دراسة بيئية لتأثير الملوثات الجوية علي الألباستر المصري المستخدم بجامع محمد علي بالقلعة واقتراحات العلاج والصيانة

أ.م.د. عبده عبداللاه الدربي* أ.د. بدوي محمد إسماعيل** د.عصام حشمت محمد***

ملخص البحث:

نتناول في هذا البحث دراسة الملوثات الجوية المؤثرة علي الالباستر المصري المستخدم بجامع محمد علي باشا بالقلعة وميكانيكية التلف الناتجة عنها ،حيث يتسبب التلوث الجوي في تلف مواد البناء الأثرية بصفة عامة والآثار الحجرية بصفة خاصة نتيجة لترسيب مخلفات التلوث الصلبة مثل الأتربة والسناج وقطرات الشحوم وحبيبات الكربون علي أسطح المباني الأثرية مما يؤدي إلي تشويه تلك الأسطح وتغطيتها بطبقة من المكونات السوداء، وتكمن خطورة الملوثات الجوية في احتوائها علي غاز ثاني أكسيد الكبريت وثالث أكسيد الكبريت والتي تعتبر من اخطر الغازات الملوثة، حيث تؤدي إلي تلف مواد البناء الأثرية بشكل مباشر أو غير مباشر حيث يتحول ثالث أكسيد الكبريت إلي حمض الكبريتيك عند توافر الرطوبة والظروف الجوية المناسبة ويهاجم الكالسيت(كربونات الكالسيوم $CaCO_3$)المكون الأساسي للالباستر المصري (موضوع الدراسة) ويحوله إلي كبريتات كالسيوم، وقد وجد أن التلف الفيزيوكيميائي الذي يحدث لخامات المباني بسبب التلوث الجوي يكون نتيجة للاتصال المباشر بين حمض الكبريتيك أو حمض الكبريتوز والمادة الصلبة ، كذلك تتسبب نواتج التلوث في تغطية أسطح المباني الأثرية بطبقة ملحية سوداء اللون تعرف بـ ***hard black crust*** تعمل علي تحول سطح الحجر أسفل هذه الطبقة إلي سطح هش فاقد التماسك نتيجة للتفاعلات الفيزيوكيميائية بين مكونات الحجر وأحماض وغازات التلوث الجوي.

وقد وجد أن الملوثات الجوية تصبح أكثر خطورة في حالة وجود مياه الأمطار التي تعمل علي تحويل الغازات الملوثة إلي أحماض وترسبها علي أسطح الأحجار الأثرية، وتتلخص مظاهر التلف الناتجة عن تأثير الملوثات الجوية في تكون قشرة

---

*) أستاذ ترميم الآثار المساعد و رئيس قسم ترميم الآثار بكلية الآثار بقنا ، جامعة جنوب الوادي.

*) أستاذ ترميم الآثار بكلية الآثار بقنا ، جامعة جنوب الوادي ، واستشاري تجهيزات المتاحف و الحفاظ علي التراث و مشروعات الترميم بوزارة الثقافة ووزارة الدولة لشئون الآثار .

*) مدرس مساعد بقسم ترميم الآثار ، كلية الآثار بقنا، جامعة جنوب الوادي

صلبة علي السطح الخارجي للحجر تعرف بـ hard black crust تتكون من جزيئات من الفحم وبلورات الجبس وبعض جزيئات الكربون ويتراوح سمك هذه الطبقة ما بين ٠،٥ الي١ مم، وتتلخص اقتراحات الحفاظ في القضاء علي مسببات وعوامل التلف بوسائل عدة وكذلك علاج مظاهر التلف وإيجاد آلية لمنع وجود أو حدوث هذه العوامل مرة أخري.

المقدمة :

يتمتع جامع محمد علي بقلعة صلاح الدين الأيوبي بأهمية بالغة من الوجهتين الأثرية و السياحية علي المستوي العالمي جعلته يشغل مكانة مرموقة بين عمارات ومباني الحضارات بوجه عام والحضارة الإسلامية بوجه خاص، حيث يتميز بخاصية التفرد سواء في مصر أو العالمين العربي و الإسلامي باستثناء تركيا، فلا يوجد له مثيل داخل مصر ذاتها كذلك خلت الدول العربية من وجود مثيل مشابه له بالرغم من وقوع العديد منها تحت سيطرة الدولة العثمانية ، وأهم مايميز جامع محمد علي كسوة واجهاته وحوائطه الداخلية بحجر المرمر الألباستر المصري(موضوع البحث) الذي أضفي عليه مظهراً جمالياً جعله تحفة معمارية فريدة من نوعها ، وجاء استخدام محمد علي للالباستر المصري سواء في كسوة واجهات وحوائط مسجده أو في بعض التكوينات المعمارية الأخرى مثل الأعمدة والنوافذ تقليداً للجوامع العثمانية المميزة المبنية بداية من القرن (٥هـ / ١١م) والتي أستخدم فيها الرخام بدلاً من الألباستر المصري ، ولكن محمد علي تفوق عليها في استعمال المرمر بكمية كبيرة حتي أن محجر وادي سنور الذي جلب منه الحجر لاستخدامه بالجامع عرف محلياً بمحجر محمد علي، كذلك أطلق علي الجامع اسم جامع الألباستر، وبمرور الزمن تعرضت هذه التكسيات لتأثير الملوثات الجوية بشكل كبير مما أثر عليها وأدى إلى إضعاف خواصها الميكانيكية والفيزيائية، نتناول في هذا البحث دراسة الملوثات الجوية المؤثرة علي الالباستر المصري المستخدم بجامع محمد علي باشا بالقلعة، حيث نتناول وصف الالباستر المصري وكيفية تكوينه، والتلوث الجوي ومصادره وميكانيكية بفعل التلوث الجوي ومظاهر التلف الناتجة عنه، بالإضافة للفحوص والتحاليل واقتراحات العلاج والصيانة.

١- الالباستر المصري:

ينتمي صخر الألباستر المصري إلي الصخور الرسوبية كيميائية النشأة وهو صخر مدمج (دقيق المسام) ويشتمل بشكل أساسي علي معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم $CaCO_3$) بالإضافة إلي الاكاسيد الحديدية التي توجد كشوائب في ذلك

الصخر (١)، وهو يتواجد علي هيئة عروق داخل الفوالق والفواصل والكهوف المنتشرة داخل الحجر الجيري الايوسيني (٢) ، ويقع الالباستر المصري بشكل رئيسي بين طبقات الصخور الجيرية الايوسينية علي هيئة عروق في أنظمة الكارست* المستطيلة، وأفضل أنواعه يوجد بوادي سنور شرق محافظة بني سويف – حيث تكون نتيجة لتعرض منطقة جبل سنور لفترة زمنية مطيرة مع فترات جفاف أدت لتكوين نطاق كارستي عميق يصل إلي ١٨٠م عمق وذلك أثناء العصر الايوسيني الأوسط و الأعلى، وقد صاحب ذلك تكون كهوف وفجوات في منطقة وادي سنور، وهذه الكهوف والفجوات قد امتلأت برسوبيات فتاتية وغير فتاتية ، حيث تعرف الرسوبيات غير الفتاتية باسم الالباستر المصري وهو يمثل جزءاً هاماً من الثروات الطبيعية للمحافظة (٣) – ويليه الباستر وادي الأسيوطي شرق أسيوط (٤)، وقد ذكر أيضا أن ثاني أكسيد الكربون الغني بالمنتجات المجماتية المختلط بالمياه الجوفية الموجودة بالأحجار الجيرية عمل علي إذابة الأحجار الجيرية جزئيا وإعادة ترسيب الكالسيت في درجة حرارة تتراوح ما بين ١٠٠م° إلي ١٧٠م° وتم ترسيب الالباستر في العروق المفتوحة في أنظمة الكارست ذات المستوي المرتفع (٥) وغالباً ما تكون هذه العروق غير متصلة وليس لها سمك موحد، لذلك تظهر هذه الصخور في صورة عدسات صغيرة وكبيرة ،

---

١) و.د.هاملتون وآخرون ، ترجمة محمد فتحي عوض ، المعجم الجيولوجي المصور في المعادن والصخور والحفريات ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ،القاهرة، ١٩٩٩م ، صـ ٢١٥.

2) Aston, B.G., Harrell, J.A. and Shaw, I., Stone, in, ancient Egyptian materials and technology, Nicholson.T & Shaw, I., Cambridge university, 2000, p.p.59- 60.

3) Ewais, S.G., ., geological and environmental studies on the protectorate area of wadi sannur, south east beni suef ,Egypt , conference of beni suef , faculty of arts, branch of beni suef, Cairo university, 2002, p.2.

٤) محمد رجائي جودة & سامح سعد الدين احمد، مقدمة في الجيولوجيا العامة والهندسية، كلية الهندسة، جامعة أسيوط، ٢٠٠٤م، صـ ٥٥.

5) Klemm, D. & Klemm, R., the building stones of ancient Egypt – a gift of its geology, journal of African earth science 33,631 – 642 , El Sevier, 2001 , P. 641, www.elsevier.com/locate/jafrearsci.

طبوغرافية الكارست : تسمي المنطقة المميزة بهذه المعالم بطبوغرافية الكارست Karst topography نسبة إلي منطقة في الأجزاء الشمالية من يوغسلافيا سابقا ، والتي تتميز بطبوغرافية غير منتظمة من التلال والعديد من الحفر البالوعية وعلي الرغم من أن طبوغرافية الكارست يمكن أن تتكون أيضا في مناطق تتكون من الجبس والملح ، ويتكون الكارست في المناطق التي تتميز بثلاث خصائص : ١- مناخ يتميز بوفرة من الأمطار وارتفاع درجة الحرارة بدرجة تساعد علي الذوبان مع وجود غطاء نباتي كثيف (لتتكون مياه غنية بثاني أكسيد الكربون). ٢- متكونات حجر جيري به عديد من الفواصل. ٣- انحدار هيدروليكي مناسب يسمح بانسياب المياه الجوفيه خلال الصخور القابلة للذوبان (انظر محمد احمد هيكل & عبد الجليل هويدي ، أساسيات الجيولوجيا الفيزيائية ، الدار العربية للكتاب ، الطبعة الأولي ، ٢٠٠٨م ، صـ ٤٩٢) .

