Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

Journal of Research on Archaeometry 2024; 10 (2); 1-29

Journal of Reserarch on Archaeometry

DOI: http://dx.doi.org/10.61882/jra.10.2.370

Original Paper Open Access

Dating of Pottery Fragments Recovered from the Archaeological Sites of Kul Tepe Gargar and Dava Göz Khoy Using the Archaeomagnetic Method

Nasrin Dadashzadeh[1,*], Masoud Bagherzadeh Kasiri[2], Hamideh Rashid[3], Mohamad Hamedpour Darabi[4], Akbar Abedi[2], Atekeh Aslani[5]

1. M.Sc. in Archaeometry, Faculty of Cultural Materials Conservation, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
2. Associate Professor, Faculty of Cultural Materials Conservation, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
3. PhD, Geology and Mineral Exploration Organization of Iran, Tehran, Iran
4. Assistant professor, Physics Department, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran
5. Master's degree, Geology and Mineral Exploration Organization of Iran, Tehran, Iran

Received: 2023/05/25 Accepted: 2024/12/09

Abstract

Paleomagnetism is an interdisciplinary field that bridges geophysics and archaeology, focusing on the study of variations in the Earth's magnetic field throughout human history. This method utilizes periodic changes in the geomagnetic field and the properties of certain archaeological materials that can record the direction and intensity of the Earth's magnetic field, enabling the relative dating of artifacts. The samples analyzed in this research were selected from pottery artifacts excavated at the archaeological sites of Kul Tepe Jolfa and Dava Göz Khoy. These samples span various chronological periods, ranging from the Neolithic to the Kura-Araxes II period (5215–2638 BCE), with their absolute ages previously determined using the radiocarbon (14C) dating method. The objective of this study was to develop a reference curve illustrating periodic variations in the inclination of the ancient magnetic field and to establish a relative dating tool for estimating the age of unidentified samples from the same temporal range. To achieve this, laboratory techniques were employed, including: 1) Measurement of mass-specific magnetic susceptibility using the Kappabridge instrument. 2) Detection of superparamagnetic minerals via frequency-dependent magnetic susceptibility measurements using the Bartington apparatus. 3) Magnetic mineralogy analysis conducted with a Multi-Function Kappabridge. Thermal demagnetization was used to eliminate secondary magnetization and isolate the primary magnetic signature. The analyzed samples exhibited comparable magnetic behavior, attributed to the prevalence of ferromagnetic minerals. The ferromagnetic mineral grains comprised a mixture of superparamagnetic and larger particles. Magnetite and titano-magnetite were identified as the primary magnetic carriers in all samples, while hematite was notably absent. The irreversibility observed in the magnetic temperature curves suggests insufficient heating and phase transformation of minerals during thermal processing, posing challenges to the accurate determination of archaeomagnetic properties. Nonetheless, there is a strong concordance between the obtained results and the reference curve of archaeomagnetic inclination variations for the investigated time span. This alignment is further supported by data from neighboring sites within the same temporal and spatial context. Despite certain limitations and uncertainties, the reference curve remains a viable tool for age determination of thermally altered samples and artifacts within the specified chronological framework and a spatial radius of approximately 1000 km around the examined two sites.

Keywords:

Archaeomagnetic, Dating, Titano-magnetite, Kul Tepe, Dava Göz, Late Prehistory, NW Iran

* Corresponding Author: Nasrindadashzadeh80@gmail.com

©2024 by the Authours.This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

Introduction

Paleomagnetism provides a methodological framework for archaeologists to construct historical chronological sequences by analyzing the variations in both the direction and intensity of the Earth's magnetic field over the past several millennia. This approach primarily relies on the examination of ancient materials that have undergone thermal alteration during their production or utilization. The development of a calibrated curve representing the historical fluctuations of the Earth's magnetic field can serve as a valuable tool for dating heat-altered archaeological artifacts. According to this technique, the magnetic field direction corresponding to a specific historical period becomes recorded in thermally treated clay structures—such as ovens, kilns, pottery, bricks, hearths, thermal baths, walls, or burnt soil—that have been exposed to temperatures between approximately 650°C and 700°C. At these elevated temperatures, the ferromagnetic particles within the clay lose their inherent magnetic properties and adopt paramagnetic characteristics, thereby permanently capturing the direction and intensity of the Earth's magnetic field at the time of heating (Gomez-Paccard and Beamud, 2008). This phenomenon is known as thermal remanent magnetization (Renfrew and Bahn 2007).

Archaeological Background

Over the past few decades, the field of paleomagnetism has garnered substantial interest from researchers in both archaeology and geophysics. Currently, Europe represents the most extensively covered region in terms of paleomagnetic studies focused on ancient data (Carrancho et al. 2015). Recent archaeological investigations in the Middle East have provided evidence suggesting that the Earth's magnetic field intensity experienced a remarkable increase during the Bronze Age in this area. A particular study presented new paleomagnetic data from archaeological sites dating to the second millennium BCE, including Tell Hariri in Syria, as well as the Haft Tappeh and Chogha Zanbil sites in Iran. These findings were systematically compared with previous archaeomagnetic data from Mesopotamia, facilitating the construction of a credible reference secular variation (SV) curve for the Mesopotamian region, spanning a timeline up to 3000 BCE. Given its rich cultural history, Iran occupies a pivotal role in paleomagnetic research and holds significant potential for addressing uncertainties in the understanding of ancient geomagnetic variations in the Middle East (Gallet 2008).

Materials and Methods

In the context of paleomagnetic research and considering the archaeological significance of the Kul Tepe and Dava Göz sites, both of which have been subjected to absolute dating through the AMS method, this study undertook the systematic sampling of ceramic artifacts. The selected samples originate from Kul Tepe Gargar in East Azerbaijan Province (Abedi et al. 2014; Abedi and Omrani 2015; Abedi 2016b; Abedi et al. 2018) and the Dava Göz, located in Khoy County, West Azerbaijan Province (Abedi et al. 2015; Abedi 2016a; Abedi 2017).

A total of 17 ceramic sherds were analyzed, including 11 specimens from Kul Tepe Gargar, recovered from trenches II, III, and IV, and 6 specimens from Doheguz (Dava Göz), obtained from trenches III, IV, and V. To ensure precise documentation, the samples were systematically coded according to their excavation site, trench number, and locus. The pottery fragments from Kul Tepe Jolfa were designated with the code (K.J), an abbreviation for *Kul Tepe Jolfa*, followed by their respective sample numbers. Likewise, the samples from Doheguz were labeled using the abbreviation (D.G), representing *Dava Göz*, followed by their corresponding numerical identifiers.

To facilitate paleomagnetic investigations on historical pottery samples, a series of specialized experiments were undertaken as follows:

- **Mass and Volume Magnetic Susceptibility Measurements:** This experiment was designed to identify and differentiate the various remanent magnetic components within the samples, as well as to evaluate their magnetic stability.

- **Magnetic Susceptibility Measurements at Low and High Frequencies:** This procedure aimed to quantify the magnetization intensity of the minerals present in the samples under both low and high-frequency conditions.

- **Magnetic Mineralogical Analysis:** This analysis was conducted to determine the types of ferromagnetic minerals present in the investigated samples.

- **Thermal Demagnetization Tests:** To isolate the Characteristic Remanent Magnetization (ChRM), a stepwise demagnetization approach was employed, consisting of 13 progressively increasing temperature steps.

The research methodology incorporated an extensive review of pertinent scientific literature, systematic documentation of the examined samples, precise sectioning and preparation of the samples, and execution

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

of suitable laboratory analyses using advanced analytical instruments. To assess the direction and intensity of the geomagnetic field, a directional analysis was performed, which comprised the following steps:
a) **Thermal Demagnetization:** Employed to eliminate secondary magnetization and isolate primary remanent magnetization.
b) **Determination of Paleomagnetic Declination and Inclination:** Aimed at extracting the ancient geomagnetic vector's orientation from the samples.
Furthermore, to identify the ferromagnetic minerals within the pottery and to estimate their firing temperatures in antiquity, the Curie temperature measurement technique was applied. In addition, to assess the concentration of ferromagnetic minerals and determine their grain sizes, magnetic susceptibility and frequency-dependent susceptibility analyses were conducted. Based on these assessments, appropriate samples were selected for measuring the intensity of archaeomagnetic signals.

Analysis Results

-Analysis of Mass Magnetic Susceptibility Results

The findings of the mass magnetic susceptibility analysis reveal that the magnitude of this magnetic parameter is significantly greater in the Dava Göz Khoy than in the Kul Tepe Gargar (Figure 1).

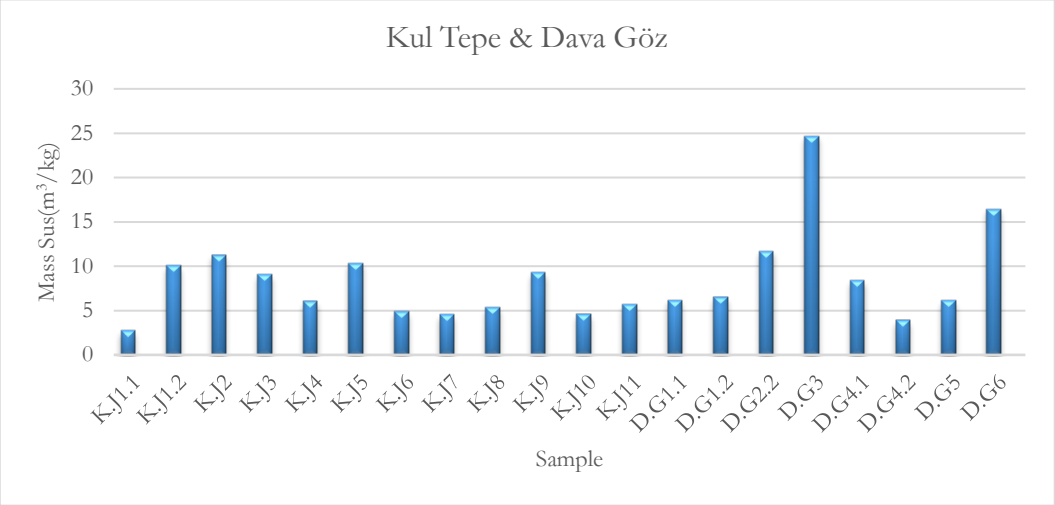


Figure 1. Comparison of mass-specific magnetic susceptibility of samples from Kul Tepe and Dava Göz

-Evaluation of Frequency-Dependent Magnetic Susceptibility Results

The findings reveal that the examined samples exhibit varying concentrations of superparamagnetic iron oxide particles. Specifically, samples K.J1 and K.J7 show the lowest frequency-dependent susceptibility values (%χfd < 2), indicating a minimal presence or near absence of superparamagnetic particles within these samples (Jordanova et al. 2019) (Figure 2).

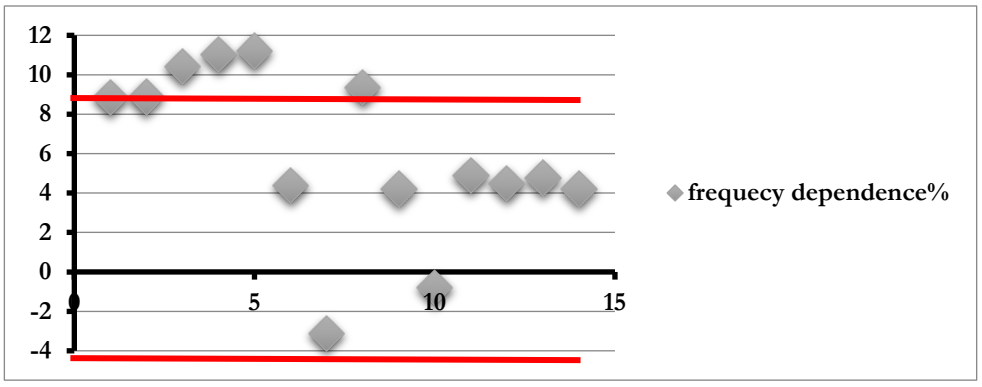


Figure 2. Scatter plot of ferromagnetic minerals based on magnetic grain size.

-Magnetic Mineralogical Analysis (CS3) Results

The magnetic mineralogical analysis (CS3) conducted on the examined samples reveals that all samples exhibit near irreversibility, with phase transitions occurring in the ferromagnetic minerals during the heating and cooling processes. Hematite, with a chemical composition of Fe2O3 and a color spectrum ranging from brown to red, gray, and black, appears in the ceramic matrix in two distinct forms. This mineral either forms as a secondary phase at elevated temperatures in an oxidative environment within the kiln, or as hematite particles naturally present in the local soil. The presence of hematite in ceramics, in the absence of natural

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

hematite in the clay, is indicative of temperatures exceeding 800°C (Tarling 1966). In light of the absence of hematite in the majority of the studied samples (with the exception of sample K.J1), it can be concluded that the ceramics in this study were likely not subjected to an appropriate firing temperature during their production. Given the lack of hematite formation, it can be inferred that the firing temperature of the samples was below 800°C, most likely within the range of 450°C to 600°C.

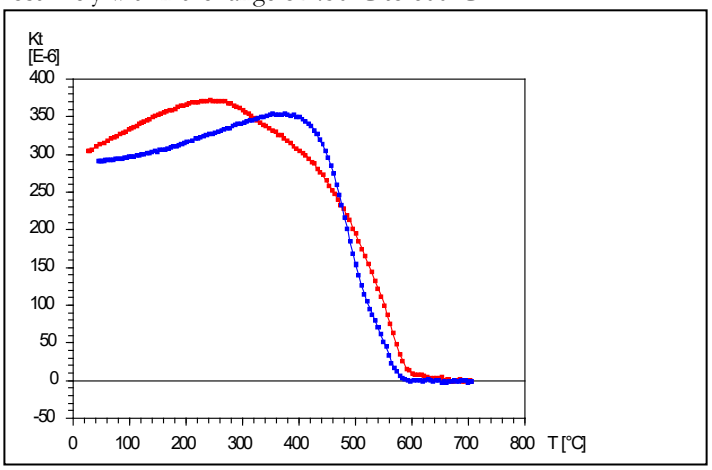


Figure 3. The D.G5 sample exhibits high susceptibility and is irreversible, containing pyrrhotite and magnetite minerals.

The thermal demagnetization analysis revealed that all samples exhibit a multi-component magnetization, with secondary magnetization acquired after the ceramics were fired and over time. These secondary components were effectively removed within the temperature range of 400°C to 680°C during the demagnetization process. The magnetic declinations derived from this analysis were plotted and compared, showing a relatively strong correlation between the variations in the paleomagnetic inclination angle of northwestern Iran and those of adjacent regions (Catanzariti 2012).

