

شناسایی ساختاری و نحوه‌ی ساخت سنجاق‌های میله‌ای آلیاژ مسی به دست آمده از کاوش‌های منطقه‌ی چیا سبز غربی استان لرستان

مهشید صفایی قلاتی *

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته‌ی مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان
Mahshid.7uw80@gmail.com

حمیدرضا بخشنده فرد

استادیار گروه مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی دانشگاه هنر اصفهان

مرتضی حصاری

دانشیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه هنر اصفهان و پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری

شناسه‌ی دیجیتال (DOI): 10.22084/nbsh.2018.11815.1515
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۷
(از ص ۸۵ تا ۱۰۴)

چکیده

محوطه‌های تاریخی، فرهنگی و باستان‌شناسی جلوه‌ی بارزی از تعامل انسان‌های پیشین با جهان پیرامون از گذشته‌های دور تا کنون بوده‌اند؛ در این میان گورستان‌ها بیشترین اطلاعات را درباره‌ی جنبه‌های معنوی نیاکان ما در اختیار قرار می‌دهد. گورستان «چیا سبز غربی»، واقع در دشت‌های غربی منطقه‌ی پیشکوه یا استان لرستان کنونی، یکی از این محوطه‌های ارزشمند تاریخی مربوط به عصر آهن است که در سال ۱۳۸۹ مورد کاوش قرار گرفته و در جریان آن سه عدد سنجاق برنزی به دست آمده است. براساس مقایسه‌ی این سنجاق‌ها با نمونه‌های مکشوف از کاوش‌های علمی باستان‌شناسی این سنجاق‌ها در دسته‌ی سنجاق‌های میله‌ای جای گرفته و تاریخ ساخت آن‌ها را می‌توان مابین مفرغ میانی و اوایل عصر آهن ۱ تاریخ‌گذاری نسبی نمود. با توجه به این‌که این گورستان اخیراً کشف و کاوش شده، تاکنون مطالعه‌ی تخصصی ساختاری، فن‌شناسی به صورت مستقل با استفاده از روش‌های دستگاهی و آزمایشگاهی بر روی اشیای فلزی مکشوف از آن صورت نگرفته است. هدف نگارندگان، مطالعه‌ی سنجاق‌ها از لحاظ گونه و کاربرد و معرفی گورستان چیا سبز غربی، و مطالعه‌ی آن‌ها از نقطه نظر فن‌شناسانه که با پرسش‌هایی در زمینه‌ی گونه‌های سنجاق‌ها و دوره‌ی زمانی، ترکیبات عنصری و روش‌های ساخت و جایگاه تکنولوژیکی منطقه مورد مطالعه دنبال شده است. بدین منظور از روش‌های دستگاهی مانند SEM-EDS, AAS جهت شناخت آلیاژگری، ترکیب شیمیایی آلیاژ، و از رادیوگرافی و متالوگرافی جهت شناخت روش‌های ساخت استفاده شده است. براساس داده‌های آنالیز عنصری، ترکیب عنصری این سنجاق‌ها از نظر فنی مشابه فلزکاری عصر آهن در منطقه‌ی زاگرس مرکزی است. ترکیب به کار رفته در ساخت دو سنجاق، آلیاژ دو جزئی مس-قلع، و در یک سنجاق مس و ترکیب آخال‌ها، سولفید مس بوده که حاکی از استفاده از سنگ‌های سولفیدی بوده است. میزان متغیر قلع در نمونه‌ها را می‌توان ناشی از عدم کنترل آلیاژسازی توسط فلزگران چیا سبز در نظر گرفت. با توجه به تصاویر رادیوگرافی و بررسی‌های ریزساختاری توسط متالوگرافی، این سنجاق‌ها طی عملیات پیوسته‌ی گرمایی/مکانیکی (چکش‌کاری و تابکاری) ساخته شده‌اند.

کلیدواژگان: عصر آهن، چیا سبز غربی، منطقه‌ی لرستان، سنجاق‌های میله‌ای مفرغی، SEM-EDS.

مقدمه

فلزکاری، بیش از دیگر تکنولوژی‌ها، توسط باستان‌شناسان به‌عنوان حساس‌ترین و مهم‌ترین موضوع جهت سنجش پیشرفت‌های فکری و اجتماعی جوامع پیش‌ازتاریخ در نظر گرفته شده است. چارچوب کلی این نگرش، ریشه‌ای عمیق در فرضیه‌ی تکاملی پیوند ذاتی بین پیشرفت فناوری و دستاوردهای اجتماعی است که به‌موجب آن، تکنولوژی به‌عنوان اساس جامعه‌ی انسانی و به‌عنوان یکی از پیش‌شرط‌های پیشرفت جوامع به‌شمار می‌رود (Helwing, 2013: 105). در دوردست‌های تاریخ پُرفراز و نشیب ساکنان فلات ایران، منطقه‌ی زاگرس مرکزی - به‌ویژه لرستان - از جمله مناطقی است که پیوند عمیقی با تکنولوژی فلزگری داشته و نقشی مهم را در پیشرفت تکنولوژی فلزگری ایفا نموده است. در این منطقه می‌توان زوایای پنهان فرهنگ‌های پیش‌ازتاریخ، آغاز تاریخی و اسلامی را پیگیری و آشکار کرد (حصاری و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۸). بیشترین بخش حوزه‌ی فرهنگی زاگرس مرکزی را مناطق پیشکوه (استان لرستان کنونی) و پشتکوه^۱ (استان ایلام کنونی) تشکیل می‌دهند (شیشه‌گر، ۱۳۸۴: ۳۵) که از اوایل قرن بیستم این دو منطقه همواره مورد توجه باستان‌شناسان قرار گرفته‌اند و کاوش‌های باستان‌شناختی در این مناطق اغلب منجر به کشف گورستان‌ها و معدودی از زیستگاه‌های مردم کوچ‌رو و نیمه‌کوچ‌رو، از هزاره‌ی سوم تا هزاره‌ی اول ق. م. شده است و با این‌که این کاوش‌گاه‌ها کمتر مفرغ‌هایی از نوع مفرغ‌های لرستان معروف را عرضه کرده‌اند، اما جنبه‌هایی از هنر، صنعت و شیوه‌های معیشتی این مردم را آشکار ساخته‌اند (شیشه‌گر، ۱۳۸۴: ۱۰). از جمله محوطه‌هایی که در حوزه‌ی فرهنگی زاگرس مرکزی کاوش شده، محوطه‌ی گورستان چپاسبز غربی مربوط به عصر آهن، واقع در دشت‌های غربی منطقه‌ی پیشکوه یا استان لرستان است. پژوهش در محوطه‌ی تاریخی چپاسبز با توجه به موقعیت جغرافیایی و وجود اشکفت‌ها و غارهای متعدد در پیرامون آن از حساسیت خاصی برخوردار است. از مهم‌ترین داده‌های منسجم باستان‌شناسی که بیشترین اطلاعات را درباره‌ی جنبه‌های معنوی فرهنگ‌های مردمان و نیاکان ما در گذشته در اختیار ما قرار می‌دهد، همین گورستان‌ها و بقایا و یافته‌های مرتبط با آیین تدفین است (امیری و حصاری، ۱۳۸۹: ۱۷۱؛ طلائی، ۱۳۸۷: ۱۱۱). از کاوش‌های گورستان چپاسبز غربی تعداد سه عدد سنجاق میله‌ای برنزی به‌دست آمده است. سنجاق‌ها یکی از متنوع‌ترین اشیای فلزی ساخته شده در لرستان بوده و از جمله اشیایی هستند که در تمام مجموعه‌های برنزی لرستان یافت می‌شوند (کورتیس، ۱۳۸۷: ۵۵)؛ بنابراین تاریخ‌گذاری نمونه‌هایی که در کاوش‌های غیرمجاز به‌دست آمده، به‌ویژه سنجاق‌هایی با تزیین‌کننده یا قالبی، بسیار مشکل است و کشف حتی یک عدد از آن‌ها در یک کاوش برنامه‌ریزی شده اهمیت خاصی برای تاریخ‌گذاری آن‌ها در غرب ایران به‌ویژه منطقه‌ی لرستان دارد (شیشه‌گر، ۱۳۸۴: ۲۲۹). این اشیاء مانند دیگر اشیای باستانی، تولید و فرآورده‌ی ساکنان بومی منطقه‌ای زاگرس در ایران بوده که تحت تأثیر جهان بینی، سبک و شیوه‌ی بومی منطقه‌ی ایران و از جنبه‌های مختلف از هنر اقوام پیرامون تأثیر پذیرفته‌اند (دادور و مصباح‌اردکانی، ۱۳۸۶: ۱۵۲). تاکنون به‌صورت تخصصی به این دسته از اشیاء لرستان که دارای

گونه‌های متنوع، روش‌های ساخت مختلف و کارکردهای متفاوتی بوده‌اند، پرداخته نشده است و عملکرد این سنجاق‌ها، هنوز در بیشتر موارد غیرقطعی باقی مانده است (نیکنامی و موچشی، ۱۳۹۲: ۳۳۱). با توجه به این‌که منطقه‌ی چیا سبز غربی در لرستان به تازگی توسط باستان‌شناسان کاوش شده؛ لذا تاکنون هیچ‌گونه بررسی و مطالعه‌ی تخصصی و فنی در خصوص این منطقه و به‌ویژه اشیاء فلزی این منطقه صورت‌گرفته نشده بود. در این پژوهش به شناسایی گونه و کاربرد، شناسایی ساختاری، نحوه‌ی ساخت، سه عدد سنجاق برنزی پرداخته شده است.

پرسش‌های پژوهش: در راستای نیل به اهداف گفته شده، چهار پرسش اصلی مطرح شده و در روند انجام این پژوهش، تلاش بر آن است تا براساس مطالعات انجام شده بتوان به پاسخی برای پرسش‌ها ارائه شود؛ ۱- تکنیک و نحوه‌ی ساخت این اشیاء چیست؟ ۲- جایگاه تکنولوژیکی فلزگری در این برهه‌ی زمانی در این منطقه چگونه بوده است؟ ۳- ترکیب و مواد متشکله‌ی به‌کاررفته در این آثار چیست؟ ۴- سنجاق‌ها به چند گونه قابل معرفی و به چه دوره‌ی زمانی قابل انتساب می‌باشند؟

روش پژوهش: نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش، سه سنجاق فلزی هستند که از کاوش گورستان چیا سبز غربی به‌دست آمده‌اند که به فراخور نیاز و امکان از مطالعات کتابخانه‌ای و روش‌های دستگامی و آزمایشگاهی جهت نیل به اهداف مورد نظر در این پژوهش استفاده شده است.

