Journal of Research on
ARCHAEOMETRY
A Peer-Reviewed Academic Journal of Archaeological and Conservation Science Studies

Tabriz Islamic Art University

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

Research Paper

The study of Glass Artifacts from the Historic Port of Najrom in the Persian Gulf Using Elemental Composition Analysis: Evidence of Trade with the Eastern Mediterranean Region

Davoud Agha-Aligholi*[1], Hossein Tofighian[2], Mahmoud Moradi[3]

1. Researcher, Nuclear Science and Technology Research Institute, Physics and Accelerators Research institute, Van de Graaff Laboratory, Tehran, Iran
2. Associate Professor , Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, Archaeology Research Center, Tehran, Iran
3. Lab. Expert, Nuclear Science and Technology Research Institute, Physics and Accelerators Research institute, Van de Graaff Laboratory, Tehran, Iran

* Correspondence: daghaaligol@aeoi.org.ir

Abstract

In this research project, 17 samples of glass artifacts recovered from the historic port of Najirom in the Persian Gulf dating to the early and middle Islamic period were analyzed using the micro-PIXE technique for elemental composition. The studied glass objects include 8 glass bracelets and 9 glass vessels. The primary question addressed is: What raw materials were used to manufacture these glass artifacts, and were the same materials used for both the bracelets and the vessels? Was the fluxing agent derived from the mineral natron or from plant ash? Were the glass artifacts found at Najirom locally produced, or were they imported through trade and exchange? Another objective of this study is to examine the quality and purity of the silica sources, as well as the diversity of colorants and decolorizing agents used in the manufacturing process. The results of the elemental composition analysis indicate that, with the exception of one vessel, all analyzed glass samples from the site fall into the silica–soda–lime glass type made with plant ash. However, significant variations in the weight percentages of magnesium oxide and potassium oxide in the glass compositions clearly suggest that different raw materials were used for the bracelets and vessels found at the historic port of Najirom. Moreover, the weight percentages of elements introduced into the glass from the silica source reveal that the bracelets and vessels were produced using different silica sources, which may indicate different production sites for these glass artifacts. Accordingly, it is possible that the samples recovered from Najirom were manufactured in various workshops within and outside of Iran, and brought to the port through trade and exchange. A notable example of an imported object is a perfume bottle, which falls into the natron glass type and was likely produced in the eastern Mediterranean region, in countries such as Egypt or Palestine.

Received: 2025/08/25
Revised: 2025/12/1
Accepted: 2025/12/10
Published: 2025/12/30

Copyright: ©2025 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

Keywords: Glass artifacts, elemental composition, micro-PIXE, Najirom port, Persian Gulf

Introduction

The historic port of Najirom is situated approximately ten kilometers west of the port of Deyr, within Kangan County in Bushehr Province. As part of an archaeological survey of historic Persian Gulf ports conducted between 2009 and 2023, under the supervision of Dr. Hossein Tofighian, the ancient site of Najirom was re-examined, and its surface cultural materials were systematically studied (Tofighian 2009, 2021, 2023). Archaeological surveys at the historical port of Najirom, have indeed uncovered a rich array of cultural materials-including hundreds of broken glass shards from vessels and bracelets. This research aims to contribute to the scientific understanding of glass production in southwestern Iran, particularly at historical sites along the Persian Gulf coast. A central objective of this study is to identify the raw materials used in the manufacture of glass artifacts during the Islamic Middle period

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

and to determine whether the vessels and bracelets were produced using similar materials. Furthermore, the research seeks to explore potential evidence of imported glass vessels and bracelets from other regions via maritime trade through the Persian Gulf.

Methodology

In this research project, 17 glass artifacts recovered from the historical site of Najirom were selected for elemental analysis. These included 8 glass bracelets and 9 glass vessels. All bracelets are monochromatic, 7 are entirely black, and one is green. In terms of form, 4 bracelets are plain, while the remaining 4 exhibit a twisted design. Moreover, based on the morphology and visual characteristics of the fragments of vessels, samples were selected specifically from the dark-colored glass vessels to enable comparative analysis of their elemental composition and raw materials with those of the bracelets. To analyze the glass artifacts from Najirom, the micro-PIXE (Particle Induced X-ray Emission at micron scale) technique was employed. This method utilizes a Van de Graaff accelerator, where high-energy protons interact with the sample, causing the emission of characteristic X-rays from the constituent elements. Each element emits X-rays at a specific energy level, allowing for precise identification. Additionally, the intensity of these X-rays correlates with the concentration of each element within the sample. In this study, micro-PIXE analysis was conducted using an Oxford Instruments microprobe with 3 MV Van de Graaff accelerator at the Atomic Energy Organization of Iran. The samples were irradiated with a 2.2 MeV proton beam focused to a diameter of less than 10 μm..

Results

Based on micro-PIXE analysis, the main components of the glass samples from Najirom are:

1. SiO_2 with a weight percentage of 58.71–68.18wt.%
2. Na_2O with a weight percentage of 12.07–19.80wt.%
3. CaO with a weight percentage of 4.07–9.18wt.%

Therefore, it can be concluded that all the analyzed glass samples from this site are of the silica-soda-lime glass type. Additionally, the amount of MgO in these samples-except for sample VNJ14-ranges between 2.30–5.96wt.%, and K_2O varies between 1.57–3.24wt.%. Given that the weight percentages of these two elements in the analyzed samples are more than 1.5wt.%, these glasses are classified as plant ash silica-soda-lime glass type (Henderson et al. 2020; Sayre & Smith 1961).

Discussion

Statistical analysis indicates that among the analyzed samples from the Najirom site, three completely distinct groups can be identified, with no overlap between them. According to figure 1, the analyzed bracelets are almost entirely separated from the examined vessels, and each is placed in separate groups, as marked by colored ellipses.

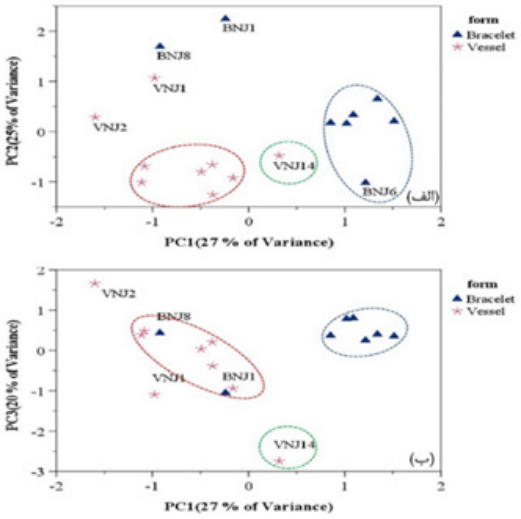


Figure 1. Classification of the examined samples using principal components: a) PC 1 versus PC2 , b) PC1 versus PC3.

Moreover, based on elemental composition, two distinct origins and production centers can be proposed for the glassware from Najirom:1. Most of the bracelets and some of the vessels were very likely produced in the eastern Mediterranean and imported to Najirom via maritime trade. 2. Some of the vessels were probably manufactured in the Mesopotamian region, in workshops that may have been located in Iraq, western Iran, or Nishapur.

However, by comparing the elemental composition of sample VNJ14 with the results reported in literatures, it can be concluded that this sample closely matches the well-known Levantine 1 or Egyptian 2 glass groups. The production of this type of glass is the coastal regions of Egypt and Palestine (Paynter 2006). Moreover, the weight percentages of sodium oxide and potassium oxide in the bracelets from Najirom differ significantly from those found in bracelets from other ports in the Persian Gulf region. This indicates that a different fluxing agent was used in their production. Additionally, certain impurities originating from the silica raw material-such as aluminum oxide and titanium oxide-are present in notably higher amounts in the samples from Najirom compared to those from other ports. Therefore, due to the similarity in some elemental compositions between Najirom and Siraf, it is likely that the bracelets from these two sites share a common origin and production center. However, it is clearly evident that the bracelets from Najirom differ in origin and manufacturing location from those found in Kong and Shamd-e Dideban.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

Conclusion

Based on the elemental composition measurements of the glass samples-particularly elements such as magnesium, potassium, sodium, and calcium-it can be concluded that, with the exception of one sample, all the glass artifacts found at the historical site of Najirom are of the silica-soda-lime glass type, with the fluxing agent derived from plant ash. It was also determined that the bracelets and vessels discovered at Najirom were produced using different fluxing agents. Moreover, elemental analysis results of one of the vessels clearly confirm that it is an imported and non-local artifact. By comparing the elemental composition of this natron-based vessel with reported data from other natron glass samples, it can be inferred that this type of glass was likely manufactured along the coasts of Palestine and Egypt in the Mediterranean region.

Author Contributions: Ideation: D.A. and H.T.; Methodology: D.A. and M.M.; Software: D.A.; Validation: D.A. and H.T. and M.M.; Formal analysis: D.A.; Research and review: D.A. and H.T.; Sources: D.A. and H.T.; Data management and organization: D.A. and H.T.; Writing of the first draft: D.A. and H.T.; Review and editing of the text: D.A. and H.T.; Data visualization: D.A.; Supervision: D.A.; Project management: D.A. "All authors have read and agreed with the published version of the article."

Funding: This research has not received any external funding.

Data Availability Statement: The dataset is available from the authors upon request..

Acknowledgments: We would like to thank the support of the Nuclear Science and Technology Research Institute and all colleagues at the Vandograph Laboratory who provided suitable conditions for sample analysis.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest..

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

پژوهه باستان سنجی
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

مقاله پژوهشی

مطالعهٔ مصنوعات شیشه‌ای بندر تاریخی نجیرم در خلیج فارس با رویکرد اندازه‌گیری ترکیبات عنصری: شواهدی از تجارت با حوزهٔ شرق مدیترانه

داوود آقاعلی‌گل[۱*]، حسین توفیقیان[۲]، محمود مرادی[۳]

۱. پژوهشگر، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده فیزیک و شتابگرها، آزمایشگاه واندوگراف، تهران، ایران
۲. دانشیار، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، پژوهشکده باستان شناسی، تهران، ایران
۳. کارشناس، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده فیزیک و شتابگرها، آزمایشگاه واندوگراف، تهران، ایران
* مسئول مکاتبات: daghaaligol@aeoi.org.ir

چکیده

در این طرح پژوهشی ۱۷ نمونه از اشیاء شیشه‌ای به‌دست‌آمده از بندر تاریخی نجیرم خلیج فارس متعلق به دوره‌های اولیه و میانهٔ اسلامی با استفاده از روش میکروپیکسی مورد آنالیز عنصری و بررسی قرار گرفته است. اشیاء شیشه‌ای موردمطالعه شامل ۸ النگوی شیشه‌ای و ۹ ظرف شیشه‌ای با رنگ‌های مختلف می‌باشد. اولین سؤال اساسی در این زمینه این است که برای ساخت مصنوعات شیشه‌ای این محوطه از چه مواد اولیه‌ای استفاده شده و آیا مواد اولیهٔ استفاده‌شده در ساخت النگوها و ظروف یکسان هستند؟ مادهٔ گدازآور استفاده‌شده در این مصنوعات از مادهٔ معدنی ناترون و یا خاکستر گیاهان تأمین شده است؟ آیا مصنوعات شیشه‌ای یافت‌شده در بندر نجیرم تولیدات بومی بوده و یا از طریق تجارت و مبادله وارد این محوطهٔ بندری شده‌اند. بررسی کیفیت و خلوص منابع سیلیس و همچنین تنوع مواد رنگزا و رنگبر استفاده‌شده در فرایند ساخت از دیگر اهداف این پژوهش می‌باشد. نتایج ترکیبات عنصری و تحلیل آن‌ها نشان می‌دهد اگرچه به جزء یک نمونه از ظروف، تمام شیشه‌های آنالیزشده از این محوطه در گروه شیشه‌های سیلیکا- سودا-آهک تولید شده با خاکستر گیاهان قرار می‌گیرند، اما بر اساس تغییرات فاحش درصد وزنی اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم موجود در ترکیبات شیشه، متفاوت‌بودن مادهٔ اولیه به کار رفته در النگوها و ظروف یافت‌شده در محوطهٔ تاریخی بندر نجیرم کاملاً مشخص است. همچنین، درصد وزنی عناصری که از مادهٔ اولیهٔ سیلیس وارد شیشه می‌شود نشان می‌دهد که النگوها و ظروف به‌دست‌آمده در نجیرم با منابع سیلیس متفاوتی تولید شده‌اند که می‌تواند نشان‌دهندهٔ محل تولید متفاوت این مصنوعات شیشه‌ای باشد. بر این اساس ممکن است نمونه‌های به‌دست‌آمده در بندر نجیرم در کارگاه‌های مختلفی در داخل و خارج از جغرافیای ایران تولید شده و سپس به‌واسطهٔ ارتباطات تجارتی و دادوستد به این محوطه وارد شده باشند. از نمونه‌های شاخص وارداتی می‌توان به ظرفی که به شکل عطردان است اشاره کرد که در گروه شیشه‌های ناترونی طبقه‌بندی می‌شود و احتمالاً در شرق حوزهٔ مدیترانه و کشورهایی مانند مصر یا فلسطین تولید شده و به این محوطه وارد شده است.

واژگان کلیدی: مصنوعات شیشه‌ای، ترکیبات عنصری، میکروپیکسی، بندر نجیرم، خلیج فارس

دریافت: ۱۴۰۴/۶/۳
آخرین اصلاح: ۱۴۰۴/۹/۱۰
پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۱۹
انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۹

Copyright: ©2025 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

۱. مقدمه

شیشه یکی از اولین و قدیمی‌ترین مواد مورد استفاده بشر است که از گذشته‌های بسیار دور مورد توجه بوده است. اگر چه در حال حاضر هم جوابی قطعی به این سؤال که، تکنولوژی ساخت شیشه در کجا و چه زمانی برای اولین بار اختراع و مورد استفاده قرار گرفته است، وجود ندارد، اما مشخص شده است که اشیاء شیشه‌ای شناخته شده از بین النهرین قدمتی در حدود ۴۵۰۰ سال دارند و بین النهرین اولین تمدنی است که تجربهٔ ذوب شیشه را داشته است

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

(Moorey 1994). بر اساس حفاری‌های باستان‌شناسی، سوریهٔ اولین خاستگاه تولید شیشه بوده و مردمان این ناحیه شیشه را به‌عنوان محصول جانبی از تولید لعاب معرفی کرده‌اند(Rasmussen 2012). بررسی و کاوش‌های باستان‌شناسی نشان می‌دهد که صنعت شیشه‌گری در ایران نیز از سابقه و قدمت دیرینه‌ای برخوردار بوده و از این جهت مصنوعات شیشه‌ای ایران مورد توجه بسیاری از کاوشگران و پژوهشگران قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، با توجه به یافته‌های شیشه‌ای چغازنبیل در خوزستان، سابقهٔ استفاده از شیشه در ایران به هزارهٔ دوم قبل از میلاد بازمی‌گردد (امامی و پاک‌گوهر، ۱۳۹۶). همچنین، تولید و ساخت اشیاء شیشه‌ای در ایران در دورهٔ تاریخی و اسلامی ادامه یافته و در دورهٔ سلجوقی به اوج شکوفایی خود رسیده و شهرهایی مانند نیشابور، ری و گرگان از مراکز مهم تولید شیشه در این دوران بوده‌اند (Kröger 1995). همچنین بر اساس کاوش‌های باستان‌شناسی در محوطه‌های مختلف تاریخی و فرهنگی در ایران، مشخص شده است که بقایای به‌جامانده از مصنوعات و اشیاء شیشه‌ای همواره یکی از یافته‌های کاوشگران بوده است (Salehvand 2020). در این میان، بررسی و مطالعات باستان‌شناسی در محوطهٔ باستانی بندر نجیرم در سواحل خلیج فارس در استان بوشهر، نشان می‌دهد که طی مطالعات باستان‌شناسی در این محوطهٔ تاریخی تعداد قابل‌توجهی مصنوعات شیشه‌ای یافت شده است (توفیقیان ۱۴۰۰). از نظر ریخت شناسی و شکل ظاهری شیشه‌های یافت‌شده غالباً به صورت ظروف شیشه‌ای هستند، اما نکتهٔ قابل‌توجه در این یافته‌ها این است که ظروف شیشه‌ای یافت‌شده در این محوطه در دو گروه شیشه‌های رنگی با رنگ‌های تیره و سبز و همچنین شیشه‌های کاملاً بی‌رنگ (سفید) قابل طبقه‌بندی هستند. علاوه بر این، در این یافته‌ها تعدادی النگوی شیشه‌ای نیز یافت شده است که به غیر از یک نمونه، بقیهٔ النگوهای یافته‌شده در این محوطه سیاه رنگ هستند. بر اساس مطالعات باستان‌شناسی که قبلاً در محوطه‌های تاریخی سواحل خلیج فارس مانند بندر سیراف (Whitehouse 1968, 1969, 1971, 1972, 1974) و بندر کنگ و شمد دیده‌بان (آقاعلی گل و همکاران ۱۴۰۱) انجام شده، نشان می‌دهد که در محوطه‌های اشاره‌شده النگوهای شیشه‌ای سیاه‌رنگ و ظروف شیشه‌ای رنگی قابل توجهی به دست آمده است.

بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینهٔ شیشه‌های تاریخی نشان می‌دهد که شیشه‌های سیاه‌رنگ استفاده شده 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، اما برحسب دورهٔ زمانی و مکانی، شیشه سیاه‌رنگ یک گروه پرطرفدار در بین مردمان آن دوران بوده است (Cagno et al. 2014). از طرف دیگر، تولید ظروف شیشه‌ای سیاه‌رنگ در بازهٔ زمانی ۳۰ تا ۸۰ بعد از میلاد تا قرن چهارم بعد از میلاد نیز در جنوب شرقی مدیترانه و الگنوهای شیشه‌ای در کل دورهٔ امپراتوری روم و تا اوایل دوران بیزانس نیز مشاهده شده است (Cagno et al. 2014; Van Der Linden et al. 2009).

در این پژوهش برای نخستین بار، تعداد ۱۷ نمونه از مصنوعات شیشه‌ای به دست آمده در محوطهٔ تاریخی بندر نجیرم که شامل ۸ النگوی شیشه‌ای (۷ النگوی سیاه رنگ و یک النگوی سبزرنگ) و ۹ ظروف شیشه‌ای با رنگ‌های سبز، سیاه و بنفش به پیشنهاد و اجازه کاوش‌گر این محوطه جهت مطالعه و اندازه‌گیری ترکیبات عنصری انتخاب شده‌اند. هدف اصلی این طرح پژوهشی این است که با استفاده از آنالیز دستگاهی و مشخص‌کردن ترکیبات عنصری شیشه‌های به دست آمده از این محوطهٔ تاریخی، پاسخ مناسبی به سؤالات مطرح در زمینهٔ تکنولوژی ساخت، مواد اولیهٔ استفاده‌شده در ساخت و همچنین بومی یا غیربومی‌بودن این مصنوعات ارائه شود که بدون اطلاع از ترکیب عنصری قادر به پاسخگویی به آن‌ها نیستیم. اولین سؤال اساسی در این زمینه این است که در ساخت این اشیاء شیشه‌ای از چه مواد اولیه‌ای استفاده شده است. در این بین، آنچه بیش‌تر از بقیه مواد اولیه دارای اهمیت است، مادهٔ گدازآور استفاده شده در این مصنوعات است. مشخص‌کردن نوع مادهٔ گدازآور، می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در بررسی و مطالعهٔ تولیدات بومی و فرایند تجارت و نقل و انتقالات مواد اولیه شیشه داشته باشد. پرسش دیگر در این زمینه، بررسی کیفیت و میزان خلوص منابع سیلیس استفاده‌شده در فرایند ساخت این شیشه‌ها و بررسی تنوع و تعدد منابع تأمین‌کنندهٔ سیلیس در آن‌ها است. علاوه بر این، تعیین نوع و مقدار مواد رنگزا و رنگبر استفاده‌شده در فرایند ساخت از دیگر سؤالات مطرح در این پژوهش می‌باشد. در صورتی که ناخواسته‌بودن این مواد در ترکیب شیشه مشخص شود، این موضوع نشان‌دهندهٔ ضعف در تکنیک ساخت و کیفیت نامطلوب مواد اولیه استفاده شده است. در ادامه، نمونه‌های آنالیزشده در این پژوهش با نمونه‌های متعددی از محوطه‌های مختلف که دوره‌های تاریخی نزدیک به نمونه‌های نجیرم، دارند مقایسه شده است تا بینش بهتری به تفاوت‌ها و شباهت‌های این نمونه‌ها با مناطق هم‌جوار به دست آوریم.

