

## مطالعه آلیاژ و روش ساخت النگوهای اقوام مهاجر اوراسیا؛ نمونه موردی، النگوهای به دست آمده از کورگان هشت جعفرآباد

عاطفه یداللهی هفشجانی\*

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی دانشگاه هنر اصفهان

حمیدرضا بخشنده فرد

استادیار گروه مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی دانشگاه هنر اصفهان

فرشید ابروانی قدیم

استادیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه هنر اصفهان

(از ص ۱۹۱ تا ۲۰۴)

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۸/۱۷؛ تاریخ پذیرش قطعی: ۹۵/۰۶/۰۳

### چکیده

کورگان‌ها از شیوه‌های تدفین اقوام مهاجر اوراسیا هستند که اخیراً در ایران مورد حفاری باستان‌شناسی قرار گرفته‌اند. کورگان‌های جعفرآباد در ۱۳۸۹ مورد کاوش‌های باستان‌شناسی قرار گرفت. براساس فصل اول این کاوش‌ها، از حفاری‌های کورگان‌های جعفرآباد ۵۴ شیء مفرغی به دست آمده است که بخش اعظم آنها را زیورآلات تشکیل می‌دهد. بیشتر زیورآلات مفرغی این فصل، از کورگان شماره هشت این محوطه به دست آمده که در میان آنها دو النگو شناسایی شده است. در این پژوهش با استفاده از روش‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به دستگاه آنالیز عنصری، طیف‌سنجی جذب اتمی، رادیوگرافی پرتو ایکس و متالوگرافی؛ نوع آلیاژ، ترکیب شیمیایی و تکنیک ساخت این دو النگو مطالعه شد. آلیاژ به کاررفته در ساخت این آثار مفرغ بود. ریزساختار این النگوها بیانگر فرآیندی پیوسته از چکش‌کاری و تاب‌کاری است که برای ساخت آنها طی شده است. تصاویر رادیوگرافی نیز چکش‌کاری این آثار را اثبات می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اشیاء مفرغی، کورگان‌های جعفرآباد، قبایل اوراسیا، متالورژی اشیاء باستانی، میکروسکوپ الکترونی

---

\* رایانامه نویسنده مسئول: [atefe.yadolahi@gmail.com](mailto:atefe.yadolahi@gmail.com)

## ۱. مقدمه

یکی از شیوه‌های تدفین که از هزاره چهارم تا عصر آهن ادامه داشته است، کورگان‌ها هستند که عبارت‌اند از گورته‌های باستانی به‌صورت برجستگی‌های پشته‌ای یا مدور و تپه‌مانند که بنا بر اهمیت و مقام اجتماعی فرد دفن‌شده، ابعاد و ارتفاع آنها با یکدیگر متفاوت است. فرهنگ کورگان متعلق به مردمی است که خودشان را با زندگی استپی سازگاری داده و سواحل مرتفع رودخانه‌ها را برای زندگی خود مناسب یافته‌اند و اقتصادی مبتنی بر رمه‌داری داشته‌اند. طی سالیان اخیر، مطالعه درباره این فرهنگ در ایران آغاز شده است و شمال غرب ایران و از جمله روستای جعفرآباد از نقاطی است که پذیرای این فرهنگ بوده است. روستای جعفرآباد در شهرستان نوبنیاد خداآفرین به مرکزیت خمارلو در شمال شرق تبریز در قسمت شمالی ارسباران (قره‌داغ) واقع شده و با جمهوری آذربایجان هم‌مرز است. منطقه ارسباران با قدمت تاریخی دیرین خود، مهد تمدنی کهن‌سال و دارای پیشینه‌ای درخشان است (ایروانی و ممی‌زاده، ۱۳۹۱: ۳۵) که کاوش‌های باستان‌شناسی مبین آن است؛ از جمله کاوش‌های باستان‌شناسی اخیر این منطقه که به کشف تعدادی کورگان منجر شد. کورگان‌های جعفرآباد در یک کیلومتری غرب روستای جعفرآباد و یک کیلومتری روستای طوعلی از توابع شهرستان خداآفرین در استان آذربایجان شرقی در شمال غرب ایران قرار گرفته‌اند. ۴۰ کورگان موجود در یک محدوده پنج کیلومتری در بررسی سطحی سال ۱۳۸۵ شناسایی شده‌اند. نخستین فصل کاوش در این کورگان‌ها با مجوز شماره ۲۷۴،۲۰۸،۸۲۹ پژوهشکده باستان‌شناسی از تاریخ ۱۳۸۹/۷/۱۱ به مدت ۶۰ روز انجام گرفت (Irvani, 2011:216).



نقشه ۱: موقعیت قرارگیری کورگان‌های جعفرآباد نسبت به روستای جعفرآباد و طوعلی سفلا

در این فصل تعداد هشت کورگان کاوش شد که طی آن ۵۴ شیء مفرغی به‌دست‌آمد که در میان آنها، زیورآلات با بیش از ۹۰٪ بیشترین سهم را داشتند. واضح است که وابستگی مردمان منطقه به این‌گونه زیورآلات به حدی بوده است که حتی پس از مرگ، مردگان را به همراه زیورآلاتشان به خاک می‌سپردند. مطالعات دربارهٔ این کورگان‌ها و اشیای به‌دست‌آمده از آنها، مطالعاتی باستان‌شناختی بوده است. ایروانی، سرپرست هیئت حفاری این منطقه در گزارش حفاری خود، علاوه بر اشاره به معماری هر یک از کورگان‌ها، آثار به‌دست‌آمده از آنها را نیز معرفی کرده است. او همچنین در سه مقاله که در سال‌های ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۴ منتشر شده‌اند، سه عدد از این کورگان‌ها (کورگان‌های ۴، ۵ و ۸) و آثار کشف‌شده از آنها را شناسانده است. ایروانی و ممی‌زاده در ۱۳۹۱ طی مقاله‌ای فرهنگ کورگان و گونه‌شناسی سفال‌ها و گاه‌نگاری نسبی آنها را براساس مجموعه سفال‌های به‌دست‌آمده از کورگان‌های جعفرآباد معرفی کرده‌اند. مسعودی‌نیا در شهریور ۱۳۹۱ در پایان‌نامهٔ تحصیلی کارشناسی ارشد خود اشیای مفرغی کورگان‌های جعفرآباد را معرفی و گونه‌شناسی کرده است. او همچنین در مقاله‌ای با همکاری ایروانی و طلایی در ۲۰۱۳ نُه گونه زیورآلات به‌دست‌آمده از کورگان‌های جعفرآباد را معرفی و ویژگی‌های هر دسته را بیان کرده است؛ این زیورآلات به کورگان چهار و هشت تعلق داشته و از آن دو زن میان‌سال بوده‌اند.





