



**الجمعية الجغرافية المصرية**

**أخطار التلويح المحيية على المباني الأثرية  
بمدينة القاهرة**

**الدكتور/ أحمد إبراهيم محمد صابر**

مدرس الجغرافيا الطبيعية، قسم الجغرافيا

كلية الآداب - جامعة بورسعيد

**سلسلة بحوث جغرافية**

**العدد السابع والأربعون - 2012**



## فهرس المحتويات

صفحة	الموضوع
1	المقدمة.
6	أولاً : العوامل المؤثرة في التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.
7	(1) الظروف المناخية.
13	(2) المياه الأرضية.
22	(3) الترميم الخاطئ.
24	ثانياً : خصائص مواد البناء المستخدمة في المباني الأثرية بمدينة القاهرة.
25	(1) المسامية.
26	(2) درجة امتصاص المياه.
27	(3) درجة الصلابة.
28	(4) النسيج المعدني والحفريات.
30	(5) التركيب المعدني.
36	ثالثاً : مظاهر التلف الناشئ عن تأثير التجوية الملحية على المباني الأثرية بمدينة القاهرة.
42	(1) نطاق الرشح.
46	(2) نطاق التزهير.
76	الخاتمة.
76	أولاً : النتائج.
80	ثانياً : التوصيات.
83	المراجع.

## فهرس الجداول

صفحة	عنوان الجدول	م
8	متوسطات درجات الحرارة بمنطقة الدراسة.	1.
9	المعدلات الفصلية والسنوية للتبخر (مم) بمنطقة الدراسة.	2.
11	متوسط كميات المطر الساقطة (مم) بمنطقة الدراسة.	3.
12	المتوسطات الفصلية والسنوية للرطوبة النسبية (%) بمنطقة الدراسة.	4.
14	مناسيب المياه الأرضية بمدينة القاهرة.	5.
18	الخصائص الكيمائية للمياه الأرضية بمدينة القاهرة.	6.
25	بعض الخصائص الفيزيائية لعينات الحجر الجيري بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	7.
27	قدرة تحمل صخور الحجر الجيري بمدينة القاهرة للضغوط (مقاومة التحميل الميكانيكي).	8.
35	نسبة المواد غير الذائبة بعينات الأحجار الجيرية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	9.
44	ارتفاع الرشح من سطح الأرض حتى بداية التزهير بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	10.
47	متوسط ارتفاع نطاق التزهير بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	11.
54	الخصائص الكيمائية للأملاح بعينات الأحجار الجيرية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	12.
58	نسب تركيز أملاح الكلوريدات والكبريتات بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	13.
59	سرعة الموجات فوق الصوتية ودرجة الاحتكاك بالأحجار الجيرية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	14.

## فهرس الخرائط والأشكال

صفحة	عنوان الشكل	م
4	التوزيع الجغرافي لبعض المباني الأثرية بمدينة القاهرة.	.1
20	النمو العمراني للعاصمة والكنطور وانتشار البرك والخلجان في الفترة (1801/1170).	.2
32	(أ) تحليل حيود الأشعة السينية (X-Ray) لعينات الأحجار المشيد بها المباني الأثرية بمدينة القاهرة.	.3
33	(ب) تحليل حيود الأشعة السينية (X-Ray) لعينات الأحجار المشيد بها المباني الأثرية بمدينة القاهرة.	
38	المستويات المختلفة التي يمكن ملاحظتها في منطقة الرطوبة الصاعدة داخل إحدى الجدران.	.4

## فهرس اللوحات

صفحة	عنوان اللوحة	م
16	ارتفاع منسوب المياه الأرضية بالمناطق الأثرية بمدينة القاهرة.	1.
20	الخزانات الضخمة (السبيل) المبنية تحت المساكن بمدينة القاهرة.	2.
21	عدم جودة الصرف الصحي بمدينة القاهرة.	3.
23	الترميم الخاطئ بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	4.
29	نماذج من تحليل عينات الأحجار المشيد بها المباني الأثرية بمدينة القاهرة عن طرق الميكروسكوب المستقطب (Thin-Section).	5.
31	التنوع في الأحجار المستخدمة في مواد البناء في المباني الأثرية بمدينة القاهرة.	6.
37	ظهور التلفيات في شكل شروخ وتفكك للنسيج الجداري وتآكل في المادة اللاصقة بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	7.
37	نشاط عملية التجوية الملحية بأعمدة مسجد الطنبغا المارداني	8.
41	المستويات المختلفة لنطاقات الرطوبة داخل الجدران بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	9.
43	ارتفاع نطاق الرشح (الرطوبة) بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	10.
48	(أ) نماذج من التملح على الحجر الجيري لنشاط عملية التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	11.
49	(ب) نماذج من التملح على الطوب الأحمر لنشاط عملية التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	
51	زيادة سمك الطبقات الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة	12.
52	التباين في درجات اللون بالطبقات الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	13.

61	عينة من الحجر الجيري بمدرسة العيني.	.14
62	عينة من الحجر الجيري بخانقاة ببيرس الجاشنكير.	.15
63	عينة من الحجر الجيري بسبيل محمد علي.	.16
64	عينة من الحجر الجيري بقاعة الدريديري.	.17
66	عينة من الحجر الجيري بمسجد السلطان برقوق.	.18
67	عينة من الحجر الجيري بمسجد المحمودية.	.19
68	عينة من الحجر الجيري بمنزل الست وسيلة.	.20
69	عينة من الحجر الجيري بمسجد الأمير شيخون.	.21
71	انتشار ظاهرة التقشر لنشاط عملية التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	.22
73	انتشار ظاهرة أعشاش النحل نتيجة نشاط عملية التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	.23
75	سقوط الغطاءات الأسمنتية ( الملائط ) نتيجة نشاط عملية التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	.24
77	نماذج من تآكل النقوش لنشاط عملية التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.	.25

## المقدمة

تعد التجوية الملحية أهم وأخطر المشكلات التي تواجه الآثار المصرية، حيث تعتبر الأملاح من أهم عوامل تلف مكونات مواد البناء خاصة في ظل الظروف البيئية المتغيرة من رطوبة وجفاف وما يتبعها من تبلور وإعادة تبلور بالإضافة إلى هجرتها وانتقالها من مكان لآخر تؤدي إلى التأثير على متانة وقوة الربط لمادة البناء.

والتجوية الملحية هي نوع من التجوية الكيميائية والفيزيائية معاً، حيث تتضمن التجوية الملحية في الواقع عمليات كيميائية، ولكن دورها في تفكك الصخر يعد بداية لعمليات فيزيائية أو ميكانيكية (محمد صبري محسوب، 2002، ص 292)؛ حيث يتمثل تأثير التجوية الملحية على المباني الأثرية في شقين: الأول كيميائي ويؤدي إلى تحول المكونات المعدنية الأصلية للجدران إلى معادن ذات خصائص كيميائية جديدة مختلفة في تركيبها وشكلها البلوري في عملية كيميائية معقدة تعرف بالتحلل الكيميائي Chemical Decomposition. والشق الثاني فيزيائي ميكانيكي ويؤدي إلى ما يعرف بعملية التزهير Efflorescence سواء على الأسطح الخارجية أو بين المسام وداخلها فيما يعرف بالتزهير الخفي وينمو بلورات الأملاح تحدث إجهادات على حدود الفواصل الخارجية وعلى حبيبات الصخر، مما يؤدي إلى تفكك حبيبي Granular Disintegration (نبيل عبدالنواب، 2003، ص 20).

والأملاح عبارة عن مركبات أيونية Ionic Compounds تتكون من شقين: أحدهما قاعدي ويحمل شحنة موجبة (كاتيونات Cations) والشق الآخر حامضي ويحمل شحنة سالبة (أنيونات Anions) وذلك طبقاً للمعادلة التالية:



وأكثر أنواع الأملاح شيوعاً هي الكلوريدات والكبريتات والنترات والكربونات. ومن الأملاح ما هو قابل للذوبان في الماء أو غير قابل أو متوسط الذوبانية كما أن لكثير منها خاصية هيجروسكوبية (القدرة على امتصاص الماء من الوسط المحيط). وطبيعة الأملاح تمكنها من الاحتفاظ بالماء، كما تؤدي هذه الخاصية في كثير من الأحيان إلى

أن يأخذ الملح أشكالاً مائية مختلفة، مثل: المحلول المائي Salt Solution، والملح المتميؤ Hydrated Salt، والملح شبه المتميؤ Suspension، والملح قابل للتميؤ Dehydrated Salt، والملح اللامائي Anhydrous، مع قابلية التغير بين الصور المائية واللامائية (خالد محمد الحمصاني، 2007، ص 96).

وقد أوضح Arnold أن التأثير المدمر لميكانيكية التجوية الملحية يتم من خلال أربع عمليات أساسية، وهي:

- الضغط الناشئ عن عملية التبلور لهذه الأملاح.
- الضغط الناشئ عن عملية التميؤ لبعض أنواع الأملاح.
- الضغط الناشئ عن عملية التمدد الحراري للأملاح.
- التأثير الكيميائي للأملاح (عملية الإذابة).

(Arnold, 1987, p. 17)

## أهداف البحث :

صممت بنية البحث لتحقيق هدفين في غاية الأهمية، وهما:

- رصد مصادر هذه الأملاح والعوامل المؤثرة في نشاطها.
- إلقاء الضوء على مظاهر التلف الناشئ عنها.

ومن ثم الخروج بمقترحات وتوصيات تهدف إلى الوصول لطرق تجنب هذا الخطر أو حل بعض المشاكل الناجمة عنه ليضمن للأثر سلامته وقدرته على مجابهة قوى التلف المختلفة، وبالتالي صيانة تراثنا الحضاري ومبانينا الأثرية.

ولتحقيق هذه الأهداف تم اختيار مدينة القاهرة، حيث تعتبر أكثر العواصم الإسلامية امتلاءً بالآثار والأبنية الدينية المختلفة ففيها المساجد والكنائس والمعابد اليهودية والمدارس وغيرها مما لا يحصى كثرة وتعدداً. وهذا التنوع الأثري أضفى عليها مكانة تاريخية متميزة، لعلنا لا نبالغ إذا قلنا إنها مكانة لا تتوافر لغيرها من مدن وعواصم الدول الإسلامية بنفس ذلك القدر الذي تتمتع به القاهرة (عائشة التهامي، 2010، ص 13).

ويبلغ عدد الآثار الإسلامية المسجلة بمدينة القاهرة 537 أثراً متنوعاً، وتتنوع على مناطق متعددة، (شكل 1). وتحتل منطقتا جنوب وشمال القاهرة الجانب الأعظم من هذه الآثار، حيث بلغت 197 أثراً، و 184 أثراً على الترتيب، بإجمالي 381 أثراً بنسبة 70.5% من إجمالي عدد الآثار الإسلامية بمدينة القاهرة. وتحتل منطقة الدرب الأحمر بجنوب القاهرة مركز الصدارة في عدد الآثار الإسلامية، حيث بلغ 141 أثراً، ثم منطقة الجمالية شمال القاهرة 98 أثراً، ثم منطقة الخليفة جنوب القاهرة 97 أثراً (مرفت صليب، 2008، ص ص 72-77).

### مناهج البحث :

اعتمدت الدراسة على عدة مناهج، هي:

- المنهج الوصفي التحليلي : يهتم بتحليل الظاهرة وعناصرها والعوامل المؤثرة فيها وارتباطها بالعناصر الأخرى، وكذلك البحث عن أسباب الظواهر من حيث تباينها وتغايرها.
- منهج النظم الجيومورفولوجية القائم على رصد الأبعاد الثلاثة : المدخلات والعمليات والمخرجات (عاطف معتمد، 2008، ص 15).

### مصادر ووسائل الدراسة :

لتحقيق الأهداف المذكورة اعتمدت الدراسة على المصادر والوسائل الآتية:

#### - الدراسات السابقة :

تعددت الدراسات غير الجغرافية التي تناولت موضوع التجوية الملحية وتأثيره على المباني الأثرية، وتندر كثيراً الدراسات الجغرافية في دراسة هذا الموضوع. ولذا لجأ الباحث إلى الاعتماد على ما قام به باحثون في المجالات الأخرى وخاصة قسم الترميم بكلية الآثار، إلا أن معظم هذه الدراسات لم تتناول المنهج الجغرافي القائم على التوزيع والربط والتحليل والتفسير. ومن بين أهم الدراسات غير الجغرافية التي تناولت موضوع التجوية الملحية ما يلي:



المصدر: هيئة المساحة العامة، خريطة القاهرة تبين الآثار الإسلامية، مقياس 1 : 5000، عام 1948.

شكل (1) : التوزيع الجغرافي لبعض المباني الأثرية بمدينة القاهرة.

- سيد محمد حميدة، 2003 : التقييم العلمي لميكانيكية التجوية الملحية وأهم مصادرها في بعض البيئات الأثرية المصرية وتأثيرها على الأحجار الجيرية والرملية المستخدمة في المنشآت الأثرية.
- خالد محمد أحمد الحمصاني، 2007 : دراسة مشكلة الأملاح وعلاجها في الصور والنقوش الجدارية بمنطقة سقارة تطبيقاً على إحدى المقابر المختارة من عصر الدولة القديمة.

#### - العمل الميداني :

شغل العمل الميداني الحيز الأكبر من عملية جمع البيانات، لدراسة أشكال التدهور في مواد البناء بمنطقة الدراسة الناجمة عن التجوية الملحية، والنقاط الصور الفوتوغرافية وجمع العينات المطلوبة لمعرفة مصادر الملوحة ومدى تأثيرها على المباني الأثرية.

#### - التحليلات المعملية :

لتحديد مظاهر التدهور في مواد البناء وأسباب وجودها المختلفة تم الاعتماد على التحليلات الآتية:

- **الميكروسكوب المستقطب (Thin-Section):**  
يستخدم هذا النوع من الميكروسكوبات في التعرف على التركيب المعدني للعيينة ونسيجها، وكذلك في فحص أي عمليات تلف مبدئية، كذلك الكشف عن التلف الميكانيكي الذي يمكن أن يحدث داخل حبيبات المعادن للعيينة نتيجة زيادة الضغط المؤثر عليها والتعرف على وجود الأملاح.

#### • الميكروسكوب الإلكتروني الماسح:

يستخدم هذا الجهاز بصورة كبيرة في تشخيص نواتج ومظاهر التلف داخل مواد البناء، حيث يستخدم في عمليات فحص المراحل الأولية لعمليات التحليل لمواد البناء، كما يستخدم في دراسة عمليات التلف الميكروبيولوجي الذي يحدث

للأحجار الكربوناتيّة، كذلك يستخدم هذا الجهاز في دراسة طبقة أكسالات الكالسيوم التي تتكون على أسطح الأحجار الجيرية داخل المباني الأثرية.

• **حيود الأشعة السينية (X-Ray):**

هي واحدة من الطرق التي تعطي مباشرة اسم المركبات أو المعادن؛ وذلك لأنها تتعامل مع البناء البلوري للمادة، كما أنه بواسطتها يمكن تحديد كمية المركبات داخل العينة، كما أنها عادة ما تستخدم في التعرف على معظم المعادن السليكانية، وكذلك التعرف على مظاهر التلف وبالتالي عوامل التلف، ويمكن من خلالها التعرف على درجة مقاومة الأثر لعمليات التجوية المختلفة (محمد مصطفى، 2009، ص ص 165-166).

كما يوجد التحليل البتروفيزيائي : وتشمل المسامية ودرجة امتصاص الماء وقدرة تحمل الصخر للضغط، والتحليل الهيدروكيميائي، مثل : درجة الأملاح الذائبة، والكاتيونات والأنيونات.

**ويضم هذا البحث الموضوعات التالية:**

**أولاً :** العوامل المؤثرة في التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.  
**ثانياً :** خصائص مواد البناء المستخدمة في المباني الأثرية بمدينة القاهرة.  
**ثالثاً :** مظاهر التلف الناشئ عن تأثير التجوية الملحية على المباني الأثرية بمدينة القاهرة.

وفيما يلي دراسة تلك الموضوعات، وذلك على النحو التالي:

**أولاً : العوامل المؤثرة في التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.**

تتعدد العوامل المؤثرة في التجوية الملحية بمنطقة الدراسة، حيث تتمثل أساساً في كل من المناخ بعناصره المختلفة، والمياه الأرضية، والتفاعلات الفيزيوكيميائية بين عناصر التلوث الجوي والأمطار ومواد البناء، ومواد الترميم الخاطئ، والخصائص

الكيميائية والفيزيائية لمواد البناء، والتفاعلات الداخلية للأملاح داخل حوائط المنشآت الأثرية، وغيرها من العوامل المتعددة والمتشابكة، لدرجة يصعب معها تحديد عامل واحد ويكون مسئولا عن نشاط التجوية الملحية. وفيما يلي دراسة أهم تلك العوامل دراسة تفصيلية.

## 1) الظروف المناخية :

تساهم الظروف المناخية باعتبارها أحد العوامل الطبيعية المهمة في تفعيل دور التجوية الملحية، والتي تتمثل في الحرارة والتبخر والأمطار والرطوبة ، وفيما يلي دراسة العناصر على النحو التالي:

### أ. درجة الحرارة :

تعد الحرارة من أهم العوامل المؤثرة على التجوية الملحية، حيث تعتبر التغيرات المستمرة في معدلات الحرارة يوميا وموسمياً وسنوياً من أسباب تلف مواد البناء المختلفة، حيث يؤدي التغير في درجات الحرارة إلى فقدان حالة التوازن التي كانت قائمة بين الأثر والجو المحيط، مما يترتب عنه أضراراً كيميائية وفيزيائية نتيجة لتبلور وإعادة تبلور الأملاح. ويوضح (جدول 1) المتوسطات الفصلية والسنوية لدرجات الحرارة بمنطقة الدراسة، حيث تبين الآتي:

- تراوح المتوسط السنوي لدرجات الحرارة بمنطقة الدراسة بين  $20^{\circ}\text{C}$  و  $22.5^{\circ}\text{C}$ ، وسجل أقل متوسط بمحطة بهتيم، وأعلى متوسط بمحطتي العباسية وحلوان، بمتوسط عام  $21.8^{\circ}\text{C}$ .
- بلغ المتوسط الفصلي لدرجات الحرارة أقصى قيمة لها بمحطة العباسية، حيث سجلت  $29.5^{\circ}\text{C}$  بفصل الصيف، بينما سجلت أدنى قيمة لدرجات الحرارة بمحطة بهتيم  $13.1^{\circ}\text{C}$  بفصل الشتاء.
- تبين من دراسة درجات الحرارة بمنطقة الدراسة ارتفاعها في فصل الصيف، حيث بلغت  $28.7^{\circ}\text{C}$ ، في حين بلغت في فصل الشتاء  $14.7^{\circ}\text{C}$ .

**جدول (1) : متوسطات درجات الحرارة بمنطقة الدراسة.**

المتوسط	المحطات المناخية						الفصل
	حلوان	مطار القاهرة	بهتيم	العباسية	أماظه	الجيزة	
14.7	14.9	14.8	13.1	15.9	15.3	14.3	الشتاء
20.7	22.1	21.2	18.4	21.1	20.4	21.0	الربيع
28.7	29.4	27.9	27.3	29.5	28.9	29.3	الصيف
23.0	23.7	23.2	21.2	23.6	22.9	23.2	الخريف
<b>21.8</b>	<b>22.5</b>	<b>21.8</b>	<b>20.0</b>	<b>22.5</b>	<b>21.9</b>	<b>22.0</b>	المتوسط السنوي

المصدر: الهيئة العامة للأرصاد الجوية من عام 1968 إلى عام 2004.

لاشك أن هذا التغير في درجات الحرارة بمنطقة الدراسة يؤثر تأثيراً مباشراً في نشاط الأملاح بالمباني الأثرية، فالارتفاع الكبير في درجات الحرارة في فصل الصيف سوف يؤدي إلى سرعة تبخر المحاليل الملحية داخل الجدران، حيث تتحرك داخل مسام الأثر في اتجاه مخارج تلك المسام، فتتبخر السوائل وتتبلور الأملاح تدريجياً إما على السطح أو داخل الجدران، مما يؤدي إلى حدوث ضغوط موضعية تتسبب في تلف وتفتت السطوح بما عليها من نقوش وكتابات.

**ب. التبخر :**

تهدف دراسة عنصر التبخر إلى الوصول للتقدير النهائي للقيمة الفعلية للأمطار والتي تعتمد بشكل أساسي على كمية التبخر، كما أن ارتفاع معدلات التبخر تساعد على زيادة نسبة الملوحة سواء بالتربة أو المباني، فارتفاع درجات الحرارة وزيادة معدلات الجفاف مع ارتفاع منسوب الماء الأرضي عن طريق الخاصية الشعرية يؤدي لتكوين بلورات ملحية سواء على السطح أو داخل الحوائط.

**جدول (2) : المعدلات الفصلية والسنوية للتبخر (مم) بمنطقة الدراسة.**

المعدل السنوي	الخريف	الصيف	الربيع	الشتاء	الفصل المحطة
7.8	5.8	10.6	9.9	5.0	الجيزة
13.8	15.2	17.7	13.4	8.9	مطار القاهرة

المصدر: أميرة محمد محمود البنا، 2010، ص 74.

ويتضح من تحليل (جدول 2) ارتفاع معدلات التبخر خلال فصل الصيف حيث ترتفع درجات الحرارة، ليصل أعلى معدل للتبخر 10.6 مم، و17.7 مم بمحطتي الجيزة ومطار القاهرة على الترتيب، ومع حلول فصل الشتاء، تهبط معدلات التبخر نتيجة انخفاض درجات الحرارة، ليلعب أدنى معدل للتبخر 5.0 مم بمحطة الجيزة و 8.9 مم بمحطة مطار القاهرة، بمتوسط سنوي 10.8 مم.

يتبين مما سبق أن عملية التجوية الملحية بمنطقة الدراسة تشتد تأثيرها وفعاليتها في فصل الصيف؛ حيث يقترن ارتفاع درجة الحرارة بارتفاع درجة التبخر. ومن ثم فعندما ترتفع درجة الحرارة خلال ساعات النهار خاصة في فصل الصيف فإن محاليل الملح التي صعدت نحو السطح بفعل الخاصية الشعرية تتعرض للتبخر عند السطح أو بالقرب منه مرسبة ما بها من أملاح، وباستمرار هذه العملية تنمو البلورات الملحية مسببة إجهادات كبيرة على الحبات التي تلامسها مما يؤدي إلى تفكك الصخر (محمد صبري محسوب، 1997، ص ص 85-86).

