



Petrographic and X-Ray Fluorescence Spectroscopy Methods for the study of Beveled Rim Bowls from Kaleh Kub

Nazli Darkhal¹, Mohammad Hossein Azizi Kharanaghi², Yasin Sedghi³, Seyed Iraj Beheshti⁴

1. Conservation and Restoration Research Institute, Institute of Cultural Heritage and Tourism, Tehran, Iran.

Email: reccr@richt.ir

2. Assistant Professor, Iranian Center for Archaeological Research (ICAR), Institute of Cultural Heritage and Tourism, Tehran, Iran.

(Corresponding Author) **Email:** m.azizi@richt.ir

3. Ph.D. Student in Conservation and Restoration of Historical and Cultural Objects, Tehran University of Art, Tehran, Iran.

Email: Sedghi.yasin@gmail.com

4. Conservation and Restoration Research Institute, Institute of Cultural Heritage and Tourism, Tehran, Iran.

Email: beheshti_i@yahoo.com

Article Info	Abstract
Pp: 105-127	Kaleh Kub, an ancient site located in the Sarayan district of eastern Iran's South Khorasan province has been excavated since 2018, revealing evidence of Beveled Rim Bowls and other diagnostic pottery types attributed to the 4th millennium BCE. Kaleh Kub has a long sequence divided into four different periods, with cultural deposits attributed to the period of early urbanization, notably from the second period of this site, known as the cultural horizon of Susa II. Kaleh Kub is the easternmost site on the Iranian plateau where Beveled Rim Bowls have been found. Given the site's importance in recognizing the distribution of this pottery type, this paper aims to structurally analyze clay samples and compare them with three sites index sites with similar technology: Chogha Mish, Abu Fandova, and Tall-e Iblis. The analysis found that while the construction technique of the pottery samples followed a similar pattern, their constituent structure was not similar, indicating different origins of construction materials. This suggests local production of Beveled Rim Bowls pottery at the Kaleh Kub site.
Article Type: Research Article	
Article History:	
Received: 17 January 2024	
Revised form: 01 March 2024	
Accepted: 03 April 2024	
Published online: 22 May 2025	
Keywords: Kaleh Kub, Tall-e Iblis, Chogha Mish, Abu Fandova, Petrography, XRF.	

Cite this The Author(s): Darkhal, N., Azizi Kharanaghi, M. H., Sedghi, Y. & Beheshti, S. I., (2025). "Petrographic and X-Ray Fluorescence Spectroscopy Methods for the study of Beveled Rim Bowls from Kaleh Kub". *Journal of Archaeological Studies*, 17(1: 36): 105-127.

<https://doi.org/10.22059/jarcs.2024.371275.143247>



Published by: University of Tehran Press.

Homepage of this Article: https://jarcs.ut.ac.ir/article_96490.html?lang=en

1. Introduction

Beveled Rim Bowls are handmade pottery vessels known for their rough, upturned rims, porous outer surfaces, and smoother inner surfaces shaped by damp hands. These bowls have been found in Mesopotamia, Iran, and parts of Pakistan, with numerous discoveries across various regions of the Iranian plateau. The Kaleh Kub site in eastern Iran is a significant prehistoric location where these bowls have been identified, dating from the 5th to the 2nd millennium BC. Archaeological layers from the 4th millennium BCE at Kaleh Kub contain various pottery types, including Beveled Rim Bowls, indicating potential local production.

The site's archaeological studies suggest that the importation of these potsherds is unlikely due to its distance from similar cultural sites, such as the Pishva Pottery Mound and Mahtoot Abad. The presence of numerous Beveled Rim Bowls strengthens the hypothesis of local craftsmanship. Stratigraphic evidence shows that these bowls are located beneath Bronze Age cultural deposits, with noticeable chronological gaps between the 5th and 4th millennia and those of the later Bronze Age cultures, as indicated by radiocarbon dating.

Excavations at Kaleh Kub in 2018 revealed findings similar in pottery type and manufacturing methods to those from Mesopotamia and the Susa Plain, despite the geographic distance. This similarity underscores the significance of local production practices in the region. Overall, the evidence from Kaleh Kub highlights the cultural and historical context of Beveled Rim Bowls within the broader framework of ancient pottery in the Iranian plateau.

2. Sites Studied

2-1. Kaleh Kub

The Kaleh Kub Aysk site is situated in the Sarayan District of South Khorasan Province, eastern Iran, at an elevation of 1,360 meters above sea level. The site is notable for the thickness of its cultural deposits, making it one of the few prehistoric sites in the province suitable for archaeological investigation (Fig. 1).

2-2. Chogha Mish

Chogha Mish is a prominent archaeological mound located in Khuzestan Province, flanked by the Dez and Karun rivers. The site features two ridges, with the taller ridge known as Tepe Boland, which rises about 27 meters above the plain. The shorter section, called the Terrace, stands approximately 9 to 10 meters high. Tepe Boland covers an area of 150 by 200 square meters, while the Terrace spans 300 by 400 square meters (Fig. 3).

2-3. Abu Fandova

Abu Fandova is located ca. 12 km south of Susa and consists of two main sections: a circular southern mound at about 80.75 meters elevation and a northern section with two shorter hills reaching approximately 75.30 meters. This site was surveyed by Robert McAdams in 1960-1961, who identified several cultural periods, including Middle Susa, Susa I, Susa II, Susa IV/D, and potentially the Kassite period (Adams, 1962).

2-4. Tall-e Iblis

Tall-e Iblis is located in the Bardsir Plain, about 80 km from Kerman, and covers over one hectare, measuring 120 by 100 meters. Initially described by Sir Aurel Stein in 1937, a photograph from 1932 shows that the site reached over 10 meters in height. In 1964, Joseph Caldwell identified six cultural periods at Tall-e Iblis, categorized based on pottery changes, labeled from 1 to 6 (Caldwell, 1967).

3. Laboratory Methods

A James Swift polarizing binocular microscope was employed for the microscopic analysis of the pottery samples. The magnification used in this study was set at 4x. For petrographic analysis, thin sections with a thickness of 30 microns were prepared for 25 pottery samples, which were subsequently examined using the James Swift polarizing microscope. All sections were prepared in the petrography laboratory of the Conservation and Restoration Research Institute.

4. Discussion, Petrographic Study

Quartz: Quartz is present in all examined samples and occurs in two forms: phenocrysts and polycrystalline, exhibiting angular margins within the clay matrix of the pottery. The abundance of quartz varies across the samples; in those from Kale Kub, it constitutes approximately 20-30% of the sample volume, while at Tall-e Iblis, it accounts for about 10%. In the two samples from Abu Fandova and Chogha Mish, quartz makes up 2-5% of the sample volume.

Calcite: Calcite is observed in the samples in two forms: micrite (fine crystal) and sparite (coarse crystal). Given the geological structure of the three study areas, calcite is present in primary sources across all locations. The absence of calcite in some samples can be attributed to the high firing temperatures of the pottery. An important aspect of evaluating the firing temperature of pottery is the presence of calcite and carbonate-based minerals in the clay paste, either as temper or as separate inclusions. Calcite serves as a significant thermal indicator; it and other carbonate compounds decompose at temperatures around 800 degrees Celsius. Notably, calcite is absent in Sample 11, suggesting that its firing temperature exceeded 800 degrees Celsius. In contrast, calcite is observed as separate inclusions in the paste of other samples, indicating that their firing temperatures were below 800 degrees Celsius. In samples K-10, T-20, CH-21, and AB-22, the calcite present in the paste is predominantly of the coarse-crystalline or sparite type.

4-2. Chemical Study

X-ray fluorescence (XRF) analysis of pottery samples from the Kale Kub site and others revealed various oxide compounds, including sodium oxide (Na_2O), magnesium oxide (MgO), aluminum oxide (Al_2O_3), silicon oxide (SiO_2), and several others. The analysis included samples from Kale Kub, Tell Iblis, Chogha Mish, and Abu Fandova, as well as soil from Kale Kub, with results expressed in weight percent (wt%) of oxide compounds.

The chemical analysis of Beveled Rim Bowls from Kale Kub showed a high concentration of silicon oxide, ranging from 54.7% to 64.4%. For pottery from Tell Iblis, the silicon oxide content

was 58%, while it was 37% for Choghamish and 39.2% for Abu Fandova. The soil from Kale Kub contained 54.2% silicon oxide.

5. Discussion of the Results

The studied pottery primarily consists of quartz, identified through petrographic analyses. Quartz exists in two forms: single crystals, which is more common, and polycrystalline. Its varying content ranges from 3% to 10% in Kaleh Kub pottery, about 10% in Tell Iblis, and 2% to 5% in Chogha Mish and Abu Fandova. The angular edges of quartz fragments suggest they were added secondarily, indicating mining and grinding activities. The polycrystalline quartz points to granitic and metamorphic origins, implying the use of locally sourced soils. Some samples also show a coarse-grained texture, with calcite minerals present in both primary and secondary forms.

6. Conclusion

In comparative technological studies of ancient ceramics, chemical and mineralogical analyses provide crucial insights into the elemental compositions and minerals used in these artifacts. To trace clay origins, mineralogical comparisons with reference materials are essential. This study reveals that microscopic and chemical analyses, along with macroscopic examinations, show minimal variation in the Beveled Rim Bowls from the Kaleh Kub site in terms of composition and manufacturing techniques. Ancient potters likely employed similar methods and a limited range of raw materials. The potsherds from Tall-e Iblis, Chogha Mish, and Abu Fandova are entirely handmade and exhibit a similar manufacturing pattern, but their raw materials differ from those at Kaleh Kub. Thus, while the same technology and traditions were used, the origins of the potsherds suggest distinct regional affiliations.

Acknowledgments

The authors extend their sincere gratitude to the anonymous peer reviewers for their insightful critiques and constructive suggestions, which significantly enhanced the clarity and scholarly rigor of this manuscript.

Observation Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the paper. All of the Authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

مطالعه سفال‌های لبه واریخته محوطه کله‌کوب آیسک سرایان با استفاده از روش‌های پتروگرافی و طیف‌سنجی فلورسانس پرتوی ایکس

نازلی دارخال^۱، محمدحسین عزیزی خرنقی^۲، یاسین صدقی^۳، سید ایرج بهشتی^۴

۱. پژوهشکده حفاظت و مرمت، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران. رایانامه: reccr@richt.ir
۲. استادیار گروه باستان‌شناسی، پژوهشکده باستان‌شناسی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: m.azizi@richt.ir
۳. دانشجوی دکتری حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، گروه حفاظت آثار تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر، تهران، ایران. رایانامه: Sedghi.yasin@gmail.com
۴. پژوهشکده حفاظت و مرمت، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران. رایانامه: beheshti_i@yahoo.com

چکیده	تاریخچه مقاله
آثار سفالین، از ده‌ها هزار سال پیش به وسیله بسیاری از تمدن‌های باستانی تولید می‌شوند که به دلیل مواد اولیه و فناوری آن‌ها در طول تاریخ همواره بخش مهمی از فرهنگ و زندگی انسان‌ها بوده‌اند. کله‌کوب محوطه‌ای است در شرق ایران، استان خراسان جنوبی و شهرستان سرایان و طی کاوش‌هایی که در سال ۱۳۹۷ ه.ش. در این محوطه صورت گرفت، در دو کارگاه لایه‌نگاری حجم زیادی از کاسه لبه‌واریخته به همراه دیگر گونه‌های سفالی مربوط به هزاره چهارم پیش از میلاد که در جنوب غرب شناخته شده هستند، در دوره دوم این محوطه که با عنوان کله‌کوب II معرفی می‌شود، به دست آمد. این محوطه تاکنون شرقی‌ترین محوطه در فلات ایران است که کاسه لبه‌واریخته در مجموعه یافته‌های آن دیده شده است. باتوجه به اهمیت محوطه کله‌کوب در شناخت حوزه پراکنش این گونه سفالی، در این پژوهش سعی بر آن است با استفاده از روش‌های هدفمند آنالیزی و آزمایشگاهی میان‌رشته‌ای همانند پتروگرافی مقاطع نازک و آنالیز طیف‌سنج فلورسانس پرتوی ایکس (XRF) به بررسی ساختاری نمونه‌های این منطقه و مقایسه تطبیقی با سه محوطه چغامیش، ابوندوا و تل ابلیس که دارای فناوری مشابه هستند، پرداخت. با تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده مشخص شد که نمونه سفال‌های مورد مطالعه از نظر تکنیک از یک الگو در ساخت پیروی می‌کنند؛ ولی ساختار تشکیل دهنده آن، شبیه به هم نبوده و منشأ ساخت آن‌ها متفاوت است، به طوری که نوع ماده اولیه در ساخت سفال‌های محوطه‌های فوق با کله‌کوب متفاوت بوده است.	صص: ۱۲۷-۱۰۵ نوع مقاله: پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱

کلیدواژگان:

محوطه کله‌کوب، تل ابلیس، چغامیش، ابوندوا، مطالعه باستان‌سنجی، پتروگرافی، XRF.

