

Study and Conservation of Four Metal Earrings were Found from: The Tepe Zaghe the Dam4-Karun Excavation (Article Taken from the Treatise)

Peymaneh Pornak¹; Hamid-Reza Bakhshandefard²;
Aliasghar Noruzi³

Type of Article: Research

Pp: 141-167

Received: 2022/02/21; Revised: 2022/05/04; Accepted: 2022/05/22

 <https://dx.doi.org/10.22034/PJAS.8.28.141>

Abstract

In excavation of the tepe Zaghe the Dam 4-karun, were found different metal objects from middle-Illam. In this article four metal earrings were studied experimentally and analytically. For this purpose use of electron microscopy (SEM-EDS) to identify alloy combination and also microstructure of manufacturing and use of X-ray radiography and Optical Microscopy (OM) to identify construction method and shaping objects. Chemical analysis results show that they were made from brass, pure copper, bronze and silver. Microscopic studies showed that the microstructure of the samples including of metallic matrix with sulfide inclusions and lead cells. Brass earrings making is in the cycle of cold and annealing work and final step in shaping is also cold method. Copper and silver earrings are made in alternating cycles of hammering and molding. In the bronze earrings, the presence of dendrites also indicates made from casting method. Also Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (XRD), electron microscope (SEM-EDS) and Optical Microscopy (OM) used to identify layers formed. The phenomenon found in the all samples is oxidation. In the copper corrosion samples Copperite and Malachite. Also in the silver sample corrosion layer, the amount of chlorine and oxygen was increased that made to silver oxide or acanthite.

Keywords: Tepe Zaghe The Dam 4-Karun, Late Bronze /Early Iron Age–Second Millennium BC, Metal Earring, Conservation and Restoration.



Motaleat-e Bastanshenasi-e Parseh

Parseh Journal of Archaeological Studies (PJAS)

Journal of Archeology Department of Archeology Research Institute, Cultural Heritage and Tourism Research Institute (RICT), Tehran, Iran

Publisher: Cultural Heritage and Tourism Research Institute (RICT).

Copyright©2022, The Authors. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons.

© The Author(s)



1. M. A. in Restoration of Historical and Cultural Objects, Department of Restoration of Historical and Cultural Objects, Faculty of Conservation and Restoration, Isfahan Art University, Isfahan, Iran

2. Associate Professor, Department of Restoration of Historical and Cultural Objects, Faculty of Conservation and Restoration, Isfahan Art University, Isfahan, Iran (Corresponding Author).

Email: hr.bakhshan@au.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Archaeology, Research Institute of Cultural Heritage and Tourism (RICT), Tehran, Iran.

Citations: Pornak, P., Bakhshandefard, H. R. & Noroozi, A. A., (2024). "Study and Conservation of Four Metal Earrings were Found from: The Tepe Zaghe the Dam4-Karun Excavation (Article Taken from the Treatise)". *Parseh J Archaeol Stud.*, 8(28):141-167. <https://dx.doi.org/10.22034/PJAS.8.28.141>

Homepage of this Article: <https://journal.richt.ir/mbp/article-1-703-en.html>

Introduction

According to archaeological findings the use of metals in the plateau of Iran and other neighboring areas expands significantly in the second millennium BC. At the end of the second millennium and the beginning of the first millennium BC, using of the metals such as bronze, iron, gold, and silver was common in Iran to making metal objects with different uses.

The catchment area of Karun Dam 4 has been subjected to archeological investigation in 2015 so many hills and sites were discovered belonging to the prehistoric, historical and Islamic eras. One of the important works of the dam lake area is the k4-4 area under the ammunition slum, which was explored during to the 1387 and 1388 in two seasons. numerous bronze objects were discovered, that are mainly ornaments. In this research, she studied the technology and pathology of four earrings, including two small hoop earrings, one wide hoop earring, and one pendant earring. The discovery and study of this collection in terms of belonging to small groups (because the uncovered architectural findings show parts of a small village probably it,s a season that housed a small population of nomadic Elamites) and in the oher words, the normal and very influential society of the Middle Elam period. That have less known to exploring is important. Considering that no independent research has been done on the knowledge of the technology of the metals explored in this province, and most of the investigations are archaeological research, structural study and identification of the composition of the alloy and elements in the microstructure, technology and identification of the manufacturing and objects forming. Objects, pathology and identification of the layers formed on exposed objects by relying on instrumental and laboratory methods can identify a part of the culture and art of the nomadic tribes of the region for us and multiply the importance of studying and protecting historical-cultural artifacts. On the other hand, graves and the objects inside them can be considered as a living image of special moments in the life of past societies, which provides valuable information in the fields of chronology, ethnography, anthropology, social and economic relations, and social classes (Talaee 2011).

In order to reach to the above mentioned goals, two main questions 1 - elemental composition, type of alloy and how to make the four earrings in question 2 - the process of destruction and corrosion in the mentioned objects including two small hoop earrings, a wide hoop earring and a hanging earring are raised and In the process of this research, the effort was to reach an answer for them based on the studies conducted.

Identified Traces

Most of the studies in the catchment area of Karun Dam4 are limited to archaeological studies. This area was investigated by Aliasghar Noruzi, a member of the faculty of the Research Institute of Archaeology, during which many hills and areas belonging to prehistoric, historical and Islamic eras were discovered in 2015. In this survey of

the ancient site of the slum, the most important site identified in the catchment area of Karun Dam 4 was introduced, and based on the additional investigations, this site has been expanded nearly one hectare. The excavations of the first chapter were carried out in 13 workshops and 16 boreholes in 12000 m² areas, that has very significant results. The width of the area, the value and historical-cultural significance of the unearthed immovable works also made the second chapter of the archaeological excavations of the slum area in 2018, in accordance with the dispersion of the works and in order to further study of the historical-cultural remains in the concentrated parts. Brief reaserches have been done to Regarding the anthropology of the mentioned region and the archaeological evidences of the Elam period in the upper Karun basin, which cannot be mentioned due to the limited space (Norouzi, 2007). Different studies done by many domestic and foreign researchers technological and pathological it has been done on metal objects with different methods that has different results.

As it was said in spite of that there have been studies about the metal works of different ancient sites, but few studies have been done for the works of this ancient site, that are archeological mainly and for this reason doubles research is necessary.

Conclusion

The composition of the metal/alloy used in sample K4-01 brass, sample k4-02 copper, sample k4-03 bronze and sample K4-04 silver was detected. The Sample K4-01 was made in a cycle of cold work and annealing, samples K4-02 and K4-04 were made by hot hammering or cold hammering with turning, and sample K4-03 was made by casting method. Is.

Corrosion of cuprite and malachite is well known in the samples K4-01 and K4-03. In sample K4-02 brocanthite in sample k4-04 acanthite and chloraragyrite can be detected.

The corrosion layer in the samples includes copper corrosion products along with soil compounds. In sample K4-02, intragranular corrosion and intergranular corrosion were also observed and the surface of the sample was covered with warts. Also, there are cracks on the surface of sample K4-03 due to corrosion and environmental pressure.

The phenomenon that happened in all samples is oxidation. In the samples made of copper, the amount of copper in the corrosion layer is less than of the alloy, and elements such as oxygen, chlorine, and elements related to soil have allocated a significant part of the composition of the corrosion layers. In the corrosion layer of the silver object, silver oxide is formed by increasing the amount of chlorine and oxygen.

Acknowledgments

In the end, the authors consider it necessary to thank Ms. Fatemeh Khodabakhshi and Banafshe Haiderpour for improving and enriching the text of the article.

Observation Contribution

Peimaneh Pornak as the researcher of the article, Hamidreza Bakhshande Fard as the guide of the article, Ali Asghar Noruzi as a consultant have played a role in the preparation of the article.

Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest while observing publication ethics in referencing.

مطالعه، بررسی فنی و مرمت چهار گوشواره فلزی به دست آمده از کاوش‌های تپه زاغه (سد کارون ۴)

پیمانہ پرناک^I؛ حمیدرضا بخشنده فرد^{II}؛ علی اصغر نوروزی^{III}

نوع مقاله: پژوهشی
صص: ۱۶۷ - ۱۴۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۱

شناسه دیجیتال (DOI): <https://dx.doi.org/10.22034/PJAS.8.28.141>

چکیده

در کاوش محوطه باستانی زاغه در منطقه کارون ۴، اشیاء فلزی متعددی مربوط به دوره ایلام میانه کشف شده است. در این پژوهش چهار گوشواره فلزی مکشوف از این محوطه با هدف مطالعات فنی و آسیب‌شناسی، ارائه طرح حفاظت-مرمت و انجام عملیات درمان مورد مطالعات آزمایشگاهی و دستگاہی قرار گرفته است؛ در همین راستا، دو پرسش اصلی به شرح زیر مطرح شده، که سعی بر یافتن پاسخ مناسبی برای آن دارد: ۱- ترکیب عنصری، نوع آلیاژ و نحوه ساخت چهار گوشواره مورد نظر چیست؟ ۲- فرایند تخریب و خوردگی در اشیاء مذکور چگونه است؟ به این منظور، جهت شناسایی ترکیب آلیاژ و عناصر موجود در ریزساختار از میکروسکوپ الکترونی (SEM-EDS) و به منظور شناسایی روش ساخت و شکل دهی اشیاء از رادیوگرافی اشعه ایکس و متالوگرافی (OM) استفاده گردید. نتایج آنالیز شیمیایی اشیاء بیانگر تولید آن‌ها از آلیاژ برنج، مس خالص، مفرغ و نقره بود. مطالعات میکروسکوپی نشان داد که ریزساختار نمونه‌ها شامل ماتریس فلزی همراه با آخال‌های سولفیدی و گوپیچه‌های سربی است. ساخت گوشواره برنجی در چرخه‌ای از کار سرد و آنیلینگ است و آخرین مرحله شکل‌گیری آن کار سرد بوده است. گوشواره مسی و نقره‌ای در چرخه متناوب چکش‌کاری و تاب‌کاری ساخته شده‌اند. در گوشواره مفرغی وجود دندریت‌ها بیانگر ساخت شیء به روش ریخته‌گری است. پدیده اتفاق افتاده در همه نمونه‌ها نیز اکسیداسیون است؛ هم‌چنین با استفاده از روش‌های آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) به شناسایی لایه‌های تشکیل شده پرداخته شد. در نمونه‌های ساخته شده از مس خوردگی، کوپریتی و مالاکیتی است، در لایه خوردگی شیء نقره نیز میزان کلر و اکسیژن افزایش یافته است که منجر به ایجاد اکسید نقره یا همان آکانتیت شده است.

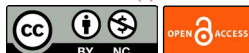
کلیدواژگان: تپه زاغه، سد کارون ۴، اواخر عصر مفرغ/ اوایل عصر آهن، گوشواره فلزی، حفاظت و مرمت.

فصلنامه علمی مطالعات باستان‌شناسی پارسه
نشریه پژوهشکده باستان‌شناسی، پژوهشگاه
میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران

ناشر: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری

حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است
نویسنده تحت مجوز Creative Commons
Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله
چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط
براین‌که حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه
مقاله در این مجله اشاره شود.

© The Author(s)



۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، گروه مرمت آثار تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.
۲. دانشیار گروه مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسئول).
Email: hr.bakhshan@au.ac.ir
۳. استادیار گروه باستان‌شناسی، پژوهشکده باستان‌شناسی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران.

ارجاع به مقاله: پرناک، پیمانہ؛ بخشنده فرد، حمیدرضا؛ و نوروزی، علی اصغر، (۱۴۰۳). «مطالعه، بررسی فنی و مرمت چهار گوشواره فلزی به دست آمده از کاوش‌های تپه زاغه (سد کارون ۴)». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۸ (۲۸): ۱۴۱-۱۶۷. <https://dx.doi.org/10.22034/PJAS.8.28.141>

صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: <https://journal.richt.ir/mbp/article-1-703-fa.html>

