

مطالعات باستان‌شناسی، دوره ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹
(از ص ۱۲۵ تا ص ۱۴۶)



[10.22059/jarcs.2019.243957.142489](https://doi.org/10.22059/jarcs.2019.243957.142489)
[Print ISSN: 2676-4288- Online ISSN: 2251-9297](https://doi.org/10.22059/jarcs.2019.243957.142489)
<https://jarcs.ut.ac.ir>

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 Iran National Museum

Navid Salehvand

PhD Student of Archaeology, Science and Research Branch, Islamic Azad University

Arman Shishegar

Associate Professor, Department of Archaeology, Archaeological Research Institute, Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism Research Institute

Baman Firuzmandi Shirejini

Professor, Department of Archaeology, University of Tehran

Davoud Agha-Aligol

Researcher, Physics and Accelerators School, Nuclear Science and Technology Research Institute

Received: 18 October, 2018; Accepted: 21 September, 2020

Abstract

Elemental analysis and chemical composition of ancient glasses are widely used to determine the glass type, technique and raw materials used in their production and recipes. The results of elemental analysis of 23 glass vessels dated to the early Islamic periods kept in the Iran National Museum presented in this paper. The samples discovered during archaeological excavations in several Islamic sites. Elemental analysis of these samples done by micro-PIXE technique. The major and trace elements existing in these samples are measured. Glass type, raw material used in their production process and colorant (coloring agent) of the glasses in diverse sites investigated and determined based on our results. The results show that the glasses found in all sites are high soda-lime-silica glasses.

The results of the study compared with Iranian samples of the Corning Museum and glasses of Fustat and Qasr al-Hair. Since the amounts of magnesium oxide and potassium oxide in all analyzed samples but one sample are more than 2.5%, with the exception S10, S17. It is clear that the ashes obtained from halophytic plants considered as supplying source for sodium oxide. Sample 10 of this study as a natron-based glass fitted to a group labeled by N-1 (Levantine I) from eastern Mediterranean region. The results also show that the metal oxides such as manganese oxide, iron oxide, copper oxide, chromium oxide and cobalt oxide used in the samples as "coloring agent" or "decolorizing agent".

Keywords: Glass, Early Islamic, Elemental Composition, Micro-PIXE, Iran National Museum.

بررسی و باستان‌سنجی ظروف شیشه‌ای سده‌های ۳ و ۴ ه. ق با استفاده از روش میکروپیکسی مطالعه موردی: مجموعه دوران اسلامی موزه ملی ایران*

نوید صالح‌وند

دانشجوی دکتری باستان‌شناسی دوران تاریخی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

آرمان شیشه‌گر**

استادیار گروه باستان‌شناسی، پژوهشکده باستان‌شناسی، پژوهشگاه میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری

بهمن فیروزمندی شیره‌جینی

استاد گروه باستان‌شناسی، دانشگاه تهران

داوود آقا علی‌گل

پژوهشگر پژوهشکده فیزیک و شتابگرها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۳۱

چکیده

باستان‌سنجی و آنالیز عنصری شیشه‌های باستانی در تعیین نوع شیشه، فن‌آوری و مواد سازنده و همچنین زمان ساخت آن، کاربرد دارد. در مقاله فوق، نتایج آنالیز عنصری تعدادی از شیشه‌های سده‌های ۳ و ۴ ه. ق که در مخزن موزه ملی ایران نگهداری می‌شود؛ ارائه شده است. این نمونه‌ها با نگاهی به پراکندگی جغرافیایی انتخاب شده تا بتوان میزان تغییرات ایجاد شده در ترکیبات شیشه را به صورت محلی در این بازه زمانی تحلیل کرد. نمونه‌های آنالیز شده ظروف شیشه‌ای در اشکال متنوع با رنگ‌های سبز، آبی و زرد حاصل از کاوش‌های باستان‌شناسی است. آنالیز عنصری آن‌ها به روش میکروپیکسی انجام و عناصر اصلی و کم‌مقدار تشکیل‌دهنده نمونه‌ها اندازه‌گیری شده است.

سنجش و تحلیل شیشه‌گری این دوره علاوه بر نمونه‌های مذکور با نمونه‌های ایرانی موزه کرنینگ که توسط رابرت بریل مورد مطالعه قرار گرفته و همچنین با شیشه‌های هم عصر خود همچون فسطاط در مصر و قصر الحیر در سوریه مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد، نوع شیشه‌های به دست آمده در تمام مناطق یاد شده، از نوع سیلیکا - سودا - آهنی است. میزان اکسیدهای منیزیم و پتاسیم تمام این نمونه‌ها، به غیر از نمونه شماره ۱۰ و ۱۷ بیشتر از ۲/۵ درصد است، لذا منبع تأمین اکسید سدیم، خاکستر حاصل از گیاهان بوده است. نمونه شماره ۱۰ که از هفتون تپه به دست آمده از نوع ناترونی بوده که بیشتر از مناطق مدیترانه شرقی به دست آمده است. شیشه‌گران این دوره از اکسیدهای فلزی مانند اکسید منگنز، آهن، مس و کبالت، به عنوان عامل رنگ‌زا یا بی‌رنگ‌کننده استفاده کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: شیشه، صدراسلام، آنالیز عنصری، میکروپیکسی، موزه ملی ایران.

* این مقاله مستخرج از رساله دکتری آقای نوید صالح‌وند با عنوان "بررسی و پژوهش تحول هنر و فن‌آوری شیشه‌گری ایران از آغاز دوران تاریخی تا سده‌های نخست اسلامی (مطالعه موردی: بر پایه مطالعات تطبیقی و باستان‌سنجی مجموعه موزه ملی ایران)" با راهنمایی آرمان شیشه‌گر و بهمن فیروزمندی است که در سال ۱۳۹۷ در گروه باستان‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران تنظیم شده است.

arman.shishegar@yahoo.com

** رایانامه نویسنده مسئول:

۱. مقدمه

صنعت شیشه‌گری دوران اسلامی در ایران را نمی‌توان متمایز از دوران پیش از اسلام به‌خصوص دوران ساسانی دانست، هرچند شواهد اندکی از این هنر در دو سده نخست اسلامی در ایران وجود دارد. هنر شیشه‌گری سده‌های نخست دوران اسلامی در نقاط مختلفی از سرزمین‌های اسلامی ظاهر شد. از شیشه‌های فسطاط در مصر گرفته تا شیشه‌های رقه در سوریه و سامرا در عراق و نیشابور در ایران جملگی یادآور پیشرفت این هنر در طی این سده‌ها است. هرچند، در این میان تفکیک آثار متأخر ساسانی در ایران و عراق با آغاز دوره اسلامی کاری بس دشوار است (Kroger, 1995:9; Negro Ponzi, 1971:67).

شیشه‌های قرون نخست اسلامی به‌دست‌آمده از محوطه‌های سامرا و سلوکیه، اطلاعات بی‌مانندی از هنر شیشه‌گری در سده‌های ۱ و ۲ ه.ق در اختیار باستان‌شناسان و پژوهشگران این عرصه می‌گذارد (Lamm, 1928; Negro Ponzi, 1971:67-105).

همچنین در محوطه‌های تاریخی ایران، کاوش‌های دانشگاه متروپولیتن در محوطه شهر نیشابور و کاوش‌های دیگر بین سال‌های ۱۹۴۵ تا ۱۹۷۹م در سیراف، شوش، تخت سلیمان و کشف نمونه‌های مختلف، اطلاعات زیادی راجع به این هنر و صنعت در طول سده‌های ۳ و ۴ ه.ق به دست داده‌اند (Kroger, 1995:2).

از آغاز سال ۱۹۶۰ میلادی، با پیشرفت فناوری و ظهور شیوه‌های آنالیز پیشرفته، مطالعه و بررسی اشیاء شیشه‌ای موردتوجه محققان و باستان‌شناسان قرار گرفت و با استفاده از ابزارهای علمی نوظهور به بررسی و آنالیز شیمیایی تعداد زیادی از نمونه‌های دوره‌های تاریخی و محوطه‌های باستانی گوناگونی پرداخته شد. رابرت بریل یکی از پژوهشگرانی است که مطالعات گسترده‌ای را در این زمینه انجام داده است (Brill, 1999). در دهه گذشته میلادی، مطالعه و بررسی فن‌آوری ساخت و مواد اولیه ساخت، تعیین و محل ساخت اشیاء شیشه‌ای بررسی شده است. همچنین برای تشخیص رنگ‌سازهای استفاده شده در ساخت شیشه‌های باستانی، با استفاده از آنالیز عنصری به روش‌های گوناگون، در سراسر دنیا تحقیقات فراوانی انجام شده و مقالات متعددی به چاپ رسیده است (Gliozzo et al, 2017:709; Rehren et al, 2015:233; Lima et al, 2012:1238; Liu et al, 2012:2128; Jackson et al, 2010:139; Varberg, 2006: 184).

اگرچه بررسی و مطالعه شیشه‌های ایرانی همواره موردتوجه محققین و باستان‌شناسان بوده است اما مرور و بررسی تحقیقات پیشین انجام‌شده بر روی اشیاء شیشه‌ای کشف‌شده از مناطق مختلف ایران نشان می‌دهد که استفاده از آنالیز عنصری به‌صورت بسیار محدود، تنها در مورد تعداد اندکی از اشیاء شیشه‌ای ایرانی انجام شده است (Dyson, 2011:87; Brill, 1999; Kroger, 1955: 211; Fleming et al, 1993:199; McGovern et al, 1991:395).