ارجاع به مقاله: دارخال، نازلی؛ عزیزی خرنقی، محمدحسین؛ صدقی، یاسین؛ و بهشتی، سید ایرج، (۱۴۰۴). «مطالعه سفال‌های لبه واریخته محوطه کله‌کوب آیسک سرایان با استفاده از روش‌های پتروگرافی و طیف‌سنجی فلورسانس پرتوی ایکس». مطالعات باستان‌شناسی، ۱۷(۱): ۱۰۵-۱۲۷.

<https://doi.org/10.22059/jarcs.2024.371275.143247>



Published by: University of Tehran Press.

صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: https://jarcs.ut.ac.ir/article_96490.html

۱. مقدمه

کاسه لبه‌واریکه، ظرفی دست‌ساز، خشن و با لبه‌های به بیرون برگشته است که اغلب سطح بیرونی آن متخلخل و سطح داخلی آن به کمک دست مرطوب تاحدی صاف شده است. کاسه لبه‌واریکه از بین‌النهرین، ایران و مناطق محدودی در پاکستان شناسایی شده است. این‌گونه سفالی از محوطه‌های متعددی از جنوب غرب تا جنوب شرق، مرکز و غرب فلات ایران به دست آمده است. محوطه کله‌کوب یکی از محوطه‌های پیش‌اتاریخی شرق ایران است که این‌گونه سفالی، در آن شناسایی گردید. این محوطه دارای توالی لایه‌نگاری از هزاره پنجم تا دوم پیش‌ازمیلاد است، لایه‌های معرف فرهنگ‌های هزاره چهارم پیش‌ازمیلاد در این محوطه شامل انباشتی از گونه‌های مختلف سفال‌های شاخص این دوره، شامل کاسه لبه‌واریکه، سینی بانثی، سفال‌های لوله‌آوروکی و دسته دماغی هستند که در میان آن‌ها سفال‌هایی که به علت حرارت زیاد به رنگ سبز - خاکستری درآمده‌اند، دیده می‌شود (Azizi Kharanaghi et al., 2021). وجود چنین شواهدی نشان‌دهنده احتمال تولید محلی کاسه لبه‌واریکه در این محوطه است. با توجه به مطالعات باستان‌شناختی صورت‌گرفته در این محوطه و فاصله آن با محوطه‌های مشابه به مواد فرهنگی قابل‌مقایسه نزدیک‌ترین محوطه در فلات مرکزی ایران تپه سفالین پیشوا (حصاری، ۱۳۹۲) و محوطه‌آباد در جیرفت است (Desset et al., 2013) و انبوه یافته‌های سفالی این‌چنینی، وارداتی بودن این سفال‌ها دور از ذهن و شواهد متعدد باستان‌شناختی، احتمال تولید محلی آن‌ها را تقویت کرده است. لایه‌های حاوی سفال‌های لبه‌واریکه در زیرنهشته‌های فرهنگی عصر مفرغ و هزاره دوم پیش‌ازمیلاد قرار گرفته است. در لایه‌نگاری کله‌کوب، تداوم فرهنگی میان دوره‌های مختلف دیده نمی‌شود. بین فرهنگ‌های هزاره پنجم و چهارم و فرهنگ‌های آغازشهرنشینی با دوره متأخرتر عصر مفرغ در هزاره دوم پیش‌ازمیلاد، وقفه‌های زمانی براساس نتایج مطالعات تاریخ‌گذاری مطلق به روش کربن ۱۴، دیده می‌شود. متأسفانه لایه‌های سطحی محوطه نیز کاملاً تخریب و تسطیح شده است. یافته‌های حاصل فصل اول کاوش محوطه کله‌کوب در سال ۱۳۹۷ (عزیزی‌خرانقی و همکاران، ۱۳۹۷)، با وجود فاصله بسیار زیاد با محوطه‌های کاوش شده مشابه در بین‌النهرین و دشت شوشان، شباهت بسیار زیادی از نظر نوع سفال و شیوه ساخت با نمونه‌هایی شناخته شده از این مناطق دارند. به دلیل وجود اثر فشار انگشت بر روی اکثر لبه‌ها و همچنین بافت خشن سطح بیرونی در مقایسه با سطح داخل کاسه که با کشیدن دست صاف شده است، می‌توان نتیجه گرفت که اکثر این ظروف با ایجاد قالبی در زمین و شکل دادن گل با مشت در این قالب ایجاد شده‌اند. در این میان، تنها یک قطعه سفال به دست آمده است که به نظر می‌رسد دست‌ساز نیست. این سفال به فرم لبه‌واریکه و دارای رد چرخ بوده و ضخامت آن به نسبت دیگر نمونه‌ها بسیار کمتر است؛ همچنین سطح بیرونی سفال برخلاف دیگر نمونه‌های کله‌کوب با دست مرطوب صاف شده است.

۲. محوطه‌های مورد پژوهش در تحقیق

محوطه اصلی مورد پژوهش در این تحقیق کله‌کوب بوده است. چغامیش، ابوفندوا و تل ابلیس محوطه‌های منتخبی هستند که سفال‌های لبه‌واریکه آن‌ها نیز جهت اهداف پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۱. کله‌کوب

محوطه کله‌کوب آیسک، در شهرستان سرایان، استان خراسان جنوبی و در شرق ایران با مختصات جغرافیایی (3°52'56.97"N 53.20°85'21"E) ۱۳۶۰ متر از سطح آب‌های آزاد، قرار دارد (تصویر ۱). مطالعات پیش‌اتاریخ در مناطق شرقی ایران بسیار محدود بوده و تقریباً این‌گونه پژوهش‌ها در جنوب شرق و شمال شرق ایران متمرکز بوده و نواحی شرقی به دلیل شرایط خاص اقلیمی و بیابان‌های گسترده لوت و دشت کویر، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ هرچند در سالیان اخیر به همت کارشناسان اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و

گردشگری استان، تقریباً تمامی استان خراسان جنوبی مورد بررسی‌های باستان‌شناسی قرار گرفته؛ ولی تعداد آثار شناسایی شده مربوط به دوره پیش‌ازتاریخ بسیار اندک و مشکل دیگر درخصوص این محوطه‌ها این است که عموماً در معرض فرسایش شدید بادی یا تخریب عمدی انسانی قرار گرفته‌اند؛ تا جایی که شاید کله‌کوب یکی از محدود محوطه‌های پیش‌ازتاریخی این استان است که ضخامت نهشته‌های فرهنگی آن، امکان کاوش و مطالعه باستان‌شناختی را فراهم کرده است.

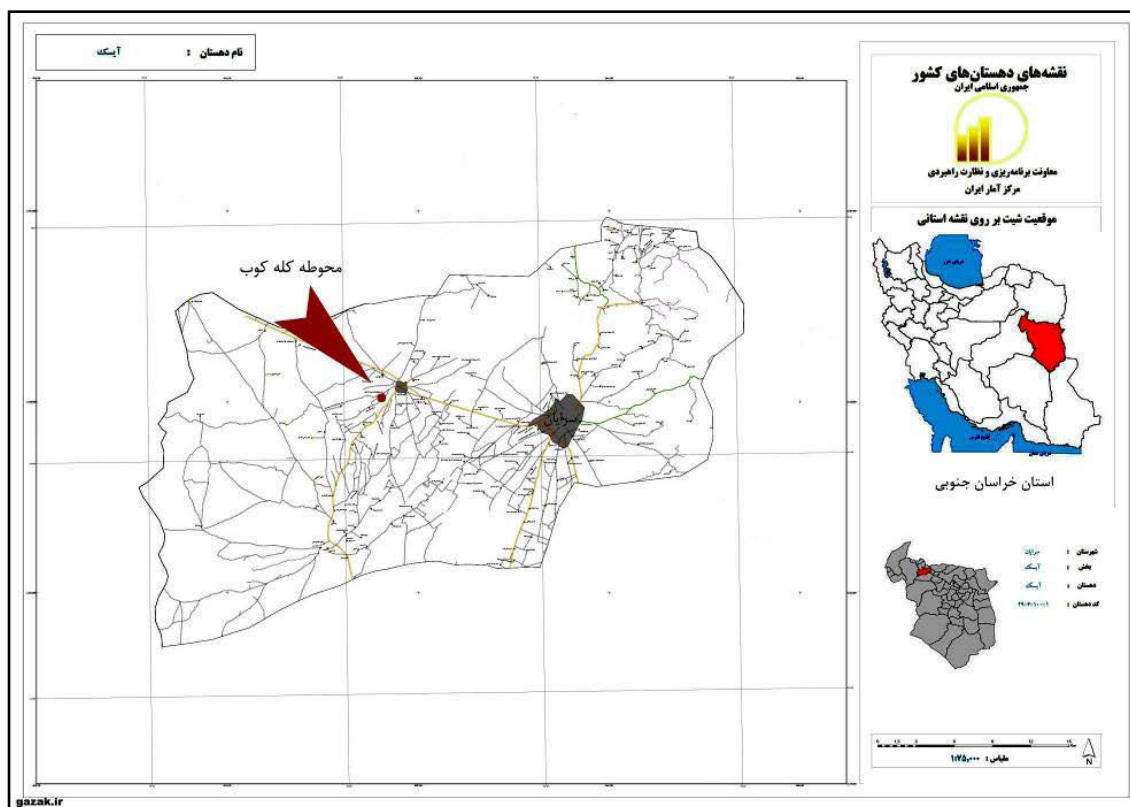
باتوجه به موقعیت مکانی کله‌کوب که بر لبه سه مخروط افکنه بسیار فعال قرار گرفته، نرخ رسوب‌گذاری در دشت بسیار بالاست و به همین دلیل بر روی محوطه بین یک تا یک و نیم متر لایه‌های رسوبی ریزدانه آبرفتی بسیار حاصلخیز قرار گرفته و این موضوع موجب جلب کشاورزان شده است. زمین‌های مرغوب کشاورزی و باغات آیسک در نواحی غربی و جنوب غربی شهر قرار گرفته‌اند. کشاورزی اصلی‌ترین شغل مردم این منطقه و در سالیان اخیر باتوجه به حفر چاه‌های عمیق متعدد، تقریباً تمام نواحی که خاک قابل کشاورزی داشته‌اند، به زیر کشت محصولاتی از قبیل گندم، زیره سبز و مخصوصاً زعفران و پسته رفته‌اند. محوطه کله‌کوب نیز در میان این مزارع و کشتزارها قرار گرفته و به همین دلیل توسط مالک به منظور ایجاد زمین کشاورزی قابل کشت؛ کاملاً تسطیح و به صورت دو سطح که از هم یک متر ارتفاع دارند؛ درآمده است. لایه‌های سطحی محوطه که احتمالاً متعلق به عصر آهن و مفرغ بوده به شدت تخریب و تقریباً از بین رفته است.