۲. پیشینهٔ پژوهش

از سال ۱۳۹۷ تاکنون اشیاء شیشه‌ای فراوانی از مناطق مختلف ایران در آزمایشگاه واندوگرافِ پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای آنالیز شد و مورد بررسی قرار است. از طرف دیگر، مرور کارهای گذشته نشان می‌دهد که قبل از این تحقیقات پژوهشی، تنها تعداد محدودی از مصنوعات شیشه‌ای به دست آمده از چند محوطهٔ تاریخی مانند نیشابور و سیراف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته بودند (Brill 1999; Henderson et al. 2016; Swan et al. 2017; Wypyski 2015). همچنین در جدیدترین پژوهش انجام‌شده بر روی شیشه‌های ایرانی که برای تعیین منشأ و پراکنش شیشه‌های اوایل دوران اسلامی از ایران در خارج از کشور انجام شده است، مجموعه‌ای متشکل از ۱۶۹ نمونه شیشه از پنج مکان مختلف که شامل همدان، ری، قم، گرگان و

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

نیشابور می‌باشد، با استفاده از روش ICP-MS آنالیز شده‌اند. البته در این مطالعه غالب نمونه‌هایی که در سال‌های گذشته در موزهٔ کورنینگ آنالیز شده بودند یک بار دیگر با روش دیگری آنالیز شدند و فقط تعداد بسیار اندکی نمونه از قم و گرگان به نمونه‌های آنالیزشدهٔ قبلی از ایران اضافه شدند (Schibille et al. 2022). در مطالعاتی که در داخل کشور در زمینهٔ آنالیز و بررسی شیشه‌های تاریخی انجام شده است، می‌توان به مطالعهٔ مجموعه‌ای از ظروف شیشه‌ای اوایل دورهٔ اسلامی که در موزهٔ ملی ایران نگهداری می‌شوند و از محوطه‌های مختلف در ایران به دست آمده‌اند، اشاره کرد. نتایج این بررسی نشان داد که شیشه‌های آنالیز شده از موزهٔ ملی غالباً از نوع شیشه‌های سیلیکا–سودا–آهک هستند که از خاکستر گیاهان به‌عنوان مادهٔ گدازآور استفاده شده و تنها یک نمونه از شیشه‌های آنالیز شده از نوع شیشه‌های ناترونی بود که احتمالاً از حوزهٔ مدیترانه وارد ایران شده است (Salehvand et al. 2020). همچنین، آنالیز عنصری مهره‌ها و ظروف شیشه‌ای به دست آمده از محوطهٔ تاریخی صالح داود در شوش (آقاعلی گل و همکاران ۱۳۹۸– ب) که دورهٔ تاریخی این مصنوعات شیشه‌ای به دورهٔ اشکانیان می‌رسد، انجام شده است. نتایج آنالیز شیشه‌های به دست آمده از تپهٔ صالح داود نشان داد که مهره‌های شیشه‌ای صالح داود از نوع شیشه‌های ناترونی بوده و با احتمال بسیار زیاد از حوزهٔ دریای مدیترانه به شوش وارد شده‌اند. از طرف دیگر، ظروف شیشه‌ای تپهٔ صالح داود احتمالاً از مواد اولیهٔ محلی تولید شده و از نوع شیشه‌های سیلیکا–سودا–آهک هستند که از خاکستر گیاهان به‌عنوان ماده گدازآور در آن‌ها استفاده شده است. علاوه بر این، آنالیز عنصری و اندازه‌گیری ترکیبات تشکیل‌دهنده شیشه‌های دورهٔ اسلامی–ساسانی بدست آمده از مجموعه میراث جهانی تخت سلیمان و محوطه های باستانی اردبیل در شمال غربی ایران (آقاعلی گل و همکاران ۱۴۰۰) و همچنین مطالعهٔ شیشه‌های ساسانی محوطهٔ گنبد جهانگیر و (تپه) گوریه در استان ایلام (آقاعلی گل و همکاران ۱۳۹۸–الف) با استفاده از روش میکروپیکسی انجام شده است. نتایج به دست آمده از شیشه‌های محوطه‌های تخت سلیمان و اردبیل نشان می‌دهد که اکثر شیشه‌های این دو محوطه از نوع شیشه‌های سیلیکا–سودا–آهک هستند که منبع تأمین اکسید سدیم آن‌ها خاکستر گیاهان بوده است، اما در میان نمونه‌های آنالیزشده از این دو محوطه نیز نمونه‌هایی از شیشه‌های ناترونی مشاهده شده است. همچنین در بین نمونه‌های بررسی‌شده، شیشه‌هایی از نوع شیشه‌های سرب– سودا، سرب–باریم و سیلیکا– پتاس– آهک نیز شناسایی شده‌اند (آقاعلی گل و همکاران ۱۴۰۰). از طرف دیگر، بازهٔ تغییرات گسترده در درصد وزنی اکسید سیلیسیم، اکسید سدیم، اکسید پتاسیم و اکسید منیزیم در نمونه‌های آنالیزشده از محوطهٔ گنبد جهانگیر و تپه گوریه نشان می‌دهد که برای تأمین مادهٔ اولیهٔ سیلیس و گدازآور سودا در این نمونه‌ها از منابع اولیه مختلفی در دو محوطهٔ مورد بررسی استفاده شده و این مواد اولیه با مواد اولیهٔ استفاده‌شده در نمونه‌های ساسانی به دست آمده در عراق متفاوت هستند (آقاعلی گل و همکاران ۱۳۹۸– الف). در مطالعهٔ دیگری شیشه‌های ساسانی حاصل از حفاری‌های باستان‌شناسی شهر استخر در استان فارس مورد تحلیل باستان‌سنجی قرار گرفته‌اند. این نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی و فلورسانس پرتو ایکس مبتنی بر تابش سینکروترون آنالیز شده‌اند تا ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های آن‌ها ارزیابی شود. بر اساس نتایج حاصل، این اشیاء شیشه‌ای در گروه شیشه‌های سیلیکا– سودا– آهک قرار می‌گیرند که در آن از خاکستر گیاهان به‌عنوان گدازآور استفاده شده است. همچنین بر پایهٔ ترکیب شیمیایی و مواد گدازآور استفاده شده در این نمونه‌ها که بازتاب‌دهندهٔ شیوهٔ تولید این شیشه‌ها است، این اشیاء به سه گروه جداگانه تقسیم شده‌اند (Bayat Nejad et al. 2025). در پژوهش دیگری تعداد محدودی از شیشه‌های ساسانی به دست آمده از محوطهٔ باستانی روئه در استان ایلام که در مجاورت سد سیمره قرار دارد با استفاده از طیف‌نگاری فلورسانس اشعهٔ ایکس و رامان مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. بر اساس نتایج این بررسی‌ها در محوطهٔ روئه، دو نوع شیشه شناسایی شده است. نوع نخست ترکیبی مشابه شیشه‌های شرق ایران است که به شیشه‌های با آلومینای بالای نیشابور مشابهت دارد. نوع دوم ترکیبی مشابه شیشه‌های سوریه نشان می‌دهد که در آن‌ها نسبت آهک به سودا، پتاس و منیزیم بالاتر است (Koleini et al. 2024). در پژوهش دیگری، منشاء تولید شیشه‌های اسلامی تولیدشده با خاکستر گیاهان به دست آمده از شادیاخ نیشابور با استفاده از تحلیل ایزوتوپی بررسی شدند. مطالعهٔ ژئوشیمیایی و ایزوتوپی نشان داد که منابع مختلف سیلیس و خاکستر گیاهی از حوزهٔ دجله-فرات، آسیای مرکزی و احتمالاً ایران برای ساخت این اشیاء به کار رفته‌اند (Lü et al. 2023). همچنین، در طرح پژوهشی دیگری ۴۱ نمونه از قطعات شیشه‌ای به دست آمده در شهر تاریخی سیمره که دورهٔ تاریخی آن‌ها نیز به دورهٔ ساسانی بر می‌گردد، با استفاده از روش میکروپیکسی آنالیز شده است. نتایج ترکیبات عنصری این شیشه‌ها نشان داد که بر اساس مواد اولیهٔ استفاده‌شده در ساخت شیشه‌های به دست آمده در سیمره به دو گروه عمده تقسیم‌بندی می‌شوند که هر یک از این دو گروه با مواد اولیهٔ متفاوتی تولید شده‌اند (آقاعلی گل و همکاران ۱۴۰۲–ب). علاوه بر این در طرح پژوهشی دیگری ۳۶ نمونه از قطعات شیشه‌ای به دست آمده در تپهٔ بهرام در شهر تاریخی ری قدیم که دورهٔ تاریخی آن‌ها به دورهٔ اوایل اسلامی و آل‌بویه برمی‌گردد، با استفاده از روش میکروپیکسی آنالیز شده است. نتایج ترکیبات عنصری این شیشه‌ها نشان داد که بر اساس مواد اولیهٔ استفاده‌شده در ساخت شیشه‌های این محوطه به سه گروه عمده تقسیم بندی می‌شوند که هر یک از این دو گروه با مواد اولیهٔ متفاوتی تولید شده‌اند (Agha-Aligol et al. 2022).

اخیراً نیز چند مطالعهٔ پژوهشی صرفاً بر روی النگوهای شیشه‌ای انجام شده است. در یکی از این طرح‌های پژوهشی، تعداد ۳۰ نمونه النگوی شیشه‌ای

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

سیاه‌رنگ دورهٔ اسلامی که از محوطه‌های باستانی بندر کنگ قدیم و شمد دیده‌بان در ساحل بخش شمالی و پس‌کرانه‌ای خلیج فارس به دست آمده، مورد بررسی قرار گرفته‌اند (آقاعلی گل و همکاران ۱۴۰۱). نتایج این پژوهش نشان داد، تمام النگوهای آنالیزشده از این دو محوطه در سواحل خلیج فارس، در گروه شیشه‌های سیلیکا–سودا–آهک طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین نتایج ترکیبات عنصری این نمونه‌ها نشان می‌دهد که سیلیس استفاده‌شده در النگوهای دو محوطه کاملاً با یکدیگر متفاوت هستند و از منابع متفاوتی تأمین شده‌اند. در پژوهش دیگری ۲۰ النگوی شیشه‌ای به دست آمده از محوطهٔ گنبد جهانگیر و تپهٔ گوریه در استان ایلام که قدمت آن‌ها به اوایل دورهٔ اسلامی برمی‌گردد، برای اندازه‌گیری ترکیبات عنصری مطالعه شدند. در این پژوهش گونه‌شناسی و سبک‌شناسی النگوهای شیشه‌ای به دست آمده از این محوطه‌ها بررسی و با النگوهای شیشه‌ای محوطهٔ سیراف و فلسطین مقایسه شدند تا احتمال تجارت این اشیاء از طریق راه‌های تجاری بین مناطق جنوب و غرب ایران بررسی شود (سودایی و همکاران ۱۴۰۲–الف). در پژوهش دیگری نیز نتایج تعدادی از النگوهای شیشه‌ای به دست آمده از بندر سیراف گزارش شده است. هدف اصلی این پژوهش شناسایی دقیق‌تر منشاء و محل تولید نوع خاصی از النگوهای شیشه‌ای بندر سیراف که در ترکیبات آنها درصد وزنی اکسید آلومینیم بالاتر از حد معمول است. برای این منظور نتایج این نمونه‌ها با مجموعه‌های شناخته‌شدهٔ دیگر از شیشه‌هایی با درصد وزنی بالای اکسید آلومینیم مقایسه شدند. بر اساس این مقایسه مشخص شد که این نوع شیشه ویژگی خاص تولید شیشه در آسیای مرکزی بوده است، منطقه‌ای که در دوره‌های ساسانی و اسلامی به‌عنوان بخش شرقی استان خراسان شناخته می‌شده است (Nash-Pye et al. 2025).

بر اساس مطالعات انجام شده که در بالا به آن‌ها اشاره شد، مشخص می‌شود که از محوطه‌های تاریخی سواحل خلیج فارس، تاکنون تنها مجموعه‌ای از شیشه‌های دورهٔ اسلامی به دست آمده از بندر سیراف (Swan et al., 2017) و بندر کنگ (آقاعلی گل و همکاران ۱۴۰۱) مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. از طرفی مشخص شد که تاکنون نتایج آزمایشگاهی از شیشه‌های به دست آمده از بندر نجیرم در سواحل خلیج فارس در استان بوشهر گزارش نشده است. بنابراین، پژوهش حاضر می‌تواند به تکمیل مطالعات آزمایشگاهی شیشه‌های به دست آمده در جنوب غربی ایران و به‌ویژه محوطه‌های تاریخی واقع در سواحل خلیج فارس کمک قابل‌توجهی نماید.

۳. موقعیت جغرافیایی و پیشینهٔ مطالعات باستان‌شناسی بندر تاریخی نجیرم خلیج فارس

سواحل شمالی خلیج‌فارس با داشتن استعدادهای طبیعی و موقعیت ساحلی دارای شرایط مساعدی برای ایجاد و رونق بنادر و شهرهایی برای نظارت بر راه‌های تجاری در دریا و خشکی بوده است. بنادری مانند مهریان، سینیز، گناوه، ریگ، شیف، ریشهر، هزارمردان، نجیرم (بتانه)، سیراف، نای بند، کیش، کنگ، گامبرون، هرمز قدیم و جدید و ده‌ها بندر تاریخی دیگر گواهی بر این مدعا هستند که نمایی از پراکندگی این بنادر در شکل ۱ نشان داده شده است. بندر تاریخی نجیرم به فاصلهٔ ده‌کیلومتری غرب بندر دیر از توابع شهرستان کنگان در استان بوشهر واقع شده است که موقعیت جغرافیایی این محوطه در شکل ۲ نشان داده شده است. این محوطه تاریخی به‌صورت بقایای معماری و پراکندگی مواد فرهنگی به وسعت تقریبی سه کیلومترمربع در جبههٔ جنوبی امامزاده ابوالقاسم بر روی زمین‌های هموار ساحلی و پشته‌های ماسهٔ سنگی حاشیه ساحل به‌چشم می‌خورد، اما پراکندگی آثار این بندر تاریخی به صورت جسته‌گریخته تا بیش از دوازده کیلومتر قابل تشخیص است (توفیقیان ۱۴۰۰). بندر تاریخی نجیرم یکی از ناشناخته‌ترین بنادر تاریخی خلیج‌فارس است. این بندر تاریخی با بیش از دویست هکتار وسعت، یکی از بزرگ‌ترین بنادر تاریخی خلیج فارس است و بیش از هزار سال تجارت، کشاورزی، صنعت و صنایع دستی موجب جذب جمعیت بزرگی از ادیان، مذاهب و ملیت‌های مختلف در این نقطه از خلیج فارس شده است. در منابع جغرافیای تاریخی از بندر نجیرم نام برده شده، اما در مورد محل قرارگیری بندر تاریخی نجیرم اتفاق نظر وجود ندارد و به اعتقاد برخی از مردم، این بندر تاریخی در محل روستای زیارت در شهرستان دشتی است. محوطهٔ نجیرم توسط وایت هاووس (وایت هاوس ۱۳۸۶)، پاول (شوارتس ۱۳۸۲) و گی لسترنج (لسترنج ۱۳۷۳) مورد بازدید قرار گرفته است و نامبردگان محوطهٔ بَتانه را همان نجیرم تاریخی معرفی کردند. در میان باستان‌شناسان ایرانی علی‌اکبر سرفراز در بررسی و شناسایی باستان‌شناسی شهرستان کَنگان از این بندر بازدید کرده و آن‌را بندر تاریخی نجیرم نامیده است (سرافراز ۱۳۸۴). طی برنامهٔ بررسی باستان‌شناسی بنادر تاریخی خلیج‌فارس در سال ۱۳۸۸ که به سرپرستی دکتر توفیقیان و حمایت مالی ادارهٔ کل میراث فرهنگی استان بوشهر انجام شده، بندر باستانی نجیرم مورد بازشناسی قرار گرفته و مواد فرهنگی سطح این محوطه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است (توفیقیان ۱۳۸۸). همچنین در سال‌های۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ در برنامهٔ بررسی باستان‌شناسی شهرستان دَیر، با استفاده از کاوش‌های باستان‌شناسی و با هدف تعیین عرصه و پیشنهاد حریم (شکل۲) و لایه‌نگاری که با حمایت مالی سازمان بنادر و دریانوردی انجام شد، سطح این محوطه یک بار دیگر مورد مطالعه قرار گرفت (توفیقیان ۱۴۰۲ ،۱۴۰۰). در شکل ۳ دورنمایی از محوطهٔ باستانی نجیرم و بقایای معماری در سطح آن و همچنین نمایی از تُل اَشرف در بخش شرقی محوطهٔ باستانی نَجیرم ارائه شده است (توفیقیان ۱۴۰۰).

در پژوهش‌های باستان‌شناسی بندر تاریخی نجیرم انواع سفال‌های دورهٔ ساسانی مانند سفال نوک اژدری، سفال با طرح لانه‌زنبوری، سفال با لعاب فیروزه‌ای، سفال با خمیرهٔ نارنجی و پوشش سیاه، سفال با خمیرهٔ نخودی و پوشش سفید، سفال با نقوش کندهٔ هندسی و سکه‌های نیمهٔ دوم دورهٔ ساسانی

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

شناسایی گردید. همچنین سفال‌های سده‌های اولیه دورهٔ اسلامی تا دورهٔ ایلخانی مانند سفال‌های لعاب فیروزه‌ای، سفال لعاب پاشیده، سفال اسگرافیاتو، سفال با نقاشی زیر لعاب شفاف، سفال پیش از تاریخ دروغین و سکه‌های دورهٔ اسلامی نشان‌دهندهٔ استمرار تجارت در بندر تاریخی نجیرم از نیمهٔ دوم دورهٔ ساسانی تا سده‌های میانی دورهٔ اسلامی است. از دیگر یافته‌های این محوطهٔ باستانی انواع سفال‌های چینی مانند سفال سلادون نوع یوئه، سلادون نوع لانگ چوا، سفال چانگشا و سفال آبی سفید و سکه‌های چینی است که نشان‌دهندهٔ ارتباط تجاری نجیرم با چین باستان از دورهٔ ساسانی تا سدهٔ هفتم هجری قمری است. علاوه بر یافته‌های سفالین، ده‌ها قطعهٔ گچ‌بری، قطعات ابزار فلزی، ابزار سنگی، مهرهای تزئینی از جنس سنگ‌های نیمه قیمتی، مهره‌های مالکیتی با نقوش متنوع روی آن‌ها از جنس سنگ‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی و صدها قطعهٔ شیشه شکسته و ظروف سالم از دیگر مواد فرهنگی به‌دست آمده از بندر تاریخی نجیرم بود. در مطالعات باستان‌شناسی بندر تاریخی نجیرم قطعات زیادی از سکه‌های دینار و درهم ساسانی و همچنین سکه‌های دوره‌های مختلف اسلامی شناسایی شده است که از رونق فراوان تجارت در دورهٔ ساسانی و اسلامی در این ابر بندر دنیای باستان خبر می‌دهد (توفیقیان و رنجبر ۱۴۰۱). با توجه به نبود کاوش باستان‌شناختی در محوطه باستانی نجیرم، مطالعه سکه‌های مکشوفه از آن موجب تاریخگذاری دقیق تر این بندر تاریخی شده و باعث تبیین جگایگاه آن در تجارت دریایی در ساسانی و دوره‌های مختلف اسلامی خواهد شد.



