

Tabriz Islamic Art University
1999

DOI: 10.52547/jra.8.1.21

URL: <https://jra-tabriziau.ir/>

Original Paper



Neolithic and Chalcolithic (Middle Bakun) Pottery Technology at Tappeh Rahmatabad based on Ceramographic and Chemical Analyses

Mohammadamin Emami ^{*1}, Mohammad Hossein Azizi Kharanaghi ², Yasamin Jalali ³

¹. Associate Professor, Faculty of Conservation and Restoration, Art University of Isfahan, Isfahan, IRAN

². Assistant Professor, Institute of Archaeology, Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, Tehran, IRAN

³. M.A in Archaeometry, Faculty of Conservation and Restoration, Art University of Isfahan, Isfahan, IRAN

Received: 19/04/2022

Accepted: 16/07/2022

Abstract

Rahmatbad is an important prehistoric site in the Kamin plain of Pasargadae County, close to the Pulvar River basin in Fars province. Based on absolute C-14 dating, Rahmatabad belongs to the mid-8th millennium BC. The site is well known as one of the key prehistoric sites with a cultural sequence spanning the pre-pottery Neolithic to the Islamic times. Ten sherds from the Neolithic period (the Formative Mushki and Mushki phases) and 5 pieces from the Chalcolithic period (early Middle Bakun) of Rahmatabad were investigated using petrography, XRD and XRF methods in order to compare the chemical compositions and the manufacturing progresses in pottery making during the Neolithic to the Chalcolithic period. Chemical and mineralogical studies on the investigated pieces from different periods of the site indicated that the pottery from the two concerned periods were produced a precise classification of using similar raw materials but different firing techniques. Furthermore, the progress and development of the pottery manufacturing technique used in Rahmatabad might have been introduced as an important site in pioneering the pottery progressing during the Neolithic to early Middle Bakun period in the Pulvar River Basin.

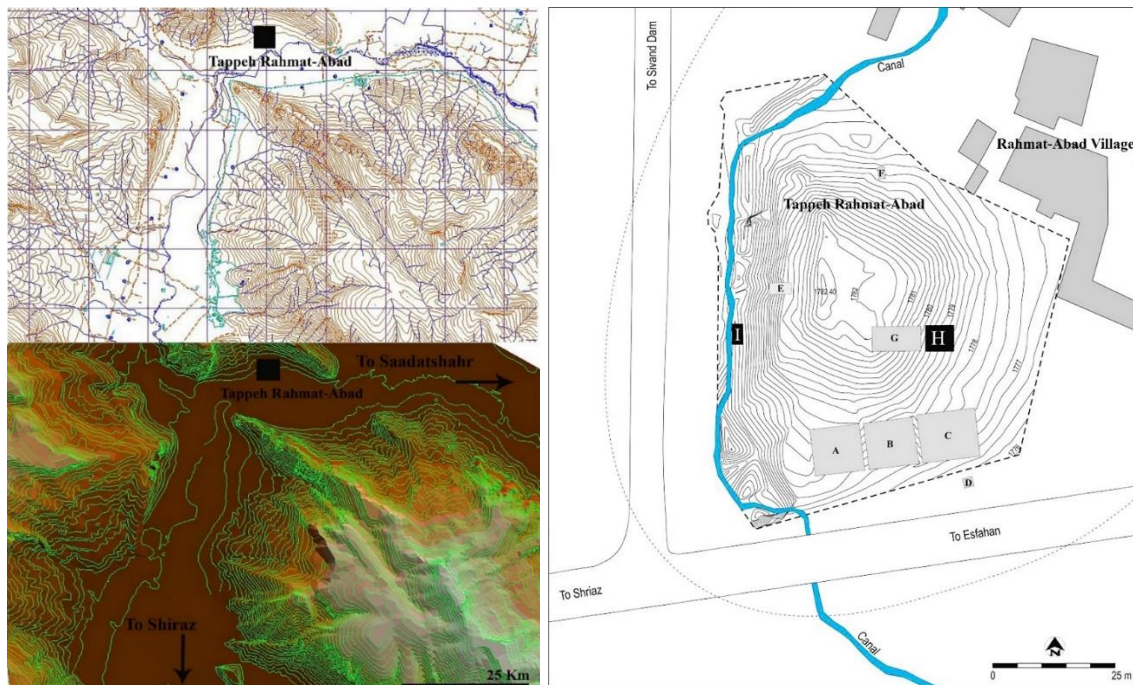
Keywords: Rahmatabad, Neolithic, Chalcolithic, Middle Bakun, Ceramography; Archaeometry.

*Corresponding Author: m.emami@au.ac.ir

Introduction

Fars Province represents a significant region with a huge potential for archaeological investigations and study of the long-term cultural developments from the Neolithic to the Chalcolithic in south central Iranian plateau. Recent extensive excavations and surveys in the province have provided key evidence on the chronology of such cultural transformations, although much of important details are yet to be further clarified. The archaeological excavation at Rahmatabad was carried out in 2009 with the main goal of refining the archaeological transition which have been accompanied through absolute and relative chronological sequence of the Neolithic and Chalcolithic settlements [1, 2]. Tappeh Rahmatabad is located in the Pulvar River Basin of Fars province, some 40 km south of Saadat Shahr and 120 km north of Shiraz (Fig. 1). As a result, Tappeh Rahmatabad has produced the first evidence for Pre-Pottery Neolithic period in Fars province, thus providing precarious new insights into the development of the Neolithic and Chalcolithic across the southern Zagros. In addition, the excavations revealed a long cultural sequence encompassing the Islamic Qajar (19th century AD) the Achaemenid (5th century BC), the Middle Bakun (early to mid-fifth millennium BC) the Neolithic (late 7th millennium BC) and the Pre-Neolithic (late 8th to early 7th Millennium BC) periods (Fig. 2) [1].

Occurring in all archaeological records, pottery is the most fascinating material culture for tracing the development of technological features in a given region or settlement. New excavations at Rahmatabad demonstrated the existence of the Neolithic (the Formative Mushki and Mushki) and Chalcolithic (early-middle Bakun, EMB) deposits separated with a gap of almost 1500 years [3]. This is exactly a very new evidences to have these two layers were followed each other at Rahmatabad. The goal of this research is the characterization of these kind of potteries. The continuously endeavour of pottery production with attention to the raw material composition and manufacturing technology is of this research interest. The beginning of Chalcolithic (EMB) was coexisted exactly after the Neolithic at Rahmatabad with obviously different criteria with regard to the pottery manufacturing and finishing processes, which are also attested at other sites in the Pulvar and the Kur River basins [4, 5]. The research will have a deeper look at pottery fabrication in order to elucidate the possible diversity of pottery manufacturing process in these two periods. Clustering of potteries might have assumed new insights to the transitional period from Neolithic to chalcolithic regarding the raw materials and technological know-how.



◀ Fig. 1. Geomorphology and location of Tappeh Rahmatabad in the Pulvar River Basin close to the Tang-e Bolaghi valley

➤ Fig. 2. Topography of Rahmatabad and the location of excavated trenches.

Materials and Methods

A total of 15 samples were sampled from well recorded Neolithic and Chalcolithic contexts in different trenches of Rahmatabad (Tabs. 1, 2, and Fig. 3). The specimens have been studied using petrography, XRD and XRF approaches in order to determine their crystalline and bulk chemical compositions. Clustering of samples to specify the involved technological expertise was the chief point of these study.

Table 1. Chronology of the Neolithic and Chalcolithic periods in Fars Province as seen from Rahmatabad

Context No.	Context Texture	Period	Approximate Date	C14 Date
8000	Surface Soil	Recent		
8001				
8002	Adobe Debris	Achaemenid (?)		
8003-8007	Deposit	Middle Bakun	Early 5 th millennium BC	
8008-8010	Pit			
8011	Ash			
8012-8014	Wall			
8015	Deposit			
8016	Deposit & mudbrick Debris			
8017-8019	Deposit			
8018	Ash			
8020-8021	Wall			
8022-8023	Deposit			
8024-8026	Wall			
8025-8027	Deposit			
8028	Ash			
8029-8031	Wall			
8030-8033	Ash			
8032	Debris	Disturbed	?	
8034	Burned soil	Mushki	Late 7 th millennium BC	4790 – 4600 BC
8035	Cemetery			
8036	Skeleton			
8037	Deposit			
8038	Pit			
8040	Soil & ash			
8039	Deposit			
8041	Deposit	Formative Mushki	Early 7 th and late 8 th millennium BC	7140 – 7050 BC
8042-8044	Ash	Rahmatabad	8 th millennium BC	7330 – 7070 BC In Context 8053 7450 – 7390 BC
8043	Ashes and burned soil from oven			
8045	Hearth			
8046	Burned Soil			
8047	Hearth			
8048	Burned soil & ash			
8049	Burned soil			
8050-8051	Ash			
8052	Burned soil			
8053	Ash	Virgin Soil		
8054				
8055				

Results

Petrology and Petrography

Petrographic and petrological observations were carried out through characterizing the matrix, the inclusions as well as pores which were of great interest in the fabrication of the vessels. Petrology of both the Neolithic and Chalcolithic pieces have proved the use of similar inclusions within the fabrication of matrix in both groups. However, the fragmentation of these inclusions displays a change, so that the very fine grain size of the Neolithic pieces becomes coarser in the Chalcolithic assemblage. The birefringence color of the matrix was of great interest in characterizing the pottery types, in regard to the firing processes [6]. Neolithic potteries have sharp birefringence matrix color as they were not exposed to high temperatures, thus the minerals retaining their original color. The inclusions mainly consist of quartz, plagioclase (mostly albite), alkali-feldspars (mostly microcline), un-reacted calcite, and muscovite. Presence of the un-reacted rhombohedra calcite reveals that for the firing temperature did not exceed 700 °C [7] (Fig. 4). Petrology does not show any well-formed porosity. On the contrary, the Chalcolithic pieces show weak (or no) birefringence and finer inclusions (Fig. 5).

Table 2. Analyzed specimens from Trench H, from both the Neolithic and Chalcolithic deposits of Rahmatabad

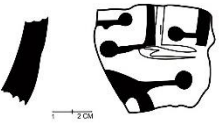
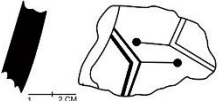
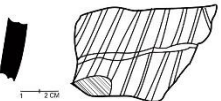



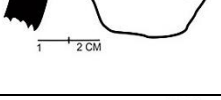

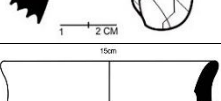


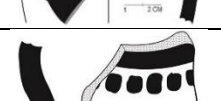
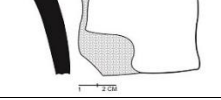
Sample	Pottery No Context	Period	Surface Color (Munsell chart)	Core Color (Munsell chart)	Illustration
1	8549	Formative Mushki	10YR 5.3 brown	10YR 4.1 dark grey	?
	8042				
2	8047	Neolithic	10YR 6.6 brownish yellow	10YR 7.4 pale brown	?
	8001				
3	8578	Mushki	10YR 7.4 pale brown	7.5YR 7.6 reddish yellow	
	8032				
4	7815	Mushki	10YR 7.4 pale brown	10YR 7.4 pale brown	
	8032				
5	7819	Mushki	10YR 7.4 pale brown	10YR 7.4 pale brown	
	8032				
6	8688	Mushki	10YR 7.4 pale brown	10YR 7.4 pale brown	
	8032				
7	8571	Formative Mushki	7/5YR 7.6 reddish Yellow	10YR 7.4 pale brown	
	8039				
8	8572	Formative Mushki	7/5YR 7.6 reddish Yellow	10YR 2.1 black	
	8039				
9	8546	Formative Mushki	10YR 7.3 pale Brown	10YR 2.1 black	
	8039				
10	8544	Formative Mushki	2.5YR 4.4 reddish brown	10YR 7.3 pale brown	
	8039				
11	8587	Middle Bakun	5Y 8.3 pale yellow	5Y 8.3 pale yellow	
	8027				
12	8415	Middle Bakun	5Y 8.4 pale yellow	5Y 8.3 pale yellow	
	8023				
13	8401	Middle Bakun	5Y 8.4 pale yellow	2.5Y 8.2 pale yellow	
	8016				
14	8147	Middle Bakun	2.5Y 8.3 pale yellow	2.5Y 8.4 pale yellow	
	8007				
15	8495	Middle Bakun	5Y 7.3 pale yellow	5Y 7.3 pale yellow	
	8032				



Fig. 3. The sample picked from the Neolithic and Chalcolithic periods of Rahmatabad

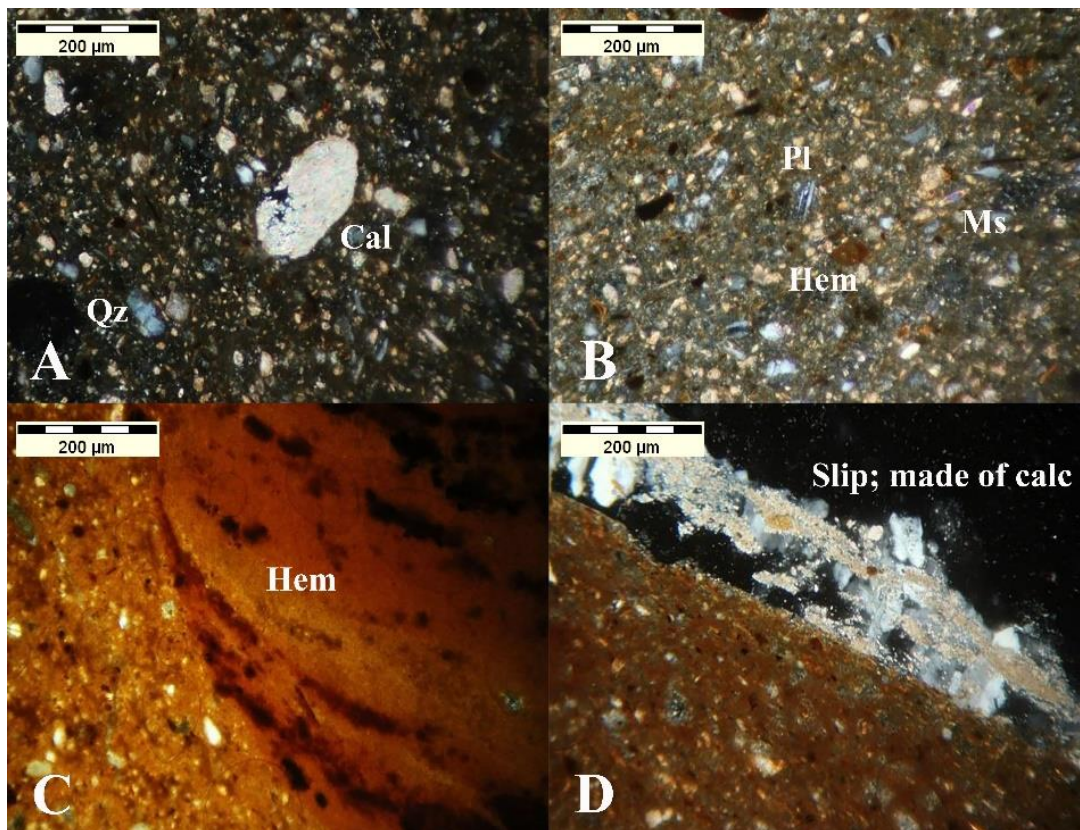


Fig. 4. Petrographs of the Neolithic pottery from Rahmatabad
Qz : Quartz, Cal : Calcite ; Hem : Hematite ; Pl : Plagioclase ; Afs : Alkali Feldspar ; Ms : Muscovite

