

## نقش کانی‌شناسی و زمین‌شناسی در متالورژی کهن ماسوله، شمال ایران

مرجان نادری نسب<sup>۱\*</sup> (دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران)  
marjan.naderinasab64@gmail.com

ناهید شبانیان (دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران)

علیرضا داودیان دهکردی (دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران)

سیدمحمدامین امامی (گروه مرمت آثار تاریخی و فرهنگی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان)

صارم امینی (شرکت پژوهشی زمین ریزکاو)

**چکیده:** این پژوهش از نوع مقالات بین‌رشته‌ای است که در حوزه‌های زمین‌شناسی، پترولوژی، باستان‌شناسی و متالورژی کهن انجام شده است. هدف این تحقیق، خروج علم از چارچوب‌های تک‌بعدی و کلاسیک و ارائه تحلیلی جامع برای کمک به محققین در تحلیل بهتر مواد زمین‌شناسی است، لذا تحلیل‌ها و دیدگاه‌ها بر اساس رویکرد پترولوژی انجام گرفته است. منطقه ماسوله از نظر پتانسیل‌های زمین‌شناسی به ویژه در اثر فعالیت‌های تکتونیکی فعال، هم از لحاظ زیبایی‌شناسی و هم از منظر پتانسیل‌های اقتصادی بسیار غنی است. نمونه‌های جمع‌آوری شده از محوطه‌های زمین‌شناسی و باستان‌شناسی ماسوله شامل چهار دسته از مواد زمین‌شناسی می‌شوند: محصولات گداخت کانسنگ آهن (سرباره)، دیواره سنگی کوره، اندود گلی کوره و سنگ‌های حرارت‌دیده در سطح محوطه باستانی که تشابه زیادی با نمونه‌های زمین‌شناسی تشابه دارند. کانه‌زایی آهن در ماسوله به صورت سولفیدی پس از اکسیدشدگی در نتیجه نفوذ سیالات هیدروترمال در رگچه‌ها و شکستگی‌ها، در سنگ‌های میزبان کلسیتی و دولومیتی به صورت جانشینی ایجاد شده است. فرآیند کانه‌زایی در دو نوع هیپوژن (درون‌زاد) و سوپرژن (برون‌زاد) در ارتفاعات ماسوله رخ داده و در سطح زمین به شکل گوسن یا کلاهک‌های آهنی هماتی و گوتیتی قابل مشاهده اند. این رخنمون‌ها نقش اساسی در فرآیندهای متالورژیکی باستان ایفا کرده‌اند این پژوهش شامل بررسی‌های دقیق از مقیاس‌های مختلف: مگاسکوپی، مزوسکوپی، ماکروسکوپی تا تحلیل‌های میکروسکوپی و پتروگرافی را شامل می‌شود. مطالعات بر روی ۶ نمونه جمع‌آوری شده از ماسوله که از دیدگاه‌های ماکروسکوپی (رنگ، تخلخل، اندازه) و بطور کل از نظر پارامترهای فیزیکی و از دیدگاه میکروسکوپی در جهت تغییرات فازی (فازهای فلزی و سیلیسی)، ویزیکول‌ها، قطعات لیتیک، قطعات خرد شده و افزوده، آمورف‌شدگی و شوک حرارتی انجام گرفته است.

**کلیدواژه‌ها:** کانه‌زایی آهن ماسوله، دگرگونی حرارتی، تغییرات فازی، پترولوژی، متالورژی کهن ماسوله.

## The Role of Mineralogy and Geology in Ancient Metallurgy of Masuleh, Northern Iran

Marjan, Naderinasab\*1 (Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Iran)

[marjan.naderinasab64@gmail.com](mailto:marjan.naderinasab64@gmail.com)

Nahid, Shabanian (Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Iran)

Alireza Davodian Dehkordi (Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Iran)

Seyed Mohammad Amin Emami (Historical and Cultural Heritage Conservation Group, Faculty of Conservation and Restoration, Isfahan University of Art)

Sarem Amini (Zamin Rizkavan Research Co)

### Abstract

This study is an interdisciplinary, situated at the intersection of geology, mineralogy, archaeology, and ancient metallurgy. The aim of this research is to move beyond traditional, unidimensional frameworks of science and

offer a comprehensive analytical approach to assist researchers in the improved analysis of geological materials. Consequently, the analyses and perspectives have been framed from a petrological standpoint. The Masuleh region, in terms of geological potential—particularly influenced by active tectonic activities—presents both aesthetic and economic richness.

