التركيب الطبقي للأحجار وتأثيره علي إستقرار المباني الأثرية

غادة محمد مصطفي مدرس بقسم الترميم، كلية الفنون الجميلة جامعة المنيا

ملخص البحث:

تتميز الكثير من الصخور والاحجار الرسوبية بأنها ذات تركيب بنائي طبقي وتعتبر إجهادات الشد من أهم العوامل المسببة لتشقق الصخور، وهي تنشأ نتيجة انخفاض درجة الحرارة أو تبخر قدر من المياه الموجودة في مادة الصخر أو نتيجة لتأثير العاملين معاً؛ ومن العناصر البيئية التي يمكن ان تؤثر سلبياً وتسرع فى تلف مواد البناء: الإشعاع الشمسي – الأمطار – التلوث الجوي– التركيب الطبقي للأحجار ؛ لذلك تعرض البحث لأهم عوامل التلف المؤثرة على خواص أحجار المبني الأثري ككل مع وضع خطة علاج مقترحة للحفاظ عليها.

مقدمة

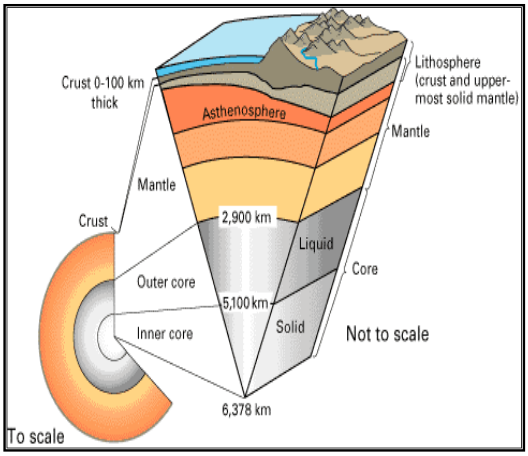
تعد الصخور مواد غير منتظمة ولذلك يختلف معامل الأمان من عينة إلى آخرى، ويتراوح معامل الأمان من 6:1 أو 10:1 من قوة تحمل الصخور للإجهادات في حالة استخدام الصخور في البناء. ويطلق على قوة تحمل الصخور بعد مضاعفتها مع معامل الأمان (سعة الصخور) وهي تمثل مقدار الإجهادات المسموح بتعرض الصخور لها دون أن تتشقق أو تنهار ، فمثلاً الجرانيت يتحمل إجهاد ضغط أكثر من 6000 كجم/سم ² وكلما ذادت كثافة الحجر ووزنه كان تحمله أكبر.

التركيب الطبقي للصخور والأحجار Bedding or layering Stratification:

تتميز الكثير من الصخور والاحجار الرسوبية بأنها ذات تركيب بنائي طبقي وأتجاه التركيب الطبقي بالنسبة للأحجار الرسوبية يعبر عن طاقة الوسط الحاملة لترسيب هذه المواد طبقاً لمعدلات ميكانيكية أو كيميائية في الفترات الزمنية المختلفة التي تكونت فيها هذه الصخور. وإذا تصورنا حدوث ذلك في مسطحات أفقية مثالية فإن قوة الترابط بين الحبيبات في مثل هذه المسطحات تكون أشد ما يمكن بعكس ترابط حبيبات كل مسطح مع حبيبات المسطح الذي يقع في أعلاه أو أسفله وذلك لوجود فواصل زمنية بينها قد تتغير فيها معدلات الترسيب وكذلك بعض الخواص الطبيعية أو الكيميائية للمكونات الطبيعية مثل اللون والحجم ونسب المواد المعدنية والتركيب الكيميائي لها ونوعية المواد الرابطة.[1]

والجدير بالذكر أن التعاقب الطبقي يعد احد مبادئ التأريخ النسبي وهو يدلنا علي ترتيب الطبقات الصخريه حيث ان الأقدم في الاسفل والاحدث في الاعلى ويعد هذا المبدأ حجر الاساس في تحديد العمر النسبي للصخور الرسوبيه واول من نادى بمبدأ التعاقب الطبقي العالم ابن سينا (980–1038) في رساله (المعادن والاثار العلويه) من موسوعه الشفاء التي تعد من اهم المصادر التي اعتمد عليها الغرب في القرون الوسطى حيث يعد هذا العالم الموسس الفعلي لعلم الطبقات وفروع اخرى من علوم الجيولوجيا.