شکل ۱. پراکندگی بنادر تاریخی سواحل شمالی خلیج فارس و موقعیت بندر تاریخی نجیرم: ۱- مهرویان، ۲- سینیز، ۳- گناوه، ۴- ریگ، ۵- شیف، ۶- ریشهر، ۷- هزارمردان، ۸- نجیرم، ۹- بردستان، ۱۰- سیراف، ۱۱- نایبند، ۱۲- حریره، ۱۳- کنگ، ۱۴- گمبرون و ۱۵- هرمز قدیم و جدید (گوگل ارث، ۲۰۲۵)

Figure 1. Distribution of historical ports along the northern shores of the Persian Gulf and the location of the historical port of Najirom: 1-Mahruyan, 2-Siniz, 3-Genaveh, 4-Rig, 5-Shif, 6-Rishahr, 7-Hezarmardan, 8-Najirom, 9-Bordestan, 10-Siraf, 11-Nayband, 12- Harireh, 13-Kong, 14-Gombroon, 15-Old and New Hormuz *(Google Earth, 2025)*



شکل ۲. موقعیت بندر تاریخی نجیرم در شمال خلیج فارس (گوشه پائین سمت راست) و محدوده ۲۰۰ هکتاری حریم (خط سیاه رنگ) و محدوده ۱۳۰ هکتاری عرصه نجیرم (خط قرمز رنگ). محوطه اصلی بندر تاریخی نجیرم که اغلب آثار در آن یافت می‌شود با خط قرمز رنگ نشان داده شده است.

Figure 2. Location of the historical port of Najirom in the northern Persian Gulf (bottom right corner), the 200-hectare buffer zone (black line) and the 130-hectare core area of Najirom (red line). The main site of the historical port of Najirom, where most of the archaeological remains are found, is marked with a red line.



شکل ۳. الف) دورنمای محوطه باستانی نجیرم و بقایای معماری در سطح آن، ب) نمایی از تُل اَشرف در بخش شرقی محوطهٔ باستانی نَجیرم(توفیقیان ۱۴۰۰)

Figure 3. a) The view of the archaeological site of Najirom and architectural remains on its surface, b) View of Tol-e Ashraf in the eastern part of the Najirom archaeological site (Tofighian 2021).

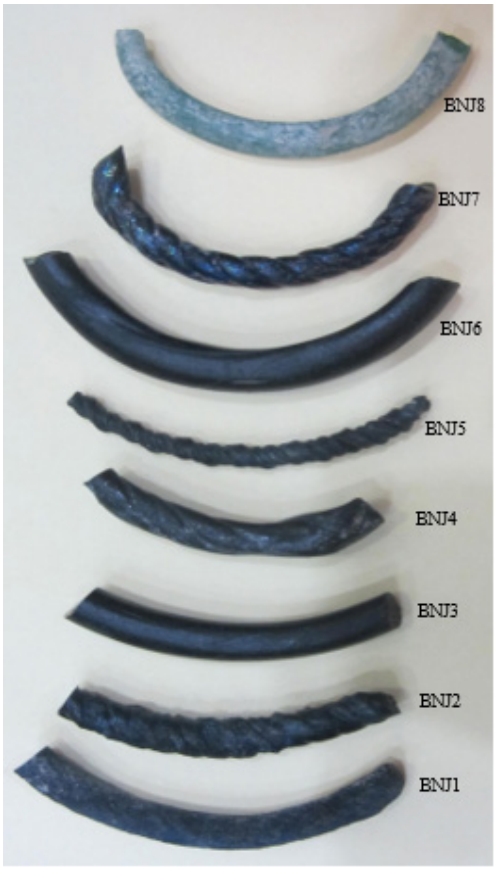
[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

٤. مواد و روش‌ها

٤-١. مشخصات نمونه‌های مطالعه‌شده

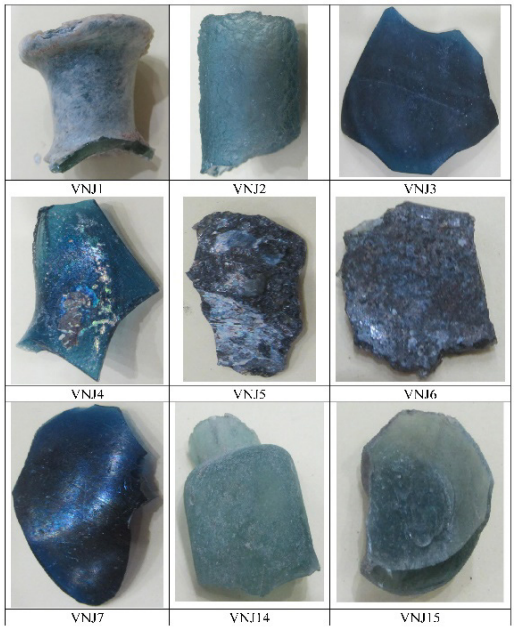
در این کار پژوهشی ۱۷ نمونه از مصنوعات شیشه‌ای به دست آمده از محوطهٔ تاریخی نجیرم شامل ۸ النگوی شیشه‌ای و ۹ ظروف شیشه‌ای برای مطالعه و آنالیز عنصری انتخاب شده است. تعداد کل النگوهای یافت‌شده در این محوطه ۸ قطعه بوده است که همهٔ آن‌ها برای آنالیز انتخاب شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود همهٔ این النگوها تک‌رنگ می‌باشند و ۷ نمونه از آن‌ها کاملاً سیاره‌رنگ و یک نمونه از آن‌ها نیز سبزرنگ هستند. همچنین از نظر شکل ظاهری ۴ قطعه کاملاً ساده و ۴ قطعه نیز به صورت پیچشی (فیتله‌ای) شکل‌دهی شده‌اند. همچنین، همان‌طورکه در شکل ۴ مشاهده می‌شود، این النگوها از BNJ1 تا BNJ8 نامگذاری شده‌اند. حرف B، از حرف اول کلمهٔ Bracelet به معنی النگو انتخاب شده و NJ نیز مخفف کلمهٔ نجیرم است.

از طرف دیگر، تعداد قطعات مربوط به ظروف شیشه‌ای یافت‌شده در این محوطه بسیار فراوان بودند. این قطعات از نظر طیف رنگی در دو گروه شیشه‌های رنگی و شیشه‌های سفید (بی‌رنگ) قابل طبقه‌بندی هستند. در این مطالعه، با توجه به شکل ظاهری و ریخت‌شناسی قطعات، نمونه‌های موردمطالعه از ظروف شیشه‌ای رنگی که غالباً تیره هستند، انتخاب شدند تا بتوان آن‌ها را از نظر ترکیبات عنصری و مواد اولیه به کار رفته در ساخت، با النگوهای شیشه‌ای مقایسه کرد. تصاویر اپتیکی ظروف آنالیزشده از این محوطه در شکل ۵ ارائه شده است. از نظر شکل ظاهری، ظروف آنالیزشده بدون تزیین سطحی هستند. همان‌طورکه در شکل ۵ مشاهده می‌شود، این ظروف از VNJ1 تا BNJ7 و BNJ14 تا BNJ15 نامگذاری شده‌اند. حرف V، از حرف اول کلمهٔ Vessel به معنی ظرف انتخاب شده و NJ نیز همان‌طور که اشاره شد، مخفف کلمهٔ نجیرم است. اطلاعات و مشخصات ریخت‌شناسی نمونه‌های آنالیزشده شامل فرم و شکل ظاهری، رنگ، شفافیت و نوع سطح مقطع النگوها در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ٤. تصاویر اپتیکی النگوهای آنالیزشده از بندر نجیرم

Figure 4. Optical images of the analyzed bracelets from the port of Najirom.



شکل ٥. تصاویر اپتیکی ظروف آنالیز شده از بندر نجیرم

Figure 5. Optical images of the analyzed vessels from the port of Najirom.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

جدول ۱. اطلاعات ریخت‌شناسی و برخی از مشخصات ظاهری قطعات شیشهٔ آنالیزشده از محوطهٔ تاریخی نجیرم

Table 1. Characteristics of the analyzed glass fragments from the historical site of Najirom.

کد نمونه	شکل ظاهری/ تزئین	رنگ	شفافیت	شکل مقطع / ابعاد مقطع (میلیمتر)	وضعیت خوردگی
BNJ1	النگو/ ساده	سیاه	کدر	نیم‌دایره/ قطر: ۵ م.م	کاملاً سالم
BNJ2	النگو/ پیچشی درشت	سیاه	کدر	دایره/ قطر: ۴ م.م	کاملاً سالم
BNJ3	النگو/ساده	سیاه	کدر	دایره/ قطر: ۳/۷ م.م	کاملاً سالم
BNJ4	النگو/پیچشی درشت	سیاه	کدر	مستطیل/ طول:۶ م.م، عرض: ۴م.م	کاملاً سالم
BNJ5	النگو/پیچشی ریز	سیاه	کدر	دایره/ قطر: ۳ م.م	کاملاً سالم
BNJ6	النگو/ساده	سیاه	کدر	دایره/ قطر: ۶ م.م	کاملاً سالم
BNJ7	النگو/پیچشی درشت	سیاه	کدر	دایره/ قطر: ۴ م.م	کاملاً سالم
BNJ8	النگو/ ساده	سبز روشن	شفاف	نیم‌دایره/ قطر: ۵ م.م	کاملاً سالم
VNJ1	لبهٔ ظرف با مقطع دایره‌ای	سبز روشن	شفاف	قطر خارجی:۳۰م.م، قطر داخلی: ۱۰م.م، ضخامت بدنه: ۳م.م.	دچار خوردگی همراه با رسوبات سفید رنگ سطحی
VNJ2	استوانه با مقطع دایره‌ای	سبز–آبی	شفاف	قطر نمونه: ۱۰م.م، ارتفاع:۲۰م.م، ضخامت بدنه:۲م.م	کاملاً سالم
VNJ3	کف ظرف	مشکی/بنفش	کدر	ابعاد نامنظم با ضخامت ا تا ۲م.م	کاملاً سالم
VNJ4	نامشخص	آبی روشن	کدر	ابعاد نامنظم با ضخامت ۴م.م	کاملاً سالم
VNJ5	نامشخص	سبز روشن	شفاف	ابعاد نامنظم با ضخامت ۲م.م	دچار خوردگی همراه با رسوبات تیرهٔ رنگ سطحی
VNJ6	نامشخص	سبز روشن	شفاف	ابعاد نامنظم با ضخامت ۲م.م	دچار خوردگی همراه با رسوبات تیرهٔ رنگ سطحی
VNJ7	کف ظرف	مشکی/بنفش	کدر	ابعاد نامنظم با ضخامت ا تا ۲م.م	کاملاً سالم
VNJ14	ظرف/ احتمالاً عطردان	سبز تیره	کدر	عرض: قطر خارجی دهانه: ۱۰م.م، ۱/۵م.م، ارتفاع: ۲م.م، ضخامت بدنه: ۲م.م	کاملاً سالم
VNJ15	کف ظرف/ احتمالاً عطردان	سبز تیره	کدر	قطر: ۲۰م.م، ضخامت: ۵م.م	کاملاً سالم

٤-۲. روش و شرایط آنالیز میکروپیکسی

آنالیز عنصری به روش میکروپیکسی به دلیل سریع و بس عنصری‌بودن، یکی از روش‌های متداول در آنالیز عنصری نمونه‌های باستانی و تاریخی است. روش میکروپیکسی بر اساس «گسیل پرتو X مشخصه در اثر برانگیختگی با ذرات پرانرژی با ابعاد باریکه میکرونی» استوار است. در این روش آنالیز، نمونهٔ مورد بررسی تحت تابش ذرات پرانرژی مانند پروتون قرار می‌گیرد. در اثر اندرکنش ذرات پرانرژی پروتون با اتم‌های عناصر تشکیل‌دهندهٔ نمونهٔ 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 تشکیل‌دهندهٔ نمونه را مشخص می‌کند (Johansson & Campbell 1988; Nastasi et al. 2014).

در این طرح پژوهشی برای انجام آنالیز میکروپیکسی از باریکه پروتون با انرژی ۲/۲MeV و با شدتی در حدود ۲۰–۵۰pA که توسط شتاب‌دهندهٔ واندوگراف ۳MV آزمایشگاه واندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای تولید می‌شود، استفاده شده است. قطر باریکهٔ پروتون در این آزمایش‌ها کم‌تر از ۱۰میکرومتر بوده است. برای آشکارسازی اشعهٔ X از آشکارساز Si(Li) که در زاویهٔ ۱۳۵ درجه نسبت به باریکهٔ پروتون فرودی قرار گرفته و دارای قدرت تفکیک ۱۵۰eV می‌باشد، استفاده شده است. همچنین در این آزمایش‌ها از سیستم میکرو باریکه و جمع‌آوری داده که توسط شرکت اکسفورد ساخته شده، استفاده شده است (Grime & Watt 1988; Watt 1997).

برای محاسبهٔ درصد وزنی عناصر تشکیل‌دهندهٔ نمونه‌ها با استفاده از طیف‌های به دست آمده در آزمایش میکروپیکسی، از نرم‌افزار گوپیکس تحت ویندوز (GUPIXWIN) استفاده شده است (Campbell et al. 2010; Russell et al. 2017). این نرم‌افزار با برازش غیرخطی، از طیف به دست آمده از آزمایش میکروپیکسی که با استفاده از پارامترهای فیزیکی معین در آزمایش به دست آمده است، میزان درصد وزنی عناصر تشکیل‌دهندهٔ نمونه را

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

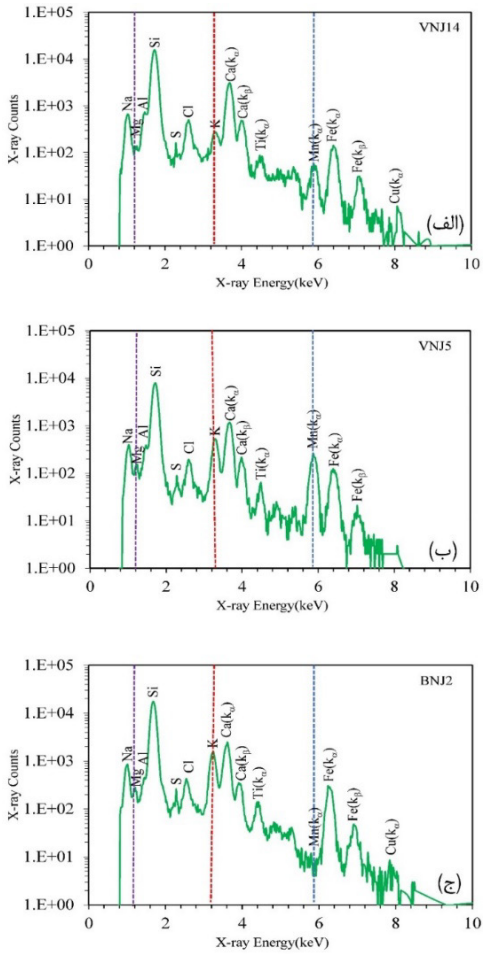
محاسبه می‌کند. برای اندازه‌گیری مقدار خطا و عدم دقت در اندازه‌گیری درصد وزنی عناصر تشکیل‌دهندهٔ نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش، نمونه‌های استاندارد شیشه از موزهٔ کورنینگ متناسب با ترکیبات تشکیل‌دهنده نمونه‌های مورد بررسی، هم‌زمان و تحت شرایط یکسان با نمونه‌های اصلی آنالیزشده است (Vicenzi et al. 2002).

۵. یافته‌ها و بحث

۵-۱. آنالیز میکروپیکسی و ترکیبات عنصری

در شکل ۶ طیف‌های میکروپیکسی چند نمونهٔ مختلف آنالیزشده در این پژوهش با یکدیگر مقایسه شده است. شکل ۶- الف طیف حاصل از آنالیز ظرف BNJ14، شکل ۶ -ب طیف مربوط به ظرف BNJ5 و شکل ۶-ج طیف به دست آمده از النگوی BNJ2 است. در این طیف‌ها تمام عناصر قابل اندازه‌گیری در این سه نمونه مشخص شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، ارتفاع قله (پیک) مربوط به عنصر سیلیسیم که عمده‌ترین مادهٔ تشکیل‌دهندهٔ شیشه‌های تاریخی است، از همهٔ عناصر دیگر بلندتر است، اما اصلی‌ترین و واضح‌ترین تفاوت این سه طیف در عناصری مانند منیزیم، پتاسیم و منگنز است که با تغییرات این عناصر با خطوط خط‌چین بنفش، قرمز و آبی‌رنگ متمایز شده‌اند. اختلاف فاحش در ارتفاع قله‌های مربوط به عناصر منیزیم و پتاسیم در این نمونه‌ها از متفاوت‌بودن نوع گدازآور استفاده شده در ساخت این نمونه‌ها ناشی می‌شود. مطالعات آزمایشگاهی نشان داده است که دو عنصر منیزیم و پتاسیم در ترکیبات شیشه به دلیل ناخالصی‌های موجود در مادهٔ گدازآور است که جهت تأمین مادهٔ اولیهٔ سودا به ترکیبات شیشه اضافه می‌شود (Jackson et al. 2018; Artemios et al. 2020; Rehren 2008). در صورتی که گدازآور استفاده شده از مادهٔ معدنی ناترون باشد، به دلیل خلوص بالای این مادهٔ معدنی درصد وزنی اکسیدهای منیزیم و پتاسیم در شیشه‌های تولیدشده کم‌تر از ۱/۵ درصد است. همچنین در صورتی که خاکستر حاصل از گیاهان به‌عنوان مادهٔ اولیه سودا استفاده شده باشد درصد وزنی اکسیدهای منیزیم و پتاسیم معمولاً بیش‌تر از ۲/۵ درصد می‌باشد (Sayre & Smith 1961). این در حالی است که مقادیر بقیهٔ عناصر اصلی شیشه مانند اکسید سدیم و اکسید سیلیسیم در صورتی که مادهٔ اولیه تأمین سودا متفاوت هم باشند، تفاوت چشمگیری ایجاد نمی‌شود.

