



معلومات البحث

تاريخ الاستلام: 2026-05-12

تاريخ القبول: 2026-09-19

Printed ISSN: 2352-989X

Online ISSN: 2602-6856

دور التحاليل البنيوية والنسيجية في ترميم المواد الأثرية:

دراسة تطبيقية على الملاط والطابية بمعلم المنصورة المرينية (تلمسان، الجزائر)

*The Role of Structural and Textural Analyses in the Restoration of Archaeological Materials: An Applied Study on Mortar and Rammed Earth at the Merinid Mansoura Monument (Tlemcen, Algeria)*عبد القادر عراب صباح¹، سعاد بن شامة²¹مخبر الدراسات التاريخية والأثرية جامعة تيبازة (الجزائر)،

arabsebah.abdelkader@univ-tipaza.dz

²مخبر الدراسات التاريخية والأثرية جامعة تيبازة (الجزائر)،

s.benchamma17@gmail.com

الملخص: يهدف هذا البحث إلى إبراز الدور المحوري للتحاليل البنيوية والنسيجية (مثل FTIR و SEM-EDX) في فهم الخصائص الفيزيوكيميائية للمواد الأثرية، وذلك بهدف تطوير مواد ترميم متوافقة كيميائياً وفيزيائياً مع الأصل الأثري، وضمان نجاح عمليات الصيانة والترميم.

أظهرت النتائج وجود اختلافات جوهرية في التركيب بين الملاط الأصلي لأسوار مدينة المنصورة المرينية وبين مواد الترميم الحديثة (2007م) والاستعمارية، مما يؤكد فشل الوصفات التقليدية. وتخلص الدراسة إلى أن هذه التحاليل ليست أدوات تشخيصية فقط، بل هي ركيزة أساسية حتمية لأي مشروع ترميم ناجح، وتدعو إلى وضع وصفة مرجعية علمية للترميم.

الكلمات المفتاحية: مواد ترميم، التحاليل البنيوية والنسيجية، الملاط الأثري، المنصورة المرينية، المجهر الإلكتروني الماسح.

Abstract:

This research aims to highlight the pivotal role of structural and textural analyses (such as FTIR and SEM-EDX) in understanding the physicochemical properties of archaeological materials, with the objective of developing restoration materials that are chemically and physically compatible with the archaeological original, and ensuring the success of maintenance and restoration operations.

The results showed substantial differences in composition between the original mortar of the walls of the Merinid Mansourah city and the modern (2007) and colonial restoration materials, which confirms the failure of traditional recipes. The study concludes that these analyses are not merely diagnostic tools, but rather an essential and indispensable cornerstone for any successful restoration project, and calls for the development of a scientific reference recipe for restoration.

Keywords: Restoration materials, structural and textural analyses, archaeological mortar, Merinid Mansourah, scanning electron microscope.

1. مقدمة:

1.1- السياق العام

شهدت العلوم الإنسانية والتقنية في العقود الأخيرة تحولاً جذرياً نحو التكامل المنهجي، متجاوزة بذلك الحدود التقليدية بين التخصصات. فلم يعد علم الآثار علماً يقتصر على التنقيب والتصنيف النمطي، بل تحول إلى حقل معرفي واسع يستثمر أحدث ما توصلت إليه الفيزياء والكيمياء وعلوم المواد لفهم أعمق للمخلفات الحضارية. وهذا التكامل لم يأت اعتباراً، بل استجابة لحاجة ملحة: فالمادة الأثرية لا تحمل في طياتها معلومات عن عمرها الزمني فحسب، بل عن البيئة التي نشأت فيها، والتقنيات التي صنعتها، والتفاعلات التي تعرضت لها، وعوامل الخطر التي تهدد بقاءها. والمحافظة على هذا الموروث المادي لا تعني فقط حمايته من الاندثار، بل استمرارية قيمته المعرفية والتاريخية للأجيال القادمة. (ابن منظور، 2000)

في هذا السياق، كان علم صيانة وترميم المواد الأثرية - سواء كانت منقولة كالمقطع الفخارية والمعدنية أو ثابتة كالمباني والمنشآت المعمارية - من أكبر المستفيدين من توظيف التكنولوجيات الحديثة (س، 2010). فالترميم العلمي السليم لم يعد مجرد حرفة تقوم على الخبرة الشخصية والمعاينة البصرية، بل أصبح عملية معقدة تتطلب فهماً دقيقاً لطبيعة المادة الأصلية، ودراسة وافية لعوامل في تقريرها حول ملاط الترميم للمباني RILEM TC 203-RHM تلفها، واختياراً مدروساً لمواد التدخل. وقد أكدت اللجنة الفنية التاريخية أن الهدف الأساسي هو تطوير أساليب وتوصيات لتحسين جودة ممارسات الترميم وتجنب الأخطاء الكثيرة التي تحدث في (الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية الميدان عند اختيار ملاط الترميم، مما يزيد بشكل كبير من خطر إلحاق الضرر بالمباني التاريخية (عراب صباح عبدالقادر، 2020). 1967. المتعلق بحماية الآثار، في 20 ديسمبر 1967)¹

لقد أدرك المختصون أن التدخل الترميمي غير المدروس يمكن أن يكون أكثر ضرراً من الإهمال نفسه. فإضافة مواد غير متوافقة مع المادة الأصلية - كالملاط الإسمنتي على الجدران الجيرية القديمة - قد تؤدي إلى تشققات، وتراكم الرطوبة، وتسريع معدلات التلف بدلاً من إبطائها (construction, 1998). ومن هنا تبرز ضرورة التحليل العلمي كخطوة تمهيدية لا غنى عنها في أي مشروع ترميمي جاد. وقد شددت اللجنة الفنية RILEM TC 277-LHS على أن إجراءات الاختبار الحالية لملاط الترميم تتبع معايير وضعت أساساً للمواد الإسمنتية الحديثة، مما يؤدي إلى نتائج خاطئة عند تطبيقها على الملاط الجيري التقليدي، لأن هذه الإجراءات تستند إلى افتراضات تقنية صالحة فقط للروابط الإسمنتية (تلمسان، 2010-2011)

1.2. معلم المنصورة:

تقع مدينة المنصورة المرينية على بعد حوالي 2 كيلومتر شمال شرق مدينة تلمسان (غرب الجزائر)، وقد شُيّدت عام 699هـ/1299م كمعسكر عسكري بهدف حصار مدينة تلمسان الزيرية. تحول هذا المعسكر بسرعة إلى مدينة متكاملة، تضم مسجداً جامعاً فخماً كان يُعدّ في عصره من أكبر مساجد المغرب الإسلامي، وأسواراً متينة، وأبراجاً شاهقة، وقصوراً. بلغت المدينة أوج ازدهارها في عهد السلطان أبي الحسن المريني (1331-1348م) الذي اتخذها عاصمة لمملكته الممتدة من تونس إلى المحيط الأطلسي. (s.d)

تُعتبر المنصورة اليوم شاهداً صامداً على براعة البنّائين المرينيين في استخدام تقنيات البناء المتطورة، ومنها الملاط الجيري، والطابية (وهي تقنية بناء تعتمد على دمك طبقات من التراب الممزوج بالجير والمواد العضوية داخل قوالب خشبية)، والأحجار المنحوتة. لكن هذا

المعلم الفريد - رغم قيمته التاريخية والأثرية العالية - يعاني اليوم من تدهور متسارع، يكاد يطمس معالمه ويحو آثاره. وقد تم تصنيف الموقع كتراث وطني بموجب الأمر رقم 67-281 المؤرخ في 20 ديسمبر 1967. (Maurenbrecher, 2016).

