Investigation of the Lost-Wax Technique in the Construction of an Ancient Bronze Figurine

Faramarz Azadbakht*[1], Mohammad Mortazavi[2]

1. MA Student in Conservation of Cultural and Historical Objects, Art University of Isfahan, Iran.
2. Assistant Professor, Faculty of Conservation and Restoration, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Abstract

Understanding ancient metallurgy is achieved through the study and analysis of metal artifacts and evidence related to extraction and metalworking processes. Examining metal objects provides valuable information about the type of metal or alloy used, manufacturing and decoration techniques, and, in some cases, the type of ore employed. Therefore, analyzing alloy composition and forming techniques is of great importance in archaeometallurgy. This article presents a technical investigation of a bronze lion figurine from the Yazd Museum collection, obtained through illicit excavations. Alloy composition analysis was conducted using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), and X-ray imaging was employed to investigate the construction method. The results revealed that the figurine is made of a copper-tin alloy (bronze) with the presence of lead. Radiographic images indicated that the figurine is hollow, with its front rod extending into the internal section. Based on these findings, it was determined that the figurine was crafted using the lost-wax technique. Furthermore, the probable shape of the mold used, the manufacturing stages, and its various components are proposed.

Keywords: Historical Bronzes, Casting, Lost-Wax Technique, Atomic Absorption Spectroscopy, Radiography.

Knowledge and Conservation Restoration

Special Issue. No.1
September 2019
Pages 23-31

https://journal.richt.ir/kcr

Corresponding Author

Faramarz Azadbakht

Email
faramarz.azadbakht@gmail.com

Copyright © 2020, Knowledge of Conservation and Restoration. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution noncommercial 4.0. International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-11-25]

بررسی روش موم گمشده در ساخت یک پیکره‌ی مفرغی باستانی

فرامرز آزادبخت*[۱]، محمد مرتضوی[۲]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان
۲. استادیار دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان. ایران

چکیده

آگاهی از دانش متالورژی کهن از طریق مطالعه و تحلیل آثار فلزی و شواهد مربوط به فرآیندهای استخراج و فلزگری به دست می‌آید. بررسی آثار فلزی اطلاعات ارزشمندی درباره‌ی نوع فلز یا ترکیب آلیاژی به‌کاررفته، روش‌های ساخت و تزیین، و در برخی موارد، نوع سنگ معدن مورداستفاده فراهم می‌آورد. ازاین‌رو، تحلیل ترکیب آلیاژی و شیوه‌های شکل‌دهی و ساخت در حوزه‌ی آرکئومتالورژی اهمیت بسیاری دارد. در این مقاله، بررسی فنی پیکره‌ی یک شیر برنزی متعلق به گنجینه‌ی موزه‌ی یزد که از حفاری‌های غیرمجاز به دست آمده است، ارائه شده است. آنالیز ترکیب آلیاژی با استفاده از طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) انجام شد و برای بررسی روش ساخت، تصویربرداری با پرتو ایکس (X-ray) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که شیء مورد مطالعه از ترکیب مس و قلع (برنز) با حضور سرب ساخته شده است. تصاویر رادیوگرافی نشان داد که پیکره توخالی بوده و میله‌ی جلویی شیء تا بخش داخلی آن امتداد یافته است. بر این اساس مشخص شد که روش ساخت پیکره با استفاده از روش موم گمشده (lost-wax) انجام‌شده است. همچنین، در ادامه شکل احتمالی قالب مورداستفاده، مراحل ساخت و اجزای مختلف آن پیشنهادشده است.

واژگان کلیدی: برنزهای تاریخی، ریخته‌گری، موم گمشده، طیف‌سنجی جذب اتمی، رادیوگرافی.

فصلنامه دانش حفاظت و مرمت

ویژه‌نامه: شماره ۱
تابستان ۱۳۹۸
۳۱-۲۳

https://journal.richt.ir/kcr

نویسنده مسئول
فرامرز آزادبخت

رایانامه

faramarz.azadbakht@gmail.com

مقاله منتخب دهمین همایش دو سالانه حفاظت و مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی و تزئینات وابسته به معماری
دسترسی به این مقاله برای همگان آزاد است. هرگونه استفاده غیرتجاری از آن در صورت ارجاع مناسب، مجاز شناخته می‌شود.