وقد تعرض صخر الالباستر المصري في بعض المناطق – منطقة وادي سنور – بعد انتهاء تكوينه وتصلده لعمليات من التصدع والشروخ ، حيث ملئت هذه الشروخ بالرواسب الجيرية والرملية و اكاسيد الحديد وبعض الجبس وملأت هذه الرواسب الشقوق والفواصل والفتحات الكبيرة الموجودة في الأجزاء الخارجية للحجر، أما الفجوات أو النخاريب التي بداخل الصخر فقد كسي معظمها بغشاء رقيق من اكاسيد الحديد الحمراء (٦)، ويتميز الالباستر المصري بالشفافية ولونه يتراوح ما بين البياض واللون السمني الضارب للصفرة و به بعض التجزيعات والهالات التي تعطيه صبغة جمالية عندما يكون في شرائح، ونظراً لسهولة نحته وصقله فقد أستخدم لتشكيل الأواني التي تستعمل في الاستخدامات المنزلية وحفظ مواد الزينة وكذلك استخدم في صناعة موائد القرابين في المعابد وفي صناعة التماثيل الصغيرة وكتكسيات داخلية لحجرات الدفن في المعابد (٧)، وكتكسيات داخلية وخارجية في مسجد محمد علي باشا بالقلعة

ويوجد الالباستر المصري المستخدم في مصر القديمة في ثلاث أشكال هي :

النوع الأول : المعتم ***Opaque*** الأبيض الحليبي (كلسي – سنتر) ذو حبيبات دقيقة (حجم البلورة اقل من ١مم) ويتميز بوجود طبقات رقيقة جدا تكاد تنعدم .

النوع الثاني : النصف شفاف (كلسي – سنتر) ذو حبيبات خشنة (حجم البلورات يتراوح من ١مم إلي عدة سنتيمترات) ويتميز هذا النوع بأنه ذو ألياف وظلال من اللون البني الباهت أو الضارب للصفرة إلي البرتقالي البني .

النوع الثالث : يتميز بأنه ذو حزم ملحوظة (كلسي – سنتر) وهذا النوع يعتبر وسطاً بين النوعين الأول والثاني، استخدم هذا النوع في تكسيه جدران مسجد محمد علي باشا بالقلعة من الداخل والخارج وخلال المائة وستين عاما الماضية تعرض للتلف بصورة سيئة جداً.

٢- التلوث الجوي Air Pollution

يعرف التلوث الجوى بصفه عامه بأنه أي تغير كمي أو كيفي لعناصر ومكونات البيئة يفوق قدرة هذه البيئة علي استيعابه والذي يحدث بسبب وجود مادة ما في مكانها غير الطبيعي بالمعدل غير الطبيعي، ويعرف أيضا بأنه أي خلل في أنظمة الماء أو الهواء أو التربة أو الغذاء يؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر علي الكائنات الحية ويلحق ضررا بالممتلكات الثقافية(٨)، والتلوث الجوي عبارة عن تغيرات غير مرغوبة في

---

6) El.Hinnawi, E. E. & Loukina, S. M., A contribution to the geochemistry of " Egyptian alabaster ", TMPM Tsehermaks Min. Petr. Mitt. 17, 215--221, Springer-Verlag , 1972, p.217.

7) Soliman,N.F., Investigation of an Egyptian alabaster ore by measuring its natural radioactivity and by NAA using K0 standardization and comparator methods , journal of nuclear and radiation physics, Vol.1, No.1, 2006, P.32.

٨) محمد نجيب ابراهيم ، التلوث البيئي ودور الكائنات الدقيقة ايجابا وسلبا ، دار الفكر العربي ، ٢٠٠٣م، ط ١، صـ ٢٩.

الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للهواء والتربة والماء(٩)، و يؤثر التلوث الجوي علي مواد البناء الأثرية بصفة عامة ويزداد هذا التأثير بتوافر العوامل البيئة الأخرى المحيطة بالأثر مثل درجة الحرارة والرياح والأمطار .....الخ، ويتوقف تأثير التلف بالملوثات الجوية بشكل كبير علي التركيب المعدني للحجر والمساحات المعرضة من سطح الحجر وكذلك سرعة الرياح ونسبة المواد الملوثة في الهواء الجوي ، وتنقسم الملوثات الجوية المؤثرة علي المباني الأثرية طبقا لمصادرها إلي :

(٢-١) الملوثات الطبيعية :

وهي تلك الملوثات الموجودة أصلا في التركيب الطبيعي للجو المحيط بصفة دائمة ، وتشمل غازات ثاني أكسيد الكربون CO2 والأوزون وكربونات الكالسيوم والكبريتيدات والكلوريدات والمعلقات الطبيعية من جسيمات* صلبة أو سائلة وبعض العناصر القلوية الناتجة عن تبخر مياه البحار مثل ملح كلوريد الصوديوم، وكل هذه الملوثات رغم صغر حجمها إلا أنها تساهم بشكل كبير في تلف وتأكل مواد البناء الأثرية، وتشتمل الملوثات الطبيعية علي :

(٢-١- ١) غاز ثاني أكسيد الكربون CO2:

وهو احد مكونات الغلاف الجوي والذي ينتج من تنفس الكائنات الحية وتحلل هذه الكائنات بعد موتها وتخمر المواد السكرية كيميائيا بواسطة الكائنات الحية الدقيقة كما ينتج من احتراق أي مادة عضوية، وزادت نسبته في الفترة الأخيرة بسبب أنشطة الإنسان المختلفة ويرجع ذلك إلي الإسراف في حرق الوقود الحفري مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي، وهناك زيادة مطردة في غاز ثاني أكسيد الكربون في الهواء خلال السنوات الأخيرة حيث وصل إلي نحو ٣٥٥ جزءاً في المليون عام ١٩٨٦م مما يعني انه يوجد في الهواء نحو ٧٥٠ مليون طن من الكربون ولاشك أن هذه الكمية منه تزيد حالياً عن ذلك المعدل ولو استمرت زيادة تركيز هذا الغاز بهذا المعدل فسوف يصل تركيز هذا الغاز إلي نحو ٦٠٠جزء في المليون بالحجم في وقت ما في الربع الثالث للقرن الحالي (١٠)، ويتحد غاز ثاني أكسيد الكربون مع الماء ويعطي حمض الكربونيك H2CO3 الذي يتفاعل مع معدن الكالسيت ((CaCO3 المكون الأساسي الالباستر

---

9) Caneva, G., Pia nugari, M., and Salvadori, O., Biodeterioration of inorganic materials, in: Biology in the conservation of works of art, ICCROM, Roma, Italy, 1991, P.93.

*) تعرف الجسيمات بأنها ما يحمله الهواء من جزيئات صلبة أو سائلة تنطلق إليه من مصادر عديدة بأحجام وأشكال وألوان مختلفة وبتركيب كيميائي مختلف ، وتنتج الجسيمات أما من مصادر طبيعية وأما من أنشطة الإنسان المختلفة (احمد السروي، الجسيمات الصلبة والسائلة ودورها في تلوث الهواء، مجلة عالم الكيمياء ، العدد ٤٤، ٢٠٠٩ ،صـ ٣٦) .

١٠) مصطفي عمارة، التلوث البيئي، مجلة عالم الكيمياء، العدد ٤٤، ٢٠٠٩ م،صـ ٣٠، صـ ٣١.

المصري (موضوع الدراسة) ويحوله إلي بيكربونات كالسيوم $Ca(HCO3)2$ قابلة للذوبان في الماء

طبقا للمعادلة التالية :

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

بيكربونات كالسيوم قابلة للذوبان في

وملح بيكربونات الكالسيوم المتكون عبارة عن طبقة ملحية هشه أكثر قابلية للذوبان من كربونات الكالسيوم، وتتوقف كمية بيكربونات الكالسيوم المتكونة علي درجة حرارة الماء وعلي تركيز ثاني أكسيد الكربون في الهواء الجوي وعملية تكون بيكربونات الكالسيوم عملية عكسية فعند توافر الظروف المناسبة تتحول البيكربونات إلي كربونات طبقا للمعادلة التالية ([11]):

$$Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

(٢ – ٢) الملوثات الجوية الصناعية :

بدأ ظهور التلوث الجوي منذ أن عرف الإنسان القديم النار، حيث استخدم الإنسان القديم الزيوت والشحوم (والتي كان ينطلق منها العديد من الغازات والمعلقات الكربونية) في عمليات الإضاءة ، حيث عثر علي نسبة من الملوثات الجوية في أنسجة بعض المومياوات المحنطة ([12])، ثم زادت نسبة الملوثات الجوية مع بدء الثورة الصناعية ثم تفاقمت المشكلة مع زيادة النمو السكاني والسبب في ذلك أننا خلال القرن الماضي أسرفنا كثيرا في حرق الوقود الحفري مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي ورفعنا إلي الغلاف الجوي للأرض كميات هائلة من غاز ثاني أكسيد الكربون وغازات

---

11) Rovnanikova, P., environmental pollution effects on other building material ,in, environmental deterioration of materials , Moncmanova, A., Southampton , Boston, 2007, P. 223.

١٢) عبده عبد اللاه الدربي ، الترميم المعماري والصيانة لبعض المعابد المصرية القديمة بالوجه القبلي دراسة تحليلية لعوامل ومظاهر التلف وإستراتيجية العلاج تطبيقا علي نماذج مختارة ، رسالة دكتوراه، جامعة القاهرة،كلية الآثار، قسم ترميم الآثار،، ٢٠٠٥، صـ ٣٨٦.

*) الجسيمات المتساقطة عبارة عن الدقائق التي لاتلبث أن تعود إلي الأرض بعد انطلاقها من مصادرها بتأثير الجاذبية الأرضية ويطلق عليه اسم الغبار الساقط ويزيد قطر هذه الجسيمات علي عشرة ميكرومترات وهذه الجسيمات لها تأثير علي العيون والممتلكات الأثرية (احمد السروي، المرجع السابق، ٢٠٠٩ م ،صـ ٣٦).