شكل (1) طبقات التربة



1- التشقق في الصخور:

تعرف الشقوق الموجودة في مادة الصخر بأنها "الكسر الناتج عن تعرض الصخر لاجهادات تزيد على مقدار قوة تحمله، وتتخذ الشقوق الصخرية أشكالاً متفاوتة تبعاً للأجهادات المختلفة ومقدار قوتها والاتجاهات المؤثرة فيها، وتعتبر إجهادات الشد من أهم العوامل المسببة لتشقق الصخور، وهي تنشأ نتيجة أنخفاض درجة الحرارة أو تبخر قدر من المياة الموجودة في مادة الصخر أو نتيجة لتأثير العاملين معاً ، كما قد يحدث التشقق الصخري نتيجة أنكماش الصخر والذي يؤدي بدوره إلى حدوث سلسلة من الاجهادات نتيجة أعادة تبلور بعض المادة الغروية الموجودة في بنية الصخر."[2]

وأنواع الشقوق التي تحدث في الصخور:

أ - الفواصل Joints:

الفواصل هي سلسلة من الشقوق المتصلة الحادثة في الصخر والتي تكون ذات أشكال محددة لها علاقة ببعضها البعض، وقد تبدو الفواصل ذات أشكال عشوائية إلا أنه ثبت بالفحص الميكرسكوبي الدقيق أن إتجاهات الفواصل لها علاقة محدودة مع خطوط انسياب الصخر أثناء تكوينه.

---

[1] - محمد عبد الهادي محمد- دراسات علمية في ترميم وصيانة الآثار غير العضوية- رقم الإيداع 11702/ 97- الترقيم الدولي- I.S.B.N 977- 5789- 65-6- القاهرة- مكتبة زهراء الشرق- ص89:90.

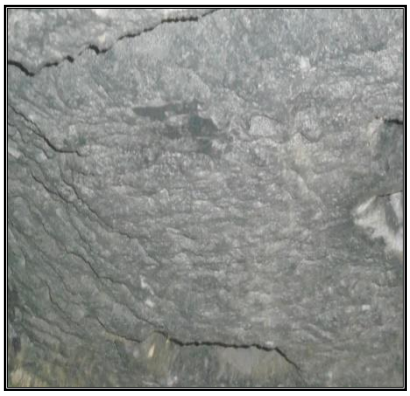
[2] - فخري موسى نخلة وآخرين – الجيولوجيا الهندسية – الطبعة السادسة – دار المعارف - ص 115.

ب- الفوالق Faults:

تحدث الفوالق نتيجة حركة كتلتي الصخور على جانبي الكسر حركة نسبية في الاتجاه الرأسي أو الافقي أو في الاتجاهين معاً، وقد تكون حركة الصخر محدودة نسبياً بحيث لا يمكن رؤيتها وقد تكون الحركة كبيرة جداً لتشمل عدة كيلومترات من الغلاف الصخري للأرض.

جـ- الطيات Folds:

تتكون الطيات في الصخور نتيجة تأثير الاجهادات العمودية والقاصة. [3]



شكل (2) تأثيرات الطيات علي الصخور

شكل (3) الشروخ نتيجة الأجهادات العمودية

أهمية دراسة الفوالق والطيات:

يعتبر وجود الفواصل والطيات في منطقة ما من أهم الأسباب التي تستدعي اتخاذ الاحتياطات والتدابير لتجنب الآثار الضارة لتلك الظواهر الطبيعية، حيث تتخلف عن الفوالق مواد ناعمة تؤدي إلى تقليل مقاومة الصخور للأجهادات مما يعرض المنشآت المقامة في تلك المنطقة بصفة عامة لخطر التصدع والانهيار، كما تعتبر الطيات المقعرة منها بصفة خاصة من أكثر أنواع التراكيب الصخرية قدرة على تجميع المياة الجوفية والتي تعد من أقوى العوامل التي تسبب تلف المنشآت الأثرية[4] .