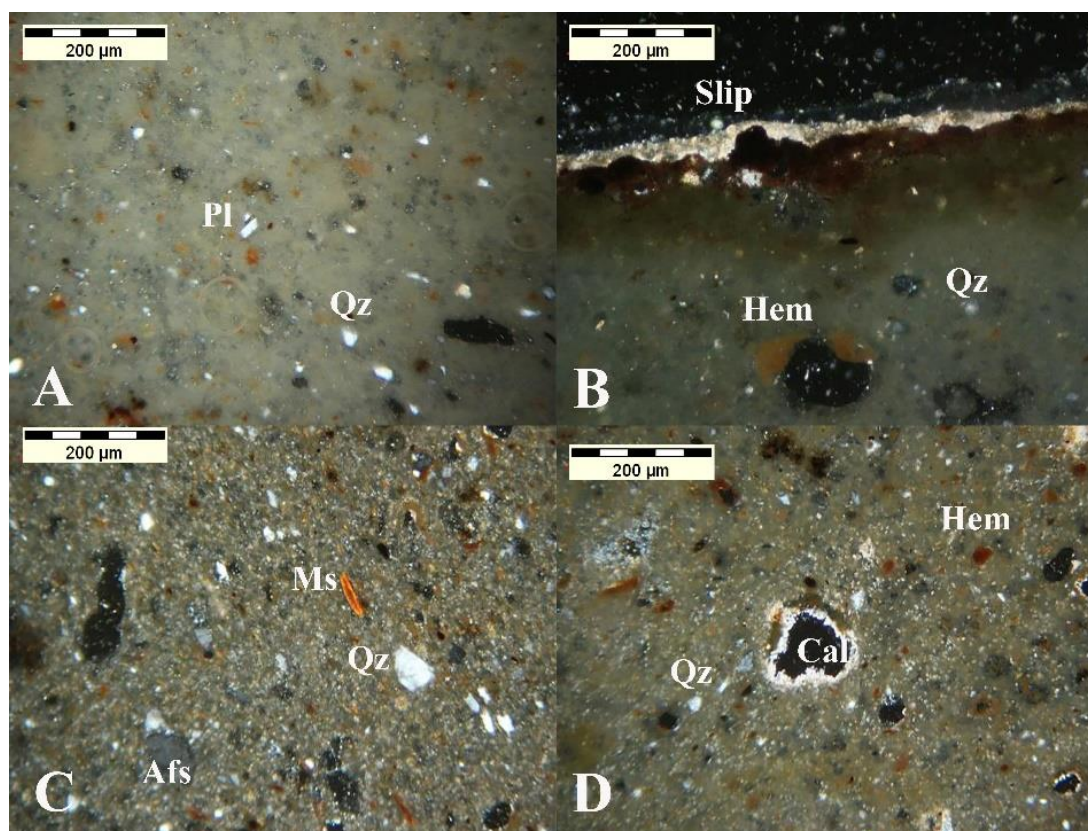


Fig. 5. Petrographs of the Chalcolithic pottery from Rahmatabad
 Qz : Quartz, Cal : Calcite ; Hem : Hematite ; Pl : Plagioclase ; Afs : Alkali Feldspar ; Ms : Muscovite

XRD Results

Crystalline phase analysis was carried out to identify the major minerals within the texture. The most common minerals exhibit obvious diversities within the texture of both sub-assemblages. Neolithic pottery consists of quartz, calcite, plagioclase, alkali-feldspars, muscovite, haematite and gypsum. Indeed, all these are minerals that may result from low temperature reactions [7, 8]. Consequently, to that, the Chalcolithic pieces are classified by means of high temperature phases such as pyroxene, gehlenite, and analcime. Quartz, calcite, plagioclase and alkali-feldspars are compositions which will revenue in chemical reactions during firing and produced new formed crystallites as high temperature phases [8, 9] (Fig. 6A). 2D mapping of the quantitatively measured phases within the pieces are presented in Fig. 6B. Due to this illustration the composition of Chalcolithic potteries was clustered clearly from Neolithic potteries by means of occurrences of high temperature phases. All parts that have approved the dissimilarities between these two types of potteries were assigned as I, II and III areas. Area I is mainly defined by occurrences of analcime within the texture. Analcime can be formed through weathering of feldspars and also is a well know phase arising through post-depositional processes [10].

XRF Results

Bulk chemical composition of potteries have demonstrated one group of pottery type in three angle diagram in system $\text{CaO}+\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ after Noll representation [11]. Based on this diagram and the XRF data of major oxides, all samples have been classified to be high calc potteries (Fig. 7A and Tab. 3). The most interesting point is that the results have been clustered within a closed anomaly region. The region of concentrated data attests to the use of similar raw materials in regard to low divergence between $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ node. However, very few scattering of points along $\text{CaO}+\text{MgO}-\text{SiO}_2$ node shows low diversities in chemical composition of inclusions.

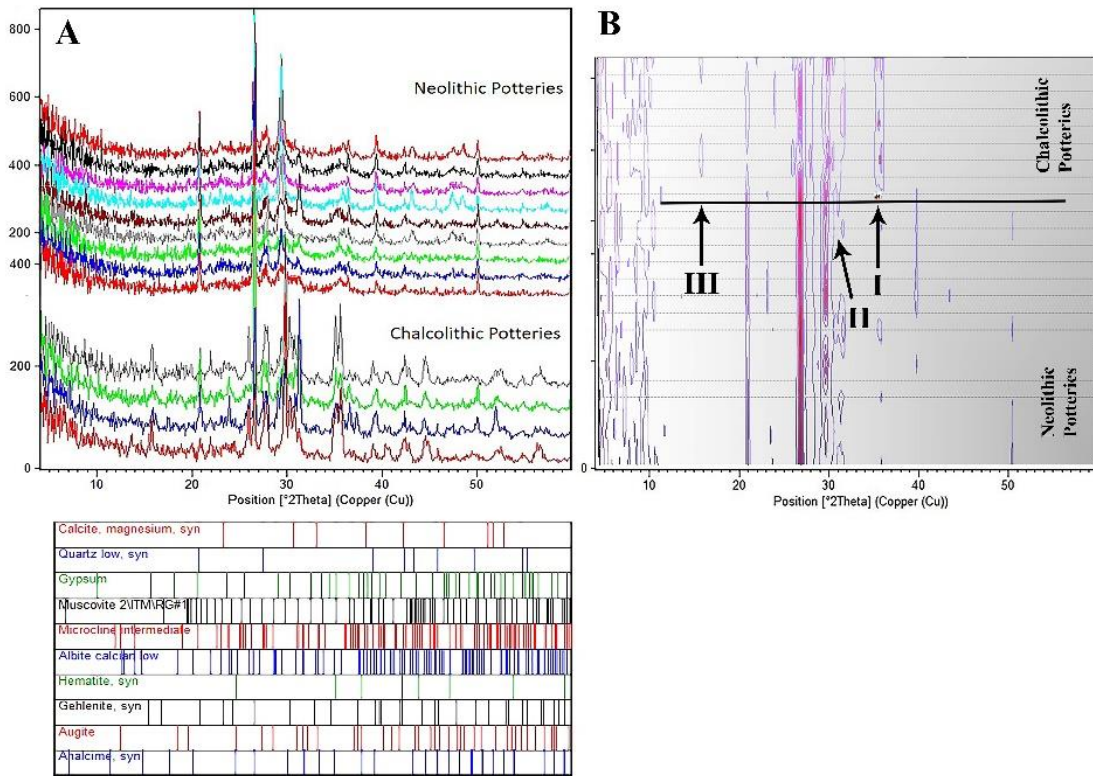


Fig. 6. A) Diffractograms of all XRD crystalline phase results in both groups of pottery from Rahmatabad. B) 2D scan of quantitatively occurring measured phases based on Rietveld algorithm in both the Neolithic and Chalcolithic sub-assemblages from Rahmatabad.

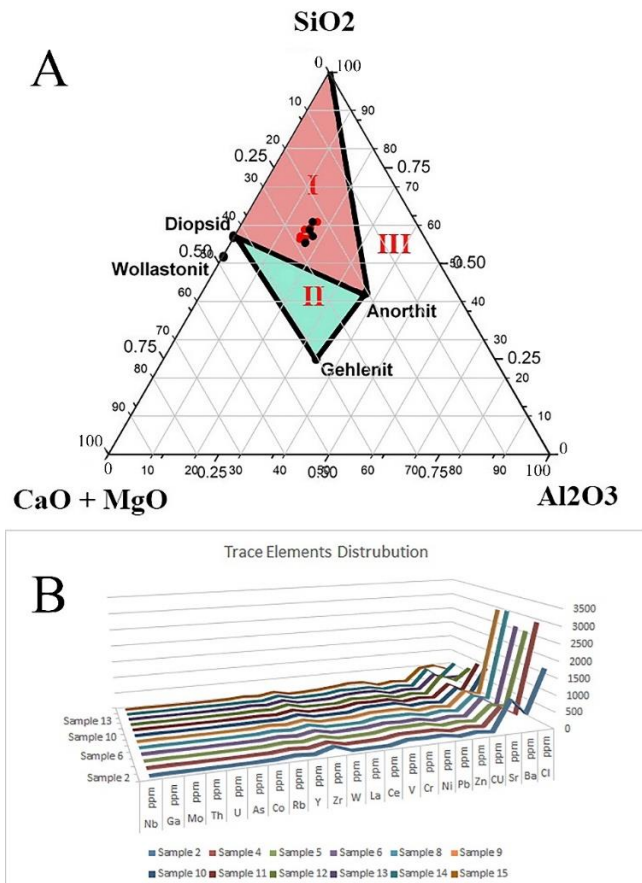


Fig. 7. A) Chemical composition and clustering of both the Neolithic and Chalcolithic ceramics of Rahmatabad. B) Trace elements distribution in Rahmatabad potteries in both areas.

Discussion

Tappeh Rahmatabad is a key site in a region the Pulvar River Basin of Fars province. The Pulvar and Kur River Basins are of particular significance given their wealth of essential archaeological records [2]. Archaeometric study was planned to examine the cultural exchanges through a well-known transitional period from the Neolithic to the Chalcolithic at Tappeh Rahmatabad [1, 2]. The question was whether the pottery manufacturing technology underwent changes between these two periods. The first look to the finds has approved the difference between surface color of the potteries from reddish in Neolithic to pink white in Chalcolithic. This cannot be interpreted only by means of petrography. Most important results in this regard have been achieved through XRD and the Pyroxene/Plagioclase ratios [11]. Pyroxene can preserve higher iron content in its crystal structure than plagioclases. Therefore, the firing color of the Chalcolithic pottery at Rahmatabad tends to range from whitish to pink, since iron was not released from the crystal structure. This contrasts the situation in the Neolithic pieces in which the plagioclases did not preserve iron, which was oxidized to produce a reddish color. Petrography, XRD and XRF results have confirmed that the exploited raw materials remained unchanged between the two periods at Rahmatabad. Yet, the difference between the two sub-assemblies originated from differing firing processes.

Rahmat-Abad is indeed considered as the origin of the early middle Bakun period, and the Bakun pottery tradition was definitely introduced by the inhabitants of Rahmatabad. Nevertheless, this tradition remained unchanged from the Neolithic (Mushki) to the Chalcolithic (Bakun) periods in terms of the use of almost identical clay resources, though a different firing process was obviously developed in the Chalcolithic period.

Conclusion

A sample of 15 prehistoric pottery pieces from the two Neolithic (Formative Mushki and Mushki) and Chalcolithic (early Middle Bakun) periods of Rahmatabad were examined and chemically analysed to establish the continuity of technical progress of pottery production in this part of the Pulvar River Basin. This continuity was special interest since excavations at Rahmatabad produced a sequence that contained the deposits of both periods for the first time in this region. Ceramographic and chemical (XRD and XRF) studies were carried out on both the Neolithic and Chalcolithic pieces. The results indicate that the assemblage from Rahmatabad represents a unique material in terms of technological expertise.

The results demonstrate that the pottery technique remained unchanged in both of these prehistoric periods as similar clay sources was exploited, while the vessels were fired at different temperatures. As a matter of fact, it can be highlighted that the potters of Rahmatabad became obviously familiar with the kiln conditions and temperature control during the Chalcolithic period. Recent regional studies associated with absolute dating show that the Bakun material from Rahmatabad might have been originated as a discrete pottery tradition in the Pulvar and Kur cultural spheres.

References

- [1] Azizi Kharanaghi H, Fazeli Nashli H, Nishiaki Y. The Second Season of Excavations at Tepe Rahmat Abad, Southern Iran: The Absolute and Relative Chronology. *Ancient Near Eastern Studies*. 2014; 51:1-32.
- [2] Azizi Kharanaghi HA, Nashli HF, Nishiaki Y. Tepe Rahmatabad: A Pre-pottery and Pottery Neolithic Site in Fars Province. *Neolit Iran*. 2013; 108.
- [3] Nishiaki Y, Kharanaghi MHA, Abe M. The Late Aceramic Neolithic Flaked Stone Assemblage from Tepe Rahmatabad, Fars, South-West Iran. *Iran*. 2013; 51(1):1-15.
- [4] Pincé P, Braekmans D, Lycke S, Vandenaabeele P. Ceramic Production in the Kur River Basin (Fars, Iran) during the Middle to Late Second Millennium BCE: A Geochemical and Technological Characterization. *Archaeometry*. 2019; 61(3):556-73.
- [5] Emami M, Chapoulie R, Abdi K. Cathodoluminescence Microscopy for Interpreting the Fabric and Heating Process of Ancient Pottery: Preliminary Study on the Technological Features of Pottery from the Kur River Basin. *Archaeometry*. 2021; 64 (2):337-56.

- [6] Burton MM, Quinn PS, Bennalack K, Farahani A, Howland MD, Najjar M, et al. Ceramic Technology at Wadi Fidan 61, An Early Pottery Neolithic Site (ca. 6500 B.C.E.) in the Faynan Region of Southern Jordan. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2021; 38: 103029.
- [7] Rathossi C, Pontikes Y, Tsolis-Katagas P. Mineralogical Differences between Ancient Sherds and Experimental Ceramics: Indices for Firing Conditions and Post-burial Alteration. *Bulletin of the Geological Society of Greece Proceedings of the 12th International Congress*. 2010; XLIII 43(2):856-65.
- [8] Gliozzo E. Ceramic technology. How to Reconstruct the Firing Process. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2020; 12(11):260.
- [9] Gál Á, Ionescu C, Bajusz M, Codrea VA, Hoeck V, Barbu-Tudoran L, et al. Composition, Technology and Provenance of Roman Pottery from Napoca (Cluj-Napoca, Romania). *Clay Minerals*. 2019; 53(4):621-41.
- [10] Aladel BA, Sabree IK, Edrees SJ. Effects of mgo wt.% on the Structure, Mechanical, and Biological Properties of Bioactive Glass-Ceramics in the SiO₂, Na₂O, CaO, P₂O₅, mgo System. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2019; 10(1):97-106.
- [11] Noll W, Heimann RB. *Ancient Old World Pottery*: Schweizerbart Science Publisher; 2016.



فناوری تولید سفال دوره نوسنگی و مس سنگی (باکون میانه) در تپه رحمت‌آباد فارس بر اساس داده‌های سفال‌نگاری و شیمیایی

سید محمد امین امامی^{۱*}، محمدحسین عزیزی خرانقی^۲، یاسمین جلالی^۳

۱. دانشیار گروه مرمت آثار تاریخی و باستان‌سنجی، دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۲. استادیار، موسسه باستان‌شناسی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، تهران، ایران

۳. کارشناسی ارشد باستان‌سنجی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۳۰

چکیده

تپه رحمت‌آباد تپه باستانی مهمی واقع در دشت کمین در شهرستان پاسارگاد، واقع در استان فارس است که به‌عنوان یک محوطه باستانی کلیدی با توالی فرهنگی از دوران پیش از تاریخ تا اسلامی شناخته می‌شود. ده قطعه سفال از دوره نوسنگی و پنج قطعه سفال از دوره مس‌سنگی (اوایل باکون میانی) محوطه رحمت‌آباد با استفاده از روش‌های پتروگرافی، XRD و XRF به‌منظور مقایسه ترکیب شیمیایی و سیر تغییرات تکنولوژی سفالگری در دوره‌های نوسنگی و مس‌سنگی مورد بررسی قرار گرفتند. این تپه بر پایه تاریخ‌گذاری مطلق کربن ۱۴ دارای قدمتی در اواسط هزاره هشتم ق.م است. پراکندگی و تغییرات ترکیب شیمیایی سفال‌ها در این مرحله بر اساس نمودار رانکین در سیستم $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO+MgO}$ مورد مطالعه قرار گرفت و بر اساس آن تمرکز بر تنوع منشاء مواد مورد استفاده برای ساخت سفال، چگونگی ساخت سفال‌ها و شناخت و مقایسه تکنیک ساخت سفال از نوسنگی به مس‌سنگی در محوطه یادشده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. مطالعات شیمیایی و مینرالوژی بر سفال‌های مورد آزمایش در این منطقه حاکی از توالی مشخص استفاده از مواد خام یکسان ولی با تکنیک متفاوت طی دوران نوسنگی و مس‌سنگی در تپه رحمت‌آباد است. همچنین پیشرفت و توسعه تکنیک سفالگری مورد استفاده در تپه رحمت‌آباد، این محوطه را به‌عنوان یک محوطه شاخص در سیر ترقی تکنولوژی طی دوره باکون در باستان‌شناسی حوزه رود پلوار معرفی می‌کند.

واژگان کلیدی: تپه رحمت‌آباد، نوسنگی، مس‌سنگی، دوره باکون میانی، سفال‌نگاری، باستان‌سنجی.