نخستین فعالیت‌های باستان‌شناسی در محوطه کله‌کوب در سال‌های ۱۳۸۷ (گمانه‌زنی به منظور تعیین عرصه و پیشنهاد حریم) و ۱۳۹۰ گمانه‌زنی به منظور لایه‌نگاری انجام گرفت (عنائی، ۱۳۹۱: ۱). مساحت کلی این محوطه براساس مطالعات مذکور؛ حدود هفت هکتار برآورد شده و در تاریخ ۱۳۸۷/۳/۷ به شماره ۲۳۰۵۵ در فهرست آثار ملی ایران به ثبت رسیده است (تصویر ۲). متأسفانه به دلیل عدم ارائه گزارش‌ها کاوش‌های صورت گرفته و انتشار نتایج آن و باتوجه به اهمیت محوطه در شناسایی فرهنگ‌های پیش‌ازتاریخ نواحی شرقی ایران، پروژه باستان‌شناسی پیش‌ازتاریخ شرق ایران، برای ادامه فعالیت‌های پژوهشی و باستان‌شناختی در محوطه کله‌کوب در سال ۱۳۹۷ با انجام کاوش لایه‌نگاری در دو گمانه ۲×۲ متر به منظور ارائه گاهنگاری نسبی و مطلق محوطه، صورت پذیرفت (عزیزی خرائقی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Azizi Kharanaghi et al., 2021). این کاوش‌ها در سال ۱۳۹۸ نیز پس از انجام مطالعات ژئوفیزیک و شناسایی محل‌های مناسب برای ادامه پژوهش و کاوش افقی گسترده، ادامه پیدا کرد. در فصل دوم چهار ترانشه C، D، E و F در مرکز و بخش‌های شمالی محوطه مورد کاوش قرار گرفت و بقایای معماری صنعتی و کارگاهی شناسایی شد (عزیزی خرائقی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Azizi Kharanaghi et al., 2022). در فصل دوم پژوهش در ترانشه E ساختار معماری شناسایی شد. براساس کاوش‌هایی که تاکنون در محوطه کله‌کوب انجام شده است، سه دوره فرهنگی مختلف براساس گاهنگاری نسبی براساس یافته‌های فرهنگی از کاوش لایه‌نگاری و تاریخ‌گذاری‌های مطلق به روش کربن ۱۴، ارائه شده که از قدیم به جدید به شرح زیر است.

کله‌کوب I (دوره مس‌وسنگ، هزاره پنجم پیش‌ازمیلاد)، کله‌کوب II (افق فرهنگی شوش II، فرهنگ‌های آغازشهرنشینی، هزاره چهارم پیش‌ازمیلاد) و کله‌کوب III (عصر مفرغ، هزاره‌های سوم و دوم پیش‌ازمیلاد) (Azizi Kharanaghi et al., 2021: 127)؛ لازم به توضیح است به دلیل تخریب گسترده لایه‌های فوقانی کله‌کوب، نهشته‌های فرهنگی دوره سوم یا دوره متأخر این محوطه به شدت آسیب دیده و جز چند نمونه زغال برای آزمایش کربن ۱۴ و قطعات سفالی خاکستری منسوب به این دوره، شواهد فرهنگی دیگری از جمله معماری، تاکنون شناسایی نشده است.

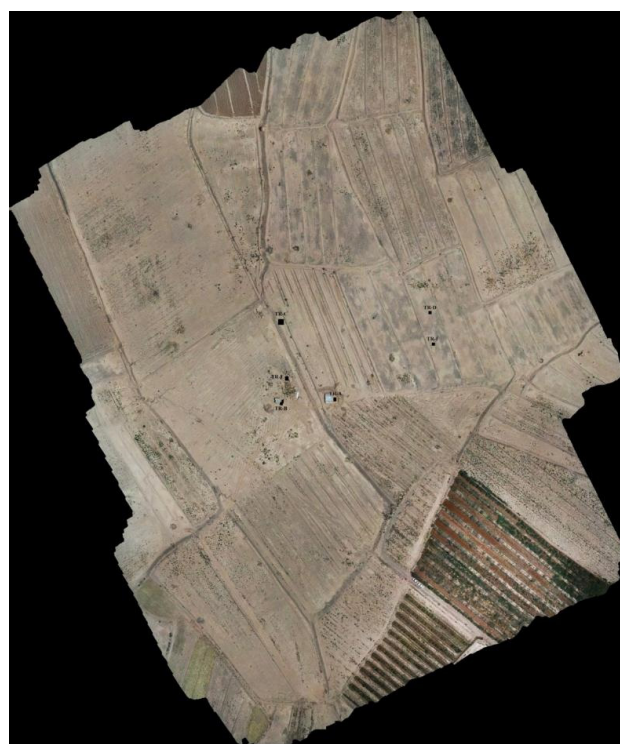
۲-۲. چغامیش

چغامیش تپه‌ای بزرگ در استان خوزستان، جنوب شهر دزفول و در دشتی که در رودخانه پر آب و دائمی دز و کارون در دو طرف آن جریان دارند، واقع شده است. چغامیش از دو برجستگی تشکیل شده که مرتفع‌ترین نقطه



تصویر ۱: موقعیت محوطه کله کوب در شهرستان سرايان، شهر آيسک (عزيزی خراانقی و همکاران، ۱۳۹۹).

Fig. 1: Location of the Kaleh Kub site in the Sarayan County, Ayask City (Azizi-Kharanqi *et al.*, 2020).



تصویر ۲: عکس هوایی محوطه کله کوب (عزيزی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۸).

Fig. 2: Aerial photo of the Kaleh Kub site (Azizi *et al.*, 2018: 18).

آن که تپه بلند نام‌گذاری شده که حدود ۲۷ متر از سطح دشت بالاتر قرار دارد. قسمت کوتاه‌تر که تراس نامیده می‌شود، ارتفاعی بین حدود ۹ الی ۱۰ متر از سطح دشت دارد. مساحت تپه بلند ۲۰۰×۱۵۰ مترمربع و مساحت تراس، ۴۰۰×۳۰۰ مترمربع است (تصویر ۳).

در سال ۱۳۳۹ ه.ش. «رابرت مک کور میک آدامز» به سفارش سازمان توسعه خوزستان، بررسی باستان‌شناسی خوزستان را انجام داد و درباره چغامیش نوشت که قطعات سفال مشهور به کاسه لبه‌واریخته بر سطح آن پراکنده است (Adams, 1962)؛ ولی کاوش‌های باستان‌شناسی از سال ۱۳۴۰ ه.ش. به سرپرستی دلوگاز و کنتور در چغامیش آغاز و تا ۱۳۵۵ ه.ش. ادامه یافت (Delougaz & Kantor, 1996). یکی از اهداف کاوش در چغامیش که موضوع این پژوهش نیز هست، روشن کردن وضعیت فرهنگی دوران آغازنگارش (هزاره چهارم پیش‌ازمیلاد) بود. اما در چغامیش تقریباً تمامی ادوار فرهنگی پیش‌ازتاریخ را که قبلاً در شوش و محوطه‌های باستانی منطقه شناسایی شده بود، در یک جا و با نظم و ترتیب مورد مطالعه قرار داد. علاوه بر این، مشخص شد که در چغامیش آثاری بس کهن‌تر از آن‌چه تا آن زمان شناسایی شده بود وجود دارد که برای آن دوره عنوان «سوزیانای عتیق» انتخاب شد. ضمناً مشخص شد که نتیجه کاوش در چغامیش می‌تواند اطلاعاتی در زمینه چگونگی ورود از دوره پیش‌ازتاریخ به دوره آغازنگارش نیز ارائه دهد. در چغامیش آثاری از هزاره ششم پیش‌ازمیلاد تا دوره هخامنشی، شناسایی شده است. در کل طی ۱۲ فصل (۱۳۴۰ تا ۱۳۵۵ ه.ش.) کاوش در چغامیش، ۹ گمانه و ۳۲ ترانشه ایجاد شد که در برخی کاوش تا خاک بکر، ادامه یافت (ملک‌شهمیرزادی، ۱۳۷۸).

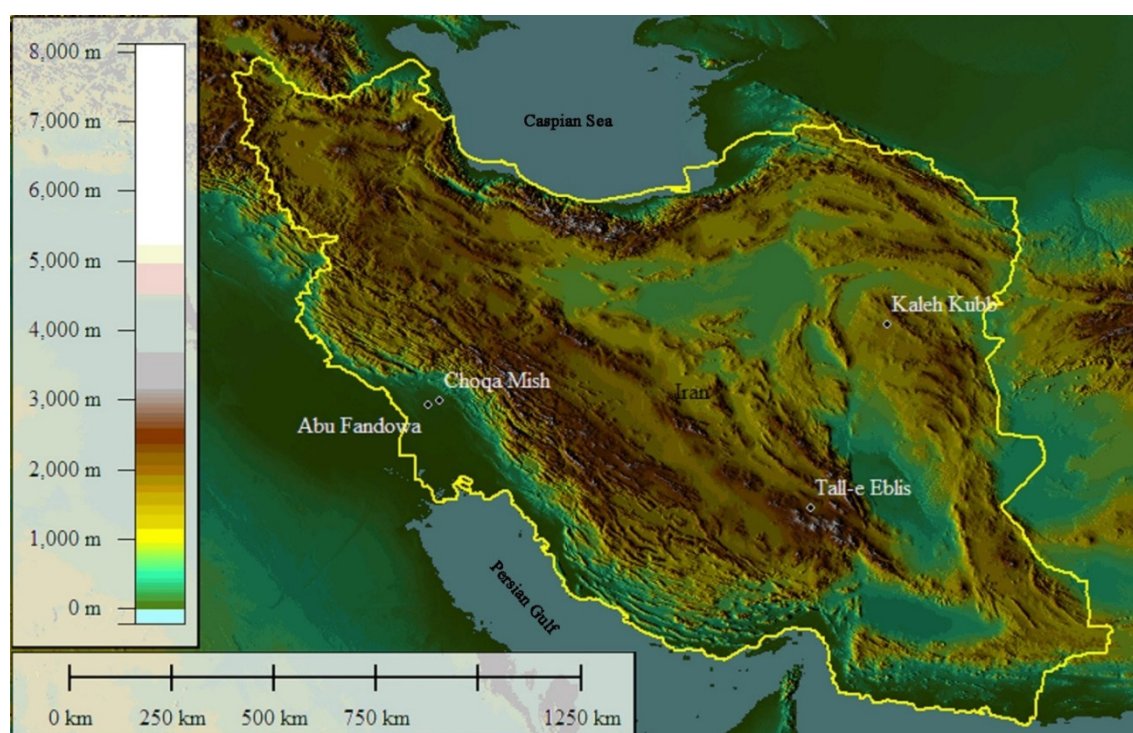
۲-۳. ابوفندوا

تپه باستانی ابوفندوا در فاصله‌ای حدود ۱۲ کیلومتری جنوب شهر شوش قرار دارد. این محل شامل دو بخش و شمالی است. تپه جنوبی دایره‌شکل و در ارتفاع حدود ۸۰.۷۵ متر از سطح دریا قرار دارد (تصویر ۳). بخش شمالی شامل دو تپه کوتاه در ارتفاعی حدود ۷۵.۳۰ متر از سطح دریا قرار دارد. این محوطه در بررسی‌های رابرت مک آدامز در سال‌های ۱۹۶۰-۱۹۶۱ م. ثبت شد. آدامز در بررسی خود در این محوطه، دوره‌های شوشان میانه، شوش I، شوش II، شوش IV/D، و ایسن - بابل قدیم و احتمالاً کاسی را شناسایی کرد (Adams, 1962)؛ اما در کاوش‌های باستان‌شناسی انجام شده در محوطه دوره‌های شوش IV، شوش D (سلسله‌های اولیه/اکد)، یافت نشد. بر مبنای شواهد سطحی، تپه جنوبی از حدود ۵۰۰۰ پ.م. در دوره شوشان جدید مسکون شده و تا دوره شوشان پایانی (حدود ۴۸۰۰-۳۹۰۰ پ.م.) ادامه یافت و وسعت محوطه در این دوران حداکثر ۱/۵ هکتار بوده است؛ اما این وسعت در نیمه دوم هزاره چهارم پیش‌ازمیلاد به حدود ۱۱ هکتار افزایش یافته است. ابوفندوا برای حدود ۱۰۰۰ سال متروک شده و دوباره در دوره سوکلماخ (۱۹۰۰-۱۵۰۰ پ.م.) مجدداً مسکونی شد. در دوره ایلام میانه (حدود ۱۳۰۰-۱۰۰۰ پ.م.) نیز سطح محوطه به عنوان گورستان، استفاده شده است. از لایه‌های سطحی محوطه، سفال‌های دوران ساسانی و اسلامی کشف شده است (Alizadeh, inpress).