ويجب الأخذ في الاعتبار أنه من الضروري من الناحية الترميمية معرفة المواد المعدنية المكونة للصخور وظروف نشأة هذه الصخور، ومعرفة هذه الأمور شئ ضروري وأساسي عند أختيار المواد في عملية الترميم والصيانة، إذ يترتب على أختلاف طبيعة المواد المستخدمة مع طبيعة الحجر أختلاف في المقاومة مما يؤدي إلى تلف الأعمال الفنية، كما تعتمد مقاومة الأحجار لعوامل التلف المختلفة بشكل كبير على الخواص الفيزيائية والميكانيكية من حيث التكوينات المعدنية والنسيج الصخري وطبيعتها في مقاومة الظروف والمؤثرات المختلفة المحيطة بالأثر.

عوامل تلف وتفتت الأحجار:

وتتعرض عادة المنشآت إلى العديد من عوامل التلف، التي تؤثر فيها بالسلب تبعاً لما يحيط بها من ظروف ومؤثرات في نطاق البيئة المحيطة وما أستحدثه الانسان من تطور أثر على البيئة من حوله ، فالبيئة المحيطة تشمل الظروف المناخية والجيولوجية والطبيعية والبيولوجية والكيميائية والنباتية والحيوانية [5]، وإيضاً الإهمال في صيانة الآثار أو عرضها في بيئة غير صالحة مما يعرضها للتلف أو تخزينها في جو غير ملائم أو عرضها بطريقة خاطئة مما يعرضها

للكسر والحرائق، الحروب ، والعلاج والترميم الخاطئ[6]. ومن أبرز المشكلات التي تتعرض لها المنشآت وتسبب تلفها هي :

أ- عوامل تلف ذات طبيعة فيزيوكيميائية :

وتشمل هذه العوامل الرطوبة Moisture والتغيرات التي تحدث في درجة الحرارة وتأثير الأملاح والرياح والتلوث الجوي Pollution ،حيث يختلف تأثير هذه العوامل على الاحجار تبعاً للمواد المعدنية المكونة للصخور وظروف نشأتها والخواص الفيزيائية والميكانيكية لتكوينات المعدنية والنسيج الصخري وطبيعة.

أولاً - الرطوبة Moisture:

تعتبر الرطوبة من أخطر عوامل التلف ، نظراً لكونها تمثل الوسيط لمعظم عوامل التلف المختلفة [7]، هذا إلى جانب دورها كعامل هدم فردي ويرجع ذلك للعديد من الأسباب أهمها التركيب الجزيئي للماء والتركيب الكيميائي لمياة الأمطار يضاف إلى ذلك وفرة المياة في الطبيعة [8] ، ومصادرها المياة الجوفية – المياة الأرضية – الأمطار والسيول – الرطوبة النسبية أو مياة التكثف.

---

[3] - مروان عبد الله حسين- ترميم وصيانة المنحوتات الحجرية في بعض العمائر المصرية القديمة "بحث في النشأة والتطور"- رسالة ماجستير 2004- كلية الفنون التطبيقية- قسم النحت والتشكيل المعماري والترميم- ص 193.

[4] - فخري موسى نخلة وآخرين – الجيولوجيا الهندسية – الطبعة السادسة – دار المعارف – ص 125:126.

[5]- عفاف عمر الاتربي – (2003) – تأثير الترميم على الأشكال النحتة من الناحية الجمالية قديماً وحديثاً في مصر – رسالة دكتوراة غير منشورة – قسم النحت – كلية الفنون الجميلة – جامعة حلوان – ص 119.

[6] - عفاف عمر الأتربي – النحت المصري القديم ومدارس الترميم المختلفة – رسالة ماجستير 1997– جامعة حلوان – كلية الفنون الجميلة – قسم النحت – ص 177:178.

