Journal of Research on Archaeometry, 2019; 5 (1):105–115

Journal of Research on Archaeometry

DOI: 10.29252/jra.5.2.105

URL: http://jra-tabriziau.ir/

Original Paper

Investigation of Manufacturing Technology of Metal Objects in the North and Northwest of Iran during the I Age based on Metallographic Studies

Atefeh Rasouli[1], Ali Reza Hejebri Nobari[2]*, Haeideh Khamseh[3]

[1] *P.hd student Department of Archaeology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*

[2] *Professor, Faculty of Archaeology, Tarbiat Modares University, Tehran, IRAN*

[3] *Assistant Professor, Islamic Azad University of Abhar, Abhar, IRAN*

Received: 13/10/2018 **Accepted: 11/06/2019**

Abstract

In archaeological survey of Iron Age of North and Northwest of Iran, the study of metal objects is of great importance because of their technical values. Based on archaeological findings of the first millennium BC, the use of metals in the plateau of Iran and other neighboring areas was spread dramatically. As in the Iron Age, a new phase in manufacturing of metal objects was emerged, recognizing the production methods are the important issues in the archaeology of this period. In fact, this Age is associated with the advancement of metal melting furnaces and the manufacturing of metal objects with fairly sophisticated methods. In the sites of Iron Age of Northwest of Iran, the metallurgy was carried out at an advanced level; while the development of the metallurgy tradition Age can be seen in different part of Iran. This diversity is based on metal objects and metal melting molds from the Iron Age sites of Northwest of Iran, especially from Hasanlu and Ziwiyeh, where most of them have high motifs and manufacturing technology, and also based on the metal objects in the Iron Age sites of Mazandaran region, where most of them have a simple shape and no decoration. It can be said that there is more complexity and diversity in the methods of making metal objects in the Iron Age sites of Northwest of Iran compared to that of the North regions of Iran. This research was done based on the analytical methods as well as the field and laboratory studies. The metal objects used in this research were collected from the archaeological excavation, kept in the store of national museum of Iran. After sampling for metallurgical testing, the samples were sent to the metallurgy and materials laboratory of Sharif University of Technology, where they have been studied by Scanning Electron Microscopy (SEM) In this study, seven samples of metal objects were selected for metallography testing, which five of them were related to the Northwest of Iran and two others were related to the North region of Iran. The criterion that has been considered for the selection of the samples was that the discovered samples from the Northwest of Iran as well as metal mine and fuel recourses have been geographically close to each other. Based on the results obtained by metallographic testing and images taken by SEM, it was found that they have been manufactured mainly with two methods. Warm hammering and casting were the main methods of production of metal objects in the Iron Age sites in North and Northwest of Iran. On the hammered production method, a mechanical work such as forging has been done after casting. Therefore, their microstructure was different under the microscope. The metal objects discovered from the Iron Age of Mazandaran region compared to that of the Northwest of Iran sites, have a simple shape and manufacturing technology. This could be probably due to the existence of the most powerful empires such as Urartu and Manna in the vicinity of the Northwest region, and therefore more skilled metallurgist, artists and technologists in this region of Iran. All in all, the metal objects discovered from Iron Age sites of Northwest, especially Hasanlu, regarding the techniques and style of production, are more complex than that of the Iron Age sites of Mazandaran in the North of Iran, which have indigenous and local governance.

Keywords: Metallography, Iron Age, Metallurgy, Archaeology, North, Northwest

* Corresponding author: rhejebri@yahoo.com

پژوهه باستان‌سنجی ۱۳۹۸؛ ۵(۲): ۱۰۵-۱۱۵

پژوهه باستان‌سنجی

DOI: 10.29252/jra.5.2.105

URL: http://jra-tabriziau.ir/

مقاله پژوهشی

فن‌شناسی اشیای فلزی محوطه‌های عصر آهن شمال و شمال غرب ایران با استفاده از متالوگرافی

عاطفه رسولی[۱]، علیرضا هژبری نوبری[۲*]، هاییده خمسه[۳]

۱. دانشجوی دکتری باستان‌شناسی دوران پیش از تاریخ، گروه تاریخ و باستان‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استاد دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، ابهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۱

چکیده

در تبیین باستان‌شناسی عصر آهن شمال و شمال غرب ایران، مطالعه آثار فلزی به دلیل ارزش‌های فنی نهفته در آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. زیرا اساس گاهنگاری عصر آهن فلات ایران منطقه شمال غرب، به‌ویژه محوطه حسنلو است و در حقیقت فن فلزگری در این دوره از این منطقه به مناطق دیگر فلات ایران راه پیدا می‌کند. در این پژوهش شناخت چگونگی روش‌های ساخت آثار فلزی محوطه‌های شمال و شمال غرب ایران در عصر آهن به لحاظ روش‌های ساخت اشیای فلزی موردبررسی قرارگرفته است. بدین منظور آزمایش متالوگرافی بر روی آثار فلزی محوطه‌های عصر آهن گوهر تپه و گورستان لفورک در استان مازندران واقع در منطقه شمال ایران و محوطه‌های عصر آهن حسنلو، کردلر تپه، هفتوان تپه، زیویه و گورستان مسجد کبود، واقع در منطقه شمال غرب ایران انجام گردید و از هر هفت محوطه عصر آهن شمال و شمال غرب ایران، یک نمونه شی فلزی برای آزمایش متالوگرافی انتخاب گردید. در این پژوهش، با استفاده از روش میکروسکوپی الکترونی روبشی به بررسی روش‌های ساخت آثار فلزی پرداخته شد. نتایج حاصل از این آزمایش نشان می‌دهد که عمده‌ترین روش‌های ساخت آثار فلزی در این محوطه‌ها چکش‌کاری گرم و ریخته‌گری بوده است.

واژگان کلیدی: متالوگرافی، عصر آهن، فلزکاری، باستان‌شناسی، شمال، شمال غرب

*مسئول مکاتبات: تهران، جلال آل احمد، پل نصر، دانشگاه تربیت مدرس، کد پستی: ۱۱۱-۱۴۱۱۵

پست الکترونیکی: Hejebri@modares.ac.ir

«این نشریه با احترام به قوانین اخلاق در نشریات تابع قوانین کمیته اخلاق در انتشار (COPE) است و از آیین‌نامه اجرایی قانون پیشگیری و مقابله با تقلب در آثار علمی پیروی می‌نماید.»