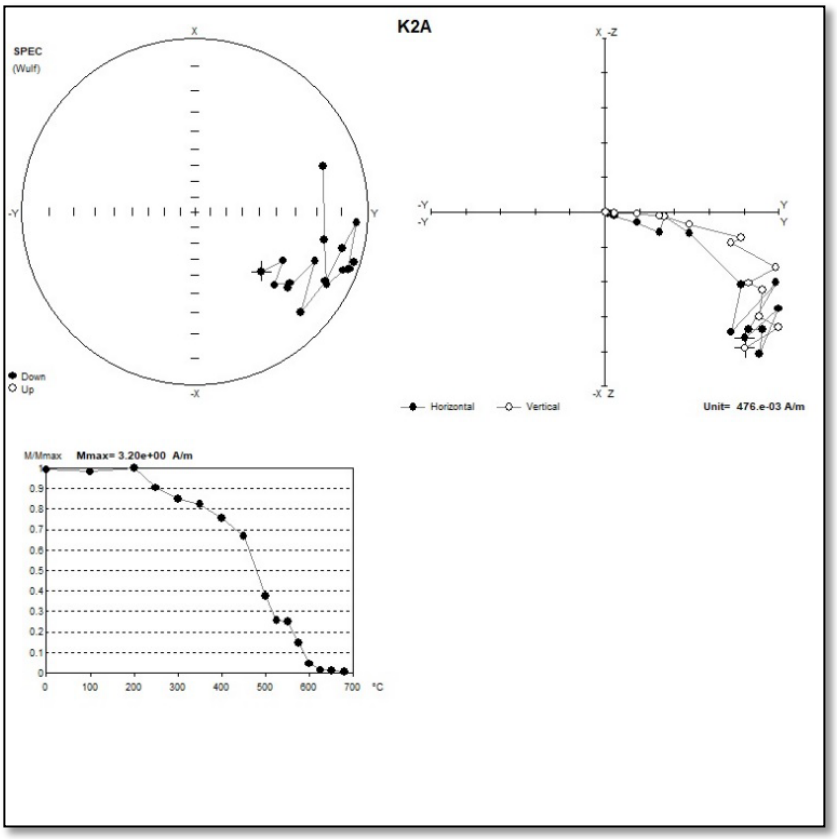


Figure 4. Demagnetization curve of sample K.J2.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

Discussion

Overall, the results of the mass and volume magnetic susceptibility measurements indicate the presence of ferromagnetic minerals in the geological matrix and parent rocks of both archaeological sites, reflecting a significant magnetic susceptibility potential within the samples. The higher average magnetic susceptibility observed in the Dava Göz Khoy, compared to the Kul Tepe Jolfa, is attributed to the greater diversity of ferromagnetic minerals in the samples. The frequency-dependent magnetic susceptibility analysis revealed that most samples exhibited values within the range of 10% $\chi fd < 2$, suggesting a mix of superparamagnetic particles and larger grain sizes. The magnetic mineralogical analysis confirmed that the primary magnetic carriers in all the samples were magnetite and titano-magnetite, with additional magnetic minerals such as hematite, pyrrhotite, goethite, and titano-magnetite present in certain samples. These minerals experienced phase transitions during the laboratory heating process. The irreversibility observed in the magnetic susceptibility-temperature curves of nearly all samples points to insufficient firing of the ceramics, indicating that they did not reach thermodynamic equilibrium during the ancient firing process.

Conclusion

The primary objective of this study was to develop reference diagrams illustrating the variations in the paleomagnetic inclination angle and the paleointensity curve. However, due to the irreversibility of the magnetic mineralogical curves and the phase transitions of minerals occurring during laboratory heating, paleointensity measurements were not performed. As a result, an index diagram was generated to depict the periodic variations in the paleomagnetic inclination angle for the studied regions over the time period of 5215-2638 BCE. This diagram was compared with data from neighboring regions, showing a relatively strong correlation with the Balkan reference curve. However, a few samples displayed notable deviations from the global reference curve, likely caused by the tilted positioning of these samples during their firing in the kiln.

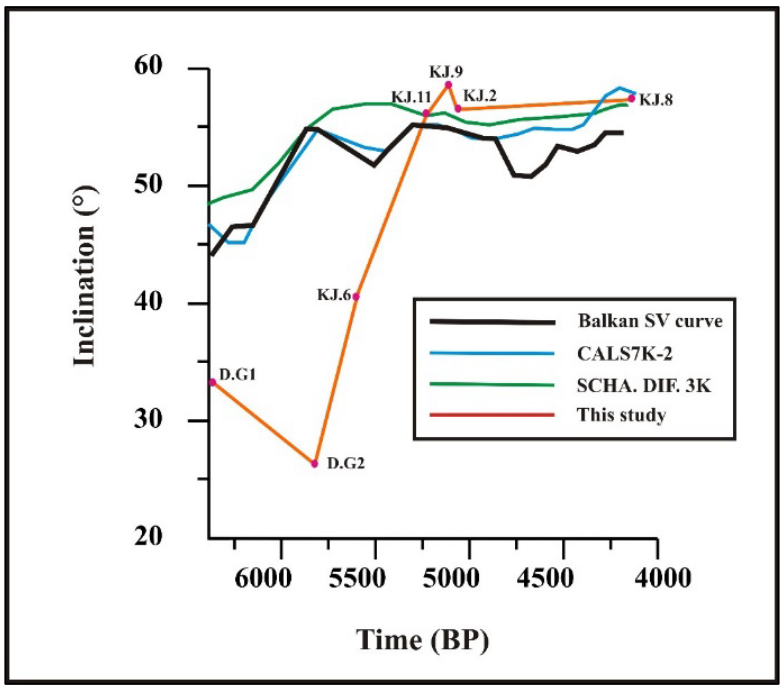


Figure 5. Reference curve diagram of the variations in the ancient magnetic inclination angle from the present study and its comparison with neighboring regions.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

پژوهه باستان سنجی، ۱۴۰۳؛ ۱۰ (۲): ۲۹-۱

پژوهه باستان سنجی

DOI: http://dx.doi.org/10.61882/jra.10.2.370

مقاله پژوهشی

دسترسی آزاد

سال‌یابی قطعات سفالین به‌دست‌آمده از محوطه‌های باستانی کول تپه گرگر و دوه گزخوی به روش آرکئومگنتومتری

نسرین داداش‌زاده[۱*]، مسعود باقر زاده کثیری [۲]، حمیده رشید [۳]، محمد حامد پور دارابی [۴]، اکبر عابدی [۲]، عاتکه اصلانی [۵]

۱. کارشناسی ارشد باستان‌سنجی، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنراسلامی تبریز، تبریز، ایران

۲. دانشیار، دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

۳. دکترا، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

۴. استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران

۵. کارشناسی ارشد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۱۹

چکیده

دیرینه مغناطیس یکی از رشته‌های بین دانشی علوم ژئوفیزیک و باستان‌شناسی است که به بررسی تغییرات میدان مغناطیسی کره زمین در طول دوره تاریخ حیات بشر می‌پردازد. در این روش محققان از تغییرات دوره‌ای میدان مغناطیسی زمین و ویژگی برخی از آثار باستانی که توانایی آشکار ساختن مؤلفه‌های جهت و شدت میدان مغناطیسی زمین را دارند بهره می‌گیرند تا امکان تعیین سن نسبی آثار باستانی را فراهم کنند. نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش از سفال‌های محوطه باستانی کول تپه جلفا و محوطه دَوَه گُز خوی انتخاب گردید. نمونه‌ها در رده‌های سنی مختلف از دوره نوسنگی تا دوره کورا ارس II (۵۲۱۵-۲۶۳۸ ق.م) قرار دارند که قبلاً سن آن‌ها با روش مطلق C ۱۴ تعیین شده است. هدف از این مطالعه، ترسیم نمودار شاخص از تغییرات دوره‌ای زاویه میل مغناطیس باستان و تهیه یک ابزار سال‌یابی نسبی برای تخمین سن مجهولی است که منسوب به بازه زمانی مورد مطالعه است. در همین راستا از روش‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی جرمی با دستگاه کاپابریج، تشخیص حضور کانی‌های سوپر پارا مغناطیس به روش پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس با استفاده از دستگاه بارتینگتون و کانی‌شناسی مغناطیسی توسط دستگاه پذیرفتاری سنج (Multi-Function Kappabridge) اندازه‌گیری می‌گردد. برای از بین بردن مغناطیس ثانویه و تعیین مغناطیس اصلی به روش مغناطیس زدایی حرارتی استفاده گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مغناطیس هر دو منطقه نزدیک به هم بوده و نمونه‌های هر دو محوطه میزان پذیرفتاری مغناطیسی تقریباً مشابهی داشته‌اند. حامل اصلی مغناطیسی در همه نمونه‌ها مگنتیت و تیتانو مگنتیت بوده و برگشت‌ناپذیر بودن منحنی‌های نمودارهای مغناطش – دما نشان از ناکافی بودن پخت نمونه‌ها است. مقایسه نمودار منحنی شاخص ترسیم شده از تغییرات زوایای میل مغناطیس باستان برای بازه زمانی مورد مطالعه با نتایج مناطق مجاور (بالکان) و با دوره زمانی مشابه تطابق نسبتاً خوبی داشته است.

واژگان کلیدی

باستان مغناطیس، کول تپه، دَوَه گُز ، تیتانو مگنتیت، سال‌یابی، شمال غرب ایران

*مسئول مکاتبات: Nasrindadashzadeh80@gmail.com

©2024 by the Authours.This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

۱. مقدمه

مؤلفه زمان در باستان‌شناسی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. رویدادها، وقایع و اقدامات انسانی که توسط باستان‌شناسان ثبت و ضبط می‌گردند تنها زمانی معنای تاریخی پیدا می‌کنند که بتوان آن‌ها را در زمان مشخصی جای داد. علم دیرینه مغناطیس به باستان‌شناسان اجازه می‌دهد تا یک توالی زمانی تاریخی را بر اساس تحولات جهت و شدت میدان مغناطیسی زمین در طی چند هزار سال گذشته و عمدتاً با مواد باستانی که در طی فرایند تولید و یا استفاده حرارت دیده‌اند مطالعه کنند. در صورت ترسیم منحنی کالیبره شده از تغییرات میدان مغناطیسی زمین در اعصار گذشته، می‌توان از آن به‌عنوان ابزاری جهت تاریخ‌گذاری برخی آثار تاریخی حرارت دیده بهره جست. بر اساس این روش، جهت میدان مغناطیسی در یک دوره‌ی زمانی خاص در هر ساختار پخته شده رس (اُجاق، کوره، سفال، آجر، منقل، حمام‌های حرارتی، دیوارها یا خاک سوخته شده و غیره) که تا حدود دمای ۶۵۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دیده‌اند ثبت شده است. در این دما، ذرات فرو مغناطیس موجود در خاک رس خاصیت مغناطیسی خود را از دست داده و رفتار مواد پارا مغناطیسی را از خود نشان می‌دهند و در این حالت جهت و شدت میدان مغناطیسی کرهی زمین در زمان پخت را به‌طور دائمی اخذ می‌کنند (Gomez-Paccard et al., 2008). این اصل مغناطیس باقیمانده حرارتی نامیده می‌شود (Renfrew et al., 2007). دیرینه مغناطیس سنجی یک روش سال‌یابی نسبی است که با کالیبره کردن نتایج آن با سایر روش‌های مطلق مانند ترمولومینسانس یا کربن ۱۴ به یک روش سن‌سنجی مطلق با میزان درصد اطمینان بالا (حدود ۹۵٪) تبدیل می‌گردد (Hus & Spassov, 2003:10). علی‌رغم اینکه مطالعات گسترده‌ای در زمینه باستان‌مغناطیس‌سنجی در اروپا و اکثر کشورهای مجاور صورت گرفته، متأسفانه تاکنون در ایران پژوهشی در این خصوص انجام نشده است. در ایران با وجود آتشکده‌ها و کوره‌های پخت سفال و ذوب فلز که در اکثر مناطق یافت می‌شود، می‌توان مطالعات دیرینه مغناطیس سنجی در طیف گسترده انجام داد، اما نمونه برداری غیر اصولی این آثار، جابجا کردن نمونه‌ها از محل اصلی، عدم ثبت جهات و زوایای دقیق مختصات جغرافیایی باعث شده است که نتوان از این آثار به‌خوبی در مطالعات دیرینه مغناطیس‌سنجی استفاده نمود. در ایران تا کنون مطالعه مستقلی در این مورد انجام نشده است و مطالعه پیشنهادی در این پروژه اولین مطالعه و پژوهش در رابطه با دیرینه مغناطیس‌سنجی ایران است. هدف از پژوهش شناسایی و معرفی این روش و زمینه‌های پژوهشی آن بوده و در ادامه نمونه‌های منتخب از دو منطقه کول تپه گرگر واقع در استان آذربایجان شرقی و محوطه باستانی دَوَه گُز خوی واقع در استان آذربایجان‌غربی با فاصله تقریبی ۸۰ کیلومتری از یکدیگر مورد آنالیز و آزمایش قرار گرفت و روش انجام و محدودیت‌های کار بیان گردید. در این پژوهش از نمونه تاریخی حرارت دیده با ساختار معدنی مانند سفال‌های تاریخی جهت مطالعه و ترسیم نمودار شاخص تغییرات زاویه میل میدان مغناطیسی زمین استفاده گردیده است. لازم به ذکر است که این سفال‌ها باید از لایه‌هایی به دست آمده باشند که سن لایه‌ها با سایر روش‌های مطلق مثل کربن ۱۴ و یا ترمولومینسانس تاریخ‌گذاری شده‌اند. لذا نمونه‌های مذکور از لایه‌هایی که سن مطلق آن‌ها به روش C۱۴ مشخص شده انتخاب شده‌اند.

در این پژوهش سؤال اصلی به شرح زیر مطرح است:

چگونه می‌توان از روش دیرینه مغناطیس برای تاریخ‌گذاری آثار حرارت دیده استفاده کرد و هم‌خوانی نتایج به دست آمده با نتایج سایر روش‌های تاریخ‌گذاری چگونه است؟

روش انجام و به ثمر رسیدن این تحقیق شامل بهره‌گیری از مطالعات کتابخانه‌ای مقالات و کتب علمی مرتبط، مستندسازی نمونه‌های مورد مطالعه، برش و آماده‌سازی نمونه‌ها و انجام آنالیزهای آزمایشگاهی مناسب با استفاده از ابزارهای آزمایشگاهی است.

۲. پیشینه پژوهش

در دهه‌های گذشته، علم دیرینه مغناطیس سنجی علاقه‌مندان زیادی را از دو رشته باستان‌شناسی و ژئوفیزیک به خود جذب کرده است و پیشرفت‌های بزرگی در جهت کسب اطلاعات جدید و با دقت بالا حاصل شده است. در این میان موسسه اروپایی آموزشی – تحقیقاتی ماری کوری (AARCH) سهم مهمی در توسعه این علم داشته است. این موسسه آموزشی– تحقیقاتی شامل ۱۲ آزمایشگاه پالئو مغناطیس در کشورهای مختلف اروپا از جمله: اتریش، بلژیک، بلغارستان، دانمارک، انگلستان، فرانسه، یونان، ایتالیا و اسپانیا بوده و هدف اصلی آن ارائه دوره‌های آموزش در تحقیقات دیرینه مغناطیسی و تربیت محققان ماهر برای انجام مطالعات مغناطیسی از محوطه‌های باستانی هستند، به خصوص محوطه‌های که در معرض تخریب و آسیب است. امروزه اروپا بیشترین مناطق جغرافیایی را از نظر مطالعات دیرینه مغناطیس سنجی برای داده‌های باستانی پوشش می‌دهد (Carrancho et al., 2015). همچنین

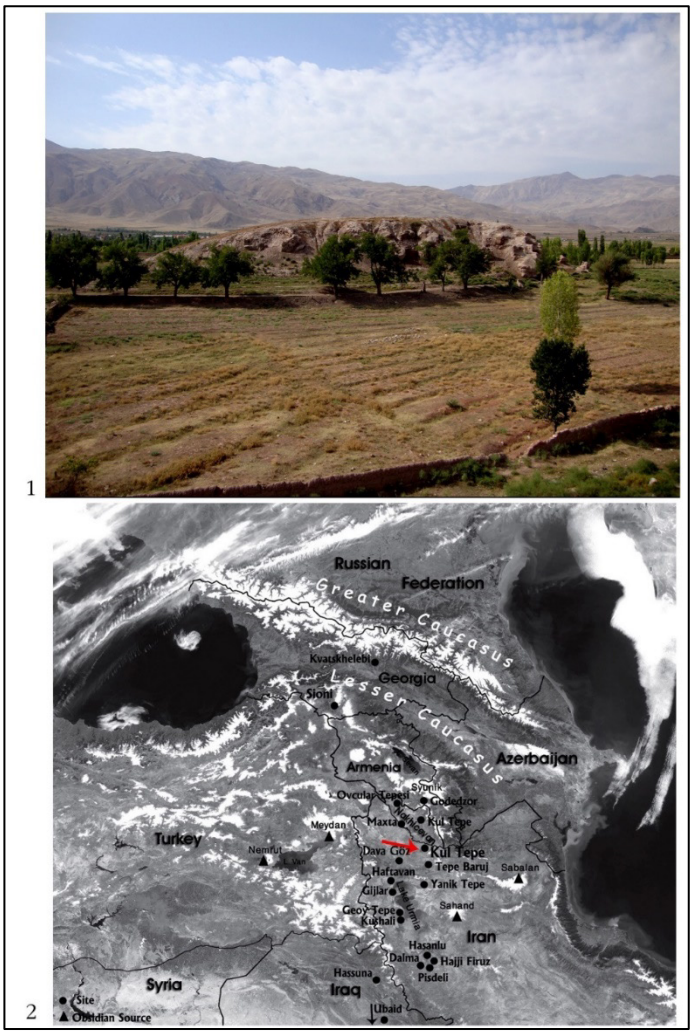
[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