در مهم‌ترین این پژوهش‌ها که توسط بریل و همکاران او بر روی اشیاء شیشه‌ای ایرانی انجام شده است، تعدادی از شیشه‌های قدیمی که در کاوش‌های نیشابور، تخت سلیمان، همدان و گرگان به‌دست‌آمده‌اند، آنالیز شده‌اند که غالباً متعلق به سده‌های نخست دوران اسلامی می‌باشند (Brill, 1999). در پژوهش دیگری که اخیراً به چاپ رسیده است، نمونه‌های دیگری از شهر نیشابور متعلق به سده‌های نخست دوران اسلامی،

به تفصیل به لحاظ مواد اولیه استفاده شده در ساخت آن‌ها و همچنین تعیین محل ساخت نمونه‌ها براساس مقایسه ترکیبات شیمیایی با مناطق دیگر مانند رم و مدیترانه صورت گرفته است (Wypyski, 2015: 121). موزه ملی ایران به‌عنوان موزه شاخص و مهم در کشور ایران حافظ آثاری از مهم‌ترین کشفیات باستان‌شناسی در سال‌های گذشته و اخیر است که از جمله آن‌ها می‌توان به مجموعه شیشه‌های دوران اسلامی اشاره کرد. این موزه با بیش از صدها ظرف شیشه‌ای که اغلب از کاوش‌های باستان‌شناسی به‌دست آمده‌اند و یا حداقل محل کشف آن‌ها مشخص است، مهم‌ترین سند از این هنر به شمار می‌آید. بخش اسلامی این موزه بیش از سیصد دست ساخته شیشه‌ای مربوط به سده‌های نخست دوران اسلامی از سده ۱ تا ۴ ه. ق را دارا است. در این پژوهش از میان نمونه‌های قابل دسترس و قابل نمونه‌برداری، ۲۱ نمونه متعلق به سده‌های ۳ و ۴ ه. ق برای مطالعه و آنالیز آزمایشگاهی انتخاب و از آن‌ها نمونه‌برداری شده است. علاوه بر آن سه نمونه نیز مربوط به موزه شوش است که توسط مسلم جعفری زاده در اختیار نگارنده گان قرار گرفت. آنالیز عنصری این نمونه‌ها با روش میکروپیکسی و با استفاده از شتاب‌دهنده واندوگراف پژوهشکده فیزیک و شتابگرها در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای انجام شده است.

۲. توزیع جغرافیایی نمونه‌ها

در این کار پژوهشی، ۲۳ نمونه از ظروف شیشه‌ای که اکثر آن‌ها تاریخ‌دار هستند و در طی کاوش‌های باستان‌شناسی از محوطه‌های تاریخی ری، گرگان، غبیرا، کنگاور، نیشابور، هفتوان، سیراف، تخت سلیمان و شوش به‌دست آمده‌اند، تهیه و آنالیز شده است. در میان نمونه‌های آنالیز شده، ۲۰ نمونه (نمونه‌های ۱ تا ۲۰)، از مجموعه آثار شیشه‌ای دوره اسلامی موزه ملی ایران که همگی مربوط به سده‌های ۳ و ۴ ه. ق می‌باشند انتخاب شده‌اند. سه نمونه دیگر (نمونه‌های ۲۱ تا ۲۳) متعلق به موزه شوش هستند که در مخزن این موزه نگهداری می‌شوند. در جدول ۱ مشخصات نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش به‌طور کامل ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش (نگارنده گان، ۱۳۹۶).

شماره نمونه	کاوش گاه	شکل	روش ساخت	اندازه‌ها به سانتی‌متر	رنگ	محل نگهداری
S 1	ری	پیاله	دمیده آزاد	قطر دهانه: ۱۱/۷ ارتفاع: ۵/۲	آبی-سبز	موزه ملی ایران
S 2	ری	نامشخص	دمیده آزاد	غیر قابل اندازه‌گیری	آبی	موزه ملی ایران
S 3	گرگان	بطری	دمیده آزاد	قطر دهانه: ۵/۳ ارتفاع: ۱۱	سبز	موزه ملی ایران
S 4	گرگان	بطری	دمیده آزاد	قطر دهانه: ۳/۴ ارتفاع: ۱۵/۵	بی‌رنگ	موزه ملی ایران
S 5	گرگان	تنگ	دمیده آزاد	قطر دهانه: ۵/۴	آبی	موزه ملی ایران
S 6	کنگاور	بطری بزرگ	دمیده آزاد	قطر دهانه: ۱/۵ ارتفاع: ۱۵/۱ قطر کف: ۶	آبی-سبز	موزه ملی ایران
S 7	نیشابور	کاسه پایه‌دار	دمیده آزاد	قطر دهانه: ۱۵/۳ ارتفاع: ۸/۳ قطر کف: ۶	سبز	موزه ملی ایران
S 8	نیشابور	نامعلوم	دمیده آزاد	غیر قابل اندازه‌گیری	سبز	موزه ملی ایران
S 9	نیشابور	نامعلوم	دمیده آزاد	قطر دهانه: ۴/۵	سبز	موزه ملی ایران
S 10	هفتوان تپه	بطری کوچک	دمیده آزاد	قطر دهانه: ۷/۴ ارتفاع: ۸ س.م	آبی	موزه ملی ایران

S 11	تخت سلیمان	بطری دهانه‌گشاد	دمیده در قالب	قطر دهانه: ۵/۵ ارتفاع: ۱۰/۵	سبز	موزه ملی ایران
S 12	شوش	کاسه کوچک	دمیده آزاد	قطر دهانه: 15 ارتفاع: 5	بی‌رنگ	موزه ملی ایران
S 13	نامعلوم	گلدان کوچک	دمیده آزاد	قطر دهانه: ۶/۳ ارتفاع: ۷/۸	سبز	موزه ملی ایران
S 14	نامعلوم	بطری کوچک	دمیده آزاد	قطر دهانه: ۶/۳ ارتفاع: ۷/۳	سبز	موزه ملی ایران
S 15	غبیرا	بطری	دمیده در قالب	قطر دهانه: ۳/۵ ارتفاع: ۱۲/۵	سبز	موزه ملی ایران
S 16	کنگاور	نامعلوم	نامعلوم	غیر قابل اندازه‌گیری	سبز	موزه ملی ایران
S 17	کنگاور	کاسه کوچک	دمیده در قالب	قطر دهانه: ۱۱ ارتفاع: ۶ قطر کف: ۸	سبز	موزه ملی ایران
S 18	سیراف	کاسه کوچک	دمیده آزاد	قطر دهانه: ۷/۲ ارتفاع: ۴/۷	سیاه	موزه ملی ایران
S 19	نیشابور	بطری بزرگ	دمیده آزاد	قطر دهانه: ۳/۵ ارتفاع: ۲۵/۵ قطر کف: ۸/۲	آبی	موزه ملی ایران
S 20	شوش	بطری	دمیده آزاد	قطر دهانه: ۱/۶ ارتفاع: ۶	سبز روشن	موزه ملی ایران
S 21	شوش	نامعلوم	دمیده آزاد	غیر قابل اندازه‌گیری	سبز روشن	موزه شوش
S 22	شوش	نامعلوم	دمیده آزاد	غیر قابل اندازه‌گیری	سبز روشن	موزه شوش
S 23	شوش	نامعلوم	دمیده آزاد	غیر قابل اندازه‌گیری	آبی	موزه شوش

این نمونه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شده‌اند تا از پراکندگی جغرافیایی گسترده‌ای برخوردار باشند تا بتوان میزان تغییرات ایجاد شده در ترکیبات مورد استفاده در شیشه را به صورت محلی و یا به صورت یکپارچه در این بازه زمانی بررسی کرد. کارشناسان بخش مرمت موزه ملی ایران پس از نمونه‌برداری و انتخاب قسمت‌های ظروف شکسته و غیر قابل مرمت، آن‌ها را در اختیار نگارنده‌گان قرار دادند. در بین نمونه‌های انتخاب شده از موزه ملی ایران دو نمونه شماره ۱۳ و ۱۴ فاقد محل کشف هستند ولی از لحاظ سبک مربوط به این دوره محسوب می‌شوند و با نمونه‌های هویت‌دار قابل مقایسه‌اند.

موقعیت و پراکندگی جغرافیایی محل کشف نمونه‌های انتخاب شده برای آنالیز، در نقشه شکل ۱، نشان داده شده است. همان‌طور که در نقشه مشخص است نمونه‌های مورد آزمایش تقریباً تمام مساحت ایران را در بر می‌گیرد.



شکل ۱: پراکندگی جغرافیایی محل کشف نمونه‌های انتخاب شده برای آنالیز (نگارنده گان، ۱۳۹۶).

۳. پیشینه کاوش نمونه‌های مطالعاتی

همانطور که قبلاً شرح داده شد، در این پژوهش ۲۳ نمونه مورد آنالیز قرار گرفته؛ که از این تعداد دو نمونه ۱۳ و ۱۴ از لحاظ ویژگی‌های ظاهری مربوط به قرون نخست اسلامی بوده و فاقد بستر باستان‌شناختی است اما با توجه به مطالعات آزمایشگاهی بر روی ترکیبات آن‌ها؛ انتخاب براساس مطالعات تطبیقی خوشبختانه درست بوده است. بیست و یک نمونه دیگر از بستر باستان‌شناسی ۹ محوطه به‌دست آمده که براساس شماره اموالی موزه قابل پیگیری بوده است. بنابراین باید در ابتدا به بستر باستان‌شناسی نمونه‌ها در بازه مورد نظر و معرفی محوطه‌ها پرداخته شود.

۳-۱. ری

نهبشته‌های باستانی ری در جنوب تهران دربرگیرنده لایه‌های فرهنگی مختلف از چشمه‌علی تا معاصر است. مهم‌ترین یافته‌های سده‌های نخست دوران اسلامی در سال ۱۹۳۵ میلادی در کاوشی به سرپرستی اریک اشمیت از کارگاه‌های EI91 و FI01 به دست آمد (Schmit, 1935: 62-63). درواقع مجموعه‌هایی از این یافته‌ها راهی موزه‌هایی در پنسیلوانیا و تهران شد که از جمله می‌توان به ظروف شیشه‌ای اشاره کرد (Treptow, 2007: 18; Kordmahini, 1982: 81).

