



Elemental Composition and Statistical Analysis of Obsidians from Tole Khari in Pasargad Complex Using Micro-PIXE Technique

Davoud Agha-Aligol ¹, Fatemeh Farshi Jalali ^{*2}, Alireza Sardari ², Mahmoud Moradi ¹

¹ Researcher, Nuclear Science and Technology Research Institute, Physics and Accelerators Research School, Van de Graaff Laboratory, Tehran, IRAN

² PhD student, Iranian Center for Archaeological Research, Cultural Heritage and Tourism Research Institute, Tehran, IRAN

Received: 24/08/2021

Accepted: 21/12/2021

Abstract

Researchers and archeologists have always been interested in the elemental analysis of obsidian artifacts. Measurement of the elemental composition of obsidians provides a lot of information about trade and exchange between different regions and cultures in early societies. This paper reports and discusses elemental composition results obtained from analysis of 17 obsidian artifacts excavated in two seasons in 2018 and 2019 from the Tole Khari prehistoric site in the Pasargad complex in the Fars Province of Iran. Elemental analysis of these obsidians performed by micro-PIXE technique in Van de Graaff Laboratory in the Nuclear Science & Technology Research Institute (NSTRI) in Tehran, Iran. In this research, to study the provenance of obsidians obtained from Tal Khari, we combined and compared our results with elemental composition results reported from known sources of obsidian in Anatolia and Armenia. The results show that the obsidians from Tole Khari Tolclassified into two different groups based on elemental composition, in particular according to the concentration of Fe₂O₃, MnO, TiO₂, and Al₂O₃. By comparing the obsidians of Tole Khari with obsidians from various sites in Anatolia and Armenia, it was found that the first group of obsidians from Tole Khari overlaps with obsidians from Bingol A in Anatolia, and the second group of these obsidians fits into obsidians from Nenezi Dag, Pasinler and Meydan Dag in central and eastern Anatolia. Therefore, it is probable and possible that the obsidians excavated in Tole Khari have supplied from known obsidian sources in Anatolia using a very long range of trade and exchange network, which was about 1000 to 1900 km.

Keywords: Elemental Analysis, Obsidian, Micro-PIXE, Provenance Study, Statistical Analysis, Tal Khari, Pasargad Complex

*Corresponding Author: neda.jalali@ut.ac.ir

Introduction

Chemical compositional studies have shown that the provenance of obsidian artifacts from any particular source is determined based on their elemental composition [1,2]. Literature survey on the provenance study of obsidians obtained from different historical sites in Iran indicates that there is no comprehensive conclusion about the provenance of these historical artifacts. Several studies have concluded that all obsidians found in Iranian historical sites originated from known sources in Anatolia and Armenia [20-22]. However, some new researchers have challenged this assumption, and they found clues that obsidians excavated in a few Iranian historical sites probably derived from local volcanic mountains in Iran and originated from local outcrops [14,17].

Materials and Methods

In this study, obsidians discovered from Tole Khari have been investigated. Tole Khari is an ancient site in the Pasargad complex in Murghab plain in northeastern of the Fars Province of Iran, which dates back to prehistoric times and almost to the end of the 5th millennium BC. This area is an elliptical hill with an area of about 110×50 m and a height of about 2m (Fig.1). The obsidians have belonged to blade or waste fragments and were obtained in an archaeological excavation in two seasons in 2018 and 2019.

Micro-PIXE is one of the Ion Beam Analysis techniques based on the Van de Graaff accelerator that means "Particle Induced X-ray Emission in micron-scale". The micro-PIXE technique is carried out by bombarding the samples in a vacuum chamber using a high-energy proton beam in the range of 2-3MeV. During the interaction of the high-energy proton with the investigated sample, the characteristic X-rays of the constituent elements emitted from the sample. The energy of X-rays of each element is specific, which can be used to detect the elements present in the sample. Also, the number of X-rays with specific energy determined the concentration of the elements within the sample. With this technique, one can measure the concentration of Na (sodium) to U(uranium) elements with an accuracy in the range of 50-500 ppm [35-36]. In the present paper, the micro-PIXE analysis was performed with Oxford Instruments microprobe system using the 3 MV Van de Graaff accelerators in NSTRI in the Atomic Energy Organization of Iran. The samples were analyzed using a beam of 2.2MeV protons focused to a diameter less than 10 μ m. The beam current was in the range of 30 to 50 pA. Characteristic X-rays were detected using a Si π (Li) detector with an active area of 60 mm² positioned at an angle of 135° relative to the incident beam direction and with an energy resolution of 150 eV for Fe-K α . Samples scanned over a maximum area of 2.5 mm \times 2.5 mm, and digitized signals were recorded in the list-mode using the OM-DAQ data acquisition system. Moreover, the spectra were processed using the GUPIXWIN package to obtain the elemental composition of the obsidians .

Results and discussions

The results obtained from the micro-PIXE show that the elements measured in all 17 obsidians analyzed from Tole Khari include: sodium oxide (Na₂O), aluminum oxide (Al₂O₃), silicon oxide (SiO₂), phosphorus oxide (P₂O₅), chlorine (Cl), potassium oxide (K₂O), calcium oxide (CaO), titanium oxide (TiO₂), manganese oxide (MnO), iron oxide (Fe₂O₃) and zinc oxide (ZnO). Sulfur oxide (SO₃), vanadium oxide (V₂O₃), strontium oxide (SrO), Rubidium oxide (Rb₂O), Yttrium oxide (Y₂O₃), and zirconium oxide (Zr₂O) were also measured in some of the obsidians.

The statistical analysis results and 2D scatter plots drawn based on the elemental composition of analyzed obsidians[41-42] show that the obsidians from Tole Khari classified into two completely different groups (Fig.4-6 and Table 1). In the first group (G1), which contains seven obsidians, the amount of TiO₂ varies between 0.13-1.16wt%, and the value of Al₂O₃ varies between 0.13-1.50 wt.%. In the second group (G2), which consists of ten obsidians, the concentration of TiO₂ varies between 0.5-0.5wt% and the amount of Al₂O₃ varies between 0.15-13.5 wt.%. Moreover, based on the variation of the concentration of Fe₂O₃ in terms of Al₂O₃, the identified groups were also confirmed. In the first group (G1), the amount of Fe₂O₃ changes between 2.50-50.50wt%, and Al₂O₃ between 0.13-50.11wt% and in the second group (G2), Fe₂O₃ varies between 1.20-20.1wt% and Al₂O₃ varies between 13.50-13.5wt %.

Furthermore, to investigate the provenance of obsidians obtained from Tole Khari and to determine the origination of these obsidians, our elemental composition results have been combined and compared with the reported results from other sites in Anatolia and Armenia. The comparison results show that the first identified group in Tole Khari obsidian fits into the obsidian from Bingol A, and the second recognized group overlaps with obsidians from Nenezi Dag, Pasinler, and Meydan Dag (Table 2) .

Conclusion

In this study, we aimed at answering the questions raised about the provenance study and the origin of the obsidians obtained in Tal Khari. The results show that the obsidians from Tole Khari were classified into two different groups based on elemental composition. In addition, the comparison of our elemental composition results with reported results from other sites in Anatolia and Armenia shows that the Tole Khari obsidians most likely have imported from other known sources of obsidian such as Bingol A, Nenezi Dag, Pasinler, and Meydan through the trade and exchange network to the Pasargad.



آنالیز عنصری و تحلیل آماری ترکیبات تشکیل‌دهنده ابسیدین‌های به‌دست آمده از محوطه تل‌خاری در منطقه پاسارگاد با استفاده از روش میکروپیکسی

داود آقاعلی گل^۱، فاطمه فرشی جلالی^{۲*}، علیرضا سرداری^۲، محمود مرادی^۱

۱. پژوهشگر، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده فیزیک و شتابگرها، آزمایشگاه واندوگراف، تهران، ایران

۲. دانشجوی دکتری، پژوهشکده باستان‌شناسی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۲

چکیده

مطالعه و اندازه‌گیری ترکیبات عنصری نمونه‌های افسیدین از اهمیت خاصی در بین پژوهشگران برخوردار است، زیرا با آگاهی از ترکیبات عنصری افسیدین‌های باستانی، می‌توان اطلاعات بسیار ارزنده‌ای را در زمینه بررسی تجارت و نقل و انتقالات جوامع اولیه به‌دست آورد. در این طرح پژوهشی، ۱۷ نمونه از افسیدین‌های محوطه پیش از تاریخی تل‌خاری پاسارگاد که در طی دو فصل کاوش، در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به‌دست آمده‌اند، با استفاده از روش میکروپیکسی مورد آنالیز عنصری و بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، با استفاده از عناصر اصلی و کمیاب اندازه‌گیری شده در ترکیبات افسیدین‌ها و مقایسه آن‌ها با منابع شناخته شده افسیدین در آناتولی و ارمنستان و همچنین استفاده از تحلیل‌های آماری و نمودارهای پراکندگی دو یا سه بعدی، طبقه‌بندی و بررسی منشأ افسیدین‌های تل‌خاری انجام شده است. نتایج بررسی‌های آنالیز عنصری نشان می‌دهند که دو گروه کاملاً متمایز در این افسیدین‌ها قابل شناسایی است که بر اساس عناصر مختلفی، از جمله اکسیدهای آهن، منگنز، تیتانیوم و آلومینیم قابل تفکیک هستند. همچنین با مقایسه افسیدین‌های محوطه تل‌خاری با محوطه‌های مختلفی از آناتولی و ارمنستان مشخص شد که ترکیبات افسیدین‌های گروه اول تل‌خاری با نمونه‌هایی از معدن بینگول A از آناتولی و افسیدین‌های گروه دوم تل‌خاری نیز با نمونه‌هایی از معادن نزی‌داغ، پاسینلر و میدان‌داغ در آناتولی مرکزی و شرقی ترکیبات یکسانی دارند. بنابراین این موضوع که افسیدین‌های به‌دست آمده در تل‌خاری از منابع افسیدین آناتولی هستند که با استفاده از یک شبکه انتقال و تجارتی با مسافت بسیار طولانی در حدود ۱۰۰۰ تا ۱۹۰۰ کیلومتر به این مکان منتقل شده‌اند، بسیار محتمل به نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: افسیدین، تل‌خاری پاسارگاد، میکروپیکسی، آنالیز عنصری، آنالیز آماری، منشأیابی

* نویسنده مسئول مکاتبات: تهران، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، پژوهشکده باستان‌شناسی

پست الکترونیکی: neda.jalali@ut.ac.ir

۱. مقدمه

اقوام پیش از تاریخ خاور نزدیک از دریای اژه در غرب تا دریای خزر در شرق و نیز از منطقه قفقاز در شمال تا خلیج فارس در جنوب، استفاده های متعددی از سنگ ابسیدین (شیشه آتشفشانی) داشته اند که بازه زمانی طولانی از پارینه سنگی جدید تا عصر مفرغ را در بر می گیرد. سنگ های ابسیدین با توجه به ترکیب عنصری و عناصر تشکیل دهنده آن، قابل منشأیابی هستند و از طریق آن می توان تجارت های دوربرد و چگونگی مبادلات اقوام پیش از تاریخ را در بخش های مختلف خاور نزدیک ردیابی و مطالعه کرد. بنابراین چنین ویژگی برجسته و خاص ابسیدین، این امکان را به پژوهشگران می دهد تا ارتباطات و فعالیت های تجاری مختلفی که در این مناطق اتفاق افتاده است را از طریق روش های آزمایشگاهی بازسازی نمایند [1]. مطابق بررسی ها و پژوهش های انجام شده، معادن ابسیدین در سرتاسر جهان پراکنده هستند که اصلی ترین معادن موجود، متعلق به شرق اروپا، بریدگی آفریقای شرقی، شبه جزیره عربستان، جنوب شرق آسیا، خاور دور، روسیه، ژاپن، استرالیا و اقیانوسیه، حوضه دریاهای مدیترانه و اژه هستند که می توان به معروف ترین آن ها، یعنی منطقه جنوب غرب آسیا یا همان خاور میانه و نزدیک در نواحی آناتولی و قفقاز اشاره کرد. چنانکه بر اساس تحلیل های آزمایشگاهی انجام گرفته روی ابزارهای ابسیدینی، به نظر می رسد که منشأ غالب ابسیدین های محوطه های باستانی، متعلق به همین مناطق جنوب غرب آسیا باشند.

