Downloaded from journal.richt.ir at 13:36 IRST on Wednesday February 9th 2022

فصلنامهٔ علمی مطالعات باستان‌شناسی پارسه
|| شمارهٔ ۱۶ || سال پنجم || تابستان ۱۴۰۰ ||
P. ISSN: 2645-5048 & E. ISSN: 2645-5706

مطالعات میکروسکوپی و ساختارشناسی زیورآلات مفرغی به‌دست آمده از محوطه‌های عصر آهن شمال‌غرب ایران

عاطفه رسولی[I]
علیرضا هژبری‌نوبری[II]
هاییده خمسه[III]

نوع مقاله: پژوهشی؛ صص: ۷۹ - ۶۹
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲
شناسهٔ دیجیتال (DOI): 10.30699/PJAS.5.16.69

چکیده

در تبیین باستان‌شناسی عصرآهن، مطالعهٔ آثار فلزی به‌دلیل ارزش‌های فنی نهفته در آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است و مطالعهٔ روش‌های ساخت آثار فلزی، درک ما را نسبت به مراکز صنعتی فلزگری، سبک‌شناسی و معادن قابل دسترس، بالا می‌برد. هدف از این پژوهش، شناخت روش‌های ساخت و آنالیز عنصری زیورآلات مکشوف از محوطه‌های عصرآهن شمال‌غرب ایران، با استفاده از آزمایش متالوگرافی و دستگاه آنالیز عنصری SEM-EDS می‌باشد. در عصرآهن ساخت اشیاء فلزی به‌ویژه اشیائی که دارای تزئینات زیادی هستند، گسترش چشمگیری پیدا می‌کند؛ لذا شناخت روش‌های ساخت و نوع آلیاژی که در آن‌ها به‌کار رفته است، از موارد ضروری این تحقیق محسوب می‌شود. پژوهش حاضر در پی پاسخ به این پرسش است؛ برای ساخت زیورآلات مکشوف از محوطه‌های عصرآهن شمال‌غرب، بیشتر از چه روش‌هایی استفاده می‌شده است؟ و یا بیشترین عناصری‌که در ساخت این اشیاء استفاده شده، چه عناصری بوده است؟ فرضیهٔ پژوهش حاضر این است که در این محوطه‌ها، بیشتر زیورآلات به‌روش چکش‌کاری‌گرم و ریخته‌گری ساخته شده‌اند و در ساختار خود دارای مقدار زیادی قلع هستند، که از آن برای استحکام و شکل‌پذیری بیشتر آلیاژ مس و قلع (مفرغ)، استفاده می‌کردند. در این پژوهش هشت نمونه از زیورآلات مکشوف از محوطه‌های عصرآهن شمال‌غرب ایران، که به‌لحاظ جغرافیایی بسیار نزدیک به هم قرار داشتند، مورد آزمایش متالوگرافی و آنالیز عنصری قرار گرفتند. در این آزمایش با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به دستگاه آنالیز عنصری SEM-EDS روش‌های ساخت این اشیاء فلزی و عناصر تشکیل‌دهندهٔ آن‌ها مشخص گردید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که عمده‌ترین روش‌های ساخت این اشیاء فلزی، چکش‌کاری گرم بوده است، ولی آن‌دسته از اشیائی که دارای حجم زیادی بودند، با استفاده از روش ریخته‌گری ساخته شده‌اند؛ هم‌چنین بیشترین عنصری که برای بالا بردن استحکام و شکل‌پذیری اشیاء استفاده شده، عنصر قلع بوده است.

کلیدواژگان: عصرآهن، شمال‌غرب، اشیاء مفرغی، آزمایش متالوگرافی، SEM-EDS.

I. دانشجوی دکتری باستان‌شناسی دوران پیش از تاریخ، گروه تاریخ و باستان‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
II. استاد گروه باستان‌شناسی، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تربیت‌مدرس، تهران، ایران (نویسندهٔ مسئول).
hejebri@modares.ac.ir
III. استادیار گروه باستان‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابهر، ابهر، ایران.

[DOI: 10.30699/PJAS.5.16.69]
Downloaded from journal.richt.ir at 13:36 IRST on Wednesday February 9th 2022

مقدمه

در محوطه‌های عصرآهن شمال‌غرب، فن فلزگری در سطح پیشرفته‌ای انجام می‌گرفته است و درحقیقت گسترش دامنهٔ سنت فلزگری شمال‌غرب را می‌توان در دیگر محوطه‌های عصرآهن ایران مشاهده کرد (طلایی، ۱۳۸۱: ۸۳-۷۷). یکی از دلایل پیشرفت فن و هنر فلزگری محوطه‌های عصرآهن شمال‌غرب ایران، وجود معادن فراوان سنگ مس و سنگ آهن در این منطقه بوده است. در کاوش‌های محوطهٔ حسنلو در جنوب دریاچهٔ ارومیه، تعداد فراوانی اشیاء آهنی و مفرغی به‌دست آمد. حجم زیاد اشیاء فلزی مکشوف از محوطهٔ حسنلو نشان‌دهندهٔ رونق فلزگری در این منطقه از فلات ایران بوده است (Pigott, 1989: 67-79). طبق بررسی‌های انجام‌شده، ساکنین حسنلو، سنگ مس و سنگ آهن موردنیاز خود را از معادنی که احتمالاً در اطراف این محوطه وجود داشته است، تأمین می‌کرده‌اند (طلایی، ۱۳۸۱: ۸۰). پیشرفت فن و هنر فلزگری این منطقه، علاوه‌بر وجود معادن فلزات و ذخایر سوخت، تکامل کوره‌ها و قالب‌های ذوب فلز بوده است، که در برخی از محوطه‌های عصرآهن چون حسنلو، تعداد زیادی از این قالب‌های ذوب فلز به‌دست آمده است (توحیدی، ۱۳۶۴: ۳۰)؛ هم‌چنین وجود دولت‌های قدرتمندی چون اورارتوها و ماناها در همجواری محوطه‌های عصرآهن شمال‌غرب ایران، که فلزگران بسیار ماهری بودند، می‌توانسته از دلایل اصلی پیشرفت فن و سبک ساخت مصنوعات فلزی محوطه‌های شمال‌غرب ایران در عصرآهن بوده باشد (علیون و صدرایی، ۱۳۹۰: ۱۷-۲۵). یکی از نشانه‌های این تأثیر، کشف دستبند مفرغی مکشوف از گورستان تولِ تالش در شمال ایران است، که گسترش قلمرو اورارتویی‌ها را در این منطقه نشان می‌دهد و برروی آن کتیبه‌ای به خط میخی اورارتویی وجود دارد. متن این کتیبه نشان می‌دهد که «آرگیشتی دوم»، پادشاه اورارتو این دستبند را به خدای «خالدی» هدیه داده است. این فرد می‌توانسته یک شاهزاده یا یک فرد نظامی بوده باشد (طهماسبی و مسعودی‌نیا، ۱۳۹۴: ۳۳-۴۵). مسألهٔ اساسی این پژوهش، شناخت روش‌های ساخت و عناصر تشکیل‌دهندهٔ زیورآلات مکشوف از منطقهٔ شمال‌غرب ایران، به‌ویژه درهٔ سلدوز، در عصرآهن است؛ زیرا این محوطه‌ها بیشتر در درهٔ سلدوز واقع شده‌اند و ازنظر جغرافیایی بسیار به یکدیگر نزدیک هستند، که این خود می‌تواند به‌لحاظ شناخت روش‌های ساخت و آنالیز عنصری نمونه‌های فلزی مورد آزمایش، کمک شایانی کند.