مقدمه

براساس یافته‌های باستان‌شناختی، در هزارهٔ دوم پیش‌ازمیلاد، استفاده از فلزات در فلات ایران و دیگر مناطق هم‌جوار گسترش چشمگیری پیدا می‌کند. در اواخر هزارهٔ دوم و اوایل هزارهٔ اول پیش‌ازمیلاد، در ساخت اشیاء فلزی با کاربردهای متفاوت استفاده از فلزاتی هم‌چون: مفرغ، آهن، طلا و نقره در ایران رواج داشته است. بیشتر این اشیاء از درون مقابر به‌دست آمده و تنها درصد کمی از آن‌ها در محل‌های استقراری مربوط به این دوره کشف شده است (طلایی، ۱۳۷۴). در مجموعهٔ اشیاء فلزی عصرآهن، زیورآلات فلزی بخش مهمی از ساخته‌های فلزی را تشکیل می‌دهند که طیف وسیعی از آن‌ها در مناطق مهم نیمهٔ غربی فلات ایران شناسایی شده است (طلایی، ۱۳۸۵). محدودهٔ آبگیر سد کارون ۴ در سال ۱۳۸۵ ه.ش. توسط «علی‌اصغر نوروزی» بررسی شده که طی آن تپه‌ها و محوطه‌های زیادی متعلق به دوران پیش‌ازتاریخ، تاریخی و اسلامی کشف شد. یکی از آثار مهم محدودهٔ دریاچهٔ سد محوطهٔ k4-4 زیر زاغه مهمات است که در سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ ه.ش. طی دو فصل توسط وی مورد کاوش قرار گرفت و اشیاء مفرغی متعددی کشف شد که عمدتاً زیورآلات هستند. این زیورآلات از درون مقابر به‌دست آمده‌اند و از آنجاکه جزء معدود زیورآلات حاصل از کاوش علمی باستان‌شناسی در استان هستند، حائز اهمیت‌اند. اشیاء فلزی بخش مهمی از بقایای باستان‌شناسی را تشکیل می‌دهند که بیانگر فناوری انسان در طول تاریخ در عرصهٔ متالورژی است (عودباشی، ۱۳۹۲: ۷). بررسی فلزات باقی‌مانده از ادوار مختلف تاریخی از مهم‌ترین روش‌های شناسایی فرهنگ، تمدن و هنر در آن دوره‌ها است و زیورآلات نیز از نظر مطالعات باستان‌شناختی و تاریخ‌هنر اهمیت زیادی دارند. در این پژوهش به فن‌شناسی و آسیب‌شناسی چهار گوشواره شامل دو گوشوارهٔ حلقه‌ای ریز، یک گوشوارهٔ حلقه‌ای پهن و یک گوشوارهٔ آویز پرداخته شده است. کشف و مطالعهٔ این مجموعه به‌لحاظ تعلق به گروه‌های کوچک (چراکه یافته‌های معماری مکشوف نشانگر بخش‌هایی از یک روستای کوچک، احتمالاً فصلی است که جمعیت کوچکی از ایلامیان کوچ‌نشین را در خود جای داده بوده است و به‌عبارت دیگر جامعهٔ عادی و بسیار تأثیرگذار دورهٔ ایلام میانه که معمولاً شناخت کمتری برای کاوش داشته‌اند) حائز اهمیت است؛ و با توجه به این‌که هیچ‌گونه پژوهش مستقلی دربارهٔ شناخت فناوری فلزات کاوش‌شده در این استان انجام نشده و بررسی‌های صورت‌گرفته بیشتر شامل پژوهش‌های باستان‌شناسی است، مطالعهٔ ساختاری، فن‌شناسی و آسیب‌شناسی اشیاء مکشوف با تکیه بر روش‌های دستگامی و آزمایشگاهی می‌تواند بخشی از فرهنگ و هنر اقوام کوچ‌روی منطقه را برای ما مشخص نماید و اهمیت مطالعه و حفاظت آثار تاریخی-فرهنگی را چندین برابر کند؛ ازسوی دیگر، قبور و اشیاء داخل آن‌ها را می‌توان به‌عنوان تصویر زنده‌ای از لحظات خاص زندگی جوامع گذشته در نظر گرفت که اطلاعات بسیار ارزنده‌ای در زمینهٔ گاهنگاری، قوم‌نگاری، انسان‌شناسی، روابط اجتماعی و اقتصادی و طبقات اجتماعی در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد (طلایی، ۱۳۸۱: ۱۷۳).

پرسش پژوهش: در این راستا، دو پرسش اصلی به شرح زیر مطرح شده که سعی بر آن است براساس مطالعات صورت‌گرفته پاسخ مناسبی برای آن یافت؛ ۱- ترکیب عنصری، نوع آلیاژ و نحوهٔ ساخت چهار گوشوارهٔ موردنظر چیست؟ ۲- فرآیند تخریب و خوردگی در اشیاء مذکور چگونه است؟
روش پژوهش: روش پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر موردکاوی، توصیفی، کتابخانه‌ای، آزمایشگاهی و دستگامی.

پیشینهٔ پژوهش

عمدهٔ مطالعات انجام‌شده در محدودهٔ آبگیر سد کارون ۴ محدود به مطالعات باستان‌شناسی است. این محوطه در سال ۱۳۸۵ ه.ش. توسط علی‌اصغر نوروزی بررسی شده که طی آن تپه‌ها

و محوطه‌های زیادی متعلق به دوران پیش از تاریخ، تاریخی و اسلامی کشف شد. در این بررسی محوطه باستانی زاغه، مهم‌ترین محوطه شناسایی شده در محدوده آبگیر سد کارون ۴ معرفی گردید و براساس بررسی‌های به عمل آمده تکمیلی این محوطه در محدوده‌ای قریب یک هکتار گسترده شده است. کاوش‌های فصل اول در ۱۳ کارگاه و ۱۶ گمانه و مجموعاً در محدوده‌ای به وسعت حدود ۱۲۰۰ مترمربع انجام گردیده و دربردارنده نتایج بسیار قابل توجهی بوده است. وسعت محوطه، ارزش و اهمیت تاریخی-فرهنگی آثار غیرمنقول مکشوف، انگیزه و هدف فصل دوم کاوش باستان‌شناسی محوطه زاغه را در سال ۱۳۸۸ ه.ش. رغم زد. به تبعیت از پراکندگی آثار و به منظور فراهم آوردن امکان مطالعه بیشتر بقایای تاریخی-فرهنگی در چندین نقطه محوطه، اقدام به ایجاد گمانه کاوش شد. درخصوص مردم‌شناسی منطقه مذکور و شواهد باستان‌شناختی دوره ایلام در حوضه کارون علیا نیز پژوهش‌های مختصری انجام شده است که به دلیل مجال اندک نمی‌توان به آن‌ها اشاره نمود (نوروزی، ۱۳۸۷). در زمینه فن‌شناسی و آسیب‌شناسی نیز مطالعاتی توسط پژوهشگران متعدد داخلی و خارجی بر روی اشیاء فلزی با روش‌های متفاوت انجام شده است که دربرگیرنده نتایج مختلفی است و از آن جمله می‌توان به موارد پیش‌رو اشاره کرد؛ مطالعات صورت‌گرفته بر روی نمونه‌های به دست آمده از محوطه تاریخی تپه فرودگاه و سنگتراشان لرستان بیانگر رواج ساخت اشیاء با استفاده از آلیاژ دوجزئی مفرغ قلعی به همراه ناخالصی‌هایی با میزان کمتر از یک درصد در عصر آهن لرستان است (Oudbashi et al., 2013). مطالعات انجام شده بر روی سنجاق‌های میله‌ای آلیاژ مسی مکشوف از حفاری منطقه چپاسبز غربی استان لرستان و تعدادی از یافته‌ای گورستان عصر آهن باباجیلان پیشتکوه لرستان، محوطه عصر آهن مارلیک و گورکان هشت جعفرآباد نشان‌دهنده ساخت اشیاء از آلیاژ مفرغ با درصدهای مختلف مس خالص و قلع است و اشیاء در چرخه متناوب کار سرد و تاب‌کاری ساخته شده‌اند. استفاده از آلیاژسازی غیرکنترلی نیز دلیلی برای تولید مفرغ با درصد مختلف قلع بیان شده است (صفایی‌قلاتی و همکاران، ۱۳۹۷؛ عودباشی و حسن‌پور، ۱۳۹۰؛ عودباشی و همکاران، ۱۳۹۰؛ یداللهی و همکاران، ۱۳۹۵). یکی دیگر از تحقیقات به تأثیر فرآیند مس‌زدایی در تشکیل نوع خاصی از ریخت‌شناسی خوردگی در نمونه‌های هفت‌تپه و نیز رخ‌دادن خوردگی نوع دوم مرتبط با اشیاء مفرغی در این نمونه‌ها است (عودباشی و همکاران، ۱۳۹۰). در پژوهشی دیگر مشخص شده که انجام کار سرد بر روی مفرغ‌های با قلع بالا، مانع شکل‌گیری فاز ترد بین‌فلزی شده و قابلیت کارایی آن را بهبود می‌بخشد (Oudbashi & Mortazavi, 2011). مطالعات انجام شده با هدف شناخت فلزگری کهن براساس مطالعات آزمایشگاهی در محوطه‌های هفت‌تپه و دشت خوزستان بیانگر استخراج مس از سنگ معدن‌های سولفیدی و ساخت اشیاء با استفاده از آلیاژ مس و سرب و در مواردی آلیاژ مفرغ است. تولید و تصفیه مات نیز در دوران ایلامی به عنوان مراحل فلزگری منطقه گزارش شده است (عودباشی، ۱۳۹۳؛ Oudbashi et al., 2018). مطالعه بر روی ۱۰ نمونه از اشیاء مکشوف تپه‌سگزآباد دشت قزوین بیانگر استفاده مجدد از مس خالص، آلیاژ مس-آرسنیک درکنار آلیاژ مس-قلع در فلات ایران در اوایل عصر آهن است (Mortazavi et al., 2011). «مرتضوی» در پژوهشی از متالوگرافی به عنوان روشی برای بازیابی شواهد و ردیابی فن ساخت اشیاء فلزی یاد کرده است (مرتضوی، ۱۳۹۳). در بررسی که بر روی هشت شیء مکشوف از نقاط مختلف انجام شده به اهمیت لایه‌های خوردگی در ایجاد رویکرد علمی حفاظت تأکید شده است و ترکیب آلیاژی و شیمی محیط به عنوان عواملی که در رفتار خوردگی مفرغ‌های تاریخی عنوان شده که در انتخاب روش حفاظت آثار تاریخی دارای اهمیت است. در همین راستا، شرایط محیط، ترکیبات خاک و نحوه قرارگیری اشیاء به عنوان عواملی برای کاهش سرعت خوردگی در طول زمان معرفی شده‌اند (نعیمی طرئی و وطن‌دوست حقیقی، ۱۳۹۴؛ نعیمی طرئی و خدیر، ۱۳۹۵). در پژوهشی، دیگر «حسینی پناه» و همکاران، شش شیء فلزی باستانی از مجموعه اشیاء گورستان باستانی تول تالش

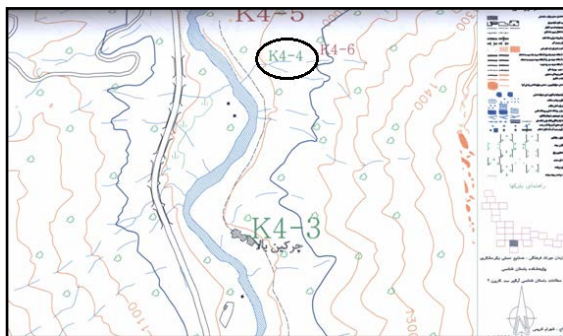
را به منظور لایه‌نگاری خوردگی از نقطه نظر ترکیب شیمیایی، شناسایی ماهیت لایه‌های موجود و محصولات خوردگی مورد مطالعه قرار دادند (حسینی پناه صومعه‌سرای و همکاران، ۱۳۹۵). عودباشی نیز به بررسی مورفولوژی خوردگی با مطالعه محیط-فلز-خوردگی پرداخته و عواملی هم‌چون متفاوت بودن خاک، غلظت یون کلرید و متفاوت بودن آلیاژ استفاده شده در ساخت اشیاء، مقدار آب و رطوبت خاک، خواص متالوژیکی اشیاء مجموعه، مقدار عناصر آلیاژکننده و فناوری ساخت شیء را باعث شکل‌گیری گونه‌های غیریکسان خوردگی و اشیاء یک مجموعه عنوان نموده است (عودباشی، ۱۳۹۲). «کانستانتینیدس» و همکار در پژوهشی دیگر، «وادساک» و همکاران نیز با استفاده از روش‌های دستگاهی به بررسی خصوصیات سطحی لایه‌های خوردگی غیرطبیعی و نیز توصیف ویژگی‌های اصلی لایه‌های پاتین بر روی نمونه‌های مورد نظر پرداختند (Constantindes & Adriaens, 2002, Wadsak et al., 2000).

چنان‌چه گفته شد، با وجود این‌که مطالعات درخصوص آثار فلزی محوطه‌های باستانی مختلف صورت گرفته، ولی در زمینه آثار این محوطه باستانی مطالعات کمی صورت گرفته که غالباً در زمینه باستان‌شناسی است و همین‌امر لزوم انجام این پژوهش را دوچندان می‌کند.

محوطه باستانی زاغه

- موقعیت طبیعی و مکانی و توصیف محوطه باستانی زاغه

محدوده آبیگر سد کارون ۴، در جنوب غرب استان چهارمحال و بختیاری در محدوده شهرستان‌های اردل، لردگان قرار دارد. این محوطه در محدوده هموار کوچکی قرار گرفته که موانع طبیعی از هر طرف آن را محاصره کرده‌اند. رودخانه ارمند در شمال، رودخانه کارون در جنوب و جنوب غرب و کوه سفید با دیواره‌های عظیم و غیرقابل عبور در شمال شرق محدوده، چنان محوطه را دست‌نیافتنی کرده که قبل از دسترسی‌ها و جاده‌های اخیر دسترسی به محوطه از یک گذرگاه سخت و باریک و مرتفع کوهستانی میسر بوده و امکان دسترسی از سایر قسمت‌ها به منطقه عملاً مقدور نبوده است (نوروزی، ۱۳۸۸)، (تصاویر ۱ و ۲).



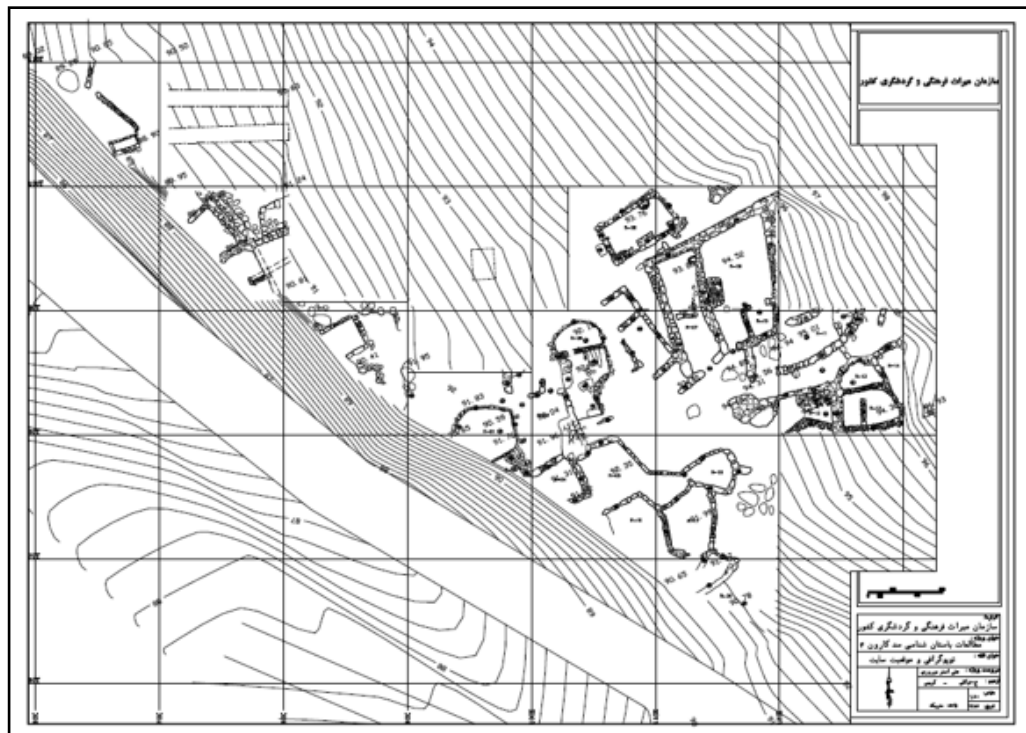
تصویر ۲: نقشه محوطه K4-4 زیرزاغه مهمات (نوروزی، ۱۳۸۵).
Fig. 2: Map of the area of K4-4 Zirzaghemohemmat (Noruzi, 2016).