۳-۲. گرگان

بقایای شهر گرگان در ۴ کیلومتری غرب گنبدکاووس و در جنوب شرقی دریای مازندران قرار دارد. در بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۷ میلادی، محمد یوسف کیانی به بررسی و کاوش در دشت گرگان پرداخت و نتیجه گزارش‌ها را منتشر کرد (Kiani, 1984: 9). کاوش‌های شاه تپه به سرپرستی تور جوهانسن آرنه در سال ۱۹۳۳ میلادی انجام شده است. یافته‌های اسلامی این کاوش متعلق به سده‌های نخست دوران اسلامی بود، بقایای بیش از دویست ظرف شیشه‌ای در این کاوش پیدا شد (Arne, 1945: 34-36).

۳-۳. نیشابور

محوطه باستانی نیشابور ابتدا در طول سال‌های ۴۰-۱۹۳۵ میلادی، توسط والتر هاووزر، جوزف آپتون و چارلز ویلکینسن مورد کاوش قرار گرفته است. سپس این کاوش‌ها بین سال‌های ۱۹۳۷ تا ۱۹۴۵ میلادی، با کاوش‌های چارلز ویلکینسن در تپه مدرسه، تپه روستایی، تپه سبز پوشان، قنات تپه و تاکستان نیشابور ادامه یافته و با پیدا شدن بیش از صد ظرف در انواع شکل و تزیینات تراش، اطلاعات بسیار مهمی راجع به هنر شیشه‌گری به‌دست آمده است (Kroger, 1995: 20, 41, 120).

۳-۴. کنگاور

پرستشگاه معروف به آن‌اهیتا که در کنگاور قرار دارد، ویرانه‌ای انباشته از دوره‌های تاریخی ایران تا اسلامی است که کامبخش فرد در طی هفت فصل به کاوش آن پرداخته است (کامبخش فرد، ۱۳۸۶: ج ۱ ص ۱۸؛ ۲۰۹: ۱۳۷۴؛ ۲۰۹: ۱۳۷۴). اما لایه‌های اسلامی این سازه مربوط به قصبه گچ‌کن است که به سده‌های نخست دوران اسلامی باز می‌گردد (کامبخش فرد، ۱۳۸۶: ج ۱، ۲۱، ۳۵۲ تا ۳۵۳). از تمامی دوران تاریخی و اسلامی در کنگاور شیشه به‌دست آمده است، ظروف شیشه‌ای سده‌های نخستین اسلامی عمدتاً کروی و گردن‌باریک و دهانه تنگ بوده‌اند (کامبخش فرد، ۱۳۷۴: ۳۰۸).

۳-۵. هفتوان تپه

هفتوان تپه نیز یکی از چهار محوطه بزرگ در نزدیکی دریاچه ارومیه به شمار می‌رود که دارای آثاری از دوران پیش‌ازتاریخ تا دوران اسلامی است، چارلز برنی کاوشگر آن در لایه *Ib* که به آغاز دوران اسلامی بازمی‌گردد. شیشه‌های این محوطه بیشتر مهره بوده‌اند و به احتمال زیاد، شیشه نادر مطالعاتی نمونه *IO* (ظرف ویژه مواد آرایشی یا دارویی سبزرنگ) نیز از این لایه به دست آمده است (Burney, 1970: 157).

۳-۶. تخت سلیمان

کاوش‌های تخت سلیمان که در شهرستان تکاب در استان آذربایجان غربی قرار دارد ابتدا در سال ۱۹۶۰ به سرپرستی رودلف نومان و سپس توسط دیتربیش هوف صورت گرفته است و یافته‌های شیشه‌ای فراوانی بارنگ‌های مختلف مربوط به دور ساسانی تا ایلخانی به دست آمده است (Naumann, 1976: 64-66). نمونه‌های تخت سلیمان به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای با نمونه‌های نیشابور، از این نظر که تعداد زیادی از آن‌ها دمیده در قالب و دارای طیف‌های رنگی متنوعی هستند، تفاوت دارند. ظاهراً شیشه بی‌رنگ با تزئین تراش و حکاکی در تخت سلیمان کمتر از نیشابور رواج داشته است (Kroger, 1995: 6).

۳-۷. شوش

در بین کاوش‌های فرانسوی‌ها در شوش، از کاوش‌های رونالد دو مکنم (۱۹۱۴-۱۹۰۸، ۱۹۳۳-۱۹۲۰) و مونیک کروران شیشه‌های صدر اسلام به دست آمد. بیش از چهل یافته شیشه‌ای از کاوش‌های دومکنم که مربوط به اواخر دوره ساسانی تا سده ۳ ه ق بودند را لام در سال ۱۹۳۵ منتشر کرد (Lamm, 1935)؛ اما در بین سال‌های ۱۹۷۲-۱۹۷۶ با کاوش‌های مونیک کروران در شرق آپادانا که ساختارهای سده‌های نخستین اسلامی را شامل می‌شد، شیشه‌هایی کشف گردید؛ که به همان دوره تاریخ‌گذاری شده و به چاپ رسانید (Kervran, 1978, pp: 21-42).

۳-۸. غبیرا

کاوشی به سرپرستی گزا فهوراری و دیوید اچ. بیوار در محوطه غبیرا در کرمان از سال ۱۹۷۱ م آغاز و تا سال ۱۹۷۶ میلادی ادامه پیدا کرده است. حدود ۱۰۰ قطعه شیشه در تداخل لایه‌های ساسانی و اسلامی که بیشتر مربوط به دوره سلجوقی و یا هم‌دوره با آل مظفر است از مکان‌های مختلفی از جمله زباله‌دان‌های *oo* و *AAA* و سازه *K* در اشکال گوناگونی از الگو و مهره گرفته تا ظروف بطری‌شکل به دست آمده است. حدود نیمی از این ظروف کشف شده با روش دمیده در قالب ساخته شده‌اند (Baker, 2000: 197-234; Bivar & Fehérvéri, 1972: 168-69; Kroger, 1995: 4).

۳-۹. سیراف

بندر سیراف در کناره خلیج فارس قرار دارد و اولین بار سر اورل اشتاین در سال ۱۹۳۰ میلادی از آن بازدید کرد. اندکی بعد دیوید وایت هوس از موزه بریتانیا و غلامرضا معصومی از موسسه باستان‌شناسی ایران بین سال‌های ۱۹۶۶ و ۱۹۷۳ میلادی این محوطه را کاوش کردند که نتایج آن به‌طور کامل اخیراً منتشر شده است (Whitehouse et al, 2009). سیراف در بازرگانی دریایی به‌ویژه بین سال‌های ۳۳۹ تا ۴۹۲ ه ق (۹۵۰ تا ۱۱۰۰ م) نقشی اساسی بازی کرده است، شیشه‌های این محوطه احتمالاً تولید محلی بوده است، گروهی نیز وجود داشت که در میان گونه شرق ایران طبقه‌بندی شده و به‌نظر می‌رسد با یافته‌های نیشابور قابل‌مقایسه‌اند.

این‌گونه‌ها، شامل قطعاتی از شیشه‌های بی‌رنگ با تزئین تراش‌دار بود که متعلق به ساغر‌ها، بطری‌ها و ظروف کوچک ویژه مواد آرایشی و داروئی بودند، از این محوطه نیز یک پیاله کوچک سبزرنگ آزمایش شد (Witthehou, 1968: 19-28; Kroger, 1995:5).

۴. روش آنالیز عنصری نمونه‌ها

استفاده از روش آنالیز عنصری غیر مخرب در نمونه‌های باستانی اهمیت بسیار زیادی دارد. از این‌رو استفاده از فن‌های مختلف آنالیز با باریکه یونی در مطالعه این‌گونه از مواد بسیار رایج است. آنالیز عنصری به روش پیکسی یکی از روش‌های متداول در آنالیز عنصری مواد محسوب می‌شود. پیکسی یا «گسیل پرتو X » در اثر برانگیختگی با پروتون «روش توانمندی برای آنالیز بس عنصری (از سدیم تا اورانیوم) و غیر تخریبی نمونه‌های مختلف است. در این روش، نمونه موردبررسی تحت تابش پروتون قرار می‌گیرد. در اثر برخورد پروتون با اتم هدف، پرتو X مشخصی گسیل می‌شود که انرژی این پرتو X ، نوع عنصر موجود در نمونه و تعداد پرتوهای X با انرژی معین غلظت عنصر در نمونه را مشخص می‌کند. با استفاده از باریکه میکرونی پروتون می‌توان توانایی‌ها و قابلیت‌های روش پیکسی را به میزان زیادی افزایش داد. آنالیز عنصری مواد با استفاده از باریکه یونی میکرونی، روش میکروپیکسی نامیده می‌شود. با استفاده از آن می‌توان توزیع عنصری نمونه را در ابعاد میکرون تعیین کرد. همچنین به‌وسیله باریکه میکرونی پروتون می‌توان سطح نمونه مورد بررسی را جاروب (اسکن) کرد و در نهایت تصویری دو بعدی از توزیع عنصری موجود در نمونه به‌دست آورد. در این پژوهش از باریکه پروتون با انرژی $2/5 MeV$ و با شدتی در حدود $50 pA$ که توسط شتاب‌دهنده واندوگراف $3 MV$ آزمایشگاه واندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای تولید می‌شود، استفاده شده است. قطر باریکه پروتون در این آزمایش‌ها در حدود 10 میکرون تنظیم شده و برای مطالعه نمونه‌های کوچک بسیار مفید است. برای آشکارسازی اشعه X از آشکارساز $Si(Li)$ که در زاویه 135 درجه نسبت به پرتوهای پروتون فرودی قرار گرفته و با قدرت تفکیک $150 eV$ ، استفاده شده است. در این آزمایش‌ها از سیستم میکرو باریکه و جمع‌آوری داده که ساخت شرکت اکسفورد استفاده شد (Grime et al, 1988:227). برای محاسبه میزان غلظت عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌ها، طیف‌های به‌دست‌آمده در آزمایش میکروپیکسی، از نرم‌افزار $GUPIXWIN$ استفاده گردید (Campbell et al, 2010:3356). این نرم‌افزار با برآزش غیرخطی طیف به‌دست‌آمده با استفاده از پارامترهای فیزیکی استفاده شده در آزمایش میزان غلظت وزنی عناصر تشکیل‌دهنده نمونه را محاسبه می‌کند. همچنین برای برآورد مقدار خطا و عدم دقت در اندازه‌گیری‌ها، در هنگام آنالیز نمونه‌های شیشه، هم‌زمان نمونه شیشه استاندارد $BK7$ و همچنین مواد خالصی مانند $MgCl_2$ و $NaCl$ از شرکت مرک آلمان نیز آنالیز و نتایج به‌دست‌آمده با مقدار گزارش شده، مقایسه شده است. همچنین برای کاهش میزان خطا در اندازه‌گیری‌ها به دلیل خوردگی سطحی نمونه‌ها، نمونه‌هایی کاملاً صاف از سطح مقطع آن‌ها تهیه شده و آنالیزهای میکروپیکسی بر روی آن‌ها انجام شده و با استفاده از توزیع عنصری عناصر موجود در نمونه، طیف به‌دست‌آمده از نواحی که عاری از هرگونه خوردگی بوده برای محاسبه غلظت وزنی عناصر استخراج شده است.