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، از نظر کیفی ارتفاع دو عنصر منیزیم و پتاسیم تفاوت معنی‌داری برای نمونه‌های مختلف دارد. کاملاً مشخص است که ارتفاع این دو عنصر در شکل ۶-الف بسیار کوچک‌تر از دو شکل ۶-ب و ۶-ج است. بنابراین، تفاوت در مادهٔ گدازآور استفاده شده در این سه نمونه از روی طیف میکروپیکسی به دست آمده از هر نمونه کاملاً مشخص می‌شود. همچنین تفاوت دیگری که در این طیف‌ها مشاهده می‌شود، مربوط به عنصر منگنز است. این عنصر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مواد رنگبر در شیشه‌های تاریخی استفاده می‌شده است (Gliozzo 2017; Zori et al. 2023). همان‌طور که در شکل ۶ با خط چین آبی نشان داده شده است، ارتفاع مربوط به عنصر منگنز در هر سه طیف نمایش داده شده، متفاوت می‌باشد که نشان می‌دهد فرایند تولید شیشه‌های این محوطه از نظر فرایند ساخت با یکدیگر متفاوت هستند.



شکل ٦. مقایسهٔ طیف میکروپیکسی به دست آمده از نمونه‌های مختلف که در آن‌ها از ، ب) ظرفی با VNJ1ماده گدازآور و رنگبر متفاوتی استفاده شده است: الف) ظرفی با کد . BNJ2، ج) النگویی با کد VNJ5کد

Figure 6. Comparison of micro-PIXE spectra obtained from different samples in which various fluxing and decolorizing agents were used: a) Vessel labeled VNJ14, b) Vessel labeled VNJ5, c) Bracelet labeled BNJ2.

بر اساس طیف‌های به دست آمده از آنالیز میکروپیکسی می‌توان درصد وزنی عناصر تشکیل‌دهندهٔ نمونه‌های آنالیزشده را اندازه‌گیری کرد. عناصری که در تمام نمونه‌های آنالیزشده از این محوطه وجود دارند 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)، و اکسید آهن (Fe_2O_3) می‌باشد. همچنین اکسید کروم (Cr_2O_3)، اکسید منگنز (MnO) اکسید مس- (Cu_2O) و اکسید کبالت (CoO) نیز در برخی از نمونه‌های آنالیزشده از این

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

محوطه وجود دارند. عناصر تشکیل‌دهندهٔ این شیشه‌ها به صورت اکسید و درصد وزنی، برای تمام نمونه‌های آنالیزشده در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که ترکیبات عمدهٔ تشکیل‌دهندهٔ شیشه‌های بندر نجیرم، اکسید سیلیسیم با درصد وزنی ۶۸/۱۸–۵۸/۷۱، اکسید سدیم با درصد وزنی ۱۹/۸۰–۱۲/۰۷ و اکسید کلسیم با درصد وزنی ۹/۱۸–۴/۰۷ است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تمام شیشه‌های آنالیزشده از این محوطه از نوع شیشه‌های سیلیکا–سودا–آهک هستند. از طرفی همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، به‌جز نمونهٔ VNJ14، در بقیهٔ این نمونه‌ها مقدار اکسید منیزیم در محدودهٔ ۵/۹۶–۲/۳۰ درصد و اکسید پتاسیم بین ۳/۲۴–۱/۵۷ درصد تغییر می‌کند. بنابراین، با توجه به این‌که درصد وزنی این دو عنصر در نمونه‌های آنالیزشده 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 رشدیافته در خاک‌های شور بوده است (Henderson et al. 2020; Sayre & Smith 1961). همچنین در جدول ۲ مشاهده می‌شود که در نمونهٔ VNJ14 درصد وزنی دو اکسید منیزیم و پتاسیم به ترتیب ۱ و ۰/۴۶ درصد می‌باشد که کم‌تر از ۱/۵ درصد است و بنابراین، این نمونه با استفاده از مادهٔ معدنی ناترون ساخته شده است و از نظر نوع مادهٔ گدازآور با بقیه نمونه‌های آنالیزشده تفاوت چشمگیری دارد (Kato et al. 2010).

۵-۲. طبقه‌بندی نمونه‌ها بر پایهٔ ترکیبات عنصری و تحلیل آماری

برای بررسی تنوع مادهٔ اولیهٔ استفاده‌شده در شیشه‌ها، تعیین منشأ و محل تولید و همچنین بررسی فرایند ساخت نمونه‌های مورد بررسی، می‌توان ترکیبات عنصری به دست آمده با روش میکروپیکسی را با استفاده از روش‌های آماری مناسب تحلیل و بررسی کرد. این بررسی بر اساس این فرض اساسی استوار است که در هر کارگاه یا محل ساختی، منابع و مواد اولیه مورداستفاده در ساخت، دارای ترکیب عنصری تقریباً یکسان و منحصربه‌خود است که می‌تواند به‌عنوان اثر انگشت یا شاخصی برای آن مواد اولیه یا فرایند ساخت محسوب شود. بنابراین، نمونه‌های هر محوطه را می‌توان بر اساس مواد استفاده‌شده در ساخت و یا فرایندهای مختلف تولید، به گروه‌های متمایز تفکیک کرد. مهم‌ترین روش‌های آماری که در بررسی محل تولید اشیاء تاریخی مانند شیشه‌های تاریخی و سفال‌ها از آن‌ها استفاده می‌شود، آنالیزهای فاکتوری و خوشه‌ای هستند. در آنالیز فاکتوری که به آن روش PCA (Principal Component Analysis) نیز گفته می‌شود، بر اساس ترکیبات عنصری و درصد وزنی به دست آمده از آنالیز عنصری نمونه‌ها، تعدادی پارامترهای پنهان (مؤلفه‌های اجزای اصلی) استخراج می‌شود که این مؤلفه‌ها به صورت ترکیب خطی از عناصر اندازه‌گیری‌شده در نمونه‌ها هستند (Bible et al. 2013; Theodoridis 2015).

جدول ۲. ترکیبات عنصری نمونه‌های آنالیزشده از بندر تاریخی نجیرم به صورت اکسید و برحسب درصد وزنی (nd=not detected)

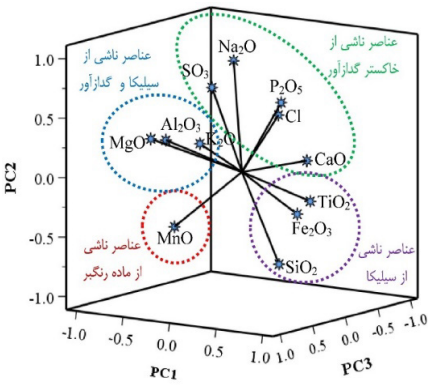
Table 2. Elemental compositions of the analyzed samples from the historical port of Najirom, presented as oxide form and in weight percent (nd = not detected)

Samples	Color	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	Cu_2O	CoO
BNJ1	Black	19.81	3.30	2.63	61.12	1.16	0.94	0.94	1.97	6.80	0.06	0.06	nd	1.10	0.07	nd
BNJ2	Black	15.40	2.30	1.66	66.28	1.30	0.44	0.66	3.24	5.99	0.45	0.04	nd	2.19	0.04	nd
BNJ3	Black	14.70	3.17	2.53	63.96	0.95	0.51	0.48	2.34	5.92	0.50	0.07	nd	4.83	nd	nd
BNJ4	Black	12.36	3.05	1.82	66.10	1.42	0.41	0.65	2.57	6.55	0.41	0.05	nd	4.57	0.05	nd
BNJ5	Black	14.80	2.23	2.73	65.95	0.95	0.42	0.63	3.17	6.20	0.47	nd	nd	2.38	nd	nd
BNJ6	Black	11.55	2.82	2.70	65.33	0.83	nd	0.61	2.57	6.88	0.49	nd	nd	6.16	nd	nd
BNJ7	Black	15.77	2.42	1.81	68.06	1.18	0.48	0.60	2.74	4.29	0.42	0.03	nd	2.21	nd	nd
BNJ8	Green	17.51	4.21	5.17	58.71	1.17	0.43	0.82	3.94	6.27	0.12	0.09	0.47	0.89	nd	nd
VNJ1	Green	17.85	4.97	4.10	59.96	0.81	0.38	0.94	1.63	7.32	0.15	nd	0.05	1.26	nd	nd
VNJ2	Blue	13.95	5.96	4.76	64.26	1.02	0.66	0.55	2.73	4.07	0.06	0.04	1.27	0.54	nd	nd
VNJ3	Violet	12.07	3.06	2.68	67.41	0.74	0.24	0.84	1.42	5.28	0.12	nd	1.43	3.52	0.69	0.25
VNJ4	Blue	13.06	2.70	2.70	68.18	0.77	0.27	0.72	1.57	7.64	0.18	nd	0.73	1.24	0.12	0.04
VNJ5	Green	14.20	2.46	2.91	64.79	0.74	0.43	0.68	2.24	6.43	0.39	0.06	2.78	1.50	0.04	0.05
VNJ6	Green	14.28	3.51	3.22	65.24	0.69	0.39	0.60	2.83	6.15	0.13	0.05	2.14	0.66	nd	nd
VNJ7	Violet	13.46	2.63	3.97	66.74	0.85	0.29	0.70	2.07	4.83	0.15	nd	0.80	2.68	0.48	0.22
VNJ14	Green	14.04	1.00	3.10	68.15	0.90	0.29	1.00	0.46	9.14	0.26	0.12	0.28	1.18	nd	nd
VNJ15	Green	13.40	4.40	2.98	67.08	0.47	0.42	0.56	2.30	6.23	0.11	0.02	1.22	0.76	nd	nd

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

در این روش، نتایج حاصل از تحلیل آماری نمونه‌ها معمولاً در یک دستگاه مختصات دوبعدی رسم می‌شوند که هر محور شامل یکی از مؤلفه‌های اجزای اصلی (PC) است که در آنالیز فاکتوری به دست آمده است. همچنین هر نقطه در این دستگاه مختصات متناظر با یکی از نمونه‌های مورد مطالعه است که در تحلیل آماری شرکت داده شده است. میزان دوری و نزدیکی این نقاط نسبت به یکدیگر، شاخصی از شباهت یا عدم مشابهت در نمونه‌های مورد بررسی تلقی می‌شود. روش دیگری که کاربرد فراوانی در طبقه‌بندی و گروه‌بندی نمونه‌های باستانی و تاریخی دارد، آنالیز آماری به روش خوشه‌ای (Hierarchical Cluster Analysis=HCA) است. در این روش آماری بر اساس شباهت‌ها و عدم شباهت‌های موجود در نمونه‌های مورد بررسی، نمونه‌ها در یک نمودار درختی به گروه‌های جداگانه‌ای تقسیم شده و نمونه‌های مشابه در یک گروه و نزدیک به یکدیگر قرار می‌گیرند (Caponetti et al. 2017). تحلیل‌های آماری معمولاً با نرم افزارهای مختلفی قابل انجام است و در این طرح پژوهشی از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است.

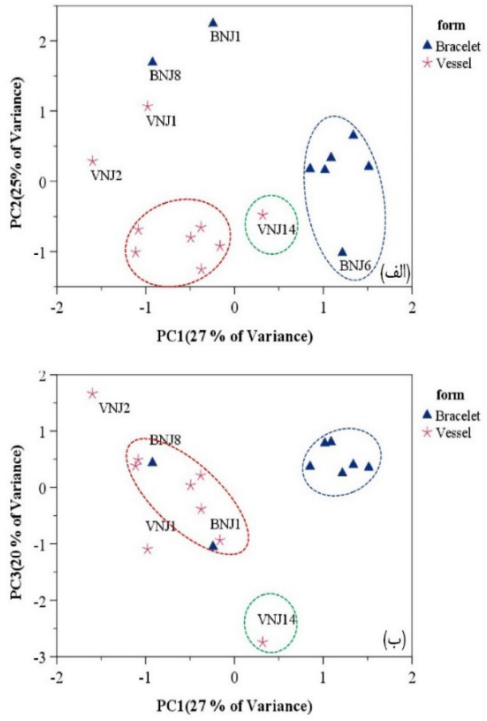
در شکل ۷ عناصر مختلفی که در آنالیز فاکتوری شرکت داده شده‌اند و همچنین میزان تأثیر این عناصر در طبقه‌بندی نمونه‌های مورد بررسی نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل با بیضی‌های رنگی مشخص شده است، بر اساس این‌که هر یکی از عناصر موجود در شیشه‌ها از کدام یک از مواد اولیه وارد ترکیبات شیشه شده باشند، می‌توان میزان تأثیر این عناصر را در هر یک از مؤلفه‌های اصلی مشاهده کرد. همچنین بر اساس این شکل مشخص است که عناصر مختلفی که منجر به طبقه‌بندی و تفکیک نمونه‌های مورد بررسی می‌شوند، رابطه مستقیمی با مادهٔ اولیه مورد استفاده دارند. به‌عنوان مثال عناصر ناشی از سیلیکا مانند اکسید سیلیسیم، اکسید آهن و اکسید تیتانیم بیش‌ترین تأثیر را مؤلفهٔ اصلی اول (PC1) دارند. همچنین اکسیدهای سدیم، کلسیم، فسفر، گوگرد و عنصر کلر که از مادهٔ اولیهٔ گدازآور نشئت می‌گیرند، بیش‌ترین تأثیر را در مؤلفهٔ اصلی دوم (PC2) دارند.



شکل ۷. عناصر و پارامترهای شرکت داده شده در آنالیز فاکتوری و میزان تأثیر این عناصر در پارامترهای پنهان مؤثر در طبقه‌بندی نمونه‌های مورد بررسی.

Figure 7. Elements included in the factor analysis and the loading factors of these elements on the classification of the analyzed samples.

در شکل ۸ نتایج طبقه‌بندی و گروه‌بندی نمونه‌های مورد بررسی با استفاده از مؤلفه‌های اصلی به دست آماده از آنالیز فاکتوری بر اساس نتایج آنالیز میکروپیکسی نشان داده شده است. در شکل ۸–الف تا ۸–ج مؤلفه‌های اصلی ۱، ۲ و ۳ (PC1 , PC2, PC3) که بیش‌ترین اطلاعات آماری و بیش‌ترین مقدار واریانس نمونه‌های شرکت داده شده در تحلیل آماری را در بردارند، رسم شده است. همان‌گونه که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، در نمونه‌های آنالیزشده از محوطهٔ بندر نجیرم سه گروه کاملاً مجزا که با یکدیگر هیچ‌گونه همپوشانی ندارند، شناسایی شده است که این گروه‌ها با بیضی‌های رنگی در این شکل‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، النگوهای آنالیزشده تقریباً به‌طور کامل از ظروف مورد بررسی جدا شده‌اند و هر یک از آن‌ها در گروه‌های مجزایی که با بیضی‌های رنگی مشخص شده، قرار گرفته‌اند. البته در یکی از گروه‌های شناسایی‌شده که با بیضی سبزرنگ مشخص شده، تنها یک نمونه از ظروف(VNJ14) که از نوع شیشه‌های ناترونی می‌باشد، قرار دارد. همچنین مشخص است که دو نمونه از النگوها که دارای کد BNJ1 و BNJ8 هستند و دو نمونه از ظروف که با کد VNJ1 و VNJ2 مشخص شده‌اند، از این گروه‌های مشخص‌شده جدا و کاملاً پراکنده هستند.



شکل ۸. طبقه‌بندی نمونه‌های مورد بررسی با استفاده از مؤلفه‌های اصلی به دست آماده از آنالیز فاکتوری بر اساس نتایج آنالیز میکروپیکسی: الف) مؤلفهٔ اصلی اول برحسب مؤلفهٔ اصلی دوم، ب) مؤلفهٔ اصلی اول برحسب مؤلفهٔ اصلی سوم، ج) مؤلفهٔ اصلی دوم برحسب مؤلفهٔ اصلی سوم.

Figure 8. Classification of the analyzed samples using principal components derived from factor analysis based on micro-PIXE results: a) Principal Component 1(PC1) versus Principal Component 2(PC2), b) PC1 versus PC3, c) PC2 versus PC3.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

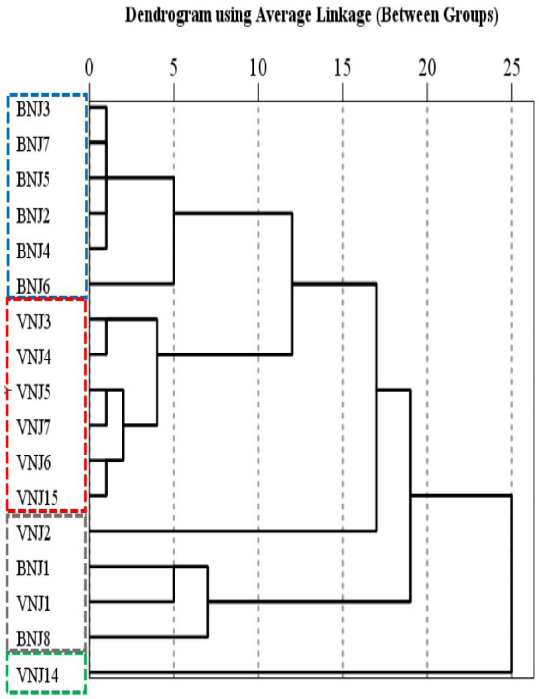
وجود این گروه‌های مجزا در این شیشه‌ها ناشی از متفاوت‌بودن مواد اولیهٔ استفاده‌شده در ساخت این نمونه‌ها است. اکسیدهای آهن و تیتانیم بیش‌ترین تأثیر را در مؤلفهٔ اصلی اول، اکسیدهای سدیم، فسفر و گوگرد بیش‌ترین تأثیر را در مؤلفل اصلی دوم و اکسیدهای کلسیم، پتاسیم و کلر بیشترین تاثیر را در مولفه اصلی سوم دارند. اما با توجه به اینکه عناصری مانند آهن و تیتانیم از ماده اولیه سیلیس و عناصری مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم، فسفر و گوگرد از ماده اولیه گدازآور وارد ترکیبات شیشه می‌شوند، می‌توان نتیجه گرفت که النگوها و ظروف بدست آمده در بندر نجیرم با مواد اولیه متفاوتی از نظر سیلیکا و گدازآور ساخته شده‌اند.

علاوه بر نتایج آنالیز فاکتوری، نتایج به دست آمده از آنالیز خوشه‌ای نیز در شکل ۹ نشان داده شده است. این روش از آنالیز آماری نیز وجود سه گروه مختلف در نمونه های آنالیز شده را به شکل واضحی تأیید می‌کند. در این شکل، گروه‌های مختلف با مستطیل‌های رنگی مشخص شده است.

متفاوت‌بودن مادهٔ اولیهٔ به‌کاررفته در نمونه‌های یافت‌شده در محوطه تاریخی بندر نجیرم از چند نقطه نظر قابل تحلیل و بررسی است. احتمال اول این است که نمونه‌های به دست آمده در بندر نجیرم در مناطق و کارگاه‌های مختلفی در داخل و خارج از جغرافیای ایران تولید شده و سپس به‌واسطهٔ ارتباطات تجارتی و دادوستد با استفاده از راه‌های دریایی به این محوطه وارد شده باشند. به‌عنوان مثال ظرفی که به شکل عطردان است و دارای کد آنالیز VNJ14می‌باشد، در گروه شیشه‌های ناترونی طبقه‌بندی می‌شود. شیشه‌های ناترونی گروه بسیار شناخته‌شده‌ای از شیشه‌های تاریخی هستند که در شرق حوزهٔ مدیترانه و کشورهایی مانند مصر، فلسطین و ایتالیا تولید شده و به مناطق مختلف صادر می‌شدند (Cagno et al. 2012; Freestone et al. 2002; Phelps et al. 2016; Varberg et al. 2015). وجود چنین تعاملاتی با بنادر واقع در حوزهٔ خلیج فارس نیز دور از ذهن نیست و می‌تواند از طریق ارتباط دریایی از خلیج فارس با حوزهٔ مدیترانه به‌آسانی انجام شود (Abe 2017; Henderson et al. 2016). احتمال ضعیف‌تر این است که این نمونه‌ها در محوطهٔ بندر نجیرم تولید شده باشند، ولی بازهٔ زمانی که این نمونه‌ها تولید شده‌اند ممکن است به‌قدر کافی طولانی باشد، به‌طوری‌که که در طی این دوره مادهٔ اولیه و فرایند ساخت به مرور دچار تغییر شده باشند و بنابراین، شیشه‌هایی با ترکیبات متفاوت در این محوطه یافت شده‌اند (Mirti et al. 2009).