اخیراً یک پایگاه اطلاعاتی از داده‌های باستان‌شناسی آلمان منتشر شده است که در این مطالعه مجموعه داده‌های مغناطیس باستان آلمانی توسط ۳۵ مسیر باستانی جدید تکمیل شده است که این مسیرها عمدتاً از محوطه‌های آلمانی متعلق به ۳۰۰۰ سال پیش بوده‌اند. یافته‌های تعدادی از مطالعات باستان‌شناسی اخیر در خاورمیانه نشان می‌دهد که شدت میدان مغناطیسی زمین در عصر مفرغ به‌طور استثنایی در این منطقه افزایش یافته است. در گزارشی نتایج جدید دیرینه مغناطیس مناطق باستانی متعلق به هزاره دوم قبل میلاد از منطقه تل حریری سوریه و منطقه هفت تپه و چغازنبیل ایران، به همراه نتایج قبلی مربوط به آرکئو مغناطیس در بین‌النهرین مورد مقایسه قرار گرفته است و یک منحنی مرجع (SV) معتبر برای منطقه بین‌النهرین و بازه زمانی (۳۰۰۰ ق.م) ساخته شده است. در بررسی شدت میدان مغناطیسی در این مناطق چهار رخداد ژئومغناطیسی بالقوه مشاهده گردیده است و به نظر می‌رسد که هم‌زمان با رخدادهای خنک شدن در آتلانتیک شمالی باشد. این هم‌زمانی رخدادها تقویت کننده این نظریه است که احتمالاً میدان مغناطیسی زمین بر روی تغییرات آب و هوا تأثیر دارد (Gallet and Butterlin 2015). دوران خنک شدن منطقه آتلانتیک شمالی هم‌زمان با خشک سالی در خاورمیانه، در زمانی که تغییرات ناگهانی جوامع در منطقه شرقی مدیترانه و بین‌النهرین اتفاق افتاده است؛ بنابراین این احتمال وجود دارد که میدان مغناطیسی زمین بر روی تاریخ تمدن‌های باستانی نیز تأثیرگذار بوده و این تأثیرات از طریق تغییرات محیطی و آب و هوایی بوده است که ناپایداری‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی را به همراه داشته است (Gallet et al. 2009). غنای آثار فرهنگی این منطقه امکان مطالعه تغییرات تدریجی میدان مغناطیسی زمین در مقیاس‌های چند هزارساله را فراهم می‌کند (Hammond 2014). ایران به‌واسطه پیشینه غنی فرهنگی، از جایگاه ویژه‌ای در مطالعات دیرینه مغناطیس‌سنجی برخوردار است و می‌تواند نقش بسزایی در رفع ابهامات این مطالعات در دوران باستان در خاورمیانه ایفا کند (Gallet et al. 2008).

۲- ۱. معرفی محوطه‌های پیش از تاریخی کول‌تپه گرگر و دوه گز خوی

محوطه‌ی باستانی کول تپه ("E 45° 39' 43"- N 38° 50' 19) در دشت میان کوهی وسیع هادیشهر در شمال‌غربی‌ترین نقطه ی کشور و در حدود ده کیلومتری رود ارس واقع شده است. این محوطه با ارتفاع ۹۶۷ متر از سطح دریا تپه‌ای است به وسعت تقریبی ۴ هکتار و به ارتفاع ۱۹ متر از سطح زمین‌های اطراف که در میان باغ‌ها و مزارع کشاورزی هادی شهر واقع شده است (شکل ۱). از لحاظ جغرافیایی این محوطه در موقعیت سوق‌الجیشی واقع شده است؛ چراکه از یک سو گذرگاه منطقه‌ی شمال‌غرب ایران به منطقه‌ی قفقاز جنوبی بوده و از طرف دیگر منطقه‌ی شمال‌غرب ایران و حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه را با شمال رود ارس مرتبط می‌سازد. محوطهٔ کول تپه جزو محوطه‌های شاخص شمال غرب ایران است که به‌طور متوالی دارای آثار و لایه‌های فرهنگی از دورهٔ مس و سنگ جدید و مفرغ قدیم است. این محوطه بررسی وضعیت فرهنگی دورهٔ مس‌وسنگ جدید منطقه و به دنبال آن چگونگی مرحلهٔ انتقالی یا گذار و شکل‌گیری مراحل I ، II و III فرهنگ کورا – ارس را امکان پذیر ساخته است (Abedi et al. 2014; Abedi and Omrani 2015; Abedi 2016; Abedi et al. 2018؛ عابدی، ۱۳۹۵ الف).

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

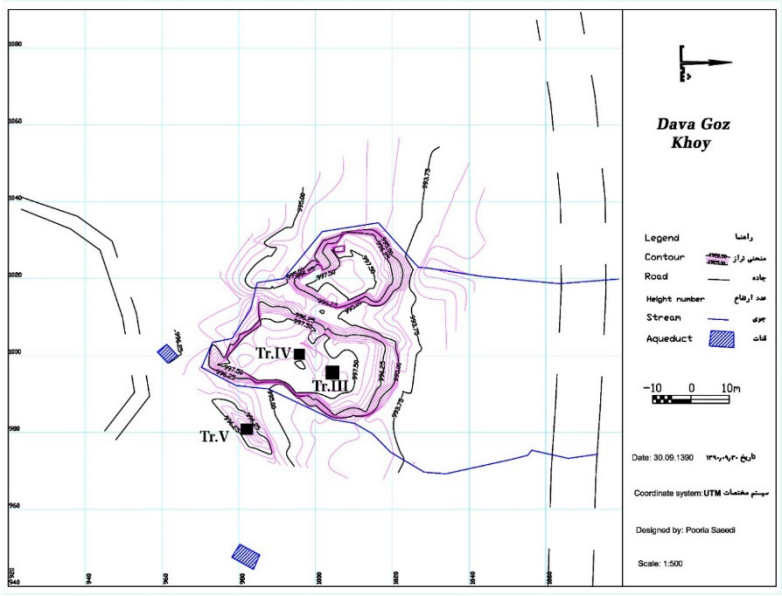


شکل ۱. ۱. نمای کلی از محوطه کول‌تپه، دید از شمال؛ ۲. موقعیت جغرافیایی محوطه‌های کول‌تپه گرگر و دوه‌گُز خوی (عکس برگرفته از Abedi et al. 2014).

Figure 1. 1. General view of Kul Tepe, View from North; 2. Map showing the locations of Kul Tepe and Dava Göz (after Abedi et al. 2014)

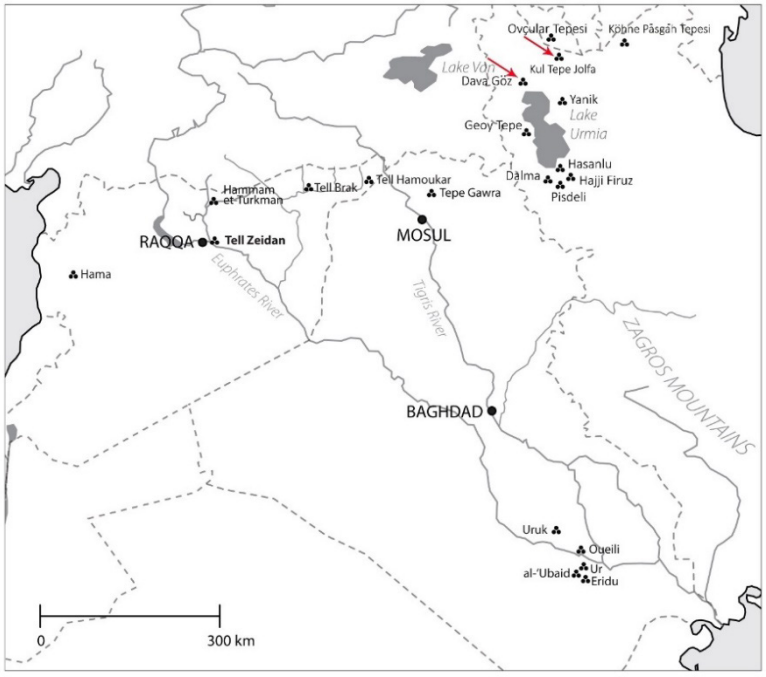
تپه دوه گز خوی (E 45° 01' 56"- N 38° 29 25") در ۴۰۰ متری کوه قشلاق، ۷۰۰ متری جنوب شرقی روستای قشلاق و ۱۵۰۰ متری شمال شهر دیزج دیز خوی در شمال غرب دریاچه ارومیه قرار دارد. این تپه دارای ارتفاع ۶ متر نسبت به سطح زمین‌های اطراف است. جریان رودخانه فصلی قره سو در این دشت یکی از عوامل اصلی شکل‌گیری محوطه در آن بوده است. این دشت دارای یک موقعیت استراتژیک بسیار ویژه‌ای مخصوصاً برای جوامع دوران پیش از تاریخ داشته است. قرار گرفتن این محوطه در یک حد فاصل ارتباطی که از یک طرف به حوضه دریاچه اورمیه، از طرف دیگر به منطقه قفقاز جنوبی و از سوی دیگر به شرق آناتولی و شمال بین‌النهرین منتهی می‌گردد موقعیت خاص استراتژیکی به آن بخشیده است (شکل ۲). از طرف دیگر قرار گرفتن محوطه دوه گز در این دشت گواه بر یک محوطه حد واسط ما بین قفقاز و حوضه دریاچه اورمیه است که با توجه به ارتفاع کم آن از سطح دریا موقعیت ایده آلی را برای سکونت جوامع پیش از تاریخی در فصول سرد سال فراهم نموده است (عابدی ۱۳۹۵ ب؛ Abedi et al. 2015؛ Abedi 2017). دو محوطه کول تپه و دوه گُز حدود ۸۰ کیلومتر از یکدیگر فاصله دارند و در (شکل ۱ و ۳) موقعیت قرارگیری هر دو منطقه به خوبی مشخص است.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026



شکل ۲. نقشه توپوگرافی محوطه‌ی دوه‌گز و موقعیت قرارگیری ترانشه‌های کاوش سال ۱۳۹۱ (Abedi 2017).

Figure 2. Topographic Map of Dava Göz, Location of Trenches during 2012 excavation (Abedi 2017)



Main Ubaid and Post-Ubaid Sites and Location of Kul Tepe Jolfa and Dava Goz Khoy in NW Iran

شکل ۳. موقعیت جغرافیایی محوطه‌های دوه‌گز خوی و کول تپه گرگر (Abedi 2017).

Figure 3. Location Map of Dava Göz Khoy in NW of Lake Urmia and Kul Tepe (Abedi 2017)

۲-۲. معرفی نمونه‌های مورد بررسی

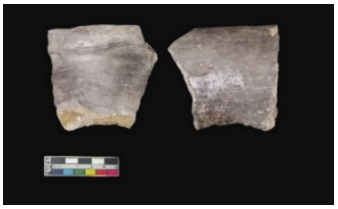
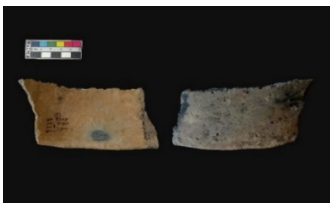
در راستای مطالعات دیرینه مغناطیس در این پژوهش از نمونه سفال‌های به دست آمده از کاوش‌های محوطه کول تپه گرگر واقع در استان آذربایجان‌شرقی و محوطه تاریخی دوه‌گز واقع در شهرستان خوی استان آذربایجان‌غربی نمونه برداری صورت گرفت. در مجموع ۱۷ نمونه سفال انتخاب گردید که از این تعداد ۱۱ قطعه سفال مربوط به محوطه کول تپه گرگر و از ترانشه‌های (II, III,IV) و ۶ قطعه سفال از محوطه دوه گز (Dava Göz) خوی و از ترانشه‌های (III,IV,V) هستند. نمونه‌ها بر اساس محل کاوش و شماره ترانشه و لوکوس کد گذاری شدند. برای نمونه سفال‌های محوطه کول تپه هادی شهر جلفا از کد (K.J) و شماره سفال که مخفف (Kul. Tape. Jolfa) است استفاده شد و همچنین برای نمونه‌های محوطه دوه گز از نام اختصاری (D.G) و شماره سفال مخفف (Dava. Goz) سفال کد گذاری شده‌اند. با توجه به اینکه تعداد نمونه‌ها زیاد بود از هر ترانشه یک سفال معرفی شده و مشخصات

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

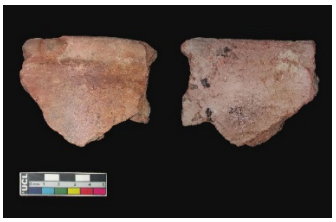
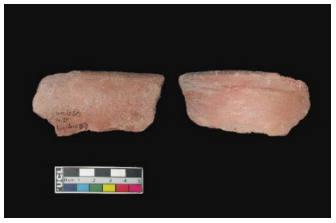
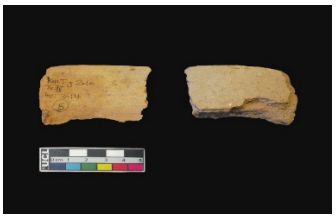
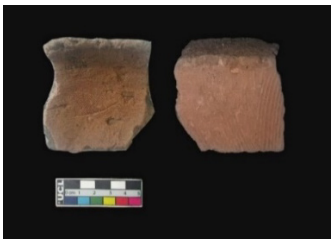
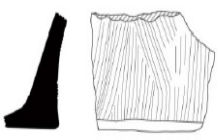
کامل نمونه سفال‌ها در (جدول ۱ و ۲) و مشخصات باستان‌شناسی نمونه‌ها در (جدول ۳) آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات فنی نمونه سفال‌های مورد مطالعه از ترانشه II, III, IV محوطه تاریخی کول تپه گرگر

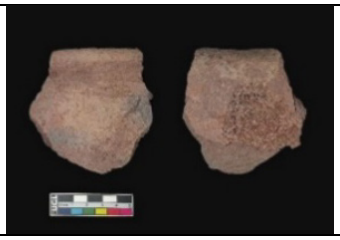
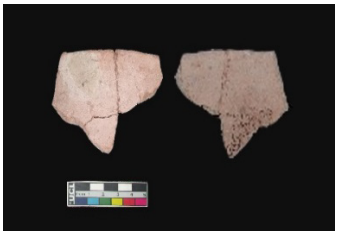
Table 1. Technical specifications of the studied pottery samples from Trenches II, III, and IV of the Kul Tepe Gargar