با این حال تعداد زیادی از نمونه های به دست آمده از محوطه های مختلف تاریخی، به خصوص در ایران، به دلیل کمبود مطالعات خاستگاه و شناسایی معدن اصلی آن ها تاکنون به صورت مجهول باقی مانده اند و محل تأمین منابع این نمونه ها مشخص نشده است. بنابراین سئوالات متعددی در رابطه با منشأ تأمین این مصنوعات وجود دارد. از جمله اینکه در کنار مبادلات گسترده ابسیدین با مناطق همجوار (آناتولی و قفقاز) در دوران پیش از تاریخ در ایران، آیا احتمال وجود معادن

داخلی در ایران وجود دارد؟ آیا حجم معادن بومی به اندازه ای بوده است که بتواند نیاز بخشی از جوامع پیش از تاریخ ایران را تأمین کند؟ و یا اینکه در صورت وجود معادن داخلی ابسیدین، چه مکانیزم های تجاری بومی و منطقه ای در کنار مبادلات فرامنطقه ای وجود داشته است؟

از طرف دیگر، ابسیدین های به دست آمده از لایه های باستان شناختی به راحتی قابل منشأیابی هستند و می توان معادن اصلی آن ها را مشخص کرد. برای این منظور از طریق روش ها و تکنیک های مختلف آنالیز عنصری نمونه های ابسیدینی که در محوطه های باستانی مختلف یافته شده اند، می توان تمامی نمونه های ابسیدینی را از لحاظ زمین شناختی منشأیابی کرد [2].

به طور کلی ابسیدین ها بر اساس ساختار و ترکیبات عنصری، به گروه های مختلفی تقسیم می شوند که این گروه ها بر اساس ترکیبات عنصری اصلی و عناصر کمیاب، بر اساس معادن مختلفی که منابع اولیه ابسیدین را تأمین کرده اند، قابل شناسایی هستند. از طرف دیگر، به دلیل اینکه رگه های مختلف در مناطق و نواحی آتشفشانی مشابه می توانند دارای ترکیبات شیمیایی و عنصری متفاوتی باشند، دقت در نمونه برداری از هر یک از معادن و به دنبال آن دقت در آنالیزهای عنصری که به صورت کمی انجام می شوند، نقش تعیین کننده برای نسبت دادن نمونه های به دست آمده از محوطه های تاریخی به یک منبع خاص دارد.

۲. پیشینه آنالیز عنصری دست ساخته های ابسیدینی ایران و جهان

از همان اولین مطالعات ابسیدین توسط رنفرو و همکاران او در رابطه با تجارت و نوع مهاجرت ها در دوره نوسنگی در کل خاور نزدیک [3-4]، نمونه هایی از ابسیدین نیز از محوطه های شاخص ایران مانند سراب، گوران، علی کش و غیره مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته و زمینه را برای مطالعات بعدی در رابطه با ابسیدین فراهم ساخته است. از دهه ۱۹۶۰ میلادی تا دهه ۱۹۷۰

همانند سایر مناطق خاور نزدیک، این مطالعات ادامه یافت. اما از دهه ۱۹۸۰م. تا اوایل قرن ۲۱ م، این مطالعات با وقفه‌ای طولانی روبه‌رو شد و مجدداً از سال ۲۰۰۰ میلادی و پس از شروع کاوش‌ها توسط باستان‌شناسان ایرانی و به دست آمدن ابزارهای ابسیدینی قابل توجه، همکاری‌های گسترده علمی بین پژوهشگران ایرانی و محققان خارج از ایران برقرار شد و این مسئله موجب شد تا پژوهش‌های علمی دوجانبه‌ای در این راستا و در این زمان به انجام رسد.

اولین و مهم‌ترین پژوهش‌ها در این زمینه مربوط به کارهای رنفرو، دیکسون و کان بوده است که به مطالعه معادن ابسیدین‌های خاور نزدیک و مدیترانه در طی دهه ۱۹۶۰ میلادی پرداخته‌اند که پس از ۵۰ سال از زمان شروع آن، هنوز مرجع اصلی برای تعیین خاستگاه ابسیدین‌های خاور نزدیک و مدیترانه به شمار می‌آید.

در کنار مطالعات انجام شده در مورد منشأیابی ابسیدین در معادن شناخته شده خاور نزدیک و مدیترانه، برخی از پژوهشگران نیز معتقد هستند که از ابسیدین محلی نیز توسط جوامع پیش از تاریخ استفاده می‌شده است. در دهه ۱۸۸۰ میلادی ژاک دموگران فرانسوی که علاوه بر فعالیت باستان‌شناسی، زمین‌شناس معدن هم بود، معادن رگه‌های ابسیدینی مختلف را در ارمنستان و شرق ترکیه مورد بررسی قرار داد. وی بر اساس مشاهدات بصری و نه بر اساس آنالیز کمی، این‌گونه ارزیابی کرد که منابع خام ابزارهای ابسیدینی یافت شده از محوطه‌های بین‌النهرین و ایران، از معادن ارمنستان و شرق آناتولی و یا از معادن محلی نزدیک محوطه‌ها تأمین می‌شده‌اند که توسط یک مبادلهٔ دوربرد انجام می‌گرفته است [5].

پژوهش‌های اخیر که توسط الری فرام صورت گرفته، کارهای قبلی رنفرو و همکارانش را تا حدود زیادی به چالش کشیده است. انتقادهای وی به کارهای رنفرو و همکارانش این است که (۱) نقشه‌های پراکندگی ابسیدین‌ها که توسط رنفرو و همکارانش ترسیم شده‌اند، عمدتاً بر اساس نمونه‌های زمین‌شناختی اندکی است که به طور میانگین شامل دو یا سه قطعه ابزار از

هر پنجاه محوطه است. (۲) آن‌ها با وارد کردن ادوات سنگی ابسیدینی محوطه‌ها (مانند یک ظرف از تپه گوره به همراه ابزارهای سنگی تراشه‌ای، یک سردرگمی و ابهام را در تفسیرهایشان ایجاد کرده‌اند، چرا که این دو طیف ابسیدینی اشاره شده، در سیستم مبادلات پیش از تاریخی خاور نزدیک از لحاظ کارکرد، دو مقوله کاملاً مجزایی بوده‌اند [6])، به غیر از فرام در مطالعات قبلی نیز انتقادهای مختلفی به کارهای انجام شده توسط رنفرو و همکارانش وارد شده بود [7-8-9]. نقد دیگری که فرام بر آن تأکید داشت این بود که اغلب ابزارهای آنالیز شده توسط رنفرو و همکارانش به دوره نوسنگی تاریخ‌گذاری شده بودند، به طوری که حتی یک نمونه از عصر مفرغ سوریه توسط آن‌ها آنالیز نشده بود [6].

ایران به دلیل داشتن محوطه‌های مختلف پیش از تاریخی و تاریخی دربردارندهٔ ابزارها و مصنوعات ابسیدین، یکی از نخستین کانون‌های مطالعات تعیین خاستگاه و آزمایشگاهی ابسیدین بوده است. چنانکه گفته شد پژوهش‌های پیشگامانهٔ رنفرو در اواسط دهه ۶۰ میلادی بر روی مواد ابسیدین محوطه‌های دهلران که به عنوان بخشی از گزارش مجموعه پژوهش‌های باستان‌شناسی دهلران به چاپ رسیده [10-11]، نخستین مطالعات در این زمینه بوده است. پس از آن، مطالعات مربوط به آزمایش‌های نوترون اکتیویشن (Neutron activation analysis) بر روی نمونه‌های حاصل از کاوش‌های تپه حسنلو، شوش، جعفرآباد و بررسی سطحی محوطه‌های دشت مرو دشت در فارس توسط مهدوی و بونگتون، ارتباط این محوطه‌ها را با منابع و معادن ابسیدین آناتولی بیشتر روشن کرد [12]. سومین پژوهش در این زمینه، مربوط به مطالعات آزمایشگاهی جیمز پلکمن بر روی نمونه‌های ابسیدین مکشوفه از تل ملیان فارس است [13].

در سال‌های اخیر نیز فعالیت‌های زیادی در رابطه با مطالعات ابسیدین در شمال غرب ایران به انجام رسیده است. اولین پژوهشی که توسط محققان ایرانی انجام گرفت، آنالیز ابسیدین‌های محوطه نادر تپه سی

اصلاندوز دشت مغان بود [14]. در این پژوهش، ۶۸ نمونه توسط روش آنالیز عنصری پیکسی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیزها مشخص شد که همه نمونه‌ها متعلق به یک گروه بوده و از یک معدن استخراج شده‌اند. در این پژوهش، پس از مقایسه این نمونه‌ها با ابسیدین‌های مناطق قفقاز، آناتولی و ارمنستان، نمونه‌های نادر تپه با هیچ یک از نمونه‌های آناتولی و قفقاز همخوانی نداشتند، و نویسندگان بیشتر بر منابع داخلی موجود به عنوان منشأ اصلی ابسیدین‌های این محوطه تأکید کردند [14-15-16] ولی با توجه به اینکه عناصر کمیاب ابسیدین‌ها با روش پیکسی این محوطه به صورت دقیق با نمونه‌های آناتولی و قفقاز سنجیده نشده‌اند، مسلماً این گونه نتیجه‌گیری صرفاً روی معادن داخل ایران با چالش اساسی روبه‌رو است.

پس از این مطالعه پژوهش‌های دیگری نیز در رابطه با ابسیدین‌های شمال غرب ایران انجام گرفته است. پژوهش خادمی و همکاران در سال ۲۰۰۷ میلادی نیز با رویکرد جستجوی معادن محلی ابسیدین ایران، بخشی از یافته‌های حاصل از کاوش‌های باستان-شناسی منطقه شمال غرب ایران را با روش WDXRF مورد آنالیز قرار داده است. نمونه‌هایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند، عبارت از ۱۲ نمونه ابسیدینی از محوطه قوشا تپه شهریری اردبیل، یک قطعه از محوطه قلعه خسرو و سه قطعه از تپه شیرامین در شمال غرب ایران و یک قطعه از محوطه تپه اشانه و یک قطعه دیگر نیز از جیرفت در جنوب شرق ایران بودند. با توجه به نزدیکی به کوه سهند، ابسیدین‌های این مطالعه با منشأ محلی سهند معرفی شده‌اند [17].

