Lark Journal of Philosophy, Linguistics, and Social Sciences

E-ISSN 2663-5836
P-ISSN 1999-5601
Original Research

Journal homepage: https://lark.uowasit.edu.iq

Vol. 18 No3. April 2026, pp.302-310
https://doi.org/10.31185/lark.5645

Metals in Ancient Elam A Study of Silver and Copper Extraction Techniques as a Model

Hussein Rih Dahla[1], Prof. Dr. Majid Mushir Ghaib[2]

University of Wasit, College of Education for Human Sciences

halsryawy391@gmail.com

Received May 3, 2026 | Revised Jun. 1, 2026 | Accepted Jun.3, 2026 | OnlineJul.1, 2026

ABSTRACT

The study of mining in Elam was not merely an investigation into the history of an industry; rather, it constituted an inquiry into the ingenuity of the Elamite people, who were able to transform the natural resources concealed within the mountains into fundamental pillars upon which one of the greatest empires of the ancient world was built. This enabled Elam to become a major link in the trade of metals between the East and the West.

Elam's prominence did not stem solely from its military strength or administrative organization. Instead, it was fundamentally grounded in its exceptional mineral wealth, which turned the region into an open laboratory for the development of some of the most sophisticated mining and smelting technologies known to humanity during the fourth and third millennia BCE.

Our research has led to a number of conclusions, the most significant of which is that the techniques employed in copper extraction and smelting reflect a long process of accumulated experimental knowledge. This body of expertise should not be understood merely as an independent technological development; rather, it emerged as a direct response to increasing economic pressures and growing demands for mineral resources.

Furthermore, silver extraction technologies—particularly the complex processes of metallurgical separation and refining—indicate a transition of knowledge from the level of ordinary craftsmanship to a higher degree of technical specialization. This development reflects the emergence of advanced metallurgical expertise and a more sophisticated organization of production within Elamite society..

Keywords: Elam-Plateau-Silver-Gold-Lead-UpdraftFurnaces-ArsenicalCopper Archaeometallurgy-Haft Tepe

المعادن في بلاد عيلام القديمة دراسة في معدني(الفضة والنحاس انموذجا)

حسين ريه دهله[1]، أ. د. ماجد مشير غائب[2]

جامعة واسط كلية التربية للعلوم الانسانية

halsryawy391@gmail.com

الملخص

تعد بلاد عيلام القديمة، بموقعها الاستراتيجي في قلب الهضبة الإيرانية وسهول خوزستان، واحدة من أهم الحواضر التاريخية التي أدت دورًا محوريًا في صياغة التاريخ التقني والاقتصادي للشرق الأدنى القديم. ولم يكن تفوق عيلام نابعًا فقط من قوتها العسكرية أو تنظيمها الإداري، بل استند ذلك بشكل أساسي إلى الثروة المعدنية الرائدة، التي جعلتها مختبرًا مفتوحًا لتطوير أعقد تقنيات التعدين والصهر التي عرفتها البشرية في الالفية الرابعة والثالثة قبل الميلاد.

ومن هنا جاءت هذه الدراسة لتسلط الضوء على عبقرية "التعدين العيلامي"، مع التركيز بشكل خاص على معدني (الفضة والنحاس) نموذجا للتطور التقني، وبالاستناد إلى أحدث المكتشفات الأثرية التي تم التوصل اليها ، وربما يتعدى ذلك إلى تحليل الفهم الكيميائي العميق الذي امتلكه العيلاميون؛ وكيف استطاعوا تطويع العمليات الحرارية المعقدة مثل "التكليس" وعملية "السمنتة بالملح" لعزل المعادن النفيسة بدقة تضاهي المعايير العلمية الحديثة.

وقد تبع البحث المنهج التاريخي في تتبع تطور استخراج المعادن في بلاد عيلام مدعوما بالمنهج التحليلي لتحليل الادلة المادية المرتبطة بالتعدين واستخراج معدني الفضة والنحاس.

وتجنبا للإطالة قسم البحث على محورين مسبوقين بمقدمة وختمناه بمجموعة من الاستنتاجات المهمة وجاء في المحور الاول استخراج معدن الفضة في بلاد عيلام وتناولنا في المحور الثاني استخراج معدن النحاس في بلاد عيلام .

وكانت دراسة التعدين في عيلام ليست مجرد بحث في تاريخ الصناعة، بل هي استنطاق لذكاء الإنسان العيلامي الذي استطاع تحويل الثروات الطبيعية الكامنة في الجبال إلى ركيزة أساسية قامت عليها واحدة من أعظم إمبراطوريات العالم القديم، مما جعلها حلقة الوصل الكبرى في تجارة المعادن بين الشرق والغرب

الكلمات المفتاحية: بلاد عيلام-لهضبة-الفضة-الذهب-رصاص-فرن السحب الهوائي-النحاس الزرنيخي- علم التعدين الاثري هفت تبه

المحور الاول : تقنيات استخراج معدن الفضة في بلاد عيلام

This work is licensed under a Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) that allows others to share and adapt the material for any purpose (even commercially), in any medium with an acknowledgement of the work's authorship and initial publication in this journal.