۱. مقدمه

«بر اساس یافته‌های باستان‌شناختی، در هزاره دوم قبل از میلاد استفاده از فلزات در فلات ایران و دیگر مناطق همجوار گسترش چشمگیری پیدا می‌کند»[1]. ازآنجاکه ساخت اشیای فلزی در عصر آهن وارد مرحله تازه‌ای می‌گردد، شناخت روش‌های ساخت آن‌ها از مسائل اساسی فلزگری این دوره تلقی می‌گردد. «درواقع این عصر با پیشرفت کوره‌های ذوب فلز و ساخت اشیای فلزی با روش‌های پیچیده همراه است»[2]. «در محوطه‌های عصر آهن شمال غرب ایران، فلزگری در سطح پیشرفته‌ای انجام می‌شده و در حقیقت گسترش دامنه سنت فلزگری این منطقه را می‌توان در نقاط مختلف ایران مشاهده کرد»[1]. خلأ دانشی موجود در این پژوهش، فعالیت‌های بسیار محدودی است که در زمینه متالوگرافی و شناخت بهتر روش‌های ساخت اشیای فلزی عصر آهن انجام‌شده است. ازجمله سؤالاتی که در این پژوهش مطرح است، این است که برای ساخت اشیای فلزی منطقه شمال و شمال غرب ایران بیشتر از چه روش‌هایی استفاده می‌شده است؟ یا اشیای فلزی مکشوفه از این مناطق در عصر آهن به لحاظ فن و ساخت تا چه اندازه با یکدیگر قابل‌مقایسه هستند؟ فرضیه پژوهشی حاضر در پاسخ بدین مسئله این است که بر اساس اشیای فلزی و قالب‌های ذوب فلز به‌دست‌آمده از محوطه‌های عصر آهن شمال غرب ایران به‌ویژه محوطه‌های حسنلو و زیویه، که اکثر آن‌ها دارای نقوش برجسته و فن ساخت بالایی هستند و با توجه به اشیای فلزی محوطه‌های عصر آهن منطقه مازندران که بیشتر آن‌ها شکل بسیار ساده‌ای دارند و فاقد تزیینات می‌باشند، می‌توان گفت پیچیدگی و تنوع بیشتری در روش‌های ساخت اشیای فلزی محوطه‌های عصر آهن شمال غرب نسبت به منطقه شمال ایران دیده می‌شود. جهت پی بردن به روش‌های ساخت آثار فلزی مطالعات دقیق و آزمایش‌های متالوگرافی ضروری است، که این پژوهش سعی در روشن نمودن این ابهامات دارد. از بین نمونه‌های فلزی که برای انجام آزمایش متالوگرافی انتخاب گردیدند، علاوه بر ابزارهای جنگ از اشیای زینتی نیز استفاده‌شده است. زیرا روش‌های ساخت و نوع تزیینات به‌کاررفته در ابزارهای جنگ با اشیای زینتی در برخی از محوطه‌ها متفاوت است. همچنین این اشیا ازنظر ابعاد و شکل با یکدیگر متمایز هستند و این امر به شناخت بهتر روش و سبک ساخت این اشیا کمک می‌کند.

۲. پیشینه پژوهش

در زمینه فلزگری منطقه شمال و شمال غرب ایران مطالعات زیادی انجام گردیده است. «موری (Morrey) در سال ۱۹۷۱م.، مطالعات گسترده‌ای را در زمینه روش‌های ساخت اشیای مفرغی محوطه حسنلو در منطقه شمال غرب ایران انجام داد. پژوهش‌های موری نشان داد که بیشتر ابزارهای جنگ محوطه حسنلو به روش ریخته‌گری قالب‌ریزی شده است. در سال ۱۹۷۴م. پژوهشی توسط ماکسول–هیسلاپ (Maxwell-Hyslop)در مورد ذوب و قالب‌گیری خنجرهای مکشوفه از محوطه‌های عصر آهن شمال غرب ایران انجام گردید. به نظر آن‌ها اغلب این خنجرها به روش ریخته‌گری ساخته‌شده‌اند. لویی واندنبرگ (Vanden Berghe) در سال ۱۹۷۹م. در مورد ابزارهای جنگ مکشوفه از محوطه‌های عصر آهن منطقه شمال غرب ایران مطالعات باستان‌شناسی انجام داد»[1]. «مدوسکایا (Medvedskaya) در سال ۱۹۸۲م. در زمینه چگونگی ساخت خنجرهای مفرغی عصر آهن محوطه حسنلو بررسی‌هایی را انجام داد. مدوسکایا بر این عقیده بود که بیشتر خنجرهای مفرغی مکشوفه از حسنلو به روش ریخته‌گری ساخته‌شده است.»[2]. اقدامات مهم دیگر در زمینه فلزگری محوطه‌های عصر آهن شمال غرب ایران، توسط رابرت دایسون (Dyson) در سال ۱۹۸۹م. در مورد نحوه ساخت اشیای زینتی محوطه حسنلو صورت گرفت. «ازنظر دایسون بیشتر اشیای زینتی حسنلو شامل النگوها و دستبندهای مفرغی که به‌صورت مفتول‌های ساده هستند، به روش چکش‌کاری گرم ساخته‌شده‌اند. در سال ۱۹۸۹م. توسط پیگوت (Piggot) مطالعاتی در مورد ذوب فلز در محوطه حسنلو انجام گردید، ازنظر وی بیشتر

خنجرهـای مکشـوفه از حسـنلو بـه روش ریختـه‌گـری ساخته‌شده‌اند. در سال ۱۹۸۹م. توسط مـورگن (Morgen) مطالعـاتی در زمینـه نحـوه سـاخت خنجرهـای مفرغـی محوطه‌های عصر آهن شمال ایران انجـام شـد و نتیجـه تحقیقات وی نشان می‌دهد که بیشتر این آثـار فلـزی بـه روش آهنگری سـاخته‌شـده‌انـد» [1]. همچنـین در سـال ۱۳۹۶ توسـط علیرضـا جعفـری در مـورد اشـیای فلـزی گورسـتان لفـورک مطالعـات متـالوگرافی انجـام گردیـد. «نتیجه این آزمایش نشان می‌دهد که بیشتر اشیای فلزی مکشوفه از گورستان لفورک واقـع در مازنـدران در شـمال ایران به شیوه چکش‌کاری گرم ساخته‌شده‌اند» [3].