در پژوهش دیگری که توسط نیکنامی و همکاران بر روی تعداد قابل توجهی از ابسیدین‌های به دست آمده از محوطه‌های نزدیک و مجاور دریاچه ارومیه انجام شده است که در آن، مصنوعات ساخته شده از ابسیدین (نمونه‌های باستان‌شناسی) با تعداد کمی از ابسیدین‌های خام (نمونه‌های زمین‌شناسی) مقایسه شده‌اند

[18]. نتایج این بررسی منجر به شناسایی سه گروه ابسیدین در این نمونه‌ها شده‌اند که نشان می‌دهند که ابسیدین‌های آنالیز شده در این مطالعه از منابع محلی و داخلی تأمین شده است. از محوطه‌های بررسی شده کلیبر که بازه زمانی مس و سنگ تا اورارتو را در بر می‌گرفتند نیز ۳۸ نمونه مورد آنالیز قرار گرفت، که در این بین یک نمونه متعلق به معدن میدان داغ و ۳۷ نمونه متعلق به ۵ گروه نامشخص تعیین شدند [19]. اما تعدادی مطالعه نیز در سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ میلادی از نمونه‌های شمال غرب ایران انجام شده که این مطالعات برخلاف مطالعات گذشته، با توجه به اندازه‌گیری عناصر کمیاب ابسیدین‌ها، غالب نمونه‌های آنالیز شده را به منابع اولیه در آناتولی و ارمنستان نسبت داده‌اند [20-21-22].

دو مورد دیگر از مطالعات و آزمایش‌های صورت گرفته در محوطه‌های شمال غرب ایران، یکی مربوط به نمونه‌های حاصل از کاوش محوطه کول تپه جلفا [23] و دیگری، نمونه‌های مکشوف از بررسی‌های سطحی ۹ محوطه پیش از تاریخی دشت خوی [24] بوده است. کاوش‌های باستان‌شناسی محوطه مهم کول تپه، بیش از ۲۰۱۳ قطعه ابزارسنگی ابسیدین (۸۵٪ دست‌ساخته-ها و مصنوعات سنگی این محوطه) را آشکار ساخته‌اند که در نوع خود کم‌نظیر هستند و دلیل عمده این حجم زیاد به نزدیکی این محوطه با معادن سنگ ابسیدین برمی‌گردد که در فاصله ۷۵ تا ۳۰۰ کیلومتری از همدیگر واقع شده‌اند [23].

۳. تولید و مبادله ابسیدین در پیش از تاریخ فارس

در منطقه فارس در جنوب زاگرس و مخصوصاً در حوضه رود کر، ابزارهای ابسیدینی از اولین دوره استقرار در این منطقه، یعنی مرحله نوسنگی بی-سفال، از محوطه‌های تپه رحمت‌آباد، تل سنگی و قصر احمد به دست آمده‌اند [25]. مرحله بعدی مربوط به دوره نوسنگی باسفال است که شکل‌گیری موشکی

با وجود اینکه هیچ نمونه ابسیدینی از دوره لیبی گزارش نشده است، ولی شواهد باستان‌شناختی حاکی از قطعات ابسیدینی در دوره‌های بانس و کفتری هستند. آنالیز ابسیدین‌های یافته شده از لایه‌های دوره بانس در محوطه ملیان (کارگاه ABC و TUV) پیشنهاد می‌کند که بیش از ۸۰ درصد یافته‌های ابسیدینی متعلق به معادن حوضه دریاچه وان هستند [13]. در مجموعه ابزارهای سنگی دوره کفتری، استفاده از معادن ابسیدین حوضه دریاچه وان کاهش شدیدی را نشان می‌دهند، چرا که استفاده از سایر معادن مانند قفقاز (۳۰٪) از این دوره به بعد بسیار رایج می‌شود [33-34].

۴. موقعیت جغرافیایی و پیشینه کاوش‌های باستان‌شناسی در محوطه تل‌خاری

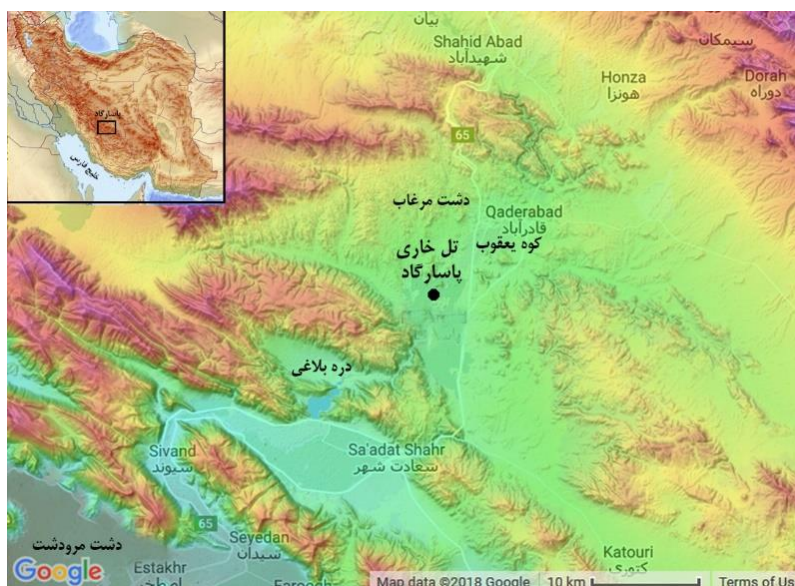
تل خاری محوطه‌ای باستانی در بخش پاسارگاد و دشت مرغاب در شمال شرق فارس است که پیشینه آن به دوران پیش از تاریخ و تقریباً به اواخر هزاره پنجم پ.م (پیش از میلاد) می‌رسد. این محوطه، تپه‌ای به شکل بیضوی است و وسعتی حدود ۵۰×۱۱۰ متر و ارتفاعی حدود ۲ متر دارد. تل‌خاری در کنار دیگر محوطه‌های تاریخی مجموعه پاسارگاد در دشت مرغاب، در پهنه‌ای از دشت هموار و مسطح قرار دارد که در اطراف آن، کوه‌ها و تپه‌ماهورهای طبیعی واقع شده است. آرامگاه کوروش هخامنشی نیز در فاصله ۲۸۰۰ متری (حدود ۳ کیلومتری) آن، از دور نمایان است (شکل ۲). موقعیت جغرافیایی تل خاری در منطقه پاسارگاد، دشت مرغاب همچنین در نقشه ضمیمه شده ایران در شکل ۱ نشان داده شده است. در حال حاضر بخش جنوب غربی این تپه، تسطیح و نابود شده که به همین دلیل وسعت محوطه به ۳۰×۱۱۰ متر کاهش یافته است. در حاشیه شمال شرقی تپه، کانال زهکشی آب نیز احداث شده که این امر موجب انباشت مقادیر زیادی خاک و گل ولای بر روی دامنه تپه شده است. در این قسمت، حاشیه مرزی تپه تقریباً به صورت خط مستقیمی درآمده است. حاشیه

نامیده می‌شود، این مصنوعات علاوه بر محوطه رحمت-آباد، در محوطه تل موشکی نیز شناسایی شده است. ابزارهای ابسیدین مکشوف از تپه رحمت‌آباد شامل ۳۲ قطعه از کل ۲۸۱۱ مجموعه ابزارهای سنگی این محوطه است [26]. افزون بر این، از مجموع ۲۹۵۱ قطعه ابزارهای سنگی یافت شده در تل موشکی، فقط ۱۲ قطعه از ابسیدین ساخته شده‌اند که ۰/۴ درصد از مجموعه مصنوعات سنگی این محوطه را تشکیل می‌دهند [27].

در مرحله بعد که از آن تحت عنوان دوره انتقالی موشکی - جری یاد می‌شود، کاهش شدیدی در ابزارهای ابسیدینی مشاهده می‌شود؛ به طوری که هیچ ابزار ابسیدینی از این دوره انتقالی در تل بشی به دست نیامده و تنها یک نمونه از بررسی‌های سطحی محوطه کوشک‌هزار [28] و به‌طور محدود در کاوش محوطه هرمنگان [29] شناسایی شده است. از دوره جری هیچ ابزار ابسیدینی به دست نیامده. همین وضعیت در فقدان این مصنوعات برای دوره شمس‌آباد نیز صدق می‌کند. همزمان با مرحله مس‌سنگی در فارس، دوره باکون مربوط به اواخر هزاره ششم پ.م آغاز می‌شود که تا پایان هزاره پنجم پ.م ادامه می‌یابد. محوطه‌های باستان‌شناسی زیادی مربوط به این دوره در فارس کاوش شده، اما مصنوعات ابسیدین نسبتاً اندکی شناسایی شده‌اند که شامل محوطه‌های تل باکون، رحمت‌آباد، ده‌بید، تل نخودی و تل خاری می‌شود. محوطه شاخص این دوره، تل باکون در مجاورت تخت‌جمشید، در مقیاس با وسعت زیاد کاوش‌هایش، فقط سه ابزار ابسیدین از آن کشف شده است [30]. تپه ده‌بید یا تل بهرام، محوطه دیگر این دوره در منطقه شمال پاسارگاد نیز تنها دو قطعه تیغه ابسیدین [31] و از کاوش محوطه تل نخودی در پاسارگاد، فقط یک قطعه ابسیدین به دست آمد [32]. چنانکه گفته شد، آنالیزهای نوترون اکتیویشن بر روی چند ابزار ابسیدین سطحی از این دوره در محوطه‌های دشت مروشدست صورت گرفته است [12].

تل خاری در کنار دیگر محوطه‌های تاریخی مجموعه پاسارگاد در دشت مرغاب واقع شده است. به عنوان مثال در شمال و شمال شرقی آن، ارتفاعاتی قرار دارد که یکی از شاخص‌ترین آن‌ها، کوه مقدس معروف به تل حضرت یعقوب است که در فاصله ۸۵۰ متری آن واقع شده است.

مرزی شرقی و شمال شرقی تپه به صورت منحنی و گرد است که در پایین‌ترین سطح آن جاده خاکی عبور می‌کند. در قسمت فوقانی این دامنه، بقایای خاک‌های انباشته ناشی از تسطیح نیز ریخته شده که سبب افزایش ارتفاع تپه حدود نیم متر شده است. مرکز تپه، سطحی نسبتاً هموار دارد که البته به دلیل خاک‌های انباشته شده، اندکی ناهموار شده، به طوری که بخش‌های مرکزی تپه گودتر از حاشیه‌های آن است.



شکل ۱: موقعیت تل خاری در نقشه ایران و در منطقه پاسارگاد. همچنین برخی از محوطه‌های مجاور مانند دشت مرغاب و کوه یعقوب در این نقشه نشان داده شده است.

Fig. 1: Location of Tole Khari in the map of Iran and in the Pasargad region. Also, some adjacent areas such as Marghab plain and Yaghoob mountain are shown in this map.