شکل ۲: تصویر و طرح نمونه‌های آنالیز شده S1-II (نگارنده گان، ۱۳۹۶).



شکل ۳: تصویر و طرح نمونه‌های آنالیز شده S12-23 (نگارنده گان، ۱۳۹۶).

۵. بحث و بررسی نتایج

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، هدف این پژوهش، تعیین نوع شیشه‌ها، مواد اولیه استفاده‌شده در ساخت آن‌ها و همچنین عامل ایجاد رنگ هریک از شیشه‌ها است که براساس آنالیز عنصری و غلظت عناصر تشکیل‌دهنده شیشه‌های محوطه‌های قرون نخست اسلامی ایران اندازه‌گیری شده است. براساس منابع گوناگون، به‌طور کلی مواد تشکیل‌دهنده مصنوعات شیشه‌ای به چهار دسته عمده تقسیم می‌شود:

۱- مواد پایه که ماده اصلی تمام مصنوعات شیشه‌ای است. این مواد شامل سیلیس یا اکسید سیلیسیم است که به‌صورت شن، سنگ چخماق یا سنگ چینی استفاده می‌شده است،

۲- مواد ذوب‌کننده که باعث می‌شود نقطه ذوب سیلیس کمتر شود. این مواد شامل سودا و پتاس بوده و به‌صورت کربنات سدیم، سولفات سدیم مورد استفاده قرار می‌گرفته است.

۳- مواد تثبیت‌کننده که به‌منظور مخلوط شدن بهتر مواد پایه و ذوب‌کننده و همچنین جلوگیری از حل شدن شیشه در مواد مختلف استفاده می‌شده و کربنات کلسیم از رایج‌ترین مواد تثبیت‌کننده بوده است.

۴- مواد سفیدکننده و رنگ‌دهنده که به‌منظور خنثی‌کردن رنگ در خمیر شیشه و همچنین ایجاد شیشه‌های رنگی، شیشه‌گران از آن‌ها بهره می‌گرفته‌اند. این مواد غالباً شامل اکسیدهای فلزی مانند اکسید منگنز، آهن، مس، کروم و کبالت بوده‌اند که به خمیره شیشه اضافه می‌شده‌اند. تعیین و اندازه‌گیری هر یک از این چهار دسته از مواد، به برخی از پرسش‌های مطرح در زمینه فن‌شناسی، نوع شیشه و مواد خام مورد استفاده در ساخت و همچنین آسیب‌شناسی و بررسی محصولات خوردگی پاسخ خواهد داد (Henderson, 2013; Janssens, 2013)

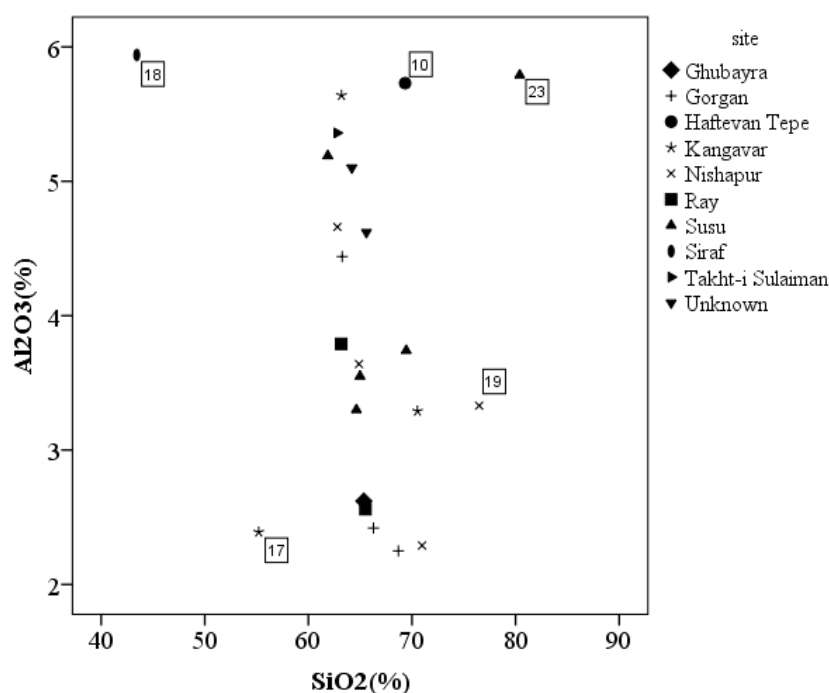
آنالیز عنصری نمونه‌های مورد آزمایش با روش میکروپیکسی مشخص کرد که عناصر سدیم، منیزیم، آلومینیم، سیلیسیم، فسفر، گوگرد، کلر، پتاسیم، کلسیم، تیتانیم، منگنز و آهن تقریباً در تمام نمونه‌های آنالیز شده وجود دارد اما مقدار و درصد وزنی این عناصر در نمونه‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است. همچنین نتایج این آنالیزها نشان می‌دهد، عناصر دیگری مانند کروم، کبالت، مس و روی نیز در برخی از نمونه‌ها وجود دارد. عناصر تشکیل‌دهنده شیشه‌ها، غالباً به‌صورت اکسید در نمونه‌ها وجود دارند، بنابراین در جدول ۲، مقادیر این عناصر در ۲۳ نمونه آنالیز شده به‌صورت اکسید (به جزء کلر) برحسب درصد وزنی ارائه شده است.

جدول ۲: مقادیر عناصر موجود در ۲۳ نمونه آنالیز شده به صورت اکسید بر حسب درصد وزنی (نگارنده گان، ۱۳۹۶).

Sample No.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	Cu ₂ O	ZnO
S1	16.33	4.52	3.79	63.17	0.45	0.31	0.65	2.93	5.76	0.1	0.01	0.74	1.08	0.03	0.09	0.01
S2	15.41	2.75	2.56	65.51	0.59	0.24	0.47	2.71	6.53	0.07	n.d	0.61	1.72	0.01	0.19	0.44
S3	14.44	6.08	2.42	66.29	n.d	0.32	0.6	2.76	5.97	0.02	n.d	0.29	0.26	n.d	n.d	n.d
S4	14.59	5.2	2.25	68.69	n.d	0.29	0.64	2.17	5.48	0.02	n.d	0.14	0.28	n.d	n.d	n.d
S5	14.18	4.42	4.44	63.26	0.52	0.35	0.46	2.57	6.43	0.14	0.04	1.16	1.29	0.07	0.07	0.18
S6	13.31	3.79	5.64	63.19	0.71	0.34	0.77	2.63	8.22	0.17	0.03	0.2	1.2	n.d	n.d	n.d
S7	12.71	4.32	2.29	70.97	0.46	0.21	0.69	2.22	5.34	n.d	n.d	0.41	0.32	n.d	n.d	n.d
S8	10.64	3.27	4.66	62.8	0.71	0.88	1.52	3.65	8.58	0.31	n.d	0.37	1.74	n.d	n.d	n.d
S9	13.87	3.87	3.64	64.88	0.39	0.26	0.43	2.71	7.57	0.11	0.04	0.88	1.19	n.d	0.06	0.07
S10	11.98	0.94	5.73	69.33	0.18	n.d	0.8	0.75	9.41	0.08	n.d	0.04	0.66	n.d	n.d	n.d
S11	16.39	3.2	5.36	62.75	0.64	0.49	0.6	2.86	6.12	0.19	0.02	0.09	1.2	n.d	n.d	n.d
S12	14.94	3.27	3.3	64.63	0.31	0.32	0.77	2.24	7.3	0.11	n.d	1.69	1.07	n.d	n.d	n.d
S13	14.22	2.34	5.1	64.19	0.47	0.25	0.38	3.30	5.4	0.27	n.d	1.98	1.81	n.d	0.07	n.d
S14	16.17	2.25	4.62	65.60	0.65	0.37	0.78	2.80	3.78	0.24	n.d	1.64	1.11	n.d	n.d	n.d
S15	16.85	3.58	2.62	65.35	0.41	0.52	1.11	3.83	5.01	0.07	0.03	0.10	0.56	n.d	n.d	n.d
S16	11.19	5.11	3.29	70.53	n.d	0.43	0.60	2.63	4.78	0.10	n.d	0.83	0.54	n.d	n.d	n.d
S17	n.d	1.57	2.39	55.20	10.62	1.17	0.05	0.93	27.15	n.d	n.d	0.06	0.58	n.d	0.03	n.d
S18	5.93	2.51	5.94	43.44	n.d	5.46	0.55	3.22	3.98	0.86	n.d	25.35	2.68	n.d	0.06	n.d
S19	3.13	4.87	3.33	76.48	0.70	0.43	1.11	3.56	4.38	0.20	n.d	0.07	1.26	0.11	0.20	0.10
S20	6.93	4.12	3.74	69.44	0.53	1.06	0.73	3.28	7.50	0.10	0.04	1.30	0.83	n.d	0.03	n.d
S21	15.12	3.80	5.19	61.87	0.48	0.42	0.59	3.06	7.67	0.19	n.d	0.04	1.58	n.d	n.d	n.d
S22	14.11	3.51	3.55	64.98	0.32	0.30	0.59	2.40	6.26	0.16	n.d	3.00	0.81	n.d	0.03	n.d
S23	2.19	1.36	5.79	80.40	0.89	0.21	0.39	2.80	3.82	0.17	n.d	1.42	0.58	n.d	n.d	n.d

