



مطالعات میکروسکوپی و ساختارشناسی زیورآلات مفرغی به دست آمده از محوطه‌های عصر آهن شمال غرب ایران

^I عاطفه رسولی

^{II} علیرضا هژبری نوبری

^{III} هاییده خمسه

نوع مقاله: پژوهشی؛ صص: ۷۹ - ۶۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲

شناسه دیجیتال (DOI): 10.66224/PJAS.5.16.69

چکیده

در تبیین باستان‌شناسی عصر آهن، مطالعه آثار فلزی به دلیل ارزش‌های فنی نهفته در آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است و مطالعه 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 عصر آهن شمال غرب ایران، با استفاده از آزمایش متالوگرافی و دستگاه آنالیز عنصری SEM-EDS می‌باشد. در عصر آهن 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 عصر آهن شمال غرب، بیشتر از چه روش‌هایی استفاده می‌شده است؟ و یا بیشترین عناصری که در ساخت این اشیاء استفاده شده، چه عناصری بوده است؟ فرضیه پژوهش حاضر این است که در این محوطه‌ها، بیشتر زیورآلات به‌روش چکش‌کاری گرم 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 عصر آهن شمال غرب 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 تشکیل‌دهنده آن‌ها مشخص گردید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که عمده‌ترین روش‌های ساخت این اشیاء فلزی، چکش‌کاری گرم بوده است، ولی آن دسته 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: عصر آهن، شمال غرب، 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، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

hejebri@modares.ac.ir

III. استادیار گروه باستان‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابهر، ابهر، ایران.

مقدمه

در محوطه‌های عصرآهن شمال غرب، فن فلزگری در سطح پیشرفته‌ای انجام می‌گرفته است و درحقیقت گسترش دامنه سنت فلزگری شمال غرب را می‌توان در دیگر محوطه‌های عصرآهن ایران مشاهده کرد (طلایی، ۱۳۸۱: ۸۳-۷۷). یکی از دلایل پیشرفت فن و هنر فلزگری محوطه‌های عصرآهن شمال غرب ایران، وجود معادن فراوان سنگ مس و سنگ آهن در این منطقه بوده است. در کاوش‌های محوطه حسنلو در جنوب دریاچه ارومیه، تعداد فراوانی اشیاء آهنی و مفرغی به دست آمد. حجم زیاد اشیاء فلزی مکشوف از محوطه حسنلو نشان‌دهنده 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، علاوه بر 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 به دست آمده است (توحیدی، ۱۳۶۴: ۳۰). هم‌چنین وجود دولت‌های قدرتمندی چون اورارتوها و ماناها در همجواری محوطه‌های عصرآهن شمال غرب ایران، که فلزگران بسیار ماهری بودند، می‌توانسته از دلایل اصلی پیشرفت فن و سبک ساخت مصنوعات فلزی محوطه‌های شمال غرب ایران در عصرآهن باشد (علیون و صدرایی، ۱۳۹۰: ۱۷-۲۵). یکی از نشانه‌های این تأثیر، کشف دستبند مفرغی مکشوف از گورستان تول 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). مسأله اساسی این پژوهش، شناخت روش‌های ساخت و عناصر تشکیل‌دهنده زیورآلات مکشوف از منطقه شمال غرب ایران، به‌ویژه دره سلدوز، در عصرآهن است؛ زیرا این محوطه‌ها بیشتر در دره سلدوز واقع شده‌اند و از نظر جغرافیایی بسیار به یکدیگر نزدیک هستند، که این خود می‌تواند به لحاظ 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 شمال غرب 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 زمینه شناخت روش‌های ساخت و عناصر تشکیل‌دهنده اشیاء فلزی محوطه‌های عصرآهن شمال غرب ایران صورت گرفته است؛ زیرا در عصرآهن ساخت اشیاء فلزی با روش‌های پیچیده و تزئینات زیاد، گسترش چشمگیری پیدا می‌کند. این درحالی‌ست که منطقه شمال غرب به لحاظ باستان‌شناسی عصرآهن، دارای اهمیت زیادی است و درحقیقت فرهنگ عصرآهن از منطقه شمال غرب به دیگر مناطق، به‌ویژه شمال و مرکز فلات ایران گسترش پیدا می‌کند و محوطه حسنلو، یکی از مهم‌ترین محوطه‌های عصرآهن است که در این منطقه قرار گرفته است. به همین دلیل شناخت روش‌های ساخت و نوع آلیاژی که در این نمونه‌های فلزی به کار 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 شمال غرب 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؟ فرضیه پژوهش حاضر در پاسخ به این مسأله است که، در محوطه‌های عصرآهن شمال غرب ایران، بیشتر زیورآلات به روش چکش‌کاری همراه با تابکاری ساخته شده‌اند؛