### ج. الأمطار :

تعتبر الأمطار التي تسقط على أسطح المباني الأثرية أحد مصادر الرطوبة داخل مواد البناء، وهي تتغلغل وتتسرب داخلها عبر الشقوق والمسام مما يؤدي إلى ارتفاع المحتوى المائي لمواد البناء. وعملية تغلغل مياه الأمطار داخل مواد البناء تعمل على إذابة الأملاح بها بعد انتهاء التساقط وجفاف الحائط الذي يتوقف على

درجة الحرارة وسرعة الرياح والمدة الزمنية بين كل تساقط وآخر؛ مما يؤدي إلى هجرة المحلول الملحي وتبلور الأملاح على سطح الحائط (إبراهيم محمد عبدالله، 2000، ص ص 185-186).

وتكمن خطورة الأمطار في تفاعل مكوناتها مع مواد البناء خاصة إذا كانت مياه الأمطار حامضية، مما ينتج عن تفاعلات تكون ملح كبريتات الكالسيوم (الجبس)  $CaSO_4$ ، وهو من أشهر الأملاح المتبلورة على سطح المباني، وذلك في وجود ماء المطر وثاني أكسيد الكبريت  $SO_2$ . ونتيجة وجود ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  كمكون طبيعي في الجو فإن حمض الكربونيك يذاب في مياه الأمطار ويتحول إلى محلول حمض الكربونيك، والذي برغم ضعفه يحول مادة كربونات الكالسيوم  $CaCO_3$  سواء كانت موجودة في مونة الحير أو كشوائب في مونة الجبس أو مواد البناء المختلفة إلى مادة بيكربونات الكالسيوم  $Ca(HCO_3)_2$  القابلة للذوبان في الماء، والتي يتم نزعها بواسطة المياه، مما يؤدي إلى مزيد من عمليات التفكك والضعف لمواد البناء (Shouli, 1991, pp. 243-244).

ويوضح (جدول 3) المتوسط الفصلي والسنوي لكميات المطر الساقطة بمنطقة الدراسة، حيث تبين ما يلي.

- تتعرض منطقة الدراسة لكمية قليلة من المطر، حيث تراوح المتوسط السنوي بين 0.3 و 2.3 مم، وسجلت أقل متوسط بمحطة الجيزة وأعلى متوسط بمحطة مطار القاهرة، بمتوسط عام 1.0 مم.
- تسقط أكبر كمية مطر على منطقة الدراسة في فصل الشتاء، فبلغت 2.8 مم، يليه فصل الربيع 0.7 مم، ثم الخريف 0.6 مم، وتكاد تنعدم في فصل الصيف، حيث لم تتعد كمية المطر الساقطة به 0.02 مم، ويرجع ذلك إلى كثرة المنخفضات الجوية في فصل الشتاء على باقي فصول السنة.

**جدول (3) :** متوسط كميات المطر الساقطة (مم) بمنطقة الدراسة.

المتوسط	المحطات المناخية						الفصل
	حلوان	مطار القاهرة	بهتيم	العباسية	أماظه	الجيزة	
2.8	4.2	5.0	3.7	1.4	1.6	1.1	الشتاء
0.7	1.6	1.7	0.3	صفر	0.2	0.1	الربيع
0.02	صفر	0.1	صفر	صفر	صفر	صفر	الصيف
0.6	1.2	2.2	0.1	صفر	0.03	صفر	الخريف
<b>1.0</b>	<b>1.8</b>	<b>2.3</b>	<b>1.0</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.3</b>	<b>المتوسط السنوي</b>

المصدر : الهيئة العامة للأرصاد الجوية من عام 1968 إلى عام 2004.

وعلى الرغم من انخفاض كمية المطر الساقطة على منطقة الدراسة وعدم انتظام سقوطها غالباً إلا أن تركز التساقط في فصل الشتاء، وهو فصل انخفاض درجة الحرارة قد يزيد من فاعلية تلك الكميات القليلة، حيث تحتفظ الأحجار بالماء لفترة أطول، مما يزيد من نشاط عملية الإذابة بالإضافة إلى احتواء هذه الأمطار على العديد من أيونات الأملاح التي تتلف الأحجار.

#### د. الرطوبة النسبية :

تعد الرطوبة النسبية عنصر فعال ومؤثر في نشاط العمليات الطبيعية وبخاصة التجوية الملحية، حيث تعتبر من أقوى العوامل المؤثرة في نشاط الأملاح، مما تتميز به من قدرة على الاحتفاظ بالحرارة الكامنة وتكوين مختلف الظواهر المائية بالغلاف الجوي بالإضافة إلى أنها تعطي صورة مباشرة عن إمكانية التبخر، الذي يلعب دوراً رئيسياً في نشاط عملية التجوية الملحية (على مصطفى كامل، 1998، ص 230). حيث تعتبر الرطوبة النسبية من أخطر عوامل التلف الفيزيوكيميائية؛ إذ تعتبر قاسماً مشتركاً في معظم عمليات التجوية الكيميائية سواء عمليات الأكسدة أو التكرين أو الإذابة أو التحلل المائي، والتي ينجم عن وجودها داخل مواد البناء أضرار بالغة بل إنها تعجل بنهاية تلك المواد مما يؤدي إلى تصدع وانهيار المباني ما لم تتخذ

الاحتياجات اللازمة لحمايتها من تأثير هذه الرطوبة. وقد تبين من دراسة الرطوبة النسبية بمنطقة الدراسة، (جدول 4) ما يلي:

- ارتفاع معدل الرطوبة النسبية في فصلي الخريف والشتاء، حيث بلغ 60.4% و 59.1% على الترتيب، يليهما فصلا الربيع والصيف، إذ بلغ 56.0% لكل منهما.
- تراوح المتوسط السنوي لمعدل الرطوبة النسبية بمنطقة الدراسة بين 54.7 و 65.8%، وسجل أقل متوسط بمحطة العباسية، وأعلى متوسط بمحطة بهتيم، بمتوسط عام 57.9%.

**جدول (4) :** المتوسطات الفصلية والسنوية للرطوبة النسبية (%) بمنطقة الدراسة.

المتوسط	المحطات المناخية						الفصل
	حلوان	مطار القاهرة	بهتيم	العباسية	أماظه	الجيزة	
59.1	59.3	58.8	67.3	58.7	57.8	52.4	الشتاء
56.0	55.6	53.8	64.3	51.2	53.3	57.9	الربيع
56.0	49.9	55.9	63.3	52.9	53.6	60.4	الصيف
60.4	55.9	59.3	68.2	55.9	57.0	65.8	الخريف
<b>57.9</b>	<b>55.2</b>	<b>56.9</b>	<b>65.8</b>	<b>54.7</b>	<b>55.4</b>	<b>59.1</b>	<b>المتوسط السنوي</b>

المصدر : الهيئة العامة للأرصاد الجوية من عام 1968 إلى عام 2004.

**يتضح مما سبق :** أن أكثر فصول السنة انخفاضا في معدلات الرطوبة النسبية هما فصلا الربيع والصيف؛ ويعزى ذلك إلى الاضطرابات الجوية المصاحبة لرياح الخماسين، والتي تحمل رياحاً صحراوية جافة، فتؤدى بذلك إلى انخفاض الرطوبة، وبالتالي يقل تأثيرها على التجوية الملحية في هذه الفترة.

## (2) المياه الأرضية :

تتسرب المياه الأرضية المحتوية على نسب متفاوتة من الأملاح الذائبة من

التربة إلى أساسات المباني الأثرية عبر المسام والشقوق والشروخ الدقيقة في مواد البناء بواسطة الخاصية الشعرية، وقوة الامتصاص، وقوة الانتشار، وقوة الخاصية الاسموزية<sup>(1)</sup>، وتتفاوت الارتفاعات التي تبلغها هذه المياه اعتماداً على مقدارها وحجم مساحات مواد البناء وتوزيعها واستمراريتها، وكذلك درجات الحرارة، والرطوبة في الوسط المحيط بالإضافة إلى طبيعة مواد البناء وسمك الجدار الذي تتسرب إليه المياه (إبراهيم محمد عبدالله، 2000، ص 189).

وفيما يلي دراسة مناسيب ونوعية المياه الأرضية ومدى تأثيرها في منطقة الدراسة على النحو التالي :

#### أ. مناسيب المياه الأرضية :

تتعرض المباني الأثرية في مدينة القاهرة للعديد من المشاكل والأخطار التي تعرضت لها خلال الأعوام السابقة وما تزال تتعرض لها حتى الآن. وفي مقدمة تلك المشاكل مشكلة ارتفاع وتذبذب مناسيب المياه الأرضية بالمناطق الأثرية، وعوامل التلف الشديدة التي تسببها تلك المشكلة على العديد من الآثار الإسلامية والقبطية التي تضمها مدينة القاهرة. ويوضح جدول (5) مناسيب المياه الأرضية بالمناطق الأثرية بمدينة القاهرة.

(1) - قوة الامتصاص Suction Forces : تعني امتصاص المناطق التي تحتوي على مياه قليلة داخل مواد البناء للمياه من المناطق المجاورة المشبعة بها.

- قوة الانتشار Diffusion Forces : تعبر عن انتشار الماء من المناطق عالية التشبع بالماء إلى المناطق ذات المحتوى المائي الأقل.

- قوة الخاصية الأسموزية Osmosis Forces: تعني اجتذاب المناطق التي تحتوي على نسبة قليلة من الماء المحتوي على نسبة قليلة من الأملاح الذائبة بفعل القوى الكهربائية للأيونات الملحية بما يعرف بتميؤ الأيونات الملحية Hydration of Ions

(خالد محمد الحمصاني، 2007، ص ص 111-112)

جدول (5) : مناسيب المياه الأرضية بمدينة القاهرة.

منسوب المياه الأرضية ( متر )	الموقع	منسوب المياه الأرضية (متر)	الموقع
0.5 -	بيت إبراهيم السناري	0.3 +	جامع السلطان الظاهر
0.9 -	مسجد الأمير الماس الحاجب	0.3 +	مسجد الأمير حسين
0.8 -	مدرسة القاضي عبدالباسط	0.5 +	جامع الست مسكة
1.40 -	مسجد الرفاعي	0.6 -	مسجد الأمير شيخون
6.0 -	باب النصر	3.5 -	بيت زينب خاتون
1.20 -	مسجد سيد مدين	0.7 -	مسجد قاني باي الرماح
0.9 -	منزل رضوان	1.0 -	منزل الأمير على كتحدا
1.6 -	منزل جمال الدين الذهبي	4.0 -	جامع المؤيد شيخ
1.3 -	وكالة قانصوة الغوري	1.5 -	وكالة قوصون
1.3 -	منزل قانصوة الغوري	1.4 -	المسافر خانة
1.1 -	حوض شيخو	1.4 -	جامع المرزوق الأحمدي
1.2 -	مسجد الصالح طلائع	1.4 -	جامع محمود محرم
1.2 -	مدرسة اينال اليوسفي	1.4 -	وكالة بازرعة
1.2 -	زاوية عبدالرحمن كتحدا	1.3 -	مدرسة وقبة السلطان قلاوون
1.1 -	مدرسة صرغتمش	1.1 -	مدرسة جوهر اللالا
1.1 -	سبيل يوسف بك	1.1 -	مدرسة أم السلطان شعبان
0.9 -	مدرسة وقبة سنقر السعدي	1.1 -	مدرسة جانم البهلوان
1.5 -	سبيل سليمان أغا السلحدار	1.3 -	المدرسة الأشرفية
1.3 -	سبيل محمد علي	1.3 -	مسجد السلطان برقوق
1.1 -	مسجد قانيباي المحمدي	1.3 -	جامع السلطان المؤيد شيخ
<b>( - 1.06 ) المتوسط العام</b>			

المصدر: أيمن حسن أحمد حجاب ، 2003، ص 63. الدراسة الميدانية، 2011.  
Kamh, Kallash & Azzam, 2008, pp. 271-272.

(+) فوق سطح الأرض (-) تحت سطح الأرض

وقد تبين من تحليل الجدول أن مستوى المياه الأرضية في مدينة القاهرة يتباين

من مكان إلى آخر، والتي يمكن تصنيفها على النحو التالي:

- مناطق تظهر بها المياه الأرضية على سطح الأرض: وهي المباني التي تغمرها المياه الأرضية وتغطي الأساسات، وقد ظهرت في بعض المناطق، مثل : جامع السلطان الظاهر، ومسجد الأمير حسين، وجامع الست مسكة، إذ بلغ مناسيب المياه الأرضية 0.3، 0.3، 0.5 متر فوق سطح الأرض على الترتيب.
- مناطق مناسيب المياه الأرضية أقل من 1.0 متر تحت سطح الأرض: وتنتشر في بعض المواقع، حيث تمثل 19.51% من إجمالي عدد المواقع بمنطقة الدراسة، وتشمل: مسجد الأمير شيخون، ومسجد قاني باى الرماح، وبيت إبراهيم السناري، ومسجد الأمير الماس الحاجب، ومدرسة القاضي عبد الباسط، ومنزل رضوان، ومدرسة وقبة سنقر السعودي.
- مناطق مناسيب المياه الأرضية تتراوح بها بين 1.0 و 2.0 متر تحت سطح الأرض: وتنتشر في العديد من المناطق، إذ بلغت 28 موقع بنسبة 68.29% من إجمالي عدد المواقع بمنطقة الدراسة.
- مناطق مناسيب المياه الأرضية بها 2.0 متر فأكثر تحت سطح الأرض: وقد ظهرت في ثلاثة مواقع فقط، وهي: بيت زينب خاتون، وجامع السلطان المؤيد شيخ، وباب النصر، حيث تراوحت مناسيب المياه الأرضية بين 3.5 و 6.0 أمتار تحت سطح الأرض.

يتضح مما سبق ارتفاع مناسيب المياه الأرضية في العديد من المناطق خاصة منطقة الجمالية ومنطقة الدرب الأحمر ومصر القديمة، حيث تراوح المتوسط العام 1.06 متر تحت سطح الأرض (لوحة 1).



أ - ارتفاع منسوب المياه الأرضية  
وسحبها عن طريق الطلمبات  
بمسجد الأمير حسين



ب - ارتفاع منسوب المياه الأرضية  
بمسجد الأمير شيخون



ج - ارتفاع منسوب المياه الأرضية  
بسور القاهرة الشمالي

لوحة (1) : ارتفاع منسوب المياه الأرضية بالمناطق الأثرية بمدينة القاهرة.

## ب. الخصائص الكيميائية للمياه الأرضية :

تلعب المياه الأرضية دوراً خطيراً في تلف وتآكل مواد البناء المسامية عند زيادة نسبة الأملاح الذائبة فيها؛ حيث تؤدي النسبة العالية من الملوحة إلى تلف الأحجار ومكوناتها المعدنية تحت تأثير المياه الأرضية؛ لأنها تحول معادنها الأصلية إلى معادن ذات خصائص كيميائية جديدة مختلفة سواء في تركيبها الكيميائي أو في شكلها البلوري في حالة كيميائية معقدة الخطوات تعرف باسم التحطم الكيميائي (عبدالحاميد عبدالحاميد، 2006، ص 73). ويوضح (جدول 6) الخصائص الكيميائية للمياه الأرضية بمدينة القاهرة.

تشير البيانات الواردة بالجدول إلى وجود تباين في درجة الملوحة بين عينات منطقة الدراسة، حيث تراوح الفرق بين أعلى وأدنى درجة ملوحة 1578 جزء في المليون، إذ تراوحت درجة الملوحة بين 1692 و 3270 جزء في المليون، وكان أقل تركيز بمنطقة مصر القديمة وأعلى تركيز بمسجد الأمير شيخون.

سجلت أقل درجة تركيز للكالسيوم  $Ca^{++}$  بمنطقة مصر القديمة، حيث بلغت 5.8 ملليمكافى، وأعلى درجة تركيز بمسجد الأمير حسين، إذ بلغت 12.3 ملليمكافى. أما درجة تركيز الماغنسيوم  $Mg^{++}$  فتراوحت بين 6.8 ملليمكافى، والتي سجلت أيضاً بمنطقة مصر القديمة، و 11.5 ملليمكافى بمسجد الأمير شيخون، وبالنسبة لكلا من الصوديوم  $Na^+$  والبوتاسيوم  $K^+$ ، فقد تراوحت درجة تركيزهم بين 7.5 و 17.5 ملليمكافى، و 0.1 و 1.4 ملليمكافى على التوالي.

أما درجة تركيز الانيونات فقد لوحظ ارتفاع درجة تركيز كل من الكلوريدات  $Cl^-$  والكبريتات  $SO_4^{--}$  بمنطقة الدراسة، حيث تراوحت درجة تركيزهم بين 9.3 و 27.9 ملليمكافى، و 2.0 و 13.2 ملليمكافى على الترتيب. وبالنسبة لدرجة تركيز كل من الكربونات  $CO_3^{--}$  و البيكربونات  $HCO_3^-$ ، فقد تراوحت درجة تركيزهم بين صفر و 1.8 ملليمكافى، و 4.6 و 7.5 ملليمكافى على التوالي.

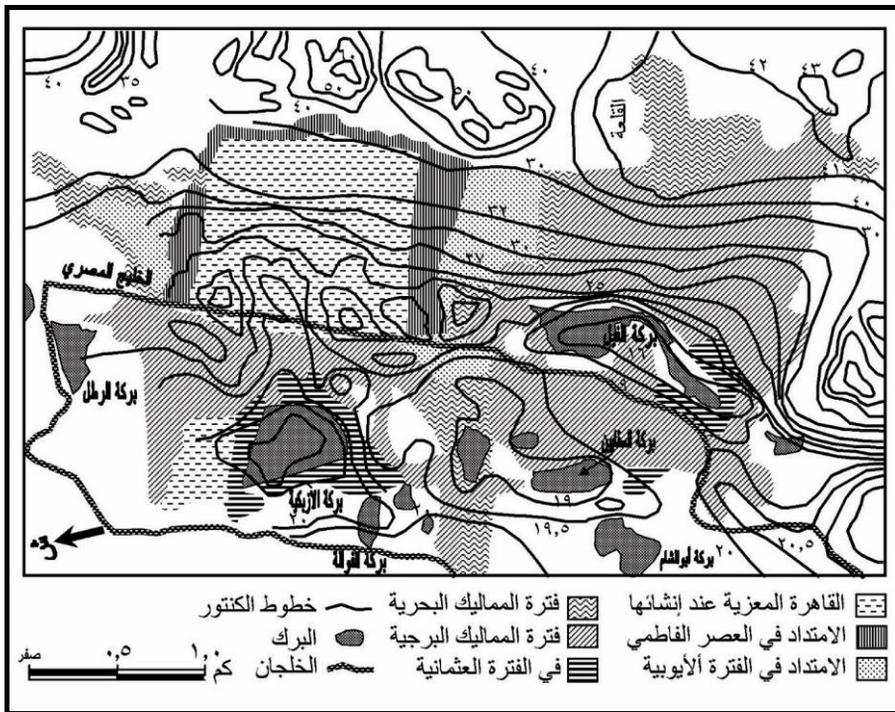
جدول (٦) : الخصائص الكيميائية للمياه الأرضية بمدينة القاهرة.

الموقع	الأملاح الكلية (جزء في المليون)	الكاتيونات ( بالملييكافى )					الانبيونات ( بالملييكافى )		
		Na <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
مسجد الأمير شيخون	٣٢٧٠	١٧,٥	١١,٥	١١,١	١,٢	٢٧,٩	٥,٩	٠	٧,٥
سور القاهرة الشمالي	٢٩١٢	١٥,٧	١١,٣	١٠,٠	٠,٢	١٨,١	١٣,٢	١,٣	٤,٦
مسجد الأمير حسين	٣١٢٠	١٦,٠	١١,٠	١٢,٣	١,٤	٢٣,٦	٩,٤	١,٢	٦,٥
مصر القديمة	١٦٩٢	٧,٥	٦,٨	٥,٨	٠,١	٩,٣	٢,٠	١,٨	٦,٨

المصدر: تم التحليل بعمل كلية الهندسة، جامعة الزقازيق، عام ٢٠١١.

ويرجع ارتفاع منسوب المياه الأرضية وزيادة نسبة الأملاح بها بالمناطق الأثرية بمدينة القاهرة إلى عدة عوامل، هي:

- مدينة القاهرة قديماً كان يتخللها البرك والمستنقعات والترع التي تم ردمها، ومن أهمها الخليج المصري (شكل 2)، والذي كانت تسقى منه القاهرة عند امتلائه في أشهر الفيضان، وتملاً منه الخزانات الضخمة المبنية تحت المساكن، والتي كانت تستغل طوال العام مثل سبيل سليمان أغا السلحدار وسبيل محمد علي (لوحة 2). ويستعمل الخليج كمصرف للمجاري باقي الأشهر، وإن كان قد تم ردم هذا الشريان المائي، إلا أن تأثيره مازال واضحاً على المناطق الأثرية.
- وقوع المناطق الأثرية بمدينة القاهرة في مناطق ينخفض منسوبها عن المناطق المحيطة بها، مع ملاحظة أن المباني الأثرية قد صممت بحيث تأخذ شكل الأرض، وتكون في تجانس معها، فيرتفع الشارع أو ينخفض مع الارتفاع والانخفاض في شكل الأرض، كما نجد أن بعض المنشآت تهبط إليها بدرجات من السالم؛ مما جعلها بؤراً لتجمع المياه المتسربة من شبكات المياه والصرف، وارتفاع مناسيبها بداخلها وتأثرها بتذبذب مناسيبها، كذلك التأثير بنوعية تلك المياه والتي ازدادت بها نسبة الأملاح، مما أضر بالآثار ضرراً بالغاً قد تصل إلى حد انهيارها.
- استهلاك مياه الشرب بالقاهرة بلغ 4 مليون م<sup>3</sup> يومياً بينما لا تستوعب شبكة الصرف الصحي إلا حوالي 2 مليون م<sup>3</sup> يومياً، وعليه فإن حوالي 2 مليون م<sup>3</sup> من المياه يتسرب إلى التربة الأمر الذي أدى إلى ارتفاع منسوب المياه الأرضية بشكل خطير حيث أصبحت نسبة من أساسات الآثار مغمورة بصفة دائمة في مياه الرشح والصرف الصحي وارتفعت مياه الرشح في العديد من الآثار فوق منسوب أرضيتها، مما أدى إلى غلق بعض الآثار (محسن محمد صالح، 1999، ص ص 52-53).



المصدر : فتحي محمد مصيلحي، 1988، ص 117.

شكل (2) : النمو العمراني للعاصمة والكننور وانتشار البرك والخلجان في الفترة (1801/1170).



ب - سبيل محمد علي

أ - سبيل سليمان أغا السلحدار

لوحة (2) : الخزانات الضخمة (السبيل) المبنية

تحت المساكن بمدينة القاهرة.

والجدير بالذكر أن معظم المنشآت الأثرية بمدينة القاهرة تعاني من عدم وجود شبكات صرف صحي في العديد من المناطق من جهة وتهالك شبكات الصرف الصحي من جهة أخرى التي تمثل العامل الرئيسي المسبب لتلف العديد المباني الأثرية الإسلامية والقبطية (لوحة 3). ولقد تعددت أساليب الصرف الصحي في المناطق والأحياء القديمة واشتملت على ثلاثة أساليب منها الخزان البدائي (الطرنش البدائي) والخزان الحجري، وأخيراً أنابيب الصرف.

