مجلة العلوم القانونية والاجتماعية

Journal of legal and social studies

Issn: 2507-7333

Eissn: 2676-1742

التحليل بتقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF) لمواد بناء قصر تاجموت بالأغواط

X-ray Fluorescence (XRF) analysis for the building materials of Ksar Tadjemout in Laghouat

آمال بوهدة[1]*، بوعكاز عيساوي[2]

[1] جامعة الجلفة، (الجزائر)، a.bouhadda@univ-djelfa.dz، مخبر الدراسات التاريخية والإنسانية

[2] جامعة الجلفة، (الجزائر)، b.aissaoui@univ-djelfa.dz

تاريخ ارسال المقال: 2024/03/01	تاريخ القبول: 2024/05/01	تاريخ النشر: 2024/06/01

*المؤلف المرسل

الملخص:

تعنى دراسة قصور الأطلس الصحراوي إلى التعريف بها وبخصائصها وكذا بالمساهمة على الحافظ عليها، وهذا من خلال التعرف بدقة على مواد بنائها وخصائصها لتسهيل عملية التدخل عليها فيما بعد، وتتمثل الدراسة في استخدام تقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF) لفحص وتحليل مكونات مواد البناء الأثرية لقصر تاجموت بالأغواط، وهو تراث معماري متميز ويعتبر من بين أقدم القصور في المنطقة .

المشكلة التي تتناولها الدراسة هي الحاجة إلى التعرف الدقيق وتقييم هذه المواد لجهود الحفظ والترميم الفعّالة. ويهدف البحث إلى فهم تكوين هذه المواد وتحديد المكونات الكيميائية للمواد التي تم استخدامها في بناء قصر تاجموت بشكل خاص وقصور الأطلس الصحراوي بشكل عام، مما يمكننا من فهم وتقييم الأضرار التي حدثت، ويوفر ذلك الأساس العلمي لاستراتيجيات ومشاريع الحفظ التي تضمن الأصالة للقصور.

الكلمات المفتاحية: الفلورة بالأشعة السينية (XRF) ؛ التراث المعماري ؛ مواد البناء ؛ قصر تاجموت.

Abstract :

The study of the Atlas Saharan ksour aims to define them, identify their characteristics, contribute to their preservation, and facilitate intervention processes by accurately understanding their construction materials and properties. This is achieved through the precise examination of their building materials and properties to ease future interventions. The study employs X-ray Fluorescence (XRF) analysis technique to examine and analyze the components of the archaeological building materials of Ksar Tadjemout in Laghouat, which is a distinctive architectural heritage and one of the oldest Ksour in the region.

The problem addressed by the study is the need for precise identification and evaluation of these materials for effective preservation and restoration efforts. The research aims to understand the composition of these materials and identify the chemical components of the materials used in the construction of Ksar Tadjemout specifically, and Atlas Saharan Ksour in general. This enables us to understand and assess the damages that have occurred, providing the scientific basis for preservation strategies and projects that ensure the authenticity of Ksour.
Keywords: X-ray fluorescence (XRF); Building materials; Architectural heritage; Ksar Tadjemout.

مقدّمـــة:

يقف التراث المعماري لقصر تاجموت كشاهد على تاريخ المنطقة الغني وعلى أهميته الثقافية، والحفاظ عليه أمر ضروري؛ وأحد أسس التدخل على هذا النوع من التراث المعماري هو التدخل بنفس مواد البناء الأصلية أو المشابهة لها، لذا فهم المواد المستخدمة في بناء هذه الهياكل التاريخية أمر لا بد منه للحفاظ على أصالتها. في هذا السياق، يصبح تطبيق التقنيات التحليلية المتقدمة لمعرفة تركيبة المواد، مثل تقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF)، أمراً لا غنى عنه.

قبل الشروع في أي تدخل على المباني الأثرية، يجب التحديد الدقيق لمظاهر التلف ومختلف العوامل التي أدت إليها، ومن خلال المعاينة الميدانية التي قمنا بها لقصر تاجموت، لاحظنا عدة مظاهر تلف تعاني منها المباني وأرجعنا أسبابها لعدة عوامل، لكن المعاينة الميدانية لا تكفي ولا تؤدي إلى تشخيص علمي دقيق، وهذا ما جعلنا نقوم بهذه الدراسة، فكيف يمكن للتحليل بطريقة الفلورة بالأشعة السينية (XRF) من معرفة مكونات وطبيعة مواد البناء قصر تاجموت ؟ وكيف تساعد المرممين على اتخاذ قرارات صيانة وترميم مستنيرة وفعّالة؟

إنه لمن الضروري التعرف الدقيق على مكونات مواد بناء قصر تاجموت عن طريق الفلورة بالأشعة السينية (XRF)، بهدف الفهم العميق للمواد المستخدمة في البناء وكشف التفاصيل الكيميائية التي تسهم في قوة البناء أو عرضته للتدهور، مما يقدم نهجاً علميا يسمح بالتدخل السليم لحماية هذا التراث المعماري، فيتمكن خبراء الحفظ وأصحاب القرارات على فهم شامل للمواد المستخدمة في بناء القصر، فيسهل هذا النهج التحليلي من اتخاذ القرارات المناسبة في مختلف جوانب الحفظ التراثي، بما في ذلك الصيانة والترميم .

يعتبر التحليل بتقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF) أداة قوية لفحص التركيب العنصري لمواد البناء، مما يوفر رؤية مفصلة في التركيب الكيميائي للحجارة والطوب والملاط وتكسية الجدران التي استعملت في بناء القصر، وهذا من خلال تحديد العناصر الرئيسية مثل ثاني أكسيد السيليكون (SiO_2)، وأكسيد الألمنيوم (Al_2O_3)، وأكسيد الحديد الثلاثي (Fe_2O_3)، وأكسيد الكالسيوم (CaO) وغيرها.

المبحث الأول: قصر تاجموت

تعتبر القصور الصحراوية من التراث المعماري والعمراني، وهي تصنف ضمن القطاعات المحفوظة[1] في القانون الجزائري، الذي تناولها في فصله الثالث (المواد 41-45) من القانون 98-04 الخاص بالتراث الثقافي، سنحاول في هذا المبحث التعريف بقصر تاجموت من خلال عرض مختصر لتاريخ القصر وأهم معالمه والاشارة إلى مواد وتقنيات بنائه.

المطلب الأول: تعريف القصر

قبل التطرق لقصر تاجموت، سنقدم تعريف وجيز للقصر، فالقصر لغة يختلف عن معناه الاصطلاحي والجغرافي.

