi-circle/20 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-12	Vessel ظرف	Green سبز	Opaque مات	unknown نامشخص	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-13	Bracelet النگو	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	semi-circle/30 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-14	Bracelet النگو	Black سیاه	Transparent شفاف	semi-circle/30 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-15	Deformed Bracelet النگوی تغییر شکل یافته	Black سیاه	Transparent شفاف	semi-circle/25 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-16	Bracelet النگو	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	semi-circle/35 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-17	Bracelet النگو	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	semi-circle/35 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-18	Bracelet النگو	Black سیاه	Transparent شفاف	semi-circle/35 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-19	Bracelet النگو	Black سیاه	Transparent شفاف	semi-circle/35 نیم‌دایره	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-20	Waste پسماند	Black سیاه	Transparent شفاف	unknown نامشخص	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-21	Waste پسماند	Green سبز	Transparent شفاف	unknown نامشخص	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-22	Vessel ظرف	Blue آبی	Transparent شفاف	unknown نامشخص	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان
Shamad-23	Vessel ظرف	Brown قهوه‌ای	Transparent شفاف	unknown نامشخص	Shamad-e Dideban شمه دیده‌بان



شکل ۲: تصاویر اپتیکی نمونه‌های آنالیز شده از بندر کنگ قدیم
Fig. 2: Optical photo of all analyzed samples from Band Kong sites



شکل ۳: تصاویر اپتیکی نمونه‌های آنالیز شده از شمده دیدهبان
Fig. 3: Optical photo of all analyzed samples Shamad-e Dideban sites

۴-۲. روش و شرایط آنالیز میکروپیکسی

آنالیز عنصری به روش میکروپیکسی به دلیل سریع و بس عنصری بودن، یکی از روش‌های متداول در آنالیز عنصری نمونه‌های باستانی و تاریخی است. میکروپیکسی یا «گسیل پرتو X» در اثر برانگیختگی با ذرات با ابعاد میکرون» روش بسیار توانمندی برای آنالیز بس عنصری عناصر از سدیم تا اورانیوم است. در این روش آنالیز، نمونه مورد بررسی تحت تابش ذرات پرتوئی مانند پروتون قرار می‌گیرد. در اثر برخورد ذرات پرتوئی پروتون با اتم‌های عناصر تشکیل‌دهنده نمونه هدف، پرتوهای X مشخصه‌ای گسیل می‌شود که انرژی این پرتوهای X، نوع عناصر موجود در نمونه و تعداد پرتوهای X با انرژی معین غلظت عناصر تشکیل‌دهنده نمونه را مشخص می‌کند [20,21].

در این طرح پژوهشی برای انجام آنالیز میکروپیکسی از باریکه پروتون با انرژی ۲/۲ MeV و با شدتی در حدود ۲۰-۵۰ pA که توسط شتاب‌دهنده واندوگراف 3 MV آزمایشگاه واندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای تولید می‌شود، استفاده شده است. قطر باریکه پروتون در این آزمایش‌ها کمتر از ده میکرومتر بوده است. برای آشکارسازی اشعه X از آشکارساز Si(Li) که در زاویه ۱۳۵ درجه نسبت به باریکه پروتون فرودی قرار گرفته و دارای قدرت تفکیک ۱۵۰ eV است، استفاده شده است. همچنین در این آزمایش‌ها از سیستم میکروباریکه

و جمع‌آوری داده که توسط شرکت آکسفورد ساخته شده است، استفاده شده است [22,23]. برای محاسبه درصد وزنی عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌ها با استفاده از طیف‌های به‌دست‌آمده در آزمایش میکروپیکسی، از نرم‌افزار گویکس‌وین (GUPIXWIN) استفاده شده است [24]. این نرم‌افزار با برازش غیرخطی، از طیف به‌دست‌آمده از آزمایش میکروپیکسی که با استفاده از پارامترهای فیزیکی معین در آزمایش به‌دست‌آمده است، میزان درصد وزنی عناصر تشکیل‌دهنده نمونه را محاسبه می‌کند. برای اندازه‌گیری مقدار خطا در درصد وزنی عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش، یک نمونه استاندارد شیشه از موزه کورنینگ متناسب با ترکیبات تشکیل‌دهنده نمونه‌های مورد بررسی، هم‌زمان و تحت شرایط یکسان با نمونه‌های اصلی آنالیز شده است. با توجه به اینکه در این پژوهش با شیشه‌های از نوع سیلیکا-سودا-آهک تهیه شده با خاکستر گیاهان مواجه بودیم، نمونه استاندارد شیشه با کد A در روزهای مختلف و قبل از آنالیز نمونه‌های اصلی آنالیز شده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده از این آنالیزها و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاه مرجع، خطای نسبی و حداقل مقدار قابل اندازه‌گیری برای هر عنصر در جدول ۲ ارائه شده است [25].

جدول ۲: نتایج آنالیز عنصری در آزمایشگاه واندوگراف و مقایسه آن با مقدار اندازه‌گیری شده توسط آزمایشگاه مرجع، مقدار خطا و حداقل مقدار موزه کورنینگ. A قابل اندازه‌گیری برای هر عنصر در نمونه استاندارد شیشه کد

Table 2: The mean value of 4 different measurements in Corning glass standard A, the quoted value for all elements, uncertainty and Limit of Detection (LOD).

Standard Sample A	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	Cu ₂ O	ZnO	SrO	SnO ₂	Sb ₂ O ₃	BaO	PbO
Test 1(wt.%)	14.51	2.69	0.99	66.77	0.17	0.13	0.14	2.69	4.50	0.73	0.99	1.06	0.17	0.03	1.10	0.05	0.13	0.79	1.62	0.46	0.09
Test 2(wt.%)	14.85	2.75	1.24	66.87	0.15	0.15	0.13	2.76	4.63	0.80	0.98	1.10	0.17	0.02	1.09	0.07	0.07	0.83	1.36	0.41	0.08
Test 3(wt.%)	14.16	2.67	1.12	66.69	0.16	0.13	0.14	2.69	4.63	0.77	1.02	1.11	0.19	0.02	1.18	0.07	0.12	0.59	1.19	0.49	0.10
Test 4(wt.%)	14.83	2.63	1.11	66.31	0.14	0.14	0.13	2.67	4.54	0.76	1.03	1.11	0.17	0.02	1.16	0.06	0.13	0.20	2.01	0.43	0.09
Mean(wt.%)	14.59	2.69	1.12	66.66	0.16	0.14	0.14	2.70	4.58	0.77	1.01	1.10	0.18	0.02	1.13	0.06	0.11	0.60	1.55	0.45	0.09
Quoted(wt.%)	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
Relative Error(%)	2.0	1.0	11.5	0.2	20.0	40.0	40.0	6.0	9.0	3.0	0.5	0.5	3.0	0.0	3.0	50.0	12.0	-	12.0	20.0	25.0
Stand.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
LOD(ppm)	320	269	223	70	231	142	88	77	84	50	22	49	50	40	41	70	160	2620	3821	969	196

مقدار اکسید منیزیم در بازه ۴/۹۴-۲/۴۰ درصد و اکسید پتاسیم بین ۶/۵۴-۱/۶۶ درصد تغییر می‌کند. بنابراین، با توجه به اینکه درصد وزنی این دو عنصر در نمونه‌های آنالیز شده بیشتر از ۱/۵ درصد است، این شیشه‌ها از نوع شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک هستند که منبع تأمین اکسید سدیم (سودا) آن‌ها که به‌عنوان گداز‌آور در فرایند ساخت استفاده شده است، از خاکستر حاصل از گیاهان رشد یافته در خاک‌های شور بوده است. علت اصلی اینکه این دو عنصر در تعیین نوع شیشه‌ها و انواع گداز‌آورها نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند، این است که منشأ اصلی این دو عنصر در ترکیبات شیشه‌های تاریخی و باستانی، ناخالصی‌های موجود در ماده‌ی گداز‌آوری است که به‌عنوان منبع تأمین‌کننده‌ی سودا در حین ساخت شیشه‌ها وارد خمیره‌ی شیشه شده است. بر این اساس، اگر ماده‌ی اولیه تأمین‌کننده‌ی سودا، ماده‌ی معدنی ناترون (بی‌کربنات سدیم) باشد، با توجه به اینکه ناترون یک ماده‌ی معدنی بسیار خالص بوده است، مقدار اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم در این نوع شیشه‌ها کمتر از ۱/۵ درصد وزنی است. همچنین اگر برای تأمین سودا از خاکستر به‌دست‌آمده از گیاهان رشد یافته در خاک‌های شور استفاده شده باشد، با توجه به ناخالصی‌های زیاد موجود در خاکستر استفاده‌شده، مقدار این دو اکسید در نمونه‌های شیشه غالباً بیشتر از ۲/۵ درصد وزنی خواهد بود [26].

همچنین در جدول ۳ مشاهده می‌شود که یکی از نمونه‌های آنالیز شده از بندر کنگ با کد Kong-14 دارای ترکیب کاملاً متفاوت با بقیه‌ی نمونه‌های آنالیز شده است. در این نمونه، مقدار وزنی اکسید سیلیسیم ۴۲/۲۵ درصد، اکسید کلسیم ۲۰/۹۳ درصد، اکسید آهن ۱۸/۵۲ درصد و اکسید منیزیم ۶/۳۷ درصد اندازه‌گیری شده است. با توجه به رنگ قرمز بدنه که در شکل ۲ نیز نشان داده شده است، مقدار بالای اکسید آهن دور از انتظار نیست. البته با توجه به این که این نمونه از نظر ترکیبات عنصری با بقیه نمونه‌های مورد بررسی کاملاً متفاوت است، در ادامه مقاله و در تحلیل نتایج آنالیزها، کنار گذاشته شده است.

بررسی جدول ۲ نشان می‌دهد که با استفاده از روش آنالیز میکروپیکسی قادریم ترکیبات عناصر اصلی تشکیل‌دهنده‌ی مصنوعات شیشه‌ای را که شامل اکسید سیلیسیم، اکسید سدیم، اکسید منیزیم، اکسید پتاسیم و اکسید کلسیم است، با خطایی بین ۱۰-۱ درصد و همچنین ترکیبات عناصر کم مقدار مانند اکسیدهای فلزی را که نقش مهمی در تعیین عناصر رنگزا و رنگبر دارند، با دقت بسیار خوب و با خطایی کمتر از پنج درصد اندازه‌گیری کنیم.

۵. نتایج و بحث

در این پژوهش با استفاده از روش میکروپیکسی، ۳۹ نمونه از شیشه‌های دوره‌ی میانه اسلامی که از محوطه‌های تاریخی بندر کنگ و شمد دیده‌بان در سواحل خلیج فارس به‌دست آمده‌اند، آنالیز شدند. عناصری که در تمام نمونه‌های آنالیز شده از این دو محوطه اندازه‌گیری شده‌اند، شامل: اکسید سدیم (Na_2O)، اکسید منیزیم (MgO)، اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)، اکسید سیلیسیم (SiO_2)، اکسید فسفر (P_2O_5)، اکسید گوگرد (SO_3)، کلر (Cl)، اکسید پتاسیم (K_2O)، اکسید کلسیم (CaO)، اکسید تیتانیم (TiO_2)، اکسید منگنز (MnO) و اکسید آهن (Fe_2O_3) است. همچنین اکسید کروم (Cr_2O_3)، اکسید مس (Cu_2O) و اکسید استرانسیم (SrO) نیز در برخی از نمونه‌های آنالیز شده از این دو محوطه وجود دارند. عناصر تشکیل‌دهنده‌ی این شیشه‌ها به‌صورت اکسید و درصد وزنی، برای تمام نمونه‌های آنالیز شده در جدول ۳ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که ترکیبات عمده‌ی تشکیل‌دهنده‌ی شیشه‌های بندر کنگ و شمد دیده‌بان، اکسید سیلیسیم با درصد وزنی ۶۷/۹۱-۵۸/۷۲، اکسید سدیم با درصد وزنی ۲۱/۴۵-۱۳/۶۰ و اکسید کلسیم با درصد وزنی ۷/۷۹-۳/۶۲ است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تمام شیشه‌های آنالیز شده از این دو محوطه از نوع شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک هستند. از طرفی، همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، در این نمونه‌ها

جدول ۳: ترکیبات عنصری نمونه‌های آنالیز شده از بندر کنگ و شمد دیده‌بان به صورت اکسید و برحسب درصد وزنی (nd=not detected)
Table 3: The elemental composition of analyzed samples in weight percent (wt.%) and oxide form in Band Kong and Shamd-e Dideban.