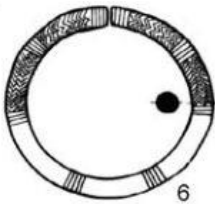
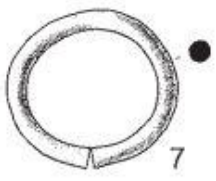
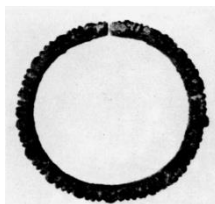

با توجه به اینکه هیچ‌گونه پژوهش مستقلی دربارهٔ شناخت فناوری مفرغ‌های کورگان‌های کاوش‌شده در شمال غرب ایران انجام نشده است، مطالعه و بررسی این آثار از این جهت که می‌تواند بخشی از فرهنگ و هنر اقوام کوچ‌روی منطقه را برای ما مشخص کنند، حائز اهمیت است. بیشترین اشیای مفرغی فصل نخست کاوش در این محوطه، از کورگان شمارهٔ هشت، با ۳۱ شیء کشف شده است که به جز یک عدد خنجر و یک سوزن، بقیهٔ آثار مفرغی این کورگان را زیورآلات تشکیل می‌دهد (Iravani, 2011:194-195). زیورآلات به‌دست‌آمده از این کورگان شامل دو النگو، ۲۶ دکمهٔ مفرغی و یک اسپیرال مو می‌شود. در این پژوهش که به بررسی متالورژیکی دو النگوی به‌دست‌آمده از این کورگان اختصاص یافته است، زیورآلات مذکور از نظر فناوری ساخت و ترکیب آلیاژ به‌دقت مطالعه شدند تا شاید گوشهٔ کوچکی از کمبود اطلاعات در زمینهٔ مفرغ‌های این کورگان‌ها جبران شود.

## ۲. معرفی آثار و ذکر نمونه‌های مشابه

النگوی شمارهٔ J-A-2010-29 قطر آن ۷/۵ سانتی‌متر و ضخامت آن ۰/۶ سانتی‌متر است. شکل آن دایره‌ای و سالم است. ضخامت آن در همهٔ قسمت‌ها یکسان است. دو سر النگو با هم فاصلهٔ زیادی دارند و در انتهای هر دو قسمت آن، چند شیار دندان‌های برای تزئین به کار رفته است. همچنین در قسمت انتهایی راست النگو فرورفتگی دیده می‌شود.

النگوی شمارهٔ J-A-2010-60 قطر آن ۸ سانتی‌متر و ضخامت آن ۰/۷ سانتی‌متر است. شکل آن دایره‌ای و سالم است. تفاوت این النگو با النگوی پیشین در این است که تمامی سطح النگو با دندان‌هایی تزئین شده است. دو سر النگو از هم فاصلهٔ اندکی دارند. تصاویر النگوها و نمونه‌های مشابه با آنها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- معرفی النگوهای به‌دست‌آمده از کورگان ۸ جعفرآباد و ذکر نمونه‌های مشابه

نمونه‌های مشابه			النگوی J-A-2010-29	
				
عصر آهن	عصر آهن	عصر آهن II	دوره زمانی	
محوطه قبرستانی زاگرس - سنندج	حسنلو	دینخواه	محل کشف	
(Amelirad, Overlaet & Haeirinck, 2011)	(Muscarella, 1988)	(Muscarella, 2013)	منبع	
نمونه‌های مشابه			النگوی J-A-2010-60	
				
عصر آهن I	عصر آهن II	عصر آهن	دوره زمانی	
کتل گل لریستان	ورکبود لریستان	حسنلو	محل کشف	
(Overlaet, 2005)	(Overlaet, 2005)	(Muscarella, 1988)	منبع	

### ۳. معرفی روش‌ها

در این پژوهش برای دستیابی به نحوه توزیع عناصر، عناصر تشکیل‌دهنده آلیاژ، نواحی (فازهای) موجود در آلیاژ و همچنین مطالعات ریزساختار مقاطع فلزی که ما را به سمت فرآیند تولید این آثار رهنمون می‌کنند، از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به دستگاه آنالیز عنصری (SEM-EDS)<sup>۱</sup> استفاده شده است. نمونه‌ای که برای آنالیز با اس ای ام (SEM) تهیه می‌شود باید در رزین ثابت شده (مانت)<sup>۲</sup> و سایش داده شود؛ لذا از نمونه‌هایی که برای متالوگرافی آماده شده بودند، پیش از حکاری (اچ کردن)<sup>۳</sup>، برای آنالیز استفاده شد. آنالیز در مرکز متالورژی رازی تهران با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل وگا تسکن (VEGA TESCAN) مجهز به شناساگر تصاویر الکترون برگشتی (BSE)<sup>۴</sup> و دستگاه آنالیز عنصری (EDS) مدل Rontec Quantax/QX2, Germany انجام شد.

برای تشخیص عناصر تشکیل‌دهنده آلیاژ و تعیین مقدار نسبی آنها، از طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS)<sup>۵</sup> نیز استفاده شد. برای آنالیز عناصر تشکیل‌دهنده فلز و یا آلیاژ به وسیله طیف‌سنجی جذب اتمی به مغز فلزی نمونه نیاز است؛ به‌صورتی که ناخالصی‌ها، محصولات خوردگی و رسوبات محیطی در آن وجود نداشته باشد.