بدین صورت که ابتدا برروی اشیاء فلزی چکش کاری سرد انجام می‌شده، بعد به آن حرارت داده و دوباره آن را چکش کاری می‌کردند. هم‌چنین آن دسته از زیورآلاتی که دارای حجم بیشتری بودند، به روش 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 به روش تحلیلی-تجربی و بر مبنای مطالعات علمی و آزمایشگاهی انجام گرفته است. در این پژوهش، ابتدا هشت نمونه فلزی از محوطه‌های مختلف عصر آهن شمال غرب ایران از طریق مخزن موزه ملی ایران جمع‌آوری و در همان محل نمونه‌برداری شد و سپس برای انجام آزمایش متالوگرافی به آزمایشگاه مواد و متالورژی دانشگاه صنعتی شریف ارسال گردید. آزمایش متالوگرافی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به دستگاه آنالیز عنصری SEM-EDS انجام شد. دستگاه SEM دارای مدل VEGA II 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 به لحاظ جغرافیایی بسیار به هم نزدیک هستند و درواقع اکثر این محوطه‌ها در درهٔ سلدوز در شمال غرب ایران واقع شده‌اند؛ هم‌چنین در این پژوهش از زیورآلات متنوع از نظر 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 1×1 و $1/5 \times 1$ سانتی‌متر است، که در این پژوهش نمونه‌های فلزی 1×1 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 آن را 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.

پیشینه پژوهش

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

مس آرسنیک و میله دیگر از مس تقریباً خالص تشکیل شده است (یاوری و همکاران، ۱۳۹۴: ۸۲-۶۷). در سال ۱۳۹۵ ه.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 اشعه ایکس و متالوگرافی نوع آلیاژ و شیوه ساخت این دو النگو مورد مطالعه قرار گرفت. میزان مس در نقاطی که به عنوان ماتریس اصلی فلز در نظر 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 (یداللهی هفشجانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۰۴-۱۹۱). مطالعات متالورژی بعدی در سال ۱۳۹۵ ه.ش.، برروی ۲۱ نمونه شیء فلزی مکشوف از محوطه عصر آهن باباجیلان لرستان انجام گردید. نتایج آزمایش متالوگرافی نشان می‌دهند که این نمونه‌ها به وسیله 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 نشان‌دهنده استحصال توأم سنگ معدن‌های مس و قلع برای تولید آلیاژ مفرغ است (عودباشی و حسن‌پور، ۱۳۹۵: ۱۳۳-۱۴۹). در سال ۱۳۹۶ ه.ش.، تعدادی بررسی برروی پنج نمونه از اشیاء فلزی شامل: سنجاق، میله و خنجر آهنی مکشوف از محوطه‌های عصر آهن 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 نمونه 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 ه.ش.، پژوهش‌هایی برروی خنجر مفرغی و آهنی مکشوف از زیویه و مربوط به دوره انتقالی عصر مفرغ به آهن صورت گرفت. جهت مطالعه ریزساختار مقاطع عرضی آثار، از میکروسکوپ نوری انعکاسی و به منظور مطالعه فازها و آخال‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شده است؛ نتایج نشان‌دهنده ریزساختار فریتی-پرلیتی و ناخالص‌های اکسیدی است. ریزساختار دندریتی، تأییدی بر به‌کارگیری فن ریخته‌گری در ساخت لایه‌های مفرغی است (نعیمی طرئی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۳۱-۲۱۹).

معرفی محوطه‌های باستانی

منطقه شمال غرب ایران، به دلیل دارا بودن بارندگی مناسب و کافی، وجود مراتع سرسبز و هم‌چنین حاصل‌خیزی خاک و دشت‌های مسطح و وجود رودخانه‌های پرآب، چشمه‌ها و آب‌های زیرزمینی کافی، همواره مورد توجه جوامع انسانی، به‌ویژه در عصر آهن بوده است. آذربایجان از نظر طبیعی بخشی از فلات ایران به‌شمار می‌آید که به شکل مثلثی، منطقه واقع در میان دریای مازندران، بین‌النهرین و دریای سیاه را فرا گرفته است و در مرکز این فلات دشت‌هایی مانند: تبریز، مرند، مراغه، مغان و اردبیل واقع شده است.

محوطه حسنلو

این محوطه در ۹ کیلومتری شمال شرقی شهرستان نقده واقع شده است، که در سال ۱۹۵۷ م.، توسط «رابرت دایسون» مورد کاوش قرار گرفت. این محوطه، ۱۰ لایه استقرار 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. از این محوطه، سه دستبند مفرغی مورد آزمایش قرار گرفت، که هر سه مربوط به عصر آهن II بودند و از لایه IV حسنلو به دست آمده‌اند (Dyson, 1989: 8)، (تصاویر ۱ و ۲).