۲-۴. تل ابلیس

تل ابلیس در دشت بردسیر در ۸۰ کیلومتری شهر کرمان واقع شده و وسعت آن اندکی بیش از یک هکتار و ابعاد آن ۱۰۰×۱۲۰ متر است (تصویر ۳). این محوطه برای نخستین بار توسط «سراورل استاین» (Stein, 1937) و تصویری که از آن مربوط به سال ۱۹۳۲ م. منتشر شده است، نشان می‌دهد که تل ابلیس بیش از ۱۰ متر ارتفاع داشته؛ که متأسفانه در اواسط قرن ۲۰ م. توسط کشاورزان تخریب شده و خاک آن منتقل شده است. در سال ۱۹۶۴ م. «جوزف کالدول» شش دوره فرهنگی را براساس تغییر سفال برای تل ابلیس تعریف کردند که از ۱ تا ۶ از قدیم به جدید نام‌گذاری کردند (Caldwell, 1967). از مهم‌ترین دستاوردهای پژوهش وی در این

محوطه تشخیص بوته‌های فلزگری در دوره‌های اول و دوم تل ابلیس است که قدیمی‌ترین مدارک استحصال مس به شمار می‌رود. «کالدول» در سال ۱۹۶۶ م. کاوش گسترده‌ای را هفت ترانشه بزرگ در تل ابلیس انجام داد. قدیمی‌ترین دوره شناسایی شده که با گونه سفالی لاله زار شناخته می‌شود، دوره ابلیس صفر نام‌گذاری شد که مربوط به دوره نوسنگی باسفال است. دوره مس‌وسنگ در تل ابلیس شامل دوره‌های ابلیس ۱ تا ۴ است (اسکندری، ۱۳۹۷). این محوطه به عنوان یکی از قدیمی‌ترین مراکز استحصال مس در دنیا شناخته می‌شود (Frame, 2004). براساس مطالعات آزمایشگاهی اخیر صورت‌گرفته در دانشگاه MIT آمریکا برروی بوته‌های فلزگری به دست آمده از تل ابلیس، مشخص شد که از دوره اول ابلیس یک فرآیند تحولی برای استحصال فلز مس با استفاده از بوته‌های فلزگری طی شده است و تا پایان دوره مس‌وسنگ ادامه داشته است (Ibid: 127). باتوجه به گاهنگاری جدید به دست آمده از دیگر نقاط جنوب شرق ایران، دوره اول ابلیس به اواخر هزاره ششم پیش از میلاد بازمی‌گردد. کاوش کالدول در ترانشه C منجر به پیدا شدن تعدادی کاسه لبه‌واریخته در کنار سفال‌های علی‌آباد گردید که به نظر می‌رسد استقرار مرتبط با جنوب غرب در هزاره چهارم پیش از میلاد در تل ابلیس وجود داشته است.



تصویر ۳: پراکندگی جغرافیایی محوطه‌های کله‌کوب، چغامیش، ابوفندوا و تل ابلیس در ایران.

Fig. 3: Geographic distribution of the Kaleh Kub, Chogamish, Abu Fandova, and Tall- Eblis sites in Iran.

۳. مواد و روش‌ها

۳-۱. سفال‌های مورد مطالعه

تعداد ۲۸ قطعه سفال شاخص فرهنگ‌های هزاره چهارم پیش از میلاد (آغاز شهرنشینی) از محوطه‌های شاخص این دوره از مناطق مختلف جغرافیایی شامل: کله‌کوب در شرق، ابلیس در جنوب شرق، چغامیش و ابوفندوا در جنوب غرب در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته است. این سفال‌های شامل قطعاتی از گونه‌های لبه‌واریخته، لوله‌های شاخص اوروکی و کاسه‌های ساده، بدون نقش و دارای پوشش رقیق هستند. همه این سفال‌ها دست‌ساز دارای طیف رنگی نخودی، قرمز و خاکستری، هستند.



تصویر ۴: نمونه سفال‌های مطالعه شده در این پژوهش، شماره‌های ۱ تا ۱۹ (محوطه کله کوب)، شماره‌های ۲۰ و ۲۸ (تل ابلیس)، شماره‌های ۲۱ و ۲۶ (چغامیش)، شماره‌های ۲۲ و ۲۷ (ابوفندوا).

Fig. 4: Samples of pottery studied in this paper: No. 1 to 19 (Kaleh Kub), No. 20 and 28 (Tell Iblis), No. 21 and 26 (Choghamish), No. 22 and 27 (Abu Fandova).

۳-۲. روش‌های آزمایشگاهی

برای مطالعه میکروسکوپی سفال‌ها از میکروسکوپ دو چشمی پلاریزان مدل James Swift استفاده گردید. بزرگنمایی به کار رفته در این مطالعه X4 است. برای انجام آنالیز پتروگرافی، از ۲۵ نمونه سفال مورد نظر مقطع نازک (thin section) با ضخامت ۳۰ میکرون تهیه و سپس نمونه‌ها با میکروسکوپ پلاریزان مدل James Swift بررسی و مطالعه شدند. تمامی این مقاطع در آزمایشگاه پتروگرافی پژوهشکده حفاظت و مرمت تهیه شده است.

دستگاه مورد استفاده در این روش از نوع طیف‌سنجی فلورسانس پرتوی ایکس مدل ۸۴۲۰ و کمپانی ARL است. برای نمونه‌های مجهول نیز از نرم‌افزار UniQuant استفاده شده است. جهت اندازه‌گیری افت حرارت (LOI)، نمونه‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. این آزمایش در آزمایشگاه XRF پژوهشکده حفاظت و مرمت انجام شده است.

۴. بحث در نتایج

۴-۱. مطالعه پتروگرافی

کوارتز: کانی کوارتز در همه نمونه‌های مطالعاتی دیده می‌شود. این کانی به دو فرم فنوکریست و پلی‌کریستال و با حاشیه زاویه دار در خمیره سفال‌های مطالعاتی وجود دارد. فراوانی این کانی متغیر بوده و در نمونه‌های مربوط به محوطه کله‌کوپ در حدود ۲۰-۳۰٪ حجم نمونه را تشکیل می‌دهد و در تل ابلیس ۱۰٪ و در دو نمونه ابوفندوا و چغامیش ۲-۵٪ حجم نمونه را تشکیل می‌دهد.

کلسیت: این کانی به دو فرم میکرایت (ریزبلور) و اسپارایت (درشت بلور)، در نمونه‌ها دیده می‌شود. باتوجه به ساختار زمین‌شناسی سه منطقه مورد مطالعه، کانی کلسیت در تمام این مناطق در منابع اولیه وجود دارد و نبود کلسیت در برخی نمونه‌ها به دلیل حرارت بالای پخت سفال‌ها بوده است. نکته حائز اهمیت، در مطالعه درجه حرارت پخت سفال، کانی کلسیت و کانی‌هایی با بنیان کربناته در ترکیب خمیره سفال و یا به صورت آمیزه و قطعات مجزا در خمیره سفال است. کانی کلسیت در مطالعه سفال از اهمیت بالایی برخوردار است. از این کانی به عنوان شاخص حرارتی استفاده می‌کنند. کانی کلسیت و دیگر ترکیبات کربناته در دمای حدود ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد در اثر حرارت از بین می‌روند. این کانی در نمونه‌های ۱۱ دیده نمی‌شود، که مشخص می‌کند، دمای پخت این نمونه بیش از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده است. در دیگر نمونه‌ها کانی کلسیت به صورت قطعات مجزا در خمیره مشاهده شده است، پس دمای پخت کمتر از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد دارند. نمونه‌های شماره CH-21, K-10, T-20 و AB-22 کلسیت موجود در خمیره بیشتر از نوع درشت بلور یا اسپارایتی است.

چهار نمونه مربوط به منطقه خوزستان (۲۱-۲۲-۲۶-۲۷) دارای خمیره کربناته بوده و باتوجه به شرایط رسوب‌گذاری منطقه، شواهد فراوانی از رشد و تشکیل کلسیت ثانویه در آن‌ها دیده شده است. همچنین به دلیل حرارت پایین پخت این دو نمونه شواهد مربوط به آمیزه گیاهی در خمیره سفال شماره ۲۱ مشهود است.

قطعات سنگ آذرین: این قطعات از انواع مختلف سنگ آذرین مانند تراکیت، آندزیت و گاه‌آذرین نفوذی است که در نمونه‌های مربوط به محوطه کله‌کوپ و تل ابلیس کرمان دیده می‌شود و در نمونه‌های ابوفندوا و چغامیش وجود ندارد.