أخري، وتعتبر مدينة القاهرة من أكثر مدن العالم تعرضا لمشكلة تلوث الهواء حيث تحدها منطقتان صناعيتان من أكثر المناطق الصناعية خطورة علي مستوي العالم من حيث تلوث الهواء وهما منطقتا حلوان في جنوب المدينة وشبرا الخيمة الصناعية في ناحية الشمال، حيث تتركز الصناعات الملوثة بصورة مكثفة في تلك المناطق حيث توجد في منطقة حلون مصانع الاسمنت تبعث إلي هواء المنطقة بحوالي ١٦٥٠ طنا من الأتربة يوميا ، وتصل نسب التلوث الغازي في مدينة القاهرة إلي ٥٢% من غاز أول وثاني أكسيد الكربون، ١٨% غاز ثاني أكسيد الكبريت ، ١٢% مواد هيدروكربونية ، ١٠% جسيمات ومواد صلبة ، ٢% اكاسيد نيتروجينية وتزداد خطورة ثاني أكسيد الكبريت والذي يذوب بدوره في بخار الماء مكوناً حمض الكبريتيك ذا التأثير الخطر علي المباني الأثرية والتاريخية ، ووجد أن نسبة التلوث بالأتربة العالقة في منطقة حلوان وطره تصل إلي ٣٢ مرة قدر الحد الاقصي المسموح به عالمياً، كما ينبعث حوالي ٢٥٠ ألف كم سنوياً من الرصاص من عوادم مليون ونصف مليون سيارة تجوب شوارع القاهرة ([١٣])، مما جعل منطقة جنوب القاهرة من أسوأ المناطق تلوثاً بالأتربة المتساقطة .

(٢ - ٢ - ١)اكاسيد الكبريت ***SOX :***

وتشتمل علي غاز ثاني أكسيد الكبريت وثالث أكسيد الكبريت والتي تعتبر من اخطر الغازات الملوثة، حيث تؤدي إلي تلف مواد البناء الأثرية بشكل مباشر أو غير مباشر حيث يتحول ثالث أكسيد الكبريت إلي حمض الكبريتيك عند توافر الرطوبة والظروف الجوية المناسبة ويهاجم الكالسيت (كربونات الكالسيوم CaCO3) المكون الأساسي للالباستر المصري (موضوع الدراسة) ويحوله جزئياً إلي كبريتات كالسيوم، وهذا ما بينته الفحوص والتحاليل التي أجريت علي العينات المأخوذة من جامع محمد علي باشا بمنطقة القلعة، وينتج غاز ثاني أكسيد الكبريت من احتراق الوقود وبخاصة النفط والفحم الحجري وفحم الخشب النباتي، وقد أرجعت بعض الأبحاث الحديثة ٦٠% من غاز ثاني أكسيد الكبريت الموجود في الهواء الجوي إلي مصادر مرتبطة بالأنشطة الإنسانية في المناطق الحضرية، وقد وجد أن الموقف أكثر خطورة في المناطق الحضرية من المناطق الريفية لان كمية غاز ثاني أكسيد الكبريت الناتجة عن الأنشطة الإنسانية تتجاوز بكثير الكميات الناتجة عن المصادر الطبيعية ([١٤])، وهذا يؤدي إلي سرعة تلف المباني الأثرية الموجودة في المناطق الحضرية كما هو الحال بجامع محمد علي (موضوع الدراسة) ، وقد وجد إن نسبة تركيز غاز SO2 تصل إلي أقصي ارتفاع لها في ساعات الصباح الأولي وتصل إلي ادني حد لها

---

١٣) محمد نجيب إبراهيم ، المرجع السابق ،٢٠٠٣ ، صـــ ٥٢ .

14) Fassina,V.,Pollution atmospherique et alteration de la pierre , La degradation et la conservation de la pierre , 1991 , p 91.

خلال فترتي الظهيرة والمساء ويتم أكسدة غاز ثاني أكسيد الكبريت إلي ثالث أكسيد الكبريت عن طريق الأكسجين في وجود عوامل منشطة للأكسدة مثل الحديد والمنجنيز أو معادن أخرى طبقا للمعادلة الآتية([15]) :

$$2SO2 + O2 \longrightarrow 2SO3$$

ويتكاثف غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 عند درجة حرارة ٤٤،٨م° ويتحد مع الماء مباشرة لتكوين حمض الكبريتيك H_2SO_4 الذي يتفاعل مع المكونات المعدنية للأحجار الأثرية ويؤدي إلي تلفها طبقا للمعادلة التالية ([16]) :

$$CaCO3 + SO2 + 1/2H2O \rightarrow CaSO3{\cdot}1/2H2O + CO2 \quad (1)$$

$$CaSO3{\cdot}1/2H2O + 1/2O2 \rightarrow CaSO4{\cdot}2H2O \quad (2)$$

ويتوقف معدل التلف بفعل حمض الكبريتيك علي تركيز الغاز ومسامية الحجر وكمية الرطوبة ودرجة الحرارة ووجود عوامل مساعدة ،حيث وجد أن العمليات السابقة تزداد بزيادة تركيز غاز ثاني أكسيد الكبريت وكذلك تزداد بزيادة الرطوبة وتقل تلك التأثيرات بزيادة درجة الحرارة وتكمن خطورة تأثير حمض الكبريتيك علي الآثار الحجرية في تكوين قشور سوداء من كبريتات الكالسيوم المختلطه بمكونات الغبار الأخرى والسناج مما يؤدي إلي تشويه منظرها ويعمل علي إتلافها ([17])، ونظراً لأن هذه القشرة تكون مسامية فهي تسمح بنفاذ المحاليل مما يؤثر علي سطح الحجر تحتها كما تسمح بهجرة المحاليل الملحية منها لتستقر داخل مسام الحجر مؤدية إلي تلفها.

(٢ - ٣) قياس تركيز الملوثات الجوية بمدينة القاهرة :

نظراً لأن مدينة القاهرة محاطة بالعديد من المناطق الصناعية ، حيث تقع حلوان علي بعد ٣٠ كم جنوب مدينة القاهرة وتوجد في هذه المنطقة مصانع إنتاج الحديد والصلب وفحم الكوك ومصانع الكيماويات والسيارات والأسمنت ، وفي الشمال تقع منطقة شبرا الخيمة ومسطرد وابوزعبل وفي هذه المناطق توجد محطات توليد الطاقة الكهربائية ومصانع الصباغة والنسيج والزجاج والسيراميك وتنتج هذه المصانع كميات هائلة من الملوثات (الغازية و السائلة والصلبة)التي تحمل بواسطة الرياح الشمالية الشرقية والجنوبية الغربية متجهة إلي القاهرة، و تختلف درجة تركيز الملوثات الجوية من مبني إلي آخر حسب تعرضه أو قربه من مصادر التلوث الجوي ، وقد ارتفعت

15) Rovnanikova, P. ,Op.Cit , 2007, P . 223.

16) Yilmaz and et.al., Protection of marble surfaces by using biodegradable polymers as coating agent, Progress in organic coating 66, 213 – 220, 2009, p.213. www.elsevier.com

17) Fassina ,V. , Op.Cit , 1991 , p 92.

نسبة الملوثات الجوية بمدينة القاهرة في الآونة الأخيرة ، حيث وصلت معدلات تساقط الأتربة فوق وسط المدينة من ٤٧جم / م٢ / شهر عام ١٩٧٤م إلي ٦٧/ م٢ / شهر خلال عام ١٩٩٣م ، ووصل تركيز الأتربة العالقة بهواء القاهرة في وسط المدينة والمناطق المزدحمه من ٢٥٠ – ٥٢٣ ميكروجرام / م٣ بينما الحد المسموح به عالمياً ٧٥ ميكروجرام / م٣ ، ووصلت نسبة التلوث بالدخان إلي ٢٤٠ ميكروجرام / م٣ بهواء وسط المدينة وهو أكثر من الحد المسموح به عالمياً ، ووصلت نسبة التلوث بالرصاص إلي ١٥ ميكروجرام / م٣ بينما الحد المسموح به عالمياً ٨,٥ ميكروجرام / م٣ ، أما بالنسبة لتركيزات ثاني أكسيد الكبريت بمدينة القاهرة خلال عام ١٩٩١م / ١٩٩٢م فقد تبين أن المتوسط الشهري لتركيز غاز SO2 في هواء القاهرة يتراوح ما بين 100 - 300µg /m3 بينما وصل المتوسط السنوي إلي 40 µg /m3 في المناطق العمرانية ووصل إلي 55 µg / m3 بالمناطق السكنية ووصل إلي 84 µg / m3 في هواء وسط المدينة ، وقد وصلت تركيزات غاز SO2 خلال ٢٤ ساعة في هواء المناطق الحضرية إلي أكثر 300 µg / m3 (١٨) .

جدول رقم (٣٧) يبين الحد المسموح به من الملوثات الجوية بهواء مدينة القاهرة طبقاً للقانون رقم ٤ لسنة ١٩٩٤م مقارنة بالبيانات التي أصدرتها منظمة الصحة العالمية

World Health Organization (WHO)

Pollutant	Maximum Limit	Averaging Time
Sulfur Dioxide (SO_2)	350 $\mu g/m^3$	1 Hour
	150 $\mu g/m^3$	24 Hour
	60 $\mu g/m^3$	Annual
Carbon Monoxide (CO)	30 mg/m^3	1 Hour
	10 mg/m^3	8 Hour
Nitrogen Dioxide (NO_2)	400 $\mu g/m^3$	1 Hour
	150 $\mu g/m^3$	24 Hour
Ozone (O_3)	200 $\mu g/m^3$	1 Hour
	120 $\mu g/m^3$	8 Hour
Black Smoke (BS)	150 $\mu g/m^3$	24 Hour
	60 $\mu g/m^3$	Annual
Total Suspended Particulate (TSP)	230 $\mu g/m^3$	24 Hour
	90 $\mu g/m^3$	Annual
Suspended Particulate (PM10)	70 $\mu g/m^3$	24 Hour
Lead (Pb)	1 $\mu g/m^3$	Annual

18) Sivertsen, B., A study of air pollutants during episodes, ICEHM , Egypt, , Page 345 – 361, Cairo University, September 2000, P.P.348 – 349 .