۵-۳. مادهٔ گدازآور و بررسی محل تولید مصنوعات شیشه‌ای بندر نجیرم

عناصری که از طریق مادهٔ گدازآور وارد ترکیبات شیشه می‌شوند و با اندازه‌گیری مقادیر وزنی آن‌ها در ترکیبات شیشه، می‌توان نوع مادهٔ گدازآور استفاده‌شده در شیشه را مشخص کرد که شامل عناصر سدیم، پتاسیم، منیزیم، فسفر، بور، کلر و گوگرد هستند. همان‌طور که اشاره شد، شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک بر اساس طبقه‌بندی سِیر(Sayre) و اسمیت(Smith)، به دو گروه عمده شیشه‌های ناترونی(Natron glasses) و شیشه‌های تولید شده با خاکستر گیاهان(Plant-ash glasses) تقسیم می‌شوند(Sayre & Smith 1961). مبنا و اساس این طبقه‌بندی درصد وزنی اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم اندازه‌گیری شده در شیشه‌های مورد بررسی می‌باشد، زیرا اثبات شده است منشاء اصلی این دو عنصر در ترکیبات شیشه‌های تاریخی و باستانی، ناخالصی‌های موجود در ماده گدازآوری است که به‌عنوان ماده اولیه تامین‌کننده سودا در حین ساخت شیشه‌ها وارد ترکیبات شیشه شده است. در صورتی که مقدار اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم در این نوع شیشه‌ها کمتر از ۱/۵ درصد وزنی باشد به این شیشه-ها، شیشه‌های ناترونی گفته می‌شود. همچنین اگر برای تامین سودا از خاکستر گیاهان رشد یافته در خاک‌های شور استفاده شده باشد، با توجه به ناخالصی‌های موجود در خاکستر استفاده‌شده، مقدار این دو اکسید در نمونه‌های شیشه غالباً بیش‌تر از ۲/۰ درصد وزنی خواهد بود که به آن‌ها شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک ساخته‌شده از خاکستر گیاهان گفته می‌شود. همچنین بر اساس این تقسیم‌بندی به شیشه‌هایی که مقدار این دو اکسید در آن‌ها بین ۲/۰-۱/۵درصد می‌باشد، شیشه‌های ترکیبی ناترون-خاکستر گفته می‌شود (Bertini et al. 2020).



شکل ۹. طبقه‌بندی نمونه‌های آنالیزشده از بند نجیرم بر اساس آنالیز خوشه‌ای.

Figure 9. Classification of the analyzed samples from the port of Najirom based on cluster analysis.

برای بررسی جزئی‌تر شیشه‌های موردمطالعه از بندر نجیرم و تعیین تنوع و گوناگونی در سودای مورداستفاده در ساخت این شیشه‌ها در شکل ۱۰- الف، تغییرات درصد وزنی اکسید منیزیم برحسب اکسید پتاسیم در این شیشه‌ها و

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

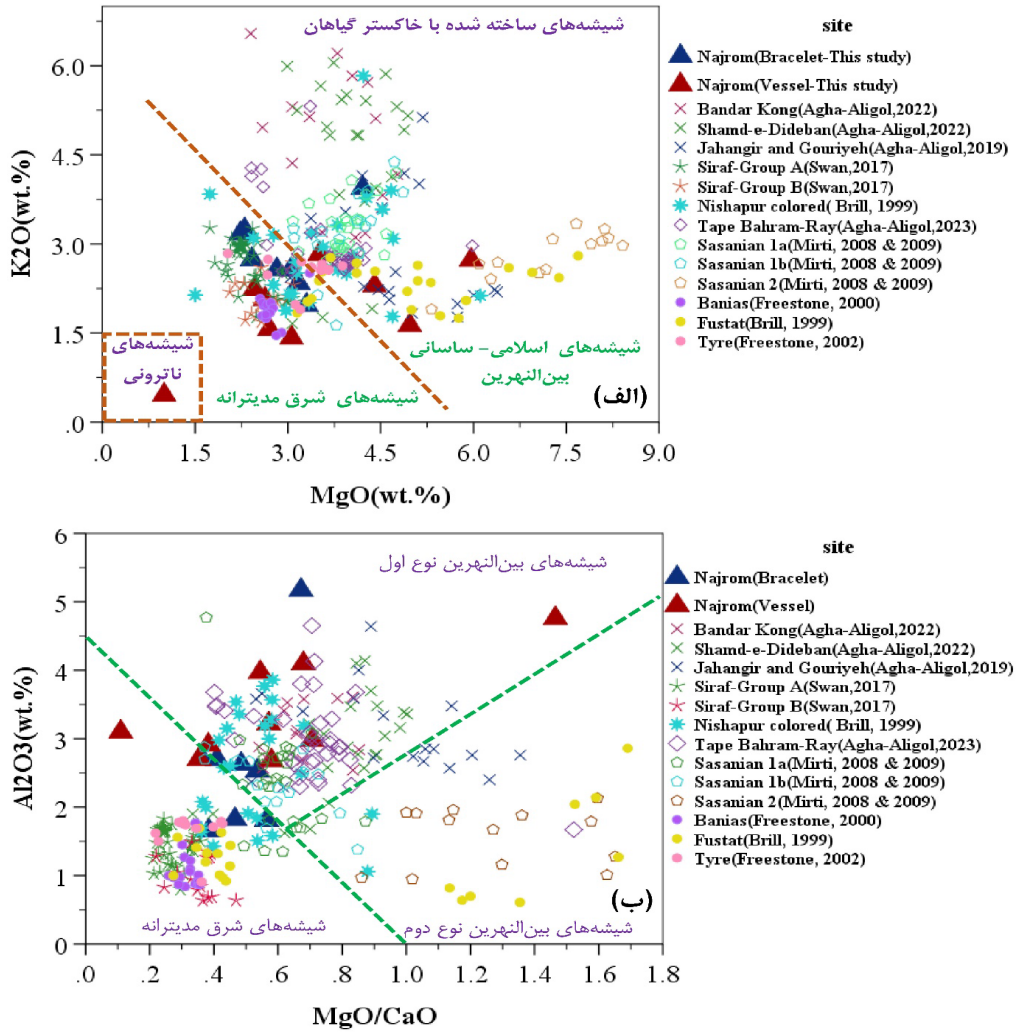
تعدادی از شیشه‌های آنالیزشده از مناطق مختلف ایران (Agha- Aligol et al. ; 2022آقاعلی گل و همکاران ۱۴۰۱؛ آقاعلی گل و همکاران ۱۳۹۸–الف ;Brill 1999 ;Swan et al. 2017)، عراق(Mirti et al. 2009; Mirti et al. 2008) و شرق مدیترانه (Freestone 2000; Brill 1999; Freestone 2002) که با این شیشه‌ها هم دوره بوده‌اند، نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که درصد وزنی این دو اکسید در تمام نمونه‌های آنالیزشده به‌جز نمونهٔ VNJ14 تقریباً بیش‌تر از ۲/۰ درصد می‌باشد. بنابراین، به‌جز نمونهٔ VNJ14 تمام شیشه‌های آنالیز شده از این محوطه در گروه شیشه‌های سیلیکا- سودا-آهک ساخته شده با استفاده از خاکستر گیاهان قرار می‌گیرند. از طرفی، بر اساس تغییرات فاحش اکسید منیزیم مشخص است که شیشه‌های سلیکا-سودا-آهک ساخته شده با خاکستر گیاهان این محوطه را می‌توان به دو زیر گروه مختلف تفکیک کرد. این تفکیک-پذیری با استفاده از خط‌چین قهوه‌ای رنگ در شکل۱۰-الف نشان داده شده است. اندازه‌گیری ترکیبات عنصری نشان می‌دهد که درصد وزنی اکسید منیزیم و پتاسیم در شیشه‌های سیلیکا- سودا-آهک ساخته شده با خاکستر گیاهان در حوزه شرقی مدیترانه که شامل کشورهایی مانند مصر، سوریه، لبنان و فلسطین می‌باشد غالباً کمتر ۳/۵ درصد است (Henderson 2002; Karalis et al. 2024; Rehren & Freestone 2015). از طرف دیگر، یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های شیشه‌های تولیدشده در اواخرساسانی- اوایل اسلامی در میان رودان که کشورهایی مانند ایران و عراق را شامل می‌شود، بالابودن درصد وزنی اکسید منیزیم در این شیشه‌ها است که معمولاً بیش‌تر از ۳/۵ درصد وزنی است (Brill 1999; Mirti et al. 2009; Mirti et al. 2008). بنابراین، همان‌طورکه مشخص است ۷ قطعه از النگوها و ۵ نمونه از ظروف آنالیز شده از بندر نجیرم در گروهی که مقدار اکسید منیزیم کم‌تر یا مساوی ۳/۵ درصد است، قرار می-گیرند و این نمونه‌ها احتمالاً از حوزهٔ شرق مدیترانه به این بندر وارد شده‌اند. همچنین یک نمونه از النگوها و چند نمونه از ظروف آنالیزشده، مشخصهٔ شیشه‌های حوزهٔ میان‌رودان را دارا هستند و مقدار اکسید منیزیم در این نمونه‌ها بین ۴ تا ۶ متغیر است. بنابراین، ممکن است این نمونه‌ها از عراق یا غرب ایران و یا نیشابور به این محوطه وارد شده باشند. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، ظروف به دست آمده از این محوطه از نظر طیف رنگی مانند شیشه‌های نیشابور (Brill 1999; Schibille 2022) به دو گروه رنگی و سفید (بی‌رنگ) قابل تقسیم‌بندی هستند که در این مطالعه فقط شیشه‌های رنگی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

یکی دیگر از رهیافت‌هایی که می‌توان بر اساس آن در مورد محل تولید و تفاوت در مواد اولیه استفاده‌شده در نمونه‌های یافت‌شده در یک محوطهٔ تاریخی اظهار نظرکرد، بررسی تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم برحسب نسبت اکسید منیزیم به اکسید کلسیم در نمونه‌های مختلف است که در مقالات متعددی از این رهیافت استفاده شده است (De Juan Ares et al. 2018; Fiorentino et al. 2019; Rosenow et al. 2018; Swan et al., 2017; Wood et al., 2017). اکسید آلومینیم موجود در شیشه یکی از ناخالصی‌هایی است که از عناصر موجود در مادهٔ اولیهٔ سیلیس وارد ترکیبات شیشه می‌شود و شاخص بسیار مهمی برای بررسی تغییرات و تنوع منابع سیلیس مورداستفاده در فرایند ساخت است. همچنین مقادیر اکسیدهای منیزیم و کلسیم در شیشه، نشان‌دهندهٔ ویژگی‌های مادهٔ اولیهٔ گدازآور و سودای استفاده‌شده در فرایند ساخت می‌باشد. بر اساس تغییرات این عناصر، شیشه‌های سیلیکا-سودا-آهک تولیدشده با خاکستر گیاهان که دورهٔ تاریخی آن‌ها اسلامی – ساسانی می‌باشند، به سه ناحیهٔ تقریباً مجزا تقسیم می‌شوند که عبارت است از: ناحیهٔ مربوط به شیشه‌های شرق مدیترانه، ناحیهٔ مربوط به شیشه‌های بین‌النهرین نوع اول و ناحیهٔ مربوط به شیشه‌های بین النهرین نوع دوم (Balvanović 2025; Chinni et al. 2023; Nash-Pye et al. 2025). این سه ناحیه در شکل ۱۰-ب با خط‌چین بنفش نشان داده شده است. حوزهٔ شرق مدیترانه شامل محوطه‌هایی از کشورهایی مانند سوریه، فلسطین، لبنان و مصر است که در اوایل دورهٔ اسلامی تأمین‌کنندهٔ عمدهٔ مادهٔ اولیهٔ شیشه در جهان بوده‌اند. همچنین، غالب شیشه‌های آنالیزشده از محوطه‌های تاریخی در جغرافیای ایران (Agha-Aligol et al. 2022; Salehvand et al., 2020) و تعدادی از شیشه‌های به دست آمده در عراق (Brill 1999; Mirti et al., 2009; Mirti et al., 2008) در ناحیهٔ مربوط به شیشه‌های بین النهرین نوع اول قرار دارند.

از طرف دیگر، شیشه‌های آنالیزشده از محوطه‌های تاریخی مانند تیسفون و وه اردشیر (Brill 1999; Mirti et al. 2009; Mirti et al. 2008) و سامرا (Henderson et al. 2016) از کشور عراق و نمونه‌های آنالیز شده از شیشه‌های بی‌رنگ به دست آمده در نیشابور (Brill 1999) در ناحیهٔ مربوط به شیشه‌های بین النهرین نوع دوم قرار می‌گیرند.

براساس شکل۱۰-ب مشاهده می‌شود که شیشه‌های آنالیزشده از بندر نجیرم در دو ناحیه از سه ناحیه اشاره شده در بالا قرار گرفته‌اند. همان‌طورکه در این شکل مشاهده می‌شود، تعدادی از النگوها و تعدادی از ظروف آنالیزشده از بندر نجیرم در ناحیهٔ مربوط به نمونه‌های حوزهٔ شرق مدیترانه و یک نمونه از النگوها و چند نمونه از ظروف آنالیزشده با فاصلهٔ بسیار زیاد در ناحیه مربوط به شیشه‌های بین‌النهرین نوع اول قرار دارند که با نتایج شکل ۱۰-الف نیز هم‌خوانی دارد. بنابراین، دو منشاء و محل تولید برای شیشه‌های نجیرم می‌توان متصور بود: ۱- غالب النگوها و تعدادی از ظروف با احتمال بسیار زیاد در شرق مدیترانه تولید شده‌اند و از طریق تبادلات دریایی به بندر نجیرم رسیده‌اند، ۲- تعدادی از ظروف نیز احتمالاً در حوزهٔ میان‌رودان در کارگاه‌هایی که ممکن است در عراق یا غرب ایران و یا نیشابور باشند، تولید و به این محوطه وارد شده‌اند.

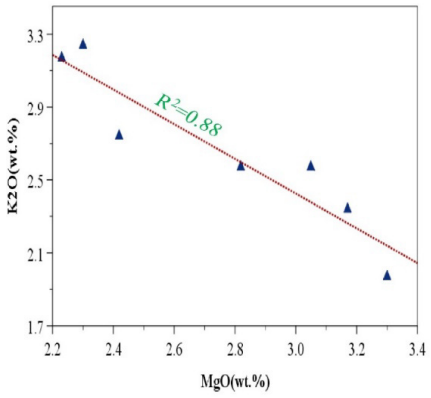
[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026



شکل ۱۰. الف) تغییرات درصد وزنی اکسید منیزیم برحسب اکسید پتاسیم، ب) تغییرات درصد وزنی نسبت اکسید منیزیم به اکسید کلسیم برحسب اکسید آلومینیم، در نمونه‌های آنالیز شده از بندر نجیرم و تعدادی از شیشه‌های آنالیزشده از مناطق مختلف ایران، عراق و شرق مدیترانه

Figure 10. a) Variations in the weight percentage of magnesium oxide relative to potassium oxide, **b)** Variations in the weight percentage ratio of magnesium oxide to calcium oxide relative to aluminum oxide, in the analyzed samples from the port of Najirom and several analyzed glass samples from various regions of Iran, Iraq, and the Eastern Mediterranean

در شکل ۱۱ برای ۷ النگویی که در یک گروه قرار دارند یک رابطهٔ خطی و یک همبستگی بسیار قوی با مقدار ۰/۸۸ بین تغییرات درصد وزنی اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم که از مادهٔ گدازآور ناشی می‌شوند، مشاهده می‌شود. بر اساس این همبستگی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مادهٔ گدازآور استفاده‌شده در این النگوها کاملاً یکسان هستند و می‌توان استنباط کرد که از یک منبع و مکان گدازآور آن‌ها تهیه شده است (Wang et al. 2020).



شکل ۱۱. تغییرات درصد وزنی اکسید منیزیم برحسب اکسید پتاسیم که نشان دهنده یک رابطه خطی با همبستگی بسیار قوی بین آنها است.

Figure 11. Variations in the weight percentage of magnesium oxide relative to potassium oxide, indicating a strong linear correlation between them.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

۵-٤. تنوع مادهٔ اولیه سیلیکا در مصنوعات شیشه‌ای بندر نجیرم

برای تهیهٔ مادهٔ اولیهٔ سیلیس در شیشه‌های تاریخی از شن، ماسه و یا رگه‌های خالص کوارتز استفاده می‌شده است. عناصری که معمولاً از طریق سیلیس و ناخالصی‌های موجود در آن، وارد ترکیبات شیشه می‌شوند شامل اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیم، تیتانیم، آهن و کروم هستند. برای بررسی کیفیت و خلوص منابع سیلیس، درصد وزنی ناخالصی‌های موجود در این مادهٔ اولیه اهمیت زیادی دارند و خصوصیات منبع اولیهٔ سیلیس را توصیف می‌کنند (Lin et al. 2019; Oikonomou & Triantafyllidis 2018; Venclová et al. 2018). علاوه بر این، بر اساس درصد ناخالصی‌های موجود در شیشه، می‌توان منابع ناخالص سیلیس را از منابع خالص تشخیص داد. بررسی‌های آزمایشگاهی مشخص کرده است که اگر در ساخت شیشه از منابع خالص سیلیس که غالباً شامل رگه‌های خالص کوارتز هستند، استفاده شده باشد، میزان ناخالصی اکسید آلومینیم در ترکیبات شیشه باید کمتر از ۲ درصد وزنی و میزان ناخالصی اکسید آهن باید کم‌تر از ۱ درصد وزنی باشد (Freestone et al. 2015). از طرف دیگر، اگر از شن و ماسه به‌عنوان مادهٔ اولیهٔ سیلیس استفاده شده باشد، مقدار ناخالصی اکسید آلومینیم در ترکیبات شیشه معمولاً بیش‌تر از ۲ درصد و مقدار اکسید آهن نیز بیش‌تر از ۱ درصد خواهد بود. در شکل۱۲- الف تغییرات درصد وزنی اکسید سیلیسیم برحسب اکسید آلومینیم و در شکل۱۲-ب تغییرات اکسید کلسیم بر-حسب اکسید آلومینیم در شیشه‌های آنالیزشده از بندر نجیرم و تعدادی از شیشه‌های آنالیز شده از مناطق مختلف ایران، عراق و شرق مدیترانه که با این شیشه‌ها هم دوره بوده، نشان داده شده است. در شکل ۱۲-الف مشخص است که تغییرات ناخالصی اکسید آلومینیم در النگوهای آنالیزشده به‌جز النگوی BNJ8 در گسترهٔ بسیار کم و تقریباً بین ۱/۵۰ تا ۲/۵۰ درصد تغییر می‌کند. همچنین درصد وزنی اکسید سیلیسیم در این النگوها به‌غیر از دو النگوی (BNJ1 و BNJ8) بین ۶۸-۶۴ درصد تغییر می‌کند. بر اساس این میزان از اکسید آلومینیم می‌توان نتیجه گرفت که در تهیهٔ این النگوها از منابع تقریباً ناخالص سیلیس به صورت شن و ماسه استفاده شده است (Freestone et al. 2015). همچنین در این شکل مشخص است که یک همبستگی معکوس بین دو اکسید آلومینیم و سیلیسیم در النگوها و ظروف آنالیزشده مشاهده می‌شود. بنابراین، بر اساس مقدار ناخالصی اکسید آلومینیم و روند تغییرات آن با اکسید سیلیسیم، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مادهٔ اولیهٔ سیلیس استفاده‌شده در النگوها به‌جزء النگوی BNJ8 و ظروف احتمالاً متفاوت هستند و از منابع مختلف سیلیس در ساخت این نمونه‌ها استفاده شده است (Shortland et al. 2018; Machado et al., 2017). از طرف دیگر، همان طور که در شکل۱۲- الف با بیضی‌های خط چین نشان داده شده است، النگوهای آنالیزشده از بندر نجیرم به شیشه‌های شرق مدیترانه از نظر مادهٔ اولیه سیلیس بسیار نزدیک اند و تقریباً در این گروه قرار می‌گیرند. همچنین ظروف آنالیزشده از نجیرم کاملاً در گروه شیشه‌های آنالیزشده از مناطق مختلف ایران قرار دارند. بنابراین، مشخص است در تهیهٔ این ظروف از منابع ناخالص سیلیس که از منابع به‌کاررفته در النگوها متفاوت هستند استفاده شده است (Freestone et al. 2015).