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-11-25]

مقدمه

با توجه به شواهد باستان‌شناسی، فلات ایران به‌عنوان یکی از خاستگاه‌های اولیه متالورژی در آسیای جنوب غربی شناخته می‌شود (Pigott 2004: 28). وجود کانسارهای فلزی فراوان در این ناحیه (Roustaei 2004, Pigott 1999) مواد خام اولیه موردنیاز برای جوامع دوران باستان را فراهم آورده است. به عبارتی میزان دسترسی به منابع و سنگ معدن اولیه در دوران باستان در این تحول (دستیابی به فلز و فناوری فلزکاری) بسیار تأثیرگذار بوده است آن چنانکه سرزمین‌های دارای کانسارهای فلزی پیشگامان این عرصه بوده‌اند (Frame 2010). کانسارهای بزرگ مس چکشی در تال مسی و مس کنی (Pigott 2004)، شواهد ذوب و فلزگری شامل بوته، قالب و سرباره که از نواحی مختلف ایران ازجمله تپه قبرستان، شهر سوخته، تل ابلیس (Thornton 2009)، تپه حصار (Helwing 2008)، اریسمان (کمیته مطالعات معدنکاری و فلزکاری ۱۳۸۱)، شهداد (Roustaei 2004)، علی کش (Pigott 1999) به‌دست‌آمده‌اند، به‌روشنی جایگاه و نقش ایران را درزمینه فلزگری در دوران پیش‌ازتاریخ نشان می‌دهد. همچنین اشیاء فلزی به‌دست‌آمده از لرستان (Moorey 1969, Fleming et al. 2005)، تپه یحیی (Thornton et al. 2002)، سیلک (Haerinck et al. 2004) گودین تپه (Frame 2010)، حسنلو (pigott 2004) و بسیار نواحی دیگر در ایران نشان‌دهنده گستردگی فعالیت‌های متالورژیکی در سرتاسر فلات ایران است. در هزاره پنجم ق.م فلات ایران شاهد یک مرحله انتقالی از استفاده از مس طبیعی خالص به گداز و ذوب کانی‌های مس انتخاب‌شده برای ناخالصی طبیعی‌شان است (Thornton et al. 2002). دستیابی به فناوری ذوب فلز امکان ساخت اشیاء مختلف با استفاده از ریخته‌گری را نیز برای فلز گر باستان فراهم آورد. در کنار آثار فلزی مختلف ساخته‌شده با چکش‌کاری (Mortazavi et al. 2011)، گروه بسیار زیادی از اشیاء با ریخته‌گری مذاب در قالب ساخته‌شده‌اند. روش‌های ریخته‌گری با آگاهی بشر از ویژگی‌های فلز و مواد اطرافش به‌مرور از ساده‌ترین روش شامل ریخته‌گری در قالب باز ـ یک کفه‌ای (Open mould) تا روش‌های بسیار پیشرفته و دقیق مانند موم گمشده (Lost-wax) گسترش یافت (Coghlan 1975). همچنین استفاده از روش‌هایی مانند قالب‌های دو و چند کفه‌ای و روش ریخته‌گری درجا (Casting on) نیز در دوران پیش‌از تاریخ مورداستفاده قرارگرفته است (Scott 1991). هر یک از روش‌های ریخته‌گری مرحله‌ای از فناوری و دانش متالورژی در این زمینه را نشان می‌دهد. در این میان ریخته‌گری با روش موم گمشده با توجه به ویژگی‌های خاص آن و امکان ساخت اشیاء با اشکال متنوع از اهمیت خاصی برخوردار است. موم گمشده، روش بسیار معمول در بسیاری از مناطق در دنیای باستان بوده است (Bonadies 1994). بر اساس مطالعاتی که اخیراً توسط دیوی (2009) انجام‌گرفته است پیشینه استفاده از ریخته‌گری با روش موم گمشده به دوره مس و سنگ، قبل از هزاره چهارم ق.م برمی‌گردد. روش موم گمشده به‌تدریج در عصر برنز توسعه یافت و کامل شد (Holm 1994). از این روش در بین‌النهرین (Davey 2009)، ایران (Moorey 1982) و لوانت (Thornton 2009) برای ساخت اشیاء استفاده‌شده است. موری (1982) پیشرفت متالورژیکی در منطقه خوزستان را بر اساس استفاده از روش موم گمشده در اواسط هزاره چهارم ق.م توصیف می‌کند. علاوه بر این او استفاده از موم گمشده در تپه حصار را نیز محتمل می‌داند. همچنین روش ساخت شماری از برنزهای لرستان با استفاده از موم گمشده بیان‌شده است (Moorey 1969). علی‌رغم استفاده از موم گمشده در ساخت اشیاء برنزی در ایران، بررسی فنی اشیاء در خصوص استفاده از این روش کمتر موردتوجه قرارگرفته است. ازاین‌رو در این پژوهش، بررسی فنی یک پیکره مفرغی به شکل شیر به‌منظور تعیین روش ساخت آن با استفاده از رادیوگرافی موردتوجه قرارگرفته است.