القصر هو تجمع سكّاني بالقرب من الواحات في جنوب بلاد المغرب (المناطق الصحراوية ومناطق الأطلس الصحراوي بشمال إفريقيا)، في كل واحة توجد مجموعة من القرى المحصنة تسمى القصور، وهي محاطة بسور سميك مزود بأبراج في زواياه. وهو مركز تخزين المئونة للبدو، وهو مدينة حقيقية في صورة مصغرة ، مختلفة تمامًا عن القرى الفلاحية لمنطقة القبائل أو الريف.[2]

المطلب الثاني: قصر تاجموت

يقع قصر تاجموت في منطقة جغرافية تتنوع فيها التضاريس والمعالم، فهو يقع بمحاذاة وادي مزي، ومنطقة زراعية خصبة، وبالقرب من جبال عمور. يقع القصر بين خطي طول : ”32.32 ’52 °33 شمالا ، ’31 °2 ”26.79 شرقا، وعلى ارتفاع 900م عن سطح البحر. يعد قصر تاجموت موقعا أثريا يعود إلى الفترات الإسلامية (العصور الوسطى)، وهو مسجل ضمن قائمة الجرد الإضافية بولاية الأغواط[3] .

حسب المراجع التاريخية فإن القصر بني سنة 1666م / 1077هـ، من طرف قبيلة بني يوسف التي كانت مستقرة بقصر بدلة الواقع شمال قصر ابن بوطة، وقد اضطرت هذه القبيلة إلى الفرار وهجرة بلدتها نتيجة للصراعات والنزاعات المتواصلة فيما بينها وبين القبائل المجاورة لها[4] .

قصر تاجموت أو كما يسمى بـ "أم هلال"، وذلك لالتفاف بساتينه من الجهة الجنوبية للقصر مكونة بذلك شكل هلال، شيد على ربوة صخرية ذات شكل مثلث تقريبا، وبنيت المنازل بنظام متراص وفق مسارات منحنية، به محور رئيسي وآخر ثانوي وتتفرع منهما الأزقة الملتوية صعودا نحو القمة ونزولا نحو البساتين. من أهم معالم القصر: المسجد العتيق ويعتبر أقدم معلم أثري بالقصر، يتميز بفنائه المحتوي على بئر، وبقاعة صلاة صغيرة، به سلالم تؤدي إلى السطح؛ الأبواب، يحتوي القصر على بابين، أولاد محمد باتجاه الأغواط وباب سفين باتجاه عين ماضي، وكان يعلو كل باب برجان للمراقبة، وحاليا لا يوجد أي أثر للأبواب نتيجة انهيارها وعدم إعادة بناءها؛ المنازل، يتكون المنزل عادة من غرف ومطبخ وحمام وقاعة الضيوف يتم الوصول إليها عبر السقيفة والحوش أو وسط الدار؛ البساتين والتي تمثل النشاط الرئيسي لسكانه، كانت عبارة عن بساتين لأشجار مثمرة من كل نوع مثل المشمش والتفاح والتين والرمان، بالإضافة إلى مساحات شاسعة من الحبوب والخضر.

المطلب الثالث: مواد بناء قصر تاجموت

أما بالنسبة لمواد البناء، فقد بني القصر بالمواد المتوفرة في المنطقة وبالقرب منها، سنخصص هذه الورقة البحثية لدراسة مواد بناء الأساسات والجدران، ولن نتطرق إلى المواد التي استعملت في التسقيف أو التبليط.

- **الحجارة** : لقد بني القصر على هضبة صخرية، وبنيت جدران النصف السفلي منها أو جدران الطابق الأول بالحجارة، وبالملاحظة بالعين المجردة نستطيع التمييز بين ثلاث أنواع مختلفة من حجارة البناء التي تتراوح مقاساتها بين 40-60 سم طولا و20 سم عرضا ومن 10-15 سم سمكا.
- **الطوب**: استعمل الطوب في بناء الجدران، فعادة ما يكون الطوب الجزء العلوي للجدران بعد الحجارة أو جدران الطابق العلوي، كما استعمل في بناء أسوار الحدائق، ويمتاز الطوب بصلابته ومقاومته للعوامل الطبيعية. وقد صنع من التراب والحصى وبعض المواد العضوية كالتبن وبقايا النباتات ويخلط بالماء للحصول على عجينة توضع في قوالب من خشب وتجفف للهواء الطلق. يتراوح مقاسات الطوب حوالي 30 سم طولا، 15 سم عرضا، وسمك يقدر بحوالي 10 سم.
- **الملاط**: استعمل في بناء الجدران ملاط طبيعي مصنوع من التراب والماء ومواد عضوية، تقريبا نفس المواد التي يصنع منها الطوب، وهو بمثابة رابط بين الحجارة والطوب في البناء.
- **تكسية الجدران**: لقد استعمل سكان تاجموت طبقة لكساء الجدران سواء من الجهة الخارجية للمباني أو الداخلية، وذلك لحمايتها من التعرية والعوامل الطبيعية الأخرى، وقد اختلفت التكسية الخارجية عن التكسية الداخلية وهذا ما نلاحظه من خلال اللون والتركيب.

المبحث الثاني: التحليل بتقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF)

سنتناول في هذا المبحث تعريف لتقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF) ومبدأ عملها، وكذا تطبيقها على عينات الدراسة، مبرزين طريقة تحضير العينات وخطوات العمل.

المطلب الأول: تقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF)

تقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF) هي أسلوب تحليلي يستخدم لتحديد التركيب الكيميائي لجميع أنواع المواد. يمكن أن تكون المواد في شكل صلب، أو سائل، أو مسحوق، أو مرشحة، أو أي شكل آخر. قد يستخدم تحليل الفلورة بالأشعة السينية أحيانًا أيضًا لتحديد سمك وتركيب الطبقات والطلاءات. الطريقة سريعة ودقيقة، وغالبًا ما تتطلب القليل من إعداد العينة فقط. تشمل التطبيقات مجموعة واسعة وتشمل صناعات المعادن والأسمنت والنفط والبوليمرات والبلاستيك والغذاء، بالإضافة إلى التعدين وعلم المعادن والجيولوجيا، والتحليل البيئي للمياه ومواد الفضلات. وتعد تقنية الفلورة بالأشعة السينية أيضًا تقنية تحليلية مفيدة للبحث العلمي وصناعة الصيدلة . إن دقة وتكرارية الفلورة بالأشعة السينية (XRF) عاليتان للغاية، يمكن تحقيق نتائج دقيقة جدًا عند توفر عينات