۳. مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر بـه روش تحلیلـی و بـر مبنـای مطالعـات میدانی و آزمایشـگاهی انجـام‌گرفتـه اسـت. آثـار فلـزی مورداستفاده در این تحقیق، از کاوش‌های باستان‌شناسی منطقه شمال ایران و مخزن موزه ملی ایران جمع‌آوری گردید و پـس از نمونـه‌بـرداری، جهـت انجـام آزمـایش متالوگرافی به بخش آزمایشگاه مواد و متالورژی دانشگاه صنعتی شـریف ارسـال گردیـد. بـا اسـتفاده از مطالعـات میکروسکوپ الکترونی روبشی بـه تحلیـل اطلاعـات در رابطه با موضوع موردبحث پرداخته‌شـده اسـت. در ایـن تحقیـق هفـت نمونـه از آثـار فلـزی بـرای آزمـایش متالوگرافی انتخاب گردید، که پنج نمونه از آن‌ها مربـوط به منطقه شمال غرب ایران و دو نمونه از آن‌هـا مربـوط به منطقه شمال ایران هستند. از دلایل مهم انتخاب این نمونه‌ها (به‌ویژه نمونه‌هایی که از منطقـه شـمال غـرب ایران به دست آمدند)، نزدیکی محوطه‌های مورد اسـتناد در این نوشتار ازنظر جغرافیایی بـه یکـدیگر و همچنـین وجود معادن فلز و منابع سوخت بوده است.

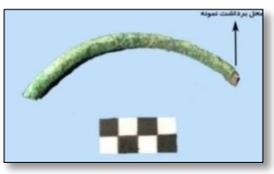
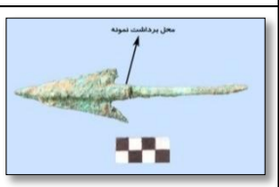
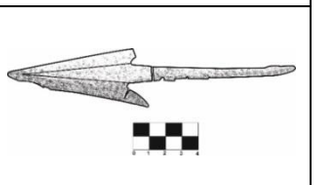
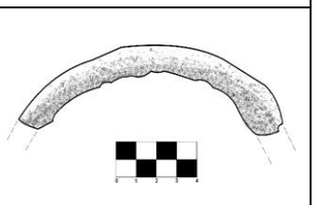
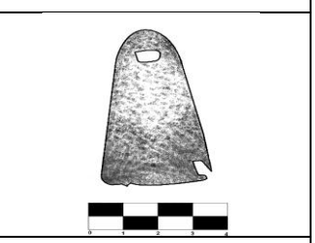
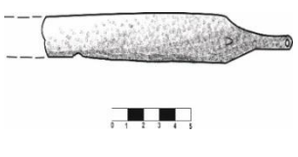
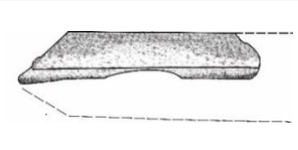
٤. عوامل مؤثر در تحولات فلزگری منطقه شمال و شمال غرب ایران در عصر آهن

یکی از دلایل پیشرفت فن و هنر فلزگری محوطه‌هـای عصر آهن شمال غرب ایران، وجود معادن فراوان سـنگ مـس و سـنگ‌آهـن در ایـن منطقـه بـوده اسـت. "در کاوش‌های محوطه حسـنلو در جنـوب دریاچـه ارومیـه، تعداد فراوانی اشیای آهنی و مفرغی به دست آمد. حجـم زیادی از اشـیای مفرغـی و آهنـی مکشـوفه از محوطـه حسنلو نشان‌دهنده رونق فلزگری در این منطقه از فلات ایران بـوده اسـت"[4] طبـق بررسـی‌هـای انجـام‌شـده، "ساکنین حسنلو سنگ مس و سنگ‌آهن موردنیاز خود را از معادنی که احتمالاً در اطراف این محوطه وجود داشته، تأمین می‌کرده‌اند"[5]. "از دلایل دیگر پیشـرفت فـن و هنر فلزگری این منطقه، علاوه بر وجود معادن فلـزات و ذخایر سوخت، تکامل کوره‌ها و قالب‌های ذوب فلز بـوده و در برخی از محوطه‌های عصر آهن چون حسنلو تعـداد زیادی از این قالب‌های ذوب فلز به‌دست‌آمده اسـت"[6]. این در حـالی اسـت کـه نقـش دولـت‌هـای نیرومنـد در همجواری این منطقه چون اورارتوها، ماناها و آشوری‌هـا که فلزگران بسیار ماهری بودند را نمی‌توان در پیشـرفت فلزگری محوطه‌های عصر آهن شمال غرب ایران نادیده گرفـت"[7]. در تعـدادی از محوطـه‌هـای عصـر آهـن مازنـدران در شـمال ایـران نیـز تعـدادی ابـزار و لـوازم آهنگری و یک کارگاه آهنگری به دست آمـد کـه از آن جمله می‌توان به محوطه‌های شیشار تپه و لفورک اشاره کرد. "همچنین از این دو محوطه تعدادی قالـب سـنگی یک‌تکه کشف گردیـد کـه احتمـالاً بـا اسـتفاده از ایـن قالب‌ها فلزات را به‌صورت شمش درمی‌آوردند"[8].

۵. معرفی محوطه‌های باستانی

"منطقه شمال و شمال غرب ایران بـه دلیـل دارا بـودن بارنـدگی مناسـب و وجـود مراتـع سرسـبز و چمنزارهـا، حاصلخیزی خاک و دشت‌های مسطح و همچنین وجـود رودخانه‌های پرآب، چشمه‌ها و آب‌های زیرزمینی کـافی، همواره موردتوجه جوامع انسانی به‌ویـژه در عصـر آهـن بوده است"[9]. "منطقه آذربایجان ازنظر طبیعی بخشـی از فلات ایران به شمار می‌آید، که به شکل مثلثی منطقه میان دریای خزر، بین‌النهرین و دریای سیاه را فراگرفتـه است. در مرکز این فلات پهناور دشت‌های وسیعی مانند: تبریز، مرند، مراغه، مغان و اردبیل قرارگرفته‌اند"[10].