ميكانيكية التلف بفعل التلوث الجوي :

يتسبب التلوث الجوي في تلف مواد البناء الأثرية بصفة عامة والآثار الحجرية بصفة خاصة، حيث تترسبب مخلفات التلوث الصلبة مثل الأتربة والسناج وقطرات الشحوم وحبيبات الكربون علي أسطح المباني الأثرية مما يؤدي إلي تشويه تلك الأسطح وتغطيتها بطبقة من المكونات السوداء، وقد وجد أن التلف الفيزيوكيميائي الذي يحدث لخامات المباني بسبب التلوث الجوي يكون نتيجة للاتصال المباشر بين حمض الكبريتيك أو حمض الكبريتوز والمادة الصلبة ([١٩]) كذلك تتسبب نواتج التلوث في تغطية أسطح المباني الأثرية بطبقة ملحية سوداء اللون تعرف بظاهرة ***Black hard crust*** تعمل علي تحول سطح الحجر أسفل هذه الطبقة إلي سطح هش فاقد التماسك نتيجة للتفاعلات الفيزيوكيميائية بين مكونات الحجر وأحماض وغازات التلوث الجوي، وقد وجد أن الملوثات الجوية تصبح أكثر خطورة في حالة وجود مياه الأمطار التي تعمل علي تحويل الغازات الملوثة إلي أحماض وترسبها علي أسطح الأحجار الأثرية ([٢٠]) مثل حمض الكبريتيك الذي يتفاعل مع معدن الكالسيت المكون الأساسي للألباستر المصري (موضوع الدراسة) ويحوله جزئياً إلي كبريتات كالسيوم، وقد أظهرت التحاليل التي أجريت علي عينات من جامع محمد علي باشا بمنطقة القلعة احتوائها علي مركبات الجبس (كبريتات الكالسيوم) نتيجة تفاعل حمض الكبريتيك مع مكونات الحجر وكذلك وجود مركبات الرصاص الناتجة عن عوادم السيارات بالإضافة إلي السيليكا ومركبات الحديد (انظر الأشكال الخاصة بالتحاليل والفحوص في نهاية البحث)، وترجع ميكانيكية تكون القشرة الصلبة السوداء ***Black crust*** علي سطح المباني الأثرية إلي إسهام ثاني أكسيد الكبريت الموجود في الجو في تكوينها بالإضافة إلي وجود حبيبات الكربون وبعض الاكاسيد المعدنية مثل الحديد كمنشطات تساعد في إتمام التفاعل مما يؤدي إلي تكون قشرة الجبس وقد وجد أن نسبة تركيز الكبريت الموجود في القشرة يكون اعلي من نسبة الكبريت الموجود بمادة البناء ([٢١]) ، بالإضافة إلي ذلك فإن ترسب غبار الأتربة و معادن الكوارتز والطفلة واكاسيد الحديد يؤدي إلي تكون طبقة رقيقة غير متجانسة علي سطح الحجر تؤدي إلي طمس معالم الحجر

---

19) Abd Elhady, M., Ground water and the deterioration of Islamic building in Egypt, in the conference of (the restoration and conservation of Islamic monuments in Egypt), AUC, 1995, p.118.

٢٠) محمد عبد الهادي، المرجع السابق، ١٩٩٧، صـــ ٩٤.

٢١) إبراهيم محمد عبد الله ، دراسة علاج وصيانة مواد البناء والعناصر الزخرفيـــة فـــي بعـــض المباني الأثرية بمدينة رشيد ، رسالة دكتوراه ، قسم ترميم الآثار ، كلية الآثار ، جامعـــة القـــاهرة ، ٢٠٠٠م ، صـــ ٢١٨ .

Ericsson, T., and Nord, A, G., Chemical analysis of thin black layers on building stone in " Studies in conservation " 38, 1993, P.P.25-35.

وتعرف بظاهرة الباتينا ويكون لونها بني ويصل سمكها إلي عدة ملليمترات ([٢٢])، كما أن وجود الرطوبة والكائنات الدقيقة بالإضافة للملوثات الجوية يساعد في تكوين قشور الجبس ، وقد وجد أن تكون الجبس يرجع إلي عملية الكبرته وإعادة تبلور الكالسيت، وتتسبب مخلفات التلوث الجوي الصلبة مثل الأتربة والسناج وقطرات الشحوم وحبيبات الكربون التي تترسب فوق أسطح المباني الأثرية في تشويه تلك الأسطح وتغطيتها بطبقة من المكونات السوداء([٢٣])، وتتوقف شدة التلف التي تتسبب فيها طبقة ***Black crust*** علي سمك الطبقة وشدة تلوث الهواء وعوامل المناخ الأخرى ونوع الحجر ([٢٤])، وحالة التدهور الشديدة التي أصابت تكسيات الالباستر المصري بجامع محمد علي (موضوع الدراسة) بمنطقة القلعة ترجع إلي زيادة نسبة التلوث الجوي بالمنطقة نتيجة زيادة الكثافة السكانية وانتشار العشوائيات بالمنطقة بالإضافة إلي زيادة نسبة وسائل النقل والمواصلات والنشاط الصناعي مما أدي إلي زيادة نسبة غاز ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين وأول وثاني أكسيد الكربون والجزيئات المعلقة وزيادة نسبة الرصاص والهيدركربونات، بالإضافة إلي عوامل المناخ الاخري من حرارة ورطوبة ورياح حيث أدت كل هذه العوامل إلي تدهور حالة الحجر و تفتت وسقوط بعض الأجزاء من التكسيات.

٣- تأثير المطر الحمضي:

تعمل مياه الأمطار علي نحر وتآكل الأحجار الأثرية وذلك بنزح الايونات من الأحجار الملامسه لها ، وتتغلغل مياه الامطار لأعماق داخل الأجزاء الجافة من الحجر بفعل الرياح والتي غالباً ماتبقي جافة نظراً لأنها غير معرضه للجو الخارجي ([٢٥])، وتعتبر مياه الأمطار من المياه الحمضية نظرا لأن الغلاف الجوي يحتوي علي غاز ثاني أكسيد الكربون من بين مكوناته والذي يذوب في الماء مكونا حمض الكربونيك ويعتبر الماء حامضيا إذا كان تركيز ايون الهيدروجين أكثر من تركيز ايون الهيدروكسيل في الماء وكلما قل الرقم الهيدروجينيPH *عن ٧ أصبح حامضيا ([٢٦])، وعندما تتساقط

---

٢٢) بدوي محمد إسماعيل، المرجع السابق، ٢٠٠٥م، صـ ٦٣.

23) El-Derby, A., Two Examples of Egyptian alabaster Weathering Deterioration and damage from ancient Egyptian building and Islamic building in Egypt and some recommendations of preservation, journal of the general associate arab archaeology, arab council for graduates studies and scientific research, AGGSSR and supreme council of antiquities, 2009.

24) Montana, G.and Randazzo, L. ,The growth of " black crusts " on calcareous building stones in Palermo (Sicily) afirst appraisal of anthropogenic and natural sulphur sources , Environ Geol. 56: 367 – 380 , Published online 18 January 2008 , Springer – Verlag 2008 , P.378.

25) Prikryl ,R. & Smith, B.J. , effect of long – term changes in air pollution and climate on the decay and blacking of European stone buildings , Building stone decay : from diagnosis to conservation , the geological society , London , 2007 , P 119.

٢٦) محمد نجيب ايراهيم ، المرجع السابق ، ٢٠٠٣م ، صـ ٨٨ .

الأمطار فوق المباني الأثرية فإنها تتفاعل مع غاز ثاني أكسيد الكربون الموجود في الجو مكونه حمض الكربونيك الذي يهاجم مواد البناء المختلفة والمحتوية علي كربونات الكالسيوم ويحولها إلي بيكربونات كالسيوم قابلة للذوبان في الماء مما يؤدي إلي إحداث ثقوب وتجاويف مختلفة بسطح الحجر و تكون مياه الأمطار أكثر خطورة عند احتوائها علي غاز ثاني أكسيد الكبريت الذي يتحول إلي حمض الكبريتيك و يهاجم مواد البناء الأثرية ويعمل علي إتلافها، ويؤثر المطر الحمضي علي حجر الالباستر المصري بطريقتين هما الإذابة والتغيير في شكل الحجر، عندما تهاجم مركبات الكبريت وحمض الكبريتيك وحمض النيتريك الموجودة في الهواء كربونات الكالسيوم المكون الأساسي للحجر وتتفاعل معه فتعمل علي إذابة الأجزاء المعرضة من الحجر ومن ثم تؤدي إلي خشونة سطح الحجر ويحدث هذا التشوه نتيجة لفقد أدق جزيئات الحجر أو تآكل ***Corrosion*** سطح الحجر بسبب عملية الإذابة، والمظهر الثاني من مظاهر التلف الناتجة عن المطر الحمضي هي البقع ***spots*** التي يمكن أن تتكون علي السطح أو تكون قشرة صلبة علي السطح الخارجي للحجر تعرف بـــ ***Black crust*** تتكون من جزيئات من الفحم وبلورات الجبس نتيجة لتفاعل حمض الكبريتيك مع سطح الحجر حيث تعمل علي تحول كربونات الكالسيوم إلي كبريتات كالسيوم (الجبس $CaSO_4.2H_2O$) ([٢٧]).

٤- مظاهر التلف الناتجة عن تأثير التلوث الجوي :

١- تكون قشرة صلبة علي السطح الخارجي للحجر تعرف بظاهرة ***Black hard crust*** تتكون من جزيئات من الفحم وبلورات الجبس وبعض جزيئات الكربون ويتراوح سمك هذه الطبقة ما بين ٠,٥ الي١ مم، مما أدي إلي تشوه المنظر العام للجامع وطمس المنظر الجمالي للحجر (انظر الصور أرقام ١٦١، ١٦٢، ١٦٩).

٢- أدي تفاعل حمض الكبريتيك المتكون عن غاز ثاني أكسيد الكبريتيك إلي تحول معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم $CaCO_3$) إلي ملح الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية $CaSO_4.2H_2O$) وهذا ما أثبتته الفحوص والتحاليل التي أجريت علي عينات من الحجر .

---

*) يستخدم اصطلاح الرقم الهيدروجيني PH للتعبير عن حموضة المحاليل أومكوناتهـا ، والـرقم الهيدروجيني هو اللوغاريتم السالب لتركيز ايون الهيدروجين $PH = -Log\ H+$ ، محمد نجيب إبراهيم ، المرجع السابق ، ٢٠٠٣م ، صـ ٨٨ .

27) Elaine, M., Acid rain and nation's capital, science for a changing world (USGS), 2002, P.5. (http://pubs.usgs.gov/gip/acidrain/6.html)

٣- تشويه سطح الحجر نتيجة لترسب ذرات الكربون والسناج ومخلفات المصانع وعوادم وسائل النقل والانتقال، يبدو ذلك واضحا في الناحية الجنوبية الشرقية والشمالية الشرقية من الجامع .

٤- وجود ظاهرة الباتينا علي سطح الحجر وهي عبارة عن طبقة سطحية غير متجانسة تتكون من غبار الأتربة وتشتمل علي الكوارتز ومعادن الطفلة واكاسيد الحديد، وتتسبب في تغير لون سطح الحجر إلي اللون البني ويصل سمكها إلي عدة ميلليمترات .