أ - عدم جودة الصرف  
الصحي وتأثيره على المباني  
الأثرية بمنطقة القلعة



ب - عدم جودة الصرف الصحي  
بسور القاهرة الشمالي

لوحة (3) : عدم جودة الصرف الصحي بمدينة القاهرة.

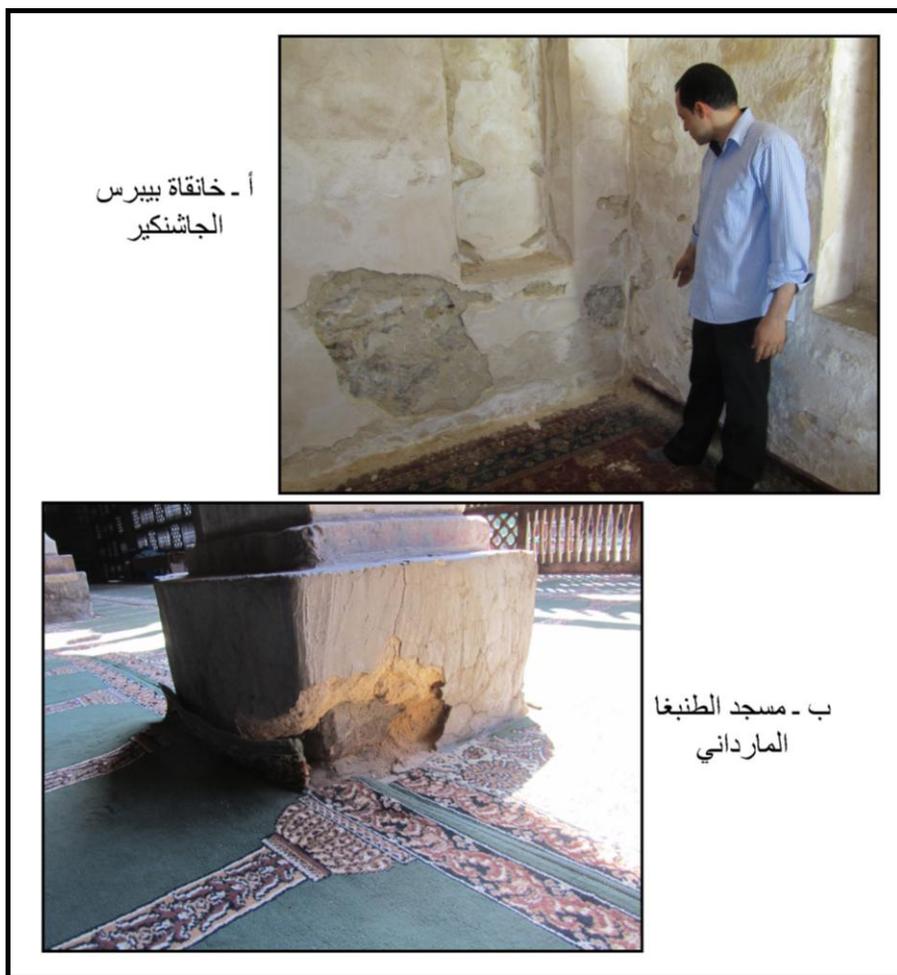
وتحتوي مياه الصرف الصحي على 40% مواد نيتروجينية، و 50% مواد كربوهيدراتية، و 10% مواد دهنية، أما المواد غير العضوية فهي الكلوريدات والنيتروجين والفوسفات وأكاسيد الكالسيوم، وهذه المواد توجد معلقة أو ذائبة في المياه بالإضافة إلى الكائنات الحية الدقيقة (أكمل على توفيق، 2005، ص 163). كما تزيد محتوى التربة من الرطوبة مما يساعد على تبلور الأملاح.

ولعله يتضح لنا مما سبق تنوع مصادر الرطوبة المختلفة بمنطقة الدراسة، مع ملاحظة أن المياه الأرضية تعد المصدر الرئيسي للرطوبة، نتيجة لارتفاع منسوبها، حيث بلغ المتوسط العام لارتفاع مناسب المياه الأرضية بمدينة القاهرة 1.06 متر تحت سطح الأرض، وما يؤكد ذلك وجود النطاق المشبع بالمياه بالأجزاء السفلية من المباني وهي الملاصقة لسطح الأرض. ولكن لا يجب أن تغفل دور الرطوبة النسبية والأمطار، حيث تلعب دوراً مساعداً في إحداث التلف واستكمال دائرته جنباً إلى جنب مع المياه الأرضية. حيث تتصرف الرطوبة النسبية والأمطار كمركب حامل للمواد الملوثة ذات القدرة على تنشيط التفاعلات الكيميائية والفيزيائية التي تساهم في عمليات التلف، ومن ثم أصبحت من الحقائق الثابتة والراسخة لدى علماء ترميم الآثار أن العامل الرئيسي وراء تلف وتدهور معظم المباني الأثرية داخل مدينة القاهرة التاريخية هو ارتفاع نسبة الرطوبة داخل المباني.

### 3) الترميم الخاطئ :

تمثل عملية الترميم وصيانة الآثار واحدة من أهم العمليات الأثرية التي تساعد على بقاء الأثر في حالة جيدة إذا ما أجريت بأسلوب علمي صحيح، أما إذا أجريت هذه العملية بطريقة خاطئة فإنها سرعان ما تسرع بزوال تلك الآثار، أو على الأقل تغيير مظهرها الأثري، ولقد لوحظ من الدراسة الميدانية وجود قصور في عمليات الترميم السابقة للمباني الأثرية بمدينة القاهرة، حيث تبين استخدام مونة الأسمنت

الخطيرة والتي من أشهرها الأسمنت البورتلاندي، كالتى استخدمت في عمليات الترميم في خانقة بيبرس الجاشنكير، ومسجد الطنبغا المارداني (لوحة 4).



لوحة (4) : الترميم الخاطى بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.

ويرجع الدور المتلف لاستخدام مونة الأسمنت هذه إلى أنها تحتوي على

سيليكات الكالسيوم وسيليكات الألومنيوم وكذلك كبريتات الكالسيوم وبعض الأملاح القلوية التي تتغلغل داخل مواد البناء مسببة تلف خطير بها مثل تبلور الأملاح بها بالإضافة إلى ظهور الشروخ الدقيقة والواسعة بها نتيجة الاختلاف في درجة الصلادة ومعامل التمدد والانكماش بين مواد البناء القديمة والاسمنت المستخدم في هذا الترميم الخاطئ (Lamei, 1995, p. 147).

يتضح من دراسة العوامل المؤثرة في عملية التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة، أن الظروف البيئية وخاصة المياه الأرضية المشبعة بالأملاح وخاصة أملاح الكبريتات والكلوريدات والتي أثبتته التحاليل الكيميائية إلى قدرتها العالية على تلف وتدمير التركيب المعدني لمواد البناء، ويساعد على ذلك أن معظم الأحجار التي استخدمت في تشييد المباني الأثرية بمدينة القاهرة تتميز بارتفاع المسامية وقدرتها على امتصاص المياه، حيث بلغ المتوسط العام 22.18% و 10.49% على الترتيب، مما جعل المياه الأرضية لها القدرة العالية على الحركة داخل مواد البناء، مع إزابتها للأملاح الموجودة داخل المواد، في وجود التغيرات المتكررة للرطوبة والحرارة، ومن ثم تعاقب دورات البلل والجفاف داخل الأحجار، كل هذه العوامل والعمليات مجتمعة أدت إلى ضعف التركيب البنائي لمواد البناء المشيد بها المباني الأثرية بمدينة القاهرة، مما عرضها للتدهور والسقوط.

## **ثانياً : خصائص مواد البناء المستخدمة في المباني الأثرية بمدينة القاهرة.**

تلعب خصائص مواد البناء دور مهم في تحديد ميكانيكية التلف التي تتعرض لها هذه الوحدات بالإضافة إلى أنها تتحكم في نوع وطريقة إجراء عمليات العلاج لتلك المواد، لذلك كان من الأهمية دراسة هذه الخصائص وتحديدتها، وفيما يلي عرض لأهم هذه الخصائص (جدول 7).

**جدول (7) : بعض الخصائص الفيزيائية لعينات الحجر الجيري**

## بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.

موقع العينة	المسامية (%)	امتصاص المياه (%)	موقع العينة	المسامية (%)	امتصاص المياه (%)
مدرسة العيني	23.25	10.03	مسجد السلطان برقوق ( قديمة )	24.25	10.32
خانقاة بيبرس الجاشنكير (قديمة)	23.67	10.66	مسجد السلطان برقوق ( حديثة )	24.00	10.24
خانقاة بيبرس الجاشنكير (حديثة)	22.95	9.24	مسجد المحمودية (قديمة)	22.74	9.19
سبيل محمد علي	19.30	9.19	مسجد المحمودية (حديثة)	21.94	21.03
قاعة الدريديري	23.92	10.38	مسجد الأمير شيخون (قديمة)	19.81	8.14
منزل الست وسيلة	22.08	10.02	مسجد الأمير شيخون (حديثة)	18.27	7.40

المصدر: تم التحليل بمعمل كلية العلوم ، جامعة كفر الشيخ.

(قديمة : عينات من حوائط لم يتم عمل ترميم لها - حديثة : عينات من حوائط بعد عملية الترميم).

### 1) المسامية :

يعتمد معدل وكمية امتصاص الأحجار الجيرية والرملية للمحالييل بشكل أساسي على مسامية هذه الأحجار. كما يوضح (Rossi, 1991) أن عملية التمدد الناشئة عن ميكانيكية التبلور للأملاح تعتمد وبشكل أساسي على حجم المسام للأحجار ومواد البناء، حيث لوحظ أن ضغط التبلور للأملاح يكون مرتفعاً في حالة الأحجار ذات النسبة المئوية المرتفعة من المسامية الدقيقة، حيث تعاني تلك النوعية من الأحجار من مظاهر التلف الشديدة الناتجة عن ميكانيكية التبلور للأملاح، أما في حالة الأحجار والمونات ذات النسبة المئوية المنخفضة من المسام الدقيقة فتكون قيمة

الضغط الناشئة عن تبلور الأملاح منخفضة، مما لا ينشأ عنه انهيار ميكانيكي لتلك الأحجار، حيث يفسر لنا ذلك لماذا قد ينشأ عن تبلور الأملاح تماسك وتقوية الأسطح الحجرية بدلاً من التفكك والتلف لهذه الأسطح في بعض الأحيان (سيد حميدة، 2003، ص 212).

ويتضح من تحليل الجدول وجود تباين في درجة المسامية في الأحجار الجيرية المستخدمة في تشييد المباني الأثرية حيث تراوحت بين 18.27% و 24.25%، سجلت أقل درجة للمسامية بمسجد الأمير شيخون بالعينة الحديثة (بعد الترميم)، وأعلى درجة مسامية بمسجد السلطان برقوق، بمتوسط عام 22.18%.

وبمقارنة درجة المسامية لعينات الأحجار القديمة والأحجار الحديثة لوحظ ارتفاع درجة المسامية بالأحجار القديمة في جميع عينات الدراسة ما عدا عينة واحدة، وهي المأخوذة من مسجد المحمودية، وأن دل ذلك على شيء فإنما يدل على أن التجوية الملحية لها دور كبير في زيادة درجة المسامية، حيث تؤدي إلى إذابة بعض الأملاح الموجودة داخل المواد كما أن الانتقال بين عمليتي التبلور والتميؤ تؤدي إلى توسيع الفراغات داخل الحجر، ومن ثم تعمل على زيادة درجة المسامية للمباني وقدرتها على امتصاص المياه.

## (2) درجة امتصاص المياه :

امتصاص الصخر للمياه أو الرطوبة من أهم العوامل التي يتم عن طريقها معرفة مدى قابلية الصخر للتلف، وقد تراوحت بعينات الأحجار بمنطقة الدراسة بين 7.40 و 21.03%، بمتوسط عام بلغ 10.49% وسجلت أقل قدرة امتصاص للمياه بمسجد الأمير شيخون بالعينة القديمة، وأعلى قدرة امتصاص بمسجد المحمودية بالعينة الحديثة التي تم استخدامها بعملية الترميم.

## (3) درجة الصلابة :

تعبّر درجة الصلابة عن مقاومة الحجر للأحمال الواقعة عليه قبل أن يتهشم أو قبل تحوله إلى حبيبات سائبة وتقدر بعدد الكيلوجرامات/سم<sup>3</sup> (محمد مصطفى، 2009، ص 48). وقد تم دراسة قدرة أو قوة تحمل الحجر الجيري للضغوط لمعرفة قدرة الصخر على مقاومة الضغط الناتج عن نمو البلورات الملحية (جدول 8).

### جدول (8) : قدرة تحمل صخور الحجر الجيري

بمدينة القاهرة للضغوط (مقاومة التحميل الميكانيكي).

قدرة التحمل كجم/سم <sup>3</sup>	موقع العينة	قدرة التحمل كجم/سم <sup>3</sup>	موقع العينة
58	مسجد السلطان برقوق	70	مدرسة العيني
48	مسجد المحمودية	71	خانقاة بيبيرس الجاشنكير
68	منزل الست وسيلة	69	سبيل محمد علي
69	مسجد الأمير شيخون	73	قاعة الدرديري

المصدر: تم التحليل بمعمل كلية العلوم، جامعة كفر الشيخ.

وقد تبين من تحليل الجدول أن الأحجار الجيرية المشيد بها مباني مدرسة العيني، وخانقاة بيبيرس الجاشنكير، وقاعة الدرديري، سجلت أكبر قوة تحمل للضغوط، حيث ارتفعت على 70 كجم/سم<sup>3</sup>، في حين سجلت العينات المأخوذة من مسجد السلطان برقوق، ومسجد المحمودية، ومنزل الست وسيلة، وسبيل محمد علي، ومسجد الأمير شيخون أقل قوة تحمل، ومن ثم تكون أكثر عرضه للتلف والتفتت من العينات الأخرى في حالة تأثرها بالأملاح.

ويرجع السبب في ذلك إلى أن مقاومة بعض الأحجار ضعيفة للضغوط. ومن ثم تصبح سهلة التفتت في حالة تبلور الأملاح - للعديد من العوامل أهمها التركيب المعدني

والكيميائي ووجود المواد غير الذائبة وانتشار الحفريات والمادة اللاحمة.

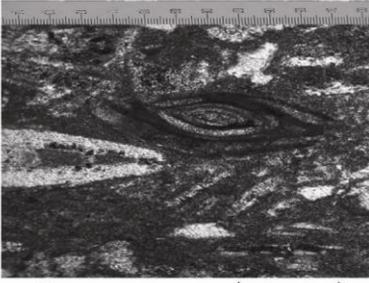
#### 4) النسيج المعدني والحفريات :

تم تحليل العينات عن طريق الميكروسكوب المستقطب (Thin-Section) (لوحة 5)، لدراسة النسيج المعدني والحفريات بالأحجار الجيرية المشيد بها المباني الأثرية بمدينة القاهرة لمعرفة مدى تأثر الأحجار بنشاط التجوية الملحية، حيث تبين الآتي:

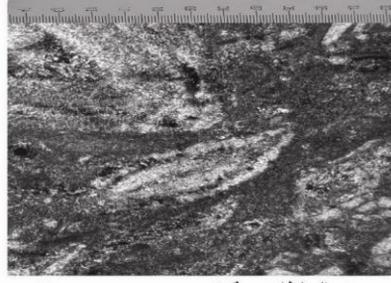
انتشار حفريات النيمولاييت والفورامنيفرا بعينات الأحجار بسبيل محمد علي، ومسجد السلطان برفوق، ومسجد المحمودية، ومنزل الست وسيلة، ونسيج الحجر الجيري بتلك العينات يعرف Wackestone. كما تنتشر الحفريات أيضا بمسجد الأمير شيخون ونسيجه يعرف Packstone. أما عينات الأحجار بمدرسة العيني، وخانقاة ببيرس الجاشنكير، وقاعة الدرديري فقد لوحظ وجود بعض الحفريات الدقيقة ونسيج الحجر Lim-Mud<sup>(1)</sup> وهذا النسيج أكثر مقاومة لعملية تبلور الأملاح عن النوعين السابقين؛ حيث يتسم هذا النسيج بالمرونة ومن ثم في حالة النمو البلوري للأملاح فإنه يضغط على هذا النسيج دون حدوث كسر أو تفتت ثم في حالة عدم التبلور فيعود الصخر إلى شكله الأساسي، بجانب قلة وجود الحفريات بهذه العينات كلها عوامل تزيد من قدرة الصخر على مقاومة الضغط الناتج عن نمو البلورات الملحية على العينات السابقة.

---

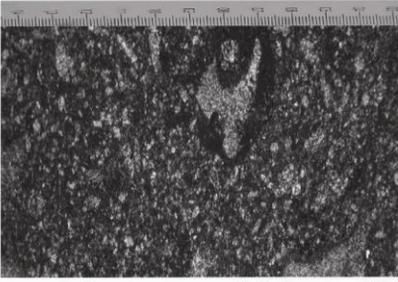
(1) يستخدم مصطلح Lim-Mud كمرادف لمصطلح الجير الدقيق الحبيبات أو كبديل لمصطلح الوحل الجيري أو حجر الطين ويشتمل على حبيبات حجمها أقل من 20 ميكرون، أما Wackestone أو حجر الواكي فيتكون من حبيبات ذات أحجام أكبر من 20 ميكرون، وبالنسبة Packstone والتي تعرف بالأحجار المعبأة تكون شديدة الترابط مع بعضها ويتخللها لاحم وحلي (طين) (محمد بن عبدالغني، 1987، ص 312).



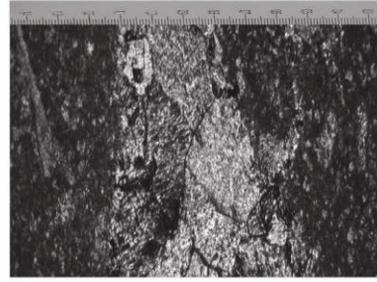
سبيل محمد علي: حجر جيرى غنى  
بالنيمولايت المتوازي وبه معادن داكنة مثل  
الطين وتتراكم بعض بلورات السباريت فى  
حجرات المكريت، ونسيجه **Wackestone** .



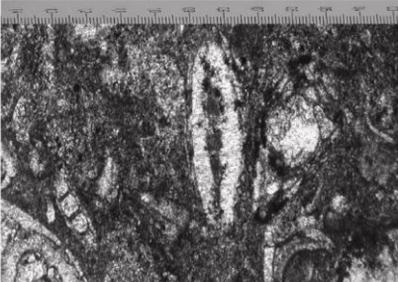
مسجد السلطان برفوق: حجر جيرى غنى  
بالنيمولايت المتفتت والمشوة من التجوية الذي  
يصل حجمه إلى ٤ مم، ومادة الترابط مكريت  
ونسيجه يعرف بـ **Wackestone**



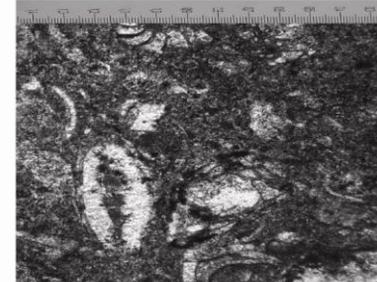
خانقاة بيبرس الجاشنكير: حجر جيرى مكريتى به  
بقايا حفريات دقيقة وبها بلورات ميكروسبار ونسيجه  
يعرف بـ **lime-mud** .



قاعة الدرديري : مكريت مندرج إلى سباريت  
وكالسيت مع وجود فجوات صغيرة فى الكالسيت  
نسيجه يعرف بـ **Crystalline lime-mud**



مسجد الأمير شيخون: حجر جيرى غنى بالنيمولايت  
المتفاوت فى حجمه ومادة الترابط مكريت مع بعض  
الميكروسبار ونسيجه يعرف بـ **packstone**



مسجد المحمودية : حجر جيرى به نيمولايت  
والفورامينفرا والحفريات الدقيقة ومادة الترابط  
مكريت ونسيجه يعرف بـ **Wackestone**

المصدر: تم التحليل بمركز بحوث وتطوير الفلزات، والتصوير بمعمل كلية العلوم، جامعة طنطا.

لوحة (5): نماذج من تحليل عينات الأحجار المشيد بها المباني الأثرية بمدينة القاهرة

عن طرق الميكروسكوب المستقطب (Thin-Section).

(تصوير تحت الضوء المستقطب، قوة تكبير 100x)

## 5) التركيب المعدني :

تحتوي معظم الصخور على بعض المكونات الأساسية من الأملاح أو العناصر الكيميائية التي يمكن أن تكون الأملاح بعد انطلاقها من الشبكة البلورية للمعادن المكونة للصخر عن طريق التجوية الكيميائية لها (Goudie and Viles, 1997, p. 69). فوجود الشوائب الثانوية سواء المعدنية أو العضوية ضمن التركيب الداخلي للأحجار والمونات يلعب دوراً هاماً في زيادة نسبة المحتوى الملحي دون الاعتماد على المد الخارجي من الأحماض والأيونات الملحية في التربة أو المياه الأرضية (Lehman, 1970, p. 35).

ولقد استخدم في تشييد المباني الأثرية بمدينة القاهرة العديد من أنواع الأحجار المختلفة، مثل الأحجار الجيرية والرملية بالإضافة إلى ذلك الطوب الأحمر، وللحقيقة أنه لا توجد كتلتان من الحجر متشابهتان في هذه الخصائص تمام التشابه حتى ولو اقتطعتا من حجر واحد وكانتا متجاورتين في هذا الحجر فهناك بلا شك اختلاف في التكوين المعدني لهذه الصخور واختلافات متعددة في الخصائص الفيزيائية والكيميائية لها. وقد تبين من الدراسة الميدانية إن مادة البناء السائدة بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة هو الحجر الجيري، مع ملاحظة وجود بعض الحوائط داخل المبنى المشيد بالحجر الجيري مشيدة بالطوب الأحمر، وهناك بعض الحوائط تتكون من عدة صفوف من الحجر الجيري و صفوف أخرى من الطوب الأحمر، لدرجة أنه قد تبين من الدراسة الميدانية وجود بعض الحوائط تختلف الأحجار المجاورة لبعضها البعض في التكوين المعدني (لوحة 6).