ويؤدي الارتفاع في درجة الرطوبة النسبية داخل الحجر إلى إذابة الأملاح داخلها وبالتالي تزهرها وتبلورها على سطح الحجر [9]، كما يؤدي إرتفاعها إلى إذابة المواد الرابطة لحبيبات الأحجار [10]، أما إنخفاض الرطوبة النسبية يؤدي إلى تزهر وتبلور الأملاح نتيجة للأنخفاض الكبير في الرطوبة النسبية إلى معدلات شبه ثابتة داخل الحجر وفي هذة الحالة تكون أسطح الاحجار منطقة جذب لمحاليل الأملاح ، وعندما تجف المحاليل الملحية بالبخر تتبلورالأملاح وتحدث ضغوطاً موضعية هائلة تؤدي إلى تفتت السطوح الحجرية وتشوهها [11] ، كما قد يحتوي الماء أو الرطوبة الموجودة في التربة أو في البيئة المحيطة على كائنات حية دقيقة مثل الفطريات والبكتيريا والأشنة التي تفرز أحماضاً لتكوين الأملاح الضارة المسببة للتلف [12].

وتعتبر الأمطار عاملاً مؤثراً على الأحجار فغالباً ما تسقط قطرات المطر عمودية ، ولكن سرعة الرياح وشدتها تؤثر على رخات المطر ، مما يجعلها تسقط مائلة وهذا يؤدي إلى تأثيرها على السطح الخارجي للمنحوتات الحجرية مما يتولد عنه طاقة حركية وإذا أستمرت الأمطار لمدة طويلة فإنها تؤدي إلى تلف حبيبات السطح ونزحها ، ومن الممكن أن تتغلغل مياة الأمطار في جسم المبني الحجري أو التمثال مما يؤدي إلى ذوبان الأملاح إن كانت متواجدة في خامة المبني أو التمثال وهجرة المحلول الملحي وتبلور الأملاح على السطح ، وقد يؤدي تكرار تلك العملية من أمطار ورياح وتغلغل ثم جفاف وحرارة إلى فقد متانة مادة العمل الحجري ، وقوى الترابط ، وظهور الشروخ بها أكثر [13].

تزيد الأمطار تلفاً إذا كانت بالقرب من المناطق الصناعية والتي ينتشر بها غاز كبريتيد الهيدروجين وغاز ثاني أكسيد الكبريت مما يؤدي إلى تحولها إلى أمطار حمضية [14] ، كما يعتبر مياة التكثف مصدر للرطوبة حيث تحدث هذه الظاهرة عندما تكون درجة الحرارة للأسطح أقل من نقطة الندى Dew point للهواء المحيط بالأحجار حيث يتكاثف بخار الماء في هذة الحالة على هيئة قطرات من الماء على الأسطح ويلعب هذا الماء دوراً هاماً كمذيب للغازات الملوثة الموجودة في الهواء والمترسبة على أسطح الأحجار كما تعمل مياة التكثيف عندما تتوغل داخل أسطح الأحجار على إذابة الأملاح القابلة للذوبان وخلال عملية البخر تتحرك هذه الأملاح نحو السطح لتحدث عملية إعادة تبلورها Re–Crystallization أسفل أسطح الأحجار مباشرة أو تتزهر الأملاح على السطح مما يؤدي إلى نشأة ضغوط موضعية وإجهادات تؤدي إلى تفكك وتفتت حبيبات الأحجار [15].

شكل (4) تأثير الرطوبة علي المعبد الجنائزي لسيتي الأول بالبر الغربي بالأقصر

ثانياً- التغير في درجات الحرارة :

أختلاف درجات الحرارة يحدث ضغوطاً في داخل الحجر ذاته وذلك لأنها تتمدد بالحرارة وتنكمش بالبرودة مما ينتج عنه تغير في الأبعاد أو تشوه شكلي وربما تحدث شروخ[16] ، كما أن الأجزاء المعرضة للشمس تصل إليها درجات حرارة أعلى من الأجزاء الموجودة في الظل مما يسبب تشوهات وكسور حتمية [17] ، وأختلاف درجات الحرارة مرتبط بأختلاف درجة الرطوبة النسبية مما يتسبب في تراكم الأملاح على السطح نفسه في النهاية وعندما تنخفض درجات الحرارة جداً فأن الماء الموجود داخل الحجر يتجمد ويزيد بمقدار 10% تقريباً من حجمه ويسبب أيضاً في هذه الحالة كسراً تختلف طبيعته تبعاً لنوع الصخر وكمية الماء المتجمد [18].