در این پژوهش نیز برای تشخیص عناصر تشکیل دهنده آلیاژ و تعیین مقدار نسبی آنها با استفاده از این روش، نمونه برداری الگوها از قسمت خالی دسته آنها انجام شد که دید کمتری داشتند و مغز فلزی نمونه مشخص بود. نمونه‌ها به درستی توزین و در اسید کلریدریک حل شدند و سپس با آب مقطر به حجم مورد نظر رسیدند. نمونه‌های محلول برای قرارگرفتن در غلظت‌هایی که در بازه تشخیص دستگاه باشند، باید رقیق شوند و به همین منظور از محلول‌های آماده شده با توجه به غلظت‌های مربوط، نمونه برداشته شد و سپس رقیق شدند. استانداردهای مورد نظر نیز براساس عناصری که برای مطالعه و آنالیز در نظر بودند و شامل مس، قلع، روی و سرب می‌شدند، از نمک‌های تجاری آنها به ترتیب  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ،  $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ ،  $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ ،  $Pb(NO_3)_2$ ، در غلظت‌های پذیرفتنی دستگاه ساخته شدند؛ به این ترتیب که برای مس ۵ استاندارد (۱۰ ppm)، برای ۸، ۶، ۴، ۲، برای قلع ۴ استاندارد (۲۵، ۲۰، ۱۵، ۱۰ ppm)، برای روی ۴ استاندارد (۲ ppm، ۱/۵، ۱، ۰/۵) و برای سرب نیز ۴ استاندارد (۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰ ppm) تهیه شد. در نهایت با توجه به جذب استانداردهای مربوط، جذب و غلظت هر عنصر در نمونه‌های مجهول سنجیده و مقدار کمی آن برای هر کدام از اشیاء محاسبه شد که در بخش نتایج و بحث به آن اشاره خواهیم کرد. قابل ذکر است که این آنالیز در آزمایشگاه شیمی دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان با دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی مدل PerkinElmer 2380 و مطالعات متالوگرافی نیز در آزمایشگاه فلز و متالوگرافی همان دانشکده انجام شد. مقاطع توسط محلول کلرید آهن سه ظرفیتی اچ و با میکروسکوپ نوری پلاریزان مدل BK-POL/BK-POLR (مجهز به دوربین کانن EOS Kiss X4 CCD) مشاهده و عکس برداری شدند. هدف از متالوگرافی آشکارساختن مشخصات ساختاری، برخی از آثار کار مکانیکی و در نهایت تکنیک به کاررفته در ساخت این زیورآلات است.

در این پژوهش همچنین از رادیوگرافی اشعه ایکس برای تشخیص وجود یا عدم وجود آسیب‌های ریزساختاری، شناسایی روش‌های ساخت و به دست آوردن تجسمی از نحوه توزیع چگالی در زیورآلات مفرغی مورد مطالعه استفاده شده است. این آنالیز با استفاده از دستگاه رادیوگرافی مدل ۶۳۰ میلی آمپر شیماتزو (Shimadzu) و تریکسل (TriXell) فرانسه، موجود در بیمارستان آیت‌الله کاشانی اصفهان انجام شد.

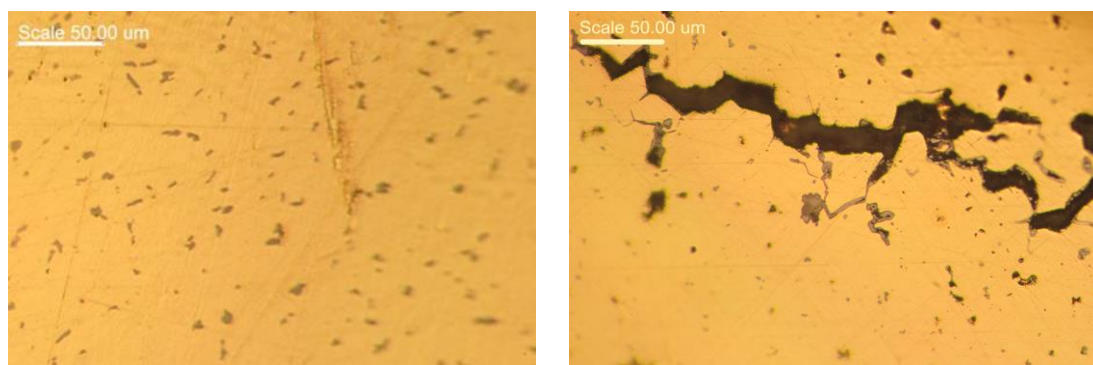
#### ۴. نتایج و بحث

##### ۴-۱. بررسی مقاطع اچ‌نشده نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز عنصری EDS

مقاطع حکاری نشده نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از میکروسکوپ نوری مشاهده و سپس برای تشخیص نواحی مختلف موجود در این مقاطع، از آنها تصاویر الکترون برگشتی (BSE) تهیه شد. برای تشخیص عناصر شیمیایی به کاررفته در ساخت این زیورآلات و همچنین ترکیب نواحی مختلف موجود در این مقاطع، نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آنالیز عنصری (EDS) این میکروسکوپ آنالیز شدند. شایان ذکر است که درصد عناصر شناسایی و ذکر شده بر حسب درصد وزنی (wt%) است.

مقطع این الگوها زیر میکروسکوپ نوری، نشان دهنده ماتریس برنزی رنگی است که تعدادی آخال (اینکلوژن) خاکستری رنگ در این زمینه پخش هستند. علاوه بر این، نقاطی سیاه رنگ در سطح مقطع این نمونه‌ها به چشم می‌خورد. آنچه در مقطع الگوی J-A-2010-29 جلب توجه می‌کند، وجود ترکی است که در

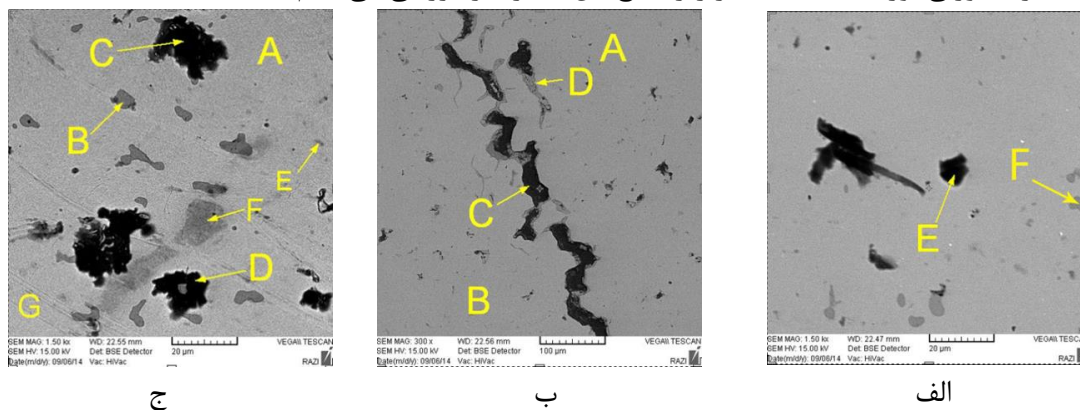
امتداد عرض این مقطع کشیده شده و همین ترک نیز به منزله انشعاب و دلیلی برای به‌وجود آمدن ترک‌های کوچک‌تر دیگر در امتداد این ترک است (شکل ۱-الف). به‌وجود آمدن ترک در چنین اشیایی که تحت تنش و خستگی‌های ناشی از کار مداوم بر روی این آثار بوده است، بدیهی است. در بخش متالوگرافی این آثار، شواهد این کار سخت را بیشتر خواهیم دید.



شکل ۱: مقطع عرضی اچ‌نشده‌نگوها؛ الف- النگوی J-A-2010-29، ب- النگوی (J-A-2010-60).