وقد تم تجميع عدد 8 عينات من الأحجار الجيرية من مواقع مختلفة لتعيين تركيبها المعدني، حيث تبين الآتي:

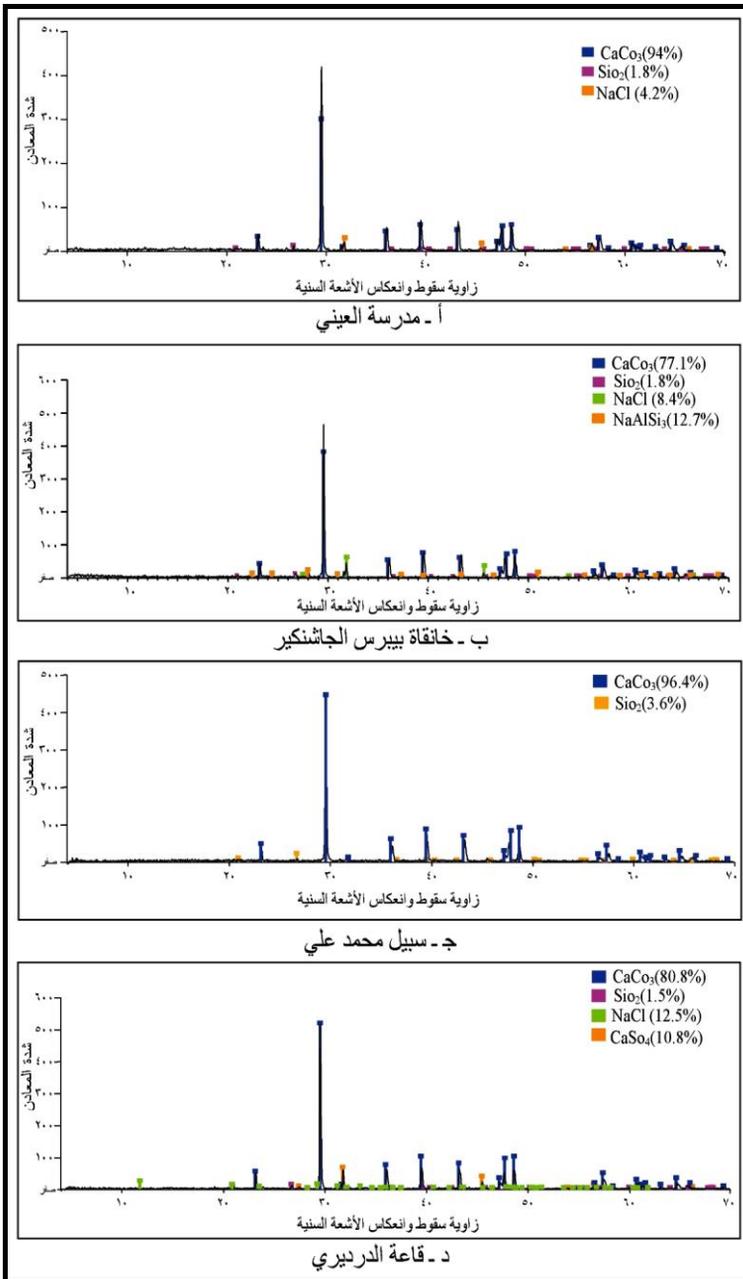
يتضح من تحليل عينات الحجر الجيري بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة عن طريق حيود الأشعة السينية (X-Ray) والتي يمكن عن طريقها تحديد كمية المركبات داخل العينة (شكل 3)، أن المكون الرئيسي لعينات الحجر الجيري هو مادة كربونات

الكالسيوم  $\text{CaCO}_3$  التي تعتبر مادة الحجر الأساسية، إذ تراوحت بين 43.8 و 96.4% مع ملاحظة وجود نسبة صغيرة من معدن الكوارتز  $\text{SiO}_2$  في جميع عينات الدراسة، حيث تراوحت بين 1.5 و 3.6% وسجلت أقل نسبة بعينة قاعة الدرييري، أما أعلى نسبة فسجلت بمسجد المحمودية وسبيل محمد علي.

كما تبين من التحليل وجود نسبة من معدن كلوريد الصوديوم  $\text{NaCl}$  (الهاليت) في جميع عينات الدراسة ماعدا عينة سبيل محمد علي، إذ تراوحت بين 0.8 و 16.6%. بالإضافة إلى ذلك وجد نسبة من معدن الدولوميت  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  بعينة مسجد المحمودية، وبمنزل الست وسيلة، ومسجد الأمير شيخون، إذ تراوحت بين 2.3 و 32.7% كما لوحظ وجود معادن أخرى في شكل شائبة بعينة قاعة الدرييري، مثل كبريتات الكالسيوم  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  بعينة مسجد المحمودية، وقاعة الدرييري، ومسجد الأمير شيخون. ونسبة من معادن الطين بكل من منزل الست وسيلة، وخانقاة ببيرس الجاشنكير.

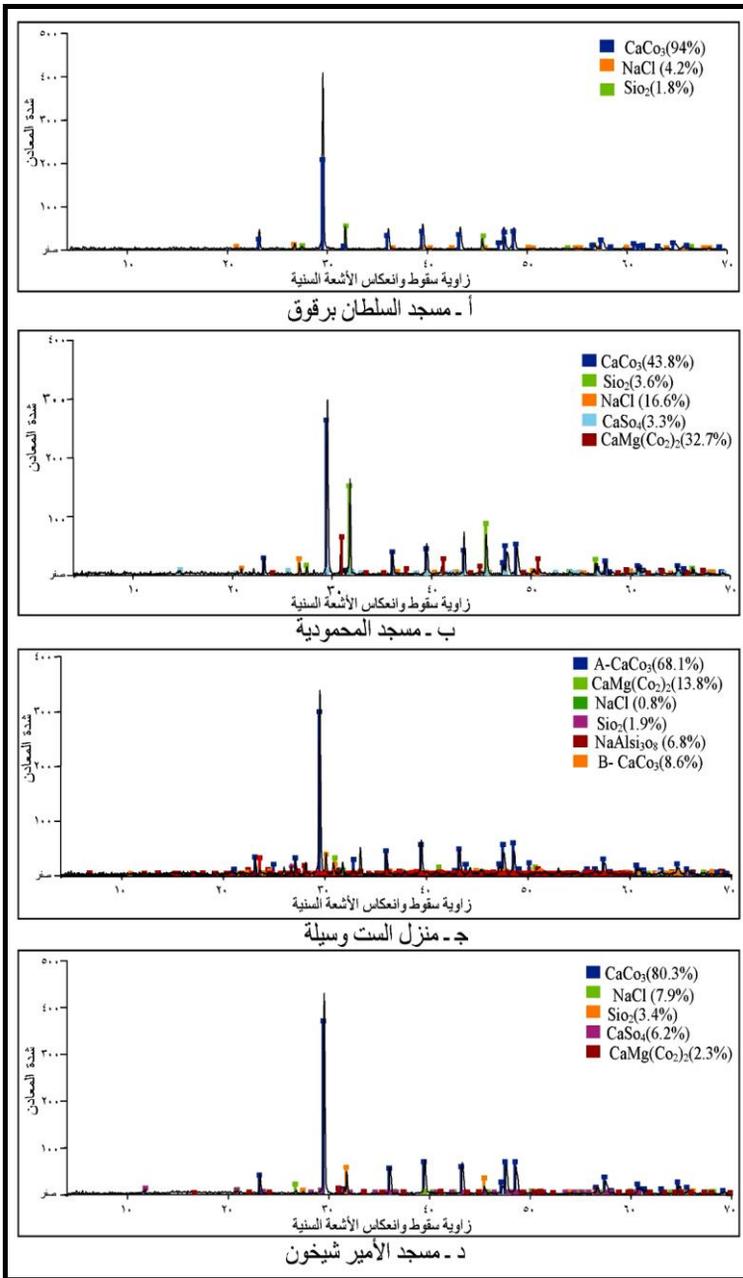


لوحة (6) : التنوع في الأحجار المستخدمة في مواد البناء  
في المباني الأثرية بمدينة القاهرة



المصدر : تم التحليل بالمركز القومي للبحوث.

شكل (3-أ) : تحليل حيود الأشعة السينية (X-Ray) لعينات الأحجار المشيد بها المباني الأثرية بمدينة القاهرة.



المصدر: تم التحليل بالمركز القومي للبحوث.

شكل (3-ب): تحليل حيود الأشعة السينية (X-Ray) لعينات الأحجار المشيد بها المباني الأثرية بمدينة القاهرة.

يتضح من التحليل السابق ما يلي:

- تعتبر مادة كربونات الكالسيوم مادة الحجر الأساسية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.
- وجود الجبس بالعينات قد يكون ناتجاً كمظهر تلف من تحول كربونات الكالسيوم إلى كبريتات الكالسيوم نتيجة تفاعلها مع غاز ثاني أكسيد الكبريت في وجود الماء.



- (رحاب جلال درويش، 2007، ص 95).
- وجود الهاليت بنسبة كبيرة خاصة في كل من قاعة الدريديري ومسجد المحمودية، مما يدل على أن العينات بها نسبة عالية من الأملاح، وهو ما يؤكد بالفعل التحليل الكيميائي للأملاح الذائبة، حيث بلغت 30455 و 61550 جزء في المليون على التوالي، والتي سيلي دراستها في الصفحات القادمة بالتفصيل.
  - أما وجود الانهيدريت فهو ناتج من تحول الجبس المائي بفعل الحرارة وفقدان المياه وتحوله إلى جبس لامائي.

أما بالنسبة للتحليل الكيميائي للطوب الأحمر فقد تم الاعتماد على الدراسات السابقة في معرفة الخصائص الكيميائية لمكونات الطوب الأحمر المستخدم في تشييد المباني الأثرية بمدينة القاهرة، وقد تبين من تحليل عينات أخذت من كل من مسجد السلطان الناصر محمد بن قلاوون، ومن قبة الملك الصالح نجم الدين أيوب ما يلي : تحتوي العينة الأولى المأخوذة من مسجد الناصر بن قلاوون على الكوارتز، وهي أعلى نسبة في مكونات العينة، حيث بلغت 28.60% وهو بذلك المكون الأساسي للعينة. وكانت أقل نسبة للساميت، فبلغت نسبته 3.15%، ووجوده بهذه النسبة القليلة يدل على أنه شائبة. كما نجد الهيماتيت في العينة بنسبة ليست بقليلة ووجوده مع الكوارتز مع الارثوكليز يعطي الطوب الأحمر متانة وقوة، ووجود ملح نترات الصوديوم ونسبتها عالية ناتج من وجود مياه أرضية غالباً مياه صرف صحي

أسفل المبنى وارتفعت بالجدران عن طريق الخاصية الشعرية.

أما العينة الثانية المأخوذة من قبة الملك الصالح نجم الدين أيوب، فقد لوحظ وجود الكالسيت بنسبة 19.09%، بالإضافة إلى وجود الهيماتيت والماجنيتيت والكوارتز والارثوكليز بنسب مرتفعة يعطي الطوب الأحمر متانة وقوة . كما يرجع وجود الجبس بالعينة إلى أنه مغطى بطبقة ملاط أو جزء من المونة ملتحم بالعينة، ونجد نسبة تواجده بالعينة قليلة جداً (رحاب جلال درويش، 2007، ص ص 100-101).

كما تبين من تحليل جدول (9) أن نسبة المواد غير الذائبة بعينات الأحجار الجيرية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة ظهرت في 6 عينات، حيث تراوحت نسبتها بين 6% بمسجد الأمير شيخون، و 30% بمسجد المحمودية. ووجود المواد غير الذائبة في بعض الأحجار كما هو موجود في أكثر من 75% من عينات منطقة الدراسة حتى ولو بنسب صغيرة - وجودها كشوائب - لكنها تضعف من صلابة الصخر، بمعنى تعرضها بشكل أكبر لعمليات التجوية وخاصة التجوية الملحية ومن ثم زيادة التلف.

**جدول (9) : نسبة المواد غير الذائبة بعينات الأحجار الجيرية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.**

موقع العينة	نسبة المواد غير الذائبة (%)	موقع العينة	نسبة المواد غير الذائبة (%)
مدرسة العيني	صفر	مسجد السلطان برقوق	19
خانقاة بيبرس الجاشنكير	صفر	مسجد المحمودية	30
سبيل محمد على	10	منزل الست وسيلة	8
قاعة الدريديري	7	مسجد الأمير شيخون	6

المصدر: تم التحليل بمعمل كلية العلوم، جامعة كفر الشيخ.

يتضح من التحليل السابق وجود شوائب عديدة ومتنوعة بعينات الأحجار الجيرية والطوب الأحمر المشيد بها المباني الأثرية بمدينة القاهرة حتى ولو كانت بنسب

صغيرة جداً، إلا أن هذه الشوائب سواء المعدنية منها أو العضوية ضمن التركيب الداخلي للأحجار لها دوراً مهماً في زيادة المحتوى الملحي دون الاعتماد على المد الخارجي من الأحماض والأيونات الملحية في التربة أو المياه الأرضية.

### **ثالثاً : مظاهر التلف الناشئ عن تأثير التجوية الملحية على المباني الأثرية بمدينة القاهرة.**

تتباين المباني الأثرية بمدينة القاهرة من حيث درجة تأثرها بالتجوية الملحية، حيث تظهر آثار التجوية الملحية على المباني الأثرية بدءاً بالنشع المائي ثم التزهير أي تتحول من الطور المائي إلى الطور الجاف لتتبلور الأملاح على هيئة أشكال بلورية مختلفة، والانتقال المستمر بين المرحلتين أدى إلى انهيار الترابط والتماسك بين مكونات الحجر بالإضافة إلى ظهور العديد من مظاهر التشقق والتقشر وتفكك النسيج الجداري وتآكل المادة اللاصقة بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة (لوحة 7)، مما أدى إلى تدمير الزخارف والنقوش والكتابات الموجودة بالأثر، كما يؤدي استمرار تكوينها إلى القضاء التام على الأحجار الأثرية.

وما هو جدير بالذكر أن شدة الخطر لا تعتمد دائماً على زيادة المساحات المعرضة لعملية التجوية الملحية، فليس معناه أن تكون عملية التبلور منتشرة في جميع أجزاء المبنى لكي تصبح شديدة الخطورة، فقد تأخذ عملية التجوية الملحية مواضع صغيرة من المبنى ولكن درجة تأثيرها تكون أشد من المواضع والمساحات الكبيرة، فعلى سبيل المثال لوحظ من الدراسة الميدانية أن الأعمدة الرخامية المقام عليها مسجد الطنبغا المارداني قائمة على كتل من الحجر الجيري مربعة الشكل، وقد تأثرت هذه الكتل بشدة بعملية التجوية الملحية، مما أدى إلى ضعف تركيبها البنائي وتفتته (لوحة 8)، ومن ثم في حالة استمرار عملية التلف وعدم صيانة وترميم هذا التدهور سوف يعرض المسجد بالكامل لتساقط والانهيار.

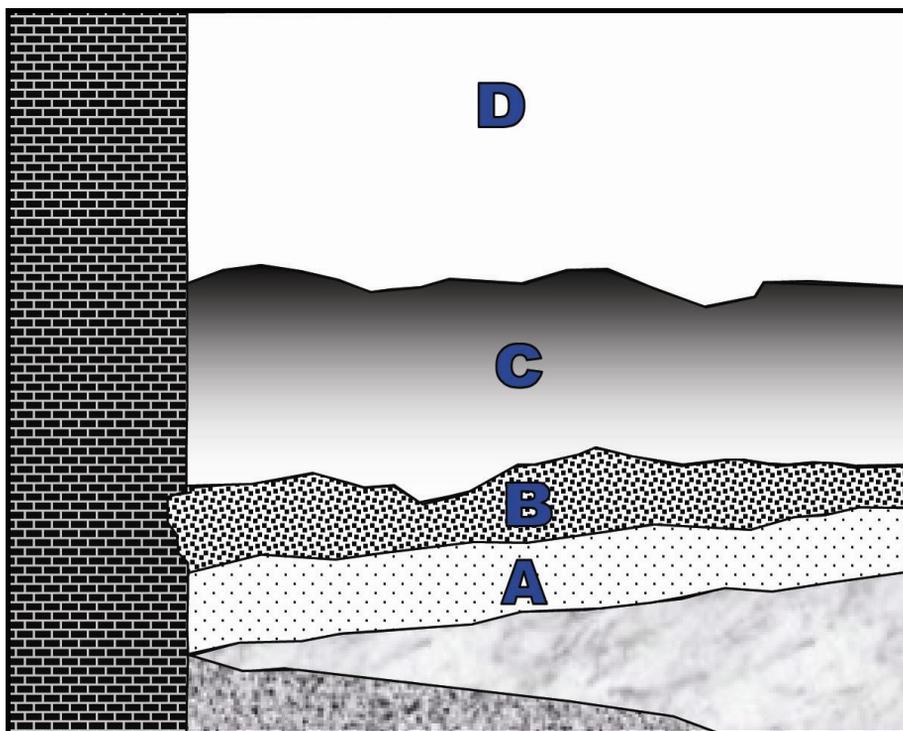


لوحة (7) : ظهور التلفيات في شكل شروخ وتفكك للنسيج الجداري وتآكل في المادة اللاصقة بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.



لوحة (8) : نشاط عملية التجوية الملحية بأعمدة مسجد الطنبغا المارداني. وقد قام Arnold بمراقبة العديد من الجدران في ظروف الرطوبة الصاعدة واستطاع أن يميز بين نطاقات أربعة مختلفة (شكل 4). مع ملاحظة أن هذا التقسيم

للنطاقات لا يقتصر فقط على الرطوبة الصاعدة، فقد يتطور كذلك بفعل المياه الساقطة، أو المياه المترشحة، أو المياه الجارية أسفل الجدران لفترة طويلة من الزمن، ولذلك فإن الرطوبة الصاعدة تبدو كحالة خاصة لتواجد المياه في الجدران (خالد محمد الحمصاني، 2007، ص ص 116-117).



المصدر: Zehnder, 2007, p. 357

**شكل (4) :** المستويات المختلفة التي يمكن ملاحظتها في منطقة

الرطوبة الصاعدة داخل إحدى الجدران.

وقد تم مقارنة ذلك بمنطقة الدراسة وتم استنتاج الآتي:

- النطاق A يبين صورة أقل من التلف، وهو يقع فوق سطح الأرض مباشرة، وهو نطاق الرش أو النشع، وينتشر هذا النطاق في جميع المباني الأثرية التي تم دراستها ميدانياً بمدينة القاهرة، وهذا منطقي بسبب ارتفاع مناسيب المياه الأرضية مما يؤدي إلى ارتفاعها إلى أعلى عن طريق الخاصية الشعرية.
- النطاق B يعلو النطاق A وهو عادة أكثر النطاقات تلفاً، وهو نطاق التزهير، حيث تظهر التلفيات في شكل تقنات حبيبية ونشرخات متكررة. وتشمل تلك التزهيرات والقشور الملحية في الغالب أملاح كبريتات الماغنسيوم  $MgSO_4$ ، وأملاح كبريتات الصوديوم  $Na_2SO_4$ ، بينما يتواجد الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية) بصفة دائمة، وينتشر هذا النطاق أيضاً في جميع المباني الأثرية بمدينة القاهرة، ويرجع السبب في ذلك إلى ارتباط النطاق B بالنطاق A، وبما أن النطاق A منتشر في جميع المباني الأثرية بجانب زيادة المحلول الملحي به ومع ارتفاع درجة الحرارة، أدى ذلك إلى تبلور الأملاح وظهورها سواء على السطح أو داخل الحوائط على شكل أملاح في جميع المباني الأثرية بمنطقة الدراسة.
- النطاق C يظهر تلفيات أقل أو لا يظهر تلفيات على الإطلاق، والإضرار الظاهر في الشكل يتغير مع الوقت فيكون أشد كثافة عندما يكون الجو المحيط رطباً، وأقل كثافة عندما يكون الجو المحيط جافاً. ويرجع هذا الظلام إلى الرطوبة الممتصة من الهواء بفعل بعض الأملاح ذات الخاصية الهيجروسكوبية. ومن الملاحظ أن هذا الظلام لا يختفي تماماً بعد جفاف الجدار حيث أن تلك الأملاح تمتص الرطوبة من الهواء بصورة أسرع. وقد يكون النطاق C بضعة سنتيمترات ارتفاعاً إلا أنه قد يصل في بعض الأحيان إلى بعض الأمطار. وغالباً ما يظهر النطاق متقطعاً مما يشير إلى انتشار الأملاح بشكل غير متجانس في هذا النطاق، وهو ينتشر في بعض المباني خاصة بالحوائط التي تمثل الواجهات الخارجية.

- النطاق D يمثل سطح الحجر الطبيعي الذي لم يطرأ عليه أي تغيير، وهو ينتشر أيضاً في بعض المباني الأثرية بمدينة القاهرة وخاصة المباني التي تتسم بالارتفاع الشديد؛ حيث تكون في منأى عن مصادر الأملاح.

ويجب التنويه إلى أن المباني الأثرية بمدينة القاهرة التي تم دراستها ميدانياً لا تشتمل على نطاق واحد، فقد لوحظ أن بعض المباني يوجد بها الأربعة نطاقات والبعض الآخر يوجد به ثلاثة نطاقات أو نطاقين أو في بعض الحالات نطاق واحد، وقد يوجد هذا التباين داخل المبنى الواحد وهو السائد بشكل كبير بمنطقة الدراسة، مع ملاحظة وجود تباين في ترتيب هذه النطاقات من أسفل إلى أعلى فقد تكون النطاقات A و B و C و D وهذا الترتيب الطبيعي، وقد تكون A و B و C فقط وعدم وجود النطاق العلوي D غير المتأثر بعمليات التجوية الملحية، أو من الممكن أن تكون A و B و D وعدم وجود النطاق العلوي C، أو A و B وعدم وجود النطاقين C و D وهكذا (لوحة 9).

ويرجع ذلك إلى التباين في مصادر الرطوبة وخاصة المياه الأرضية بكل منطقة، وارتفاع درجة الحرارة، والخصائص الفيزيائية ونوع الأملاح هل هي هيجروسكوبية أو غير هيجروسكوبية، وهل هذه الحوائط من الواجهات الخارجية أو الداخلية للمباني، وغيرها من العوامل التي تحدد درجة تأثر المبنى بعملية التجوية الملحية، والتي يمكن توضيحها على النحو التالي :

\* **الفئة الأولى - مبانٍ تشتمل على أربعة نطاقات :** وتنتشر في : مسجد الأمير شيخون، ومدرسة الأمير صرغتمش، ومدرسة أم السلطان شعبان، ومسجد الأمير حسين، ومسجد الطنبغا المارداني، ومسجد لاشين السيفي، وسور القاهرة الشمالي (لوحة 9-أ)، وتمثل 28% من إجمالي عدد المباني الأثرية التي تم دراستها ميدانياً والتي تبلغ 25 مبنى أثري.



### لوحة (9) : المستويات المختلفة لنطاقات الرطوبة داخل الجدران بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة

\* الفئة الثانية - مباني تشتمل على ثلاثة نطاقات : وهي تمثل 72% من إجمالي عدد المباني الأثرية بمدينة القاهرة، مع ملاحظة اختلاف هذه النطاقات في الترتيب من مبنى إلى آخر أو داخل المبنى نفسه، حيث تبين وجود النطاقات A و B و C وهو الترتيب المنطقي لدرجات التأثير بعملية التجوية الملحية بمباني مسجد الأمير شيخون، ومدرسة الأمير صرغتمش، ومسجد السلطان برفوق، ومسجد الأمير حسين، ومسجد المحمودية، وقاعة الدريديري، وسبيل سليمان أغا السلحدار، (لوحة 9-ب و 9-ج). أما النطاقات A و B و D والتي تمثل نطاق الرشح ونطاق التزهير ونطاق عدم التأثير على الترتيب فقد ظهرت بمدرسة الأمير

صرغتمش، ومنزل الست وسيلة، ومجموعة السلطان المنصور قلاوون، وسبيل محمد علي، ومسجد الطنبغا المارداني.