جدول ۱: معرفی هفت شی فلزی محوطه‌های عصر آهن ایران جهت انجام آزمایش متالوگرافی
Table 1: Introduction Of Seven Metal Objects Of Iron Age Sites In Iran For Testing Metallography

Sample	نام اثر Object Name	نام محوطه Site Name	دوره تاریخی Historical Period	تصویر Figure	ترسیم فنی Technical Drawing
1	دستبند مفرغی Bronze Bracelet	محوطه حسنلو، نقده لایه IV، گور شماره ۲۳ Hasanlu, Layer IV Grave 23	عصر آهنII Iron Age II		
2	سرپیکان مفرغی Bronze Arrow Head	محوطه کردلرتپه، حوزه دریاچه ارومیه، لایه II Kordlar, Tepe Region Urmia Lake Layer II	عصر آهنII Iron Age II		
3	النگوی مفرغی Bronze Bracelet	محوطه هفتوان تپه، حوزه دریاچه ارومیه، لایهIV Haftovan, Tepe RegionUrmia Lake Layer IV	عصر آهن II Iron Age II		
4	طوق مفرغی Bronze Necklace	گورستان مسجد کبود تبریز گور شماره ۸۱/۳۱ Masjed Kabud Cemetery Grave 81/31	عصر آهنII Iron Age II		
5	زنگوله مفرغی Bronze Bells	محوطه زیویه، شهرستان سقز Zivieh, Saqez	عصر آهنII Iron Age II		
6	خنجر مفرغی Bronze Dagger	گورستان گوهر تپه، شهرستان بهشهر، لایهII Gohar Tepe, Cemetery Layer II	عصر آهنIII Iron Age III		
7	خنجر آهنی Iron Dagger	گورستان لفورک، سواد کوه، لایه II Lafurak, Cemetery Layer II	عصر آهنII Iron Age II		

شکل ۱: کارگاه آهنگری مکشوفه از محوطه شیشار تپه در شمال ایران[8]
Fig 1: Forging Workshop Discovered of Shishar Tepe In North Iran

شکل ۲: قالب تهیه شمش فلز، مکشوفه از شیشار تپه در مازندران[8]
Fig 2: Mold of Metal Ingot Discovered From Shishar Tepe In Mazandaran

شکل ۳: قالب تهیه شمش فلز، مکشوفه از شیشار تپه در مازندران [8]
Fig 3: Mold of Metal Ingot Discovered From Shishar Tepe In Mazandaran

محوطه حسنلو: "این محوطه در ۹ کیلومتری شمال شرقی نقده قرارگرفته است، که در سال ۱۹۵۷م. توسط رابرت دایسون مورد کاوش قرار می‌گیرد" [11]. این محوطه ۱۰ لایه استقراری دارد. لایه V حسنلو مربوط به عصر آهن I، لایه IV حسنلو مربوط به عصر آهن II، و لایه III آن مربوط به عصر آهن III است" [12] (جدول ۱).

محوطه کردلرتپه: کردلر تپه در ۱۳ کیلومتری جنوب شهر ارومیه قرار دارد، که در سال ۱۹۷۲ م. توسط لیپرت مورد کاوش قرار می‌گیرد. "این محوطه دارای چهار لایه استقراری است و همزمان با حسنلوی V و IV است"[13] (جدول ۱).

محوطه هفتوان تپه: محوطه باستانی هفتوان تپه در ۱۵ کیلومتری شمال غربی دریاچه ارومیه قرار دارد، که در سال ۱۹۵۶ میلادی توسط چارلز برنی مورد کاوش قرار می‌گیرد. "این محوطه ۸ لایه استقراری دارد، که لایه‌های ۳ تا ۵ آن مربوط به عصر آهن هستند" [14] (جدول ۱).

گورستان مسجد کبود: گورستان مسجد کبود در نزدیکی شهر تبریز واقع‌شده، که توسط علیرضا هژبری نوبری در سال ۱۳۷۹ خورشیدی مورد کاوش قرار می‌گیرد. "به‌عنوان یک محوطه باستانی دارای آثار به‌ویژه

دوره آهن با شاخص اسکلت‌هایی مدفون همراه با سفال‌های خاکستری و اشیای فلزی شناخته‌شده است"[15]. عمده‌ترین اشیای فلزی به‌دست‌آمده از این محوطه ابزارهای جنگ و اشیای زینتی هستند"[16] (جدول ۱).

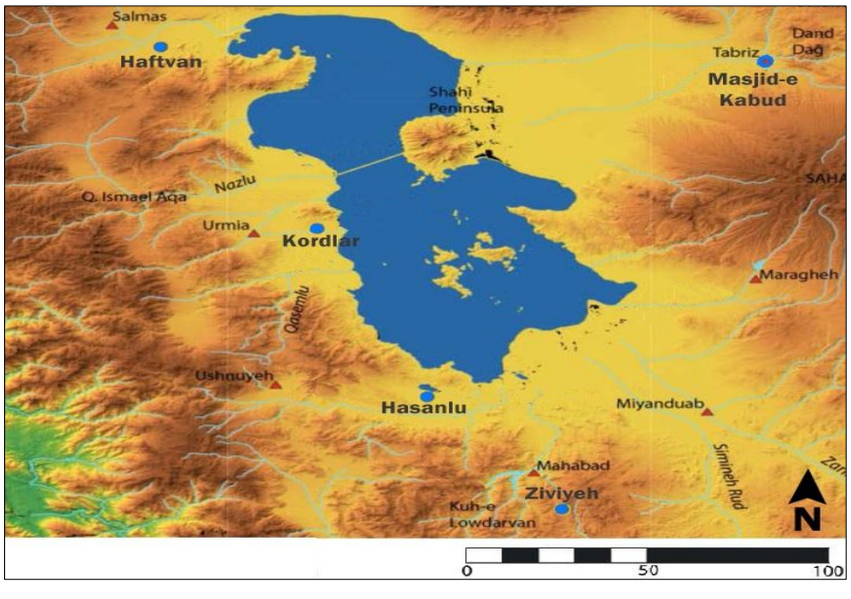
محوطه زیویه: "محوطه زیویه در ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان سقز قرار دارد، که در سال ۱۹۶۴ م. توسط دایسون و کرافورد و در سال ۱۳۵۴ خورشیدی توسط معتمدی مورد کاوش قرار می‌گیرد" [17] (جدول ۱).