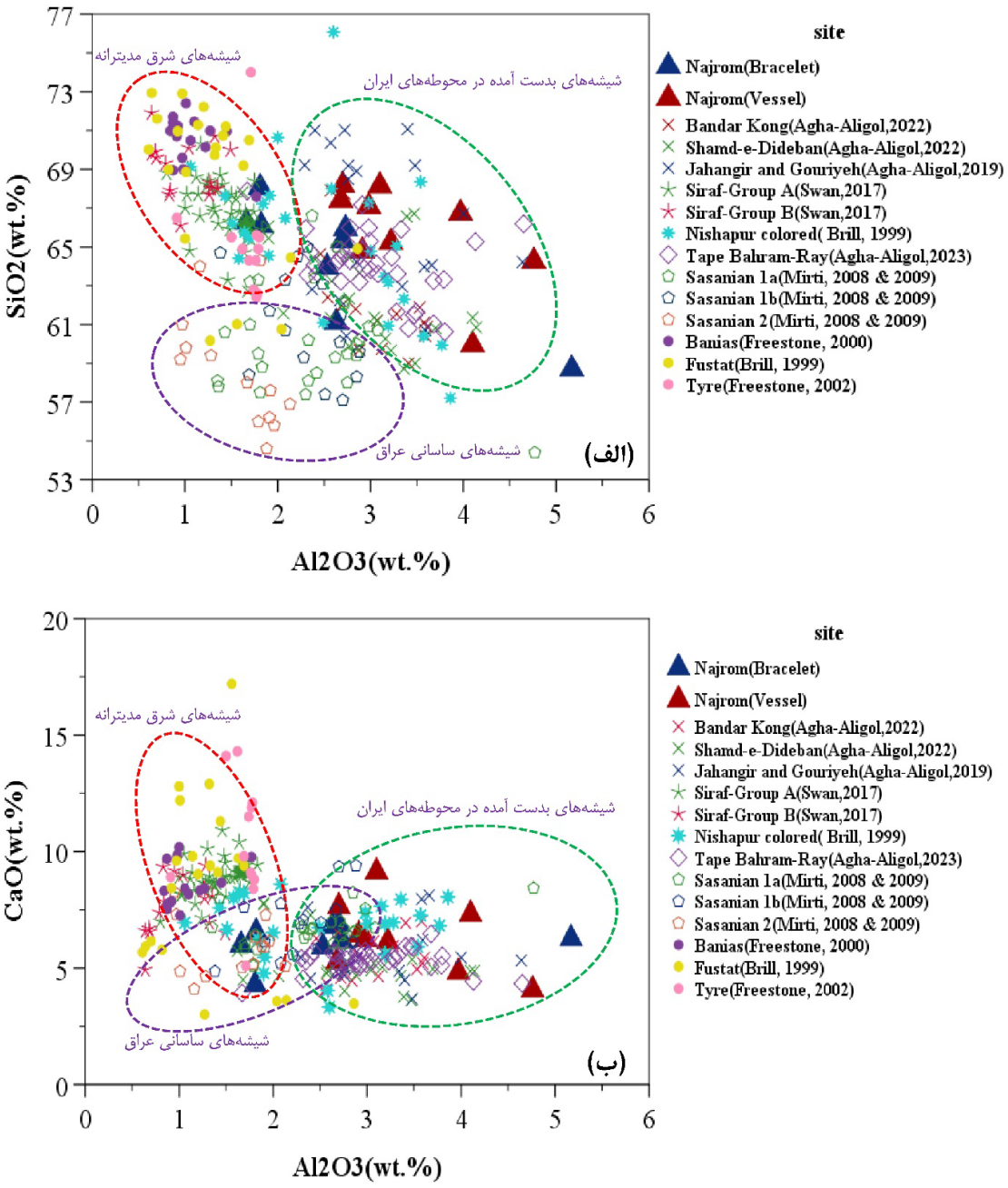
در شکل۱۲- ب نمودار تغییرات اکسید کلسیم برحسب اکسید آلومینیم در شیشه‌های آنالیزشده از بندر نجیرم و دیگر نمونه‌های مقایسه شده با آن‌ها نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که بین این دو ناخالصی هیچ گونه همبستگی وجود ندارد. بنابراین مشخص است که ناخالصی اکسید کلسیم از طریق سیلیس وارد این شیشه‌ها نشده است و همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، از طریق مادهٔ گدازآور وارد ترکیبات شیشه شده است. همچنین در این شکل مشخص است که بر اساس تغییرات اکسید کلسیم و آلومینیم النگوهای آنالیزشده به‌جز یک نمونه به شیشه‌های شرق مدیترانه از نظر مادهٔ اولیهٔ سیلیس و گدازآور بسیار نزدیک‌اند و تقریباً در این گروه قرار می‌گیرند، در صورتی که ظروف آنالیزشده کاملاً در گروه شیشه‌های آنالیزشده از مناطق مختلف ایران قرار دارند.

در شکل۱۳- الف تغییرات درصد وزنی اکسید سیلیسیم برحسب اکسید آهن در تمام نمونه‌های آنالیزشده از این محوطه و دیگر نمونه‌های مقایسه‌شده با آن‌ها رسم شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که بر اساس تغییرات اکسید آهن النگوهای آنالیزشده از ظروف قابل تفکیک هستند که این جدایی با خط چین آبی رنگ نشان داده شده است. تغییرات ناخالصی اکسید آهن در النگوهای آنالیزشده به‌غیر از دو النگوی (BNJ1 وBNJ8) در گستره نسبتاً بزرگی قرار دارد و بین ۲ تا ۶ درصد تغییر می‌کند. همچنین درصد وزنی اکسید آهن در ظروف آنالیزشده به‌غیر از دو ظرف (VNJ7 و VNJ3) بین ۰/۵۰ تا ۱/۵۰ درصد متغیر است، اما با توجه به رنگ ظاهری نمونه‌های آنالیزشده (جدول ۱) و تغییرات اکسید آهن در این نمونه‌ها، مشخص است که اکسید آهن بالای ۲ درصد در نمونه‌هایی که به رنگ سیاه هستند، اندازه‌گیری شده است و بنابراین این اکسید علاوه بر ناخالصی موجود در سیلیس می‌تواند به صورت کاملاً آگاهانه برای ایجاد رنگ سیاه اضافه شده باشد (Van Der Linden et al. 2009). البته با توجه به وجود یک رابطهٔ خطی بین مقدار سیلیس و اکسید آهن در النگوهای سیاه روند تغییرات کاملاً مشخصی برای این دو عنصر مشاهده می‌شود که نشان‌دهندهٔ فرایند یکسان در ساخت این النگوها می‌باشد. این در حالی است که در ظروف آنالیز شده مقدار اکسید آهن بین ۱/۵۰-۰/۵ درصد متغیر است و هیچ‌گونه رابطهٔ خطی بین اکسید آهن و اکسید سیلیسیم مشاهده نمی‌شود. بنابراین، بر اساس این میزان از ناخالصی اکسید آهن موجود در ظروف می‌توان نتیجه گرفت که این ناخالصی به صورت غیرعمد و از طریق منابع ناخالص سیلیس وارد ترکیبات ظروف شده است. همچنین بر اساس نحوه تغییرات درصد وزنی اکسید تیتانیم برحسب اکسید آهن که در شکل ۱۳-ب نشان داده شده است، مشخص است که میزان اکسید تیتانیم موجود در النگوها تقریباً یکسان و حدود ۰/۴ تا ۰/۵ درصد و در ظروف بسیار کم‌تر از این مقدار و بین ۰/۰۵ تا ۰/۲ درصد است و بر این پایه این دو ناخالصی نیز النگوها از ظروف آنالیزشده

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

قابل تفکیک هستند. نکتهٔ قابل توجه متفاوت بودن بسیار چشمگیر مقدار اکسید تیتانیم در النگوهای نجیرم در مقایسه با شیشه‌های دیگر مناطق در ایران، عراق و شرق مدیترانه است که نشان می دهد که از سیلیس کاملاً متفاوتی استفاده شده است.

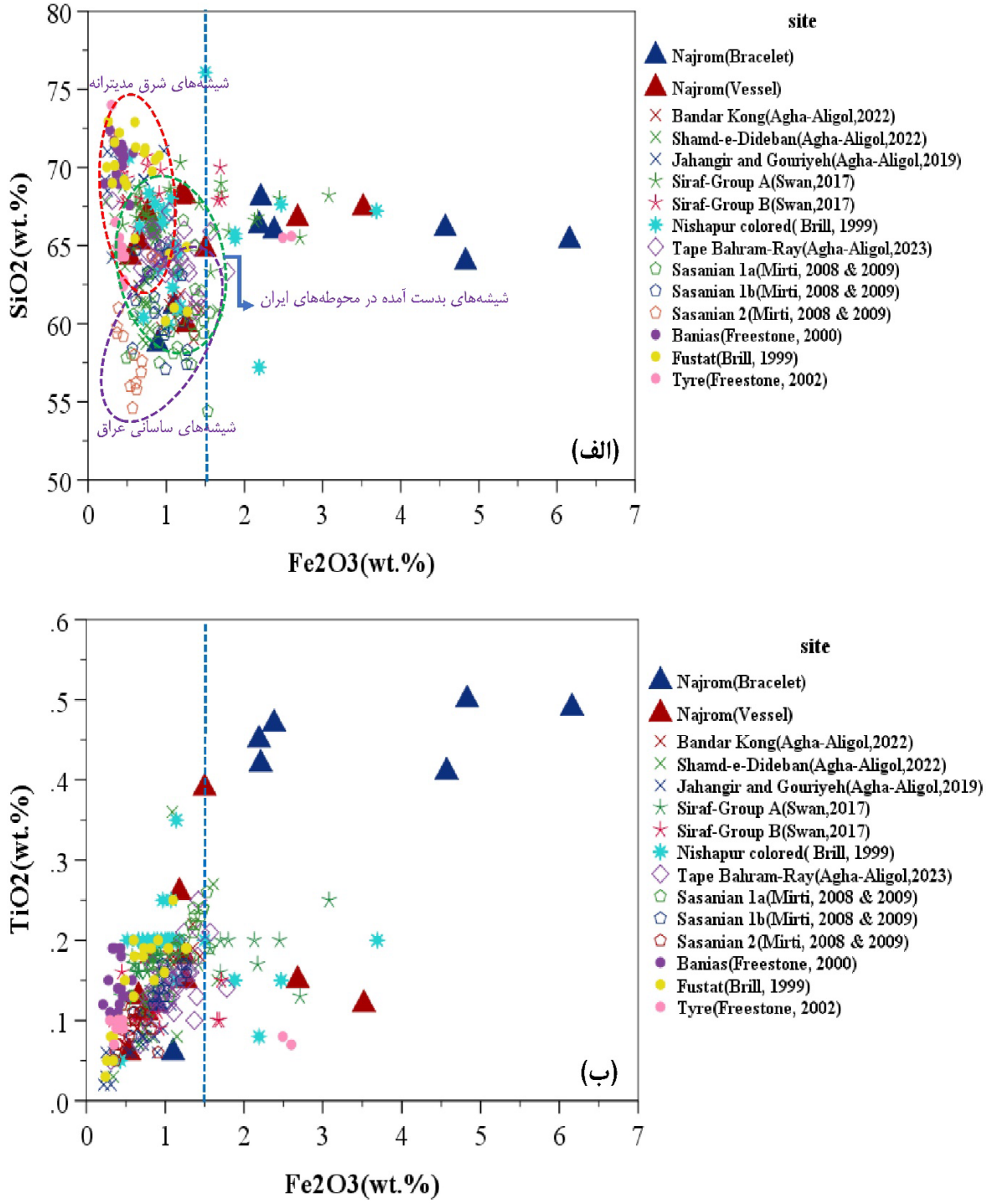
در شکل۱۴ تغییرات درصد وزنی اکسید تیتانیم برحسب مجموع اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیم و تیتانیم در نمونه‌های آنالیز شده از محوطهٔ تاریخی بندر نجیرم نشان داده شده است. در این شکل کاملاً مشخص است که گروه‌های شناسایی‌شده با استفاده از آنالیز آماری بر اساس مقدار اکسید سیلیسیم و ناخالصی موجود در آن یک بار دیگر به‌طور کامل قابل‌تفکیک هستند. این طبقه‌بندی مجدداً نشان می‌دهد که النگوها و ظروف به دست آمده در نجیرم با منابع سیلیس متفاوتی تولید شده‌اند که می‌تواند نشان‌دهندهٔ محل تولید متفاوت این مصنوعات شیشه‌ای باشد.



شکل ۱۲. الف) تغییرات درصد وزنی اکسید سیلیسیم برحسب اکسید آلومینیم، ب) تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم برحسب اکسید کلسیم در نمونه‌های آنالیزشده از محوطهٔ تاریخی بندر نجیرم و تعدادی از شیشه‌های آنالیزشده از مناطق مختلف ایران، عراق و شرق مدیترانه.

Figure 12. a) Variations in the weight percentage of silicon oxide relative to aluminum oxide, b) Variations in the weight percentage of aluminum oxide relative to calcium oxide, in the analyzed samples and several analyzed glass samples from various regions of Iran, Iraq, and the Eastern Mediterranean..

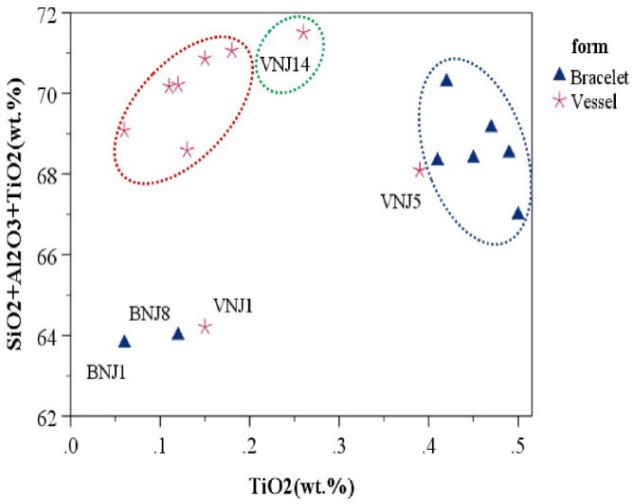
[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026



شکل ۱۳. الف) تغییرات درصد وزنی اکسید سیلیسیم برحسب اکسید آهن، ب) تغییرات درصد وزنی اکسید تیتانیم برحسب اکسید آهن در نمونه‌های آنالیزشده از محوطهٔ تاریخی بندر نجیرم و تعدادی از شیشه‌های آنالیز شده از مناطق مختلف ایران، عراق و شرق مدیترانه. مقدار حدی ناخالصی آهن در سیلیس با خط چین سبز رنگ در این شکل نشان داده شده است.

Figure 13. a) Variations in the weight percentage of silicon oxide relative to iron oxide, **b)** Variations in the weight percentage of titanium oxide relative to iron oxide, in the analyzed samples from Najirom and several analyzed glass samples from various regions of Iran, Iraq, and the Eastern Mediterranean. The threshold level of iron impurity in silica is indicated by a green dashed line in this figure.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026



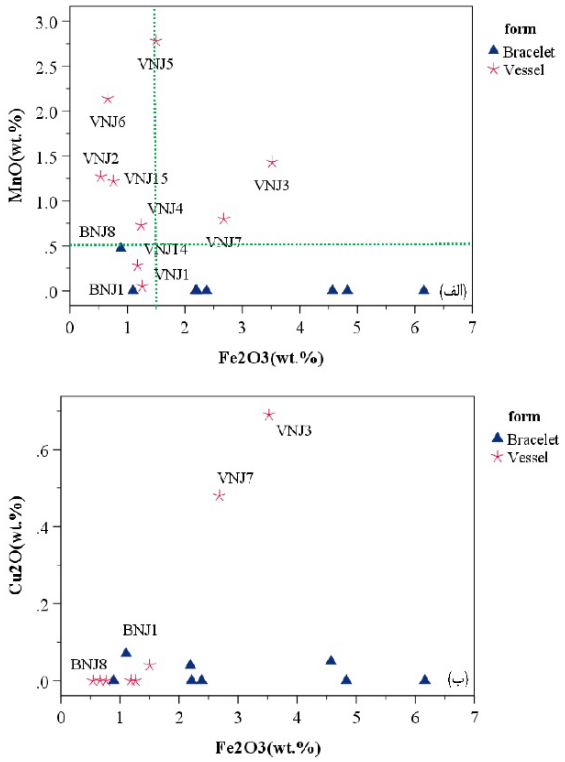
شکل ۱۴. تغییرات درصد وزنی اکسید تیتانیم برحسب مجموع اکسیدهای سیلیسیم،آلومینیم و تیتانیم در نمونه‌های آنالیز شده از محوطهٔ تاریخی بندر نجیرم. گروه‌های شناسایی‌شده بر اساس آنالیز آماری کاملاً بر اساس این نمودار نیز تفکیک و جدا شده‌اند.

Figure 14. Variations in the weight percentage of titanium oxide relative to the total oxides of silicon, aluminum, and titanium in the analyzed samples. The identified groups based on statistical analysis are clearly distinguished and separated in this graph, as well.