#### ۴-۱-۱. ترکیب آلیاژ

در تصاویر الکترون برگشتی (BSE) این مقاطع (شکل ۲) نواحی متفاوت از نظر تضاد و اختلاف شکل قابل مشاهده هستند که عناصر متشکله این نواحی، در آنالیز عنصری (EDS) شناسایی شده و در جداول مربوط برحسب درصد وزنی آورده شده است. در زیر نتایج این آنالیزها را بررسی می‌کنیم.



شکل ۲: الف و ب: تصاویر BSE مقطع عرضی اچ‌نشده‌نگوی J-A-2010-29، ج: تصویر BSE مقطع عرضی اچ‌نشده‌نگوی J-A-2010-60.

آنالیز عنصری نواحی مربوط به ماتریس فلزی، نقاط A و B و همچنین نقطه D که تقریباً از لحاظ کنتراست نزدیک به این نقاط است، در النگوی J-A-2010-29 و نقاط A و G به‌عنوان ماتریس اصلی آلیاژ و دو نقطه دیگر که شامل E و F می‌شوند، در النگوی J-A-2010-60 بیانگر ترکیباتی مشابه با درصد‌های نزدیک به هم هستند. عناصر اصلی برای این نواحی مس و قلع گزارش شده است. مقدار مس در این نقاط از ۸۶/۳۴٪ تا

۸۹/۵۰٪ و میزان قلع از ۱/۵۰٪ تا ۱۰/۲۹٪ متغیر است. کاهش میزان قلع در نقطه D به دلیل حضور اکسیژن و اکسیداسیون در این ناحیه است (جدول ۲). آنچه تا اینجا با توجه به عناصر و درصدهای مربوط می‌توان گفت این است که در ساخت این النگو با آلیاژ دوگانه‌ای از مس و قلع مواجه هستیم. همان‌طور که چاز (Chase) (۱۹۹۱) اشاره کرده است، مس خالص به دلیل داشتن نقطه ذوب بالا و همچنین به علت جذب کردن گازهای مختلف، به‌ویژه اکسیژن که هنگام ریخته‌شدن در قالب و سردشدن، در نهایت باعث تشکیل حباب‌های گاز و متخلخل‌شدن می‌شود، برای ریخته‌گری مشکلاتی را به‌وجود می‌آورد؛ لذا اضافه‌کردن قلع فقط نقطه ذوب را پایین نمی‌آورد، بلکه به‌عنوان احیاکننده برای جلوگیری از وجود تخلخل کمک می‌کند (Costello, 2005:7).

نکته حائز اهمیت، حضور آرسنیک در نقاط A و E (۳/۸۷٪) در النگوی J-A-2010-60 در کنار مس و قلع است. به نقل از جیملیا و همکارانش، لکتمن (Lechmann) (1991) مقدار آرسنیک در حدود ۰/۵٪ را به‌عنوان استفاده عمده آن در نظر می‌گیرد. آنها همچنین اشاره کرده‌اند، تایکلت (Tylecote) (۱۹۹۱) و برانگان (Branigan) (1974) حدود ۲٪ آرسنیک را مرز بین ناخالصی و استفاده عمده آن دانسته‌اند (Giulia et al. 2002: 205). با توجه به نکات گفته شده و میزان آرسنیک در این دو نقطه، می‌توان احتمال‌های متفاوتی را در نظر گرفت. آنچه واضح است این است که فلزکاران النگوهای مورد بحث، با آلیاژ مفرغ آشنایی داشته‌اند، اما ممکن است در آن زمان، به مضرات ناشی از کاربرد آرسنیک پی نبرده بوده‌اند و لذا این عنصر را برای بهبود خواص آلیاژ نهایی استفاده کرده‌اند. فلزکاران باستان برای بهبود بخشی به ویژگی‌های مس، این فلز را با عناصری همچون قلع، آرسنیک، آنتیموان ترکیب کرده و آلیاژهایی با خواص بهتر پدید آورده‌اند. شاید این فلزگران نیز برای خواص مکانیکی که این عنصر به آلیاژ می‌بخشیده است، از آن سود برده‌اند که از جمله این خواص، می‌توان به افزایش قابلیت سخت‌کاری اثر اشاره کرد (Junk, 2003:23). همان‌طور که می‌دانیم، این اشیاء در زمره زیورآلات جای دارند و برای رسیدن به شکلی مطلوب به پرداخت زیادی نیاز داشته‌اند. احتمال دیگری که می‌توان در نظر داشت، حضور غیرعمده این عنصر است؛ به این صورت که سنگ معدن مورد استفاده برای استحصال و ذوب مس، سنگ معدنی حاوی مقادیر زیادی آرسنیک بوده است؛ زیرا این عنصر به‌صورت ناخالصی طبیعی، حتی در سنگ‌های معدنی مس خالص نیز یافت می‌شود. نکته دیگر این که ممکن است منبع این آرسنیک از ته‌مانده‌ها و تکه‌های مس آرسنیک باشد که این فلزگران هنگام ساخت آلیاژ، آنها را با محلول مذاب مس تازه ترکیب کرده باشند. در اینجا ذکر این نکته لازم است که با توجه به وجود آرسنیک (به‌صورت عمده یا غیرعمده) ما با نوعی آلیاژ مفرغی در ساخت این اثر مواجه‌ایم که در بعضی نقاط در کنار مس و قلع، آرسنیک نیز وجود دارد.

در آنالیز عنصری النگوی J-A-2010-29 مقداری سرب کنار عناصر اصلی شناسایی شد که میزان آن در این نقاط به‌عنوان ماتریس فلزی، به اندازه‌ای نیست که بتوان گفت این عنصر به‌صورت عمده اضافه شده است؛ زیرا این مقدار سرب تأثیر چندانی در بهبود خواص آلیاژ نداشته است. این عنصر ممکن است در سنگ معدن اصلی که مس از آن استحصال شده است، وجود داشته و یا به‌عنوان کمک‌ذوب در کوره اضافه شده است؛ چراکه به گفته منابع، وجود سرب تا حدود ۲٪ وزنی همچنان می‌تواند ناخالصی در مس قلمداد شود (Giulia et al. 2002:206).

آنالیز نقطه‌ای که در تصاویر الکترون برگشتی (BSE) به رنگ سیاه بودند، نقاط E و C در الگوی J-A-2010-29 و نقاط C و D در الگوی J-A-2010-60، نشان‌دهنده وجود اکسیژن و کربن و کاهش میزان مس و قلع در این نقاط نسبت به نقاط مربوط به ماتریس اصلی است. بنا بر آنچه گفته شد، می‌توان احتمال داد که در این قسمت‌ها، محصولات خوردگی وجود دارد.