پیشینه‌ی پژوهش

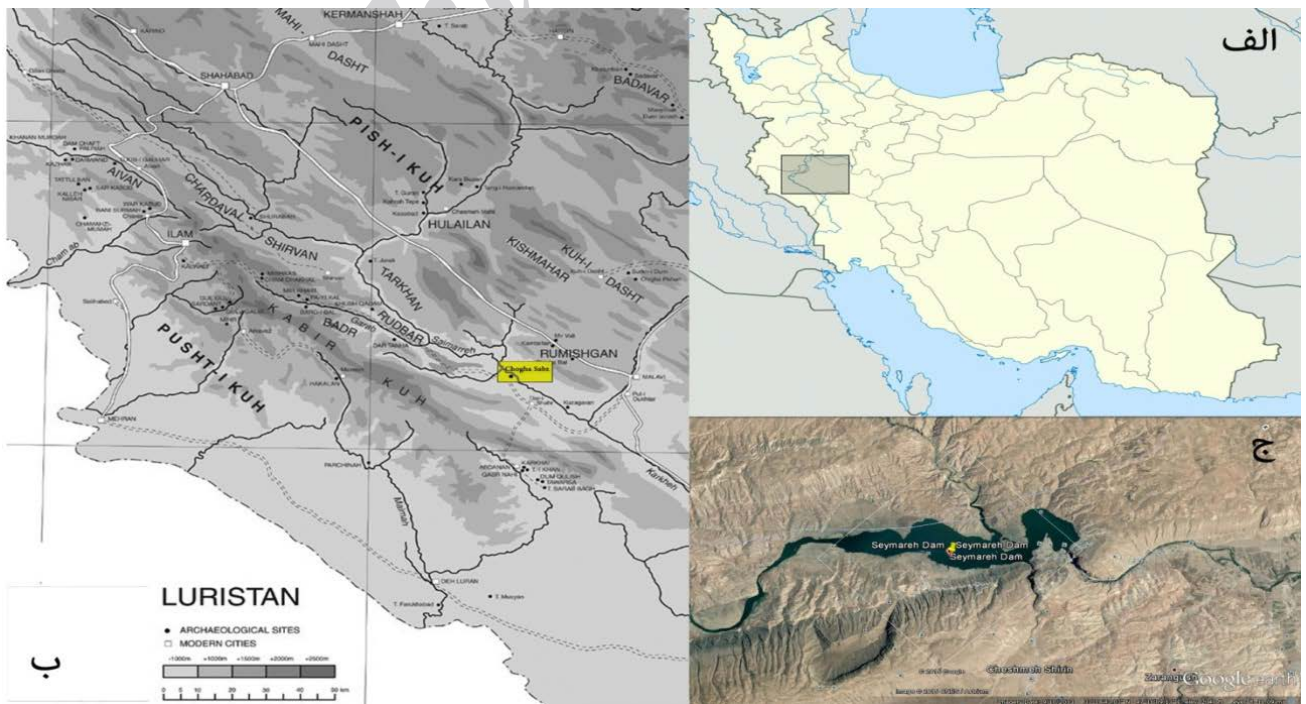
ادبیات باستان‌شناسی علمی اشیاء فلزی در منطقه‌ی زاگرس مرکزی و به‌ویژه لرستان بسیار گسترده بوده و پژوهش‌های بسیاری در این منطقه صورت گرفته است که به دلیل مجال اندک نمی‌توان به همه‌ی آن‌ها اشاره نمود. در میان این پژوهش‌ها، اشاراتی کوچک به منطقه‌ی باستانی چیا سبز شده که بیشتر در رابطه با سایت تاریخی نوسنگی چیا سبز شرقی بوده و با توجه به این‌که منطقه‌ی چیا سبز غربی اخیراً شناسایی شده اطلاعات چندانی به‌جز گزارش کاوش منتشر شده، در دست نیست. باقی پژوهش‌ها، پژوهش‌هایی از نقطه نظر گونه‌شناسی سنجاق‌ها و در موارد اندک، فن‌شناسی سنجاق‌ها بوده که عبارتند از: شیشه‌گر، ۱۳۸۴؛ طلایی، ۱۳۸۶؛ بروجنی، ۱۳۸۶؛ دادور و مصباح‌اردکانی، ۱۳۸۶؛ طلایی، ۱۳۸۷؛ عودباشی و همکاران، ۱۳۸۹؛ امیری و حصاری، ۱۳۸۹؛ حصاری و امیری، ۱۳۸۹؛ رشیدی، ۱۳۹۰؛ هژبری نوبری و سبزی‌دوآبی، ۱۳۹۰؛ Darabi 2011; Darabi; D Glasscock, 2013؛ دارابی، ۱۳۹۲؛ نیکنامی و موچشی، ۱۳۹۲؛ حصاری و همکاران، ۱۳۹۲؛ و غیره.

موقعیت طبیعی و مکانی و توصیف محوطه‌ی چیا سبز غربی (گورستان چیا سبز غربی)

محوطه‌ی چیا سبز غربی دارای وسعتی بیش از ۳ هکتار است که از قسمت شمال به جاده‌ی خاکی راموند-چم‌قویله و ارتفاعات ویزنه‌هار، از قسمت شرق به محوطه‌ی نوسنگی چیا سبز شرقی و نهایتاً از قسمت جنوبی و غربی به دره‌هایی با شیب تند که

رود سیمره در آن‌ها جریان دارد، منتهی می‌شود. این محوطه در حدود ۳ کیلومتری شرق دهکده‌ی متروکه‌ی رماوند، بخش کونانی، از توابع شهرستان کوه‌دشت استان لرستان و در ۹ کیلومتری شمال غربی سد سیمره قرار گرفته و محوطه‌ی نوسنگی چیا سبز شرقی در ۵۰ متری بخش شرقی این محوطه واقع شده است (نقشه ۱). این محوطه بر روی صخره‌ای طبیعی با اختلاف ارتفاع تقریبی ۶۵ متری نسبت به رودخانه‌ی سیمره در محدوده‌ی حوضه‌ی آبگیر سد سیمره و در خاک استان لرستان قرار دارد (امیری و حصار، ۱۳۸۹: ۱۷۱). نهشته‌های فرهنگی این محوطه بر روی صخره‌ای طبیعی تشکیل یافته که از چهار جهت دارای شیب ملایم و تند و در ارتفاع ۷۲۵ متری از سطح دریا قرار گرفته است (امیری و حصار، ۱۳۸۹: ۷۲). براساس گزارش کاوش گروه باستان‌شناسی، جهت کاوش در این محوطه، ۳ کارگاه برای شناخت آثار این گورستان در ابتدای فصل کاوش گشوده شده که کاوش در این محوطه منجر به کشف ۵ عدد گور، در کارگاه شماره‌ی ۱، که شامل گور ۲ کودک و ۳ بزرگسال که به صورت جنینی و فقط یک مورد به صورت نیمه جنینی دفن شده بودند که این شیوه‌ی تدفین حاکی از پیروی مردمان چیا سبز غربی در عصر آهن از سنت‌های تدفین در دیگر دوره‌های قبل منطقه و هم‌چنین ارتباط با دیگر جوامع هم‌عصر خود در منطقه‌ی پیشکوه است (همان: ۱۷۰). گور نهاده‌های به دست آمده از قبرستان چیا سبز غربی شامل گونه‌های مختلف ظروف سفالی، فلزی به مانند گوشواره، سنجاق (اشیاء مورد مطالعه در این پژوهش)، پلاک و جام برنزی بوده که براساس مطالعه‌ی تطبیقی آن‌ها با یافته‌های فرهنگی محوطه‌هایی مانند چغاسبز، کموتلان ۲، سُرخ‌دم لری و زرده‌سوار، می‌توان مجموعه‌ی به دست آمده از چیا سبز غربی را مابین مفرغ میانی تا عصر آهن ۱ تاریخ‌گذاری نسبی نمود (امیری و حصار، ۱۳۸۹: ۱۷۶). نتایج کاوش فصل اول

نقشه ۱. الف، محل قرارگیری منطقه‌ی مورد پژوهش بر روی نقشه ایران (Anthrogen- 94). ب: محل قرارگیری محوطه‌ی تاریخی چیا سبز در دره‌ی رومیشگان (Fleming et al., 2006). ج: حوضه‌ی آبگیر رود سیمره (Google Earth, 2015).







براساس گورنهادها، یک گورستان در برهه‌ی زمانی مفرغ میانی و اوایل عصر آهن را نشان می‌دهد. این توالی فرهنگی-تاریخی با توجه به ساختار معماری گورها و نوع معماری آن‌ها در مرحله‌های زمانی مختلف قابل تشخیص هستند. با توجه به گورنهادها، گورستان چیا سبز غربی در مرحله‌های مختلف فرهنگی-تاریخی، برای تدفین افراد با رتبه‌ی اجتماعی بالای این منطقه مورد استفاده قرار می‌گرفته است (همان: ۱۷۷). لازم به ذکر است که با توجه به گزارش کاوش، سنجاق‌های مورد مطالعه از گور شماره‌ی دو که احتمالاً مربوط به مرد جوانی است، کشف شده و این اشیاء در جلو قفسه‌ی سینه‌ی اسکلت جای‌گرفته بودند.

معرفی آثار و ذکر نمونه‌های مشابه

امروزه، براساس مطالعات و آزمایش‌های صورت‌پذیرفته بر روی سنجاق‌ها، مشخص شده که بسیاری از آن‌ها، متعلق به عصر آهن بوده و عمدتاً از درون گورهای عصر آهن و گاه اماکن مقدس (مانند معبد سُرخ‌دم)، کشف شده‌اند (هژبری‌نوبری و سبزی‌دوآبی، ۱۳۹۰: ۷۷). جنس عمده‌ی سنجاق‌ها در زاگرس مرکزی از مفرغ و گاه آهن بوده، که سنجاق‌های مورد مطالعه در این پژوهش از جنس مفرغ هستند. آثار مشابه این‌گونه سنجاق‌های لرستان در اکثر مناطق ایران امروزی (شمال، شمال غرب و مرکز) به شکل‌های مشابه و گاه با اندکی تغییر ساخته شده‌اند (همان: ۱۷۴). نمونه‌های مشابه این سنجاق‌ها در بسیاری از محوطه‌های باستانی در ایران، مانند: سیلک، هفتوان تپه، دینخواه تپه، کردلر تپه، حسنلو، قبرستان مارلیک، کلورز، مسجدکبود و بسیاری دیگر از محوطه‌های باستانی یافت شده است (همان). هم‌چنین تنوع سنجاق‌های میله‌ای در لرستان بیشتر از مناطق دیگر بوده، چنان‌که در مناطق دیگر تنوع «سنجاق‌های میله‌ای» کمتر، و «سنجاق‌های قفلی» بیشترین تعداد را دارا هستند؛ هرچند نمونه‌ی سنجاق‌های کشف شده از مناطق دیگر در مقایسه با لرستان کمترند، ولی شباهت‌های زیادی با هم داشته که به طور قطع، حاکی از تأثیر فرهنگی مشترک است (همان: ۱۷۵). از این دست سنجاق میله‌ای ساده نمونه‌ای از معبد سُرخ‌دم کشف شده که نمونه‌های مشابه این سنجاق از تپه‌ی باباجان لرستان، مربوط به آهن II؛ سرخ‌دم لری، مربوط به آهن II و III و گورستان ورکبود پشتکوه ایلام، مربوط به آهن III به دست آمده‌اند (شیشه‌گر، ۱۳۸۸: ۲۲۹). به طور کلی، نمونه‌های مشابه این سنجاق‌ها در خارج از ایران، از فرهنگ‌هایی مانند: میتانی، اورارتو، قفقاز، سوریه، مصر، یونان، ایتالیا، آشور، فلسطین و غیره به دست آمده‌اند که حاکی از روابط فرهنگی مناطق پیرامون هم‌جوار با منطقه‌ی زاگرس مرکزی است؛ اما معمولاً از لحاظ نقش و نوع ساخت تفاوت‌هایی با هم دارند (هژبری‌نوبری و سبزی‌دوآبی، ۱۳۹۰: ۱۷۶). سنجاق‌هایی با سر ساده نیز از مناطق میتانی، آناتولی و فریگیه به دست آمده‌اند که شبیه به هم هستند (همان: ۱۷۵ و ۱۷۶).