اهداف و ضرورت پژوهش: هدف از این پژوهش، شناخت روش‌های ساخت و آنالیز عنصری زیورآلات مکشوف از محوطه‌های عصرآهن شمال‌غرب ایران، با استفاده از آزمایش متالوگرافی و دستگاه آنالیز عنصری SEM-EDS است. خلأ دانشی موجود در این پژوهش، فعالیت‌های آزمایشگاهی بسیار محدودی است که در زمینهٔ شناخت روش‌های ساخت و عناصر تشکیل‌دهندهٔ اشیاء فلزی محوطه‌های عصرآهن شمال‌غرب ایران صورت گرفته است؛ زیرا در عصرآهن ساخت اشیاء فلزی با روش‌های پیچیده و تزئینات زیاد، گسترش چشمگیری پیدا می‌کند. این درحالی‌ست که منطقهٔ شمال‌غرب به‌لحاظ باستان‌شناسی عصرآهن، دارای اهمیت زیادی است و درحقیقت فرهنگ عصرآهن از منطقهٔ شمال‌غرب به دیگر مناطق، به‌ویژه شمال و مرکز فلات ایران گسترش پیدا می‌کند و محوطهٔ حسنلو، یکی از مهم‌ترین محوطه‌های عصرآهن است که در این منطقه قرار گرفته است. به‌همین دلیل شناخت روش‌های ساخت و نوع آلیاژی که در این نمونه‌های فلزی به‌کار رفته است، از موارد ضروری این پژوهش محسوب می‌شود.

پرسش‌های پژوهش: این پژوهش در پاسخ به این پرسش مطرح است، که برای ساخت زیورآلات مکشوف از شمال‌غرب ایران در عصرآهن، بیشتر از چه روش‌هایی استفاده می‌شده است؟ و یا بیشترین عناصری که در ساخت اشیاء فلزی این محوطه‌ها مورد استفاده قرار گرفته، چه عناصری بوده است؟ فرضیهٔ پژوهش حاضر در پاسخ به این مسأله است که، در محوطه‌های عصرآهن شمال‌غرب ایران، بیشتر زیورآلات به‌روش چکش‌کاری همراه با تابکاری ساخته شده‌اند؛

[DOI: 10.30699/PJAS.5.16.69]
Downloaded from journal.richt.ir at 13:36 IRST on Wednesday February 9th 2022

بدین‌صورت که ابتدا برروی اشیاء فلزی چکش‌کاری سرد انجام می‌شده، بعد به آن حرارت داده و دوباره آن‌را چکش‌کاری می‌کردند. هم‌چنین آن‌دسته از زیورآلاتی که دارای حجم بیشتری بودند، به‌روش ریخته‌گری ساخته می‌شدند و بیشترین عنصری که برای بالا بردن استحکام و شکل‌پذیری به اشیاء استفاده شده، عنصر قلع بوده است.

روش پژوهش (مواد و روش‌ها): تحقیق حاضر به‌روش تحلیلی-تجربی و برمبنای مطالعات علمی و آزمایشگاهی انجام گرفته است. در این پژوهش، ابتدا هشت نمونهٔ فلزی از محوطه‌های مختلف عصرآهن شمال‌غرب ایران ازطریق مخزن موزهٔ ملی ایران جمع‌آوری و در همان محل نمونه‌برداری شد و سپس برای انجام آزمایش متالوگرافی به آزمایشگاه مواد و متالورژی دانشگاه صنعتی‌شریف ارسال گردید. آزمایش متالوگرافی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به دستگاه آنالیز عنصری SEM-EDS انجام شد. دستگاه SEM دارای مدل VEGAII و دستگاه EDS دارای مدل RONTEC مجهز به نرم‌افزار QUANTAX با مدل QX2 بوده است. دلایل انتخاب نمونه‌ها این است که اکثر نمونه‌هایی که برای آزمایش متالوگرافی انتخاب گردیدند، مربوط به محوطه‌هایی هستند که به‌لحاظ جغرافیایی بسیار به‌هم نزدیک هستند و درواقع اکثر این محوطه‌ها در درهٔ سلدوز در شمال‌غرب ایران واقع شده‌اند؛ هم‌چنین در این پژوهش از زیورآلات متنوع ازنظر نوع و اندازه استفاده شده، تا بتوان نمونه‌های فلزی را بهتر مورد ارزیابی قرار داد. برای انجام آزمایش متالوگرافی برروی نمونه‌های فلزی، ابتدا قسمتی از نمونه‌های فلزی را برش زدند. اندازهٔ قطعات نمونه‌های متالوگرافی ۱×۱ و ۱/۵×۱ سانتی‌متر است، که در این پژوهش نمونه‌های فلزی ۱×۱ سانتی‌متر برش زده شده‌اند. متداول‌ترین روش برای برش نمونه‌ها استفاده از ارهٔ دستی و یا کاتر است. 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 آن‌را مورد ارزیابی قرار داد. بعد از این مرحله، نمونه‌ها در یک مادهٔ غیرفلزی، مانند رزین اپوکسی جای داده شدند تا راحت‌تر بتوان آن‌ها را پولیش کرد، که اصطلاحاً به این عمل «مانتینگ» گفته می‌شود؛ سپس سطح نمونه‌های فلزی سنباده زده می‌شود، ابتدا سنبادهٔ ریز و بعد سنبادهٔ درشت تا سطح نمونهٔ فلزی صاف شود. در مرحلهٔ بعد که مرحلهٔ پولیش است، خراش‌های حاصل از سنباده‌زنی از بین رفته و سطحی کاملاً صاف و صیقلی به‌دست می‌آید. در روش مکانیکی، پولیش کردن به‌وسیلهٔ مواد ساینده‌ای نظیر: آلومینا، اکسیدمنیزیم، پودر الماس یا کاربید سیلیسیم انجام می‌شود. مرحلهٔ آخر آشکارسازی یا اچ‌کردن است؛ مواد اچ، مس و آلیاژهای آن بیشتر هیدروکسید آمونیم، پیروکسید هیدروژن و اسید کرومیک است. به‌هنگام اچ‌کردن، مرز دانه‌ها تحت خوردگی قرار می‌گیرند؛ زیرا به‌دلیل موقعیت نامنظم اتم‌ها، انرژی بالاتری نسبت به خود دانه دارند و خوردگی مرز دانه‌ها سبب می‌شود که شکل دانه‌ها به‌روشنی نمایان شود. در مرحلهٔ نهایی نیز با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به دستگاه آنالیز عنصری SEM-EDS به تحلیل اطلاعات در رابطه با موضوع مورد بحث پرداخته شده است.