The geological and archaeological samples collected from the Masuleh site can be categorized into four types of geological materials: molten iron ore products (slag), furnace stone walls, clay furnace coatings, and thermally altered stones from the archaeological site, all of which exhibit considerable similarities to geological samples from the region. Iron mineralization in Masuleh occurs in a sulfide form after oxidation due to the infiltration of hydrothermal fluids into veins and fractures, with the mineralization taking place as a replacement in the host rocks of calcite and dolomite.

The mineralization process has occurred in two forms: hypogene (endogenous) and supergene (exogenous) in the Masuleh highlands, and at the surface, it is visible as iron caps or hematite and goethite nodules. These outcrops have played a fundamental role in ancient metallurgical processes.

This research includes detailed investigations at multiple scales: megascopic, mesoscopic, macroscopic, and microscopic, including petrographic analyses. The study focused on six samples collected from Masuleh, considering both macroscopic aspects (color, porosity, size) and overall physical parameters. Microscopic analyses were conducted to examine phase changes (metallic and siliceous phases), vesicles, lithic fragments, shattered and added particles, amorphization, and thermal shock effects.

**Keywords:** Masouleh Iron Mineralization, Thermal Metamorphism, Phase Changes, Petrology, Ancient Metallurgy of Masouleh.

## ۱- مقدمه

منطقه ماسوله در شمال غربی ایران، استان گیلان و در ارتفاع حدود ۱۰۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. این منطقه که در نقشه ۱:۲۵۰۰۰ (بهار فیروزی و همکاران، ۱۳۸۹) ماسوله به صورت دره‌ای میان ارتفاعاتی با قله‌هایی تا حدود ۴۰۰۰ متر شناخته می‌شود، ویژگی‌های ژئومورفولوژیک خاص و پوشش گیاهی متراکم دارد و در نزدیکی دریای خزر و دامنه‌های غربی رشته‌کوه البرز واقع شده است که به دلیل اقلیم معتدل و مرطوب، بارندگی بالایی دارد. از نظر زمین‌شناسی، ماسوله در پهنه زمین‌ساختی البرز میانی و بین سه استان گیلان، اردبیل و زنجان قرار دارد (شکل ۱-۱) و سنگ‌های منطقه شامل توالی‌های پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک هستند که تحت تأثیر فرآیندهای کوه‌زایی، ماگماتیسم و فعالیت‌های آتشفشانی قرار گرفته‌اند. این سنگ‌ها شامل کربنات‌ها، ولکانیک‌ها و سنگ‌های رسوبی مانند شیل و ماسه‌سنگ هستند. کانسارهای معدنی متنوعی مانند آهن، مس و باریت در این منطقه شناسایی شده‌اند (Pettijohn, 1984; Guilbert, 2015). کانه‌زایی آهن ماسوله سولفیدی، به‌ویژه در مراحل ثانویه، پس از کانه‌زایی اکسیدی و عمدتاً به صورت جانیشینی در رگچه‌های سیلیسی، شکستگی‌ها، و حفرات سنگ میزبان رخ می‌دهد. این کانه‌زایی به دو صورت هیپوژن (درون‌زاد) و سوپرژن (برون‌زاد) مشاهده شد (Bamari et al., 2025; Emami, 2021). اندیس‌های معدنی مهم ماسوله در دهرسو، خاله و رگه‌های کانه‌زایی منگنز و باریت واقع شده‌اند. آنها عمدتاً در امتداد گسل‌ها و واحدهای آتشفشانی قرار دارند. فعالیت‌های معدنی و فلزکاری در ماسوله، به‌ویژه در دوران ژوراسیک و پرکامبرین، به دلیل فرآیندهای زمین‌شناسی پیچیده و منابع معدنی منطقه بوده که در کنار شواهد تاریخی، اهمیت ماسوله را به عنوان یک مرکز فلزکاری قدیمی برجسته می‌کند (Davies et al., 1972; Firoozi et al., 2010). این منطقه در طول تاریخ به عنوان مرکز فلزگری آهن شناخته شده و شواهد باستان‌شناسی از جمله کوره‌های ذوب آهن و سرباره‌های آهن، قدمت فعالیت‌های فلزکاری را تایید می‌کند (مقری، ۱۳۷۴; Robertson, 1840; Goblith, 1770). بنابراین دیدگاه زمین‌باستان‌شناسی یکی از حوزه‌های میان‌رشته‌ای نوظهور محسوب می‌شود که با بهره‌گیری از روش‌ها و مفاهیم علوم زمین، به تحلیل و تبیین مسائل مرتبط با باستان‌شناسی می‌پردازد (مرتضوی مهریزی و فرجامی، ۱۴۰۲) و نیز بر اهمیت به کارگیری دانش‌هایی همچون زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، شیمی مواد، معدن‌شناسی، باستان‌شناسی و حتی فیزیک در مطالعات