محوطه کردلر تپه

کردلر تپه در ۱۳ کیلومتری شهر ارومیه و در مجاورت روستای کردلر واقع شده است. این محوطه در سال‌های ۷۴-۱۹۷۲ م.، از طرف دانشگاه اینسبروک به سرپرستی «آندره لیپرت» کاوش شد. آثار به دست آمده از این تپه معرف استقرار از هزاره چهارم پیش از میلاد، تا عصر آهن است. در نتیجه کاوش سال ۱۳۵۴ ه.ش.، از عصر آهن I، چهار لایه استقرار شناسایی گردید، که هر لایه توسط آتش سوزی منهدم گردیده بود. از این محوطه دو شیء مفرغی مورد آزمایش قرار گرفتند؛ یکی از آن‌ها مربوط به یک سنجاق مفرغی، و دیگری مربوط به یک گوشواره مفرغی است، که هر دو شیء مربوط به عصر آهن 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 هژبری نوبری» در سال ۱۳۷۹ ه.ش.، مورد کاوش قرار گرفت، به عنوان یک محوطه باستانی دارای عصر آهن 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 شماره ۸۱/۳۱ و متعلق به عصر آهن II بوده است (هژبری نوبری، ۱۳۷۹: ۴)، (تصاویر ۱ و ۳).

محوطه هفتوان تپه

محوطه هفتوان تپه در ۱۵ کیلومتری شمال غربی دریاچه ارومیه قرار دارد، که در سال ۱۹۵۶ م.، توسط «چارلز برنی» مورد کاوش قرار گرفت. این محوطه، ۸ لایه استقرار دارد که لایه‌های ۳ تا ۵ آن مربوط به عصر آهن هستند. از این محوطه، یک دستبند مفرغی مورد آزمایش قرار گرفت که مربوط به عصر آهن II بوده و از لایه IV هفتوان تپه به دست آمده است (Burney, 1969: 157)، (تصاویر ۱ و ۴).