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود ترکیبات اصلی تشکیل‌دهنده این شیشه‌ها، اکسیدهای سیلیسیم، سدیم، کلسیم، پتاسیم، منیزیم و آلومینیم است که با آنچه در مورد ترکیبات اصلی شیشه‌های باستانی اشاره کردیم، مطابقت دارد. درصد وزنی اکسید سدیم و کلسیم موجود در این نمونه‌ها نشان می‌دهد که همه شیشه‌ها از نوع شیشه سیلیکا - سودا - آهکی می‌باشند. ترکیبات دیگر موجود در این نمونه‌ها که مقادیر آن‌ها در حد یک تا دو درصد و یا حتی کمتر هستند، ناشی از ناخالصی‌های موجود در مواد اصلی مورد استفاده در ساخت شیشه و همچنین مواد مورد استفاده در ایجاد رنگ‌های مختلف است. باید اشاره کرد که میزان غلظت اکسید سدیم در چند نمونه، کمتر از مقدار معمول در شیشه‌های نوع سیلیکا - سودا - آهکی است. در مورد نمونه‌هایی مانند ۱۷ و ۱۸ که میزان سیلیس در آن‌ها کمتر از حد معمول است، با توجه به جدول ۲ مشخص می‌شود که از نظر ترکیب، ترکیبات تشکیل‌دهنده آن‌ها با ترکیبات شیشه‌های معمولی سازگار نیست و شاید خوردگی شدید در آن‌ها باعث دگرگونی شدید در ترکیبات اصلی شده است.

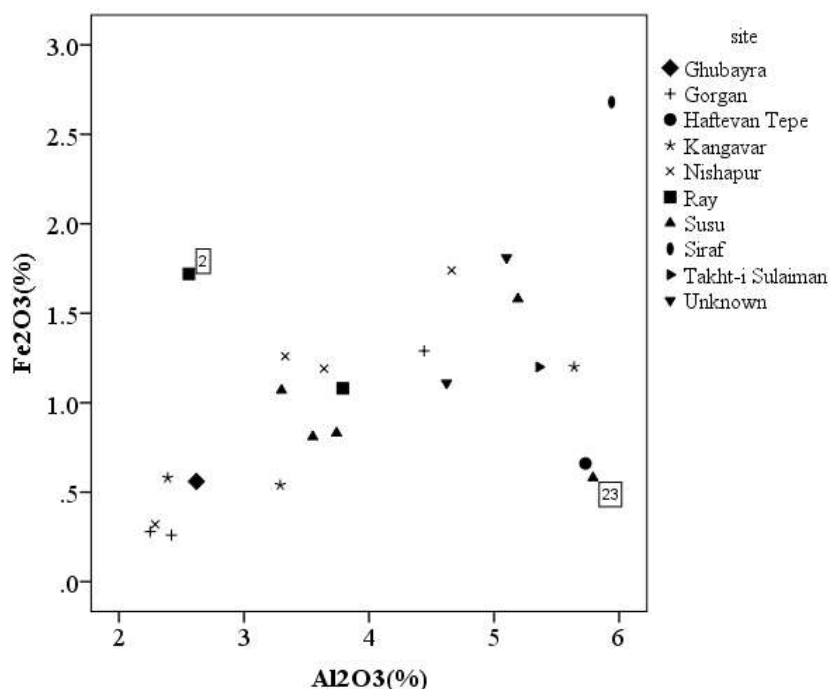
با توجه به اینکه ترکیبات تشکیل‌دهنده نمونه‌های آنالیز شده بسیار متغیر است، برای بررسی بهتر این تغییرات و به‌دست آوردن اطلاعات بیشتر در مورد تغییرات ایجاد شده در ترکیبات اصلی مورد استفاده در شیشه‌ها (سیلیکا، سودا و آهک) به صورت محلی و یا به صورت یکپارچه تحلیل می‌شود. برای برخی از ترکیبات که در فرایند ساخت شیشه از اهمیت بیشتری برخوردار هستند، درصد وزنی این ترکیبات براساس محوطه‌های مختلف به صورت دو بعدی برای کل نمونه‌های آنالیز شده در این پژوهش، رسم و بررسی شده است.



شکل ۴: تغییرات درصد وزنی اکسید سیلیسیم (سیلیکا) بر حسب اکسید آلومینیم (آلومینیم) در ۲۳ نمونه آنالیز شده از محوطه‌های باستانی مختلف (نگارنده گان، ۱۳۹۶).

برای بررسی سیلیس استفاده شده در فرایند ساخت، در شکل ۴ و ۵ تغییرات درصد وزنی اکسید سیلیسیم بر حسب اکسید آلومینیم و اکسید آهن در ۲۳ نمونه آنالیز شده از محوطه‌های مختلف به صورت دوبعدی نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۴ دیده می‌شود به استثنای چند نمونه، تقریباً در تمام این نمونه‌ها، تغییرات میزان سیلیس که مهم‌ترین ماده اولیه مورد استفاده در ساخت شیشه است، بسیار کم و بین ۶۲ تا ۷۰ درصد است. براساس این اندازه‌گیری درصد وزنی اکسید سیلیسیم تشکیل‌دهنده این شیشه‌ها با مقادیر گزارش شده در نمونه‌های مناطق مختلف جهان که حدود ۶۵ تا ۷۰ درصد است در توافق کامل است (Henderson, 2013). از طرفی شکل ۴ نشان می‌دهد که تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم در این نمونه‌ها بسیار زیاد و بین ۲ تا ۶ درصد است. با توجه به اینکه این اکسید یکی از ناخالصی‌های موجود در سیلیس مورد استفاده در مواد اولیه این شیشه‌ها است، بنابراین به نظر می‌رسد در فرایند ساخت شیشه‌های آنالیز شده مربوط به محوطه‌های مختلف در این پژوهش، از منابع سیلیکایی متفاوتی استفاده شده است که

برخی از این منابع تقریباً خالص (درصد آلومینیم حدود ۲ تا ۳ درصد) و برخی دیگر بسیار ناخالص (درصد آلومینیم حدود ۵ تا ۶ درصد) بوده‌اند (Lima et al, 2012:1238). از طرفی با توجه به این که نمونه‌های آنالیز شده از محوطه مختلف (به‌عنوان مثال: گرگان یا شوش) به‌تنهایی نیز دچار تغییرات زیادی در میزان اکسید آلومینیم هستند، شاید بتوان نتیجه‌گیری کرد که نمونه‌های کشف‌شده در هر یک از این محوطه‌های اسلامی مورد بررسی می‌تواند در مکان‌های مختلفی تولید شده باشد. بنابراین براساس این تغییرات می‌توان حدس زد که ممکن است مراکز مختلفی در این محوطه‌ها یا اطراف آن‌ها وجود داشته باشد که در آن‌ها، امکان تولید مصنوعات شیشه‌ای وجود داشته است و حتی این احتمال وجود دارد که این مصنوعات از خارج از مرزهای ایران به این محوطه‌ها وارد شده است که این احتمال را بعداً با مقایسه نتایج برخی از نمونه‌های آنالیز شده از سوریه (قصر الحیر) و مصر (فسطاط) که دوره آن‌ها به نمونه‌های مورد پژوهش نزدیک بوده، بررسی خواهیم کرد (Brill, 1999).

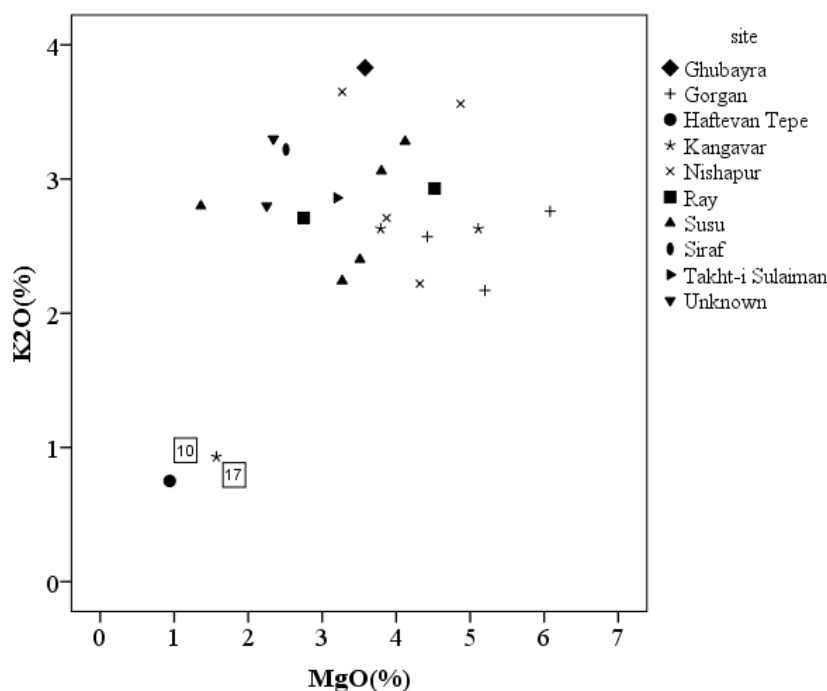


شکل ۵: تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم برحسب اکسید آهن در ۲۳ نمونه آنالیز شده از محوطه‌های مختلف (نگارنده گان، ۱۳۹۶).