\* **الفئة الثالثة - مبانٍ تشتمل على نطاقين :** وتمثل هذه المباني 36% من إجمالي عدد المباني الأثرية بمدينة القاهرة، وقد انتشر النطاقين A و B بمدرسة الأمير صرغتمش، وخانقاة بيبرس الجاشنكير، ومنزل عبدالرحمن الهرابي، وقبة السلطان نجم الدين أيوب، ووكالة الغوري، أما النطاقين B و D فظهرت بمنزل السحيمي، ومسجد الأمير حسين، ومسجد الطنبغا المارداني.

\* **الفئة الرابعة - مبانٍ تشتمل على نطاق واحد :** وتمثل هذه المباني 6% من إجمالي عدد المباني الأثرية بمدينة القاهرة، وهو يشمل النطاق B فقط وهو نطاق التزهير، وقد ظهر بمنزل السحيمي، وخانقاة بيبرس الجاشنكير، ومسجد الأمير حسين.

وفيما يلي دراسة النطاقين A (نطاق الرش) و B (نطاق التزهير أو التبليور) دراسة تفصيلية، حيث يمثلان الجزء المتلف أو المتدهور بالمباني الأثرية من عمليات التجوية الملحية.

## 1) نطاق الرش (نطاق A):

تم قياس ارتفاع الرش بالمباني الأثرية من سطح الأرض إلى بداية خط التزهير فقط، وهي المنطقة التي مازالت في مرحلة عدم التبليور (لوحة 10 وجدول 10)، والتي يمكن تصنيفها على النحو التالي:

\* **الفئة الأولى - مبانٍ يقل بها الرش عن 0.5 متر :** تضم هذه الفئة المباني التي يقل بها ارتفاع الرش عن 0.5 متر من سطح الأرض، وقد بلغت نسبتها 20% من إجمالي عينات منطقة الدراسة، حيث سجلت في خمس مواقع، وهي: مسجد المحمودية، ومنزل الست وسيلة، ومسجد عمر بن العاص، وكنيسة أبوسرجة، ومنزل السحيمي، حيث تراوح ارتفاع الرش بها بين 0.15 و 0.35م.



لوحة (10) : ارتفاع نطاق الرشح (الرتوبة) بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.

جنول (10) : ارتفاع الرشح من سطح الأرض حتى بداية التزهير بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.

المتوسط	ارتفاع الرشح ( متر )		اسم المبنى	م
	أعلى ارتفاع	أقل ارتفاع		
1.30	2.00	0.60	مدرسة العيني	1
1.15	2.00	0.30	خانقاة بيبيرس الجاشنكير	2
0.95	1.50	0.40	سبيل محمد علي	3
1.00	1.50	0.50	قاعة الدرديري	4
1.75	3.00	0.50	مسجد السلطان برقوق	5
0.35	0.50	0.20	مسجد المحمودية	6
0.15	0.20	0.10	منزل الست وسيلة	7
1.15	2.00	0.30	مسجد الأمير شيخون	8
0.60	1.00	0.20	وكالة الغوري	9
1.00	1.50	0.50	وكالة قايتباي	10
1.15	2.00	0.30	قبة السلطان نجم الدين أيوب	11
1.25	2.00	0.50	مدرسة الأمير صرغتمش	12
0.53	0.75	0.30	مسجد وسبيل أغا السلحدار	13
0.50	0.80	0.20	منزل عبدالحمين الهراوي	14
1.50	2.80	0.20	مسجد الرفاعي	15
3.00	4.00	2.00	سور القاهرة الشمالي	16
0.35	0.50	0.20	مسجد عمر بن العاص	17
1.00	1.50	0.50	مدرسة قجماس الإسحافي	18
1.20	1.50	0.90	مسجد لاشين السيفي	19
0.70	1.00	0.40	مسجد الطنبغا المارداني	20
1.25	2.00	0.50	مسجد الأمير حسين	21
0.35	0.50	0.20	كنيسة أبوسرجة	22
1.30	2.00	0.60	مدرسة السلطان شعبان	23
0.90	1.50	0.30	مجموعة السلطان المنصور قلاوون	24
0.15	0.20	0.10	منزل السحيمي	25
<b>0.95</b>	<b>1.46</b>	<b>0.44</b>	<b>المتوسط</b>	

المصدر: العمل الميداني.

\* **الفئة الثانية - مبانٍ يتراوح الرشح بها بين 0.5 و 1.0 متر :** تشمل هذه الفئة المباني التي يزيد ارتفاع الرشح بها على 0.5 متر ولا يصل ارتفاعه إلى 1.0 متر، وقد بلغت نسبتها 28% من إجمالي عينات الدراسة، حيث تراوح ارتفاع الرشح بين 0.5 و 0.95 متر، وسجلت بسبيل محمد على، ووكالة الغوري، ومسجد وسبيل أغا السلحدار، ومنزل عبدالرحمن الهراوي، ومسجد الطنبغا المارداني، ومجموعة السلطان المنصور قلاوون.

\* **الفئة الثالثة - مبانٍ يبلغ ارتفاع الرشح بها 1.0 متر فأكثر :** سجلت هذه الفئة في باقي المواقع وعددها 13 مبنى بنسبة 52% من إجمالي عينات الدراسة، وقد تراوح ارتفاع الرشح بها بين 1.0 و 3.0 أمتار، وسجل أقصى ارتفاع بسور القاهرة الشمالي.

يتضح مما سبق تأثر جميع المباني الأثرية التي تم دراستها ميدانياً بالرشح أو النشع مع ملاحظة أنه تم دراسة العديد من المباني الأثرية الأخرى والتي اعتمدت على الملاحظة فقط، ومن ثم تم التوصل إلى أنه لا يوجد مبنى أثري بمدينة القاهرة غير متأثر تماماً بالمياه الأرضية أو أي مصدر آخر من مصادر الرطوبة، وعلى الرغم من المجهودات التي يقوم بها المجلس الأعلى للآثار من عمليات ترميم وتجديد لتلك الآثار، والقيام بخفض منسوب المياه الأرضية ، كما حدث في منطقة مصر القديمة خاصة بكنيسة أبوسرجة ومسجد عمر بن العاص، والتي كانت المياه الأرضية تغطي أرضيتهما تماماً، إلا أن استمرار ارتفاع منسوب المياه الأرضية مازال يقف عقبة أمام تلك المجهودات.

كما يجب التنويه إلى أن المباني التي تتسم بانخفاض ارتفاع الرشح بها ليس معناه أنها أقل خطورة من المباني الأخرى التي يرتفع بها الرشح إلى عدة أمتار، حيث تبين من الدراسة الميدانية أن معظم الحوائط التي يقل بها الرشح هي حوائط خارجية ومن ثم انكشاف سطح الحائط وتعرضه للشمس لفترة أطول من الحوائط

الداخلية، وبالتالي تتحول من النطاق A وهو نطاق التشع أو الرشح إلى نطاق B وهو نطاق التزه، والتي اتسمت بارتفاعها عن الحوائط التي يرتفع بها الرشح.

## 2) نطاق التزه (نطاق B):

تكنم خطورة الأملاح في الضغط الناتج عن تميؤها ويعرف بضغط التميؤ Hydration Pressure أو نتيجة تبلورها ويعرف بضغط التبلور Crystallization Pressure والذي ينتج عنه اجهادات ثرموديناميكية Hydrothermal Stresses<sup>(1)</sup> (خالد محمد الحمصاني، 2007، ص 132).

وتبلور الأملاح هو عبارة عن دالة بين تركيز الأيونات في المحلول الملحي ودرجة الحرارة في الوسط المحيط، وبارتفاع درجة الحرارة يزداد الأيونات الملحية حتى وصولها إلى درجة التشبع القصوى وعندئذ تؤدي لحدوث تمزق لبنية الحجر. وتتبلور الأملاح سواء على السطح أم داخل الحجر - تزه خفي - في نظام متعاقب يبدأ بتبلور الأملاح شحيحة الذوبان مثل الكربونات والكبريتات عند المداميك السفلى من المنشآت الأثرية يعقبها الأملاح متوسطة الذوبان يليها الأملاح شديدة الذوبان فإنها تتبلور أعلى الجدران وفقاً لاستمرار تدفق المحاليل الملحية في صورة خطوط بيضاء موازية لسطح الأرض بما يشير أقصى ارتفاع وصلت إليه بالمياه الأرضية (أكمل على توفيق، 2005، ص ص 164-165).

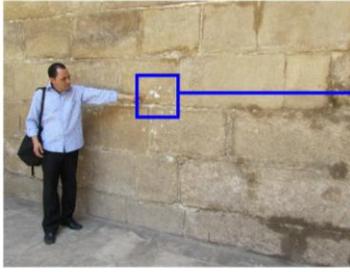
وقد تم قياس ارتفاع نطاق التزه بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة من أقل منسوب بداية من خط التزه إلى أعلى منسوب وصل إليه خط التزه، وهي المنطقة التي تشمل مرحلة تبلور الأملاح، وبما أنها تتباين داخل المبنى نفسه سواء بالحوائط الداخلية أو بالحوائط الخارجية المواجهة للشمس، فقد اعتمدت الدراسة على متوسط ارتفاع نطاق التزه بالمبنى ككل (جدول 11 ولوحة 11)، والتي أمكن تصنيفها إلى الفئات التالية:

(1) ثرموديناميكية : الخواص الديناميكية الحرارية.

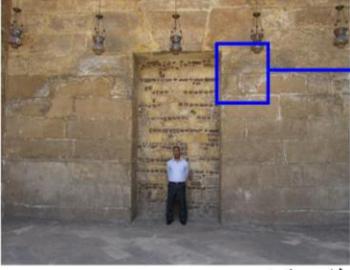
جدول (11) : متوسط ارتفاع نطاق التزهير بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.

م	اسم المبنى	متوسط الارتفاع (بالمتر)
1	مدرسة العيني	0.80
2	خانقاة ببيرس الجاشنكير	2.10
3	سبيل محمد علي	2.75
4	قاعة الدرديري	2.70
5	مسجد السلطان برقوق	4.0
6	مسجد المحمودية	1.75
7	منزل الست وسيلة	1.70
8	مسجد الأمير شيخون	2.25
9	وكالة الغوري	1.5
10	وكالة قايتباى	0.90
11	قبة السلطان نجم الدين أيوب	1.75
12	مدرسة الأمير صرغتمش	3.50
13	مسجد وسبيل أغا السلحدار	2.30
14	منزل عبدالرحمن الهراوي	0.40
15	مسجد الرفاعي	1.45
16	سور القاهرة الشمالي	1.85
17	مسجد عمر بن العاص	0.45
18	جامع الماس الحاجب	0.90
19	مدرسة قجماس الإسحاقى	3.00
20	مسجد الطنبغا الماردانى	1.75
21	مسجد الأمير حسين	1.75
22	كنيسة أبوسرجة	0.35
23	مدرسة أم السلطان شعبان	0.45
24	مجموعة السلطان قلاوون	2.50
25	منزل السحيمي	2.10
	المتوسط العام	1.8

المصدر: العمل الميداني.



أ - مسجد السلطان برقوق



ب - مسجد السلطان برقوق



ج - سور القاهرة الشمالي



د - مدرسة الأمير صرغتمش

لوحة (11-أ): نماذج من التملح على الحجر الجيري لنشاط عملية التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة



أ- منزل الست وسيلة



ب- مسجد الأمير حسين



ج- مسجد الطنبغا المارداني

لوحة (11-ب) : نماذج من التملح على الطوب الأحمر لنشاط عملية  
التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.

\* **الفئة الأولى - مبانٍ يقل بها ارتفاع نطاق التزهير عن 1.0 متر :** بلغت نسبتها 28% من إجمالي عينات منطقة الدراسة، حيث سجلت في سبعة مواقع، وهي: منزل عبدالرحمن الهراوي، ومسجد عمر بن العاص، وكنيسة أبوسرجة، ومدرسة أم السلطان شعبان، ومدرسة العيني، ووكالة قايتباي، ومدرسة قجماس الإسحاقى، حيث تراوح ارتفاع نطاق التزهير بها بين 0.35 و 0.90 متر.

\* **الفئة الثانية - مبانٍ يتراوح نطاق التزهير بها بين 1.0 و 2.0 متر :** تراوح ارتفاع التزهير بهذه المباني بين 1.45 و 1.85 متر، وسجلت بمسجد الرفاعي، ومسجد المحمودية، ومنزل الست وسيلة، ووكالة الغوري، وقبة السلطان نجم الدين أيوب، وسور القاهرة الشمالي، ومسجد الطنبغا المارداني، ومسجد الأمير حسين. وقد بلغت نسبتها 32% من إجمالي عينات الدراسة.

\* **الفئة الثالثة - مبانٍ يبلغ ارتفاع نطاق التزهير بها 2.0 متر فأكثر :** سجلت هذه الفئة في باقي المواقع وعددها 10 مباني بنسبة 40% من إجمالي عينات الدراسة، وقد تراوح ارتفاع نطاق التزهير بها بين 2.0 و 4.0 أمتار، وسجل أقصى ارتفاع بمسجد السلطان برفوق. كما تبين من الدراسة الميدانية وصول نطاق التزهير إلى سقف بعض المباني الأثرية مثل مدرسة الأمير صرغتمش، (لوحة 11/أ-د).

يتضح مما سبق تأثر جميع المباني الأثرية التي تم دراستها ميدانياً بالتزهير مع وجود تباين في درجة التأثير، ويرجع ذلك إلى ارتباط نطاق التزهير B بنطاق الرشح A كما سبق ذكره، وبما أن جميع المباني الأثرية بمدينة القاهرة متأثرة بعملية النشع فمن الطبيعي أن لم يكن جميع المباني فإن الغالبية العظمى منها لا بد أن يكون متأثراً بظاهرة التزهير (عملية التبلور)، فوجود نطاق الرشح المشبع بالأملاح الذائبة مع الحرارة المرتفعة التي تتسم بها منطقة القاهرة خاصة في فصل الصيف أدى إلى سرعة تبخر الماء أو السوائل الحاملة للأملاح (محاليل ملحية) داخل الجدران، فنتبخر السوائل، وتتبلور الأملاح تدريجياً، ولقد أدى استمرار عمليات البلل والجفاف والتبلور وإعادة تبلور الأملاح سواء على الأسطح الخارجية للحوائط أو داخلها، إلى ضعف

التركيب البنائي لمواد البناء، ومن ثم تفككها وضعف قوة تماسك حبيباتها وتساقطها.

وقد أدى تكرار هذه العملية إلى تكوين طبقات ملحية على أسطح أحجار المنشآت الأثرية، وخاصة واجهات هذه المباني، ويتراوح سمك هذه الطبقات من أقل 0.1 مم إلى عدة ملليمترات، وفي بعض الحالات وصل السمك إلى واحد سنتيمتر كما هو الحال بسبيل محمد علي وقاعة الدرديري (لوحة 12). كما تبين من الدراسة الميدانية أن ألوان هذه الطبقات الملحية تتباين ألوانها من مبنى إلى آخر حيث تأخذ اللون الأبيض في بعض المباني، وفي البعض الآخر تأخذ اللون الأسود، مثل الطبقات الملحية المنتشرة بسور القاهرة الشمالي، ومسجد المحمودية، ومسجد السلطان برقوق، ومدرسة الأمير صرغتمش (لوحة 13).



لوحة (12) : زيادة سمك الطبقات الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.



### لوحة (13) : التباين في درجات اللون بالطبقات الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.

ويعزى ذلك إلى أن هذه الطبقات تتكون من أكاسيد الحديد المتنوعة، وكذلك الكبريتات وخاصة كبريتات الكالسيوم ومعادن السيلكا. وتشمل المصادر الرئيسية للمكونات السابق الإشارة إليها ملوثات الهواء الصلبة من البيئة المحيطة بالأثر مثل الأتربة والأدخنة المتصاعدة من الأفران والمطاعم ، وكذلك بعض المعادن الناتجة عن البيئة الداخلية للأحجار والمونات.

ومن أهم الأضرار الناتجة عن هذه الطبقات أنها تحفظ الرطوبة داخل الأحجار أسفلها وينشأ عن ذلك تقشر وتشقق الطبقات السطحية للأحجار (سيد محمد سيد حميدة، 2003، 295). ولكن مع ملاحظة أن هذه الطبقات الملحية الصلبة تحتوي على العديد من الشقوق والشروخ التي تسهل تسرب الرطوبة داخل الأحجار، مما

يؤدي إلى مزيد من التلف. وذلك ما يجعل تلك الطبقات تختلف إلى حد ما في تكوينها من بيئة ومن أثر إلى آخر وذلك ما أكدته نتائج التحاليل الكيميائية للعينات المختلفة من المواقع الأثرية موضع الدراسة (جدول 12).

#### - الأملاح الكلية الذائبة :

تشير البيانات الواردة بالجدول إلى وجود تباين كبير جداً في درجة الملوحة بين عينات منطقة الدراسة، حيث يتراوح الفرق بين أعلى وأدنى درجة ملوحة 44113 جزء في المليون، إذ تراوحت درجة الملوحة بين 29925 و 74038 جزء في المليون، وقدر أقل تركيز بسبيل محمد على وأعلى تركيز بمسجد السلطان برقوق، أما باقي العينات فتتراوحت درجة الملوحة بين 30455 و 61550 جزء في المليون.

وقد تم تصنيف أهم أنواع الأملاح المسببة لتلف وتفتت مواد البناء المستخدمة في المنشآت الأثرية، إلى: أملاح الكلوريدات، والكبريتات، والكربونات، والنترات. وفيما يلي دراسة أهم الأملاح المنتشرة بالمباني الأثرية بمنطقة الدراسة (جدول 12) على النحو التالي:

#### • أملاح الكلوريدات :

أوضحت التحاليل الكيميائية لعينات الأملاح التي تم دراستها من الأحجار الجيرية المختلفة أن أملاح الكلوريدات من أهم الأملاح المتبلورة الشائعة في الطبقة الملحية الصلبة التي تعلق أسطح جدران المنشآت الأثرية. حيث تتميز هذه النوعية من الأملاح بقدرتها على امتصاص كمية كبيرة من ماء الرطوبة نظراً لمساميتها العالية مع سهولة فقدها مرة أخرى عند الجفاف، لذلك فقد أطلق عليها العديد من المصطلحات منها : الأملاح الهيجروسكوبية، والأملاح المسامية، والأملاح الإسفنجية (خالد محمد الحمصاني، 2007، ص 140). وتظهر الكلوريدات في الجدران في صورة خط فاصل عند انتهاء مستوى الرطوبة من الجدار (أكمل على توفيق، 2005، ص 174).

جدول (١٢) : الخصائص الكيميائية للأحجار الجيرية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.

أملاح الكبريتات (%)			أملاح الكلوريدات (%)			الأيونات (جزء في المليون)				الأيونات (جزء في المليون)				الموقع	
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{CaSO}_4$	$\text{MgSO}_4$	KCl	NaCl	$\text{CaCl}_2$	Cl	$\text{SO}_4$	$\text{CO}_3$	$\text{HCO}_3$	Na	Mg	Ca	K		
٧,٦	٤٢,٦	١٤,٨	٤,٩	٢٩,١	٠	٧٤٢٣	١٩,٣٤	٠	٢١١	٤٥٧٦	١٠٠٩	٤٥٢٣	١,٢٢	٣٧٧٩٨	مدرسة العيني
٨,١	٤٧,٩	١١,٠	٤,٦	٢٦,٤	٠	٧٦٥٨	٢٢١٣٤	٠	٦٧٥	٥١٠٠	٩٨٧	٦,٣٣	١١٣٢	٤٣٧١٩	خانقاة ببيرس الجاشنكير
٠	١١,٨	١٨,٢	٣,٢	٣٩,٣	٢٥,٥	١٢٥٤٣	٧٥٢٣	٠	٥٢٨	٤٢٢٢	١١٠٩	٣٤١١	٥٧٩	٢٩٩٢٥	سبيل محمد علي
٥,٩	٤٥,٦	١٥,٥	٥,٧	٢٦,٣	٠	٥٤٣١	١٥٤٠٠	٠	٤٣٢	٣٣٢٧	٨٧٦	٤٠١٤	٩٧٥	٣٠٤٥٥	قاعة التبريري
٠	٣٩,٠	٢٥,٠	٣,٥	٢٤,٠	٤,٥	١١٤٥٥	٣٠٥٧٦	٠	٢١٣٣	٨٧٦٦	٥٤٤١	١٣٥٥٤	٢١٣٣	٧٤٠٣٨	مسجد السلطان برفرق
١,٣	٤٨,٠	١٢,٧	٣,٧	٣١,٣	٠	١٠٥٦٤	٢٥٤٣٢	٠	١٩٨٨	٨٧٦٦	٢١٥٨	١٠٩٨٨	١٦٥٤	٦١٥٥٠	مسجد المحمودية
٣,٧	٤٩,٤	٤,٩	٢,٩	٣٤,١	٠	٩٦٧٥	٢٠٦٧٥	٠	٢٣٤٢	٨٧٦٤	١١٧٦	٩٧٦٦	١١٠٩	٥٣٥٠٧	منزل الست وسيلة
٧,٩	٤٦,٧	٣,٤	٣,٣	٣٣,٧	٠	١٠٥٦٤	٢٢٠٦١	٠	٢٤١١	٩٣٣٢	٩٧٣	٨٩٢٣	١٢١٣	٥٥٤٧٧	مسجد الأمير شيخون

المصدر : تم التحليل بمعمل كلية العلوم، جامعة كفر الشيخ.

كذلك أثبتت النتائج أن أهم أملاح الكلوريدات الموجودة في عينات الأحجار المشيد بها المباني الأثرية بمدينة القاهرة كلوريد الصوديوم NaCl وكلوريد البوتاسيوم (جدول 12)، والتي يمكن توضيحها على النحو التالي:

وتشير البيانات الواردة بالجدول إلى وجود تباين واضح في درجة تركيز كلوريدات الصوديوم، حيث لوحظ وجود مباني تقل بها درجة تركيز كلوريدات الصوديوم عن 30%، وقد سجلت بمسجد السلطان برفوق، وقاعة الدرييري، ومدرسة العيني. في حين زادت درجة تركيز كلوريدات الصوديوم على 30% في باقي العينات، حيث تراوحت بين 31.3 و 39.3%، وسجلت أعلى درجة تركيز بسبيل محمد علي.