ما يثير القلق بشكل خاص أن التدهور لم يقتصر على عوامل الزمن الطبيعية، بل تفاقم بسبب تدخلات ترميمية سابقة غير مدروسة. فقد خضعت المنصورة لأعمال ترميم في ثلاث مراحل رئيسية:

- **مرحلة التشييد الأصلية: العصر المريني (القرن 14م).**
- **مرحلة الاستعمار الفرنسي: بين عامي 1874 و 1904،** قادها المهندس المعماري إدموند دوتوا (Edmond Duthoit) الذي أوفدته إدارة الآثار التاريخية الفرنسية لوضع تقارير عن حالة المباني وتحديد احتياجاتها. (203-RHM., Repair mortars for historic masonry (Technical Committee), 2003-2010)
- **مرحلة الترميم الحديثة: في إطار احتفالية "تلمسان عاصمة الثقافة الإسلامية" عام 2011.** (277-LHS., 2017-2024). ومع كل هذه التدخلات، عاد المعلم إلى حالة متردية، حيث ظهرت تشققات في الأسوار، وانفصال لطبقات التليس، ونمو أعشاب ضارة في الشقوق، واختلاف واضح في اللون والملمس بين الملاط الأصلي ومواد الترميم المستخدمة. وقد أشارت دراسات سابقة إلى أن عدم التوافق بين المواد الأصلية ومواد الترميم يُعد من أهم أسباب فشل التدخلات الترميمية في المباني التاريخية (Groot C. A., 2004) (Van Hees, 2004). انطلاقاً من هذا الواقع، تبرز الإشكالية المركزية لهذه الدراسة: كيف يمكن للتحاليل البنيوية والنسجية أن تساهم في التعرف الدقيق على تركيبة المادة الأثرية الأصلية (الملاط والطابية)، وبالتالي توجيه اختيار مواد ترميم متوافقة ومتناغمة؟

1.3. أهداف الدراسة ومنهجيتها

تهدف هذه الدراسة إلى:

1. تقديم مراجعة شاملة لأهم التحاليل البنيوية والنسجية المستخدمة في دراسة المواد الأثرية، مع شرح مبادئ عملها وفوائدها.
2. تطبيق منهجية تحليلية متكاملة على عينات من الملاط والطابية المأخوذة من أسوار المنصورة، تشمل الملاحظة بالمجهر الثنائي، والتحليل بالأشعة تحت الحمراء (FTIR)، والتحليل بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM-EDX) (Middendorf B., 2004).
3. مقارنة تركيبة الملاط الأصلي بتركيب مواد الترميم الاستعمارية والحديثة، وتحديد درجات التوافق أو عدم التوافق.
4. تقديم توصيات عملية لتحضير ملاط ترميم مرجعي منسجم مع المواد الأصلية (Drdácký, 2004).

أما منهجية البحث، فتقوم على ثلاث مراحل متكاملة:

- **المرحلة الميدانية: معاينة الموقع، تشخيص الأضرار، ورفع العينات بالتعاون مع الديوان الوطني لتسيير الممتلكات الثقافية المحمية.**
- **المرحلة التحليلية: إخضاع العينات للتحاليل الفيزيوكيميائية في المخبر (Van Balen, 2005).**

- المرحلة التطبيقية: تحليل النتائج واستخلاص المؤشرات لصياغة وصفة ترميمية مرجعية. (Hughes, 2016)

2. التحاليل البنيوية والنسجية للمواد الأثرية:

يمكن تقسيم تقنيات التحليل المستخدمة في دراسة المواد الأثرية إلى ثلاث فئات رئيسية: التحاليل البصرية، والتحاليل الطيفية، والتحاليل البنيوية. وتعتمد كل منها على مبادئ فيزيائية وكيميائية مختلفة، لكنها تتكامل لتقديم صورة شاملة عن طبيعة العينة وخواصها. وقد أكدت الأبحاث الحديثة أن استخدام مجموعة متكاملة من تقنيات التحليل –مثل FTIR ، XRD ، SEM-EDX- يسمح بالكشف عن التركيب المعدني والكيميائي الدقيق للمونة التاريخية، وتحديد مصادر المواد الخام المستخدمة فيها. (Moropoulou, 2000)

1.2 التحاليل البصري: (Optical Microscopy)

تعد التحاليل البصرية الخطوة الأولى والأساسية في أي دراسة مخبرية للمواد الأثرية، لأنها غير متلفة (Non-destructive) ولا تحتاج إلى تحضيرات معقدة للعينات. (Elett, 2002)

أ. المكبر الإلكتروني: يهدف هذا الجهاز إلى تكبير حجم عناصر الحبيبات مما يجعلها سهلة الملاحظة والقراءة (الصورة رقم 01)، من خلاله يمكن معرفة طبيعة المواد المكونة للعينة. يسمح المكبر الإلكتروني بما يلي:

- ملاحظة الألوان والبنية الحبيبية للمادة. (الصورة رقم 02).
- التعرف على وجود شوائب أو مواد دخيلة مرئية بالعين المجردة الموسعة.



صورة رقم 02: صورة لتحليل عينة من الملاط لمنشأة المنصورة
عن طريق المكبر الإلكتروني



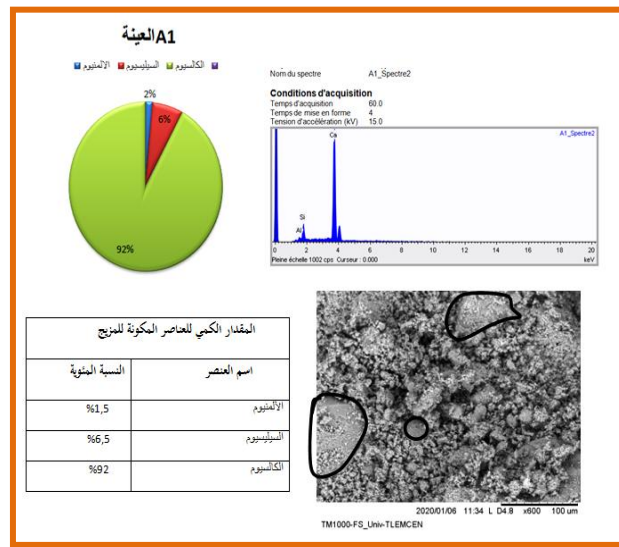
صورة رقم 01: المكبر الإلكتروني

ب. المجهر الإلكتروني الماسح: (SEM-EDX) يُعد المجهر الإلكتروني الماسح قفزة نوعية في عالم التحليل المجهر، حيث يستخدم حزمة من الإلكترونات بدلاً من الضوء لتكوين الصورة، مما يتيح تكبيراً يصل إلى 100,000 مرة أو أكثر. وقد استخدمت هذه التقنية بنجاح في تحليل عينات الملاط من مواقع أثرية متعددة، مثل دراسة الحص من الكنائس البيزنطية المتأخرة في كاستوريا باليونان، حيث كشفت التحاليل عن وجود مكونات كلسية دقيقة مع تجمعات سيليكات الألومنيوم، (Stefanidou M. &, 2011)