* نویسنده مسئول مکاتبات: سیدمحمد امین امامی؛ دانشگاه هنر اصفهان، خیابان حکیم نظامی، کد پستی ۱۷۴۴
پست الکترونیکی: m.emami@aui.ac.ir

۱. مقدمه

رابطه انسان و محیط پیرامونش ناگسستگی است و این ارتباط منسجم و مداوم از عوامل اصلی پیش‌برنده فرایندهای فرهنگی و اجتماعی در جوامع گوناگون (ورای زمان و تاریخ زیستن در آن منطقه) هستند. بررسی و مطالعه ارتباط متقابل انسان و محیط پیرامون او یک شیوه تحلیل مناسب برای بازسازی سرگذشت و سیر توالی تاریخ انسان و چگونگی شکل‌گیری زنجیره‌های وابسته بین مواد، محیط، کاربرد و انسان است؛ مفهومی که در حال حاضر با عنوان *Chaîne Opératoire* یا ترجمه ساده فارسی آن "زنجیره عملیات" در فرایندهای تولید، استحصال و استفاده مطرح می‌گردد [1]. در این خصوص و به تعقیب این مهم، باید عنوان کرد که سفال یکی از رایج‌ترین دست‌ساخته‌های بشر است که از مواد خاکی تهیه شده و به صورت بسیار متنوع و فراوان تولید انبوهی داشته و از زمان ابداع آن نقش و عملکردهای مختلفی در زندگی بشر ایفا کرده است. کاربردهایی چون اشیای با سمبل آیینی و تریبی، ذخیره و آماده‌سازی غذا و موارد تکنیکی چون بوتله‌های ذوب فلز و قالب‌ها [2-5]. مطالعه سفال‌ها نیازمند بازسازی و شرح جنبه‌های مختلف تولید، فرآوری و چگونگی تفسیر و توضیح شرایط کاربردی مربوط به آنان است تا بتوان از مردمانی که تولیدکننده این محصولات بودند، درک بهتری داشت و درک زیادی از فرایندهای اجتماعی در گذشته به دست آورد [6].

در این ارتباط، گذر از دوره‌های زمانی با توجه به مرز بسیار نزدیک این دوره‌های گذر از یکدیگر در باستان‌شناسی برای مطالعات سیر تکنولوژی در تحقیقات باستان‌شناسی بسیار مهم است. توالی‌های استقراری در اماکن گویای روند شناخت محیط پیرامون و چگونگی استفاده از مواد به دست‌آمده از محیط پیرامون توسط ساکنان استقرارهای گوناگون است. در این میان، دوره‌های شناخته‌شده پارینه‌سنگی تا نوسنگی و گذر آنان تا به دوران مس‌سنگی نقش بسزایی در باستان‌شناسی دارند. نوسنگی اصطلاحی بود که در نیمه دوم قرن نوزدهم وارد ادبیات باستان‌شناسی شد و این اصطلاح در نیمه اول قرن بیستم توسط باستان‌شناسان و عمدتاً با کاوش‌های باستان‌شناختی و

یافته‌های حاصل از آن بیشتر معرفی گردید [7,8]. گوردن چایلد این اصطلاح را به طور هم‌زمان به عنوان اصطلاحی فناورانه در عین حال معرف تطور الگوهای معیشتی مورد استفاده قرار داد [9,10] و به تعقیب آن و در حدود هزاره دهم پیش از میلاد تغییرات گسترده هولوسن مقدمات انقلاب نوسنگی و پیدایش روستائینی را فراهم کرد. براساس یافته‌های باستان‌شناختی دوران نوسنگی به دوره کلی نوسنگی پیش از سفال و نوسنگی با سفال تقسیم می‌شوند. اکثر فاکتورهای معرف فرهنگ دوران نوسنگی پیش از سفال شامل ساختارهای معماری، ابزارها و دست‌سازهای سنگی، پیکره‌ها، اشیای گلی و ظروف سنگی هستند و در ادامه، این دوره انسان موفق به تولید و استفاده از سفال شد که به دوره نوسنگی با سفال گفته می‌شود [11]. در حقیقت، وقوع سه انقلاب صنعتی در زمینه‌های تولید و نگهداری غذا، تولید سفال، کنترل آتش و ساختار کوره‌ها و ایجاد نظم در معماری از پی‌آمدهای این دوره است. در ایران این دوره از حدود ده‌هزار سال پیش از میلاد آغاز شده و تا حدود شش‌هزار سال پیش از میلاد ادامه داشته است [12, 13]. اصطلاح مس‌سنگی معادل *Chalcolithic* و ترکیبی از دو واژه یونانی *Chalkos*، به معنای مس و *Lithos* به معنای سنگ است. در این دوره شاهد آشنایی و فرآوری مس در جوامع ساکن هستیم، لیکن گفتنی است که در ابتدای این دوره، ساکنان استقرارهای مس‌سنگی به تدریج با فلزات بومی به‌ویژه مس آشنا شدند اما ابزار فلزی نمی‌ساختند و بیشتر ابزارآلات همچنان از سنگ به صورت تیغه‌های سنگی ساخته می‌شده است، لیکن شیوه ساخت آن‌ها با دوره نوسنگی متفاوت بوده است. فن و هنر سفالگری در اواخر هزاره پنجم و طی هزاره چهارم ق.م در ایران به اوج شکوفایی و پیشرفت خود رسید. طی این دوران، استفاده از چرخ سفالگری و کوره‌های پیشرفته در هزاره چهارم ق.م و دوره مس‌سنگی رواج یافت و به نوعی بر اساس شواهد تولید سفال به یک صنعت تخصصی با کارگاه‌های مخصوص تبدیل شد [14, 15]. بر اساس تمامی آنچه در بالا عنوان گردید، به صراحت می‌توان عنوان کرد که سفال یکی از مهم‌ترین مواد فرهنگی در کاوش‌های باستان‌شناسی است. در بسیاری موارد این

رحمت‌آباد تپه کوچکی در شمال دشت کمین (دشت سعادت‌شهر) شهرستان پاسارگاد، در مقابل دهانه جنوبی دره بلاغی چسبیده به بزرگراه اصفهان-شیراز به وسعت حدود نیم‌هکتار است. روستای کوچک رحمت‌آباد در شمال آن قرار دارد. این محوطه باستانی در تاریخ ۱۳۵۵/۴/۲۸ توسط وزارت فرهنگ و هنر به شماره ۱۲۶۲ در فهرست آثار ملی ایران ثبت شده و به‌عنوان یک محوطه باستانی کلیدی با توالی فرهنگی از دوران پیش از تاریخ تا اسلامی در حوزه رود پلوار شناخته می‌شود (شکل ۱). تاریخ‌گذاری مطلق کربن ۱۴ روی نمونه زغال‌های یافت‌شده از کاوش‌های این محوطه که شروع استقرار در این تپه را از اواسط هزاره هشتم ق.م مشخص کرده است. دوره‌های مورد بررسی در این پژوهش مربوط به دوره نوسنگی با سفال با تاریخ‌گذاری مطلق (۵۷۳۰-۷۰۰۰ ق.م) و دوره مس‌سنگی (۴۶۸۸-۴۹۰۹ ق.م) است [14]. دوره مس‌سنگی در منطقه فارس با نام دوره باکون شناخته می‌شود که خود به سه دوره کوچک‌تر قدیم، میانی و جدید تقسیم می‌گردد و در حفاری‌های تپه رحمت‌آباد تنها دوره فرهنگی باکون میانی شناسایی شده است. هدف اصلی این مطالعات بررسی و مقایسه تکنیک ساخت سفال‌های (مواد خام، تمبر و تکنیک ساخت و درجه حرارت پخت) این دو دوره در این تپه باستانی است. نکته حائز اهمیت در تپه رحمت‌آباد این است که این محوطه پس از دوره نوسنگی با سفال با وقفه‌ای حدوداً ۱۵۰۰ ساله در دوره باکون میانه (مس‌سنگی) مجدداً محل استقرار شده است. این استقرار مجدد، بدون شک، دلایلی داشته و با تغییرات فراوانی در نحوه زندگی و تکنولوژی مورد استفاده ساکنان تپه رحمت‌آباد همگام بوده است [19, 20]. این مهم که ساکنان استقرار نوسنگی در تپه رحمت‌آباد که طبق شواهد موجود استقرار فصلی و غیر دائم داشتند، از چه مواد خامی و به چه روشی به ساخت محصولات سفالین می‌پرداختند و سیر تحول و پیشرفت تجربی و تخصصی این فرایند در دو برهه زمانی دور از یکدیگر چگونه بوده است، موضوع اصلی در شناسایی زنجیره عملیاتی (Chaîne Opératoire) در تپه رحمت‌آباد است. این مطالعات با هدف درک تحولات فرهنگی و

ماده اصلی‌ترین جسم در طبقه‌بندی و شناسایی دوره‌های گوناگون تاریخی و سیر توالی یک تمدن در برهه‌های تاریخی گوناگون است. در فعالیت‌های باستان‌شناسی، جهت شناسایی و طبقه‌بندی سفال، از روش‌های توصیفی (شامل شناسایی شکل و فرم و نقش و ...) اکتفا نموده و در حال حاضر، نزدیک به سه دهه است که روش‌های آنالیز مواد بر اساس روش‌های گوناگون شیمیایی، فیزیکی و ساختارشناسی با عنوان روش‌های باستان‌سنجی در مطالعه مواد فرهنگی استفاده شده است [16, 17]. شناسایی مواد خام مورد استفاده در گذشته، تکنیک ساخت سفال و تعیین قدمت این مواد فرهنگی بسیار حساس به روش‌های آنالیز از جمله مهم‌ترین فاکتورها برای شناخت، تمیز دادن و طبقه‌بندی سفال‌های گوناگون به‌دست‌آمده از مناطق مختلف است. روش‌های باستان‌سنجی در جهت تکمیل کردن داده‌های کاوش و طبقه‌بندی بهتر اطلاعات حاصل از کاوش‌های باستان‌شناسان صورت می‌گیرد و نتایج حاصل از آن تحلیل‌هایی است بر پی‌بردن به سیر تحول و روند تکاملی ساخت سفال از ابتدا تا قرون متأخر. لزوم این گونه مطالعات در دهه‌های گذشته به اثبات رسیده است و منابع متعددی در راستای شناسایی و تعیین خصوصیات و شناسایی سفال به نگارش در آمده‌اند.

مطالعات باستان‌سنجی با بهره‌گیری از روش‌های رایج در شاخه‌های متفاوت علوم (علوم پایه، علوم طبیعی و فنی-مهندسی) سعی در پاسخ‌گویی به پرسش‌های باستان‌شناسان دارند. استفاده از روش‌های آنالیز و بررسی سیستماتیک سفال‌های تاریخی برای دستیابی به اطلاعاتی نظیر تکنولوژی تولید، شناسایی مواد خام اولیه و نحوه فرآوری آن‌ها، فرایند شکل‌دهی، پخت سفال و شرایط پخت و اتمسفر کوره، نوع کاربری و تعیین منشأ آنان دارد. از طرفی، شرایط پس از دفن و محیط دفن سفال‌های باستانی، سبب گشته است تا مواردی از جمله آسیب‌شناسی بافت سفال و بررسی فرایند تخریب ساختاری (ماکروسکپی و میکروسکپی) سفال نیز مورد توجه قرار گیرد (سفال‌نگاری) [18].

۲. پیشینه پژوهش

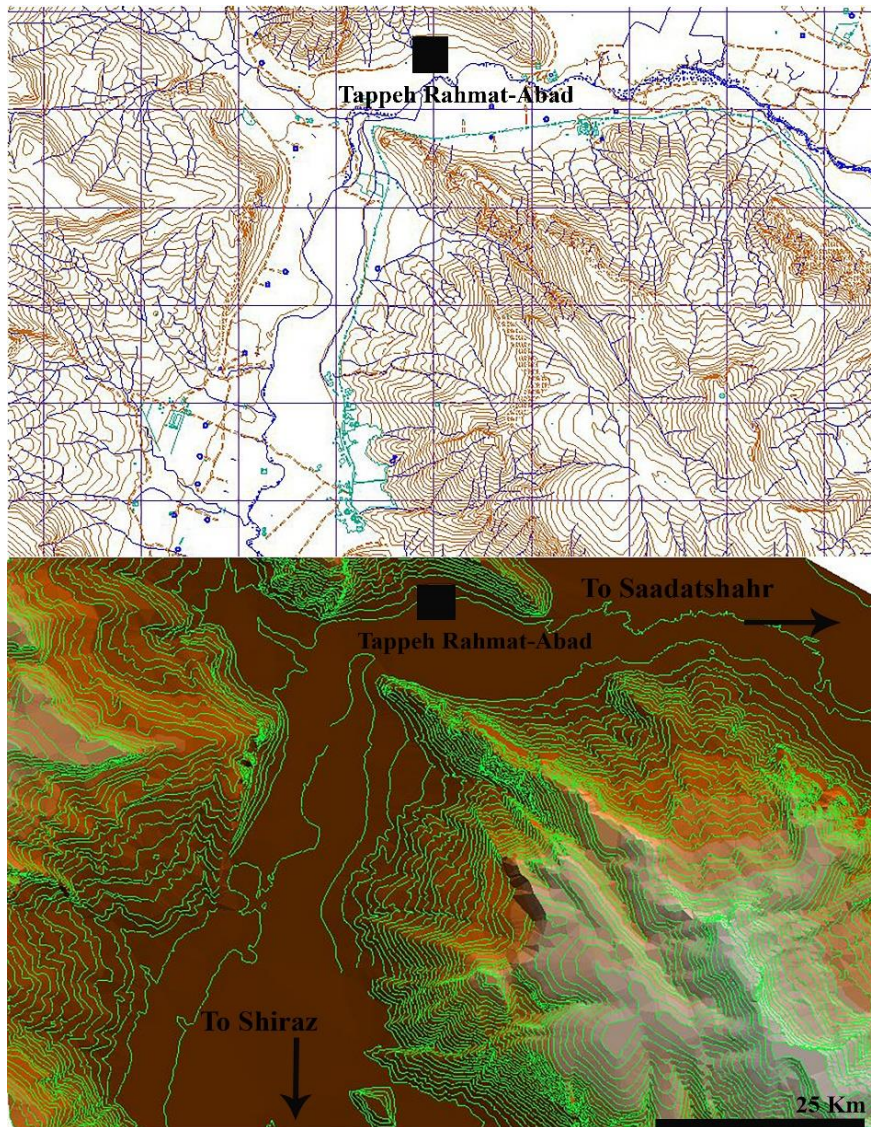
در سفالگری دوره فرهنگی باکون در تپه رحمت‌آباد است. موضوع اصلی این مقاله مقایسه دو دوره نوسنگی با سفال و مس‌سنگی بر اساس داده‌های فصل دوم و سوم حفاری های رحمت‌آباد است. مطالعات باستان‌سنجی در منطقه رحمت‌آباد همچنین تحلیلی است در راستای طبقه‌بندی های مربوط به حفاری‌های انجام شده در حوزه رود پلوار. تاکنون سه فصل حفاری در این منطقه انجام شده و این در حالی است که در دو فصل اول حفاری این محوطه در دوره باکون شواهد زیادی مبنی بر فعالیت‌های گسترده سفالگری در صورت تولید انبوه یافت شده است که همگی نشان‌دهنده استقراری کاملاً تخصصی برای تولید سفال بوده است [14]. دلیل این اظهار نظر وجود شواهدی شامل وجود و شناسایی کوره‌های سفالگری، انباشت عظیم لایه های خاکستر، سفال‌های دفرمه شده بر اثر حرارت زیاد، سازه‌های چینه‌ای و خشتی کاملاً حرارت‌دیده و تعداد فراوان قطعات سفالی در محوطه این تپه است [19].

I. فصل اول کاوش

اولین فصل کاوش‌های باستان‌شناسی تپه رحمت‌آباد در سال ۱۳۸۴ هم‌زمان با پروژه نجات‌بخشی سد سیوند انجام شد. این کاوش توسط تیم مشترکی از موسسه باستان‌شناسی دانشگاه تهران و دانشگاه بینگه‌متون به سرپرستی حسن فاضلی نشلی، سوزان پولاک و راینهارد برنیک به انجام رسید. هدف کاوش فصل اول، بررسی بخش جنوبی تپه بود که انتهای آن پیش از این به دلیل فعالیت‌های راه‌سازی تخریب شده بود. طی کاوش سه ترانشه افقی بزرگ با ابعاد ۱۰×۱۰ متر و با نام‌های A, B, C و ترانشه لایه نگاری با نام D در جنوب، ترانشه پلکانی E در غرب و ترانشه F در شمال محوطه مورد کاوش قرار گرفتند (شکل ۲). بر اساس تاریخ‌گذاری مطلق کربن ۱۴ آثاری از نوسنگی بدون سفال یافت شد. در میان لایه‌های فرهنگی دوره باکون میانه در ترانشه A چند تکه سفال نوع موشکی و سفال مربوط به دوره گپ (فارس میانه ۲) و دوره فارس جدید (باکون الف) متعلق به هزاره پنجم قبل از میلاد شناسایی شد [19, 24].