همان‌طور که در جدول ۱ قابل مشاهده است، سنجاق‌های مکشوف از سایت چیا سبز غربی از لحاظ فرمی بسیار ساده و در اندازه‌های متفاوت هستند. هر سه سنجاق از نوع میله‌ای و ساده و عاری از هرگونه تزیینات می‌باشند. سنجاق شماره‌ی دو به دلیل

جدول ۱. معرفی سنجاق‌های به‌دست‌آمده از گورستان چپاسبز غربی و ذکر نمونه‌های مشابه (نگارندگان، ۱۳۹۶).

نمونه‌های مشابه		سنجاق‌های چپاسبز غربی	
			
عصر آهن	هزاره‌ی دوم و اول	عصر آهن	دوره‌ی زمانی
دینخواه تپه III	-	معبد سرخ دم	محل کش
(Muscarella, 2013: 181)	(Moorey, 1971: 175, Nr 222 Taf: 41)	(Muscarella, 2013: 420)	مآخذ
			نگارنده

نوک گرد و پهن، بیشتر به میله‌ی فلزی شباهت دارد تا سنجاق و با توجه به مطالعات صورت‌پذیرفته بر روی سنجاق‌ها، سنجاقی با نوک گرد و پهن مشاهده نشده است.

کاربرد سنجاق‌ها

باستان‌شناسان و محققین کاربردهای متعددی برای این‌گونه سنجاق‌ها در نظر گرفته‌اند کاربردهایی نظیر زینت مو، کاربرد نذری و برای وصل نمودن لباس که رایج‌ترین کاربرد برای این سنجاق‌ها، به‌عنوان زینت مو و برای بستن مو دانسته می‌شود، چنان‌که این سنجاق‌ها بیشتر با نام «سر سنجاق» شناخته می‌شوند. شاید این تفکر از آنجا مایه گرفته باشد که در طی کاوش‌های صورت‌گرفته در گورستان‌های لرستان مانند گورستان کول‌خانان، ورکبود، پشتکوه و غیره، بسیاری از این سنجاق‌ها در گورهای زنان و در کنار مجموعه‌ی اجساد یافت شده‌اند (حیدری و صفری، ۱۳۸۸: ۷). برای نمونه در یکی از گورهای گورستان ورکبود، یک عدد سنجاق بر روی مجموعه‌ی یکی از اجساد قرار داشته است (Haerink & Overlate, 2004: 72-73). کاربرد دیگری که برای سنجاق‌های میله‌ای بیان شده، استفاده از آن‌ها برای وصل کردن لباس و بستن لباس بر روی سینه است (شیشه‌گر، ۱۳۸۴: ۲۲۹؛ طلائی، ۱۳۸۷: ۸۲؛ حیدری و صفری، ۱۳۸۸: ۹؛ هژبری نوبیری و سبزی‌دوآبی، ۱۳۹۰: ۱۷۳). البته در این مورد، سنجاق‌هایی با سر ساده و تزئینات کمتر استعمال می‌شده است. به این صورت که یک جفت سنجاق را بر روی سینه بسته و پس از عبور از لای لباس، روی شانه‌ها و در نزدیک چهره قرار می‌دادند (حیدری و صفری، ۱۳۸۸: ۸). در میان یافته‌های حاصل از کاوش‌های گورهای پشتکوه لرستان نیز در برخی از قبور، سنجاق‌های جفتی به‌دست آمده که وجود بقایای تار و پود پارچه بر روی آن‌ها، تأییدی بر این مدعاست (همان). از کاربردهای دیگر آن‌ها، استفاده از سنجاق‌ها به‌عنوان اشیای نذری بوده است. نمونه‌های بسیاری از این نوع سنجاق‌های نذری از کاوش معبد سرخ دم لری به‌دست آمده که این سنجاق‌ها، به‌عنوان نذر در درز دیوار معبد قرار داده شده

بودند (شیشه‌گر، ۱۳۸۴: ۲۲۹). لازم به ذکر است که سنجاق‌هایی که در این دسته قرار می‌گیرند بیشتر سنجاق‌های دارای تزیین با نقوش اساطیری و نمادین برگرفته از مذهب و آیین این مردمان بوده و این امر، کاربرد این اشیاء را به عنوان اشیای نذری و آیینی مسلم‌تر می‌کند (همان). با توجه به ساده بودن و عدم وجود تزیین و شکل خاص و هم‌چنین محل قرارگیری سنجاق‌های مورد مطالعه در این پژوهش در جلو قفسه‌ی سینه اسکلت، کاربرد زینتی بودن برای مو و نذری بودن کمتر محتمل به نظر می‌رسد و می‌توان این احتمال را داد که کاربرد این سنجاق‌ها جهت بستن لباس بوده است. هم‌چنین به دلیل شکل زمخت سنجاق شماره‌ی دو، مشکل می‌توان کاربردی را برای آن در نظر گرفت.

معرفی روش‌ها

جهت به دست آوردن اطلاعاتی در مورد ساختمان اشیاء مورد مطالعه و هم‌چنین نحوه‌ی توزیع چگالی در اشیاء، آسیب‌ها و تزیینات احتمالی و غیره، از روش غیرتخریبی رایوگرافی در آزمایشگاه رادیوگرافی دانشکده‌ی مرمت دانشگاه هنر اصفهان توسط دستگاه Gilardoni ساخت کشور ایتالیا، با شدت جریان ۴/۵ آمپر، ولتاژ ۷۰ KV با مدت زمان پرتودهی دو دقیقه و با فاصله‌ی نیم متر استفاده شد. هم‌چنین به منظور تشخیص عناصر تشکیل‌دهنده‌ی آلیاژ و تعیین مقدار نسبی آن‌ها، و با توجه به ماهیت نقطه‌ای بودن آنالیز SEM نمونه برداری‌ها از مغز فلزی نمونه‌ها و از قسمت انتهایی سنجاق‌ها به وسیله مته و به آرامی صورت پذیرفت. نمونه‌ها به درستی توزین و در اسید کلریدریک حل و سپس با آب مقطر به حجم مورد نظر رسانده شدند. نمونه‌های محلول برای قرار گرفتن در غلظت‌هایی که در بازه‌ی تشخیص دستگاه باشند، باید رقیق شده و به همین منظور از محلول‌های آماده شده با توجه به غلظت‌های مربوطه نمونه برداشته و رقیق شدند. استانداردهای مورد نظر براساس عناصری که برای مطالعه و آنالیز مدنظر است، که شامل مس، قلع، روی و سرب هستند از نمک‌های تجاری آن‌ها به ترتیب $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ، $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ، $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ، $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ، در غلظت‌های قابل قبول دستگاه ساخته شدند، به این ترتیب که برای مس ۵ استاندارد (۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ ppm)، برای قلع ۱۴ استاندارد (۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ ppm) و برای سرب نیز ۴ استاندارد (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ ppm) تهیه شد. در نهایت با توجه به جذب استانداردهای مربوطه، جذب و غلظت هر عنصر در نمونه‌های مجهول سنجیده و مقدار کمی از آن برای هر کدام از اشیاء محاسبه و نتایج آن در بخش بعدی، بخش نتایج آورده خواهد شد. متأسفانه امکان سنجش آرسنیک به دلیل ماهیت سمی آن، در آزمایشگاه میسر نبود و تنها به سنجش چهار عنصر ذکر شده بسنده شد. لازم به ذکر است که این آنالیز در آزمایشگاه شیمی دانشکده‌ی مرمت دانشگاه هنر اصفهان به وسیله‌ی دستگاه طیف سنج جذب اتمی مدل (Perkin-Elmer 2330) صورت پذیرفت. به منظور مطالعات متالوگرافی نمونه‌های تحت بررسی، مقاطع صیقلی نمونه‌ها تحت مطالعات میکروسکوپی قبل و بعد از اچ (حکاری) قرار گرفتند. مطالعات متالوگرافی توسط میکروسکوپ پلاریزان

مدل BK-POL/BK-POLR (مجهز به دوربین کانن EOS KISS X4 CCD) در آزمایشگاه دانشگاه هنر اصفهان صورت پذیرفت و جهت اچ کردن نمونه‌ها از محلول اچ کلروفریک (71: 1991: Scott)، (۱۰ گرم $FeCl_3$ ، ۳۰ میلی لیتر HCl در ۱۲۰ میلی لیتر آب) استفاده شد. جهت تجزیه و تحلیل ویژگی‌های میکروساختاری و ترکیب آلیاژ و هم‌چنین ناخالصی‌های احتمالی موجود در آن‌ها، و ترکیب شیمیایی فازهای مختلف موجود در مقاطع اچ نشده‌ی نمونه‌های مورد مطالعه، از آنالیز کمی SEM-EDX به شیوه‌ی نقطه‌ای، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل MIRA3، ساخت شرکت TESCAN، جمهوری چک، مجهز به دستگاه اسپکتروفوتومتر تفرق اشعه‌ی ایکس مجهز به سیستم آنالیز عنصری کامسکان (EDS)، مدل RONTEC، ساخت کشور آلمان، دارای نرم‌افزار QUANTAX مدل QX2، در بنیاد علوم کاربردی رازی استفاده شد. نمونه‌ها توسط ورق طلا پوشش داده شده و مورد بررسی و آنالیز قرار داده شدند.

نمونه	Cu	Sn	Pb	Zn
R.N:1046	۸۳/۳۳	۱/۲۵	۰/۲۷	۰/۰۱
R.N:1036/1	۹۵/۸	ناچیز	ناچیز	ناچیز
R.N:1025/1	۸۹/۹۲	۴/۵۳	۰/۲۶	ناچیز

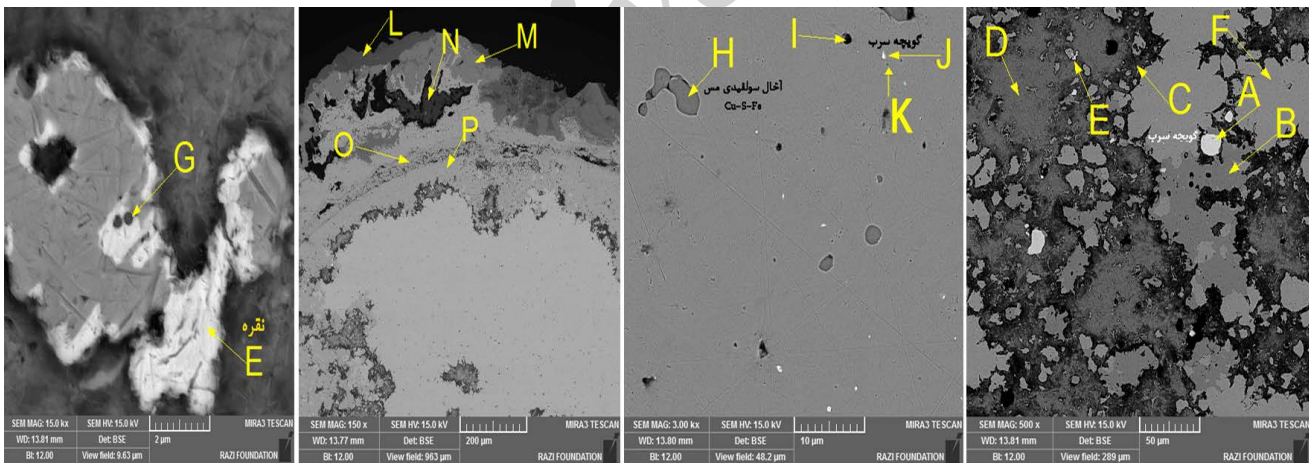
جدول ۲. نتایج آنالیز عنصری مغز فلزی سنجاق‌های مورد مطالعه بر حسب درصد وزنی، به روش AAS (نگارندگان، ۱۳۹۶).