پیشینهٔ پژوهش

ازمیان بررسی‌هایی که در زمینهٔ متالورژی اشیاء فلزی عصرمفرغ متأخر و اوایل عصرآهن برروی تعدادی از اشیاء فلزی این دوره صورت گرفت، می‌توان به بررسی متالوگرافی سه شئ مفرغی مکشوف از بخش جنوبی حوضهٔ هلیل‌رود اشاره کرد. در این پژوهش، سه شئ فلزی شامل دو میله و یک سنجاق‌سر مورد آزمایش قرار گرفتند و با استفاده از روش متالوگرافی، روش‌های ساخت سنجاق مفرغی و یکی از میله‌ها، چکش‌کاری گرم یا آهنگری و میلهٔ دیگر چکش‌کاری سرد تشخیص داده شد. ترکیب اصلی این سه آلیاژ ازنظر فنی نشان می‌دهند که سنجاق‌سر و یکی از میله‌ها از نوع آلیاژ

[DOI: 10.30699/PJAS.5.16.69]
Downloaded from journal.richt.ir at 13:36 IRST on Wednesday February 9th 2022

مس آرسنیکی و میلهٔ دیگر از مس تقریباً خالص تشکیل شده است (یاوری و همکاران، ۱۳۹۴: ۸۲-۶۷). در سال ۱۳۹۵ هـ.ش.، پژوهشی برروی دو النگوی مفرغی مکشوف از گورکان هشت جعفرآباد که نزدیکی رود ارس قرار دارد، انجام گردید؛ در این پژوهش با استفاده از روش‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به دستگاه آنالیز عنصری، طیف‌سنجی، پرتو اشعهٔ ایکس و متالوگرافی نوع آلیاژ و شیوهٔ ساخت این دو النگو مورد مطالعه قرار گرفت. میزان مس در نقاطی که به‌عنوان ماتریس اصلی فلز درنظر گرفته شده، بین ۳۴/۸۶٪ تا ۵۰/۸۹٪ درصد متغیر بود و میزان قلع در گستره‌ای از ۵۰/۱٪ تا ۲۹/۱۰٪ تشخیص داده شد؛ هم‌چنین، نتایج نشان می‌دهند که این دو النگوی مفرغی با استفاده از روش چکش‌کاری گرم ساخته شده‌اند (یداللهی‌هفشجانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۰۴-۱۹۱). مطالعات متالورژی بعدی در سال ۱۳۹۵ هـ.ش.، برروی ۲۱ نمونه شئ فلزی مکشوف از محوطهٔ عصرآهن باباجیلان لرستان انجام گردید. نتایج آزمایش متالوگرافی نشان می‌دهند که این نمونه‌ها به‌وسیلهٔ چکش‌کاری سرد و تابکاری متعاقب ساخته شده‌اند و مقدار قلع در این نمونه‌ها از الگوی مشخصی پیروی نمی‌کند و بین حدود ۴ تا ۱۶ درصد وزنی متغیر است، که این نشان‌دهندهٔ استحصال توأم سنگ‌معدن‌های مس و قلع برای تولید آلیاژ مفرغ است (عودباشی و حسن‌پور، ۱۳۹۵: ۱۴۹-۱۳۳). در سال ۱۳۹۶ هـ.ش.، تعدادی بررسی برروی پنج نمونه از اشیاء فلزی شامل: سنجاق، میله و خنجر آهنی مکشوف از محوطه‌های عصرآهن شمال ایران صورت گرفت؛ در این پژوهش، ریزساختار تعدادی از اشیاء فلزی با استفاده از روش‌های میکروسکوپی و میکروآنالیز مورد مطالعه قرار گرفته است؛ نتایج نشان می‌دهند که این پنج نمونهٔ فلزی ابتدا تابکاری شده و سپس کار سرد برروی آن‌ها صورت گرفته است. نتایج آنالیز عنصری مشخص نمود که میزان آهن در این نمونه‌ها بیش از ۹۷٪ بوده است (جعفری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۴۷-۱۳۱). هم‌چنین در سال ۱۳۹۶ هـ.ش.، پژوهش‌هایی برروی خنجر مفرغی و آهنی مکشوف از زیویه و مربوط به دورهٔ انتقالی عصرمفرغ به آهن صورت گرفت. جهت مطالعهٔ ریزساختار مقاطع عرضی آثار، از میکروسکوپ نوری انعکاسی و به‌منظور مطالعهٔ فازها و آخال‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شده است؛ نتایج نشان‌دهندهٔ ریزساختار فریتی-پرلیتی و ناخالص‌های اکسیدی است. ریزساختار دندریتی، تأییدی بر به‌کارگیری فن ریخته‌گری در ساخت لایه‌های مفرغی است (نعیمی‌طرئی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۳۱-۲۱۹).

معرفی محوطه‌های باستانی

منطقهٔ شمال‌غرب ایران، به‌دلیل دارا بودن بارندگی مناسب و کافی، وجود مراتع سرسبز و هم‌چنین حاصل‌خیزیِ خاک و دشت‌های مسطح و وجود رودخانه‌های پرآب، چشمه‌ها و آب‌های زیرزمینی کافی، همواره مورد توجه جوامع انسانی، به‌ویژه در عصرآهن بوده است. آذربایجان ازنظر طبیعی بخشی از فلات ایران به‌شمار می‌آید که به‌شکل مثلثی، منطقهٔ واقع‌در میان دریای مازندران، بین‌النهرین و دریای سیاه را فراگرفته است و در مرکز این فلات دشت‌هایی مانند: تبریز، مرند، مراغه، مغان و اردبیل واقع شده است.