---

[7]- حسين محمد علي- (2002) - أسس ترميم الآثار والمقتنيات الفنية - دار الكتب المصرية – القاهرة – ص 132.

[8]- عفاف عمر الاتربي – (2003) – تأثير الترميم على الأشكال النحتة من الناحية الجمالية قديماً وحديثاً في مصر – رسالة دكتوراة غير منشورة – قسم النحت – كلية الفنون الجميلة – جامعة حلوان – ص 50.

[9]- حسين محمد علي- (2002) - أسس ترميم الآثار والمقتنيات الفنية - دار الكتب المصرية – القاهرة – ص 132.

[10]- خالد فؤاد بسيوني – (2000) - تقنيات ترميم تماثيل العصر البطلمي والروماني الحجرية بالأسكندرية – رسالة ماجستير غير منشورة – قسم النحت – كلية الفنون الجميلة - جامعة الاسكندرية - ص 57 .

[11]- إبراهيم عبد القادر حسن – (1978) – وسائل وأساليب ترميم وصيانة الآثار ومقتنيات المتاحف – مطبوعات جامعة الرياض - ص 266 .

[12]- محمد كمال خلاف – محاضرات عن صيانة وترميم الآثار غير العضوية أحجار-
معادن- خزف –زجاج – لمرحلة تمهيدي ماجستير – شعبة ترميم نحت 2009 كلية الفنون الجميلة جامعة الأسكندرية - ص 17.

[13]- عفاف عمر الاتربي – (2003) – تأثير الترميم على الأشكال النحتة من الناحية الجمالية قديماً وحديثاً في مصر – رسالة دكتوراة غير منشورة – قسم النحت – كلية الفنون الجميلة – جامعة حلوان – ص 26 - 27.

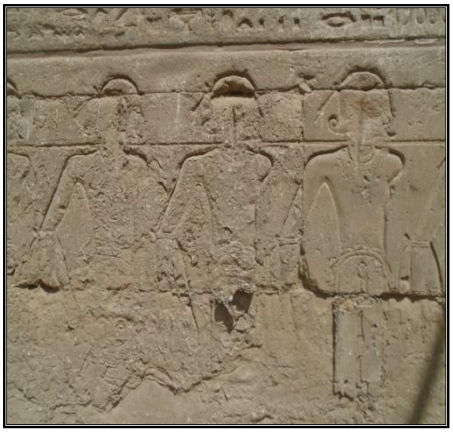
[14]- حسين محمد علي- (2002) - أسس ترميم الآثار والمقتنيات الفنية - دار الكتب المصرية – القاهرة – ص 133.

[15]- محمد كمال خلاف – محاضرات عن صيانة وترميم الآثار غير العضوية أحجار-
معادن- خزف –زجاج – لمرحلة تمهيدي ماجستير – شعبة ترميم نحت 2009 كلية
الفنون الجميلة جامعة الأسكندرية - ص 16-17.

[16]- خالد فؤاد بسيوني – (2000) - تقنيات ترميم تماثيل العصر البطلمي والروماني الحجرية بالأسكندرية – رسالة ماجستير غير منشورة – قسم النحت – كلية الفنون الجميلة - جامعة الاسكندرية - ص 54 .

[17]- محمد فهمي عبد الوهاب – (1978) – دراسات نظرية وعملية في حقل الفنون الأثرية وطرق ومواد الترميم الحديثة – هيئة الآثار المصرية - القاهرة – ص 529.