نتایج و بحث ترکیب آلیاژ

طیف سنجی جذب اتمی (AAS): نتایج آنالیز عنصری مغز فلزی سنجاق‌های مورد مطالعه بر حسب درصد وزنی، به روش AAS، در جدول (۲) آورده شده است. همان‌طور که از نتایج آنالیز برمی‌آید هر سه سنجاق از آلیاژ پایه‌ی مسی ساخته شده و میزان قلع در آن‌ها متغیر است. میزان ناچیز سرب و روی در نمونه‌ها، قابل‌تعمیم به ناخالصی وارد شده از طریق سنگ معدن هستند. نتایج به دست آمده از هر نمونه تا حد زیادی نزدیک به میزان شناسایی شده در آنالیز EDS است. در بخش آنالیز SEM-EDS، به‌طور مفصل به حضور عناصر در درصد‌های مختلف پرداخته شده است.

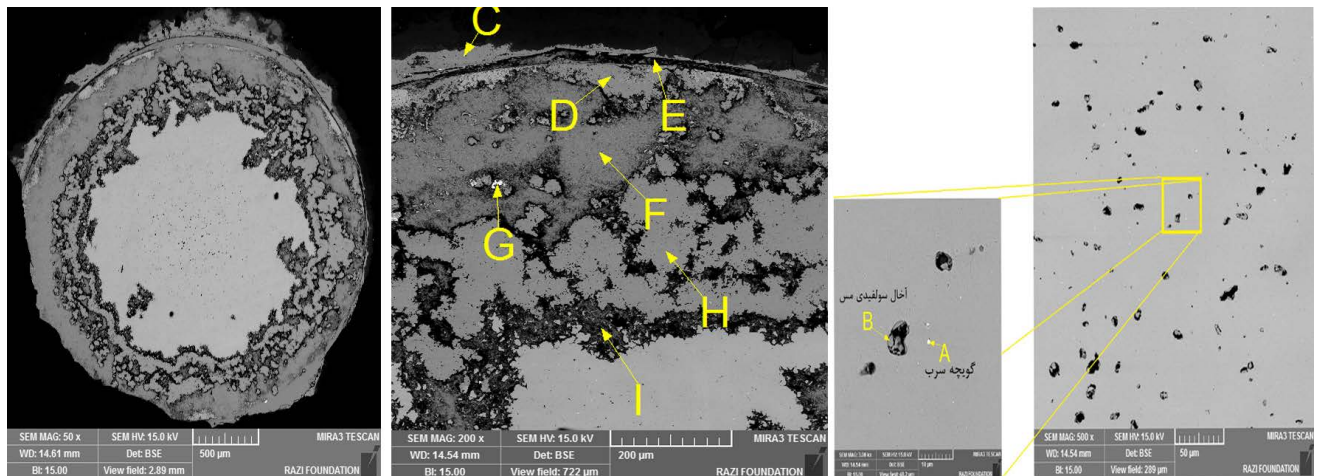
نتایج آنالیز نیمه‌کمی SEM-EDX (میکروسکوپ الکترونی روبشی): همان‌طور که پیش‌تر آورده شد، آنالیز نیمه‌کمی SEM-EDS جهت شناسایی ساختار سه نمونه سنجاق فلزی به دست آمده از سایت چیا سبز غربی استفاده شد و نتایج آنالیز نقطه‌ای EDS در جداول (۳-۶) آورده شده است. با توجه به نتایج آنالیز شیمیایی نیمه‌کمی SEM، واضح است که این سنجاق (سنجاق شماره‌ی یک (R.N: 1046)) از آلیاژ دو جزئی مس و قلع یا برنز قلعی ساخته شده و بقیه‌ی عناصر به صورت ناخالصی و تصادفی به ترکیب آلیاژ وارد شده‌اند. با توجه به درصد بالای مس و میزان پایین قلع، این شیء از برنز کم قلع ساخته شده است. همان‌طور که در برخی منابع اشاره شده قلع در حدود ۱٪ وزنی نیز می‌تواند به اندازه‌ی کافی شیء را برای برنز قلعی بودن واجد شرایط بنماید

(Kaniuth, 2007: 30). اشیای برنزی باستانی تهیه شده به وسیله‌ی بازیافت، معمولاً حاوی درصد کمی قلع هستند. به دلیل اکسیداسیون انتخابی (ترجیحی) قلع هنگام ذوب که در نتیجه باعث تولید اشیای برنزی با میزان قلع کم می‌شود (Figueredo, 2010: 1629). کنیوث در مقاله‌ی خود، اشیاء حاوی ۱-۳٪ وزنی قلع را جزو اشیای ساخته شده از برنز کم قلع دسته‌بندی نموده است (Kaniuth, 2007: 30). هم‌چنین میزان قلع در نقاط L-M-O و P به ترتیب ۰/۳۲، ۱/۰۱، ۱/۳۳، ۵/۳۸٪ وزنی است. نتایج نشان‌دهنده‌ی این است که میزان قلع از درونی‌ترین لایه به بیرونی‌ترین لایه تقلیل یافته است. به دلیل آندی بودن قلع نسبت به مس، در ابتدا قلع اکسیده و خورده می‌شود (مرتضوی، ۱۳۸۳). در آلیاژهایی که از یک سیستم چند جزئی ساخته شده‌اند، به‌عنوان مثال مس-ارسنیک، مس-قلع و غیره که در حالت مذاب کاملاً همگن هستند، ممکن است به شیوه‌ای کاملاً غیرهمگن جامد شوند (Atzeni 2005: 22). هنگامی که برنز قلعی ریخته‌گری می‌شود احتمال این که دچار جدایش^۲ شود بسیار زیاد است (Scott, 1991: 24). فاز اولی که جامد می‌شود غنی از عنصری است که بالاترین نقطه‌ی ذوب را داراست که در آلیاژهای مس، به‌طور اخص می‌توان از مس نام برد. در ادامه، فاز متعاقباً از دیگر عناصر مثل ارسنیک و قلع با نقطه‌ی ذوب پایین غنی می‌شود (همان)؛ بنابراین مرکز دندریت‌ها غنی از مس (چون همان‌طور که گفته شد مس دارای نقطه‌ی ذوب بالاتری است) و رشد متوالی بازوها (شاخه‌ها) نتیجه‌ی رسوب قلع است. در آلیاژهای حاوی قلع کمتر (۲-۵٪) ممکن است که همه‌ی قلع جذب رشد دندریت‌ها شود (Scott, 1991: 24).



▲ تصویر ۱. تصاویر BSE مقطع عرضی سنجاق شماره‌ی یک (R.N: 1046) قبل از اچ (نگارندگان، ۱۳۹۶).

در مورد سنجاق شماره‌ی دو، نتایج آنالیز کلی، از ماتریس فلزی حضور عناصری چون مس (۸۸/۹۴٪)، سرب (۲/۶۶٪)، ارسنیک (۱/۳۳٪)، آهن (۱/۳۷٪)، گوگرد (۱/۰۱٪) و اکسیژن (۱/۸۹٪) را نشان می‌دهد. نکته‌ای که اینجا حائز اهمیت است، عدم حضور قلع به‌عنوان عنصر آلیاژ ساز در ترکیب این آلیاژ است. همان‌طور که در جدول ۴ آمده، میزان قلع در ماتریس اصلی کم‌تر از نیم درصد وزنی (۰/۴۷٪) است و تنها در دو نقطه‌ی D و G به ترتیب به میزان (۱/۷۴٪) و (۱/۰۳٪)، شاهد حضور قلع هستیم.

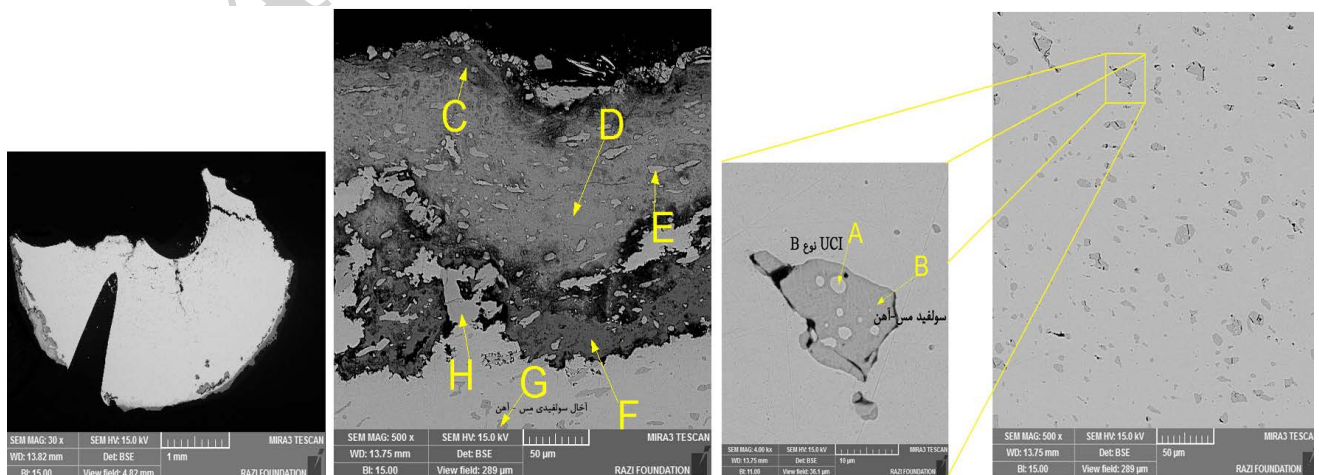


▲ تصویر ۲. تصویر BSE از مقطع عرضی سنجاق شماره‌ی دو (R.N: 1036/1) قبل از اچ (نگارندگان، ۱۳۹۶).

حضور آرسنیک را می‌توان به‌عنوان ناخالصی وارد شده به‌صورت تصادفی از سنگ معدن در نظر گرفت (Friede & Steel, 1976: 466). احتمالاً این میزان سرب به‌عنوان ناخالصی وارد ترکیب شده است و همان‌طور که در نتایج آنالیز آورده شده گویچه‌ی سرب در هیچ‌یک از نقاط آنالیز شده مشاهده نشده است. در کنار عناصر اصلی گفته شده، عناصر دیگری از قبیل روی، نیکل، آنتیموان، کلر و سیلیس، نیز به‌صورت جزئی و کمتر از یک درصد وزنی در ساختار حضور دارند که حضور آن‌ها ناشی از ناخالصی‌های موجود در سنگ معدن مورد استفاده و یا مربوط به خاک محل دفن شیء هستند.

در مورد نقطه‌ی A، با قطعیت نمی‌توان اظهار نظر نمود ولی با توجه به شواهد، احتمالاً نقطه‌ی A و نقاط شبیه به آن در ماتریس فلزی، آخال مس آلیاژ نشده هستند.^۴ UCI‌ها به اشکال مختلف از شکل مدور کوچک تا اشکال نامنظم دیده می‌شوند و اغلب در مجاورت سولفید مس بوده و هاله‌ای از سولفید مس آن‌ها را احاطه کرده است (Bosi & Garagnani, 2002: 4291-2). می‌توان این احتمال را داد که ناحیه‌ی A، با توجه به شکل کروی و احاطه شدن با سولفید مس، می‌تواند UCI نوع دوم محسوب شود. تشکیل UCI نوع A، ارتباط نزدیکی با فرایندهای خوردگی طولانی مدت دارد؛ در حالی که نوع B و C، احتمالاً در شیء برنزی قبل از وقوع خوردگی وجود داشته‌اند

▼ تصویر ۳. تصویر BSE از مقطع عرضی سنجاق شماره‌ی سه (R.N: 1025/1) قبل از اچ (نگارندگان، ۱۳۹۶).