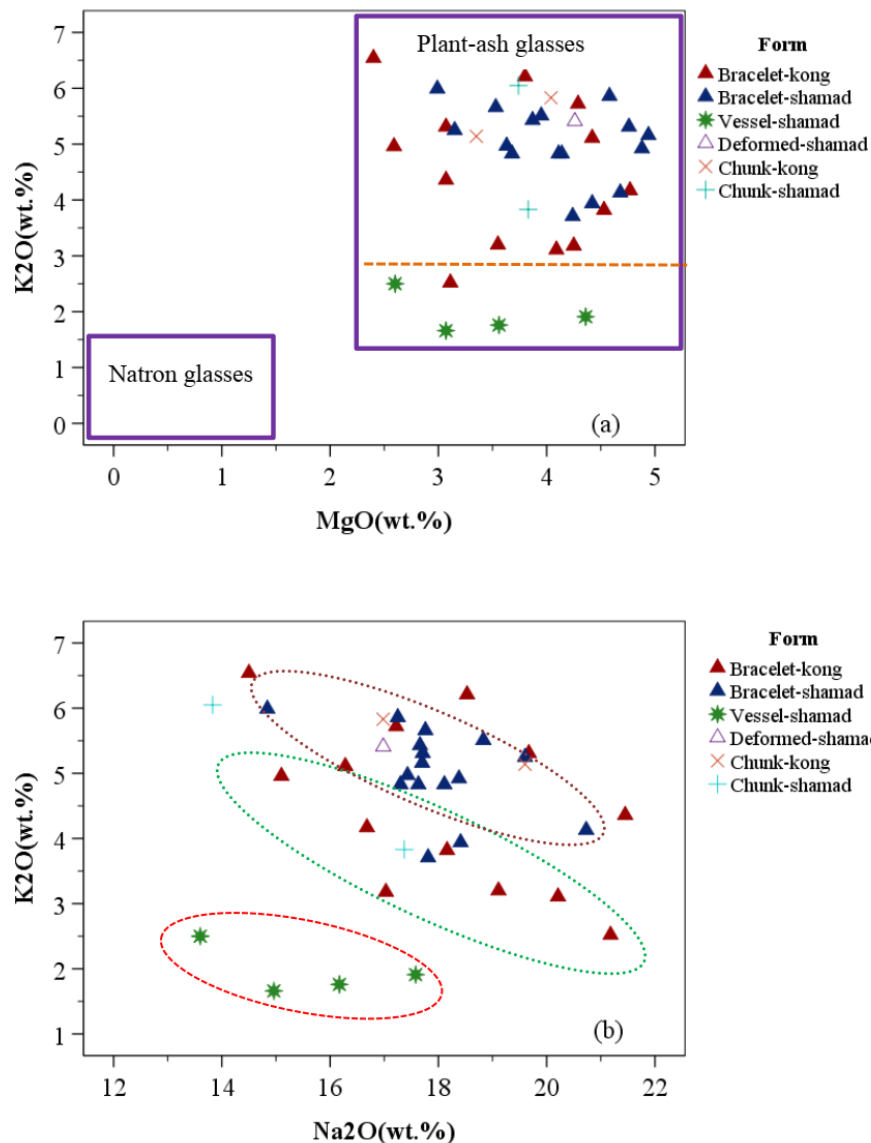
Sample code	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	Cl	K2O	CaO	TiO2	Cr2O3	MnO	Fe2O3	Cu2O	SrO
Kong-1	16.28	4.42	2.69	61.99	0.25	0.55	0.80	5.11	6.53	0.14	nd	nd	1.09	nd	nd
Kong-2	20.21	4.09	3.59	60.42	0.51	0.42	1.04	3.11	5.21	0.17	nd	0.03	1.11	nd	nd
Kong-3	19.67	3.07	2.88	59.69	0.58	0.75	0.94	5.31	5.67	0.18	nd	0.02	1.10	nd	0.13
Kong-4	14.50	2.40	2.57	67.91	nd	0.24	0.84	6.54	4.34	0.07	nd	0.02	0.50	nd	nd
Kong-5	21.45	3.07	3.12	59.74	0.41	0.82	1.15	4.36	4.65	0.16	nd	0.03	0.94	nd	nd
Kong-6	18.16	4.53	3.61	60.88	0.42	0.61	0.80	3.82	5.44	0.18	nd	0.04	1.44	nd	nd
Kong-7	19.11	3.55	3.28	61.55	0.50	0.44	1.04	3.20	5.95	0.19	0.03	0.02	1.08	nd	nd
Kong-8	17.22	4.29	3.41	59.00	0.45	0.49	0.68	5.72	6.94	0.19	0.02	0.04	1.35	nd	0.17
Kong-9	17.03	4.25	2.46	64.64	0.38	0.16	1.03	3.18	6.27	0.09	nd	0.02	0.37	nd	0.13
Kong-10	16.68	4.77	3.58	61.10	nd	0.33	0.66	4.17	7.01	0.22	nd	0.03	1.35	nd	nd
Kong-11	21.18	3.11	3.53	61.88	nd	0.10	1.27	2.52	4.95	0.19	0.02	0.03	1.18	nd	nd
Kong-12	15.10	2.59	2.72	67.75	0.40	0.32	0.93	4.96	4.59	0.07	nd	0.02	0.48	0.02	nd
Kong-13	18.53	3.80	2.84	61.80	nd	0.51	1.00	6.21	4.46	0.09	nd	0.03	0.64	nd	nd
Kong-14	1.82	6.37	7.27	42.25	0.91	0.20	nd	1.00	20.93	0.33	nd	0.05	18.52	nd	nd
Kong-15	19.60	3.35	2.54	62.40	0.46	0.61	1.07	5.14	4.02	0.09	nd	0.03	0.65	nd	nd
Kong-16	16.98	4.04	3.07	61.21	nd	0.34	1.01	5.83	6.15	0.18	nd	0.04	1.04	nd	0.10
Shamad-1	18.38	4.88	3.48	59.00	0.77	0.44	0.98	4.92	5.37	0.11	nd	0.03	0.70	nd	0.11
Shamad-2	17.71	4.76	2.77	59.87	0.64	0.42	0.96	5.31	5.25	0.09	0.08	0.03	0.75	nd	nd
Shamad-3	18.83	3.95	3.22	59.66	0.65	0.54	0.86	5.51	5.67	0.11	0.03	0.02	0.79	nd	nd
Shamad-4	16.17	3.56	1.62	67.81	1.10	0.30	0.81	1.76	5.74	nd	0.11	0.21	0.23	nd	nd
Shamad-5	20.73	4.68	3.36	58.72	0.84	0.77	0.91	4.13	4.67	0.12	nd	0.02	0.74	nd	nd
Shamad-6	14.84	2.99	3.47	66.71	0.71	0.31	0.81	5.99	3.62	0.03	nd	0.02	0.34	nd	nd
Shamad-7	17.30	4.11	4.10	61.36	0.66	0.36	1.01	4.83	4.87	0.08	0.03	0.03	0.71	nd	nd
Shamad-8	17.43	3.63	2.76	64.48	0.90	0.28	0.92	4.97	4.02	0.05	nd	0.02	0.34	0.04	nd
Shamad-9	18.41	4.42	3.70	60.82	0.81	0.66	0.87	3.94	4.97	0.17	nd	0.02	1.06	nd	nd
Shamad-10	17.25	4.58	3.04	61.36	0.63	0.42	0.92	5.86	4.91	0.07	0.02	0.02	0.67	nd	nd
Shamad-11	17.81	4.24	4.14	60.85	0.79	0.70	0.71	3.71	4.87	0.15	nd	0.02	1.66	nd	nd
Shamad-12	14.96	3.07	1.90	65.45	0.46	0.21	0.60	1.66	7.74	0.36	nd	1.90	1.09	nd	0.17
Shamad-13	17.63	3.68	2.58	63.24	nd	0.29	1.09	4.83	4.88	0.08	0.02	0.02	0.76	nd	nd
Shamad-14	17.66	3.87	3.07	61.19	nd	0.34	1.06	5.43	5.21	0.10	nd	0.04	0.74	nd	0.17
Shamad-15	16.98	4.26	2.77	62.34	nd	0.22	0.84	5.41	5.02	0.07	nd	0.03	0.66	nd	nd
Shamad-16	17.70	4.94	3.16	60.27	0.54	0.39	0.98	5.16	5.04	0.10	nd	0.03	0.63	nd	nd
Shamad-17	18.11	4.14	2.57	61.34	0.54	0.40	1.06	4.83	4.77	0.12	nd	0.02	0.75	nd	nd
Shamad-18	17.76	3.53	2.06	61.58	nd	0.30	1.09	5.66	4.66	0.08	nd	0.02	0.83	nd	nd
Shamad-19	19.60	3.15	1.68	62.71	0.39	0.70	1.12	5.25	4.50	0.11	nd	0.04	0.75	nd	nd
Shamad-20	17.37	3.83	2.88	63.67	0.70	0.45	0.89	3.83	4.69	0.09	nd	0.03	0.47	nd	nd
Shamad-21	13.83	3.74	3.39	66.57	0.77	0.18	0.62	6.05	3.77	0.10	nd	0.02	0.80	nd	nd
Shamad-22	13.60	2.60	1.90	66.06	0.34	0.12	0.57	2.50	7.79	0.27	0.03	2.27	1.61	0.08	0.17
Shamad-23	17.58	4.36	2.40	64.37	nd	nd	0.49	1.91	7.28	0.08	nd	0.26	1.15	nd	0.10

شیشه‌های ناترونی (Natron glasses) و شیشه‌های تولید شده از خاکستر گیاهان (Plant-ash glasses) تقسیم می‌شوند [26]. اساس این طبقه‌بندی درصد وزنی اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم موجود در شیشه است. بر اساس این رهیافت، اگر ماده اولیه تأمین کننده سودا در شیشه‌های تاریخی، ماده معدنی ناترون یا همان ماده معدنی بی‌کربنات سدیم باشد، با توجه به خلوص بالای این ماده معدنی، مقدار وزنی اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم در این نوع شیشه‌ها کمتر از ۱/۵ درصد خواهد بود و به این شیشه‌ها، شیشه‌های ناترونی گفته می‌شود. همچنین، اگر برای تأمین سودا از خاکستر به دست آمده از گیاهان رشد یافته در خاک‌های شور استفاده شده باشد، با توجه به ناخالصی‌های زیاد موجود در خاکستر تولید شده از گیاهان، مقدار وزنی این دو اکسید در نمونه‌های شیشه، غالباً بیشتر از ۲/۵ درصد خواهد بود که به آن

۵-۱. بررسی شیشه‌های بندر کنگ و شمد دیده‌بان بر اساس ماده گدازآور همان‌طور که اشاره شد، بر اساس نوع ماده گدازآور استفاده شده در فرایند ساخت، شیشه‌های تاریخی را می‌توان در چهار نوع مجزا و جداگانه طبقه‌بندی نمود. هرچند بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داده است که بخش عمده‌ای از شیشه‌های تاریخی از نوع شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک ساخته شده از خاکستر گیاهان هستند [5, 6]. عناصری که از طریق ماده گدازآور، وارد ترکیبات شیشه می‌شوند و می‌توان بر اساس آن‌ها اطلاعات مهمی در مورد ماده گدازآور استفاده شده در آن‌ها به دست آورد، عبارت است از: اکسید سدیم، اکسید پتاسیم، اکسید منیزیم و اکسید کلسیم. شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک بر اساس آنچه اولین بار توسط سیر (Sayre) و اسمیت (Smith) پیشنهاد شده است و هنوز هم اعتبار خود را حفظ کرده است، به دو گروه عمده

شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک ساخته شده از خاکستر گیاهان گفته می‌شود. در شکل ۴، درصد وزنی اکسید منیزیم بر حسب اکسید پتاسیم برای تمام نمونه‌های آنالیز شده از بندر کنگ و شمد دیده بان رسم شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، درصد وزنی اکسید منیزیم در تمام نمونه‌های آنالیز شده تقریباً بیشتر از ۲/۵ درصد است و مقدار آن در بازه ۴/۹۴-۲/۴۰ درصد تغییر می‌کند. همچنین مقدار اکسید پتاسیم در تمام نمونه‌های آنالیز شده به جز چهار نمونه ظرف و یک نمونه الگو، بیشتر از ۲/۵ درصد است و مقدار آن در بازه ۶/۵۴-۲/۵۰ درصد تغییر می‌کند. اما در چهار ظرف آنالیز شده از محوطه شمد دیده بان، درصد وزنی اکسید پتاسیم کمتر از ۲/۵ درصد بوده و بین ۲/۴۰-۱/۶۶ درصد تغییر می‌کند. بنابراین، بر اساس توضیحات ارائه شده در بالا همان‌طور که در شکل ۴a مشخص است، تمام شیشه‌های آنالیز شده از این دو محوطه، در گروه شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک ساخته شده با استفاده از خاکستر گیاهان قرار می‌گیرند و در این نمونه‌های آنالیز شده، شیشه‌های ناترونی مشاهده نشده است. اما با توجه به تغییرات درصد وزنی اکسید پتاسیم، همان‌طور که در شکل ۴a نیز با خط نارنجی رنگ مشخص شده است، ظروف آنالیز شده از بقیه نمونه‌ها که شامل الگوها و مواد باقیمانده از ماده اولیه و پسماند هستند، قابل تفکیک و جدا شدن هستند. در ظروف شیشه‌ای آنالیز شده، مقدار اکسید پتاسیم بین ۱/۵ تا ۲/۵ درصد تغییر می‌کند، در صورتی که مقدار اکسید پتاسیم در الگوها و مواد باقیمانده از ماده اولیه و پسماند شیشه بین ۲/۵ تا ۶/۵ درصد تغییر می‌کند. بنابراین، تفاوت معنی داری در مقدار اکسید پتاسیم اندازه گیری شده در ظروف و الگوهای این محوطه‌ها وجود دارد. در شکل ۴b، تغییرات درصد وزنی اکسید سدیم بر حسب اکسید پتاسیم برای تمام نمونه‌های آنالیز شده از این دو محوطه رسم شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، تغییرات این دو اکسید برای تمایز و تفکیک شدن ظروف آنالیز شده از دیگر انواع شیشه‌ها و

همچنین تمایز بین الگوهای دو محوطه، بسیار مفید و قابل استفاده است. در ظروف آنالیز شده، مقدار وزنی اکسید سدیم تقریباً بین ۱۳ تا ۱۷/۵ درصد تغییر می‌کند، در صورتی که مقدار اکسید پتاسیم بین ۱/۵ تا ۲/۵ تغییر می‌کند. در الگوهای محوطه کنگ قدیم، بازه تغییرات درصد وزنی اکسید سدیم و اکسید پتاسیم بسیار گسترده است. در الگوهای محوطه کنگ درصد وزنی اکسید سدیم بین ۱۴ تا ۲۱ درصد و مقدار اکسید پتاسیم بین ۲/۵ تا ۶/۵ درصد تغییر می‌کند. این تغییرات زیاد در درصد وزنی اکسید پتاسیم و اکسید سدیم نشان دهنده این است که در ساخت الگوهای شیشه‌ای محوطه کنگ از ماده گداز آور بسیار ناخالص استفاده شده است. همچنین یک رابطه تقریباً خطی بین این دو اکسید در الگوهای کنگ مشاهده می‌شود که نشان دهنده استفاده از یک ماده گداز آور تقریباً یکسان در این الگوهاست. اما در الگوهای آنالیز شده از شمد دیده بان تغییرات اکسید سدیم و اکسید پتاسیم نسبت به بند کنگ بسیار کمتر است. در الگوهای شمد دیده بان مقدار اکسید سدیم در بازه ۱۶/۵ تا ۱۸/۵ درصد و اکسید پتاسیم بین ۴ تا ۶ درصد متغیر است و به نظر می‌رسد که در ساخت الگوهای این محوطه نیز از یک ماده گداز آور یکسان استفاده شده است. البته چند نمونه محدود از الگوهای دو محوطه با یکدیگر تداخل و همپوشانی دارند. این تغییرات فاحش در درصد وزنی اکسید پتاسیم و اکسید سدیم نشان دهنده این است که در ساخت ظروف شیشه‌ای و الگوهای هر دو محوطه از ماده گداز آور متفاوتی استفاده شده است و همان‌طور که شکل ۴b، با بیضی‌های نقطه چین نشان داده شده است، هر کدام از این نمونه‌ها در گروه جداگانه‌ای قرار گرفته‌اند. علت اصلی تفاوت در نوع گداز آور به تغییرات در نوع گیاه مورد استفاده در تهیه خاکستر مرتبط است. همچنین این تغییرات می‌تواند به طور ضمنی نشان دهنده این موضوع باشد که ظروف شیشه‌ای و الگوهای به دست آمده از این دو محوطه ممکن است در مکان‌های جغرافیایی متفاوت و با استفاده از مواد اولیه متفاوتی تولید شده باشند.



شکل ۴: (a) تغییرات درصد وزنی اکسید منیزیم برحسب اکسید پتاسیم، (b) تغییرات درصد وزنی اکسید سدیم برحسب اکسید پتاسیم، در نمونه‌های آنالیزشده از بندر کنگ و شمد دیده‌بان.

Fig 4: Bi-scatter plot in wt.% of (a): MgO versus K₂O, (b): Na₂O versus K₂O, in analyzed samples from Band Kong and Shamd-e Dideban.

اشیای تزئینی مانند مهره یا النگو با محلی که مواد اولیه شیشه مانند سیلیس و سودا در آنجا با هم مخلوط و ذوب می‌شده‌اند، یکسان بوده است. اما بر اساس یافته‌های اخیر باستان‌شناسی و همچنین اندازه‌گیری ترکیبات عنصری شیشه‌ها، مشخص شده است که این دو محل، یعنی محل تولید مواد اولیه شیشه و محل شکل‌دهی شیشه می‌تواند کاملاً از یکدیگر متمایز باشند [5,27]. بر اساس این یافته‌ها، به محل فرآوری ترکیب و ذوب مواد اولیه مورد استفاده در شیشه که معمولاً این تولیدات در مقیاس چندین تن در آنجا انجام می‌شده است،

از طرف دیگر، پیداشدن مواد اولیه شیشه به صورت دورریز و پسماندهای باقیمانده از شیشه و نمونه‌های ناقص تولیدی (مانند النگوی تغییر شکل یافته از شمد دیده‌بان) از مهم‌ترین یافته‌های یک کاوش باستان‌شناسی در یک محوطه می‌باشند که می‌تواند گویای وجود کارگاه‌های ثانویه و فعالیت شیشه‌گری در آن محوطه باشد. در زمینه مطالعات شیشه‌های تاریخی و بررسی محل تولید اشیای شیشه‌ای، در ابتدا باستان‌شناسان تصور می‌کردند که محل شکل‌دهی اشیای شیشه‌ای به شکل‌های مختلف مانند انواع ظروف یا

«کارگاه‌های اولیه» و به محلی که در آن شیشه، شکل‌دهی و اشیای موردنظر تولیدشده، «کارگاه ثانویه» گفته می‌شود. یافته‌های باستان‌شناسی و باستان‌سنجی اثبات کرده است که مبادلات و تجارت شیشه در حجم گسترده، بیشتر به صورت مواد آماده شیشه بین این کارگاه‌ها انجام شده و این دو محل می‌توانند حتی کیلومترها از یکدیگر دور باشند [28]. این مبادلات در برخی موارد هم به صورت اشیای آماده مانند مهره‌های شیشه‌ای، النگو و یا ظروف شیشه‌ای بین مناطق و فرهنگ‌های مختلف انجام شده است [29-31].

در نمونه‌های مورد بررسی از این دو محوطه، همان‌طور که در جدول ۱ و تصاویر اپتیکی نمونه‌ها مشاهده می‌شود، دو نمونه پسماند از هر محوطه، و یک نمونه النگوی تغییر شکل‌یافته از شمد دیده‌بان که در حین کاوش یافت شده است، نیز آنالیز شده است که چهار نمونه از این نمونه‌های پسماند سیاه‌رنگ و یک نمونه دارای رنگ سبز است. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، ترکیبات عنصری نمونه‌های آنالیزشده از این پسماندها، با النگوهای آنالیزشده هم‌خوانی و هم‌پوشانی دارند. این هم‌خوانی نشان می‌دهد که النگوهای به‌دست‌آمده در این دو محوطه با احتمال بسیار زیاد در این محوطه‌ها تولید شده‌اند. همچنین بر اساس شکل ۴، با توجه به اینکه نمونه‌های آنالیزشده از پسماندها و ظروف، از یکدیگر تفکیک شده‌اند، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مواد اولیه مورد استفاده در تولید ظروف و النگوها با هم متفاوت‌اند و النگوها و ظروف به‌دست‌آمده از محوطه شمد دیده‌بان ممکن است حتی محل تولید متفاوتی داشته باشند.

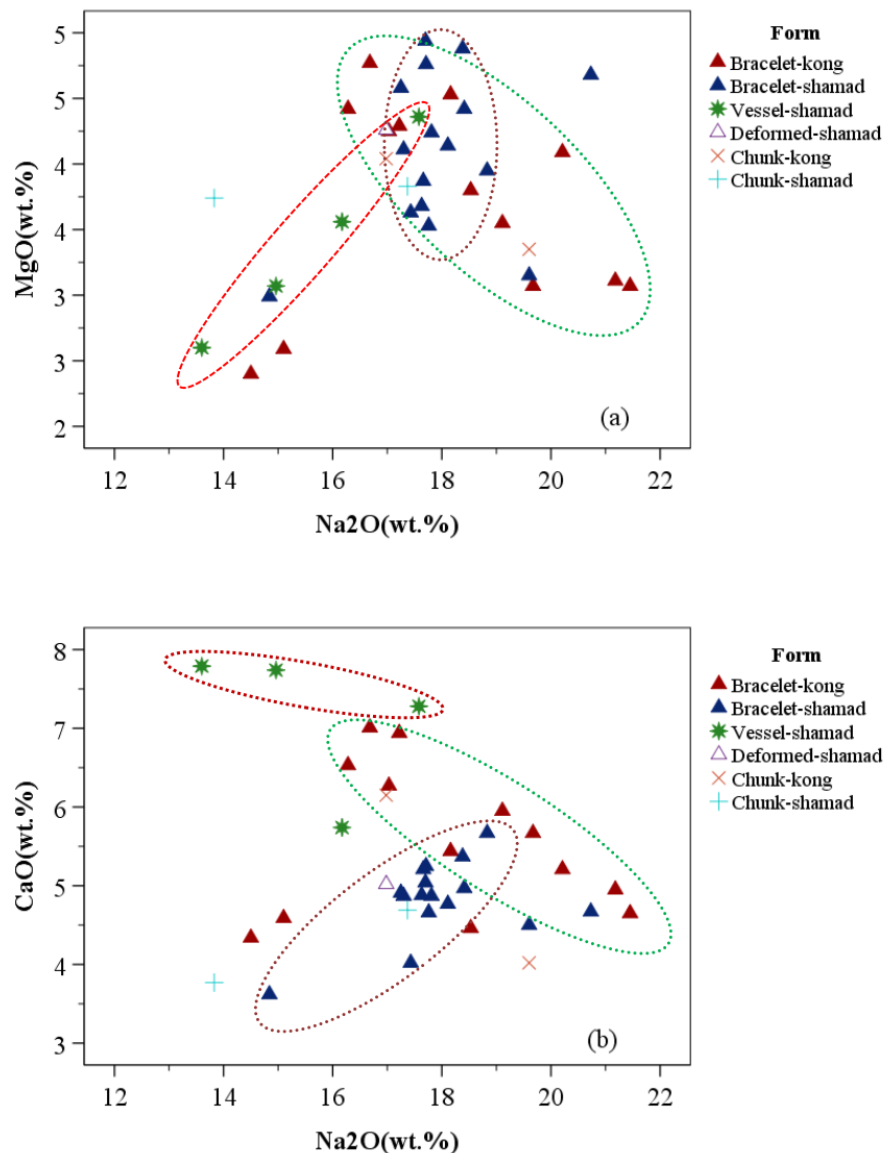
برای بررسی بیشتر در مورد تغییرات و تنوع در ماده گدازآور استفاده‌شده در این شیشه‌ها، در شکل ۵a تغییرات درصد وزنی اکسید سدیم برحسب اکسید منیزیم و در شکل ۵b تغییرات درصد وزنی اکسید سدیم برحسب اکسید کلسیم برای تمام نمونه‌های آنالیزشده از این دو محوطه رسم شده است. بر اساس نمودار ۵a جدایی و تفکیک‌پذیری بین النگوهای دو محوطه و ظروف شیشه‌ای مجدداً مشخص است. همچنین در این شکل باز هم در النگوهای محوطه کنگ قدیم، بین تغییرات اکسید منیزیم و اکسید سدیم یک رابطه خطی وجود دارد و بازه تغییرات این دو اکسید در این النگوها زیاد است. این در حالی است که در النگوهای شمد