ما يجعل المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أداة استثنائية في دراسة المواد الأثرية هو إمكانية ربطه بجهاز تحليل طاقة الأشعة السينية المشتتة (EDX – Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) أو (EDS). يعمل EDX على مبدأ أن كل عنصر كيميائي، عندما

تُقدف عينته بالإلكترونات، يصدر أشعة سينية ذات طاقات مميزة له. بتحليل هذه الأشعة، يمكن للجهاز تحديد العناصر الموجودة في العينة (مثل الكالسيوم، السيليكون، الألومنيوم، الحديد) ونسبها المئوية. وقد أظهرت دراسة حديثة أن تحليل XRF يوفر تقديرًا كميًا أكثر دقة للعناصر داخل العينة الواحدة، بينما يتيح تحليل SEM-EDX إمكانية اختبار الطبقات ذات الأعماق الأصغر داخل المقطع العرضي الواحد (Franković, Determination of the Salt Distribution in the Lime-Based Mortar Samples Using XRF and SEM-EDX Characterization. In Proceedings of the 5th Conference on Restoration of Heritage Masonry Structures. Spri, 2023)، يظهر في (الشكل رقم 01) نتائج لتحليل عن طريق المجهر الإلكتروني الماسح لعينة A1 من الملاط من أسوار المنصورة بتلمسان غرب الجزائر.

الشكل رقم 01: نتائج تحليل العينة A1 عن طريق المجهر الإلكتروني الماسح



صورة رقم 03: جهاز المجهر الإلكتروني الماسح

مبدأ عمل الجهاز: يقوم الجهاز بإرسال شعاع إلكتروني دقيق لمسح سطح العينة، فتنبعث إلكترونات ثانوية وأشعة سينية مميزة، تُجمع بواسطة كواشف خاصة وتحول إلى إشارات كهربائية تُترجم إلى صورة عالية الدقة وطيف كيميائي (Goldstein J. I., 2017).

من فوائد التحليل ب SEM-EDX في دراسة المواد الأثرية:

1. دراسة التركيبة الفيزيوكيميائية للقطعة ونواتج تآكلها بدقة عالية.
2. تحديد العناصر الرئيسية والثانوية للمادة.
3. تمييز المركبات المختلفة في طبقات التآكل، كالمواد العضوية واللاعضوية الدخيلة.
4. تحديد الفاصل بين نواتج التآكل والنواة السليمة للمادة. (Eberhart, 1976)
5. التعرف على طبيعة التآكل من خلال تحديد أنواع نواتجه (تآكل نشط، بطيء، همد). (Doyon)
6. تحديد توزيع الأملاح في العينات، وهو أمر بالغ الأهمية لفهم آليات التلف (Franković, Determination of the Salt Distribution in the Lime-Based Mortar Samples Using XRF and SEM-EDX Characterization. In Proceedings of the 5th Conference on Restoration of Heritage Masonry Structures. Spri, 2023)

2.2 التحاليل الطيفية (Spectroscopic Methods)

تعتمد التحاليل الطيفية على دراسة تفاعل المادة مع الإشعاع الكهرومغناطيسي (كالضوء المرئي، الأشعة تحت الحمراء، الأشعة السينية). عندما تسقط حزمة من هذا الإشعاع على العينة، فإن جزءاً منه يمتص، وجزءاً يُنفذ، وجزءاً يُشتت أو يُبعث مرة أخرى. يُعتبر طيف الامتصاص أو الانبعاث الناتج "بصمة" فريدة للمادة، تكشف عن تركيبها الكيميائي وبنيتها الجزيئية. (Whiffen, 1971)

أ. التحليل بالأشعة تحت الحمراء (FTIR)

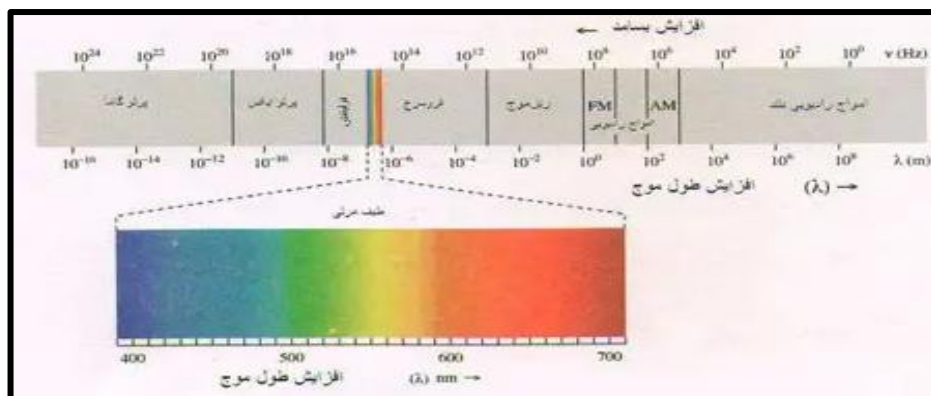
بعد تحليل فورييه للأشعة تحت الحمراء (Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy) من أكثر التقنيات شيوعاً في دراسة المواد الأثرية، خاصة العضوية منها (كالراتنج، والشموع، والزيوت، والبروتينات) والمواد غير العضوية كالكربونات والسيليكات (Stuart, 2004). وقد أثبتت الدراسات الحديثة فعالية هذه التقنية في تحليل المواد الأثرية، حيث تم استخدامها بنجاح في دراسة الملاط العضوي التقليدي في قصر بادمانابورام بالهند، وكشفت عن وجود بروتينات عضوية وسكريات عديدة في عينات الجص الجداري (Varma, 2020).

مبدأ التحليل: يعتمد على مبدأ أن الجزيئات تمتص الأشعة تحت الحمراء عند ترددات محددة تتوافق مع اهتزازات روابطها الكيميائية. فعند تمرير حزمة من الأشعة تحت الحمراء على العينة، نحصل على طيف يمثل كمية الطاقة الممتصة عند كل طول موجة. المحور الأفقي للطيف يمثل الأطوال الموجية أو الأعداد الموجية (عادةً بوحدة cm^{-1})، والمحور العمودي يمثل النفاذية (T) أو الامتصاصية (A) (Middendorf B. H., 2005).

يُقسم الطيف تحت الأحمر إلى ثلاثة مجالا كما هو مبين في (الشكل 02)

- تحت الحمراء القريبة: $14000\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ (NIR)
- تحت الحمراء المتوسطة: $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ (MIR) وهو الأكثر استخداماً.
- تحت الحمراء البعيدة: $400\text{-}10\text{ cm}^{-1}$ (FIR)

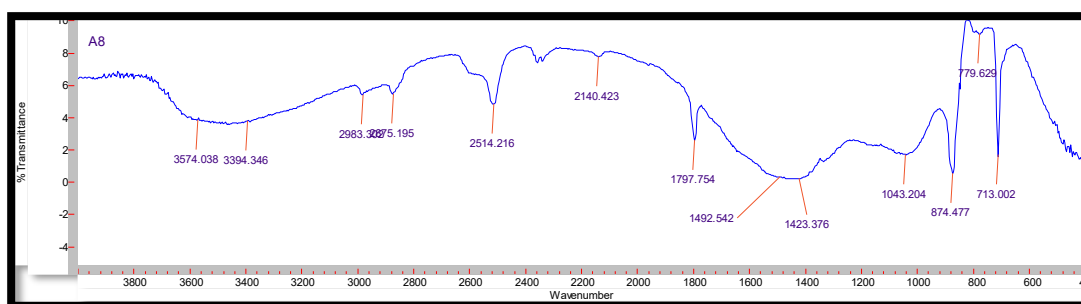
الشكل 2: مجالات الطيف الكهرومغناطيسي



المصدر: موقع غوغل، marefa.org سنة 2016.