معايرة جيدة، ولكن أيضًا في التطبيقات التي لا يمكن العثور فيها على معايير محددة. تعتمد وقت القياس على عدد العناصر التي يجب تحديدها والدقة المطلوبة، ويتراوح بين ثوان و30 دقيقة. ويكون وقت التحليل بعد القياس عادةً بضع ثواني. [5]

المطلب الثاني: مبدأ التحليل بتقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF)

عندما تتصادم الإلكترونات ذات الطاقة العالية مع سطح المعدن، تنبعث خطوط الأشعة السينية المميزة. يكون لهذه الأشعة المميزة لنوع المعدن شدة عالية وطول موجة محدد. كما يمكن أن تنبعث هذه الخطوط عندما تتعرض المعدن لأشعة سينية أخرى ذات طاقة عالية بمقدار كاف. تعرف هذه الظاهرة باسم الاستشعاع الفلوري، ويُستخدم في تحليل العناصر المكونة للعينة. يتم ذلك عن طريق تحليل الأشعة المنبعثة لتحديد طول موجتها ومعرفة العناصر المميزة. يجرى هذا باستخدام أجهزة الأسبكترومتر للأشعة السينية. وتنقسم الأسبكترومترات إلى قسمين حسب الطريقة المستخدمة لإثارة الأشعة المميزة من العينة؛ الطريقة الأولى هي الإثارة بالإلكترونات، حيث تُرسل العينة بإلكترونات ذات سرعة عالية، وهي طريقة تستخدم في البحث العلمي والتحليل الميكروني؛ أما الطريقة الثانية هي الإثارة بأشعة إكس، حيث تُرسل العينة بأشعة إكس لتوليد الأشعة السينية، التي تكون سببا في إشعاع الأشعة الفلورية الثانوية التي يتم تحليلها بالأسبكترومتر. يعطي تحليل الفلورة بالأشعة السينية معلومات عن العناصر الكيميائية في العينة بغض النظر عن الحالة التي توجد عليها، وهو غير هدام وأكثر سرعة من الطرق الكيميائية التقليدية، مما يجعله فعالًا لتحليل مجموعة واسعة من العينات. [6]

المطلب الثالث: الفلورة بالأشعة السينية (XRF) لمواد بناء قصر تاجموت

الفرع الأول: تحضير العينات

ولإجراء مختلف التحاليل قمنا أولا بتحضير عينات الدراسة، التي أخذناها من مركز القصر من أحد البيوت القديمة المهدمة المجاورة للمسجد العتيق، على النحو التالي:

- الطحن؛
- تحضير الأقراص المضغوطة (Pellets)؛
- تحضير الأقراص المضغوط (Glasbeads) ؛
- إجراء تحليل الفلورة بالأشعة السينية (XRF) على عينات مواد البناء المحضرة على شكلي الأقراص المضغوطة (Pellets) و (Glasbeads).

وفيما يلي شرح للعمل الذي قمنا به:

1. الطحن:

لإجـــراء مختلـــف التحاليـــل نحتـــاج إلى العينـــات مطحونـــة علـــى شـــكل مســـحوق نـــاعم جدا، ولكي نتحصل عليه قمنا بتمرير العينات على عدة آلات.

- قمنا بتكسير الحجارة وأخذ كمية تزيد عن 100 غ؛
- وضع العينة في آلة لتهشيم الحجارة (Crusher) لتطحنها إلى قطع صغيرة 5-10 ملم؛
- طحن العينات في آلة طحن، أين توضع العينات في وعاء فولاذي تحتوي على أسطوانة فولاذية ؛
- ويوضع هذا الوعاء في آلة تقوم بهزه بسرعة 1000 دورة/3 دقائق ، لنتحصل على مسحوق ناعم، وإذا لم يكن ناعم بالدرجة الكافية نقوم بالعملية مرة ثانية إلى أن نتحصل على القوام المطلوب.

2. تحضير العينات على شكل أقراص مضغوطة (Pellets) (EN 196-2 § 5.7.5) :

لضغط العينات على الشكل النهائي لإجراء التحاليل، قمنا بضغط المواد الطبيعية (الحجارة) على شكل أقراص مضغوطة (Pellets). للحصول عليها نقوم بـ:

- أخذ كمية 12 غ من عينة الحجارة ووضعها في مكانها المخصص في الآلة (POLAB-APM) (انظر الشكل رقم 01)؛
- وضع كبسولة من مادة سيليلوز (لا يدخل في تركيب المواد) (EN 196-2 § 5.1.4)؛

الآلة تقوم بعمليتي الطحن والضغط لنتحصل على عينة جاهزة للتحليل، أين تخرج العينة على شكل قرص مضغوط في حامل فولاذي أسطواني (أنظر الشكل رقم 02).

(ملاحظة: لا نقوم بلمس العينات من الجهة التي تقام عليها التحاليل.)

الشكل رقم 01: آلة تحضير الأقراص المضغوطة (Pellets)	الشكل رقم 02: الأقراص المضغوطة (Pellets)

3. تحضير العينات على شكل أقراص مضغوطة (Glasbeads):

لضغط العينات على الشكل النهائي لإجراء التحاليل، قمنا بضغط المواد البناء المصنعة (الطوب، الملاط، تكسية الجدران) على شكل أقراص مضغوطة (Glasbeads). للحصول عليها نقوم بـ:

- أولا بوضع العينة (الطوب، الملاط، التكسية الخارجية للجدران) في فرن خاص بدرجة حرارة 950° لمدة 18 ساعة؛ أما التكسية الداخلية فتوضع في الفرن بدرجة 950° لمدة ساعة واحد لاحتوائه على الجبس.
- نأخذ كمية 1 غ من العينة +8 غ من مادة Flux (Flux : Lithium tetraborate FX-X100-2) ونقوم بخلطها جيدا؛
- أما بالنسبة لعينة التكسية الداخلية للجدار فنأخذ كمية 1 غ من العينة +8.16 غ من مادة Flux (Lithium tetraborate 66%/ Lithium metaborate 34%).
- بعد ذلك نقوم بوضع العينة في آلة تحضير انصهار الخرزة (VITRIOX® GAS) (أنظر الشكل رقم 03)، والتي تقوم بصهر العينات وتبريدها للحصول على شكل زجاجي وهو القرص المضغوط (Glasbead) (أنظر الشكل رقم 04).

تقوم الآلة بثمانية مراحل: (التسخين؛ الانصهار؛ الدمج الرئيسي1؛ الدمج الرئيسي2؛ الصب؛ التبريد1؛ التبريد2؛ التبريد3) .