محوطهٔ حسنلو

این محوطه در ۹ کیلومتری شمال‌شرقی شهرستان نقده واقع شده است، که در سال ۱۹۵۷ م.، توسط «رابرت دایسون» مورد کاوش قرار گرفت. این محوطه، ۱۰ لایهٔ استقراری دارد. لایهٔ V حسنلو مربوط به عصرآهن I، لایهٔ IV حسنلو مربوط به عصرآهن II و لایهٔ III آن مربوط به عصرآهن III است. از این محوطه، سه دستبند مفرغی مورد آزمایش قرار گرفت، که هر سه مربوط به عصرآهن II بودند و از لایهٔ IV حسنلو به‌دست آمده‌اند (Dyson, 1989: 8)، (تصاویر ۱ و ۲).

[DOI: 10.30699/PJAS.5.16.69]

Downloaded from journal.richt.ir at 13:36 IRST on Wednesday February 9th 2022

محوطهٔ کردلرتپه

کردلرتپه در ۱۳ کیلومتری شهر ارومیه و در مجاورت روستای کردلر واقع شده است. این محوطه در سال‌های ۷۴- ۱۹۷۲ م.، ازطرف دانشگاه اینسبروک به‌سرپرستی «آندره لیپرت» کاوش شد. آثار به‌دست‌آمده از این تپه معرف استقرار از هزارهٔ چهارم پیش‌ازمیلاد، تا عصرآهن است. در نتیجهٔ کاوش سال ۱۳۵۴ هـ.ش.، از عصر آهن I، چهار لایهٔ استقراری شناسایی گردید، که هر لایه توسط آتش‌سوزی منهدم گردیده بود. از این محوطه دو شئ مفرغی مورد آزمایش قرار گرفتند؛ یکی از آن‌ها مربوط به یک سنجاق مفرغی، و دیگری مربوط به یک گوشوارهٔ مفرغی است، که هر دو شئ مربوط به عصرآهن I هستند (Lippert, 1977: 176-177)، (تصاویر ۱ و ۳).

گورستان مسجد کبود

گورستان مسجد کبود در نزدیکی شهر تبریز واقع شده است. این محوطه که توسط «علیرضا هژبری‌نوبری» در سال ۱۳۷۹ هـ.ش.، مورد کاوش قرار گرفت، به‌عنوان یک محوطهٔ باستانی دارای عصرآهن با شاخص اسکلت‌های مدفون، همراه با سفال‌های خاکستری و اشیاء فلزی شناخته شده است. از این محوطه، یک طوق مفرغی مورد آزمایش قرار گرفت که مربوط به گور شمارهٔ ۸۱/۳۱ و متعلق به عصرآهن II بوده است (هژبری‌نوبری، ۱۳۷۹: ۴)، (تصاویر ۱ و ۳).

محوطهٔ هفتوان‌تپه

محوطهٔ هفتوان‌تپه در ۱۵ کیلومتری شمال‌غربی دریاچهٔ ارومیه قرار دارد، که در سال ۱۹۵۶ م.، توسط «چارلز برنی» مورد کاوش قرار گرفت. این محوطه، ۸ لایهٔ استقراری دارد که لایه‌های ۳ تا ۵ آن مربوط به عصرآهن هستند. از این محوطه، یک دستبند مفرغی مورد آزمایش قرار گرفت که مربوط به عصرآهن II بوده و از لایهٔ IV هفتوان‌تپه به‌دست آمده است (Burney, 1969: 157)، (تصاویر ۱ و ۴).

محوطهٔ زیویه

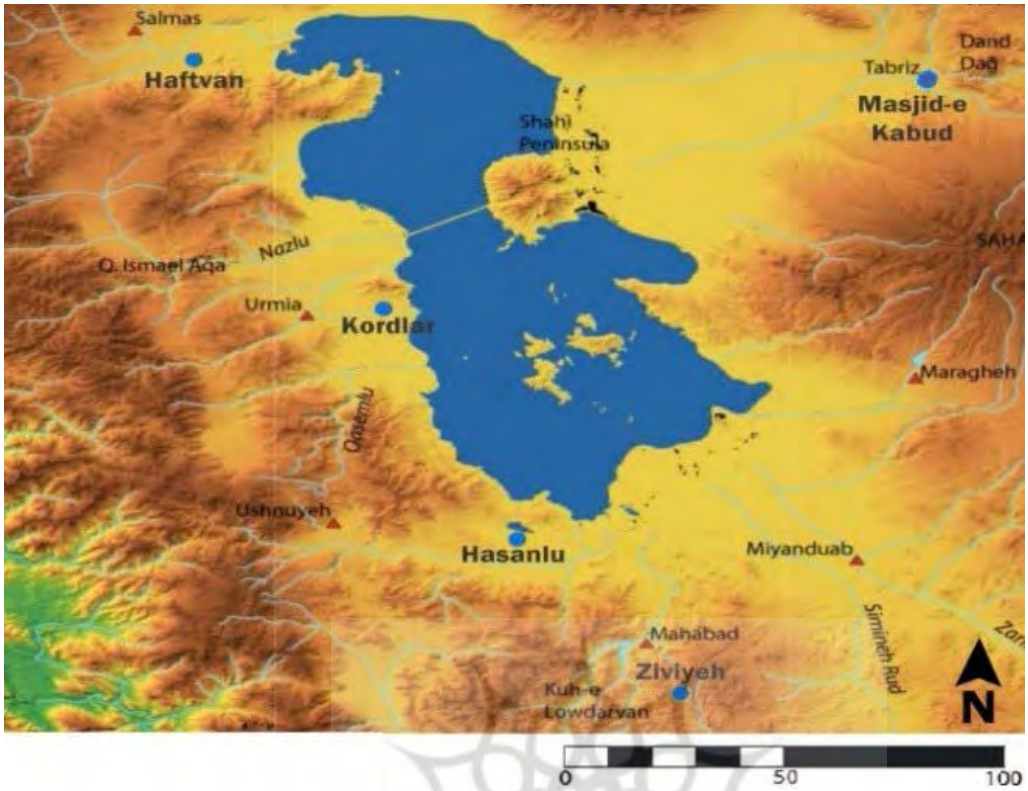
محوطهٔ زیویه در ۴۵ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان سقز قرار دارد که در سال ۱۹۶۴ م.، توسط «دایسون» و «کرافورد» و در سال ۱۳۵۴ هـ.ش.، توسط «معتمدی» مورد کاوش قرار گرفت. از این محوطه، یک زنگولهٔ مفرغی مورد آزمایش قرار گرفت که مربوط به عصرآهن II بوده است (شیخی، ۱۳۹۳: ۱۰)، (تصاویر ۱ و ۴).