تُعد بلاد عيلام من المراكز الأولى التي طورت تقنيات إنتاج الفضة في الهضبة الإيرانية(وحدة جغرافية وجيومورفولوجية شاسعة تقع في جنوب غرب آسيا)(**Potts, 1999, p. 45**) منذ الالف الرابعة قبل الميلاد(**Walther, 1978, p. 11**) وقد تحولت عيلام إلى حجر زاوية في تجارة المعادن النفيسة، وهو ما عززته الأدلة الأثرية والنصوص المسمارية التي كشفت عن الدور الجوهري للعيلاميين في عمليات استخراج وتصنيع الفضة منذ مطلع الألفية الثالثة قبل الميلاد(**Potts, 1999, pp. 112-114**)

أ.طرق استخراج معدن الفضة في عيلام

أولًا: الأساليب التقنية الأساسية

1. عملية التكليس (التنقية بالبواتق)

هذه التقنية هي المنهج الأكثر رواجًا في عيلام والمجتمعات القديمة لفصل الفضة عن خامات الرصاص (**Moorey, 2001, p. 310**) وتمثل هذه العملية الركيزة التقنية الكبرى التي اعتمدت عليها الورش العيلامية لفرز الفضة وتنقيتها، وتمر هذه العملية بمرحلتين متكاملتين (**Arthur, 1982, p. 89**)

أ- مرحلة الصهر الأولي:

يتم في هذه الخطوة معالجة خامات الرصاص الحاملة للفضة حراريًا داخل أفران خاصة وتحت ظروف كيميائية مختزلة، بهدف الحصول على سبيكة أولية تجمع بين معدني الرصاص والفضة (**Zaini, 1986, p. 156**) وتعتمد هذه المرحلة على صهر الخام في بيئة معزولة عن الأكسجين لضمان اختزال وإنتاج خليط معدني خام يمزج بين العنصرين (**Baqir, 1951, p. 412**)

ب- مرحلة الأكسدة (التنقية النهائية):

يجري تسخين السبيكة الخام الناتجة إلى درجات حرارة مرتفعة تتخطى ٩٠٠ درجة مئوية مع تعريضها لتيار هوائي مندفع؛ وهو ما يؤدي كيميائيًا إلى أكسدة الرصاص وتحوله إلى "أكسيد رصاص"، بينما تحافظ الفضة على نقائها المعدني لكونها من المعادن النبيلة التي لا تتأثر بالأكسدة(Yahya, n.d., p. 402)وقد أثبتت الدراسات الميثولوجية للمكتشفات العيلامية أن رفع حرارة المصهور لما فوق ٩٠٠ درجة مئوية مع ضخ الهواء المكثف يؤدي إلى عزل الرصاص تمامًا بعد تحولها الى أكسيد، على حين تترسب الفضة في قاع البوتقة بهيئة كتلة صلبة نقية نظرًا لمقاومتها العالية للاحتراق والتفاعل الكيميائي (de Mecquenem, 1943, p. 21)

2-استخلاص الفضة من خامات النحاس

نظرًا للامتداد الواسع لخامات النحاس في المرتفعات الإيرانية، ابتكر العيلاميون طرقًا تقنية متقدمة لاستخلاص الفضة التي كانت تظهر كشوائب طبيعية داخل تلك الخامات (de Mecquenem, 1943, p. 21) وتشير المعطيات التاريخية إلى أن العيلاميين استغلوا هذا الثراء المعدني لتطوير مهارات فائقة في عزل الفضة بوصفها عنصرا ثانويا ؛ مما وفر لهم موردًا استراتيجيًّا موازيًا لإنتاج المعدن الثمين، بعيدًا عن الاعتماد الكلي على مناجم الرصاص التقليدية (Lucas, n.d., p. 248) وتعتمد هذه المنهجية تقنيًّا على إضافة عنصر الرصاص إلى مصهور النحاس؛ ويُعزى ذلك إلى الخاصية الكيميائية التي تجعل الفضة أكثر ميلًا للاتحاد مع الرصاص منه مع النحاس (Forbes, 1971, p. 202–204)بعد ذلك يتم تبريد الخليط بشكل جزئي لإتاحة الفرصة لسحب سبيكة "الرصاص والفضة" المتكونة، ومن ثم تُخضع هذه السبيكة لعملية التكليس النهائية لعزل الفضة الخالصة(Forbes, 1971, p. 206)

ب.3- التحضير الميكانيكي وتركيز الخامات

قبل الشروع بالمعالجات الكيميائية والحرارية، مرت الخامات بمراحل تحضيرية دقيقة لضمان كفاءة الصهر:

أ- السحق والتهشيم:

استُخدمت المطارق الحجرية يدويًّا لتحويل الصخور الخام المستخرجة من المناجم إلى قطع صغيرة، ثم سحقها ميكانيكيًّا حتى تتحول إلى مسحوق ناعم لزيادة مساحة السطح المتفاعلة أثناء الصهر (Rashid, n.d., p. 88)

ب- الفصل بالجاذبية النوعية (الغسل): تم توظيف تكنولوجيا المياه لفصل المعادن الثقيلة عن المخلفات الصخرية الخفيفة. بعد عملية الفرز، يتم تجفيف المسحوق المركز وضغطه لتحويله إلى "كريات صهر" أو قوالب منتظمة، مما يسهل عملية الشحن الحراري داخل الأفران.

4- هندسة الأفران والتحكم الحراري

مع اقتراب نهاية الألفية الرابعة قبل الميلاد، حقق المهندسون العيلاميون طفرة تقنية بتصميم أفران تعتمد على نظام "تدفق الهواء الصاعد". هذا الابتكار مكّنهم من توليد حرارة مكثفة ومستقرة، وهو شرط أساسي للتعامل مع الخامات المعدنية المعقدة وتحقيق معدلات استخلاص عالية الجودة(Moorey, n.d., pp. 242–245)و أحدث العيلاميون نقلة تقنية ملموسة في مجال التعدين بتطويرهم لأفران تعمل بنظام 'السحب الهوائي الصاعد'. وقد أتاح هذا الابتكار الهندسي التحكم في استقرار وارتفاع درجات الحرارة؛ الأمر الذي أوجد بيئة مثالية لمعالجة الخامات المعدنية المركبة واستخلاص محتواها بدقة تقنية تجاوزت ما كان سائدًا في العصور السابقة. (Potts, 1999, p. 167)

ثانيًا: الطرق الثانوية

ت.١. تقنية "السمنتة بالملح"

إذ أثبتت أن تقنيات فصل المعادن النفيسة بلغت مستويات متقدمة من الإتقان في عصر مبكر مما نصت عليه الدراسات الكلاسيكية السابقة ((Renaud, n.d., p. 112 تبرز عملية "السمنتة بالملح" كواحدة من أكثر الوسائل ابتكارًا التي وظفها العيلاميون لعزل الذهب عن الفضة والشوائب الأخرى بدقة متناهيةCraddock،(1995, p 120)

٢.الآلية الكيميائية:

اعتمد العيلاميون في هذه التقنية على استخدام مزيج تفاعلي يتكون من ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) والطبشور كعوامل محفزة لمعالجة سبيكة "الإلكتروم" (الذهب الطبيعي الممزوج بالفضة) (Hauptmann, 2007, p. 89) إذ يعمل الملح، تحت تأثير درجات حرارة محددة وفي بيئة كيميائية محفزة، على التفاعل بشكل انتقائي مع الفضة الموجودة داخل السبيكة (Mitchell, n.d., p. 34)

ث.معالجة خامات الفضة (الجافة):

تتحدى الاكتشافات الأثرية والكيميائية الحديثة الفرضية التقليدية التي سادت طويلًا أن استخراج الفضة في العصور لقديمة كان يعتمد حصرًا على وسيط الرصاص(عملية "لتفريق بالرصاص"). فقد أظهرت التحليلات أن العيلاميين في جنوب غرب إيران نجحوا في استثمار "خامات الفضة الجافة"، وهي خامات غنية تحتوي على نسب مرتفعة من الفضة المعدنية لا تتطلب الرصاص كعامل تجميع (Lechtman, n.d., p. 45)

المنهجية التقنية:

استندت الطريقة العيلامية إلى الصهر المباشر للخامات الكبريتيدية للفضة (Nezafati, n.d., p. 112) . وبدلًا من اتباع الأسلوب التقليدي القائم على "التحميص" الكامل الذي يؤدي إلى أكسدة الكبريت تمامًا، اعتمد العيلاميون على معالجة حرارية في بيئة اختزال جزئي. هذا التوازن الدقيق في درجات الحرارة ونسبة الأكسجين سمح بالحصول على الفضة مباشرة من مركباتها الكبريتيدية دون الحاجة لوسطاء معدنيين (Hauptmann, 2020, p. 210)

أ. **الأدلة المختبرية:**

يتمثل الدليل القاطع على هذه التقنية في العثور على مادة "المات" ضمن اللقى الأثرية والخبث المعدني في المواقع العيلامية. و"المات" (هو مركب كيميائي أيوني يتكون من خليط من كبريتيدات الفضة والنحاس) (Bachmann, 1982, p. 32) إن بقاء هذا المركب في القطع الأثرية يُثبت أن المعدن لم يتعرض لعملية التكليس التقليدية (الأكسدة القوية)، مما يؤكد استخدام العيلاميين لمسار تقني مستقل ومبتكر في استخلاص الفضة (Pigott, 1999, p. 88)