(ملاحظة: لا نقوم بلمس العينات من الجهة التي تقام عليها التحاليل.)

شكل رقم 03: آلة تحضير الأقراص المضغوطة (Glasbead)	شكل رقم 04: القرص المضغوط (Glasbead)

- **حساب الكتلة الضائعة من الشوائب: (LOI : Loss On Ignition)**

الكتلة الضائعة من الشوائب (LOI) لعينات الحجارة تحسب بشكل آلي مع النتائج النهائية لعينات الأقراص المضغوطة (Pellets)، لكن بالنسبة لعينات (الطوب، الملاط، التكسية الداخلة، والتكسية الخارجية للجدران) فنقوم بحسابه بالنحو التالي :

- نأخذ كمية 1 غ من العينة ونقوم بحساب وزنها قبل الطهي وهي القيمة m1؛
- نضع العينة في الفرن مدة 18 ساعة في 950° بالنسبة لعينات: الطوب، الملاط، تكسية الجدار الخارجية؛ أما بالنسبة لعينة تكسية الجدران الداخلية فتطهى العينة مدة 15 دقيقة في درجة حرارة 950° لاحتوائها على مادة الجبس؛
- نقوم بقياس وزن العينات بعد الطهي وهي القيمة m2؛
- نحسب قيمة LOI حسب المعادلة التالية: $\text{Loss On Ignition (LOI)} = (m1 - m2) / m1 \times 100$ %

(يدخل الـ LOI في حساب titre حسب المعادلة التالية: $\text{Titre : Cao} \times \text{factor (1.785)} = \text{CaCo3}$)

الفرع الثاني: القيام بتحليل الفلورة بالأشعة السينية (XRF)

توضع العينة على شكلها النهائي بعد ضغطها في جهاز تحليل الأشعة السينية Thermo Scientific™ ARL™ 9900 XRF (أنظر شكل رقم 05).

- القرص المضغوط (Pellet): تظهر نتائجه كاملة بصورة آلية على شاشة الكمبيوتر الموصولة بالجهاز .
- القرص المضغوط (Glasbead): تظهر لنا النتائج بشكل آلي ما عدى نتيجة الـ LOI الذي يحسب مسبقا ويدخل في النتائج الأولية للبرنامج الذي يعيد صياغتها على شكلها النهائي.

الشكل رقم 05: جهاز تحليل الأشعة السينية Thermo Scientific™ ARL™ 9900 (XRF)

المبحث الثالث: نتائج تحليل الفلورة بالأشعة السينية (XRF) لمواد بناء قصر تاجموت

تقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF) تستخدم لتحديد العناصر المكونة للمواد عن طريق قياس الإشعاع الذي ينبعث عند تعرض المادة للإشعاع. تقوم العينة بامتصاص الإشعاع وتنبعث به عند طيف معين يعكس تركيبها الكيميائي. يمكن من خلال هذا التحليل تحديد العناصر الرئيسية في تركيبة مواد البناء اعتمادا على العناصر التالية: SiO_2 ثنائي أكسيد السيليكون (السيليكا)، Al_2O_3 أكسيد الألومنيوم، Fe_2O_3 أكسيد الحديد الثلاثي، CaO أكسيد الكالسيوم، MgO أكسيد المغنيسيوم، SO3 ثلاثي أكسيد الكبريت، K_2O أكسيد البوتاسيوم، Na_2O أكسيد الصوديوم .

ولقد تم إجراء التحاليل بمخبر الخط الثاني لمجمع مصنع الإسمنت (جيكا)، بعين الكبيرة ولاية سطيف، وذلك يومي 06-07 ديسمبر 2023. والجدول التالي يلخص نتائج التحاليل.

جدول يبين نتائج التحليل بتقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF) لمواد بناء قصر تاجموت بالنسبة المئوية %

المكونات	عينات مواد البناء							
	حجارة بناء 1	حجارة بناء 2	حجارة بناء 3	حجارة الصخرة الأم	الطوب	الملاط	تكسية الجدار الخارجي	تكسية الجدار الداخلي
SiO_2 ثنائي أكسيد السيليكون (السيليكا)	8.26	88.63	1.04	9.46	47.05	43.23	64.75	58.55
Al_2O_3 أكسيد الألومنيوم	2.65	2.19	0.76	2.95	5.31	6.36	1.89	1.48
Fe_2O_3 أكسيد الحديد الثلاثي	1.36	1.29	1.69	1.73	2.51	3.12	1.17	0.89
CaO أكسيد الكالسيوم	44.15	13.66	51.24	43.95	18.76	18.80	15.52	18.17
MgO أكسيد المغنيسيوم	1.91	0.68	1.50	1.36	1.39	1.51	0.62	1.21
SO_3 ثلاثي أكسيد الكبريت	0.36	0.04	0.20	0.30	0.30	0.43	1.23	0.47
K_2O أكسيد البوتاسيوم	0.980	0.215	0.417	1.058	1.57	2.09	0.39	0.34
Na_2O أكسيد الصوديوم	0.134	0.538	0.073	0.127	0.24	0.28	0.18	0.18
LSF مؤشر نسبة الأليمنيا إلى السيليكا	162.6	5.4	1040.4	141.4	-	-	-	-
SM مؤشر السيليكا	2.06	25.47	0.43	2.02	-	-	-	-
AM مؤشر الأليمنيا	1.94	1.70	0.45	1.71	-	-	-	-
LOI الكتلة الضائعة من الشوائب	40.19	-7.24	43.06	39.07	20.22	21.25	12.34	17.46
Titre التركيز (تركيز المادة في المحلول)	78.81	24.38	91.46	78.44	77.13	75.83	85.76	81.29

المطلب الأول: مناقشة النتائج

نتائج تحليل الفلورة بالأشعة السينية (XRF) توفر معلومات حول التركيب الكيميائي لمواد البناء الأثرية ويمكن استنتاج ما يلي:

الفرع الأول: الحجارة

لقد أخذت أربع (4) عينات من الحجارة: الأولى هي حجارة الصخرة الأم، ونقصد بها الهضبة الصخرية التي بني عليها قصر تاجموت، والهدف من دراسة هذه العينة هو معرفة مصدر حجارة البناء التي بني بها القصر؛ أما حجارة البناء، فبعد معاينة القصر والملاحظة بالعين المجردة لاحظنا ثلاثة (3) أنواع مختلفة من الحجارة البناء هي حجارة البناء1 وحجارة البناء2 وحجارة البناء3.

من خلال نتائج التحاليل نستطيع أن نميز الاختلاف بين الحجارة من خلال تركيبها الكيميائي.