تصویر ۱: نقشه محدوده آبیگر سد کارون ۴ (نوروزی، ۱۳۸۸).
Fig. 1: Karun 4 dam catchment area map (Noruzi, 2018).

- شرح کاوش

کاوش محوطه زاغه دربرگیرنده ۱۲ ترانشه به ابعاد ۱۰×۱۰ و منطبق بر محور شمالی-جنوبی و شرقی-غربی بود که نام‌گذاری آن‌ها براساس حروف و شماره‌گذاری رومی صورت پذیرفت و از آنجاکه اشیاء مورد بحث در پروژه مذکور از ترانشه kIII به دست آمده است؛ توضیحات آن در ادامه بیان می‌گردد (تصویر ۳).



تصویر ۳: نقشه توپوگرافی و موقعیت محوطه (نوروزی، ۱۳۸۵).
 Fig. 3: Topographical map and location of the site (Noruzi, 2016).

- ترانشه kIII

در بررسی باستان‌شناسی سال ۱۳۸۵ ه.ش. بعد از شناسایی اولیه محوطه زاغه در بخش شمال غربی محوطه و در برش شمال غرب دامنه تپه که در سالیان گذشته به علت خاک‌برداری احداث جاده به وجود آمده بود، بخشی از ساختار تخته‌سنگی کوچکی متشکل از دو تخته‌سنگ به هم تکیه داده آشکار بود، که این ساختار در گزارش بررسی تحت عنوان تدفین احتمالی معرفی شد (تصویر ۴). در بخشی از ترانشه مذکور یک گور خرپشته‌ای دوران تاریخی کاوش شد. بعد از خاک‌برداری‌های اولیه، لبه تعدادی ظروف سفالین آشکار گردید. نیمه شرقی گور در میان ظروف سفالین از تکه‌سنگ‌های نازکی پوشانده شده بود. گفتنی است که داخل گور تا زیر سقف مملو از خاک نرم بود. بعد از جمع کردن تخته‌سنگ‌های کوچک مشاهده شد که تقریباً جسد در داخل گور کاملاً متلاشی شده و اثری از استخوان‌ها به جای نمانده بود. نوع خاک منطقه و ماهیت گچی و آهکی و رطوبت و سایر عوامل فرسایشی باعث شده است تا اسکلت به طور کلی پوسیده و از بین برود. از مجموع استخوان‌ها جسد تعدادی از دندان‌ها و بخشی از استخوان گردن و بخش‌هایی از استخوان انگشتان دست‌ها باقی مانده بود و با کاوش در سایر قسمت‌های قبر هیچ‌گونه بقایایی از سایر اسکلت مشاهده نگردید. از روی بقایای موجود اطلاعات زیر به دست آمد:

- ۱- تدفین بر روی پهلوی راست و سر متوفی به طرف شرق و رو به غرب بوده است.
- ۲- دفن احتمالاً به صورت چمباتمه‌ای انجام شده است.
- ۳- قبر متعلق به زن و احتمالاً جوان یا میان‌سال بوده است.
- ۴- سه ظرف سفالین شامل خمره کوچک، ظرف پخت‌وپز و کوزه دیگر در بالای سر جسد قرار داشت (تصویر ۵).

۵- دو عدد آینه مفرغی در پشت اسکلت و یک عدد کاسه سنگی و سوزن یا سنجاغ مفرغی در کنار دست چپ، و یک کاسه مفرغی در روبه‌روی جسد به همراه متوفی دفن شده است.

۶- یک گردنبند متشکل از مهره‌های سنگی و گلی و یک حلقه فلزی و سایر زیورآلات اشیاء دفن شده همراه متوفی را تشکیل می‌دهد (تصویر ۶). لازم به ذکر است که ساختار دیواره قبور بسیار خوش ساخت است و با استفاده از تخته سنگ‌های مربع شکل و افقی احداث شده است. قسمت پایین قبر، محل قرار گرفتن تخته سنگ غربی، حالت پله سنگی دارد و سنگ‌های سقف در یک ناودانی سنگی قرار گرفته بودند. مطالعه ترانسه‌ای که قبر در آن قرار داشت حاکی از احداث این قبر در محوطه و بقایای استقرار دوره قدیمی‌تر بوده است (نوروزی، ۱۳۸۵).



تصاویر ۴ - ۶: الف) نقشه کارگاه. ب) ظروف سفالین مکشوف. ج) اشیاء فلزی مکشوف (نوروزی، ۱۳۸۵).
Fig. 4-6: A) Workshop map. B) Exposed pottery. C) Exposed metal objects (Noruzi, 2015).

معرفی آثار و ذکر نمونه‌های مشابه

نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش شامل چهار شیء فلزی متعلق به محوطه K4-4 زیر زاغه مهمات است که در ترانسه kIII کشف شده‌اند.






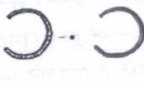


گوشواره شماره ۱ با کد (K4-01) حلزونی شکل است و به شماره اموالی ۱۰۷۲۵ ثبت دفاتر میراث فرهنگی شده است. قطر آن از یک سمت حلقه حلزونی به سمت دیگر ۵ سانتی‌متر و حداکثر ضخامت آن ۰/۲ سانتی‌متر است. این گوشواره از وضعیت مطلوبی برخوردار است و خوردگی بسیار جزئی در برخی نقاط آن به چشم می‌خورد. نکته قابل توجه حالت ارتجاعی و فنری ماندگی است که در حلقه‌های حلزونی شکل شیء وجود دارد. گوشواره شماره ۲ با کد (K4-02) حلقه‌ای شکل است و به شماره اموالی ۱۰۷۲۲ ثبت دفاتر میراث فرهنگی شده است. قطر آن ۱/۸ سانتی‌متر و حداکثر ضخامت آن ۰/۸ سانتی‌متر است. این گوشواره از وضعیت مناسبی برخوردار است و مغز فلزی آن سالم است. روی آن با لایه نسبتاً ضخیم و یکنواخت خوردگی پوشیده شده که این خوردگی در قسمت‌هایی به صورت زگیلی است. گوشواره شماره ۳ با کد (K4-03) حلقه‌ای شکل است و به شماره اموالی ۱۰۷۱۷ ثبت دفاتر میراث فرهنگی شده است. قطر آن ۱/۸ و حداکثر ضخامت آن ۰/۲ سانتی‌متر است. این گوشواره از وضعیت مناسبی برخوردار است و مغز فلزی آن سالم مانده است. در قسمت‌هایی نیز به طور جزئی خوردگی به چشم می‌خورد. گوشواره شماره ۴ با کد (K4-04) به صورت حلقه‌ای نعلی شکل است، گوشواره با شماره اموالی ۱۰۸۰۲ ثبت دفاتر میراث فرهنگی شده است. قطر آن ۱/۴ و حداکثر ضخامت آن ۰/۳ سانتی‌متر است. این گوشواره از نظر فیزیکی شکسته و دوتکه است، ولی به طور کلی از وضعیت مطلوبی برخوردار و مغز فلزی آن سالم است. در قسمت‌هایی از آن، خوردگی جزئی به چشم می‌خورد و سایر قسمت‌ها با پاتین یکنواختی پوشیده شده است.

معرفی روش‌ها

جهت به دست آوردن اطلاعاتی در مورد ساختار اشیاء مورد مطالعه و هم‌چنین نحوه توزیع چگالی در اشیاء، آسیب‌ها و تزئینات احتمالی و غیره، از روش غیرتخریبی رادیوگرافی در آزمایشگاه رادیوگرافی

جدول ۱: مطابقت اشیا با نمونه های مشابه (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Table 1: Matching objects with similar samples (Authors, 2018).

				
K4-04	K4-03	K4-02	K4-01	
				نمونه‌های مشابه
عصر آهن	عصر آهن	عصر آهن	هزاره اول پ.م.	دوره زمانی
محوطه سرخ دم لکی	محوطه سرخ دم لکی	کتل گل گل	تالش	محل کشف
Goof, 1978 Vanden Bergh, 1973	Goof, 1978 Hearinck & Overlaet, 1999	Vanden Bergh, 1973	خلعبری، ۱۳۸۳	منبع

دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان توسط دستگاه Gilardoni ساخت کشور ایتالیا، با شدت جریان ۴/۵ آمپر، ولتاژ ۷۰ KV با مدت زمان پرتو دهی یک دقیقه استفاده شد. جهت انجام آنالیزهای کیفی و کمی، نمونه‌ای در حداقل اندازه ممکن از محل شکستگی‌ها و از قسمت‌هایی که کمترین آسیب ظاهری را به دنبال داشته باشد، تهیه شد. به منظور مطالعات متالوگرافی نمونه‌های تحت بررسی، از مقاطع صیقلی قبل از اچ با بزرگ‌نمایی مختلف تصاویری گرفته شد؛ سپس جهت بررسی ریزساختار و جزئیات مربوط به فرآیند تولید، نمونه‌ها در معرض محلول اسیدی مناسب قرار گرفتند که نمونه‌های مس و آلیاژ آن با استفاده از کلرید آهن III الکلی اچ شدند و برای نمونه‌های نقره از محلول اچ دی کرومات پتاسیم اسیدی استفاده شد (Scott, 1991). این آزمایش با میکروسکوپ پلاریزان BK-POL/BK-POLR ساخت کشور چین مجهز به دوربین EOS Kiss X4CCD Canon و Breeze System Image capture Software در دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان انجام گرفت. جهت تجزیه و تحلیل ویژگی‌های میکروساختاری، ترکیب آلیاژ، ناخالصی‌های احتمالی موجود در آن‌ها، و ترکیب شیمیایی فازهای مختلف موجود در مقاطع اچ نشده نمونه‌های مورد مطالعه، از آنالیز کمی SEM-EDS به شیوه نقطه‌ای، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل VEGA ساخت شرکت TESCAN جمهوری چک مجهز به دستگاه اسپکتروسکوپی تفرق اشعه ایکس (EDS) مدل RONTEC ساخت کشور آمریکا در مرکز متالوژی رازی مورد آنالیز قرار گرفتند. جهت شناسایی محصولات خوردگی، رسوبات خاکی روی سطح و بررسی شرایط خوردگی سطح آثار فلزی طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (XRD) با دستگاه BRUKER D8 ADVANCE در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان بر روی نمونه‌های پودری تهیه شده از محصولات خوردگی به تفکیک رنگ انجام شد.

نتایج و بحث

- رادیوگرافی

از همه اشیا مورد نظر تصویربرداری رادیوگرافی با اشعه ایکس صورت گرفت (تصویر ۷). در تصاویر رادیوگرافی نقاط تیره و روشن نشان دهنده میزان عبور اشعه ایکس از شیء است. با توجه به تصاویر رادیوگرافی، در اشیا مورد مطالعه تزئین و اتصالی مشاهده نشد. عدم وجود اتصال در این اشیا نشان دهنده ساخت این اشیا به صورت یک تکه است. همه نمونه‌ها دارای بقایای فلزی سالم بوده و با توجه به تصاویر، ترک یا ریزترک در این نمونه‌ها دیده نمی‌شود؛ اما در نمونه K4-01 در بخشی از نمونه جدایش دیده می‌شود که احتمالاً به دلیل فشار مکانیکی ایجاد



تصویر ۷: تصویر رادیوگرافی، الف) K4-01، ب) K4-02، ج) K4-03، د) K4-04 (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Table 1: Matching objects with similar samples, A) K4-01, B) K4-02, C) K4-03, D) K4-04 (Authors, 2018).

شده است. با توجه به تصاویر، تیره بودن و روشن بودن در این نمونه‌ها دلیل بر عبور اشعه ایکس به میزان کم یا زیاد است. بخش‌هایی از شی که دارای ضخامت بیشتری است، اشعه ایکس جذب بیشتری داشته و به رنگ روشن دیده می‌شوند و قسمت‌هایی که دارای ضخامت کمتر هستند، اشعه ایکس از آن بخش عبور کرده و تیره‌تر دیده می‌شوند؛ به طور کلی ضخامت کم و یا زیاد در یک بخش یا نمونه نسبت به یک بخش یا نمونه دیگر می‌تواند به دو دلیل باشد: ۱- خوردگی نمونه در آن بخش ۲- روش ساخت شی. در نمونه K4-04 که قسمتی از آن جدا شده و دارای ضخامت کمتری است، با توجه به آن که شی دارای مغز فلزی مناسبی است، می‌تواند ناشی از روش ساخت شی باشد.

-تکنولوژی فلزگری

ترکیب آلیاژ: به منظور شناسایی ترکیب آلیاژی و آنالیز عنصری ناخالصی‌های موجود در آن‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف‌سنجی تفرق اشعه ایکس (SEM-EDS) آنالیز نقطه‌ای بر روی نمونه‌ها انجام شد.