(همان). با توجه به نتایج، سنجاق شماره‌ی سه از آلیاژ دو جزئی مس-قلع ساخته شده و با توجه به افزایش میزان قلع از درونی‌ترین لایه به بیرونی‌ترین لایه، احتمال آن می‌رود که با جدایش معکوس^۵ قلع مواجه هستیم. در جدایش معکوس، این سطح هست که شروع به غنی شدن از عنصری که نقطه‌ی ذوب پایین‌تری در میان عناصر آلیاژ داراست (قلع در آلیاژ مس-قلع)، می‌کند نه هسته (Atzeni, 2005: 22).

به‌طور کلی هر سه نمونه از آلیاژ پایه‌ی مسی ساخته شده‌اند و روشن است که به‌جز سنجاق شماره‌ی دو، دیگر سنجاق‌ها (سنجاق شماره‌ی یک و سه)، از آلیاژ دو جزئی مس-قلع به‌همراه عناصر دیگر به‌عنوان ناخالصی ساخته شده‌اند. حضور عناصر جزئی به‌عنوان ناخالصی به احتمال زیاد به دلیل استفاده از سنگ معدن مس با ناخالصی مربوطه است. عناصر جزئی به‌عنوان ناخالصی، در نتیجه‌ی فرایند ذوب و استحصال در مصنوعات مس باستان، یافت می‌شوند (Mortazavi et al., 2011: 55). وجود ناخالصی‌های فراوان در آلیاژ می‌تواند ناشی از مناسب نبودن روش‌های ذوب و پالایش باشد. ارسنیک به‌میزان کم در همه‌ی نمونه‌ها به‌عنوان ناخالصی وجود دارد که می‌تواند حاکی از ورود تصادفی آن همراه با سنگ معدن حاوی ناخالصی ارسنیک باشد. حضور درصدی ارسنیک در حدود ۱ تا ۲٪ وزنی را می‌توان به دلیل انتخاب سنگ معدن خاص مس برای اضافه کردن قلع به آلیاژ دانست، نه برای استفاده از مزایای ارسنیک (Lechtman, 1996: 509)؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هیچ‌کدام از عناصر ذکر شده به‌صورت عمدی به آلیاژ جهت بهبود خواص آلیاژ یا آلیاژسازی اضافه نشده و صرفاً به‌صورت ناخالصی‌هایی از فرایند ذوب و استحصال فلز از سنگ معدن وارد ترکیب آلیاژ شده‌اند. سنجاق شماره‌ی یک و سه از آلیاژ دو جزئی مس-قلع با مقادیر متفاوت قلع به‌ترتیب به میزان (۳/۰۲ و ۷/۶۸ wt%) ساخته شده‌اند. خواص مکانیکی برنزهای حاوی ۲-۳٪ قلع از لحاظ فنی نسبتاً شبیه مس خالص است، در حالی که مس آلیاژ شده با ۸-۱۰٪ وزنی قلع، دارای مقاومت مکانیکی و سختی قابل توجه است و هنوز می‌تواند تحت چکش‌کاری قرار بگیرد (Atzeni, 2005: 24). آلیاژ با میزان قلع ۶-۱۰٪ وزنی به‌خوبی ریخته‌گری شده و قلع تا این میزان باعث سیالیت مذاب و کاهش جذب گاز در نتیجه‌ی کاهش تخلخل و آسیب ناشی از آن در ریخته‌گری می‌شود (همان). رنگ قسمت برش خورده‌ی آلیاژ برنز می‌تواند نشان‌دهنده‌ی میزان قلع در آلیاژ باشد. اضافه کردن ۳-۴٪ قلع، رنگ آلیاژ را به رنگ قرمز معمولی (رنگ غالب مس)، ۵-۱۰٪ رنگ زرد طلایی، ۱۰-۲۵٪ زرد کم‌رنگ و ۲۵٪ به بالا رنگ آلیاژ را سفید می‌کند (همان). آلیاژ با قلع زیاد با نام «برنز بتا»^۶ مشهور است (Scott, 1991: 26). که در مورد این سنجاق‌ها، رنگ آلیاژ در سنجاق شماره‌ی دو قرمز نارنجی و در سنجاق شماره‌ی یک و سه به‌رنگ طلایی است. در مورد سنجاق شماره‌ی یک و سه، با میزان متفاوت قلع در آلیاژ روبه‌رو هستیم، ترکیب متغیر و متفاوت آلیاژ می‌تواند ناشی از یکی از روش‌های تولید برنز باشد (Oudbashi & Davami, 2014: 79; Oudbashi et al., 2012: 159):

- ۱- هم‌گذاری (ذوب هم‌زمان)^۷ سنگ‌های معدنی مس و قلع در بوتله‌ی ذوب برای تولید برنز.
- ۲- آلیاژسازی با اضافه نمودن مقادیری کاسیتريت در مس فلزی و ذوب در بوتله.

۳- استفاده از ترکیب سنگ‌های معدنی مس حاوی قلع.

در روش اول، گداخت هم‌زمان ترکیب سنگ معدن سولفیدی / اکسیدی مس و قلع (کاسیتريت) در کوره، برای به دست آوردن برنز قلعی استفاده می‌شود. محصول به دست آمده، برنز قلعی با ناخالصی‌هایی در آن است. روش دوم، سنگ معدن قلع (SnO₂) به مذاب مس فلزی در کوره اضافه می‌شود. محصول به دست آمده، می‌تواند چیزی شبیه به محصول به دست آمده از روش اول باشد. متفاوت بودن میزان کاسیتريت و سایز کوچک شمش برنز تولید شده در هر روش ذوب منجر به تولید شمش برنز با مقادیر متفاوت قلع و در نتیجه، تولید اشیاء برنزی با مقادیر متفاوت قلع می‌شود (Piggot et al., 2003; Figueiredo et al., 2010; Coghlan, 1975; Rovira et al., 2009 به نقل از: Oudbashi & Davami, 2014: 80). استفاده از ترکیب سنگ معدن مس - قلع ممکن است از روش‌های دیگر تولید برنز در دوران باستان باشد (همان). با ظهور عصر آهن در لرستان، فلزگران، کسانی که احتمالاً در ساکن آنجا بودند، قادر به اجرای تمامی تکنیک‌های ریخته‌گری و شکل دادن برنزهای قلعی بوده‌اند. با توجه به این‌که سازندگان^۱ مصنوعات با شمش‌های وارداتی کار می‌کردند، شانس کمتری برای کنترل آلیاژ در محصولات نهایی داشته‌اند و این تجربه‌ی طولانی مدت آن‌ها در قضاوت براساس رنگ شمش‌ها بوده که در این راه به کمک آن‌ها می‌آمده است (Fleming et al., 2006: 37). به هر روی، هر کدام از این روش‌هایی که پیش‌تر ذکر شد، ممکن است جهت تولید برنزهای ناحیه‌ی لرستان در عصر آهن استفاده

جدول ۳. نتایج آنالیز عنصری SEM-EDX
بر روی فازهای مختلف نمونه‌ی R.N: 1046
به دست آمده از سایت چیا سبز غربی- لرستان
(براساس درصد وزنی wt.%) (نگارندگان،
۱۳۹۶). ▼

R.N:1046	Cu	Sn	Pb	As	Zn	Ag	Ni	Fe	S	Si	Cl	O	Ca	C
A	۱/۴۴	۰/۲۰	۸۱/۴۴	۰/۲۴	۰/۳۵	-	۰/۲۵	۰/۱۰	-	۰/۲۹	-	۱۵/۵۹	-	-
B	۷۶/۶۰	۲/۱۳	۱/۰۸	۱/۰۰	۰/۵۹	-	۰/۱۹	۰/۱۹	-	۰/۱۸	۰/۲۶	۱۶/۶۷	-	-
C	۱۷/۲۶	۱/۵۷	۰/۱۶	-	۰/۳۲	-	۰/۱۷	۰/۱۲	-	-	۱۰/۲۵	۲/۴۸	-	۶۶/۵۵
D	۵۵/۹۴	۲/۱۲	۱/۵۴	۰/۲۵	۰/۸۷	-	۰/۲۵	۰/۱۹	-	۰/۰۶	۲۲/۲۵	۵/۴۴	-	-
E	۵/۲۴	۱/۴۲	۱/۱۸	۰/۷۳	۰/۵۰	۸۶/۳۵	۰/۳۰	۰/۱۳	-	۰/۲۰	۱/۴۵	۲/۵۰	-	-
F	۹۱/۲۸	۲/۰۴	۰/۹۷	۰/۸۷	۰/۶۱	-	۰/۲۱	۰/۴۹	-	۰/۰۸	۰/۱۳	۲/۲۲	-	-
G	۲۵/۴۲	۲۰/۸۵	۱/۳۷	۱/۷۵	۰/۹۰	۲۷/۷۲	۰/۴۲	۱/۰۱	-	۰/۱۳	۱۰/۲۱	۱۰/۲۰	-	-
H	۶۶/۰۶	۰/۶۶	-	۰/۳۰	۰/۷۷	-	۰/۳۲	۵/۹۵	۲۲/۴۷	۰/۰۸	۰/۲۶	۲/۱۲	-	-
I	۱۷/۳۵	۰/۱۵	۱۵/۴۷	-	۰/۶۶	-	۰/۲۶	۰/۳۵	-	-	۰/۸۸	۱/۱۶	-	۶۲/۶۲
J	۲۰/۳۹	۱/۰۱	۷۵/۴۰	-	۰/۹۱	-	۰/۲۶	۰/۱۶	-	۰/۰۸	-	۱/۷۹	-	-
K	۴۸/۱۵	۲/۸۳	-	۴/۲۲	۱/۵۵	-	۰/۷۷	۳۷/۳۱	۲/۳۸	۰/۲۱	۰/۴۳	۲/۱۷	-	-
L	۲۸/۱۲	۰/۳۲	۱/۰۲	۰/۹۲	۰/۸۲	-	۰/۳۹	۰/۱۹	۰/۱۲	۱۸/۳۱	۰/۱۷	۴۹/۶۱	-	-
M	۵۰/۶۶	۱/۰۱	-	۰/۵۰	۰/۸۸	-	۰/۴۱	۰/۲۱	۰/۶۱	۰/۳۷	۱۴/۸۱	۲۰/۵۲	-	-
N	۰/۷۷	۰/۵۸	-	۰/۸۶	۱/۰۰	-	۰/۴۶	۰/۲۹	۱۶/۶۷	۰/۳۱	۰/۲۵	۵۹/۹۶	۱۸/۸۶	-
O	۷۱/۲۰	۱/۳۳	-	۱/۰۰	۰/۷۸	-	۰/۶۶	۰/۲۴	۱/۱۷	۰/۲۳	۱/۴۹	۲۱/۷۰	-	-
P	۷۲/۵۳	۵/۲۸	۰/۲۸	۰/۷۹	۰/۹۵	-	۰/۳۷	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۰۷	۰/۵۶	۱۸/۳۸	-	-
BULK	۹۱/۵۹	۲/۰۲	۰/۳۷	-	۱/۳۰	-	۰/۵۷	۰/۵۰	-	-	۰/۰۴	۲/۶۰	-	-

جدول ۴. نتایج آنالیز عنصری SEM-EDX بر روی فازهای مختلف نمونه‌ی R.N: 1036/1 به دست آمده از سایت چیا سبز غربی- لرستان (براساس درصد وزنی (%wt)، (نگارندگان، ۱۳۹۶). ▼