محوطه گوهر تپه: " گوهر تپه در روستای رستم کلا در نزدیکی شهرستان بهشهر استان مازندران واقع‌شده است، که در سال ۱۳۸۱ خورشیدی توسط علی ماهفروزی مورد کاوش قرار می‌گیرد. "این محوطه ۱۶ لایه استقراری دارد، که لایه‌های فوقانی آن مربوط به عصر آهن است"[18] (جدول ۱).

گورستان لفورک: گورستان لفورک در شهرستان سوادکوه استان مازندران واقع‌شده است، که در سال ۱۳۸۴ توسط مهدی عابدینی مورد کاوش قرار می‌گیرد. "این محوطه یک گورستان عصر آهن است که چهار لایه استقراری دارد و بیشتر آثار آن مربوط به عصر آهن III است"[19] (جدول ۱).

٦. آماده‌سازی نمونه‌ها جهت انجام آزمایش متالوگرافی

در این پژوهش ابتدا هفت نمونه فلزی از محوطه‌های مختلف عصر آهن شمال و شمال غرب ایران از طریق مخزن موزه ملی تهران و اشیای مکشوفه از کاوش‌های علمی جمع‌آوری گردید و سپس برای انجام آزمایش‌های متالوگرافی به آزمایشگاه دانشگاه صنعتی شریف تهران ارسال گردید. برای انجام آزمایش متالوگرافی بر روی نمونه‌های فلزی، ابتدا با یک وسیله تیز قسمتی از نمونه‌های فلزی را برش زدند. در این قسمت سعی شد تا از سالم‌ترین قسمت نمونه‌ها برش زده شود، زیرا اگر قسمتی از فلز که برش زده می‌شود دارای خوردگی زیاد باشد، نمی‌توان به‌طور دقیق نتایج حاصل از آن را مورد ارزیابی قرار داد. "بعدازاین مرحله نمونه‌ها در یک ماده غیرفلزی مانند پلاستیک جای‌داده می‌شوند تا راحت‌تر بتوانند آن‌ها را پولیش کنند، که اصطلاحاً به این عمل مانتینگ گفته می‌شود. بعد سطح نمونه‌های فلزی به‌وسیله پودر کاربید سیلسیم ساییده شده و در مرحله پرداخت خشن به‌وسیله پودر الماس سطح نمونه‌ها سمباده زده می‌شود. در مرحله بعد که پرداخت نهایی



شکل ۴: نقشه جغرافیایی محوطه‌های عصر آهن منطقه شمال غرب و حوزه دریاچه ارومیه [20]
Fig 4: Geographic Map Of The Iron Age Sites Of North West And Region Urmia Lake

است، سطح نمونه‌ها به‌وسیله پودر آلومینا و آب مقطر پولیش داده‌شده تا تمامی خراش‌ها و لایه‌های بسیار ریز از سطح نمونه‌ها پاک شوند"[21]. بعدازاین مراحل ساختن مرز دانه‌ها نمونه‌های متالوگرافی اچ شدند و این کار با فروکردن سطح نمونه‌های پولیش شده در یک محلول ضعیف اسیدی صورت گرفت و درنهایت نمونه‌های فلزی داخل میکروسکوپ الکترونی قرار داده شدند. بر روی تصاویر میکروسکوپی نمونه‌هایی که به روش ریخته‌گری ساخته‌شده‌اند، کریستال‌هایی به‌صورت شاخه‌ای دیده می‌شوند و بر روی تصاویر میکروسکوپی نمونه‌هایی که به روش چکش‌کاری گرم ساخته‌شده‌اند، دانه‌های هم‌محور و باز تبلوریافته و خطوط دوقلویی قابل‌مشاهده هستند.

۷. نتایج و یافته‌ها

نتیجه آزمایش نمونه ۱: این نمونه دارای ساختار کار گرم است و با روش چکش‌کاری گرم به آن شکل موردنظر را داده‌اند. با مشاهده این نمونه در زیر میکروسکوپ به‌خوبی می‌توان دانه‌های هم‌محور را مشاهده نمود. حفره‌های ایجادشده که در تصویر هم قابل‌مشاهده است، بر اثر خوردگی و عمل سولفیداسیون به وجود آمده است (جدول ۲).

نتیجه آزمایش نمونه ۲: این نمونه نیز دارای ساختار گرم بوده و با تکنیک چکش‌کاری گرم ساخته‌شده است. دانه‌های هم‌محور در این تصویر نشان‌دهنده اعمال فرآیند حرارتی بر روی این نمونه است. همچنین بر روی تصویر فوق حفره‌هایی سیاه‌رنگ دیده می‌شود که بر اثر خوردگی و سولفیداسیون به وجود آمده‌اند (جدول ۲).

نتیجه آزمایش نمونه ۳: این دستبند برخلاف دستبند مکشوفه از حسنلو، ساختار ریخته‌گری را نشان می‌دهد. شاید علت آن قطر زیاد مفتول بوده باشد، که به‌جای چکش‌کاری از تکنیک ریخته‌گری برای ساخت آن استفاده‌شده است. بر روی تصاویر میکروسکوپی آن کریستال‌هایی به‌صورت شاخه‌ای دیده می‌شوند، که این نشان می‌دهد نمونه فوق به روش ریخته‌گری ساخته‌شده است. این نمونه حاوی مقدار زیادی اکسید و سولفید در ساختار خود است، زیرا دانه‌های سیاه‌رنگی که در تصویر مشاهده می‌شوند، نشان‌دهنده مقدار اکسید در ساختار این دستبند مفرغی است (جدول ۲).