- **حجارة الصخرة الأم:**

أظهرت النتائج لعينة حجارة الصخرة الأم ما يلي :

- القيمة العليا هي لـ CaO بنسبة (43.95%)، والقيمة للمكون الثاني الأعلى نسبة هو SiO_2 بنسبة (9.46%)؛
- وجود نسبة ضئيلة من Al_2O_3 بنسبة (2.95%) و Fe_2O_3 بنسبة (1.73%)؛
- قيم منخفضة للمكونات الأخرى، MgO بنسبة (1.36%) ، SO_3 بنسبة (0.30%) ، K_2Oبنسبة (1.058%)، و Na_2O بنسبة (0.127%) .

من خلال التركيب الكيميائي للعينة يمكن تصنيف الجحر إلى حجر المرل (الطين الجيري) (Marlstone) ، وهو من الصخور الرسوبية.

حجر المرل (الطين الجيري) (Marlstone): وهو صخرة متماسكة تتمتع بتركيبة تقريباً مماثلة للطمي؛ يعتبر أنها حجر جيري طيني أرضي أو غير نقي. معروف أيضًا باسم مارلايت.[7]

الشكل رقم 06: حجارة الصخرة الأم

- **حجارة البناء 1** :

بالنسبة لعينة حجارة البناء 1 كانت نتائج التحليل كما يلي:

- فكانت أكبر قيمة للمكون CaO بنسبة (44.15%)، والقيمة المتوسطة هي SiO_2 بنسبة (8.26%)؛
- مع وجود نسبة ضئيلة من Al_2O_3 بنسبة (2.65%) و Fe_2O_3 بنسبة (1.36%)؛
- قيم منخفضة لـ MgO بنسبة (1.91%) ، SO_3 بنسبة (0.36%) ، K_2O بنسبة (0.980%)، و Na_2O بنسبة (0.134%) .

هذه التركيب الكيميائية يمكن أن تكون لحجر الصلصال (Claystone) ، وهو من الصخور الرسوبية .

حجر الصلصال (Claystone): يتكون أساساً من مواد دقيقة، حيث تشكل النسبة الكبرى منها المعادن الطينية. يعرف أيضا حجر الطين ، وهو نوع من الصخور التي تمتاز بملمسها الملساء ولونها قريب من اللون الأرجواني. ويتألف غالباً من الفلسبار البلوري، مما يمنحه خصائص فريدة تجعله مفيداً في مجموعة متنوعة من التطبيقات. [8]

الشكل رقم 07: حجارة البناء 01

- **حجر البناء 2** :

نتائج تحليل عينة حجارة البناء 2 كانت على النحو التالي:

- أكبر قيمة للمكون SiO_2 بنسبة عالية (88.63%)، والقيمة المتوسطة هي CaO بنسبة (13.66%)؛
- مع وجود نسبة ضئيلة من Al_2O_3 بنسبة (2.19%) و Fe_2O_3 بنسبة (1.29%)؛
- قيم منخفضة لـ MgO بنسبة (0.68%) ، SO_3 بنسبة (0.04%) ، K_2O بنسبة (0.215%)، و Na_2O بنسبة (0.538%) .

يمكن تصنيف هذه التركيب الكيميائية للحجر الرملي (Sandstone) ، وهو أحد أنواع الصخور الرسوبية .

الحجر الرملي (Sandstone): حجر مكون من حبيبات رمل ملتصقة معًا. قد تكون حبيبات حجر الرمل في بعض الأحيان دقيقة لدرجة أنه يصعب تمييزها بالعين المجردة؛ في حالات أخرى، يكون حجمها مساويًا لحجم الجوزة أو البيضة، كما في حجارة الحصى المعروفة باسم الكونجلوميرات، والأحجار الطينية، والبورش، وما إلى ذلك. الاسمنت الذي يلصق الجزيئات السيليكونية لحجارة الرمل قد يكون جيريًا، أو طينيًا، أو سيليكونيًا: عندما يكون سيليكونيًا، يشبه حجر الرمل أحيانًا الكوارتز. تتفاوت حجارة الرمل بين أنها متينة ومسامية، ومحفورة، مع كل تدرج وسيط، من الرمال الخالية تمامًا إلى أصعب حجر الرمل. تختلف في اللون، من الأبيض إلى الأحمر أو البني، لكن لونها الأكثر شيوعًا هو الرمادي أو الأبيض الرمادي: أحيانًا يكون لونها متجانسًا، وأحيانًا أخرى يكون متعدد الألوان.[9]

الشكل رقم 08: حجارة البناء 02

- **حجر البناء 3:**

كانت نتائج تحليل عينة حجارة البناء 3 كما يلي:

- أكبر قيمة للمكون CaO بنسبة (44.15%)، والقيمة المتوسطة هي SiO_2 بنسبة (8.26%)؛
- وجود نسبة ضئيلة من Al_2O_3 بنسبة (2.65%) و Fe_2O_3 بنسبة (1.36%)؛
- قيم منخفضة لـ MgO بنسبة (1.91%) ، SO_3 بنسبة (0.36%) ، K_2O بنسبة (0.980%)، و Na_2O بنسبة (0.134%).

يمكن تصنيف هذه التركيب الكيميائية ضمن للحجر الجيري (Limestone)، وهو أحد أنواع الصخور الرسوبية.

الحجر الجيري (Limestone): هو نوع من المعادن يشمل العديد من الأصناف. وبالرغم من تنوع المظهر الخارجي للحجر الجيري، إلا أنه في حالته النقية، يتألف بشكل أساسي من 57 جزء من الجير و43 جزء من حمض الكربونيك؛ ولكن في بعض الصخور، يتم خلط الحجر الجيري مع المغنيسيا أو الألومينا أو السيليكا أو الحديد.[10]

الشكل رقم 09: حجارة البناء 3

نلاحظ من خلال التحليل تقارب كبير بين مكونات حجارة الصخرة الأم ومكونات حجارة البناء 1 واختلاف تام عن حجارتي البناء 2 و3، مما يوضح وجود ثلاث أصناف من الحجارة .