کاوش در گمانه لایه‌نگاری تا عمق ۴/۸ متر ادامه یافت و به خاک بکر رسید.

نتایج این لایه‌نگاری، شناسایی ۳۴ واحد و ۹ مرحله (فاز) استقرار بود که در دوران مختلف فرهنگی از باکون الف (اواخر هزاره پنجم ق.م)، لپویی (اواسط هزاره چهارم ق.م)، کفتری (اواخر هزاره سوم ق.م) و هخامنشی تاریخ‌گذاری شده است. این کاوش‌ها نشان داد که از اواخر دوران پیش از تاریخ در هزاره پنجم ق.م تاکنون حدود ۲/۵ تا ۳ متر رسوبات آبرفتی دشت مرغاب در اطراف محوطه انباشته شده است. این محوطه در مراحل بعدی نیز به صورت پراکنده مسکونی شده و سرانجام در دوره هخامنشی، با توجه

پیشینه مطالعات باستان‌شناسی بر روی تل خاری به اواخر سال‌های دهه ۱۳۳۰ برمی‌گردد که حفاری‌های پراکنده‌ای توسط علی سامی در چارچوب برنامه باستان‌شناسی پاسارگاد انجام گرفته، ولی نتایج و یافته‌های این حفاری‌ها تاکنون منتشر نشده است. در راستای پروژه باستان‌شناسی محوطه جهانی پاسارگاد تحت مدیریت علی موسوی، دو فصل کاوش‌های باستان‌شناسی در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در تل خاری به سرپرستی علیرضا سرداری صورت گرفته است. این کاوش‌ها شامل گمانه‌زنی به منظور لایه‌نگاری در دو ترانشه کوچک به ابعاد ۳×۲ و ۱×۲ متر، و همچنین حفاری گسترده در فضایی به ابعاد ۱۶×۸ متر است.

نیز یافت شده است. در این بین، مقادیر زیادی ابزارهای سنگی از جنس سنگ چخماق (فلینت) و ابسیدین نیز کشف شده است. این ابزارها و مصنوعات ابسیدین غالباً از گودال زباله‌ای به دست آمده‌اند که هنوز بخشی از آن کاوش نشده است و به نظر می‌رسد مقادیر بیشتری دربرداشته باشد. بدین ترتیب با توجه به حجم این مواد یافت شده نسبت به وسعت کم محوطه، می‌توان تصور کرد که این مکان یکی از کانون‌های تولید و یا توزیع چنین ابزارهایی در هزاره‌های پنجم و چهارم پ.م منطقه پاسارگاد و فارس بوده است.

به شواهد و مقادیر زیادی جوش کوره آهن یافت شده، احتمالاً مکانی برای فلزگری و تولید فلز آهن بوده است.

یافته‌های مختلفی در دو فصل کاوش‌های تل خاری به دست آمده است که از مهم‌ترین آن‌ها، سفال‌های ظریف نخودی دوره باکون به صورت منقوش یا ساده است. علاوه بر این، اشیای دیگری مانند مهرها، اثرمهرها، پیکرک‌های گلی، مهرها، ابزارهای فلزی از جنس مس، مفرغ و آهن، ابزارهای استخوانی و صدفی، قطعات سفال‌های کارشده و بقایای گیاهی و جانوری



شکل ۲: تصویر هوایی از تل خاری در محدوده پاسارگاد
Fig. 2: Aerial image of the Tole Khari in the Pasargad

قطعات دورریز با توجه به پراکندگی آن‌ها در لایه‌ها و ترانشه‌های مختلف، به نظر می‌رسد ضایعات برداشت شده از سنگ مادرها و تیغه‌های مختلفی هستند که نشان‌دهنده تراش آن‌ها در همین محل است. نمای تعدادی از نمونه‌های مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. رنگ نمونه‌های آنالیز شده مشکی و ابعاد نمونه‌ها حدود ۲ تا ۳ سانتیمتر مربع بوده‌اند.

۵. مواد و روش‌ها

۵-۱. نمونه‌های ابسیدین محوطه تل خاوری

در این مطالعه، تعداد ۱۷ نمونه از ابسیدین‌های تیغه و دورریز که نمونه‌های مطالعاتی بودند و در کاوش‌های باستان‌شناسی این محوطه به دست آمده‌اند، با استفاده از روش میکروپیکسی در آزمایشگاه واندوگراف در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ایران آنالیز شدند.



شکل ۳: نمای تعدادی از نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش
Fig.3: View of some of the studied obsidians in this study

با انرژی $2/5 \text{ MeV}$ و شدت جریانی در حدود pA $50-100$ که توسط شتاب‌دهنده واندوگراف 3MV تولید می‌شود، انجام شده است. همچنین قطر باریکه پروتون مورد استفاده در این آنالیزها کمتر از 10 میکرون بوده است. در این روش برای آشکارسازی پرتوهای X گسیل شده از نمونه‌ها، از آشکارساز SiLi که قدرت تفکیک 150eV دارد و در زاویه 135° درجه نسبت به باریکه پروتون فرودی قرار گرفته، استفاده شده است. برای بررسی دقت آنالیزها و برآورد میزان خطا و عدم دقت در اندازه‌گیری عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌های مورد بررسی، با توجه به اینکه نمونه‌های ابسیدین، ترکیباتی مشابه با شیشه‌های مصنوعی دارند، بنابراین تعدادی از نمونه‌های استاندارد مربوط به شیشه‌های تاریخی که از موزه کورنینگ نیویورک تهیه شده است، همزمان و تحت شرایط یکسان با نمونه‌ها، مورد آنالیز قرار گرفتند [37]. بررسی نتایج آنالیز نمونه‌های استاندارد نشان می‌دهد که با روش میکروپیکسی قادر هستیم با دقت بسیار خوبی ترکیبات عناصر تشکیل‌دهنده ابسیدین‌های تاریخی را اندازه‌گیری کنیم.

۶. نتایج و تحلیل آماری ابسیدین‌های محوطه تل خاری

در این پژوهش، با استفاده از روش میکروپیکسی، 17 نمونه از ابسیدین‌های محوطه تاریخی تل خاری در پاسارگاد آنالیز شدند. عناصری که در تمام نمونه‌های

۵-۲. آنالیز عنصری با روش میکروپیکسی

برای اندازه‌گیری ترکیبات عنصری ابسیدین‌های محوطه باستانی تل خاری، از روش میکروپیکسی در آزمایشگاه واندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای استفاده شده است. آنالیز میکروپیکسی یکی از بهترین روش‌های اندازه‌گیری ترکیبات اصلی و کمیاب در اشیاء تاریخی مانند ابسیدین و شیشه‌های تاریخی محسوب می‌شود که با استفاده از این روش می‌توان در نمونه‌های مورد مطالعه، عناصر سدیم تا اورانیوم را به طور همزمان با دقتی در حدود $100-500 \text{ ppm}$ اندازه‌گیری کرد. روش آنالیز میکروپیکسی بر مبنای تحریک اتم‌های تشکیل‌دهنده نمونه مورد مطالعه توسط باریکه پروتون‌های پرانرژی که توسط شتاب‌دهنده واندوگراف تولید می‌شود، استوار است. میکروپیکسی یا «گسیل پرتو X در اثر برانگیختگی با باریکه پروتون با ابعاد میکرون» روش بسیار توانمند و پرکاربردی در آنالیز عنصری نمونه‌های فرهنگی و تاریخی است. در این روش آنالیز، نمونه مورد بررسی، تحت تابش باریکه پروتون پرانرژی قرار می‌گیرد. در اثر برخورد باریکه پروتون با اتم‌های نمونه مورد آنالیز، پرتو X های مشخصه از نمونه گسیل می‌شود که انرژی این پرتوهای X ، نوع عنصر موجود در نمونه و تعداد پرتوهای X با انرژی معین، غلظت عناصر موجود در نمونه مورد بررسی را مشخص می‌کند [35-36] در این پژوهش، آنالیز میکروپیکسی با باریکه میکرونی پروتون

آنالیز شده گاهی اوقات تغییرات نسبی دو عنصر نسبت به یک عنصر مشخص و یا تغییرات نسبی دو عنصر نسبت به تغییرات نسبی دو عنصر دیگر رسم شوند [41-42]. اما برای رسم برخی دیگر از این نمودارها، خروجی آنالیزهای آماری که براساس ترکیبات عنصری نمونه‌ها به دست می‌آید، رسم می‌شوند و بر اساس این نمودارها در مورد خاستگاه و تنوع منابع تأمین‌کننده بحث می‌شود. در شکل ۴a، تغییرات درصد وزنی اکسید تیتانیم برحسب اکسید آلومینیم و در شکل ۴b، تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید آلومینیم در افسیدین‌های آنالیز شده از تل خاری نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۴a و ۴b مشاهده می‌شود بر اساس تغییرات این عناصر اصلی و کمیاب افسیدین‌های آنالیز شده از تل خاری در دو گروه کاملاً متمایز قابل طبقه‌بندی هستند که این دو گروه با G1 و G2 نامگذاری شده‌اند. این تفکیک‌پذیری و گروه‌های متمایز، نشان‌دهنده این است که افسیدین‌های این محوطه از منابع مختلفی تهیه شده‌اند و منشأ و محل تهیه مواد اولیه این ابزارهای افسیدینی متفاوت هستند. در گروه اول (G1) که ۷ نمونه را شامل می‌شود، مقدار اکسید تیتانیم بین ۰/۱۳-۰/۱۶ درصد و اکسید آلومینیم بین ۱۱/۵۰-۱۳/۰ درصد تغییر می‌کند و در گروه دوم (G2) که شامل ۱۰ نمونه است، اکسید تیتانیم بین ۰/۰۵-۰/۱۰ درصد و اکسید آلومینیم بین ۱۳/۵۰-۱۵/۰ درصد تغییر می‌کند. بر پایه تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید آلومینیم نیز این گروه‌بندی و تفکیک‌پذیری تأیید می‌شود که این تغییرات در شکل ۴b کاملاً واضح است. با توجه به این شکل، مشاهده می‌شود که در گروه اول (G1) مقدار اکسید آهن بین ۲/۵۰-۳/۵۰ درصد و اکسید آلومینیم بین ۱۱/۵۰-۱۳/۰ درصد تغییر می‌کند و در گروه دوم (G2) اکسید آهن بین ۱/۲۰-۱/۷۰ درصد و اکسید آلومینیم بین ۱۳/۵۰-۱۵/۰ درصد تغییر می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بازه تغییرات اکسید آهن در گروه دوم نسبت به گروه اول کمتر است.