معرفی اثر

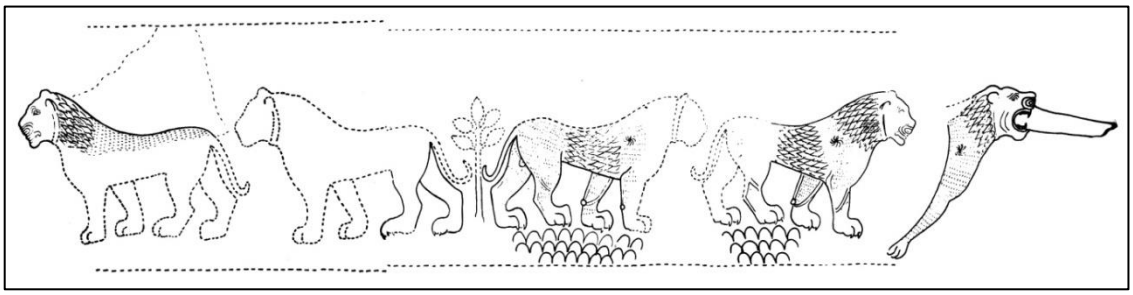
شیء مورد بررسی به شکل یک پیکره‌ی شیر است (شکل ۱). در قسمت بالای سر، جزئیات گوش‌ها، بینی و یال حیوان به‌وضوح قابل‌مشاهده است. در پشت پیکره، دم به‌صورت افتاده طراحی شده، در حالی که انتهای آن به سمت بالا برگشته است. ایستایی و تعادل شیء از طریق چهارپا که در اطراف بدن قرار گرفته‌اند، تأمین شده است. زیر برجستگی یال و بالاتر از قسمت زیرین شکم، میله‌ای به‌صورت زائده از داخل به سمت بیرون خارج شده است که در حال حاضر به‌طور کامل خورده شده و با توجه به رنگ قرمز و تیره آن، به کوپریت تبدیل شده است. این شیء در گنجینه‌ی موزه‌ی میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع‌دستی یزد نگهداری می‌شود و جزو اشیاء توقیفی است که توسط حفاران غیرمجاز کشف شده‌اند. در تمامی دوران هنر ایران، شیر به اشکال متنوعی به تصویر کشیده شده است. با بررسی موردی فرم و نقش شیء موردمطالعه در مقایسه با نمونه‌های دیگر، نتیجه‌ی قطعی حاصل نمی‌شود؛ بااین‌حال بیشترین شباهت، این پیکره با نقوش برجسته‌ی شیر روی قوری مفرغی کشف‌شده در مارلیک است (شکل ۲)، که تنها قطعات شکسته‌ای از آن باقی‌مانده‌اند (نگهبان ۱۳۶۵). در نقش شیر روی قوری مفرغی، همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، یال به‌صورت یک هلال طراحی‌شده که از یک گوش آغاز و از زیر گردن عبور کرده و به گوش دیگر می‌رسد. این فرم یال در شیء مورد بررسی نیز دیده می‌شود. قسمت بالای سر در هر دو اثر بدون یال است و انحنای گردن تا قسمت پشت تقریباً با یک زاویه به سمت دم ادامه یافته است. در یک‌سوم انتهایی هر دو

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-11-25]

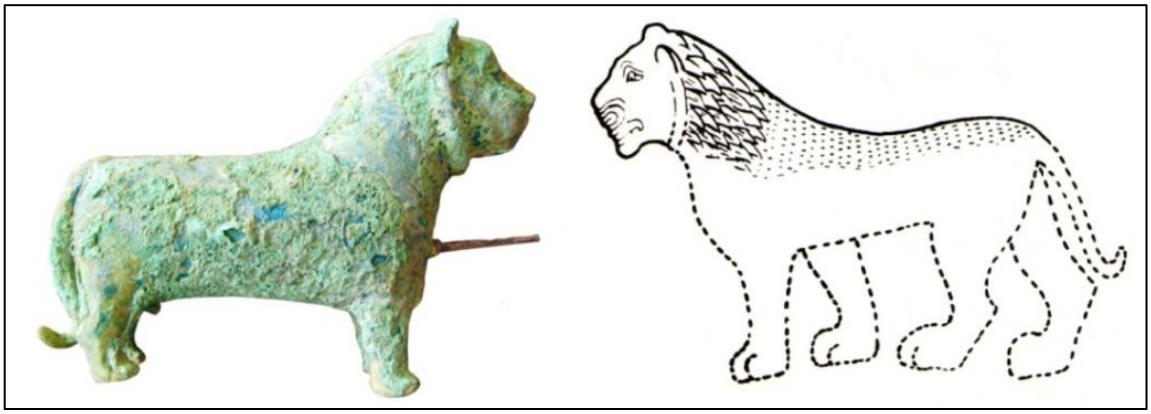
اثر، پیچش دم مشاهده می‌شود. گوش‌ها به‌صورت نیم‌دایره در ابتدا و انتهای یال و در دو طرف سر قرار دارند. بر روی گردن و پشت نقش شیر قوری مارلیک، تزئیناتی مرتبط با یال دیده می‌شود، در حالی که شیء مورد مطالعه کاملاً عاری از تزئین است. همچنین، ایستایی شیء مورد بررسی از طریق چهارپا به‌طور کامل تأمین‌شده، درحالی‌که در شیر مارلیک، بر اساس قواعد نمایش حرکت در نقش برجسته‌ها، پاها به صورت متحرک طراحی شده‌اند.