در تمام قسمت‌های آنالیزشده، عناصری نیز در حد ناچیز شناسایی شدند که مربوط به فرآیند استحصال سنگ معدن، آلیاژسازی و محیط دفن شیء هستند و با ساختار فلزی آنها مرتبط نیستند.

جدول ۲- نتایج آنالیز SEM – EDS بر حسب درصد وزنی بر روی ماتریس فلزی

شماره شیء	نقطه	Cu	Sn	As	S	Pb	O	C	Fe	Cl	Al	Zn	P	Ni	Sb	Si
J-A-2010-29	A	۸۶/۷۵	۹/۸۵	۰/۰۶	-	۱/۵۲	-	-	-	۰/۶۵	-	۰/۰۲	۰/۴۱	۰/۰۱	۰/۷۲	-
	B	۸۸/۳۱	۹/۸۳	۰/۰۶	۰/۰۲	۱/۱۲	-	-	۰/۰۱	۰/۳۶	-	۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۰۱	-	-
	D	۸۶/۳۴	۱/۵۰	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۶۹	۹/۶۰	-	۰/۲۸	۰/۳۱	-	۰/۱۳	۰/۳۴	۰/۱۰	۰/۳۰	-
	C	۷/۸۶	-	۰/۱۸	۰/۰۶	-	۲۰/۰۴	۵۸/۵۹	۱/۲۷	۰/۳۲	۱/۵۹	-	-	-	۳/۴۰	۵/۳۶
	E	۶۱/۰۲	۶/۸۲	۰/۶۰	۰/۰۵	۳	۱۹/۹۲	-	۱/۹۱	۰/۹۳	-	-	-	۰/۵۵	۰/۷۴	-
J-A-2010-60	A	۸۵/۹۷	۷/۳۷	۶	-	-	-	-	-	-	-	۰/۶۵	-	۰/۰۱	-	-
	G	۸۹/۵۰	۹/۳۷	۰/۰۸	-	۰/۵۸	-	-	۰/۰۱	۰/۴۱	-	۰/۰۲	۰/۲۹	۰/۰۱	-	-
	E	۸۸	۷/۱۲	۳/۸۷	۰/۰۶	-	-	-	۰/۰۵	-	-	۰/۸۸	-	-	-	-
		۸۷/۹۵	۱۰/۲۹	۰/۰۸	۰/۱۰	-	-	-	۰/۰۱	۰/۸۱	-	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۰۱	-	-
		۳۹/۳۱	۲/۸۹	۰/۱۳	۰/۸۵	۰/۹۵	۱۵/۹۹	۳۳/۸۴	۱/۳۲	-	۰/۹۰	-	-	-	-	۱/۴۴
		۳۱/۲۶	۷/۰۹	۰/۱۶	۰/۷۳	۰/۸۶	۲۳/۹۴	۳۰/۳۴	-	-	۱/۷۷	-	-	-	-	۳/۵۵

#### ۴-۱-۲. ترکیب آخال‌ها

آنالیز عنصری (EDS) آخال‌ها، نقطه F در الگوی J-A-2010-29 و نقطه B در الگوی J-A-2010-60 وجود میزان زیاد مس و گوگرد را نشان می‌دهد. واضح است که وجود آخال‌های Cu-S در ماتریس مفرغ ممکن است به علت استفاده از سنگ‌های معدن سولفیدی برای تولید و ذوب مس باشد. والرپو و همکارانش بر این عقیده هستند که این آخال‌ها به خاطر قابلیت اختلاط پایینی که دارند، در مس به صورت نواحی جداگانه ظاهر می‌شوند (Valerio et al, 2012) (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج آنالیز SEM – EDS بر روی آخال‌ها

شماره شیء	نواحی	Cu	Sn	S	Pb	O	C
J-A-2010-29	F	۷۱/۵۰	-	۲۰/۳۷	۰/۰۱	۰/۰۶	-
J-A-2010-60	B	۷۷/۰۱	-	۲۱/۸۷	۰/۴۱	-	۰/۰۹

#### ۴-۲. طیف‌سنج جذب اتمی (AAS)

یکی از محدودیت‌های آنالیز عنصری به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به دستگاه آنالیز عنصری (SEM-EDS) ماهیت نقطه‌ای این آنالیز است؛ به همین منظور، برای تکمیل اطلاعات آلیاژ تشکیل‌دهنده زیورآلات مورد بحث، آنالیز طیف‌سنج جذب اتمی (AAS) نیز بر روی مغز فلزی این آثار انجام شد که نتایج



آن در جدول ۴ آمده است. شایان ذکر است که به دلایل فنی امکان آنالیز آرسنیک در این آزمایشگاه میسر نبود و نتایج به دست آمده مربوط به چهار عنصر مس، قلع، سرب و روی است. همان طور که در جدول آمده است، دیده می شود که در آنالیز مغز فلزی الگوها بیشترین درصد عناصر شناسایی شده مربوط به مس و قلع است. نتایج به دست آمده از هر نمونه تا حد زیادی نزدیک به میزان شناسایی شده برای این دو عنصر در آنالیز عنصری (EDS) است.

جدول ۴- نتایج آنالیز عنصری مغز فلزی به روش AAS

شماره شی	Cu	Sn	Pb	Zn
J-A-2010-29	۸۴/۸	۷/۹۰	۰/۳	ناچیز
J-A-2010-60	۸۸/۷۰	۸/۵۰	ناچیز	ناچیز

#### ۴-۳. روش ساخت

##### ۴-۳-۱. متالوگرافی

همان طور که در تصاویر متالوگرافی این آثار دیده می شود (شکل ۳ و ۴)، آنچه در ریزساختار این الگوها قابل توجه است، وجود ساختارهایی با دانه بندی کامل است که نشان دهنده کار بر روی یک آلیاژ ریخته گری شده است. وجود چنین ساختارهایی با دانه بندی کامل، حاکی از چرخه ای از کار و تاب کاری (آنیلینگ، بازپخت) برای تولید این اشیاء است. ساختار دانه بندی یک آلیاژ همگن می تواند به صورت دانه هایی شش وجهی در نظر گرفته شود. زمانی که این دانه ها با چکش کاری تغییر شکل می دهند، تخت می گردند تا جایی که شکننده می شوند و چنین وضعیتی برای ادامه کار مناسب نیست و اصطلاحاً دانه ها «کارسخت» شده اند. اگر شکل دهی و چکش کاری بیشتری نیاز باشد، فلز به بازپخت نیاز دارد که طی آن کارایی و انعطاف پذیری مجدداً به فلز برمی گردد. شکل دهی بیشتر فلز با چکش کاری ممکن است دوباره به کارسخت شدن دانه ها منجر شود که برای شکل دهی بیشتر، اعمال حرارت دیگری که به منزله درمان عمل می کند، نیاز است. عموماً درجه حرارت بازپخت برای آلیاژهای بر پایه مس ۵۰۰ - ۸۰۰ درجه سانتی گراد است. گاهی برای رسیدن به شکل نهایی لازم است که چندین بار این چرخه ادامه یابد (Scott, 1991: 6-7). این چرخه تاب کاری و کار سرد سختی فلز را افزایش می دهد (Frame, 2010:1705).

