

دراسة لأهم مظاهر وميكانيكية تلف بعض العناصر المعمارية والزخرفية
بمسجد احمد البجم (٦٩٢هـ / ١٢٣١م) ابيار - محافظة الغربية - مصر

د.محمد كمال خلاف♦♦

د.حمدان ربيع عطية♦

ملخص Abstract

يهدف هذا البحث إلي دراسة لأهم مظاهر وميكانيكية تلف بعض العناصر المعمارية والزخرفية لمسجد أحمد البجم (٦٩٢هـ / ١٢٣١م) بقريه ابيار مركز كفر الزيات - محافظة الغربية - مصر، وقد اعتمدت هذه الدراسة علي الزيارات والملاحظات الحقلية المتكررة لهذا المسجد، إضافة إلي دراسة التركيب المعدني لمواد البناء المستخدمة في هذه الزخارف (الطوب المنجور، الرخام، الجرانيت، المونة والكحلة) وذلك باستخدام الميكروسكوب المستقطب والميكروسكوب الالكتروني الماسح وحيود الأشعة السينية والتحليل الكيميائي، كما تم دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية للطوب المنجور، وقد بينت نتائج هذه الدراسة عن وجود ضعف شديد بالطوب المنجور حيث وصلت مقاومته للضغط إلي ما يقرب من ٤,٢ ميغا بسكال وتحمله للشد إلي اقل من واحد ميغا بسكال (٨,٥كجم/سم^٢)، إضافة إلي وجود العديد من مظاهر التلف: مثل تزهير أملاح كلوريد الصوديوم علي أسطح الطوب المنجور والأعمدة الرخامية والجرانيتية، وشروخ دقيقة بالأعمدة الرخامية، بالإضافة إلي قشور سطحية بالأعمدة الجرانيتية وذلك نتيجة لتعرض العناصر المعمارية والزخرفية بمسجد احمد البجم إلي التجوية الفيزيائية والفيزوكيميائية والكيميائية إضافة إلي عمليات الترميم الخاطئة.

This research aims to study the most important types of deterioration and their deterioration mechanism of the architectural and decorative elements of the mosque Ahmed Al bajm (692 AH / 1231) in the village of Abyaar, Kafr El-Zayat, Al garbih governorate, Egypt. This research depends on the field and visual observation, climatic data, in addition to study of the mineralogical composition of the building materials (El Mangor brick, marble, granite, mortar and pointing) used in the architectural and decorative elements by polarizing and scanning electron microscopes, X-ray diffraction and chemical analysis. Also the

♦ قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة الفيوم.

♦♦ قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة الفيوم.

physical and mechanical properties of El Mangor brick are studied. The results of this study showed that El Mangor Brick of Ahmed Abajm mosque is a weak Brick, where its uniaxial compression strength arrived to 4.2 MPa and tensile strength is less than 1 MPa (5,8 kg/cm²). in addition to many types of deterioration such as: Efflorescence of sodium chloride outside the walls of El Mangor brick and the Granite and marble columns, micro and macro-cracks in the marble columns, exfoliation in granite columns, due to the exposed of the architectural and decorative elements of the mosque Ahmed Al bajm to the physical, physiochemical and chemical weathering, in addition to the false restoration.

١. مقدمة Introduction

يقع جامع أحمد البجم في الطرف الشمالي من بلدة إبيار التابعة لمركز كفر الزييات، محافظة الغربية، مصر (لوحة ١-أ، ب). وتشمل الواجهة الشمالية الشرقية علي المدخل الرئيسي للمسجد (لوحة ٢-أ)، ويمثل هذا المسجد منزلة خاصة لدى الأهالي منذ نشأته كمدسة أمر بإنشائها ضياء الدين رضوان سنة ٦٩٢هـ/١٢٣١م في العصر المملوكي، ثم هدمت وجددت عمارتها كجامع بنفس التخطيط تقريباً في العصر العثماني، ويحتوي المسجد علي عناصر زخرفية متنوعة تتضمن العديد من الزخارف المشكلة من الطوب المعروف بالطوب المنجور وهي عبارة عن تبادل لاستخدام وحداته بلونيهما الأحمر والأسود في أشكال زخرفية هندسية، إضافة إلي لوحة التأسيس الرخامية المحتوية علي كتابات منقذة بالحفر البارز، كما يحتوي المسجد علي عناصر معمارية أخرى تتمثل في خمسة أعمدة جرانيتية واحدي عشر عموداً رخامياً. وتتعرض هذه العناصر الزخرفية والمعمارية إلي العديد من ميكانيكيات التلف والتدهور بفعل عوامل التلف المختلفة، والتي تتطلب حالتها الراهنة إجراء عدد من عمليات الترميم والصيانة بغية الحفاظ عليها. ويهدف البحث إلي دراسة أهم مظاهر وميكانيكيات تلف هذه العناصر من خلال التشخيص العلمي لحالتها الراهنة ووضع مقترحات العلاج والصيانة الملائمة لها في ضوء نتائج هذه الدراسة.

٢. الوصف الأثري وأهم العناصر المعمارية والزخرفية

Archaeological Description and the Important Architectural and Decorative Elements

يتكون التخطيط الحالي للمسجد من مساحة مستطيلة الشكل بطول حوالي ٣٤م وعرض ١٧م تقريباً (لوحة ١-ج) بالإضافة إلي الحجرة المربعة المتواجدة بالزاوية الجنوبية الشرقية والمحتوية علي ضريح أحمد البجم الذي عرف المسجد باسمه، ويتوسط الجامع

صحن مكشوف غير منتظم الأضلاع طوله نحو ٩م وعرضه ٧,٧٠م (لوحة ٢-ب)، يطل عليه ثلاثة أروقة أعمقها رواق القبلة، وللجامع واجهة رئيسية هي الواجهة الشمالية الشرقية وبقية واجهاته محاطة بعدد من المنازل. وتكمن أهمية هذه الواجهة في اشتغالها على المدخل الرئيسي بالإضافة إلى المئذنة والقباب الضريحية الثلاث بالمسجد، ويصل ارتفاع كتلة المدخل إلي ٦,٨٠م وقد بني بالطوب المنجور الأحمر والأسود، حيث شكلت هيئة زخرفيه لها طابع خاص انتشر في منشآت محافظة الغربية^١. ويوجد بالمسجد العديد من العناصر المعمارية والزخرفية التي استخدم في بنائها العديد من المواد الخام الأخرى، غير أن هذا البحث يركز علي ما نفذ منها بالطوب المنجور والرخام والجرانيت.

١,٢ العناصر المعمارية The Architectural Elements

استخدم الطوب المنجور بلونيه الأسود والأحمر في كتلة الواجهة وحول بعض الفتحات مثل الشبائيك إضافة إلي واجهات أروقة المسجد الثلاثة (لوحة ٢-د)، أما عن العناصر المعمارية الجرانيتية والرخامية فتتمثل في ستة عشر عمودا حاملة لأروقة المسجد، خمسة منها من الجرانيت اسطوانية الشكل تتراوح أقطارها بين ٤٤سم و ٦٤سم وأطولها ما بين ٢٠سم و ٢٦٠سم، وتسعة أعمدة من الرخام اسطوانية الشكل تتراوح أقطارها ما بين ٤٤سم و ٧٠سم وأطولها ما بين ٢٠سم و ٢٦٠سم (لوحة ٢-هـ)، إضافة إلي عمودان من الرخام علي جانبي المحراب يصل ارتفاعهما إلي ١٥٠سم.