مراحل التجربة: باستخدام طريقة: KBr تُسحق العينة (حوالي 5 ملغ) جيداً مع حوالي 200 ملغ من بروميد البوتاسيوم (KBr) حتى تصبح على شكل مسحوق ناعم ومتجانس. يُضغط الخليط في قالب خاص لتكوين قرص شفاف. يوضع القرص في جهاز FTIR، حيث يمرر شعاع الأشعة تحت الحمراء عبره. يلتقط الكاشف الإشارة، ويُرسلها إلى الكمبيوتر لتحويلها باستخدام تحويل فورييه الرياضي إلى طيف قابل للقراءة (Lanas, 2005) (انظر الشكل 03).

الشكل 3: نتيجة تحليل عينة من الملاط لمنشآت المنصورة باستعمال الأشعة تحت الحمراء.



المصدر: الملاط والخرسانة الأثرية بمنشآت المنصورة المرمية- دراسة تحليلية- عبد القادر عراب صباح، 2020، ص 81.

ب. تحليل حيود الأشعة السينية (XRD)

يُستخدم تحليل XRD لتحديد البنية البلورية للمواد، أي لتحديد المراحل المعدنية الموجودة في العينة (مثل: معدن الكالسيت في الجير، أو معدن الكوارتز في الرمل، أو معدن الجبس). يعتمد المبدأ على أن الأشعة السينية عندما تصطدم ببلورة، فإنها تحيد (تتبعكس) بزوايا محددة تتبع قانون براغ $n\lambda = 2d \sin\theta$ ، حيث λ هو طول موجة الأشعة، و d هي المسافة بين المستويات البلورية، و θ هي زاوية السقوط. كل معدن له بصمة حيود فريدة تُمكن من التعرف عليه (Pavia, 2010). وقد استخدمت هذه التقنية في تحليل الملاط من المواقع الأثرية الكوشية، حيث كشفت عن تنوع كبير في التركيبات المعدنية للملاط، من الجبس إلى الطين إلى الجير (Barba, 2012).

ج. تحليل التفلور بالأشعة السينية (XRF)

تقنية XRF تُستخدم لتحديد العناصر الكيميائية (من الصوديوم إلى اليورانيوم) في العينة بطريقة سريعة وغير متلفة في معظم الحالات. يتعرض سطح العينة لأشعة سينية أو جسيمات ألفا، مما يؤدي إلى إثارة الذرات وإصدارها لأشعة سينية ثانوية ذات طاقات مميزة لكل عنصر. يُستخدم XRF المحمول (pXRF) بكثرة في عمليات المسح الحقلية للقطع الأثرية، بينما يُستخدم XRF المخبري لتحليلات أكثر دقة (Beck, 2014).

3.. الملائم والطابية في العمارة التقليدية: دراسة مفاهيمية

1.3 تعريف الملاط (Mortar)

يُقال "ملاط الحائط" أي طلاه، والملاط هو ما يُلصق به الحائط ليربط مكوناته. جمع الملاط "ملط". يعود أصل الكلمة إلى الجذر اللاتيني "Mortarium" الذي يعني الوعاء أو الهاون المستخدم في الخلط (d'Avignon, 2003). كمصطلح علمي، الملاط هو مادة رابطة (Binder) تجمع وحدات البناء المختلفة (حجر، طوب، طابية) في كتلة واحدة متماسكة، وله أدوار متعددة: هيكلي (ربط ونقل الأحمال)، جمالي (التليس والزخرفة)، وقائي (حماية البناء من العوامل الجوية) (Papayianni, 2004).

يتكون الملاط عادةً من ثلاثة مكونات رئيسية:

1. **الرابطة (Binder):** وهو المادة الفعالة التي تتفاعل مع الماء وتعطي العجينة اللدونة ثم تتصلب. أشهرها: الجير (الهوائي أو الهيدروليكي)، الجبس، الطين.

2. **الركام أو المالح (Aggregate):** حبيبات معدنية (رمل، حصي دقيق، قطع فخارية مطحونة - تُعرف بالكسر) تُضاف لتقليل الانكماش، وتوفير التكلفة، وتحسين الخواص الميكانيكية.

3. **الماء:** لتحضير العجينة وبدء التفاعلات الكيميائية (Torraca, 1982).

أما الطابية (Rammed Earth - Tabia) فهي تقنية بناء تعتمد على دمك طبقات من التراب المزوج بالملاط (غالبًا طيني أو كلسي) داخل قوالب خشبية. في الجزائر، تنتشر تقنية الطابية بشكل واسع في العديد من المناطق، من الشمال إلى الجنوب، ويعود تاريخ استخدامها إلى العصور الوسطى. وقد أبدع المرينيون في استخدام هذه التقنية في تشييد أسوار المنصورة، مما جعلها مثالاً فريداً للهندسة العسكرية في عصره (Mertz, 2012).

2.3 تاريخ استخدام الملاط والجير:

شهد الملاط تطوراً مستمراً عبر الحضارات، يعكس مدى تقدمها التقني وفهمها لخصائص المواد (Callebaut, 2001).

- **العصر الحجري الحديث:** أقدم دليل على استخدام الجير المطفي كرابط يعود إلى موقع "جتال هيوك" (Çatalhöyük) في جنوب الأناضول (تركيا)، حوالي الألفية السابعة قبل الميلاد. استُخدم الجير المستخلص من حرق الحجر الجيري في تليس الجدران والأرضيات (Drougkas, 2025).

- **بلاد الرافدين ومصر القديمة:** كشفت حفريات مدينة الوركاء (أوروك) بالعراق عن بنايات دينية (الضريح الأبيض) تعود إلى الألفية الرابعة قبل الميلاد، استُخدم فيها القرميد المغطى بملاط جير. في مصر القديمة، استُخدم الجبس في بناء الأهرامات وتلييس الجدران، بينما استُخدم الجير في عمليات التجصيص (RILEM., 2010-2017). وقد أظهرت دراسة تحليلية لملاط من مواقع أثرية كوشية (الألفية الأولى قبل الميلاد) تنوعاً كبيراً في التركيبات، حيث تراوحت بين الجبس والطين والجير (Barba, 2012).
- **اليونان وروما:** شهد العصر الهلنستي والروماني قفزة نوعية باكتشاف الملاط الهيدروليكي (Hydraulic Mortar)، أي الملاط الذي يتصلب ويتقوى تحت الماء. اكتشف الرومان أن إضافة مواد بوزولانية - (Pozzolana) وهي رماد بركاني من منطقة بوتسولي بالقرب من نابولي - إلى الجير تُنتج ملاطاً يتمتع بمقاومة عالية للماء. بهذا الملاط شيد الرومان قنواتهم المائية، وجسورهم، وموانئهم، وقبائهم العظيمة كالبانثيون. (167-COM., 1995-2004).
- **العصر البيزنطي والإسلامي:** انتقلت المعرفة الرومانية إلى العمارة البيزنطية فالإسلامية. استُخدم الجير والجبس في تلييس الجدران والزخارف. تميزت العمارة الإسلامية في شمال إفريقيا والأندلس باستخدام ملاط الجير النقي (غير الهيدروليكي) في تلييس الجدران، وتقنية الطابية (التي تعتمد على تربة مدكوكة قد تحتوي على الجير كملاط رابط)، وهو ما نجده بوضوح في أسوار المنصورة المرينية. (Veiga, 2017).