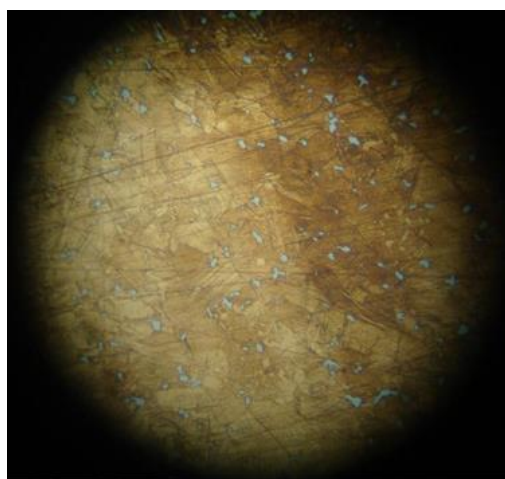
نکته مشابه دیگر در این ریزساختارها، وجود خطوط مستقیم در برخی از دانه ها است که به خطوط دوقلویی موسومند. فلزات FCC به جز آلومینیوم، در طی بازپخت که توضیح داده شد، مجدداً و از طریق فرآیند دوقلویی متبلور می شوند؛ به این صورت که در نتیجه بازپخت کردن یک فلز FCC که روی آن کار سرد انجام شده است، کریستال های جدیدی رشد می کنند که اثری از طرح بازتاب یک آینه را درون کریستال ها نشان می دهند که نتیجه آن خطوط مستقیم موازی درون مقاطع حکاری شده در برخی از دانه ها است (Oudbashi and Davami, 2014:77). ممکن است در تمامی دانه ها شاهد این خطوط نباشیم، اما در دانه هایی که دوقلویی بروز می کنند، به صورت خط مستقیمی هستند که البته اگر بعد از بازپخت کردن، شیء مجدداً تحت انجام کار سرد قرار گیرد و شکل دانه ها تغییر کند، این خطوط نیز منحنی می شوند (Scott, 1991:8).

کار سرد را می توان به همراه کار گرم در یک فعالیت ترکیب کرد؛ بدین صورت که فلز تا حد برافروختگی و سرخ شدن حرارت می بیند و سپس به فوریت مورد چکش کاری قرار می گیرد. این شرایط نیز همان ساختار

دوباره متبلور شده دانه‌ها را فراهم می‌آورد. با توجه به مطالب ذکر شده، تشخیص این‌که ساختار دانه‌بندی با دانه‌های دوقلوبی در نتیجه کار سرد و تاب‌کاری همراه آن و یا کار گرم به وجود آمده‌اند، کار مشکلی است (Scott, 1991:7).

نکته دیگر وجود خطوط موازی در داخل بعضی از دانه‌های این ریزساختارهاست که البته میزان این خطوط در نمونه J-A-2010-60 خیلی بیشتر از نمونه J-A-2010-29 است. زمانی که کار مداوم و سختی بر روی آلیاژ انجام شود، به عبارتی شیء پس از بازپخت به‌شدت و پیوسته تحت عملیات کار سرد قرار گرفته باشد، لغزش از سطح کریستال‌ها می‌تواند در هر کریستال اتفاق بیفتد که نتیجه آن، تعدادی حرکت‌های موازی است که در مقاطع حکاری‌شده درون برخی دانه‌ها به شکل خطوطی ظریف و موازی دیده می‌شود (Scott, 1991:9). این خطوط که به آنها خطوط لغزش گفته می‌شود، می‌توانند نشان‌دهنده این مسئله باشند که آخرین مرحله شکل‌گیری این اشیا کار سرد بوده است.

مسئله قابل توجه دیگر، حضور آخال‌های اچ‌نشده در بین دانه‌ها و مقاطع فلزی این اشیاست. این آخال‌ها که به رنگ آبی - خاکستری خود را نشان می‌دهند، در سراسر این ریزساختارها پراکنده شده‌اند که البته میزان آنها در نمونه J-A-2010-29 از نمونه دیگر کمتر است. همان‌طور که در بخش آنالیز عنصری (EDS) گفته شد، ترکیب شیمیایی این آخال‌ها سولفید مس است که بدون تغییر در ماتریس فلزی باقی مانده‌اند. علت حضور آنها این است که بیشتر آخال‌ها در فلزات باستانی در نتیجه کار گرم یا کار سرد و به دنبال آن بازپخت، مجدداً متبلور نمی‌شوند. این آخال‌ها به تکه‌های کوچک‌تر تبدیل یا تحت عملیات چکش‌کاری سخت، کشیده می‌شوند (Scott, 1991:7).



ب



الف

شکل ۳- الف: بزرگ‌نمایی ۲۰۰ برابر و ب: بزرگ‌نمایی ۱۰۰ برابر مقطع عرضی اچ‌شده النگوی J-A-2010-60، حضور خطوط دوقلوبی، خطوط لغزش و آخال‌های سولفید مس در ریزساختار



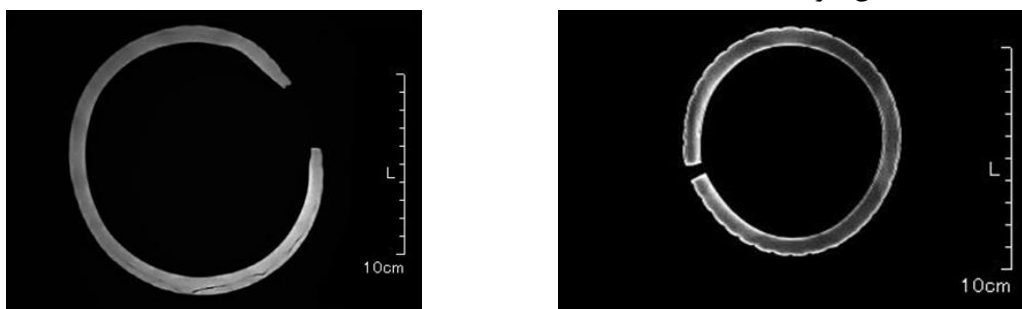
شکل ۴- بزرگ‌نمایی ۲۰۰ برابر مقطع عرضی اچ‌شده الگوی J-A-2010-29، وجود خطوط دوقلوبی، خطوط لغزش و آخال‌های سولفید مس در ریزساختار