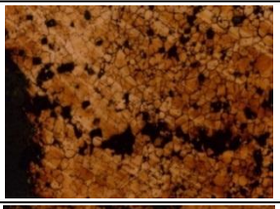
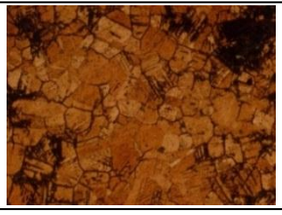
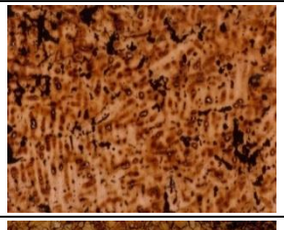
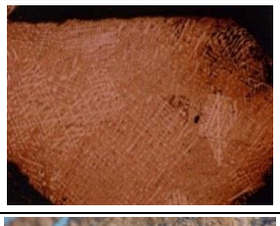
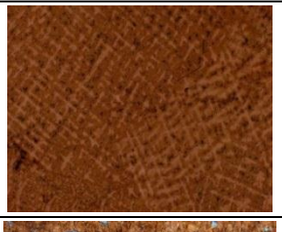
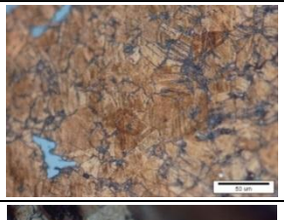
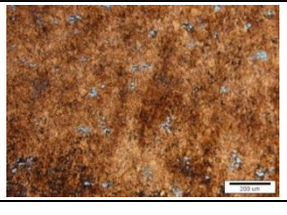
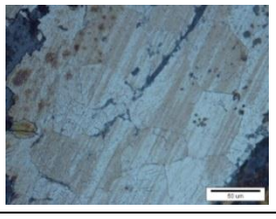
نتیجه آزمایش نمونه ٤: این نمونه دارای ساختار کار گرم است و دانه‌های هم‌محور و نزدیک به هم نشان‌دهنده فرآیند حرارتی بر روی این نمونه است. بنابراین با استفاده از روش چکش‌کاری گرم یا همان تکنیک آهنگری ساخته‌شده است. حفره‌های سیاه‌رنگی که بر روی تصاویر متالوگرافی دیده می‌شوند، میزان اکسیده شدن و خوردگی شی فلزی را نشان می‌دهند (جدول ۲).

نتیجه آزمایش نمونه ٥: نتیجه آزمایش فوق بر روی این نمونه فلزی ساختار ریخته‌گری را نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره گردید و در تصاویر نیز دیده می‌شود، وجود کریستال‌های شاخه‌ای در سطح فلز نشان می‌دهد که شی موردنظر با استفاده از تکنیک ریخته‌گری قالب‌ریزی شده است. این نمونه مقدار بسیار کمی اکسید را در خود داشته است (جدول ۲).

نتیجه آزمایش نمونه ٦: در تصویر فوق ریزساختار شامل دانه‌های هم‌محور است که در داخل بعضی دانه‌ها، دانه‌های کوچک‌تر و شاید دوقلویی تشکیل‌شده است. این ساختار نشان می‌دهد که روی این نمونه کار چکش‌کاری گرم انجام‌شده است. در این تصویر دانه‌هایی را مشاهده می‌کنیم که در جهت خاصی کشیده شده‌اند. کشیده شدن دانه‌ها در یک جهت و وجود دانه‌های ریز در داخل تعدادی از دانه‌ها نشان می‌دهد که این نمونه با چکش‌کاری و یا آهنگری در دمای بالا ساخته‌شده است. همچنین در ریزساختار، فاز آبی‌رنگ دیده می‌شود، که نشان‌دهنده آخال‌های مس است (جدول ۲).

نتیجه آزمایش نمونه ۷: همان‌طور که در تصاویر متالوگرافی دیده می‌شود در قسمت‌های مختلف این نمونه، دانه‌بندی متفاوت است و اندازه دانه‌ها باهم

جدول ۲: مستندنگاری میکروسکوپی نمونه‌های موردمطالعه
Table 2: Microscopic documentation of the studied samples

sample	بزرگنمایی ۶۵۰ برابر Magnification 650 X	بزرگنمایی ۱۲۰ برابر Magnification 120 X	بزرگنمایی ۶۵ برابر Magnification 65 X	روش ساخت Technic of Making
1				چکش‌کاری گرم Hot Working Hammer
2				چکش‌کاری گرم Hot Working Hammer
3				ریخته‌گری Casting
4				چکش‌کاری گرم Hot Working Hammer
5				ریخته‌گری Casting
6				چکش‌کاری گرم Hot Working Hammer
7				چکش‌کاری گرم Hot Working Hammer

تفاوت دارد. در ساختار دانه‌بندی، بیشتر دانه‌های هم‌محور دیده می‌شوند. اما ریز بودن دانه‌ها در بعضی قسمت‌ها می‌تواند ناشی از تبلور مجدد به هنگام کار آهنگری بوده باشد. همچنین در زیر ساختار نمونه موردنظر، فازی تیره‌رنگ در مرز دانه‌ها دیده می‌شود که احتمالاً نشان‌دهنده اکسید است. بنابراین با توجه به آزمایش‌های انجام‌شده، خنجر آهنی موردنظر به‌وسیله تکنیک کار گرم یا آهنگری ساخته‌شده است (جدول ۲).