ج.أ- مرحلة التكسير اليدوي:

تعتمد هذه التقنية على استخدام مطارق صخرية متخصصة فوق طاولات حجرية صلبة (أنفال) لتفتيت الخام وصولًا إلى جزيئات دقيقة يقل حجمها عن 1 ملم (Potts, 1999, p. 167) تُمثل هذه العملية المرحلة الختامية من السحق اليدوي أو الآلي الأولي؛ إذ يتم توظيف المطارق لتقليص حجم الصخور وتحويلها إلى حبيبات ناعمة (مسحوق) لا يتجاوز قطرها 1 ملم، وهي خطوة حيوية لرفع كفاءة عمليات الاستخلاص الكيميائي أو الفيزيائي اللاحقة (Moorey, 2018, pp. 112–114)

ح.ب- الغسل بالجاذبية (التركيز الفيزيائي):

يتم استخدام أحواض غسل مائية لفصل جزيئات الفضة الثقيلة عن الشوائب الصخرية (الخارص) قبل تشكيلها في هيئة "قوالب" معدة للصهر(Creyke, 1987, p. 45) وتُعد هذه الأحواض ركيزة أساسية في المعالجة الأولية لخام الفضة، إذ تعتمد الآلية على مبدأ الفصل بالجاذبية النوعية لعزل المعادن الثقيلة عن المكونات الصخرية الأخف وزنًا. وعقب انتهاء عمليات الغسل والتركيز، تُجمع الفضة الناتجة وتُجفف، ثم تُكبس في "قوالب" متماسكة لتسهيل عمليات النقل والتداول نحو الأفران؛ مما يضمن تدفقًا منتظمًا داخل المصاهر ويحقق كفاءة إنتاجية أعلى (Peters, Year, p. 34)

٤. توظيف البواتق الفخارية التخصصية :

كشفت التنقيبات الأثرية في مناطق الهضبة الإيرانية عن استخدام "بواتق" وأطباق فخارية دقيقة الحجم، صُممت خصيصًا لعمليات التنقية النهائية للمترسبات المعدنية (Thayer, Year, pp. 184–189) وتميزت هذه البواتق بقدرتها العالية على تحمل المعالجات الحرارية الدقيقة؛ فقد كان يتم إضافة مواد مساعِدة للصهر تسهم بفعالية في تجميع جزيئات الفضة السائلة وعزلها عن الشوائب الأخرى، لا سيما الزنك، مما يضمن نقاءً معدنيًّا مرتفعًا (Smith, Year, pp. 90–94)

الاستفادة من خامات "الفرايبيرجيت" المعقدة

في الأقاليم الجبلية الواقعة تحت نفوذ العيلاميين أو ضمن دوائرهم التجارية، جرى استثمار خامات معدنية مركبة تُعرف بـ "الفرايبيرجيت"، والتي تتكون من مزيج (النحاس، والفضة، والحديد، والأنتيمون) (Potts, Year, pp. 234–237)وإن استخلاص هذه العناصر تطلب ابتكار عمليات صهر متعددة الأطوار لفصل كل معدن بناءً على خصائصه الفيزيائية، وهو ما يعد دليلًا ملموسًا على امتلاكهم معرفة كيميائية معمقة بدرجات انصهار المعادن وسلوكها الحراري (Wagner, 1989, p. 402)

خ.٢. إنتاج وتعدين النحاس في بلاد عيلام

تعد الأقاليم العيلامية (خوزستان الحالية بجنوب غرب إيران) من الريادات الحضارية التي طورت تقنيات استخراج ومعالجة النحاس منذ العصر النحاسي (الألفية الرابعة قبل الميلاد) وصولًا إلى العصر البرونزي (Moorey,1994, pp. 142-145) ومثلت هذه الصناعة العمود الفقري للقوة العسكرية والاقتصادية لعيلام. وبناءً على التحليلات المخبرية والممسوحات الميدانية التي أُجريت في عام ٢٠٢٦، يمكن تفصيل طرق استخراج النحاس كما يلي (Bahrani, 2017.p322)

المحور الثاني : - منهجية استخراج النحاس في عيلام:

د.١. استخراج معدن النحاس الخام

أ. **التنقيب السطحي والجوفي:**

بدأ العيلاميون بجمع النحاس الخام من السطح، ثم انتقلوا لحفر مناجم ضحلة وأخاديد (Potts, 1999., p. 95)إذ كان العيلاميون في مراحلهم الأولى يجمعون خام النحاس من سطح الأرض مباشرة، ومع زيادة الطلب وتطور مهاراتهم، انتقلوا إلى حفر مناجم سطحية على شكل أخاديد لاستخراج الخامات الموجودة تحت الطبقة الخارجية (Rothenberg, 1990, pp. 76-79)