[18]- حسين محمد علي- (2002) - أسس ترميم الآثار والمقتنيات الفنية - دار الكتب المصرية – القاهرة – ص 133.



شكل (5) تأثير التغير في درجات الحرارة

ثالثاً - الرياح والعواصف :

تعتبر عامل مدمر على الأعمال المشيدة في المناطق المفتوحة لما تسببه من نحر وهدم لتلك الأعمال الفنية ، ويزداد تأثير الرياح والعواصف ضراوة إذا مرت على منطقة رملية قبل أصطدامها بالعمل الفني حيث تصبح في هذة الحالة مثل مناشير متحركة [19] خاصة إذا ما أصطدمت بها بسرعة عالية وكانت صلادة الأحجار منخضة إلى حد ما مثل الأحجار الجيرية ، وتؤثر حركة الهواء الناتجة عن الرياح في سرعة حدوث عملية البخر مما يؤدي إلى تبلور الأملاح في البيئة الداخلية بين تكوينات الأحجار حيث لا تستطيع الأملاح في هذه الحالة الأتجاه نحو الخارج والتزهر على الأسطح وبذلك تنشأ ضغوطاً وإجهادات داخلية تؤدي إلى تلف العمل الفني [20]

شكل (6) تأثير الرياح علي جدران منزل الست وسيلة

رابعاً - الزلازل :

تعتبر الزلازل من أكثر الظواهر الطبيعية تدميراً ، وبالرغم من أنها لا تستمر أكثر من ثوان معدودة ، إلا أن الطاقة الناتجة عنها تعادل ملايين الأطنان من أقوى المتفجرات.. ويرجع التأثير المدمر إلى الذبذبات المنبعثة من الهزة ، وبالرغم من أن الزلازل لها أحزمة معروفة ، بأماكن ومناطق بالكرة الأرضية ، الا أن القيام بالتجارب النووية في المحيطات وتحت الأرض والصحاري زاد من أحزمة الزلازل [21].

شكل (7) تأثير زلزال 1992 علي المباني الأثرية

شكل (8) تأثير زلزال 1992 علي المباني الأثرية

خامساً - التلوث الجوي :

يعرف العلماء تلوث الهواء بأنه (وجود أي مواد صلبة أو سائلة أو غازية في الهواء بكميات تؤدي إلى وقوع أضرار فسيولوجية أو أقتصادية أو الأثنين معاً ، أو تؤدي إلى التأثير في طبيعة الأشياء وفي مظهرها وخصائصها الفيزيائية والكيميائية) [22].

وتتمثل تلك الملوثات في ازدياد نسبة الغازات الضارة والسناج و الأتربة العالقة في الهواء .

ومن المعروف أن التلوث الجوي في الأجواء المحيطة بالأحجار الأثرية يكون ذو أثر متلف وخاصة عند توافر عوامل آخرى من أهمها الرطوبة الجوية التي تعمل على أحكام دائرة التلف حول هذه الأحجار وذلك عن طريق إذابة الغازات الجوية بمياة الأمطار وسقوطها على أسطح الأحجار بما تحمله على جدرانها في صورة أمطار حمضية Acid Rain.

وحتى يمكننا تقليل تلوث الهواء فإنه يجب معرفة كيفية تكوين هذة الملوثات ونوعيتها وحجمها ومدى خطورتها وكيفية أنتشارها وطريقة تفاعلها مع بعضها والعوامل التي تؤثر فيها بالزيادة أو النقصان [23].

وتتمثل تلك الملوثات في :

---

[19]- حسين محمد علي- (2002) - أسس ترميم الآثار والمقتنيات الفنية - دار الكتب المصرية – القاهرة – ص 199.

[20]- محمد كمال خلاف – محاضرات عن صيانة وترميم الآثار غير العضوية أحجار- معادن- خزف –زجاج – لمرحلة تمهيدي ماجستير – شعبة ترميم نحت 2009 كلية الفنون الجميلة جامعة الأسكندرية - ص 18.