وهذا ما يقودنا إلى بعض الاستنتاجات:

- حجارة البناء تختلف عن حجارة الصخرة الأم الذي بني عليها القصر مما يثبت أن مصدر الحجارة ليس من الموقع؛
- اختلاف بين مكونات حجارة البناء الثلاث وهذا ما يوحي عن اختلاف مصادر الحجارة، ويؤكد تعدد المقالع؛
- كما يمكن أن يكون سبب اختلاف أنواع الحجارة في كون المنزل خضع لترميمات سابقة من طرف ساكنيه؛
- يمكن تحديد نوع الحجر إلى حد كبير من خلال تركيبه الكيميائي وذلك عن طريق قياس النسب المئوية لمكونات الحجر، فيمكننا التنبؤ بنوعية الحجر وتصنيفه. فحجارة الصخرة الأم هي من الطين الجيري، وحجارة البناء 1 هي من الصلصال، أما حجارة البناء 2 فهي حجر رملي، وحجرة البناء 3 حجر جيري. وكل هذه الحجارة تنتمي إلى الصخور الرسوبية .

تم تشكيل الصخور الرسوبية من مواد سابقة تم تفتيتها وتحللها بفعل الظروف الجوية المتنوعة. يتم ترسيب هذه الصخور المفتتة في مناطق تجمعها الأنهار، البحار، والرياح، أو حتى الثلوج. تسهم عمليات التجوية في هذه

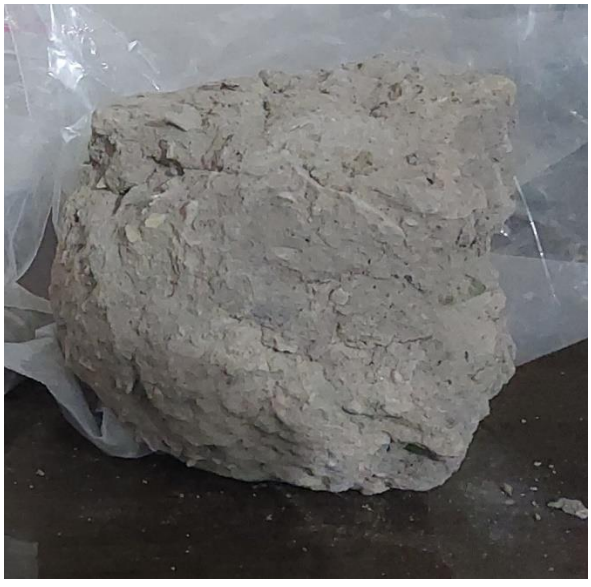
العملية، حيث يحدث تحلل كيميائي بواسطة الأكسدة والتميؤ[11] (Hydrolysis)، وتحلل فيزيائي بسبب التمدد والانكماش نتيجة للتغيرات في درجات الحرارة. ونتيجةً مباشرةً لهذه العمليات، تتكون المعادن الطينية والأملاح، بينما تظل المعادن المقاومة لعمليات التحلل مثل الكوارتز والزركون والغرانيت والمغناطيس. من خصائص الصخور الرسوبية أنها تتواجد على هيئة طبقات أفقية أو مائلة، تتميز عن بعضها في النسيج واللون والسمك، كما يمكن أن تحتوي على بعض المستحاثات، ومواد معدنية كالفوسفات والفحم والبترول. إن التركيب المعدني للصخور الرسوبية مختلف فمنه ما يكون من مواد كربونية كالفحم، ومنه ما يكون من كربونات الكالسيوم (الحجر الجيري) أو معادن مركبات السيليكات الماتية للألمنيوم (الكاولين) كالحجارة الطينية، أو مواد سيليكية كالحجارة الرملية.[12] وهي معظم المكونات التي تواجدت في حجارة بناء قصر تاجموت حسب ما بينته التحاليل (حجارة رملية، حجارة طينية، حجارة جيرية).

الفرع الثاني: الطوب

بالنسبة لنتائج تحليل عينة الطوب فكانت:

- قيمة SiO_2 هي (47.05%)، وCaO (18.76%)؛ ونسبة Al_2O_3 هي (5.31%)، و Fe_2O_3 (2.51%)؛
- قيمة MgO بنسبة (1.39%) ، SO_3 بنسبة (0.30%) ، K_2O بنسبة (1.57%)، وNa_2O (0.24%).

بناءً على هذه النتائج، يبدو أن الطوب يحتوي على مكونات طبيعية.



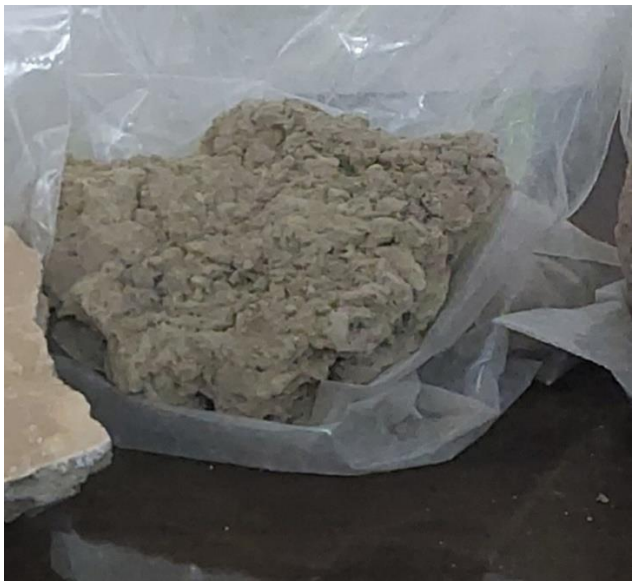
الشكل رقم 10: الطوب

الفرع الثالث: الملاط

بالنسبة لنتائج تحليل عينة الملاط فكانت:

- قيمة SiO_2 هي (43.23%)، وCaO (18.80%) ؛ ونسبة Al_2O_3 هي (6.36%)، و Fe_2O_3 (3.12%)؛
- قيمة MgO بنسبة (1.51%)، SO_3 بنسبة (0.43%)، K_2O بنسبة (2.09%)، وNa_2O (0.28%).

نلاحظ تقارب كبير بينه وبين مكونات الطوب. وهذا يعني استعمال نفس المكونات مثل الطين والجير، وهذا ما هو معروف قديما في صناعة مواد البناء التقليدية، فعادة ما يضاف الماء لمكونات الطوب ليصبح أكثر سهولة لاستعماله للربط بين الحجارة أو/ والطوب مع استعمال تراب أكثر ومواد ربط أقل حجما (كالحصى والحجارة الصغيرة) مقارنة مع التي تستعمل في الطوب، وهذا ما يفسر اختلاف في نسب المكونات.