٢,٢ العناصر الزخرفية The Decorative Elements

تنوعت العناصر الزخرفية بالمسجد ، حيث اتخذت أشكالاً زخرفيه مكررة أهمها تلك الزخارف المعمارية الهندسية المشكلة من الطوب المنجور بلونيه الأحمر والأسود بالتبادل مع فواصل (كحلة) بارزه باللون الأبيض وذلك في مدخل المسجد (لوحة ٢-ج، د). إضافة إلي تيجان الأعمدة من الرخام والجرانيت ولوحة التأسيس الرخامية (لوحة ٣،٤).

وقد تعرضت العناصر المعمارية والزخرفية بهذا المسجد ولازالت تتعرض للعديد من عوامل وقوى التآكل والتدهور الناتجة عن دورات التجوية الفيزيائية والفيزيوكيميائية والكيميائية، حيث تتوفر البيئات الملائمة في منطقة الدراسة لإحكام دائرة التآكل حول الأثر موضوع البحث، إضافة إلي عمليات الترميم الخاطئ من قبل الأهالي وإهمال المسؤولين مما أدى بدوره إلي وجود العديد من مظاهر التآكل وهو ما دفع الباحثين لدراستها وفهم ميكانيكية تلفها بغية ووضع الحلول المقترحة لعلاج وصيانة هذه العناصر.

^١ تقيده محمد عبد الجواد، الآثار المعمارية في محافظة الغربية في العصرين المملوكي والعثماني، رسالة ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة، ١٩٩٠، ص ٧٩:٩٠.

٣. مواد وطرق الدراسة Materials and Methods

اعتمدت الدراسة علي الزيارة والملاحظات الحقلية للمنطقة لتسجيل مظاهر التلف والحصول على العينات اللازمة من الطوب المنجور والرخام والجرانيت والمونة والكحلة تمثلت في: ١٠ كسرات صغيرة الحجم لا يتعدى وزنها بضع جرامات من الطوب المنجور من أماكن متفرقة من المسجد إضافة إلي أحد القوالب المتساقطة والتي جهزت منه عينات إسطوانية الشكل (٥سم x ٥سم) دراسة الخواص, و ١٥ كسرة صغيرة الحجم لا يتعدى وزنها بضع جرامات أخذت من الأعمدة الرخامية ومثلها من الأعمدة الجرانيتية, إضافة ٥ عينات من المونة ومثلها من الكحلة لإجراء الفحوص والتحليل والدراسات التالية:

- فحص عينات الطوب المنجور والرخام والجرانيت بكل من الميكروسكوب المستقطب والميكروسكوب الإلكتروني الماسح للتعرف على التركيب المعدني والمورفولوجي وتحديد ما أصابها من تلف.
- تحليل عينات الطوب المنجور والرخام والجرانيت والمونة والكحلة بطريقة حيود الأشعة السينية للتعرف على تركيبها المعدني.
- التحليل الكيميائي الوزني لعينات الطوب والتعرف على الأملاح الموجودة.
- دراسة الخواص الفيزيائية لعينات الطوب المنجور (قياس الكثافة باستخدام جهاز Accupyc 1330TC^٢ والمسامية باستخدام جهاز Geopyc1360^٣ من خلال عينات مأخوذة من كسرات الطوب المنجور المتساقطة . أما إمتصاص الماء فتم تعيينه عن طريق غمر عينات الطوب لمدة ٢٤ ساعة في الماء وتحديد نسبة الفارق في الوزن).
- دراسة الخواص والميكانيكية لعينات الطوب المنجور ، حيث استخدمت Brazilian Method في تعيين مقاومة عينات الطوب المنجور للشد .

٤. النتائج Results

٤,٤ الملاحظات الحقلية Field Observation

أوضحت نتائج الزيارات والملاحظات الحقلية للمسجد أن بيئته ملائمة تماما لكل من التجوية الفيزيائية والفيزيوكيميائية والكيميائية لتقوم بدورها في تلف المسجد وما به من عناصر معمارية وزخرفية على الوجه الأكمل, حيث تتسرب المياه من شبكتي الوضوء والصرف الصحي إلي كل أجزاء المسجد, كما تتعرض معظم أجزائه لأشعة الشمس المباشرة من خلال الصحن المكشوف, إضافة إلي عمليات الترميم الخاطيء من قبل الأهالي والإهمال الشديد من قبل المسؤولين, وهو ما أدى إلى وجود العديد من مظاهر

² AccuPycTM 1330TC, Operator's Manual, V3.03, Part No. 133-42810-01, ©Micromeritics Instrument Corporation, 2001.

³ GeoPyc 1360, March, Operator's Manual, V3.01, Part No. 136-42801-01, ©Micromeritics Instrument Corporation, 2001.

التلف: ففي زخارف الطوب المنجور يوجد تقشر Flaking, وتفكك الحبيبات المعدنية المكونة للطوب وخاصة في مناطق الأسطح إضافة إلى فقدان أجزاء من قوالب أو قوالب كاملة خاصة في المناطق السفلية من الجدران, كما يظهر التلف والتدهور وفقدان أجزاء كبيرة من الكحلة البارزة ذات اللون الأبيض الموجودة في الفواصل (العراميس) الأفقية والرأسية بين القوالب, كذلك وجود أملاح متزهرة على الأسطح إضافة إلى بعض التكلسات والانتساخات والأترية العالقة بالأسطح. (لوحتين ٤,٣). أما العناصر المعمارية والزخرفية الرخامية فتعاني أيضا من العديد من مظاهر التلف أهمها وجود طبقة سوداء ناتجة عن التلوث الجوى أدت إلى طمس وإخفاء لون الرخام وإعطائه لونا داكنا, شروخ شعرية دقيقة في بعض الأجزاء من الأعمدة الرخامية, انفصال في الطبقة السطحية المصقولة للرخام في بعض الأجزاء, تحول بعض الأجزاء أسفل القشرة السطحية المنفصلة إلى ما يشبه المسحوق, وجود طبقة سميكة من المواد المتكلسة والأترية والعوالق, بقع بنية, استكمالات خاطئة وعشوائية بالمونة لبعض الأجزاء المفقودة, طمس للمعالم الزخرفية لبعض التيجان نتيجة التلف البشرى المتمثل في الترميم الخاطئ للتيجان من قبل الأهالي والإهمال الشديد (لوحتين ٤,٣). الأعمدة الجرانيتية يوجد بها العديد من مظاهر التلف أهمها الشقوق, ضعف وتفكك بعض المناطق التي حدث فيها انفصال لمجموعات من الحبيبات المعدنية على هيئة قشور, حفر غائرة في أغلب الأعمدة, وجود طبقة من دهانات حديثة على السطح في بعض الأجزاء (لوحتين ٤,٣).

٢,٤ الظروف المناخية Climatic Conditions

بينت معطيات الظروف المناخية لمحطة طنطا المناخية, أن التباين اليومي في درجات الحرارة بمدينة أبيار يصل إلى ما يقرب من ١٧ درجة مئوية في بعض الشهور مثل شهرى مايو ويونيو, والتباين الموسمي يزيد عن ١٥ درجة مئوية كما هو واضح في فصلي الشتاء والصيف (جدول ١), كما يصل معدل سقوط الأمطار أحيانا إلى ١٣ مم كما هو واضح في شهر يناير (جدول ١) ليضيف مصدر آخر من مصادر الماء والتي تعد المياه المتسربة من ماء شبكتي الوضوء والصرف الصحي بالمسجد أهم مصادرهما, حيث تلعب دورا هاما في عملية التلف بالمسجد بما فيه من عناصر معمارية وزخرفية.