كما يتضح من التحليل الكيميائي لعينات الأحجار وجود أنواع أخرى من أملاح الكلوريدات بالمباني الأثرية، مثل: ملح كلوريد البوتاسيوم وكلوريد الكالسيوم، حيث تراوحت درجة تركيز كلوريد البوتاسيوم بين 2.9 و 5.7% وقد سجلت أقل درجة تركيز بمنزل الست وسيلة، وأعلى درجة تركيز بقاعة الدرييري، أما باقي العينات فتراوحت بين 3.2 و 4.9%.

أما بالنسبة لدرجة تركيز كلوريد الكالسيوم فقد لوحظ أنها تراوحت بين 4.5 و 25.5% بكل من مسجد السلطان برفوق، وسبيل محمد علي على الترتيب. أما باقي العينات فلم يسجل بها أي تركيز لكلوريد البوتاسيوم.

يتضح مما سبق وجود أملاح الكلوريدات بتركيزات عالية، ومن ثم يعتبر مؤشراً إلى أن مصدرها هو المياه الأرضية، حيث تقوم المياه التي امتصها الحائط بالتحرك إلى الأسطح الجافة للحوائط حاملة معها هذا الملح. ونظراً لارتفاع درجات الحرارة بمنطقة الدراسة، والتي بلغ المتوسط العام لها 21.8 م، تتبخر المياه المذاب بها الأملاح تاركة الأملاح لتتبلور على أسطح الحوائط أو أسفل هذه الأسطح. وقد أدى تبلور هذه الأملاح إلى وجود مظاهر تلف خطيرة وتظهر مظاهر التلف في صورة قشور وبثرات وبعض الثقوب والحفر داخل مواد البناء ومن ثم جعلها أسطح خشنة،

كذلك قد تصل إلى تحطم كامل للسطح.

#### • أملاح الكبريتات :

تعتبر أملاح الكبريتات وخاصة ملح كبريتات الكالسيوم، وكبريتات الصوديوم، وكبريتات الماغنسيوم، وكبريتات البوتاسيوم من أهم الأملاح التي تلعب دوراً خطيراً في تلف وتدمير المكونات المعدنية المختلفة للأحجار والمونات وتحولها إلى مواد هشة (Feilden, 1982, p. 105). وتتمثل خطورة أملاح الكبريتات في قدرتها العالية على الذوبان في الماء، فهي من الأملاح الهيجروسكوبية ذات القدرة العالية على امتصاص الماء بحيث يمكن تبلورها مع كميات مختلفة من الماء تبعاً لدرجات الحرارة والرطوبة في الوسط المحيط وتترسب هذه الأملاح في صورة محاليلها فوق المشبعة داخل مسام الجدران مسببة ضغوطاً داخلية نتيجة لنموها المستمر مما يؤدي إلى تكسير جدران المسام، وبالتالي تفكك النسيج الجداري (خالد محمد أحمد الحمصاني، 2007، ص 145). ومن أهم مصادر أملاح الكبريتات هي المياه الأرضية والمياه الجوفية والتلوث الجوي.

وقد أثبتت نتائج التحليلات أن أهم أملاح الكبريتات الموجودة في تلك العينات، هي : كبريتات الصوديوم، وكبريتات الكالسيوم، وكبريتات الماغنسيوم (جدول 12). وفيما يلي دراسة تلك الأملاح على النحو التالي:

يتبين من تحليل الجدول وجود تباين بين عينات الدراسة في درجة تركيز كبريتات الصوديوم، حيث تبين وجود مباني لم تسجل بها أي درجة تركيز لكبريتات الصوديوم، مثل، سبيل محمد على ومسجد السلطان برفوق. في حين زادت درجة تركيز كبريتات الصوديوم على 5% في باقي العينات، إذ تراوحت بين 5.9 و 8.1%، حيث سجلت أقل درجة تركيز بقاعة الدريدي وأعلى درجة تركيز بخانقاة بيبيرس

كما يتضح من التحليل الكيميائي لعينات الأحجار وجود أنواع أخرى من أملاح الكلوريدات بالمباني الأثرية، مثل: أملاح كبريتات الماغنسيوم وكبريتات الكالسيوم، حيث تراوحت درجة تركيز كبريتات الماغنسيوم بين 3.4 و 25.0٪، وسجلت أقل درجة تركيز بمسجد الأمير شيخون، وأعلى درجة تركيز بمسجد السلطان برفوق، أما باقي العينات فتراوحت بين 4.9 و 18.2٪. وبالنسبة لدرجة تركيز كبريتات الكالسيوم فقد لوحظ أنها تراوحت بين 11.8 بسبيل محمد علي و 49.4٪ بمنزل الست وسيلة.

ويرجع وجود كبريتات الماغنسيوم إلى تفاعل أيون الكبريت في الجو مع الماغنسيوم في الدولوميت الموجود كملح ثانوي للحجر الجيري في الجو الرطب وحدوث التلف الذي يشبه حبيبات السكر. وتتبلور أملاح كبريتات الماغنسيوم تحت السطح الحجري مباشرة مما يؤدي إلى تفتته وتدمير الزخارف والنقوش الموجودة على تلك الأسطح (أكمل على توفيق، 2005، ص ص 172-173). كما يمكن لهذا الملح أن يتسبب في تلف شديد لمواد البناء وخاصة المونات.

كما يتضح من تحليل (جدول 13) أن نسبة تركيز أملاح الكبريتات بمنطقة الدراسة تراوحت بين 30 و 67٪، أما نسبة تركيز الكلوريدات فتراوحت بين 31 و 68٪، مع ملاحظة أن نسبة تركيز أملاح الكبريتات أعلى من نسبة تركيز الكلوريدات بمنطقة الدراسة، والتي ظهرت في 7 عينات، أما العينة الباقية فقد حدث العكس وسجلت نسبة الكلوريدات أعلى من نسبة الكبريتات والتي سجلت بسبيل محمد علي، وقد بلغ المتوسط العام للأملاح الكبريتات 58.88٪ حيث ارتفعت على 50٪ في 6 عينات من 8 عينات، أما أملاح الكلوريدات فقد تراوح المتوسط العام 38.25٪ حيث لم تتعد على 50٪ بعينات الأحجار الجيرية بالمباني الأثرية إلا في عينة واحدة من 8 عينات.

### جدول (13) : نسب تركيز أملاح الكلوريدات والكبريتات

بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.

الكبريتات (%)	الكلوريدات (%)	موقع العينة
65	34	مدرسة العيني
67	31	خانقاة ببيرس الجاشنكير
30	68	سبيل محمد علي
67	32	قاعة الدرييري
64	32	مسجد السلطان برفوق
62	35	مسجد المحمودية
58	37	منزل الست وسيلة
58	37	مسجد الأمير شيخون

المصدر : تم التحليل بمعمل كلية العلوم ، جامعة كفر الشيخ.

### يتضح مما سبق:

وجود كل من أملاح الكبريتات والكلوريدات معاً مما كان له تأثير مدمر على سطح الحجر أو خلال الشروخ مسبباً تمزق فيزيائي عنيف وانفصال الحجر في صورة شرائح مما يدمر السطح الحجري. وللتأكد من أن الأحجار المشيد بها المباني الأثرية بمنطقة الدراسة مجاوة بالفعل من الداخل ومن الخارج تم القيام بتحليل العينات بطريقتين، وهما:

**الطريقة الأولى:** وهي طريقة نبضات الأشعة فوق الصوتية Ultra Sonic Pulses، وهذه الطريقة من الطرق المهمة جداً في فحص الأسطح الأثرية والكشف عن أي عيوب داخلية مثل الشروخ والفجوات السطحية والعميقة، والموضح نتائجها بالجدول التالي: وقد تبين من تحليل الجدول ما يلي:

تراوحت سرعة الموجات فوق الصوتية بين 1.63 كم/الثانية بعينة مسجد المحمودية و 2.2 كم/الثانية بعينة خانقاة ببيرس الجاشنكير، أما باقي العينات

فتراوحت بين 1.83 و 2.1 كم/الثانية. بمتوسط عام بلغ 1.93 كم/الثانية.

أما درجة الاحتكاك الداخلي فقد لوحظ وجود تباين بين العينات أيضاً؛ حيث سجلت عينات مدرسة العيني، وخانقاة ببيرس الجاشنكير أقل من 7، أما العينات المأخوذة من مباني مسجد السلطان برقوق، ومسجد المحمودية، ومنزل الست وسيلة، أكثر من 8.0، بمتوسط عام 7.83.

#### جدول (14) : سرعة الموجات فوق الصوتية ودرجة الاحتكاك

بالأحجار الجيرية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.

موقع العينة	سرعة الموجات فوق الصوتية CP كم/الثانية	الاحتكاك الداخلي بالصخر QC
مدرسة العيني	2.1	6.7
خانقاة ببيرس الجاشنكير	2.2	6.3
سبيل محمد على	1.93	7.9
قاعة الدريديري	1.98	7.7
مسجد السلطان برقوق	1.87	8.6
مسجد المحمودية	1.63	9.4
منزل الست وسيلة	1.83	8.2
مسجد الأمير شيخون	1.92	7.8
<b>المتوسط</b>	<b>1.93</b>	<b>7.83</b>

المصدر: تم التحليل بمعمل كلية العلوم، جامعة كفر الشيخ.

ومما هو جدير بالذكر وجود علاقة عكسية قوية جداً بين سرعة الموجات فوق الصوتية ودرجة الاحتكاك حيث بلغت -0.97، بمعنى أنه كلما قل الاحتكاك أي

انخفاض درجة المسامية والفراغات، زادت سرعة الموجات فوق الصوتية، مما يدل على أن العينات غير مجواه، وكذلك العكس، فكلما زادت الفجوات والفراغات، زادت درجة الاحتكاك، وانخفضت سرعة الموجات فوق الصوتية، ومن ثم فقد تأثرت العينات لنشاط للتجوية الملحية، مثل مسجد السلطان برقوق، ومسجد المحمودية، ومنزل الست وسيلة، وهي العينات التي تتسم بارتفاع درجة الملوحة بها، إذ بلغ المتوسط العام لدرجة الملوحة بتلك العينات 63031.67 جزء في المليون، في حين بلغ المتوسط العام لباقي العينات 39474.8 جزء في المليون.

**الطريقة الثانية :** وقد تم فيها استخدام جهاز الميكروسكوب الالكتروني الماسح في تشخيص نواتج ومظاهر التلف داخل مواد البناء، حيث تبين ما يلي:

• **مدرسة العيني :**

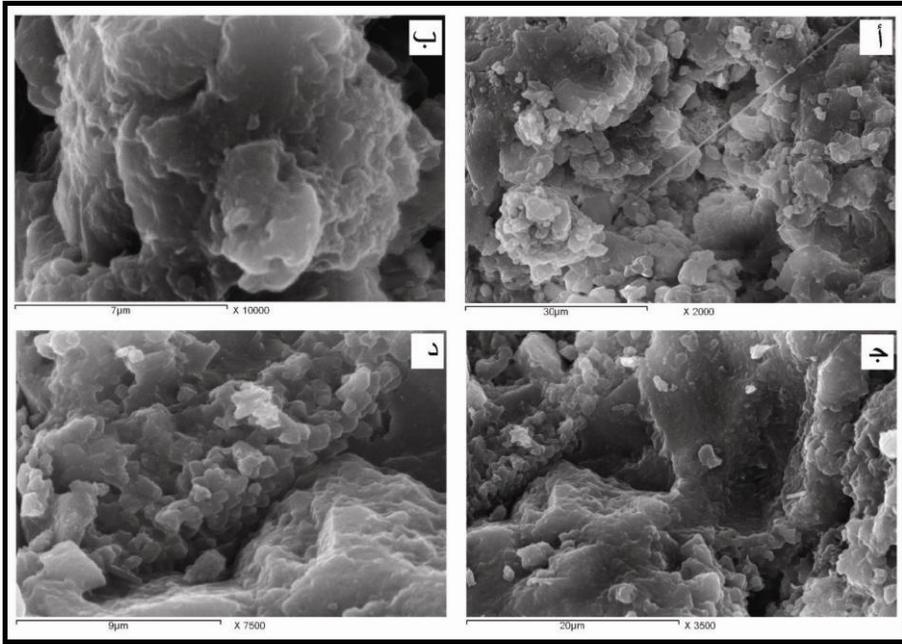
يتضح من تحليل اللوحة (14):

**صورة (أ) :** يتضح بها تفتت وتفشر في نسيج الحجر الجيري، مع وجود شروخ دقيقة جدا وممتدة بين نسيج الحجر. كما تظهر كرية من السيليكات بين بلورات الكالسيت المتهترئة، كما تبين أيضاً وجود بعض بلورات الكالسيت التي لم تتلف بعد، كما أن التلف بالنمو العضوي ربما يرجع إلى جذور الطحالب والدليل على ذلك الخيط الممتد داخل نسيج الحجر الجيري.

**صورة (ب) :** يوجد بها تلف في شكل كنتوري للكالسيت المكون للحجر الجيري والمسامية تصل إلى 4 ميكرون.

**صورة (ج) :** يتضح بها نسيج متضاغط من الميكريت الذي لا يزيد قطر حبيباته على 5 ميكرون ويظهر فجوات وشروخ بين مكونات الحجر؛ مما يدل على وجود نشاط واضح لعملية التجوية الملحية بالحجر.

**صورة (د) :** وجود ملح الهاليت متراكم على الميكريت المكون للحجر الجيري محل



المصدر: تم التحليل بمركز بحوث وتطوير الفلزات.

### لوحة (14) : عينة من الحجر الجيري بمدرسة العيني.

#### • خانقاة بيبيرس الجاشنكير :

يتضح من تحليل اللوحة (15):

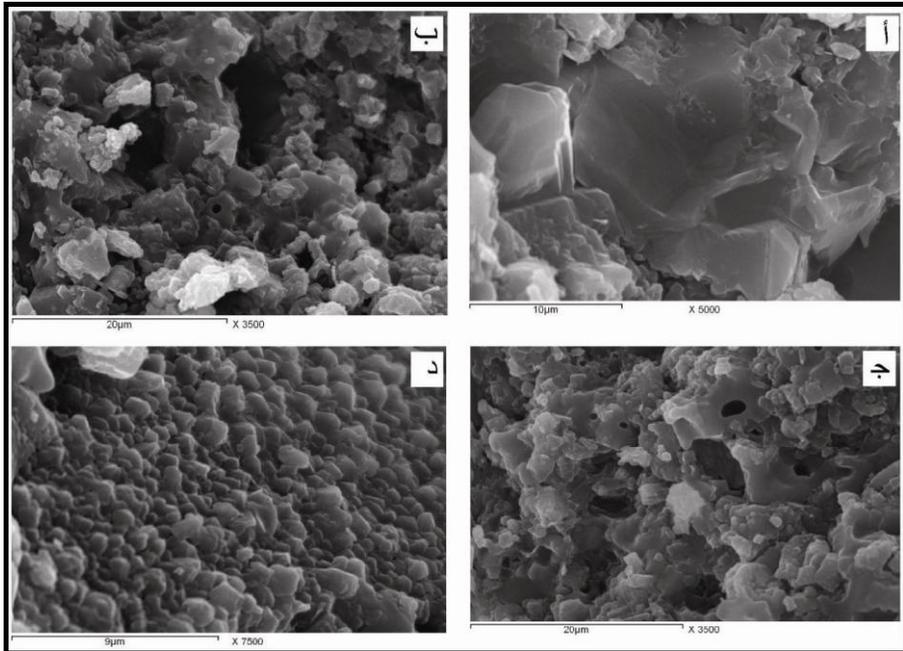
صورة (أ) : يوجد بها بلورات من الكالسييت الكامل التبلور، ويبدو على بعض أجزائه تفتيت ونقر كما في الشمال الشرقي من الصورة. كما أن هذه البلوكات من الكالسييت التي يصل قطر الواحدة منها إلى 9 ميكرون تتفصل عن بعضها البعض بشروخ دقيقة.

صورة (ب) : يتضح بها تهريء شديد في نسيج الحجر الجيري وتفتيت في الميكريت

وتغطيته بشكل واضح بالهاليت. كما توجد بعض الحفريات الدقيقة جدا تبدو في مجال الرؤية. ويوجد مسام منتشرة بالحجر بشكل واضح ويقطر يصل إلى 5 ميكرون.

**صورة (ج) :** لوحظ وجود ملح الهاليت المتبلور بكمية كبيرة، ويغطي أجزاء كبيرة من نسيج الحجر وتبدو مسام الحجر واضحة وكذلك التفتيت في نسيج الحجر.

**صورة (د) :** يتضح بها الميكريت المتراكم، كما تظهر بعض النقر في المكريت.



المصدر: تم التحليل بمركز بحوث وتطوير الفلزات.

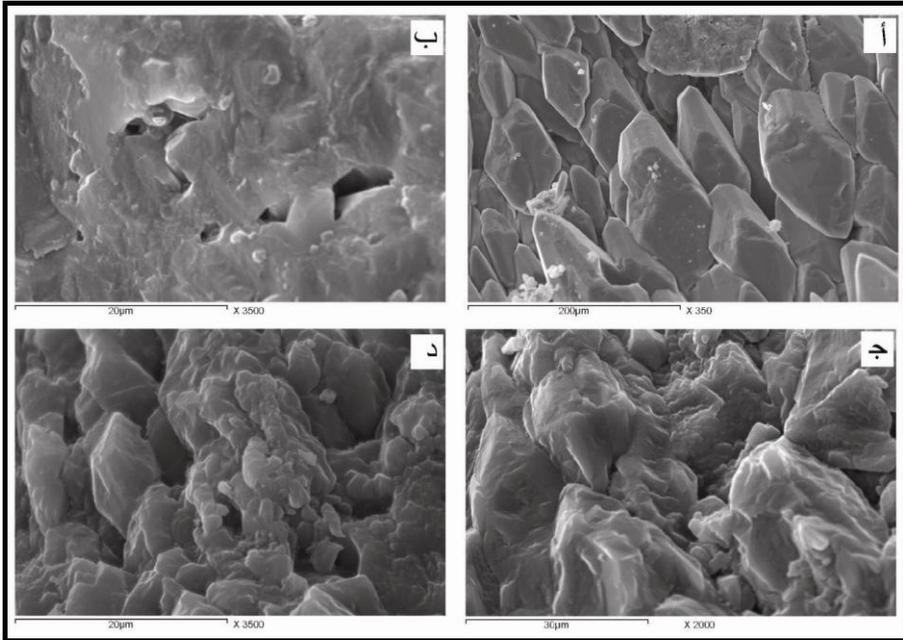
**لوحة (15) :** عينة من الحجر الجيري بخانقاة ببيرس الجاشنكير.

• سبيل محمد علي :

يتضح من تحليل اللوحة (16):

**صورة (أ) :** لوحظ وجود بلورات الكالسيت المتبلورة بشكل كامل ولكن يبدوا غياب نسبي للمادة اللاصقة مما ساعد على سرعة التجوية. وهو ما أدى إلى إذابة بعض البلورات كما في منتصف الشمال من الصورة والذي سوف نركز عليه بشكل أوضح في الصورة التالية.

**صورة (ب) :** يتضح بها عن قرب فجوات إذابة ببلورات الكالسيت والذي يعتبر مكان جيد لتجمع الأملاح والرطوبة مما يسهل ويزيد من عملية التجوية الملحية على ذلك الحجر.



المصدر: تم التحليل بمركز بحوث وتطوير الفلزات.

**لوحة (16) :** عينة من الحجر الجيري بسبيل محمد علي.

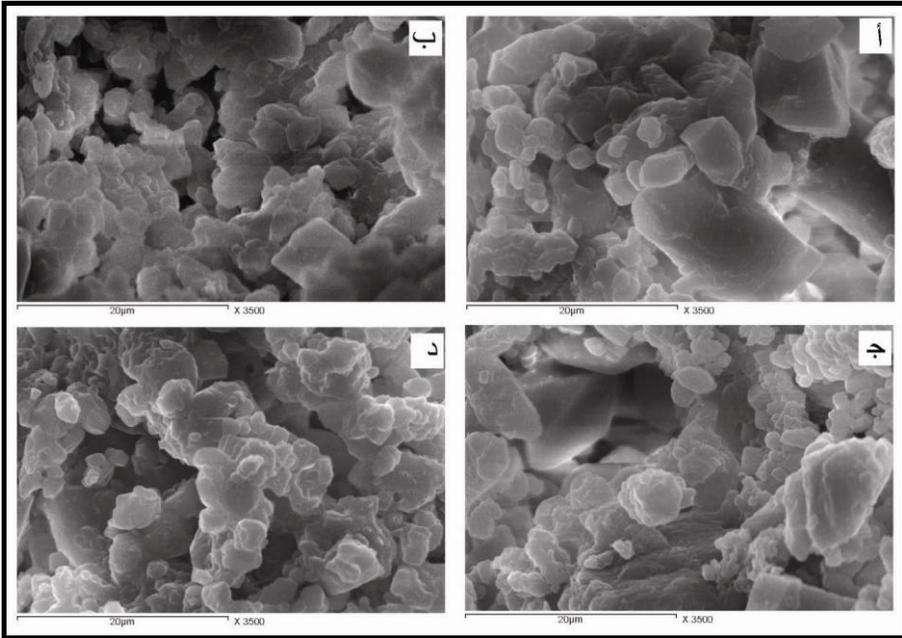
صورة (ج) : يتبين منها وجود تقشر في بلورات الكالسيت عبر مستويات الانقسام، مع وجود إذابة في بلورات الكالسيت.

صورة (د) : يوجد تقنت في بلورات الكالسيت مع وجود أملاح متراكمة في شكل أملس على بلورات الكالسيت للصخر.

#### ● قاعة الدرديري :

يتضح من تحليل اللوحة (17):

صورة (أ) : يتضح بها كالسيت متبلور يتراوح بين 5 و 10 ميكرون في قطرة وهذا الكالسيت متهرئ في بعض أجزائه إلى أجزاء صغيرة تصل إلى 1 ميكرون. والمسامية غير منتظمة الشكل والتوزيع بين نسيج الحجر.



المصدر: تم التحليل بمركز بحوث وتطوير الفلزات.

لوحة (17) : عينة من الحجر الجيري بقاعة الدرديري.

**صورة (ب) :** يوجد بها تدرج في نمو بلورات الكالسيت بالصخر مع وجود مسام متصلة بين مكونات الصخر مما يسهل على انتقال وتجمع المحلول الملحي، مما يسهل من نشاط عملية التجوية الملحية.

**صورة (ج) :** لوحظ فيها وجود تورق متعدد في بلورات الكالسيت على المقياس الميكرو الدقيق مع نمو بلوري للهاليت بين ذلك النسيج.

**صورة (د) :** يتضح بها وجود فجوات ومسام طولية متصلة مع بعضها مع تفتيت وتكسير على النطاق الدقيق في بلورات الكالسيت عبر مستويات الانقسام بالصخر.