در شکل ۵ تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم برحسب اکسید آهن در ۲۳ نمونه آنالیز شده از محوطه‌های مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود تقریباً میزان اکسید آهن در این نمونه‌ها بین ۰.۳ تا ۰.۶ درصد تغییر می‌کند و مشاهده می‌شود یک رابطه تقریباً خطی ($R^2=0.4$) بین اکسید آلومینیم و اکسید آهن وجود دارد. بنابراین با توجه به وجود این رابطه خطی می‌توان نتیجه گرفت که اکسید آهن موجود در نمونه‌ها ناشی از ناخالصی موجود در سیلیس استفاده شده است و به‌احتمال زیاد به‌صورت عمدی و به‌عنوان عامل رنگ‌زا وارد نمونه‌ها نشده است. بنابراین بر اساس این شکل نیز به نظر می‌رسد در فرایند ساخت شیشه‌های مربوط به محوطه‌های مختلف آنالیز شده در این پژوهش، از منابع سیلیکایی متفاوتی استفاده شده

است که برخی از این منابع تقریباً خالص (آلومینیم حدود ۲ تا ۳ درصد و اکسید آهن حدود ۱ درصد) و برخی دیگر بسیار ناخالص (آلومینیم حدود ۵ تا ۶ درصد و اکسید آهن حدود ۱ تا ۲ درصد) بوده‌اند. مطالعات انجام‌شده بر روی شیشه‌های مناطق دیگر نیز وجود چنین رابطه خطی بین اکسید آلومینیم و اکسید آهن که ناشی از سیلیس مورد استفاده در مرحله ساخت را گزارش کرده‌اند (*Duckworth et al, 2014:27; Henderson, 2013*)

برای بررسی مواد ذوب‌کننده مورد استفاده (سودا یا پتاس) در این نمونه‌ها که باعث می‌شود نقطه ذوب سیلیس کمتر شود، همان‌گونه در جدول ۲ مشاهده می‌شود به‌استثنای چند نمونه، تقریباً در تمام این نمونه‌ها میزان اکسید سدیم بین ۱۰ تا ۲۰ درصد و میزان اکسید پتاسیم بین ۲/۵ تا ۴ درصد تغییر می‌کند. بنابراین با توجه به این مقادیر به‌دست‌آمده، مشخص است که نوع شیشه‌های به‌دست‌آمده در تمام این محوطه‌ها از نوع سودا است؛ اما برای بررسی اینکه منابع تأمین اکسید سدیم مورد استفاده در این نمونه‌ها منابع معدنی (ناترون) بوده و یا خاکستر به‌دست‌آمده از گیاهان (اشنان) که معمولاً در خاک‌های شور رشد یافته‌اند؛ از بررسی تغییرات درصد وزنی اکسید منیزیم بر حسب اکسید پتاسیم استفاده می‌کنیم. براساس آنچه متداول است در صورتی که میزان درصد وزنی اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم موجود در نمونه‌های شیشه کمتر از ۱/۵ درصد باشد آن نمونه‌ها از نوع شیشه‌های ناترونی محسوب می‌شود؛ اما اگر میزان اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم موجود در نمونه‌ها بین ۱/۵ تا ۲/۵ درصد باشد منبع تأمین سودا در این نوع شیشه‌ها از نوع ترکیب ناترون و خاکستر گیاهی خواهد بود. همچنین اگر میزان اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم موجود در نمونه‌های شیشه بیشتر از ۲/۵ درصد باشد این شیشه‌ها از نوع شیشه‌هایی خواهد بود که منبع تأمین اکسید سدیم آن خاکستر حاصل از گیاهان رشد یافته در خاک‌های شور بوده است (*Sayre et al, 1961:1824*).



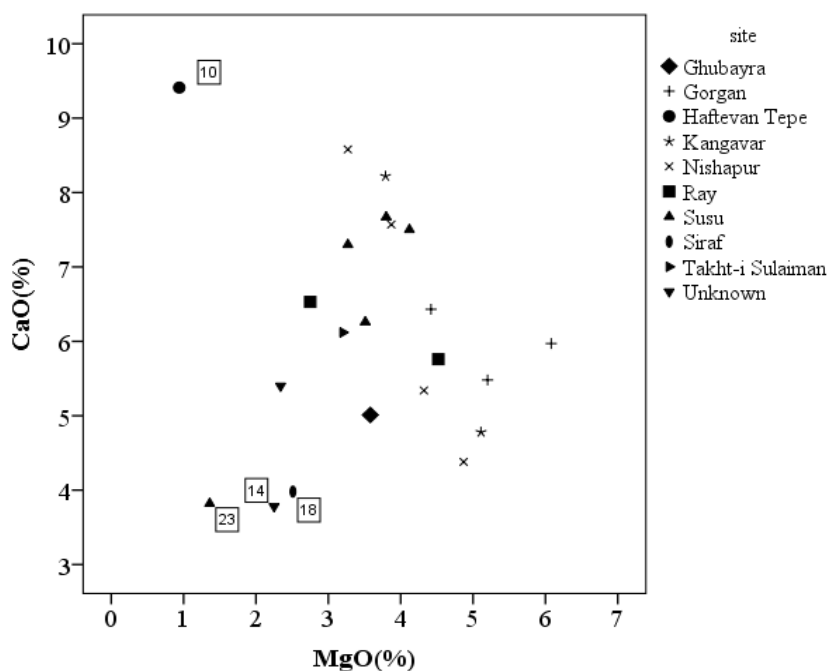
شکل ۶: تغییرات درصد وزنی اکسید منیزیم بر حسب اکسید پتاسیم در ۲۳ نمونه آنالیز شده از محوطه‌های مختلف (نگارنده گان، ۱۳۹۶).

بنابراین با توجه به شکل ۶ می‌توان مشاهده کرد که میزان اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم تمام نمونه‌های آنالیز شده به جز دو نمونه ۱۰ و ۱۷، بیشتر از ۲/۵ درصد بوده و بین ۲/۵ تا ۶ درصد تغییر می‌کند. پس کاملاً مشخص است که به جز این دو نمونه در تمام نمونه‌های آنالیز شده از محوطه‌های مختلف، منبع تأمین اکسید سدیم خاکستر حاصل از سوزاندن گیاهان بوده است که با نمونه‌های آنالیز شده از سده‌های نخست دوران اسلامی توسط بریل و همکاران او در موزه کورنینگ از چند محوطه تاریخی از جمله نیشابور و تخت سلیمان، مطابقت دارد و قابل پیش‌بینی بود (Brill, 1999).

نمونه شماره ۱۰ یک نمونه ناترونی بوده که این ترکیب در مناطق حوزه مدیترانه دیده می‌شود. این نمونه شبیه شیشه‌های ناترونی گروه لوانتی $I(N-1)$ است که بیشتر در شمال فلسطین دیده شده است (Phelps et al, 2016: 57-71). با توجه به کشف منابع باستانی ناترون در حوزه مدیترانه به خصوص در وادی الناتروم مصر و استفاده از این ماده به عنوان مواد گدازه‌آور در ترکیب شیشه‌های آن منطقه و همچنین به دلیل عدم مطالعه جدی پژوهشگران داخلی و خارجی راجع به منابع ناترون شیشه‌گری ایران؛ دو احتمال در مورد شیشه هفتوان وجود دارد: نخست ممکن است که ناترون از طریق تجارت وارد این منطقه شده و توسط شیشه‌گر ایرانی در ترکیب شیشه مورد استفاده قرار گرفته و یا به احتمال قوی تر با توجه به نادر بودن شیشه‌های هفتوان و همچنین نزدیکی به آسیای صغیر؛ این ظرف وارداتی بوده است.