3.3 تصنيف الملاط وفق الرابط:

- يمكن تصنيف الملاط وفق المادة الرابطة إلى ثلاثة أصناف رئيسية (Thomson, 2004).
- **أولاً: الملاط الجيري (Lime Mortar):** يعتمد على الجير الحي (CaO) أو الجير المطفئ (Ca(OH)₂) يتصلب الملاط الجيري الهوائي (Non-hydraulic) من خلال تفاعل الكربنة $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$ (Carbonation)، أي امتصاص ثاني أكسيد الكربون من الهواء. يتميز هذا الملاط بمرورته، ونفاذيته العالية للبخر، وتوافقه الممتاز مع الأحجار والطوب القديم. وقد أظهرت الدراسات الحديثة أن إضافة كميات قليلة من الإسمنت (أقل من 20% من المجموع الرابط) إلى الملاط الجيري يُقلل من متانته (Durability) بشكل مفاجئ، لأنه يسد المسام ويجبس الرطوبة والأملاح داخله، مما يُسرّع تلف الحجر (Steiger, 2011).
- **ثانياً: الملاط الجبسي (Gypsum Mortar):** يعتمد على الجبس (CaSO₄·2H₂O) المكلس. يتصلب بسرعة عند إضافة الماء لكنه حساس للرطوبة وقابل للذوبان، لذلك يُستخدم في الأماكن الجافة داخلياً. وقد كشفت الدراسات التحليلية للجبس من الكنائس البيزنطية المتأخرة أن الجبس يُعتبر بشكل رئيسي ناتج تآكل بسبب عملية الكبريتة (sulfation process)، وثانويًا كمادة رابطة للجبس (Stefanidou M. &., 2011).
- **ثالثاً: الملاط الإسمنتي (Cement Mortar):** يعتمد على الإسمنت البورتلاندي الذي اكتشف في القرن 19. يتصلب بتفاعل الهدرجة (Hydration) وهو مقاوم للماء وقوي جداً، لكنه شديد الصلابة، قليل النفاذية، وغير متوافق مع المباني التاريخية. وقد حذرت اللجنة الفنية RILEM TC 203-RHM من أن العديد من الأخطاء في ممارسات الترميم ناتجة عن اختيار ملاط غير مناسب للمباني القائمة، مما يزيد بشكل كبير من خطر إلحاق الضرر (الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية 1967 المتعلقة بحماية الآثار، في 20 ديسمبر 1967) عراب صباح عبد القادر (2020).

4. الموقع والعينات ومنهجية التحليل:

1.4 التشخيص الميداني لمعلم المنصورة:

بتاريخ (2019/12/25)، تمت معاينة ميدانية للموقع الأثري لمدينة المنصورة بالتنسيق مع الديوان الوطني لتسيير وحماية الممتلكات الثقافية لولاية تلمسان. ركزت المعاينة على الأسوار الشمالية والشرقية والأبراج الملحقة بها، وهي الأجزاء الأكثر تعرضاً للتدهور. تم تسجيل الأضرار بالصور والتوثيق الكتابي.

تتلخص الأضرار المسجلة في:

- ✓ **تآكل الملاط: (Mortar Erosion)** لوحظ تآكل واضح في الملاط على مستوى الأسوار والأبراج، خاصة في الأجزاء السفلية القريبة من الأرض، نتيجة رطوبة الأرض وتصاعد الأملاح. (الصورة رقم 04)
- ✓ **انفصال طبقات الترميم: (Detachment)** ظهر انفصال واضح بين طبقة ملاط الترميم الحديث (2007) والملاط الأصلي والجدار، مما يُشير إلى ضعف في التصاق المادتين. (الصورة رقم 05).



صورة رقم 05: انفصال طبقة الترميم



صورة رقم 04: تآكل الملاط

- ✓ **عدم تجانس البنية: اختلاف واضح بين لون وحجم ونسيج حبيبات ملاط الترميم الحديث عن الملاط الأصلي.** الملاط الأصلي ذو لون ييج فاتح وحبيبات ناعمة، بينما ملاط الترميم ذو لون رمادي أو بني وحبيبات خشنة. (الصورة رقم 06).



صورة رقم 06: عدم تجانس البنية

✓ **تشققات (Cracks):** وجود تشققات شعرية وعميقة في بقايا الأبراج، بعضها ناتج عن التمدد الحراري لمواد الترميم غير المتوافقة (الصورة 07).

✓ **نمو أحيائي (Biological Growth):** نمو أعشاب وبكتيريا وأشنيات على الشقوق وفي التجاويف، مما يزيد من تفكك المادة (الصورة 08).



صورة رقم 08: نمو أعشاب



صورة رقم 07: ظهور تشققات

2.4 مراحل الترميم التاريخية للمنصورة:

لتفسير هذه الأضرار، لا بد من فهم تاريخ تدخلات الترميم في الموقع. تشير الوثائق التاريخية والمصادر الأثرية إلى ثلاث مراحل رئيسية (Groot C. A., 2004) (2003-2010) (Technical Committee), Repair mortars for historic masonry (203-RHM).

- **المرحلة الأولى - العهد المريني (1303-1348م):** مرحلة البناء والتشييد، وهي التي تمثل الأصل المرجعي.
- **المرحلة الثانية - الاحتلال الفرنسي (1874-1904م):** أشرف على هذه التدخلات المهندس المعماري إدموند دوتوا، الذي وضع تقارير تفصيلية عن حالة الموقع قبل ترميمه. اعتمدت أعمال دوتوا على عمليات تنقيب أولية، ورفع مساحي، وإعادة بناء لأجزاء متداعية باستخدام تقنيات ومواد متاحة في عصره، والتي لم تكن بالضرورة متوافقة مع المواد الأصلية.
- **المرحلة الثالثة - الترميم الحديث (2007-2011م):** في إطار احتفالية تلمسان عاصمة الثقافة الإسلامية، أُنجزت أشغال ترميم واسعة شملت تهيئة الموقع وإعادة تلبس أجزاء من الأسوار. لكن سرعان ما عادت حالة الموقع للتدهور، مما يطرح علامات استفهام حول مدى علمية هذه التدخلات.