جدول (١) معطيات المناخ لمنطقة الدراسة^٤

NOAA Code	Statistic	Units	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Average
0101	Temperature Mean Value	C	12.0	12.8	14.5	18.4	22.1	25.4	26.0	25.8	24.2	21.6	17.5	13.5	19.48
0109	High Temperature Mean Daily Value	C	18.7	19.4	22.1	27.1	31.0	33.6	33.1	32.7	31.6	29.2	24.2	20.3	26.92
0110	Low Temperature Mean Daily Value	C	6.5	6.6	7.8	11.2	14.3	17.3	19.7	19.7	17.8	15.3	11.5	8.0	12.97
0615	Precipitation Mean Monthly Value	mm	13.0	8.0	7.0	3.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	12.0	4.25

٣،٤ دراسة التركيب المعدني لمواد البناء

Study of the Mineralogical Composition of the Building Materials

١،٣،٤ الطوب المنجور El Mangor Brick

أوضحت نتائج فحص عينات الطوب المنجور بالميكروسكوب المستقطب والميكروسكوب الإلكتروني الماسح، أنه يتكون أساساً من بلورات الكوارتز SiO_2 ، أكاسيد الحديد Iron Oxides على حواف حبيبات معدن الكوارتز، كما يوجد تفكك وفراغات كبيرة بين حبيبات المعادن (لوحتين ٦،٥). كما أظهرت نتائج تحليل عينات الطوب المنجور بطريقة حيود الأشعة السينية أنه يتكون من معادن الكوارتز SiO_2 ، الأرتوكليز KAlSi_3O_8 ، المجاتيت Fe_3O_4 ، الهيماتيت Fe_2O_3 ، نترات الصوديوم NaNO_3 إضافة إلى معدني الكاولينيت $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ والهاليت NaCl (لوحة ٧).

٢،٣،٤ الرخام Marble

أوضحت نتائج الفحص بالميكروسكوب المستقطب والميكروسكوب الإلكتروني الماسح لعينات الرخام المأخوذة من اللوحة التأسيسية بصلح المسجد والأعمدة الرخامية أنها تتكون من معدني الكالسيت CaCO_3 والدولوميت $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$ ، كما تظهر بعض المناطق الغائرة والتشوهات في حبيبات معدن الكالسيت CaCO_3 وفقدان أجزاء منها وذلك بسبب تبلور الأملاح بين الحبيبات المعدنية، وكذلك الذوبان الجزئي لبعض المكونات بفعل تأثير الرطوبة كما هو موضح في اللوحتين ٩،١٠، كما أظهرت نتائج تحليل ذات العينات بطريقة حيود الأشعة السينية أنها تتكون أساساً من معدني الكالسيت CaCO_3 ، الدولوميت $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$ ، بالإضافة إلى معدن الهاليت NaCl (لوحة ١١).

٣،٣،٤ الجرانيت Granite

أظهرت نتائج الفحص بالميكروسكوب المستقطب والتحليل بطريقة حيود الأشعة السينية أن العينات المأخوذة من الأعمدة الجرانيتية الموجودة في الإيوان المقابل لإيوان القبلة

⁴ <http://www.climate-charts.com/Locations/u/UB62349.php>

بالمسجد أنها تتكون من معادن الألبيت $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ، الكوارتز، SiO_2 ، الميكروليتين KAlSi_3O_8 ، البيوتيت $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{O,H,F})_2$ ، كما بينت نتائج فحص عينات الجرانيت بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح عن وجود تآكل للبلورات المعدنية وفراغات وتفكك بين الحبيبات المعدنية وتكسير ببعض البلورات، إضافة إلى فراغات وانفصال للبلورات عن بعضها البعض (لوحات ١٢، ١٣، ١٤).

٤، ٣، ٤ المونة والكحلة The Mortar and Pointing

أظهرت نتائج تحليل عينات المونة والكحلة المأخوذة من جدران الطوب المنجور بحيود الأشعة السينية أنها تتكون أساساً من معادن الكالسيت CaCO_3 ، والكوارتز SiO_2 ، والألبيت $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ بالإضافة إلى معدني الجبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ، والهاليت NaCl ، وهو ما يبرهن على أن المونة المستخدمة عبارة عن الرمل والجير والجبس وقد وجد معدني الألبيت والهاليت كشوائب، أما الكحلة فتتكون من معدني الكالسيت CaCO_3 والكوارتز SiO_2 (لوحة ٨).

٥، ٣، ٤ التحليل الكيميائي للأملاح الموجودة بوحدات الطوب المنجور

The Chemical Analysis of Salts in El Mangor Brick Unites

بينت نتائج التحليل الكيميائي الوزني لعينات الطوب المنجور عن وجود أيونات الكلور والصوديوم والكبريتات بنسبة متفاوتة حيث تراوحت نسبة أيون الكلور ما بين ١،٣% إلى ٣،١٨% وإيون الصوديوم ١،٩٣% وإيون الكبريتات ٠،١% إلى ٠،٢% (جدول ٢) ليعطى دلائل واضحة على أن أملاح الهاليت NaCl والجبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ هي الموجودة بينما تكمن الخطورة في أملاح الهاليت NaCl نظراً لوجود نسبة عالية وتوافر الظروف الملائمة لتبلورها.

جدول رقم (٢) يوضح نتائج التحليل الكيميائي لعينات أملاح من الطوب المنجور لمسجد البجم

رقم العينة	Cl %	Na %	SO ₄ %	NH ₃ %
١	٣،١	١،٩	٠،١	٠،٤
٢	٣،١٨	١،٩٣	٠،٢	٠،٤
٣	١،٣	٠،٨	٠،١	٠،٣

٥. دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية للطوب المنجور

Study of the Physical and Mechanical Properties of El Mangor Brick

بينت نتائج دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية لعينات الطوب المنجور المأخوذة من مسجد أحمد البجم أن كثافة الطوب المنجور ١،٣٧ جم/سم^٣ أما امتصاصه للماء وصل

إلى ٢٩% ومساميته ٤٣% أما مقاومته للضغط فقد وصلت إلى ٤,٢ ميجا بسكال في حين وصلت مقاومته للشد إلى أقل من واحد ميجا بسكال (٥,٨ كجم/سم^٢).