شکل ۱. پیکره شیر برنزی موردمطالعه متعلق به گنجینه موزه میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع‌دستی یزد



شکل ۲. طرح خطی متعلق به ظرف مفرغی مارلیک (نگهبان ۱۳۶۵، ۱۷۷)



شکل ۳. مقایسه‌ی نقش روی قوری مارلیک با شیء موردمطالعه

مواد و روش‌ها

با توجه به خوردگی شدید پیکره، نمونه‌برداری از مغز فلزی امکان‌پذیر نبود. بنابراین، مقداری از محصولات خوردگی قسمت‌های درونی‌تر سطح که عاری از رسوبات محیطی بودند، برای بررسی ترکیب آلیاژی انتخاب شد. با توجه به این‌که طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) بر روی محصولات خوردگی انجام شد، نتایج به‌صورت کیفی بوده و صرفاً مشخص‌کننده عناصر آلیاژی موجود در ترکیب شیء هستند. لازم به ذکر است که مقدار هر عنصر با توجه به فرآیند خوردگی ممکن است با مقدار واقعی آن در ترکیب آلیاژی متفاوت باشد (Robbiola et al.

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-11-25]

1998). با آگاهی از این محدودیت، طیف‌سنجی جذب اتمی باهدف شناسایی عناصر آلیاژی انجام شد. برای این منظور، ابتدا مقداری از نمونه در هیدروکلریک اسید غلیظ حل شد و سپس چند قطره اسید نیتریک به آن اضافه گردید. محلول به کمک آب مقطر رقیق و کمی حرارت داده شد تا نمونه به‌طور کامل حل شود. سپس، با توجه به ترکیب معمول آلیاژهای مس تاریخی، نمونه محلول برای تعیین وجود مس، قلع، سرب و آرسنیک با استفاده از طیف‌سنجی جذب اتمی (Perkin-Elmer، مدل ۲۳۸، ساخت آمریکا) در آزمایشگاه دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان اندازه‌گیری شد. علاوه بر تحلیل ترکیب آلیاژی، به‌منظور بررسی روش ساخت، تعداد قطعات، اتصالات و پرچ‌های به‌کاررفته در پیکره، رادیوگرافی انجام شد. رادیوگرافی یک روش غیر تخریبی تصویربرداری است که در مطالعه آثار تاریخی، به‌ویژه آثار فلزی، اطلاعات ارزشمندی ارائه می‌دهد. این روش با استفاده از پرتوهای گاما و ایکس که قابلیت نفوذ در بسیاری از مواد را دارند، برای بررسی روش ساخت، اتصالات، کمبودها و آسیب‌های احتمالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، نمونه در مقابل پرتو ایکس قرار می‌گیرد و بسته به ضخامت، چگالی و عدد اتمی عناصر، بخشی از پرتو جذب و بخشی عبور می‌کند. پرتوهای عبوری پس از برخورد با فیلم، باعث ایجاد نقاط روشن یا تاریک در تصویر می‌شوند که نشان‌دهنده ویژگی‌های داخلی شیء هستند. رادیوگرافی پیکره در دانشگاه هنر اصفهان با ولتاژ ۱۰۰ کیلوولت، شدت جریان ۵ میلی‌آمپر و فاصله منبع پرتو تا شیء ۵۰ سانتی‌متر انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز طیف‌سنجی جذب اتمی وجود مس، قلع و سرب را در ترکیب کلی پیکره نشان داد (جدول ۱). بررسی کیفی مقادیر عناصر آلیاژی حاکی از آن است که قلع به میزان بسیار کم شناسایی شد. این موضوع می‌تواند ناشی از فرآیندهای خوردگی و خروج عناصر آلیاژی باشد (Robbiola et al. 1998; Piccardo et al. 2007). به‌عبارت‌دیگر، میزان واقعی قلع احتمالاً بیشتر از آن چیزی است که در آنالیز مشخص‌شده، اما به دلیل خوردگی و خروج یون‌های مس از نمونه جداشده، مقدار آن کمتر از حد واقعی شناسایی گردیده است. در مقابل، میزان سرب شناسایی‌شده در نمونه قابل‌توجه بود. در بسیاری از برنزهای باستانی، سرب به میزان بسیار کم و به‌عنوان یک عنصر تصادفی که از سنگ معدن اولیه وارد ترکیب آلیاژی شده، شناسایی می‌شود. بااین‌حال، در شماری از آثار برنزی، میزان سرب فراتر از مقدار معمول به‌عنوان عنصر فرعی است. برای نمونه، در ۹ شی برنزی متعلق به لرستان میزان سرب بین ۸ تا ۱۶ درصد وزنی (wt%) شناسایی شده است (Begemann et al. 2008). این مقادیر، سرب را به‌عنوان یک عنصر افزوده عمدی در آلیاژ معرفی می‌کند. سرب به‌طور معمول در آلیاژهای مس دوران باستان استفاده می‌شده است (Oudbashi & Mortazavi 2011). افزودن سرب، سیالیت مذاب را افزایش داده و فرایند ریخته‌گری را تسهیل می‌کند (Scott 1991). بر اساس نتایج طیف‌سنجی جذب اتمی، مشخص می‌شود که پیکره از آلیاژی از مس و قلع (برنز) غنی از سرب ساخته شده است. میزان بالای سرب در ترکیب آلیاژی با توجه به استفاده از روش ریخته‌گری در ساخت پیکره کاملاً عمدی و حساب‌شده بوده است.