R.N:1036/1	Cu	Sn	Pb	As	Zn	Ag	Ni	Fe	S	Sb	Si	Cl	O	Ca
A	۹۱/۹۶	+۳۴	۱/۲۴	۱/۴۰	+۸۴	-	+۸۸	+۸۸	+۵۴	+۲۹	-	-	۱/۶۴	-
B	۶۵/۷۴	+۶۴	-	+۳۴	+۵۶	-	+۱۴	۷/۰۴	۲۱/۹۴	+۶۰	-	-	۳/۰۰	-
C	۶۰/۶۰	+۷۳	+۶۶	-	+۴۵	-	+۱۵	+۱۵	۱/۳۷	+۱۹	-	۲۴/۷۹	۱۰/۵۶	-
D	۵۷/۵۶	۱/۷۴	۱/۶۲	+۶۰	+۳۹	-	+۲۱	+۲۱	+۰۹	+۷۲	+۲۵	۳۲/۳۴	۴/۲۶	-
E	۷۶/۳۹	+۴۰	+۶۱	+۱۳	+۶۸	-	+۱۶	+۱۶	۱۸/۸۲	+۳۵	+۰۵	+۵۱	۱/۷۶	-
F	۵۲/۳۴	+۵۶	-	+۱۹	+۵۱	-	+۱۸	+۱۳	+۲۲	+۳۱	+۰۵	۲۲/۸۰	۲۲/۷۰	-
G	۶۲/۴۹	۱/۰۳	-	+۴۱	+۵۱	-	+۱۲	۸/۴۱	۲۳/۰۲	+۸۲	-	-	۳/۱۹	-
H	۸۱/۶۷	+۲۹	+۸۳	+۹۰	+۵۶	-	+۱۶	+۰۹	-	+۱۶	-	-	۱۵/۳۴	-
I	۲۹/۶۳	+۳۰	+۶۸	۱/۰۰	+۳۱	-	+۰۹	۳/۲۵	۲/۳۲	+۴۷	+۱۶	+۲۵	۴۷/۲۰	+۵۰
BULK	۸۸/۹۴	+۴۷	۲/۶۶	۱/۳۳	+۹۴	-	+۹۸	۱/۳۷	۱/۰۱	+۴۰	+۰۹	+۱۷	۱/۸۹	+۰۵

جدول ۵. نتایج آنالیز عنصری SEM-EDX بر روی فازهای مختلف نمونه‌ی R.N: 1025/1 به دست آمده از سایت چیا سبز غربی- لرستان (براساس درصد وزنی (%wt)، (نگارندگان، ۱۳۹۶). ▼

R.N:1025/1	Cu	Sn	Pb	As	Zn	Ag	Ni	Fe	S	Sb	Si	Cl	O	Al	Ca
A	۱۸/۹۹	۱/۳۶	۷۶/۲۵	+۴۳	+۵۸	-	+۲۱	+۱۳	-	+۴۲	-	-	۱/۶۴	-	-
B	۶۸/۹۲	۱/۱۵	-	+۸۲	+۷۵	-	-	۲/۹۵	۲۰/۴۳	+۹۹	-	-	۴/۹۹	-	-
C	۷۸/۲۲	+۳۴	۱/۲۳	+۵۳	۱/۱۲	-	+۱۴	+۰۸	+۴۵	+۲۱	+۱۶	+۸۸	۱۶/۳۹	-	-
D	۶۱/۷۷	۱۴/۳۶	۱/۰۰	۱/۴۷	۱/۰۷	-	-	+۲۷	+۱۱	-	+۲۰	+۶۳	۱۹/۰۳	+۲۰	-
E	۴۵/۷۶	۶/۲۰	+۶۱	+۹۰	+۳۵	-	-	+۱۸	+۶۹	+۴۶	+۳۰	۲۱/۰۷	۲۳/۳۲	+۱۶	-
F	۴۲/۴۱	۱۷/۲۱	۱/۷۶	۱/۵۵	+۳۸	-	-	+۱۶	+۱۱	-	+۲۱	۲۳/۹۷	۱۲/۱۴	+۱۰	-
G	۲/۷۶	+۸۸	۱/۲۳	+۷۴	+۴۲	۹۲/۸۰	-	+۱۵	+۱۶	-	+۲۹	+۱۸	-	+۳۹	-
H	۶۱/۵۸	۱۳/۸۸	+۹۵	۱/۴۰	+۹۸	-	-	+۱۴	+۱۶	-	+۱۵	+۴۰	۲۰/۲۱	+۱۴	-
I	۳۸/۳۳	۲۰/۳۴	۱/۵۲	۱/۹۳	+۴۰	-	-	+۲۸	+۵۹	+۷۷	+۲۴	۲۰/۰۳	۱۵/۵۰	+۰۸	-
BULK	۸۶/۹۲	۷/۶۸	+۴۹	+۹۹	+۵۳	-	+۱۹	+۱۶	+۱۷	-	+۰۵	+۱۶	۲/۶۶	-	-

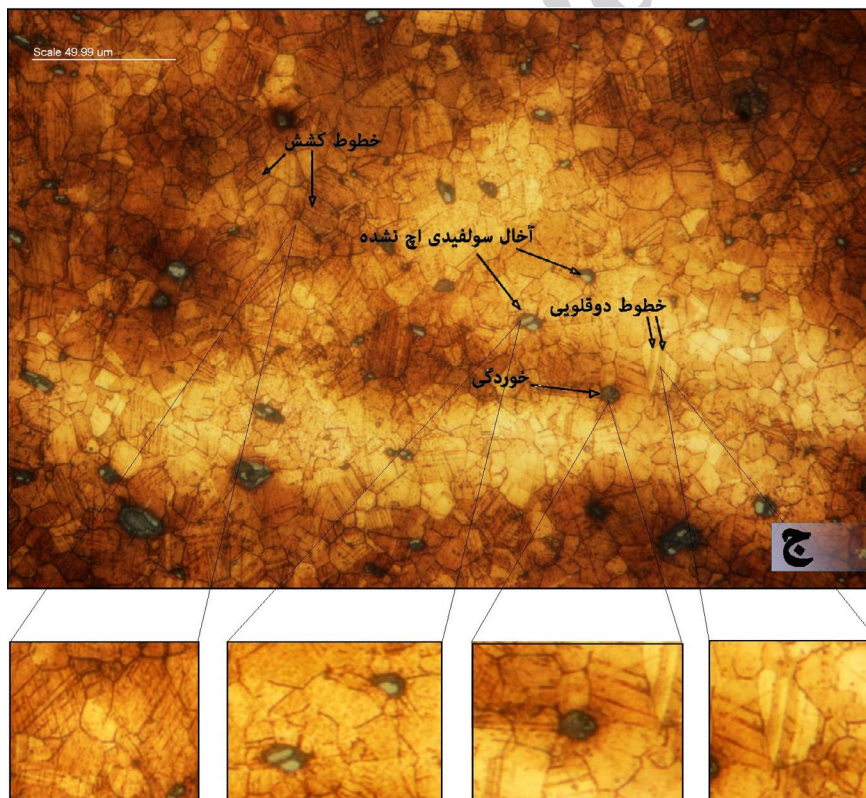
جدول ۶. ترکیب عناصر شناسایی شده در آخال‌ها براساس درصد وزنی (wt%)، به وسیله‌ی آنالیز EDS (نگارندگان، ۱۳۹۶). ▼

شماره‌ی نمونه	Cu	Sn	Pb	Fe	S
R.N:1046- H	۶۶/۰۶	+۶۶	-	۵/۹۵	۲۲/۴۷
R.N:1046-K	۴۸/۱۵	۲/۸۳	-	۳۷/۳۱	۲/۳۸
R.N:1046-N	+۷۷	+۵۸	-	+۲۹	۱۶/۶۷
R.N:1036/1-B	۶۵/۷۴	+۶۴	-	۷/۰۴	۲۱/۹۴
R.N:1036/1-E	۷۶/۳۹	+۴۰	+۶۱	+۱۶	۱۸/۸۲
R.N:1036/1-G	۶۲/۴۹	۱/۰۳	-	۸/۴۱	۲۳/۰۲
R.N:1036/1-I	۲۹/۶۳	+۳۰	+۶۸	۳/۲۵	۲/۳۲
R.N:1025/1-B	۶۸/۹۲	۱/۱۵	-	۲/۹۵	۲۰/۴۳

شده باشد. در برخی موارد ذوب اشیاء شکسته و شمش‌های برنزی وارداتی می‌تواند از روش‌های دیگر تولید برنز باشد، ولی با توجه به انبوه اشیای برنزی یافت‌شده در لرستان در عصر آهن بعید به نظر می‌رسد که تولید برنز در صنعت منطقه‌ای در غرب ایران وجود نداشته باشد (Oudbashi & Davami, 2014: 79). نتایج آنالیز EDS، برروی آخال‌ها که در جدول ۶ گردآوری شده‌اند، نشان می‌دهد که آخال‌های موجود در نمونه‌ها اساساً از مس، آهن و سولفید تشکیل شده‌اند.

نحوه‌ی ساخت

متالوگرافی: با توجه به بررسی‌های انجام گرفته، هر سه سنجاق، به‌وسیله‌ی چرخه‌ای از کار سرد و گرم برروی فلز ریخته‌گری شده به شکل دلخواه فلزگر، درآمده‌اند. ریز ساختار نمونه‌ها تا حدودی شبیه به هم و حاوی دانه‌های کار شده و باز تبلور یافته به همراه خطوط دوقلوبی و هم‌چنین خطوط لغزش در برخی دانه‌ها که مبین انجام چرخه‌ای از عملیات برروی آن‌ها است. منظور از چرخه‌ی کار (روش یا روش‌هایی است که برای شکل دادن به فلز یا آلیاژ به‌کار گرفته شده است، مانند: ریخته‌گری، چکش‌کاری، تراش‌کاری و غیره). تفاوت در سایز دانه‌ها، در سنجاق‌ها، حاکی از تفاوت در میزان کار گرمایی/ مکانیکی انجام گرفته برروی این اشیاء است. هم‌چنین در تمام ساختار نمونه‌ها، آخال‌های آبی- خاکستری سولفیدی مس مشاهده شد. ریزساختار سنجاق شماره‌ی یک از دانه‌هایی با سایزهای متفاوت و نسبتاً درشت تشکیل شده است. این تنوع در سایز دانه‌ها می‌تواند حاکی از درجه‌ی حرارت اعمال شده در

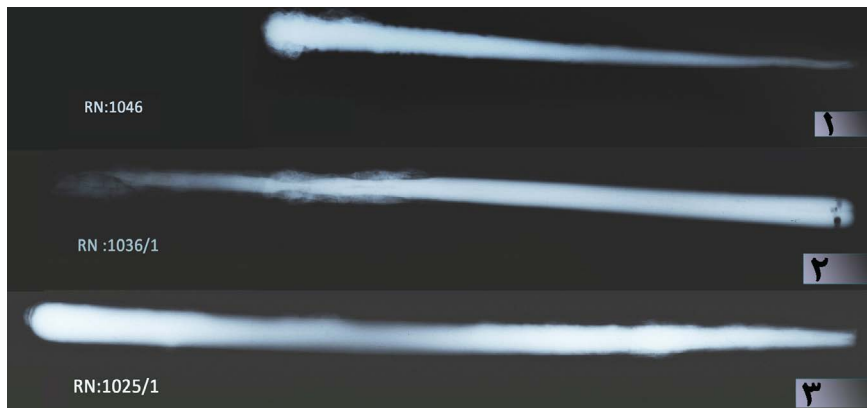


تصویر ۴. تصویر الف: تصویر ریز ساختار سنجاق یک پس از اچ؛ تصویر ب: ریز ساختار سنجاق دو پس از اچ؛ و تصویر ج: تصویر ریز ساختار سنجاق سه پس از اچ (نگارندگان، ۱۳۹۶).