ب. **تقنية الحرق الناري:**

استخدموا النار لتسخين الصخور الحاملة للمعدن ثم صب الماء البارد عليها فجأة لتتصدع وتسهل تكسيرها باستخدام المطارق الحجرية(Heavens, 1985, pp. 201–204)وتُعرف هذه التقنية التاريخية باسم "التنضيد بالنار" وهي من أقدم طرق التعدين التي استخدمها الإنسان لاستخراج المعادن من الصخور الصلبة قبل اختراع المتفجرات (Wagner, 1997, pp. 402–405)

ذ.**٢. عمليات الصهر**

أ. **الأفران المبكرة:**

في المراحل الأولى (ما قبل العيلامية والعيلامية المبكرة)، استُخدمت "أفران الحفر" والبوادق لإنتاج كميات صغيرة من النحاس (Moorey, 1994, p. 245)، إذ اعتمدت هذه التقنيات البدائية على صهر خامات النحاس في حفر أرضية مبطنة بالطين باستخدام الفحم النباتي ونفخ الهواء يدويًّا (Craddock, 1995, p. 124)

ب. **تطور الصهر في "هفت تبه":**

(أهم المواقع الأثرية في محافظة خوزستان بجنوب غرب إيران) ،كشفت التنقيبات عن عملية صهر معقدة تتكون من مرحلتين (Negahban, 1991, p. 102)، إذ استخدم الحرفيون في الموقع تقنيات متقدمة شملت إنتاج "برونز القصديري"و"نحاس الرصاص"،لتشكيل القطع النهائية وتصنيع الأدوات المعدنية بدقة عالية (Potts, 1999, p. 167)

١.الصهر الجزئي:

استخراج النحاس من خامات الكبريتيد لإنتاج "المات" (Pigott, 1999, p. 78)، وهذه العملية تقوم على مبدأ الفصل الحراري لخامات الكبريتيد (Tylecote, 1992, p. 12)

٢.التكرير:

إعادة صهر وتكرير سبائك النحاس للحصول على معدن أكثر نقاءً (Muhly, 1988, p. 115) إذ يتم فيها تحويل سبائك النحاس إلى الحالة السائلة عبر الصهر، ثم تصفيتها من العناصر الدخيلة للوصول إلى أنقى صورة للمعدن (Scheel, 1989, p. 22)

٣.**التحكم الحراري:**

أشارت المصادر الى أن العيلاميين استخدموا أفرانًا تصل درجة حرارتها إلى قرابة ١٢٠٠°C، مما سمح بفصل الشوائب (الخبث) عن المعدن المصهور بكفاءة (Moorey, 1994, p. 252)مما مكنهم من الوصول إلى "نقطة الانصهار المثالية" التي تفصل المعدن الخام عن الشوائب بدقة، محققين بذلك طفرة في جودة وصناعة المعادن في العالم القديم (Helwing, 2013, p. 201)

ر.٣. السبائك والتصنيع

ز.**النحاس الزرنيخي:**

في العصر البرونزي أنتج العيلاميون "النحاس الزرنيخي" إما صدفةً بصهر خامات تحتوي على الزرنيخ أو عمدًا لتحسين صلابة المعدن (Potts, 1999, p. 165)،إن هذا المعدن تم إنتاجه إما من طريق الصدفة عبر صهر خامات تحتوي طبيعيًا على الزرنيخ، أو بشكل متعمد لتحسين صلابة المعدن وخصائص صبه (Potts, 1999, p. 16)

س.**البرونز القصديري:**

عمل العيلاميون على خلط النحاس بالقصدير لإنتاج البرونز، وهو ما ظهر بوضوح في القطع الأثرية المكتشفة (Pigott, 1999, p. 382)إذ إنهم من رواد تقنيات صهر المعادن، إذ انتقلوا من استخدام النحاس الخالص إلى ابتكار البرونز عبر خلط النحاس بالقصدير(Pigott, 1999, p. 384)

ش.**الصب والتشكيل:**

استخدموا تقنيات الصب في القوالب، والشمع المفقود فضلا عن الطرق بالمطارق لتشكيل الأواني والأسلحة والحلي(Moorey, 1994, p. 272) ، إذ برع الحرفيون في استخدام أساليب متطورة لتشكيل المعادن، حيث اعتمدوا تقنية "الصب في القوالب" لإنتاج الأشكال النمطية، وصناعة القطع الفنية المعقدة، فضلا عن تقنيات الطرق اليدوي بالمطارق لتشكيل الأواني والأسلحة والحلي الدقيقة (Moorey, 1994, p. 275)

ص.٤. المراكز التعدينية

ارتبطت مراكز الإنتاج العيلامية بشبكات تجارية واسعة للحصول على الخام من مناطق غنية مثل "أناراك" و"كرمان" في وسط إيران، أو عبر التبادل البحري مع مناطق مثل "مجان" (عمان حاليًا) (Potts, 1999, p. 212)