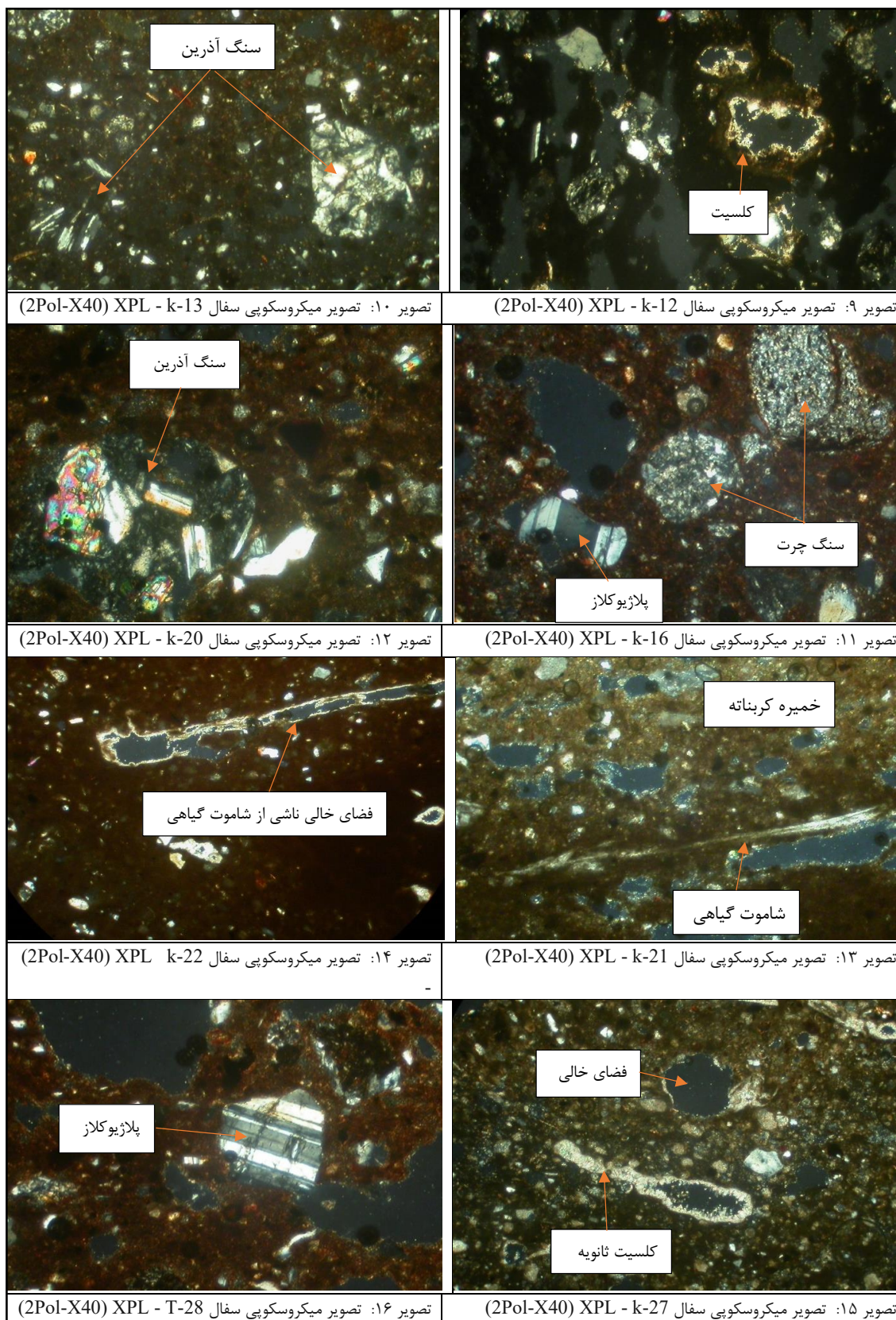
قطعات سنگ دگرگونی: این قطعات از نوع اسلیت بوده و در دو نمونه K-9 و K-16 شواهد محدودی از آن دیده می‌شود.

قطعات سنگ رسوبی: این قطعات طیف وسیعی از سنگ‌ها مانند: چرت، ماسه سنگ ریزبلور و سیلت استون را شامل می‌شود که در بیشتر نمونه‌های مربوط به کله‌کوپ مشاهده می‌گردد و در نمونه تل ابلیس، ابوفندوا و چغامیش مشاهده نمی‌گردد.

جدول ۱: نتایج بررسی‌های پتروگرافی سفال‌های مورد پژوهش.

Table 1: Results of the petrographic analyses of the pottery samples studied.

تصویر ۲: تصویر میکروسکوپی سفال k-1 (2Pol-X40) XPL	تصویر ۱: تصویر میکروسکوپی سفال k-1 (2Pol-X40) XPL
تصویر ۴: تصویر میکروسکوپی سفال k-2 (2Pol-X40) XPL	تصویر ۳: تصویر میکروسکوپی سفال k-2 (2Pol-X40) XPL
تصویر ۶: تصویر میکروسکوپی سفال k-9 (2Pol-X40) XPL	تصویر ۵: تصویر میکروسکوپی سفال k-8 (2Pol-X40) XPL
تصویر ۸: تصویر میکروسکوپی سفال k-12	تصویر ۷: تصویر میکروسکوپی سفال k-11



کانی پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول و میکا: این کانی‌ها از مشتقات مربوط به سنگ‌های آذرین هستند و به طبع در نمونه‌هایی که شواهدی از سنگ آذرین مشاهده شود، کانی‌های ذکر شده فوق نیز وجود دارد. این کانی‌ها در نمونه‌های مربوط به کله‌کوب و تل‌ابلیس با درصد فراوانی متفاوت دیده می‌شود. کانی پلاژیوکلاز با فراوانی حدود ۵٪ بیشترین تراکم را در خمیره این سفال‌ها دارد و کانی‌های پیروکسن، آمفیبول و میکا فراوانی محدودی در خمیره سفال دارند.

ترکیبات آهن‌دار: این قطعات عموماً به رنگ تیره تا قرمز-قهوه‌ای هستند و در همه نمونه‌های مطالعه شده دیده می‌شود.

خمیره سفال‌های محوطه کله‌کوب و تل‌ابلیس غیرکربناته (رسی) بوده و به جز دو نمونه K-12 و K-19 که خمیره تیره رنگ دارند، رنگ خمیره دیگر نمونه‌های مورد بررسی طیفی از قرمز تا قهوه‌ای است. نمونه‌های K-12 و K-19 دارای خمیره تیره رنگ هستند. از طرفی دیگر خمیره سفال‌های جنوب غرب مانند ۲۷، دو ترکیب متفاوت دارد؛ بخش داخلی ترکیب غیرکربناته (رسی) و بخش خارجی (حاشیه) ترکیب کربناته دارد، در این نمونه شواهدی از آمیزه گیاهی دیده می‌شود که با کلسیت ثانویه پر شده است. همچنین نمونه T-20 و T-28 دارای خمیره غیرکربناته و حاوی قطعات مختلف از سنگ آذرین، کوارتز، پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول است، به نظر می‌رسد که این نمونه از سنگ آذرین به عنوان آمیزه و پرکننده استفاده شده است.

بافت نمونه ۱۲ ناهمگن و در آن قطعات درشتی از سنگ آذرین، سنگ چرت و پلاژیوکلاز همراه با کوارتز دیده می‌شود. نمونه ۱۲ دارای بافت متخلخل و فضای خالی فراوان دارد. درحالی‌که نمونه K-19 دارای بافت سیلتی ناهمگن و در خمیره قطعات فراوانی از کانی کوارتز همراه با قطعات سنگ آذرین، پلاژیوکلاز، کلسیت و سیلت استون مشاهده می‌گردد.

فضای خالی در بیشتر نمونه نسبتاً محدود و به شکل‌های دایره، بیضی و گاه کشیده دیده می‌شود. در نمونه‌های K-8, K-12, K-14 و K-20 فضای خالی بسیار متنوع و فراوان است. بیشتر نمونه‌ها دارای فضاهای خالی زیادی هستند که نشان‌دهنده سوختن مواد آلی موجود در خمیره سفال‌ها و باقی‌ماندن اثر آن‌ها است. دو تصویر ۱۳ و ۱۴ مربوط به نمونه‌های ابوفندا و چغامیش می‌باشد با توجه به زمین‌شناسی خوزستان و وجود سازنده‌های آهکی منطقه، باعث ایجاد رسوبات آهکی می‌شود. خمیره کربناته این دو نمونه به دلیل شرایط زمین‌شناسی منطقه است. کلسیت فراوان، فضای خالی فراوان، مشخصه بارز این‌گونه سفال‌ها است. در نمونه‌های منطقه کله‌کوب، وجود سنگ‌های آذرین مختلف و سنگ‌های سیلیسی در خمیره، مرتبط با شرایط زمین‌شناسی منطقه است که شواهد آن در خمیره سفال‌ها دیده می‌شود.

۴-۲. مطالعه شیمیایی

آن‌چه که نتایج آنالیز XRF به صورت عناصر اصلی و فرعی نشان می‌دهد حاکی از ترکیبات اکسیدی چون: اکسید سدیم (Na₂O)، اکسید منیزیم (MgO)، اکسید آلومینیوم (Al₂O₃)، اکسید سیلیسیوم (SiO₂)، اکسید فسفر (P₂O₅)، گوگرد تری اکسید (SO₃)، یون کلرید (Cl)، اکسید پتاسیم (K₂O)، اکسید کلسیم (CaO)، اکسید تیتانیوم (TiO₂)، اکسید کروم (Cr₂O₃)، اکسید منگنز (MnO) و اکسید آهن (Fe₂O₃) است. آنالیز صورت‌گرفته مربوط به تمامی نمونه‌های کله‌کوب، یک نمونه از محوطه تل‌ابلیس (T-20) و دو محوطه چغامیش (CH-21) و ابوفندا (AB-22) و یک نمونه از خاک محوطه کله‌کوب (Soil-24) است. نتایج ارائه شده XRF نمونه‌های موردنظر براساس درصد وزنی (%wt) ترکیبات اکسیدی بیان شده است (جدول ۳). آن‌چه که آنالیز شیمیایی سفال‌های لبه‌واریخته محوطه کله‌کوب نشان می‌دهد، میزان بالای حضور اکسید سیلیسیوم در خمیره آن‌هاست، کمترین میزان شناسایی شده ۵۴٫۷٪ و بیشترین میزان شناسایی ۶۴٫۴٪ است (SiO₂ ≥ 54.7 ≤ 64.4). همچنین میزان این اکسید در سفال محوطه تل‌ابلیس ۵۸٪، در سفال محوطه چغامیش ۳۷٪ و در سفال محوطه ابوفندا ۳۹٫۲٪ شناسایی شده است؛ از طرفی دیگر، میزان آن در خاک برداشت

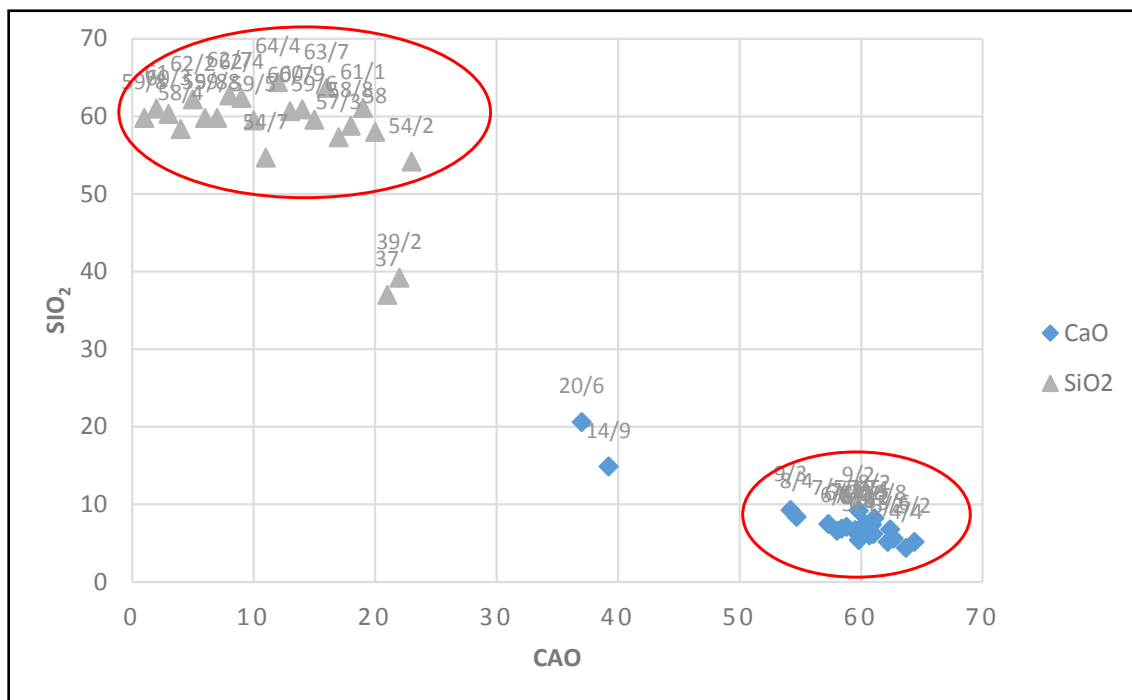
جدول ۲: نتایج مطالعه پتروگرافی سفال های مورد مطالعه.