دیده‌بان بازه تغییرات اکسید سدیم بسیار کمتر از النگوهای بند کنگ است و این اکسید بین ۱۶/۵ تا ۱۸/۵ درصد تغییر می‌کند. همچنین بر اساس این نمودار، سه نمونه از النگوهای آنالیزشده با کدهای آنالیز 6-shamad، 4-kong و 12-kong، کاملاً از بقیه النگوها جدا شده‌اند. در این سه النگو مقدار وزنی اکسید سدیم بین ۱۶-۱۴ درصد و مقدار اکسید منیزیم نیز کمتر از سه درصد است. این در حالی است که در بقیه النگوها مقدار اکسید سدیم بیشتر از ۱۶ درصد است و تا ۲۲ درصد نیز تغییر می‌کند. همچنین مقدار اکسید منیزیم نیز در النگوهای دیگر از حدود ۳ تا ۵ درصد متغیر است.

در شکل ۵b، بر اساس تغییرات درصد وزنی اکسید سدیم برحسب اکسید کلسیم، تفاوت نمونه‌های آنالیزشده از کنگ قدیم و شمد دیده‌بان کاملاً مشخص است و اطلاعات جالب دیگری می‌توان از تغییرات این دو اکسید در مورد ماده گدازآور استفاده‌شده در نمونه‌های آنالیزشده در این دو محوطه به‌دست آورد. همچنین مشاهده می‌شود نمونه‌های آنالیزشده از ظروف همچنان از النگوها جدا

هستند و بیشترین درصد وزنی اکسید کلسیم در ظروف آنالیزشده از محوطه شمد دیده‌بان اندازه‌گیری شده است که این مقدار بین ۷ تا ۸ درصد است. در النگوهای آنالیزشده از شمد دیده‌بان تغییرات اکسید کلسیم نسبت به النگوهای بند کنگ بسیار کمتر است. در النگوهای شمد دیده‌بان مقدار اکسید کلسیم در بازه ۴/۵ تا ۵/۵ درصد و در النگوهای بند کنگ مقدار این اکسید بین ۴/۵ تا ۷/۵ درصد متغیر است.

بنابراین، بر اساس تغییرات عنصری مانند منیزیم، پتاسیم، سدیم و کلسیم که عناصری هستند که از ماده اولیه استفاده‌شده به‌عنوان گدازآور وارد شیشه شده‌اند، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در ساخت النگوهای این دو محوطه از گدازآورهای متفاوتی استفاده شده است. علاوه بر این، کاملاً مشخص است که ظروف آنالیزشده و النگوها نیز با گدازآور متفاوتی ساخته شده‌اند. البته، همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است، ترکیبات عنصری نمونه‌های آنالیزشده از پسماندها، با النگوهای آنالیزشده از هر محوطه تقریباً هم‌خوانی و هم‌پوشانی دارند. این هم‌خوانی و هم‌پوشانی نشان می‌دهد که النگوهای به‌دست‌آمده در این دو محوطه با احتمال بسیار زیاد در این محوطه‌ها تولید شده‌اند.



شکل ۵: (a) تغییرات درصد وزنی اکسید سدیم برحسب اکسید منیزیم، (b) تغییرات درصد وزنی اکسید سدیم برحسب اکسید کلسیم، در نمونه‌های آنالیزشده از بندر کنگ و شم‌دیده‌بان.

Fig 5: Bi-scatter plot in wt.% of (a): Na₂O versus MgO, (b): Na₂O versus CaO, in analyzed samples from Band Kong and Sham-d-e Dideban

۲-۵. بررسی تنوع منابع سیلیس در

شیشه‌های بندر کنگ و شم‌دیده‌بان

اکسید سیلیسیم عمده‌ترین ماده تشکیل‌دهنده شیشه‌های نوع سیلیکا-سودا-آهک است که معمولاً مقدار آن بین ۷۵-۶۰ درصد وزنی در شیشه‌های تاریخی و قدیمی تغییر می‌کند. معمولاً برای تهیه سیلیس در شیشه‌های تاریخی از شن، ماسه و یا کوارتز خالص استفاده می‌شده است. برخی از مهم‌ترین عناصری که غالباً از طریق سیلیس و ناخالصی‌های

با توجه به اینکه علت اصلی تغییرات عناصر موجود در خاکستر استفاده‌شده به‌عنوان گدازآور، می‌تواند عوامل مختلفی مانند نوع گیاه مورد استفاده در تهیه خاکستر مرتبط باشد، این تغییرات می‌تواند نشان‌دهنده این موضوع باشد که در این محوطه‌ها ممکن است از گیاهان متفاوتی در تهیه خاکستر استفاده شده است و یا اینکه حتی ممکن است دوره تاریخی این نمونه‌ها با یکدیگر متفاوت باشد و با گذشت زمان نوع ماده گدازآور تغییر کرده باشد.

موجود در آن، وارد ترکیبات شیشه می‌شوند، عبارت‌انداز: سیلیسیم، آلومینیم، تیتانیوم، آهن و منگنز. در بررسی کیفیت و خلوص منابع سیلیس، ناخالصی‌های موجود در سیلیس اهمیت زیادی دارند و این ناخالصی‌ها خصوصیات اصلی منبع اولیه تأمین سیلیس را توصیف می‌کنند. برای بررسی کیفیت منابع سیلیس می‌توان از نمودارهایی که در آن‌ها درصد وزنی عناصری مانند اکسید سیلیسیم، اکسید آلومینیم، اکسید آهن و اکسید تیتانیوم برحسب یکدیگر رسم می‌شوند، استفاده کرد [32-34]. همچنین بر اساس میزان ناخالصی‌های موجود در شیشه، می‌توان استنتاج کرد که در تهیه شیشه‌ها از منابع ناخالص سیلیس (مانند شن و ماسه) یا از منابع خالص سیلیس (مانند کوارتز خالص) استفاده شده است. مطالعات آزمایشگاهی مشخص کرده است، در صورتی که منابع تأمین سیلیس کوارتز خالص باشد، درصد وزنی آلومینیم در شیشه باید کمتر از ۲ درصد و همچنین میزان اکسید آهن نیز باید کمتر از ۱ درصد باشد [35]. همچنین اگر از شن و ماسه به‌عنوان تأمین سیلیس استفاده شده باشد، در شیشه تهیه‌شده معمولاً مقدار اکسید آلومینیم بیشتر از ۲ درصد و مقدار اکسید آهن نیز بیشتر از ۱ درصد خواهد بود [35].

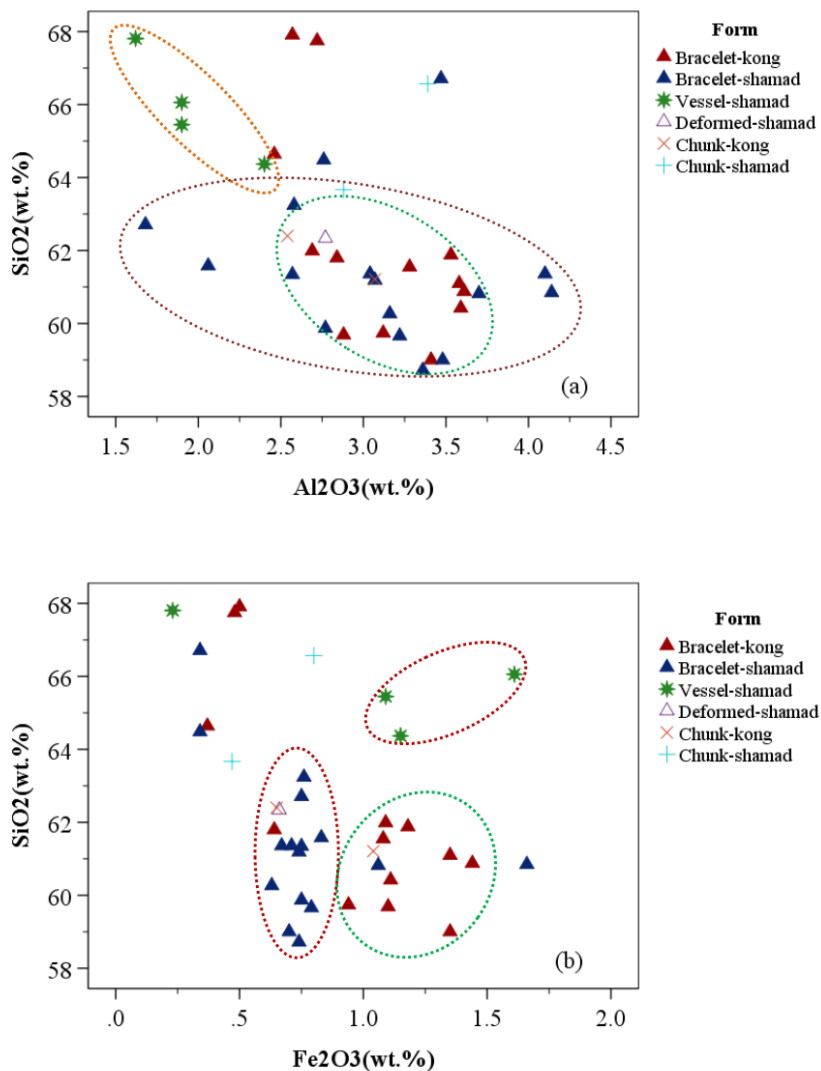
در شکل ۶a درصد وزنی اکسید آلومینیم برحسب اکسید سیلیسیم و در شکل ۶b درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید سیلیسیم در شیشه‌های آنالیزشده از بندر کنگ و شمد دیده‌بان نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشخص است، از نظر نوع سیلیس به کار رفته در فرایند ساخت، نمونه‌های آنالیزشده از ظروف کاملاً از الگوها و نمونه‌های پسماند جدا شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم در سه ظروف شیشه‌ای در گستره بسیار کم و بین ۱/۵۰ تا ۱/۷۰ درصد تغییر می‌کند. همچنین درصد وزنی اکسید سیلیسیم در این ظروف بین ۶۸-۶۴ درصد تغییر می‌کند. اما الگوهای آنالیزشده از این دو محوطه، بر اساس تغییرات این دو اکسید با یکدیگر به‌صورت کامل هم‌پوشانی دارند. اما تغییرات درصد وزنی ناخالصی اکسید آلومینیم و اکسید سیلیسیم در الگوهای آنالیزشده از محوطه شمد دیده‌بان نسبت به تغییرات این دو اکسید در بندر کنگ گستره بزرگ‌تری دارد.