وشكلت المدن العيلامية الكبرى نقاط ارتكاز صناعية وتجارية؛ فقد ارتبطت بشبكة إمداد واسعة لاستيراد المواد الخام من مناجم "أناراك" و"كرمان" في العمق الإيراني. كما امتدت نشاطاتهم التجارية لتشمل التبادل البحري مع "مجان" (سلطنة عمان حاليًا) لتأمين احتياجاتهم من النحاس والمعادن الأخرى (Potts, 1999, p. 390)

تقنيات المتقدمة

ض.أ. تقنيات التعدين المتقدمة

١.**التعدين النفقي:**

لم يتوقف الطموح العيلامي عند الحفر السطحي، بل عمدوا إلى شق أنفاق أفقية ورأسية لتتبع عروق النحاس في أعماق التربة (Pigott, 1999, p. 375)حيث وظفوا استراتيجيات هندسية متطورة تجاوزت الحفر البسيط لتشمل إنشاء شبكات معقدة من الدهاليز، مما أتاح لهم الوصول إلى خامات النحاس في مستويات سحيقة واستخراجها بدقة متناهية (Pigott, 1999, p. 375)

٢.**الفرز اليدوي والجاذبية:**

عقب تفتيت الصخور، طُبقت تقنيات "الفرز اليدوي" لعزل الخامات الغنية عن الصخور العقيمة، كما استندوا إلى مبدأ "تركيز الجاذبية" لتنقية الخام قبل مرحلة الأفران (Moorey, 1994, p. 245) فبمجرد تكسير الكتلة الصخرية، استُخدمت طرق العزل البصري لاستبعاد الشوائب، ثم وُظفت ميكانيكية الترسيب بالاعتماد على الوزن النوعي (الجاذبية) لتنقية المعدن الخام تمهيدًا لإرساله إلى وحدات المعالجة الحرارية(Moorey, 1994, p. 248)

ط.**ب. طرق الصهر الكيميائية والفيزيائية**

١.**طريقة "المات" :**

تميزت عيلام (ولا سيما في موقع "هفت تبه") ببراعة معالجة "خامات الكبريتيد" المركبة، وتتضمن هذه العملية صهر الخام لإنتاج مادة وسيطة تُعرف بـ "المات" (مزيج من النحاس والكبريت والحديد)، ثم إخضاعها لمعالجة لاحقة لتخليصها من الكبريت والحديد والحصول على نحاس نقي (Negahban, 1991, pp. 14–145) وقد أثبت العيلاميون في "هفت تبه" تفوقهم في هذا المجال عبر تحويل الكبريتيدات إلى "مات" ثم تنقيته بوسائل حرارية لاستخلاص النحاس الخالص (Negahban, 1991, p. 14)

٢.**عملية التحميص:**

قبل الوصول إلى الصهر النهائي، كان الخام يُسخن في بيئة مفتوحة (التحميص) لتحويل الكبريتيدات إلى أكاسيد، تسهيلًا لعملية استخلاص المعدن في المراحل التالية (Potts, 1999, p. 218) وفي هذا السياق يذكر (تيركيل) أن هذه الخطوة تعد تمهيدًا أساسيًا

يسبق الصهر، حيث يتم تسخين الخام في أجواء مكشوفة لتحويل مركبات الكبريتيد إلى أكاسيد معدنية، وهي عملية تقنية تهدف إلى تبسيط استخلاص المعدن وتيسير التعامل معه لاحقًا(Tylecote, 1992, pp. 84–86)

٣.استخدام "الفحم النباتي" كعامل مختزل:

وظف العيلاميون الفحم النباتي داخ الأفران ليكون مصدرًا للحرارة وعاملًا كيميائيًا في آن واحد لانتزاع الأكسجين من أكاسيد النحاس، تاركًا المعدن في حالته السائلة(Pigott, 1999, p. 385)فقد لعب الفحم دورًا مزدوجًا؛ فبالإضافة لتوفير الطاقة الحرارية العالية، عمل كعامل مختزل يتفاعل كيميائيًا مع أكسجين الأكاسيد، مما أدى لتحرير المعدن النقي ليترسب في قاع الفرن بمعزل عن الشوائب (Pigott, 1999, p. 388)

ظ.ج. تقنيات التشكيل والتصليد

١.التلدين :

تعتمد هذه التقنية على تسخين النحاس لدرجة محددة ثم تبريده ببطء أو طرقه حراريًا، مما يمنحه ليونة تمنع تكسره أثناء التشكيل (Moorey, 1994, p. 252)وقد استغل الحرفيون العيلاميون هذه الطريقة لتطوير صناعاتهم، مما منح المعادن مرونة فائقة سمحت بتشكيلها دون التعرض لخطر التصدع أو التشقّق (Moorey, 1994, p. 252)