کد نمونه	مستندنگاری	طرح خطی	توضیحات
Tr: II Loc: 2030 RN: 2141			نمونه قسمتی از یک لبه ظرف خاکستری است که فاقد هرگونه تزئینات بوده و بخش بیرونی و درونی آن پوشش صیقلی براق دارد. بافت آن متوسط و فن ساخت آن دست‌ساز است.
Tr: II Loc: 2030 RN: 2141			نمونه بخشی از لبه یک ظرف نخودی مایل به قرمز است اثر فاقد تزئینات بوده و بافت قسمت بیرونی آن متوسط و بخش درونی، پوشش صیقلی دارد. فن ساخت آن دست‌ساز بوده و پخت کافی داشته است و نمونه مربوط به دوره مفرغ قدیم است.
Tr: III Loc: 3008 RN: 3039			نمونه بخشی از کف یک منقل خاکستری روشن بوده فاقد تزئینات بر روی بدنه است. دارای بافت خشن بوده و فن ساخت آن دست‌ساز است. اثر مربوط به فاز I و شکل‌گیری فرهنگ کورا – ارس است.
Tr: III Loc: 3025 RN: 3157			نمونه بخشی از لبه یک ظرف خاکستری تیره است که دارای نقوش هندسی بر روی بدنه است. دارای بافت متوسط بوده و بخش بیرونی آن پوشش صیقلی دارد. فن ساخت آن دست‌ساز است.
Tr: III Loc: 3022 RN: 3131			نمونه بخشی از لبه یک ظرف خاکستری روشن بوده و فاقد هرگونه تزئینات است. دارای بافت خشن بوده و فن ساخت آن دست‌ساز و با پخت کافی است. نمونه سفال مربوط به دوره مس و سنگ جدید است.
Tr: III Loc: 3025 RN: 3157			نمونه بخشی از لبه یک ظرف خاکستری تیره است که دارای نقوش هندسی بر روی بدنه است. دارای بافت متوسط بوده و بخش بیرونی آن پوشش صیقلی دارد. فن ساخت آن دست‌ساز بوده و با توجه به وجود دانه‌های سفیدرنگ آهک (وجود آلوئک) که از خمیره سفال تصاویر میکروسکوپی به دست آمده پخت سفال ناکافی بوده است.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

کد نمونه	مستندنگاری	طرح خطی	توضیحات
			سفال مربوط به دوره فرهنگی مس و سنگ جدید است.
Tr: IV Loc:4006 RN:4047			نمونه بخشی از لبه یک ظرف نخودی مایل به رنگ قرمز است که فاقد هیچ‌گونه طرح و نقش بوده و بافت آن متوسط است. بخش بیرونی سفال پوشش صیقلی و یکدستی داشته ولی بخش داخلی آن زمخت است. فن پخت آن دست‌ساز بوده و اثر مربوط به دوره کورا- ارس I است.
Tr: IV Loc:4006 RN:4047			نمونه بخشی از لبه یک ظرف قرمز روشن بود و فاقد طرح و نقش است. بافت آن ظریف و با پوشش صیقلی هست و با توجه به آثار چرخ روی بدنه فن ساخت آن چرخ‌ساز است. با توجه به تخلخل کم و بافت منسجم آن احتمالاً پخت سفال کافی است. نمونه مربوط به دوره کورا- ارس I است.
Tr: IV Loc:4025 RN:4083			نمونه بخشی از کف یک ظرف بوده و رنگ‌بخش بیرونی آن نخودی است ولی با توجه به ضخامت زیاد بخش میانی سفال این قسمت به خوبی مغزپخت نشده و مغزه سفال به رنگ سیاه است. اثر فاقد تزئینات بوده و فن ساخت آن دست‌ساز است.
Tr: IV Loc:4025 RN:4083			نمونه بخشی از لبه یک ظرف نخودی رنگ بوده که فاقد هرگونه تزئینات بر روی بدنه است و دارای بافت متوسط بوده و بخش درونی آن پوشش صیقلی دارد. فن ساخت آن چرخ‌ساز بوده و پخت کافی داشته است. اثر مربوط به فاز I و شکل‌گیری کورا- ارس است.
Tr: IV Loc:4022 RN:4083			نمونه بخشی از کف یک ظرف با دیواره عمودی و به رنگ قرمز روشن است. بافت آن متوسط بوده و بر روی بدنه ظرف رد کاه و شاموت استفاده‌شده در ساختار آن و نقوش شیاری دیده می‌شود. فن ساخت سفال دست‌ساز بوده و اثر متعلق به دوره کورا- ارس I است.

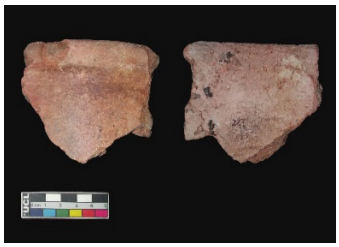
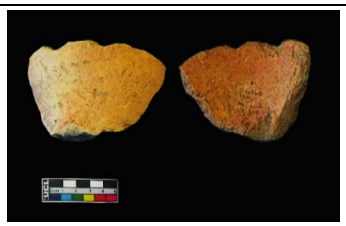
[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

کد نمونه	مستندنگاری	طرح خطی	توضیحات
Tr: IV Loc:4025 RN:4083			نمونه بخشی از کف یک ظرف بوده و رنگ‌بخش بیرونی آن نخودی است ولی با توجه به ضخامت زیاد بخش میانی سفال این قسمت به خوبی مغزپخت نشده و مغزه سفال به رنگ سیاه است. اثر فاقد تزئینات بوده و فن ساخت آن دست‌ساز است و اثر مربوط به دوره کورا- ارس I است.
Tr: IV Loc:3002 RN:3005			نمونه بخشی از لبه یک ظرف نخودی مایل به قرمز است. بافت آن خشن و بر روی لایه بیرونی رد و نقوش کاه شدید دیده می‌شود. فن ساخت آن دست‌ساز است.
Tr: IV Loc:3004 RN:3015			نمونه کف یک ظرف نخودی رنگ است. بافت آن خشن بوده و رد اثر حصیر در بخش بیرونی سفال مشهود است. فن ساخت آن دست‌ساز بوده و پخت کافی داشته است. تصاویر میکروسکوپی نشان‌دهنده استفاده از تمپر کاه با تراکم بالا و نیز دانه‌های ریز ماسه در بافت آن است.
Tr: IV Loc:4006 RN:4020			نمونه موردنظر مربوط به لبه یک ظرف نخودی مایل به قهوه‌ای است. اثر فاقد هرگونه تزئینات بر روی بدنه بوده و فن ساخت آن دست‌ساز است. با توجه به تصاویر میکروسکوپی به دست آمده از خمیره سفال، آثار کاه شدید و ماسه‌های ریز به‌عنوان شاموت در بافت آن وجود دارد. همچنین آثاری از موی حیوان در بافت آن دیده می‌شود که نشانگر این است که سفال پخت کافی نداشته است. اثر مربوط به دوره مس و سنگ جدید II است.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

جدول ۲. مشخصات فنی نمونه سفال‌های ترانشه، III IV, V محوطه دوه گُز خوی

Table 2. Technical specifications of the studied pottery samples from Trenches III, IV, and V of the Dava Göz Khoy

کد نمونه	مستندنگاری	طرح خطی	توضیحات
TR: III Loc:5002 RN:5004			نمونه لبه یک ظرف نخودی رنگ بوده که فاقد تزئینات بر روی بدنه است. بافت آن متوسط و بخش بیرونی سفال پوشش صیقلی دارد. فن ساخت آن دستساز بوده و پخت کافی داشته است. تصاویر میکروسکوپی خمیره سفال نشان‌دهنده استفاده از دانه‌های ریز و درشت ماسه و نیز خرده آجر و سفال به‌عنوان شاموت در ساختار آن است. اثر متعلق به دوره مس و سنگ جدید II است.
TR: III Loc:3002 RN:3005			نمونه بخشی از لبه یک ظرف خاکستری روشن بوده و فاقد هرگونه تزئینات است. دارای بافت خشن بوده و فن ساخت آن دستساز و با پخت کافی است.
TR: IV Loc:4006 RN:4020			نمونه بخشی از لبه یک ظرف نخودی مایل به رنگ قرمز است که فاقد هیچگونه طرح و نقش بوده و بافت آن متوسط است. بخش بیرونی سفال پوشش صیقلی و یکدستی داشته ولی بخش داخلی آن زمخت است. فن پخت آن دستساز است.
TR: V Loc:5002 RN:5004			نمونه مربوط به لبه یک ظرف (کف سینی) نخودی رنگ است. بافت آن خشن بوده و رد کاه شدید بر روی لایه بیرونی مشهود است. فن ساخت اثر دستساز و پخت آن کافی است.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

جدول ۳. مشخصات باستان‌شناسی و بارکد گذاری نمونه‌های مطالعاتی محوطه کول تپه گرگر و دوه گز خوی

Table 3. Archaeological characteristics and barcode assignments of study samples from the Kul Tepe Gerger and Dava Goz Khoy

نمونه Sample	ترانشه Trench	لوکوس Locus	شماره ثبت اثر Registration Number	سن مطلق C ۱۴ (ق.م) Absolute C14 Age (BCE)
K.J1	II	2030	2141	2138-2885
K.J2	II	2053	2218	3792-3956
K.J3	II	2054	2318	3792-3956
K.J4	III	3008	3039	4050-4260
K.J5	III	3014	3078	4050-4330
K.J6	III	3022	3131	4340-4500
K.J7	III	3028	3157	4350-4600
K.J8	IV	4006	4047	2570-2880
K.J9	IV	4022	4098	3791-3988
K.J10	IV	4025	4085	2940-3350
K.J11	IV	4026	4071	3965-4226
D.G1	III	3002	3005	5215-5303
D.G2	III	3004	3015	4550-4690
D.G3	IV	4006	4026	4680-4790
D.G4	V	5002	5004	3660-3780
D.G5	V	5005	5013	3660-3780
D.G6	V	5007	5004	4680-4790

۲-۳. آماده‌سازی نمونه‌ها

انجام آزمایش توسط دستگاه‌های مغناطیس سنجی نیازمند نمونه‌ای در ابعاد استاندارد مخصوص با قطر (۲/۵ سانتی‌متر) است، بنابراین قبل از شروع آزمایش‌ها از نمونه‌ها توسط دستگاه مغزه گیر بنزینی آزمایشگاه پالئومغناطیس سازمان زمین‌شناسی کشور مغزه‌گیری به عمل آمد. سپس اطلاعات کد نمونه با ماژیک ضد آب بر روی سفال‌ها نوشته شد (شکل ۴). از آنجا که جهت میدان مغناطیسی طی زمان تغییر می‌کند، نمونه‌هایی که برای سال‌یابی در نظر گرفته می‌شوند یا باید هنوز در همان وضعیت باقی‌مانده باشند و یا اینکه بتوان جهت اولیه آن‌ها را در زمان ایجاد "مغناطیس باقیمانده حرارتی" به طریقی به دست آورد. با توجه به اینکه پژوهش حاضر اولین مطالعه آرکئو مغناطیسی ایران بوده و قبلاً در هیچ کاوشی نمونه برداری از ساختار حرارت دیده برجا به‌صورت اصولی انجام نشده است لذا نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش از ساختارهای حرارت دیده برجا نبوده‌اند بنابراین تعیین جهت شمال مغناطیسی برای این نمونه‌ها امکان‌پذیر نبوده، ولی با فرض اینکه این نمونه سفال‌ها در حین پخت در کوره از سمت لبه یا کف قرار می‌گرفتند لذا قبل از مغزه‌گیری روی نمونه‌ها یک فلش از سمت داخل به سمت لبه سفال‌ها کشیده شد و کد نمونه روی آن ثبت گردید. همچنین بر روی همه سفال‌ها فلش‌هایی که جهت آن از قسمت داخل سفال به سمت لبه بود کشیده شد.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026



شکل ٤. مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها جهت انجام آزمایش‌ها شامل: الف) تثبیت نمونه‌ها در گچ ب) مغزه گیری نمونه‌ها به قطر ۲/۵ سانتی‌متر پ) در آوردن بقایای نمونه‌ها جهت پودر کردن برای آنالیز کانی‌شناسی مغناطیسی ت) برش نمونه‌ها در اندازه‌های استاندارد ث) نمونه استاندارد جهت آنالیزهای مغناطیسی ج) پیچیدن فویل آلومینیومی بر به دور نمونه‌ها به‌منظور جلوگیر از گم شدن نمونه‌ها حین ترک خوردن در دستگاه مغناطیس سنجی حرارتی در اثر حرارت بالا است.

Figure 4. The steps involved in preparing samples for testing include :a) Fixing the samples in plaster: b) Core sampling the samples to a diameter of 2.5 cm; c) Removing the sample remains for pulverization and magnetic mineralogical analysis; d) Cutting the samples into standard sizes; e) Standard sample for magnetic analyses; f) Wrapping aluminum foil around the samples to prevent loss of samples during cracking in the thermal magnetic susceptibility device due to high temperature.

۳. مواد و روش پژوهش

مطالعات آزمایشگاهی این پژوهش شامل آزمایش‌های: مغناطیس زدایی به روش حرارتی و تعیین زاویه میل دیرینه مغناطیس استخراج شده از اشیاء است. همچنین به‌منظور تعیین کانی‌های فرو مغناطیس موجود در سفال‌ها و تعیین دمای پخت آن‌ها در دوره باستان از روش اندازه‌گیری دمای کوری استفاده شد. جهت شناسایی حضور کانی‌های مغناطیسی، آزمایش‌ها تعیین پذیرفتاری مغناطیسی جرمی و پذیرفتاری وابسته به فرکانس انجام شد. این مطالعات در آزمایشگاه محیط و دیرین مغناطیس سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شد که مشخصات کلی آنالیزهای دستگاهی در (جدول ۴) آورده شده است. در نهایت نتایج آنالیزها و آزمایش‌ها مورد تحلیل قرار گرفته و نمودار شاخص تغییرات زاویه میل مغناطیسی زمین برای دوره فرهنگی نوسنگی جدید تا کورا – ارس II محوطه‌های کول تپه گرگر و دوه گز خوی ترسیم گردید.

جدول ٤. مشخصات کلی آنالیزهای دستگاهی بکار برده شده در پژوهش

Table 4. General specifications of the instrumental analyses used in this study

آزمون	آماده‌سازی نمونه	اهداف	مدل تجهیزات دستگاهی	محل انجام آزمایش
اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی جرمی	نمونه‌های برش خورده استوانه‌ای استاندارد	به دست آوردن پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها	دستگاه کاپابریج مدل MFK1-A	آزمایشگاه محیط و دیرینه مغناطیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

آزمون	آماده‌سازی نمونه	اهداف	مدل تجهیزات دستگاهی	محل انجام آزمایش
اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی دو فرکانسه	نمونه‌های برش خورده استوانه‌ای استاندارد	شناسایی دانه‌های ریز سوپر پارا مغناطیس در نمونه‌ها	دستگاه دو فرکانسه Bartington مدل MS2B ساخت کشور چک شرکت AGICO	آزمایشگاه محیط و دیرینه مغناطیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
کانی شناسی مغناطیسی	نمونه پودری	شناسایی کانی‌های فرو مغناطیسی موجود در نمونه با روش تعیین دمای کوری	دستگاه کاپابریج مدل CS-3 ساخت کشور چک شرکت AGICO	آزمایشگاه محیط و دیرینه مغناطیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
مغناطیس زدایی حرارتی	نمونه‌های برش خورده استوانه‌ای استاندارد	مجزا کردن مغناطش‌های ثانویه و به دست آوردن ChRM شاخص	مغناطیس‌زدای حرارتی مدل MMTD80 ساخت کشور انگلیس	آزمایشگاه محیط و دیرینه مغناطیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۳-۱. اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی جرمی

پذیرفتاری مغناطیسی یکی از مؤلفه‌های مهم در مطالعات مغناطیسی است که با ابزارهایی با حساسیت بالا اندازه‌گیری می‌شود. هدف از انجام این بررسی محتوای مغناطیسی نمونه‌ها است. دستگاه کاپابریج ابزاری است که برای اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی سنگ و ناهمسانگردی آن (AMS) به کار می‌رود. در این دستگاه دو ریز پردازنده تمامی عملکردها را کنترل می‌کنند. جهت تشخیص تمرکز کانی‌های مغناطیسی در نمونه‌ها، اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی جرمی بر روی آن‌ها انجام گرفت (Butler 1998).