نتایج و یافته‌ها

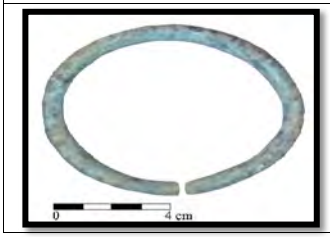
- بررسی آزمایشگاهی نمونه‌های فلزی با استفاده از روش SEM-EDS

نمونه‌های فلزی به‌وسیلهٔ میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به دستگاه SEM-EDS مورد مطالعه و بررسی آزمایشگاهی قرار گرفتند. آنالیز همهٔ نمونه‌ها به‌صورت نقطه‌ای و از سطح مقطع طولی انجام شد. هدف از انجام آنالیز SEM-EDS که برروی بدنهٔ نمونه‌ها انجام گردید، بررسی ساختار و ترکیب نمونه‌های فلزی بوده است؛ همان‌طورکه در جدول آنالیز عنصری نشان می‌دهد، مقدار کمی آرسنیک در ترکیب آلیاژ نمونه‌ها دیده می‌شود؛ زیرا اکثر سنگ معدن‌های مورد استفاده برای استحصال و ذوب فلز مس، حاوی مقادیری آرسنیک هستند. به‌همین دلیل احتمال وجود غیرعمدی آرسنیک در ترکیب این فلزات وجود دارد. عنصر دیگری که در ترکیب این فلزات دیده می‌شود، قلع است که درصد زیادی از آن در ترکیب این نمونه‌ها به‌دست آمده است؛ زیرا در بعضی از محوطه‌های عصرآهن ایران، از آرسنیک یا آنتیموان برای استحکام‌بخشی و شکل‌پذیری بیشتر فلز مس استفاده می‌کردند. ولی نتایج آنالیز عنصری نمونه‌های مفرغی شمال‌غرب نشان می‌دهند

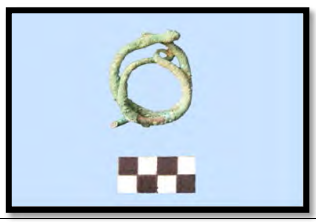
[DOI: 10.30699/PJAS.5.16.69]
Downloaded from journal.richt.ir at 13:36 IRST on Wednesday February 9th 2022



تصویـر ۱. نقشـهٔ جغرافیایـی محوطه‌هـای عصرآهـن منطقـهٔ شـمال‌غرب و حوضـهٔ دریاچـهٔ ارومیـه (Danti, 2013).

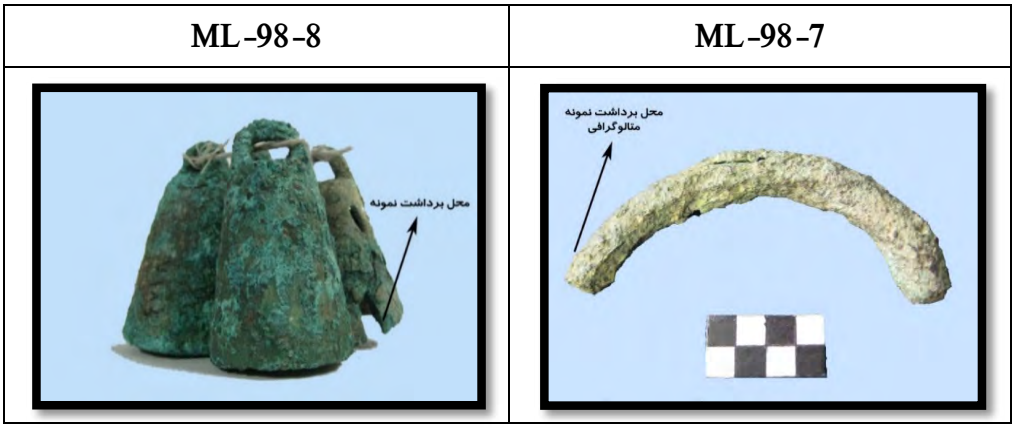
ML-98-3	ML-98-2	ML-98-1
		

تصویـر ۲. اشـیاء فلـزی مـورد مطالعـه، مکشـوف از محوطه‌هـای عصرآهـن شـمال‌غرب ایـران (از راسـت بـه چـپ: شـمارهٔ ۱، ۲ و ۳).

ML-98-6	ML-98-5	ML-98-4
		

تصویـر ۳. اشـیاء فلـزی مـورد مطالعـه، مکشـوف از محوطه‌هـای عصرآهـن شـمال‌غرب ایـران (از راسـت بـه چـپ: شـمارهٔ ۴، ۵ و ۶).

[DOI: 10.30699/PJAS.5.16.69]
Downloaded from journal.richt.ir at 13:36 IRST on Wednesday February 9th 2022



تصویر ۴. اشیاء فلزی مورد مطالعه، مکشوف از محوطه‌های عصرآهن شمال‌غرب ایران (از راست به چپ: شمارهٔ ۷ و ۸).