[21] - عفاف الاتربي – تأثير الترميم على الأشكال النحتية من الناحية الجمالية قديماً وحديثاً في مصر – رسالة دكتوراه 2003 – جامعة حلوان- كلية الفنون الجميلة- قسم النحت- ص 56.

[22]- محمد عبد القادر الفقي - 1999 – البيئة مشاكلها وقضاياها وحمايتها من التلوث – الهيئة المصرية العامة للكتاب – ص 34 - 37.

[23]- حسين محمد علي- (2002) - أسس ترميم الآثار والمقتنيات الفنية - دار الكتب المصرية – القاهرة – ص 134.

شكل (9) تدهور حال واجهات القاهرة القديمة نتيجة للتلوث الجوي

أ- الملوثات الغازية Air pollution::

1-ثاني أكسيد الكبريت SO_2. 2- ثاني أكسيد الكربون CO_2.
3-أكاسيد النيتروجين NO_x. 4- كلوريد الهيدروجين HCl.
5 - فلوريد الهيدروجين HF 6 - الأمونيا NH_4. [24]

ب - الجزيئات المعلقة Aerosols : وتنقسم هذه الملوثات طبقاً لمصدرها إلى :

1- جزيئات طبيعية.
2- 2- جزيئات صناعية

سادساً - الضوء : وهو الطاقة الإشعاعية للموجات الضوئية ويتكون الضوء من ثلاث أنواع من الأشعة:

1- الأشعة المرئية 2- الأشعة تحت الحمراء 3- الأشعة فوق البنفسجية .

ويؤثر الضوء بالتلف على المباني والمنحوتات الأثرية ، بما يحتوي من الأشعاعات المختلفة ، وذلك تبعاً لنوع الإضاءة ومصدرها وشدتها وزمن تعريض الأثر لذلك الضوء وكميته، ويؤدي تعرض الآثار المستمر للضوء إلى أنواع مختلفة من التلف الضوئي [25]، والجدير بالذكر أن الضوء في الهواء الجوي يقوم بدور العامل المساعد والمنشط للتفاعلات الكيميائية التي يسببها عنصر الأكسجين أكثر العناصر الغازية التي تتفاعل مع مركبات المواد الأثرية تاركاً عليها طبقة من الأكاسيد والذي يعرف بالتأكسد الضوئي [26] وكما يؤدي الضوء إلى زيادة نشاط ونمو بعض الكائنات الحية الدقيقة فمعظمها لا ينمو إلا في وجود الضوء [27] وكذلك تؤدي الأشعة فوق البنفسجية دور الوسيط في بعض التفاعلات الكيميائية وتأثيرها على المباني الحجرية الأثرية مما يؤدي إلى تغيرات هامة ومنها على سبيل المثال تغير اللون.

ويختلف مقدار الضرر الذي يحدثه الضوء بالمباني الأثرية بأختلاف المصدر الذي ينبعث منه ذلك الضوء فضوء الشمس يحتوي على الأشعاعات الضوئية بمختلف الأطوال الموجية المرئية وغير المرئية، ويحتوي الضوء المنبعث من مصابيح الفلوروسنت على نسبة كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية ونسبة ضئيلة من الأشعة تحت الحمراء بالإضافة إلى الضوء المرئي وأما مصباح التنجستين العادي فيحتوي على نسبة كبيرة من الأشعة تحت الحمراء وهي مصدر الحرارة فيه ، كما يحتوي على نسبة ضئيلة من الأشعة فوق البنفسجية وإن من بين هذه المصادر الضوئية يكون عنصر الأشعة فوق البنفسجية أكثرها خطراً في إتلاف التحف الأثرية لأنها تكون طاقة منشطة للتفاعلات الكيميائية الضوئية المسببه لتآكل مادة الأثر أو تغير لونها أما الأشعة تحت الحمراء على الرغم من أنها أكبر مناطق الطيف الضوئي غير المرئية إلا أن تأثيرها على التحف الأثرية محدود لأنها ذات موجات طويلة بطيئة ليست قوية لإحداث تفاعلات كيميائية ضوئية في تركيبة ولون التحف الأثرية ومصدر هذة الأشعة هو مصابيح التنجستين الوهاجة [28] تؤثر الأشعة تحت الحمراء في رفع درجة حرارة الجو المحيط بالأثر بما تحتوية من طاقة حرارية عالية [29]، مما يسبب ضرراً للتحف الأثرية يفوق الضرر الذي تسببه الأشعة فوق البنفسجية إذا لم تتخذ الأحتياطات الواجبة. ويعتمد تأثير الضوء على المادة على درجة حساسية المادة للضوء ونوعية الإضاءة وشدتها كما أن هناك معايير دولية للتحكم في مستوى شدة الضوء داخل المتاحف وهي 300 لوكس للتحف ذات التأثير المحدود للضوء، 50 لوكس للتحف متوسطة التأثير بالضوء، 50 لوكس للتحف شديدة التأثر بالضوء. [30]