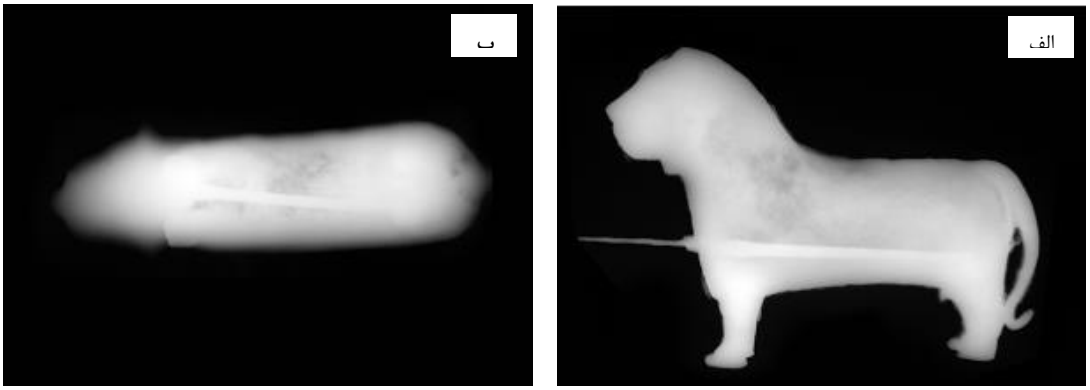
جدول ۱. نتایج طیف‌بینی جذب اتمی (AAS) بخشی از محصولات خوردگی

نوع عنصر	نتیجه شناسایی با طیف‌بینی جذب اتمی
مس	+
قلع	خیلی کم
سرب	+

در ادامه بررسی‌های فنی پیکره، تصویربرداری با پرتوایکس انجام شد. پرتوایکس قابلیت نفوذ از بدنه پیکره را دارد و امکان مطالعه ساختار داخلی آن را فراهم می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، رادیوگرافی امکان بررسی وجود فضاهای خالی مربوط به ماهیچه‌ها یا میله‌های نگه‌دارنده (قانچاق) را فراهم می‌آورد. در مطالعات پیشین بر روی یک مجسمه برنزی، تصویربرداری با پرتوایکس امکان شناسایی قانچاق‌های برنزی را فراهم کرده بود (Davey 2009). تصاویر رادیوگرافی پیکره اطلاعات ارزشمندی درباره مشخصات داخلی آن ارائه کردند (شکل ۴). همان‌طور که در تصاویر مشاهده می‌شود، پیکره توخالی بوده و وسیله‌ی فلزی جلوی پیکره تا انتهای قسمت خالی بدنه ادامه یافته است (شکل ۴ الف). در رادیوگرافی انجام‌شده از بالای پیکره (شکل ۴ ب)، انحراف میله به سمت چپ کاملاً مشهود است. همچنین هیچ حفره یا محل اتصالی در بخش‌های مختلف پیکره قابل تشخیص نیست. بر این اساس، مشخص می‌شود که پیکره با استفاده از روش موم گمشده ساخته شده است. روش موم گمشده از دوران باستان در ایران مورداستفاده قرارگرفته است. موری (۱۹۸۲) بر این باور است که شماری از آثار به‌دست‌آمده از شوش، مارلیک، تپه یحیی و تپه حصار با این روش ساخته شده‌اند. بسیاری از تحلیل‌ها درباره ساخت اشیاء برنزی با

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-11-25]

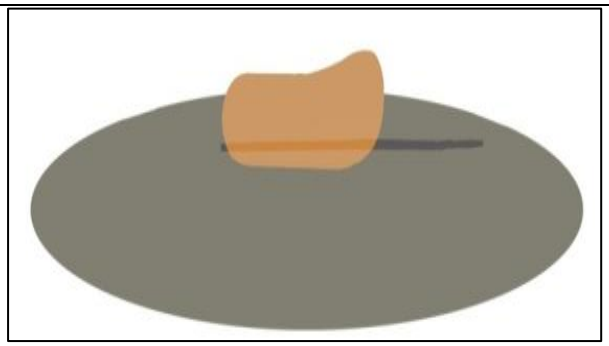
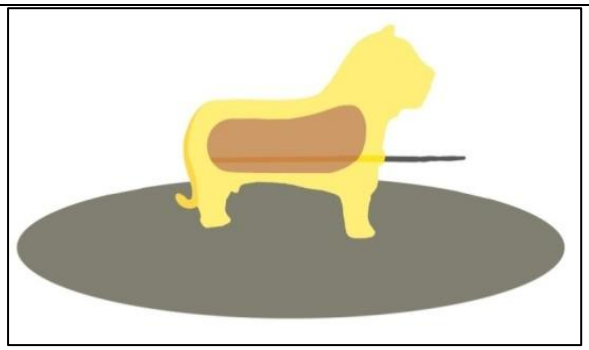
روش موم گمشده بر اساس پیچیدگی شکل شیء بیان‌شده است، زیرا این روش عموماً برای اشیاء با اشکال پیچیده به‌کار گرفته می‌شد (El Morr & Pernot 2011). با این حال، دیوی (۲۰۰۹) نشان داد که پیچیدگی شکل تنها عامل تعیین‌کننده برای استفاده از این روش نبوده است.