۵-۵. عناصر رنگزا و رنگبر در مصنوعات شیشه‌ای بندر نجیرم

اکسید آهن یکی از عناصری است که در ترکیبات عنصری شیشه‌های تاریخی وجود دارد و معمولاً به صورت ناخواسته از طریق ناخالصی موجود در سیلیس وارد ترکیبات شیشه شده و باعث ایجاد رنگ سبز می‌شود. البته همواره سعی بر این بوده که تا حد امکان این طیف سبزرنگ با افزودن موادی به نام رنگبر یا بی‌رنگ‌کننده که شامل اکسید منگنز یا اکسید آنتیمون و یا ترکیب این دو اکسید بوده، حذف شود (Schibille et al. 2017). از طرف دیگر، رنگ‌های متنوع با افزودن عمدی و آگاهانهٔ مواد رنگزا که غالباً شامل اکسیدهای آهن، مس و کبالت بوده ، ایجاد می‌شده است. بنابراین، مشخص است که عناصر رنگزا و رنگبر از طریقِ ناخالصی‌های موجود در مواد اولیهٔ سیلیس و یا افزوده‌شدن به صورت آگاهانه، وارد ترکیبات شیشه می‌شدند. تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید منگنز می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد عمدی یا غیرعمدی اضافه‌شدن مواد رنگزا و رنگبر در فرایند ساخت فراهم کند. در صورتی که اکسید منگنز از ناخالصی موجود در سیلیس و به صورت غیرعمد وارد ترکیبات شیشه شده باشد، مقدار درصد وزنی این اکسید در ترکیبات شیشه باید کم‌تر از حدود ۰/۵۰ درصد باشد(Gliozzo et al. 2017). از طرفی برای اکسید آهن با توجه به خلوص منابع مختلف سیلیس، حد آستانهٔ مشخصی برای اضافه شدن آن به صورت عمدی ذکر نشده است. در صورتی که منابع سیلیس کاملاً خالص باشند، مقدار این اکسید در شیشه معمولاً کم‌تر از ۰/۵ درصد خواهد بود. همچنین، اگر مادهٔ سیلیس مورداستفاده دارای خلوص متوسط باشد، مقدار این اکسید در حدود ۱/۵ درصد و یا کم‌تر از ۱ درصد گزارش شده است و حد ۱/۵ درصد را به‌عنوان حد آستانه در نظر می‌گیرند. اما در صورتی که مادهٔ اولیهٔ سیلیس کاملاً ناخالص باشد، مقدار اکسید آهن در شیشه ممکن است به حدود ۲ درصد وزنی نیز برسد (Gliozzo 2017).

در شکل۱۵- الف تغییرات اکسید آهن برحسب اکسید منگنز برای نمونه‌های آنالیزشده از بندر نجیرم رسم شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که بر اساس تغییرات این دو اکسید و خطوط حدی که در این شکل نشان داده شده است، نمونه‌های آنالیزشده از این محوطه از نظر فرایند ساخت به چهار دسته تقسیم می‌شوند: دستهٔ اول شامل همهٔ النگوهای آنالیزشده به‌غیر از دو النگوی (BNJ1 وBNJ8) می‌باشد که در این نمونه‌ها مقدار اکسید منگنز بسیار ناچیز و کم‌تر از حد آشکارسازی و مقدار اکسید آهن بیش‌تر از ۲ درصد است. در این گروه تنها النگوهایی با رنگ مشکی قرار گرفته‌اند. بر اساس توضیحات بالا، در این گروه اکسید آهن به صورت عمدی و آگاهانه به‌عنوان عامل رنگ مشکی به ترکیبات النگوها اضافه شده است، اما هیچ‌گونه عامل رنگبری مانند اکسید منگنز چه از طریق عمدی یا غیرعمد به ترکیبات نمونه‌ها اضافه نشده است.



شکل ۱۵. الف) تغییرات درصد وزنی اکسید آهن بر حسب اکسید منگنز ، ب) تغییرات درصد وزنی اکسید مس بر حسب اکسید آهن در نمونه‌های آنالیز شده از بندر نجیرم

Figure 15. a) Variations in the weight percentage of iron oxide relative to manganese oxide, **b)** Variations in the weight percentage of copper oxide relative to iron oxide, in the analyzed samples.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

دستهٔ دوم شامل دو النگوی BNJ1 و BNJ8 و دو ظرفVNJ1 و VNJ14می‌باشد که در این نمونه‌ها مقدار اکسید منگنز کم‌تر از ۰/۵ درصد و مقدار اکسید آهن کم‌تر از ۱/۵ درصد است. در این گروه اکسید آهن و اکسید منگنز به صورت غیرعمد و از طریق ناخالصی‌های موجود در سیلیس وارد ترکیبات شیشه شده است. گروه سوم شامل ۵ ظرف می‌باشد که در آن‌ها مقدار اکسید منگنز بیش‌تر از ۰/۵ درصد که تا ۳ درصد هم می‌رسد. همچنین مقدار اکسید آهن کم‌تر از ۱/۵ درصد است. در این گروه اکسید آهن از طریق ناخالصی‌های موجود در سیلیس وارد ترکیبات شیشه شده است، اما اکسید منگنز به صورت عمد و آگاهانه به این نمونه‌ها اضافه شده است. گروه چهارم تنها شامل ۲ دو ظرفVNJ7 و VNJ3می‌باشد که در آن‌ها مقدار اکسید منگنز بیش‌تر از ۰/۵ درصد که تا ۱/۵ درصد می‌رسد. همچنین مقدار اکسید آهن نیز بیش‌تر از ۲ درصد است. در این گروه اکسید آهن و اکسید منگنز هر دو به صورت عمد و آگاهانه به این نمونه‌ها اضافه شده است. در شکل ۱۵–ب تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید مس نشان داده شده است. بر اساس تغییرات اکسید مس برحسب اکسید آهن که به‌عنوان مواد رنگزا در این نمونه‌ها استفاده شده است، سه دسته از چهار دسته بالا دوباره مشاهده می‌شوند. در دسته اول مشاهد می‌شود که اکسید آهن تنها به عنوان عامل رنگزا عمل می‌کند و اکسید مس از ناخالصی موجود در سیلیس ناشی نمی‌شود. اما در نمونه‌های گروه دوم مقدار اکسیدهای آهن و مس مقداری است که به صورت غیر عمد وارد ترکیبات شده است. گروه سوم که شامل دو ظرفVNJ7 و VNJ3می‌باشد، اکسید مس و اکسید آهن هر دو به صورت عمد به خمیره شیشه اضافه شده است.

۵-۶. مقایسهٔ ظرف ناترونی بندر نجیرم با شیشه‌های ناترونی شرق مدیترانه

در این بخش به بررسی خاستگاه و محل تولید ظرف شیشه‌ای ناترونی یافت‌شده در بندر نجیرم می‌پردازیم. شیشه‌های تولیدشده با ناترون که در محوطه‌های مختلف باستانی در ایران شناسایی می‌شوند، به‌وضوح می‌توانند گواه بر غیر بومی بودن این اشیاء و شاهدی برای تجارت شیشه و مصنوعات شیشه‌ای بین ایران و کشورهای حوزهٔ مدیترانه باشد که استفاده از این مادهٔ گدازآور در صنعت شیشه‌گری آن‌ها در طول سالیان متمادی رایج بوده است. برای این‌که بتوان اطلاعاتی در مورد محل تولید و دورهٔ تاریخی نمونل VNJ14 که در آن از مادهٔ گدازآور ناترون استفاده شده به دست آورد، ترکیبات عنصری این نمونه با گروه‌های شناخته شده‌ای از شیشه‌های ناترونی که تاکنون شناسایی و گزارش شده‌اند، مقایسه شده است (Paynter 2006). بر اساس تحقیقات و مطالعات فراوانی که بر روی شیشه‌های ناترونی انجام شده، مشخص شده است که این نوع شیشه‌ها بر اساس محل منابع تأمین سیلیس و ناترون مورداستفاده در ساخت به تعداد محدودی زیرگروه طبقه‌بندی شده‌اند که برخی از مهم‌ترین آن‌ها عبارت است از (Freestone et al. 2002; Mirti et al. 1993; Paynter 2006): مصر ۱ (Egypt I)، مصر ۲ (Egypt II)، لوانت ۱(Levant I)، لوانت ۲ (Levant II). هرکدام از این گروه‌ها متناسب با محل جغرافیایی، محل تولید و عناصر کم‌مقدار موجود در ترکیبات آن‌ها نام‌گذاری شده و تولید آن‌ها در دورهٔ تاریخی مشخصی رایج بوده است. با مقایسهٔ ترکیبات عنصری نمونهٔ VNJ14 و نتایج گزارش‌شده در جدول ۳ می‌توان به این نتیجه رسید که این نمونه با گروه شناخته‌شدهٔ لوانت ۱ یا مصر ۲ مطابقت بسیار خوبی دارد. تولید این نوع از شیشه‌ها در بازهٔ زمانی قرن ۳ قبل از میلاد تا حدود قرن ۶ میلادی رواج داشته است. همچنین پژوهشگران، محل ساخت این نوع شیشه را سواحل مصر و فلسطین عنوان کرده‌اند (Paynter 2006). بنابراین، می‌توان به این نتیجه رسید که نمونهٔ VNJ14 در حاشیهٔ دریای مدیترانه ساخته شده و احتمالاً از طریق تجارت و بازرگانی به کشورهایی مانند ایران وارد شده است. تفاوت فاحشی که در مقدار اکسید منگنز مشاهده می‌شود، ناشی از اضافه‌شدن ترکیبات رنگبر اکسید منگنز برای ایجاد رنگ دلخواه و مناسب است.

جدول ۳. ترکیبات عنصری نمونهٔ ناترونی آنالیزشده از بندر تاریخی نجیرم و گروه‌های شناخته‌شده شیشه‌های ناترونی (Freestone et al. 2002; Mirti et al. 1993; Paynter 2006) به صورت اکسید و بر حسب درصد وزنی

Table 3. Elemental compositions of the analyzed natron glass sample from the historic port of Najirom and the known groups of natron glasses presented as oxides and in terms of weight percentage (Freestone et al. 2002; Mirti et al. 1993; Paynter 2006).

Known groups	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3
Levantine II	12.13	0.51	3.26	74.64	0.08	0.70	0.53	7.36	0.08	0.02	0.50
Levantine I	14.31	0.56	3.17	71.33	0.10	0.83	0.62	8.37	0.08	0.03	0.48
Egypt II	14.14	0.58	2.53	70.48	0.10	1.03	0.29	9.51	0.26	0.04	0.92
Egypt I	17.06	0.83	4.46	70.94	0.08	0.98	0.43	2.71	0.54	0.04	1.79
VNJ14	14.04	1.00	3.10	68.15	0.90	1.00	0.46	9.14	0.11	1.22	0.76

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

٦. نتیجه‌گیری

در این پژوهش به برخی از سؤالات اساسی در مورد ترکیبات عنصری، مادهٔ اولیهٔ استفاده‌شده در ساخت و همچنین منشأ و محل تولید مصنوعات شیشه‌ای بند نجیرم در حاشیهٔ خلیج فارس پاسخ داده شد. اولین و اساسی‌ترین سؤال مطرح شده این بود که در مصنوعات شیشه‌ای بندر نجیرم، از چه مواد اولیه‌ای در ساخت شیشه‌ها استفاده شده است و مهم‌تر این‌که برای تأمین سودا از چه نوع مواد گدازآوری استفاده شده است. مشخص و تعیین‌کردن نوع مادهٔ گدازآور، می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در بررسی و مطالعهٔ فرایند تجارت و نقل و انتقالات مواد اولیه شیشه داشته باشد. علاوه بر این تعیین مواد رنگزا یا رنگبر استفاده شده در فرایند ساخت و مشخص‌کردن ناخواسته‌بودن این مواد یا اضافه شده به صورت عمدی و آگاهانه آن در طول فرایند ساخت، پرسش دیگری بود که به‌عنوان یکی دیگر از اهداف این کار پژوهشی در نظر گرفته شده بود. بر اساس اندازه‌گیری ترکیبات عنصری شیشه‌ها و به‌ویژه عناصری مانند منیزیم، پتاسیم، سدیم و کلسیم می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به جزء یک نمونه، تمام شیشه‌های یافت‌شده در محوطهٔ تاریخی بندر نجیرم از نوع شیشه‌های سیلیکا–سودا–آهک است که منبع تأمین گدازآور آن خاکستر حاصل از گیاهان بوده است. همچنین مشخص شد که النگوها و ظروف یافت‌شده در بندر نجیرم با گدازآورهای متفاوتی تولید شده است. علاوه بر این، نتایج آنالیز عنصری یکی از ظروف یافت‌شده در بند نجیرم وارداتی و غیر بومی این نمونه را کاملاً اثبات می‌کند. با مقایسهٔ ترکیبات عنصری ظرف ناترونی با نتایج گزارش‌شده از نمونه‌های ناترونی می‌توان به این نتیجه رسید که محل ساخت این نوع شیشه‌ها سواحل فلسطین و مصر در حوزهٔ مدیترانه باشد. علاوه بر این، با مقایسهٔ ترکیبات عنصری االنگوهای بند نجیرم با االنگوهای آنالیزشده از دیگر محوطه‌های سواحل خلیج فارس مانند سیراف و بند کنگ و شمد دیده‌بان مشخص شد که درصد وزنی عناصری مانند اکسید سدیم و اکسید پتاسیم در النگوهای بندر نجیرم تفاوت قابل‌توجهی با النگوهای دیگر بنادر در حوزهٔ خلیج فارس دارد، اگرچه مقادیر اکسید منیزیم و اکسید کلسیم بند نجیرم به نمونه‌های بندر سیراف بسیار نزدیک است. بنابراین، به دلیل مشابه بودن برخی از ترکیبات عنصری بندر نجیرم و بندر سیراف این احتمال وجود دارد که النگوهای بندر نجیرم و بند سیراف محل تولید مشابهی داشته باشند، در صورتی که کاملاً مشخص است که النگوهای بندر نجیرم و بندر کنگ و شمد دیده‌بان منشأ و محل تولید متفاوتی دارند.

سپاسگزاری: لازم است از حمایت‌های پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای و کلیه همکاران در آزمایشگاه واندوگراف که شـرایط مناسب برای آنالیز نمونه‌ها را فـراهم نمودند، سپاسـگزاری نماییم.

مشارکت نویسندگان: ایده‌پردازی: د.آ. و ح.ت.؛ روش‌شناسی: د.آ. و م.م.؛ نرم‌افزار: د.آ.؛ اعتبارسنجی: د.آ. و ح.ت. و م.م. ؛ تحلیل رسمی: د.آ.؛ تحقیق و بررسی: د.آ. و ح.ت.؛ منابع: د.آ. و ح.ت.؛ مدیریت و تنظیم داده‌ها: د.آ.و ح.ت.؛ نگارش پیش‌نویس اولیه :د.آ. و ح.ت..؛ بازبینی و ویرایش متن :د.آ. و ح.ت..؛ تصویرسازی داده‌ها د.آ..؛ نظارت :د.آ..؛ مدیریت پروژه: د.آ.. «تمام نویسندگان نسخه منتشر شده مقاله را مطالعه کرده و با آن موافقت نموده‌اند.»

تأمین مالی: «این پژوهش هیچ بودجهٔ خارجی دریافت نکرده است».

تضاد منافع: «نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافع را اعلام نمی‌کنند.»

دسترسی به داده‌ها و مواد: مجموعه‌داده‌ها در صورت درخواست از نویسندگان در دسترس است.

References

Abe, Y. (2017). Ancient glassware that traveled the Silk Road, *Spring.8, Research Frontiers*, Archaeology.

Agha-Aligol, D., Faryadian, B., & Moradi, M. (2023). Characterization of Sasanian glasses obtained in Seymareh with an archaeometric approach using the micro-PIXE technique. *Journal of Research on Archaeometry, 9*(2), 63-82. doi:10.52547/jra.9.2.381,[In Persian].

Agha-Aligol, D., Jafarizadeh, M., Rahbar, M., & Moradi, M. (2019). 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, 5*(1), 143-166. doi:10.29252/jra.5.1.143,[In Persian].

Agha-Aligol, D., Mousavinia, M., & Fathollahi, V. (2022). Micro-PIXE analysis of early Islamic (10th–11th century AD) glass vessels from the Tape-Bahram historical site in Ray, Iran. *Archaeological and Anthropological Sciences, 15*(1), 1. doi:10.1007/s12520-022-01701-4.

Agha-Aligol, D., Sodaei, B., Khosravi, L., & Karimi, M. (2019). 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, 5*(2), 2-0,[In Persian].

Agha-Aligol, D., Yousefi, H., & Moradi, M. (2021). 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, 7*(1), 31-53. doi:10.29252/jra.7.1.31, [In Persian].

Agha Ali-gol, D., Omidi, K., Rahimi, T., & Moradi, M. (2022). Elemental composition of black glass bracelets of the northern coasts and the western part of the Persian Gulf by micro-PIXE technique; case study: the Shore Area of the Old Bandar Kong and the back shore of Shamd-e-Dideban. *Journal of Research on Archaeometry, 8*(2), 165-191. doi:10.52547/jra.8.2. 165, [In Persian].

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

Balvanović, R., Šmit, Ž., Stojanović, M. M., Spasić-Đurić, D., & Branković, T. (2025). Coloured glass bracelets from Middle Byzantine (11th–12th century CE) Morava and Braničevo (Serbia). *Journal of Archaeological Science: Reports, 61*, 104950. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2024.104950

Bayat Nejad, F., Emami, S.M.A, Chehri, M. E., Kolbadinejad, M., Aquilanti, G., Salimi, E. , Chapoulie, R. (2025). Insights into late Sasanian glass workshop at the city of Istakhr, Fras; synchrotron XRF radiation techniques for glass characterization. Archaeometry, 67(6), 1500-1514. doi:10.1111/arcm.13104.

Bertini, C., Henderson, J., & Chenery, S. (2020). Seventh to eleventh century CE glass from Northern Italy: between continuity and innovation. *Archaeological and Anthropological Sciences, 12*(6), 120. doi:10.1007/s12520-020-01048-8

Bible, J., Datta, S., & Datta, S. (2013). Chapter 4 -Cluster Analysis: Finding Groups in Data. In K. Rajan (Ed.), *Informatics for Materials Science and Engineering* (pp. 53-70). Oxford: Butterworth-Heinemann.

Brill, R. H. (1999). *Chemical analyses of early glasses: Vols I and II, Corning Museum of Glass, New York.*

Cagno, S., Cosyns, P., Izmer, A., Vanhaecke, F., Nys, K., & Janssens, K. (2014). Deeply colored and black-appearing Roman glass: a continued research. *Journal of Archaeological Science, 42*(Supplement C), 128-139. doi:https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.11.003

Cagno, S., Favaretto, L., Mendera, M., Izmer, A., Vanhaecke, F., & Janssens, K. (2012). Evidence of early medieval soda ash glass in the archaeological site of San Genesio (Tuscany). *Journal of Archaeological Science, 39*(5), 1540-1552. doi:https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.12.031

Campbell, J. L., Boyd, N. I., Grassi, N., Bonnick, P., & Maxwell, J. A. (2010). The Guelph PIXE software package IV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 268*(20), 3356-3363. doi:https://doi.org/10.1016/j.nimb.2010.07.012

Caponetti, E., Armetta, F., Brusca, L., Chillura Martino, D., Saladino, M. L., Ridolfi, S.,Tusa, S. (2017). A multivariate approach to the study of orichalcum ingots from the underwater Gela's archaeological site. *Microchemical Journal, 135*, 163-170. doi:https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.09.003

Chinni, T., Fiorentino, S., Silvestri, A., Mantellini, S., Berdimuradov, A. E., & Vandini, M. (2023). Glass from the Silk Roads. Insights into new finds from Uzbekistan. *Journal of Archaeological Science: Reports, 48*, 103841. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.103841

De Juan Ares, J., Calderón, N. F., Muñiz López, I., García Álvarez-Busto, A., & Schibille, N. (2018). Islamic soda-ash glasses in the Christian kingdoms of Asturias and León (Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports, 22*, 257-263. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.09.026

Emami, S. M. A., & Pakgohar, S. (2017). Glass Wires from Chogha Zanbil: Preliminary Glass Making Evidence in Iran in the Early 2rd Millennium BC. Journal of Research on Archaeometry, 3(1), 1-15. doi:10.29252/jra.3.1.1[In Persian].