که ساکنین این منطقه به خاصیت سمی بودن آرسنیک پی‌برده بودند و به‌همین دلیل از عنصر قلع برای استحکام‌بخشی و شکل‌پذیری بیشتر فلز مس استفاده می‌نمودند. قلع با خلوص بالا، شامل دانه‌های هم‌محور است و قلع خالص دارای دانه‌های دوقلوی متبلورشده در میان مرز دانه‌های اصلی است. مقطع این نمونه‌های فلزی در زیر میکروسکوپ بیانگر ماتریس مفرغی است و آنالیز عنصری این نمونه‌ها نشان می‌دهد که عناصر اصلی این اشیاء فلزی مس و قلع بوده است. مس خالص به‌دلیل داشتن نقطهٔ ذوب بالا و جذب گازهایی چون اکسیژن، باعث تشکیل حباب‌های گاز شده و به‌صورت متخلخل درمی‌آید؛ بنابراین وجود قلع علاوه‌بر پایین آوردن نقطهٔ ذوب، از متخلخل شدن فلز نیز جلوگیری می‌کرده است. در بیشتر قسمت‌های آنالیزشدهٔ این نمونه‌های فلزی، عناصر مختلفی چون: سرب، آهن، نیکل و عناصر دیگر وجود دارند، که همهٔ این عناصر فوق مربوط به فرآیند استحصال سنگ معدن مس بوده و به‌طور طبیعی در سنگ‌های معدنی مس وجود داشته است و با ساختار اصلی فلزی این نمونه‌ها مرتبط نیستند (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج آنالیز SEM-EDS برحسب درصد وزنی برروی ماتریس فلزی (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Sample	object	Si	Sb	Ni	P	Zn	A1	C1	Fe	C	O	Pb	S	As	Sn	Cu
ML-98-1	Bracelet	-	0/71	0/01	0/40	0/02	-	0/37	0/01	-	-	1/11	0/02	0/06	10/12	87/17
ML-98-2	Bracelet	-	0/50	0/01	0/43	0/02	-	0/44	-	-	-	1/45	-	0/06	10/32	86/77
ML-98-3	Bracelet	-	-	0/01	0/48	0/02	-	0/62	0/01	-	-	0/57	-	0/09	9/76	88/44
ML-98-4	Head Pin	-	0/29	0/10	0/35	0/14	-	0/30	0/27	-	2/30	0/69	0/03	0/09	9/19	86/25
ML-98-5	Earring	-	0/73	-	0/56	-	-	0/89	1/93	-	2/90	3	0/05	0/40	6/53	83/01
ML-98-6	Necklace	-	-	0/01	-	0/65	-	-	-	-	-	-	-	6	7/39	85/95
ML-98-7	Bracelet	-	-	-	-	0/48	-	-	0/04	-	-	-	0/07	3/45	7/96	88
ML-98-8	Bell	-	-	01/0	0	02/0	-	0/82	02/0	-	-	-	0/08	02/0	8/15	83/95

- آزمایش متالوگرافی دستبندهای مفرغی محوطهٔ حسنلو شماره‌های ۱، ۲ و ۳ (ML-98-1, 2, 3)

در بررسی‌های متالوگرافی این سه شئ مفرغی، دانه‌ها هم‌محور و بسیار نزدیک به‌هم نشان‌داده شده‌اند، که این بیانگر ساخت این اشیاء به‌شیوهٔ آهنگری یا چکش‌کاری گرم بوده است. دانه‌های فشردهٔ کریستاله در سطح تصاویر متالوگرافی این سه شئ، حاکی از چکش‌کاری پیوستهٔ سرد و بعد

[DOI: 10.30699/PJAS.5.16.69]
Downloaded from journal.richt.ir at 13:36 IRST on Wednesday February 9th 2022

از آن گرم نمودن شئ فلزی و دوباره چکش‌کاری سرد است؛ هم‌چنین آخال‌های کشیده در امتداد طولی نمونه‌ها قابل مشاهده است، که این بیانگر استفاده از روش چکش‌کاری در فرآیند ساخت این اشیاء مفرغی است. ریزساختار در این نمونه‌ها، دانه‌های باز تبلوریافته و خطوط دوقلویی را نشان می‌دهند که نشان‌دهندهٔ استفاده از روش چکش‌کاری گرم یا چکش‌کاری سرد، همراه با تابکاری در ساخت این اشیاء بوده است. حفره‌های سیاه‌رنگی که به‌ویژه برروی تصویر ML-98-1 مشاهده می‌گردد نیز میزان خوردگی و سولفیداسیون شئ فلزی را نشان می‌دهد (شکل ۵).

تصویر ۵. تصاویر متالوگرافی دستبندهای مفرغی مکشوف از محوطهٔ حسنلو (نگارندگان، ۱۳۹۸).

- آزمایش متالوگرافی سنجاق و گوشوارهٔ مفرغی محوطهٔ کردلرتپه و طوق مفرغی گورستان مسجد کبود تبریز شمارهٔ ۴، ۵ و ۶ (ML-98-4, 5, 6)

در بررسی‌های متالوگرافی این سه شئ مفرغی، دانه‌های فشردهٔ کریستاله در سطح تصاویر متالوگرافی این سه شئ، حاکی از چکش‌کاری پیوستهٔ سرد و بعد از آن گرم نمودن شئ فلزی و دوباره چکش‌کاری سرد است؛ بدین‌شکل که فلز موردنظر تا حد برافروختگی حرارت می‌بیند و سپس به‌طور پیوسته مورد چکش‌کاری قرار می‌گیرد. این وضعیت همان ساختار دوباره متبلور شدن دانه‌ها و خطوط دوقلویی است که بیانگر استفاده از روش چکش‌کاری به‌همراه تابکاری متعاقب در فرآیند ساخت این اشیاء مفرغی است. نقاط سیاه‌رنگی که برروی تصاویر متالوگرافی نمونه‌های ML-98-4 و ML-۹۸-۵ دیده می‌شوند، نشان‌دهندهٔ وجود اکسیژن، کربن و کاهش میزان مس و قلع است و نشان‌دهندهٔ قسمت‌های خورده‌شده و سولفیداسیون این نمونه‌های فلزی است (تصویر ۶).

تصویر ۶. تصاویر متالوگرافی سنجاق و گوشوارهٔ مفرغی کردلرتپه و طوق مفرغی مکشوف از گورستان مسجد کبود (نگارندگان، ۱۳۹۸).

- آزمایش متالوگرافی دستبند مفرغی محوطهٔ هفتوان‌تپه و زنگولهٔ مفرغی مکشوف از محوطهٔ زیویه شمارهٔ ۷ و ۸ (ML-98-7-8)

در بررسی‌های متالوگرافی، ریزساختار فلزاتی که ساختار شاخه‌ای (دندریتی) دارند، فلزاتی هستند که

[DOI: 10.30699/PJAS.5.16.69]
Downloaded from journal.richt.ir at 13:36 IRST on Wednesday February 9th 2022

با دامنهٔ انجماد بالا، شیب دمایی کم و سرعت رشد بالا به‌وجود می‌آیند و نمونه‌هایی که دارای ساختار شاخه‌ای هستند، به‌روش ریخته‌گری ساخته شده‌اند. تصاویر میکروسکوپی این دو نمونه نشان می‌دهند که نمونه‌های فوق دارای ساختار شاخه‌ای یا دندریتی در بدنهٔ خود هستند؛ بنابراین این نمونه‌ها به‌وسیلهٔ روش ریخته‌گری ساخته شده‌اند، بدین‌معنی که تصاویر میکروسکوپی دستبند مفرغی هفتوان‌تپه و زنگولهٔ مفرغی زیویه دارای ساختار یوتکتیک و لایه‌های موجود برروی شئ هستند. حفره‌های تیره‌رنگ در سرتاسر این تصاویر میکروسکوپی دیده می‌شوند، که این حفره‌ها بر اثر خوردگی در سطح ماتریس به‌وجود آمده‌اند (تصویر ۷). مطالعات میکروسکوپی اشیاء مفرغی نشان می‌دهند که تعداد زیادی ترکیبات سولفید مس در نمونه‌های فلزی وجود دارد، که این ترکیبات در ریزساختار آلیاژهای مس باستان، می‌تواند بیانگر استفاده از سنگ معدن‌های اکسیدی همراه با مقداری سنگ معدن سولفید مس برای استحصال باشد.