٥- تشوه سطح الحجر نتيجة لترسب ذرات الكربون والسناج ومخلفات المصانع وعوادم وسائل النقل والانتقال، يبدو ذلك واضحا في الناحية الجنوبية الشرقية والشمالية الشرقية من الجامع.

٦- تراكم الأتربة وذرات الغبار علي أسطح الأحجار الخارجية مما أدي إلي تشويه المنظر العام للأثر، وعمل علي تشجيع النمو الميكروبيولوجي علي الأسطح الخارجية للمبني(انظر الصورة ١٦٢) .

٧- ترسب ذرات الكربون والكبريت و الغبار وسيليكات الالومنيا بالإضافة إلي اكاسيد الحديد والكوارتز علي الأسطح الخارجية للجامع مما أدي إلي حدوث غمقان في لون الحجر الأصلي وتحوله إلي اللون البني .

٨- تكون قشرة صلبة علي السطح الخارجي للحجر تعرف بظاهرة ***Black crust*** تتكون من جزيئات من الفحم وبلورات الجبس وبعض جزيئات الكربون ويتراوح سمك هذه الطبقة ما بين ٠,٥ الي١ مم علي السطح الخارجي لحجر الالباستر المصري المستخدم كتكسيات خارجية بالجامع، مما أدي إلي تشوه المنظر العام للجامع وطمس المنظر الجمالي للحجر بالإضافة إلي تحول معدن الكالسيت إلي الجبس وزيادة مسامية الحجر (انظر التحاليل والفحوص) .

٩- وجود ثقوب وتجاويف مختلفة بسطح الحجر نتيجة لتفاعل حمض الكربونيك مع كربونات الكالسيوم المكون الأساسي لحجر الالباستر المصري وتحويلها إلي بيكربونات كالسيوم قابلة للذوبان في الماء.

١٠- أدي نزوح الأملاح القابلة للذوبان والغير قابلة للذوبان من الداخل إلي الخارج بحركة الماء داخل المسام إلي السطح بتأثير عملية البخر إلي ترسيب الاكاسيد والشوائب الموجودة بالحجر علي السطح وباختلاطها بالغبار والملوثات الجوية إلي وجود قشرة صلبة Hard Crust من الأملاح ومخلفات التلوث الجوي علي سطح الحجر أدت إلي تشوه منظر الأثر.

٥- الفحوص والتحاليل:

قام الباحث بفحص عينات من جامع محمد علي باستخدام الميكروسكوب المستقطب والميكروسكوب الإليكتروني الماسح (*SEM*) وكذلك تم تحليل نفس العينات باستخدام جهاز حيود الأشعة السينية وجهاز تفلور الأشعة السينية .

(٥ - ١) الفحوص :

(٥ - ١- ١)الدراسة البتروجرافية :

تم عمل قطاعات لعينات من حجر الالباستر المصري المأخوذة من جامع محمد علي التي يوجد علي سطحها قشور سوداء *Black crust* وقد اتضح من خلال الفحص وجود بلورات الجبس نتيجة لتفاعل حمض الكبريتيك مع مادة الحجر وتدهور في نسيج الحجر وزيادة في المسامية، ويظهر بصور القطاعات فجوات كثيرة، بالإضافة لانتشار بلورات الجبس بكثرة علي السطح ويتضح من الصورة وجود فراغات كثيرة و زيادة في مسامية الحجر نتيجة للفقد والتآكل الذي حدث في بلورات الكالسيت .

(٥ - ١- ٢)الدراسة بالميكروسكوب الاليكتروني الماسح (SEM) :

من خلال الدراسة بالميكروسكوب الاليكتروني الماسح تبين تلف في بلورات الكالسيت و حدوث شروخ وتشققات بسبب ضغط التبلور الناتج عن تبلور الجبس داخل المسام، ويظهر أيضا بالصور تدهور وتآكل في بلورت الكالسيت و حدوث شروخ وتشققات دقيقة في التركيب الداخلي للحبيبات المعدنية للكالسيت بالإضافة للتحول الجزئي لبلورات الكالسيت إلي بلورات الجبس و زيادة في مسامية الحجر وانتشار الفراغات بين البلورات وبعضها ، ويتضح من الصور وجود أملاح الهاليت و أملاح الجبس نتيجة لتفاعل حمض الكبريتيك مع بلورات الكالسيت، ويظهر أيضا من خلال تكون الجبس نتيجة لتفاعل حمض الكبريتيك مع *Black crust* العينات الممثلة لظاهرة الكالسيت والذي نتج عنه حدوث تفتت وانفصال في البلورات إلي حبيبات نتيجة لضغط التبلور الناتج عن تبلور الجبس داخل الفراغات البينية لمسام الحجر، وانفصال السطح في صورة قشور ووجود تدهور وتآكل في بلورات الكالسيت و حدوث شروخ وتشققات دقيقة في التركيب الداخلي للحبيبات المعدنية للكالسيت *Micro cracks in internal structure*

(٥ - ٢) التحاليل :

(٥ - ٢- ١) التحليل بتفلور الأشعة السينية (XRF) :

من خلال التحليل بجهاز تفلور الأشعة السينية لعينات الألباستر المصري التي تعرضت لتأثير الملوثات الجوية تبين أن العينات تحتوي علي :

Ca بنسبة 45.74% , S بنسبة 2.84% Mg بنسبة 3.25% Sr بنسبة 0.22% Si بنسبة 26.28% Al بنسبة 10.14% Fe بنسبة 5.22% Cl بنسبة 2.07% Pb بنسبة 0.51%

حيث يتضح ارتفاع نسبة عنصر الكبريت بالعينة وهذا يتوافق مع صور الفحوص السابقة والتي أشارت إلي وجود تحول في كربونات الكالسيوم إلي كبريتات كالسيوم نتيجة لتفاعل حمض الكبريتيك مع مادة الحجر .

(٥ - ٢- ٢)التحليل بحيود الأشعة السينية (XRD) :

تبين من خلال التحليل بطريقة حيود الأشعة السينية لعينات من الالباستر المصري من جامع محمد علي أن العينات تحتوي علي معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم $CaCO_3$) بشكل أساسي بنسبة تتراوح من ٩٥,٦٨%إلي ٩٧,٧% ، بالإضافة لوجود معدن الجبس بنسبة تتراوح ما بين ٠,٥٧%إلي ٤% (انظر الأشكال أرقام من ١ إلي ٤) والناتج عن تحول كربونات الكالسيوم إلي كبريتات الكالسيوم وخاصة في العينات المأخوذة من خارج الجامع بالإضافة لوجود معدن الكاولينيت و الارثوكليز و الهاليت و الكوارتز و الهيماتيت والجوثيت بنسب ضئيلة ، من خلال التحليل بحيود الأشعة السينية للعينة الممثلة للقشرة السوداء Black crust تبين أنها تحتوي علي $CaCO_3$ بنسبة 64.36% وعلي معدن الجبس بنسبة 35.36% وتدل هذه النسبة علي تحول معدن الكالسيت المكون الأساسي للألباستر المصري إلي معدن الجبس نتيجة لتفاعل حمض الكبريتيك مع كربونات الكالسيوم ، وهذا يتفق مع الفحوص والتحاليل والسابقة

٦- اقتراحات العلاج و الحفاظ :

(٦ - ١) التنظيف:

(٦ - ١- ١) إزالة الأتربة والإتساخات الملتصقة بسطح التكسيات :

قبل البدء في إجراء التنظيف الكيميائي يجب التأكد من إزالة جميع الأتربة غير الملتصقة بالسطح حتي لا تتخلل إلي مسام الحجر عند إجراء عملية التنظيف الكيميائي لها، ويتم التنظيف أولاً باستخدام الماء المقطر وذلك في حالة وجود أتربة وعوالق قابلة للذوبان في الماء ويفضل استخدام الماء الساخن – حيث أن التوتر السطحي للماء الساخن قليل مما يسهل عملية إزالة الأتربة والعوالق – ويجب أن يكون التنظيف موضعياً باستخدام كميات قليلة من الماء وفي مساحات محدودة ، وفي حالة الإتساخات الملتصقة بسطح الحجر يستخدم أولاً محلول مركب من الكحول الإيثيلي والماء

والأسيتون بنسبة ١:١:١ في شكل كمادات من القماش القطني تفرد علي السطح وتترك لعدة دقائق ثم تزال وتتكرر هذه العملية عدة مرات للوصول للنتيجة المطلوبة ([٢٨]) وهذا المحلول أعطي نتيجة جيدة عند استخدامه مع الألباستر المصري، كذلك أستخدم محلول من كربونات الأمونيوم NH_4CO_3 في شكل كمادات من القماش القطني تفرد علي السطح وتترك لمدة ٢٠ دقيقة وتكرر هذه الطريقة عدة مرات وقد أثبت هذا المحلول فاعليته في إزالة طبقات الإتساخ، كذلك حقق المحلول المكون من (١٠٠جم من الصابون السائل + ١٠٠٠سم٣ من الماء المقطر + ١٠٠سم٢ من النشادر) نجاحاً كبيراً في إزالة طبقة الإتساخات المتكونة علي سطح الحجر، ويتم إزالة آثار الصابون والنشادر بعد التنظيف بالماء المقطر.

(٦ – ١ – ٢)إزالة طبقة Black crust الموجودة علي سطح التكسيات :

استخدمت لإزالة طبقة Black crust الموجودة علي سطح تكسيات الألباستر المصري بجامع محمد علي الكمادة المكونة من (ماء مقطر + هيدروكسيد أمونيوم + بيكربونات صوديوم + E.D.T.A + Carbo Gel + ورق ياباني + حمض خليك ٦% + مطهر فطري) و تعتبر هذه الكمادة من أفضل العجائن المستخدمة لإزالة واستخلاص كلاً من أملاح كربونات وكبريتات الكالسيوم، حيث تسهل مادة E.D.T.A (حامض ضعيف) إذابة أملاح الكالسيوم بتكوين مواد معقدة يسهل إزالتها بسهولة ومن مميزاتها ايضاً أن لها القدرة علي إذابة أملاح الحديد والنحاس وغيرها من مركبات الصدأ، كما تعطي بيكربونات الصوديوم و هيدروكسيد الأمونيوم خليطاً قاعدياً قيمة الأس الهيدروجيني له PH تساوي ٧,٥ ([٢٩])، ومن مميزات هذه الطريقة أنها آمنه كيميائياً ويمكن تطبيقها بسهوله علي الأسطح الحجرية الضعيفة والتي توجد بها قشور ضعيفة دون إزالة القشور السطحية، كما تتميز هذه الكمادة بقدرتها العالية علي إزالة المواد المختلفة من قشور صلبة وعوالق، كما أن مادة الكربوكسي ميثيل سليلوز C.M.C تعطي للمركب قوام جيلاتيني وبالتالي تمنع عملية جريانه وسيلانه لأسفل بالإضافة لذلك فإن تفاعل هذه الكمادة سطحي ولا يتغلغل داخل مسام الحجر، ويجب بعد فرد الكمادة علي سطح التكسيات أن تغطي بالبولي إثيلين لمنع عملية التبخر.