Fiorentino, S., Venezia, B., Schibille, N., & Vandini, M. (2019). Streams across the Silk Roads? The case of Islamic glass from Ghazni. *Journal of Archaeological Science: Reports, 25*, 153-170. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.04.002

Freestone, I. C., Jackson-Tal, R. E., Taxel, I., & Tal, O. (2015). Glass production at an Early Islamic workshop in Tel Aviv. *Journal of Archaeological Science, 62*, 45-54. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2015.07.003

Freestone, I. C., Ponting, M., & Hughes, M. J. (2002). The origins of Byzantine glass from Maroni Petrera, Cyprus. *Archaeometry, 44*(2), 257-272. doi:10.1111/1475-4754.t01-1-00058

Freestone, I.C., Gorin-Rosen, Y., Hughes, M.J. (2000) Primary glass from Israel and the production of glass in Late Antiquity and the Early Islamic Period, in Colloqueorganisé en 1989 par l'Association française pour l'Archéologie du Verre (AFAV). MOM Éditions, Année 33, 65–83.

Gliozzo, E. (2017). The composition of colourless glass: a review. *Archaeological and Anthropological Sciences, 9*(4), 455-483. doi:10.1007/s12520-016-0388-y

Gliozzo, E., Lepri, B., Saguì, L., & Turbanti Memmi, I. (2017). 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, 9*(2), 165-180. doi:10.1007/s12520-015-0264-1

Grime, G. W., & Watt, F. (1988). Focusing protons and light ions to micron and submicron dimensions. *Nuclear Instruments and Methods in*

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 30(3), 227-234. doi:https://doi.org/10.1016/0168-583X(88)90002-X

Henderson, J. (2002). Tradition and Experiment in First Millennium A.D. Glass ProductionThe Emergence of Early Islamic Glass Technology in Late Antiquity. *Accounts of Chemical Research, 35*(8), 594-602. doi:10.1021/ar0002020

Henderson, J., Chenery, S., Faber, E., & Kröger, J. (2016). 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, 128*, 134-152. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2016.03.013

Henderson, J., Chenery, S., Kröger, J., & Faber, E. W. Glass Provenance along the Silk Road: The Use of Trace Element Analysis. In *Recent Advances in the Scientific Research on Ancient Glass and Glaze* (pp. 17-42).

Henderson, J., Ma, H., & Evans, J. (2020). Glass production for the Silk Road? Provenance and trade of islamic glasses using isotopic and chemical analyses in a geological context. *Journal of Archaeological Science, 119*, 105164. doi:https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105164

Jackson, C. M., Paynter, S., Nenna, M.-D., & Degryse, P. (2018). Glass-making using natron from el-Barnugi (Egypt); Pliny and the Roman glass industry. *Archaeological and Anthropological Sciences, 10*(5), 1179-1191. doi:10.1007/s12520-016-0447-4

Johansson, S. A. E., & Campbell, J. L. (1988). *PIXE: a novel technique for elemental analysis*: Wiley.

Karalis, P., Dotsika, E., Godelitsas, A., Antonaras, A., & Oikonomidis, S. (2024). Mineral natron, plant-ash and high-alumina byzantine glass bracelets: Possible byzantine primary glass production in Asia Minor. *Journal of Archaeological Science: Reports, 54*, 104452. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2024.104452

Lü, Q. Q., Basafa, H., Henderson, J. (2023). Connected in diversity: Isotopic analysis refines provenance for Islamic plant-ash glass from the eastern Silk Roads. iScience, 26(12), 108450. doi:https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.108450

Kato, N., Nakai, I., & Shindo, Y. (2010). Transitions in Islamic plant-ash glass vessels: on-site chemical analyses conducted at the Raya/al-Tur area on the Sinai Peninsula in Egypt. *Journal of Archaeological Science, 37*(7), 1381-1395. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2009.12.042

Koleini, F., Colomban, P., Doosti Sani, N., Niakan, L. (2024). Glass Finds from the Elite House of Roue, a Sasanian City Building in Western Iran: Composition and Classification Using XRF and Raman Spectroscopy. Heritage, 7(11), 6137-6150.

Kroger, J. (1995). Nishapur glass of the early islamic period: The Metropolitan Museum of Art, NewYork.

Lin, Y., Liu, T., Toumazou, M. K., Counts, D. B., & Kakoulli, I. (2019). Chemical analyses and production technology of archaeological glass from Athienou-Malloura, Cyprus. *Journal of Archaeological Science: Reports, 23*, 700-713. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.08.011

Machado, A., Wolf, S., Alves, L. C., Katona-Serneels, I., Serneels, V., Trümpler, S., & Vilarigues, M. (2017). Swiss Stained-Glass Panels: An Analytical Study. *Microscopy and Microanalysis, 23*(4), 878-890. doi:10.1017/S1431927617000629

Mirti, P., CASOLI, A., & APPOLONIA, L. (1993). Scientific analysis of Roman glass from Augusta Praetoria. *Archaeometry, 35*(2), 225-240. doi:10.1111/j.1475-4754.1993.tb01037.x

Mirti, P., Pace, M., Malandrino, M., & Ponzi, M. N. (2009). Sasanian glass from Veh Ardašīr: new evidences by ICP-MS analysis. *Journal of Archaeological Science, 36*(4), 1061-1069. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2008.12.008

Mirti, P., Pace, M., Negro Ponzi, M. M., & Aceto, M. (2008). ICP–MS analysis of glass fragments of Parthian and Sasanian epoch from Seleucia and Veh Ardašhir (Central Iraq). *Archaeometry, 50*(3), 429-450. doi:10.1111/j.1475-4754.2007.00344.x

Moorey, P.R.S.(1994). Ancient Mesopotamian Materials and Industries: The Archaeological Evidence. Clarendon press, Oxford.

Nash-Pye, C. K., Meek, A., Schibille, N., & Simpson, S. J. (2025). High alumina plant ash (v-Na-Al) glass bangles from Siraf: Clarifications on a Central Asian glass group (9th-14th century). *Journal of Archaeological Science: Reports, 62*, 104970. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2025.104970

Nastasi, M., Mayer, J. W., & Wang, Y. (2014). *Ion Beam Analysis: Fundamentals and Applications*: Taylor & Francis.

Oikonomou, A., Henderson, J., & Chenery, S. (2020). Provenance and technology of fourth–second century BC glass from three sites in ancient Thesprotia, Greece. *Archaeological and Anthropological Sciences, 12*. doi:10.1007/s12520-020-01222-y

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

Oikonomou, A., & Triantafyllidis, P. (2018). An archaeometric study of Archaic glass from Rhodes, Greece: Technological and provenance issues. *Journal of Archaeological Science: Reports*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.08.004

Paynter, S. (2006). Analyses of colourless Roman glass from Binchester, County Durham. *Journal of Archaeological Science, 33*(8), 1037-1057. doi:https://doi.org/10.1016/j.jas.2005.10.024

Phelps, M., Freestone, I. C., Gorin-Rosen, Y., & Gratuze, B. (2016). Natron glass production and supply in the late antique and early medieval Near East: The effect of the Byzantine-Islamic transition. *Journal of Archaeological Science, 75*, 57-71. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2016.08.006

Rasmussen, S.C.(2012). How Glass Changed the World: The History and Chemistry of Glass from Antiquity to the 13th Century, Springer Berlin Heidelberg.

Rehren, T. (2008). A review of factors affecting the composition of early Egyptian glasses and faience: alkali and alkali earth oxides. *Journal of Archaeological Science, 35*(5), 1345-1354. doi:https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.09.005

Rehren, T., & Freestone, I. C. (2015). Ancient glass: from kaleidoscope to crystal ball. *Journal of Archaeological Science, 56*, 233-241. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2015.02.021

Rosenow, D., Phelps, M., Meek, A., & Freestone, I. (2018). *Things that Travelled: Mediterranean Glass in the First Millennium AD*: UCL Press.

Russell, J. L., Campbell, J. L., Boyd, N. I., & Dias, J. F. (2017). GUMAP: A GUPIXWIN-compatible code for extracting regional spectra from nuclear microbeam list mode files. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. doi:https://doi.org/10.1016/j.nimb.2017.08.013

Salehvand, N., Agha-Aligol, D., Shishegar, A., & Rachti, M. L. (2020). 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, 29*, 102034. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102034.

Sarfaraz, A. A. (2005). *Archaeological Survey and Identification of Ancient Monuments in Deyr*. Retrieved from Tehran,[In Persian].

Sayre, E. V., & Smith, R. W. (1961). Compositional Categories of Ancient Glass. *Science, 133*(3467), 1824-1826.

Schibille, N. (2022). Islamic Glass in the Making: Chronological and Geographical Dimensions.

Schibille, N., Lankton, J., & Gratuze, B. (2022). Compositions of early Islamic glass along the Iranian Silk Road. *Geochemistry*, 125903. doi:10.1016/j.chemer.2022.125903

Schibille, N., Sterrett-Krause, A., & Freestone, I. C. (2017). Glass groups, glass supply and recycling in late Roman Carthage. *Archaeological and Anthropological Sciences, 9*(6), 1223-1241. doi:10.1007/s12520-016-0316-1

Schwarz, P. (1993). Historical Geography of Fars (K. Jahandari, Trans.). Tehran: Society of Cultural Works and Honors.

Shortland, A. J., Kirk, S., Eremin, K., Degryse, P., Walton, M. (2018). The Analysis of Late Bronze Age Glass from Nuzi and the Question of the Origin of Glass-Making. *Archaeometry, 60*(4), 764-783. doi:doi:10.1111/arcm.12332

Sodaei, B., Agha Ali Gol, D., & Khosravi, L. (2023). Typology, Morphology, and elemental analysis of Early Islamic period glass bracelets from Jahangir dome and Goriye tape in Ilam province. *Journal of Research on Archaeometry, 9*(2), 1-20. doi:10.52547/jra.9.2.376,[In Persian].

Strange, G. L. (1994). The Historical Geography of the Lands of the Eastern Caliphate (M. Erfan, Trans.). Tehran: Scientific and Cultural Publications Company.

Swan, C. M., Rehren, T., Lankton, J., Gratuze, B., & Brill, R. H. (2017). Compositional observations for Islamic Glass from Sīrāf, Iran, in the Corning Museum of Glass collection. *Journal of Archaeological Science: Reports, 16*, 102-116. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.08.020

Theodoridis, S. (2015). Chapter 19 - Dimensionality Reduction and Latent Variables Modeling. In S. Theodoridis (Ed.), *Machine Learning* (pp. 937-1011). Oxford: Academic Press.

Tofighian, H. (2009). *Study and Identification of Historic Ports of the Persian Gulf in the Bushehr Province Region*. Retrieved from Tehran,[In Persian].

Tofighian, H. (2021). Archaeological Studies Including Test Trenches to Determine the Boundaries, Proposed Buffer Zones, and Stratigraphy of the Historic Port of Najīrom. Retrieved from Tehran, [In Persian].

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

Tofighian, H., & Ranjbar, M. (2022). Coins of the historical port of Najiram. Tehran: Ganjineh Honar[In Persian].

Tofighian, H. (2023). Archaeological Survey and Identification of Bandar Deyr County. Retrieved from Tehran,[In Persian]. .

Van Der Linden, V., Cosyns, P., Schalm, O., Cagno, S., Nys, K., Janssens, K., Bulska, E. (2009). Deeply coloured and black glass in the northern provinces of the roman empire: differences and similarities in chemical composition before and after AD 150. *Archaeometry, 51*(5), 822-844. doi:10.1111/j.1475-4754.2008.00434.x

Varberg, J., Gratuze, B., & Kaul, F. (2015). Between Egypt, Mesopotamia and Scandinavia: Late Bronze Age glass beads found in Denmark. *Journal of Archaeological Science, 54*, 168-181. doi:https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.11.036

Venclová, N., Křížová, Š., Dillingerová, V., & Vaculovič, T. (2018). Hellenistic cast monochrome glass vessels from Staré Hradisko, 2nd–1st cent. BCE. *Journal of Archaeological Science: Reports*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.08.003

Vicenzi, E. P., Eggins, S., Logan, A., & Wysoczanski, R. (2002). 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, 107*(6), 719-727. doi:10.6028/jres.107.058

Wang, Y., Rehren, T., Tan, Y., Cong, D., Jia, P. W., Henderson, J., Chen, K. (2020). New evidence for the transcontinental spread of early faience. *Journal of Archaeological Science, 116*, 105093. doi:https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105093

Watt, F. (1997). The nuclear microprobe: a unique instrument. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 130*(1), 1-8. doi:https://doi.org/10.1016/S0168-583X(97)00164-X

Whitehouse, D. (1968). Excavations at Sīrāf; First Interim Report. *Iran, 6*, 1-22. doi:10.2307/4299597

Whitehouse, D. (1969). Excavations at Sīrāf: Second Interim Report. *Iran, 7*, 39-62. doi:10.2307/4299612

Whitehouse, D. (1971). Excavations at Sīrāf: Fourth Interim Report. *Iran, 9*, 1-17. doi:10.2307/4300434

Whitehouse, D. (1972). Excavations at Sīrāf: Fifth Interim Report. *Iran, 10*, 63-87. doi:10.2307/4300466

Whitehouse, D. (1974). Excavations at Sīrāf: Sixth Interim Report. *Iran, 12*, 1-30. doi:10.2307/4300502

Whitehouse, D. (2007). *Siraf: The Sasanian Port.* Paper presented at the In The Persian Gulf in the Words of Others.

Wood, M., Panighello, S., Orsega, E. F., Robertshaw, P., van Elteren, J. T., Crowther, A., Boivin, N. (2017). Zanzibar and Indian Ocean trade in the first millennium CE: the glass bead evidence. *Archaeological and Anthropological Sciences, 9*(5), 879-901. doi:10.1007/s12520-015-0310-z

Wypyski, M. (2015). Chemical analysis of early islamic glass from Nishapur. *57*, 121-136.

Zori, C., Fulton, J., Tropper, P., & Zori, D. (2023). Glass from the 11th–13th century medieval castle of San Giuliano (Lazio Province, Central Italy). *Journal of Archaeological Science: Reports, 47*, 103731. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103731

آقاعلی گل، د.، فریادیان، ب.، مرادی، م. (۱۴۰۲–ب). بررسی و مطالعهٔ شیشه‌های ساسانی به دست آمده در شهر تاریخی سیمره با رویکرد باستان‌سنجی و اندازه‌گیری ترکیبات عنصری با استفاده از روش میکروپیکسی، پژوههٔ باستان‌سنجی، ۹ (۲) ، ۶۴–۸۲.

آقاعلی گل، د، امیدی، ک.، رحیمی، ط.، مرادی، م. (۱۴۰۱). شناسایی ترکیبات شیمیایی النگوهای شیشه‌ای به دست آمده از محوطهٔ کرانه‌ای بندر کنگ قدیم و پسکرانه‌ای شمد دیده‌بان، پژوهه باستان‌سنجی ۸ (۲)، ۱۶۵–۱۹۱.

آقاعلی گل، د.، یوسفی، ح. ، مرادی، م. (۱۴۰۰). آنالیز عنصری و اندازه‌گیری ترکیبات تشکیل‌دهندهٔ مصنوعات شیشه‌ای به دست آمده از مجموعه میراث جهانی تخت سلیمان و محوطه‌های باستانی اردبیل در شمال غربی ایران با استفاده از روش میکروپیکسی، پژوههٔ باستان‌سنجی، ۷ (۱)، ۳۱–۵۳

آقاعلی گل، د.، سودایی، ب.، خسروی، ل.، کریمی، م. (۱۳۹۸–الف). بررسی و مطالعهٔ مصنوعات شیشه‌ای دورهٔ ساسانی؛ نمونهٔ مطالعاتی: شیشه‌های محوطهٔ گنبد جهانگیر و (تپه) گوریه در استان ایلام با استفاده از روش میکروپیکسی، پژوههٔ باستان‌سنجی، ۵(۲) ،۴۷–۷۰.

آقاعلی گل، د.، جعفری‌زاده، م.، رهبر، م.، مرادی، م. (۱۳۹۸–ب). کاربرد روش میکروپیکسی جهت آنالیز عنصری مهره‌های شیشه‌ای مکشوفه از آرامگاه‌های صالح‌داود خوزستان: شواهدی از تجارت مصنوعات شیشه‌ای در دورهٔ اشکانی. پژوههٔ باستان‌سنجی، ۵(۱)، ۱۴۳–۱۶۶.

امامی، س.م.ا.، پاک‌گوهر، س.(۱۳۹۶). مفتول‌های شیشه‌ای چغازنبیل؛ اولین نشانه‌های شیشه‌گری ایران در هزارهٔ دوم پیش از میلاد، پژوههٔ باستان‌سنجی، ۳(۱)، ۱–۱۵.

توفیقیان، ح. (۱۴۰۲). بررسی و شناسایی باستان‌شناسی شهرستان بندر دیر، مرکز اسناد

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.203]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 6:13 +0330 on Monday November 23rd 2026

آنالیز عنصری النگوهای شیشه‌ای اوائل اسلامی گنبد جهانگیر و تپه گوریه در استان ایلام، پژوهه باستان‌سنجی، ۹(۲)،۱-۲۰.

شوارتس، پ. (۱۳۸۲). جغرافیایی تاریخ فارس، ترجمه ی جهانداری، تهران: انجمن آثار و مفاخر فرهنگی.

وایت هاووس، د. (۱۳۸۶). سیراف بندری ساسانی، ترجمهٔ محمدرضا سارخانی، مجموعه مقالات خلیج فارس در حدیث دیگران، به اهتمام امیر هوشنگ انوری، تهران: بنیاد ایران‌شناسی.

لسترنج، گ. (۱۳۷۳). جغرافیای تاریخی سرزمین‌های خلافت شرقی، ترجمهٔ محمد عرفان، تهران: انتشارت علمی و فرهنگی.

و کتابخانهٔ پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی.

توفیقیان، ح. و رنجبر، م. (۱۴۰۱). سکه‌های بندر تاریخی نجیرم، تهران، گنجینهٔ هنر.

توفیقیان، ح. (۱۴۰۰). مطالعات باستان‌شناسی شامل گمانه‌زنی به منظور تعیین عرصه و پیشنهاد حریم و لایه‌نگاری بندر تاریخی نجیرم، مرکز اسناد و کتابخانه پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی.

توفیقیان، ح. (۱۳۸۸). بررسی و شناسایی بنادر تاریخی خلیج فارس در محدودهٔ استان بوشهر، مرکز اسناد و کتابخانه پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی.

سرفراز، ع. ا. (۱۳۸۴). بررسی و شناسایی آثار باستانی دیر، تهران: مرکز اسناد پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی.

سودایی، ب.، آقاعلی گل، د.، خسروی، ل. (۱۴۰۲-الف). گونه‌شناسی، سبک‌شناسی و

Agha AliGhol, D., Tofighian., & Moradi, M. (2025). Study of Glass Artifacts from the Historic Port of Najrom in the Persian Gulf Using Elemental Composition Analysis: Evidence of Trade with the Eastern Mediterranean Region. *Journal of research on* Archaeometry, 11(2), 11203. DOI: 10.66224/jra.2025.11.203