#### • مسجد السلطان برفوق :

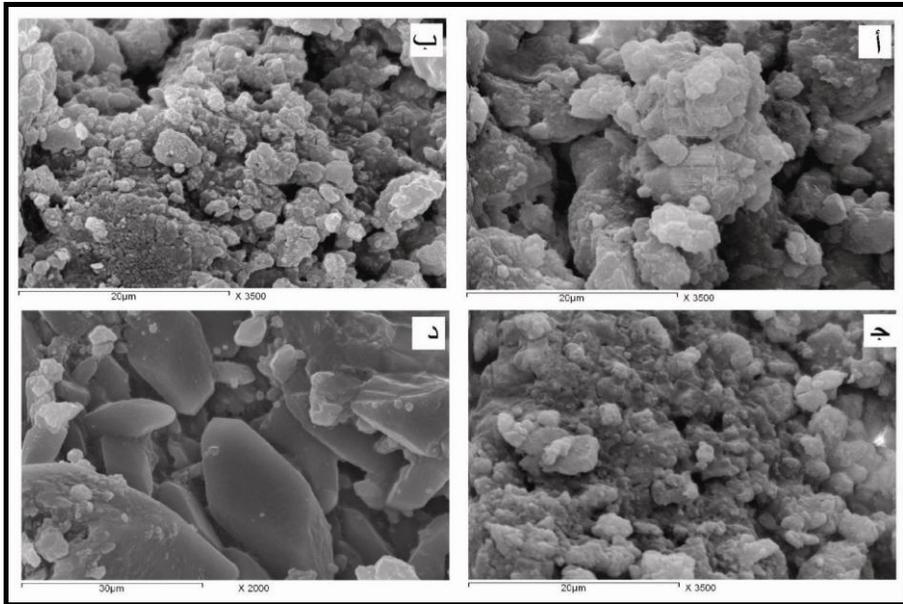
يتضح من تحليل اللوحة (18):

**صورة (أ) :** يوجد بها تفتت شديد في بلورات الكالسيت مع ظهور أملاح وشروخ دقيقة. كما لوحظ أن المسام متصلة مع بعضها البعض، مما يدل على شدة تجوية الصخر وإمكانية نفاذ تأثير التجوية الملحية إلى داخل الصخر.

**صورة (ب) :** لوحظ وجود أملاح ومسام متصلة وحفريات Cocolith وتفتيت في نسيج الصخر. كما يتضح وجود نقر Micro-Pitting في بلورات الكالسيت في جنوب الصورة.

**صورة (ج) :** يوجد بها أملاح كثيرة متراكمة على بلورات الكالسيت بالصخر مع ملء مسام الحجر بالأملاح. مما يجعل الحجر أكثر عرضه للتجوية الملحية سواء بتبلور الأملاح أو ذوبانها مع ذوبان بلورات الكالسيت.

**صورة (د) :** لوحظ وجود بلورات الكالسيت غير المنتظمة الاتجاهات بسبب التجوية وتراكم أملاح على تلك البلورات. ووجود تفتيت ونقر لبلورات الكالسيت.



المصدر: تم التحليل بمركز بحوث وتطوير الفلزات.

## لوحة (18) : عينة من الحجر الجيري بمسجد السلطان برقوق.

### • مسجد المحمودية :

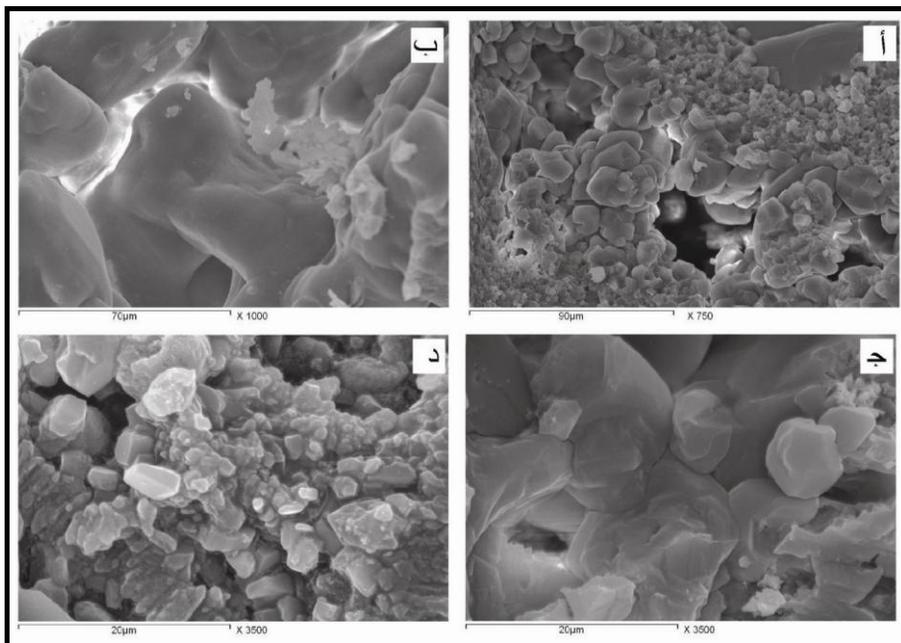
يتضح من تحليل اللوحة (19):

صورة (أ) : تُعد صورة جيدة لنسيج الصخر المكون من مكريت بقطر حبيبات يتراوح بين 2 و 3 ميكرون. ويوجد مسام غير متصلة إلى حد ما في مجال الرؤية.

صورة (ب) : يوجد بها ما يسمى Blocky Calcite بقطر يصل إلى 50 ميكرون للبلورة وهذا يدل على النضج الترسيبي للصخر وأنه مكون أساساً من  $CaCO_3$  ونسبة الماغنسيوم Mg قليلة.

صورة (ج) : تُعد منظراً آخر لبلورات الكالسيت الكبيرة ويبدو أيضاً في مجال الرؤية شرق العينة أملاح كبريتات أبرية الشكل ومتبلورة مما يدل على التجوية الكيميائية وتحول جزء من كربونات الكالسيوم  $CaCO_3$  إلى كبريتات الكالسيوم  $CaSO_4$ .

صورة (د) : لوحظ وجود أملاح متراكمة ومسام متصلة وتلف في بلورات الكالسيت والمكريت.



المصدر: تم التحليل بمركز بحوث وتطوير الفلزات.

لوحة (19) : عينة من الحجر الجيري بمسجد المحمودية.

• منزل الست وسيلة :

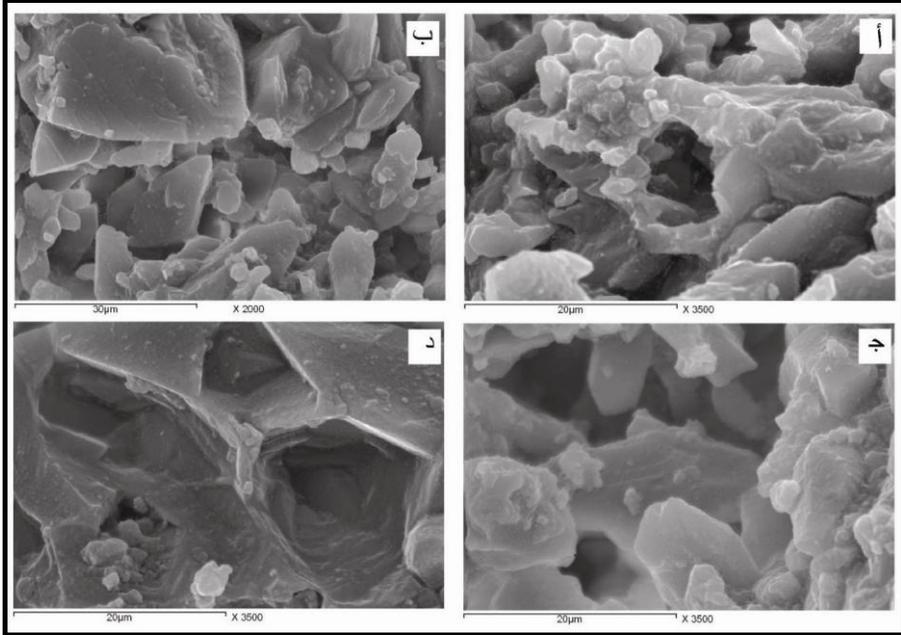
يتضح من تحليل اللوحة (20):

صورة (أ) : يتضح بها تراكم كثيف للأملاح على بلورات الكالسيت والمكريت المكون لهذا الصخر.

صورة (ب) : يوجد بها بلورات كالسيت متباينة في الحجم وهي مجواة على Nano-Scale في صورة Nano-Exfoliation موازي لمستويات الانقسام ببلورات الصخر.

صورة (ج) : منظر عن قرب للفجوات المتصلة بالصخر مما ساعد على نشاط عملية التجوية الملحية بداخل الصخر. كما تظهر الأملاح المتبلورة على الصخر.

صورة (د) : منظر عن قرب يوضح الإذابة الخماسية لبلورات الكالسيت.



المصدر: تم التحليل بمركز بحوث وتطوير الفلزات.

## لوحة (20) : عينة من الحجر الجيري بمنزل الست وسيلة

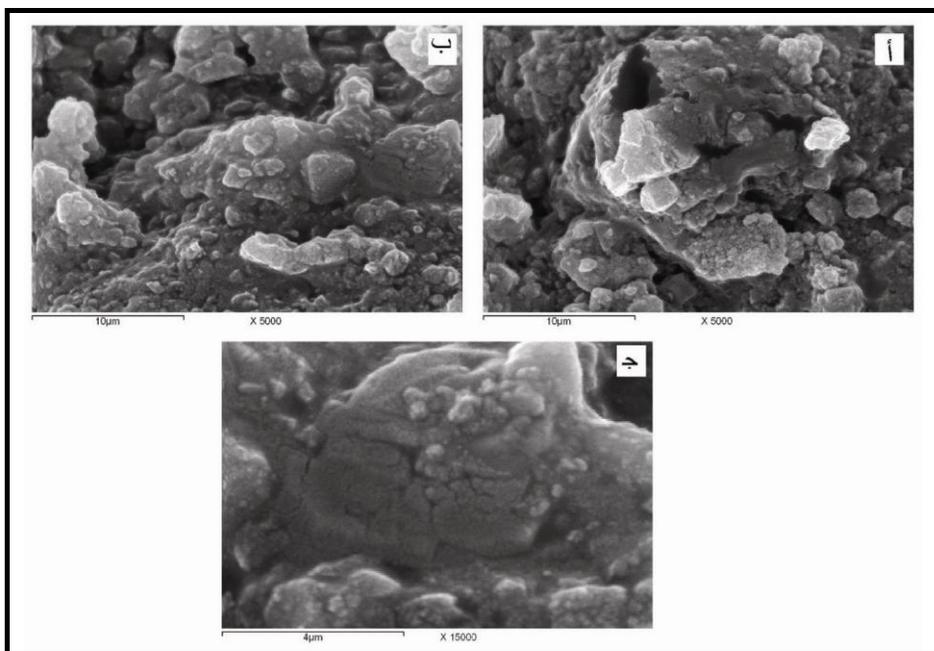
• مسجد الأمير شيخون :

يتضح من تحليل اللوحة (21):

صورة (أ) : نمو ملحي من الهاليت والجبس بشكل كثيف على بلورات الكالسيت المكون للصخر محل الدراسة. كما لوحظ أن المسام بالحجر دقيقة مما يساعد على التلف بالنمو البلوري للأملاح.

**صورة (ب) :** يتضح بها النمو البلوري للهاليت على مكونات الصخر مع ظهور شروخ دقيقة جدا ومتشعبة في بلورات الكالسيت على يمين الصورة. كما تبين أن بلورات الكالسيت مفتتة وتلتحم مع الهاليت.

**صورة (ج) :** منظر عن قرب لجزء من الصورة السابقة يتضح عليه شروخ في شكل يعرف ب Map Cracks على بلورة كالسيت بسبب النمو البلوري للهاليت في المناخ الحار الجاف بمنطقة الدراسة ويصل طول الشروخ 4 ميكرون ويقطر يصل إلى أقل من ربع ميكرون.



المصدر: تم التحليل بمركز بحوث وتطوير الفلزات.

**لوحة (21) :** عينة من الحجر الجيري بمسجد الأمير شيخون

يتضح من التحليل السابق أن جميع عينات الدراسة قد تأثرت بعملية التجوية الملحية مع اختلاف درجة التأثير، والتي ظهرت في شكل تقطيت في مكونات النسيج ووجود شروخ ونقر بين مكونات الحجر وإذابة بعض البلورات مع وجود العديد من الأملاح المترakمة على بلورات الكالست، كما أن الفجوات والمسام المتصلة بالصخر ساعدت على نشاط التجوية الملحية، وفي نفس الوقت تدل على شدة تأثيره بالتجوية، مما أدى إلى ظهور العديد من الآثار الجيومورفولوجية بالأحجار المشيد بها المباني الأثرية بمدينة القاهرة، والتي تتمثل في التقشر وظهور الفجوات (أعشاش النحل)، مما أدى إلى تدمير السطح الحجري وما عليه من ملاط وزخارف وكتابات، والتي يمكن دراستها تفصيلاً على النحو التالي:

#### - ظاهرة التقشر :

تعد ظاهرة التقشر من الظواهر الجيومورفولوجية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة الناجمة عن عملية التجوية الملحية، والتي يرجع نشأتها إلى العديد من العوامل المجتمعة والمنشابة، حيث يعتمد شكل هذه القشور على طبيعة مسام سطح الحجر، ودرجة الحرارة، والرطوبة النسبية المحيطة، والتبخر. فإذا كان معدل تشبع السطح بالمحلول كافياً لأن يجاري معدل التبخر فإن الملح سوف يترسب على السطح الخارجي وتوصف هذه العملية بالتزهر Efflorescence. وإذا كان معدل هجرة المحلول من خلال مسام البناء لا يجلب سائلاً جديداً إلى السطح بسرعة تتناسب مع سرعة التبخر فإن منطقة جافة تمتد تدريجياً تحت السطح مباشرة، وعندئذ تترسب الأملاح الذائبة داخل الحجر عند الحد الفاصل بين المنطقة الرطبة والمنطقة الجافة، مما ينتج عنه قشور (خالد محمد الحمصاني، 2007، ص 136).

كما أن نضوب مصادر المياه الأرضية أو الرطوبة النسبية يؤدي إلى تكوين طبقة صلبة ناتجة عن جفاف مصدر المياه من الطبقات الرطبة نتيجة تأثير درجات الحرارة المرتفعة، حيث أن الجفاف يكون سطحياً في حين يظل باطن الأحجار رطباً،

مما يؤدي في النهاية إلى حدوث الظاهرة المعروفة باسم تزييف الحجر عند تقشر هذه الطبقة (محمد عبدالرءوف ، 2000، ص 133).

وقد تبين من الدراسة الميدانية انتشار ظاهرة التقشر في العديد من المباني الأثرية بمدينة القاهرة، وخاصة مدرسة العيني، ومسجد السلطان قلاوون، وقاعة الدريديري، حيث حدث تقشر كنتوري يتراوح سمكه بين 0.5 و 3مم (لوحة 22).



لوحة (22) : انتشار ظاهرة التقشر لنشاط عملية التجوية الملحية.

ويرجع ذلك إلى عدة أسباب منها ما قد سبق ذكره من وجود نطاقين جاف ورطب مما يساعد على عملية التقشر، كما يعزى سبب وجود هذه الظاهرة بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة إلى انتشار أملاح الكبريتات وخاصة أملاح كبريتات الصوديوم بالأحجار الجيرية المشيد بها المباني الأثرية، حيث يزداد حجم أملاح كبريتات الصوديوم بنسبة 300% وتحدث ضغوط على جدران مسام الكتل الحجرية، مما يؤدي لحدوث اجهادات تميؤ مدمرة لبيئة الحجر وحدث تقشره (محمد عبدالهادي، 1990، ص 104). كما يحدث ذلك أيضاً عند تبلور ملح كبريتات الماغنسيوم خلف سطح الحجر مما تسبب تقشره وانفصاله (إبراهيم محمد عبدالله، 2000، ص 199). حيث يتسبب ملح كبريتات الماغنسيوم في تلف وتآكل مواد البناء المستخدمة في تشييد المنشآت الأثرية حوالي 35% زيادة عما تسببه الأطوار المختلفة لملح كبريتات الصوديوم خلال دورات التبلور الخاصة بهذا الملح، إذ يعتبر ملح كبريتات الماغنسيوم من أسرع الأملاح في عملية التميؤ حيث تتم عملية التميؤ لهذا الملح خلال 6 ساعات عند تعرضه للرطوبة في حين أن عملية التميؤ لملح كبريتات الصوديوم قد تأخذ عدة أيام لإتمامها (سيد محمد حميدة، 2003، ص 264).

#### - أعشاش النحل :

تعتبر هذه الظاهرة من أشهر مظاهر التلف الناشئة عن ميكانيكية التجوية الملحية، حيث تنتشر هذه الظاهرة بشكل واسع بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة، مثل مسجد السلطان برقوق، ومدرسة النحاسين الأميرية (لوحة 23)، حيث لوحظ تآكل غير منظم للأسطح الحجرية مع تكوين فراغات أو تجاويف ذات أحجام مختلفة، مع تكوين فجوات متصلة ببعضها البعض، في صورة تراكب تشبه أعشاش النحل.

ومن الأسباب الرئيسة في انتشار هذه الظاهرة وجود أملاح كبريتات الصوديوم؛ حيث تنمو في اتجاه واحد لتأخذ الشكل الابري أو المنشوري، مما يزيد من قوتها التدميرية لأحجار البناء بسبب الزيادة في الحجم وقابليتها للذوبان، مما يسبب حدوث

ما يعرف بأعشاش النحل البري. حيث تبين من التحليل الكيميائي لأملاح كبريتات الصوديوم بالأحجار المشيد بها المباني الأثرية ارتفاعها على 5% في هذه المواقع على المواقع الأخرى التي تقل بها نسبة الكبريتات وفي نفس الوقت تقل الفجوات والفراغات بالمباني الأثرية بمنطقة الدراسة. كما يرجع وجود هذه الفجوات إلى قابلية كبريتات الكالسيوم سواء الموجودة على السطح الحجري أو داخله للذوبان ونزحها بواسطة ماء المطر، حيث بلغت بمسجد السلطان برفوق 25%، في حين لم تتعدى 20% في باقي العينات. مع ملاحظة أن تتابع دورات الترسيب والذوبان للأملاح تؤدي إلى تعميق هذه الفجوات والتراكيب أكثر وأكثر.



ب - مسجد السلطان برفوق

أ - مدرسة النحاسين الأميرية

**لوحة (23) :** انتشار ظاهرة أعشاش النحل نتيجة نشاط عملية التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة

## - تساقط المحارة :

عندما تتبلور الأملاح أسفل طبقة الملاط عندما يكون معدل تدفق المحاليل الملحية في اتجاه أسطح التبخر الخارجية بطيئاً بحيث لا تتمكن هذه المحاليل من الوصول إلى تلك الأسطح، وتعرف الأملاح المتبلورة في هذه الحالة بالأملاح غير المرئية؛ حيث تتكون مراكز من البلورات الملحية تؤدي إلى ضغوط موضوعية من الداخل إلى الخارج تنتهي بانفصال وسقوط المحارة، كما تحدث هذه الحالة أيضاً في حالة ما إذا كانت الفراغات في المسام غير كافية لترسب الأملاح، فإن بلوراتها تولد ضغطاً على الحوائط في المناطق الضعيفة، مما يؤدي إلى انفصال أجزاء من طبقة المحارة وتساقطها (خالد محمد الحمصاني، 2007، ص 133).

وتبين من المشاهدات والقياسات الميدانية انتشار ظاهرة تساقط المحارة في العديد من المباني الأثرية بمدينة القاهرة، حيث ظهرت بكل من مسجد الأمير شيخون ومنزل الست وسيلة بنسبة ارتفعت على 50% من مساحة الحوائط التي حدث بها التساقط، كما ظهرت بنسبة أقل من ذلك بكل من مسجد السلطان قلاوون، وقاعة الدريديري، وخانقاة بيبيرس الجاشنكير، ومدرسة العيني، ومسجد الطنبغا المارداني، ومسجد لاشين السيفي، ووكالة الغوري، ومسجد الأمير حسين (لوحة 24).

## - تآكل النقوش والكتابات :

تعتبر مشكلة التجوية الملحية بالنسبة للنقوش الجدارية من أهم وأخطر المشكلات وأكثرها إتلافاً وتدميراً. وقد ساعد على تضخم هذه المشكلة توافرها للمصادر الأساسية للأملاح وخاصة أملاح الكبريتات والكلوريدات، كما توفرت العوامل التي تؤدي إلى تكونها وسرعة نمو بلوراتها بمدينة القاهرة، مثل ارتفاع المسامية وارتفاع درجة الحرارة وتوفر مصادر الرطوبة المختلفة وخاصة المياه الأرضية المحملة بنسبة مرتفعة من الأملاح الذائبة، ونتيجة للضغوط المتكررة من جراء عمليات التبلور داخل المسام والتحول من الطور الجاف إلى الطور المائي يؤدي إلى تفكك وهشاشة الجدران أسفل طبقة النقوش السطحية.



ب – مسجد الأمير حسين



أ – وكالة الغوري



د – مسجد الأمير شيخون



ج – قاعة الدريدي



هـ – خانقاة ببيرس  
الجاشكير

لوحة (24) : سقوط الغطاءات الأسمنتية (الملاط) نتيجة نشاط  
عملية التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.

وقد تبين من الدراسة الميدانية انتشار ظاهرة تآكل النقوش والزخارف والكتابات بمسجد الأمير شيخون بنسبة تراوحت بين 80 و 90%، والذي نتج أثناء النمو البلوري للأملاح في جدرانه، ومن ثم أدى إلى تفكك مونة البناء وتساقط ملاط الحوائط ومن ثم ضياع النقوش (لوحة 25). كما لوحظ حدوث تآكل النقوش والكتابات بمسجد السلطان برفوق بنسبة تتراوح بين 5 و 20%، وسبيل سليمان أغا السلحدار، ووكالة قايتباى بنسبة تراوحت بين 5 و 10%، ويعزى السبب في ذلك إلى زيادة نسبة أملاح الكبريتات، وخاصة أملاح كبريتات الكالسيوم، إذ ارتفعت على 45%، حيث ترجع خطورة ملح كبريتات الكالسيوم إلى أن هذا الملح على الرغم من قابليته الشحيحة للذوبان في الماء فإنه لا يقتصر تبلوره في النطاق السفلي لارتفاع الرطوبة وإنما يتبلور أيضاً في الأجزاء الجافة والمرتفعة كذلك فإن تكون الطبقات والتجمعات المنفصلة من ملح كبريتات الكالسيوم على أسطح أو تحت السطح لمواد البناء قد ينشأ عنه تلف هذه الأسطح وتحولها إلى مسحوق (سيد محمد سيد حميدة، 2003، ص 269) ومن ثم فإنه يتسبب في ضياع ما تحمله من نقوش وكتابات وزخارف.