۳-۲. اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس

میزان پذیرفتاری مغناطیسی به‌تنهایی اطلاعات زیادی در مورد مجموع کانی‌های موجود در نمونه به ما نمی‌دهد چون میزان پذیرفتاری مغناطیسی به‌طور مستقیم تحت تأثیر غلظت، نوع کانی و اندازه دانه‌های کانی‌های مغناطیسی قرار نمی‌گیرد و در بیشتر مواقع نیاز به اندازه‌گیری دقیق‌تری است. یک پارامتر دیگر که به‌طور گسترده در مغناطیس محیطی مورداستفاده قرار می‌گیرد مغناطیس وابسته به فرکانس است که پذیرفتاری مغناطیسی (χfd) با اندازه‌گیری در دو فرکانس میدان مغناطیسی (بالا HZ4700 و پایین:۴۷۰) به دست می‌آید (Hammond 2014). رصد $\chi fd\%$ نسبت کسری از ذرات ریز سوپر مغناطیس اکسیدهای آهن نسبت به‌کل مجموعه دانه‌های مغناطیسی را در یک نمونه نشان می‌دهد. پذیرفتاری مغناطیسی نمونه سفال‌های هر دو منطقه مورد مطالعه با استفاده از دستگاه بارتینگتون اندازه‌گیری گردید. در این آنالیز از فرکانس پایین (Hz470) و فرکانس بالا (Hz4700) و مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس برحسب $\chi fd\%$ و با استفاده از معادله زیر محاسبه شد.

$$\chi fd\% = [(\chi lf - \chi hf) / \chi lf] \times 100$$

با توجه به اینکه ذرات اکسیدهای آهن بیشترین پذیرفتاری مغناطیسی را دارند، بنابراین ارزیابی مقدار نسبی آن‌ها در مواد رس پخته شده اهمیت بسیاری دارد (Mullins and Tite 1973)؛ بنابراین رابطه بین پذیرفتاری مغناطیسی χ و $\chi fd\%$ برای کلیه نمونه‌های مورد مطالعه ترسیم گردید. بر اساس مطالعات صورت پذیرفته (Dearing et al. 1997) فرضیات کلی زیر در مورد پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس پذیرفته‌شده است:

اگر $\chi fd\% < 2$ باشد، مقدار کمی از ذرات موجود در نمونه سوپر پارا مغناطیس هستند.

اگر $2 < \chi fd\% < 10$ باشد، کانی‌ها ترکیبی از ذرات سوپر پارا مغناطیس و دانه‌های درشت هستند.

اگر $10 < \chi fd\% < ۱۴$ باشد، تقریباً همه ذرات مغناطیسی دارای اندازه سوپر پارا مغناطیس هستند.

۳-۳. شناسایی کانی‌های مغناطیسی موجود در نمونه‌ها با روش تعیین دمای کوری

کانی‌شناسی مغناطیسی با هدف تعیین کانی‌های فرو مغناطیسی انجام می‌گردد. پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به دما در محدوده دمای ۲۰ °C تا ۷۰۰ °C، امکان تعیین دمای خاص کوری مواد فرو مغناطیسی را در نمونه فراهم می‌کند که اصلی‌ترین فازهای حاوی آهن در مواد باستانی، در این محدوده قرار می‌گیرد (Hunt et al. 1995). در نمودارهای کوری، محورهای X به تغییرات درجه

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

حرارت و محورهای Y به تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی کانی‌های موجود در نمونه است. در این نمودارها با افزایش درجه حرارت و با نامنظم شدن گشتاورهای مغناطیسی نمونه‌ها، پذیرفتاری مغناطیسی افت می‌کند و حداکثر این بی‌نظمی‌ها در دمای کوری کانی‌های مغناطیسی اتفاق می‌افتد که مغناطش به صفر می‌رسد. نمودارهای دمای کوری شامل دو منحنی قرمز و آبی است که منحنی قرمز نشان‌دهنده مرحله گرم شدن بوده و منحنی آبی نشان‌دهنده مرحله سردشدن است. معمولاً این آزمایش به‌صورت رفت با افزایش دما (Heating) و برگشت با کاهش دما (Cooling) انجام می‌شود که هر تغییر در پذیرفتاری مغناطیسی نشانگر کانی خاصی است. اگر این تغییرات در مراحل رفت و برگشت باهم یکی نباشند نشانگر تغییرات شیمیایی در نمونه خواهد بود که در حین حرارت دادن رخ می‌دهد (Manoharan et al. 2015). در نمودارهای کانی‌شناسی مغناطیسی با توجه به بزرگی پذیرفتاری مغناطیسی به دو گروه " پذیرفتاری بالا " و " پذیرفتاری پایین " و با توجه به حرارت در دو دسته " برگشت‌پذیر" و " برگشت‌ناپذیر" طبقه‌بندی می‌شوند و بسته به هر دو حالت به انواع مختلفی قابل‌طبقه‌بندی هستند که شامل: ۱ -پذیرفتاری بالا — برگشت‌پذیر ۲-پذیرفتاری بالا — برگشت‌ناپذیر ۳- پذیرفتاری کم – برگشت‌پذیر ۴ -پذیرفتاری کم- برگشت‌ناپذیر (Akimoto 1951).

۳-٤. مغناطیس زدایی حرارتی

مغناطیس زدایی نمونه‌ها از دمای محیط تا ۶۸۰ C ° انجام شد. پس از هر مرحله مغناطیس زدایی، جهت میدان مغناطیسی هر نمونه توسط دستگاه مغناطیس سنج چرخان اندازه‌گیری شد. این آزمایش معمولاً در چند مرحله دمایی انجام می‌شود. برای هر مرحله روش کار به این شرح است: در این پژوهش نمونه‌ها طی ۱۵ مرحله دمایی از ۱۰۰ C° تا ۶۸۰ C° (زیر دمای کوری) مغناطیس زدایی شده و میزان مغناطش باقی مانده آن اندازه‌گیری گردید. ترتیب مراحل اعمال دما طی مغناطیس زدایی در این پژوهش به شرح زیر است:

۶۲۵ → ۶۰۰ → ۵۷۵ → ۵۵۰ → ۵۲۵ → ۵۰۰ → ۴۵۰ → ۴۰۰ → ۳۵۰ → ۳۰۰ → ۲۵۰ →۲۰۰ → ۱۰۰

C °۶۸۰→۶۵۰→

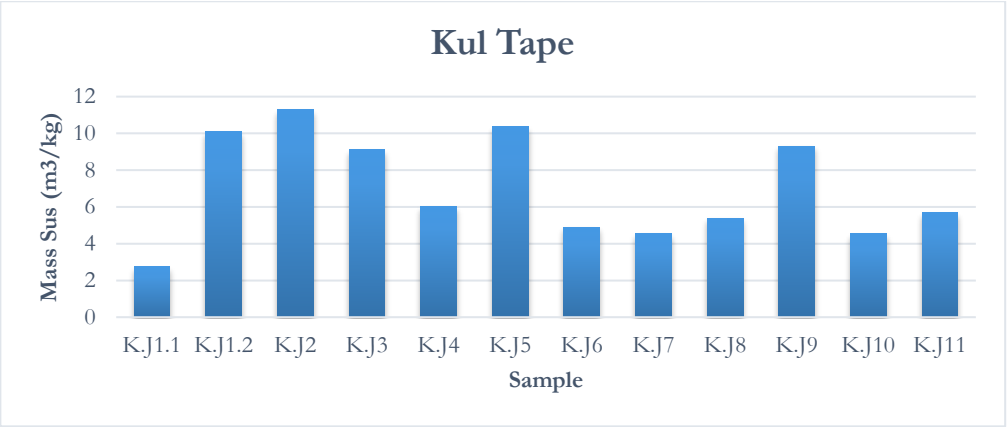
در طی مغناطیس زدایی حرارتی بر روی نمونه سفال‌های مورد مطالعه، برای هر کدام از نمونه‌ها جهت‌های مغناطیسی مختلفی به دست آمد .برای جداسازی ChRM هر نمونه از سایر پسماند طبیعی، ابتدا به کمک فن آنالیز PCA و با استفاده از نرم افزار Remasoftمقدار انحراف زاویه‌ی ماکزیمم (MAD، جهت‌های مغناطیسی حاصل از مراحل مغناطیس زدایی برای هر نمونه محاسبه شد. برای هر نمونه پس از مغناطیس زدایی نمودارهای زیجرولد (Zijderveld) ترسیم گردید.

٤. نتایج آزمایش‌ها

٤-۱. نتایج اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی جرمی

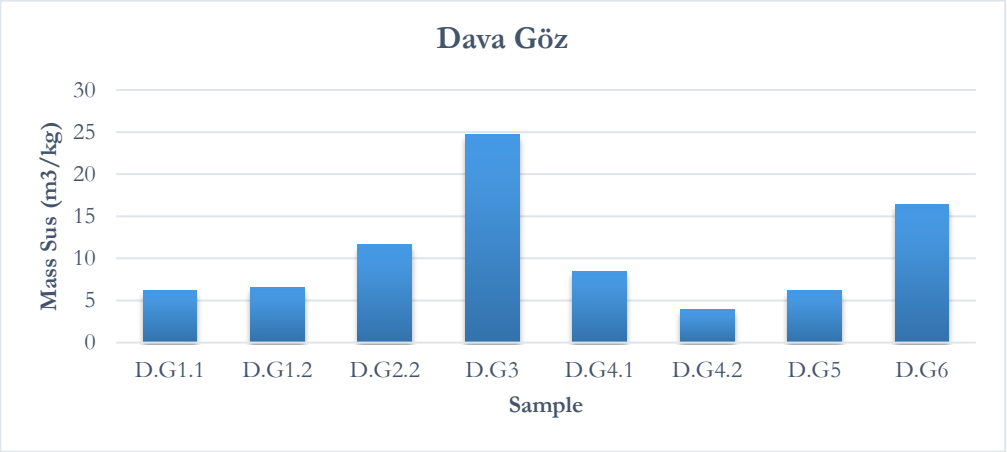
پذیرفتاری مغناطیسی تقریباً مقدار کل کانی‌های مغناطیسی را نشان می‌دهد و همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، تابع اندازه و نوع کانی‌های ذرات مغناطیسی است (افشاری و همکاران، ۱۳۹۷) نتایج نشان می‌دهد که محدوده تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی جرمی در نمونه‌های محوطه کول تپه جلفا، بین ۲/۷۳۷ m^3/kg تا ۱۱/۳۶۵ است و در نمونه K.J1.1 کمترین مقدار و در نمونه K.J2a بیشترین مقدار دیده می‌شود (شکل ۵). مقدار پارامتر پذیرفتاری مغناطیسی جرمی نمونه‌های محوطه دوه گز بین ۰/۴۰۹ تا m^3/kg ۶/۰۶۹ متغیر است و در نمونه D.G4.2 مقدار این پارامتر کمینه است و در نمونه D.G2.2a بیشترین مقدار را دارد و محدوده تغییرات از m^3/kg ۳/۹۰۷ تا ۲۴/۶۸۹ است (شکل ۶)؛ و در حالت کلی پارامتر پذیرفتاری مغناطیسی جرمی در نمونه D.G 3 دارای بیشینه مقدار است و نمونه k.J1.1 دارای مقدار کمینه است و محدوده تغییرات این پارامتر بین m^3/kg ۲/۷۳۷ تا ۲۴/۶۸۹ است (شکل ۷).

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026



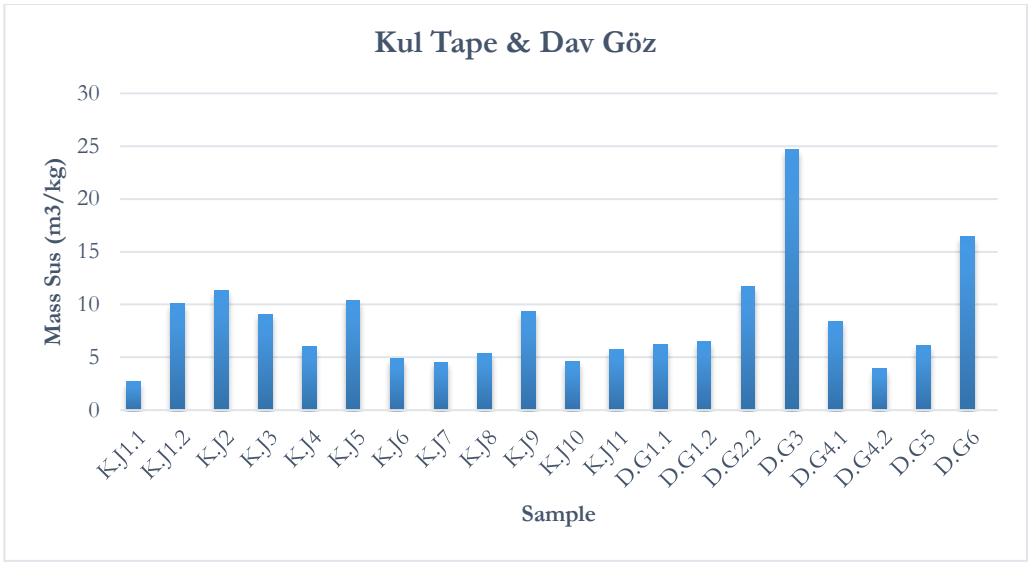
شکل ۵. نمودار پذیرفتاری مغناطیسی نمونه سفال‌های محوطه کول تپه گرگر

Figure 5. Magnetic susceptibility diagram of pottery samples from the Kul Tepe Gargar



شکل ٦. نمودار پذیرفتاری مغناطیسی نمونه سفال‌های محوطه دوه گز خوی

Figure 6. Magnetic susceptibility diagram of pottery samples from the Dava Göz Khoy

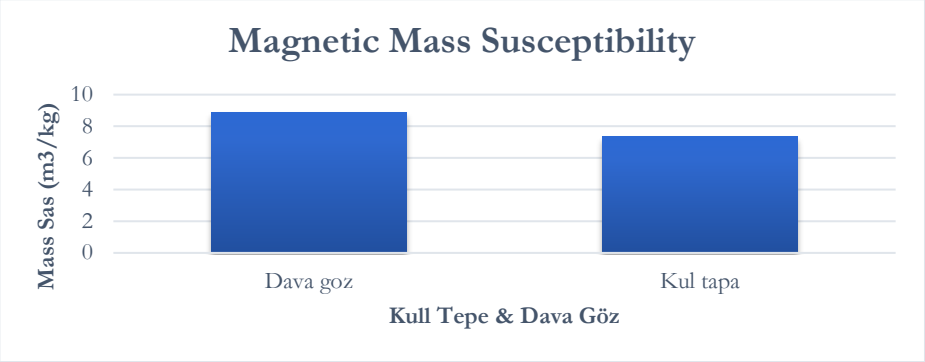


شکل ۷. مقایسه پذیرفتاری مغناطیسی جرمی نمونه‌های کول تپه و دوه گز

Figure 7. Comparison of mass-specific magnetic susceptibility of samples from Kul Tepe and Dava Göz

در مقایسه بین دو منطقه دوه گز و کول تپه همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود، مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه دوه گز نسبت به منطقه کول تپه جلفا بیشتر است (شکل ۸).