در شکل ۶b تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید سیلیسیم در تمام نمونه‌های آنالیزشده در این پژوهش رسم شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، تغییرات میزان سیلیس برحسب اکسید آهن اطلاعات بسیار جالبی در مورد منابع سیلیس استفاده‌شده در تهیه این شیشه‌ها می‌دهد. در الگوهای آنالیزشده از دو محوطه مشاهده می‌شود که بر اساس میزان ناخالصی اکسید آهن، الگوهای شمد دیده‌بان و الگوهای بندر کنگ با یکدیگر تفاوت فاحشی دارند و کاملاً از یکدیگر جدا شده‌اند و در دو گروه کاملاً جداگانه قرار گرفته‌اند. در الگوهای شمد دیده‌بان میزان ناخالصی اکسید آهن کمتر از یک درصد و بین ۰/۸-۰/۶ درصد تغییر می‌کند. این در حالی است که در الگوهای بندر کنگ میزان این ناخالصی بیشتر از یک درصد و بین ۱/۵-۱ درصد متغیر است. بنابراین، بر اساس تغییرات موجود در عناصر مرتبط با سیلیس که در الگوهای آنالیزشده از این محوطه اندازه‌گیری شده است، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که منابع سیلیس استفاده‌شده در الگوهای این دو محوطه احتمالاً با یکدیگر متفاوت هستند و می‌توان استنباط کرد که از مواد اولیه متفاوتی برای تهیه سیلیس مورد نیاز در ساخت نمونه‌ها استفاده شده است [36,37].

برای بررسی بیشتر در مورد وجود تفاوت در منابع سیلیس، در شکل ۷a، تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید تیتانیوم و در شکل ۷b، تغییرات اکسید تیتانیوم برحسب اکسید سیلیسیم رسم شده است. نمودار شکل ۷a نشان می‌دهد که سیلیس استفاده‌شده در ساخت الگوهای دو محوطه شمد دیده‌بان و بندر کنگ از نظر میزان ناخالصی اکسید تیتانیوم و اکسید آهن با یکدیگر تفاوت فاحشی دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود از نظر تغییرات درصد وزنی، ناخالصی اکسید تیتانیوم در الگوهای شمد دیده‌بان در گستره بسیار کم و بین ۰/۰۳ تا ۰/۱۰ درصد تغییر می‌کند. همچنین درصد وزنی اکسید آهن در این الگوها هم کمتر از یک درصد است. این در حالی است که در الگوهای بندر کنگ، میزان ناخالصی اکسید تیتانیوم بین ۰/۱ تا ۰/۲ درصد و مقدار اکسید آهن نیز بیشتر از یک درصد است. همچنین این شکل نشان می‌دهد که بین تغییرات اکسید آهن برحسب اکسید تیتانیوم در نمونه‌های آنالیزشده یک همبستگی خطی وجود دارد. این همبستگی به این مفهوم است که ناخالصی‌هایی که در این

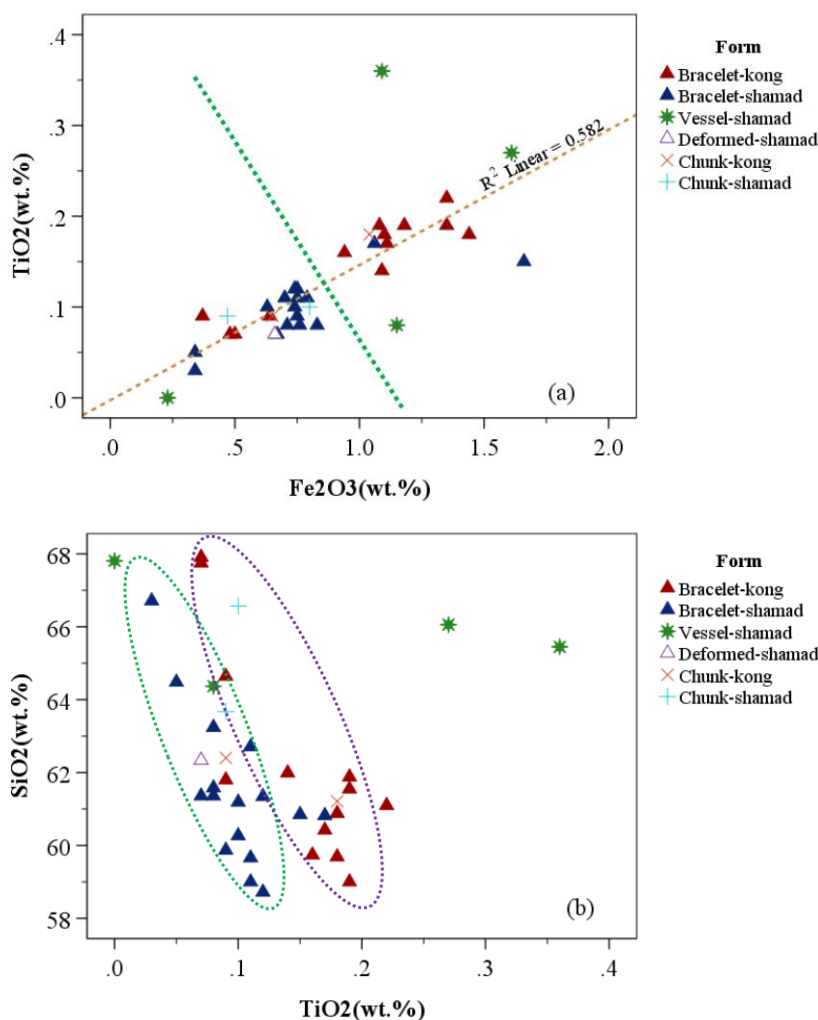
از منابع سیلیس وارد ترکیبات شیشه شده است [36,37]. همچنین بر اساس نحوه تغییرات درصد وزنی اکسید تیتانیوم برحسب اکسید سیلیسیم که در شکل ۷b نشان داده شده است، مشاهده می‌شود که تغییرات میزان سیلیس برحسب اکسید تیتانیوم برای هریک از محوطه‌ها به‌صورت جداگانه دارای یک همبستگی خطی تقریباً قوی و معکوس می‌باشند. بنابراین، بر اساس روند تغییرات اکسید سیلیسیم برحسب اکسید تیتانیوم در این دو محوطه، نیز می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ماده اولیه سیلیس استفاده‌شده در النگوهای دو محوطه کاملاً متفاوت است [36,37].

النگوها وارد شده‌اند، از ناخالصی موجود در سیلیس ناشی می‌شود. بنابراین، بر اساس این تغییرات بین عناصر مرتبط با سیلیس در نمونه‌های آنالیزشده از این دو محوطه، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ماده اولیه سیلیس استفاده‌شده در ساخت النگوهای دو محوطه با احتمال بسیار زیاد متفاوت هستند [36,37]. چنین ارتباط و همبستگی بین ناخالصی‌های موجود در شیشه در تعداد زیادی از مصنوعات شیشه‌ای سیاه‌رنگ آنالیزشده از حوزه مدیترانه نیز مشاهده شده است. در تعداد بسیاری از نمونه‌های مطالعه‌شده از شیشه‌های سیاه در حوزه مدیترانه اثبات شده است که اکسید آهن موجود در شیشه تنها



شکل ۶: (a) تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم برحسب اکسید سیلیسیم، (b) تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید سیلیسیم در نمونه‌های آنالیزشده از بندر کنگ و شم‌دیده‌بان.

Fig 6: Bi-scatter plot in wt.% of (a): Al₂O₃ versus SiO₂, (b): Fe₂O₃ versus SiO₂, in analyzed samples from Band Kong and Shamd-e Dideban



شکل ۷: (a) تغییرات درصد وزنی اکسید آهن بر حسب اکسید تیتانیوم، (b) تغییرات درصد وزنی اکسید تیتانیوم بر حسب اکسید سیلیسیم در نمونه های آنالیز شده از بندر کنگ و شمد دیده بان

Fig 7: Bi-scatter plot in wt.% of (a): Fe₂O₃ versus TiO₂, (b): TiO₂ versus SiO₂, in analyzed samples from Band Kong and Shamd-e Dideban

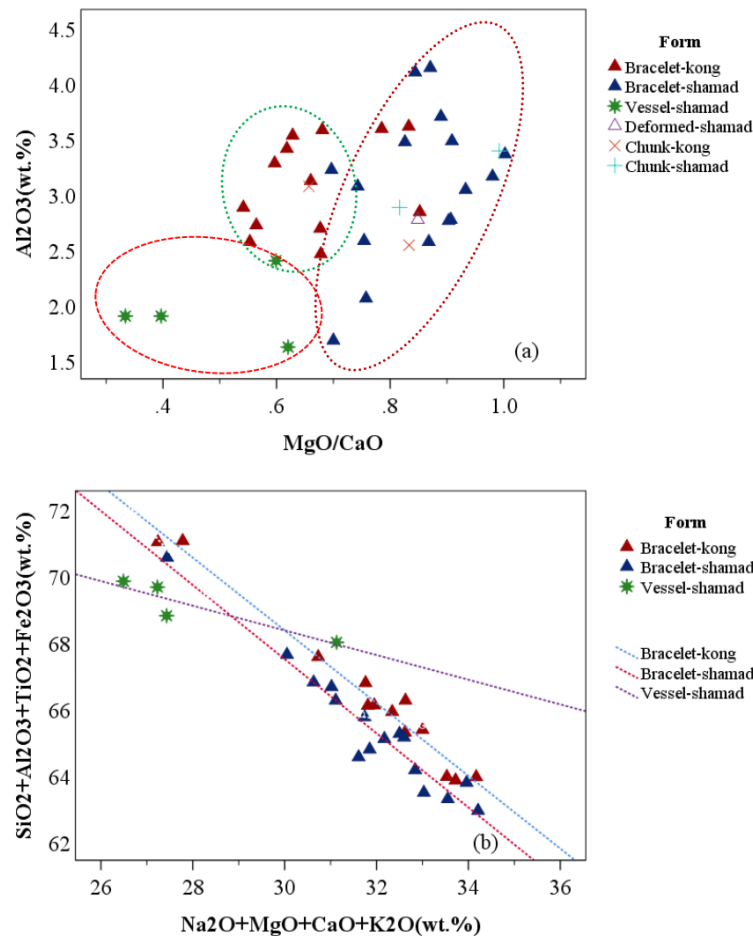
شیشه‌ها از ناخالصی‌های موجود در سیلیس ناشی می‌شود. همچنین مقدار اکسید منیزیم و اکسید کلسیم و نسبت این دو اکسید در شیشه‌ها نشان‌دهنده ویژگی‌های منابع سودای مورد استفاده در فرایند ساخت می‌باشد. در ظروف آنالیز شده، مقدار وزنی اکسید آلومینیم کمتر از ۲/۵ درصد و نسبت درصد وزنی اکسید منیزیم به اکسید کلسیم نیز بین ۰/۳ تا ۰/۶ تغییر می‌کند. در الگوهای محوطه کنگ، بازه تغییرات اکسید آلومینیم بین ۲/۵ تا ۳/۵ درصد و نسبت اکسید منیزیم به اکسید کلسیم نیز بین ۰/۵ تا ۰/۷ تغییر می‌کند. این در حالی است که در الگوهای محوطه شمد دیده بان، بازه تغییرات اکسید آلومینیم بین ۱/۵ تا ۴/۵ درصد و نسبت اکسید منیزیم

برای کامل شدن بررسی تغییرات موجود در ترکیبات شیشه‌های به دست آمده در این دو محوطه، نحوه ارتباط عناصر موجود در مواد اولیه گداز آور و ماده اولیه سیلیس در شکل ۸ نشان داده شده است. در شکل ۸a، تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم بر حسب نسبت درصد وزنی اکسید منیزیم به اکسید کلسیم در نمونه‌های مختلف آنالیز شده در این پژوهش رسم شده است [15]. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، بر اساس تغییرات این عناصر تمایز و تفکیک شدن ظروف آنالیز شده از دیگر انواع شیشه‌ها و همچنین تمایز بین الگوهای دو محوطه، بسیار واضح است. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، اکسید آلومینیم موجود در

النگوهای دو محوطه مشاهده می‌شود. این تصویر همچنین نشان می‌دهد که این رابطه همبستگی به صورت معکوس در تمام نمونه‌های مورد بررسی وجود دارد، به گونه‌ای که با افزایش مجمع عناصر ناشی از گدازآورها از میزان عناصر موجود در ماده سیلیس در شیشه‌ها کاسته شده است. این نتیجه نشان‌دهنده وجود دستورالعمل تقریباً یکسان و یک قاعده کاملاً مشخص در ساخت شیشه در دو محوطه است. همچنین در این شکل، بر اساس تغییرات عناصر موجود در مواد اولیه گدازآور و ماده اولیه سیلیس برحسب یکدیگر، دوباره به‌طور کاملاً واضح، طبقه‌بندی و گروه‌بندی که در مورد این نمونه‌ها مشاهده شده بود، تأیید می‌شود [15].