28) Larson, J., The conservation of stone sculpture in museums in conservation, in: Conservation of building and Decorative stone, Vol 2, London, 1990, P. 200.
29) Lazzarini.L, Tabasso.M.L, Op.Cit., 1986, P 135.

(٦ - ٢)الصيانة الوقائية Preventive Conservation

يقصد بالصيانة الوقائية **Preventive Conservation** هي العناية القائمة والمستمرة لإطالة فوائد عملية الترميم لأقصي زمن ممكن أو لتلافي الآثار السلبية (٣٠) ، وتعرف بمعني آخر بأنها مجموعة الأعمال التي تتم لمنع تأثير عوامل التلف المختلفة علي المبني الأثري والغرض منها تقليل أو منع التلف والانهيارات الناتجة من تأثير العوامل الطبيعية أو البشرية والحماية من العوامل الطبيعية تتم بالتحكم في بيئة الأثر الطبيعية وهو غالبا ما يكون غير متاح للآثار المبنية بقدر ما هو متاح للآثار الفنية والتي يمكن الحفاظ عليها في بيئة مثالية داخل المتاحف ، نظراً لأن الآثار المبنية تكون معرضة للعوامل المناخية (من حرارة ورطوبة ورياح وتلوث جوي) والتي من الصعب التحكم فيها ، لما كان من الصعب التحكم في العوامل المناخية فيكون الحل في علاج نقاط الضعف الموجودة بالمبني حتي لاتتسبب في زيادة تأثير هذه العوامل علي المبني ، وتنقسم أعمال الصيانة إلي صيانة متوقعة يمكن وضعها في مخططات وصيانة فجائية غير متوقعة .

والهدف الرئيسي من أعمال الصيانة هو إطالة العمر الافتراضي لمواد البناء والحفاظ عليها في صورة جيدة وضمان أدائها لوظيفتها ونجاح برامج وخطط الصيانة يتوقف علي مدي القدرة علي منع الانهيارات الغير متوقعة (٣١) .

وتكون الصيانة الوقائية عن طريق منع اقتراب وسائل النقل والمواصلات وإزالة كل مواقف الأتوبيسات والسيارات سواء السياحية أو العامة القريبة من نطاق المنطقة الأثرية ، و حذر إقامة مصانع بالقرب من المنطقة الأثرية للجامع حتي لاتتسبب في زيادة التلوث الجوي ، و تحويل الفراغ المحيط بمنطقة القلعة إلي مناطق خضراء بها بعض الأشجار والزهور التي تلعب دور هام في التقليل من خطورة التلوث الجوي وتبعث السرور في نفوس الزائرين ، العمل علي التخلص من العشوائيات و القمامة الموجودة بالمناطق المجاورة للمنطقة الأثرية ، لأنه لايمكن الارتقاء بالمنطقة في بيئة متدهورة عمرانياً ومكتظة بالعشوائيات ، مراقبة نسبة تركيز غازات التلوث الجوي بالمنطقة من خلال أجهزة قياس نسبة تركيز غازات التلوث في الهواء .

---

٣٠) الدليل العملي لتعريف الشباب بحماية وإدارة مواقع التراث والمدن التاريخية ، الطبعة الأولي ، اليونسكو وايكروم ، روما ٢٠٠٣م ، صـــ ٤٦ .

٣١) أحمد عبد الوهاب السيد، صيانة وإعادة استخدام المباني الأثرية و ذات القيمة ، بحث ماجستير ، قسم الهندسة المعمارية ، كلية الهندسة ، جامعة القاهرة ، سنة ١٩٩٠م ، صـــ ١٨٥.

مناقشة النتائج و التوصيات

١- أفادت الدراسة البتروجرافية من خلال القطاعات الممثلة للعينات المأخوذة من خارج الجامع وجود فقد في نسيج الحجر مع وجود شروخ وشقوق دقيقة Micro fracture في التركيب الداخلي للحجر Internal structure of stone ، بالإضافة إلي وجود تآكل في بلورات الكالسيت مع وجود فجوات كبيرة ، أما القطاعات الممثلة للعينات الموجود بها Black crust يظهر بها بلورات الجبس وتدهور في نسيج الحجر.

- أفادت الدراسة من خلال الفحص بالميكروسكوب الاليكتروني الماسح (SEM) وجود تلف في بلورات الكالسيت و حدوث شروخ وتشققات بسبب ضغط التبلور الناتج عن تبلور الجبس داخل المسام ، بالإضافة لحدوث تدهور وتآكل في بلورت الكالسيت و حدوث شروخ وتشققات دقيقة في التركيب الداخلي للحبيبات وكذلك يظهر التحول الجزئي لبلورات الكالسيت إلي بلورات الجبس وانتشار الفراغات بين البلورات وبعضها، وتبين من خلال الفحص وجود أملاح الجبس نتيجة لتفاعل حمض الكبريتيك مع بلورات الكالسيت.

٣- أفادت الدراسة من خلال التحليل بجهاز تفلور الأشعة السينية لعينات الألباستر المصري التي تعرضت لتأثير الملوثات الجوية أن العينات تحتوي علي :

Ca بنسبة 45.74% , S بنسبة 2.84% Mg , بنسبة 3.25% Sr , بنسبة
Si , 0.22% بنسبة Al , 26.28% بنسبة Fe , 10.14% بنسبة Cl , 5.22%
بنسبة Pb , 2.07% بنسبة 0.51%

٤- أفادت الدراسة من خلال التحليل بحيود الأشعة السينية للعينة الممثلة للقشرة السوداء Black crust تبين أنها تحتوي علي $CaCO_3$ بنسبة 64.36% وعلي معدن الجبس بنسبة 35.36% وتدل هذه النسبة علي تحول معدن الكالسيت المكون الأساسي للألباستر المصري إلي معدن الجبس نتيجة لتفاعل حمض الكبريتيك مع كربونات الكالسيوم.

٥- توصي الدراسة بضرورة القيام بالتسجيل والتوثيق بكل أنواعه المختلفة لجامع محمد علي بمنطقة القلعة، ليتم الاستعانة بها خلال عمليات العلاج والصيانة.

- يوصي بضرورة اتخاذ خطوات جادة نحو القيام بمشروع ترميم عاجل لإنقاذ تكسيات الألباستر المصري بجامع محمد علي من الانهيار والتدمير والضياع.

- التنسيق بين المجلس الأعلى للآثار ووزارة الثقافة وبين الوزارات الأخرى المعنية بتنفيذ مشروعات لها تأثير علي جامع محمد علي والآثار الواقعة في نفس المحيط، مثل مشروع أبراج القلعة.

٨- يوصي بضرورة استخدام التقنيات العلمية الحديثة في مجال ترميم وصيانة المباني الأثرية ، وأن تتم عملية العلاج والحفاظ طبقاً لما نصت عليه المواثيق الدولية .

٩- ضرورة القيام بأعمال الصيانة الوقائية Preventive Conservation لتكسيات الألباستر المصري بالجامع .

١٠- تحويل الفراغ المحيط بمنطقة القلعة إلي مناطق خضراء بها بعض الأشجار والزهور التي تلعب دور هام في التقليل من خطورة التلوث الجوي وتبعث السرور في نفوس الزائرين.

١٢- ضرورة إنشاء جمعيات لتنمية الوعي الأثري والثقافي من المجتمع المدني وخاصة في المناطق والمجتمعات التي يقع في محيطها الجامع للمشاركة في الحفاظ علي المواقع الأثرية الموجودة بالمنطقة لخلق التعاطف الجماهيري مع مواقع الآثار والمنشآت لتجنب الإتلاف البشري المتعمد ، مع التوعية العلمية المبسطة لكيفية الحفاظ علي المباني الأثرية لتجنب الإتلاف البشري الغير متعمد .

١٣- العمل علي زيادة الوعي الأثري والثقافي لدي أهالي المنطقة التي يقع في محيطها الجامع ، واستغلال كل وسائل الإعلام ومناهج التربية والتعليم والوسائط المتعددة من وسائل تعليمية توضيحية للأثر وقيمته وعوامل تلفه وإتلافه سواء عن طريق وسائل الإعلام والسينما أو غيرها من الوسائل الأخرى.

المراجـــع

أ- المراجع العربية:

١- إبراهيم محمد عبد الله، علاج وصيانة الآثار الرخامية، بحث ماجستير غير منشور، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة، سنة ١٩٩٦م.

٢- احمد السروي، الجسيمات الصلبة والسائلة ودورها في تلوث الهواء ، مجلة عالم الكيمياء ، العدد ٤٤ ،٢٠٠٩م .

٣- أحمد عبد الوهاب السيد، صيانة وإعادة استخدام المباني الأثرية و ذات القيمة، بحث ماجستير، قسم الهندسة المعمارية ، كلية الهندسة ، جامعة القاهرة ، سنة ١٩٩٠م

٤- بدوي محمد إسماعيل، عمليات التجوية وتلف الآثار الحجرية الفرعونية القديمة في مصر وطرق العلاج والصيانة المقترحة ، بحث غير منشور ، ٢٠٠٥م .

٥- الدليل العملي لتعريف الشباب بحماية وإدارة مواقع التراث والمدن التاريخية ، الطبعة الأولي ، اليونسكو وإيكروم ، روما ٢٠٠٣م .

٦- زهير رموفتوحي وآخرون، الجيولوجيا الهندسية والتحري الموقعي، وزارة التعليم العالي والبحث العملي،جامعة الموصل،دار الكتب للطباعة والنشر،بغداد ١٩٨٩م

٧- عبده عبداللاه الدربي ، الترميم المعماري والصيانة لبعض المعابد المصرية القديمة بالوجه القبلي دراسة تحليلية لعوامل ومظاهر التلف وإستراتيجية العلاج تطبيقا علي نماذج مختارة،رسالة دكتوراه،جامعة القاهرة،كلية الآثار،قسم ترميم الآثار،٢٠٠٥م

٨- محمد رجائي الطحلاوي & سامح سعد الدين ، مقدمة في الجيولوجيا العامة والهندسية ، كلية الهندسة ،جامعة أسيوط سنة ٢٠٠٤م .