با توجه به جدول ۲، در همه نمونه‌ها طلا شناسایی شده است که می‌توان دلیل آن را پوششی ایجاد شده در هنگام آنالیز بیان نمود. در نمونه K4-01، بیشترین درصدها مربوط به مس با ۷۶/۸۴ و روی با ۱۸/۴۰ است. با توجه به درصد روی شناسایی شده، وجود این عنصر در نمونه نشان‌دهنده این است که ترکیب آلیاژ برنج است. عناصر اصلی در نمونه K4-02، مس با ۹۴/۲۲ است که نشان‌دهنده این است که ترکیب آلیاژ نمونه مس خالص است. عناصر دیگر کمتر از یک درصد شناسایی شد. در نمونه K4-03 عناصر اصلی شامل مس، قلع و درصد کمی آرسنیک است. عناصر دیگر به صورت جزئی شناسایی شده است. با توجه به میزان مس و قلع به ترتیب با ۸۸/۰۴ و ۶/۶۸ می‌توان این نمونه را در دسته آلیاژ دوجزئی مس و قلع یا همان مفرغ قرار داد. مس خالص به دلیل داشتن نقطه ذوب بالا و هم‌چنین به علت جذب کردن گازهای مختلف، به ویژه اکسیژن که هنگام ریخته شدن در قالب و سرد شدن، در نهایت باعث تشکیل حباب‌های گاز و متخلخل شدن می‌شود، برای ریخته‌گری مشکلاتی را به وجود می‌آورد، لذا اضافه کردن قلع

جدول ۲: نتایج آنالیز SEM-EDS نمونه‌ها بر حسب درصد وزنی (wt) (نگارندگان، ۱۳۹۸).

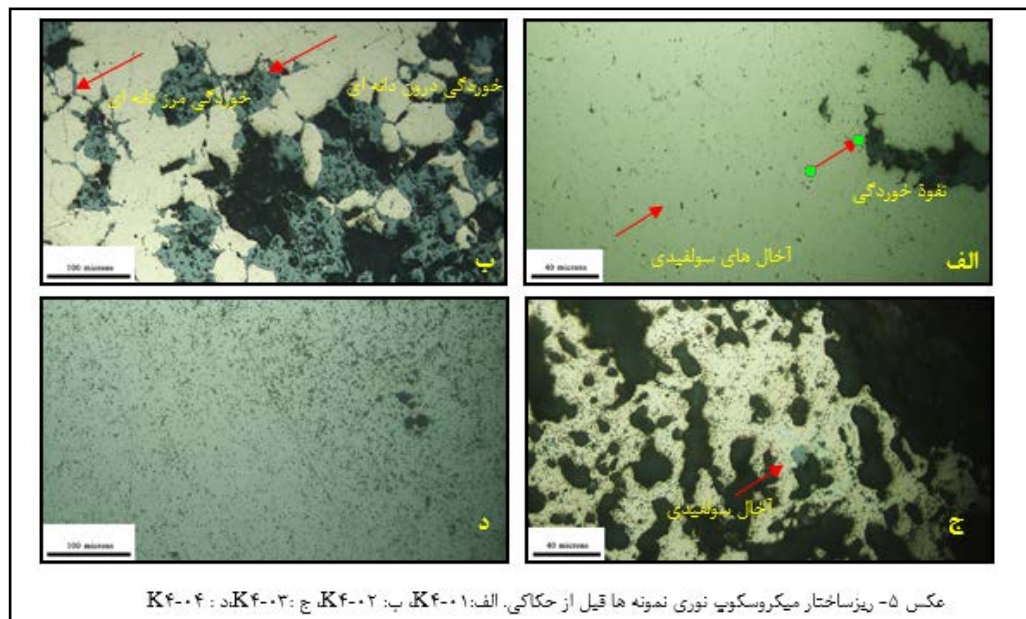
Table 2: Results of SEM-EDS analysis of samples by weight percentage (wt) (Authors, 2018).

کد نمونه	Cu	Sn	As	Pb	Fe	Sb	Ag	S	Cl	Au	Zn
K4-01	84/76	1/46	0/02	1/27	0/00	0/40	0/00	0/00	0/10	1/49	18/40
K4-02	94/22	0/60	0/70	0/00	0/00	0/00	0/22	0/31	0/00	3/94	0/02
K4-03	88/04	6/68	1/44	0/94	0/00	0/00	0/00	0/20	0/01	2/35	0/34
K4-04	2/50	0/05	0/59	0/00	0/01	0/00	94/27	0/00	0/00	2/54	0/02

نه تنها نقطه ذوب را پایین می‌آورد؛ بلکه به عنوان احیاکننده برای جلوگیری از وجود تخلخل کمک می‌کند (Costello, 2005). میزان آرسنیک در این نمونه ۱/۴۴٪ شناسایی شده است که براساس آنالیز مقطع فلزی وجود آن به میزان تقریبی ۱/۵٪ می‌تواند ناشی از وجود آرسنیک همراه با مس در رگه‌های سنگ معدن باشد که البته این موضوع طبیعی است (Oudbashi et al., 2012). میزان قلع در این نمونه کمتر از ۱۷٪ است که با توجه به این موضوع، این نمونه جزء مفرغ‌های کم‌قلع دسته‌بندی می‌شود (Scott, 1991). نمونه K4-04 دارای ۹۴/۲۷٪ نقره و ۲/۵۰٪ مس است. به جز طلا، عناصر دیگر کمتر از یک درصد شناسایی شده است. این نمونه با توجه به نتایج نقره است. در تمام نقاطی که روی آن‌ها آنالیز صورت گرفته است، عناصری نیز در حد ناچیز شناسایی شدند که مربوط به فرآیند استحصال سنگ معدن، آلیاژسازی و محیط دفن شئی هستند و با ساختار فلزی آن‌ها مرتبط نیستند.

- مطالعات ریزساختاری

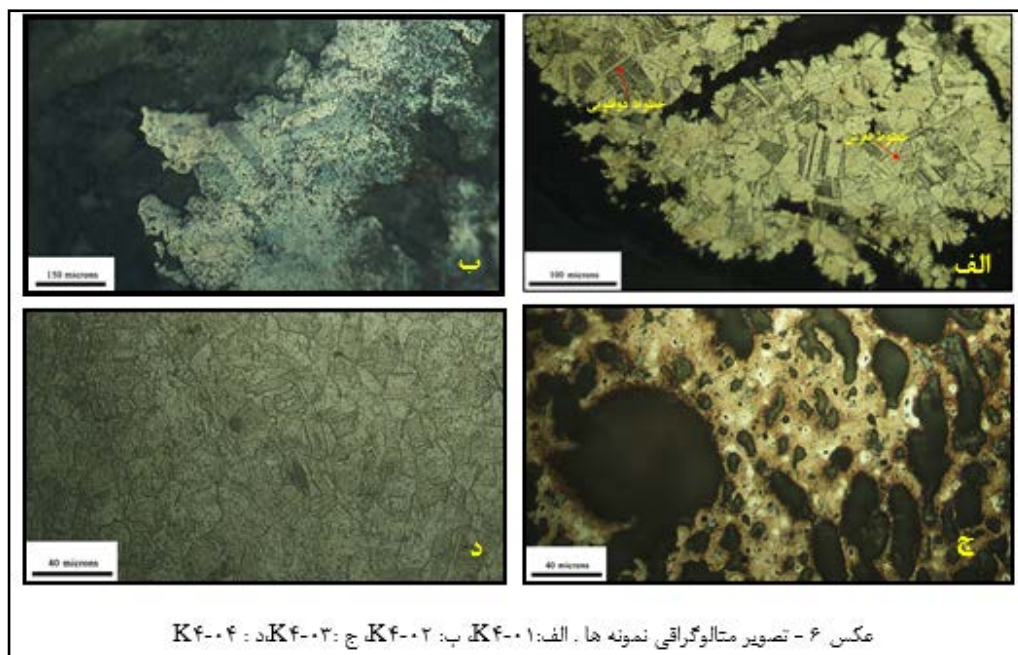
متالوگرافی: در تصویر نمونه K4-01 قبل از اچ زمینه به‌رنگ روشن شامل نفوذ خوردگی در برخی از قسمت‌های نمونه است. آخال‌های سولفیدی به‌رنگ خاکستری در سطح نمونه به‌صورت پراکنده دیده می‌شود. در متالوگرافی شئی K4-02 تصویر نمونه در زمینه روشن نشان‌دهنده ماتریس طلایی همراه با آخال‌های به‌رنگ خاکستری در بخش‌هایی از سطح است. خوردگی در این نمونه به‌صورت درون‌دانه‌ای و مرزدانه‌ای است و نشان از نفوذ خوردگی به داخل نمونه است. خوردگی مرزدانه‌ای در اثر تجمع ناخالصی‌ها در مرز دانه‌ها، غنی یا فقیر شدن مرزدانه نسبت به یک عنصر آلیاژی اتفاق می‌افتد (بخشنده فرد، ۱۳۸۹). در تصویر قبل از اچ نمونه K4-03 و K4-04 نیز ریزساختار همراه با حفره‌ها، فازهای تیره و گرد و هم‌چنین آخال‌های سولفیدی دیده می‌شود. در تصویر نمونه K4-01 پس از اچ، ساختار دانه‌های باز تبلور یافته، خطوط لغزش و خطوط دوقلویی موجود در اثر به‌وضوح قابل مشاهده است. وجود خطوط لغزش فراوان باقی مانده در ریزساختار شئی در تصویر به‌وضوح قابل مشاهده است. زمانی که کار مداوم و سختی بر روی آلیاژ



عکس ۵- ریزساختار میکروسکوپ نوری نمونه‌ها قبل از حکاکی، الف: K4-01، ب: K4-02، ج: K4-03، د: K4-04

تصویر ۸: ریزساختار میکروسکوپ نوری نمونه‌ها قبل از حکاکی؛ الف: K4-01، ب: K4-02، ج: K4-03، د: K4-04 (نگارندگان، ۱۳۹۸).
Fig. 8: Optical microscope microstructure of samples before engraving. A: K4-01, B: K4-02, C: K4-03, D: K4-04 (Authors, 2018).

انجام شود؛ به عبارتی شیء پس از بازپخت به شدت و پیوسته تحت عملیات کار سرد قرار گرفته باشد، لغزش از سطح کریستال‌ها در هر کریستال می‌تواند اتفاق بیفتد که نتیجه آن، تعدادی حرکت موازی است که در مقاطع حک‌کاری شده درون برخی دانه‌ها به شکل خطوطی ظریف و موازی دیده می‌شود؛ این خطوط که به آن‌ها خطوط لغزش گفته می‌شود، می‌توانند بیانگر این موضوع باشند که آخرین مرحله شکل‌دهی این شیء کارسرد بوده است. ریزساختار در نمونه K4-02 دانه‌های بازتبلور یافته و خطوط دوقلویی را نشان می‌دهد که بیانگر کاربرد روش چکش‌کاری گرم و یا چکش‌کاری سرد به همراه تاب‌کاری در ساخت این شیء است؛ هم‌چنین، خطوط دوقلویی مستقیم بر تاب‌کاری، در آخرین مرحله ساخت شیء دلالت دارد. در تصویر نمونه K4-03 پس از اچ مطابق جدایش و وجود فازهای غنی از قلع به رنگ روشن و پراکنده در زمینه غنی از مس دیده می‌شود که می‌توان گفت مغزدار شدن اتفاق افتاده است. درحقیقت این ساختار نشان‌دهنده فرآیندهایی شامل: مغزدار شدن، جدایش و تشکیل فاز غنی از قلع در بین دندریتهای غنی از مس، جدایش سرب به صورت گویچه‌های بزرگ و پراکنده به دلیل عدم اختلاط پذیری مس و سرب و درنهایت وجود آخال‌های سولفیدی در مس است (Scott, 1991). حضور آخال‌های اچ نشده در بین دانه‌ها و مقاطع فلزی این شیء به خوبی قابل مشاهده است. این آخال‌ها که به رنگ آبی-خاکستری خود را نشان می‌دهند، در سراسر این ریزساختار پراکنده شده‌اند. با توجه به دندریتهای می‌توان نتیجه گرفت که این شیء به روش ریخته‌گری ساخته شده است. در ریزساختار نمونه K4-04 پس از اچ وجود دانه‌های دارای تبلور مجدد و خطوط دوقلویی بیانگر استفاده از روش چکش‌کاری گرم و یا چکش‌کاری سرد به همراه تاب‌کاری در ساخت این شیء است. این ریزساختار شامل دانه‌های شش‌وجهی (اکثراً به شکل کج و تغییر شکل یافته) است که در بسیاری از آن‌ها یک یا چند خط دوقلویی دیده می‌شود. در بسیاری از نمونه‌ها، دانه‌ها حالت کشیده دارند و درون برخی از آن‌ها خطوط لغزش قابل مشاهده است. با توجه به درشت بودن دانه‌ها می‌توان گفت که چکش‌کاری صورت گرفته بر روی شیء خیلی زیاد نبوده است؛ درواقع، این نمونه ریخته‌گری شده و پس از آن میزان کمی چکش‌کاری همراه با تاب‌کاری بر روی آن انجام شده است.



تصویر ۹: متالوگرافی نمونه‌ها؛ الف) K4-01، ب) K4-02، ج) K4-03، د) K4-04 (نگارندگان، ۱۳۹۸).
 Fig. 9: Metallography of samples; A) K4-01, B) K4-02, C) K4-03, D) K4-04 (Authors, 2018).