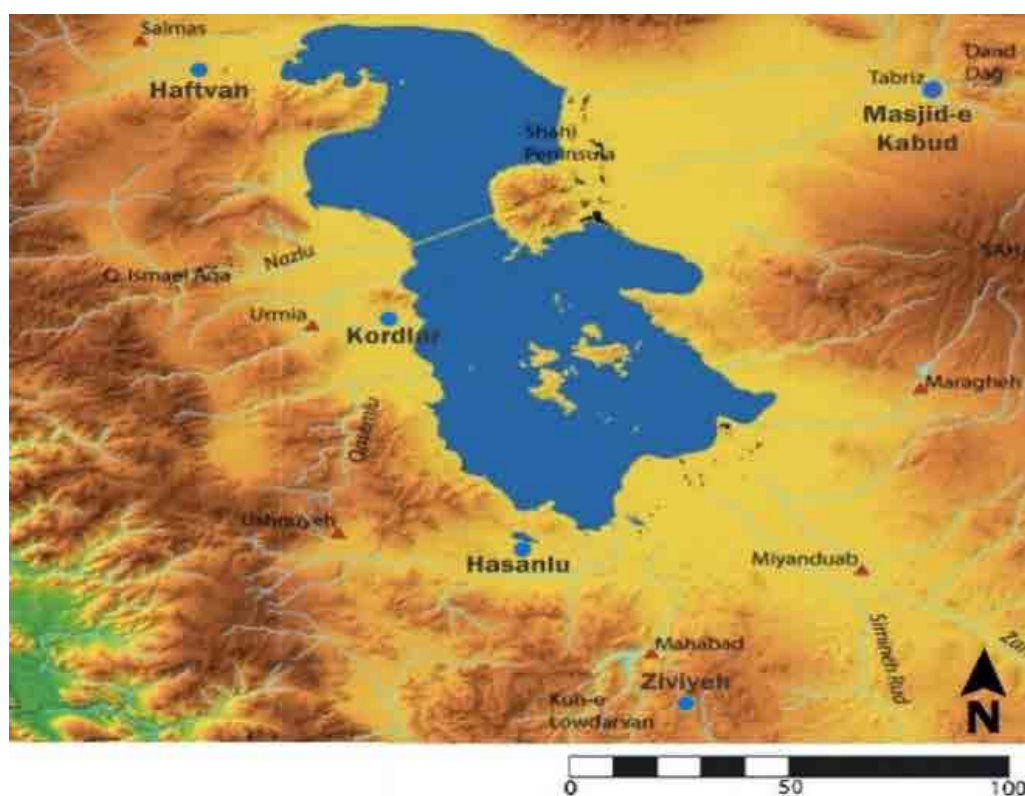
محوطه زیویه

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

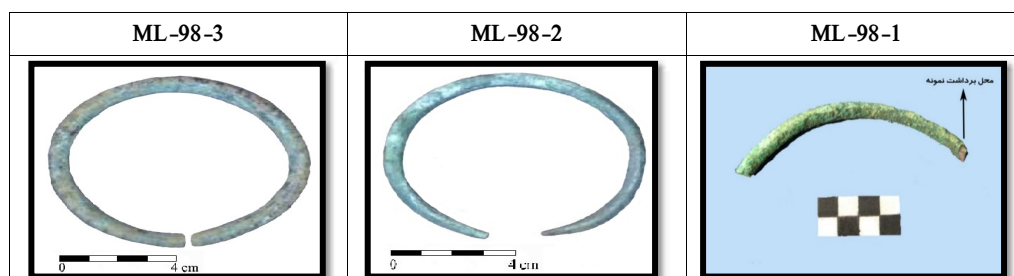
نتایج و یافته‌ها

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

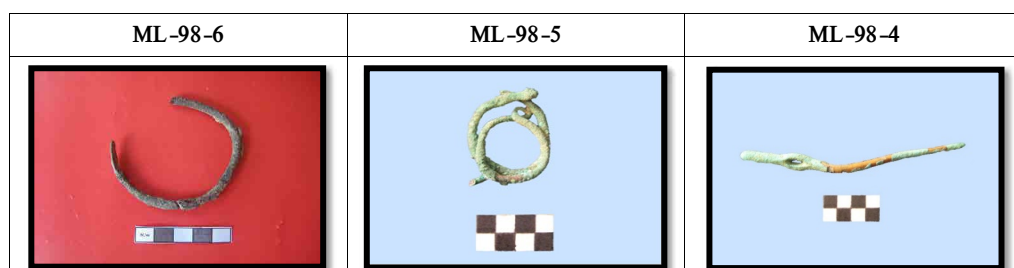
نمونه‌های فلزی به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به دستگاه SEM-EDS مورد مطالعه و بررسی آزمایشگاهی قرار گرفتند. آنالیز همه نمونه‌ها به صورت نقطه‌ای و از سطح مقطع طولی انجام شد. هدف از انجام آنالیز SEM-EDS که بر روی بدنه نمونه‌ها انجام گردید، بررسی ساختار و ترکیب نمونه‌های فلزی بوده است؛ همان‌طور که 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. به همین دلیل احتمال وجود غیر عمدی 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 به دست آمده است؛ زیرا در بعضی از محوطه‌های عصر آهن ایران، از آرسنیک یا آنتیموان برای استحکام بخشی و شکل پذیری بیشتر فلز مس استفاده می‌کردند. ولی نتایج آنالیز عنصری نمونه‌های مفرغی شمال غرب نشان می‌دهند



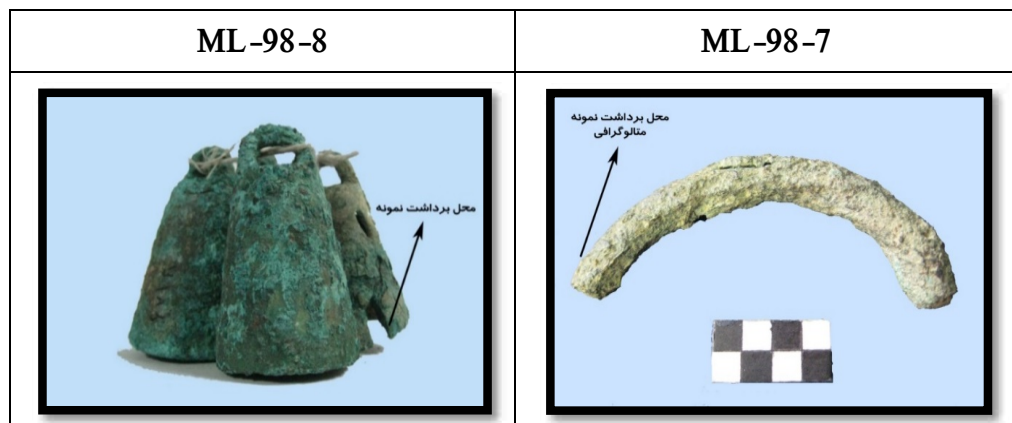
تصویر ۱. نقشه جغرافیایی محوطه‌های عصر آهن منطقه شمال غرب و حوضه دریاچه ارومیه (Danti, 2013).



تصویر ۲. اشیاء فلزی مورد مطالعه، مکشوف از محوطه‌های عصر آهن شمال غرب ایران (از راست به چپ: شماره ۱، ۲ و ۳).



تصویر ۳. اشیاء فلزی مورد مطالعه، مکشوف از محوطه‌های عصر آهن شمال غرب ایران (از راست به چپ: شماره ۴، ۵ و ۶).



تصویر ۴. اشیاء فلزی مورد مطالعه، مکشوف از محوطه‌های عصر آهن شمال غرب ایران (از راست به چپ: شماره ۷ و ۸).