آنالیز شده از این محوطه اندازه‌گیری شده‌اند، شامل: اکسید سدیم (Na₂O)، اکسید آلومینیم (Al₂O₃)، اکسید سیلیسیم (SiO₂)، اکسید فسفر (P₂O₅)، کلر (Cl)، اکسید پتاسیم (K₂O)، اکسید کلسیم (CaO)، اکسید تیتانیم (TiO₂)، اکسید منگنز (MnO)، اکسید آهن (Fe₂O₃) و اکسید روی هستند. همچنین اکسید گوگرد (SO₃)، اکسید وانادیم (V₂O₃)، اکسید استرانسیم (SrO)، اکسید روبیدیم (Rb₂O)، اکسید ایتیریم (Y₂O₃) و اکسید زیرکونیم (Zr₂O) نیز در برخی از نمونه‌های آنالیز شده از این محوطه وجود دارند. مقدار عناصر اصلی برای تمام نمونه‌های آنالیز شده از محوطه برحسب درصد وزنی و عناصر کمیاب برحسب ppm در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۱، مشاهده می‌شود که ترکیبات عمده تشکیل‌دهنده افسیدین‌های تل خاری، اکسید سیلیسیم با درصد وزنی ۷۵/۶۰-۷۳/۹۳، اکسید آلومینیم با درصد وزنی ۱۴/۷۸-۱۱/۸۶، اکسید سدیم با درصد وزنی ۴/۹۲-۲/۹۸ و اکسید پتاسیم با درصد وزنی ۴/۴۳-۴/۰۲ است. در طبقه‌بندی و بررسی منشأ افسیدین، علاوه بر نقش عناصر اصلی، عناصر کمیاب نیز از اهمیت بالایی برخوردار هستند تا بتوان محل و منشأ اصلی افسیدین را مشخص کرد. برای بررسی و تعیین منشأ افسیدین‌های مورد مطالعه و به دست آوردن اطلاعاتی در مورد وجود تنوع و گوناگونی منابع اولیه، استفاده از نمودارهای پراکندگی دوبعدی و یا سه بعدی بسیار متداول و کمک‌کننده است.

در برخی از این نمودارها بدون هیچ‌گونه محاسبات دیگری، تنها تغییرات موجود در عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌ها با استفاده از رسم نمودارهای پراکندگی دو یا سه بعدی برحسب یکدیگر مشخص می‌شود و بر اساس این نمودارها به آسانی می‌توان در مورد تنوع و تغییر ترکیبات عنصری افسیدین‌های آنالیز شده اظهار نظر کرد و در مورد خاستگاه آن‌ها اطلاعات مهمی به دست آورد [38-39-40]. همچنین ممکن است برای بررسی تغییرات موجود در ترکیبات عنصری نمونه‌های

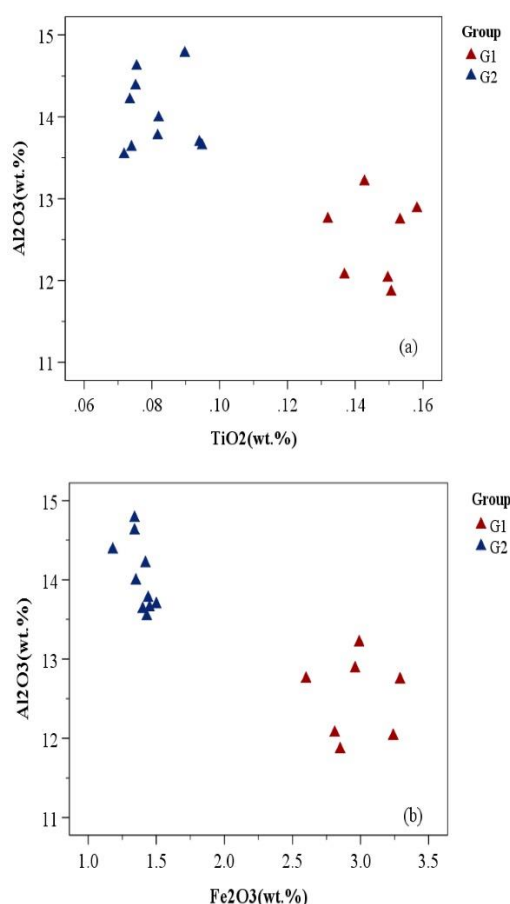
جدول ۱: مقدار عناصر اصلی و کمیاب برای تمام نمونه‌های آنالیز شده از محوطه تل خاری بر حسب درصد وزنی

(not detected=nd) ppm و (%)

Table 1: Amount of main and trace elements for all analyzed samples from the Tole Khri in terms of weight percentage and ppm (detected ton=dn)

Sample No.	Group	Na ₂ O (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	SO ₃ (%)	Cl (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	TiO ₂ (%)	V ₂ O ₅ (ppm)	Mn O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	ZnO (ppm)	SrO (ppm)	Rb ₂ O (ppm)	Y ₂ O ₃ (ppm)	ZrO ₂ (ppm)
P1	G2	4.03	13.54	75.28	0.50	0.09	0.08	4.42	0.41	0.07	93	0.07	1.43	120	nd	287	nd	nd
P2	G2	4.49	13.65	74.75	0.49	0.12	0.08	4.27	0.47	0.10	nd	0.07	1.45	nd	nd	274	nd	nd
P3	G2	4.55	13.63	74.67	0.45	0.07	0.10	4.26	0.46	0.07	95	0.08	1.40	157	nd	nd	nd	nd
P4	G2	4.47	14.21	73.93	0.36	nd	0.09	4.15	0.60	0.07	nd	0.07	1.42	78	nd	nd	nd	nd
P5	G1	4.92	12.07	74.62	0.48	nd	0.17	4.26	0.17	0.14	95	0.04	2.81	236	nd	275	nd	708
P6	G1	4.67	11.86	75.15	0.39	nd	0.16	4.25	0.17	0.15	nd	0.05	2.85	240	nd	nd	432	1210
P7	G2	2.98	14.62	75.12	0.54	nd	0.07	4.43	0.38	0.08	nd	0.06	1.34	115	212	nd	nd	602
P8	G1	3.83	12.74	74.68	0.54	nd	0.13	4.25	0.18	0.15	125	0.05	3.29	229	nd	254	nd	nd
P9	G1	4.54	12.75	74.34	0.62	nd	0.13	4.17	0.18	0.13	118	0.04	2.60	199	nd	nd	nd	nd
P10	G2	4.55	13.99	74.49	0.49	nd	0.08	4.17	0.58	0.08	104	0.06	1.35	124	nd	nd	nd	nd
P11	G1	3.54	13.21	75.01	0.40	nd	0.13	4.28	0.18	0.14	nd	0.06	2.99	295	nd	nd	nd	nd
P12	G2	3.94	13.77	74.73	0.48	0.13	0.11	4.41	0.52	0.08	nd	0.07	1.44	110	nd	nd	nd	609
P13	G1	4.04	12.03	75.60	nd	nd	0.15	4.36	0.22	0.15	nd	0.05	3.24	258	nd	240	nd	753
P14	G1	3.77	12.88	74.98	nd	nd	0.19	4.43	0.24	0.16	nd	0.05	2.96	204	nd	nd	nd	889
P15	G2	4.15	13.69	73.99	0.62	0.16	0.18	4.30	0.74	0.10	nd	0.06	1.50	77	338	nd	nd	nd
P16	G2	4.70	14.78	74.30	nd	nd	0.06	4.02	0.37	0.09	175	0.06	1.34	nd	nd	nd	nd	nd
P17	G2	4.83	14.38	74.41	nd	nd	0.08	4.00	0.30	0.08	nd	0.05	1.18	106	nd	164	443	914

تفکیک هستند. علت اصلی این تفاوت‌ها به تغییرات منابع مورد استفاده در تهیه ماده اولیه و منابعی که ابسیدین مورد نیاز را تأمین کرده است، مرتبط است. همچنین این تغییرات می‌تواند نشان‌دهنده این موضوع باشد که ابسیدین‌های به دست آمده از تل خاری ممکن است از مکان‌های مختلف در خارج از ایران و یا داخل کشور به این محوطه منتقل شده باشد که این احتمالات در ادامه و با مقایسه ابسیدین‌های منابع مختلف بررسی خواهد شد.



شکل ۴: (a) تغییرات درصد وزنی اکسید تیتانیم برحسب اکسید آلومینیم، (b) تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید آلومینیم در نمونه‌های ابسیدین آنالیز شده از محوطه باستانی تل خاری

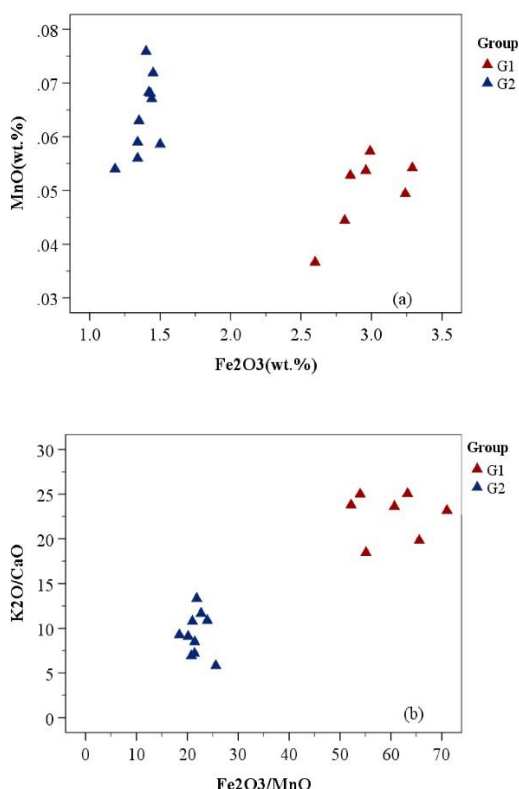
Fig. 4: (a) Changes in weight percentage of titanium oxide in terms of aluminum oxide, (b) Changes in weight percentage of iron oxide in terms of aluminum oxide in obsidian samples analyzed from the site of Tol Khari

با بررسی بیشتر نتایج ترکیبات عنصری ابسیدین‌های آنالیز شده، همان‌طور که در شکل‌های ۵a و ۵b مشخص است، با توجه به تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید کلسیم و تغییرات درصد وزنی اکسید منگنز برحسب اکسید تیتانیم، تفاوت در ترکیبات عنصری این ابسیدین‌ها آشکار می‌شود و بر اساس این عناصر نیز می‌توان دو گروه متفاوت در ابسیدین‌های آنالیز شده شناسایی کرد. بازه تغییرات اکسید کلسیم در شکل ۵a در گروه اول شناسایی شده بین ۰/۱۰-۰/۲۰ درصد و در گروه دوم بین ۰/۳۰-۰/۶۰ درصد است. از طرفی در شکل ۵b مشاهده می‌شود که تغییرات اکسید منگنز اندکی در دو گروه شناسایی شده با یکدیگر هم‌پوشانی دارند. در گروه اول تغییرات اکسید منگنز بین ۰/۰۵-۰/۰۸ درصد و در گروه دوم این بازه تغییرات بین ۰/۰۳-۰/۰۶ درصد است. بنابراین نتایج ارائه شده در شکل‌های ۴ و ۵ به طور کاملاً واضح نشان می‌دهند که ابسیدین‌های این محوطه از دو منبع کاملاً متفاوت و متمایز هستند.