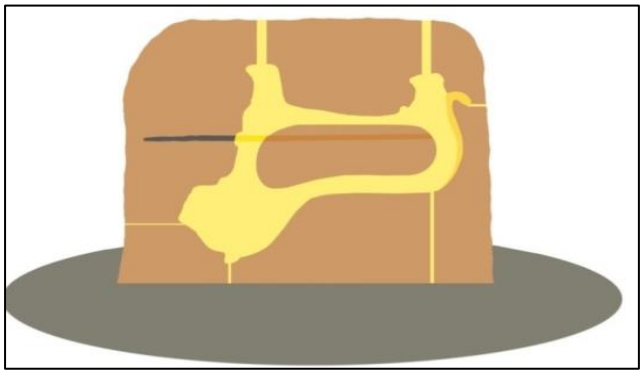
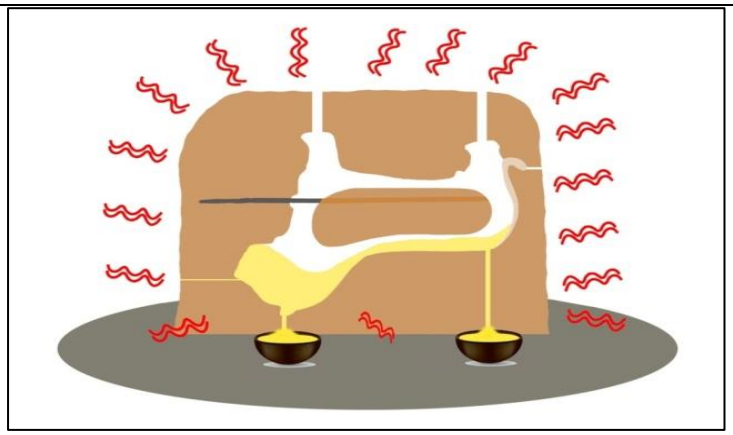
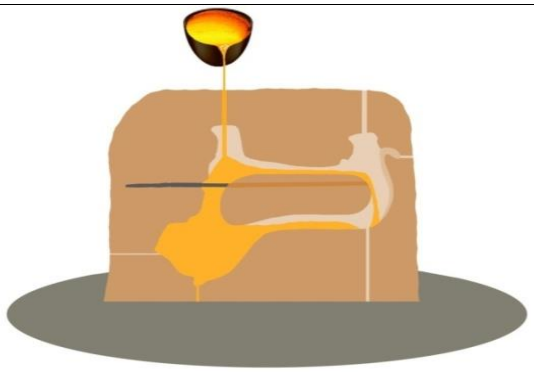
شکل ۴. تصویر رادیوگرافی پیکره برنزی از پهلو و بالا که در آن فضای خالی میانی و ادامه میله به قسمت داخلی پیکره مشاهده می‌شود.

روش موم گمشده و مراحل ساخت

در خصوص روش موم گمشده و انواع آن، دیوی (۲۰۰۹) طبقه‌بندی‌ای بر اساس ماهیت مدل مومی ارائه کرده است. در این طبقه‌بندی، انواع ریخته‌گری به روش موم گمشده به شش گروه تقسیم شده‌اند. بااین‌حال، اساس کار در همه موارد یکسان است: ریخته‌گری از یک مدل مومی انجام می‌شود. شیء موردنظر ابتدا با موم شکل داده می‌شود (توخالی یا توپر) و سپس با لایه‌ای از رس پوشانده می‌شود. هنگامی که موم ذوب می‌شود، فضای خالی ایجادشده با فلزمذاب پر می‌گردد (Scott 1991). در نمونه‌های توخالی، از هسته (ماهیچه) برای ایجاد فضای تهی استفاده می‌شود. ماهیچه به‌وسیله میله‌های فلزی (قانچاق) که بخشی از ریخته‌گری نهایی هستند، در محل خود ثابت می‌ماند (Davey 2009). میله جلوی پیکره که تا قسمت داخلی آن ادامه یافته، احتمالاً از اجزای اولیه مجموعه قالب بوده و نقش میله نگه‌دارنده (قانچاق) ماهیچه را ایفا کرده است؛ بااین‌حال، بخش بیرونی میله که پس از ریخته‌گری خارج از پیکره قرار گرفته، به دلایلی نامشخص حذف نشده است. بر اساس تصاویر رادیوگرافی و ویژگی‌های ساختاری پیکره، مراحل ساخت آن با روش موم گمشده به شش مرحله به شرح زیر قابل‌ارائه است (تصاویر ۵ تا ۱۰):