تکنیکی از اواخر هزاره هفتم تا اواسط هزاره پنجم قبل از میلاد در محوطه رحمت‌آباد خواهد شد.

اولین شواهد دوران نوسنگی با سفال در فارس در حوضه رودخانه کر شناسایی شده است. در طول این حوضه آبرفتی شواهد مهم باستان‌شناسی در ارتباط با زندگی روستانشینی در دوره نوسنگی (فاز موشکی، فاز جری، فاز شمس‌آباد) و پیدایش تفاوت طبقاتی و پیشرفت تکنولوژی در دوره مس‌سنگی (باکون میانی) مشاهده می‌گردد [8, 21]. مشخصه مراحل آغازین سفال دوره نوسنگی در این منطقه ظهور دو فاز فرهنگی موشکی و جری بوده که از کاوش‌های دو تپه تل موشکی و تل جری ب در طول دهه های ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ به‌دست آمده است. از سال ۱۹۵۰م، رابطه زمانی بین این دو فاز فرهنگی دوره نوسنگی (موشکی و جری) مرتباً مورد بحث بوده و نظریات گوناگونی بر تقدم و تأخر آن ارائه شده است. لیکن طی سالیان اخیر بیشتر محققان بر تقدم فاز موشکی بر فاز جری اتفاق نظر دارند [22]. سفال بدون نقش باکون ب ۱ که امروزه به‌عنوان سفال شمس‌آباد شناخته می‌شود، در فاصله بین اواخر فاز جری و اوایل فاز باکون در منطقه فارس شناسایی و تاریخ‌گذاری شده است. فاز جری و شمس‌آباد تا به امروز از کاوش‌های تپه رحمت‌آباد به‌دست نیامده است. مطالعات اولیه انجام‌شده روی مجموعه‌ای از سفال‌های دوره فرهنگی باکون در تپه رحمت‌آباد با استفاده از آنالیزهای شیمیایی و ساختارشناسی با هدف از انجام این آنالیزها درک بهتر از مقایسه فرایندهای اجتماعی و اقتصادی جامعه و فرهنگ باکون بوده است. بر اساس روش‌های منتخب در این بررسی دو نوع سفال متراکم منقوش و خشن بدون نقش مورد شناسایی قرار گرفت که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده شباهت در ترکیب شیمیایی، تراکم بافت سفال، ریز ساختار همگن سفال‌ها دلیلی است بر درجه حرارت بالای پخت این محصولات که خود دلیلی است بر بهبود خواص مکانیکی، نفوذناپذیری کم و مقاومت شیمیایی بالا در این سفال‌ها [3, 23]. یکدستی در تزئین و تولید و سایر محصولات تولیدشده نشان از ساخت تخصصی سفال توسط سفالگران رحمت‌آباد در هزاره پنجم ق.م است [23]. این چنین شواهدی گواه از پیشرفتی بزرگ



شکل ۱. محدوده موقعیت مکانی و ژئومورفولوژی تپه رحمت‌آباد در همجواری جلگه و رود پلوار و تنگ بلاغی
 Fig. 1. Geomorphology and location of Tappeh Rahmatabad in Pulvar River Basin close to Tang-e Bolaghi valley

II. فصل دوم کاوش

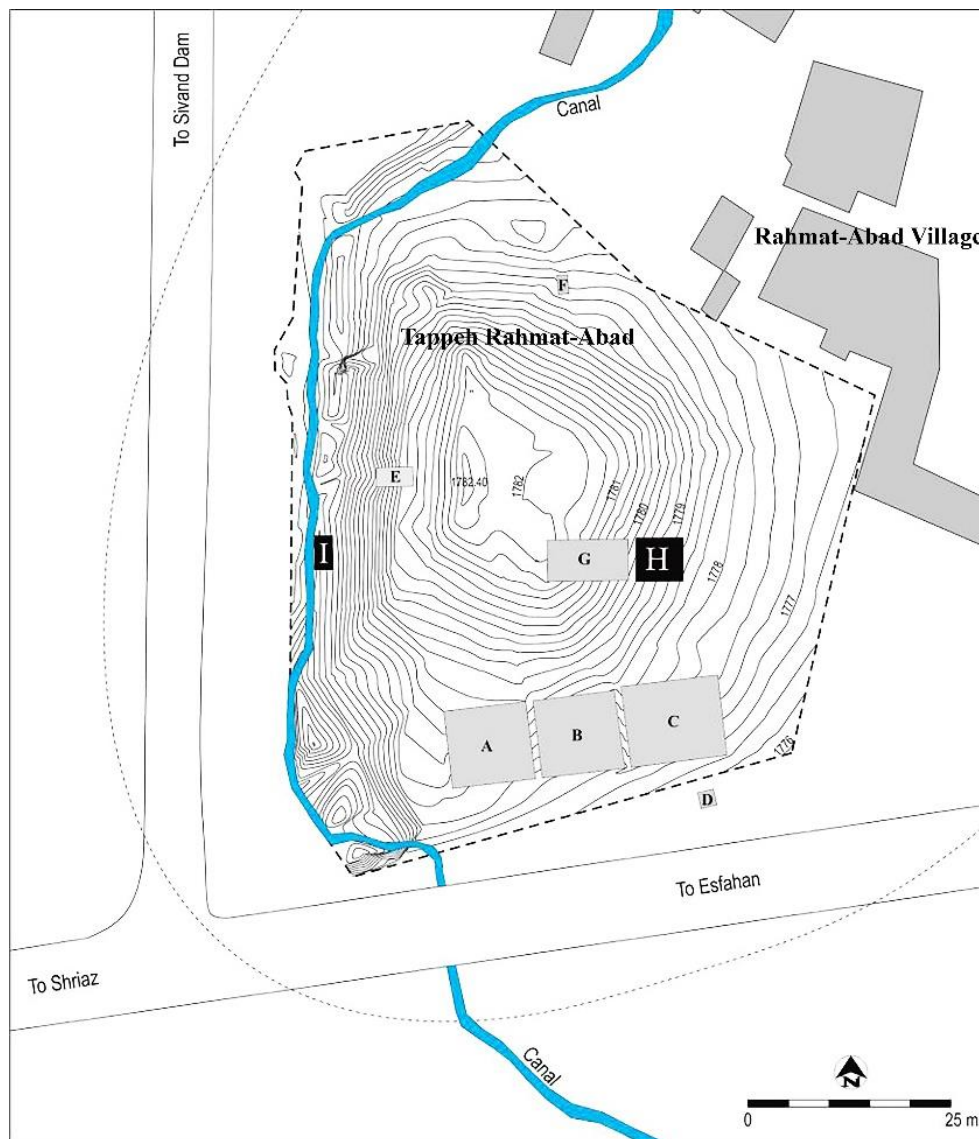
قدیمی‌ترین شواهد نوسنگی با سفال در فارس شناخته می‌شده است، به‌دست آمد. به‌طور کلی دوره‌های شناسایی‌شده در این کاوش از جدید به قدیم به این قرار است: اسلامی متأخر (گورستانی از دوره قاجار)، هخامنشی، باکون میانه (مس‌سنگی) و نوسنگی که به سه فاز نوسنگی بدون سفال (فاز رحمت‌آباد)، نوسنگی با سفال و فاز آغازین شکل‌گیری موشکی تقسیم‌بندی می‌شوند. بر اساس نتایج حاصل از تاریخ‌گذاری مطلق به روش کربن ۱۴، لایه‌های آغازین تپه موشکی با دوره نوسنگی با سفال متأخر در رحمت‌آباد هم‌زمان هستند [14].

فصل دوم کاوش با هدف ارائه گاه‌نگاری نسبی و مطلق (کربن ۱۴)، تپه رحمت‌آباد مجدداً توسط دکتر محمدحسین عزیزی خرائقی و همکارانش در سال ۱۳۸۸ انجام گرفت. در این فصل هفتمین ترانشه، G محوریت مطالعات قرار گرفت و طی کاوش، نخستین بار، آثار و لایه های دوره نوسنگی بدون سفال در یک تپه باستانی در منطقه فارس شناسایی شد و با نام فاز رحمت‌آباد نام‌گذاری گردید [14]. همچنین طبق تاریخ‌گذاری کربن ۱۴ انجام‌شده آثاری قدیمی‌تر از فاز موشکی که به‌عنوان

III. فصل سوم کاوش

فصل سوم کاوش رحمت‌آباد در سال ۱۳۸۹ توسط دکتر عزیزی خرائقی با هدف شناسایی بیشتر و بهتر دوره نوسنگی این محوطه به‌ویژه دوره نوسنگی بی‌سفال و گذار آن به دوره نوسنگی با سفال در ترانشه H با عمق ۶/۲۰ متر به انجام رسید. تعداد ۵۵ کانتکست (۸۰۵۵-۸۰۰۰) از ترانشه H مشخص گردیده است. همچنین گمانه آزمایشی آدرغرب تپه زده شده که تاریخ مطلق آن مربوط به دوره شکل‌گیری موشکی است. دوره‌های شناسایی‌شده در این کاوش عبارت‌اند از: دوره هنخامنشی، دوره باکون (هزاره

پنجم ق.م) دوره نوسنگی با سفال (فاز شکل‌گیری موشکی و فاز موشکی) و دوره نوسنگی بدون سفال (فاز رحمت‌آباد). قدیمی‌ترین قدمت این تپه مربوط به فاز رحمت‌آباد، که روی خاک بکر قرار گرفته است و طبق تاریخ‌گذاری کربن ۱۴، مربوط به ۷۳۹۰-۷۴۵۰ قبل از میلاد است [8, 19, 20]. به تعقیب کلیه داده‌های گزارش‌شده طی سه فصل حفاری و کاوش در منطقه باید اذعان داشت که تپه رحمت‌آباد اولین محوطه باستانی در فارس است که لایه‌های نوسنگی بدون سفال و توالی بدون وقفه آن به دوره نوسنگی با سفال قابل ردیابی و شناسایی است.



شکل ۲. محدوده و توپوگرافی تپه رحمت‌آباد و ترانشه‌های اکتشافی بر آن
Fig. 2. Topography of the Rahmat-Abad area and location of all excavated trenches.

۲-۱. گاه‌نگاری تپه رحمت‌آباد بر اساس

دوره‌بندی‌های منطقه فارس

همان‌طور که در بالا عنوان گردید، به‌طور کلی دوره نوسنگی تپه رحمت‌آباد به دو دوره نوسنگی بدون سفال (فاز رحمت‌آباد) و نوسنگی با سفال (فاز شکل گیری موشکی و فاز موشکی) تقسیم می‌شوند. به همین دلیل، دو دوره مورد توجه در این پژوهش نیز دوره‌های نوسنگی و مس‌سنگی در این محوطه هستند.

III. فاز موشکی

فرهنگ موشکی را می‌توان تداوم و تکامل فرهنگ شکل‌گیری موشکی دانست. اولین محوطه کاوش شده در ارتباط با دوره نوسنگی فارس تل موشکی است. این تپه در شمال روستای خیرآباد مرودشت فارس و در ۱۶ کیلومتری جنوب‌شرقی تخت جمشید و هم‌جوار با دیگر تپه‌های پیش از تاریخ مانند تل گپ، تل جری الف و ب، تل باکون الف و ب واقع شده است. در سال ۱۹۵۲م، اولین بار توسط وان‌دنبورگ و در سال ۱۹۶۵م توسط هیئت باستان‌شناسی دانشگاه شیکاگو مورد کاوش قرار گرفت. تاریخ‌گذاری مطلق تل موشکی قدمتی برابر به ۶۱۰۰ - ۶۳۵۰ ق.م را مورد تأیید قرار می‌دهد [22,25]. سفال نوع موشکی سفالی است خشن، با پوشش قرمز و گاهی نخودی. این سفال دارای تمپر زیاد گیاهی و نقوش هندسی سیاه و متخلخل و سطح سفال تا حدود زیادی صیقل داده شده است. سفال‌های مکشوفه از فاز موشکی تپه رحمت‌آباد همگی قابل مقایسه و تطبیق با سفال‌های فرهنگ موشکی در محوطه تل موشکی هستند. این تپه بعد از دوره باکون میانه (۴۶۸۸-۴۹۰۹ ق.م) متروک شده و سپس در دوره تاریخی (هخامنشی) دوباره محل سکونت قرار گرفته است. در حالت کلی، جدول پیشنهادی گاه‌نگاری در تپه رحمت‌آباد بر اساس مطالعات و حفاری‌های جدید به قرار زیر ارائه و پیشنهاد شده است.

I. فاز نوسنگی بدون سفال (فاز رحمت‌آباد)

طی حفاری‌های اخیر در محوطه رحمت‌آباد در شمال شرق حوزه رودخانه کر، برای اولین بار، شواهد بیش از ۲٫۵ متر طبقات استقرار دوره نوسنگی بدون سفال در زیر سطوح نوسنگی با سفال مشاهده گردید. نخستین شواهد این دوره زمانی در ترانشه G و در فصل دوم کاوش تپه رحمت‌آباد مشاهده شده و ضخامت لایه‌های معرف فاز رحمت‌آباد در دو ترانشه G و ترانشه H (فصل سوم کاوش) حدوداً ۱٫۵ متر است. تاریخ‌نگاری مطلق ۷۳۹۰-۷۴۵۰ ق.م حاکی از قدیمی‌ترین نمونه کربن ۱۴ این فاز روی خاک بکر در ترانشه H تپه رحمت‌آباد و همچنین قدیمی‌ترین تاریخ ارائه‌شده برای دوره نوسنگی در منطقه فارس است [19, 20, 24].

II. فاز شکل‌گیری موشکی

قبل از کاوش‌های تپه رحمت‌آباد، فاز موشکی به‌عنوان قدیمی‌ترین فرهنگ دوره نوسنگی در فارس شناخته شده بود. فاز شکل‌گیری موشکی برای نخستین بار در تپه رحمت‌آباد شناسایی شده است. این فاز به‌عنوان اولین مرحله تولید سفال در دوره نوسنگی با سفال در محدوده استان فارس و حوزه رود پلواز و قبل از شروع دوره موشکی است. بر اساس کاوش‌های انجام‌شده، این فاز فرهنگی در تپه رحمت‌آباد، شواهد آغاز تولید سفال را در محدوده فارس به اواخر هزاره هشتم و اوایل هزاره هفتم قبل

جدول ۱. جدول پیشنهادی برای گاه‌نگاری دوره نوسنگی و مس سنگی فارس بر اساس کاوش‌های رحمت‌آباد
Table 1. Cronology of Neolithic and Chalcolithic period in Fars province based on excavation in Rahmat-Abad

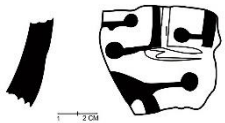
تاریخ مطلق کربن ۱۴	تاریخ تقریبی	دوره فرهنگی	یافت کانتکست	شماره کانتکست								
		سطحی	خاک سطحی	۸۰۰۰								
				۸۰۰۱								
		اوایل هزاره پنجم قبل از میلاد	باکون میانه	هخامنشی؟	آوار خشتی	۸۰۰۲						
						۸۰۰۳-۸۰۰۷						
						۸۰۰۸-۸۰۱۰						
						۸۰۱۱						
						۸۰۱۲-۸۰۱۴						
						۸۰۱۵						
						۸۰۱۶						
						۸۰۱۷-۸۰۱۹						
						۸۰۱۸						
						۸۰۲۰-۸۰۲۱						
						۸۰۲۲-۸۰۲۳						
						۸۰۲۴-۸۰۲۶						
						۸۰۲۵-۸۰۲۷						
						۸۰۲۸						
						۸۰۲۹-۸۰۳۱						
						۸۰۳۰-۸۰۳۳						
							؟	لایه مضطرب	انباشت	۸۰۳۲		
۴۷۹۰ - ۴۶۰۰ BC	اواخر هزاره هفتم قبل از میلاد									فاز موشکی	خاک حرارت دیده	۸۰۳۴
											گور	۸۰۳۵
		اسکلت	۸۰۳۶									
		انباشت	۸۰۳۷									
		پیت	۸۰۳۸									
		انباشت خاک و خاکستر	۸۰۴۰									
۷۱۴۰ - ۷۰۵۰ BC	اوایل هزاره هفتم و اواخر هزاره هشتم قبل از میلاد	فاز شکل‌گیری موشکی	انباشت	۸۰۳۹								
			انباشت	۸۰۴۱								
			خاکستر	۸۰۴۲-۸۰۴۴								
۷۳۳۰ - ۷۰۷۰ BC در کانتکست ۸۰۵۳ ۷۴۵۰ - ۷۳۹۰ BC	هزاره هشتم قبل از میلاد	فاز رحمت‌آباد	انباشت خاکستر و خاک	۸۰۴۳								
			حرارت دیده داخل اجاق	۸۰۴۵								
			خاکستر	۸۰۴۶								
			خاک حرارت دیده	۸۰۴۷								
			اجاق	۸۰۴۸								
			خاک حرارت دیده و خاکستر	۸۰۴۹								
			خاک کاملاً حرارت دیده	۸۰۵۰-۸۰۵۱								
			خاکستر	۸۰۵۲								
خاک کاملاً حرارت دیده	۸۰۵۳											
خاک بکر				۸۰۵۴								
				۸۰۵۵								