## ۲- مواد و روش‌ها

۲-۲ مطالعات ماکروسکوپی: در دو بخش سطح بالا و زیرین از نظر اندازه، بافت، شکل و رنگ و مقطع عرضی انجام شد.

۱۰۸

۳- بحث: نمونه 20-KL-TCW: از نظر ماکروسکوپی ابعاد:  $4 \times 6 \times 3/8 \times 3$  سانتی‌متر. این نمونه از دیواره کوره است و دارای سطح مقعر، بافت درشت‌دانه و ویزیکول‌های دایره‌ای و بیضی‌شکل است. شوک حرارتی غیر یکنواخت و آمورف‌شدگی بخشی از نمونه دیده می‌شود. ادخال‌ها لیتیک هستند و اثرات هوازگی متوسط در آن مشاهده می‌شود. تحلیل میکروسکوپی: شواهدی از هم‌رشدی فازهای فلزی و سیلیسی به‌صورت بافتی مشابه سیمپلکتیت مشاهده می‌شود (Hauptmann, 2020). ویزیکول‌ها عمدتاً دایره‌ای و گاهی شیاری هستند. در برخی قسمت‌ها، دانه‌های کوارتز با لبه‌های گرد شده و گاهی خرد شده مشاهده می‌شوند (شکل ۱-۲ A,B). نتیجه‌گیری: این نمونه نشان‌دهنده آثار شوک حرارتی و فرآیندهای ذوب و تغییرات فازی ناشی از حرارت شدید است.