آنالیز آخال ها و ناخالصی ها: نتایج آنالیز نمونه K4-01 در نقطه A به رنگ خاکستری نشان دهنده مس، گوگرد و عناصر دیگر شامل: روی، آرسنیک، آهن، قلع و طلا به میزان کم شناسایی شدند. با توجه به این که بیشترین درصد این فاز را مس و گوگرد تشکیل داده است، احتمالاً این نقطه آخال سولفیدی است. این آخال ها به خاطر قابلیت اختلاط پایینی که دارند، در مس به صورت نواحی جداگانه ظاهر می شوند؛ در واقع، حضور آخال های Cu-S در ماتریس مفرغ می تواند به دلیل استفاده از سنگ های معدن سولفیدی برای تولید و ذوب مس باشد (Valerio, 2012). نقطه B به رنگ تیره، شامل عناصر مس، گوگرد و روی با درصد بالا است. میزان بالای مس و روی در این نقطه مربوط به ترکیب آلیاژ است و حضور گوگرد با درصد بالا نشان دهنده این است که این نقطه آخال سولفیدی است. در نمونه K4-02 در نقطه A بیشترین درصد عناصر مربوط به مس و پس از آن اکسیژن قرار دارد، که این نقطه اکسید مس یا خوردگی است. نقطه B در این نمونه، شامل مس، کربن و سرب است. نتایج تجزیه در این ناحیه، نشان دهنده وجود گویچه سربی در آن است. در نقطه C، نقره ۱۰٪ شناسایی شده است، پس براساس نتایج نقطه C نقره است. در نقطه A نمونه K4-03 مس بیشترین درصد و پس از آن گوگرد است، که این نقطه نشان دهنده آخال سولفیدی است. در نقطه B مس و سرب و اکسیژن بیشترین درصد را دارا هستند، که با توجه به این عناصر می توان گفت این نقطه گویچه سربی است. در این نقطه مقادیری آرسنیک ناشی از وجود آن به همراه مس در رگه های سنگ معدن نیز شناسایی شده است. در نمونه K4-03 نقطه C شامل مس و قلع و آرسنیک است. مس و قلع که مربوط به ترکیب آلیاژ است، اما میزان آرسنیک در این نقطه و دو نقطه دیگر در همین نمونه نیز شناسایی شده است که می تواند به عنوان ناخالصی در نظر گرفته شود. نقطه A در نمونه K4-04 شامل نقره با ۹۱/۵۹٪ و مس با ۲/۵۰٪ است. میزان نقره، در واقع مربوط به ترکیب آلیاژ است و میزان مس احتمالاً به عنوان ناخالصی در این نقطه شناسایی شده است.

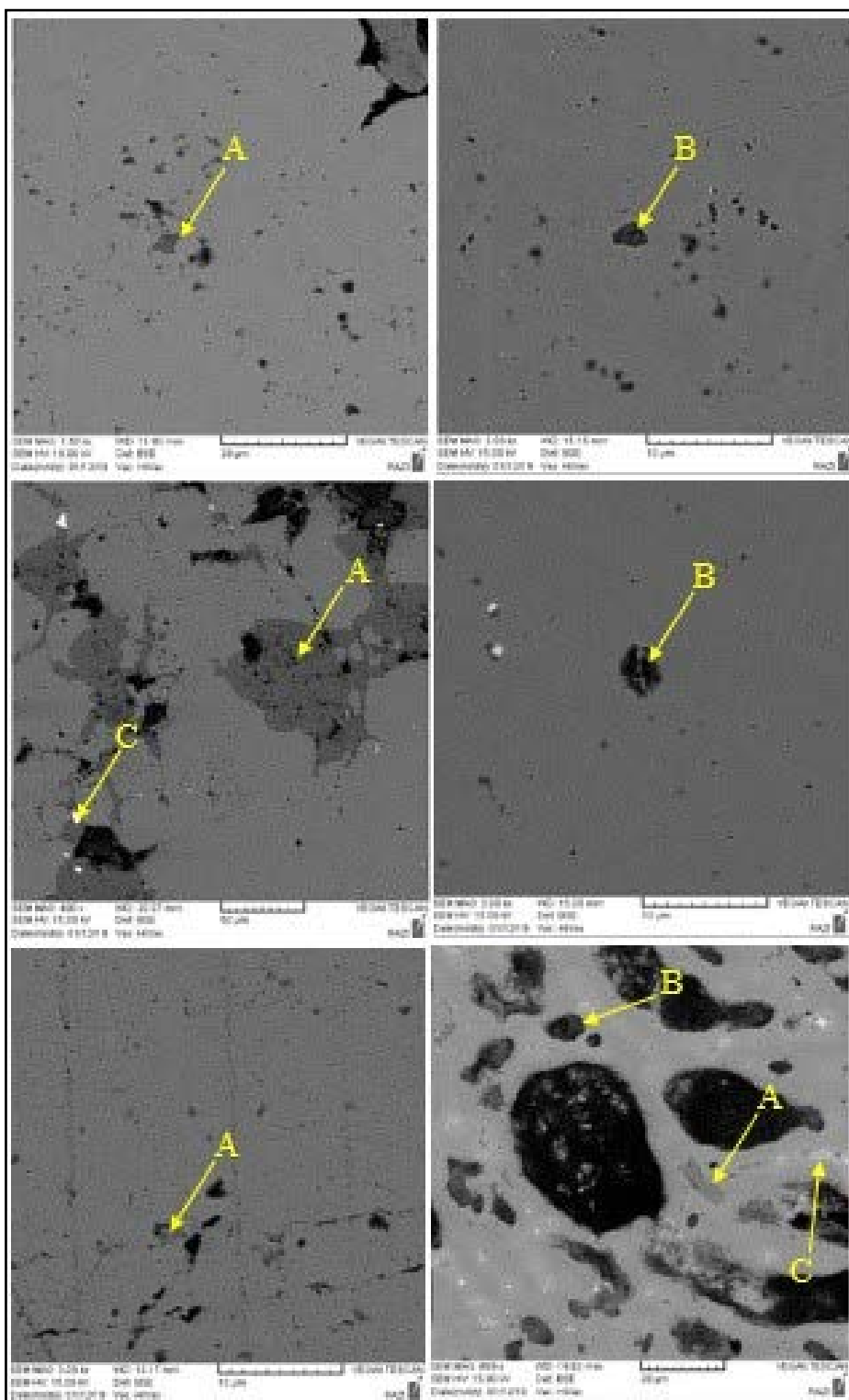
جدول ۳: نتایج آنالیز SEM-EDS آخال های نمونه فلزی کارون ۴ برپایه درصد وزنی (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Table 3: The results of SEM-EDS analysis of the inclusions of the Karun 4 metal sample based on weight percentage (Authors, 2018).

	O	C	Ag	S	Cl	Fe	Cu	Zn	As	Sn	Sb	Pb	Au
K4-01-A	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۱۰/۴۷	۰/۰۰	۱/۴۲	۷۷/۷۹	۳/۰۷	۰/۲۱	۳/۷۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۳/۲۶
K4-01-B	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۲۱/۷۴	۰/۰۱	۰/۸۲	۲۳/۴۲	۵۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۴۳	۰/۲۰	۲/۷۶
K4-02-A	۴/۲۷	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۴۷	۰/۱۸	۰/۳۵	۸۹/۲۷	۰/۳۰	۰/۰۶	۰/۴۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۴۴
K4-02-B	۰/۰۰	۱۹/۸۵	۴/۰۹	۱/۳۸	۰/۷۷	۰/۰۱	۵۶/۸۵	۰/۱۷	۲/۱۰	۰/۰۴	۰/۹۴	۱۳/۰۵	۴/۴۷
K4-02-C	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
K4-03-A	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۵	۱۵/۰۶	۰/۲۴	۰/۰۴	۷۷/۵۳	۰/۰۱	۱/۰۱	۱/۵۸	۰/۰۰	۰/۹۱	۳/۳۸
K4-03-B	۵۲/۳۴	۱/۹۹	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۰۲	۲۳/۱۲	۲/۳۱	۴/۲۶	۱/۶۶	۰/۸۲	۱۰/۶۸	۲/۶۰
K4-03-C	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۷	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۶۸/۶۷	۰/۰۴	۴/۱۹	۲۳/۴۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۳/۱۳
K4-04-A	۰/۰۰	۰/۰۰	۹۱/۵۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۳	۲/۵۰	۱/۱۸	۰/۷۳	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۳۵	۳/۳۵

مطالعات خوردگی

لایه نگاری خوردگی: به منظور شناسایی لایه های خوردگی و محل قرارگیری آن ها نسبت به سطح اصلی مقطع نمونه ها به کمک برخی از روش های دستگاهی مانند میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ



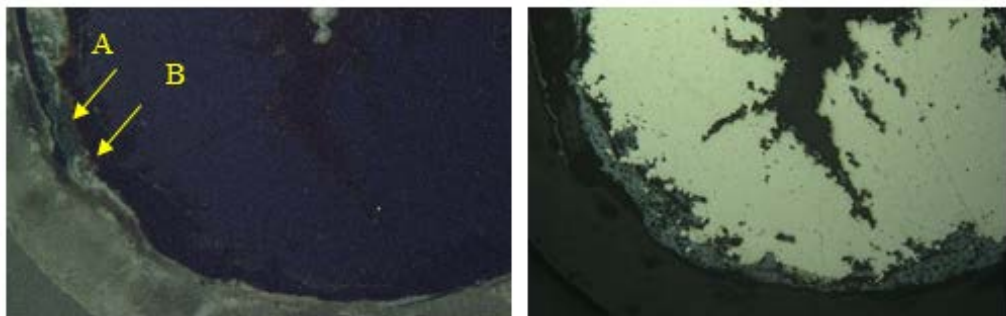
تصویر ۱۰: تصاویر میکروسکوپی SEM-BSE آخال‌های موجود در ساختار نمونه‌های محوطه کارون ۴؛ آنالیزهای A آخال‌های خاکستری‌رنگ، آنالیزهای B آخال‌های سیاه‌رنگ و آنالیز C مربوط به نقاط سفیدرنگ هستند. نمونه‌ها از سمت راست به چپ و از سمت بالا به پایین به ترتیب شامل: نمونه K4-01 (الف و ب)، نمونه K4-02 (ج و چ)، نمونه K4-03 (ه)، نمونه K4-04 (و)، (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Fig. 10: SEM-BSE microscopic images of inclusions in the structure of Caron 4 samples. Analyzes A are gray inclusions, analysis B are black inclusions, and analysis C are white dots. Samples from right to left and from top to bottom include: sample K4-01 (a and b), sample K4-02 (c and c), sample K4-03 (e), sample K4-04 (f), (Authors, 2018).

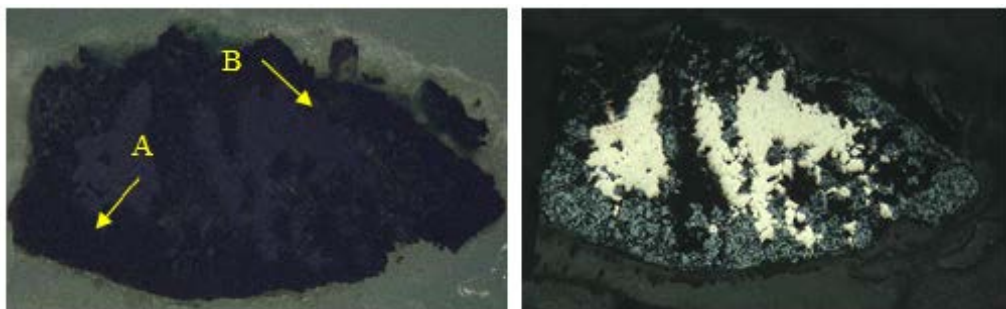
الکترونی بررسی شد. به همین جهت از تصاویر زمینه روشن و تاریک در میکروسکوپ نوری برای شناسایی لایه‌های تشکیل شده استفاده شد.

محدوده سطح اصلی با توجه به مقطع عرضی در همه نمونه‌ها کاملاً مشخص است و محدوده شیئی اولیه را می‌توان براساس آن تشخیص داد. در نمونه K4-01 لایه B لایه درونی قبل از سطح اصلی است، که به رنگ قرمز و شامل محصولات خوردگی اکسیدی است. لایه A، لایه بیرونی بعد از سطح اصلی به رنگ سبز قرار دارد (تصویر ۸). در نمونه K4-02 تنها لایه قبل از سطح اصلی یا همان A قابل مشاهده است که به رنگ قرمز قهوه‌ای دیده می‌شود و حاوی محصولات خوردگی اکسیدی است. در این نمونه نفوذ خوردگی و ضخامت آن زیاد است (تصویر ۹). نمونه K4-03 دارای دو لایه خوردگی A و B است که شامل محصولات خوردگی سبز و قرمز است و این دو لایه بعد از سطح اصلی قرار گرفته‌اند (تصویر ۱۰). در نمونه K4-04 تنها یک لایه بعد از سطح اصلی قابل رؤیت است که به رنگ تیره قابل مشاهده است. ضخامت لایه خوردگی در این نمونه کم و به صورت یک لایه یکنواخت است (تصویر ۱۱).

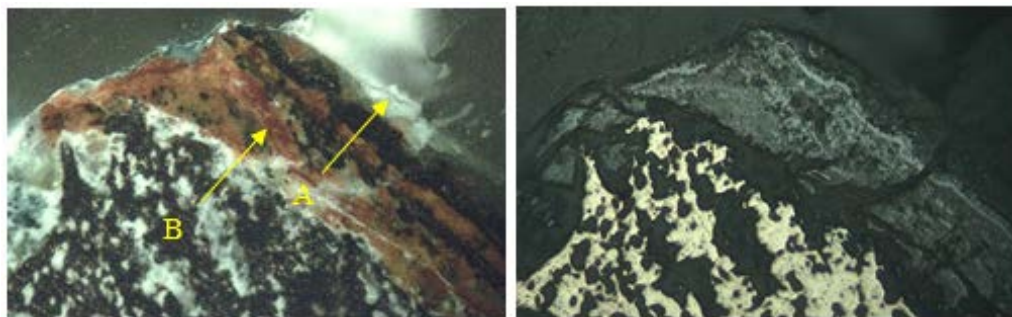
ترکیب شیمیایی لایه‌های خوردگی: در بررسی SEM اشیاء، محصولات خوردگی به وسیله EDS مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جدول ۴، عناصر اصلی تشکیل دهنده لایه‌های مختلف خوردگی در سه نمونه اول مس و اکسیژن و در نمونه K4-04 نقره، اکسیژن و کلر است. در لایه بیرونی در نمونه K4-01 که با A مشخص شده است، میزان مس کاهش و میزان اکسیژن افزایش یافته است. لایه داخلی که با B مشخص شده، شامل مس، گوگرد و اکسیژن است. در این لایه میزان اکسیژن کم و میزان مس نسبت به لایه بیرونی بیشتر است. نمونه K4-02 شامل یک لایه خوردگی است (لایه A) که بیشترین میزان درصد عناصر مربوط به مس و اکسیژن است. عناصر دیگر مانند: کلر، آهن، روی، آرسنیک، قلع، آنتیموان و نقره کمتر از یک درصد شناسایی شده است.