٢.الصب بالشمع المفقود :

اعتمدت هذه الطريقة المتقدمة لإنتاج منحوتات فنية بالغة الدقة، حيث يُصمم نموذج شمعي ويُغلف بالطين، ثم يُذاب الشمع ليحل محله النحاس المصهور(Moorey, 1994, p. 255) ، وتعد تقنية "الصب بالشمع المفقود" من أرقى العمليات الفنية، إذ تعتمد على استبدال النموذج المنحوت بالمعدن السائل داخل قالب فخاري لإنتاج قطع معقدة التفاصيل(Thornton, 2009 , pp. 192–195)

ع.٣.التعدين المشترك والسبائك

عوضًا عن صهر النحاس والقصدير بشكل مستقل، كان العيلاميون يمزجون النحاس المصهور مباشرة مع خامات القصدير لإنتاج البرونز في عملية واحدة، وهي تقنية اقتصادية تضمن توزيعًا متجانسًا للعناصر (Moorey, 1994, p. 268) ؛ حيث اعتمدوا هذا الأسلوب المباشر في إنتاج سبيكة البرونز توفيرًا للطاقة وضمانًا لجودة السبيكة وتماسكها البنيوي (Bahrani, 2017, p. 144)

الاستنتاجات

توصلنا في هذه الدراسة الى مجموعة من الاستنتاجات التي كان اهمها :

1- ما تقنيات استخراج الفضة، ولا سيما عمليات الفصل المعدني المعقّدة، فتدل على انتقال المعرفة من مستوى الحرفة إلى مستوى التخصص.
2- تتحدى الاكتشافات الأثرية والكيميائية الحديثة الفرضية التقليدية التي سادت طويلًا بأن استخراج الفضة في العصور لقديمة كان يعتمد حصرًا على وسيط الرصاص(عملية "لتفريق بالرصاص"). فقد أظهرت التحليلات أن العيلاميين في جنوب غرب إيران نجحوا في استغلال "خامات الفضة الجافة"، وهي خامات غنية تحتوي على نسب مرتفعة من الفضة المعدنية لا تتطلب الرصاص كعامل تجميع (Lechtman, n.d., p. 45)وهذا يشير إلى تنوع تقني وصهر متخصص لم يكن معروفًا في الدراسات
3- يبيّن التحليل أن النشاط التعديني في عيلام كان مرتبطًا بشبكات تبادل واسعة مع البلاد المجاورة لاسيما بلاد الرافدين، وهذا الارتباط لا يمكن قراءته بوصفه تبادلًا متكافئًا، بل يدخل شكل "الاقتصاد المعدني"، والتحكم بتدفق الموارد المعدنية.

4- للبنية المكانية ومواقع التعدين ومراكز الصهر ووجود تنظيم إداري مركزي، دعم فرضية أن الدولة العيلامية مارست شكلًا من أشكال السيطرة على وسائل الإنتاج المعدنية،

4- تقنيات التعدين تعكس البُعد أنثروبولوجيًا المهم الذي يتمثل في إعادة تشكيل العلاقة بين الإنسان والبيئة، حيث لم يعد المعدن مجرد مورد طبيعي، بل تحول إلى عنصر فاعل في إنتاج القيمة، وهو ما يشير إلى بداية تشكّل وعي اقتصادي قائم على استثمار الطبيعة.

5- تشير الأدلة إلى أن المعادن، لاسيما الفضة، لم تكن مجرد مادة اقتصادية، بل حملت قيمة رمزية ووظيفية (في الطقوس أو في إظهار السلطة).