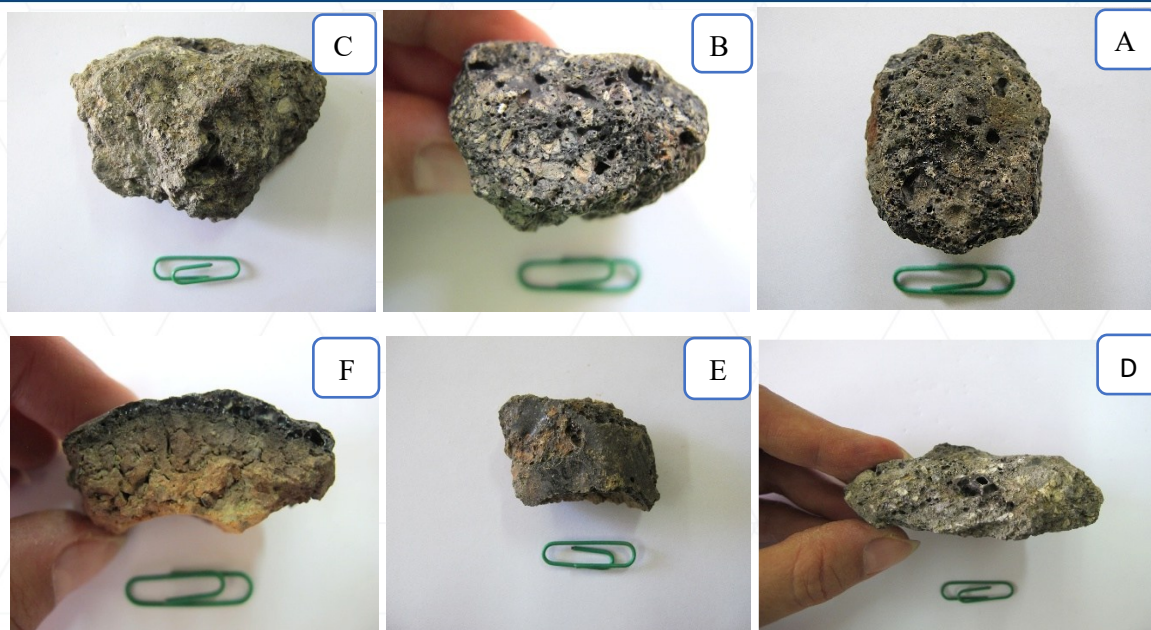
نمونه 4-AC-TCW: از نظر ماکروسکوپی ابعاد:  $7/4 \times 5/2 \times 3$  سانتی‌متر. این نمونه از دیواره کوره است و بافت آن شامل دانه‌های متوسط در ماتریکسی ریزدانه است. ویزیکول‌های دایره‌ای، نامنظم و شیاری شکل در آن دیده می‌شوند. تحلیل میکروسکوپی: نفوذ فاز فلزی درون ماتریکس و قطعات سنگی خردشده قابل مشاهده است. ویزیکول‌ها دایره‌ای شکل و نواری-بیضی هستند و تفاوت‌های موجود در ویزیکول‌ها به تفکیک سه محیط مختلف کمک می‌کند. همچنین، در تصاویر بازتابی، حضور آهن فلزی شناسایی شد (شکل ۱-۲ C,D). نتیجه‌گیری: این نمونه نشان‌دهنده اثرات شوک حرارتی و نفوذ فلزات در ماتریکس است که نشان از فرآیندهای ذوب و تأثیرات حرارتی بر ویژگی‌های سنگ‌ها دارد.

نمونه 58-AC-TCT: از نظر ماکروسکوپی ابعاد:  $2/1 \times 3/1 \times 4/3$  سانتی‌متر. این نمونه متعلق به لوله دمنده است و دارای سطح مقعر است. بافت آن درشت بوده و ویزیکول‌های نامنظم و شیاری را نشان می‌دهد. آثار هوازگی و آمورف‌شدگی به صورت جزئی و یکنواخت در آن دیده می‌شود. تحلیل میکروسکوپی: ویزیکول‌ها عمدتاً دایره‌ای و شیاری هستند و فازهای فلزی اکسید و هیدروکسید آهن در این نمونه شناسایی شده‌اند. همچنین، برخی از سنگ‌های لیتیک به‌طور کامل دگرگون شده‌اند (شکل ۱-۲ E,F). نتیجه‌گیری: فرآیندهای هوازگی و تغییرات حرارتی در این نمونه نشان‌دهنده تأثیرات ناشی از دما و فشار در کوره‌ها و لوله‌های دمنده است.

نمونه 1-SK-GS: این نمونه سنگی رسوبی یا آهکی است که اثرات سیلیسی شدن در آن مشهود است. کوارتزها به صورت پلی‌کریستالین با خاموشی موجی و آثار دگرگونی در سنگ‌های رسی مشاهده می‌شوند. تحلیل میکروسکوپی: وجود قطعات کربناتی که با اکسید آهن جانشین شده‌اند و دانه‌های ریز کوارتز نشان‌دهنده تغییرات سیلیسی شدن و دگرگونی است.