٦. مناقشة النتائج Discussion of Results

إتضح من نتائج الزيارات والملاحظات الحقلية لمسجد أحمد البجم والظروف المناخية السائدة في منطقة الدراسة إضافة إلى نتائج فحص وتحليل العينات المأخوذة من العناصر المعمارية والزخرفية بكل من الميكروسكوب المستقطب والميكروسكوب الالكتروني الماسح وطريقة حيود الأشعة السينية، إضافة إلى التحليل الكيميائي لعينات الأملاح، أن مظاهر التلف الموجودة بهذه العناصر المعمارية والزخرفية تعد نتيجة طبيعية لما تتعرض له موادها من تجوية فيزيائية *Physical weathering* وتجوية فيزيوكيميائية *Physiochemical weathering* وتجوية وكيميائية *Chemical weathering*، إضافة إلى عمليات الترميم الخاطيء من قبل الأهالي وإهمال المسؤولين. حيث أن التجوية الفيزيائية قد توافر لها كل السبل في منطقة الدراسة لكي تلعب دورا هاما في تلف مكونات المسجد بصفة عامة وزخارف الطوب المنجور والرخام والجرانيت بصفة خاصة اعتمادا على عمليات التمدد والانكماش الحراري *Thermal expansion and contraction* للمعادن المكونة لها نتيجة لما تتعرض له من تغيرات يومية وموسمية في درجات الحرارة (يصل التباين بين درجة حرارة الليل والنهار إلى أكثر من ١٥ درجة مئوية ومثلها بين فصلي الصيف والشتاء)، وحيث أن لكل معدن خصائصه الحرارية الخاصة به فعلي سبيل المثال نجد أن معامل تمدد معدن الكوارتز أعلى من معامل تمدد معدن الكالسييت^٥، لذا وفي ضوء كل ما سبق فإن كل من الطوب المنجور، والرخام والجرانيت قد خضعوا للعديد من الإجهادات والتي أدت بدورها إلى العديد من الانفعالات متمثلة في التفكك والتشقق والتقشر وهذا ما ظهر واضحا في زخارف الطوب المنجور^٦ الذي يعاني من تشقق وتقشر في المناطق السطحية وتفكك الحبيبات المعدنية المكونة له (لوحة ٤)، وبالتالي التأثير على قوة تحملها للضغط^٧، كما تساقطت أجزاء كبيرة من الكحلة البارزة، ذات اللون الأبيض الموجودة في الفواصل (العراميس) الأفقية والرأسية بين قوالب الطوب المنجور (لوحة ٤)، أما العناصر المعمارية والزخرفية الرخامية فتعاني من وجود شروخ شعيرية دقيقة في

⁵ Galan E. The influence of temperature changes on stone decay. In weathering and air pollution. Milano. Mario Adda Editore. Bari, 1991, Pp. 119-128.

⁶ Papayianni I, Stefanidou M., Characteristics of bricks of Byzantine period. In: 12th international brick/block masonry conference, Madrid, 2000, Pp 729-736.

⁷ Fernandes F, Lourenço PB., Evaluation of the compressive strength of ancient clay bricks using microdrilling, Journal of Materials in Civil Engineering ASCE 19, 2007, Pp. 105-118.

بعض الأجزاء من الأعمدة واللوحات الرخامية الموجودة بالمسجد^٨، إضافة إلى تقشر في الطبقة السطحية في بعض الأجزاء المصقولة للرخام وتحول بعض الأجزاء أسفل القشرة السطحية المنفصلة إلى ما يشبه المسحوق (لوحتين ٤، ٥). كما يوجد بالأعمدة الجرانيتية شقوق وانفصال لمجموعات من الحبيبات المعدنية على هيئة قشور مثل قشور السمك (لوحه ٤).

أما عن دور التجوية الفيزيوكيميائية *Physiochemical weathering* بالعناصر المعمارية والزخرفية بالمسجد فتعتمد على تبلور أملاح الهاليت *Halite salts* *crystallization* الموجودة بالطوب المنجور، والرخام والجرانيت والمونات، حيث وجدت هذه الأملاح كأحد الشوائب الموجودة ضمن مكونات هذه المواد^٩، مثلما جاءت في أنماط حيود الأشعة السينية، إضافة إلى نتائج التحليل الكيميائي الوزني للعينات المأخوذة من هذه المواد، ومع التباين الشديد في درجة الحرارة^{١٠}، كما ذكرنا في ميكانيكية التلف السابقة، وتسرب الماء من شبكتي ماء الضوء والصرف إلى الجدران بالخاصية الشعرية أو سقوط الأمطار في فصل الشتاء، لذا نجد أن كل السبل ميسرة لتبلور أملاح الهاليت بين الحبيبات المعدنية المكونة للطوب المنجور والرخام والجرانيت والمونات^{١١}، وهذا بدوره أدى إلى المزيد من الاجهادات لهذه المواد وتفكك حبيبات المعادن المكونة لها في بعض الأجزاء مع مرور الوقت^{١٢}، إضافة إلى تكون بقع بيضاء نتيجة لتبلور أملاح الهاليت على سطح الجدران أو الأعمدة^{١٣}.

أما عن التجوية الكيميائية *Chemical weathering* المؤثرة في زخارف الطوب المنجور والرخام والجرانيت بالمسجد، فتعتمد بصفة خاصة على عناصر الذوبانية *Dissolution*، والكربنة *Carbonation* والأكسدة *Oxidation*. فالماء المتسرب إلى الجدران والأعمدة تزداد فاعليته عند إتحاده بغاز ثاني أكسيد الكربون مكونا حمض

⁸ Lazzarini L, Moschini G, Stievano A., A contribution to the identification of Italian, Greek, and Anatolian Marbles through a petrological study and the evaluation of Ca/Sr ratio. *Archaeometry* 22, 1980, Pp. 173–183.

⁹ Di GIULIO, A., Reliability of textural analysis of ancient plasters and mortars through automated image analysis. *Materials Characterization*, 2004, Pp. 53, 243-257.

¹⁰ López-Arce P, Garcia-Guinea J, Gracia M, Obis J., Bricks in historical buildings of Toledo City: characterization and restoration. *Materials Characterization*, 2003, Pp 50,59–68.

¹¹ Biscontin G, Birelli M, Zendri E., Characterization of binders employed in the manufacture of Venetian historical mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 2002, Pp. 3,31–37

¹² Degryse P, Elsen J, Waelkens M., Study of ancient mortars of Sagalassos (Turkey) in view of their conservation. *Cement and Concrete Research*, 2002, Pp. 209-215.

¹³ Brocken H, Nijland T., White efflorescence on brick masonry: towards prediction of efflorescence risk.” In: 13th international brick/block masonry conference, Amsterdam, 2004, 109-114.

الكربونيك والذي يؤثر علي الكالسيت CaCO_3 (لا يذوب في الماء) الموجود بالأعمدة الرخامية^{١٤} والمونة والكحلة، محولا اياه إلي بيكربونات الكالسيوم $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (تذوب في الماء) أي أنه يتم إزالة الكالسيوم على شكل أيونات ذائبة في الماء ومعني ذلك تحول المادة الصخرية إلي محلول مائي تاركة ورائها فراغات، وهذا ربما ما حدث بالفعل في بعض الأجزاء من الزخارف الرخامية والتي تكونت علي أسطحها طبقة ناعمة كالبودرة، بينما كونت أيونات الكالسيوم الذائبة (من كربونات الكالسيوم المكونة للمونة والكحلة وتحولها الي بيكربونات الكالسيوم) بقع بيضاء علي أسطح الطوب المنجور نتيجة لترسبها وتبخر الماء، بينما تتكون البقع البنية بالزخارف الرخامية (لوحة ٥) نتيجة لإتحاد الأكسجين بعنصر الحديد في وجود الماء كعامل مساعد وتكوين أكسيد الحديد. أما عن الأعمدة الجرانيتية بمسجد أحمد البجم والتي تتكون من معادن الألبيت $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ الكوارتز SiO_2 والميكرولكلين KAlSi_3O_8 والبيوتيت $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{Al, Si}_3\text{O}_{10}(\text{O,H,F})_2$. فالكوارتز يبقى على حاله دون تحلل وهو أكثر المعادن مقاومة للتجوية ليكون فيما بعد حبيبات من الرمل^{١٥}، أما الفلسبار فيتحلل مكون سيليكات الومنيوم مائية (معادن طينية)^{١٦}، بالإضافة إلي أكاسيد البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم وهي مواد قابلة للذوبان على هيئة كربونات وكلوريدات^{١٧}، ونتيجة لتحلل بعض المعادن توجد حفر وأجزاء غائرة في أغلب الأعمدة الجرانيتية^{١٨}.