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026



شکل ۸. نمودار مقایسه میانگین پذیرفتاری مغناطیسی و پذیرفتاری مغناطیسی جرمی نمونه‌های کول تپه جلفا و دوه گز خوی

Figure 8. Comparison of mean magnetic susceptibility and mass-specific magnetic susceptibility of samples from Kul Tepe Gargar and Dava Göz, Khoy

نتایج آزمایش پذیرفتاری مغناطیسی جرمی نشان‌دهنده بالاتر بودن این مؤلفه مغناطیسی در منطقه دوه گز خوی نسبت به کول تپه هادی شهر است. همچنین نتایج کانی‌شناسی مغناطیسی نیز تائیدی بر این ادعا است. با بررسی سازندهای زمین‌شناسی اطراف هر دو سایت باستانی، مشاهده گردید که منبع اصلی خاک رسی که در دوره باستان در تهیه سفال استفاده می‌گردید سنگ‌های مارنی، شیلی سازندهای مربوط به دوره میوسن (ترشیری) است که سنگ مادر، حاوی کانی‌های آهن‌دار و به رنگ قرمز است که پتانسیل خوبی برای کسب مغناطیس دارند، بنابراین بالا بودن میانگین پذیرفتاری مغناطیسی منطقه دوه گز خوی را می‌توان به تنوع کانی‌های مختلف فرو مغناطیسی در نمونه‌های این محوطه نسبت داد.

٤-۲. نتایج آنالیز پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس

نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد مطالعه حاوی مقادیر متفاوتی از ذرات سوپر پارا مغناطیس هستند. طبق این دستورالعمل نمونه‌های K.J1 و K.J7 کمترین میزان درصد پذیرفتاری وابسته به فرکانس ۲ > χfd% را دارند (جدول ۶، شکل ۹). میزان درصد پذیرفتاری وابسته به فرکانس نمونه‌های D,G5 D.G 1.1b,D.G 1.2 , ما بین ۱۰ > χfd% >۲ هستند که می‌تواند نشانه حضور ترکیبی از کانی‌های سوپر پارا مغناطیس و کانی‌های درشت‌تر باشند (Jordanova et al. 2019). محدوده درصد پذیرفتاری مغناطیسی نمونه های K.J 6, K.J 5 K.J11, K.J10, K.J 9, K.J8, ما بین ۱۰ > χfd% >۲ بوده و کانی‌ها ترکیبی از ذرات سوپر پارا مغناطیس و دانه‌های درشت هستند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دانه‌های مگنتیت موجود در نمونه‌های مورد مطالعه در مرز سوپر پارا مغناطیس هستند. اکثر نمونه‌ها در محدوده بین ۴ تا ۱۰ ٪ قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده حضور معنی‌دار دانه‌های مگنتیت سوپر پارا مغناطیس در نمونه‌هاست (Kostadinova and Kovacheva 2008).

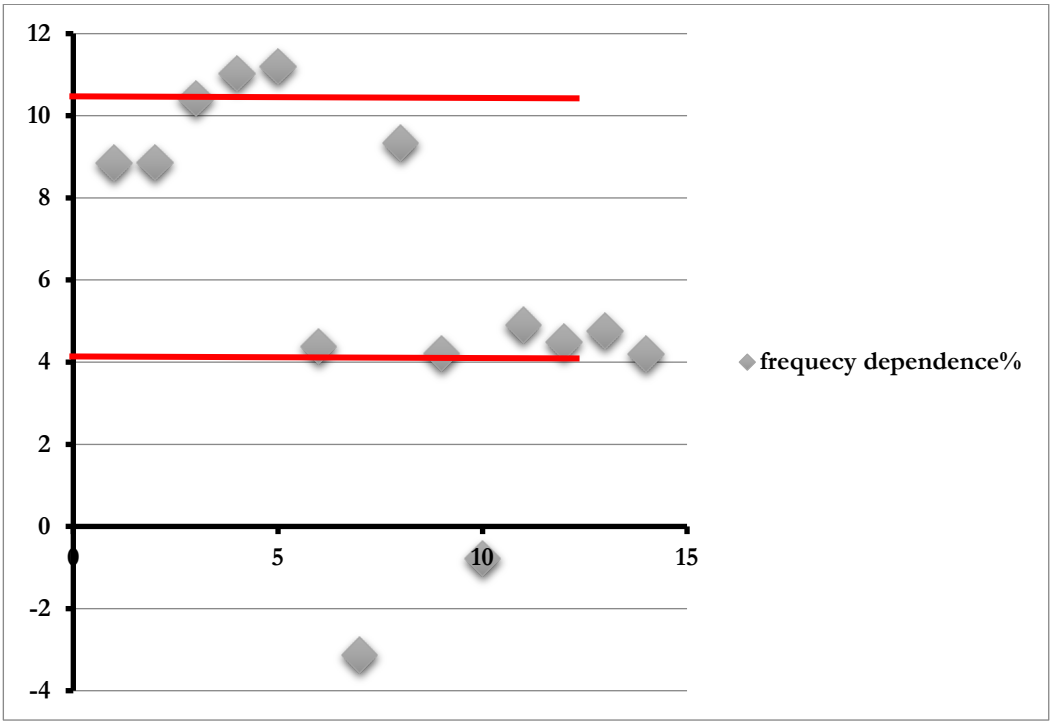
جدول ۵. نتایج آنالیز پذیرفتاری مغناطیسی دو فرکانسه از محوطه‌های کول تپه و دوه گز

Table 5. Results of Dual-Frequency Magnetic Susceptibility Analysis from Kul Tepe and Dohe Gaz Sites

Samples	High frequence	Low frequence	Frequecy dependence%
D.G1.1b	33/841	923	8479/8
D.G1.2b	66/705	33/774	8678/8
D.G2.2b	66/1429	1596	4218/10
D.G4.1	651	66/731	0250/11
D.G4.2	296	33/333	20/11
D.G5a	33/683	66/714	3843/4
K.J1	66/219	213	1298/3
K.J5	33/786	33/867	3389/9
K.J6	66/477	66/498	2112/4
K.J7	33/427	424	7861/0

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

Samples	High frequence	Low frequence	Frequecy dependence%
K.J8b	595	66/625	9014/4
K.J9a	33/1332	1395	4922/4
K.J10	33/386	66/405	7658/4
K.J11	66/395	413	1969/4



شکل ۹. نمودار پراکندگی کانی‌های فرو مغناطیسی بر اساس اندازه دانه‌های مغناطیسی

Figure 9. Scatter plot of ferromagnetic minerals based on magnetic grain size.

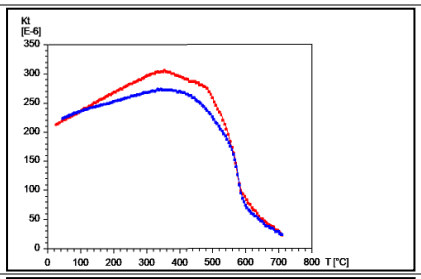
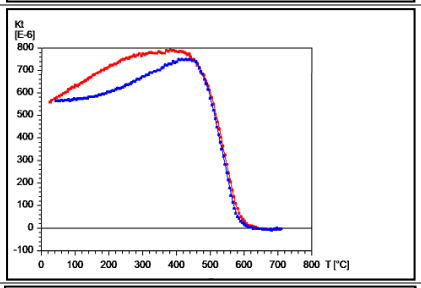
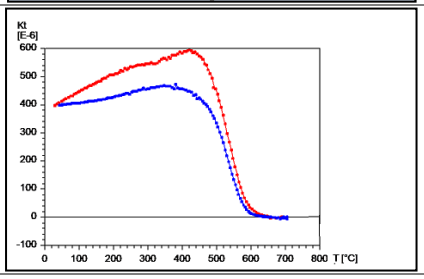
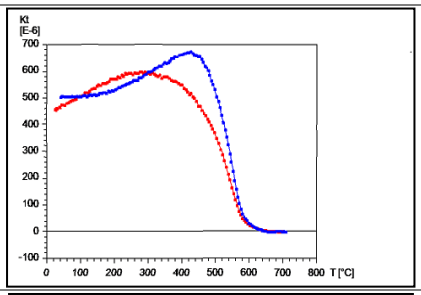
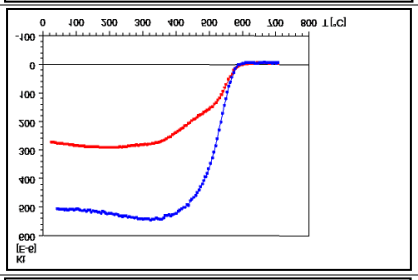
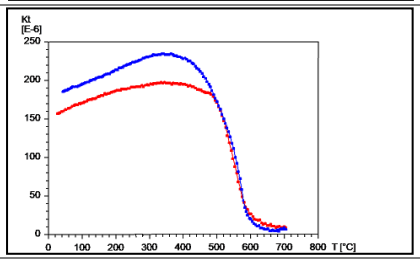
٤-۳. نتایج کانی‌شناسی مغناطیسی نمونه‌ها با روش تعیین دمای کوری

نتایج مطالعات تجزیه و تحلیل‌های کانی‌شناسی مغناطیسی بر روی نمونه‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده این است که اکثر نمونه‌ها تقریباً برگشت‌ناپذیر بوده و تحولات فازی در کانی‌های فرو مغناطیسی در حین گرمایش و خنک شدگی رخ داده است (جدول ۶). هماتیت با ترکیب شیمیایی Fe_2O_3 و طیف رنگی قهوه‌ای، قرمز، خاکستری، سیاه در دو حالت در بافت سفال دیده می‌شود. این کانی یا به‌صورت یک کانی ثانویه در درجه حرارت بالا در محیط اکسیداسیون در کوره تولید می‌شود و یا به‌صورت ذرات هماتیت در خاک منطقه موجود است. هماتیت در سفال به‌شرط عدم وجود این کانی به‌صورت طبیعی در خاک رس، نشان‌دهنده دمایی بالاتر از ۸۰۰ °C است (Tarling, 1966). با در نظر گرفتن عدم حضور کانی هماتیت در نمونه‌های مورد مطالعه (به‌جز نمونه K.J1) می‌توان نتیجه گرفت که اکثر سفال‌ها در دوره باستان دمای پخت مناسبی نداشته‌اند. به‌طور کلی مواد رسی که میزان پخت ضعیف یا متوسط داشته‌اند دو مشکل اساسی برای مطالعات دیرینه مغناطیسی دارند. اول اینکه این نوع سفال‌ها به خاطر عدم پخت کافی دارای بدنه ضعیفی هستند و در حین نمونه برداری و یا کر گیری ممکن است بشکنند و یا ترک بردارند. دوم و از همه مهم‌تر اینکه سفال‌های تاریخی با پخت نا کافی در حین آزمایش‌های حرارتی تمایل به واکنش و تشکیل فازهای جدید کانی‌های مغناطیسی را دارند بنابر این اغلب در مطالعات باستان‌شناسی باید از این نمونه‌ها اجتناب کرد. چرا که ناپایداری حرارتی به‌وضوح بر نتایج شدت دیرین مغناطیس تأثیر می‌گذارند. با این حال این بدان معنی نیست که نمونه‌ها نتوانند قادر به کسب یک مغناطیس پسماند حرارتی پایدار باشند (Catanzariti et al. 2012).

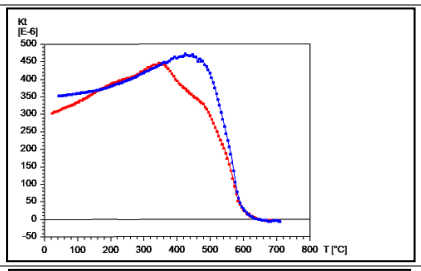
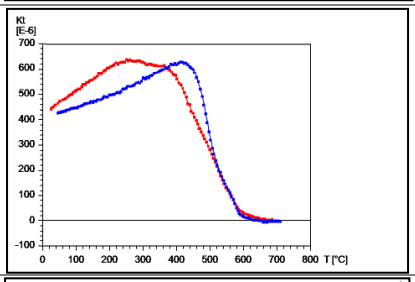
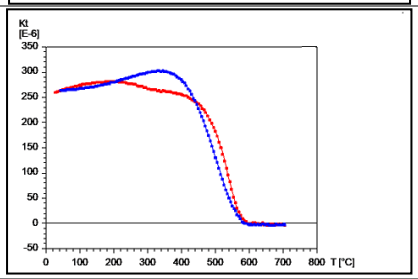
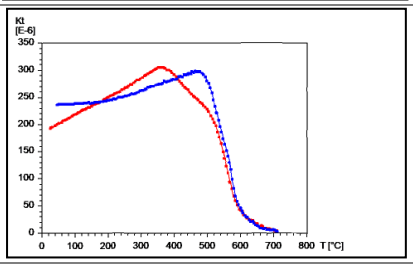
[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

جدول ٦. تحلیل نمودارهای کانی‌شناسی مغناطیسی نمونه سفال‌های منطقه کول تپه جلفا

Table 6. Analysis of magnetic mineralogy diagrams for pottery samples from Kul Tepe Gargar

نمونه	نمودار CS3	تحلیل
K.J1		
K.J2		نمودار از نوع پذیرفتاری بالا- برگشت‌ناپذیر بوده و کانی‌های فرو مغناطیسی تیتانو مگنتیت و مگنتیت در نمونه حضور دارند.
K.J3		نمودار از نوع پذیرفتاری بالا – برگشت‌ناپذیر است و کانی فرو مغناطیسی مگنتیت در نمونه وجود دارد.
K.J4	عدم آنالیز به دلیل کوچک بودن نمونه	
K.J5		نمودار از نوع پذیرفتاری بالا – برگشت‌ناپذیر بوده و دو افت شاخص پذیرفتاری مغناطیسی در دماهای ۳۰۰ و ۵۸۰ Cº نشانه حضور کانی‌های فرو مغناطیسی پیروتیت و مگنتیت است.
K.J6		نمودار از نوع پذیرفتاری کم – برگشت‌ناپذیر بوده و حاوی کانی فرو مغناطیسی مگنتیت است.
K.J7		نمودار از نوع پذیرفتاری کم – برگشت‌ناپذیر بوده و پیک مربوط به ۵۸۰ Cº نشانگر حضور کانی فرو مغناطیسی مگنتیت است.

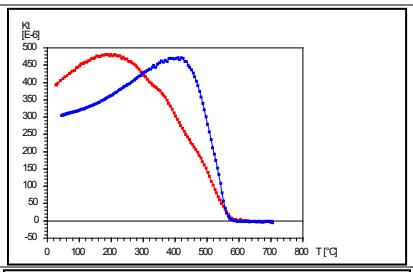
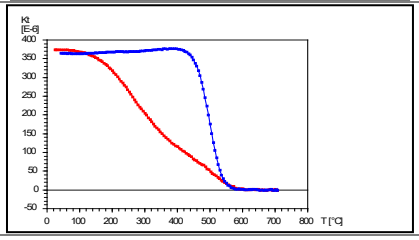
[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

نمونه	نمودار CS3	تحلیل
K.J8.1		نمودار از نوع پذیرفتاری بالا- برگشت‌ناپذیر بوده و حاوی کانی‌های تیتانو مگنتیت و مگنتیت است.
K.J8.2		نمودار از نوع پذیرفتاری بالا – برگشت‌ناپذیر بوده و حاوی کانی مگنتیت است.
K.J9		نمودار از نوع پذیرفتاری کم- برگشت‌ناپذیر بوده و کانی حامل مغناطیسی در این نمونه مگنتیت است.
K.J10		نمودار از نوع پذیرفتاری کم- برگشت‌ناپذیر بوده و نمونه حاوی کانی‌های تیتانو مگنتیت، مگنتیت است.
K.J11	عدم آنالیز به دلیل کوچک بودن نمونه	

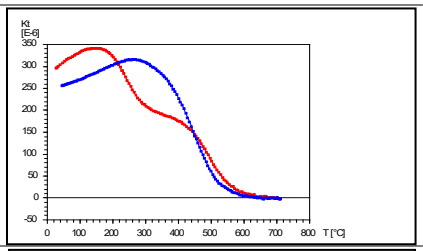
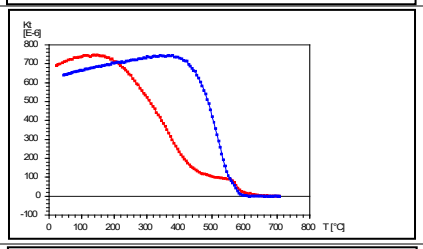
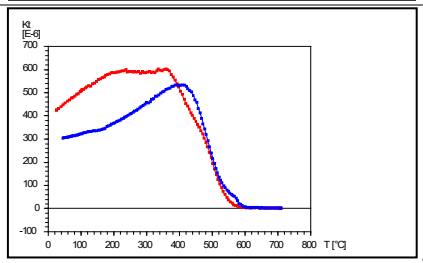
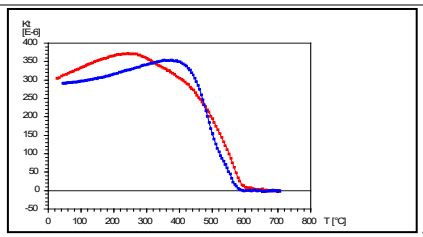
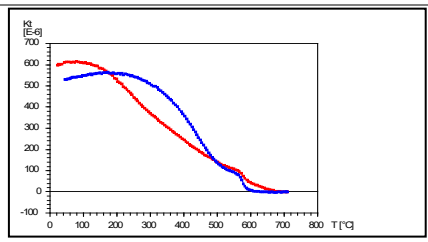
نتایج کانی‌شناسی مغناطیسی محوطه دوه گز خوی نیز در (جدول ۷) آمده است.