که ساکنین این منطقه به خاصیت سمی بودن آرسنیک پی برده بودند و به همین دلیل از عنصر قلع برای استحکام بخشی و شکل پذیری بیشتر فلز مس استفاده می نمودند. قلع با خلوص بالا، شامل دانه های هم محور است و قلع خالص دارای دانه های دوقلوی متبلور شده در میان مرز دانه های اصلی است. مقطع این نمونه های فلزی در زیر میکروسکوپ بیانگر ماتریس مفرغی است و آنالیز عنصری این نمونه ها نشان می دهد که عناصر اصلی این اشیاء فلزی مس و قلع بوده است. مس خالص به دلیل داشتن نقطه ذوب بالا و جذب گازهایی چون اکسیژن، باعث تشکیل حباب های گاز شده و به صورت متخلخل درمی آید؛ بنابراین وجود قلع علاوه بر پایین آوردن نقطه ذوب، از متخلخل شدن فلز نیز جلوگیری می کرده است. در بیشتر قسمت های آنالیز شده این نمونه های فلزی، عناصر مختلفی چون: سرب، آهن، نیکل و عناصر دیگر وجود دارند، که همه این عناصر فوق مربوط به فرآیند استحصال سنگ معدن مس بوده و به طور طبیعی در سنگ های معدنی مس وجود داشته است و با ساختار اصلی فلزی این نمونه ها مرتبط نیستند (جدول ۱).

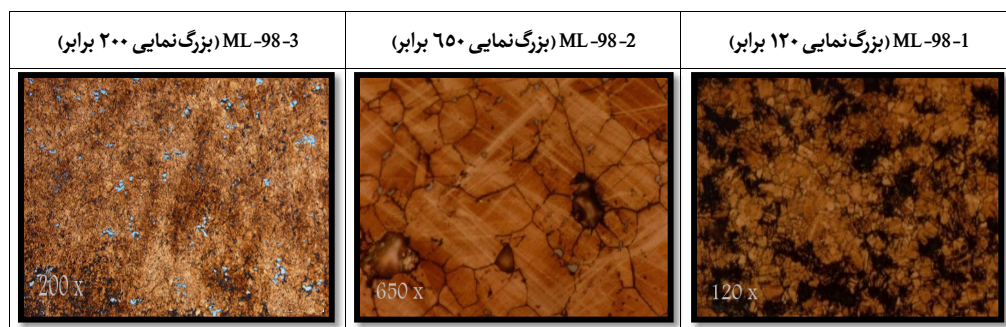
جدول ۱. نتایج آنالیز SEM-EDS برحسب درصد وزنی برروی ماتریس فلزی (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Sample	object	Si	Sb	Ni	P	Zn	Al	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 محوطه حسنلو شماره های ۱، ۲ و ۳ (ML-98-1, 2, 3)

در بررسی های متالوگرافی این سه شیء مفرغی، دانه ها هم محور و بسیار نزدیک به هم نشان داده شده اند، که این بیانگر ساخت این اشیاء به شیوه آهنگری یا چکش کاری گرم بوده است. دانه های فشرده کریستاله در سطح تصاویر متالوگرافی این سه شیء، حاکی از چکش کاری پیوسته سرد و بعد

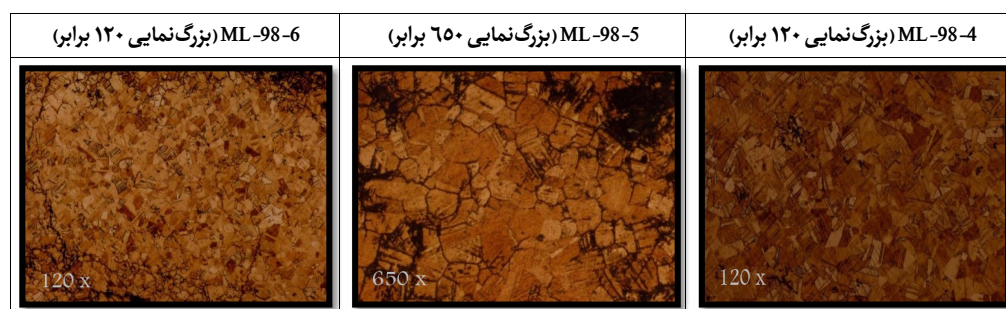
از آن گرم نمودن شیء فلزی و دوباره چکش کاری سرد است؛ هم چنین آخال‌های کشیده در امتداد طولی نمونه‌ها قابل مشاهده است، که این بیانگر استفاده از روش چکش کاری در فرآیند ساخت این اشیاء مفرغی است. ریزساختار در این نمونه‌ها، دانه‌های باز تبلور یافته و خطوط دوقلویی را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده استفاده از روش چکش کاری گرم یا چکش کاری سرد، همراه با تابکاری در ساخت این اشیاء بوده است. حفره‌های سیاه‌رنگی که به‌ویژه بر روی تصویر ML-98-1 مشاهده می‌گردد نیز میزان خوردگی و سولفیداسیون شیء فلزی را نشان می‌دهد (شکل ۵).