ML-98-7 (بزرگ‌نمایی ۱۲۰ برابر)	ML-98-8 (بزرگ‌نمایی ۱۲۰ برابر)

تصویر ۷. تصاویر متالوگرافی دستبند مفرغی هفتوان‌تپه و زنگولهٔ مفرغی مکشوف از محوطهٔ زیویه (نگارندگان، ۱۳۹۸).

بحث و تحلیل

بررسی آزمایشگاهی و آنالیز عنصری نمونه‌های فلزی با استفاده از روش SEM-EDS نشان می‌دهد که مقدار کمی آرسنیک در ترکیب آلیاژ نمونه‌ها دیده می‌شود؛ زیرا اکثر سنگ معدن‌های مورداستفاده برای استحصال و ذوب فلز مس، حاوی مقادیری آرسنیک هستند. به‌همین دلیل، احتمال وجود غیرعمدی آرسنیک در ترکیب این فلزات وجود دارد. عنصر دیگری که در ترکیب این نمونه‌های فلزی دیده می‌شود، قلع است که درصد زیادی از آن در ترکیب این نمونه‌ها به‌دست آمده است. برروی تصاویر متالوگرافی نمونه‌های ML-98-1 تا ML-98-6 دانه‌های هم‌محور بسیار نزدیک به‌هم نشان‌داده شده‌اند، که درحقیقت حاکی از چرخهٔ کار مکانیکی-گرمایی بیشتر بوده است؛ زیرا فلزکاران باستان از روش تابکاری برای بازگرداندن خاصیت شکل‌پذیری به آلیاژ مفرغ استفاده می‌کردند، که این درمان‌گرمایی سبب بهبود خاصیت شکل‌پذیری به آلیاژ مفرغ و ارتقاء فرآیند تبلور مجدد دانه‌ها می‌شده است. دانه‌های فشردهٔ کریستاله در سطح تصاویر متالوگرافی این نمونه‌ها، حاکی از چکش‌کاری پیوستهٔ سرد و بعد از آن گرم نمودن شئ فلزی و دوباره چکش‌کاری سرد بوده است؛ هم‌چنین آخال‌های کشیده در امتداد طولی نمونه‌ها قابل‌مشاهده است، که بیانگر استفاده از روش چکش‌کاری در فرآیند ساخت این اشیاء مفرغی است. ریزساختار در این نمونه‌ها، دانه‌های بازتبلوریافته و خطوط دوقلویی را نشان می‌دهند که نشان‌دهندهٔ استفاده از روش چکش‌کاری گرم یا چکش‌کاری سرد همراه با تابکاری در ساخت این اشیاء است. میزان و

[DOI: 10.30699/PJAS.5.16.69]
Downloaded from journal.richt.ir at 13:36 IRST on Wednesday February 9th 2022

شدت کار و تابکاری انجام‌شده برروی قطعات با توجه به ضخامت کم اشیاء و اندازهٔ دانه‌ها و هم‌چنین تنش موجود در ریزساختار به‌خوبی مشخص است؛ بنابراین این نمونه‌ها با استفاده از روش چکش‌کاری و تابکاری متعاقب، برای بازگرداندن قابلیت کارپذیری به قطعه ساخته شده‌اند. در بررسی‌های متالوگرافی، ریزساختار فلزاتی که ساختار شاخه‌ای (دندریتی) دارند، فلزاتی هستند که با دامنهٔ انجماد بالا، شیب دمایی کم و سرعت رشد بالا به‌وجود می‌آیند و فلزاتی که دارای ساختار شاخه‌ای هستند، به‌روش ریخته‌گری ساخته شده‌اند. تصاویر متالوگرافی نمونه‌های ML-98-7 و ML-98-8 نشان می‌دهند که این دو نمونه دارای ساختار شاخه‌ای یا دندریتی در بدنهٔ خود هستند و با روش ریخته‌گری ساخته شده‌اند؛ هم‌چنین برروی تصاویر متالوگرافی نمونه‌های ML-98-2 - ML-98-3 و نمونهٔ ML-98-6 ترک‌های بسیار ریزی وجود دارد که به‌علت تنش و خستگی ناشی از کار چکش‌کاری مداوم برروی این آثار فلزی به‌وجود آمده است. نقاط تیره‌رنگی که در بیشتر این تصاویر میکروسکوپی دیده می‌شود، بیانگر وجود اکسیژن، کربن و کمبود مس و قلع است، که باعث خوردگی و سولفیداسیون این اشیاء فلزی شده است.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده از تصاویری که به‌وسیلهٔ میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به دستگاه SEM-EDS تهیه گردید، مشخص شد که نمونه‌های فلزی دارای قلع نسبتاً زیادی هستند. هم‌چنین درصد کمی آرسنیک در نمونه‌های فلزی مورد آزمایش دیده شده است. با توجه به میزان آرسنیک در این نمونه‌ها می‌توان چنین نتیجه گرفت که فلزکاران این دوره ممکن است در آن زمان به مضرات ناشی از کاربرد آرسنیک پی نبرده باشند و به‌همین دلیل از این عنصر برای بهبود خواص آلیاژ مفرغ استفاده می‌کردند؛ زیرا فلزکاران باستان برای افزایش سخت‌کاری اثر از عناصری چون: قلع، آرسنیک و آنتیموان در ترکیب آلیاژ مفرغ بهره می‌بردند، به‌ویژه اشیائی که در زمرهٔ زیورآلات قرار دارند، برای رسیدن به شکلی مناسب به پرداخت بیشتری نیاز داشته‌اند. احتمال دیگر وجود غیرعمدی عنصر آرسنیک است و ازطرفی وجود مقدار زیادی قلع در این نمونه‌ها نشان می‌دهد که احتمالاً عنصر آرسنیک به‌صورت طبیعی در سنگ‌های معدنی مس وجود داشته است و فلزکاران باستان برای پایین آوردن نقطهٔ ذوب فلز مس و بالابردن میزان استحکام‌بخشی و شکل‌پذیری آن، از فلز قلع استفاده می‌کرده‌اند. مطالعات میکروسکوپی اشیاء مفرغی نشان می‌دهند که تعداد زیادی ترکیبات سولفید مس در نمونه‌های فلزی وجود دارد. وجود آخال‌های سولفید مس پخش‌شده در سطح ماتریس فلزی و کشیده شدن درراستای طولی ریزساختار آلیاژهای مس باستان می‌تواند بیانگر استفاده از سنگ معدن‌های اکسیدی همراه با مقداری سنگ معدن سولفید مس برای استحصال باشد. نتایج تصاویر متالوگرافی نمونه‌های فلزی نشان می‌دهند که دو روش چکش‌کاری گرم همراه با تابکاری متعاقب و ریخته‌گری از روش‌های اصلی ساخت زیورآلات در محوطه‌های عصرآهن شمال‌غرب ایران بوده است. برروی محصولات چکش‌کاری‌شده، کار مکانیکی مانند آهنگری و نورد انجام می‌شود؛ به‌همین دلیل ریزساختار آن‌ها در زیر میکروسکوپ متفاوت است. بیشتر زیورآلات مکشوف از محوطه‌های عصرآهن شمال‌غرب، مانند: دستبندها، النگوها و طوق‌ها، به‌روش چکش‌کاری گرم، توأم با تابکاری متعاقب یا آهنگری ساخته شده‌اند و اشیائی که دارای حجم و تزئینات بیشتری هستند، به‌روش ریخته‌گری قالب‌ریزی شده‌اند. به‌طورکلی، اشیاء مکشوف از محوطه‌های عصرآهن شمال‌غرب، به‌ویژه حسنلو به‌لحاظ فن و سبک ساخت دارای پیچیدگی‌های بیشتری نسبت به محوطه‌های عصرآهن دیگر مناطق ایران هستند، که در آن‌ها حکومت‌های بومی و محلی وجود داشته است و این به‌دلیل قرار گرفتن در مجاورت و همسایگی دولت‌های نیرومندی چون اورارتو و مانا در این منطقه از ایران بوده است.