جدول ۷. تحلیل نمودارهای کانی‌شناسی مغناطیسی نمونه سفال‌های منطقه دوه گُز خوی

Table 7. Analysis of magnetic mineralogy diagrams for pottery samples from Dava Göz Khoy

نمونه	منحنی CS3	تحلیل
D.G1.1		نمودار از نوع پذیرفتاری بالا- برگشت‌ناپذیر بوده و حاوی کانی‌های گوئتیت و مگنتیت است.
D.G1.2		نمودار از نوع پذیرفتاری بالا – برگشت‌ناپذیر بوده و افت شاخصی در دمای C^{o} ۵۸۰ نشانه حضور کانی فرو مغناطیسی مگنتیت است.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

نمونه	منحنی CS3	تحلیل
D.G2.2		این نمودار از نوع پذیرفتاری بالا – برگشت‌ناپذیر بوده و شامل کانی‌های گوئتیت، پیروتیت، تیتانو مگنتیت و مگنتیت است.
D.G 3		نمودار از نوع پذیرفتاری بالا – برگشت‌ناپذیر بوده و حاوی کانی‌های فرو مغناطیس گوئتیت، تیتانو مگنتیت و مگنتیت است
D.G4		نمودار از نوع پذیرفتاری بالا– برگشت‌ناپذیر بوده و حاوی تاتانو مگنتیت و مگنتیت است
D.G5		نمودار از نوع پذیرفتاری بالا – برگشت‌ناپذیر بوده و شامل کانی‌های پیروتیت و مگنتیت در نمونه است
D.G6		نمودار از نوع پذیرفتاری بالا – برگشت‌ناپذیر بوده و حاوی کانی‌های فرو مغناطیس گوئتیت و مگنتیت است

٤-٤. نتایج آنالیز مغناطیس زدایی حرارتی و ترسیم منحنی شاخص تغییرات زاویه میل باستان

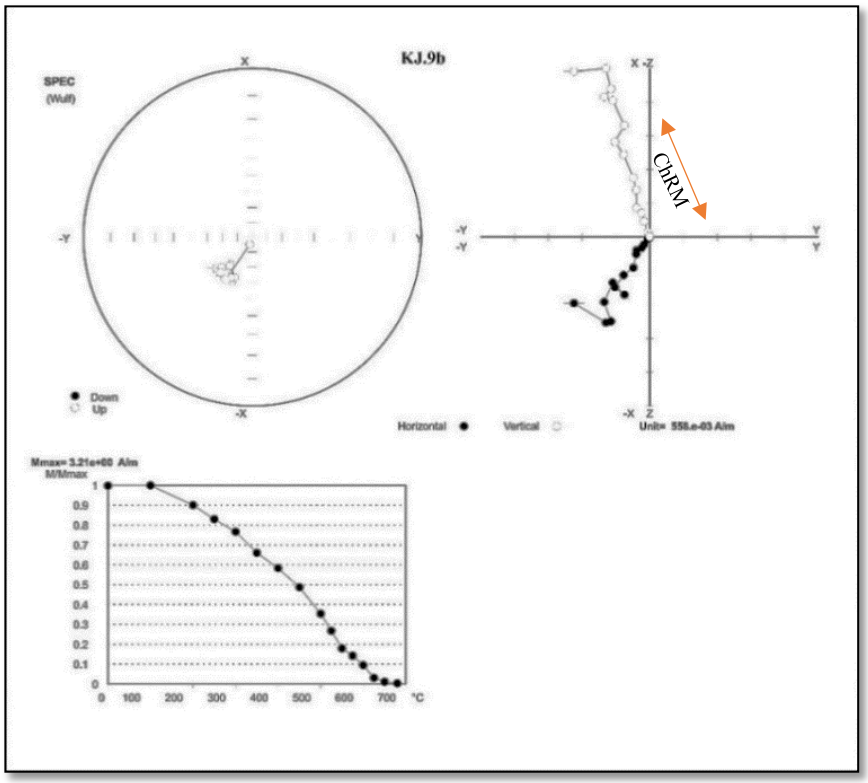
نتایج حاصل از مغناطیس زدایی حرارتی نشان داد که همه نمونه‌ها چند مؤلفه‌ای هستند و دارای مغناطیس ثانویه بوده‌اند که پس از پخت سفال و در طی زمان کسب شده‌اند (جدول ۸) پس از مغناطیس زدایی این مؤلفه‌های ثانویه در محدوده دمایی ۴۰۰ °C تا ۶۸۰ حذف گردید و زاویه میل مغناطیسی و زاویه انحراف مغناطیس برای پسماند مغناطیسی اولیه به دست آمد. زوایای میل مغناطیسی به دست آمده از آنالیز مغناطیس زدایی حرارتی، به‌صورت نمودار ترسیم شد و مقایسه این نتایج نشان‌دهنده انطباق نسبتاً خوب تغییرات زاویه میل مغناطیس باستان شمال‌غرب ایران با مناطق مجاور (بالکان) است. با این حال در سه نمونه D.G 1.1، D.G2.2 و K.J6 افت شاخصی در نمودار دیده می‌شود (شکل ۱۰) با توجه به اینکه تعداد نمونه سفال برای هر بازه زمانی به اندازه کافی نبوده، توجیه این رخداد سخت است اما با در نظر گرفتن تطابق نسبتاً خوب بقیه نمونه‌ها با نمودار منحنی شاخص جهانی و منطقه‌ای بالکان، ممکن است بتوان علت این اختلاف را به نحوه قرارگیری سفال در زمان پخت در کوره نسبت داد. در واقع احتمالاً این نمونه‌ها در حین پخت به‌صورت مایل در کوره قرار گرفته بودند. با این وجود بخش‌هایی از منحنی به دست آمده برای محوطه‌های کول تپه هادی شهر و دوه گز خوی با نمونه‌های مشابه تطبیق داده شده، می‌تواند به‌عنوان مرجعی برای یافتن سن اشیایی با سن مجهول که مشخصات مغناطیسی آن‌ها به دست آمده است استفاده شود.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

جدول ۸. نتایج زاویه میل و انحراف میدان ژئوفیزیک مغناطیسی

Table 8. Results of geomagnetic field inclination and declination angles

نمونه	زاویه انحراف اولیه (declination)	زاویه میل اولیه (inclination)	زاویه انحراف حداکثر (MAD)	سن مطلق C_{14} (BP)
K.J2	88.5	20.4	2.1	5065
K.J3	263.4	12.2	5	5065
K.J6	233.8	40.9	5.1	5590
K.J7	299.7	15.8	29.3	5647
K.J8.1	108.3	57.3	3.5	4129
K.J8.2	320.1	58.6	6.8	4129
K.J9	137.9	58.6	3.8	5110
K.J11	264	56	11.1	5232
D.G1.1	25.9	32.1	5.9	6272
D.G1.2	281.1	37.7	6.3	6272
D.G2.2	12.3	26.3	6.4	5838
D.G4.1	80.6	26.1	6.4	4956
D.G5	195.4	5.4	4.2	4956



شکل ۱۰. نمودار زیجروله نمونه K.J9

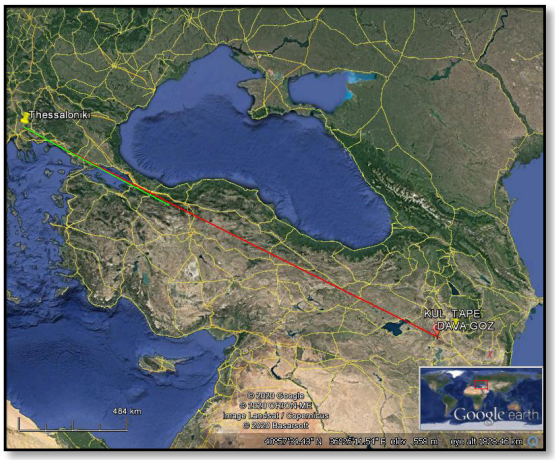
Figure 10. Zijderveld diagram of sample K.J9

٤-۵. نتایج ترسیم منحنی مرجع تغییرات دوره‌ای (سکولار) زاویه میل آرکئو ژئو مغناطیسی

منحنی تغییرات زوایای میل ژئومغناطیسی بازه زمانی مورد مطالعه (۲۶۳۸–۵۲۱۵ ق.م) در این پژوهش برحسب زمان نشان داده‌شده است. با توجه به اینکه با داشتن اطلاعات مغناطیسی یک زمان خاص، در یک ناحیه (زوایای میل، انحراف و شدت میدان مغناطیسی) می‌توان اطلاعات مغناطیسی هم زمان در یک ناحیه مجاور با الگوی تغییرات میدان مشابه به دست آورد، لذا در این پژوهش ابتدا بر اساس اطلاعات حاصل از نمونه‌ها، زاویه میل باستان ترسیم گردید و سپس با منحنی مرجع زاویه میل مغناطیس دیرین هم زمان در منطقه بالکان مورد مقایسه واقع گردید. با اینکه فاصله منطقه مورد مطالعه در این پژوهش با منطقه بالکان بیشتر از ۱۰۰۰ کیلومتر است با این حال تا به امروز تنها نمودار در دسترس است که هم بخشی از کشور ترکیه (کشور مرزی شمال غرب کشور) به‌عنوان نزدیکترین منطقه به محوطه‌های کول تپه هادی شهر و دوه گز خوی را شامل می‌شود و هم بازه زمانی مورد مطالعه

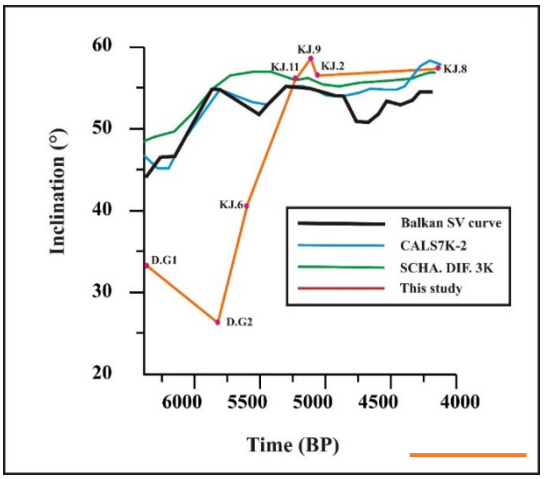
[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

را پوشش می‌دهد (شکل ۱۱). نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج مطالعه‌ای در منطقه بالکان مورد مقایسه واقع گردید. این نمودار بر اساس داده‌های موجود در یک محوطه به شعاع ۷۰۰ کیلومتری و به مرکز شهر تسالونیک واقع در یونان (40.60° N, 23.00° E) ترسیم گردیده است و داده‌ها شامل ۳۲۵ نمونه از جهت میدان مغناطیسی زمین و ۶۲۵ نمونه از تغییرات شدت میدان مغناطیسی بوده و به‌طور عمده از یونان، بلغارستان، صربستان، جنوب مجارستان، بخش جنوبی ایتالیا و بخش شمال غرب ترکیه برداشت گردیده‌اند (تصویر ۱۲). نمودار با دقت بالایی کالیبره شده و به‌وضوح ویژگی‌های اصلی تغییرات میدان مغناطیسی زمین در طی هشت هزار سال گذشته را در این منطقه نشان می‌دهد. منحنی مرجع جهانی به رنگ آبی (CALS 7K.2) یک مدل پیوسته میدان از تغییرات زاویه میل مغناطیس باستان است و توسط نمونه‌های باستانی و سنگ‌های آتش‌فشانی بوده و تنها مدل جهانی موجود است که یک بازه زمانی ۷۰۰۰ ساله (۵۰۰۰ ق.م تا ۱۹۵۰) را پوشش می‌دهد. منحنی سبز رنگ (SCHA.DIF.3K) نیز تغییرات میدان ژئو مغناطیسی زمین (۶۰۰۰ ق.م)، بر اساس مجموعه از داده‌های باستانی و سنگ‌های رسوبی ترسیم گردیده است. منحنی سیاه نیز یک نمودار مرجع منطقه‌ای برای بالکان است (Tema and Kondapoulu 2011).



شکل ۱۱. نقشه گوگل ایرث فاصله منطقه شبه جزیره بالکان (نوار قرمز) با منطقه دوه گز خوی و کول تپه گرگر (نوار سبز) (Google Earth).

Figure 11. Google Earth map showing the distance between the Balkan Peninsula region (red line) and the Dava Göz Khoy and Kul Tepe Gargar regions (green line).



شکل ۱۲. نمودار منحنی مرجع از تغییرات زاویه میل مغناطیس باستان مطالعه حاضر (منحنی نارنجی) و مقایسه آن با مناطق مجاور. منحنی آبی یک مدل پیوسته میدان از تغییرات زاویه میل مغناطیس باستان با استفاده از نمونه‌های باستانی و سنگ‌های آتش‌فشانی، منحنی سبزرنگ تغییرات میدان ژئو مغناطیسی زمین (۶۰۰۰ ق.م)، بر اساس مجموعه از داده‌های باستانی و سنگ‌های رسوبی، منحنی سیاه، نمودار مرجع منطقه‌ای برای بالکان است.