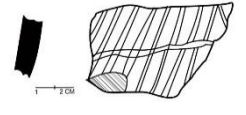
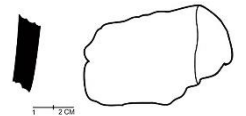
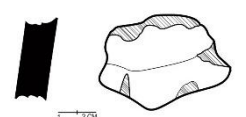


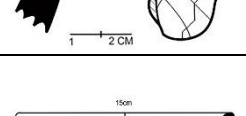


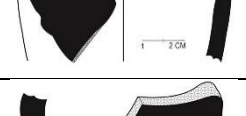

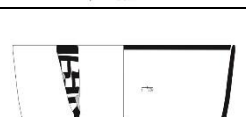
۳. مواد و روش‌ها

در این مطالعه پانزده قطعه سفال مطالعاتی از ترانشه H که از جدیدترین و مهم‌ترین ترانسه‌های ایجاد شده در تپه رحمت‌آباد بوده و طی سومین فصل کاوش به دست آمده‌اند، برای بررسی انتخاب شده‌اند. نه قطعه از این سفال‌ها از لایه‌های نوسنگی رحمت‌آباد و متعلق به کانتکست‌های ۸۰۴۲، ۸۰۳۹، ۸۰۳۲، یک قطعه از لایه سطحی با شماره کانتکست ۸۰۰۱ و تعداد پنج قطعه سفال از لایه‌های مس‌سنگی از کانتکست‌های ۸۰۰۷، ۸۰۱۶، ۸۰۲۳، ۸۰۲۷، ۸۰۳۲ مورد بررسی و آنالیز قرار گرفتند. برای بررسی و مطالعه مواد در این پژوهش از روش‌های میکروسکوپی (پترولوژی و پتروگرافی) توسط میکروسکوپ پلاریزان با مدل Olympus BX51 در دانشگاه زیگن (آلمان) با نور عبوری و منعکسه به منظور شناسایی خصوصیات مینرالوژی فازهای کریستالین تشکیل‌دهنده بافت سفال و خصوصیات پتروفابریکی سفال‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. طیف‌سنجی پراش اشعه ایکس

(XRD) برای شناخت ترکیب شیمیایی و نوع فازهای کریستالین تشکیل‌دهنده سفال‌ها توسط دستگاه Bruker-D8 Discover در دانشگاه زیگن و در رنج آنالیز $2\Phi=5^{\circ}-60^{\circ}$ مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات شناسایی فازها به صورت کمی و کیفی توسط نرم‌افزار Xpert HighScore Version 6 با شناسایی توسط داده‌های کریستالین از دیتابانک ICSD Collection Code 2018 شناسایی و محاسبه شدند. طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس (XRF) توسط دستگاه S8 Tiger Series 2 در شرکت کانساران دنا (ایران) برای تعیین ترکیب شیمیایی کلی سفال‌ها (Bulk) به صورت کمی انجام گرفت. هر پانزده قطعه سفال مورد بررسی پتروگرافی و طیف‌سنجی پراش اشعه ایکس قرار گرفته‌اند. همه نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری و پراش اشعه ایکس مطالعه شدند و به دلیل کوچک بودن برخی قطعات، فقط تعداد دوازده قطعه سفال برای آنالیز طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس فرستاده شد.

جدول ۲. مشخصات نمونه‌های مورد مطالعه از دو لایه نوسنگی و مس‌سنگی به دست آمده از ترانشه H تپه رحمت‌آباد
Table 2. Investigated samples from trench H, in both Neolithic as well as Chalcolithic of Rahmat-Abad

نمونه	شماره سفال	دوره فرهنگی	رنگ سطح سفال	رنگ مغز سفال	طرح سفال
	کانتکست		(بر اساس جدول مونتزل)	(بر اساس جدول مونتزل)	
۱	۸۵۴۹	گیری فاز شکل موشکی	10YR 5.3 Brown	10YR 4.1 dark Grey	؟
	۸۰۴۲				
۲	۸۰۴۷	نوسنگی	10YR 6.6 brownish Yellow	10YR 7.4 pale Brown	؟
	۸۰۰۱				
۳	۸۵۷۸	موشکی	10YR 7.4 pale Brown	7.5YR 7.6 reddish Yellow	
	۸۰۳۲				
۴	۸۷۱۵	موشکی	10YR 7.4 pale brown	10YR 7.4 pale brown	
	۸۰۳۲				

	10YR 7.4 pale brown	10YR 7.4 pale brown	موشکی	۸۷۱۹	۵
				۸۰۳۲	
	10YR 7.4 pale brown	10YR 7.4 pale brown	موشکی	۸۶۸۸	۶
				۸۰۳۲	
	10YR 7.4 pale brown	7/5YR 7.6 reddish Yellow	گیری فاز شکل موشکی	۸۵۷۱	۷
				۸۰۳۹	
	10YR 2.1 Black	7/5YR 7.6 reddish Yellow	گیری فاز شکل موشکی	۸۵۷۲	۸
				۸۰۳۹	
	10YR 2.1 Black	10YR 7.3 pale Brown	گیری فاز شکل موشکی	۸۵۴۶	۹
				۸۰۳۹	
	10YR 7.3 pale Brown	2.5YR 4.4 reddish Brown	گیری فاز شکل موشکی	۸۵۴۴	۱۰
				۸۰۳۹	
	5Y 8.3 pale Yellow	5Y 8.3 pale Yellow	فاز باکون میانه	۸۵۸۷	۱۱
				۸۰۲۷	
	5Y 8.3 pale Yellow	5Y 8.4 pale Yellow	فاز باکون میانه	۸۴۱۵	۱۲
				۸۰۲۳	
	2.5Y 8.2 pale Yellow	5Y 8.4 pale Yellow	فاز باکون میانه	۸۴۰۱	۱۳
				۸۰۱۶	
	2.5Y 8.4 pale Yellow	2.5Y 8.3 pale Yellow	فاز باکون میانه	۸۱۴۷	۱۴
				۸۰۰۷	
	5Y 7.3 pale Yellow	5Y 7.3 pale Yellow	فاز باکون میانه	۸۴۹۵	۱۵
				۸۰۳۲	



شکل ۳. نمونه‌های مورد مطالعه از دو فاز نوسنگی و مس‌سنگی تپه رحمت‌آباد
 Fig. 3. The collected samples from Neolithic and Chalcolithic period of Rahmat-Abad

۴. نتایج و یافته‌ها

۴-۱. پتروگرافی نمونه‌های رحمت‌آباد

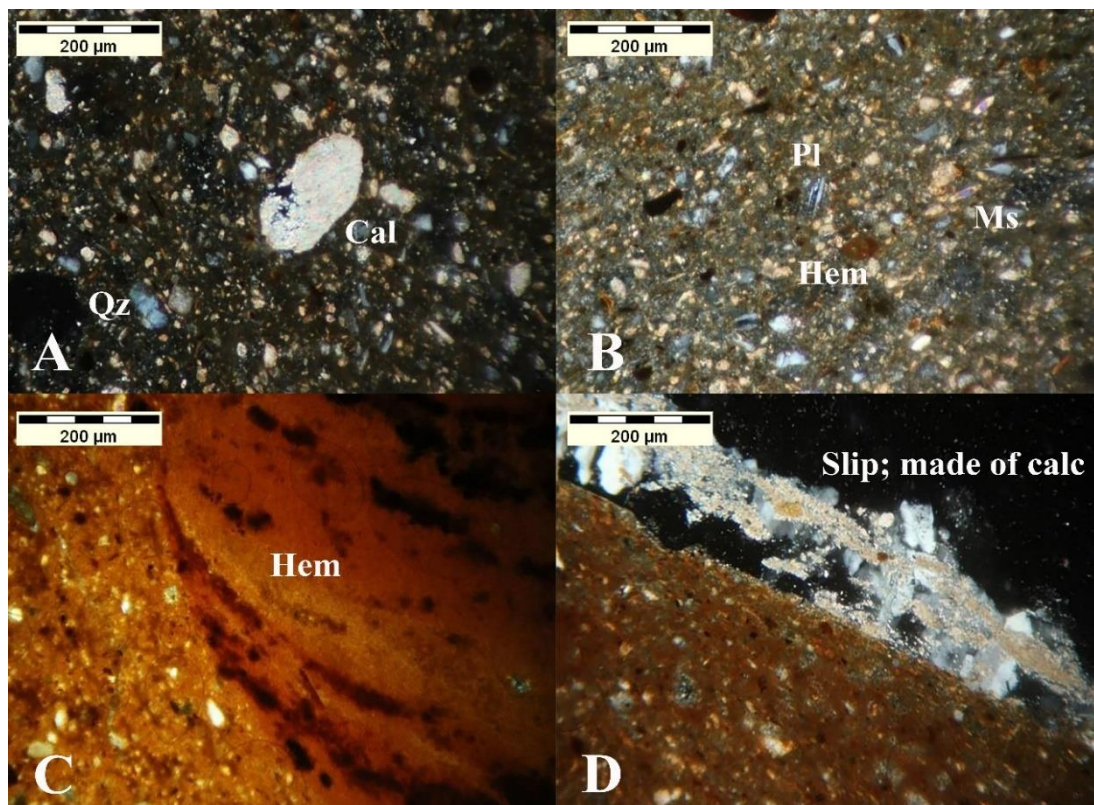
دوره نوسنگی در رحمت‌آباد همان‌طور که در برخی نمونه‌های دیگر مورد مطالعه از این برهه و در همین منطقه مشاهده شده است، حاکی از یک سنت ساده و اولیه استفاده از مواد معدنی در دسترس توسط سفالگران این ناحیه است [26, 27]. بافت و ساختار میکروسکوپی نمونه‌های نوسنگی بافتی منسجم و دارای مواد پرکننده معدنی است. بیشترین کانی‌های مشاهده‌شده در بافت این نمونه‌ها را کوارتز و کلسیت که البته با دانه‌بندی یکسان هستند، تشکیل داده است. پلاژیوکلازها و آلکالی‌فلدسپارها در داخل بافت سفال‌ها دارای منشاء رسوبی هستند. این مهم، به دلیل ریزبودن دانه‌های کانی‌های مورد بحث در بافت سفال مطرح می‌شود. در مقام مقایسه، پلاژیوکلازها و آلکالی‌فلدسپارهای دارای منشاء آذرین ساختار بزرگ‌تری از خود نشان می‌دهند که به دلیل خردنشده متوالی این ذرات در حین فرایند انتقال و یا فرسایش نیافتن کامل این کانی‌هاست [27]. رنگ بافت سفال‌ها دارای دو رنگ قرمز و قهوه‌ای است که نشان از ترکیب شیمیایی مواد اولیه مورد استفاده برای سفال‌گری،

اتم‌سفر کوره (اکسیدی و یا احیا) و درجه حرارت پخت سفال است [28]. نکته حائز اهمیت در سفال‌های نوسنگی محوطه رحمت‌آباد وجود بافت دانه‌بندی شده (Granulation) و خصلت بیرفرنژانس (Birefringence) ایجادشده در داخل بافت سفال‌هاست. خصلت بیرفرنژانس در حقیقت تغییرات رنگی در داخل بافت میکروسکوپی سفال در حین چرخش نمونه روی میز دوار میکروسکوپ پلاریزان را می‌گویند. این خاصیت به دلیل کامل پخته‌نشده سفال یا اصلاً پخته‌نشدن آن در داخل بافت ماتریکس ایجاد می‌شود. سفال‌هایی که از درجه حرارت بالایی برخوردارند، با توجه به شیشه‌ای شدن ساختار سفال خاصیت بیرفرنژانس را نداشته و یا در حد خیلی جزئی قابل مشاهده‌اند. در داخل بافت این نمونه‌ها ذرات کوارتز و کلسیت در برخی موارد در اندازه‌های بزرگ قابل مشاهده است (شکل ۴). وجود کلسیت در این حالت و دارای خصلت رنگین‌کمانی نشان از درجه حرارت پخت بسیار پایین این دسته از نمونه‌ها دارد. در چنین حالتی درجه حرارت پخت گهگاه کمتر از ۷۵۰ درجه سانتیگراد است [29]. مواد پرکننده اصلی این سفال‌ها همان‌طور که قبلاً

را می‌توان در دورنگ‌بودن و بافت ماتریکس غیر یکنواخت در سفال‌ها مشاهده کرد (شکل C۴). این نمونه دارای خاصیت بیرفرنزانس خوبی نیز هست. از جمله موارد مورد مشاهده در ارتباط با این سفال‌ها وجود اسلیپ‌های از جنس گل و آهکی روی بدنه سفال‌هاست (شکل D۴). این لایه های اسلیپ آهکی نقش روشنی به بدنه سفال‌ها می‌بخشیدند و به آنان از دید سفالگر جلوه بهتری می‌بخشیده است [16]. تفاوت کنتراست رنگی بسیار زیاد بین اسلیپ با بدنه نشان از اعمال اسلیپ بعد از پخته‌شدن و سردشدن سفال است که در نتیجه دارای رنگ روشن‌تری نسبت به بدنه است [33]. اتمسفر کوره در تمامی این نمونه‌ها اتمسفری اکسیدی بوده و تغییرات رنگی از روشن تا قرمز و تیره حاکی از پخت غیرقابل کنترل در محیط کوره و احتمالاً در برخی موارد دوده‌گیری بافت سفال در اثر به یکباره بازشدن دریچه هوای کوره در نوسنگی رحمت‌آباد است.

اشاره شده است، شامل ذرات بسیار ریز موسکوویت با خصلت چندرنگی و کشیده یا منشوری، کوارتز با رنگ روشن یا خاکستری و پلاژیوکلازها و فلدسپات‌ها با دوقلویی مشخص، رخ و رنگ خاکستری در داخل نمونه‌ها پراکنده شده‌اند (شکل B۴). هماتیت جزو دسته کانی‌هایی است که به سه دلیل می‌تواند در داخل بافت سفال دیده شود [30, 31؛ ۱] به دلیل وجود در داخل خاک رس اولیه. ۲) پخت در اتمسفر اکسیدی کوره و ۳) اکسیدشده ترکیبات آهن‌دار در دوران دفن. وجود هماتیت و ترکیبات اکسیدی آهن‌دار در منطقه حوزه پلوار و مرودشت به دلیل غنی‌بودن خاک منطقه از ترکیبات آهنی و رس‌های آهن‌دار در داخل بافت سفال دور از ذهن نمی‌تواند باشد [32].