برای بررسی بیشتر در زمینه طبقه‌بندی و منشأیابی ابسیدین‌های تل خاری بر اساس ترکیبات عنصری، در شکل ۶a تغییرات دو بعدی درصد وزنی تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید منگنز و در شکل ۶b تغییرات دو بعدی تغییرات نسبی اکسید آهن به اکسید منگنز برحسب نسبت اکسید پتاسیم به اکسید کلسیم رسم شده است. همان‌طور که در این دو شکل مشاهده می‌شود، باز هم دو گروه کاملاً متمایز در این ابسیدین‌ها قابل شناسایی است که این دو گروه بر اساس عناصر مورد بررسی تفاوت فاحشی با یکدیگر دارند. همان‌طور که در شکل ۶a مشخص است در نمونه‌های گروه یک درصد وزنی آهن بیشتر از گروه دوم، ولی مقدار منگنز در گروه یک کمتر از گروه دوم است.

همچنین شکل ۶b نشان می‌دهد که نسبت‌های اکسید آهن به اکسید منگنز و اکسید پتاسیم به اکسید کلسیم در گروه اول بیشتر از گروه دوم است. بنابراین باز هم دو گروه مختلف شناسایی شده کاملاً از یکدیگر قابل

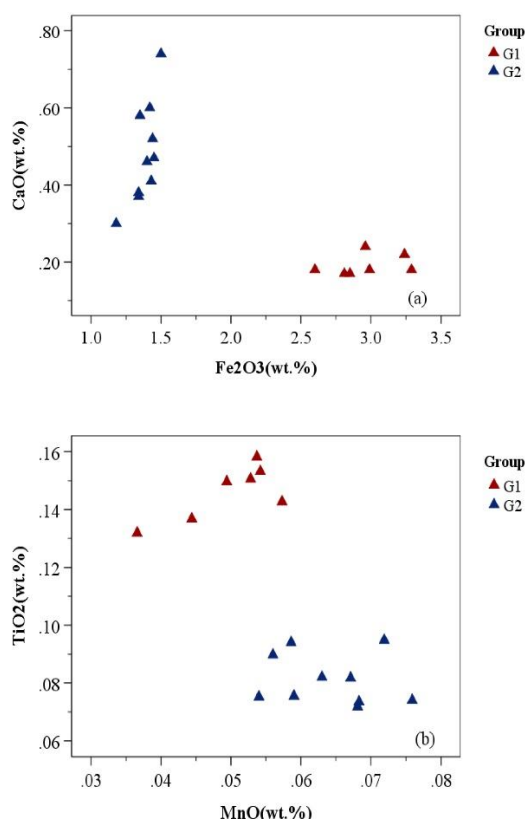
و یا ممکن است حتی از کشورها و مناطق مختلفی در خارج از ایران به پاسارگاد وارد شده باشد، استفاده شده است.



شکل ۶: (a) تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید منگنز، (b) تغییرات نسبی اکسید آهن به اکسید منگنز برحسب نسبت اکسید پتاسیم به اکسید کلسیم در ابسیدین های آنالیز شده از محوطه باستانی تل خاری

Fig. 6: (a) Changes in the weight percentage of iron oxide in terms of manganese oxide, (b) Relative changes in iron oxide to manganese oxide in terms of the ratio of potassium oxide to calcium oxide in the obsidian analyzed from the site of Tole Khari

حال برای بررسی خاستگاه و منشأ تأمین منابع اولیه ابسیدین های آنالیز شده در این پژوهش پرداخته خواهد شد، با توجه به اینکه ترکیبات تشکیل دهنده ابسیدین ها با مکان و محل جغرافیای منابع آن ارتباط تنگاتنگ و معنی داری دارند [42-43]. از مقایسه ترکیبات عنصری ابسیدین هایی که از نظر مکان جغرافیایی این احتمال وجود دارد که مواد اولیه ابزارهای ابسیدینی به دست آمده در تل خاری از آنجا تأمین شده باشد، کمک می-گیریم. این مقایسه شامل داده ها و نتایج گزارش شده

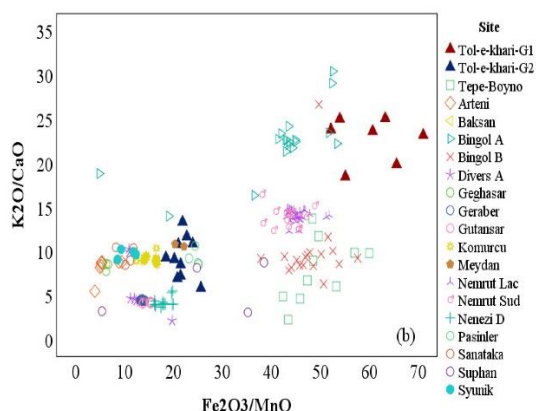
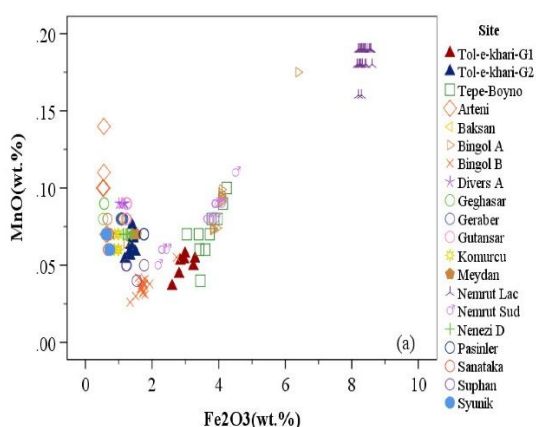


شکل ۵: (a) تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید کلسیم، (b) تغییرات درصد وزنی اکسید منگنز برحسب اکسید تیتانیم در نمونه های ابسیدین آنالیز شده از محوطه باستانی تل خاری

Fig.5: (a) Changes in the weight percentage of iron oxide in terms of calcium oxide; (b) Changes in the weight percentage of manganese oxide in terms of titanium oxide in the obsidian samples analyzed from the Tole Khari site

در شکل ۷ نمایش ماتریسی تغییرات همبستگی عناصر مختلف اندازه گیری شده در ابسیدین های تل خاری نشان داده شده است. همان طور که در این شکل نیز مشاهده می شود دو گروه مستقلی که در بالا به آنها اشاره شد، بر اساس عناصر تشکیل دهنده آنها کاملاً با یکدیگر ناهمبسته هستند و ارتباط معنی داری بین عناصر تشکیل دهنده آنها وجود ندارد. بنابراین از نظر ترکیبات اصلی و کمیاب، کاملاً و با قطعیت کامل می-توان به این نتیجه رسید که در تهیه ابزارهای ابسیدینی این محوطه، از دو نوع ماده اولیه مختلف و متفاوت که ممکن است از مناطق مختلف محلی تأمین شده باشد

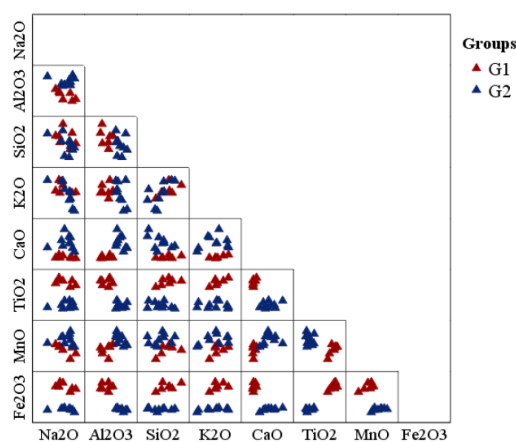
این مناطق هم‌پوشانی دارند. بر اساس نمودار ۸a مشخص است که ترکیبات اَبسیدین‌های گروه اول تل خاری با نمونه‌هایی از معدن بینگول A (Bingol A) از آناتولی (ترکیه) و اَبسیدین‌های گروه دوم تل خاری نیز با نمونه‌هایی از معادن ننزی داغ (Nenezi Dag)، پاسینلر (Pasinler) و میدان (Meydan) در آناتولی مرکزی و شرقی هم‌پوشانی دارند.



شکل ۸: (a) تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید منگنز (b) تغییرات نسبی اکسید آهن به اکسید منگنز برحسب نسبت اکسید پتاسیم به اکسید کلسیم در اَبسیدین‌های آنالیز شده در این پژوهش و مقایسه آنها با نمونه‌هایی از آناتولی، ارمنستان، قفقاز و ایران

Fig. (a) Changes in weight percentage of iron oxide in terms of manganese oxide (b) Relative changes in iron oxide to manganese oxide in terms of ratio of potassium oxide to calcium oxide in the comparison of the obsidian analyzed in this study of them with samples from Anatolia, Armenia, Caucasus and Iran

از محوطه‌هایی شاخص از کشورهای ترکیه، ارمنستان و منطقه قفقاز در شمال دریاچه ارومیه و شمال غرب ایران است که تأمین‌کننده عمده سنگ اَبسیدین در مناطق همجوار و یا دوردست خود بوده‌اند [44,6].



شکل ۷: نمایش ماتریسی همبستگی عناصر مختلف در

اَبسیدین‌های آنالیز شده از تل خاری

Fig. 7: Correlation matrix representation of different elements in the obsidians analyzed from the site of Tole Khari

جهت انجام این مقایسه و برای اینکه در مورد تفاوت در منابع استفاده شده در اَبسیدین‌های کشف شده در محوطه تاریخی تل خاری بتوان اظهار نظر کرد، باز هم یکی از راهکارهای مهم، بررسی تغییرات درصد وزنی عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌های مناطق مختلف است که در مقالات متعددی از این رهیافت و مقایسه استفاده شده است [38-39-40-42].

در شکل ۸a تغییرات درصد وزنی اکسید آهن برحسب اکسید منگنز و در شکل ۸b تغییرات نسبی اکسید آهن به اکسید منگنز برحسب نسبت اکسید پتاسیم به اکسید کلسیم در اَبسیدین‌های آنالیز شده در این پژوهش و نمونه‌هایی از آناتولی، ارمنستان، قفقاز و ایران نشان داده شده است [6,42].

همان‌طور که در شکل ۸a مشاهده می‌شود، نمونه‌های آنالیز شده از تل خاری و نمونه‌های آنالیز شده از محوطه‌های مختلف ترکیه، ارمنستان و قفقاز، برای دو گروه شناسایی شده در تل خاری با برخی از نمونه‌های

بر اساس نمودار ۸b نیز مشخص است که ترکیبات ابسیدین های گروه اول تل خاری با نمونه هایی از بینگول A از آناتولی (ترکیه) و ابسیدین های گروه دوم تل خاری نیز با نمونه هایی از معادن میدان، پاسینلر و نیزی داغ در آناتولی مرکزی و شرقی هم پوشانی دارند. خلاصه نتایج مقایسه دو گروه شناسایی شده و مناطقی که ممکن است محل تأمین و خاستگاه نمونه های تل خاری باشد در جدول ۲ ارائه شده است. بنابراین این موضوع بسیار محتمل است که منشأ ابسیدین های به دست آمده در تل خاری از منابع ابسیدین آناتولی بوده که از طریق یک انتقال و تجارت با مسافت بسیار طولانی در حدود ۱۰۰۰ تا ۱۹۰۰ کیلومتر صورت گرفته است.

جدول ۲: خلاصه نتایج مقایسه دو گروه شناسایی شده در این پژوهش و مناطقی که ممکن است محل تأمین و خاستگاه نمونه های تل خاری باشند.