۸. بحث در نتایج و یافته‌ها

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های متالوگرافی و تصاویری که به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی تهیه گردید، مشخص شد که دو روش چکش‌کاری گرم و ریخته‌گری از روش‌های اصلی ساخت اشیای فلزی محوطه‌های عصر آهن شمال و شمال غرب ایران بوده است. بر روی محصولات چکش‌کاری شده پس از ریخته‌گری، کار مکانیکی مانند آهنگری و نورد انجام می‌شود. به همین دلیل ریزساختار آن‌ها در زیر میکروسکوپ متفاوت است. بر روی تصاویر میکروسکوپی النگوی مفرغی حسنلو، سرپیکان مفرغی کردلر تپه، طوق مفرغی مسجد کبود، خنجر مفرغی گوهر تپه و خنجر آهنی گورستان لفورک، دانه‌های هم‌محور بسیار نزدیک به هم نشان داده‌شده‌اند. این دانه‌ها دارای ابعاد بسیار ریزی هستند. درواقع سایز کوچک دانه‌ها حاکی از چرخه کار مکانیکی– گرمایی بیشتر است."فلزکاران باستان، از تابکاری برای بازگرداندن خاصیت انعطاف‌پذیری به آلیاژ مفرغ استفاده می‌کردند، که این درمان گرمایی سبب بهبود خاصیت شکل‌پذیری به مفرغ و ارتقا فرایند تبلور مجدد دانه‌ها می‌شده است" [22]. بر روی تصاویر میکروسکوپی الکترونی این نمونه‌ها نیز تیره و روشن بودن نواحی مختلف به دلیل تفاوت در میزان قلع در این نواحی است. چنانکه نواحی پر قلع، دارای رنگ روشن‌تر و نواحی کم قلع، دارای رنگ تیره‌تر هستند. بر روی تصاویر نمونه‌های ۱-۲-۴ و ۶ تعداد دانه‌هایی که دارای رنگ روشن هستند، بیشتر از دانه‌هایی است که رنگ تیره‌تر دارند. به همین دلیل دارای میزان قلع بیشتری هستند. تصاویر میکروسکوپی زنگوله مفرغی زیویه و دستبند مفرغی هفتوان تپه نیز دارای ساختار یوتکتیک (Eutectic) و لایه‌های موجود بر روی شی هستند. درواقع این دو نمونه فلزی دارای ساختار دندریتی (Dendritrici) در بدنه خود هستند و این نشان‌دهنده استفاده از روش ریخته‌گری در ساخت آن‌ها است. حفره‌های تیره‌رنگ در سرتاسر این تصاویر میکروسکوپی دیده می‌شوند، که این حفره‌ها براثر خوردگی در سطح ماتریس به وجود آمده‌اند. "با توجه به پژوهش‌هایی که موری (Morrey) و ماکسول–هیسلاپ (Maxwell–Hyslop) بر روی آثار فلزی محوطه‌های عصر آهن منطقه شمال غرب ایران انجام داده‌اند، با مشاهده قالب‌های سنگی ذوب فلز که بیشتر این قالب‌ها مربوط به ابزارهای جنگ بودند، به این مهم دست یافتند که اکثر ابزارهای جنگ مکشوفه از این منطقه به‌ویژه محوطه حسنلو به روش ریخته‌گری ساخته‌شده‌اند"[1]. به‌طورکلی در محوطه‌های عصر آهن منطقه شمال غرب، اشیایی که دارای حجم و تزیینات بیشتر هستند، به روش ریخته‌گری قالب‌ریزی شده‌اند و اشیایی که دارای حجم کمتر و شکل ساده‌تری هستند، به روش چکش‌کاری گرم ساخته‌شده‌اند. درحالی‌که با توجه به پژوهش‌ها و آزمایش متالوگرافی که بر روی تعدادی از آثار فلزی محوطه‌های عصر آهن شمال ایران به‌ویژه مازندران صورت گرفت، مشخص گردید که بیشتر ابزارهای جنگ مکشوفه از این محوطه‌ها به روش چکش‌کاری گرم ساخته‌شده‌اند و شکل بسیار ساده‌ای دارند. ازلحاظ سبک و روش ساخت در اشیای مکشوفه از محوطه‌های عصر آهن منطقه مازندران برخلاف شمال غرب ایران، اشیای فلزی با روش‌های ساخت پیچیده و تزیینات پر طمطراق دیده نمی‌شوند. شاید بتوان گفت به دلیل وجود دولت‌های نیرومندی چون اورارتو و مانا در همجواری منطقه شمال غرب که فلزگران بسیار ماهری بودند، فن و هنر فلزگری این منطقه از ایران نیز تحت تأثیر فلزگری این دولت‌های قدرتمند قرار گرفت. به همین دلیل اشیای فلزی مکشوفه از محوطه‌های عصر آهن شمال غرب به‌ویژه حسنلو به لحاظ فن و سبک

ساخت دارای پیچیدگی‌های بیشتری نسبت به محوطه‌های عصر آهن منطقه مازندران در شمال ایران هستند، که در آن‌ها حکومت‌های بومی و محلی وجود داشته است.

۹. نتیجه‌گیری

مطالعات میکروسکوپی اشیای فلزی نشان می‌دهد که تعداد زیادی ترکیبات سولفید مس در نمونه‌های فلزی مورد آزمایش وجود دارد. وجود آخال‌های سولفید مس پخش‌شده در سطح ماتریس فلزی و کشیده شدن در راستای طولی در ریزساختار آلیاژهای مس باستان، می‌تواند بیانگر استفاده از سنگ معدن‌های اکسیدی همراه با مقداری سنگ معدن سولفید مس برای استحصال باشد. مشاهدات مقطع عرضی نمونه‌های ۱-۲-۴-۶ و ۷ نشان می‌دهد، که اشیای مفرغی موردمطالعه با استفاده از روش چکش‌کاری و تابکاری متعاقب، برای بازگرداندن قابلیت کارپذیری به قطعه ساخته‌شده‌اند. دانه‌های بازتبلور یافته و خطوط دوقلویی این تصاویر نشان می‌دهند که بر روی این نمونه‌ها ابتدا چکش‌کاری گرم و یا چکش‌کاری سرد به همراه تابکاری صورت گرفته است. میزان و شدت کار و تابکاری انجام‌شده بر روی قطعات با توجه به ضخامت کم اشیا و اندازه دانه‌ها و همچنین تنش موجود در ریزساختار به‌خوبی مشخص است. در نمونه شماره ۷ که مربوط به خنجر آهنی است، مغزه‌دار شدن در ریزساختار نمونه، به‌دست‌آمده است. این بقایا به‌صورت خطوط تیره تقریباً موازی در روی ریزساختار دانه‌های نمونه فوق دیده می‌شود و این بدان علت است که عملیات ترمومکانیکی (Thermomechanical) انجام‌شده بر روی قطعه کافی نبوده و به‌رغم تغییر ایجادشده در ریزساختار، حالت مغزه‌دار شدن در آن باقیمانده است. مشاهدات مقطع عرضی نمونه‌های ۳ و ۵ نیز نشان می‌دهد که این دو نمونه دارای ساختار دندریتی در بدنه خود هستند. یعنی بر روی تصاویر میکروسکوپی آن‌ها یک ساختار شاخه‌ای از کریستال‌ها دیده می‌شود که نشان می‌دهد این نمونه‌ها به روش ریخته‌گری قالب‌ریزی شده‌اند. به لحاظ سبک ساخت، تفاوت در فن و سبک فلزکاری محوطه‌های عصر آهن شمال غرب و منطقه مازندران در شمال ایران می‌تواند باوجود امپراطورهای قدرتمند در همجواری محوطه‌های عصر آهن منطقه شمال غرب ایران در ارتباط باشد.