با توجه به این مهم که نمونه‌های نوسنگی در رحمت‌آباد دارای درجه حرارت پخت پایین هستند، آنچه به درستی مشاهده می‌شود استفاده از خاک‌های رسی گوناگونی برای درست کردن سفال در این دوره بوده است. این مورد

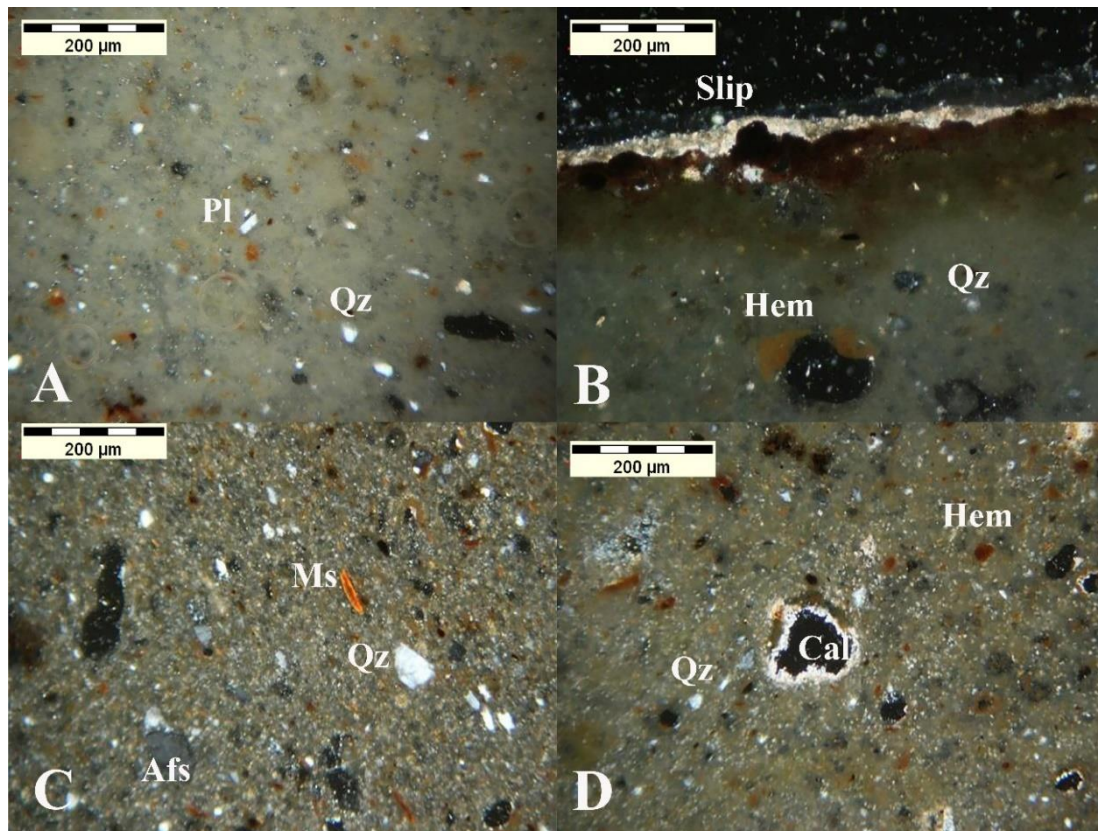


شکل ۴. تصاویر پتروگرافی نمونه‌های دوره نوسنگی رحمت‌آباد. اسامی کامل مینرال‌هایی که بصورت اختصاری شناسایی شده در زیر آورده شده است [34].

Fig. 4. Petrography pictures of Neolithic potteries from Rahmat-Abad
Qz : Quartz, Cal : Calcite ; Hem : Hematite ; Pl : Plagioclase ; Afs : Alkali Feldspar ; Ms : Muscovite

پلاژیوکلاز، فلدسپات، موسکوویت است و ذرات کربناته به‌ندرت در این بافت مشاهده می‌شوند (شکل C5). در این نمونه‌ها ترکیبات آهکی به‌صورت ذرات کلسیتی اصلاً مشاهده نشده و بیشتر خوردگی و تخریب کلسیت از داخل ماتریکس را شاهدیم که هم به‌دلیل درجه حرارت بالاتر و هم شرایط پس از دفن و تشکیل کلسیت ثانویه در محدوده حفرات به ایجاد گردیده است (شکل D5) [35, 36]. در کل سفال‌های مس‌سنگی دارای تخلخل بالاتری نیز هستند که به دلیل شرایط پخت در داخل کوره ایجاد گردیده است. رنگ این سفال‌ها نخودی و کرمی بوده و به همین دلیل باید اذعان داشت که اتمسفر پخت آنان بیشتر در قالب اتمسفر احیا مورد توجه قرار می‌گیرد. وجود ذرات پراکنده اکسید آهن در داخل تصاویر حاکی از وجود بارز این ماده در ترکیب خاک محیط پیرامون یا منشاء سفال بوده و از داخل گل رس مورد برداشت جهت سفال‌گری طی فرایند پخت آزاد شده و به‌صورت هماتیت شناسایی می‌گردد [37, 38].

بافت میکروسکوپی نمونه‌ها در دوره مس‌سنگی کاملاً متفاوت شده و این در وهله اول از رنگ بافت زمینه به‌سمت سبز یا مغزیسته‌ای تمایل دارد (شکل A5). بافت این دسته از سرامیک‌های مطالعاتی بسیار ریزتر از دسته قبلی است. این رنگ بافت بدنه و داشتن بی‌فرنژانس قوی در نمونه‌ها دلیل است بر درجه حرارت پخت بالای آنان در مقام مقایسه با سفال نوسنگی در رحمت‌آباد. ورز نمونه‌ها و دانه‌بندی آنان در این دوره متفاوت است و از ماده خام یا رس دیگری برای سفال استفاده شده است. سنت ایجاد اسلیپ یا پوشش گلی (آهکی) در این دوره نیز مشاهده می‌شود (شکل B5). لیکن با توجه به کنتراست رنگی ایجادشده از سطح زیر اسلیپ تا به داخل سفال می‌توان به این نکته پی برد که این اسلیپ روی بدنه گرم سفال ایجاد گردیده است. پیوستگی خوب اسلیپ به لایه اکسیدشده حاکی از این مدهاست. بافت کانی‌شناسی در این محدوده تا حدودی یکسان است و مواد پرکننده بیشتر شامل کوارتز،



شکل ۵. تصاویر پتروگرافی نمونه‌های دوره نوسنگی رحمت‌آباد [34].

Fig. 5. Petrography pictures of Chalcolithic potteries from Rahmat-Abad
Qz : Quartz, Cal : Calcite ; Hem : Hematite ; Pl : Plagioclase ; Afs : Alkali Feldspar ; Ms : Muscovite

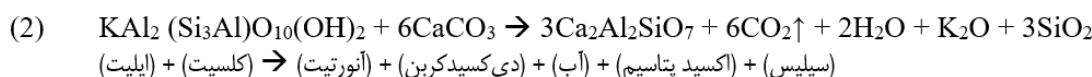
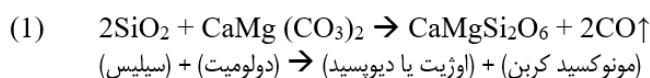
۴-۲. شناسایی فازهای کریستالین در

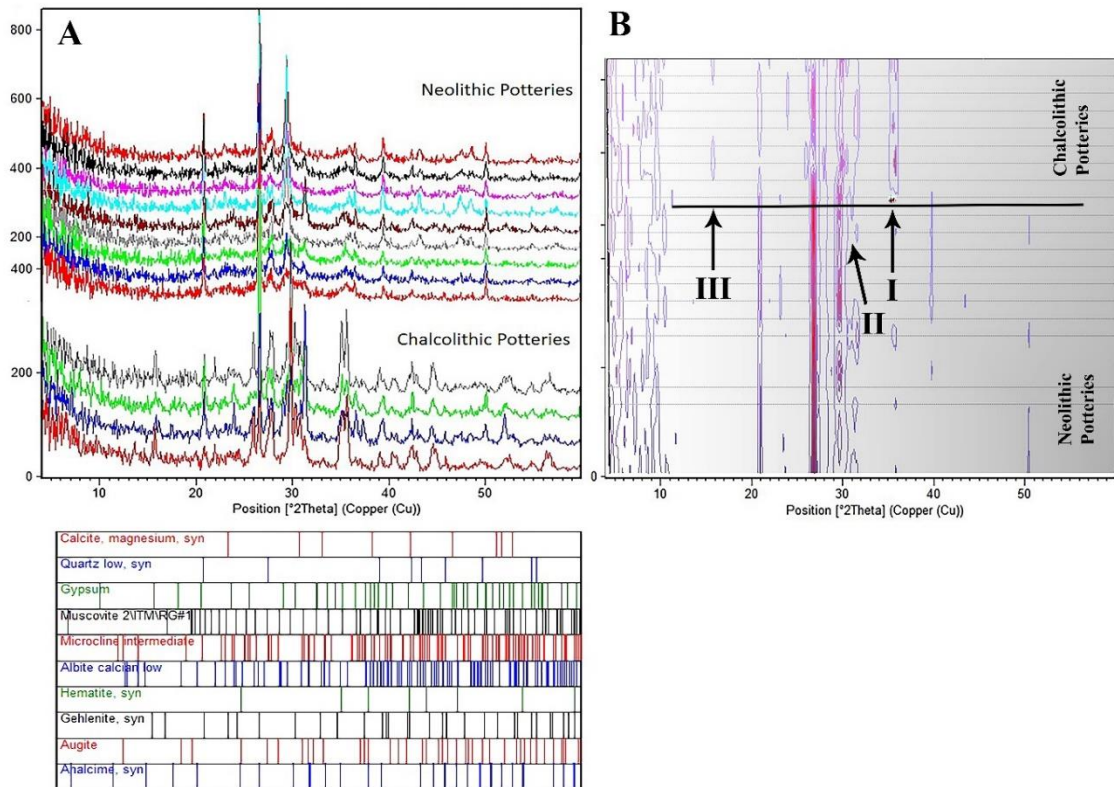
سفال‌های تپه رحمت‌آباد توسط XRD

محاسبات فازهای کریستالین شناسایی شده در تپه رحمت‌آباد تأییدکننده مواردی است که توسط مشاهدات میکروسکوپی مورد بررسی قرار گرفت. به واقع، تفاوت‌های چشمگیری بین سفال‌های هر دو دسته وجود دارد که بیشتر منعکس کننده تفاوت در درجه حرارت‌های ساخت در نمونه‌های هر دو دوره علی‌رغم استفاده از خاک یکسان است [39] (شکل ۴۶). اکثر فازهای شناسایی شده در سفال‌های دوره نوسنگی رحمت‌آباد، مشخصه پخت کم سفال‌ها در این دوره هستند. برخی از این ترکیبات مواد پرکننده بوده و یا ترکیبات معدنی که در خاک اولیه سفالگری به همراه بودند، وارد بافت سفال شدند به‌مانند کوارتز، پلاژیوکلاز، آلکالی‌فلدسپات، موسکویت و ترکیبات کلسیتی (اکثراً تا 2θ حدود 30° درجه مشاهده می‌شوند). فازهای درجه حرارت بالا چون پیروکسن‌ها ($2\theta = 32^\circ - 33^\circ$)، گلیت ($2\theta = 32^\circ - 33^\circ$)، در برخی موارد هماتیت ($2\theta = 35^\circ$)، در این دوره به مقدار کمتری مشاهده شده و یا اصلاً وجود ندارد. کلسیت و کوارتز در نوسنگی رحمت‌آباد از جمله فازهای اصلی مورد شناسایی هستند و آلومینوسیلیکات‌هایی چون میکروکلین ($\text{NaKAlSi}_3\text{O}_8$) و آلیت ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) در داخل بافت سفال‌ها با شدت پیک خیلی خوب و بالا قابل مشاهده است. روند امتداد پیک‌های دوره نوسنگی از پنج درجه تا پنجاهوپنج درجه به‌نسبت صاف و یکنواخت بوده و انحنا کمی (بالا رفتگی) در محدوده 20° تا 40° درجه قابل مشاهده است. این رفتار یکنواخت در دیفراکتوگرام همچنین دلیل است

بر درجه حرارت پایین و شیشه‌ای نشده کامل برخی قسمت‌های بافت سفال [40, 41]. این رفتار منحنی با انحنا بسیار جزئی ولی در سفال‌های دوره مس سنگی دیده می‌شود (شکل ۴۶). درجه پخت سفال‌ها، همان‌طور که از مطالعات میکروسکوپی نیز قابل حدس بود، با توجه به بودن ترکیبات کربناته در محدوده ماکزیمم 750° درجه سانتیگراد تخمین زده می‌شود [29].

تفاوت بارز و مشهود در ترکیبات کریستالین رؤیت‌شده در سفال‌های دوره مس سنگی رحمت‌آباد در محدوده زاویه دو تا 30° تا 32° درجه و 33° تا 35° درجه مشاهده می‌گردد. محدوده پدیدارشدن پیک‌های بارز و سیمتریک در زاویه بین 30° تا 32° درجه مربوط به ایجادشده فازهای سیلیکاته همانند اوژیت است. محدوده 43° تا 35° درجه منطقه وجود پیک‌هایی چون گلیت و هماتیت است [41]. همه موارد عنوان شده گویای روند ساخت در درجه حرارت‌های بالاتر را به اثبات می‌رساند. البته لازم به ذکر است که درجه حرارت بالا در این نمونه‌ها در بهترین حالت، درجه پخت بین 750° تا 850° درجه سانتیگراد بوده است. علت این امر واکنش سیلیکات‌ها و کربنات‌ها در داخل بافت سفال و تولید ترکیبات پیروکسنی (اوژیت و گلیت) است (معادل ۱ و ۲)، لیکن کربنات به مقدار کافی در محیط باقی نمانده تا تولید آنورتیت کند [37]. آنورتیت در درجه حرارت‌های حدود 900° درجه و با بالا بودن کربنات موجود در کلسیت و مقادیر سیلیس بجای مانده از رُس به‌وجود می‌آید. در ارتباط با شیمی مرتبط با این آزمایشات در بخش بعد توضیح داده شده است.





شکل ۶. A) دیفرکتوگرام‌های XRD برای شناسایی فازهای کریستالین در هر دو گروه سفال‌های تپه رحمت‌آباد. B) تصویر دو بعدی آنومالی فازهای پدیدار شده بر اساس محاسبات کمی فازهای شناسایی شده توسط ریتفلد روی دو گروه نوسنگی و مس‌سنگی در تپه رحمت‌آباد.
 Fig. 6. A) Diffractograms of all XRD crystalline phase results in both clusters of Rahmat-Abad potteries. B) 2D scan of quantitatively occurring measured phases based on Rietveld algorithm in both Neolithic and chalcolithic potteries of Rahmat-Abad.

جدید (کریستالیزاسیون جدید یا درجه حرارت بالا)، بسیاری از آنومالی‌ها در این دو دوره کاملاً متفاوت بوده و به همین دلیل در امتداد خط افقی نمودار مورد بحث قرار خواهند گرفت. همان‌طور که در شکل مشخص است، فازهای درجه حرارت بالا یا مشخصه سفال‌های مس‌سنگی خود را کاملاً از سفال‌های نو سنگی توسط خط افقی کشیده شده مجزا می‌سازند. اگرچه طبیعتاً فازهای مشابهی چون کوارتز، فازهای کربناته چون کلسیت و پلاژیوکلازها در هر دو نمونه سفال‌ها دیده می‌شود. بیشترین مناطقی که برای این مطالعه حائز اهمیت هستند و سبب می‌شود تا این دو مرحله سفال‌گری بیشتر از هم تمیز داده شود، در نواحی

نمودار اسکن دو بعدی فازهای تشکیل شده بر اساس محاسبات کمی با استفاده از نرم‌افزار ریتفلد آنومالی فازهای ایجاد شده. این نمودار بر اساس مقادیر کمی فازها و مقادیر θ_2 که مشخصه مکان قابل انتظار و مشخص حضور پیک‌هاست، شکل گرفته است (شکل ۶B). پیوستگی خطوط نشان داده شده حاکی از وجود یکنواخت یک فاز معین در تمامی دوره‌هاست (مثلاً ۲۱ و ۲۶ درجه که مشخصه وجود کوارتز است). کوارتز در این نمونه‌ها به صورت یکنواخت حضور داشته و تغییرات آن بسیار اندک است. لیکن در محدوده ۳۰ تا ۳۲ درجه شاهد تغییرات و باندهای متفاوتی از فازها هستیم که دلیلی است بر برهمکنش فازها از بعد شیمیایی و به وجود آمدن ترکیبات

نشان از ترکیب شیمیایی به نسبت یکنواخت در نمونه های مورد آنالیز و مطالعه است. تغییرات مشهود در درصد مواد فرار (LOI=Loss of Ignition) حاکی از درصدهای متنوع از مواد آهکی، کربناته و سولفیدی در محیط مورد مطالعه در رحمت آباد است. یکی از عوامل تأثیرگذار در ترکیب شیمیایی سفال های رحمت آباد قرارگیری این محوطه در جوار مسیر جاده ای پرتراپیک است که خود ایجاد آلاینده های محیطی و جذب آلاینده ها توسط محیط خاکی هستند که می توانند تا اعماق زیادی از لایه های سطحی زمین را تحت تأثیر قرار دهند [44]. LOI در سفال های مورد مطالعه در محدوده ۱ تا ۱۶ درصد ارائه شده است که نکته جالب توجه آن این است که تغییرات کربنات کلسیم و سولفورها در سفال های نوسنگی بسیار بیشتر از سفال های مس‌سنگی است. چنین به نظر می رسد که مواد خام اولیه ساخت سفال در دوره نوسنگی (عمدتاً آهک و سولفات) تغییرات غیرقابل کنترلی را نشان می دهد که ناشی از سفال گری با آزمون و خطا توسط صنعتگران بوده است. تغییرات LOI در دوره مس‌سنگی بسیار یکنواخت تر است که دلیلی است بر شرایط یکنواخت تر در نحوه پخت سفال [36]. تغییرات P2O5 متأثر از شرایط محیطی به خصوص محیط های مرطوب (باتالاقی و برکه) و نزدیکی به اجساد است [45, 46]. البته نقش استفاده از سوخت های فسیلی نیز قابل تعمق است [47, 48] که می تواند دلیلی بر استفاده از هیزم موجود در منطقه دشت پلوار باشد. MgO، MnO و TiO₂ دارای تغییرات بسیار جزئی هستند که نشان از استفاده یکنواخت از یک منبع در خصوص ساخت سفال بوده است. این عناصر بیشتر می توانند در راستای دکور روی سطح سفال و نقوش رنگی آن دخالت داشته باشند. البته در این خصوص، اصلی ترین کانی که می توانست مورد بحث قرار گیرد، ترکیب هاوسمانیت (Hausmannite MnMn₂O₄) بود که البته مقادیر MnO برای استفاده از آن کافی نیست و با توجه به مقادیر چشمگیرتری از ترکیبات