Table 2: Results of the petrographic study of the pottery samples examined.

Number Sample	Qtz (Clean)	Qtz (Cloudy)	Fe-oxid	Cc	Pl	AM&PX	Mica	M.R	V.R	S.R	Texture
k-۱	*	*	*	*	*	-	-	-	*	-	ناهمگن
k-۲	*	*	*	*	*	-	-	-	*	*	سیلتی ناهمگن
k-۳	*	*	*	*	*	-	-	-	*	*	ناهمگن
k-۴	*	*	*	*	*	*	-	-	*	-	سیلتی ناهمگن
k-۵	*	*	*	*	*	-	-	-	*	*	سیلتی ناهمگن
k-۶	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	سیلتی ناهمگن
k-۷	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	سیلتی ناهمگن
k-۸	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	سیلتی ناهمگن
k-۹	*	*	*	*	*	-	-	tr	-	-	سیلتی ناهمگن
k-۱۰	*	*	*	*	*	*	*	-	-	*	سیلتی ناهمگن
k-۱۱	*	*	*	-	*	*	*	-	-	-	سیلتی
k-۱۲	*	*	*	*	*	-	-	-	*	*	ناهمگن
k-۱۳	*	*	*	*	*	*	*	-	*	-	سیلتی ناهمگن
k-۱۴	*	*	*	*	*	-	-	-	*	-	سیلتی ناهمگن
k-۱۵	*	*	*	*	*	*	*	-	*	-	سیلتی ناهمگن
k-۱۶	*	*	*	*	*	*	-	*	*	-	ناهمگن
k-۱۷	*	*	*	*	*	*	*	-	*	-	سیلتی ناهمگن
k-۱۸	*	*	*	*	*	*	*	-	*	-	سیلتی ناهمگن
k-۱۹	*	*	*	*	*	-	-	-	*	*	سیلتی ناهمگن
T-۲۰	*	*	*	*	*	-	-	-	*	-	ناهمگن
CH-۲۱	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	سیلتی ناهمگن
AB-۲۲	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	سیلتی ناهمگن
CH-26	*	*	*	*					*		سیلتی
AB-27	*	*		*	*			*	*		ناهمگن
T-28	*	*		*	*	*			*		ناهمگن

شده از محوطه کله کوب ۵۴٫۲٪ به دست آمده است. مقادیر بالای اکسید سیلیسیم در نمونه ها می تواند مربوط به کانی هایی چون کوارتز و سنگ های معدنی باشد، که حضور بالای آن ها هم در تصاویر میکروسکوپی سفال ها مشخص شده است. مقادیر شناسایی شده اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) برای سفال های کله کوب دارای ۱۵٫۶٪ کمترین و ۱۷٫۶٪ بیشترین میزان درصد وزنی است ($15.6 \leq Al_2O_3 \leq 17.6$)؛ همچنین برای سفال محوطه های تل ابلیس ۱۷٫۹٪، چغامیش ۸٫۶٪، ابوفندا ۹٫۹٪ و خاک منطقه کله کوب (Soil-24) ۱۳٫۹٪ گزارش شده است. اکسید سیلیسیوم (SiO_2) و اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) دو جزء اصلی ترکیبات تشکیل دهنده خمیره سفال های باستانی هستند که به طور کلی در ترکیب خاک رس حضور داشته و جزو مواد اولیه در ترکیب خمیره سفال ها هستند و حضور آن ها در سفال های باستانی امری طبیعی است (Henderson, 2000). حضور اکسید

کلسیم (CaO) یا همان آهک در نمونه‌های محوطه کله‌کوب تقریباً پایین بوده، به‌گونه‌ای که پایین‌ترین میزان شناسایی شده در سفال‌ها ۴/۴٪ و بیشترین میزان شناسایی شده ۹/۲٪ ($CaO \geq 4.4 \leq 9.2$) و میزان آن در خاک منطقه برابر با ۹/۳٪ است. همچنین حضور اکسید کلسیم در سفال‌های تل ابلیس به میزان ۶/۶٪، چغامیش ۲۰/۶٪ و ابوفندا ۱۴/۹٪ است. براساس ترکیب شیمیایی، اگر خاک رس حاوی بیش از ۶٪ اکسید کلسیم ($CaO \geq 6\%$) باشد، به‌عنوان خاک رس آهکی (غنی از کلسیم) و با مقدار کمتر از ۶٪ ($CaO < 6\%$) به‌عنوان سفال نوع غیرآهکی (کم کلسیم) در نظر گرفته می‌شود (Maniatis & Tite, 1981; Javanshah, 2018). براساس این تقسیم‌بندی سفال‌های موردنظر را می‌توان در دو گروه آهکی و غیرآهکی تقسیم‌بندی نمود؛ یعنی سفال‌های (k-5, k-7, k-8, k-12, k-13, k-16) محوطه کله‌کوب در گروه سفال‌های غیرآهکی و سفال‌های (k-1, k-2, k-3, k-4, k-6, k-9, k-10, k-11, k-14, k-15, k-17, k-18, k-19) از محوطه کله‌کوب و سفال‌های تل ابلیس (T-20)، چغامیش (CH-21) و ابوفندا (AB-22) در گروه سفال‌های آهکی قرار می‌گیرند؛ از طرفی دیگر آن‌چه که آنالیز خاک منطقه کله‌کوب با ۹/۳٪ نشان می‌دهد حضور اکسید کلسیم در خاک منطقه زیاده بوده و سفال‌هایی که در این منطقه ساخته می‌شوند باید دارای خمیره‌ای کربناته باشند. از طرفی دیگر، براساس زمین‌شناسی این مناطق حضور کلسیت در خاک مورداستفاده در ساخت سفال‌ها امری طبیعی شمرده می‌شود و با سفال‌های آهکی روبه‌رو هستیم (تصویر ۱۶). مقدار مواد فرار (LOI3) در آنالیز XRF بیانگر وجود مقادیر کمی این ماده هنگام ساخت محصول است (امامی، ۱۴۰۱: ۳۷۸). همچنین اکسید منیزیم یکی دیگر از ترکیباتی است که بافت سفال‌ها موجود است، اگر نسبت اکسید منیزیم (MgO) در ترکیب خمیره سفال‌های موردنظر به میزان قابل ملاحظه‌ای باشد، ترکیب اولیه می‌تواند شامل دولومیت (کربنات مضاعف کلسیم منیزیم $CaMg(CO_3)_2$) باشد (خانزادی و همکاران، ۱۴۰۰)؛ اما از آنجایی که نسبت اکسید کلسیم (CaO) به اکسید منیزیم (MgO) در سفال‌ها قابل توجه است، مواد اولیه نمی‌تواند از نوع دولومیتی باشند. مقادیر اکسید آهن در سفال‌های کله‌کوب به میزان ۵/۶٪ برای کمترین و ۶/۹٪ برای بیشترین سفال به‌دست آمده است



($5.6 \leq \text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 6.9$). همچنین برای سفال تل ابلیس (T-20)، ۴٪، چغامیش (CH-21) ۵٫۲٪، ابوفندا (AB-) ۲۲٪ و خاک منطقه کله کوب (Soil-24) ۴٫۷٪ است. آن چه که به طور کل مشخص است اکسید آهن در خاک منطقه موجود بوده و در ساخت خمیره از آن استفاده شده است که تأثیرات قابل ملاحظه‌ای نیز در نوع بافت و رنگ آن داشته است.

جدول ۳: درصد اکسیدهای مختلف شناسایی شده در نمونه‌های مطالعاتی.

Table 3: Chemical composition of the potteries in w%.

	-	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	LOI
Samples	k-1	1.2	3.6	15.9	59.8	0.60	0.07	0.02	0.41	9.2	0.61	0.02	0.025	6.0	2.43
	k-2	1.6	4.3	16.8	61.0	0.57	-	0.018	0.47	6.2	0.62	0.056	0.028	6.2	1.98
	k-3	1.0	3.6	15.8	60.3	0.40	0.022	0.016	0.48	7.5	0.60	0.025	0.027	5.9	4.10
	k-4	1.1	4.1	۱۶.5	58.4	0.45	-	0.038	0.55	6.9	0.60	0.025	0.025	5.9	5.28
	k-5	1.4	3.8	17.6	62.2	0.35	-	0.035	0.54	5.2	0.63	0.032	0.026	6.2	1.86
	k-6	1.4	3.8	17.1	59.8	0.35	-	0.026	0.54	6.3	0.65	0.021	0.026	6.1	3.80
	k-7	1.3	4.6	17.5	59.8	0.47	-	0.028	0.55	5.4	0.67	0.013	0.028	6.4	3.04
	k-8	1.6	3.5	16.9	62.7	0.32	-	0.021	0.48	5.6	0.62	0.037	0.026	6.1	1.85
	k-9	1.4	3.9	17.3	62.4	0.40	-	0.023	0.57	6.8	0.64	0.041	0.026	6.3	-
	k-10	1.1	3.1	16.4	59.5	0.34	-	0.018	0.52	6.7	0.60	0.025	0.024	5.7	5.75
	k-11	2.2	6.5	17.4	54.7	0.54	-	0.16	0.37	8.4	0.56	0.054	0.038	8.8	-
	k-12	1.3	3.3	17.2	64.4	0.31	-	0.046	0.46	5.2	0.61	0.075	0.025	6.9	-
	k-13	1.3	4.2	16.9	60.7	0.34	0.16	0.020	0.50	6.0	0.64	0.047	0.027	6.3	2.66
	k-14	1.6	4.2	15.6	60.9	0.40	-	0.042	0.53	7.4	0.50	0.037	0.026	5.6	2.94
	k-15	1.2	4.2	17.6	59.6	0.36	-	0.017	0.52	6.4	0.69	0.017	0.030	6.5	2.67
	k-16	1.5	3.1	16.2	63.7	0.35	-	0.024	0.49	4.4	0.61	0.036	0.025	6.0	3.36
	k-17	1.3	5.9	16.5	57.3	0.54	-	0.045	0.44	7.5	0.65	0.018	0.030	6.2	3.41
	k-18	1.1	4.1	17.1	58.8	0.59	-	0.019	0.49	7.1	0.63	0.017	0.030	6.2	3.53
	k-19	1.1	3.5	16.6	61.1	0.28	-	0.029	0.50	8.2	0.70	0.035	0.038	6.9	0.75
	T-20	1.4	3.4	17.9	58.0	0.40	-	0.013	0.41	6.6	0.53	0.011	0.030	6.4	4.74
	CH-21	1.1	4.3	8.6	37.0	0.84	0.74	0.55	0.45	20.6	0.47	-	0.021	5.2	20.0
	AB-22	1.5	7.8	9.9	39.2	0.32	0.30	0.95	0.35	14.9	0.57	0.013	0.022	5.7	18.25
	Soil-24	0.88	4.0	13.9	54.2	0.83	0.23	0.022	0.44	9.3	0.53	0.012	0.021	4.7	10.73