الشكل رقم 11: الملاط

الفرع الرابع: تكسية الجدران

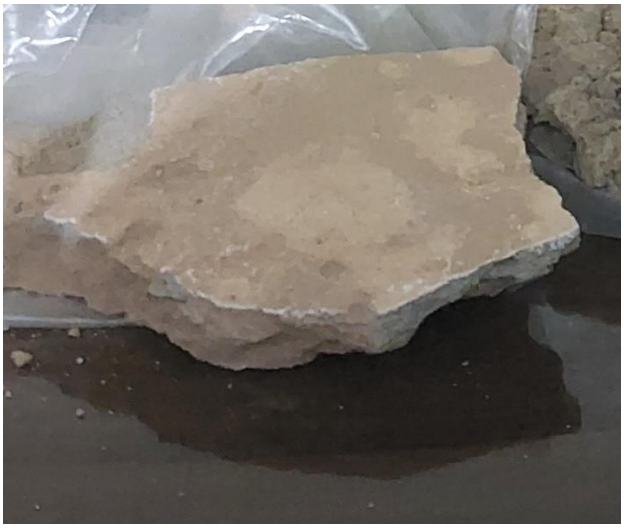
- **تكسية الجدران الخارجية:**

بالنسبة لنتائج تحليل عينة التكسية الخارجية للجدران فكانت:

- قيمة SiO_2 هي (64.75%)، وCaO (15.52%)؛ ونسبة Al_2O_3 هي (1.89%)، و Fe_2O_3 (1.17%)؛

- قيمة MgO بنسبة (0.62%) ، SO_3 بنسبة (1.23%) ، K_2O بنسبة (0.39%)، و Na_2O (0.18%).

بناءً على هذه النتائج، يمكن القول إن تكسية الجدار الخارجية تحتوي على مكونات مشابهة للطوب والملاط، ولكن مع تركيز مختلف. السيليكون والكالسيوم يبدوان مكونين رئيسيين في هذه التكسية، مما يعطيها خصائص تحمي الجدار وتعزز من متانته.



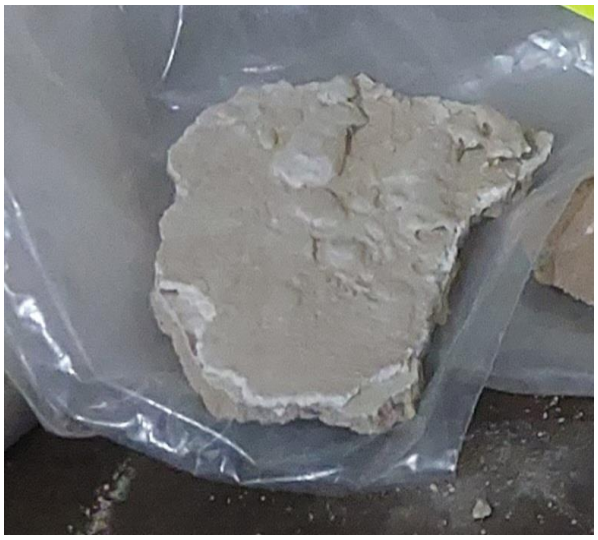
الشكل رقم 12: تكسية الجدران الخارجية

- **تكسية الجدران الداخلية:**

بالنسبة لنتائج تحليل عينة التكسية الداخلية للجدران فكانت:

- قيمة SiO_2 هي (58.55%)، وCaO (18.17%)؛ ونسبة Al_2O_3 هي (1.48%) و Fe_2O_3 (0.89%)؛
- قيمة MgO بنسبة (1.21%) ، SO_3 بنسبة (0.47%) ، K_2O بنسبة (0.34%)، و Na_2O (0.18%).

من خلال نتائج التحاليل تبين أن تكسية الجدار الداخلية تحتوي على مكونات رئيسية مشابهة للتكسية الخارجية، مما يشير إلى أنها قد تكون مصنوعة من مواد طبيعية مثل الجير والطين.



الشكل رقم 13: تكسية الجدار الداخلية

نستطيع القول في الأخير أننا استطعنا من خلال تحليل الفلورة بالأشعة السينية (XRF) معرفة مكونات مواد البناء بشكل دقيق، وهذا ما يساعد في تحديد أسباب التلف، وبالتالي اتخاذ الإجراء المناسبة عند تدخلات الصيانة والترميم على المباني بالقصر .

فقد استطعنا من خلال التحليل تحديد أنواع الحجارة التي استعملت في البناء بقصر تاجموت من خلال تركيبها الكيميائي، والتي اختلفت عن حجارة الصخرة الأم للقصر، فحجارة الصخرة الأم هي من الطين الجيري، وحجارة البناء 1 هي من الصلصال، أما حجارة البناء 2 فهي حجر رملي، وحجرة البناء 3 حجر جيري. وكلها حجارة رسوبية .

ويجدر بنا أيضا الإشارة هنا إلى أهم مبدأ من مبادئ الترميم على المستوى العالمي (ميثاق آثينا 1931، ميثاق البندقية 1964) ، وهو استخدام نفس المواد الأصلية للأثر المراد ترميمه أو المواد القريبة منها، فالتحليل بتقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF) لمواد بناء قصر تاجموت مكنتنا من معرفة تركيب هذه المواد مما يمكننا من استعمال نفس المواد أو المواد ذات التركيب القريب منها وهذا بمقارنة ومطابقة المكونات الأساسية لهذه المواد، كما استطعنا تحديد بعض المواد المستعملة كأنواع الحجارة فيمكننا هذا من مقارنة الحجارة المراد استعمالها في الترميم خاصة تلك التي يرجح أنها من نفس المقالع.

خـاتمـــة:

تتمتع المباني التراثية في قصر تاجموت المصنوعة من الحجر والطوب والمواد الطبيعية بأهمية ثقافية وتاريخية فريدة فهي عمارة مستدامة يجب الحفاظ عليها خاصة في ظل التغير المناخي المتداع، شرط أن يكون التدخل وفقًا للأساليب العلمية والمبادئ العالمية، لذا يجب أن تكون أداة اتخاذ القرار مبنية على الأدلة العلمية لضمان الحفاظ

على أصالة القصر، وهذا ما يلزم إجراء اختبارات علمية مثل تحليل الفلورة بالأشعة السينية (XRF) ، والتي تتيح التعرف الدقيق على العناصر والمركبات الموجودة في مواد البناء التراثية خاصة المصنوعة منها بالحجارة والطوب .