برای آشنایی بیشتر با شیشه‌های که جنس سودای آن‌ها از خاکستر گیاه است و برای اینکه بدانیم از خاکستر چه گیاهانی برای ساخت شیشه‌ها به عنوان منبع اکسید سدیم استفاده شده است و اینکه گیاهانی که

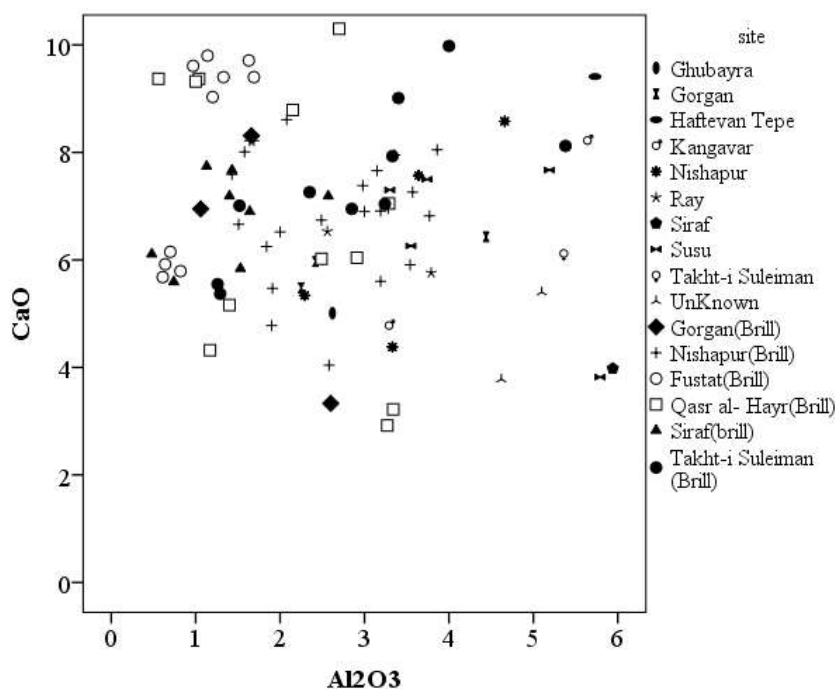
از خاکستر آن‌ها استفاده شده در یک مکان رشد پیدا کرده‌اند یا خیر؛ بهترین عامل بررسی تغییرات وزنی اکسید منیزیم برحسب اکسید کلسیم در نمونه‌های مورد بررسی است (Henderson, 2013; Janssens, 2013). در شکل ۷، تغییرات درصد وزنی اکسید منیزیم برحسب اکسید کلسیم در ۲۲ نمونه آنالیز شده از محوطه‌های مختلف نشان داده شده است. در این شکل نمونه شماره ۱۷ که میزان اکسید کلسیم آن تفاوت فاحشی با بقیه نمونه‌ها داشت، حذف شده و همان‌طور که گفته شد نوع سوادی نمونه شماره ۱۰ نیز از گروه خاکستر گیاهی نیست. برآیند این آنالیزها نشان می‌دهد که در فرایند ساخت شیشه‌های مربوط به محوطه‌های مختلف در این پژوهش، از منابع تأمین‌کننده خاکستر متفاوتی استفاده شده است، زیرا یکی از ترکیباتی که نوع خاکستر مورد استفاده را در ساخت شیشه نشان می‌دهد اکسید کلسیم موجود در آن است و درصد تغییرات این اکسید در این نمونه‌ها از ۴ تا ۹ درصد متفاوت بوده و نشان می‌دهد که نمونه‌های مربوط به محوطه‌های مختلف (به استثنای هفتون تپه) با استفاده از خاکسترهای متفاوتی تهیه شده است؛ بنابراین شاید بتوان نتیجه‌گیری کرد که نمونه‌های کشف شده در هر یک از محوطه‌های صدر اسلام مورد بررسی از منابع تأمین‌کننده سودا متفاوتی استفاده می‌کرده‌اند.



شکل ۷: تغییرات درصد وزنی اکسید منیزیم برحسب اکسید کلسیم در ۲۲ نمونه آنالیز شده از محوطه‌های مختلف (نگارنده گان، ۱۳۹۶).

یکی دیگر از موادی که در ساخت شیشه از آن استفاده می‌شود مواد رنگ‌زا و همچنین رنگ‌بر هستند. همان‌طور که در جدول ۱ مشخص است، اغلب نمونه‌های مورد مطالعه سبزرنگ هستند. همچنین ۶ نمونه به رنگ آبی، ۳ نمونه به رنگ سفید (بی‌رنگ) و یک نمونه نیز سیاه‌رنگ است. همان‌گونه که در جدول ۲ می‌توان مشاهده کرد برای ایجاد رنگ آبی در ۴ نمونه از ۶ نمونه مورد مطالعه، عنصر کبالت با مقادیر مختلف استفاده شده است. همچنین در این چهار نمونه عنصر روی معمولاً همراه با کبالت وجود دارد. علاوه بر این دو

عنصر، در تمام این چهار نمونه مقداری اکسید مس نیز وجود دارد و مقدار اکسید آهن هم بیشتر از ۱ درصد است. در مورد رنگ سفید نیز همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، در دو نمونه از سه نمونه اکسید آهن احتمال اینکه این عنصر تنها عامل رنگ‌زا باشد، بسیار کم است. بنابراین در این دو نمونه میزان اکسید منگنز که معمولاً برای بی‌رنگ کردن استفاده می‌شده نیز کم‌تر از حد مشخص است و می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اکسید منگنز به‌صورت عمدی در فرایند ساخت اضافه نشده است. همچنین در یک نمونه از نمونه‌ها که بی‌رنگ است مقدار اکسید منگنز حدود ۱/۵ درصد است که می‌تواند عامل بی‌رنگ شدن باشد. برای بررسی نمونه‌های مختلف که دارای رنگ سبز هستند، همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود تقریباً می‌توان این نمونه‌ها را به دو گروه تقسیم کرد. گروه اول که در آن‌ها مقدار اکسید آهن زیاد (اغلب بالاتر از ۱ درصد) و مقدار اکسید منگنز کم (کمتر از ۰.۵ درصد) است ایجاد رنگ سبز به دلیل ناخالصی اکسید آهن موجود در سیلیس کاملاً قابل‌انتظار است. در گروه دوم نیز همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود بین اکسید آهن و اکسید منگنز یک رابطه خطی وجود دارد و هرچه مقدار اکسید آهن زیادتر می‌شود به همان نسبت اکسید منگنز نیز زیادتر می‌شود ولی در نهایت نمونه‌ها به رنگ سبز درمی‌آیند.



شکل ۸: تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم برحسب اکسید کلسیم در ۲۳ نمونه آنالیز شده و نمونه‌های آنالیز شده توسط بریل از محوطه‌های مختلف ایران و مقایسه آن با دو محوطه در فسطاط مصر و قصر الحیر سوریه (نگارنده گان، ۱۳۹۶).

در پایان، یک مقایسه بین ۲۳ نمونه آنالیز شده در این پژوهش و نمونه‌های آنالیز شده توسط بریل از محوطه‌های مختلف ایران و همچنین مقایسه آن‌ها با دو محوطه مهم در مصر (فسطاط) و سوریه (قصر الحیر) انجام شده است. نتایج این مقایسه در شکل ۸ نشان داده شده است. یکی دیگر از عوامل شناسایی محل تولید نمونه‌های کشف شده در هر یک از محوطه‌های صدر اسلام بررسی تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم

بر حسب اکسید کلسیم در نمونه‌ها است. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد مقدار اکسید آلومینیم موجود در شیشه‌ها که یکی از ناخالصی‌های موجود در سیلیس است، نشان‌دهنده منابع سیلیس مورد استفاده در فرایند ساخت است. میزان اکسید کلسیم موجود در شیشه‌ها که یکی از ناخالصی‌های موجود در خاکستر است، نشان‌دهنده منابع سودا مورد استفاده در فرایند ساخت می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است، ۲۳ نمونه آنالیز شده در این پژوهش و نمونه‌های آنالیز شده توسط بریل از محوطه‌های مختلف ایران، به جزء چند نمونه به‌طور کامل از نمونه‌های مصر (فسطاط) و سوریه (قصر الحیر) جدا هستند. اگرچه نمونه‌های مربوط به ایران خود دارای پراکندگی زیاد بوده که این پراکندگی می‌تواند نشان‌دهنده مکان‌های تولید متفاوت باشد. همچنین مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از نمونه‌ها در این پژوهش و نتایج نمونه‌های آنالیز شده توسط بریل از نمونه‌های مربوط به محوطه‌های مختلف ایران نشان می‌دهد که این نتایج با یکدیگر تطابق دارد که این سازگاری نشان می‌دهد، نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش نیز با دقت خوبی انجام شده است.

۶. نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، تعیین نوع شیشه‌ها، مواد اولیه استفاده‌شده در ساخت آن‌ها و همچنین عامل ایجاد رنگ هر یک از شیشه‌ها بر اساس آنالیز عنصری و اندازه‌گیری غلظت عناصر تشکیل‌دهنده شیشه‌های محوطه‌های مختلف تاریخی در ایران است. آنالیز عنصری نمونه‌های مورد آزمایش با روش میکروپیکسی مشخص کرد که عناصر سدیم، منیزیم، آلومینیم، سیلیسیم، فسفر، گوگرد، کلر، پتاسیم، کلسیم، تیتانیم، منگنز و آهن تقریباً در تمام نمونه‌های آنالیز شده وجود دارد اما مقدار و درصد وزنی این عناصر در نمونه‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است. در این پژوهش تعیین و اندازه‌گیری هر یک از عناصر به برخی از پرسش‌های مطرح‌درزمینه فن‌شناسی و فن ساخت، نوع شیشه و مواد خام مورد استفاده در ساخت پاسخ داده است. آزمایش‌ها نشان داد که تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم در این نمونه‌ها بسیار زیاد و بین ۲ تا ۶ درصد است. با توجه به اینکه اکسید آلومینیم یکی از ناخالصی‌های موجود سیلیس در این شیشه‌ها است، بنابراین به نظر می‌رسد در فرایند ساخت شیشه‌های مربوط به محوطه‌های مختلف از منابع سیلیکایی متفاوتی استفاده‌شده است که برخی از این منابع تقریباً خالص و برخی دیگر بسیار ناخالص بوده‌اند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که اکسید آهن موجود در نمونه‌ها ناشی از ناخالصی موجود در سیلیس استفاده‌شده است و به‌صورت عمدی و به‌عنوان عامل رنگ‌زا وارد نمونه‌ها نشده است. علاوه بر این مشخص شد که نوع شیشه‌های به‌دست‌آمده در تمام این محوطه‌ها از نوع سودا است؛ اما با توجه به اینکه میزان اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم تمام نمونه‌های آنالیز شده به‌جز دو نمونه ۱۷ و ۱۰، بیشتر از ۲/۵ درصد بوده کاملاً مشخص است تمام نمونه‌های آنالیز شده از محوطه‌های مختلف، منبع تأمین اکسید سدیم؛ خاکستر حاصل از گیاهان است و این نتایج با نمونه‌های آنالیز شده از اوایل دوران اسلامی توسط بریل و همکاران او در موزه کورنینگ از چند محوطه تاریخی از جمله نیشابور و تخت سلیمان، مطابقت دارد و مورد انتظار بود. نمونه شماره ۱۰ نیز با نمونه‌های فسطاط و قصر الحیر قرابت دارد اما به‌طور دقیق‌تر با توجه به آزمایش‌های فلپس و همکارانش بر روی نمونه‌های شمال فلسطین به خصوص گروه لوانت $I(N-1)$ ، این نمونه از لحاظ ترکیبات بیشتر به شیشه‌های مدیترانه شرقی

شبهه است و به سبب قرارگیری محوطه در مسیر کریدور غرب به شرق احتمال وارداتی بودن آن افزایش می‌یابد.