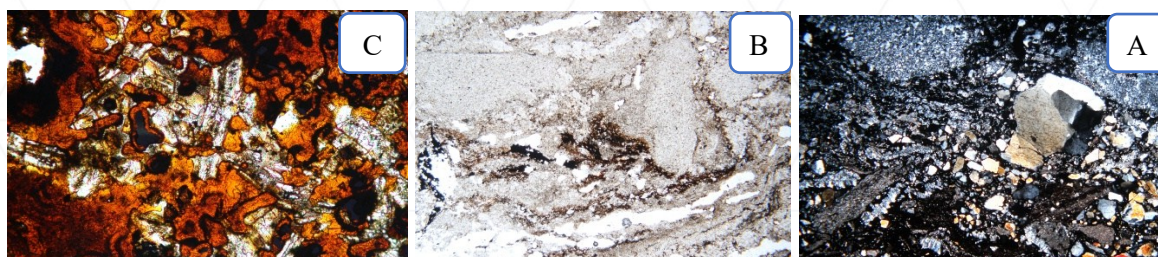
نتیجه‌گیری: این نمونه به‌خاطر فرآیندهای سیلیسی شدن و دگرگونی ناشی از فشار و حرارت در محیط‌های زمین‌شناسی تغییرات فازی و ساختاری را نشان می‌دهد (شکل ۲-۲ A).





شکل شماره ۱-۲: تصاویر A و B از نمونه KL-TCW-20، تصاویر C و D از نمونه AC-TCW-4، تصاویر E و F از نمونه AC-TCT-58. نمونه VK-GS-1: این نمونه سنگی ولکانیکی و آتشفشانی است که ترکیب آن به‌طور عمده متاولکانیک و شیشه‌ای شده است. تحلیل میکروسکوپی: سیلیسی شدن بخش‌هایی از سنگ، به‌ویژه کوارتزهای درشت و کشیده، و مشاهده شیشه‌های آتشفشانی مشابه Tachylite در این نمونه، شواهدی از تغییرات فازی در اثر دما و فشار بالا است. نتیجه‌گیری: این نمونه بیانگر فرآیندهای شیشه‌ای شدن و تغییرات متاولکانیکی در اثر فعالیت‌های آتشفشانی است (شکل ۲-۲ B).

نمونه AC-GS-40: این نمونه ترکیبی از شیشه‌های سیلیکاته و فلزات آهنی است. تغییرات در بافت‌های شیشه‌ای و فلزی ناشی از فرآیندهای احیا و اکسیداسیون است. دارای بافت Amibic texture است. تحلیل میکروسکوپی: فشارهای گازی داخلی، ترکیب کانی‌شناسی و شرایط حرارتی باعث شکل‌گیری بافت‌های متخلخل، شیشه‌ای و آمورف شده‌اند. ویزیکول‌ها و مسیرهای جریان مذاب نشان‌دهنده نوسانات فشار و دما در داخل کوره‌ها هستند (Craddock, 2000). نتیجه‌گیری: این نمونه شواهدی از فرآیندهای احیا و اکسیداسیون و تأثیرات دما و فشار بر بافت‌های شیشه‌ای و فلزی را نشان می‌دهد (شکل ۲-۲ C).



شکل شماره ۲-۲: تصویر میکروسکوپی A با بزرگنمایی 4X از نمونه SK-GS-1، تصویر میکروسکوپی B با بزرگنمایی 10X از نمونه VK-GS-1، تصویر میکروسکوپی C با بزرگنمایی 20X از نمونه AC-GS-40.

۴- نتیجه‌گیری: این پژوهش به بررسی فرآیندهای کانه‌زایی و ذوب کانسنگ‌های آهن در کوره‌های باستانی می‌پردازد. مطالعات پترولوژیکی و کانی‌شناسی اطلاعات جدیدی در مورد فرآیندهای حرارتی، تغییرات فازی و دگرگونی‌های ناشی از سیالات