كما جاءت نتائج الخواص الفيزيائية والميكانيكية لعينات الطوب المنجور لتعطي مؤشرا ودلالة واضحة عن مدي التلف والضعف بالبنية الداخلية للطوب المنجور بسبب ما يتعرض له من تجوية ميكانيكية وفيزيوكيميائية وكيميائية^{١٩}، حيث وصلت كثافته $1,37$ جم/سم^٣، أما امتصاصه للماء 29% ومساميته 43% في حين وصلت مقاومته للضغط إلي ما يقرب من $4,2$ ميغا بسكال وتحمله للشد إلي أقل من واحد ميغا بسكال ($5,8$ كجم/سم^٢). إضافة إلي كل ما سبق من مظاهر تلف ناتجة عن التجوية بأنواعها الثلاثة فلا يمكن أن نغفل عمليات الترميم الخاطئة والمتمثلة في استخدام الأسمنت

¹⁴ Lazzarini L, Moschini G, Stievano A. Op.cit. 1980, Pp. 173-183.

¹⁵ Mackenzie, W.S., Atlas of Igneous rocks and their textures, Long man group limited, London, 1994, Pp.101.

¹⁶ Stoch L. and Sikora W. Transformation of micas in the process of kaolinisation of granites and gneisses, Clays and Clay minerals, 24, 1976, Pp. 156-162.

¹⁷ Blum A.E., Feldspars in weathering and their reactions, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1994, Pp.595-630.

¹⁸ Ordaz, J. et al., A proposed petrographical index to define mineral and rock deterioration in granitic rocks, in " Proc. Int. Symp., UNESCO-RILEM ", Paris, 2007, Pp 225-265.

¹⁹ Fernandes F, Lourenço PB., Op.cit. 2007, Pp. 105-118.

العادي في عمليات ترميم زخارف الطوب المنجور (لوحة ٤)، وطمس للمعالم الزخرفية لبعض التيجان نتيجة لاستخدام بعض الدهانات (لوحة ٣)، إضافة إلى الإهمال الشديد وقيام المصلين بوضع بعض الملصقات علي الأعمدة والجدران (لوحة ٣).

٧. توصيات ومقترحات العلاج والصيانة

Recommendations and Suggestions for the Treatment and Conservation

من خلال نتائج الدراسات والفحوص والتحليل ومناقشتها نوصي ببعض المقترحات والتوصيات الواجب إتباعها لترميم وصيانة العناصر المعمارية والزخرفية بمسجد أحمد الججم مع مراعاة ضرورة إجراء الدراسات التجريبية اللازمة قبل تطبيق أي مادة للتنظيف أو التقوية أو العزل لتتأكد من ملائمتها حتى لا يترتب علي استخدامها أي مظاهر تلف أخرى:

١,٧ التوصيات ومقترحات العلاج والصيانة لزخارف الطوب المنجور والمونات.

بالنسبة لعلاج وترميم وصيانة هذه الزخارف يوصي بما يلي:

- ١- التنظيف الميكانيكي والكيميائي لإزالة الأتربة والإتساخات^{٢٠}، استخلاص أملاح الهاليت باستخدام الطرق اليدوية والكمادات الورقية^{٢١}
 - ٢- وتقوية الأجزاء الضعيفة والمتآكلة والمنفصلة الحبيبات المعدنية باستخدام مادة (Methyl- Phenyl Silicone) Coatsil^{٢٢} كما يمكن استخدامها في عزل زخارف الطوب حيث أنها مادة شفافة وتمتاز بخاصية الطرد للماء.
 - ٣- استكمال قوالب الطوب التالفة أو المفقودة بقوالب مماثلة في مكوناتها وأبعادها للطوب الأثري الأصلي.
 - ٤- استكمال الكحلة البارزة في الأماكن التي فقدت منها بين فواصل الطوب بالمون المناسبة مع استبعاد استخدام الأسمنت العادي لما يترتب عليه من مظاهر تلف^{٢٣}.
 - ٥- تعديل شبكة ماء الضوء والصرف بالمسجد، ثم عمل نظام متكامل لعزل الجدران للحد من وصول المياه للجدران.
- ٢,٧ توصيات ومقترحات العلاج والصيانة للعناصر الزخرفية الرخامية

²⁰ ultrone G,De La Torre MJ,Sebastian EM,Cazalla O,Rodriguez-Navarro C.,Behavior of brick samples in aggressive environments.Water Air and Soil Pollution,2000, Pp. 119,191-207.

²¹Robinson G, Borchelt J., Characterization of bricks and their resistance to deterioration mechanisms In:10th international brick/block masonry conference,Calgary, 1994, Pp. 295-304.

²² Sharma,R.K., Performance Evaluation of Preservative Coatings on Stone Surface of Heritage Buildings Having Hygric State, 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone , Venice, 2000, Pp. 467-475.

²³ Bonazza A, Sabbioni C, Sardella A, Favoni O, Rendini P, Sabelli R., Compatibility of repair mortars at the archaeological site of villa Domizia on Giannutri Island, Italy. RILEM workshop repair mortars for historic masonry, Delft, 2005, Pp. 118-125.

- ١- إزالة جميع مواد الاستكمال غير الملائمة والتي استخدمت من قبل الأهالي دون إجراء الدراسات التجريبية اللازمة قبل تطبيق.
 - ٢- إتباع طرق التنظيف الميكانيكي لإزالة جميع طبقات التكلسات والأتربة والعوالق وبقايا أي مونة قديمة من على أسطح العناصر الرخامية .
 - ٣- إتباع التنظيف الكيميائي لإزالة الطبقة السوداء الرقيقة الناتجة عن التلوث الجوى على أسطح العناصر الرخامية باستخدام خليط من منظف صناعي متعادل مع الأمونيا والماء^{٢٤}، وتصلح هذه الطريقة لإزالة معظم الطبقات الرقيقة الموجودة على سطح الرخام أما الطبقات الأكثر سمكا أو الملتصقة التصاقا شديدا بالأسطح الرخامية فتستخدم معها كمادة جيلاتينية يطلق عليها كمادة مورا ^{٢٥}Mora Poultice .
 - ٤- تثبيت القشور والأجزاء المنفصلة باستخدام Paraloid B72 with ethyl silicates للمحافظة عليها من الفقد مع مرور الوقت^{٢٦} .
 - ٥- تقوية الأجزاء الضعيفة من العناصر الرخامية باستخدام مادة Rhodorsil RC 90 (Tetra ethoxy silane with Methyl phenyl poly Siloxane) (5% in white spirit) والتي يمكن استخدامها أيضا في عزل الأسطح الخارجية للأعمدة والتيجان لصيانتها من التلف مرة أخرى^{٢٧} .
- ٣,٧ توصيات ومقترحات العلاج والصيانة للأعمدة الجرانيتية
- ١- إزالة الدهانات الحديثة والأتربة والإتساخات من على الأسطح الخارجية للأعمدة باستخدام التنظيف الميكانيكي بالطرق اليدوية الملائمة وغيرها من الطرق الميكانيكية الحديثة. واستخدام التنظيف الكيميائي بأحد المذيبات المناسبة مثل محلول داي ميثيل فورماميد لإزالة الدهانات الموجودة^{٢٨} .
 - ٢- إجراء عملية تثبيت للقشور المنفصلة باستخدام Paraloid B72 with ethyl silicates بالمواصفات الفنية المناسبة^{٢٩} .

²⁴ Benavente D, Bernabéu A, Fort R, Martínez-Martínez J, García del Cura MA., The decolouration of brecciated black marbles used in heritage monuments of Alicante. In: Fort R, Alvarez de Buergo M, Gomez-Heras M, Vazquez-Calvo C (eds) Heritage, weathering, and conservation, vol 1. Taylor Francis, London, 2006, Pp. 205-210.