#### ۴-۳-۲. رادیوگرافی

عکس‌برداری با پرتو ایکس یا رادیوگرافی، توانایی درک ویژگی‌های درونی شیء را در اختیار حفاظت‌گران و مرمت‌گران قرار می‌دهد (Artioli, 2010:69). اشیاء با ضخامت‌های مختلف به ولتاژ و شرایط متفاوت برای عکس‌برداری با پرتو ایکس نیاز دارند. در این پژوهش نیز برای رادیوگرافی از زیورآلات مورد مطالعه از شرایط متفاوتی استفاده شد؛ بدین ترتیب که رادیوگرافی الگوی J-A-2010-60 که ضخامت بیشتری داشت، در شرایط کاری ۱۰۰ میلی‌آمپر بر ثانیه (mA/s)، شدت جریان ۲۵۰ میلی‌آمپر (mA) و ولتاژ ۹۱ کیلوولت (kV) و رادیوگرافی الگوی J-A-2010-29 که ضخامت آن کمتر از الگوی پیشین بود، در شرایط کاری ۹۱ میلی‌آمپر بر ثانیه، شدت جریان ۱۶۰ میلی‌آمپر و ولتاژ ۸۲ کیلوولت انجام شد. همان‌طور که در تصاویر رادیوگرافی این اشیاء مشاهده می‌شود (شکل ۵)، تصویر حاصل از پرتونگاری اشعه ایکس شامل نقاط تیره و روشن است که نشان‌دهنده اختلاف میزان عبور اشعه ایکس از نقاط مختلف این زیورآلات است. اختلاف میزان عبور پرتو ایکس متناسب با چگالی موجود در هر قسمت است؛ لذا نواحی با دانسیته بیشتر، قدرت جذب بیشتری داشته‌اند و در این تصاویر به رنگ روشن‌تر و سفید خود را نشان می‌دهند و نواحی با دانسیته کمتر، تیره‌تر ظاهر می‌شوند. با توجه به فقدان لایه‌های خوردگی ضخیم و رسوبات محیطی بر روی این آثار، اختلاف دانسیته را که به پدیدار شدن نواحی تیره و روشن منجر شده است، می‌توان دلیلی بر یکنواخت‌نبودن ضخامت در نواحی مختلف هر یک از این زیورآلات دانست که دلیل آن چکش‌کاری ناهمسان این اشیاء است؛ به این ترتیب که قسمت‌هایی که بیشتر چکش‌کاری شده‌اند، ضخامت کمتری دارند و جذب کمتر این قسمت‌ها باعث شده است تیره‌تر از نقاطی که کمتر چکش‌کاری شده‌اند، خود را نشان دهند. همان‌طور که در عکس رادیوگرافی الگوی J-A-2010-60 دیده می‌شود، در این الگو نیز قسمت‌های میانی بیشتر از لبه‌ها و دسته‌های آن کمتر چکش‌کاری شده‌اند که دانسیته این قسمت‌ها بیشتر است و روشن‌تر از سایر نقاط دیده می‌شوند. دندان‌هایی نیز که برای تزیین این الگو به کاررفته‌اند، به صورت قسمت‌های سفیدرنگ در تصویر رادیوگرافی این شیء خود را بهتر نشان می‌دهند که در فواصل و اندازه‌های یکسان در سراسر الگو دیده می‌شوند و نشان‌دهنده ظرافت و دقتی است که در ساخت این اثر به کاررفته است. تزئیناتی این‌چنین به روش کنده‌کاری ایجاد می‌شده است که از شیوه‌های رایج برای ایجاد تزئینات بر روی فلزات است. در این روش برای

ایجاد نقوش و طرح‌های تزئینی، خطوط مورد نیاز با قلم‌های فلزی بر روی اثر حک می‌شود. در کنده‌کاری روی فلز با وارد کردن ضربات چکش بر روی قلم، پوسته‌ای از سطح فلز کنده می‌شود و در نتیجه خطوط، طرح‌ها و نقوش به صورت کمی گودتر از سطح جدار فلزی بر جای می‌مانند. این فن، یکی از رایج‌ترین فنون تزئینی برای اشیای مفرغی است (افروغ، ۱۳۸۹: ۶۵). تصویر رادیوگرافی این الگو نیز حاکی از وضعیت سالم و مغز فلزی توپر آن و عدم وجود آسیب‌هایی نظیر ترک و ریزترک است.

در تصویر رادیوگرافی الگوی J-A-2010-29 توزیع چگالی به صورت ناهم‌هنگ در سرتاسر این اثر دیده می‌شود. چکش‌کاری ناهمسان انجام شده بر روی این الگو باعث شده تا در سراسر سطح این اثر قسمت‌های تیره و روشن را که حاکی از مناطق با ضخامت کمتر و بیشتر است، کنار هم ببینیم. سه دندان از طریق کنده‌کاری برای تزئین در دو طرف الگو به کاررفته است. ترکی در دسته این الگو دیده می‌شود که شاید دلیل پیدایش آن، چکش‌کاری بیشتر این قسمت‌ها بوده است که ممکن است این نواحی را برای ترک‌خوردن پس از دفن و فشار محیط مستعد کرده باشد. آنچه از تصاویر رادیوگرافی این الگوها برداشت می‌شود، این است که احتمالاً همگی با مفتول‌هایی از طریق خم‌کاری به شکل دایره‌ای درآمده‌اند و برای اصلاح و مرتب‌کردن شکل آنها و رسیدن به صورت مطلوب نهایی چکش‌کاری شده‌اند که میزان این چکش‌کاری نیز در همه قسمت‌ها یکسان نبوده است.



شکل ۵- الف: تصویر رادیوگرافی الگوی J-A-2010-60 ب: تصویر رادیوگرافی الگوی J-A-2010-29.