همچنین آزمایش‌ها نشان داد که برای ایجاد رنگ آبی در تعدادی از نمونه‌ها، از عنصر کبالت با مقادیر مختلف استفاده شده است. بررسی نمونه‌های مختلف که دارای رنگ است. نتایج نشان داد که می‌توان این نمونه‌ها را به دو گروه تقسیم کرد. گروه اول که در آن‌ها مقدار اکسید آهن زیاد (غالباً بالاتر از ۱ درصد) و مقدار اکسید منگنز کم (کمتر از ۰/۵ درصد) هستند که در این نمونه‌ها ایجاد رنگ سبز به دلیل ناخالصی اکسید آهن موجود در سیلیس کاملاً قابل‌انتظار است. در گروه دوم دیده می‌شود بین اکسید آهن و اکسید منگنز یک رابطه خطی مثبت وجود دارد و هرچه مقدار اکسید آهن زیادتر شود به همان نسبت میزان اکسید منگنز نیز زیادتر می‌گردد ولی در نهایت نمونه‌ها به رنگ سبز در می‌آیند.

در انتها با مقایسه‌ای بین ۲۳ نمونه آنالیز شده در این پژوهش و نمونه‌های آنالیز شده توسط بریل از محوطه‌های مختلف ایران و همچنین مقایسه آن‌ها با دو محوطه مهم در مصر (فسطاط) و سوریه (قصر الحیر) براساس بررسی تغییرات درصد وزنی اکسید آلومینیم، برحسب اکسید کلسیم، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نمونه‌های کشف‌شده در هر یک از محوطه‌های موردبررسی در ایران، از منابع تأمین‌کننده سیلیس متفاوتی از هم و حتی از سوریه و مصر است.

سپاسگزاری

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند تا از تلاش تمام کسانی که به هر نحو نوشتن این مقاله را امکان‌پذیر ساخته‌اند و آن‌ها را در کارهای آزمایشگاهی همراهی کرده‌اند صمیمانه تشکر نمایند.

بدین‌وسیله از جناب آقای دکتر نوکنده، ریاست محترم موزه ملی ایران، سرکار خانم گرجی ریاست سابق بخش مرمت و همکاران محترمشان، جناب آقای دکتر بیگلری معاون موزه، جناب آقای حسن‌زاده مسئول پژوهش، سرکار خانم مقیم‌نژاد و جناب آقای میرزایی، ریاست سابق و فعلی بخش اسلامی موزه ملی ایران، سرکار خانم حاتمی و جناب آقای معنوی ثانی کارشناسان بخش اسلامی، جناب آقایان نصیری، شهیری و سرکار خانم قلمکار امین اموال‌های محترم موزه ملی ایران، جناب آقای دکتر جعفری‌زاده به دلیل در اختیار قرار دادن سه نمونه آزمایشگاهی از موزه شوش، سرکار خانم زینعلی طراح فنی ظروف شیشه‌ای و جناب آقایان رکنی و همی‌وند به خاطر کمک‌های گرافیکی، سپاسگزاری می‌شود.

منابع

کامبخش فرد، سیف الله (۱۳۷۴)، معبد آناهیتا کنگاور کاوش‌ها و پژوهش‌های باستان‌شناسی و بازسازی و احیای معماری معبد ناهید و تاق‌گرا، انتشارات سازمان میراث فرهنگی کشور، تهران.

_____ (۱۳۸۶)، کاوش‌ها و پژوهش‌های باستان‌شناسی و احیای معماری معبد آناهیتای کنگاور و تاق‌گرا، جلد اول: یادمان‌ها و باورهای اساطیری فراموش شده، انتشارات پژوهشگاه میراث فرهنگی کشور، تهران.

Arne, T.J., 1945. *Excavation at Shah Tepe, Iran, Published In Stockholm.*

Baker, P., 2000. *Glass Finds, Excavation Of Ghubayra, Iran, edited by A.D.H.Bivar, Published by school of oriental and African studies, University of London.*

Bivar, A.H., Fehérvéri, G., 1972. *Ghubayra, Survey of Excavations, Iran, 10, Pp. 167-168.*

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

Bugoi, R., Poll, I., Mănușu-Adameșteanu, Gh., Neelmeijer, C., Eder, F., 2013. *Bracelets from Nufăru, Romania Using External PIXE-PIGE Methods, Archaeological Science, 40: Pp. 2881–2891.*

Burney, c., 1970. *Excavation At Haftvan Tepe 1968, Iran, 8, Pp. 157-171.*

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 B, Pp. 3356–3363.*

Duckworth, C. N. Cordoba de La Llave, R., Faber, E.W., Govantes Edwards, D.J., Henderson, J., 2014. *Electron Microprobe Analysis of 9th–12th Century Islamic Glass from Córdoba, Spain, Archaeometry, 57, Pp. 27–50.*

Dyson, R. H., 2011. *Peoples and Crafts in Period IVB at Hasanlu, Iran, the university of pensylvania Museum of archaeology and anthropology, pp. 87-102.*

Fleming, S.J., Bedal, L.A., Swann, C.P., 1993. *Glassmaking at Geoy Tepe (Azerbaijan) During the Early 2nd Millennium BC: a Study of Blue Colourants Using PIXE Spectrometry, proceedings of CAA 93.*

Gliozzo, E, Lepri, B, Saguì, L, Memmi, I, 2017. *Glass ingots, raw glass chunks, glass wastes and vessels from fifth century AD Palatine Hill (Rome, Italy), Archaeological and Anthropological Sciences, 9, Pp. 709–725.*

Grime, G. W. , Watt, F., 1988. *Focusing protons and light ions to micron and submicron dimensions, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 30, Pp. 227–234.*

Henderson, J., 2013. *Ancient Glass: An Interdisciplinary Exploration, Cambridge university press.*

Janssens, K., 2013. *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass, Vol. I, John Wiley & Sons, Ltd.*

Kervran, M., 1978. *Les Niveaux islamiques du secteur oriental du tepe de I' Apadana, DAFI, 4, Pp. 21-41.*

Kiani, M.Y., 1984. *The Islamic City of Gorgan, edited by M.Y.Kiani, Published by Verlag von Dietrich Reimer, Berlin.*

Kordmahini, H., 1982. *The glass of Chapter Seven of The Islamic City of Gorgan, edited by M.Y.Kiani, Berlin: Verlag von Dietrich Reimer.*

Kroger, J., 1995. *Nishapur: glass at the early Islamic period, the metropolitan museum of art, New York, Pp. 211-233.*

Lamm, C.H., 1935. *Glass from Iran in the national museum, Stokholm, London, trubner.*

Lima, A., Medici, T., 2012. *glasses excavated in the Monastery of Sta. Clara-a-Velha, Portugal: comparison with Venetian and façon-de-Venise production, Archaeological Science, 39, Pp. 1238-1248.*

- Liu, S., Li, Q.H., Gan, F., Zhang, P., Iankton, J.W., 2012. *Silk Road glass in Xinjiang, China: Chemical compositional analysis and interpretation using a high-resolution portable XRF spectrometer*, *Archaeological Science*, 39, Pp. 2128–2142.
- McGovern, P. E., Fleming, S. J. , Swann, C. P., 1991. *The Beads from Tomb B10a b27 at Dinkha Tepe and the Beginnings of Glassmaking in the Ancient Near East*, *American Journal of Archaeology*, 95, No. 3, Pp.395-402.
- Naumann, R., Naumann, E., 1976. *Takht-I Suleiman : Ausgrabung des Deutschen Archäologischen Instituts In Iran .Ausstellungskataloge der Parhistorischen Staatssammlung*, 3. Munich.
- Negro Ponzi, N., Mariamaddalena, 1971. *Islamic Glassware from Seleucia, Mesopotamia*, 5-6 ,Pp.67-104.
- Phelps, M., Freestone, Ian 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, pp. 57-71.
- Sayre, E.V., Smith, R.W., 1961. *compositional categories of ancient glass*, *Science*, 133, Pp:1824-6.
- Schmit, E., 1935. *Rayy Excavation 1934-1936 Seasons, Log Books*.
- Treptow, T., 2007. *Daily Life Ornamented The Medieval Persian City of RAYY*, University of Chicago.
- Whitehouse, D., 1968. *Excavation At Siraf, First Interim Report, Iran*, 6, Pp.1-22.
- Whitehouse, D., Whitcomb, D., Wilkinson., 2009. *Siraf: History, Topography and Environment*, *British Institute of Persian Studies Archaeological Monographs Series 1*. Oxford :Oakville, CT: Oxbow Books; David Brown Book Co.
- Wypyski, M. T., 2015. *chemical analyses of early Islamic glass from Nishapur*, *Glass Studies*, 57, Pp. 121-136.