²⁵ Marinelli, S.A. Papanikolopoulos, S.K. Kourkoulis, I. Vayas, The pull-out problem in restoring marble fragments: A design criterion based on experimental results, Strain, 2009, Pp.220-

²⁶ Kotlík, P: Consolidation of Stone by Mixtures of Alkoxysilane and Acrylic Polymer , Studies in Conservation, Vol. 41, No. 2. 1996, pp. 109-119.

²⁷ Mohammed K. Khallaf, Analysis and Preservation of Marble in Archaeological Buildings, The Seventh International Symposium on New Trends in Chemistry " Analytical Chemistry for a better Life " Egyptian Journal of Analytical Chemistry – Volume (15) pp.216-223 (2006)

²⁸ Ordaz, J. et al. Op.cit 2007, Pp 225-265.

²⁹ Kotlík, P.: Op.cit., 1996, pp. 109-119.

٣- تقوية و عزل الأسطح الخارجية للأعمدة الجرانيتية بمادة Tegosivin HL 100 (Poly Siloxane) التي تتميز بخاصية الطرد للماء والتقوية في نفس الوقت^{٣٠}.

٨. المراجع References

تفيدة محمد عبد الجواد, الآثار المعمارية في محافظة الغربية في العصرين المملوكي والعثماني, رسالة ماجستير, كلية الآثار, جامعة القاهرة, ١٩٩٠ ص ٧٩:٩٠.

AccuPycTM 1330TC, Operator's Manual, V3.03, Part No. 133-42810-01, ©Micromeritics Instrument Corporation, 2001.

Benavente D, Bernabéu A, Fort R, Martínez-Martínez J, García del Cura MA., The decolouration of brecciated black marbles used in heritage monuments of Alicante. In: Fort R, Alvarez de Buergo M, Gomez-Heras M, Vazquez-Calvo C (eds) Heritage, weathering, and conservation, vol 1. Taylor Francis, London, 2006, Pp 205–210.

Biscontin G, Birelli M, Zendri E., Characterization of binders employed in the manufacture of Venetian historical mortars. Journal of Cultural Heritage, Vol.2, No.4 , 2002, Pp. 31–37.

Blum A.E., Feldspars in weathering and their reactions , Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1994, Pp.595-630.

Blum A.E., Feldspars in weathering and their reactions , Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1994, Pp.595-630.

Bonazza A, Sabbioni C, Sardella A, Favoni O, Rendini P, Sabelli R, Compatibility of repair mortars at the archaeological site of villa Domizia on Giannutri Island, Italy. RILEM workshop repair mortars for historic masonry, Delft, 2005, Pp. 118-125.

Brocken H, Nijland T., White efflorescence on brick masonry: towards prediction of efflorescence risk.” In: 13th international brick/block masonry conference, Amsterdam, 2004, Pp. 109-114.

Cultrone G, De La Torre MJ, Sebastian EM, Cazalla O, Rodriguez-Navarro C., Behavior of brick samples in aggressive

³⁰ **Theoulakis,P.**, Effectiveness of Surface Treatments for Stone in Greece, 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone , Venice, 2000, Pp. 493-501.

environments. Water Air and Soil Pollution, Vol. 6, 2000, Pp .191–207.

Degryse P, Elsen J, Waelkens M., Study of ancient mortars of Sagalassos (Turkey) in view of their conservation. Cement and Concrete Research, 2002, Pp. 209-215.

Di GIULIO, A., Reliability of textural analysis of ancient plasters and mortars through automated image analysis. Materials Characterization, Vol. 3, 2004, Pp . 243-257.

Fernandes F, Lourenço PB., Evaluation of the compressive strength of ancient clay bricks using microdrilling, Journal of Materials in Civil Engineering ASCE 19, 2007, Pp105-118.

Galan E., The influence of temperature changes on stone decay. In weathering and air pollution. Milano. Mario Adda Editore. Bari. 1991, Pp. 119-128.

GeoPyc 1360, March, Operator's Manual, V3.01, Part No. 136-42801-01, ©Micromeritics Instrument Corporation, 2001.

Honyborne D., Weathering and Decay Masonry in Conservation of Building and Decorative Stone. Vol. 1. Butterworth-Heinemann. London, 1990, Pp. 153-183.

Kotlík, P: Consolidation of Stone by Mixtures of Alkoxysilane and Acrylic Polymer , Studies in Conservation, Vol. 41, No. 2. 1996, Pp. 109-119.

Lazzarini L, Moschini G, Stievano A., A contribution to the identification of Italian, Greek, and Anatolian Marbles through a petrological study and the evaluation of Ca/Sr ratio. Archaeometry 22, 1980, pp. 173–183.

López-Arce P, Garcia-Guinea J, Gracia M, Obis J., Bricks in historical buildings of Toledo City: characterization and restoration. Materials Characterization, Vol. 5, 2003, pp. 59–68.

Mackenzie, W.S., Atlas of Igneous rocks and their textures, Long man group limited, London, 1994, P.101.

Marinelli, S. A. Papanikolopoulos, S. K. Kourkoulis, I. Vayas, The pull-out problem in restoring marble fragments: A design

criterion based on experimental results, Strain, Butterworth-Heinemann. London, , 2009, Pp. 220-230.

Mohammed K. Khallaf, Analysis and Preservation of Marble in Archaeological Buildings, The Seventh International Symposium on New Trends in Chemistry " Analytical Chemistry for a better Life " Egyptian Journal of Analytical Chemistry – Volume (15) pp.216-223 (2006)

Ordaz, J. et al., A proposed petrographical index to define mineral and rock deterioration in granitic rocks, in " Proc. Int. Symp., UNESCO-RILEM " , Paris, 2007, Pp. 225-265.

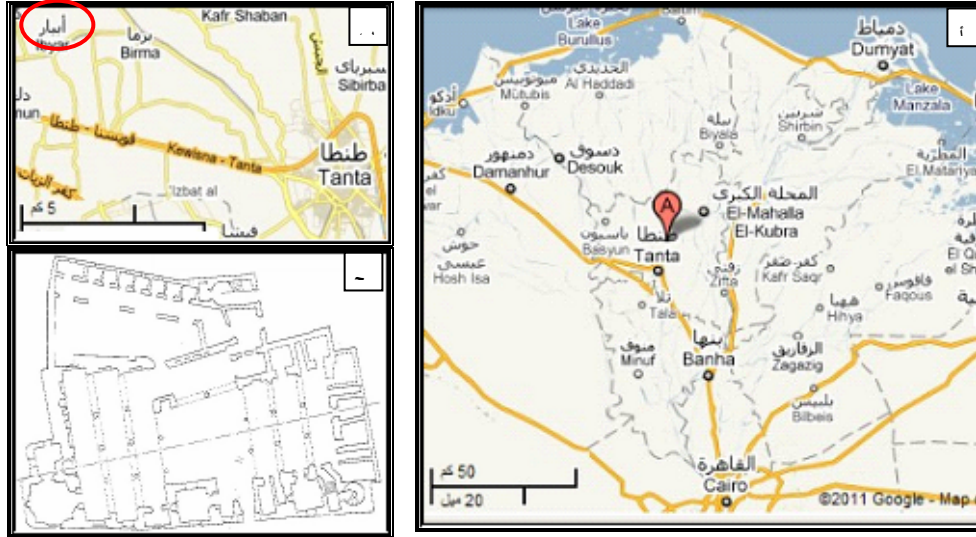
Papayianni I, Stefanidou M., Characteristics of bricks of Byzantine period. In: 12th international brick/block masonry conference, Madrid, 2000, Pp. 729–736.