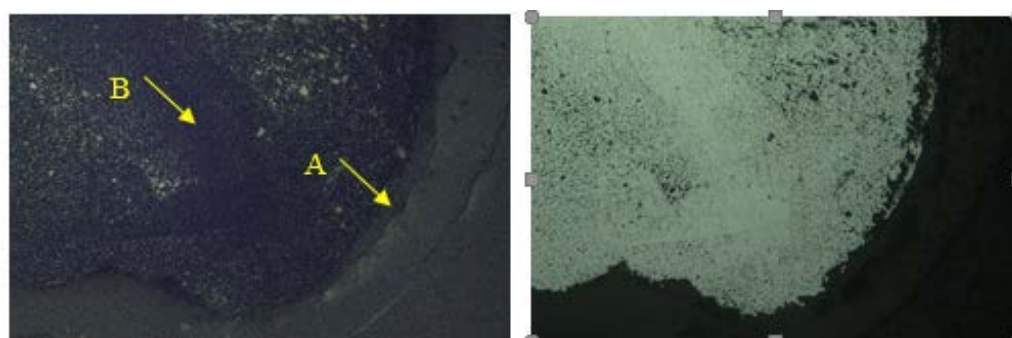
تصویر ۱۱: تصویر میکروسکوپی پلاریزان نمونه K4-01، راست (زمینه روشن)، چپ (زمینه تاریک)، (نگارندگان، ۱۳۹۸).
Fig. 11: Polarized microscopic image of sample K4-01, right (light field) left (dark field) (Authors, 2018).



تصویر ۱۲: تصویر میکروسکوپی پلاریزان نمونه K4-02، راست (زمینه روشن) چپ (زمینه تاریک)، (نگارندگان، ۱۳۹۸).
Fig. 11: Polarized microscopic image of sample K4-01, right (light field) left (dark field) (Authors, 2018).



تصویر ۱۳: تصویر میکروسکوپی پلاریزان نمونه K4-03، راست (زمینه روشن) چپ (زمینه تاریک)، (نگارندگان، ۱۳۹۸).
 Fig. 13: Polarized microscopic image of sample K4-03, right (light field) left (dark field) (Authors, 2018).

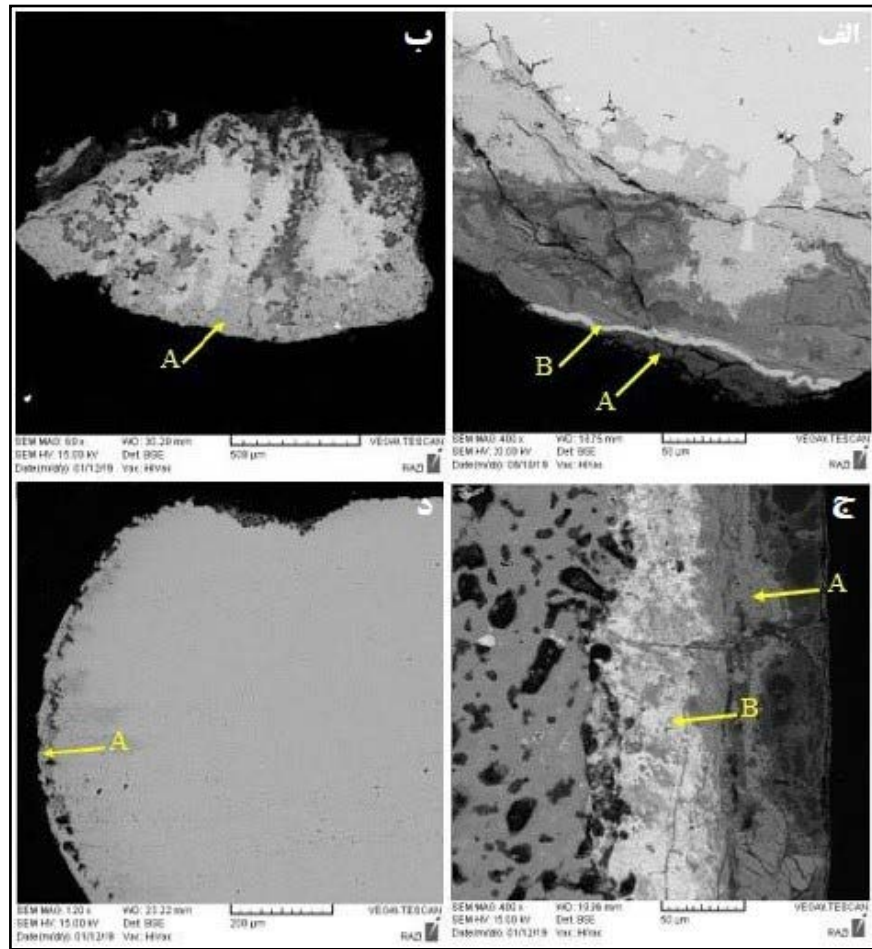


تصویر ۱۴: تصویر میکروسکوپی پلاریزان نمونه K4-04، راست (زمینه روشن) چپ (زمینه تاریک)، (نگارندگان، ۱۳۹۸).
 Fig. 14: Polarized microscopic image of sample K4-04, right (light field) left (dark field) (Authors, 2018).

در لایه B که مربوط به زمینه اصلی است، بیشترین درصد عناصر مربوط به مس است و عناصر دیگر در حد جزئی شناسایی شده‌اند. نمونه K4-03 نیز شامل دو لایه A (لایه بیرونی) و B (لایه درونی بعد از سطح) است. در لایه بیرونی مس، اکسیژن، سرب، گوگرد، آرسنیک و عناصر دیگر به صورت جزئی شناسایی شده است. در لایه B میزان سرب، قلع و آرسنیک افزایش و میزان اکسیژن و مس کمی کاهش یافته است. افزایش میزان قلع می‌تواند به دلیل کاهش میزان مس یا همان پدیده انحلال انتخابی مس (مس زدایی) و به دنبال آن غنی‌تر شدن این لایه از قلع باشد (Robbiola et al., 1998). نمونه K4-04 دارای یک لایه خوردگی بیرون شامل: نقره، اکسیژن، کلر و میزان کمی آرسنیک است و درونی‌ترین لایه این نمونه، شامل نقره با میزان کمی مس است (تصویر ۱۵ و جدول ۴).

شناسایی محصولات خوردگی: جهت شناسایی محصولات خوردگی و رسوبات محیطی پوشاننده سطح آثار مورد بحث، از محصولات خوردگی هر چهار شیء نمونه برداری انجام شد و آنالیز XRD صورت پذیرفت، که نتایج این آنالیز و نمودارهای آن به شرح ذیل بیان می‌گردد. فازهای شناسایی شده در نمونه‌های K4-01 و K4-03 کوپریت، مالاکیت و در نمونه K4-02 علاوه بر آن‌ها بروکانتیت نیز شناسایی شده است. ترکیبات گزارش شده در نمونه K4-04 نیز آکانتیت و کلراژیریت است. در کنار فازهای شناسایی شده در هر چهار نمونه، کانی‌ها و رسوبات موجود در خاک نیز گزارش شده است.

کلراژیریت از محصولات خوردگی معمول در آثار تاریخی دفن شده در زیر خاک است (Akinfiyev & Zotov, 2016). کلراژیریت و آکانتیت از ترکیبات اصلی لایه تکدر نقره‌ای هستند. این لایه نازک از محصولات خوردگی تیره می‌تواند به سرعت درخشندگی سطح نقره را از بین ببرد که ضخامت این



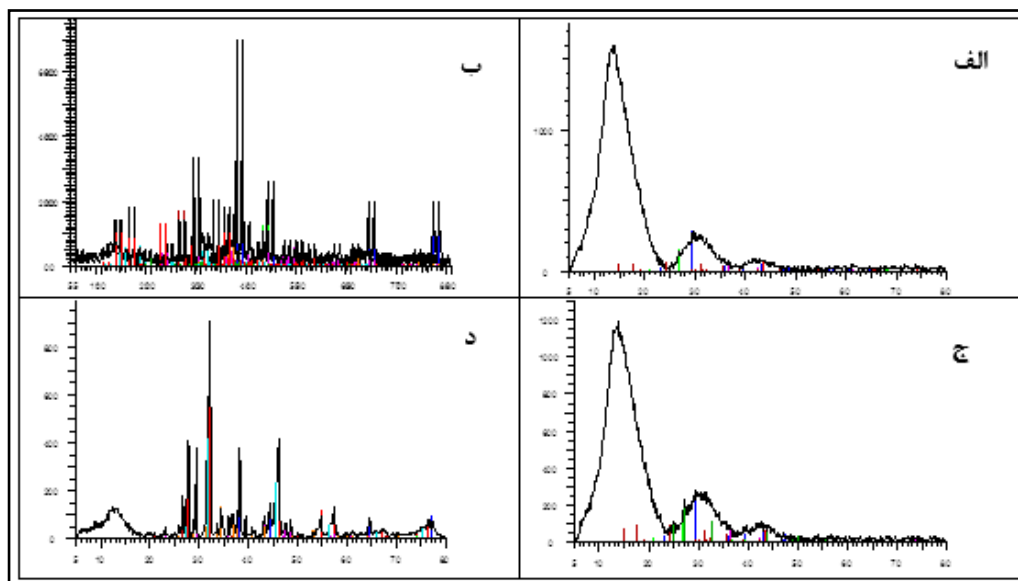
تصویر ۱۵: تصویر SEM-BSE از نمونه‌ها ولایه‌های آنالیز شده، به ترتیب از سمت راست به چپ و از سمت بالا به پایین: نمونه الف: K4-01، نمونه ب: K4-02، نمونه ج: K4-03، نمونه د: K4-04 (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Fig. 15: SEM-BSE image of the samples of the analyzed regions, from right to left and from the top, respectively Down: Sample A (K4-01), Sample B (K4-02), Sample C (K4-03), Sample D (K4-04) (Authors, 2018).

جدول ۴. نتایج آنالیز SEM-EDS لایه‌های خوردگی نمونه‌های محوطه کارون ۴ بر پایه درصد وزنی (نگارندگان، ۱۳۹۸).
Table 4. Results of SEM-EDS analysis of corrosion layers of Caron 4 enclosure samples based on weight percentage (Authors, 2018).

	O	Al	S	Cl	Fe	Cu	Zn	As	Sn	Sb	Pb	Ag
K ^{۴-۰۱} -A	۲۵/۰۳	۰/۷۸	۰/۶۰	۰/۷۵	۰/۰۰	۴۵/۶۰	۱/۳۶	۰/۰۶	۰/۶۲	۰/۰۰	۰/۵۸	۲/۱۰
K ^{۴-۰۱} -B	۵/۴۲	۰/۰۰	۲۱/۲۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۷۳/۳۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۲
K ^{۴-۰۲} -A	۶/۸۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۸	۰/۰۷	۸۸/۷۵	۰/۳۷	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۹۳	۰/۰۰	۰/۱۵
K ^{۴-۰۲} -B	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۹۴/۲۲	۰/۰۲	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۲
K ^{۴-۰۳} -A	۱۸/۷۶	۰/۴۱	۳/۷۹	۲/۵۰	۰/۰۱	۲۳/۲۳	۰/۰۲	۲/۶۰	۰/۶۷	۱/۱۹	۱۰/۶۴	۰/۰۸
K ^{۴-۰۳} -B	۱۲/۷۴	۰/۰۰	۱/۱۶	۰/۰۰	۰/۰۱	۲۹/۹۸	۰/۰۲	۵/۰۷	۶/۱۳	۰/۶۹	۴۳/۵۹	۰/۱۳
K ^{۴-۰۴} -A	۷/۱۰	۱/۶۵	۰/۱۶	۴/۳۷	۰/۰۱	۰/۷۰	۰/۰۳	۳/۵۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۸۱/۳۴
K ^{۴-۰۴} -B	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۲/۵۰	۰/۰۲	۰/۵۹	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۹۴/۲۷

لایه تکدر، مستقیماً به ضخامت نقره اصلی به کاررفته در اثر و ترکیب آلیاژ آن بستگی دارد. ترکیبات سولفور مانند سولفید هیدروژن (یا سولفید کربنیل COS) و گوگرد عنصری (S) سبب تشکیل آکانتیت و سولفید مس می‌شوند. سرعت تکدر نقره با رطوبت محیط رابطه مستقیم دارد؛ چنان‌چه در هوای مرطوب نسبت به هوای خشک بیشتر است. آلودگی‌های گازی نیز مانند دی‌اکسید نیتروژن (NO₂)، کلر (Cl₂) و ازن (O₃) با کاتالیز نمودن واکنش‌های تکدر باعث افزایش سرعت تکدر نقره می‌شوند (مقری، ۱۳۹۱)، (شکل ۴ و جدول ۴ و ۵).



تصویر ۱۶: نمودار حاصل از آنالیز نمونه‌های الف: K4-01، ب: K4-02، ج: K4-03، د: K4-04 (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Fig. 16: The graph resulting from the analysis of the samples. A: K4-01, B: K4-02, C: K4-03, D: K4-04 (Authors, 2018).