(I) $32^{\circ}-33^{\circ}\Theta 2$ و (II) $30^{\circ}-32^{\circ}\Theta 2$ قابل مشاهده است. این مناطق که با رنگ ارغوانی مشخص شده اند، حضور بیشتر مقادیر فازهای اوژیت و گلنیت را آشکار می کنند. همچنین منطقه III نیز با حضور آنومالی وجود فازهای آنالسیم، آلبیت و ژپس مشخصه تفاوت های ایجاد شده در دو برهه زمانی در تپه رحمت آباد را نشان می دهند. با توجه به نمودار شکل B6 تفاوت اصلی در نمونه های مس‌سنگی وجود فازهای درجه حرارت بالاتر از جمله اوژیت و یا گلنیت و همچنین آنالسیم است، که در سفال های نوسنگی رحمت آباد دیده نمی شود. آنالسیم با داشتن فرمول شیمیایی $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ نوعی پلاژیوکلاز است که در محیط های فقیر از سیلیس و مرطوب به وجود می آید و به همین دلیل در فرمول خود آب یا رطوبت را به همراه دارد. آنالسیم یکی از کانی هایی است که طی فرایند دفن و در محیط دارای خصلت های هوازدگی می تواند تولید شود [42]. یکی از علل وجود آنالسیم در سفال های مس‌سنگی و عدم حضور آن در سفال های نوسنگی، نزدیکی این نمونه ها به افق سطح زمین و تماس بیشتر با اکسیژن هوا می تواند باشد [43]. محدوده های ابتدایی نمودار که دارای اغتشاش زیادتری نسبت به دیگر قسمت های نمودار دارد، حاکی از تغییرات سریع فازهای اولیه و حساس به حرارت همچون رس ها و موسکوویت است و نیز موارد مربوط به پارزیت های ناشی از روند انجام آزمایش است.

۳-۴. ترکیب شیمیایی سفال های تپه رحمت آباد

جدول ترکیب شیمیایی سفال های تپه رحمت آباد که توسط روش اسپکتروسکوپی XRF آنالیز گردیدند، در جدول ۳ آورده شده است. نتایج حاصله از این جدول

مقادیر عناصر کمیاب در این نمونه‌ها همگی نشان از تغییرات یکسان و یکنواخت در نمونه‌ها دارد و تنها در دو عنصر تا حدودی متغیر است؛ یکی استرانسیوم (Sr) و دیگری کلر (Cl). تغییرات این دو همواره مشخصه تفاوت در ترکیبات خاک و خصوصیات زمین‌شناسی دارد. استرانسیوم اصولاً ترکیبی است که در داخل پلاژیوکلازها جای دارد و درصد متغیر و بالای آن نشان از وجود تنوع بالای حضور چنین مینرال‌هایی در بافت سفال است [41, 53]. آلکالی‌فلدسپات‌ها نیز تمایل برای قراردادن استرانسیوم در ساختار کریستالین خود دارند، لیکن مقدار آن کمتر است و در اثر هوازگی یا فرسایش مقادیر کمتری از استرانسیوم را برجای می‌گذارند.

کلر از جمله عناصر با حضور بسیار فراوان در بافت سفال و خاک به‌خصوص خاک‌های سطحی هستند. در نمونه‌های مورد آزمایش در تپه رحمت‌آباد مقادیر کلر در سفال‌های توسنگی بیشتر است تا سفال‌های مس‌سنگی که این به دلیل شسته‌شدن کلر در محیط نزدیک روی سطح زمین اتفاق می‌افتد. در سفال‌های توسنگی احتمال شسته‌شدن سطح سفال و تجمع کلر توسط آب باران یا رطوبت ناشی از آب‌های زیرزمینی کمتر بوده است [53, 54]. با توجه به خصلت ژئومورفولوژی مربوط به منطقه دشت مرودشت و رود پلوار و درجه حرارت نسبتاً بالای این محیط در فصول گرم منطقه امکان بر جای‌گذاری کلر در اثر انحلال و تیخیر متوالی بسیار بالا است و این خود دلیلی است بر وجود درصد بالای کلر در خاک محوطه پلوار و تپه رحمت‌آباد [55].

آهنی، بیشتر به استفاده از گل اخرا اکتفا می‌شود [49, 50]. مقادیر کلسیم دلیل بر استفاده از خاک رس ایلیتی برای ساخت سفال است که مقدار پتاسیم آن با توجه به انحلال بالا در اولین مراحل پخت از داخل شبکه کریستال ایلیت خارج شده و به‌صورت نمک های پتاسیم در داخل بافت فابریک سفال تجمع پیدا می‌کند. همچنین مقادیری نیز از سوخت هیزم‌های مناطق مرطوب می‌تواند روی سطح سفال تجمع داشته باشد [51]. این مقادیر در دوره نوسنگی به‌طور قابل توجهی ثابت‌اند و در دوره نوسنگی تا حدودی متغیر است، که دلیلی است بر تغییرات ژئومورفولوژی منطقه. NaO عمدتاً نمک‌های تجمع‌یافته در شرایط پس از دفن بوده و وابسته به محیط دفن است.

با ذکر تمامی موارد عنوان‌شده ترکیبات اصلی مورد توجه برای طبقه‌بندی سفال‌ها را می‌توان بر اساس نظریه نول (Noll) باز در سیستم سه‌وجهی $CaO+MgO - SiO_2 - Al_2O_3$ طبقه‌بندی نمود [52]. در این نمودار محور $SiO_2 - Al_2O_3$ مشخصه ترکیب شیمیایی خاک رس بوده و محور $CaO+MgO - SiO_2$ به درصد مواد افزودنی و ترکیبات واسطه پیروکسنی که در درجه حرارت‌های بالا به‌وجود می‌آیند، مربوط است [52]. بر این اساس، سفال‌های رحمت‌آباد در هر دو دوره، همگی در دسته سفال‌های آهک بالا طبقه‌بندی می‌گردند (شکل AY). این در حالی است نتایج آنالیز نمونه‌ها تجمع متمرکزی را از خود نشان می‌دهند که این تراکم و عدم پراکندگی نتایج آزمایش دلیلی است بر استفاده یکنواخت از یک منبع مواد خام برای ساخت سفال در تپه رحمت‌آباد.

جدول تغییرات ترکیبات فرعی و کمیاب در سفال‌های رحمت‌آباد نیز حاکی از همین یکنواختی و استفاده مشابه مواد است (شکل BY). همان‌طور که در شکل دیده می‌شود،

جدول ۳. ترکیب شیمیایی سفال‌های نوسنگی (نمونه ۷) و مس سنگی (نمونه ۵) محوطه رحمت‌آباد، ترکیبات اصلی و درصد مواد فرار LOI به صورت درصد وزنی محاسبه شده و عناصر کمیاب به صورت ppm در ادامه ارائه شده است.

Table 3. Bulk chemical composition of Neolithic potteries (7 of 10) and Chalcolithic potteries (5) from Rahmat-Abad. Major oxides are given in W%, trace elements are given in ppm;

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	L.O.I										
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%										
2	47.86	13.36	5.72	13.68	0.98	3.45	3.82	0.576	0.115	0.367	0.524	0.35										
4	41.07	11.93	4.89	16.57	1.01	3.02	3.22	0.516	0.114	0.263	0.175	16.85										
5	46.56	12.74	5.78	15.52	1.22	3.02	3.86	0.609	0.113	0.308	0.152	9.89										
6	41.15	11.15	4.59	17.47	1.06	3.06	3.32	0.526	0.098	0.352	0.196	16.8										
8	44.21	11.32	5.02	16.28	1.26	2.84	3.39	0.536	0.105	0.298	0.293	14.19										
9	42.01	11.02	4.96	16.41	0.89	3.02	4.21	0.532	0.105	0.029	0.145	16.52										
10	48.55	14.63	6.65	16.25	1.96	1.63	5.11	0.632	0.126	0.296	0.033	4.01										
11	48.02	15.01	7.05	16.22	2.01	1.39	4.96	0.668	0.132	0.334	0.036	4.06										
12	45.36	13.89	5.56	19.25	1.21	1.86	3.39	0.659	0.115	0.319	0.063	7.87										
13	48.39	13.36	5.74	17.01	1.23	2.33	3.65	0.629	0.116	0.265	0.052	6.96										
14	46.55	14.26	5.96	19.11	1.89	1.12	4.31	0.668	0.082	0.311	0.036	5.62										
15	47.86	12.51	5.69	14.15	0.96	3.27	4.21	0.576	0.112	0.253	0.045	10.22										
ppm	Ba	Sr	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	V	Ce	La	W	Zr	Y	Rb	Co	As	U	Th	Mo	Ga	Nb	
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1755	459	946	37	89	30	113	101	115	7	5	2	182	30	66	20	5	2	4	4	12	2	
2988	287	571	30	82	21	105	104	108	30	16	8	126	26	59	13	7	1	5	8	18	9	
2634	394	474	40	75	20	125	109	114	32	15	5	115	24	60	18	6	5	3	2	11	2	
2675	256	542	32	76	12	104	82	102	38	19	3	117	21	54	11	8	9	5	6	16	9	
3055	338	479	44	98	23	107	106	107	9	5	4	116	26	58	11	5	2	5	4	10	4	
3006	354	478	30	77	14	120	115	108	33	19	2	106	24	56	12	7	2	4	2	14	2	
1011	217	441	27	66	24	152	138	124	21	12	4	119	21	27	17	13	1	2	2	14	2	
1028	202	445	40	79	13	126	108	122	35	16	2	107	16	29	18	5	4	5	4	13	4	
754	382	597	32	80	7	105	84	108	4	2	2	130	22	36	11	9	3	4	3	11	4	
359	353	497	52	78	9	126	134	106	25	12	1	120	24	53	17	13	3	5	2	13	5	
677	225	565	29	78	14	115	101	114	33	16	2	128	17	27	16	9	12	9	3	12	6	
365	532	483	55	92	21	160	174	107	55	23	4	121	28	58	17	8	1	5	4	13	4	

۵. بحث در نتایج و یافته‌ها

تپه رحمت‌آباد یکی از کلیدی‌ترین محوطه‌های نوسنگی و مس‌سنگی در استان فارس محسوب می‌گردد. فاز فرهنگی ابتدای موشکی در حقیقت یک دوره گذر محسوب می‌گردد که اتفاقات فرهنگی رخ داده در این دوره، خود دلیلی است بر تلاوم سکونت و ادامه روند رو به رشد تکنولوژی در این محوطه. با توجه به حفاری‌های انجام شده در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۷ در محوطه‌ی رحمت‌آباد دو دوره فرهنگی جدید که در سایر تپه‌های باستانی منطقه مشاهده نشده کشف شده است. در این تپه، نخستین بار، دوره نوسنگی پیش از سفال که با عنوان دوره رحمت‌آباد و توالی آن تا دوره نوسنگی با سفال که دوره شکل‌گیری موشکی نام گذاری شده است [14, 19].

یکی دیگر از جوانب دارای اهمیت در این پژوهش، تحلیل و شناسایی روند ساخت سفال مس‌سنگی (باکون میانه) پس از ایجاد یک وقفه زمانی در حدود ۱۵۰۰ سال بین دوره نوسنگی بوده است. نتایج حاصل از این پژوهش موجب دستیابی به شناختی کامل‌تر از سیر تحول فن‌آوری ساخت سفال و مهارت سفال‌گران در شناسایی کوره‌ها و کنترل آتش داشته است. همچنین طبقه‌بندی و شناسایی مناسبی در جهت نمونه‌های سفاله‌های به‌دست‌آمده از دو دوره فرهنگی محوطه مورد مطالعه ارائه دهد.

سفال‌های مورد مطالعه در این پژوهش از جنبه‌های آنالیزی گوناگونی مورد مطالعه قرار گرفتند که هدف از انجام این مطالعات بررسی احتمالی شباهت‌های تکنیکی و نوع مواد خام اولیه در ساخت این مواد بوده است. تمامی مطالعات انجام شده حاکی از این هستند که مواد خام اولیه طی گذر زمان در تپه رحمت‌آباد مشابهت کافی با یکدیگر داشته و سفال‌گران از خاک یکسانی در این خصوص استفاده نموده‌اند. این مهم در تراکم به‌نسبت خوب نتایج آنالیز شیمیایی با یکدیگر در سیستم شیمیایی $\text{CaO} + \text{MgO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ و مطالعات پتروگرافی سفال‌ها مشهود است. مطالعات پتروگرافی در هر دو نمونه سفال‌های مورد مطالعه از این محوطه حاکی از یکسان بودن مواد افزودنی و غیریکسان بودن بافت ماتریکس است. مواد افزودنی سفال‌ها در هر دو برهه زمانی ثابت باقی مانده که

بر اساس ریزبودن دانه‌های کوارتزی، پلاژیوکلازها و مووسکوویت در بافت سفال‌های قابل توجه است [39]. اما مقدار متفاوت تخلخل (زیاد در مس‌سنگی و کم در نو سنگی) و همچنین رنگ بافت ماتریکس دلیل است بر تفاوت در تکنولوژی پخت [28].

روند یکنواخت ترکیب شیمیایی نمونه‌ها در نمودار شکل AV حاکی از نسبت یکنواخت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ دارد که دلیلی است بر استفاده از خاک رس با ترکیب شیمیایی تا حدودی مشابه در هر دو دوره فرهنگی رحمت‌آباد. با توجه به طبقه بندی شیمیایی ارائه شده (بر اساس طبقه‌بندی Noll) سفال‌های هر دو دوره فرهنگی در تپه رحمت‌آباد را می‌توان سفال‌های آهک بالا نام برد، چراکه در محدوده مثلث سیلیس - آنورتیت - دیوپسید قرار گرفته‌اند. اوژیت $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}, \text{Ti})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$ (که در سفال‌های مطالعاتی شناسایی شده) و دیوپسید $(\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6))$ از لحاظ ترکیب شیمیایی از یک خانواده بوده، لیکن دیوپسید دارای آهن کمتر و منیزیم بیشتر نسبت به اوژیت است. تفاوت‌های فازی و کریستالین در نمونه‌های هر دو دوره کاملاً مشهود است که با توجه به نوع فازهای شناسایی علت این تفاوت را می‌توان در درجه حرارت پخت سفال و یا تغییرات در اتمسفر کوره‌های پخت سفال عنوان نمود. این تفاوت‌ها بیشتر در محدوده زاویه ۳۰ تا ۳۵ درجه مشاهده شده که دلیلی است بر ایجاد فازهای ثانویه که بر اثر کنش‌های حرارتی در بافت سفال به‌وجود آمده‌اند [39]. نکته حائز اهمیت در این مورد تفاوت‌های مشخص در رنگ و بافت سفال بود که به استفاده از نتایج مطالعات ساختاری، فازشناسی و میکروسکوپی قابل توضیح است. در اولین برخورد با نمونه‌های دستی این منطقه چنین مشخص است که رنگ سفال‌های نوسنگی در رحمت‌آباد قرمزتر از سفال‌های مس‌سنگی (باکون میانه) است و این به دلیل وجود فازهای مینرالوژیک از جمله پلاژیوکلازها (آلبیت و میکروکلین) به‌نسبت فازهای درجه حرارت بالاتر همچون پیروکسن‌ها (اوژیت) هستند [56]. ترکیبات حاوی آهن که عمدتاً از رس‌های ایلیتی نشئت گرفته در درجه حرارت‌های حدود ۷۰۰ درجه سانتیگراد (۱۰۰ درجه بیشتر از محدوده تخریب کامل ایلیت) خود را در ساختار پلاژیوکلازها

داخل بافت سفال در این برهه تاریخی در تپه رحمت‌آباد است.