Robinson G, Borchelt J., Characterization of bricks and their resistance to deterioration mechanisms. In: 10th international brick/block masonry conference, Calgary, 1994, Pp. 295–304

Sharma, R.K., Performance Evaluation of Preservative Coatings on Stone Surface of Heritage Buildings Having Hygric State, 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone , Venice, 2000, Pp. 467-475.

Stoch L. and Sikora W., Transformation of micas in the process of kaolinisation of granites and gneisses, Clays and Clay minerals 24, 1976, Pp. 156-162.

Theoulakis, P., Effectiveness of Surface Treatments for Stone in Greece, 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone , Venice, 2000, Pp. 493-501.



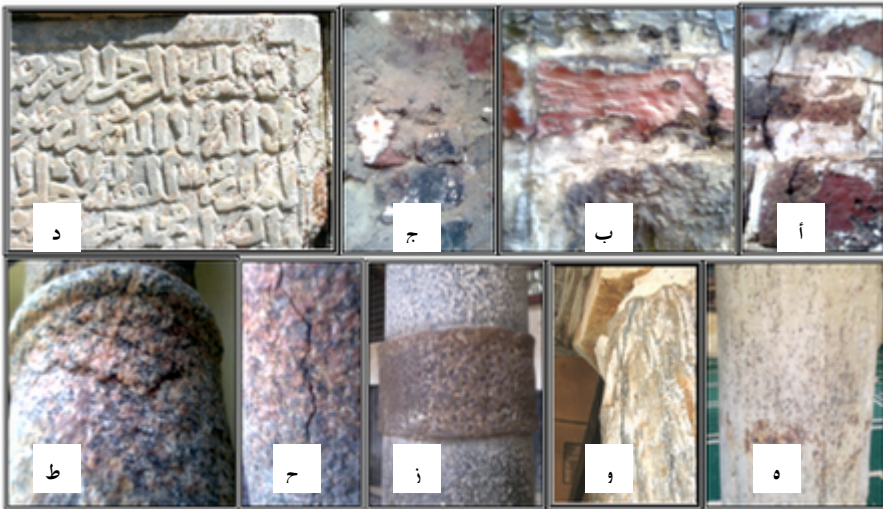
لوحة (١-أ، ب، ج) خريطة توضحان موقع مدينة أبيار بالنسبة لطنطا والقاهرة عن:
<http://maps.google.com/eg/maps> ومسقط أفقي للمسجد عن: المجلس الأعلى للآثار



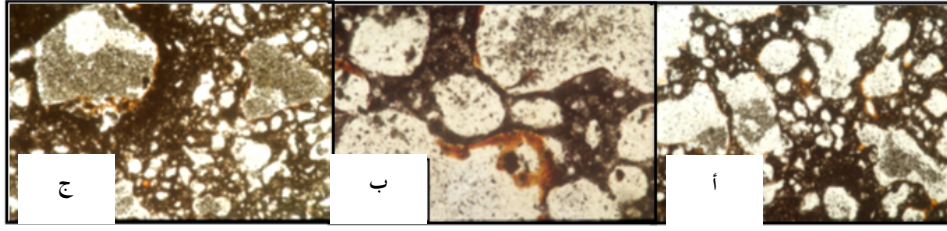
لوحة (٢) أ- تبيين الشارع المؤدي للمسجد ، ب ، ج- صحن ومئذنة المسجد وجزء من الرواق المواجهة لرواق القبلة، د- الرواق المواجهة لرواق القبلة، هـ - رواق القبلة وتحملها الأعمدة الرخامية والجرانيتية.



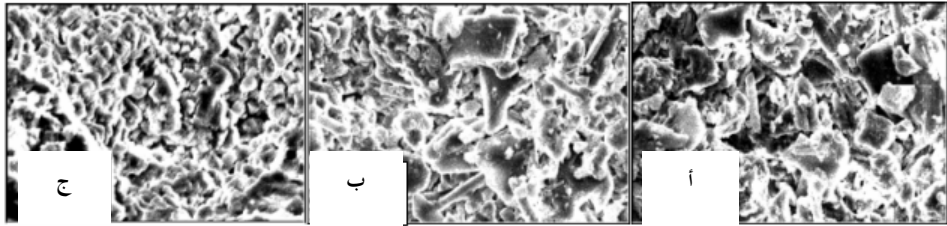
لوحة (٣) نماذج لزخارف الطوب المنجور والتيجان الجرانيتية والرخامية المختلفة في الشكل والحجم علي الأعمدة الجرانيتية والرخامية بمسجد البجم ويظهر بها مظاهر التلف المختلفة.



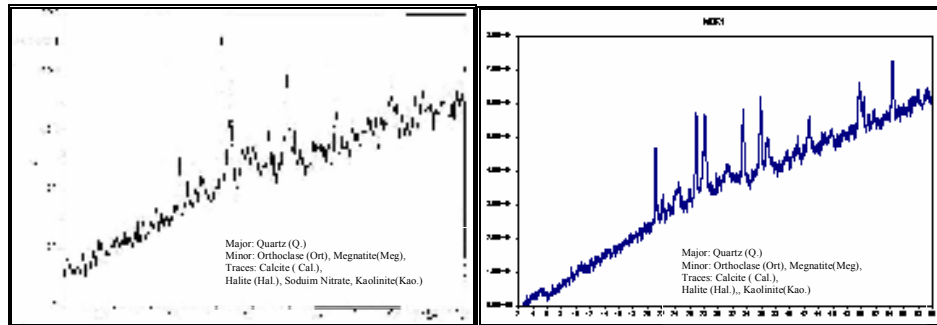
لوحة (٤) نماذج من مظاهر التلف: نقش، شقوق وترميم خاطئ بالطوب المنجور (B,C,D), شقوق، بقع بنية، تقنت وتفكك للحبيبات المعدنية (A,I,H), ترميم خاطئ، شقوق ونقش (E,F,G).



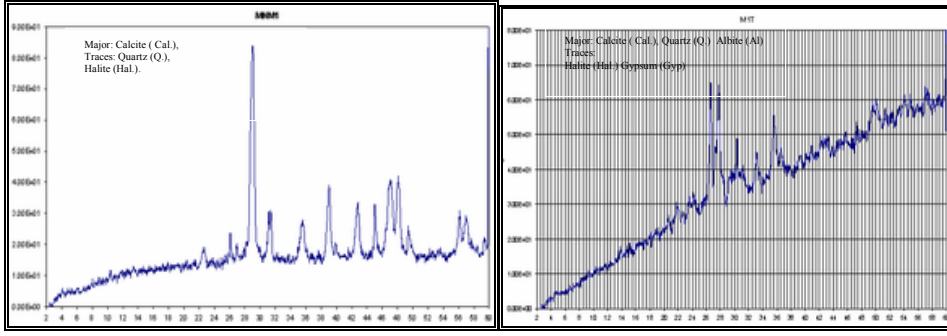
لوحة (٥) توضح نتائج الفحص بالميكروسكوب المستقطب لعينات الطوب المحروق حيث يظهر في ذوبان بعض مكوناته مثل أكاسيد الحديد والمعادن الطينية التي تغطي أجزاء من حبيبات الكوارتز (أ) X 25، إضافة إلي وجود أكاسيد الحديد علي حواف الحبيبات المعدنية المكونة للطوب (ب) X 64، كما تظهر حبيبات معدن الكوارتز المختلفة الأحجام في أرضية من المعادن الطينية (ج) X 25.