هیدروترمال در کوره‌های ذوب آهن باستانی ارائه می‌دهد. فرآیندهای ذوب شامل ذوب کامل کانی‌ها و کریستالیزاسیون جزئی در ماتریکس شیشه‌ای است. در کوره‌ها، نوسانات فشار گازی باعث ایجاد بافت‌های متخلخل و ضعف در دیواره‌ها و لوله‌های دمنده می‌شود. بررسی‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی نشان می‌دهند که قطعات سنگی خردشده و سفال‌های قدیمی به ماتریکس خمیره اضافه شده و ویزیکول‌ها و شیارهای نامنظم ناشی از سوختن مواد آلی ایجاد شده است. حضور فاز آهن فلزی و تغییرات فازی در نمونه‌ها نشان‌دهنده فرآیندهای حرارتی و آلتراتیو است. این نتایج به درک بهتر فناوری‌های متالورژیکی باستان و ارتباط آن‌ها با محیط ژئولوژیکی منطقه کمک می‌کند. در این راستا، زمینه پژوهشی مقاله، بر شناخت مواد و فرآیندها، از منشأ زمین‌شناسی و رخدادهای کانه‌زایی گرفته تا مرحله گداخت کانسنگ و فرآورده‌های حاصل از آن متمرکز است.

**۵- تقدیر و تشکر:** در اینجا لازم می‌دانیم از همکاری دکتر فریدون بیگلری و دکتر مجتبی چرمچیان برای راهنمایی‌ها و حمایت‌های علمی‌شان و دکتر مصطفی پورعلی، مهندس رسول فروغی، عاطفه شانی ماسوله، سعید نیرومند، هادی کوهی برای همکاری و کمک‌هایشان در پیشبرد این کار علمی، سپاسگزاریم.

#### ۶- منابع

- امامی، ا. (۱۴۰۰). علم مواد در باستان‌شناسی و باستان‌سنجی؛ با تکیه بر مواد معدنی و فلزی. اصفهان: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان، ۵۷۴ صفحه.
- بهارفیروزی، خ. و هفت‌لنگ، ر. و شافعی، ع. (۱۳۹۲). گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ ماسوله.
- چرمچیان، م. (۱۴۰۱). گزارش مقدماتی سومین فصل از پژوهش‌های باستان‌شناختی در محوطه‌ی کهنه ماسوله - گیلان، ۳۴۱ صفحه.
- درویش‌زاده، ع. (۱۳۹۴). زمین‌شناسی ایران (چاپ ششم). تهران: انتشارات امیرکبیر، ۴۳۴ صفحه.
- مقری، ع. (۱۳۷۴). گزارش بررسی و گمانه‌زنی در کهنه ماسوله، ۲۲ صفحه.
- مرتضوی مهریزی & فرجامی. (۲۰۲۴). مطالعه پتروگرافی سفالینه‌های باستانی محوطه کهنک سربیشه (خراسان جنوبی) به منظور بررسی ماهیت مواد افزودنی به ماتریکس رسی و تعیین منشأ آن‌ها: کاربردی در راستای زمین‌باستان‌شناسی. دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، 1-23، 12(24)، بهارفیروزی، خ. و هفت‌لنگ، ر.، ۱۳۸۹. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ ماسوله، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- Bamari, A., Hosseini, R., & Kalantari, M. (2025). Supergene and hypogene mineralization in iron-bearing formations of Masouleh. *Iranian Journal of Economic Geology*, 18(2), 85–102.
- Craddock, P. T. (2000). From hearth to furnace: Evidences for the earliest metal smelting technologies in the eastern Mediterranean. *Paléorient*, 151-165.
- Davies, C.; Jones, C.; Hamzpour, B; Clark, G. C., (1972). 1:100,000 Geological Map of Masuleh. Tehran: Geological Survey of Iran.
- Gobblith, G. S. (2007). *Travels Through Northern Persia 1770–74*. Washington, DC: Mage.
- Guilbert, J. M., & Park Jr, C. F. (2007). *The geology of ore deposits*. Waveland Press.
- Hauptmann, A. (2020). *Archaeometallurgy-Materials Science Aspects*. Cham: Springer International Publishing.
- Pettijohn, F. J. (1984). *Sedimentary Rocks* (3rd ed.). New York: Harper & Row.
- Robinson, J. (1987). The impact of the orient on European thought, 1770–1850. *Culture, Theory and Critique*, 31(1), 102-133.