## الخاتمة :

### أولاً : النتائج.

كشفت دراسة أخطار التجوية الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة عن عدة حقائق نوجزها فيما يلي:

1- تعد التجوية الملحية من أهم وأخطر المشكلات التي تواجه الآثار المصرية؛ حيث تعتبر الأملاح من أهم عوامل تلف مكونات مواد البناء في ظل الظروف البيئية المتغيرة من رطوبة وجفاف وما يتبعها من تبلور وإعادة تبلور بالإضافة إلى هجرتها وانتقالها من مكان لآخر.

2- تتنوع مصادر الأملاح بمنطقة الدراسة، فمنها ما هو داخلي مثل الأملاح كميون طبيعي لمواد البناء، والتفاعلات الداخلية للأملاح داخل حوائط المنشآت الأثرية، ومنها ما هو خارجي مثل مصادر الرطوبة المختلفة، والترميم الخاطئ وغيرها من المصادر المتعددة. حيث تبين الآتي:



ب - سييل سليمان أغا السلحدار



أ - وكالة قايتباى الأزهر



ج - مسجد الأمير شيخون



هـ - مجموعة السلطان المنصور قلاوون



د - مدرسة العيني

لوحة (25) : نماذج من تآكل النقوش لنشاط عملية التجوية  
الملحية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة.

أ. استخدم في تشييد المباني الأثرية بمدينة القاهرة العديد من أنواع الأحجار، وقد تبين من الدراسة الميدانية والتحليلات المعملية أن مادة البناء السائدة هي الحجر الجيري، وتعتبر مادة كربونات الكالسيوم مادة الحجر الأساسية بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة، مع ملاحظة وجود بعض المعادن الأخرى مثل الجبس والهاليت ونسبة من الكوارتز والطين والتي لها دور مهم في زيادة المحتوى الملحي دون الاعتماد على المد الخارجي.

ب. تتوع مصادر الرطوبة بمنطقة الدراسة، مع ملاحظة أن المياه الأرضية المشبعة بالأملاح تعد المصدر الرئيسي للرطوبة؛ نتيجة لارتفاع منسوبها، ولكن لا يجب أن نغفل دور الرطوبة النسبية والأمطار؛ حيث تلعب دوراً مساعداً في إحداث التلف واستكمال دائرته جنباً إلى جنب مع المياه الأرضية.

ج. لوحظ من الدراسة الميدانية وجود قصور في عمليات الترميم السابقة للمباني الأثرية بمدينة القاهرة، مثل استخدام الأسمنت البورتلاندي. ومن أهم الأمثلة على ذلك مسجد الطنبغا المراداني.

د. تتسم معظم الأحجار التي استخدمت في تشييد المباني الأثرية بمدينة القاهرة بارتفاع المسامية وقدرتها على امتصاص المياه، حيث بلغ المتوسط العام 22.18 و 10.49% على الترتيب، مع ارتفاع كل من درجة الحرارة والتبخر، إذ بلغ المتوسط العام 21.8<sup>5</sup> و 10 مم على التوالي، ساعدت هذه العوامل مجتمعة في تنشيط عملية التجوية الملحية، ومن ثم تعرض مواد البناء للتدهور والتساقط.

3- تتباين المباني الأثرية بمدينة القاهرة من حيث درجة تأثرها بالتجوية الملحية، حيث تظهر أثار التجوية الملحية على المباني الأثرية بدءاً بالنشع المائي ثم التزه، والانتقال المستمر بين المرحلتين أدى إلى انهيار الترابط والتماسك بين مكونات الحجر بالإضافة إلى ظهور العديد من مظاهر التشقق والنقش وتفكك

النسيج الجداري للمباني الأثرية بمدينة القاهرة، مما أدى إلى تدمير الزخارف والنقوش والكتابات الموجودة بالأثر، كما يؤدي استمرار تكوينها إلى القضاء التام على الأحجار الأثرية. حيث تبين من الدراسة ما يلي:

- أ. أثبتت الدراسة تأثير جميع المباني الأثرية التي تم دراستها ميدانياً بالرشح والتزه مع وجود تباين في درجة التأثير، ومع ارتفاع درجة الحرارة تتبخر السوائل وتتبلور الأملاح تدريجياً. وقد أدى تكرار هذه العملية إلى تكوين طبقات ملحية على أسطح أحجار المنشآت الأثرية تراوح سمكها بين 0.1 م و 1.0 سم. كما أتضح من الدراسة الميدانية أيضاً أن ألوان هذه الطبقات الملحية تتباين ألوانها من مبنى إلى آخر، حيث تأخذ اللون الأبيض في بعض المباني وفي البعض الآخر تأخذ اللون الأسود.
- ب. تبين من التحليلات المعملية وجود كل من أملاح الكلوريدات والكبريتات معاً مما كان له أثر مدمر على سطح الحجر والتي كانت من أهم مظاهرها ظهور العديد من الآثار الجيومورفولوجية التي ظهرت بالمباني الأثرية، مثل :

- **ظاهرة أعشاش النحل:** وظهرت بشكل واسع بالمباني الأثرية بمدينة القاهرة، مثل مسجد السلطان برفوق، ومدرسة النحاسين الأميرية.
- **ظاهرة التقشر:** وقد ظهرت في العديد من المباني الأثرية بمنطقة الدراسة وخاصة مدرسة العيني، ومجموعة السلطان المنصور قلاوون، وقاعة الدرديري، حيث حدث تقشر كنتوري يتراوح سمكه بين 0.5 و 3.0 مم.
- تبين من المشاهدات والقياسات الميدانية انتشار ظاهرة تساقط المحارة في العديد من المباني الأثرية بمدينة القاهرة، حيث ظهرت بكل من مسجد الأمير شيخون ومنزل الست وسيلة بنسبة ارتفعت على 50% من مساحة الحوائط التي حدث بها التساقط، كما ظهرت بنسبة أقل

من ذلك بكل من مجموعة السلطان المنصور قلاوون، وقاعة الدريدي، وخانقاة بيبرس الجاشنكير، ومدرسة العيني، ومسجد الطنبغا المارداني، ومسجد لاشين السيفي، ووكالة الغوري، ومسجد الأمير حسين.

- كما لوحظ من الدراسة الميدانية انتشار ظاهرة تآكل النقوش والزخارف والكتابات والنقوش بمنطقة الدراسة والتي ظهرت بنسب مختلفة، حيث ظهرت بمسجد الأمير شيخون بنسبة تراوحت بين 80 و 90%. كما لوحظ حدوث تآكل النقوش والكتابات بمسجد السلطان برقوق بنسبة تتراوح بين 5 و 20٪، وسبيل سليمان أغا السلحدار، ووكالة قايتباي بنسبة تراوحت بين 5 و 10%.

## ثانياً : التوصيات.

- ضرورة الاهتمام بالملاحظة الدورية وذلك بعمل القياسات الحقلية المستمرة والدورية لكافة الوحدات الأثرية خاصة التي تحتاج إلى عمليات ترميم ورصد كافة المتغيرات المؤثرة ثم توثيق هذه البيانات والقياسات.
- تكوين لجنة من أعضاء هيئة التدريس تغطي التخصصات اللازمة لعمل الدراسات المتكاملة لموضوعات التجوية وخاصة التجوية الملحية وتقديرها كمياً بالقياسات الحقلية والدراسات المعملية وبالطرق الحسابية واستخدام النتائج في إعداد خطط صيانة الآثار (محمد عبد الهادي وآخرون، 1996، ص ص 466-468).
- استخدام تقنيات السحب الآمن للمياه أسفل أساسات المباني الأثرية وتحسين وتطوير شبكات الصرف الصحي وخفض منسوب المياه الأرضية، ولكن لا بد من عمل كافة البحوث والدراسات اللازمة قبل إجراء عمليات نزع الماء الأرضي أسفل أي منشأ أثري لما في ذلك من خطورة بالغة.

- عزل أساسات المنشآت الأثرية عن المياه الأرضية، بمواد عزل مثل البيتومين من الخارج والداخل، ولكن تعتمد عمليات العزل لهذه الأساسات على دراسة ما يتعرض له العنصر الإنشائي والأماكن التي يحتمل تسرب المياه منها، ونظراً لاختلاف كل مبنى أثري عن الآخر، مما يؤدي إلى ضرورة دراسة كل حالة بمفردها لوضع إطار لصيانة وحفظ الأثر بما يتوافق وظروفه وبيئته المحيطة به.
- استخدام أسلوب قطع الجدران على ارتفاع حوالي متر وذلك باستخدام منشار قطع، ثم يتم وضع شرائح من البلاستيك ذات قوة تحمل كبيرة في أماكن القطع لتمنع ارتفاع المياه الأرضية بالخاصية الشعرية داخل الجدران (عبد الحميد عبد الحميد، 2006، ص ص 76-77).
- حماية المباني من تأثير مياه الأمطار وعمل الوصلات اللازمة لتوصيل هذه المياه للصرف مباشرة لعدم تجمعها بجوار أو على سطح المباني الأثرية.
- تغيير الكتل الحجرية المتهاكلة بأخرى جديدة من نفس نوع الحجر القديم.

## شكر وتقدير

أسجد لله؛ حمداً وشكراً على فيض نعمته، وجزيل توفيقه في إنجاز هذا البحث المتواضع.

وأقدم بجزيل الشكر والأمتان والعرفان إلى مجلس إدارة الجمعية الجغرافية برئاسة الأستاذ الدكتور/ **محمد صفي الدين أبو العز** على التفضل بنشر البحث. كما يسعدني أن أقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذ الدكتور/ **السيد الحسيني**، أستاذ الجيومورفولوجيا بجامعة القاهرة، والأستاذ الدكتور/ **صابر أمين دسوقي**، أستاذ الجيومورفولوجيا بجامعة بنها، والأستاذ الدكتور/ **علي مصطفى كامل**، أستاذ الجيومورفولوجيا بجامعة بنها، لما قدموه من توجيهات علمية ومشاركة بالأراء السديدة، والتي كان لها أبلغ الأثر في إتمام هذا البحث.

كما أقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذ الدكتور/ **جمال قمح**، أستاذ جيولوجيا الآثار بجامعة المنوفية، والأستاذ الدكتور/ **بدر عبدالعزيز**، أستاذ الآثار الإسلامية بجامعة بورسعيد، لما قدموه من توجيهات علمية ومساعدات عديدة في الدراسة الميدانية وإجراء التحليلات المعملية وتفسيرها.

**أسأل الله لهؤلاء جميعاً أن يجزيهم عني خير الجزاء**

**الباحث**

## المراجع

### أولاً : المراجع العربية :

1. إبراهيم محمد محمد عبدالله (2000) : دراسة علاج وصيانة مواد البناء والعناصر الزخرفية في بعض المباني الأثرية بمدينة رشيد، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
2. أكمل على توفيق صقر (2005) : تأثير بيئة الدلتا على تلف المنشآت الأثرية ومنهجية العلاج والصيانة تطبيقاً على معابد منطقة تل بسطة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
3. أميرة محمد محمود البنا (2010) : الظواهر الجيومورفولوجية الناجمة عن المياه بإقليم القاهرة الكبرى باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة بنها.
4. أيمن حسن أحمد حجاب (2003) : دراسة التأثيرات البشرية المتلفة لبعض الآثار الإسلامية وطرق صيانتها بمدينة القاهرة القديمة . تطبيقاً على أحد المباني الأثرية الإسلامية المختارة بمدينة القاهرة القديمة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
5. خالد محمد أحمد الحمصاني (2007) : دراسة مشكلة الأملاح وعلاجها في الصور والنقوش الجدارية بمنطقة سقارة تطبيقاً على إحدى المقابر المختارة من عصر الدولة القديمة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
6. رحاب جلال درويش (2007) : دراسة التلف الفطري لمواد البناء في المباني الأثرية بمدينة القاهرة: أسباب وميكانيكية التلف وطرق العلاج، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.

7. سيد محمد سيد حميدة (2003) : التقييم العلمي لميكانيكية التجوية الملحية وأهم مصادرها في بعض البيئات الأثرية المصرية وتأثيرها على الأحجار الجيرية والرمليّة المستخدمة في المنشآت الأثرية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
8. عاطف معتمد عبدالحמיד (2008) : الاستفادة من بيانات الاستشعار عن بعد في دراسة الأراضي الرطبة (منطقة الأحساء - شرق السعودية)، الجمعية الجغرافية الكويتية، العدد 336، الكويت.
9. عماد محمد أحمد عجوة (2003) : أثر البيئة الطبيعية على عمارة القاهرة منذ نشأتها حتى نهاية العصر المملوكي، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الآثار الإسلامية، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
10. عائشة التهامي (2010) : جولات سياحية بين آثار القاهرة القطبية والإسلامية، سلسلة العلوم الاجتماعية، الهيئة المصرية العامة للكتاب.
11. عبدالفتاح السعيد البنا (1990) : دراسة مقارنة للمواد والطرق المختلفة المستخدمة في علاج وصيانة الآثار الحجرية وتأثيرها على خواصها، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
12. عبدالحמיד عبدالحמיד السيد (2006) : دراسات علمية تجريبية وتطبيقية في علاج وصيانة الأحجار الجيرية في بعض المباني الأثرية في مصر من التلف الميكروبيولوجي، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
13. علاء السيد (1999) : تلوث الهواء في محافظة القاهرة . دراسة في الجغرافيا التطبيقية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة القاهرة.
14. على مصطفى كامل (1998) : التجوية الكيميائية بوصفها خطراً طبيعياً على المنشآت بالمناطق الساحلية بمدينة الإسكندرية "جمهورية مصر العربية"، مجلة كلية الآداب، جامعة الزقازيق، العدد 22.

15. فتحي محمد مصيلحي (1988) : تطور العاصمة المصرية والقاهرة الكبرى (تجربة التعمير المصرية من 4000 ق.م إلى 2000م)، دار المدينة المنورة، القاهرة.
16. محمد بن عبدالغني مشرف (1987) : أسس علم الرسوبيات، عمادة شؤون المكتبات، جامعة الملك سعود، الرياض.
17. محمد صبري محسوب (1997) : جيومورفولوجية الأشكال الأرضية، دار الفكر العربي، القاهرة.
18. محمد صبري محسوب (2002) : البيئة الطبيعية - خصائصها وتفاعل الإنسان معها، دار الفكر العربي، القاهرة.
19. محمد عبدالرؤف الجوهري (2000) : تأثير المياه الأرضية على الأحجار الرملية المستخدمة في تشييد بعض المعابد المصرية القديمة في مصر العليا والطرق العلمية والتطبيقية المتبعة في علاجها وصيانتها، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
20. محمد مصطفى محمد عبدالحميد (2009) : دراسة لأسباب تصدع وانهيار المباني الأثرية الإسلامية والطول المقترحة للآثار المختارة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
21. محمد عبدالهادي، محمد ممدوح على صبري، محسن محمد صالح (1996) : التربة مصدر من مصادر تلف المنشآت الأثرية بمدينة القاهرة، مجلة كلية الآثار، القاهرة، العدد السابع.
22. محسن محمد صالح محمد (1999) : دراسة تأثير التربة على تلف المنشآت الأثرية في مدينة القاهرة وكيفية صيانة هذه المنشآت تطبيقاً على مواقع أثرية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
23. مرفت ثابت صليب (2008) : تأثير المياه الجوفية على المباني الأثرية في إقليم القاهرة الكبرى، الدار العربية للنشر والتوزيع، الجيزة.

24. نبيل أحمد عبدالنواب (2003) : دراسة علمية تطبيقية في ترميم وصيانة النقوش الجدارية في واجهات بعض المقابر الأثرية من آثار التجوية الفيزيوكيميائية والبيولوجية بمنطقة هضبة الجيزة، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.

### ثانياً : المراجع الأجنبية :

1. Arnold and Zehnder (1987): Moinitoring Wall Paintings affected by Soluble Salts, in Conservation of wall Painting in Proceeding of Asymposium Organised by Courtould Institute of Art the Getty Conservation Institute, London.
2. Feilden, B. (1982): Conservation of Historic Buildings- Technical Studies in the Arts, Archaeology and Architecture, Butter Worth Co (Publishers) Ltd, England.
3. Goudie, A. and Viles, H. (1997): Salt Weathering Hazards, John Wiley and Sons, England.
4. Kamh, G., Kallash, A., Azzam, R. (2007): Factors Controlling Building Susceptibility to Earthquakes: 14-year Recording of Islamic Archaeological Sites in Old Cairo, Egypt: A Case Study, International Journal of Geosciences , Environmental Geology, Springer-Verlag.
5. Lehman, J. (1970): Damage by Accumulation of Soluble Salts in Stone Work, in Conservation of Stone, Second Edition, Vel.1.
6. Lamei,S. (1995): Restoration of the Mosque of Al-Zahir Baybars in Cairo, in the Restoration and Conservation of Islamic Monuments in Egypt, the American Univ. Cairo.
7. Zehnder, K. (2007): Long-term monitoring of wall paintings affected by soluble salts, Environ Geol., Springer, Verlag.

\* \* \*

## الإصدارات السابقة لسلسلة البحوث الجغرافية

1. Dental Conditions of the Population of Maadi Culture as Affected by the Environment. (In English) by "F. Hassan et al." (1996).
2. هضبة الأهرام: أشكالها الأرضية ومشكلاتها، أ.د. سمير سامى، 1997.
3. القرى المدمرة فى فلسطين حتى عام 1952، أ.د. يوسف أبو مائلة وآخرون، 1998.
4. جيومورفولوجية منطقة توشكى وإمكانات التنمية، أ.د. جودة فتحى التركمانى، 1999.
5. موارد الثروة المعدنية وإمكانات التنمية فى مصر، د. أحمد عاطف دردير، 2001.
6. صورة الأرض فى الريف، د. محمد أبو العلا محمد، 2001.
7. القاهرة: الأرض والإنسان، أ.د. سمير سامى محمود، 2003.
8. الماء والأفلاج والمجتمعات العمانية، د. طه عبد العليم، 2004.
9. المناطق الخضراء فى القاهرة الكبرى، د. أحمد السيد الزامل، 2005.
10. التنمية السياحية بمدينة الغردقة وأثرها السلبى على البيئة، د. ماجدة محمد أحمد، 2005.
11. بين الخرائط التقليدية وخرائط الاستشعار عن بعد، د. هناء نظير على، 2006.
12. الواقع الجغرافى لمدينة سيوة، د. عمر محمد على، 2006.
13. صادرات الموالح المصرية إلى السوق العربية الخليجية، أ.د. إبراهيم على غانم، 2006.
14. الجغرافيا الاقتصادية فى ضوء المتغيرات العالمية المعاصرة، أ.د. محمد محمود إبراهيم الديب، 2006.
15. الأبعاد الجغرافية للسياحة العلاجية فى مصر، د. فاطمة محمد أحمد، 2006.
16. تحليل جغرافى لحركة النقل على مداخل مدينة المحلة الكبرى، د. عبد المعطى شاهين، 2007.
17. المقومات الجغرافية للتنمية السياحية فى محافظة الوادى الجديد، د. المتولى السعيد، 2007.
18. الهجرة العربية الدائمة إلى الولايات المتحدة الأمريكية من 1980 إلى 2004، د. أشرف على عبده، 2007.
19. مياه الشرب فى مدينة الجيزة، د. فاطمة محمد أحمد عبد الصمد، 2007.
20. الجيوب الريفية المحتواة فى التجمعات الحضرية المخططة بمدينة الجيزة، د. أشرف على عبده، 2007.
21. الأبعاد الجيومورفولوجية لانتخابات مجلس الشعب المصرى عام 2005، د. سامح عبد الوهاب، 2008.
22. الأوقاف الخيرية فى مصر، أ.د. صلاح عبد الجابر عيسى، 2009.
23. صناعة السيارات فى مصر، أ.د. محمد محمود إبراهيم الديب، 2009.
24. المناخ والملابس فى مدينة الرياض، د. هدى بنت عبد الله عيسى العباد، 2009.
25. قضايا الطاقة فى مصر، أ.د. محمد محمود إبراهيم الديب، 2009.
26. الثروة المعدنية فى محافظة المنيا، د. أحمد موسى محمود خليل، 2009.
27. التباينات اليومية لدرجة الحرارة بمدينة مكة المكرمة. د. مسعد سلامة مسعد مندور، 2009.
28. التحليل الجغرافى لدلالة أسماء المحلات العمرانية بمنطقة عسير وجيزان، د. إسماعيل يوسف إسماعيل، 2009.

29. تحليل جغرافي لمنطقتين عشوائيتين في مدينة جدة، د. أسامة بن رشاد جستنية و أ. مشاعل بنت سعد المالكي، 2009.
30. الفقر في غرب إفريقيا، د. ماجدة إبراهيم عامر، 2010.
31. بعض ملامح التنمية العمرانية في محافظة المجمعة (السعودية)، د. علاء الدين عبد الخالق علوان، 2010.
32. تنمية السياحة البيئية والأثرية بمنطقة حائل، د. عواطف بنت الشريف شجاع علي الحارث، 2010.
33. سكان سلطنة عُمان، د. جمال محمد السيد هنداوي، 2010.
34. التجديد العمراني للنواة القديمة بالمنصورة، د. مجدى شفيق السيد صقر، 2011.
35. تغير المعطيات المكانية وأثرها في التنمية السياحية بقرية البهنسا في محافظة المنيا، د. ماجدة محمد أحمد جمعة، 2011.
36. الاتجاهات الحديثة في جغرافية الصناعة، أ.د. إبراهيم على غانم، 2011.
37. المعايير التخطيطية للخدمات بالمملكة العربية السعودية، د. نزهه يقطان الجابري، 2011.
38. تداخل المياه البحرية والجوفية بشمال الدلتا بين فرعي دمياط ورشيد، د. أحمد إبراهيم محمد صابر، 2011.
39. أحجار الزينة في المملكة العربية السعودية، د. شريفة معيض دليم القحطاني، 2011.
40. التنوع الحيوي بإقليم الجبل الأخضر بالجمهورية العربية الليبية، د. عادل معتمد عبد الحميد، 2011.
41. التحليل المكاني للتغيرات العمرانية واتجاهاتها الحالية والمستقبلية في المدينة المنورة للفترة من (1369-1450هـ) الموافق (1950-2028م)، د. عمر محمد علي محمد، 2011.
42. المروح الفيضية وأثرها على طريق قفط - القصير، د. محمد عبد الحليم حلمي عبد الفتاح، 2012.
43. أطالس فرنسية : عرض وتحليل، د. عاطف حافظ سلامة، 2012.
44. التنوع المكاني لأنماط النمو الريفي في المنطقة الغربية للمملكة العربية السعودية، د. محمد عبد الحميد مشخص، 2012.
45. الحافة الحضرية لمدينة المحلة الكبرى : رؤية جغرافية، د. أحمد محمد أبو زيد، 2012.
46. الخصائص المكانية والخدمية للمجمعات التجارية، د. عبدالله براك الحربي، 2012.

\* \* \*