Summary of the comparison results of the 2 sources two groups identified in this study and the that may be the place of supply and origin of Tole obsidians Khari

گروه های	منابع شناسایی شده برای تأمین
شناسایی شده در این پژوهش	منابع ابسیدین بر اساس مقایسه با عناصر اصلی
Group 1	Bingol A, Tepe-Boyno, Nemrut Sud
Group 2	Nenezi D, Meydan, Pasinler, Komurcu

۷. بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از آنالیز عنصری نمونه های ابسیدین با استفاده از روش میکروپیکسی، ما به دنبال پاسخگویی به برخی از سؤالات اساسی در مورد فرایند تجارت، نقل و انتقال و منشأ ابسیدین های به دست آمده در تل خاری پاسارگاد بودیم. اولین و اساسی ترین سؤال مطرح شده در این پژوهش این بود که ابسیدین های این محوطه در پاسارگاد از چه منابع اولیه ای تأمین شده اند و مهم تر اینکه این منابع داخلی و محلی هستند یا منابع خارجی؛ زیرا مشخص و تعیین

کردن نوع منبع تأمین ماده اولیه، می تواند نقش تعیین کننده ای در بررسی و مطالعه فرایند تجارت و نقل و انتقالات مواد اولیه توسط جوامع بشری پیش از تاریخ داشته باشد.

بر اساس بررسی تغییرات عناصر اصلی و کمیاب تشکیل دهنده نمونه های آنالیز شده از تل خاری، مشخص شد که ابسیدین های این محوطه در دو گروه کاملاً متمایز قابل طبقه بندی هستند که این دو گروه با G1 و G2 نام گذاری شده اند. این تفکیک پذیری و گروه های متمایز نشان دهنده این است که ابسیدین های این محوطه از منابع مختلفی تهیه شده اند و منشأ و محل تهیه مواد اولیه این ابزارهای ابسیدینی متفاوت هستند. براساس نمودارهای دو بعدی و سه بعدی عناصر تشکیل دهنده مشخص شد که در نمونه های گروه یک، درصد وزنی آهن و تیتانیوم بیشتر از گروه دوم، ولی مقدار منگنز در گروه یک کمتر از گروه دوم است. همچنین مشخص شد که درصد وزنی آلومینیم و منگنز در گروه اول کمتر از گروه دوم و مقدار درصد وزنی آهن در گروه دوم بیشتر از گروه اول است. همچنین نتایج آنالیز آماری با دو روش PCA و روش خوشه ای، وجود دو گروه مختلف را در نمونه های آنالیز شده به صورت کاملاً واضح تأیید می کند.

همچنین با مقایسه نتایج آنالیز عنصری نمونه های این پژوهش و داده ها و نتایج گزارش شده از محوطه ها و منابع شاخص از کشورهای ترکیه، ارمنستان و منطقه قفقاز در شمال دریای ارمیه و شمال غرب ایران که تأمین کننده عمده سنگ ابسیدین در مناطق همجوار و یا دوردست خود بوده اند، مشخص است که ترکیبات ابسیدین های گروه اول تل خاری با نمونه هایی از معدن بینگول A از آناتولی، و ابسیدین های گروه دوم تل خاری نیز با نمونه هایی از معادن نیزی داغ، پاسینلر و میدان در آناتولی مرکزی و شرقی هم پوشانی دارند. در خاور نزدیک به غیر از منابع شناخته شده آناتولی و قفقاز، در سال های اخیر دو پژوهش جدید بر روی معادن ابسیدین مناطق دیگر نیز صورت گرفته است. یکی از آن ها مربوط به شمال غرب ایران [24] و

آزمایش‌ها نشان می‌دهند که منشأ اِیسیدین آن‌ها، فقط آناتولی بوده است.

مسافت مستقیم هوایی محوطه تل خاری (در شرق فارس) تا منابع معدنی میدان‌داغ حدود ۱۳۵۰ کیلومتر، پاسینلر ۱۵۰۰ کیلومتر، بینگول ۱۵۰۰ کیلومتر و نزی-داغ ۱۹۴۰ کیلومتر است. پیش از استقرار در تل خاری، شواهدی از مواد و مصنوعات اِیسیدین در دورهٔ نوسنگی تا دورترین فواصل فلات ایران در جنوب کرمان مانند تپه گاوکشی اسفندقه [49] و تا شمال شرق مانند سنگ‌چخماق [33] شناسایی شده بود که به احتمال زیاد منشأ آن‌ها به منابع آناتولی برمی‌گردد. به این ترتیب می‌توان سابقهٔ مبادله و جابه‌جایی این کالای باارزش را دست‌کم تا مسافت ۴۰۰ کیلومتر دورتر و ۲۵۰۰ سال قدیمی‌تر از تل خاری منسوب دانست.

در دورهٔ نوسنگی هنوز مبادلات تجاری پیشرفته صورت نگرفته بود، ولی ما به خوبی می‌دانیم که پس از این، با افزایش جمعیت روستاها در دورهٔ مس‌سنگی و رشد جوامع طبقاتی، خان‌سالارهایی پدیدار شدند که نقش عمده‌ای در شکل‌گیری شبکه‌های تجاری و مبادلاتی منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای داشته‌اند. در این دوره، شیوه‌های مختلف دادوستد شامل تجارت مستقیم، تجارت توزیع محلی، تجارت سازمان یافته درون منطقه‌ای و تجارت سازمان یافته فرامنطقه‌ای رواج یافته بود [50]. به نظر می‌رسد انتقال مواد اِیسیدین به محوطهٔ تل خاری، چه به صورت خام و یا فرآورده تولیدی ابزار سنگی، به هر شیوهٔ دادوستدی که رایج بوده، زیر نظر خان‌سالاری صورت می‌گرفته که مدارک حضور چنین فرد و یا طبقه اجتماعی با اتکا به فن مدیریت اداری (مهرها و اثرمهرها) در این محوطه به دست آمده است. از جانب دیگر، حجم نسبتاً زیاد این مصنوعات نیز اهمیت محوطه تل خاری را افزایش می‌دهد. بنابراین در آینده می‌توان با تداوم کاوش‌های باستان‌شناسی در این محوطه، آگاهی بیشتری نسبت به ماهیت فعالیت توزیعی ساکنان این محل کسب کرد.

دیگری، منطقهٔ دریای سرخ و ارتفاعات یمن [45] است. پژوهش صورت گرفته در شمال غرب ایران، شامل ۱۰ نمونه اِیسیدین از معادن تجرق میانه و قزلچه شهریار بستان‌آباد است که با روش آنالیز XRF آزمایش شده و در نتیجه در سه گروه عمده (تجرق A و B و قزلچه) قابل شناسایی و تفکیک شده است [24]. با وجود این، هنوز نتایج این بررسی‌ها خام و مقدماتی است و لازم است برای اطمینان از استخراج و کاربری این معادن، دست‌کم چند نمونه از ابزارهای اِیسیدین محوطه‌های باستانی مجاور این معادن در شمال غرب ایران آنالیز شوند.

اگرچه پیش‌تر، مطالعاتی دربارهٔ معادن یمن و حوضهٔ دریای سرخ صورت گرفته و به استفادهٔ محدود این منابع اشاره شده بود [46]، ولی مطالعات ژئوشیمی اخیر نشان داده که این معادن احتمالاً یکی از منابع مهم تأمین سنگ اِیسیدین به نقاط دوردست نظیر محوطه‌های دوران نوسنگی و مس‌سنگی (هزاره‌های ششم تا چهارم پ.م) منطقه خلیج فارس و عمان بوده‌اند [47]. می‌توان تصور کرد که در دوران پیش از تاریخ، ساکنان این مناطق از طریق نوار ساحلی می‌توانسته‌اند باهم ارتباط و مبادله داشته باشند؛ با وجود این به نظر می‌رسد که این معادن فاصله بسیار طولانی و مسیر صعب‌العبوری با محوطه‌های پیش از تاریخی داخل فلات ایران و به ویژه فارس داشته‌اند و هنوز دریانوردی و کشتی‌رانی از طریق خلیج فارس نیز امکان‌پذیر نبوده است. وانگهی، خالدی که پیش از این چنین نظری داده، در سال ۲۰۱۶ میلادی همراه با همکاران، مقاله‌ای جامع دربارهٔ توسعهٔ شبکه‌های ارتباطی تجارت و استخراج اِیسیدین از منابع آناتولی به محوطه‌های دوران عیبد (هزاره هفتم تا پنجم پ.م) با تمرکز بر ۱۲ محوطه دارای اِیسیدین در سوریه، بین‌النهرین و کرانه‌های خلیج فارس ارائه داده است [48]. چنانکه سه مورد از این ۱۲ محوطه، یعنی وادی الضبیعان (قطر)، دوساریه (شرق عربستان) و الصبیه (کویت) در نوار ساحلی خلیج فارس قرار دارند و

References

- [1] Chataigner C. Sources des artefacts du Proche Orient d'apres leur caracterisation gochimique. In Cauvin M C. Gourgaud A. Gratuze B. et al (Eds.), L'obsidienne au Proche et Moyen Orient. Du Volcan l'outil, Oxford BAR, Vol. 738. 1998. pp: 273-324
- [2] Glascock Michael D. Geoffrey Braswell. Robert H Cobean. A Systematic Approach to Obsidian Source Characterization, In book: Archaeological Obsidian Studies Publisher: Plenum Press. 1998
- [3] Renfrew Colin. Dixon J E. Cann J R. Obsidian and Early Culture Contact in the Near East. Proceedings of the Prehistoric Society 32. 1966; pp: 30-72.
- [4] Renfrew Colin. Dixon J E. Cann J R. Further Analysis of Near Eastern Obsidian. Proceedings of the Prehistoric Society 34. 1968; pp. 319-331
- [5] de Morgan J J. Prehistoric Orientale III. Geuthner.Paris.1927
- [6] Frahm E. The Bronze-Age Obsidian Industry at Tell Mozan (Ancient Ur, kesh, Syria).Ph.D. disserration. Department of Anthropology.University of Minnesota.2010
- [7] Wright G. A. Obsidian Analyses and Pre- historic Near Eastern Trade: 7500 to 3500 B. C Anthropological Papers, Museum of Anthropology. University of Michigan 37. 1969.
- [8] Wright G. Gordus A. Distribution and Utilization of Obsidian from Lake Van Sources between 7500 and 3500 BC. American Journal of Archaeology.1969; 73 (I).pp:75-77.
- [9] Hodder I. Orton C. Spatial Analysis in Archaeology. New Studies in Archaeology. Cambridge University Press. 1976.
- [10] Renfrew C. The Sources and Supply of the Deh Luran Obsidian. In: Hole F. Flannery K Neely J A. Prehistory and Human Ecology of the Deh Luran Plain. Memoir 1. Ann Arbor. University of Michigan Museum of Anthropology. 1969.
- [11] Renfrew C. The Later Obsidian of Deh Luran: The Evidence of Chogha Sefid. In: Hole F. Studies in the Archaeological History of the Deh Luran Plain: The Excavation of Chogha; Sefid;1977. pp: 289-311.
- [12] Mahdavi A. Bovington C. Neutron activation analysis of some obsidian samples from geological and archaeological sites. Iran. Jan 1; 1972. pp: 148-51.
- [13] Blackman M. Provenance Studies of Middle Eastern Obsidian from Sites in Highland Iran. Lambert J. B. (Ed.), Archaeological Chemistry III; 1984. pp: 19-50
- [14] Farshi Jalali F. provenancing study Obsidian artefacts in Aslandooz Tepe on PIXE Method, M.Sc. Thesis, Faculty of Literature and Humanities, University of Tehran. Unpublished.2005.[in Persian]
 [فرشی جلالی فاطمه. منشایی دست ساخته های ابسیدینی نادرته سی اصلاندوز براساس روش PIXE، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران. ۱۳۸۴ منتشر نشده.]
- [15] Lamei Rashti M. Farshi Jalali F. Agha Ali Gol D. et al. provenance study obsidian artefacts on Aslandooz Tepe on PIXE Method. Journal of Archeology; 2006. p:25-32[in Persian].
 [لامعی رشتی محمد. فرشی جلالی فاطمه. آقا علی گل داوود و همکاران، تعیین منشأ ابسیدین های نادر ته اصلاندوز با روش آنالیز پیکسی. مجله باستان شناسی. سال دوم، شماره ۳. بهار و تابستان ۱۳۸۵، ۲۵-۳۲]
- [16] Agha Aligol D. Lamehi Rachti M. M Oliaiy.et al.Characterization of Iranian Obsidian Artifacts by PIXE and Multivariate Statistical Analysis. Geoarchaeology; 2015.Vol. 30 (3): pp: 261-270
- [17] Khademi Nadooshan F. Colby Philip S. Safari M. WDXRF Spectroscopy of Obsidian Tools in the North-West of Iran. IAOS Bulletin; 2007. pp: 3-6.