[DOI: 10.30699/PJAS.5.16.69]
Downloaded from journal.richt.ir at 13:36 IRST on Wednesday February 9th 2022

کتابنامه

- توحیدی، ناصر، (۱۳۶۴)، سیر تکامل تولید آهن و فولاد در ایران و جهان. تهران: امیرکبیر.
- جعفری، علیرضا؛ عودباشی، امید؛ و عابدینی‌عراقی، مهدی، (۱۳۹۶). «مطالعات میکروسکوپی برروی اشیاء آهنی باستانی به‌دست‌آمده از کاوش‌های باستان‌شناسی شمال ایران». مجلهٔ پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، دورهٔ ۷، شمارهٔ ۱۵، صص: ۱۴۷-۱۳۱.
- شیخی، مهتا، (۱۳۹۳). آثار گنجینه زیویه. تهران: پازینه.
- علیون، صمد؛ و صدرایی، علی، (۱۳۹۰). مجموعه مقالات کاوش‌های پروژه حسنلو. تهران: گنجینهٔ هنر.
- عودباشی، امید؛ و حسن‌پور، عطا، (۱۳۹۵). «مطالعات آزمایشگاهی برروی آلیاژ و ریزساختار اشیاء برنزی محوطهٔ عصرآهن باباجیلان لرستان». مجلهٔ مطالعات باستان‌شناسی، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۱، صص: ۱۴۹-۱۳۳.
- طلایی، حسن، (۱۳۸۱)، باستان‌شناسی و هنر ایران در هزارهٔ اول قبل‌ازمیلاد. تهران: سمت.
- طهماسبی، حامد؛ و مسعودی‌نیا، ذبیح‌الله، (۱۳۹۴). «دستبند کتیبه‌دار تول تالش، شواهدی از روابط ساکنان منطقهٔ تول تالش و اورارتوها». همایش ملی تالش‌شناسی، رشت: ادارهٔ کل میراث‌فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری گیلان.
- نعیمی‌طرئی، پرستو؛ دولتی، ابوالقاسم؛ و امین‌امامی، سیدمحمد، (۱۳۹۶). «مطالعهٔ ریزساختار آثار در فلز مکشوف از محوطهٔ باستانی زیویه». مجلهٔ مهندسی متالورژی، دورهٔ ۲۰، شمارهٔ ۳، صص: ۲۳۱-۲۱۹.
- هژبری‌نوبری، علیرضا، (۱۳۷۹). «گزارش مقدماتی دومین فصل کاوش در محوطهٔ باستانی مسجد کبود تبریز». تهران: مرکز اسناد سازمان میراث‌فرهنگی کشور (منتشرنشده).
- یاوری، فاطمه؛ عباس‌نژادسرستی، رحمت؛ مرتضوی، محمد؛ و علیدادی‌سلیمانی، نادر، (۱۳۹۴). «بررسی متالوگرافی OES و SEM سه شئ آلیاژی عصرمفرغ مکشوف از بخش جنوبی حوضهٔ هلیل‌رود، جیرفت». مجلهٔ پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، دورهٔ ۶، شمارهٔ ۱۰، صص: ۸۲-۶۷.
- یداللهی‌هفشجانی، عاطفه؛ بخشنده‌فرد، حمیدرضا؛ و ایروانی‌قدیم، فرشید، (۱۳۹۵). «مطالعهٔ آلیاژ و روش ساخت النگوهای اقوام مهاجر اورآسیا: نمونهٔ موردی، النگوهای به‌دست‌آمده از گورکان هشت جعفرآباد». مجلهٔ مطالعات باستان‌شناسی، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۱، صص: ۲۰۴-۱۹۱.

- Burney, C., (1970). *Excavation at Haftavan Tepe*. Iran.
- Danti, M., (2013). *Hasanlu V: The Late Bronze and Iron I Periods Hasanlu Excavations Reports III*. University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology Philadelphia.
- Dyson, R. H., (1989). *Notes on Weapons and Chronology in Northern Iran Around 1000 B.C*. DARK Ages and Normal. Istanbul.
- Lippert, A., (1977). "Excavation at Kordlar Tepe". *Iran*. No. (15), Pp: 176-177.
- Pigott, V. C., (1989). "The Emerange of Iron use at Hasanlu Expedition". *Penn Museum Expedition*, Vol. 31, Pp: 67-79.