3.4 أخذ العينات:

جدول 01: ترقيم وترميز العينات

رمز العينة	الموقع	الفترة الزمنية (تقديراً)	الوصف
A1	الجزء الداخلي لل سور الشمالي	العهد المرنيني (1303-1348م)	ملاط أصلي (لم يتعرض للترميم) سليم نسبياً
A2	السور الشرقي (الجزء العلوي)	العهد الفرنسي (1874-1904م)	ملاط ترميم، متضرر
A3	السور الشمالي (الجزء الخارجي)	العصر الحديث (2007-2011م)	ملاط ترميم حديث، متضرر بشدة

المصدر: الملاط والحرسانة الأثرية بمنشآت المنصورة المرمية-دراسة تحليلية- عبد القادر عراب صباح، 2020، ص42.

- بعد الحصول على التراخيص اللازمة، تم أخذ عدد من عينات الملاط من أسوار المنصورة. تمثل العينات مناطق مختلفة (سليمة ومتضررة) وفترات زمنية مختلفة كما هو مبين في (الجدول رقم 01).
- تم وضع كل عينة علبه بلاستيكية محكمة الغلق وعازلة للهواء وتم تسميتها وترميزها ووضع جميع البيانات، ثم حُفظت في ظروف مناسبة قبل نقلها إلى المخبر.

3.4 تقنيات التحليل المطبقة:

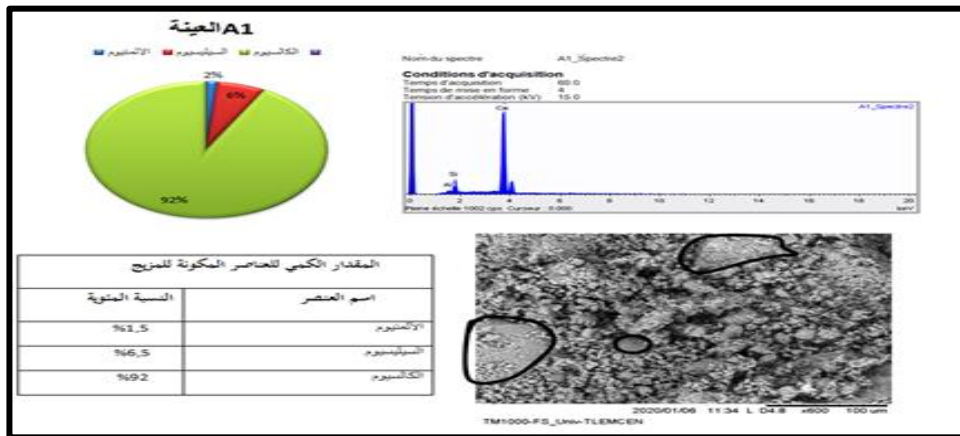
في هذا البحث، تم تطبيق تحليل المجهر الإلكتروني الماسح (SEM-EDX)

5. النتائج والمناقشة:

1.5 نتائج المجهر الإلكتروني الماسح (SEM-EDX)

أظهرت الصور المجهرية عالية الدقة تفاصيل دقيقة:

- العينة A1 : غنية بالكالسيوم وفقيرة بالسيليكون، مما يؤكد أنها ملاط جيرى نقي. كما هو موضح في (الشكل 04).

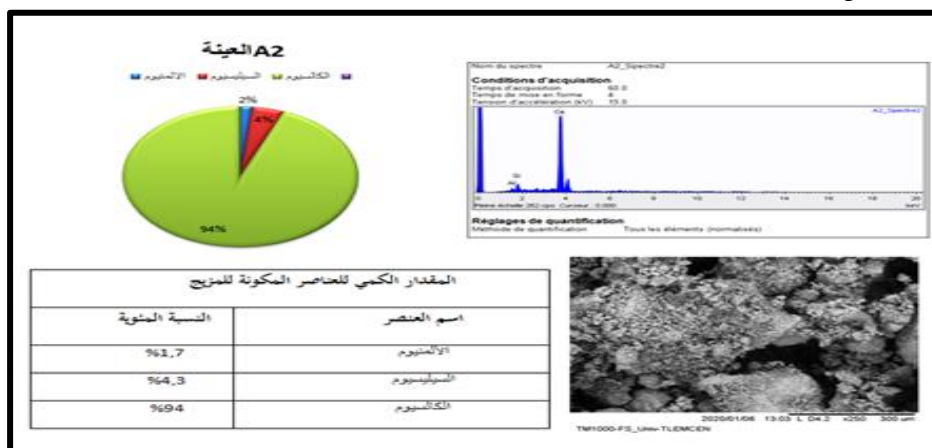


الشكل رقم 04: نتائج تحليل العينة A1 عن طريق المجهر الإلكتروني الماسح

دور التحاليل البنيوية والنسجية في ترميم المواد الأثرية: دراسة تطبيقية

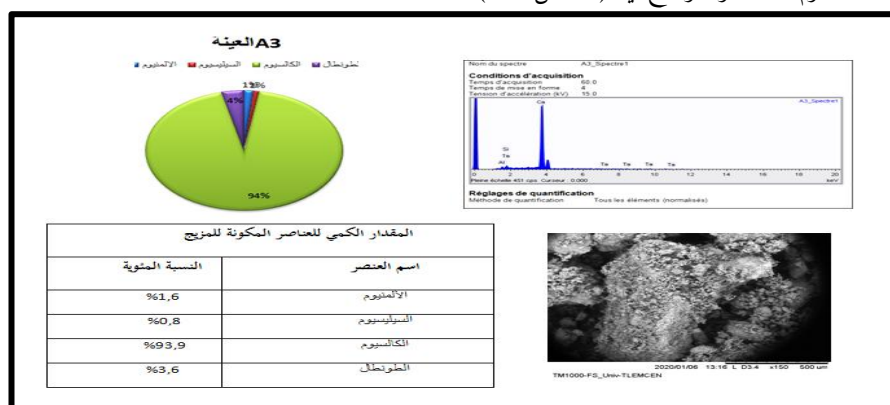
عبد القادر عراب صباح سعاد بن شامة

- **العينة A2:** نسبة الكالسيوم هي الأكبر في هذه العينة، على عكس نسبي السيليسيوم و الألمنيوم كما هو موضح في (الشكل 05)



الشكل رقم 05: نتائج تحليل العينة A2 عن طريق المجهر الالكتروني الماسح

- **العينة A3:** نلاحظ أن نسبة الكالسيوم هي الأعلى نسبة مع ظهور عنصر الطونطال بكمية أكبر من نسبي الألمنيوم والسيليسيوم كما هو موضح في (الشكل 06).



الشكل رقم 06: نتائج تحليل العينة A3 عن طريق المجهر الالكتروني الماسح

تُظهر هذه النتائج بوضوح:

- وجود عنصر الطونطال في العينة A3 دليل على وجود أملاح ضارة (كبريتات وكلوريدات) قادمة من مواد الترميم أو من البيئة. هذه الأملاح هي أحد الأسباب الرئيسية لتفتت المادة.

2.5. مناقشة النتائج :

تؤكد النتائج التحليلية الفرضية التي انطلقت منها الدراسة: هناك اختلاف جوهري بين تركيبة الملاط الأصلي (المرجع) وتركيبه مواد الترميم الحديثة.

ملاط الترميم الحديث (A3) يعاني من مشكلتين رئيسيتين:

1. نسبة الجير منخفضة جدًا: هذا يعني أن المادة الرابطة الحقيقية قليلة، وأن المادة تفقد معظم خصائص الجير (المرونة، النفاذية، قدرته على ترميم التشققات الصغيرة ذاتيًا بشكل طفيف عبر الكربنة).