٩- محمد عبد الهادي ، دراسات علمية في ترميم وصيانة الآثار غير العضوية ، مكتبة زهراء الشرق ، ١٩٩٧ م .

١٠- محمد نجيب إبراهيم ، التلوث البيئي ودور الكائنات الدقيقة إيجابا وسلبا ،دار الفكر العربي للطبع والنشر ، الطبعة الأولي ،٢٠٠٣م .

١١- مصطفي عمارة، التلوث البيئي، مجلة عالم الكيمياء، العدد ٤٤، ٢٠٠٩م.

١٢- محمد احمد هيكل & عبد الجليل هويدي ، أساسيات الجيولوجيا الفيزيائية ، الدار العربية للكتاب ، الطبعة الأولي ، ٢٠٠٨م.

١٣- و.د.هاملتون وآخرون ، ترجمة محمد فتحي عوض ، المعجم الجيولوجي المصور في المعادن والصخور والحفريات ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٩٩م.

١٤- ويليام هـ . ماثيوز ، ترجمة مختار رسمي ، ماهي الجيولوجيا ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٩٥ م .

ب- المراجع الأجنبية:

1- Abd Elhady, M., Ground water and the deterioration of Islamic building in Egypt, in the conference of (the restoration and conservation of Islamic monuments in Egypt), AUC, 1995.

2- Aston, B.G., Harrell, J.A. and Shaw, I., Stone, in, ancient Egyptian materials and technology, Nicholson.T & Shaw, I., Cambridge University, 2000.

3- Caneva, G., Pia nugari, M. And Salvadori,O. , Biology in the conservation of works of art , ICCROM , Roma , Italy, 1991 .

4- El-Derby, A., Two Examples of Egyptian alabaster Weathering Deterioration and damage from ancient Egyptian building and Islamic building in Egypt and some recommendations of preservation, journal of the general associate arab archaeology, arab council for graduates studies and scientific research, AGGSSR and supreme council of antiquities, 2009.

5- E1.Hinnawi, E. E. & Loukina, S. M., A contribution to the geochemistry of " Egyptian alabaster ", TMPM Tsehermaks Min. Petr. Mitt. 17, 215--221, Springer-Verlag 1972.

6- Elena, A., Salts in the deterioration of porous materials, journal of American institute conservation, V 39: 327-343, 2000.

7- Ericsson, T., and Nord, A, G., Chemical analysis of thin black layers on building stone in " Studies in conservation " 38, 1993, P.P.25-35.

8- Ewais, S.G., ., geological and environmental studies on the protectorate area of wadi sannur , south east beni suef ,Egypt , conference of beni suef , faculty of arts, branch of beni suef, Cairo university, 2002

9- Fassina, V. , Pollution atmospherique et alteration de la pierre , La degradation et la conservation de la pierre , 1991 .

10- Klemm, D. D & Klemm. R, The building stones of ancient Egypt – a gift of its geology, journal of African earth science 33, El Sevier, 2001.

11- Larson, J., The conservation of stone sculpture in museums in conservation, in: Conservation of building and Decorative stone, Vol 2, London, 1990, P. 200.

12- Lazzarini.L, Tabasso.M.L, IL Restauro Della Pietra, Casa Editrice Dott. Antonio Milani, 1986 .

13- Montana, G.and Randazzo, L. ,The growth of " black crusts " on calcareous building stones in Palermo (Sicily) afirst appraisal of anthropogenic and natural sulphur sources , Environ Geol. 56: 367 – 380 , Published online 18 January 2008 , Springer – Verlag 2008.

14-Monica, T.P., Decorative Stone, Thames & Hudson Ltd, London, 2007

15 - Prikryl, R. & Smith, B.J. , effect of long – term changes in air pollution and climate on the decay and blacking of European stone buildings , Building stone decay : from diagnosis to conservation , the geological society , London , 2007 .

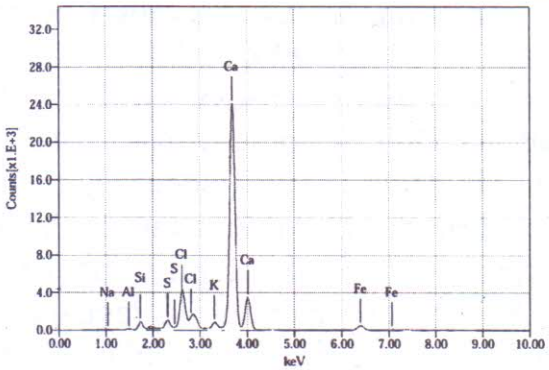
16- Rovnanikova ,P., environmental pollution effects on other building material ,in, environmental deterioration of materials , Moncmanova, A., Southampton , Boston , 2007.

17- Soliman,N.F., Investigation of an Egyptian alabaster ore by measuring its natural radioactivity and by NAA using K0 standardization and comparator methods , journal of nuclear and radiation physics, Vol.1, No.1, 2006, P.32

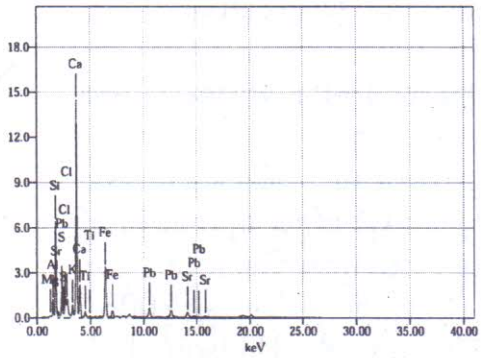
18- Sivertsen, B., A study of air pollutants during episodes, ICEHM, Egypt , Page 345 – 361, Cairo University, September 2000.

19- Yilmaz and et.al. , Protection of marble surfaces by using biodegradable polymers as coating agent, Progress in organic coating 66, 213 – 220, www.elsevier.com, 2009 .

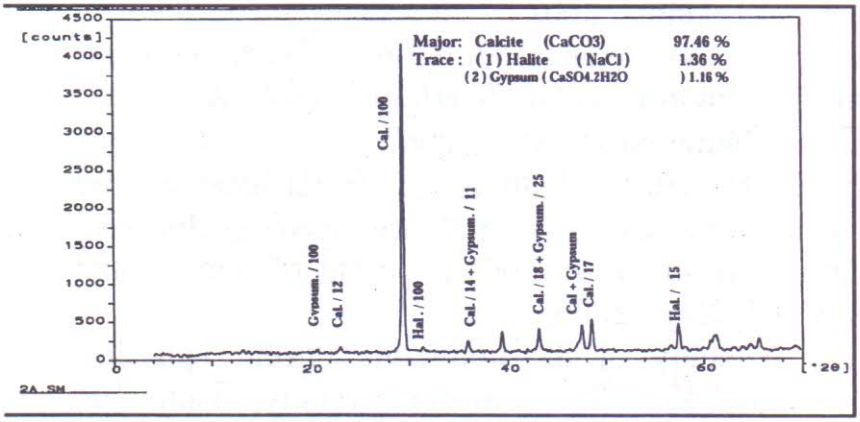
الأشكال:



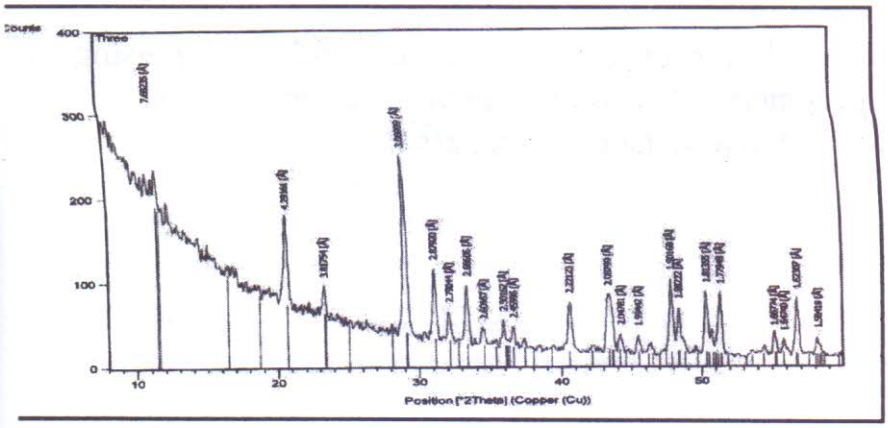
شكل رقم (١) يبين نمط تفلور الأشعة السينية XRF لعينة حجر الالباستر المصري (جامع محمد علي من الخارج)



شكل رقم (٢) يبين نمط تفلور الأشعة السينية XRF للقشرة السوداء Black crust المتكونة علي الالباستر المصري(جامع محمد علي من الخارج)

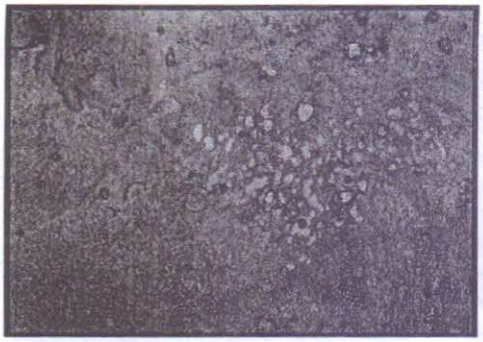


شكل رقم (٣) يوضح نمط حيود الاشعة السينية XRD لعينة من حجر الالباستر المصري (الواجهة الجنوبية الشرقية من الخارج)



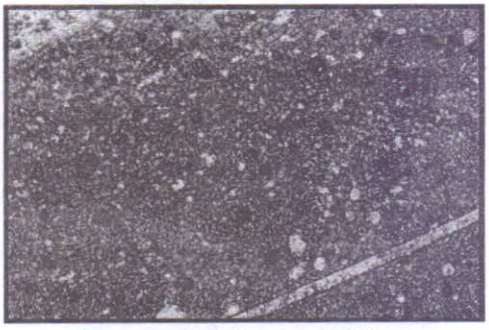
شكل رقم (٤) يبين نمط حيود الاشعة السينية XRD لعينة من الالباستر المصري يتضح بها ظاهرة Blac Crust (جامع محمد علي من الخارج)

صورة رقم (١) تبين عينة لقطاع من الالباستر المصري(تحت المستقطبين المتعامدين C.N)
(X4) ، يظهر بها شروخ دقيقة *micro fissures* وفقد في نسيج الحجر مع وجود فجوات ، ، كما يظهر بالقطاع بعض بلورات الكالسيت الغير متبلورة *amorphous carbonates*

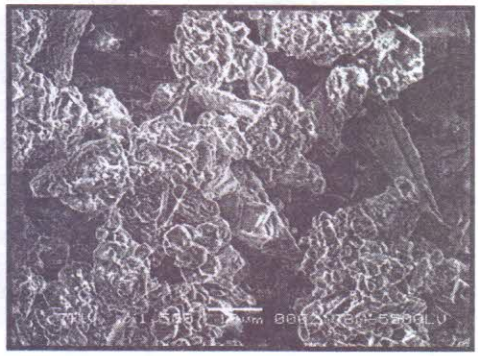


صورة رقم (٢) تبين عينة لقطاع من الالباستر المصري(الواجهة الجنوبية الشرقية) (أسفل الضوء المستقطب PPI)(X4) تبين وجود فجوات مع انتشار الجبس بين الفراغات ووجود فجوات دقيقة *minute vugs* .