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

- آزمایش متالوگرافی سنجاق و گوشواره مفرغی محوطه کردلر تپه و طوق مفرغی گورستان مسجد کبود تبریز شماره ۴، ۵ و ۶ (ML-98-4, 5, 6)

در بررسی‌های متالوگرافی این سه شیء مفرغی، دانه‌های فشرده کریستاله در سطح تصاویر متالوگرافی این سه شیء، حاکی از چکش کاری پیوسته سرد و بعد از آن گرم نمودن شیء فلزی و دوباره چکش کاری سرد است؛ بدین شکل که فلز مورد نظر تا حد برافروختگی حرارت می‌بیند و سپس به‌طور پیوسته مورد چکش کاری قرار می‌گیرد. این وضعیت همان ساختار دوباره متبلور شدن دانه‌ها و خطوط دوقلویی است که بیانگر استفاده از روش چکش کاری به همراه تابکاری متعاقب در فرآیند ساخت این اشیاء مفرغی است. نقاط سیاه‌رنگی که بر روی تصاویر متالوگرافی نمونه‌های ML-98-4 و ML-98-9۸ دیده می‌شوند، نشان‌دهنده وجود اکسیژن، کربن و کاهش میزان مس و قلع است و نشان‌دهنده قسمت‌های خورده شده و سولفیداسیون این نمونه‌های فلزی است (تصویر ۶).

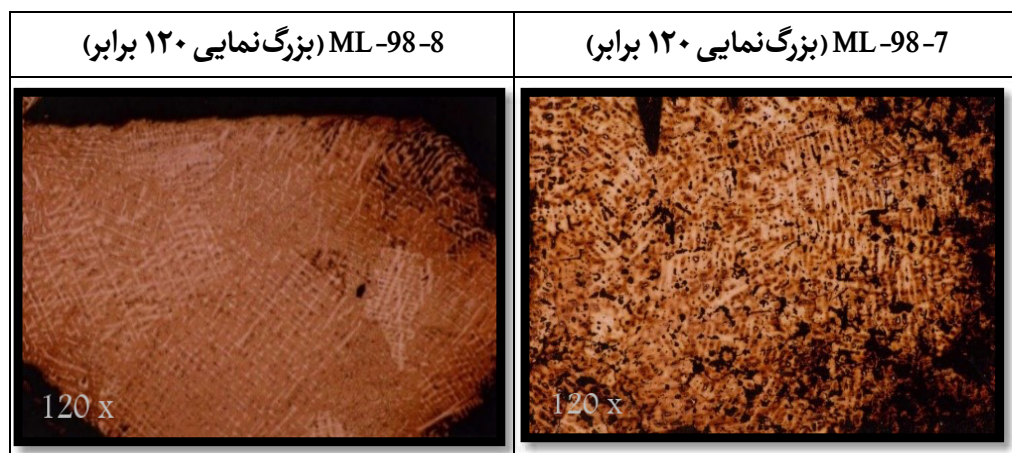


تصویر ۶. تصاویر متالوگرافی سنجاق و گوشواره مفرغی کردلر تپه و طوق مفرغی مکشوف از گورستان مسجد کبود (نگارندگان، ۱۳۹۸).

- آزمایش متالوگرافی دستبندهای مفرغی محوطه هفتوان تپه و زنگوله مفرغی مکشوف از محوطه زیویه شماره ۷ و ۸ (ML-98-7-8)

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

با دامنه انجماد بالا، شیب دمایی کم و سرعت رشد بالا به وجود می‌آیند و نمونه‌هایی که دارای ساختار شاخه‌ای هستند، به روش ریخته‌گری ساخته شده‌اند. تصاویر میکروسکوپی این دو نمونه نشان می‌دهند که نمونه‌های فوق دارای ساختار شاخه‌ای یا دندریتی در بدنه خود هستند؛ بنابراین این نمونه‌ها به وسیله روش ریخته‌گری ساخته شده‌اند، بدین معنی که تصاویر میکروسکوپی دستبند مفرغی هفتوان تپه و زنگوله مفرغی زیویه دارای ساختار یوتکتیک و لایه‌های موجود بر روی شی هستند. حفره‌های تیره‌رنگ در سرتاسر این تصاویر میکروسکوپی دیده می‌شوند، که این حفره‌ها بر اثر خوردگی در سطح ماتریس به وجود 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.