مرحله‌ی تابکاری باشد. به عبارت بهتر مقادیر کار گرمایی / مکانیکی، برروی سائز دانه‌ها تأثیر دارد. سائز کوچکتر دانه‌ها حاکی از چرخه‌ی کار مکانیکی / گرمایی بیشتر است. در حقیقت نمونه با دانه‌بندی کوچکتر، نشان‌دهنده‌ی این است که تحت کار بیشتری برای رسیدن به شکل دلخواه قرار گرفته است (Oudbashi & Davvami, 2014: 77).

پس با توجه به دانه‌بندی نسبتاً درشت ریز ساختار این نمونه، احتمالاً حرارت اعمال شده کم و پایین بوده است. درجه‌ی حرارت پایین در تابکاری باعث بهبود ویژگی‌های آلیاژ پس از سردکاری می‌شود (Frame, 2010: 1705). هم‌چنین اندازه‌ی بزرگتر دانه‌ها نشان‌دهنده‌ی انجام سردکاری با شدت کمتر است (Fleming et al., 2005: 54). ریزساختار سنجاق شماره‌ی دو و سه از دانه‌بندی ریزتری برخوردار بوده که در مورد سنجاق شماره‌ی دو با توجه به سائز کوچکتر دانه‌ها حاکی از کار گرمایی / مکانیکی بیشتر برروی شی و دانه‌بندی ریز ساختار، نشان‌دهنده‌ی اعمال حرارت بیشتر در مرحله‌ی تابکاری و هم‌چنین کار گسترده‌تر برروی شی است. عدم حضور چندان خطوط لغزش، و هم‌چنین خطوط دوقلویی نسبتاً صاف احتمالاً می‌تواند شواهدی از تابکاری به‌عنوان درمان نهایی باشد (Mortazavi et al., 2011: 55). فلزگران باستان، از تابکاری، برای بازگرداندن خاصیت کار کردن و انعطاف‌پذیری به برنز استفاده می‌کردند که این درمان گرمایی سبب بهبود خاصیت شکل‌پذیری به برنز و ارتقاء فرایند تبلور مجدد دانه‌ها می‌شود (Scott, 1991: 7). در ریز ساختار سنجاق شماره‌ی سه، شاهد حضور خطوط دوقلویی و تراکم خطوط لغزش هستیم. کج شدن برخی خطوط دوقلویی، می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تغییر شکل پس از تابکاری^۹ باشد. این تغییر شکل ممکن است در نتیجه‌ی آخرین فرایند تولید (به‌عنوان چکش‌کاری) یا دیگر اقدامات بعدی که مربوط به استفاده از شی است، باشد (Figueiredo et al., 2010: 1632). تراکم خطوط لغزش در ریز ساختار نمونه، احتمالاً می‌تواند در نتیجه‌ی کار سرد شدید نهایی صورت‌گرفته برروی شی باشد (همان). حفره‌های تیره‌رنگی در سرتاسر ماتریس فلزی مشاهده می‌شود که این حفره‌ها، بر اثر خوردگی در سطح ماتریس به وجود آمده‌اند. در مورد کارگاه‌های فلزگری که در لرستان وجود داشته یا حتی در مورد وسایلی که جهت شکل‌دادن به اشیاء برنزی استفاده می‌شده، تقریباً اطلاعاتی وجود ندارد. هم‌چنین لرستان، به خاطر دارا بودن سنگ‌های معدنی مس یا شواهدی از کوره‌های ذوب، شناخته شده نیست. در این ناحیه برنز مذاب به شکل‌های پایه‌ی ریخته‌گری و سپس برای رسیدن به شکل نهایی، روی آن‌ها کار می‌شده است. این مراحل شامل مراحل مختلف سردکاری برای اشیاء سخت‌تر و تابکاری برای برنزه‌های نرم‌تر بوده است (Fleming et al., 2006: 36). تیره و روشن بودن نواحی مختلف ریز ساختار نیز ممکن است به دلیل تفاوت در میزان قلع در این نواحی باشد، چنان‌که نواحی پُرقلع دارای رنگ روشن‌تر و نواحی کم قلع، رنگ تیره و نزدیک به رنگ مس را دارا هستند.

رادیوگرافی: جهت آشکار شدن جزئیات مبهم، شناسایی آثار، ارزیابی وضعیت جسم، عیوب ساختاری، تزیینات احتمالی، مواد مرکب و روشن نمودن تغییرهای



تصویر ۵. تصاویر رادیوگرافی سنجاق‌های چپاسبز غربی (نگارندگان، ۱۳۹۶).

ایجاد شده در شئی، از این روش غیرتخریبی برای مطالعه‌ی اشیاء مورد پژوهش در این پروژه استفاده شد. تصویر حاصل از پرتونگاری اشعه‌ی ایکس شامل نقاط تیره و روشن است که نشان‌دهنده‌ی اختلاف میزان عبور اشعه‌ی ایکس از نقاط مختلف این سنجاق‌ها است. اختلاف میزان عبور پرتو ایکس متناسب با چگالی موجود در هر قسمت است؛ لذا نواحی با دانسیته‌ی بیشتر، قدرت جذب بیشتری داشته‌اند و در این تصاویر به رنگ روشن‌تر و سفید خود را نشان می‌دهند و نواحی با دانسیته‌ی کمتر، تیره‌تر ظاهر می‌شوند. همان‌طور که در تصاویر رادیوگرافی مشاهده می‌شود نواحی دارای خوردگی با کنتراست بیشتری و نواحی حاوی مغز فلزی به صورت روشن‌تر دیده می‌شوند. با توجه به تصاویر این سنجاق‌ها از وضعیت مطلوبی از نظر وجود میزان بالای مغز فلزی، میزان کم خوردگی، عدم وجود ترک و غیره برخوردار و هم‌چنین عاری از تزئین و اتصالات خاصی هستند. البته در مورد سنجاق شماره‌ی دو، در قسمت ابتدایی سنجاق، خوردگی شدید همراه با ترک در این ناحیه مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته، هر سه سنجاق، به وسیله‌ی چرخه‌ای از کار سرد و گرم بر روی فلز ریخته‌گری شده به شکل دلخواه فلزگر، درآمده‌اند. تفاوت در سایز دانه‌ها، در سنجاق‌ها، حاکی از تفاوت در میزان کار گرمایی / مکانیکی انجام گرفته بر روی این اشیاء است. هم‌چنین در تمام ساختار نمونه‌ها، آخال‌های آبی-خاکستری سولفیدی مس مشاهده شد. با توجه به نتایج آنالیز نیمه‌کمی SEM-EDS، هر سه نمونه از آلیاژ پایه‌ی مسی ساخته شده‌اند و روشن است که به جز سنجاق شماره‌ی دو، دیگر سنجاق‌ها (سنجاق شماره‌ی یک و سه)، از آلیاژ دو جزئی مس-قلع به همراه عناصر دیگر به عنوان ناخالصی ساخته شده‌اند. حضور عناصر جزئی به عنوان ناخالصی به احتمال زیاد به دلیل استفاده از سنگ معدن مس با ناخالصی مربوطه است که این عناصر جزئی به عنوان ناخالصی، در نتیجه‌ی فرایند ذوب و استحصال در مصنوعات مس باستان، یافت می‌شوند. هم‌چنین وجود ناخالصی‌های فراوان در آلیاژ می‌تواند ناشی از مناسب نبودن روش‌های ذوب و پالایش باشد. آرسنیک به میزان کم در همه‌ی نمونه‌ها به عنوان ناخالصی وجود دارد که می‌تواند حاکی از ورود تصادفی آن همراه با سنگ معدن حاوی ناخالصی آرسنیک باشد. حضور درصدی آرسنیک در حدود ۱ تا

۲٪ وزنی را می‌توان به دلیل انتخاب سنگ معدن خاص مس برای اضافه کردن قلع به آلیاژ دانست نه برای استفاده از مزایای آرسنیک؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هیچ‌کدام از عناصر ذکر شده به صورت عمدی به آلیاژ جهت بهبود خواص آلیاژ یا آلیاژسازی اضافه نشده و صرفاً به صورت ناخالصی‌هایی از فرایند ذوب و استحصال فلز از سنگ معدن وارد ترکیب آلیاژ شده‌اند. با توجه به میزان متفاوت قلع در نمونه‌های به دست آمده از سایت چپاسبز غربی و محدودیت نمونه‌های بررسی شده (تنها سه نمونه سنجاق) از این سایت، نمی‌توان الگوی مشخصی از آلیاژسازی در این منطقه را ارائه داد. آن‌چه مسلم است با توجه به میزان متغیر قلع در نمونه‌ها می‌توان این احتمال را داد که امکان کنترل آلیاژسازی توسط سازندگان اشیای فلزی محوطه‌ی چپاسبز غربی وجود نداشته است. ممکن است سازندگان مصنوعات در این منطقه از هرکدام از شیوه‌های گفته شده در قبل استفاده کرده باشند، هم‌چنین این احتمال وجود دارد که از اشیای بازیافتی یا شمش‌های وارداتی استفاده کرده باشند. البته با توجه به محدودیت نمونه‌ها به طور یقین نمی‌توان در این مورد اظهار نظر نمود و تنها می‌توان حدسیات و احتمالاتی را در این زمینه بیان کرد. با توجه به نتایج حاصله و مطابقت آن با دیگر مطالعات صورت پذیرفته در مورد مفرغ‌های دیگر مناطق لرستان، چنین برمی‌آید که آلیاژ مفرغ با درصد‌های متفاوت قلع و همراه با درصد‌های بسیار کم عناصر فلزی دیگر به عنوان ناخالصی برای ساخت مصنوعات فلزی این منطقه استفاده می‌شده است. براساس بررسی‌های انجام گرفته بر روی نمونه‌های مطالعاتی می‌توان چنین عنوان کرد که کاربرد این سنجاق‌ها به دلیل سادگی در فرم و عدم وجود تزئینات و هم‌چنین محل قرارگیری آن‌ها بر روی قفسه‌ی سینه‌ی اسکلت جهت بستن لباس مورد استفاده قرار گرفته که نمونه‌های مشابه آن در فرهنگ‌های اورارتو، ماننا، فریگ و لیدی قابل شناسایی است. براساس مقایسه‌ی تطبیقی این سنجاق‌ها به بازه‌ی زمانی مفرغ میانی تا عصر آهن I قابل تاریخ‌گذاری است.

سپاسگزاری

از آقایان دکتر امید عودباشی، دکتر مهدی مرتضوی، دکتر فرشید ایروانی قدیم، دکتر صفایی قلاتی، و مهندس رحمانیان (مرکز متالورژی رازی)، و خانم‌ها مهندس قبادی (بخش رادیوگرافی دانشگاه هنر اصفهان) و مهندس زاهدی (آزمایشگاه شیمی دانشکده مرمت دانشگاه اصفهان) به پاس زحماتشان قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت

۱. «پیشکوه» به معنی سرزمینی که در مقابل کوه قرار دارد و آن قسمت از لرستان است که در شرق کبیرکوه، -رشته‌کوهی که این استان را از بین‌النهرین جدا می‌سازد- قرار گرفته است (اعتصام، ۱۳۵۶).