References

[1] Talai H. Archaeology and Art of Iran in First Millennium BC. Tehran: Samt, 2006, 79-80. [in Persian]
[طلایی حسن. باستان‌شناسی و هنر ایران در هزاره اول قبل از میلاد. تهران: انتشارات سمت، ۱۳۸۱، ۸۰-۷۹.]

[2] Farokh F. Metallurgical industry in ancient Iran. J Coll Eng 1971, 2: 1–9. [in Persian]
[فرحان فرخ. صنایع فلزی در ایران باستان. نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران ۲، ۱۳۵۰: ۲۹-۲۵.]

[3] Jafarii A. Microscopic Studies on Ancient Iron Objects Discovered From Archaeological Excavation North of Iran. Hamedan: Iranian Archaeological Research, 2017, 7(15): 131-147. [in Persian]
[جعفری علیرضا. مطالعات میکروسکوپی بر روی اشیای آهنی باستانی به‌دست‌آمده از کاوش‌های باستان‌شناسی شمال ایران. همدان: پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران۱۳۹۶، ۷(۱۵): ۱۳۱-۱۴۷.]

[4] Majid Zadeh Y. Metal And Metalorgy In Ancient Iran. Tehran: Farhang 1985, 35-38. [in Persian]
[مجید زاده یوسف. فلز و فلزگری در ایران باستان. تهران: نشر نامه فرهنگ ایران ۱۳۶۴، ۳۸-۳۵.]

[5] Pigott VC. The emergence of iron use at Hasanlu. Expedition 1989; 31: 67.

[6] Tohidi N. The Revolution of Iron And Steel Production In Iran And The World. Tehran: Amir Kabir, 1985. [in Persian]
[توحیدی ناصر. سیر تکامل تولید آهن و فولاد در ایران و جهان. تهران: نشر امیرکبیر ۱۳۶۴.]

[7] Dyson RH. Notes on weapons and chronology in northern Iran around 1000 BC. Nederlands historisch-archaeologisch instituut in het Nabije Oosten, 1964.

تهران: پژوهش مشترک دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس و سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۸۰.]

[17] Sheikhi M. The Treasure of Zivieh. Tehran: Pazineh, 2014. [in Persian]
[شیخی مهتا. آثار گنجینه زیویه. تهران: نشر پازینه، ۱۳۹۳.]

[18] Mahfrouzi A. Report of Excavation In Gohar Tepe Iron Age Cemetery. Mazandaran, 2007. [in Persian]
[ماهفروزی علی. گزارش حفاری گورستان عصر آهن گوهر تپه. مازندران: سازمان میراث فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری، ۱۳۸۶.]

[19] Abedini Araghi M. Report of Excavation In Lafurak Iron Age Cemetery. Mazandaran, 2005. [in Persian]
[عابدینی عراقی مهدی. گزارش حفاری گورستان عصر آهن لفورک. مازندران: سازمان میراث فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری، ۱۳۸۴.]

[20] Danti MD. Hasanlu V: The Late Bronze and Iron I Periods. University of Pennsylvania Press, 2013. [doi.org/10.9783/9781934536629]

[21] Rabiee A. Metallography Laboratory. Tehran: Jazil, 2006. [in Persian]
[افسانه ربیعی. آزمایشگاه متالوگرافی. تهران: نشر جزیل. ۱۳۸۵.]

[22] Yavari F, Abbas Nejad R, Mortazavi M, et al. Metallographic Review SEM-EDS and ICP-OES of Bronze Age Three Alloy Objects Descovered from Southern of Halil-Rud Basin-Jiroft. Pazhohesh-Ha-Ye Bastanshenasi Iran 2015; 10: 67–82. [in Persian]
[یاوری فاطمه، رحمت عباس نژاد، محمد مرتضوی، نادر علیدادی سلیمانی. بررسی متالوگرافی ICP-0ES و SEM-EDSسه شیء آلیاژی عصر مفرغ مکشوف از بخش جنوبی حوضه هلیل‌رود، جیرفت. همدان: پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران۱۳۹۴، ۱۰: ۶۷-۸۲.]

[8] Abedini Araghi M. Report of Excavation In Shishar Tepe. Mazandaran, 2015. [in Persian]
[عابدینی عراقی مهدی. گزارش حفاری شیشار تپه. مازندران: سازمان میراث فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری، ۱۳۹۴.]

[9] Harris MV. Glimpses of an iron age landscape. Expedition 1989; 31: 12.

[10] Badiei R. Conprehensiveran geography of Iran. 1983. [in Persian]
[بدیعی ربیع. جغرافیای مفصل ایران. تهران: نشر اقبال. ۱۳۶۲.]

[11] Burton- Brown T. Azerbaijan ancient and modern. J R Cent Asian Soc 1949; 36: 168–177. [doi.org/10.1080/03068374908731328]

[12] Dyson RH. Rediscovering Hasanlu. Expedition 1989; 31: 3–11.

[13] Dollfus G, Huff D, Bivar ADH, et al. Survey of Excavations in Iran—1976. Iran 1977; 15: 169–182. [doi.org/10.2307/4300574]

[14] Burney C. Excavations at Haftavān Tepe 1968: First Preliminary Report. Iran 1970; 8: 157–171. [doi.org/10.2307/4299640]

[15] Hejebri Nobari A. Preliminary Report of The Second Season of Excavation In Masjed Kabud Site. Tehran, 2000. [in Persian]
[هژبری نوبری علیرضا. گزارش مقدماتی دومین فصل کاوش در محوطه باستانی مسجد کبود تبریز. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور و مرکز تحقیقات باستان‌شناسی دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۹.]

[16] Hejebri Nobari A. Preliminary Report of The Third Season of Excavation In Masjed Kabud Site. Tehran, 2001. [in Persian]
[هژبری نوبری علیرضا. گزارش سومین فصل کاوش باستان‌شناختی محوطه باستانی مسجد کبود تبریز.