حفاظت و مرمت و ارائه روش‌های درمان (مراحل حفاظت و مرمت)

تمیزکاری: ابتدا pH هرکدام از گوشواره‌های مورد مطالعه در مقدار ۳ سی‌سی آب مقطر توسط دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد که نتیجه این pHسنجی برای هر چهار شیء حدود ۸-۷/۵ بود. مطابق نتایج پرتوافکنی با اشعه ایکس، اشیاء مورد نظر از مغز فلزی قابل قبولی برخوردار هستند؛ از این رو با توجه به استحکام بالای اشیاء، به کارگیری روش‌های مکانیکی امکان‌پذیر است و از آنجا که روش‌های مکانیکی با کمترین دخالت و آسیب به شیء می‌تواند نتایج خوبی را داشته باشد، پاک‌سازی این اشیاء به روش مکانیکی شروع شد.

مطابق نتایج آنالیز SEM-EDS ترکیب فلز به کاررفته در ساخت اشیاء K4-01، K4-02 و K4-03 مس و آلیاژهای آن تشخیص داده شد و از آنجا که اشیاء از وضعیت ظاهری و استحکام خوبی برخوردار بودند، عملیات مرمتی پیچیده‌ای نیاز نبود؛ از این رو، رسوبات محیطی که به صورت خاک بودند، با برس زدن از روی اشیاء برداشته شد، سپس به کمک بیستوری سایر رسوبات محیطی آرام‌آرام جدا شد، تا جایی که بیستوری به شیء صدمه وارد نکرد. در تمیزکاری سایر رسوبات نیز از پودر آهن نرم استفاده شد؛ سپس اشیاء با آب مقطر شسته و فوراً خشک شدند، ولی از آنجا که هنوز مقداری رسوبات سخت روی شیء K4-02 باقی مانده بود، از محلول شیمیایی STPP با غلظت ۵٪، به صورت ضماد به مدت ۴۰ دقیقه استفاده شد که بدین ترتیب رسوبات سبزرنگ تیره و نرم نیز از روی شیء برداشته شد و پس از آن شیء مجدداً به وسیله مسواک و آب مقطر شسته و خشک گردید. شیء K4-04 مطابق نتایج آنالیز SEM-EDS ترکیب آلیاژی آن نقره تشخیص داده شد؛ از این رو،

جدول ۵: محصولات حاصل از آنالیز XRD نمونه K4-01 و K4-02 (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Table 5: Products obtained from XRD analysis of sample K4-01 & K4-02 (Authors, 2018).

Line Color	Compound Name	Formula	PDF Number
Red	Brochantite-ITM RG	Cu ₂ SO ₄ (OH) ₂	۴۳-۱۴۵۸
Blue	Silver-ITC RG, syn	Ag	۰۴-۱۷۸۳
Green	Copper, syn	Cu	۰۴-۰۸۳۶
Purple	Calcite, syn	CaCO ₃	۰۵-۰۵۸۶
Red	Quartz, syn	SiO ₂	۴۶-۱۰۴۵
Orange	Cuprite, syn	Cu ₂ O	۰۵-۰۶۶۷
Blue	Malachite, syn	Cu ₂ (CO ₃)(OH) ₂	۴۱-۱۳۹۰
Green	Pseudomalachite, syn	Cu ₂ (PO ₄)(OH) ₂	۳۶-۰۴۰۸

Line Color	Compound Name	Formula	PDF Number
Red	Copper, syn	Cu	۰۴-۰۸۳۶
Blue	Calcite, syn	CaCO ₃	۰۵-۰۵۸۶
Green	Quartz, syn	SiO ₂	۴۶-۱۰۴۵
Purple	Cuprite, syn	Cu ₂ O	۰۵-۰۶۶۷
Red	Malachite, syn	Cu ₂ (CO ₃)(OH) ₂	۴۱-۱۳۹۰
Green	Copper, syn	Cu	۰۴-۰۸۳۶

جدول ۶: محصولات حاصل از آنالیز XRD نمونه K4-03 و K4-04 (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Table 6: Products obtained from XRD analysis of K4-03 and K4-04 samples (Authors, 2018).

Line Color	Compound Name	Formula	PDF Number
Red	Chlorargyrite, syn	AgCl	۳۱-۱۳۳۸
Blue	Silver-ITC syn	Ag	۰۴-۱۷۸۳
Green	Copper, syn	Cu	۰۴-۰۸۳۶
Purple	Calcite, syn	CaCO ₃	۰۵-۰۵۸۶
Red	Quartz, syn	SiO ₂	۴۶-۱۰۴۵
Orange	Acanthite, syn	Ag ₂ S	۰۹-۰۴۲۲
Blue	Halite, syn	NaCl	۰۵-۰۶۲۸

Line Color	Compound Name	Formula	PDF Number
Red	Copper, syn	Cu	۰۴-۰۸۳۶
Blue	Calcite, syn	CaCO ₃	۰۵-۰۵۸۶
Green	Quartz, syn	SiO ₂	۴۶-۱۰۴۵
Purple	Cuprite, syn	Cu ₂ O	۰۵-۰۶۶۷
Red	Malachite, syn	Cu ₂ (CO ₃)(OH) ₂	۴۱-۱۳۹۰
Green	Waterite, syn	CaCO ₃	۳۶-۰۴۰۸

تمیزکاری اولیه آن با آب مقطر و الکل صورت گرفت؛ سپس از پودر ساینده بیلوکسیت استفاده شد، ولی از آنجا که هنوز نتیجه مطلوب حاصل نگردیده بود از سوسپانسیون آلومینیوم منیزیم استفاده شد، که نتیجه خوبی در برداشت.

موزون سازی رنگی: نمونه برداری جهت انجام آنالیز SEM-EDS و متالوگرافی اشیاء مورد پژوهش از قسمت هایی که شی خود به صورت جزئی کمبود داشت و نیز از جاهای پنهان اثر انجام گردید و از آنجایی که به جنبه های زیبایی شناسی اثر نیز خدشه ای وارد نشد، بازسازی نواحی کمبود ضرورت پیدا نکرد و به موزون سازی رنگی توسط اکریلیک اکتفا شد.

تثبیت نهایی: پس از اتمام عملیات حفاظت و مرمت آثار، به منظور اجرای پوشش نهایی با هدف ایجاد قشری شفاف و مقاوم در برابر نفوذ رطوبت، بر روی اشیاء K4-01, K4-02 و K4-03 پارالوئید B72 با نسبت ۳٪ در ایستون اعمال شد. در مورد شی K4-04 نیز از لاک پوشش دهنده نیترات سلولزی به نام فریجیلین استفاده شد که این پوشش محافظ پس از خشک شدن به عنوان یک لایه محافظ عمل می کند و چنان چه شی در شرایط کنترل شده نگه داری شود، از مقاومت خوبی در برابر پدیده تکدر نقره ای برخوردار خواهد شد (مقری، ۱۳۹۱).

پیشنهادهای حفاظتی: به منظور نگه‌داری چهار گوشواره مورد بحث، چه در مخزن و چه در ویتترین درکنار عملیات حفاظت و مرمت، اتخاذ تدابیری جهت حفاظت بهتر اشیاء لازم است. امروزه در حوزه حفاظت آثار تاریخی پیش از آن‌که به درمان پرداخته شود، بر روش‌های حفاظت پیش‌گیرانه تأکید می‌شود. در مورد آثار فلزی بحث ممانعت از خوردگی فلزات، یعنی فراهم‌آوردن شرایط محیطی که واکنش‌های خوردگی اتفاق نیفتد یا روند آن‌ها کند شود، مدنظر است. در مجموع آثار مورد مطالعه به لحاظ خوردگی در شرایط نسبتاً مناسبی هستند و از استحکام خوبی برخوردارند و اولین مرحله جهت نگه‌داری آن‌ها، کنترل و پایش محیط قرارگیری شیء است؛ از این رو، رطوبت نسبی، دما و اکسیژن محیط باید به طریقی کنترل شوند که احتمال بروز آسیب به حداقل برسد. رطوبت نسبی استاندارد برای اشیاء مورد نظر بین ۴۶-۴۲٪ است. استفاده از مواد جاذب رطوبت درکنار شیء (مانند سیلیکا ژل)، سیستم رطوبت‌زدا و گرمازا و نیز استفاده از تجهیزات تهویه هوا با هدف کنترل رطوبت نسبی محیط موزه مناسب است.

با توجه به عدم وجود امکانات کافی جهت کنترل رطوبت نسبی محیط در فضای مخزن، این اشیاء بهتر است در کاغذهای تیشو بدون اسید پیچیده و سپس در جعبه‌های بدون اسید از جنس پلی‌استایرن شفاف، محفظه‌های فریزر اوفلین یا کیسه‌های پلی‌اتیلن همراه با مواد نم‌گیر مانند ارت زرب قرار داده شوند. در صورت به‌نمایش گذاشتن این آثار، ویتترین‌ها باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که با مواد مناسب درزگیری شده و از نفوذ بخار آب، سولفور و اسیدهای محیط به داخل آن جلوگیری شود؛ هم‌چنین از خود گاز متصاعد نکند. موادی که برای این کار پیشنهاد می‌شود پلی‌اتیلن، پلکسی‌گلاس، شیشه، آلومینیوم و فولاد ضدزنگ است؛ البته در دو مورد آخر شیء نباید با ویتترین در تماس مستقیم باشد. برای اجتناب از این امر می‌توان از پایه‌های پلکسی‌گلاس استفاده کرد. ویتترین باید مجهز به سیستم ایمنی نیز باشد تا در صورت لزوم، سرقت، آتش‌سوزی و... را اخطار دهد.

در نهایت اشیاء فلزی باید به‌طور منظم و ماهیانه از نظر آسیب‌های وارده و کنترل خوردگی یا تغییر رنگ محصولات خوردگی، هم‌چنین پایان یافتن عمر مفید پوشش‌ها یا اطمینان از مؤثر بودن روش‌های حفاظت پایش شوند. از مواد تغییر یافته و آسیب‌ها، مستندنگاری تصویری و کتبی به عمل آید و در صورت نیاز، شیء به کارگاه حفاظت و مرمت منتقل شود.

نتیجه‌گیری

در این پروژه ترکیب فلز / آلیاژ به‌کاررفته در ساخت این زیورآلات با استفاده از آنالیز عنصری SEM-EDS تشخیص داده شد. برهمین اساس، نمونه K4-01 آلیاژ برنج، نمونه K4-02 مس، نمونه K4-03 آلیاژ دوجزئی مس و قلع یا همان مفرغ و نمونه K4-04 نقره تشخیص داده شد. مطالعات میکروسکوپی در نتایج آنالیز انجام‌شده بر روی نمونه K4-01 و K4-03 آخال‌های سولفیدی و بر روی نمونه K4-02 و K4-03 نشان‌دهنده وجود گویچه سربی است. تصاویر متالوگرافی از نمونه K4-01 بیانگر ساخت شیء در چرخه‌ای از کار سرد و آنیلینگ است؛ البته حضور خطوط لغزش در بعضی دانه‌ها حاکی از آن است که آخرین مرحله شکل‌گیری شیء کار سرد بوده است. دانه‌های دارای تبلور مجدد و خطوط دوقلویی در ریزساختار نمونه K4-02 بیانگر کاربرد روش چکش‌کاری گرم و یا چکش‌کاری سرد به همراه تاب‌کاری در ساخت شیء است. نمونه K4-03 به روش ریخته‌گری و نمونه K4-04 با استفاده از روش چکش‌کاری گرم و یا چکش‌کاری سرد همراه با تاب‌کاری ساخته شده است. با توجه به درشت بودن دانه‌ها می‌توان گفت چکش‌کاری صورت‌گرفته بر روی شیء خیلی زیاد نبوده است؛ در واقع، این نمونه ریخته‌گری شده و پس از آن میزان کمی چکش‌کاری همراه با تاب‌کاری روی آن انجام شده است.

با توجه به نتایج آنالیز محصولات خوردگی نمونه‌های محوطه K4-4 زیر زاغه، وجود خوردگی کوپریتی به رنگ قرمز-قهوه ای و خوردگی مالاکیتی به رنگ سبز روشن در نمونه‌های K4-01 و K4-03 به خوبی مشخص است. در نمونه K4-02 علاوه بر آن‌ها بروکانتیت نیز شناسایی شده است. ترکیبات گزارش شده در نمونه K4-04 آکانتیت و کلرژیریت از ترکیبات اصلی لایه تکرر نقره‌ای است. لایه‌های خوردگی ایجاد شده بر سطح اصلی نمونه‌های مورد مطالعه مؤید این موضوع است که ترکیب این لایه شامل محصولات خوردگی مس همراه با ترکیبات خاک است که در اثر انحلال مس، انتقال آن از درون ساختار فلزی به بیرون و ترکیب آن با مواد موجود در خاک و رسوب مجدد بر سطح فلز تشکیل شده است. در نمونه K4-02 خوردگی درون دانه‌ای و مرزدانه‌ای نیز مشاهده شد که نشان از نفوذ خوردگی به داخل نمونه است. سطح نمونه را نیز زگیل‌هایی فراگرفته است؛ هم‌چنین در سطح نمونه K4-03 ترک‌هایی مشهود که ناشی از خوردگی و فشار محیط است. بررسی نمونه‌های ساخته شده از مس نشان می‌دهد در لایه خوردگی، میزان مس نسبت به ماتریس فلزی کاهش قابل توجهی دارد. براساس آنالیز نیمه کمی (SEM-EDS) نیز میزان اکسیژن و کلر افزایش یافته است و پدیده اتفاق افتاده در آن‌ها اکسیداسیون است. ترکیب فازی خوردگی در این نمونه‌ها براساس آنالیز XRD کوپریت و مالاکیت است. در لایه خوردگی شیء نقره نیز میزان کلر و اکسیژن افزایش یافته است که منجر به ایجاد اکسید نقره یا همان آکانتیت شده است.

سپاسگزاری

در پایان نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از خانم‌ها: فاطمه خدابخشی و بنفشه حیدرپور برای بهبود و رونق بخشیدن به متن مقاله قدردانی نمایند.

درصد مشارکت نویسندگان

نویسنده اول به عنوان پژوهشگر، نویسنده دوم به عنوان راهنما و علی اصغر نوروزی به عنوان مشاور در نگارش مقاله نقش داشته‌اند.