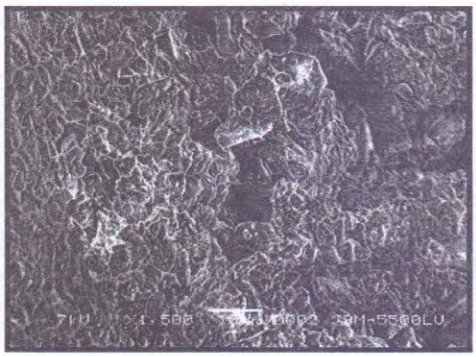
صورة رقم (٣) تبين عينة لقطاع من الالباستر المصري (الواجهة الجنوبية الشرقية) (أسفل الضوء المستقطب PPI)(X4)، تبين وجود ثقوب مع انتشار الفجوات والفراغات بنسيج الحجر .



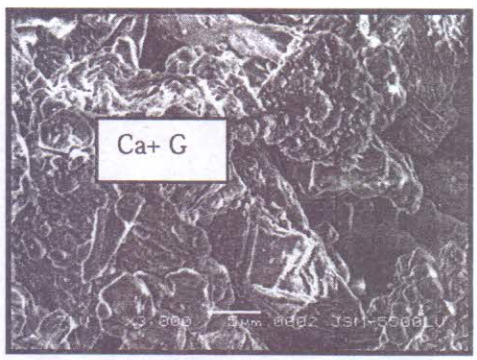
صورة رقم (٤) تبين عينة لقطاع من الالباستر المصري (الواجهة الجنوبية الشرقية) (تحت الميكروسكوب المستقطب (أسفل الضوء المستقطب PPI)(X4) ممثلة للقشور السوداء التي تغطي سطح الحجر Black crust ويظهر بالصورة فجوات كثيرة ، بالإضافة لانتشار بلورات الجبس بكثرة علي السطح ويتضح من الصورة وجود فراغات كثيرة مع وجود شقوق دقيقة بالتركيب الداخلي للحجر .



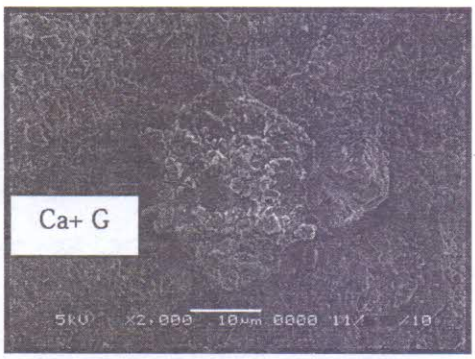
صورة رقم (٥) لعينة الالباستر المصري تحت الميكروسكوب الاليكتروني الماسح SEM بتكبير 1500X تبين تدهور وتشوه في بلورات الكالسيت Deformation و حدوث تفتت وانفصال في بلورات الكالسيت.



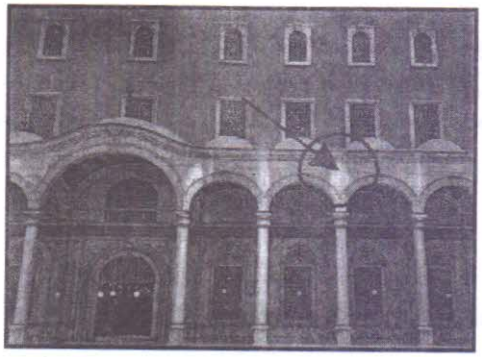
صورة رقم (٦) لعينة الالباستر المصري تحت الميكروسكوب الاليكتروني الماسح SEM بتكبير 1500X تبين تدهور وتآكل في بلورات الكالسيت و زيادة في مسامية الحجر Increase in porosity وانتشار الفراغات بين البلورات وبعضها.



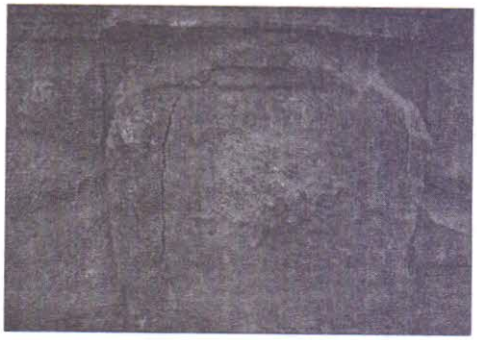
صورة رقم (٧) لعينة الالباستر المصري تحت الميكروسكوب الاليكتروني الماسح SEM بتكبير 3000X , 5000X تبين تدهور وتآكل في بلورات الكالسيت وانتشار الفراغات بين البلورات وبعضها ، ويتضح من الصورة وجود أملاح الجبس.



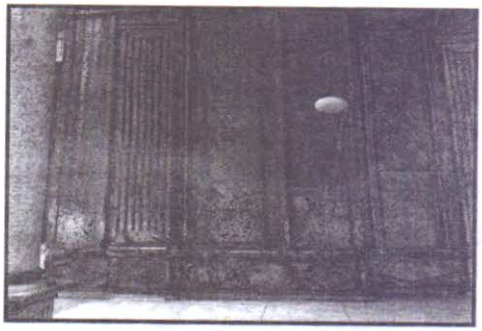
صورة رقم (٨) لعينة الالباستر المصري من جامع محمد علي (الواجهة الشمالية الشرقية) تحت الميكروسكوب الاليكتروني الماسح SEM بتكبير 2000X تبين التحول الجزئي لبلورات الكالسيت إلي بلورات الجبس .



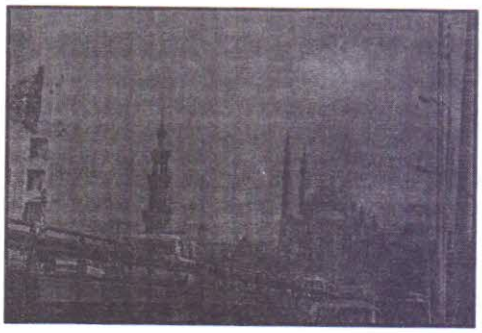
صورة رقم (٩) تبين تأثير المطر الحمضي علي الحجر ، حيث نلاحظ من الصورة تآكل السطح نتيجة لتفاعل حمض الكبريتك معه
(الواجهة الشمالية الغربية من الخارج) .



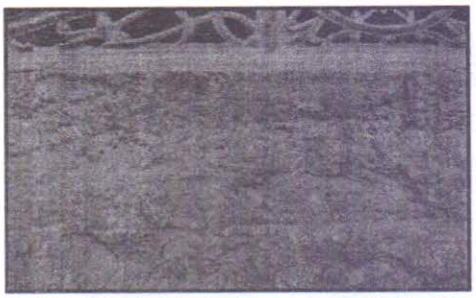
صورة رقم (١٠) تبين القشرة السوداء Black crust المتكونة علي الالباستر المصري نتيجة لتأثير عوامل التلف الجوي
(جامع محمد علي) .



صورة رقم (١١) تبين تشوه سطح الحجر وطمس معالمه نتيجة لترسب الاتربة ونواتج التلوث مما تسبب في تغير لون سطح الحجر الي اللون البني او الاسود
(الواجهة الشمالية الشرقية)

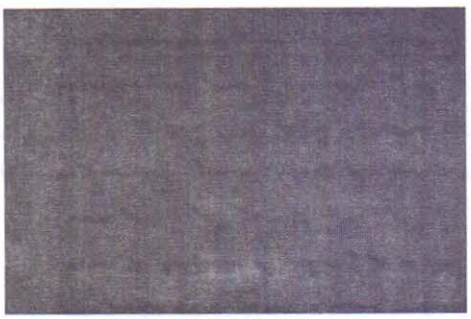


صورة رقم (١٢) تبين مظاهر التلوث الجوي بمنطقة القلعة وتأثيره علي جامع محمد علي

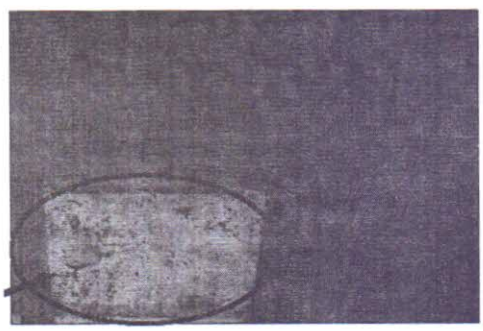


صورة رقم (١٣) تبين ترسب المـــواد الهيدروكربونيـــة وذرات الاتربة والغبار وغازات التلوث الجوي، مما أدي إلي وجود طبقة سميكة من الاتساخات علي سطح الحجر ادت الي تشويه المنظر وطمس معالمه
(الواجهة الجنوبية الشرقية من الخارج)

صورة رقم (١٤) تبين حدوث ثقوب وفجوات بسطح الحجر بسبب الهجوم الكيميائي بواسطة حمض الكبريتيك،
(الواجهة الشمالية الشرقية من الخارج) .



صورة رقم (١٥) تبين سطح الحجر قبل عملية التنظيف
(الواجهة الجنوبية الشرقية بالجامع)



صورة رقم (١٦) تبين سطح الحجـــر بعـــد عمليـــة التنظيف
(الواجهة الجنوبية الشرقية بالجامع)