Figure 12. Reference curve of archaeomagnetic inclination variations from the present study (orange curve) compared with neighboring regions; The blue curve represents a continuous field model of archaeomagnetic inclination variations using archaeological samples and volcanic rocks, the green curve represents geomagnetic field variations (6000 BC) based on a collection of archaeological data and sedimentary rocks, and the black curve is the regional reference diagram for the Balkans.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

۵. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر اولین مطالعه سن سنجی آثار باستانی با استفاده از روش مغناطیس دیرین است. برای اینکه بتوان سن آثار تاریخی حرارت دیده و یا مغناطیده شده با روش دیرینه‌مغناطیس را مشخص کرد، ابتدا باید یک ابزار سال‌یابی به‌صورت نمودار مرجع از تغییرات سکولار شدت، زاویه میل و جهت میدان مغناطیسی زمین در دوره باستان ترسیم گردد و این نمودار با نتایج سایر روش‌های تاریخ‌گذاری مطلق مانند ^{14}C و یا ترمولومینسانس کالیبره شود. تاریخ‌گذاری آثار باستانی با روش‌های مطلق کربن ۱۴ و ترمولومینسانس و غیره بسیار پرهزینه است و از طرفی دیگر بسیاری از روش‌های تاریخ‌گذاری با تجهیزات و امکانات آزمایشگاهی در ایران قابل انجام نیست؛ بنابراین در صورت تهیه و ترسیم نمودارهای شاخص از تغییرات جهت و شدت میدان مغناطیسی زمین در دوره‌های باستانی برای مناطق مختلف ایران، می‌توان در آینده سن دقیق طیف وسیعی از آثار تاریخی را بدون نیاز به انجام سن‌سنجی با سایر روش‌ها به دست آورد. از طرفی در آزمایشگاه محیط و دیرینه مغناطیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تجهیزات و دستگاه‌های مغناطیس سنجی وجود دارد که در صورت داشتن نمونه تاریخی حرارت دیده برجا و نمونه برداری بدون خطا در سر سایت، می‌توان منحنی‌های مرجع تغییرات جهت میدان مغناطیسی زمین را به دست آورده و در این صورت سن مطلق آثار حرارت دیده برجا و یا جابجا شده و سن مجهول را با انجام چند آزمایش مغناطیسی با هزینه ناچیز تعیین کرد. در حالت کلی نتایج آنالیزهای اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی جرمی، نشان داد که هر دو محوطه باستانی از نظر شرایط زمین‌شناسی و سنگ‌های مادر حاوی کانی‌های فرو مغناطیسی بوده و استعداد بالایی در پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها داشته است و دلیل بالاتر بودن میانگین پذیرفتاری مغناطیسی در محوطه دوه گز خوی نسبت به کول جلفا به تنوع کانی‌های فرو مغناطیس موجود در نمونه‌ها مربوط است. نتایج پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس نشان داد که اکثر نمونه‌ها در محدوده $\chi fd\% < ۱۰ > \%$ ۲ بوده و ترکیبی از ذرات سوپر پارا مغناطیس و دانه‌های درشت‌تر است. بر اساس نتایج آنالیز کانی‌شناسی مغناطیسی، کانی اصلی حامل مغناطیسی در همه نمونه‌ها مگنتیت و تیتانو مگنتیت بوده و دربرخی نمونه‌ها، سایر کانی‌های مغناطیسی مانند: هماتیت، پیروتیت و گوئتیت نیز وجود داشت و در طی گرمایش آزمایشگاهی دچار تحولات فازی در کانی‌ها شده است. برگشت‌ناپذیری منحنی‌های پذیرفتاری مغناطیسی – دما تقریباً در همه نمونه‌ها نشان از عدم پخت کافی سفال‌ها بوده و در دوره باستان به ثبات ترمو دینامیکی نرسیده‌اند. هدف اصلی مطالعه ترسیم نمودارهای مرجع از تغییرات زاویه میل مغناطیس باستان بوده و در نهایت، نمودار شاخص از تغییرات دوره‌ای زاویه میل مغناطیس باستان برای مناطق مورد مطالعه و محدوده زمانی (۵۲۱۵–۲۶۳۸ ق.م) ترسیم گردید و با نتایج مطالعات مناطق مجاور مورد مقایسه واقع گردید و نتایج تطابق نسبتاً خوبی را با منحنی مرجع بالکان (یونان، بلغارستان، صربستان، جنوب مجارستان، بخش جنوبی ایتالیا و بخش شمال غرب ترکیه) نشان داد، به‌جز چند نمونه که افت شاخصی نسبت به منحنی مرجع جهانی داشته و احتمالاً به دلیل این بوده که زاویه قرارگیری آن‌ها در حین پخت درون کوره به‌صورت مایل بوده است. با در نظر گرفتن این موضوع که این مطالعه اولین پژوهش جدی دیرین مغناطیس ایران است و خطاهای بسیاری مانند کم بودن نمونه‌های متعلق به هر ترانشه، عدم ضخامت مناسب برخی از نمونه‌ها جهت انجام آزمایش‌های مغناطیسی وابسته به جرم (استاندارد نبودن ضخامت نمونه سفال‌ها)، نبود امکانات برای برداشت نمونه جهت‌دار و ناکافی بودن حرارت پخت آن‌ها، مسلماً با گذشت زمان و اضافه شدن اطلاعات بیشتر دیرینه مغناطیس سنجی، این منحنی‌ها کامل‌تر و دقیق‌تر شده و با درصد اطمینان بالایی می‌توان در مورد سن نمونه باستانی نظر داد.

با توجه به اینکه آثار حرارت دیده برجا مانند کوره، تنور و غیره در بهترین حالت همه اطلاعات مغناطیسی زمین را در دوره باستان در خود حفظ کرده‌اند و مغناطیس‌سنجی این آثار در نسبت با آثار حرارت دیده جابجا شده مانند کاشی و سفال و آجر و غیره خطا را به حداقل می‌رساند، بنابراین پیشنهاد می‌گردد باستان‌شناسان در هنگام کاوش و در زمان مواجه‌شدن با آثار حرارت دیده برجا، قبل از اینکه نمونه از محل اصلی خود جابجا گردد، شرایط نمونه برداری اصولی و دقیق توسط کارشناس متخصص در سایت فراهم کنند تا میزان خطا به کمترین میزان برسد.

سپاسگزاری: این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول در دانشگاه هنر اسلامی تبریز با عنوان "سال‌یابی آثار تاریخی به دست آمده از محوطه‌های باستانی به روش آرکئومگنتومتری است". نگارنده بر خود لازم می‌داند از دانشگاه هنر اسلامی تبریز و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به سبب حمایت‌های مادی و معنوی در مطالعات سپاسگزاری نمایند.

مشارکت نویسندگان: میزان مشارکت نویسندگان در مقاله فوق به شرح زیر است: نسرین داداش زاده: طرح موضوع، آماده‌سازی اولیه نمونه‌های مورد نیاز برای آزمایش‌ها و تحلیل کلی نتایج مطالعه؛ مسعود باقرزاده کثیری: راهنمایی و پیشبرد مطالعه؛ حمیده رشید: در اختیار گذاردن تمامی دستگاه ها و تجهزات آزمایشی پژوهشگاه پالئو مغناطیس و تحلیل بافت زمین‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه؛ محمد حامدپور دارابی: کمک به تحلیل نتایج آزمایش‌ها

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

پالئو مغناطیسی؛ آتکه اصلانی: انجام آزمایش‌ها و ترسیم نمودارها و کمک به تحلیل نتایج آزمایش‌ها؛ اکبر عابدی: انجام کاوش باستان‌شناسی در دو محوطه کول تپه گرگر و تپه دوه گزخوی، آماده کردن نمونه‌های باستان‌شناسی جهت انجام آنالیز، کمک به تحلیل های باستان شناسانه مقاله.

تأمین مالی: پژوهش حاضر طبق تفاهم نامه بین دانشگاه هنر اسلامی تبریز و پژوهشگاه سازمان زمین‌شناسی کشور در آزمایشگاه پلئو مغناطیس تهران مورد مطالعه قرار گرفت و کلیه هزینه های آزمایش‌ها بر عهده سازمان زمین‌شناسی بود.

تضاد منافع: نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافع را اعلام نمی کنند.

دسترسی به داده‌ها و مواد: دسترسی به اطلاعات مندرج در مقاله با ارتباط از طریق ایمیل با نویسنده مسئول امکانپذیر است.

References

منابع

Abedi A. (2016). Absolute (14C AMS) and Relative Chronology of Dava Göz Khoy; New Evidence of Transitional Chalcolithic, Dalma and Pisdeli Cultures in NW IRAN. *JRA*. 2(1), 39-54.(In Persian). https://doi.org/10.29252/jra.2.1.39

Abedi, A. (2016). New Evidence from Neolithic to Achaemenid Periods in North-Western Iran: Excavations at Kul Tepe (Hadishahr), Second Preliminary Report (2013). *Iranian Journal of Archaeological Studies*, *6*(1), 59-82.https://doi.org/10.22059/jarcs.2016.59497

Abedi, A. (2016). Preliminary Reports of the Second Season of Excavation at Kul Tepe Hadishahr, North West Iran. *Journal of Archaeological Studies*, *8*(1), 91-111..(In Persian) doi: 10.22059/jarcs.2016.59497https://doi.org/10.22059/jarcs.2016.59497

Abedi, A. (2017). Iranian-Azerbaijan Pathway from the Zagros to the Caucasus: Kul Tepe and Dava Göz, New Neolithic Sites in NW Iran. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, *17*, 79-98. https://doi.org/10.5281/zenodo.258086

Abedi, A., & Omrani, B. (2015). Kura-Araxes culture and north-western Iran: new perspectives from Kul Tepe Jolfa (Hadishahr). *Paléorient*, 55-68.http://www.jstor.org/stable/44244535

Abedi, A., Mohammadi, V. D., Steiniger, D., & Glascock, M. D. (2018). The provenance of Kul Tepe obsidian artifacts: Syunik and the highlands of Armenia as possible seasonal pastureland. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *21*, 406-412.https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.08.027

Abedi, A., Omrani, B., & Karimifar, A. (2015). Fifth and fourth millennium BC in north-western Iran: Dalma and Pisdeli revisited. *Documenta Praehistorica*, *42*, 321-338.https://doi.org/10.4312/dp.42.23

Abedi, A., Shahidi, H. K., Chataigner, C., Niknami, K., Eskandari, N., Kazempour, M., ... & Ebrahimi, G. (2014). Excavations at Kul Tepe (Hadishahr), north-western Iran, 2010: first preliminary report. *Ancient Near Eastern Studies*, *51*, 33-165.https://doi.org/10.22084/nb.2022.25429.2436

Afshari, A., Moravej, K., & Alamdari, P. (2018). Vertical distribution of magnetic parameters and total equivalent iron concentration and their relationships with soil parent material lithology. *Water and Soil Science*, *28*(1), 231-241..(In Persian).https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_7607.html

Akimoto, S. I. (1951). Magnetic susceptibility of ferromagnetic minerals contained in igneous rocks. *Journal of geomagnetism and geoelectricity*, *3*(3-4), 47-58.https://doi.org/10.5636/jgg.3.47

Batt, C. M., Brown, M. C., Clelland, S. J., Korte, M., Linford, P., & Outram, Z. (2017). Advances in archaeomagnetic dating in Britain: New data, new approaches and a new calibration curve. *Journal of Archaeological Science*, *85*, 66-82.https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.07.002

Butler, R. F. (1998). Paleomagnetism: magnetic domains to geologic terrains.https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/81172/mod_resource/content/1/PALEOMAGNETISM%20Magnetics%20Domains%20to%20Geological%20Terranes.pdf

Carrancho, A., Gogichaishvili, A., Kapper, L., Morales, J., Soler Arechalde, A. M., & Tema, E. (2015). Geomagnetic applications in archeology: state of the art and recent advances. *New Developments in Paleomagnetism Research*, 53-98.https://igum.geofisica.unam.mx/san/articulo.pdf

Catanzariti, G., Gómez-Paccard, M., McIntosh, G., Pavón-Carrasco, F. J., Chauvin, A., & Osete, M. L. (2012). New archaeomagnetic data recovered from the study of Roman and Visigothic remains from central Spain (3rd-7th centuries). *Geophysical Journal International*, *188*(3), 979-993.https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05315.x

Dearing, J. A., Bird, P. M., Dann, R. J. L., & Benjamin, S. F. (1997). Secondary ferrimagnetic minerals in Welsh soils: a comparison of mineral magnetic detection methods and implications for mineral formation. *Geophysical Journal International*, *130*(3), 727-736.https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb01867.x

Gallet, Y., & Butterlin, P. (2015). Archaeological and Geomagnetic Implications of New Archaeomagnetic Intensity Data from the Early Bronze High Terrace 'Massif Rouge'at Mari (Tell Hariri, Syria). *Archaeometry*, *57*, 263-276.https://doi.org/10.1111/arcm.12112

Gallet, Y., Genevey, A., Le Goff, M., Warmé, N., Gran-Aymerich, J., & Lefèvre, A. (2009). On the use of archeology in geomagnetism, and vice-versa: recent developments in archeomagnetism. *Comptes Rendus Physique*, *10*(7), 630-648.https://doi.org/10.1016/j.crhy.2009.08.005

Gómez-Paccard, M., & Beamud, E. (2008). Recent achievements in archaeomagnetic dating in the Iberian Peninsula: application to Roman and Mediaeval Spanish structures. *Journal of Archaeological Science*, *35*(5), 1389-1398.https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.10.005

Gomez-Paccard, M., Catanzariti, G., Ruiz-Martinez, V. C., McIntosh, G., Núñez, J. I., Osete, M. L & Thiriot, J. (2006). A catalogue of Spanish archaeomagnetic data. Geophysical Journal International.

Hammond, M. (2014). *The use of Archaeomagnetism to answer Archaeological and Geomagnetic questions with particular focus on determination of the strength of the Geomagnetic field in the Middle east during the Bronze age* (Doctoral dissertation, University of Liverpool).https://core.ac.uk/download/pdf/80773069.pdf

Hunt, C. P., Moskowitz, B. M., & Banerjee, S. K. (1995). Magnetic properties of rocks and minerals. *Rock physics and phase relations: A handbook of physical constants*, *3*, 189-204.https://wellog.com/RF003p0189.pdf

[DOI: 10.61882/jra.10.2.370]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:03 +0330 on Monday November 23rd 2026

Hus, J., Geeraerts, R., & Spassov, S. (2003). Archaeomagnetism and archaeomagnetic dating. *Institut Royal Météorologique de Belgique, Belgique*.

Jordanova, N., Jordanova, D., Barrón, V., Lesigyarski, D., & Kostadinova-Avramova, M. (2019). Rock-magnetic and color characteristics of archaeological samples from burnt clay from destructions and ceramics in relation to their firing temperature. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *11*, 3595-3612.https://doi.org/10.1007/s12520-019-00782-y

Kostadinova, M., & Kovacheva, M. (2008). Case study of the Bulgarian Neolithic archaeological site of Piperkov Chiflik and its archaeomagnetic dating. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, *33*(6-7), 511-522.https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.016

Manoharan, C., Sutharsan, P., Venkatachalapathy, R., Vasanthi, S., Dhanapandian, S., & Veeramuthu, K. (2015). Spectroscopic and rock magnetic studies on some ancient Indian pottery samples. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, *2*(1), 39-49.https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2014.11.001

Mullins, C. E., & Tite, M. S. (1973). Magnetic viscosity, quadrature susceptibility, and frequency dependence of susceptibility in single-domain assemblies of magnetite and maghemite. *Journal of Geophysical research*, *78*(5), 804-809.https://doi.org/10.1029/JB078i005p00804

Renfrew, C., & Bahn, P. G. (2007). Archaeology essentials: Theories, methods, and practice. Thames & Hudson.

Tarling, D. H. (1966). The magnetic intensity and susceptibility distribution in some Cenozoic and Jurassic basalts. *Geophysical Journal International*, *11*(4), 423-432.https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1966.tb03093.x

Tema, E., & Kondopoulou, D. (2011). Secular variation of the Earth's magnetic field in the Balkan region during the last eight millennia based on archaeomagnetic data. *Geophysical Journal International*, *186*(2), 603-614. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05088.x

عابدی، ا. (۱۳۹۵–الف). گزارش مقدماتی دومین فصل کاوش باستان‌شناختی محوطه کول‌تپه هادی شهر شمال‌غرب ایران، *مطالعات باستانشناسی*، (۸)، ۱: ۹۱–۱۱۱.https://doi.org/10.22059/jarcs.2016.59497

عابدی، ا. (۱۳۹۵.ب). گاهنگاری مطلق (C^{14}) و نسبی محوطه دوه‌گز خوی با استفاده از روش طیف سنج جرمی شتاب دهنده (AMS): شواهدی از دوره مس‌وسنگ انتقالی، دالما و پیزدلی، دو فصلنامه *پژوهه‌ی باستان سنجی*، (۲) ۱، ۳۹–۵۴.
https://doi.org/10.29252/jra.2.1.39

افشاری، ع.، مروج، ک.، علمداری، پ. (۱۳۹۷). توزیع عمودی شاخص‌های مغناطیسی و غلظت آهن معادل کل و ارتباط آن‌ها با سنگ‌شناسی مواد مادری خاک‌ها، نشریه دانش آب و خاک، (۲۸)۱: ۲۳۱–۲۴۱.https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_7607.html