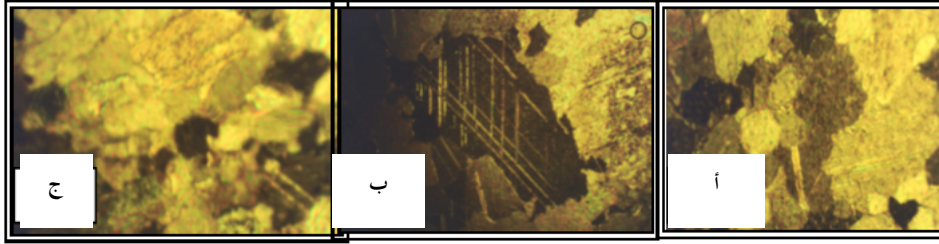
لوحة (٦) أمثلة لمظاهر التلف المختلفة لموجودة بالعينات المأخوذة من الطوب المنجور أثناء فحصها بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح: فراغات وتبلور للأملاح بين المكونات المعدنية للطوب (أ) X 600، تفكك لحبيبات المعادن المكونة للطوب بفعل الضغوط الناشئة عن تبلور الأملاح (ب) X 600، تآكل في حواف بعض الحبيبات (ج) X 800.



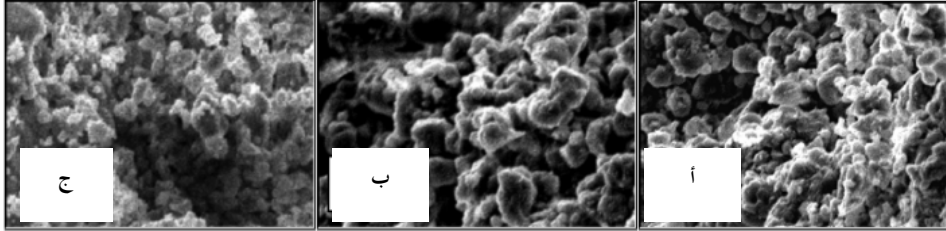
لوحة (٧) توضح نمطي حيود الأشعة السينية لعينة الطوب



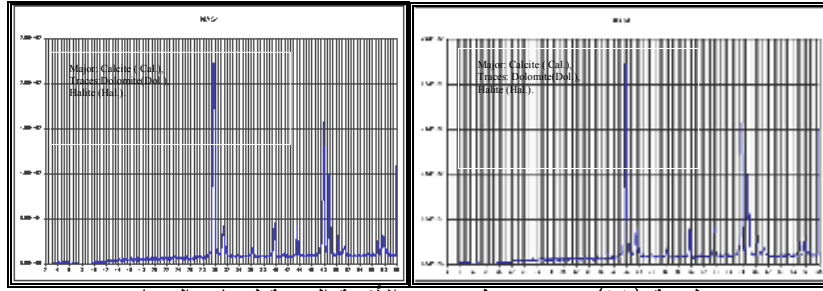
لوحة (٨) توضح نمطي حيود الأشعة السينية لعينة مونة الطوب المنجور، لعينة الكحلة البيضاء لرخارف الطوب المنجور من مسجد أحمد البجم.



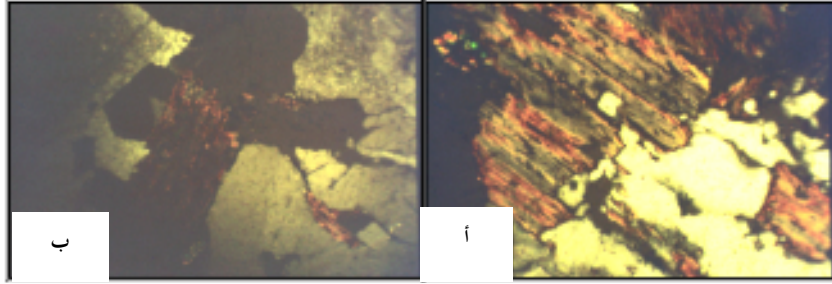
لوحة (٩) أمثلة لنتائج الفحص بالميكروسكوب المستقطب للعينات المأخوذة من العناصر المعمارية والزخرفية الرخامية حيث يظهر النسيج الموزايكي Mosaic texture ذو البلورات المتداخلة والمميز للرخام (أ) X 120 ، وجود خطوط الانفصام المميزة لبلورات معدن الكالسيت المكون الرئيسي للرخام (ب) X 160 ، بلورات معدن الكالسيت (ج) X 120 .



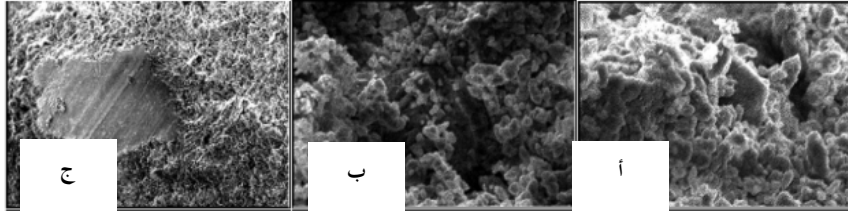
لوحة (١٠) أمثلة لمظاهر التلف المختلفة الموجودة بالعينات المأخوذة من العناصر المعمارية والزخرفية الرخامية بمسجد أحمد البجم أثناء فحصها بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح: تفكك الحبيبات المعدنية وانتشار الفراغات بينها (أ)، X 1200 ، ذوبان لبعض الحبيبات المعدنية وتآكل لحوافيها (ب) X 1200 ، و تبلور للأملاح بين مكونات حبيبات معدن الكالسيت المكونة للرخام (ج) X 1000 .



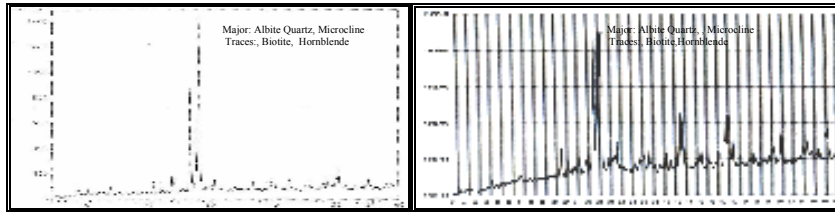
لوحة (١١) توضح نمطي حيود الأشعة السينية لعينات الرخام.



لوحة (١٢) توضح نتائج الفحص بالميكروسكوب المستقطب لعينات الأعمدة الجرانيتية حيث يظهر التداخل بين معادن الميكروكلين والكوارتز والفلسبار، كما تشير الأجزاء الداكنة لبلورات حبيبات معادن الفلسبار إلي وجود تحولات جزئية لها إلي معادن طينية (أ) X 60. إضافة إلي وجود شروخ في الحبيبات المعدنية المكونة للجرانيت وتداخل بين حبيبات معدن الكوارتز و معادن الفلسبار والبيوتيت، (ب) X 40.



لوحة (١٣) أمثلة لمظاهر تلف مختلفة الموجودة بالعينات المأخوذة من الأعمدة لجرانيتية أثناء فحصها بالميكروسكوب الالكتروني للملح: فراغت ونفصال للبلورات عن بعضها البعض (أ)، X 900، فراغات وتفكك بين الحبيبات المعدنية وتكسير ببعض البلورات (ب) X 850، تآكل للبلورات المعدنية (ج) X 400.



شكل (١٤) يوضح نمطي حيود الأشعة السينية للعينات المأخوذة من الأعمدة