مراحل	شرح	اشکال
۱	ساخت هسته (ماهیچه) رسی اولیه که فضای داخلی پیکره را شکل می‌دهد (شکل ۵). در این مرحله، میله نگه‌دارنده نیز در ماهیچه کار گذاشته می‌شود تا از جابه‌جایی آن پس از ذوب موم جلوگیری شود.	 شکل ۵. تهیه هسته گلی به همراه میله‌ی نگه‌دارنده
۲	شکل دادن مدل مومی اطراف هسته رسی اولیه به شکل موردنظر (شکل ۶). در این مرحله جزییات پیکره نیز بر روی موم اجرا گردیده است. قانچاق نیز از مدل مومی خارج‌شده است تا در پوسته بیرونی قرار گیرد.	 شکل ۶. ساخت مدل مومی پیکره و اجرای جزییات و نقوش روی آن

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-11-25]

۳	اجرای پوسته رسی بر روی مدل مومی به شکلی که آن را بپوشاند (شکل ۷). در این مرحله مجراهایی برای عبور مذاب و خروج هوا نیز در قالب اجرا می‌شود.	 شکل ۷. تعبیه مجاری با موم برای خروج هوا، ایجاد راهگاه و پوشاندن کل مجموعه با گل (رس)
۴	حرارت دادن کل مجموعه برای ذوب شدن مدل مومی و خروج آن از قالب (شکل ۸).	 شکل ۸. حرارت قالب گلی به‌منظور خروج موم از آن
۵	ریختن مذاب در قالب و شکل گرفتن پیکره در اثر پر شدن فضای خالی ناشی از ذوب مدل مومی (شکل ۹). لازم به ذکر است که مرحله ۴ و ۵ می‌تواند هم‌زمان انجام شود. به این معنی که می‌تواند با ورود مذاب به داخل قالب، مدل مومی ذوب‌شده و خارج شود و نیاز به اجرای مرحله مجزای ۴ نباشد.	 شکل ۹. مرحله‌ی ریختن مذاب در قالب
۶	شکستن پوسته بیرونی رسی و خارج کردن پیکره از قالب (شکل ۱۰). درروش موم گمشده، قالب-های به‌عنوان بخشی از فرایند ساخت شکسته می‌شوند ازاین‌رو، شواهد این نوع قالب اغلب بسیار کم از محوطه‌های باستانی به دست می‌آید (Davey 2009). همچنین با توجه به این‌که برای هر بار ریخته‌گری نیاز به ساخت قالب جدید است، اشیاء ساخته‌شده با این روش مشابه نیستند (Moorey 1969)	 شکل ۱۰. شکستن قالب و خارج کردن مجسمه از آن

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-11-25]

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها نشان داد که پیکره موردمطالعه از آلیاژی از مس و قلع ساخته‌شده و از این نظر در گروه آثار برنزی قرار می‌گیرد. علاوه بر این، میزان قابل‌توجهی سرب نیز در ترکیب آلیاژی شناسایی شد. وجود سرب در ترکیب آلیاژی این پیکره، با توجه به روش ساخت آن‌که مبتنی بر ریخته‌گری بوده است، عمدی بوده و هدف از آن افزایش سیالیت مذاب و تسهیل فرایند ریخته‌گری بوده است. بررسی پیکره با پرتوایکس نشان داد که مجسمه به‌صورت توخالی ساخته شده و هیچ منفذی در بدنه آن وجود ندارد. همچنین، میله جلوی پیکره تا قسمت داخلی آن امتداد یافته است. با توجه به این ویژگی‌ها، روش ساخت پیکره با استفاده از موم گمشده شناسایی شد. بر این اساس، فرایند ساخت پیکره شامل پنج یا شش مرحله بوده است: ساخت ماهیچه، شکل‌دهی مدل مومی، ایجاد پوسته بیرونی، ریختن فلز مذاب در قالب، و در نهایت شکستن پوسته و خارج کردن شیء برنزی.

منابع

کمیته مطالعات معدنکاری و فلزکاری کهن. (۱۳۸۱). *گزارش مقدماتی مطالعات فلزکاری و معدنکاری کهن در محوطه‌های باستانی پیش‌ازتاریخ اریسمان و وشنوه (کاشان، قم)* (م. مؤمن‌زاده، مترجم). تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.

نگهبان، عزت‌الله. (۱۳۶۵). *ظروف فلزی مارلیک، حفاری سال‌های ۱۳۴۰ و ۱۳۴۱*. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.

Begemann, F., Haerinck, E., Overlaet, B., Schmitt-Strecker, S., & Tallon, F. (2008). An archaeo-metallurgical study of the Early and Middle Bronze Age in Luristan, Iran. *Iranica Antiqua, 43*, 1–66.

Bonadies, S. D. (1994). Tomography of ancient bronzes. In D. A. Scott, J. Podany, & B. B. Considine (Eds.), *Proceedings of the Symposium on Ancient & Historic Metals: Conservation and Scientific Research* (pp. 75–84). Los Angeles, CA: The J. Paul Getty Trust.