2. Preferential Oxidation
3. Segregation
4. UCI (Unalloyed Copper Inclusions)
5. Inverse segregation
6. Safidruy
7. Co-smelting
8. Craft workers
9. Post Annealing

کتابنامه

- اعتصام، فرخنده، ۱۳۵۶، «لرستان در نیمه نخست هزاره اول پیش از میلاد»، نوشته: مید پکلیرگاف، مجله‌ی بررسی‌های تاریخی، شماره ۷۲، صص: ۴-۱۱.
- امیری، مصیب؛ و حصاری، مرتضی، ۱۳۸۹، «کاوش فصل اول گورستان چیا سبزغربی»، در: مجموعه مقالات همایش پژوهش‌های باستان‌شناسی حوزه‌ی آبگیر سیمره، صص: ۱۷۰-۱۷۷.
- حصاری، مرتضی؛ و امیری، مصیب، ۱۳۸۹، «چیا سبز شرقی روستای نوسنگی بی‌سفال سیمره، حوزه‌ی فرهنگی زاگرس مرکزی»، در: مجموعه مقالات همایش پژوهش‌های باستان‌شناسی حوزه‌ی آبگیر سیمره، صص: ۱۷-۲۵.
- حصاری، مرتضی؛ امیری، مصیب؛ محمدیارلو، مجید؛ و بیک محمدی، خلیل‌الله، ۱۳۹۲، «بررسی، طبقه‌بندی و مقایسه‌ی سردوک‌های دوره‌ی مس-سنگی چارارو (حوضه‌ی رودخانه‌ی سیمره، لرستان)»، مجله‌ی پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، بهار و تابستان، شماره‌ی ۴، سال سوم، صص: ۷۷-۹۶.
- دادور، ابوالقاسم؛ و شاهیدانی، اعظم، ۱۳۸۶، «بررسی نظریات مطرح پیرامون منشأ مفرغ‌های لرستان»، مجله‌ی علمی-پژوهشی دانشکده ادبیات و علوم انسانی، شماره‌ی ۲ (۴۸)، صص: ۱۲۷-۱۵۴.
- دارابی، حجت، ۱۳۸۷، «بررسی و ارزیابی کاوش گورستان چم‌ژو ژومه»، مجله‌ی باستان‌پژوهی، شماره‌ی ۱۶، صص: ۸-۱۸.
- دارابی، حجت، ۱۳۹۵، «ادوات سنگی و مقوله تولید و آماده‌سازی غذا در محوطه نوسنگی چیا سبز شرقی، سد سیمره»، پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، شماره‌ی ۱۰، دوره‌ی ششم، بهار و تابستان، صص: ۲۶-۷.
- رشیدی، مصطفی، ۱۳۹۲، «الگوهای استقرار دشت میانکوهی رومشگان از روستانشینی متقدم تا روستانشینی متأخر»، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز (منتشر نشده).
- سیدین بروجنی، سیدرسول، ۱۳۸۶، «بررسی‌های باستان‌شناسی در حوضه‌ی سد سیمره»، ارائه شده به آرشیو پژوهشکده باستان‌شناسی ایران (منتشر نشده).
- شیشه‌گر، آرمان، ۱۳۸۴، «گزارش کاوش منطقه‌ی سُرخ‌دم لکی، کوه‌دشت لرستان فصل دوم-ششم ۱۳۸۳-۱۳۷۹»، تهران: سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، معاونت پژوهشی، پژوهشکده باستان‌شناسی (منتشر نشد).
- طلایی، حسن، ۱۳۸۶، باستان‌شناسی و هنر ایران در هزاره اول قبل از میلاد. تهران: انتشارات سمت.
- طلایی، حسن، ۱۳۸۷، عصر آهن ایران، تهران: انتشارات سمت.
- عودباشی، امید؛ امامی، سید محمدامین؛ و دوامی، پرویز، ۱۳۸۹، «فلزگری کهن آرکئومتالورژی (در ناحیه‌ی لرستان): بررسی ساختاری و شیمیایی آثار برنزی محوطه باستانی سنگ‌تراشان خرم‌آباد متعلق به هزاره اول»، چهارمین همایش مشترک انجمن مهندسان متالورژی و جامعه علمی ریخته‌گری ایران، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران، انجمن علمی ریخته‌گری ایران، صص: ۱۲۱۸-۱۲۰۸.
- عودباشی، امید؛ حصاری، مرتضی؛ و احمدی، حسین، ۱۳۹۴، «مطالعه‌ی فرایند تولید مفرغ در اشیاء محوطه‌ی عصر آهن مارلیک گیلان، پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۹، صص: ۱۰۷-۱۲۴.
- کورتیس، جان، ۱۳۸۷، ایران باستان به روایت موزه‌ی بریتانیا، ترجمه‌ی آذر بصیر. تهران: امیرکبیر.
- مرتضوی، محمد، ۱۳۸۳، «حفظ و مرمت یک آبریز مسی متعلق به گنجینه‌ی آستان قدس رضوی»، پایان‌نامه‌ی کارشناسی. دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.
- یاور، فاطمه؛ عباس‌نژاد، رحمت؛ مرتضوی، محمد؛ علی‌دادی سلیمانی، نادر، ۱۳۹۵، «بررسی متالوگرافی، ICP-OES و SEM-EDS سه شیء آلیاژی عصر مفرغ

مکشوف از بخش جنوبی حوضه‌ی هلیل رود، جیرفت»، پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، دوره‌ی ۶، شماره‌ی ۱۰، صص: ۶۷-۸۲.
 - نیکنامی، کمال‌الدین؛ و موچشی، امیرساعد، ۱۳۹۲، عصر آهن/ اولیه در پشتکوه لرستان، نوشته‌ی برونو اورلت، ۲۰۰۳، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).
 - هژبری‌نوبری، علیرضا؛ سبزی‌دوآبی، موسی، ۱۳۹۰، «سنجاق‌های میله‌ای لرستان»، جامعه‌شناسی تاریخی، شماره‌ی ۲ (۳)، صص: ۱۶۵-۱۸۸.

- Atzeni, C., 2005, "Aspects of ancient metallurgy", in Sardinia.
- Bosi, C., Garagnani, G. L.; Imbeni, V.; Martini, C.; Mazzeo, R. & Poli, G., 2002, "Unalloyed copper inclusions in ancient bronze artefacts", *Journal of Material science* (37): 4285-4298.
- Coghlan, H. H., 1975, *Notes on the Prehistoric Metallurgy of Copper and Bronze in the Old*, Oxford.
- Darabi, H.; Naseri, R.; Young, R., & Fazeli Nashli, H., 2011, "The Absolute Chronology of East Chia Sabz: A Pre-Pottery Neolithic Site In Western Iran", *Documenta Praehistorica*, Pp. 255-265.
- Darabi, H. & Glascock, M. D., 2013, "The Source of Obsidian Artefacts Found at East Chia Sabz, Western Iran", *Journal of Archaeological Science* (40): 3804-3809.
- Figueiredo, E., Silva, R.J.C., Senna-Martinez, S.C., Araújo, M.F., Fernandes, F.M.B. & Inês Vaz, J.L., 2010, "Smelting and recycling evidences from the Late Bronze Age habitat site of Baiões (Viseu, Portugal)", *Journal of Archaeol Sci* (37): 1623-1634
- Fleming, S.J., Pigott, V.C., Swann, C.P. & Mash, S.K., 2005, "Bronze in Luristan: preliminary analytical evidence from copper/ bronze artifacts excavated by the Belgian mission in Iran", *Journal of Iranica antiqua*, Vol: XL. pp: 35-64.
- Fleming S.J., Pigott, V.C., Swann, C.P., Nash, S.K., Haerinck, E., & Overlaet, B., 2006, "The archaeometallurgy of War Kabud, Western Iran Iranic Frame, Lesley. Metallurgical investigations at Godin Tepe, Iran", Part I: the metal finds, 2010, *Journal of Archaeological Science* (37): 1700-1715.
- Friede, H. M., & Steel, R. H., 1976, "Tin mining and smelting in the Transvaal during the Iron Age", *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy* 76. (12): 461-470.
- Helwing, B., 2013, *Early Metallurgy in Iran – an Innovative Region as Seen from the Inside*, British Association for Near Eastern Archaeology Publication Series 3, Oxford, Oakville
- Kaniuth, K., 2007, *The metallurgy of the late bronze age Sappali culture (southern Uzbekistan) and its implicatians for the 'Tin question'*, *Iranica Antiqua* XLII
- Lechtman, H., 1996, "Arsenic Bronze: Dirty copper or Chosen Alloy? A view from the Americas", *Journal of field Archaeology* (Maney Publishing) (4): 477-514.
- Moorey, P. R. S., 1971, *Catalogue of the Ancient Persian Bronzes in the Ashmolean Museum*.

- Mortazavi M., Salehi Kakhki, A., Golozar, MA. & Taláí, H., 2011, "Preliminary metallurgical investigation of copper-based artifacts at Tepe Sagzabad in Qazvin Plain, Iran (1500–800 BC)", *Iranian Journal of Archaeol Study* (1): 49–59.
- Muscarella, O. W., 2013, *Archaeology, artifact and antiquities of the ancient near east*, Leiden. Boston.
- Oudbashi, O., 2012, *From Excavation to Preservation: Preventive Conservation Approaches in Archaeological Bronze Collections*. Fifth International Conference on Synchrotron Radiation in Art and Archaeology (SR2A) at The Metropolitan Museum of Art (MMA) in New York City.
- Oudbashi, O., Emami, S., M.A. & Davami, P., 2012, "Bronze in Archaeology: a Review of the Archaeometallurgy of Bronze in Ancient Iran", In: *Tech publication*, ISBN 978-953-308-35-6.153-178.
- Oudbashi O., & Davami, P., 2014a, "Metallography and microstructure interpretation of some archaeological tin bronze vessels from Iran", *Mater Charact* (97): 74–82.
- Oudbashi O. & Davami, P., 2014b, "Investigation on manufacturing process in some Elamite copper alloy artefacts from Haft Tappeh, south-west Iran", *Microsc Microanal* (20): 2034–2035.
- Oudbashi O, Emami, S.M., Malekzadeh, M., Hassanpour, A. & Davami, P. 2013, "Archaeometallurgical studies on the bronze vessels from "Sangtarashan", Luristan, W-Iran", *Iranica Antiqua* XLVIII: 147-174.
- Oudbashi O. & Hessari, M., 2017, "Iron Age tin bronze metallurgy at Marlik, Northern Iran: an analytical investigation", *Journal of Archaeological and Anthropological Sciences*, pp. 233-249.
- Pigott, V. C., Rogers, H. C. & Nash, S. K., 2003, "Archaeometallurgical investigations at Tal-e Malyan: The evidence for tin-bronze in the Kaftari phase", *Yeki Bud, Yeki Nabud: Essays on the archaeology of Iran in honor of William M. Sumner*: 161-175.
- Scott D. A., 1991, *Metallography and microstructure of ancient and historic metals*, Getty Conservation Institute, Los Angeles
- Scott, D.A., 2013, "The use of metallographic and metallurgical investigation methods in the preservation of metallic heritage artifacts: Essays in European Federation of corrosion publications Numbers 65", *Corrosion and conservation of cultural heritage metallic artifacts*, Edited by: P. Dillmann, D. Watkinson, E. Angelini, and A. Adriaens. Wood head publishing: 82-99.
- Silva, Rui Jorge C., Figueiredo, E., Araújo, M. F. Pereira, F. & Francisco M. B. F., 2008, "Microstructure interpretation of copper and bronze archaeological artefacts from Portugal", In: *Materials Science Forum*, (587): 365-369. Trans Tech Publications.
- Thornton, C. P., 2009, "The emergence of complex metallurgy on the Iranian Plateau: Escaping the Levantine Paradigm", *Journal of world Prehist* (22): 301-327.
- <http://www.anthrogenerica.com> (تاریخ دسترسی: 1394/3/3)
- <http://www.GoogleEarth.com> (تاریخ دسترسی: 1394/1/5)