۵. بحث و تحلیل

فراوان‌ترین جزء سازنده سفال‌های مورد مطالعه، کانی‌های کوارتز است که در پتروگرافی تمامی نمونه‌ها وجود دارد. این کانی به دو فرم تک بلور (فنوکریست) و پلی کریستالین وجود دارد که نوع تک بلور آن فراوانی بیشتری دارد. این کانی یکی از فراوان‌ترین کانی‌های روی زمین است که در همه محیط‌های زمین‌شناختی وجود دارد (آدامز و همکاران، ۱۳۹۰: ۴)؛ از همین رو، وجود آن در خاک سفال‌های باستانی امری طبیعی است. میزان فراوانی این کانی در نمونه سفال‌ها متغیر بوده و در سفال‌های کله کوب مابین ۳ تا ۱۰٪ حجم نمونه را تشکیل می‌دهد. میزان آن در سفال‌های تل ابلیس در حدود ۱۰٪ و در نمونه‌های چغامیش و ابوفندا در حدود ۲ تا ۵٪ متغیر است. این کانی دارای حاشیه زاویه دار است که نشان می‌دهد قطعات کوارتز به صورت ثانویه به منشأ اولیه سفال‌ها اضافه شده و دلیلی بر منشأ معدن کاوی و آسیاب نمودن مواد افزودنی به خمیره سفال‌ها است. قطعات کوارتز پلی کریستالین مشاهده شده در بافت سفال‌ها نشان از منشأ گرانیته و متامورف آن‌ها دارد که این نکته بیانگر استفاده از خاک‌های با منشأ منطقه مورد مطالعه است. در نمونه‌های مطالعه شده، تعدادی از آن‌ها دارای بافت درشت دانه هستند. در بیشتر این سفال‌ها کانی‌های کلسیت دیده می‌شود، به گونه‌ای در بسیاری از مقاطع، دانه‌های کلسیت را می‌توان هم به صورت اولیه و هم به صورت ثانویه مشاهده کرد؛ اما نکته قابل توجه این است که کلسیت‌های ثانویه موجود در بافت سفال‌ها بیشتر در منافذ و خلل و فرج‌های موجود مشاهده می‌شود (به ویژه سفال‌های منطقه خوزستان)؛ یعنی در حاشیه داخلی این منافذ رشد کلسیت ثانویه وجود دارد و این حالت به احتمال زیاد به دلیل فرآیندهای پس از دفن است؛ زیرا زمانی که کلسیت از خاک حاصل می‌شود منافذ و خلل و فرج‌های ناشی از سوختن مواد آلی را پر می‌کند. پس از دفن سفال، کلسیت به راحتی می‌تواند درون خلل و فرج‌ها تبلور شود؛ زیرا در محلول‌هایی که در بافت سفال در گردش هستند حل می‌شود (Santos et al., 2020). از طرفی دیگر، در مطالعه مقاطع نازک سفال، کانی کلسیت اهمیت

فراوانی دارد. کانی کلسیت در پخت سفال به صورت یک ترموبارومتر^۴ عمل می‌کند و تغییرات درجه حرارت را با حضور یا نبود خود به اثبات می‌رساند. این کانی تا دمای حدود ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد به صورت کلسیت و از ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد به صورت آهک یا لایم دیده می‌شود (امامی، ۱۴۰۱: ۲۷۶). پس می‌توان نتیجه‌گیری نمود؛ حضور کانی کلسیت اولیه در بافت بسیاری از نمونه‌ها نشان‌دهنده این است که درجه حرارت پخت سفال‌ها بیش از ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد نبوده و در سفال‌های فاقد کلسیت، درجه حرارت پخت سفال فراتر از ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد است؛ اما باید به این نکته مهم اشاره شود آن‌چه که نتایج شیمیایی نشان‌داد تمامی سفال‌ها دارای بافت کربناته هستند و نبود کلسیت در تصاویر میکروسکوپی برخی از نمونه‌ها دلیلی بر عدم وجود آن در کل بافت سفال نمی‌شود؛ بنابراین براساس این‌که نتایج نشان می‌دهد که بافت کربناته در تمامی سفال‌ها موجود است، دمای پخت سفال‌ها تماماً پایین‌تر از ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود. از طرفی دیگر، بافت سفال‌های لبه‌واریخته سست و زمخت بوده و این‌که دارای آمیزه‌های آلی، از جمله کاه هستند نمی‌توانند دمای پختی فراتر از آن داشته باشند؛ چراکه در برخی از مقاطع نازک هنوز مقداری از مواد آلی همچون کاه باقی‌مانده و در کوره پخت سوخته نشده است. از طرفی دیگر، در بافت سفال‌ها انواع مختلف مواد معدنی همچون: خرده‌سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی، انواع سنگ‌های رسوبی، پلاژیوکلاز، میکا، آمفیبول و پیروکسن‌ها را می‌توان مشاهده نمود؛ باتوجه به رخنمون‌های زمین‌شناسی منطقه می‌توان مربوط به کانی‌شناسی همان منطقه شرق ایران دانست. همچنین میزان تخلخل سفال‌ها بسیار بالاست که می‌توان آن را ناشی از دمای پخت و سوختن مواد آلی همچون کاه موجود در آن‌ها دانست. شواهد ماکروسکوپی به وضوح نشانگر استفاده از به‌کارگیری کاه به عنوان آمیزه در سفال‌ها است؛ به‌گونه‌ای که در تصاویر میکروسکوپی نیز آثار و شواهدی از آن‌ها مانند باقی‌ماندن ذرات کاه در بافت و منافذ ناشی از آن وجود دارد. با سوختن و حذف مواد آلی موجود در سفال‌ها جای خالی آن‌ها در بافت باقی‌مانده است که در بسیاری از موارد در این خلل و فرج‌ها کلسیت ثانویه به وجود آمده است (Sanjurjo-Sánchez *et al.*, 2018).

حضور کلسیت ثانویه بیشتر در نمونه سفال‌های چغامیش و ابوفندا قابل مشاهده است. نمونه سفال‌های لبه‌واریخته تل‌ابلیس، چغامیش و ابوفندا، ترکیبات و بافت میکروسکوپی متفاوتی را نسبت به کله‌کوب نشان می‌دهند. تصاویر میکروسکوپی سفال‌های تل‌ابلیس گرچه شباهت‌های قابل ملاحظه‌ای با دیگر سفال‌ها داشته، اما تفاوت‌های آن‌ها باعث می‌شود که نتوان آن‌ها را با سفال‌های کله‌کوب یکی دانست. از طرفی دیگر، براساس نتایج منتشر شده درباره سفال‌های تل‌ابلیس (Emami & Sedghi, 2022) شباهت بیشتری به ترکیب سفال‌های این منطقه داشته تا ترکیب سفال‌های کله‌کوب. همچنین ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی سفال‌های چغامیش و ابوفندا با سفال‌های محوطه‌های دیگر ترکیب متفاوتی را نشان می‌دهد. در تمامی سفال‌های کله‌کوب و تل‌ابلیس می‌توان انواع کانی‌ها یا آمیزه‌هایی معدنی مانند: پیروکسن، آمفیبول و میکا را مشاهده نمود؛ به‌طوری‌که این مواد در سفال‌های منطقه خوزستان موجود نمی‌باشند، بنابراین براساس رخنمون‌های زمین‌شناسی این منطقه باید سفال‌های خوزستان فاقد این ترکیبات باشند (حاجی‌نوروزی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۴۰۱). از آنجایی که تفاوت سفال‌های چغامیش و ابوفندا با سفال‌های کله‌کوب و تل‌ابلیس در نوع مواد معدنی موجود در بافت سفال و همچنین حضور دانه‌های کلسیت ثانویه است؛ بنابراین از لحاظ کانی‌شناسی هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند و منشأ آن‌ها متفاوت از منطقه کله‌کوب است. تفاوتی که مابین عناصر سازنده سفال‌های این مناطق وجود دارد در نمودار ۱۶ و جدول ۳ نشان داده شده است. میزان اکسید کلسیم در محوطه ابوفندا ۱۴۹؛ وزنی و در محوطه چغامیش ۲۰۶٪ وزنی است. همچنین میزان اکسید سیلیسیم در آن‌ها به ترتیب ۳۹٫۲ و ۳۷٪ وزنی است که تفاوت معناداری مابین این اکسیدها با اکسیدهای موجود در سفال‌های کله‌کوب و تل‌ابلیس است (تصویر ۱۶ و جدول ۳). در زیر میکروسکوپ بافت زمینه سفال‌ها تماماً قرمز تیره بوده که تمامی مواد غیرپلاستیکی و نیمه‌پلاستیکی موجود در خمیر به صورت متمرکز درون این بافت قرار دارند و شرایط موجود نشان‌دهنده

ساخت آن‌ها در شرایط محیطی اکسیداسیون است. در طی فرآیند پخت ذرات رسی (مواد پلاستیکی) موجود در بافت ذوب شده و به‌طور میکروسکوپی قابل بررسی نیستند. این مورد حاکی از این است که بافت سفال‌ها حرارت لازم برای شیشه‌ای شدن را در کوره‌های پخت دیده‌اند و این موضوع نشانگر فراتر رفتن درجه حرارت پخت سفال‌ها از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد است (امامی، ۱۴۰۱: ۲۶۵)؛ بنابراین به احتمال سفال‌های موردنظر در دمایی تقریباً ۷۵۰-۸۵۰ درجه سانتی‌گراد ساخته شده‌اند. مواد پرکننده و کانی‌های استفاده شده در بافت سفال‌ها کانی‌های رایج و معمولی موجود در رخنمون‌های زمین‌شناختی مناطق محوطه‌های سفال‌ها است به‌گونه‌ای که حضور آن‌ها در سفال‌ها امری رایج است.

نتیجه‌گیری

در مطالعات تطبیقی فن‌شناختی و منشأیابی سفال‌ها و سرامیک‌های باستانی آنالیزهای شیمیایی و کانی‌شناسی به‌منظور بررسی ترکیبات عناصر نمونه‌ها و کانی‌های به‌کار رفته در خمیرۀ آن آثار می‌توانند اطلاعات بسیار ارزشمندی را به‌دست دهند. در این باره باید مطالعات تطبیقی و مقایسه‌ای کانی‌شناسانه با مواد مرجع مانند خاک رس محل یا سفال‌هایی با منشأ شناخته‌شده هم‌چون ضایعات کوره‌ها از همان محل به‌منظور ردیابی منشأ خاک رس در دستور کار قرار گیرد. آن‌چه که در این پژوهش مشخص شد؛ آنالیزهای میکروسکوپی و شیمیایی و بررسی‌های ماکروسکوپی تنوع کمی در سفال‌های لبه‌واریخته موجود در محوطۀ کله‌کوب از نظر ترکیب و تکنیک ساخت را نشان می‌دهد. این احتمال وجود دارد که سفالگران باستانی از روش‌های شکل‌دهی و ساخت مشابه با طیف محدودی از منابع خام برای تولید این ظروف استفاده کرده‌اند. براساس بررسی‌های ماکرو ساخت سفال‌ها نیز یک تکنیک را نشان می‌دهد که این تکنیک را می‌توان در تمام محوطه‌هایی که این سفال‌ها از آن‌ها کشف شده دید. سفالینه‌های مقایسه‌شده از محوطه‌های تل ابلیس، چغامیش و ابوفندا با سفال‌های کله‌کوب تماماً به‌صورت دست‌ساز ساخته شده و از یک الگو در ساخت پیروی می‌کنند، ولی تفاوت موجود مابین آن‌ها در منشأ ساخت آن‌ها است؛ به‌طوری‌که نوع مادۀ اولیه در ساخت سفال‌های محوطه‌های فوق با کله‌کوب متفاوت بوده است؛ بنابراین باید گفت که برای ساخت سفال‌های لبه‌واریخته در تمام این محوطه‌ها از یک تکنولوژی و سنت استفاده شده، ولی منشأ آن‌ها متفاوت بوده و این امکان وجود دارد هرکدام از سفال‌ها مربوط به منطقه خود هستند.

سپاسگزاری

در پایان نویسندگان برخود لازم می‌دانند که از داوران ناشناس نشریه با نظرات ارزشمند خود به غنای متن مقاله افزودند، قدردانی نمایند.