به اکسید کلسیم نیز بین ۰/۷ تا ۱/۰ تغییر می‌کند. بنابراین، استفاده از منابع متفاوت سیلیس و سودا در النگوهای دو محوطه و همچنین نمونه ظروف بر اساس این شاخص کاملاً مشخص است.

در شکل ۸b تغییرات درصد وزنی مجموع عناصر موجود در سیلیس که شامل اکسید سیلیسیم، اکسید آلومینیم، اکسید تیتانیم و اکسید آهن است، برحسب درصد وزنی مجموع عناصر ناشی از ماده گدازآور که اکسید سدیم، اکسید منیزیم، اکسید پتاسیم و اکسید کلسیم را شامل می‌شود، نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است همبستگی بسیار قوی بین مجموع عناصر موجود در مواد اولیه گدازآور و ماده اولیه سیلیس در بین ظروف آنالیزشده و



شکل ۸: (a) تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم برحسب نسبت درصد وزنی اکسید منیزیم به اکسید کلسیم، (b) تغییرات درصد وزنی مجموع اکسید سیلیسیم، اکسید آلومینیم، اکسید تیتانیم و اکسید آهن برحسب درصد وزنی مجموع اکسید سدیم، اکسید منیزیم، اکسید پتاسیم و اکسید کلسیم، در شیشه‌های آنالیزشده در این پژوهش.

Fig.8: Bi-scatter plot in wt.% of (a) Al₂O₃ in terms of the ratio of MgO to CaO, (b) Sum of silicon oxide, aluminum oxide, titanium oxide and iron oxide in terms of the sum of sodium oxide, magnesium oxide, potassium oxide and calcium oxide, in analyzed glasses in this research work

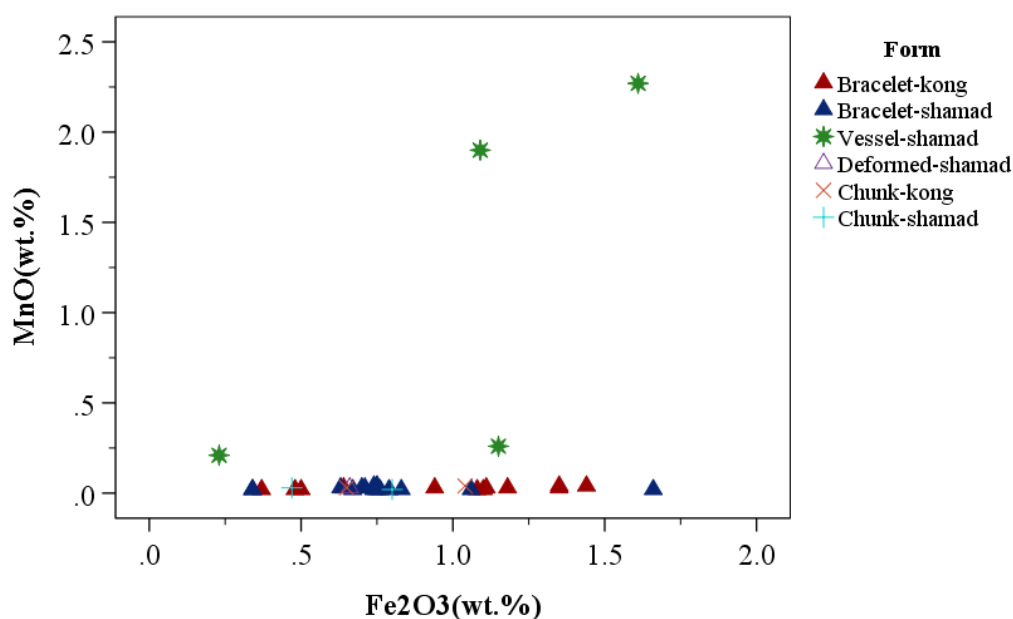
۳-۵. عناصر رنگزا و رنگبر در الگوها و

بررسی ایجاد رنگ سیاه

ترکیبات عنصری الگوهای آنالیز شده از محوطه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که اکسید آهن می‌تواند بیشترین نقش را به‌عنوان مواد رنگزا در این الگوها ایفا کند. همچنین اکسید منگنز نیز تنها عنصری است که در این نمونه‌ها می‌تواند نقش بی‌رنگ‌کننده و رنگبر را داشته باشد [38]. اما یکی از راه‌هایی که اکسید آهن و اکسید منگنز وارد ترکیبات شیشه می‌شود، به صورت ناخالصی موجود در ماده اولیه سیلیس است. بر این اساس، تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید منگنز نشان می‌دهد که اطلاعات مفیدی در مورد آگاهانه (عمدی) یا ناآگاهانه (غیرعمدی) افزوده شدن مواد رنگزا و رنگبر در فرایند ساخت می‌توان به‌دست آورد. معمولاً در صورتی که اکسید منگنز از ناخالصی موجود در سیلیس و به صورت غیرعمد وارد فرایند ساخت شیشه شده باشد، مقدار این اکسید در ترکیبات شیشه‌ها باید کمتر از حدود ۰/۲۰ درصد باشد [38]. بنابراین، با توجه به شکل ۹ مشخص است که در نمونه‌های آنالیز شده از بندر کنگ و شمد دیده‌بان فرایند افزوده شدن مواد بی‌رنگ‌کننده در الگوها به صورت ناآگاهانه و غیرعمدی انجام شده است. تنها در دو ظرف

این دو محوطه اکسید منگنز به صورت آگاهانه و مقادیر ۱/۸ درصد و ۲/۴ درصد اضافه شده است. اکسید آهن نیز احتمالاً در تمام شیشه‌ها به صورت غیرعمد که ناشی از ناخالصی موجود در سیلیس است، وارد ترکیبات الگوها و ظروف شده است.

بررسی‌های آزمایشگاهی روی شیشه‌های رومی سیاه‌رنگ و شیشه‌های رنگی بسیار تیره که به صورت سیاه به‌نظر می‌رسند، نشان داده است که این‌گونه از اشیای شیشه‌ای در حوزه مدیترانه، از نظر ترکیبات عنصری در دو گروه کاملاً متفاوت قرار می‌گیرند: یک گروه دارای اکسید آهن کم با مقدار وزنی زیر ۲ درصد که مربوط به دوره امپراتوری روم اولیه تا حدود ۱۵۰ سال پس از میلاد است و این میزان از اکسید آهن به صورت طبیعی و به صورت غیرعمد وارد شیشه‌ها شده است، گروه دوم دارای اکسید آهن بالا که مقدار آن بین ۱۰-۴ درصد تغییر می‌کند و مشخصه شیشه‌های تولید شده پس از ۱۵۰ سال پس از میلاد است. علاوه بر این، در این بررسی‌ها در شیشه‌های سیاه که در آن‌ها درصد وزنی آهن پایین است، شیشه‌های سیاه از نوع سیلیکا-سودا-آهک که در ساخت آن‌ها از خاکستر گیاهان به‌عنوان گدازآور استفاده شده بود، نیز شناسایی شدند [39].



شکل ۹: تغییرات درصد وزنی اکسید منگنز برحسب اکسید آهن در نمونه‌های آنالیز شده از دو محوطه بندر کنگ و شمد دیده‌بان
 Fig 9: Bi-scatter plot in wt.% of Fe₂O₃ versus MnO in analyzed samples from Band Kong and Shamd-e Dideban

دارای اکسید منیزیم بالاتر از ۳ درصد است و بین ۵/۰-۳/۵۰ درصد تغییر می‌کند، از نظر ترکیب عنصری دارای خصوصیات شیشه‌های نواحی میان رودان است که ایران نیز جزو یکی از این مناطق محسوب می‌شود. اما باید یادآوری کرد که برای یک مقایسه جامع و تعیین محل تولید شیشه‌های تاریخی علاوه بر مقدار اکسید منیزیم از مقایسه ترکیبات دیگری مانند اکسید کلسیم و اکسید آلومینیم نیز می‌توان کمک گرفت که در ادامه به صورت مبسوط از این مقایسه نیز استفاده خواهد شد [42,43]. البته وجود نمونه‌هایی که منشاء غیربومی دارند و می‌توانند بر اساس تبادلات تجاری به این محوطه‌ها وارد شده باشند، دور از ذهن نیست و می‌تواند از طریق ارتباطات دریایی از طریق خلیج فارس از حوزه مدیترانه و اروپا به این مناطق وارد شده باشد [44,45].

برای بررسی خاستگاه و محل تولید نمونه‌های مطالعه‌شده در این پژوهش، با توجه به اینکه ترکیبات تشکیل‌دهنده شیشه‌های تاریخی با زمان ساخت و همچنین محل و جغرافیای محل تولید آن ارتباط تنگاتنگ و معنی‌داری دارند [5]، از مقایسه ترکیبات عنصری نمونه‌هایی که از نظر دوره تاریخی و زمان ساخت ممکن است نزدیک به نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش باشند و همچنین از نظر منطقه‌ای نیز این احتمال وجود دارد که مواد اولیه یا نمونه‌های ساخته‌شده به صورت کامل، از آنجا تأمین شده باشد، کمک می‌گیریم. این مقایسه داده‌ها و نتایج گزارش شده از محوطه‌هایی بسیار مهم از ایران و کشورهای حوزه شرق مدیترانه مانند سوریه [46]، فلسطین [47,48]، لبنان [49] و مصر [50] را شامل می‌شود که در اوایل دوره اسلامی تأمین‌کننده عمده شیشه در جهان بوده‌اند. همچنین به دلیل نزدیکی جغرافیایی و تاریخی شیشه‌های ساسانی به دست‌آمده از محوطه‌های تاریخی مانند تیسفون و وه اردشیر [50-52] و سامراه [8] از کشور عراق نیز با نمونه‌های این محوطه‌ها مقایسه شده است. برای این مقایسه و برای اینکه در مورد محل تولید و تفاوت در مواد اولیه استفاده‌شده در نمونه‌های کشف‌شده در هریک از محوطه‌های تاریخی بتوان اظهار نظر کرد، یکی از فاکتورها و راهکارهای مهم بررسی تغییرات درصد

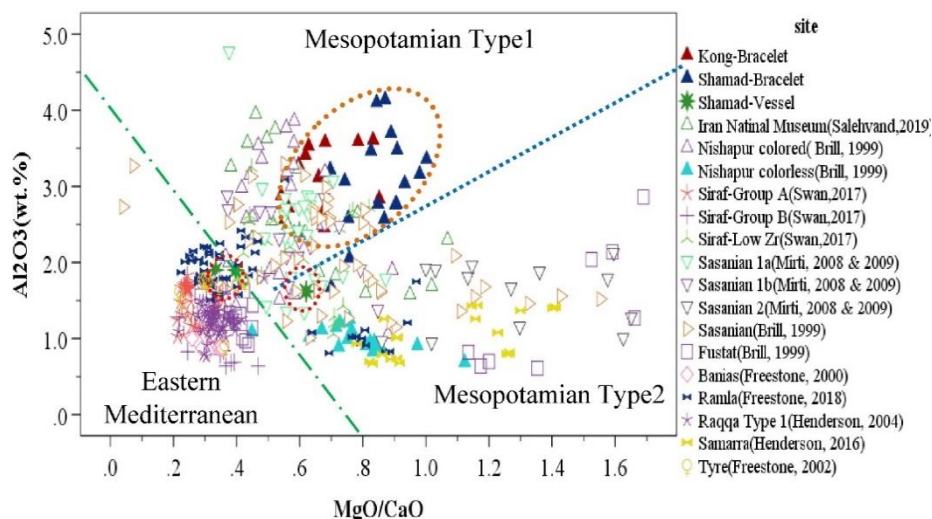
با توجه به اینکه در شیشه‌های آنالیزشده در این پژوهش اکسید آهن با سایر عناصر مانند اکسید تیتانیوم همبستگی قوی دارد، بنابراین می‌توان منشاء این عناصر در شیشه را به وجود ناخالصی‌های موجود در سیلیکا نسبت داد که نشان می‌دهد برخلاف تعداد قابل توجهی از شیشه‌های سیاه رومی که رنگ سیاه به دلیل افزودن عمدی اکسید آهن است، در این نمونه‌ها هیچ اکسید آهنی به صورت عمدی و جداگانه در حین ساخت و فرم‌دهی الگوها به خمیره شیشه اضافه نشده است. همچنین این شیشه‌های سیاه‌رنگ حاوی مقدار بسیار کمتری اکسید آهن نسبت به شیشه‌های سیاه آنالیزشده از دوران روم در دیگر نقاط جهان است [2]. از طرف دیگر، ایجاد رنگ سیاه در الگوهای سیاه در شیشه‌های رومی که اکسید آهن در آن‌ها کمتر از ۲ درصد بود و به صورت غیرعمد وارد ترکیبات شیشه شده بود، به ضخامت این نمونه‌ها ارتباط داده شده است که در مورد الگوهای آنالیزشده در این پژوهش نیز ممکن است ایجاد رنگ سیاه به دلیل ضخامت این الگوها باشد، زیرا همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد در برخی از الگوها اگر نمونه نازک از آن الگو تهیه کنیم، رنگ شیشه به کاررفته در آن قهوه‌ای است [2].