2. وجود أملاح ضارة (الكبريتات والكلوريدات): مصدر هذه الأملاح قد يكون من الرمل غير المغسول جيدًا (خاصة رمل الشاطئ أو الوادي المالح)، أو من إضافات كيميائية حديثة، أو من تفاعلات بين الإسمنت والجير. هذه الأملاح تتبلور وتذوب مع تغير الرطوبة ودرجة الحرارة، مما يولد ضغطًا داخليًا يُسبب تشقق المادة من الداخل.

بالمقابل، يتمتع ملاط الجير النقي الأصلي بخصائص فريدة تجعله الأكثر توافقًا مع المباني الحجرية والطوبية:

- **النفاذية (Permeability):** يسمح بمرور بخار الماء، فلا تحتبس الرطوبة داخل الجدار لتتجمد وتُحدث شروخًا في الشتاء، أو تذيب الأملاح في الصيف.
- **المرونة (Flexibility):** يتمدد ويتقلص بشكل أقرب للحجر الطبيعي، فلا ينقل إليه الإجهادات الحرارية.
- **التوافق الكيميائي (Chemical Compatibility):** لا يُدخل أملاحًا غريبة ضارة.

6. استنتاجات وتوصيات

1.6. استنتاجات

بناءً على التحاليل المخبرية والدراسة الميدانية، يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

1. التحاليل البنيوية والنسجية ليست رفاية أكاديمية، بل ضرورة منهجية: لا يمكن لأي مشروع ترميمي جاد أن ينجح دون فهم عميق لطبيعة المواد الأصلية. أثبتت هذه الدراسة أن استخدام تقنيات مثل SEM-EDX و FTIR يسمح بـ"فك شفرة" المادة الأثرية وتحديد هويتها الكيميائية بدقة.

2. ملاط المنصورة الأصلي هو ملاط جيرى نقي (Non-hydraulic Lime Mortar): يتميز بنسبة كالسيوم عالية، وتوزيع متجانس، وخالٍ من الأملاح الضارة. هذه الخصائص هي التي سمحت له بالصمود لأكثر من 7 قرون.

3. مواد الترميم الحديثة غير متوافقة: أثبتت التحاليل أن مونة الترميم المستخدمة في 2007 تحتوي على نسب منخفضة من الجير، وأملاح ضارة، مما يُسرع من تلفها وتلف الجدار المجاور.

4. فشل الترميم السابق مردّه علمي وليس إداريًا فقط: إلى جانب الإهمال، فإن الأسباب التقنية لاختيار الترميمات الحديثة تعود إلى عدم فهم خصائص المواد الأصلية، واعتماد خلطات عشوائية (كالخلطة الكلاسيكية التي ثبت عدم ملائمتها).

2.6 توصيات علمية وعملية

إعداد وصفة مرجعية لملاط الترميم: استنادًا إلى نتائج تحليل العينة A1، تُقترح الوصفة التالية لتحضير ملاط ترميم مطابق للأصل:

✓ الجير: جير مطفي (كلسي عالي النقاوة).

✓ الرمل: رمل نوري مستدير الحبيبات، مطابق من حيث الحجم واللون للرمل الأصلي، ويُغسل جيداً لإزالة الأملاح.

✓ النسبة 1: جزء جير : 2.5 جزء رمل (حوالي 30% جير، 70% رمل).

✓ طريقة التحضير: تُنقع كمية الجير في الماء لمدة 24 ساعة على الأقل لتتحول إلى عجينة (Lime Putty)، ثم يُضاف الرمل وتُخلط جيداً. يُترك الملاط ليرتاح (يشيخ) لعدة أسابيع إن أمكن، ثم يُستعمل.

✓ تجنب: إضافة الإسمنت البورتلاندي، أو المواد الكيميائية المسرعة للشك، أو الرمل المجروش (المكسر).

إنشاء قاعدة بيانات وطنية للمواد التقليدية: يُقترح إنشاء مختبر جهوي متخصص في تحليل مواد البناء التقليدية (ملاط، جبس، طابية، أحجار) تحت إشراف وزارة الثقافة والمراكز الجامعية، ليكون مرجعاً لأي مشروع ترميم مستقبلي.

تأهيل وتدريب المرممين: يجب أن يتضمن تكوين المرممين مقررات معمقة في علوم المواد وتقنيات التحليل، حتى يتمكنوا من قراءة النتائج المخبرية وتحويلها إلى قرارات ترميمية سليمة في الميدان.

التوجه نحو مواد طبيعية وليس بدائل صناعية: يجب أن تتجه سياسات الترميم إلى إحياء تقنيات الجير التقليدية بدلاً من الاعتماد على البدائل الإسمنتية التي ثبت عدم نجاحها مع التراث القديم.

6. خاتمة:

تُجمع النتائج التي توصلت إليها هذه الدراسة على أن التحاليل البنيوية والنسجية، وفي مقدمتها المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) وEDX والأشعة تحت الحمراء (FTIR)، ليست مجرد أدوات مساعدة في عمليات الترميم، بل هي الركيزة العلمية التي يجب أن تنطلق منها أي تدخلات جادة للحفاظ على التراث المعماري. وقد كشفت المقارنة بين الملاط الأصلي لأسوار المنصورة المرينية ومواد الترميم الاستعمارية والحديثة عن اختلافات جوهرية في التركيب الكيميائي والنسجي، مما يفسر سرعة تدهور التدخلات الترميمية السابقة ويعزز الحاجة إلى وصف مرجعية تعتمد على الجير النقي بنسبة محددة وخالية من الأملاح الضارة. وعليه، نوصي بإنشاء مختبر وطني متخصص في تحليل مواد البناء التقليدية، وتأهيل المرممين في مجال علوم المواد، والاعتماد على المواد الطبيعية المتوافقة كبديل عن البدائل الإسمنتية، مع ضرورة توثيق جميع التدخلات الترميمية في قاعدة بيانات وطنية لضمان استدامة الجهود المستقبلية.

5. قائمة المراجع:

1. ابن منظور، جمال الدين محمد بن مكرم). 2000. (لسان العرب (المجلد 14). دار صادر.
2. معماش، س. 2010. الملاط ودوره في المباني التاريخية والمعالم الأثرية [أطروحة دكتوراه غير منشورة]. جامعة الجزائر 2.
3. الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية. 1967. (الأمر رقم 67-281 المؤرخ في 20 ديسمبر 1967 المتعلق بحماية الآثار .
4. عراب صباح، عبد القادر. 2020. الملاط والحرسنة الأثرية بمنشآت المنصورة المرينية - دراسة تحليلية [مذكرة ماستر]. جامعة أبي بكر بلقايد تلمسان.
5. Allal, M. A., et autres. (1998). Etude De Restauration Du Site Historique De Mansourah. SARL bureau d'étude technique général construction.
6. وزارة الثقافة الجزائرية). 2010-2011. (ملفات تقييم مشاريع ترميم معلم المنصورة في إطار احتفالية تلمسان عاصمة الثقافة الإسلامية. أرشيف الديوان الوطني لتسيير وحماية الممتلكات الثقافية، تلمسان.
7. El Khatib, A. C. (s.d.). Dictionnaire Des Termes Scientifiques Artistique, Anglais-Arabe.
8. Maurenbrecher, P., & Groot, C. (Eds.). (2016). Repair Mortars for Historic Masonry - State of the Art Report of RILEM Technical Committee TC 203-RHM. RILEM Publications SARL.
9. RILEM TC 277-LHS. (2017-2024). Specifications for testing and evaluation of lime-based repair materials for historic Structures (Technical Committee). RILEM.
10. Groot, C., Ashall, G., & Hughes, J. (Eds.). (2004). Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair - Final Report of RILEM TC 167-COM. RILEM Publications.
11. Van Hees, R. P. J. (2004). Damage analysis as a step towards compatible repair mortars. In C. Groot, G. Ashall & J. Hughes (Eds.), Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair - Final Report of RILEM TC 167-COM (pp. 107-152). RILEM Publications.
12. Middendorf, B. (2004). Mineralogical characterisation of historic mortars. In C. Groot, G. Ashall & J. Hughes (Eds.), Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair - Final Report of RILEM TC 167-COM (pp. 23-38). RILEM Publications.
13. Drdáký, M., & Slížková, Z. (2004). Compatibility of repair mortars with historic masonry materials. In Proceedings of the International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (Vol. 2, pp. 1015-1022). University of Padova.
14. Van Balen, K., Papayianni, I., Van Hees, R., Binda, L., & Waldum, A. M. (2005). Introduction to requirements for and functions of repair mortars. Materials and Structures, 38(8), 781-785.
15. Hughes, J. J. (2016). RILEM activities in the field of repair mortars for historic masonry. RILEM Technical Letters, 1, 15-20.
16. Moropoulou, A., Bakolas, A., & Bisbikou, K. (2000). Investigation of the technology of historic mortars. Journal of Cultural Heritage, 1(1), 45-58.
17. Elett, K., Cultrone, G., Navarro, C. R., & Pardo, E. S. (2002). Durability of bricks and mortars from the Alhambra. Materiales de Construcción, 52(267), 31-45.
18. Torracca, G. (1986). Les matériaux de construction poreux: science des matériaux pour la conservation architecturale (C. di Matteo, Trad.). ICCROM.
19. Stefanidou, M., & Papayianni, I. (2011). Thermal, mineralogical and spectroscopic study of plasters from three post-Byzantine churches from Kastoria (northern Greece). Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 103, 577-586.
20. Franković, J., Bosiljkov, V., & Ukrainczyk, V. (2023). Determination of the Salt Distribution in the Lime-Based Mortar Samples Using XRF and SEM-EDX Characterization. In Proceedings of the 5th Conference on Restoration of Heritage Masonry Structures. Springer.
21. Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis (4th ed.). Springer.
22. Eberhart, J-P. (1976). Méthodes physiques d'études des minéraux et des matériaux solides. Doin.
23. Doyon, D. (2000). Scanner rayon x: Tomodensitometre. Masson.
24. Whiffen, D-H. (1971). La spectroscopie. Flammarion Sciences.

25. Stuart, B. H. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. John Wiley & Sons.
26. Varma, M., et al. (2020). A scientific study on the role of organic lime mortars of Padmanabhapuram Palace, Thuckalay, Tamilnadu, India. *The European Physical Journal Plus*, 135, 923.
27. Middendorf, B., Hughes, J. J., Callebaut, K., Baronio, G., & Papayianni, I. (2005). Characterization of historic mortars. *Materials and Structures*, 38(8), 761-768.
28. Lanas, J., Sirera, R., & Alvarez, J. I. (2005). Study of the mechanical behavior of lime mortars. *Cement and Concrete Research*, 35(8), 1623-1632.
29. Pavia, S., & Hanley, R. (2010). Flexural strength of lime mortars. *Construction and Building Materials*, 24(5), 752-760.
30. Barba, L., et al. (2012). Mineralogical and Microstructural Analysis of Mortars from Kushite Archaeological Sites. In *Proceedings of the 13th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials*. Springer.
31. Beck, K., & Al-Mukhtar, M. (2014). X-ray fluorescence analysis of archaeological mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 15(2), 123-130.
32. Ecole d'Avignon. (2003). *Technique et pratique de la chaux* (2e éd.). Eyrolles.
33. Papayianni, I. (2004). Design of repair mortars. In C. Groot, G. Ashall & J. Hughes (Eds.), *Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair - Final Report of RILEM TC 167-COM* (pp. 153-168). RILEM Publications.
34. Torraca, G. (1982). *Porous Building Materials: Materials Science for Architectural Conservation* (2nd ed.). ICCROM.
35. Mertz, J.-D., Guivarc'h, M., & Pagnin, P. (2012). Dilation behaviour of lime mortars for restoration work: application to the compatibility of cracked stone reassembling. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 16(5-6), 527-542.
36. Thomson, M. (2004). Porosity of mortars. In C. Groot, G. Ashall & J. Hughes (Eds.), *Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair - Final Report of RILEM TC 167-COM* (pp. 77-106). RILEM Publications.
37. Steiger, M., Charola, A. E., & Sterflinger, K. (2011). Weathering and deterioration. In S. Siegesmund & R. Snethlage (Eds.), *Stone in Architecture: Properties, Durability* (pp. 227-316). Springer.
38. Callebaut, K., Elsen, J., Van Balen, K., & Viaene, W. (2001). Nineteenth century hydraulic restoration mortars in the Saint Michael's Church (Leuven, Belgium): Natural hydraulic lime or cement? *Cement and Concrete Research*, 31(3), 397-403.
39. Drougkas, A., Sarhosis, V., Macente, A., Basheer, M., D'Alessandro, A., & Ubertini, F. (2025). Mechanical and durability testing and XCT imaging of a lime-based micro-scale modified smart intervention mortar. *International Journal of Architectural Heritage*, 19(2), 276-291.
40. RILEM TC 243-SGM. (2010-2017). *Specifications for non-structural grouting of historic masonries and architectural surfaces* (Technical Committee). RILEM.
41. RILEM TC 167-COM. (1995-2004). *Characterisation of old mortars with respect to their repair* (Technical Committee). RILEM.
42. Veiga, R. (2017). Air lime mortars: Influence of the type and characteristics of the binders and aggregates. *RILEM Technical Letters*, 2, 78-84.
43. Silva, B. A., & Pinto, A. P. F. (2021). Characterization of ancient mortars for restoration purposes. *Construction and Building Materials*, 280, 122456.
44. Singh, M., & Arbad, B. R. (2019). Characterization of traditional lime mortars. *Journal of Architectural Conservation*, 25(2), 89-104.
45. Bochen, J., & Gil, L. (2021). Salt weathering of lime mortars. *Materials*, 14(8), 1956.
46. RILEM TC 203-RHM. (2012). *Guide for design of repair mortars for historic masonry*. RILEM.
47. Papayianni, I., & Stefanidou, M. (2007). Durability aspects of ancient mortars. *International Journal of Architectural Heritage*, 1(3), 243-258.
48. Elsen, J. (2006). Microscopy of historic mortars. *Materials Characterization*, 57(1), 10-16.
49. Groot, C. (2012). Performance requirements for repair mortars. In *Proceedings of the 2nd Historic Mortars Conference* (pp. 45-58). RILEM.