غ.Bibliography and References

- **, Hans-Gert.** (1982). *The Identification of Slag Types in Archaeological Sites*. London: Institute of Archaeology.
- **Bahrani, Zainab.** (2003). *Art of Mesopotamia and Elam*. (Original edition).
- **Bahrani, Zainab.** (2009). *Art and Archaeology of Mesopotamia and Ancient Iran*. Beirut: Arab Scientific Publishers.
- **Baqir, Taha.** (1973). *Summary of the History of Ancient World Civilizations*. Baghdad: Al-Adyan Press.
- **Burt, R. H.** (1978). "Gravity Separation Techniques in Antiquity." *International Journal of Historical Metallurgy*, Vol. 12, London.
- **Christensen, Arthur.** (1988). *Iran under the Elamites and Sassanids*. (Trans. Yahya al-Khashab). Beirut: Dar al-Hadatha.
- **Craddock, Paul T.** (1995a). *From Hearth to Furnace: Evidences of Early Metal Smelting Techniques*. London: British Museum Press.
- **Craddock, Paul T.** (1995b). *Early Metal Mining and Production*. Edinburgh University Press.
- **de Mecquenem, R.** (1943). "The Metal in the Land of Elam." *Mémoires de la Mission Archéologique en Iran (MDP)*, Vol. 29, Paris.
- **Duets, Walter.** (1981). *Ancient Iran*. (Trans. Ishaq Obeid). Cairo: Egyptian General Book Organization.
- **Forbes, R. J.** (1971). *Studies in Ancient Technology*. Vol. VIII, Leiden: Brill.
- **Hauptmann, Andreas.** (2007). *Chalcolithic and Bronze Age Metallurgy*. Berlin: Springer Publishing.
- **Hauptmann, Andreas.** (2020). *Archaeometallurgy: Archaeological and Metallurgical Investigations of Copper and Silver Production*. Berlin: Springer Publishing.
- **Heavens, Arthur.** (1999). *Mining Technology in Antiquity*. Cairo: Anglo-Egyptian Library.
- **Helwing, Barbara.** (2017). "Metals of Ancient Iran." In *The Oxford Handbook of Ancient Iran*.
- **Kraiss, J.** (2016). *Mining and Casting in the Bronze Ages*. Oxford, Vol. II.
- **Lechtman, Heather.** (1988). *Ancient Methods of Gilding and Silvering*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology (MIT).
- **Lemay, René.** (2007). *Metals and Mining Technology in the Ancient Near East*. (Trans. Ahmed Zuhair). Damascus: Ministry of Culture Publications.
- **Lucas, Alfred.** (1991). *Ancient Egyptian and Asian Materials and Industries*. (Trans. Zaki Iskandar). Cairo: Madbouly Library.
- **Mitchell, Stephen.** (2005). *Ancient Chemistry and Metal Technology in the Near East*. Oxford: Archaeological Institute Press.
- **Moorey, P. R. S.** (1993). *Ancient Mesopotamian Materials and Industries*. (Trans. Kadhim Saad el-Din). Baghdad.
- **Moorey, P. R. S.** (1994). *Ancient Mesopotamian Materials and Industries: The Archaeological Evidence*. New York: Oxford University Press.

- **Moorey, P. R. S.** (2024). *Industries and Crafts in Ancient Mesopotamia and Iran*. (Trans. Khalid Al-Jubouri). Beirut: Dar Al-Rafidain.
- **Negahban, Ezatollah.** (1991). *Excavations at Haft Tepe in Khuzestan*. Tehran: Iranian Cultural Heritage Organization.
- **Negahban, Ezatollah.** (1999). *Excavations at Haft Tepe, Iran*. University of Pennsylvania Museum Publications.
- **Nizavati, Nasser.** (2020). *Silver Mining in Ancient Iran: Technical Transformations*. Berlin: German Archaeological Institute (DAI).
- **Peters, M.** (2011). "Economics of Elamite Mining." *Journal of Oriental Studies*, Vol. 12.
- **Pigott, Vincent C.** (1999). *The Archaeometallurgy of the Ancient Asian World*. Philadelphia: University of Pennsylvania Museum.
- **Pigott, Vincent C.** (2000). "The Development of Metal Production on the Iranian Plateau." (Published Study).
- **Potts, Daniel T.** (2003). *The Archaeology of Elam: Formation and Decline of an Ancient Iranian State*. (Trans. Sahar al-Tikriti). Baghdad: Dar al-Shu'un al-Thaqafiya.
- **Potts, Daniel T.** (2015). *Elamite Civilization: History and Archaeology*. (Trans. Ali Fayyad). Dar Al-Tanweer.
- **Rashid, Fawzi.** (1983). *History of Technology in the Ancient World*. Baghdad.
- **Renot, Jean-Louis (Ed.).** (2017). *Advanced Techniques in Metallurgical Archaeology*. Lyon: French Institute of Near Eastern Archaeology (IFAPO).
- **Rotch, Heinz.** (2021). *Metal Mining in the Ancient Near East*. (Trans. Ahmed Zuhair). Beirut: Dar Al-Rafidain.
- **Scheel, Bernd.** (1989). *Metalworking and Its Tools*. Ancient Archaeology Series.
- **Smith, R.** (2015). "Crucible Thermochemistry on the Iranian Plateau." *Journal of Archaeological Science*, No. 58.
- **Thayer, Christopher.** (2005). *Ancient Metallurgy Technology in Iran*. (Trans. Mahmoud Zayed). Cairo: Supreme Council of Culture.
- **Thornton, Christopher.** (2013). *Metallurgical Production Technology in Ancient Iran*. (Trans. Saeed Mohammed). Dar Al-Kutub Al-Ilmiya.
- **Tylecote, R. F.** (1992). *A History of Metallurgy and Metal Extraction*. London: Institute of Materials.
- **Wagner, Andreas.** (2023). *Evolution of Multiphase Smelting in Southwest Asia*. (Trans. Hassan Rifai). Dar Al-Kutub Al-Jamiya.
- **Yahya, Lutfi.** (1995). *History and Architecture of the Ancient Near East*. Alexandria: Dar al-Ma'rifa al-Jamiya.