۶. بررسی منشاء تولید شیشه‌های بندر کنگ و شمد دیده‌بان

برای مقایسه بین شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک آنالیزشده از این محوطه و مناطق دیگر جهان در دوران اسلامی، مقدار اکسید منیزیم اندازه‌گیری شده در شیشه‌ها، یکی از ترکیبات مهم است. بر اساس مقالات و داده‌های منتشرشده در مراجع مختلف مشاهده می‌شود در شیشه‌های تولیدشده در شرق مدیترانه مانند مصر، فلسطین و سوریه که مراکز عمده ساخت شیشه در این دوره هستند، غالباً درصد وزنی اکسید منیزیم کمتر از ۳/۵ درصد است، درحالی‌که در شیشه‌های تولیدشده در میان رودان و ایران، میزان این اکسید بیشتر از ۳/۵ درصد است [4,40-42]. بنابراین، با توجه به مقدار اکسید منیزیم، ظروف آنالیزشده ممکن است منشاء غیربومی داشته باشند. اما غالب الگوهای آنالیزشده از این پژوهش که

مهمی برای بررسی منابع سیلیس مورد استفاده در فرایند ساخت است. همچنین مقدار اکسید منیزیم و اکسید کلسیم و نسبت این دو اکسید در شیشه‌ها، نشان‌دهنده ویژگی‌های منابع سودا مورد استفاده در فرایند ساخت است.

وزنی اکسید آلومینیم برحسب نسبت اکسید منیزیم به اکسید کلسیم در نمونه‌های مختلف است که در مقالات متعددی از این مقایسه استفاده شده است [15,42,43,48,53]. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، مقدار اکسید آلومینیم موجود در شیشه‌ها که یکی از ناخالصی‌های موجود در سیلیس است، شاخص بسیار



شکل ۱۰: تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم برحسب نسبت درصد وزنی اکسید منیزیم به اکسید کلسیم در نمونه‌های آنالیز شده از بندر کنگ و شمد دیده‌بان و مقایسه آن‌ها با نمونه‌هایی از ایران [10,46,50]، سوریه [46]، فلسطین [47,48]، لبنان [49]، مصر [42] و محوطه‌های تاریخی مانند تیسفون و وه اردشیر [50-52] و سامراه [8] از کشور عراق.

Fig.10: Bi-scatter plot in wt.% of Al₂O₃ in terms of the ratio of MgO to CaO in all analyzed samples in this research work and their comparison with glasses from Iran [10,46,54], Syria [46], Palestine [47, 48], Lebanon [49], Egypt [42] and few historical sites such as Ctesiphon and Ve Ardashir [50-52] and Samarra [8] from Iraq

نشان داده شده‌اند، به‌طور کامل از نمونه‌های آنالیز شده از شرق مدیترانه که شامل محوطه‌هایی از سوریه، مصر، فلسطین و لبنان است، جدا شده‌اند. اما دو ظرف آنالیز شده از محوطه شمد دیده‌بان در ناحیه مربوط به نمونه‌های شرق مدیترانه قرار گرفته‌اند. از طرفی، ترکیبات عنصری این دو نمونه از نظر میزان اکسید منیزیم و همچنین میزان ناخالصی‌هایی مانند اکسید آلومینیم کاملاً با شیشه‌های این مناطق مطابقت دارد و این احتمال تقویت می‌شود که از این مناطق، وارد حوزه خلیج فارس شده باشد. از طرفی، یک نمونه از ظروف و دو نمونه از الگوهای شمد دیده‌بان نیز در گروه شیشه‌های بین النهرین ۲ قرار گرفته است که ممکن است متشاء جداگانه‌ای داشته باشد. به‌جز این سه نمونه، تمام

در شکل ۱۰ نتایج مقایسه نمونه‌های آنالیز شده در این پژوهش و نمونه‌های آنالیز شده از محوطه‌های مختلف از عراق، سوریه، فلسطین، مصر و ایران نشان داده شده است. بر اساس این نمودار، ترکیبات شیشه‌های اسلامی و دوره ساسانی که از نظر تاریخی و جغرافیایی بسیار نزدیک به شیشه‌های اوایل دوره اسلامی هستند، همان‌طور که در شکل ده با خطوط راست خط‌چین نشان داده شده است، به سه ناحیه تقریباً مجزا تقسیم می‌شوند که عبارت است از: نمونه‌های شرق مدیترانه، نمونه‌های بین‌النهرین نوع ۱ و نمونه‌های بین‌النهرین نوع ۲. بر اساس این نمودار همان‌طور که در این شکل کاملاً مشخص است، نمونه‌های آنالیز شده از بندر کنگ و شمد دیده‌بان که با مثلث‌های رنگی توپر قرمز و آبی تیره

یا خیر. بر اساس اندازه‌گیری ترکیبات عنصری شیشه‌ها و به‌ویژه تعیین عناصری مانند منیزیم، پتاسیم، سدیم و کلسیم می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شیشه‌های یافت‌شده در این محوطه‌ها از نوع شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک است که منبع تأمین گداز‌آور آن خاکستر حاصل از گیاهان است. همچنین می‌توان مشاهده کرد که در ساخت النگوهای این دو محوطه از گداز‌آورهای متفاوتی استفاده شده است. همچنین بررسی تغییرات ناخالصی‌های مانند اکسید آلومینیم، اکسید تیتانیم و اکسید آهن موجود در سیلیس نشان می‌دهد تفاوت‌های معنی‌داری در ترکیبات سیلیس مورد استفاده در این دو محوطه وجود دارد. از طرفی دیگر، استفاده از منابع متفاوت سیلیس و سودا در النگوهای دو محوطه و همچنین ظروف به‌دست‌آمده در شمد دیده‌بان بر اساس تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم برحسب نسبت اکسید منیزیم به اکسید کلسیم کاملاً مشخص است. همچنین مشخص است که در نمونه‌های آنالیزشده از بندر کنگ و شمد دیده‌بان فرایند افزوده‌شدن مواد بی‌رنگ‌کننده در النگوها به‌صورت ناآگاهانه و غیرعمدی انجام شده است. تنها در دو ظرف این دو محوطه اکسید منگنز به‌صورت آگاهانه و با مقادیر ۱/۸ درصد و ۲/۴ درصد اضافه شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که اکسید آهن نیز در تمام شیشه‌ها به‌صورت غیرعمد وارد نمونه‌ها شده است که می‌تواند ناشی از ناخالصی موجود در سیلیس باشد. در آینده نزدیک و در ادامه، بررسی شیشه‌های حوزه خلیج فارس، مطالعه النگوهای سیاه شیشه‌ای به‌دست‌آمده از محوطه لشتان که نمونه‌های فراوانی از النگوهای با رنگ سیاه در آن به‌دست آمده است، انجام و ارائه خواهد داشت تا با تکمیل نتایج حاضر، بتوان مجموعه‌ای از داده‌های آزمایشگاهی با آمار بالا برای مقایسه با شیشه‌های سیاه آنالیزشده از دیگر مناطق جهان فراهم گردد.

نمونه‌های مورد مطالعه از این دو محوطه‌ها از نمونه‌های بین‌النهرین ۲ که شامل گروه خاصی از نمونه‌های دوره ساسانی که نمونه‌های ساسانی نوع ۲ نامیده شده‌اند [52] و همچنین نمونه‌های اوایل دوره اسلامی از سامره در عراق متمایز هستند. بنابراین، همان‌طور که در این شکل مشخص است، شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک آنالیزشده از محوطه‌های مورد مطالعه از حوزه خلیج فارس در ناحیه‌ای قرار گرفته‌اند که در شکل ۱۰ با نام بین‌النهرین نوع ۱ نامگذاری شده است. در این ناحیه تقریباً تمام نمونه‌های آنالیزشده از ایران که قدمت آن‌ها به دوره اوایل اسلامی برمی‌گردد و همچنین گروه دیگری از نمونه‌های ساسانی که نمونه‌های ساسانی نوع ۱ نامیده شده و از محوطه‌های تاریخی دوره ساسانی در عراق به‌دست آمده‌اند [52]، قرار گرفته‌اند. بنابراین، کاملاً مشخص است شیشه‌های به‌دست‌آمده از بندر کنگ و شمد دیده‌بان با شیشه‌های دوره اسلامی در حوزه شرق مدیترانه و غالب نمونه‌های ساسانی نوع ۲ کاملاً متفاوت است و ممکن است با استفاده از منابع تأمین‌کننده سودا و سیلیس که به‌صورت بومی و منطقه‌ای که در ایران تولید می‌شده است، ساخته شده باشند.

۷. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ما به دنبال پاسخگویی به برخی از پرسش‌های اساسی در مورد فرایند ساخت مصنوعات شیشه‌ای در مناطق جنوب ایران و سواحل خلیج فارس در دوران میانی و متأخر اسلامی بودیم. اولین و اساسی‌ترین پرسش مطرح‌شده این بود که در مصنوعات شیشه‌ای که از محوطه‌های مختلف در سواحل خلیج فارس به‌دست آمده‌اند، از چه مواد اولیه‌ای در ساخت شیشه‌ها استفاده شده است و مهم‌تر اینکه آیا فرایند تجارت و نقل و انتقالات مواد اولیه شیشه در این مناطق وجود داشته است

References

- [1] Cosyns P. The production, distribution and consumption of black glass in the Roman Empire during the 1st-5th century AD: An archaeological, archaeometric and historical approach: PHD thesis, Brussels, 2012.
- [2] Cagno S, Cosyns P, Izmer A, Vanhaecke F, Nys K, Janssens K. Deeply colored and black-appearing