درصد مشارکت نویسندگان

این مقاله حاصل پژوهش میدانی، آزمایشگاهی و کتابخانه‌ای است که همه نویسندگان در آن حضور و مشارکت فعال داشته‌اند؛ همچنین به‌منظور نگارش و تدوین این مقاله، نویسنده اول ۴۰٪، نویسنده دوم (نویسنده مسئول) ۴۰٪ و بقیۀ نویسندگان ۱۰٪ مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

نویسندگان در نگارش این مقاله به اخلاق علمی و پژوهشی پای بند بوده و هیچ‌گونه تضاد منافی بین آن‌ها وجود ندارد.

پی‌نوشت

1. Calcareouse
2. Non-Calcareouse / Low- Calcareouse
3. Loss of Ignation
4. Thermobarometr

کتابنامه

- آدامز، آ. ای؛ مکنزی، دبلیو. اس؛ گیلفورد، سی، (۱۳۹۰). اطلس سنگ‌های رسوبی در زیر میکروسکوپ. ترجمه محمدحسین آدابی و زهرا زرگر امینی، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- اسکندری، نصیر، (۱۳۹۷). «ارزیابی گاهنگاری دوره مس‌وسنگ جنوب شرق ایران: گاهنگاری مطلق (۱۴C) و نسبی تپه دهنو و تپه دهنو شرقی شهداد با استفاده از روش طیف سنج جرمی شتاب دهنده (AMS)». پژوهش باستان سنجی، ۴ (۱): ۲۳-۳۵. <https://doi.org/10.29252/jra.4.1.23>
- حاجی‌نوروزی، فاطمه؛ حیدریان، محمود؛ و خسروزاده، علیرضا، (۱۴۰۰). «مطالعه سفال دوره مس سنگ میانه چهارمحال و بختیاری با استفاده از آنالیز پتروگرافی و ICP-OES». نشریه مطالعات باستان‌شناسی، ۱۲ (۲): ۱۷۵-۱۹۸. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2019.290969.142795>
- حاجی‌نوروزی، فاطمه؛ حیدریان، محمود؛ و خسروزاده، علیرضا، (۱۴۰۱). «مقایسه کانی‌نگاری سفال دوره مس‌وسنگ میانی زاگرس مرتفع با مناطق خوزستان و فارس». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۱۲ (۳۲): ۷۹-۱۰۲. <https://doi.org/10.22084/NBSH.2020.20007.2006>
- حصاری، مرتضی، (۱۳۹۲). شکل‌گیری و توسعه آغاز نگارش در ایران. تهران، سمت.
- خانزادی، محمدجواد؛ نوغانی، سمیه؛ شریفی‌نیا، اکبر؛ و بهادری، رویا، (۱۴۰۰). «مطالعه ساختار نمونه سفال‌های به‌دست آمده از محوطه تاریخی سیروان براساس نتایج آنالیزهای XRF و XRD». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۱۲ (۳۱): ۱۰۳-۱۲۶. <https://doi.org/10.22084/NB.2021.23256.2261>
- عزیزی‌خرانقی، محمدحسین؛ آبه، ماساشی؛ یگانه، سپیده جمشیدی؛ عنانی، بهرام؛ اکبری‌زرین‌قبایی، افشین؛ و گودرزی، پگاه، (۱۳۹۷). «گزارش گمانه‌زنی به‌منظور لایه‌نگاری محوطه کله‌کوب آیسک، شهرستان سرایان، استان خراسان جنوبی». آرشو پژوهشکده باستان‌شناسی، (منتشر نشده).
- عزیزی‌خرانقی، محمدحسین؛ جمشیدی‌یگانه، سپیده؛ آبه، ماساشی؛ و اکبری، افشین، (۱۳۹۹). «شواهدی جدید از کاسه لبه‌واریخته از محوطه کله‌کوب، استان خراسان جنوبی». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۴ (۱۲): ۲۹-۴۸. <https://doi.org/10.30699/PJAS.4.12.29>
- عودباشی، امید؛ ناصری، رضا؛ اگارتنر، ایزابل؛ آرتیزی، آنا؛ و کولترونه، جوزیه، (۱۳۹۸). «مطالعات باستان‌سنجی سفال‌های مکشوف از محوطه باستانی ده‌دومن (جنوب غرب)، نتایج مقدماتی». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۹ (۲۲): ۲۷-۴۶. <https://doi.org/10.22084/NBSH.2019.17799.1857>
- امامی، محمدامین، (۱۴۰۱). علم مواد در باستان‌شناسی و باستان‌سنجی (با تکیه بر مواد معدنی و فلزی). اصفهان: انتشارات جهاد دانشگاهی.
- ملک‌شهمیرزادی، صادق، (۱۳۷۸). ایران در پیش‌ازتاریخ، باستان‌شناسی ایران از آغاز تا سپیده دم شهرنشینی. انتشارات سازمان میراث فرهنگی کشور.

- Adams, A. E., Mackenzie, W. S., & Guilford, C. (2011). *Atlas of Sedimentary Rocks Under the Microscope*. Translated by Mohammad Hossein Adabi and Zahra Zargar Amini. Tehran: University Publishing Center (in Persian).

- Adams, R. McC., (1962). "Agriculture and Urban life in Early Southwestern Iran". *Science*, 136: 109-122. <https://doi.org/10.1126/science.136.3511.109>
- Azizi Kharanaghi, M. H. & Abe, M., (2022). "The Eastern Iran Prehistoric Archaeological Project: The Second Season of Archaeological Excavation at Kale Kub, Southern Khorasan Province (2019)". *Journal of Archaeological Studies*, 14(2): 133-152. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2022.341819.143109>.
- Azizi Kharanaghi, M. H., Abe, M., Jamshidi Yeganeh, S., Anani, B., Akbari Zarin Qabai, A., & Ghodrati, P., (2018). "Report on Test Excavations for Stratigraphy at the Kaleh Kub Site in Sirayan County, South Khorasan Province". Unpublished manuscript, Archaeological Research Institute Archive (in Persian).
- Azizi Kharanaghi, M. H., Jamshidi Yeganeh, S., Abe, M. & Akbari, A., (2020). "New Evidence of Beveled Rim Bowls from the Kaleh Kub Site, South Khorasan Province". *Parseh J. Archaeol Stud.*, 4(12): 29-48 (in Persian). <https://doi.org/10.30699/PJAS.4.12.29>.
- Azizi Kharanaghi, M. H., Abe, M., Jamshidi Yeganeh, S. & Akbari, A., (2021). "Eastern Iran Prehistoric Archaeological Project: First Season of Archaeological Excavations at Kale Kub, South Khorasan Province (2018), Relative and Absolute Chronology". *Journal of Archaeological Studies*, 12 (2: 24): 127- 151. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2021.81259>
- Caldwell, R. J., (ed.). (1967). *Investigations at Tal-i-Iblis (Illinois State Museum Preliminary Reports 9)*. Springfield: Illinois State Museum Society.
- Delougaz, P. & Helene J. Kantor, H. J., (1996). *Chogha Mish. Volume I: The First Five Seasons of Excavations 1961-1971*, Part I: Text, Part II: Plates. Edited by Abbas Alizadeh., Oriental Institute Publications, Volume 101., The Oriental Institute of the University of Chicago, Chicago.
- Desset, F., Vidale, M. & Alidadi-Soleimani, N., (2013). "Mahtoutabad III (Province of Kerman, Iran). An "Uruk-Related" Material Assemblage in Eastern Iran". *IRAN*, 51: 17-54. <https://doi.org/10.1080/05786967.2013.11834722>
- Emami, M. & Sedghi, Y., (2022). "Preliminary Multi-Analytical Approach to the Ceramic Production Technology in Tal-e Iblis". *Archaeology and Conservation along the Silk Road*, Editors: Gabriela Krist and Liangren Zhang, 2: 61-72.
- Eskandari, N., (2018). "Assessment of Chronology in the Chalcolithic Period of Southeast Iran: Absolute (14C) and Relative Chronology of Dehno Hill and Eastern Dehno Hill of Shahdad Using Accelerator Mass Spectrometry (AMS)". *Journal of Archaeological Studies*, 4(1): 23-35 (in Persian). <https://doi.org/10.29252/jra.4.1.23>
- Frame, L., (2004). "Investigations at Tal-I Iblis: Evidence for Copper Smelting during Chalcolithic Period". M.S Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, (Unpublished).
- Hajinoorouzi, F., Heydarian, M. & Khosrozaadeh, A., (2021). "Study of Chalcolithic Pottery from the Central Region of Chaharmahal and Bakhtiari Using Petrographic Analysis and ICP-OES". *Journal of Archaeological Studies*, 12(2): 175-198 (in Persian). <https://doi.org/10.22059/jarcs.2019.290969.142795>.

- Hajinoorouzi, F., Heydarian, M. & Khosrozaadeh, A., (2022). "Comparison of the Mineralogical Analysis of Chalcolithic Pottery from the High Zagros Region with Khuzestan and Fars". *Iranian Archaeological Research*, 12(32): 79-102 (in Persian). <https://doi.org/10.22084/NBSH.2020.20007.2006>
- Henderson, J., (2000). *The Science and Archeology of Materials, An investigation of inorganic materials*. Routledge, New York.
- Hosseini, M., (2013). *Formation and Development of Early Writing in Iran*. Tehran: Samt (in Persian)..
- Imami, M. A., (2022). *Materials Science in Archaeology and Archaeometry (Focusing on Mineral and Metal Materials)*. Isfahan: Jihad University Press.
- Javanshah, Z., (2018). "Chemical and mineralogical analysis for provenancing of the Bronze Age pottery from Shahr-i-Sokhta, south eastern Iran". *Scientific Culture*, 4 (1): 83-92.
- Khanzadi, M. J., Noghaani, S., Sharifinia, A. & Bahadori, R., (2021). "Study of the Structure of Pottery Samples Obtained from the Historical Site of Sirvan Based on XRF and XRD Analysis Results". *Iranian Archaeological Research*, 11(31): 103-126 (in Persian). <https://doi.org/10.22084/NB.2021.23256.2261>
- Malek Shahmirzadi, S., (1999). *Iran in Prehistory: The Archaeology of Iran from the Beginning to the Dawn of Urbanization*. Cultural Heritage Organization Publications (in Persian).
- Maniatis, Y. & Tite, M. S., (1981). "Technological examination of Neolithic-Bronze Age pottery from central and southeast Europe and from the Near East". *Journal of archaeological Science*, 8 (1): 59-76. [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(81\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0305-4403(81)90012-1)
- Oudbashi, O., Naseri, R., Egartner, I., Aritzi, A. & Coltrone, G., (2019). "Preliminary Results of the Archaeometric Studies of Pottery from the Ancient Site of Deh-Douman (Southwest Iran)". *Iranian Archaeological Research*, 9(22): 27-46 (in Persian). <https://doi.org/10.22084/NBSH.2019.17799.1857>.
- Sanjurjo-Sánchez, J., Montero Fenollós, J. L. & Polymeris, G. S., (2018). "Technological aspects of Mesopotamian Uruk pottery: estimating firing temperatures using mineralogical methods, thermal analysis and luminescence techniques". *Archaeological and Anthropological Sciences*, 10: 849-864. <https://doi.org/10.1007/s12520-016-0409-x>
- Santos, Y., Kondopoulou, D., Papadopoulou, L., Saridaki, N., Aidona, E., Rathossi, C., & Serletis, C., (2020). "An archaeometric contribution to the study of Late Classic-Hellenistic ceramics of Northern Greece". *Journal of Archaeological Science: Reports*, 29: 102097. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102097>
- Stein, S. A., (1937). *Archaeological Reconnaissance in North-Western India and South Eastern Iran*. London.