تصویر ۷. تصاویر متالوگرافی دستبند مفرغی هفتوان تپه و زنگوله مفرغی مکشوف از محوطه 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 مورد استفاده برای استحصال و ذوب فلز مس، حاوی مقادیری آرسنیک هستند. به همین 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 به دست آمده است. بر روی تصاویر متالوگرافی نمونه‌های ML-98-1 تا ML-98-6 دانه‌های هم‌محور بسیار نزدیک به هم نشان داده شده‌اند، که درحقیقت حاکی از چرخه کار مکانیکی-گرمایی بیشتر بوده است؛ زیرا فلزکاران باستان از روش تابکاری برای بازگرداندن خاصیت شکل‌پذیری به آلیاژ مفرغ استفاده می‌کردند، که این درمان گرمایی سبب بهبود خاصیت شکل‌پذیری به آلیاژ مفرغ و ارتقاء فرآیند تبلور مجدد دانه‌ها می‌شده است. دانه‌های فشرده کریستاله در سطح تصاویر متالوگرافی این نمونه‌ها، حاکی از چکش‌کاری پیوسته سرد و بعد از آن گرم نمودن شی فلزی و دوباره چکش‌کاری سرد بوده است؛ هم‌چنین آخال‌های کشیده در امتداد طولی نمونه‌ها قابل مشاهده است، که بیانگر استفاده از روش چکش‌کاری در فرآیند ساخت این اشیاء مفرغی است. ریزساختار در این نمونه‌ها، دانه‌های بازتبلور یافته و خطوط دوقلویی را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده استفاده از روش چکش‌کاری گرم یا چکش‌کاری سرد همراه با تابکاری در ساخت این اشیاء است. میزان و

شدت کار و تابکاری انجام شده بر روی قطعات با توجه به ضخامت کم اشیاء و اندازه دانه ها و هم چنین تنش موجود در ریزساختار به خوبی مشخص است؛ بنابراین این نمونه ها با استفاده از روش چکش کاری و تابکاری متعاقب، برای بازگرداندن قابلیت کارپذیری به قطعه ساخته شده اند. در بررسی های متالوگرافی، ریزساختار فلزاتی که ساختار شاخه ای (دندریتی) دارند، فلزاتی هستند که با دامنه انجماد بالا، شیب دمایی کم و سرعت رشد بالا به وجود می آیند و فلزاتی که دارای ساختار شاخه ای هستند، به روش ریخته گری ساخته شده اند. تصاویر متالوگرافی نمونه های ML-98-7 و ML-98-8 نشان می دهند که این دو نمونه دارای ساختار شاخه ای یا دندریتی در بدنه خود هستند و با روش ریخته گری ساخته شده اند؛ هم چنین بر روی تصاویر متالوگرافی نمونه های ML-98-2 و ML-98-3 و نمونه ML-98-6 ترک های بسیار ریزی وجود دارد که به علت تنش و خستگی ناشی از کار چکش کاری مداوم بر روی این آثار فلزی به وجود آمده است. نقاط تیره رنگی که در بیشتر این تصاویر میکروسکوپی دیده می شود، بیانگر وجود اکسیژن، کربن و کمبود مس و قلع است، که باعث خوردگی و سولفیداسیون این اشیاء فلزی شده است.

نتیجه گیری

براساس نتایج به دست آمده از تصاویری که به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به دستگاه SEM-EDS تهیه گردید، مشخص شد که نمونه های فلزی دارای قلع نسبتاً زیادی هستند. هم چنین درصد کمی آرسنیک در نمونه های فلزی مورد آزمایش دیده شده است. با توجه به میزان آرسنیک در این نمونه ها می توان چنین نتیجه گرفت که فلزکاران این دوره ممکن است در آن زمان به مضرات ناشی از کاربرد آرسنیک پی نبرده باشند و به همین دلیل از این عنصر برای بهبود خواص آلیاژ مفرغ استفاده می کردند؛ زیرا فلزکاران باستان برای افزایش سخت کاری اثر از عناصری چون: قلع، آرسنیک و آنتیموان در ترکیب آلیاژ مفرغ بهره می بردند، به ویژه اشیائی که در زمره زیورآلات قرار دارند، برای رسیدن به شکلی مناسب به پرداخت بیشتری نیاز داشته اند. احتمال دیگر وجود غیرعمدی عنصر آرسنیک است و از طرفی وجود مقدار زیادی قلع در این نمونه ها نشان می دهد که احتمالاً عنصر آرسنیک به صورت طبیعی در سنگ های معدنی مس وجود داشته است و فلزکاران باستان برای پایین آوردن نقطه ذوب فلز مس و بالابردن میزان استحکام بخشی و شکل پذیری آن، از فلز قلع استفاده می کرده اند. مطالعات میکروسکوپی اشیاء مفرغی نشان می دهند که تعداد زیادی ترکیبات سولفید مس در نمونه های فلزی وجود دارد. وجود آخال های سولفید مس پخش شده در سطح ماتریس فلزی و کشیده شدن در راستای طولی ریزساختار آلیاژهای مس باستان می تواند بیانگر استفاده از سنگ معدن های اکسیدی همراه با مقداری سنگ معدن سولفید مس برای استحصال باشد. نتایج تصاویر متالوگرافی نمونه های فلزی نشان می دهند که دو روش چکش کاری گرم همراه با تابکاری متعاقب و ریخته گری از روش های اصلی ساخت زیورآلات در محوطه های عصر آهن شمال غرب ایران بوده است. بر روی محصولات چکش کاری شده، کار مکانیکی مانند آهنگری و نورد انجام می شود؛ به همین دلیل ریزساختار آن ها در زیر میکروسکوپ متفاوت است. بیشتر زیورآلات مکشوف از محوطه های عصر آهن شمال غرب، مانند: دستبندها، انگوها و طوق ها، به روش چکش کاری گرم، توأم با تابکاری متعاقب یا آهنگری ساخته شده اند و اشیائی که دارای حجم و تزئینات بیشتری هستند، به روش ریخته گری قالب ریزی شده اند. به طور کلی، اشیاء مکشوف از محوطه های عصر آهن شمال غرب، به ویژه حسنلو به لحاظ فن و سبک ساخت دارای پیچیدگی های بیشتری نسبت به محوطه های عصر آهن دیگر مناطق ایران هستند، که در آن ها حکومت های بومی و محلی وجود داشته است و این به دلیل قرار گرفتن در مجاورت و همسایگی دولت های نیرومندی چون اورارتو و مانا در این منطقه از ایران بوده است.