Coghlan, H. H. (1975). *Notes on the prehistoric metallurgy of copper and bronze in the Old World*. Oxford, UK: Oxford University Press.

Davey, C. J. (2009). The early history of lost-wax casting. In J. Mei & T. Rehren (Eds.), *Metallurgy and civilisation: Eurasia and beyond* (pp. 147–154). London, UK: Archetype Publications.

El Morr, Z., & Pernot, M. (2011). Middle Bronze Age metallurgy in the Levant: Evidence from the weapons of Byblos. *Journal of Archaeological Science, 38*(10), 2613–2624.

Fleming, S. J., Pigott, V. C., Swann, C. P., & Nash, S. K. (2005). Bronze in Luristan: Preliminary analytical evidence from copper/bronze artifacts excavated by the Belgian mission in Iran. *Iranica Antiqua, 40*, 35–64.

Frame, L. (2010). Metallurgical investigations at Godin Tepe, Iran, Part I: The metal finds. *Journal of Archaeological Science, 37*(7), 1700–1715.

Haerinck, E., Overlaet, B., & Jafar-Mohammadi, Z. (2004). Finds from Khatunban B, Badavar Valley (Luristan) in the Iran Bastan Museum, Tehran. *Iranica Antiqua, 39*, 105–168.

Helwing, B. (2006). The rise and fall of Bronze Age centers around the Central Iranian Desert: A comparison of Tappe Hesār II and Arismān. *Archäologische Mitteilungen aus Iran und Turan, 38*, 35–48.

Holm, K. (1994). Production and restoration of nineteenth-century zinc sculpture in Denmark. In D. A. Scott, J. Podany, & B. B. Considine (Eds.), *Proceedings of the Symposium on Ancient & Historic Metals: Conservation and Scientific Research* (pp. 239–241). Los Angeles, CA: The J. Paul Getty Trust.

Moorey, P. R. S. (1969). Prehistoric copper and bronze metallurgy in Western Iran, with special reference to Luristan. *Iran, 17*, 131–154.

Moorey, P. R. S. (1982). Archaeology and pre-Achaemenid metalworking in Iran: A fifteen-year retrospective. *Iran, 20*, 81–101.

Mortazavi, M., Salehi Kakhki, A., Golozar, M. A., & Talai, H. (2011). Preliminary metallurgical investigation of copper-based artifacts at Tepe Sagzabad in Qazvin Plain, Iran (1500–800 BC). *Iranian Journal of Archaeological Studies, 1*(2), 49–59.

Oudbashi, O., & Mortazavi, M. (2011). Some aspects of heat treatment in ancient and historic copper alloy artefacts. *International Conference on Materials Heat Treatment (ICMH 2011)*, Islamic Azad University, Majlesi Branch, Isfahan, Iran.

Piccardo, P., Mille, B., & Robbiola, L. (2007). Tin and copper oxides in corroded archaeological bronzes. In P. Dillmann, G. Béranger, P. Piccardo, & H. Matthiesen (Eds.), *Corrosion of metallic heritage artefacts: Investigation, conservation and prediction of long-term behaviour* (pp. 239–262). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.

Pigott, V. C. (1999). The development of metal production on the Iranian Plateau: An archaeometallurgical perspective. In V. C. Pigott (Ed.), *The archaeometallurgy of the Asian Old World* (pp. 73–106). Philadelphia, PA: University of Pennsylvania Museum Press.

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-11-25]

Pigott, V. C. (2004). On the importance of Iran in the study of prehistoric copper-base metallurgy. In T. Stöllner, R. Slotta, & A. Vatandoust (Eds.), *Persia's ancient splendour: Mining, handicraft and archaeology* (pp. 28–43). Bochum, Germany: Deutsches Bergbau-Museum.

Robbiola, L., Blengino, J.-M., & Fiaud, C. (1998). Morphology and mechanism of formation of natural patina on archaeological Cu-Sn alloys. *Corrosion Science, 40*(12), 2083–2111.

Roustaei, K. (2004). A major manufacturing centre at the Central Plateau. In T. Stöllner, R. Slotta, & A. Vatandoust (Eds.), *Persia's ancient splendour: Mining, handicraft and archaeology* (pp. 222–230). Bochum, Germany: Deutsches Bergbau-Museum.

Scott, D. A. (1991). *Metallography and microstructure of ancient and historic metals*. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.

Thornton, C. P. (2009). The emergence of complex metallurgy on the Iranian Plateau: Escaping the Levantine paradigm. *Journal of World Prehistory, 22*(3), 301–327.

Thornton, C. P., Lamberg-Karlovsky, C. C., Liezers, M., & Young, S. M. M. (2002). On pins and needles: Tracing the evolution of copper-base alloying at Tepe Yahya, Iran, via ICP-MS analysis of commonplace items. *Journal of Archaeological Science, 29*(12), 1451–1460.

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-11-25]