۶. نتیجه‌گیری

تعداد ۱۵ نمونه سفال پیش از تاریخی از دو دوره فرهنگی نوسنگی (آغاز موشکی) و مس‌سنگی (باکون میانه) از محوطه تپه رحمت‌آباد در دشت پلوار مورد مطالعه و آنالیز شیمیایی قرار گرفت. این مطالعات در راستای فهم تداوم و چگونگی روند تکنیکی ساخت سفال در این محوطه انجام گردید. این تداوم از این لحاظ حائز اهمیت بود که تپه رحمت‌آباد بر اساس کاوش‌های باستان‌شناسی انجام شده مکانی در خصوص وجود این دو فاز فرهنگی در توالی یکدیگر، اولین بار در این حوزه مشخص گردیده است. مطالعات شیمیایی بر اساس نتایج حاصل از مشاهدات پتروگرافی و شیمیایی (XRF و XRD) انجام گرفت. ساختار سفال رحمت‌آباد و ترکیب شیمیایی شناسایی شده در این محوطه پیش از تاریخی طبقه‌بندی مشخصی را از بابت نوع مواد مورد استفاده در اختیار می‌گذارد. بر اساس مطالعات انجام‌شده چنین محرز گردید که تکنیک سفال‌گری از بابت انتخاب مواد اولیه و خام مورد استفاده در هر دو برهه تاریخی در طول ۱۵۰۰ سال یکسان باقی مانده، درحالی‌که ساخت این محصولات در درجه حرارت‌های متفاوتی صورت گرفته است. هر دو مدل و گروه سفال دوره نوسنگی و مس‌سنگی در این محوطه با عنوان سفال‌های آهک بالا شناخته شده است. به همین دلیل می‌توان عنوان نمود که سفالگران تپه رحمت‌آباد در دوره مس‌سنگی آشنایی بیشتری با شرایط کوره و احتمالاً کنترل درجه حرارت داشتند. وجود مطالعات جدید و تاریخ‌گذاری مطلق در منطقه نشان از این دارد که سفال باکون که در دیگر مناطق این حوزه فرهنگی به‌دست‌آمده تکنولوژی ساخت مشابه و آگاهانه‌ای از سفالگری دوره باکون در تپه رحمت‌آباد نیز مشاهده نمود. همچنین ایجاد کلسیت ثانویه در سفال‌های مس‌سنگی (باکون میانه) پلوار را به‌عنوان نقطه عطفی در سفال‌گری حوزه فارس به شمار آورد.

نمی‌توانند حفظ کنند و به درون فابریک سفال وارد شده و حتی در درجه حرارت پایین هم اکسید شده و رنگ سفال را قرمزتر می‌کنند. درحالی‌که در سفال‌های مس‌سنگی (باکون میانه) مقادیر پیروکسن (اویژیت) بیشتر بوده و این کانی قادر است که عنصر آهن را در ساختار خود جای دهد و آزاد نسازد [57]. به همین دلیل، رنگ سفال‌های پیش از تاریخی در بسیاری موارد تابعی است از نسبت پیروکسن به پلاژیوکلاز. هرچقدر این نسبت (Pyx/Pl) افزایش داشته باشد، رنگ سفال به سمت نخودی متمایل خواهد شد. بر اساس مطالعات ریتفلد نیز همین نتیجه در مقایسه گروهی سفال‌های رحمت‌آباد حصول یافت. همان‌طور که در تصاویر پتروگرافی نیز مشهود بود، مقاطع نازک دوره نوسنگی تپه رحمت‌آباد رنگ قرمزتری را به‌نسبت سفال دوره مس‌سنگی (باکون میانه با رنگ سبزتر) در بافت خود نشان دادند. این مهم دلیلی است بر تفاوت در درجه حرارت ساخت سفال‌ها در این دو دوره، لیکن با استفاده از مواد خام یکسان موجود در منطقه. تفاوت‌هایی که در شدت پیک‌های XRD در نمونه‌های مورد آنالیز دیده می‌شود، دلیل است بر واکنش‌های انجام‌شده در شرایط پخت متفاوت و یا در اتمسفر کوره متفاوت. این مدعا به‌دلیل یکسان‌بودن نسبی شدت پیک‌های کوارتز، پلاژیوکلاز و آلکالی‌فلدسپات بوده و تفاوت در شدت در پیک‌های دارای ترکیبات آهکی و کربناته. از طرفی، کانی‌های ثانویه یا کانی‌سازی مجدد از جمله گلنیت و آنالسیم نیز در سفال‌های دوره مس‌سنگی (باکون میانه) بیشتر مشاهده می‌گردد. وجود آنالسیم در سفال‌های مس‌سنگی دلیل است بر فرسایش زیاد بافت سفال هم در دوران استفاده از سفال و هم در دوران دفن که ارتباط مستقیمی با محیط پیرامون سفال‌ها دارد [58]. دلیل فرسایش بیشتر در سفال‌های مس‌سنگی (باکون میانه) در تپه رحمت‌آباد را می‌توان در دارابودن تخلخل بالای این سفال‌ها به‌نسبت دوره فرهنگی شروع موشکی در رحمت‌آباد نیز مشاهده نمود. همچنین ایجاد کلسیت ثانویه در درون بافت سفال‌های مس‌سنگی (باکون میانه) مشخصه‌ای در تداوم فرایند تخریب در طول مدت دفن در

References

- [1] Roux V. Anthropological interpretation of ceramic assemblages: foundations and implementations of technological analysis. Archaeopress; 2011.
- [2] Hein A, Kilikoglou V. Modeling of the microstructure of ancient functional ceramics and assessment of their performance. *Procedia Structural Integrity*. 2018;10:219-26.
- [3] Hein A, Kilikoglou V, Martín-Torres M. Heat transfer properties of post-medieval crucibles. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2018;11(4):1571-5.
- [4] Kilikoglou V, Vekinis G, Maniatis Y, Day P. Mechanical Performance of Quartz-Tempered Ceramics; Part I, Strength and Toughness*. *Archaeometry*. 1998;40(2):261-79.
- [5] Rehren T, Boscher L, Pernicka E. Large scale smelting of speiss and arsenical copper at Early Bronze Age Arisman, Iran. *Journal of Archaeological Science*. 2012;39(6):1717-27.
- [6] Tite MS. Pottery production, distribution, and consumption—the contribution of the physical sciences. *Journal of archaeological method and theory*. 1999;6(3):181-233.
- [7] Stein A. *Archaeological Reconnaissances in North-western India and South-eastern Īrān: Carried Out and Recorded with the Support of Harvard University and the British Museum*; Macmillan; 1937.
- [8] Weeks L, Alizadeh K, Niakan L, Alamdari K, Zeidi M, Khosrowzadeh A, et al. The Neolithic settlement of highland SW Iran: new evidence from the Mamasani District. *Iran*. 2006;44(1):1-31.
- [9] Childe VG. *The Urban Revolution*. The City Reader: Routledge; 2015. p. 54-62.
- [10] Watkins T. New light on Neolithic revolution in south-west Asia. *Antiquity*. 2010;84(325):621-34.
- [11] Wailes B. V. Gordon Childe and the relations of production. *Craft specialization and social evolution: In memory of V Gordon Childe*. 1996:3-14.
- [12] Berberian M, Shahmirzādi SM, Djamali M. Archeoseismicity and environmental crises at the Sialk mounds, central Iranian plateau, since the Early Neolithic. *Journal of Archaeological Science*. 2012;39(9):2845-58.
- [13] Malek Shahmirzadi S. A specialized Housebuilder in an Iranian village of the VIth Millennium BC. *Paléorient*. 1979:183-92.
- [14] Azizi Kharanaghi H, Fazeli Nashli H, Nishiaki Y. The Second Season of Excavations at Tepe Rahmat Abad, Southern Iran: The Absolute and Relative Chronology. *Ancient Near Eastern Studies*. 2014;51:1-32.
- [15] Pollard AM, Davoudi H, Mostafapour I, Valipour HR, Nashli HF. A New radiocarbon chronology for the late Neolithic to Iron age in the Qazvin plain, Iran. *The International Journal of Humanities*. 2012;19(3):110-51.
- [16] Maggetti M. Phase analysis and its significance for technology and origin. *Archaeological ceramics*: Smithsonian Institution Press; 1982. p. 121-33.
- [17] Maggetti M. *Archaeometry: quo vadis?* Geological Society, London, Special Publications. 2006;257(1):1-8.
- [18] Emami MA, Trettin R. High Tech in 5100 BC: multianalytical approach for characterisation of decorated pottery from Tappeh-Zaghe. *Surface Engineering*. 2013;29(2):134-9.
- [19] Kharanaghi HA, Nashli HF, Nishiaki Y. Tepe Rahmatabad: a prepottery and pottery neolithic site in Fars province. *Neolit Iran*. 2013;108.
- [20] Nishiaki Y, Kharanaghi MHA, Abe M. The Late Aceramic Neolithic Flaked Stone Assemblage from Tepe Rahmatabad, Fars, South-West Iran. *Iran*. 2013;51(1):1-15.
- [21] Abdi K, Pollock S, Bernbeck R. Fars archaeology project 2003: excavations at Toll-e Bashi. *Iran*. 2003;41(1):339-44.
- [22] Nishiaki Y. A radiocarbon chronology for the neolithic settlement of Tall-i Mushki, Marv Dasht Plain, Fars, Iran. *Iran*. 2010;48(1):1-10.
- [23] Marghussian AK, Fazeli H, Sarpoolaky H. Chemical-Mineralogical Analyses and Microstructural Studies of

- Prehistoric Pottery from Rahmatabad, South-West Iran*. *Archaeometry*. 2009;51(5):733-47.
- [24] Bernbeck R, Pollock S, Nashli HF. Rahmatabad: dating the aceramic Neolithic in Fars Province. *NEOLITHICS* 1/08. 2009:3-39.
- [25] Alizadeh A, editor. The origins of state organizations in prehistoric highland Fars, southern Iran, excavations at Tall-e Bakun. The University of Chicago orientalinstitute Publication, Vol. 128,2006.
- [26] Emami M, Chapoulie R, Abdi K. Cathodoluminescence microscopy for interpreting the fabric and heating process of ancient pottery: Preliminary study on the technological features of pottery from the Kur River basin. *Archaeometry*. 2021;64(2):337-56.
- [27] Pincé P, Braekmans D, Lycke S, Vandenabeele P. Ceramic Production in the Kur River Basin (Fars, Iran) During the Middle to Late Second Millennium BCE : A Geochemical and Technological Characterization. *Archaeometry*. 2019;61(3):556-73.
- [28] Burton MM, Quinn PS, Bennallack K, Farahani A, Howland MD, Najjar M, et al. Ceramic technology at Wadi Fidan 61, an early Pottery Neolithic site (ca. 6500 B.C.E.) in the Faynan region of southern Jordan. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2021;38:103029.
- [29] Rathossi C, Pontikes Y, Tsolis-Katagas P. Mineralogical differences between ancient sherds and experimental ceramics: Indices for firing conditions and post- burial alteration. *Bulletin of the Geological Society of Greece Proceedings of the 12th International Congress*. 2010;XLIII 43(2):856-65.
- [30] Aloupi-Siotis E. Ceramic technology: how to characterise black Fe-based glass-ceramic coatings. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2020;12(8):1-15.
- [31] Hein A, Kilikoglou V. Ceramic raw materials: how to recognize them and locate the supply basins: chemistry. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2020;12(8):1-17.
- [32] Amadori ML, Pallante P, Fermo P, Emami MA, Chaverdi AA, Callieri P, et al. Advances in Achaemenid brick manufacturing technology: Evidence from the monumental gate at Tol-e Ajori (Fars, Iran). *Applied Clay Science*. 2018;152:131-42.
- [33] Chapoulie R, Déléry C, Daniel F, VENDRELL-SAZ M. Cuerda seca ceramics from al-andalus, islamic spain and portugal (10th– 12th centuries ad): Investigation with sem–edx and cathodoluminescence. *Archaeometry*. 2005;47(3):519-34.
- [34] Whitney DL, Evans BW. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*. 2010;95(1):185-7.
- [35] Emami SM, Trettin R. Phase Generating Processes in Ancient Ceramic Matrices Through Microstructure Investigation with High Resolution Microscopy Methods. *Journal of Advanced Microscopy Research*. 2010;5(3):181-9.
- [36] Fabbri B, Gualtieri S, Shoal S. The presence of calcite in archeological ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*. 2014;34(7):1899-911.
- [37] Cultrone G, Rodriguez-Navarro C, Sebastian E, Cazalla O, De La Torre MJ. Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. *European Journal of Mineralogy*. 2001;13(3):621-34.
- [38] Maggetti M, Schwab H. Iron Age fine pottery from Châtillon-s-glère and the Heuneburg. *Archaeometry*. 1982;24(1):21-36.
- [39] Gál Á, Ionescu C, Bajusz M, Codrea VA, Hoeck V, Barbu-Tudoran L, et al. Composition, technology and provenance of Roman pottery from Napoca(Cluj-Napoca, Romania). *Clay Minerals*. 2019;53(4):621-41.
- [40] Emami M, Trettin R. Mineralogical and chemical investigations on the ceramic technology in Coğā Zanbil,(Iran, 1250 BC). *Periodico di Mineralogia* Vol 81, 3. 2012:359-77.
- [41] Gliozzo E. Ceramic technology. How to reconstruct the firing process. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2020;12(11):260.

- [42] Gliozzo E. Ceramics investigation: research questions and sampling criteria. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2020;12(8):202.
- [43] Ricci C, Borgia I, Brunetti B, Sgamellotti A, Fabbri B, Burla M, et al. A Study on Late Medieval Transparent-glazed Pottery and Archaic Majolica from Orvieto (Central Italy). *Archaeometry*. 2005;47(3):557-70.
- [44] Fors Y, Nilsson T, Risberg ED, Sandström M, Torssander P. Sulfur accumulation in pinewood (*Pinus sylvestris*) induced by bacteria in a simulated seabed environment: Implications for marine archaeological wood and fossil fuels. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2008;62(4):336-47.
- [45] Aladel BA, Sabree IK, Edrees SJ. Effects of mgo wt.% on the structure, mechanical, and biological properties of bioactive glass-ceramics in the SiO₂, Na₂O, CaO, P₂O₅, mgo system. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2019;10(1):97-106.
- [46] Freestone IC. Applications and Potential of Electron Probe Micro-Analysis in Technological and Provenance Investigations of Ancient Ceramics. *Archaeometry*. 1982;24(2):99-116.
- [47] Barkoudah Y, Henderson J. Plant Ashes from Syria and the Manufacture of Ancient Glass: Ethnographic and Scientific Aspects. *Journal of glass studies*. 2003;48.
- [48] Marghussian A, Coningham R, Fazeli H. The Evolution of Pottery Production During The Late Neolithic Period at Sialk On The Kashan Plain, Central Plateau of Iran. *Archaeometry*. 2017;59(2):222-38.
- [49] Rouhani A, Azimzadeh H, Sotoudeh A, Thomalsky J, Emami H. Geochemical analysis of multi-element in archaeological soils from Tappe Rivi in Northeast Iran. *Acta Geochimica*. 2022.
- [50] Simsek Franci G, Colomban P. On-Site Identification of Pottery with pXRF: An Example of European and Chinese Red Stonewares. *Heritage*. 2021;5(1):88-102.
- [51] Ho JWI, Quinn PS. Intentional clay-mixing in the production of traditional and ancient ceramics and its identification in thin section. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2021;37:102945.
- [52] Noll W, Heimann RB. *Ancient Old World Pottery: Schweizerbart Science Publisher*; 2016.
- [53] Christidis GE, Shriner CM, Murray HH. An Integrated Methodological Approach for Source-Clay Determination of Ancient Ceramics: The Case of Aegina Island, Greece. *Clays and Clay Minerals*. 2014;62(6):447-69.
- [54] Spataro M. A comparison of chemical and petrographic analyses of Neolithic pottery from South-eastern Europe. *Journal of Archaeological Science*. 2011;38(2):255-69.
- [55] Jones MD, Djamali M, Holmes J, Weeks L, Leng MJ, Lashkari A, et al. Human impact on the hydroenvironment of Lake Parishan, SW Iran, through the late-Holocene. *The Holocene*. 2015;25(10):1651-61.
- [56] Maggetti M, Neururer C, Ramseyer D. Temperature evolution inside a pot during experimental surface (bonfire) firing. *Applied Clay Science*. 2011;53(3):500-8.
- [57] Noll W, Heimann RB. *Ancient Old World Pottery*. 2016.
- [58] Aladel BA, Sabree IK, Edrees SJ. Effects of MgO wt.% on the Structure, Mechanical, and Biological Properties of Bioactive Glass-Ceramics in the SiO₂, Na₂O, CaO, P₂O₅, MgO System.