- Roman glass: a continued research. *Journal of Archaeological Science*. 2014;42(Supplement C):128-39.
- [3] Cosyns P, Hanut F, editors. Black glass of second to third-century date in northern Gaul: a preliminary survey. *Annales of the 16th AIHV Congress, London 2003*; 2005: AIHV Nottingham.
- [4] Janssens K. *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass*: John Wiley & Sons, Ltd., Publication; 2013.
- [5] Rehren T, Freestone IC. Ancient glass: from kaleidoscope to crystal ball. *Journal of Archaeological Science*. 2015;56:233-41.
- [6] Henderson J. *Ancient Glass: An Interdisciplinary Exploration*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013.
- [7] Schibille N, Lankton J, Gratuze B. Compositions of early Islamic glass along the Iranian Silk Road. *Geochemistry*. 2022;125903.
- [8] Henderson J, Chenery S, Faber E, Kröger J. The use of electron probe microanalysis and laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry for the investigation of 8th–14th century plant ash glasses from the Middle East. *Microchemical Journal*. 2016;128:134-52.
- [9] Wypyski MT. Chemical Analysis of Early Islamic Glass from Nishapur. *Journal of Glass Studies*. 2015;57:121-36.
- [10] Salehvand N, Agha-Aligol D, Shishegar A, Lamchi Racht M. The study of chemical composition of Persian glass vessels of the early Islamic centuries (10th–11th centuries AD) by micro-PIXE; Case Study: Islamic collection in the National Museum of Iran. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2020;29:102034.
- [11] 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 Research on Archaeometry*. 2018;4(1):47-65 [In Persian].
- [12] Agha-Aligol D, Jafarizadeh M, Rahbar M, Moradi M. Elemental Composition of Glass Beads Excavated from Saleh Davoud Tombs in Susa by micro-PIXE: Evidences of Trade of Glass Artifacts During the Parthian Period. *Journal of Research on Archaeometry*. 2019;5(1):143-66 [In Persian].
- [13] Agha-Aligol D, Yousefi H, Moradi M. Elemental Composition of Glass Artifacts Excavated from Takht-e Suleiman World Heritage Site and Ardabil Ancient Sites in Northwestern Iran by Micro-PIXE. *Journal of Research on Archaeometry*. 2021;7(1):31-53 [In Persian].
- [14] Agha-Aligol D, Sodaei B, Khosravi L, Karimi M. Investigation and Study of Glass Artifacts of the Sassanid Period; Case Study: Jahangir Dome and GouriyeH Glasses in Ilam Province using Micro-PIXE Technique. *Journal of Research on Archaeometry*. 2019;5(2):47-50 [In Persian].
- داود آقا علی‌گل، مسلم جعفری‌زاده، محمود مرادی. میکروپیکسی: روشی توانمند در بررسی و تعیین مواد اولیه مصنوعات شیشه‌ای دوره اشکانی کاخ شاتور (شوش)، پژوهش باستان‌سنجی ۱۳۹۷، ۴(۱)، ۴۷-۶۵
- داود آقا علی‌گل، مسلم جعفری‌زاده، مهدی رهبر، محمود مرادی. کاربرد روش میکروپیکسی برای آنالیز عنصری مهره‌های شیشه‌ای مکشوفه از آرامگاه‌های صالح‌داود خوزستان: شواهدی از تجارت مصنوعات شیشه‌ای در دوره اشکانی. پژوهش باستان‌سنجی ۱۳۹۸، ۵(۱)، ۱۴۳-۱۶۶
- داود آقا علی‌گل، حسن یوسفی، محمود مرادی. آنالیز عنصری و اندازه‌گیری ترکیبات تشکیل‌دهنده مصنوعات شیشه‌ای به‌دست‌آمده از مجموعه میراث جهانی تخت سلیمان و محوطه‌های باستانی اردبیل در شمال غربی ایران با استفاده از روش میکروپیکسی، پژوهش باستان‌سنجی ۱۴۰۰، ۷(۱)، ۳۱-۵۳

- [داود آقا علی‌گل، بیتا سودایی، لیلا خسروی، مینا کریمی. بررسی و مطالعه مصنوعات شیشه‌ای دوره ساسانی؛ نمونه مطالعاتی: شیشه‌های محوطه گنبد جهانگیر و (تپه) گوریه در استان ایلام با استفاده از روش میکروپیکسی، پژوهش باستان‌شناسی ۱۳۹۸، ۵(۲)، ۴۷-۷۰]
- [15] Swan CM, Rehren T, Lankton J, Gratuze B, Brill RH. Compositional observations for Islamic Glass from Sīrāf, Iran, in the Corning Museum of Glass collection. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2017;16:102-16.
- [16] Mohammad Bagher Vosooghi, (2010). Causes and factors of the relocation of business centers in the Persian Gulf, Tehran, Institute for Islamic History.
- [وثوقی، محمدباقر. علل و عوامل جابه‌جایی کانون‌های تجاری در خلیج فارس، تهران، پژوهشکده تاریخ اسلام، ۱۳۸۹]
- [17] Hasan Fasā'ī, (2003), Naseri Farsnameh, editado por Mansour Rastegar Fasaei., Teheran: Amirkabir[In Persian].
- [فسایی، حسن بن حسن. فارسنامه ناصری، تصحیح و تحشیه منصور رستگار فسایی. تهران، امیرکبیر، ۱۳۷۸]
- [18] Abyan, Davod, (2005), The first and second Seasons of Archaeological Survey of Lengeh Port, Tehran, Archives of the Iranian Center for Archaeological Research, (unpublished)[In Persian].
- [آبیان، داود. فصل اول و دوم بررسی‌های باستان‌شناسی بندرلنگه، مرکز اسناد پژوهشکده باستان‌شناسی، (منتشر نشده)، ۱۳۸۴]
- [19] Omidi, Kazem. Archaeological Survey Ilud, Kalat, Jenah, SHammad and Lashtan Castles in the Hormozgan province (Bastak and Lengeh cities), Tehran, Archives of the Iranian Center for Archaeological Research, (unpublished), 2017. [In Persian].
- [امیدی، کاظم. گزارش بررسی باستان‌شناسی محوطه‌های لشتان، شمد دیده‌بان، قلعه جناح و ایلود و کلات واقع در شهرستان‌های بندر لنگه و بستک استان هرمزگان، تهران،
- مرکز اسناد پژوهشکده باستان‌شناسی، (منتشر نشده)، ۱۳۹۷]
- [20] Sven A. E. Johansson JLC. PIXE: a novel technique for elemental analysis: Wiley; 1988.
- [21] Demortier G. Ion Beam Techniques for the Non-destructive Analysis of Archaeological Materials. In: Uda M, Demortier G, Nakai I, editors. X-rays for Archaeology. Dordrecht: Springer Netherlands; 2005. p. 67-100.
- [22] Grime GW, Watt F. Focusing protons and light ions to micron and submicron dimensions. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 1988;30(3):227-34.
- [23] Oliay P, Agha-Aligol D, Shokouhi F, Lamchi-Rachti M. Analysis of Iranian postage stamps belonging to the Qajar dynasty (18th–20th century's) by micro-PIXE. *X-Ray Spectrometry*. 2009;38(6):479-86.
- [24] Campbell JL, Boyd NI, Grassi N, Bonnick P, Maxwell JA. The Guelph PIXE software package IV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*. 2010;268(20):3356-63.
- [25] 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;107(6):719-27.
- [26] Sayre EV, Smith RW. Compositional Categories of Ancient Glass. *Science*. 1961;133(3467):1824-6.
- [27] Degryse P, Braekmans D. Elemental and Isotopic Analysis of Ancient Ceramics and Glass A2 - Holland, Heinrich D. In: Turekian KK, editor. *Treatise on Geochemistry (Second Edition)*. Oxford: Elsevier; 2014. p. 191-207.
- [28] Whitehouse D. 'Things that travelled':

- the surprising case of raw glass. *Early Medieval Europe*. 2003;12(3):301-5.
- [29] Then-Obluska J, Dussubieux L. Glass bead trade in the Early Roman and Mamluk Quseir ports - A view from the Oriental Institute Museum assemblage. *Archaeological Research in Asia*. 2016;6:81-103.
- [30] Carter A, Dussubieux L, Polkinghorne M, Pottier C. Glass artifacts at Angkor: evidence for exchange. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2019;11(3):1013-27.
- [31] Stéphanie Boulogne JH. Indian Glass in The Middle East? Medieval and Ottoman Glass Bangles from Central Jordan. *Journal of Glass Studies, Corning Museum of Glass*. 2009;59:53-75.
- [32] Oikonomou A, Triantafyllidis P. An archaeometric study of Archaic glass from Rhodes, Greece: Technological and provenance issues. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2018.
- [33] Venclová N, Křížová Š, Dillingerová V, Vaculovič T. Hellenistic cast monochrome glass vessels from Staré Hradisko, 2nd–1st cent. BCE. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2018.
- [34] Lin Y, Liu T, Toumazou MK, Counts DB, Kakoulli I. Chemical analyses and production technology of archaeological glass from Athienou-Malloura, Cyprus. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2019;23:700-13.
- [35] Freestone IC, Jackson-Tal RE, Taxel I, Tal O. Glass production at an Early Islamic workshop in Tel Aviv. *Journal of Archaeological Science*. 2015;62:45-54.
- [36] Shortland AJ, Kirk S, Eremin K, Degryse P, Walton M. The Analysis of Late Bronze Age Glass from Nuzi and the Question of the Origin of Glass-Making. *Archaeometry*. 2018;60(4):764-83.
- [37] Machado A, Wolf S, Alves LC, Katona-Serneels I, Serneels V, Trümpler S, et al. Swiss Stained-Glass Panels: An Analytical Study. *Microscopy and Microanalysis*. 2017;23(4):878-90.
- [38] Gliozzo E, Lepri B, Sagù I, Turbanti Memmi I. Colourless glass from the Palatine and Esquiline hills in Rome (Italy). New data on antimony- and manganese-decoloured glass in the Roman period. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2017;9(2):165-80.
- [39] Van Der Linden V, Cosyns P, Schalm O, Cagno S, Nys K, Janssens K, et al. deeply coloured and black glass in the northern provinces of the roman empire: differences and similarities in chemical composition before and after 150 AD. *Archaeometry*. 2009;51(5):822-44.
- [40] Schibille N, Gratuze B, Ollivier E, Blondeau É. Chronology of early Islamic glass compositions from Egypt. *Journal of Archaeological Science*. 2019;104:10-8.
- [41] Freestone IC, Degryse P, Lankton J, Gratuze B, Schneider J. HIMT, glass composition and commodity branding in the primary glass industry. In: Rosenow D, Phelps M, Meek A, Freestone I, editors. *Things that Travelled. Mediterranean Glass in the First Millennium AD*: UCL Press; 2018. p. 159-90.
- [42] De Juan Ares J, Calderón NF, Muñiz López I, García Álvarez-Busto A, Schibille N. Islamic soda-ash glasses in the Christian kingdoms of Asturias and León (Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2018;22:257-63.
- [43] Fiorentino S, Venezia B, Schibille N, Vandini M. Streams across the Silk Roads? The case of Islamic glass from Ghazni. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2019;25:153-70.
- [44] Abe, Y, Shikaku, R, Nakai, I. Ancient glassware that traveled the Silk Road: Nondestructive X-ray fluorescence

- analysis of tiny glass fragments believed to be sampled from glassware excavated from Niizawa Senzuka Tumulus No. 126, Japan, *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2018; 17: 212-219.
- [45] Henderson J, Chenery S, Kröger J, Faber EW. Glass Provenance along the Silk Road: The Use of Trace Element Analysis. *Recent Advances in the Scientific Research on Ancient Glass and Glaze*. p. 17-42.
- [46] Henderson J, McLoughlin SD, McPhail DS. Radical changes in Islamic glass technology: evidence for conservatism and experimentation with new glass recipes from early and middle Islamic Raqqa, Syria. *Archaeometry*. 2004;46(3):439-68.
- [47] Freestone IC, Gorin-Rosen Y, Hughes MJ, editors. *Primary Glass from Israel and the Production of Glass in Late Antiquity and the Early Islamic Period*. Colloque organisé en 1989 par l'Association française pour l'Archéologie du Verre (AFAV); 2000.
- [48] Rosenow D, Phelps M, Meek A, Freestone I. Things that Travelled: Mediterranean Glass in the First Millennium AD: UCL Press; 2018.
- [49] Freestone I. Composition and affinities of glass from the furnaces on the Island Site, Tyre 2002. 67-76 p.
- [50] Brill RH. *Chemical analyses of early glasses: Vols I and II*, Corning Museum of Glass, New York 1999.
- [51] Mirti P, Pace M, Negro Ponzi MM, Aceto M. icp–ms analysis of glass fragments of parthian and sasanian epoch from seleucia and veh ardašir (central iraq). *Archaeometry*. 2008;50(3):429-50.
- [52] Mirti P, Pace M, Malandrino M, Ponzi MN. Sasanian glass from Veh Ardašir: new evidences by ICP-MS analysis. *Journal of Archaeological Science*. 2009;36(4):1061-9.
- [53] Wood M, Panighello S, Orsega EF, Robertshaw P, van Elteren JT, Crowther A, et al. Zanzibar and Indian Ocean trade in the first millennium CE: the glass bead evidence. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2017;9(5):879-901.