کتابنامه

- توحیدی، ناصر، (۱۳۶۴)، سیر تکامل تولید آهن و فولاد در ایران و جهان. تهران: امیرکبیر.
- جعفری، علیرضا؛ عودباشی، امید؛ و عابدینی عراقی، مهدی، (۱۳۹۶). «مطالعات میکروسکوپی بر روی اشیاء آهنی باستانی به دست آمده از کاوش‌های باستان‌شناسی شمال ایران». مجله پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، دوره ۷، شماره ۱۵، صص: ۱۴۷-۱۳۱.
- شیخی، مهتا، (۱۳۹۳). آثار گنجینه زیویه. تهران: پازینه.
- علیون، صمد؛ و صدرايي، علی، (۱۳۹۰). مجموعه مقالات کاوش‌های پروژه حسنلو. تهران: گنجینه هنر.
- عودباشی، امید؛ و حسن پور، عطا، (۱۳۹۵). «مطالعات آزمایشگاهی بر روی آلیاژ و ریزساختار اشیاء برنزی محوطه عصر آهن باباجیلان لرستان». مجله مطالعات باستان‌شناسی، دوره ۸، شماره ۱، صص: ۱۴۹-۱۳۳.
- طلائی، حسن، (۱۳۸۱)، باستان‌شناسی و هنر ایران در هزاره اول قبل از میلاد. تهران: سمت.
- طهماسبی، حامد؛ و مسعودی نیا، ذبیح‌الله، (۱۳۹۴). «دستبند کتیبه دار تول تالش، شواهدی از روابط ساکنان منطقه تول تالش و اورارتوها». همایش ملی تالش‌شناسی، رشت: اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری گیلان.
- نعیمی طرئی، پرستو؛ دولتی، ابوالقاسم؛ و امین‌امامی، سیدمحمد، (۱۳۹۶). «مطالعه ریزساختار آثار در فلز مکشوف از محوطه باستانی زیویه». مجله مهندسی متالورژی، دوره ۲، شماره ۳، صص: ۲۳۱-۲۱۹.
- هژبری نوبری، علیرضا، (۱۳۷۹). «گزارش مقدماتی دومین فصل کاوش در محوطه باستانی مسجد کبود تبریز». تهران: مرکز اسناد سازمان میراث فرهنگی کشور (منتشر نشده).
- یاورى، فاطمه؛ عباس‌نژادسرسى، رحمت؛ مرتضوى، محمد؛ و علیدادى سلیمانى، نادر، (۱۳۹۴). «بررسی متالوگرافی OES و SEM سه شیء آلیاژی عصر مفرغ مکشوف از بخش جنوبی حوضه هلیل رود، جیرفت». مجله پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، دوره ۶، شماره ۱۰، صص: ۸۲-۶۷.
- یداللهی هفشجانی، عاطفه؛ بخشنده فرد، حمیدرضا؛ و ایروانی قدیم، فرشید، (۱۳۹۵). «مطالعه آلیاژ و روش ساخت النگوهای اقوام مهاجر اوراسیا: نمونه موردی، النگوهای به دست آمده از گورکان هشت جعفرآباد». مجله مطالعات باستان‌شناسی، دوره ۸، شماره 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 Emergence of Iron use at Hasanlu Expedition". *Penn Museum Expedition*, Vol. 31, Pp: 67-79.