## ۵. نتیجه

براساس مطالعات تاریخی و تطبیقی انجام‌شده، قدمت این آثار به عصر آهن II می‌رسد. ترکیب آلیاژهای مصرفی در الگوها، مفرغ تشخیص داده شد. میزان مس در نقاطی که به‌عنوان ماتریس اصلی فلز در نظر گرفته شده (نقاط A، B و D در الگوی J-A-2010-29 و نقاط A و G به‌عنوان ماتریس اصلی آلیاژ و دو نقطه E و F در الگوی J-A-2010-60)، در بازه‌ای از ۸۶/۳۴٪ تا ۸۹/۵۰٪ درصد متغیر بود و میزان قلع در این نقاط در گستره‌ای از ۱/۵۰٪ تا ۱۰/۲۹٪ تشخیص داده شد. میزان ناخالصی‌ها نیز در ترکیب این آلیاژها بسیار کم بود و در حقیقت عناصر دیگر تأثیر زیادی بر خواص آلیاژ نداشته‌اند. مقداری آخال‌های سولفید مس در ریزساختار نمونه‌ها دیده شد که بیانگر استفاده از سنگ معدن‌های سولفیدی در استخراج مس بوده است. ریزساختار نمونه‌ها نشان‌دهنده دانه‌های بازمتبلور شده دارای خطوط دوقلویی بود. روند شکل‌گیری الگوها با استفاده از فرآیندهای پی‌درپی چکش‌کاری و تاب‌کاری یک مفتول فلزی تا رسیدن به شکل مورد نظر بوده است. خطوط لغزش باقی‌مانده در

بعضی از دانه‌های موجود در ریزساختار، نشان‌دهنده آخرین مرحله شکل‌گیری این زیورآلات، یعنی چکش کاری است.

## سپاسگزاری

از خانم‌ها مهندس پلاسید در بخش SEM مرکز متالورژی رازی و مهندس ریسمانچیان در بخش آزمایشگاه شیمی دانشکده مرمت دانشگاه اصفهان، بخش رادیوگرافی بیمارستان کاشانی اصفهان، به خاطر همکاری‌شان قدردانی می‌شود.

## پی‌نوشت

۱. میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به دستگاه آنالیز عنصری (SEM-EDS)
۲. مانت کردن (Mounting): اصطلاحی است که برای ثابت کردن نمونه‌های متالوگرافی توسط رزین‌های سنتزی اختصاصی به کار می‌رود. برای اطلاعات بیشتر رجوع شود به: Scott, 1991.
۳. حکاری کردن (Etching): خورده شدن سطح فلز صیقل یافته توسط محلول‌های شیمیایی خاص به منظور آشکار شدن تفاوت‌های موجود در جهت‌گیری دانه‌ها و نیز ریزساختار. برای اطلاعات بیشتر رجوع شود به: Scott, 1991.
۴. تصاویر الکترون برگشتی (Back Scattered Electrons: (BSE)
۵. طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS): Atomic Absorption Spectrophotometer
۶. کار: منظور از کار، روش یا ترکیبی از روش‌های مختلف مانند چکش کاری و تراش کاری و کشیدن برای تغییر شکل یک فلز یا آلیاژ است.
۷. FCC: ساختار مکعبی با وجوه پر. بسیاری از فلزات معمول مانند مس، نیکل و سرب در ساختار FCC شکل می‌گیرند. Face-Centered Cubic

## منابع

- افروغ، محمد (۱۳۸۹)، فلزکاری عصر سلجوقی و صفوی، جمال هنر.
- ایروانی‌قدیم، فرشید (۱۳۸۹)، «گزارش حفاری فصل اول کورگان‌های جعفرآباد» (منتشر نشده)، سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان آذربایجان شرقی.
- ایروانی قدیم، فرشید و دیگران (۱۳۹۱)، «گونه‌شناسی و معرفی سفال‌های عصر آهن کورگان‌های جعفرآباد خدآفرین (فصل اول کاوش)»، *مطالعات باستان‌شناسی*، شماره ۲، دوره ۴، ۳۳-۵۰.
- مسعودی‌نیا، ذبیح‌الله (۱۳۹۱)، «معرفی و تیپولوژی اشیاء مفرغی کورگان‌های جعفرآباد (اصل اول کاوش)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان، دانشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی.
- Artioli, Gilberto 2010. *Scientific methods and cultural heritage*, Oxford University press.
- Amelirad, Sheler et al. 2011. The Iron Age Zagros graveyard, Near Sanandaj (Iranian Kurdistan), preliminary report on the first season, *Iranica Antiqua* 47, 41-99.
- Costello, Susan 2005). *An investigation of early Chinese mirrors at the Harvard University Art*, Harvard University Art, ANAGPIC 2005 paper, 1-15
- Frame, Lesley 2010. Metallurgical investigation at Godin Tepe, Iran, part I, the metal fids, *Journal of Archaeological Science*, 37 (7): 1700-1715.

- Giunlia- Mair, et al. 2002. Investigation of a copper- based hoard from the megalithic stile of al-Midamman, Yemen, an interdisciplinary approach, *Journal of Archaeological Science*, 29: 195-209.
- Iravani Ghadim, F., 2011. *JafarAbad VIII. Kurgan Kazilari, Kuzeybati, Iran*, Karadeniz'den Firat'a Bilgi Uretimi, Onder Bilgi'ye Armagan Yazilari, Ankara 191-216.
- Iravani Ghadim, F., 2012. *Jafar Abad Kurgan no V, studies presented in honour of Sumer Atasoy*, Sevket Donmez (ed.), 95-120.
- Iravani Ghadim, F., 2014. *JafarAbad Kurgan no IV, script a: assays in honour of Veli Sevin*, Aynur Ozfirat (ed.), Istanbul, 87-106.
- Junk, Margrit 2003. *Material properties of copper alloys containing arsenic, antimony, and bismuth, The material of early Bronze Age ingot torques*, Ph.D. thesis, Technischen Universitat Bergakademie, Freiberg.
- Muscarella, O., White 1988. *Bronze and iron: ancient Near Eastern artifacts in the Metropolitan Museum of art*. New York, Metropolitan Museum of art Publication.
- Muscarella, O. White 2013. *Archaeology, artifact and antiquities of the ancient Near East*, Leiden, Boston.
- Masoudi, Zabih-Allah et al. 2013. Introduction and typology of bronze jewelry, case study of JafarAbad Kurgan, Iran, *International Journal of Research English language Teaching Studies*, 1: 8-14.
- Oudbashi, Omid et al. 2014. Metallurgy and microstructure interpretation of some archaeological tin bronze vessels from Iran, *Journal of Materials Characterization*, 97: 74- 82.
- Overlaet, Bruno 2005. The chronology of the Iron Age in the Pusht- Ikuh, Luristan, *Iranica Atiqua*, XL: 1-33.
- Scott, David A., 1991. *Metallography and microstructure of ancient and historic metals*, The Getty Conservation Institute, The J. Paul Getty Museum in Association with Archetype books.
- Valerio, P et al. 2012. A multianalytical approach to study the Phoenician bronze technology in the Iberian Peninsula- a view from Quinta do Almaraz, *Journal of Material Characterization*, 67: 74-82.