- [18] Niknami K. Amirkhiz A. Glascock M. Provenance studies of Chalcolithic obsidian artefacts from near Lake Urmia, north western Iran using WDXRF analysis. *Archaeometry*; 2009. Vol.52. pp: 19-30
- [19] Ghorabi S. Glascock M D. Khademi F. Rezaie A. Feizkhah M. A Geochemical Investigation of Obsidian Aartifacts from Sites in North-Western Iran. *IAOS Bulletin*; 2008.39. pp: 7-10
- [20] Abedi A. Mohammadi V D. Steiniger D. Glascock Michael D. The provenance of Kul Tepe obsidian artifacts: Syunik and the highlands of Armenia as possible seasonal pastureland. *Journal of Archaeological Science: Reports*; 2018. Vol. 21. pp: 406-412
- [21] Abedi A. Varoutsikos B. Chataigner C. Provenance of obsidian artifacts from the Chalcolithic site of Dava Göz in NW IRAN using portable XRF, *Journal of Archaeological Science: Reports*; 2018.Vol. 20. pp: 756-767.
- [22] Binandeh A. Glascock Michael D. Oga A. Origin of obsidian tools from Ubaid and Rick Abad in Little Zab basin, Northwestern Iran. *Journal of Archaeological Science: Reports*; 2020.Vol. 32.
- [23] Abedi Akbar. Dibazar Mohammadi V. Steiniger D. Origin of obsidian tools of Jolfa Tepe; Zionic mine and Swan Lake basin summers, possible summer pastures of the people of Kol Tappeh. *Archaeological Research of Iran*; 1397. No. 16.Volume 8, pp: 123-144. [in Persian]
- [عابدی اکبر. دیباز محمدی وحیده. اشتاینیگر دانیل. منشأیابی ابزارهای ابسیدینی کول تپه‌ی جلفا؛ معدن سیونیک و ییلاقات حوضه‌ی دریاچه‌ی سوان، چراگاه تابستانی احتمالی مردمان کول تپه. پژوهش‌های باستان‌شناسی/ایران؛ ۱۳۹۷. شماره ۱۶. دوره هشتم. صص: ۱۲۳-۱۴۴.]
- [24] Abedi A. Bahrehmandi Pourfard R. Gravand A. Malekpour F. Razani M. Origin of obsidian tools of prehistoric sites in Khoy plain based on X-ray fluorescence analysis (XRF), Iranian archaeological research; 1398. No. 21. pp: 41-60. [In Persian]
- [عابدی اکبر، بهره‌مندی پورفرد رعنا، گراوند افراسیاب و همکاران. منشأیابی ابزارهای ابسیدینی محوطه‌های پیش از تاریخ دشت خوی براساس آنالیز فلورسانس اشعه ایکس (XRF)، پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران: ۱۳۹۸ شماره ۲۱، دوره نهم، صص: ۴۱-۶۰]
- [25] Alizadeh Abbas. Review and Synthesis of the Neolithic Cultural Development in Fars, Southern Iran. *Journal of Neolithic Archaeology*; 2021; Vol. 23. pp: 1-27.
- [26] Abe Masashi. Azizi Kharanaghi M H. A Study on the Early Pottery Neolithic Chipped Stone Assemblage from Rahamatabad, Azizi Kharanagh M H. Khanipour M. Naseri R. (eds). in *Proceedings of the International Congress of Young Archaeologists*. Tehran: University of Tehran Press; 2014.pp: 23-38.
- [27] Furuyama M. Chipped Scone Tool Types at Tall-i Mushki, Iran. *Bulletin of the Ancient Orient Museum*; 1983. 5: I. pp:09-119
- [28] Alden John R. Abdi K. Azadi A.et al. Kushk-e Hezar: A Mushki/Jari Period Site in the Kur River Basin, Fars, Iran. Iran; 2004. 42. pp: 25-45
- [29] Khanipour M. Niknami K. Hormangan Neolithic settlement in Bavanat river basin. *Archaeological Research of Iran*; 1397. Vol 8, pp: 27-46 [In Persian]
- [خانی پور مرتضی. نیکنامی کمال الدین. محوطه هُرمَنگان استقرارِی از دوره نوسنگی در حوضه رودخانه بوانات. پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران (نامه باستان‌شناسی) زمستان ۱۳۹۷. دوره ۸. شماره ۱۹. صص ۴۶-۲۷]
- [30] Alizadeh A. The Origins of State Organizations in Prehistoric Highland Fars, Southern Iran: Excavations at Tall-e Bakun. *Oriental Institute Publications*; 2006. Vol 128.
- [31] Stein M A. *Archaeological Reconnaissance in Northwestern India and Southeastern Iran*. London: Macmillan; 1937.pp:216

- [32] Goff Clare. Excavations at Tall-i Nokhodi. Iran; 1963. Vol.1. pp: 43-70.
- [33] Abdi Kamyar. Obsidian in Iran from the Epi-Paleolithic Period to the Bronze Age; 2004; pp: 148-153.
- [34] Blackman M J. Badalyan R. Kikodze Z. Kohl P L. Chemical Characterization of Caucasian Obsidian Geological Sources. In Cauvin M C. Gourgaud A. Gratuze B. Arnaud N. Poupeau G. Poidevin J L. and Chataigner C. (Eds.), *L'obsidienne au Proche et Moyen-Orient: Du Volcan à l'Outil*; 1998; pp: 205-231.
- [35] Sven A E. Johansson J L C. PIXE: a novel technique for elemental analysis; 1988: Wiley
- [36] Demortier G. Ion Beam Techniques for the Non-destructive Analysis of Archaeological Materials, in *X-rays for Archaeology*. Uda M. Demortier G. Nakai I. (Eds); 2005. pp: 67-100.
- [37] Vicenzi E P. et al. Microbeam Characterization of Corning Archeological Reference Glasses: New Additions to the Smithsonian Microbeam Standard Collection. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*; 2002.107(6): pp: 719-727
- [38] Robin A K. Mouralis D. Akköprü E. et al, Identification and characterization of two new obsidian sub-sources in the Nemrut volcano (Eastern Anatolia, Turkey): The Sıcaksu and Kayacık obsidian. *Journal of Archaeological Science: Reports*; 2016. Vol. 9. pp: 705-717.
- [39] Negash A. Shackley M S. Geochemical provenance of obsidian artefacts from the msa site of porc epic, Ethiopia. *Archaeometry*; 2006. Vol. 48. pp: 1-12.
- [40] Negash A. Alene M. Brown F H. et al, Geochemical sources for the terminal Pleistocene/early Holocene obsidian artifacts of the site of Beseka, central Ethiopia, *Journal of Archaeological Science*; 2007. Vol. 34, pp: 1205-1210.
- [41] Vidal-Solano J R. Gómez-Valencia A M. Hinojo-Hinojo A. et al, Geochemistry and geological control of Sonora obsidian: New insights into the provenance study of archaeological obsidians in Mexico, *Journal of South American Earth Sciences*; 2020. Vol. 104
- [42] Frahm E. Distinguishing Nemrut Dağ and Bingöl A obsidians: geochemical and landscape differences and the archaeological implications, *Journal of Archaeological Science*; 2012. Vol. 39. pp: 1436-1444.
- [43] Frahm E. Tryon C A. Origins of Epipalaeolithic obsidian artifacts from Garrod's excavations at Zarzi cave in the Zagros foothills of Iraq. *Journal of Archaeological Science: Reports*; 2018. Vol. 21. pp: 472-485.
- [44] Poidevin J L. Les gisement d'obsidienne de Turquie et de Transcaucasie: géologie, géochimie et chronométrie. In Cauvin M C. Gourgaud A. Gratuze B. Arnaud N. Poupeau G Poidevin. J -L. Chataigner C (Eds). *L'Obsidienne au Proche et Moyen Orient, du Volcan à l'Outil*; 1998. pp: 105-203.
- [45] Khalidi L. New archaeological fieldwork at the site of Masna'at Maryah, Dhamar province: recent results from the 2006 and 2009 seasons. *iklil sanaa*; 2010. sous presse.
- [46] Francaviglia V M. Obsidian sources in Ancient Yemen. In: De Maigret A. (Ed.), *The Bronze Age Culture of Khawlan at-Tiyal and al-Hada (Yemen Arab Republic)*. ISMEO, Roma; 1990. vol. XXIV.
- [47] Khalidi L. Clive O. Bernard G. et al, Obsidian sources in highland Yemen and their relevance to archaeological research in the Red Sea region, *Journal of Archaeological Science* 37; 2010. pp: 2332-2345
- [48] Khalidi L. et al. The growth of early social networks: New geochemical results of obsidian from the Ubaid to Chalcolithic Period in Syria, Iraq and the Gulf. *Journal of Archaeological Reports* 9; 2016 pp: 743-757
- [49] Alidadi Soleimani N. Fazeli Nashli H. Chronology of the Neolithic period in Kerman based on archaeological excavations of Esfandghah-Jiroft

Gavokshi. Archaeological research; 1397. pp: 61-79. [In Persian]

[علیدادی سلیمانی، نادر. فاضلی نشلی حسن.

گاهنگاری دوره نوسنگی کرمان براساس کاوش-

های باستان‌شناختی تپه گاوکشی اسفندقه-

جیرفت، پژوهش باستان‌سنجی، ۱۳۹۷، سال چهارم،

شماره دوم، صص: ۶۱-۷۹.]

- [50] Beale T W. Early trade in highland Iran: a view from a source area. World Archaeology; Vol. 5; 1973. pp: 133-148.