تضاد منافع

نویسندگان ضمن رعایت اخلاق نشر در ارجاع دهی، نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

کتابنامه

- بخشنده فرد، حمیدرضا، (۱۳۸۹). بررسی آثار تاریخی فلزی در مرمت، اصفهان. دانشگاه هنر اصفهان.
- حسینی پناه صومعه‌سرای، سولماز؛ عودباشی، امید؛ و مرتضوی، محمد، (۱۳۹۵). «مطالعه خوردگی در مفرغ‌های باستانی گورستان تول تالش گیلان». فصلنامه علوم و مهندسی خوردگی، ۱۱: ۶۹-۸۳.
- خلعتبری، محمدرضا، (۱۳۸۳). کاوش باستانی در محوطه‌های تالش. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور
- صفایی قلاتی، مهشید؛ بخشنده فرد، حمیدرضا؛ و حصاری، مرتضی، (۱۳۹۷). «شناسایی ساختاری و نحوه ساخت سنجا‌های میله‌ای آلیاژ مسی منطقه چپاسبزرگی استان لرستان». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۱۷: ۱۰۴-۸۵. DOI: 10.22084/nbsh.2018.11815
- طلائی، حسن، (۱۳۷۴). باستان‌شناسی و هنر ایران در هزاره اول پیش از میلاد. تهران: سمت.
- طلائی، حسن، (۱۳۸۵). عصر مفرغ ایران. تهران: سمت

- طلائی، حسن، (۱۳۸۱). «سنت‌ها و شیوه‌های تدفین در عصر آهن ایران (حدود ۸۰۰-۱۴۵۰ پ.م.)». مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران، ۱۶۲ و ۱۶۳: ۱۹۲-۱۷۳.
- عودباشی، امید، (۱۳۹۲). «تحلیل ریخت‌شناسی خوردگی و شرایط حفاظتی در مجموعه‌های مفرغی به دست آمده از حفاری با تمرکز بر سیستم فلز-محیط-خوردگی». رساله دکتری مرمت اشیاء دانشگاه هنر اصفهان (منتشر نشده).
- عودباشی، امید؛ امین‌امامی، سیدمحمد؛ و دوامی، پرویز، (۱۳۹۰). «ریخت‌شناسی خوردگی در مفرغ‌های تاریخی: تحلیل فرایند مس‌زدایی در اشیاء مفرغی هفت تپه خوزستان». نشریه مرمت و معماری ایران، ۸: ۹۳-۸۳. DOR: 20.1001.1.23453850.1390.1.1.7.5
- عودباشی، امید؛ و حسن‌پور، عطا، (۱۳۹۵). «مطالعات آزمایشگاهی بررسی آلیاژ و ریزساختار اشیاء مفرغی محوطه عصر آهن باباجیلان لرستان». مطالعات باستان‌شناسی، ۱۳: ۱۴۹-۱۳۳. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2016.59499>
- مرتضوی، محمد، (۱۳۹۳). «رديابی فناوری ساخت در ريزساختارهای آثار فلزی تاریخی». برگزیده مقالات اولین و دومین همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.
- مقری، منصوره، (۱۳۹۱). «ارائه طرح حفاظتی و مرمتی ضریح نقره‌ای (ضریح چهارم) حرم مطهر حضرت رضا (ع) واقع در موزه آستان قدس رضوی». پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیاء دانشگاه هنر اصفهان (منتشر نشده).
- نوروزی، علی‌اصغر، (۱۳۸۵). «گزارش بررسی باستان‌شناسی محدوده آبگیر سد کارون ۴». تهران: مرکز اسناد پژوهشکده باستان‌شناسی (منتشر نشده).
- نوروزی، علی‌اصغر، (۱۳۸۷). «گزارش فصل اول کاوش باستان‌شناسی محوطه باستانی زاغه». تهران: مرکز اسناد پژوهشکده باستان‌شناسی (منتشر نشده).
- نوروزی، علی‌اصغر، (۱۳۸۸). «گزارش فصل دوم کاوش باستان‌شناسی محوطه باستانی زاغه». تهران: مرکز اسناد پژوهشکده باستان‌شناسی (منتشر نشده).
- نعیمی‌طرئی، پرستو؛ و وطن‌دوست‌حقیقی، رسول، (۱۳۹۴). «اهمیت تحلیل لایه‌های خوردگی در مطالعه فنی آثار فلزی تاریخی». مطالعات باستان‌سنجی، ۱: ۳۰-۱۷. DOI: 10.29252/jra.1.1.17
- نعیمی‌طرئی، پرستو؛ و خدیر، شیبا، (۱۳۹۵). «شیمی خوردگی و حفاظت آثار تاریخی مفرغی». نخستین سمینار شیمی کاربردی ایران، دانشکده شیمی دانشگاه تبریز <https://sid.ir/paper/862780/fa>
- یداللهی، عاطفه؛ بخشنده‌فرد، حمیدرضا؛ و ایروانی‌قدیم، فرشید، (۱۳۹۵). «مطالعه آلیاژ و روش ساخت النگوهای اقوام مهاجر اوراسیا، نمونه موردی النگوهای به دست آمده از کورگان هشت جعفرآباد». مطالعات باستان‌شناسی، ۱۳: ۲۵۴-۱۹۱. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2016.59502>
- Akinfiyev, N. N. & Zotov, AV., (2016). "Solubility of chlorargyrite in water: New experimental data and a predictive model valid for a wide range of temperatures (273-873K) and water densities (0.01-1g.cm-3)". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 178: 178-19. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2016.01.027>
- Bakhshandefard, H. R., (2010). *Investigating the metalworks historical in restoration*. Publications: Isfahan Art University, First edition (in Persian).
- Constantinides, I. & Adriaens, A., (2002). "Surface characterization of artificial

corrosion layers on copper alloy reference materials”. *Applied Surface Science*, 189: 90-101. [https://doi.org/10.1016/S0169-4332\(02\)00005-3](https://doi.org/10.1016/S0169-4332(02)00005-3)

- Costello, S., (2005). “An investigation of early Chinese mirrors at the Harvard University Art”. *Harvard University Art, ANAGPIC*: 1-15.

- Hosseini Panah, S., Oudbashi, O., Mortazavi, M., (2015). “Corrosion study in ancient bronzes of Tol Talesh cemetery, Gilan”. *Corrosion Science and Engineering Quarterly*, 11: 83-69 (In Persian).

- Khalatbari, M., (2013). *Ancient exploration in Talash sites*. Cultural Heritage Organization of the country (in Persian).

- Moghri, M., (2012). “Master's thesis with the title of presentation of the conservation and restoration plan of the silver shrine (fourth shrine) of the Holy Shrine of Hazrat Reza located in the Qods Razavi Museum”. Isfahan university of art (In Persian).

- Mortazavi, M., (2013). “Tracing the manufacturing technology in the microstructures of historical metal works. Selected articles of the first and second national conference on the use of scientific analysis in archeology”. Islamic Art University of Tabriz (In Persian).

- Mortazavi, M., Salehi Kakhki, A., Golozar, M. & Talai, H., (2011). “Preliminary Metallurgical investigation of Copper-Based artifacts at Tepe Sagzabade in Ghazvin plain, Iran (1500-800BC)”. *Iranian Journal of Archaeological Studies*, 1 (2): 49-59

- Naimi Tarai, P. & Khadir, Sh., (2015). “Corrosion chemistry and preservation of historical bronze monuments”. *The first applied chemistry seminar of Iran, Faculty of Chemistry, Tabriz University*. <https://sid.ir/paper/862780/fa> (In Persian).

- Naimi Tarai, P., Vatandoost, R., (2014). “The importance of analyzing corrosion layers in the technical study of historical metal artifacts”. *Archeological studies*. 1: 17-30. DOI: [10.29252/jra.1.1.17](https://doi.org/10.29252/jra.1.1.17) (In Persian).

- Noruzi, A. A., (2017). “Report of the first chapter of the archaeological excavation of the ancient site of Zagheh”. Tehran: Archives of the Research Institute of Archaeology (Unpublished), (in Persian).

- Noruzi, A. A., (2006). “Archeological investigation report of Karun Dam catchment area 4”. Archives of the General Directorate of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism of Shahrekord (Unpublished), (in Persian).

- Noruzi, A. A., (2018). “Report of the second chapter of the archaeological excavation of the ancient site of the slum”. Tehran: Archives of the Research Institute of Archaeology (Unpublished), (in Persian)

- Odbashi, O., Hasanpour, A., (2015). “Laboratory studies on alloy and microstructure of bronze objects in Babajilan Iron Age area of Lorestan”. *Archaeological researches of Iran*. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2016.59499> (In Persian).

- Oudbashi, O., Mortazavi, M. (2011). “Some Aspects of Heat Treatment in Ancient and Historic Copper Alloy Artefacts”. *International Conference on Materials Heat Treatment*.

- Oudbashi, O., Amin Emami, S. M. & Davami, P., (2012). "Bronze in Archaeology: A Review of the Archaeometallurgy of Bronze in Ancient Iran". In: *Copper alloys – early applications and current performance-enhancing processes*. ed. L. Collini: 153-178 Rijeka: In Tech 2012. doi.org/10.5772/32687.
- Oudbashi, O. & Mortazavi, M., (2011). "Some Aspects of Heat Treatment in Ancient and Historic Copper Alloy Artefacts". *International Conference on Materials Heat Treatment*.
- Oudbashi, O., (2013). "Corrosion morphology analysis and protective conditions in bronze collections obtained from drilling focusing on the metal-environment-corrosion system". PhD Thesis, Isfahan University of Arts (In Persian).
- Oudbashi, O., Aligol, D., Mishmastnehi, M. & Barnoos, V., (2018). "The Elamitemetalworkers: multianalytical study on copper objects". *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11: 2059–2072. DOI: [10.1007/s12520-018-0636-4](https://doi.org/10.1007/s12520-018-0636-4)
- Oudbashi, O., Aligol, D., Mishmastnehi, M. & Barnoos, V., (2019). "The Elamitemetalworkers: multianalytical study on copper objects". *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11: 2059–2072. DOI: [10.1007/s12520-018-0636-4](https://doi.org/10.1007/s12520-018-0636-4)
- Oudbashi, O., Amin Emami, S. M., Malekzadeh, M., Hassanpour, A. & Davami, P., (2013). "Archaeometallurgical studies vessels from Sangtarashan, Lurestan, w- Iran". *Iranica Antiqua*, XLVIII: 147-174. DOI:[10.2143/IA.48.0.2184698](https://doi.org/10.2143/IA.48.0.2184698)
- Oudbashi, O., Emami, M. & Davami, P., (2017). "Corrosion morphology in historical bronzes: analysis of copper removal process in Haft Tepe bronze objects of Khuzestan". *Journal of restoration and architecture of Iran*, 1 (1): 83-95. DOR: [20.1001.1.23453850.1390.1.1.7.5](https://doi.org/20.1001.1.23453850.1390.1.1.7.5) (In Persian).
- Oudbashi, O., Emami, S M., & Davami, P., (2012). "Bronze in Archaeology: A Review of the Archaeometallurgy of Bronze in Ancient Iran. In: Copper alloys – early applications and current performance-enhancing processes". 1390.1.1.7.5.2345385.1.1.1.20 (In Persian).
- Oudbashi, O., Emami, S. M., Malekzadeh, M., Hassanpour, A. & Davami, P., (2013). "Archaeometallurgical studies vessels from Sangtarashan, Lurestan, w- Iran", *Iranica Antiqua*, XLVIII: 147-174
- Robbiola, L., Blengion, J., Fiaud, C., (1998). "Morphology and Mechanisms fFormation of Natural Patinas on Archaeological Cu-Sn Alloys". *Corrosion Science*, 40 (12): 2083-2111. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(98\)00096-1](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(98)00096-1)
- Robbiola, L., Blengion, J. & Fiaud, C., (1998). "Morphology and Mechanisms fFormation of Natural Patinas on Archaeological Cu-Sn Alloys". *Corrosion Science*, 40(12): 2083-2111. [doi.org/10.1016/soo10-938x\(98\)00096-1](https://doi.org/10.1016/soo10-938x(98)00096-1)
- Safai Qalati, M., Bakhshandefard, HR. & Hissari, M., (2017). "Structural identification and manufacturing method of copper alloy bar pins in Chiasbezgharbi area of Lorestan province". *Archaeological researches of Iran*. 8 (17): 85-104. DOI: [10.22084/nbsh.2018.11815](https://doi.org/10.22084/nbsh.2018.11815) (In Persian).

- Scott, D., (1991). *Metallography and microstructure of ancient and historic metals*. The Getty Conservation Institute, The J. Paul Getty Museum in Association with Archetype books (In Persian).
- Talae, H., (1995). *Archeology and art of Iran in the first millennium BC*. Organization of study and editing of humanities books of universities (in Persian).
- Talae, H., (2002). "Burial traditions and practices in the Iron Age of Iran (about 800-1450 BC)". *Journal of Faculty of Literature and Human Sciences, University of Tehran*, 162 & 163: 192-173 (in Persian)
- Talae, H., (2006). *Empty era Iran*. Study and writing of humanities books (in Persian).
- Valerio, P., Silva, R. J. C., Araújo, M.F., Soares, A.M.M., Barros, L., (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. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2012.02.020>
- Wadsak, M., Constantinides, I., Vittiglio, G., Adriaens, A., Janssens, K. & Schreiner, M., (2000). "Multianalytical Study of Patina Formed on Archaeological Metal Objects from Bliesbruck-Reinheim". *Microchimica Acta*, 133: 159-164. <https://link.springer.com/article/10.1007/s006040070086>
- Yadollahi, A., Bakhshandefard, H. R. & Iravanighadim, F., (2015). "A study of the alloy and method of making bangles of Eurasian migrant tribes, a case study of bangles obtained from Jafarabad Kurgan Hasht". *Archaeological studies*. 8 (1): 191-204. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2016.59502> (In Persian).