هذه المعلومات ذات أهمية تمكننا من :

- حفظ المواد: قد تتفاعل مواد مختلفة بشكل مختلف مع العوامل البيئية، ومعرفة التركيب الدقيق لمواد البناء وفهم تركيبها يساعد في صياغة استراتيجيات الحفظ التي تكون مصممة خصيصًا لها .
- اتخاذ القرارات في الصيانة: الصيانة الدورية ضرورية للحفاظ على الهياكل التاريخية. يساعد تحليل مواد البناء في تقييم حالتها الحالية، وتحديد أي تدهور أو ضرر، واتخاذ قرارات حول أكثر التدخلات فعالية .
- مراقبة الجودة: خلال أي تدخل، يكون ضمان جودة المواد المستخدمة أمرًا حاسمًا. يوفر التحليل وسيلة للتحقق من تطابق المواد المستعملة في الترميم مع تركيب المواد الأصلية، مما يحافظ على النزاهة التاريخية والهيكلية للمباني .
- الوقاية من المزيد من الضرر: إن فهم تركيب مواد البناء يساعد في تحديد المخاطر والضعف المحتملة، فعلى سبيل المثال، إذا كانت بعض المواد عرضة لتلوث الملح أو الرطوبة، يمكن اتخاذ تدابير مسبقة لتجنب المزيد من الضرر .

في الختام، نستطيع القول بأن التحليل بتقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF) لمواد بناء قصر تاجموت يشكل خطوة أساسية في مشروع ترميمه والحفاظ عليه كإرث ثقافي معماري وعمراني، مما يمنح هذا الأسلوب العلمي صانعي القرار المعرفة اللازمة لتنفيذ استراتيجيات فعالة، ويضمن الحفاظ طويل الأمد على الخصائص المعمارية للقصر، هذه الإجراءات الأساسية تعتبر مرجعًا وإرشادًا تقنيًا لمشاريع الحفاظ على القصور في المستقبل بمنطقة الأغواط ككل.

المراجع:

1- إبراهيم محمد عبد الله، ترميم الآثار الحجرية، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية مصر،2014، ص 23-24.
2- علي حملاوي، قصر تاجموت من العمارة التقليدية بالجزائر، مجلة الفيصل، العدد 304، جانفي 2002، ص 14-15.
3- علي غليس ناهي وحسين جوبان عربي وطارق جمعة المولى، "الظواهر المورفوموناخية في المنطقة الشرقية من محافظة ميسان باستخدام التحسس النائي"، مجلة الخليج العربي، المجلد 45، العدد 3-4، 2017، ص 328.
4- قانون 98-04 الخاص بحماية التراث، الجريدة الرسمية، السنة الخامسة والثلاثون، العدد 44، الجزائر، 17 جوان 1998.
5- نعيمة عبد القادر أحمد ومحمد أمين سليمان، علم البلورات والأشعة السينية، دار الفكر العربي، القاهرة- مصر، الطبعة الأولى، 2005، ص 365-367.
6- Mark D. Licker, Dictionary of geology and Mineralogy, McGraw-Hill, 2nd Edition, New York, 2003, p. 319.
7- Ministry of Culture, Directorate of Conservation and Restoration of Cultural Heritage, Algeria, 17/09/2019.
8- Peter Brouwer, THEORY OF XRF Getting acquainted with the principles, edition PANalytical B.V., 3rd edition, AA Almelo-Netherlands, 2010, p. 08.

9- Pietro Laureano, Les Ksour du Sahara algérien: Un exemple d'architecture globale, ICOMOS INFORMATION Preservation restoration of monuments and sites, Edizioni Scientifiche Italiane, July/September N. 3-1987, p. 24.
10- William Humble, M. D., F. G. S., Dictionary of geology and mineralogy comprising such terms in natural history as are connected with the study of geology, Charles Griffin and company, 3rd edition, London, 1860, p.p. 92; 259; 391.
11- La norme européenne EN 196-2§5.1.4 par l'Association Française de Normalisation (AFNOR).
12- La norme européenne EN 196-2 § 5.7.5 par l'Association Française de Normalisation (AFNOR).

الهوامش:

(1) قانون 98-04 الخاص بحماية التراث، الجريدة الرسمية، السنة الخامسة والثلاثون، العدد 44، الجزائر، 17 جوان 1998.

(2) BERNARD, A. (s.d.), Afrique septentrionale et occidentale, P. VIDAL DE LA BLACHE, 11, p. 93.

(3) Ministry of Culture, Directorate of Conservation and Restoration of Cultural Heritage, 17/09/2019.

(4) علي حملاوي، "قصر تاجموت من العمارة التقليدية بالجزائر"، مجلة الفيصل، المملكة العربية السعودية، العدد 304، جانفي 2002، ص 14-15.

(5) Peter Brouwer, THEORY OF XRF Getting acquainted with the principles, 3rd edition, edition PANalytical B.V., AA Almelo-Netherlands, 2010, p.p. 08, 10.

(6) نعيمة عبد القادر أحمد ومحمد أمين سليمان، علم البلورات والأشعة السينية، الطبعة الأولى، 2005، دار الفكر العربي، القاهرة- مصر، ص 365-367.

(7) Mark D. Licker, Dictionary of geology and Mineralogy, 2nd Edition, McGraw-Hill, New York, 2003, p. 319.

(8) William Humble, M. D., F. G. S., Dictionary of geology and mineralogy comprising such terms in natural history as are connected with the study of geology, 3rd edition, Charles Griffin and company, London, 1860, p. 92.

(9) William Humble, M. D., F. G. S., Dictionary of geology and mineralogy comprising such terms in natural history as are connected with the study of geology, 3rd edition, Charles Griffin and company, London, 1860, p. 391.

(10) William Humble, M. D., F. G. S., Dictionary of geology and mineralogy comprising such terms in natural history as are connected with the study of geology, 3rd edition, Charles Griffin and company, London, 1860, p. 259.

(11) التميؤ: هو عملية تفتت أو تغيير مادة كيميائية بواسطة الماء، وهي إحدى العمليات التي تحدث تجويةً للصخور بشكل كيميائي. يشير التميؤ إلى تفاعل الماء أو بخاره مع عناصر مكونة للمعادن في الصخور، مما يؤدي إلى زيادة حجمها وتوسعها. ونتيجة لهذا التوسع، يتكون ضغط يؤثر على الصخر، مما يساهم في تدهوره وتفككه. أنظر: علي غليس ناهي وحسين جوبان عربي وطارق جمعة المولى، "الظواهر المورفوماخية في المنطقة الشرقية من محافظة ميسان باستخدام التحسس النائي"، مجلة الخليج العربي، المجلد 45، العدد 3-4، 2017، ص 328. للمزيد انظر: حكيم عبد الجبار صوالحة، الجيولوجيا العامة، دار الميسرة للنشر والتوزيع والطباعة، الأردن، عمان، 2005، ص 134.

(12) إبراهيم محمد عبد الله، ترميم الآثار الحجرية، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية مصر،2014، ص 23-24.