الفحوص

وحيث أن جدران المباني الأثرية مثل المعابد والمقابر والمساجد التاريخية والكنائس تتأثر بعوامل تلف تؤثر علي مقاومة الكتل الحجرية وتحملها وقدرتها علي البقاء في مواجهة الزمن ،و حتي لا تتفاقم حاله تلك المباني فإنه لابد من اتخاذ إجراءات الصيانة

---

[24] - عفاف الاتربي – تأثير الترميم على الأشكال النحتية من الناحية الجمالية قديماً وحديثاً في مصر – رسالة دكتوراه 2003 – جامعة حلوان- كلية الفنون الجميلة- قسم النحت- ص 20.

[25] - عفاف الاتربي – تأثير الترميم على الأشكال النحتية من الناحية الجمالية قديماً وحديثاً في مصر – رسالة دكتوراه 2003 – جامعة حلوان- كلية الفنون الجميلة- قسم النحت- ص 61.

[26] - أحمد إبراهيم عطية، م. عبد الحميد الكفافي- المدخل في صيانة وترميم الآثار – الطبعة الأولى- رقم الايداع 57102 / 2005 م- دار محسن للطباعة- ص 236:233.

[27]- حسين محمد علي – محاضرات عن تلف الآثار غير العضوية أحجار- معادن- خزف –زجاج – لمرحلة تمهيدي ماجستير – شعبة ترميم نحت 2009 كلية الفنون الجميلة جامعة الأسكندرية .

[28] - أحمد إبراهيم عطية، م. عبد الحميد الكفافي- المدخل في صيانة وترميم الآثار – الطبعة الأولى- رقم الايداع 57102 / 2005 م- دار محسن للطباعة- ص 236:233.

[29] - عفاف الاتربي – تأثير الترميم على الأشكال النحتة من الناحية الجمالية قديماً وحديثاً في مصر – رسالة دكتوراة 2003 – جامعة حلوان- كلية الفنون الجميلة- قسم النحت- ص 61.

[30] - أحمد إبراهيم عطية، م. عبد الحميد الكفافي- المدخل في صيانة وترميم الآثار – الطبعة الأولى- رقم الايداع 57102 / 2005 م- دار محسن للطباعة- ص 236:233.

الفورية لها ، و قبل أن نتحدث عن علاج الأحجار لابد أولا من القيام بالعديد من الفحوص والتحاليل ، ومنها إجراء فحص شامل للجدار الحامل و قياس مدي مظاهر التلف الموجودة به من عدمه ، وهذا الفحص يستلزم إجراء نوعين من الفحص :

أولا - الفحص الظاهري : وذلك لمعرفة ما إذا كان هناك طبقة ملحية تكونت علي أسطح تلك الأحجار أو في بعض أجزاءها .

ثانيا – فحص الجدار الحامل من الداخل: أي فحص الجدار من داخل الحجر نفسة وهذا الإجراء يتم في حال ظهور الأملاح علي سطح الحجر الجداريه ويمكن ملاحظة التلف الداخلي للحجر من خلال الفحص الظاهري ، بمعني : أنه كلما زادت الطبقة الملحية علي السطح الخارجي للجدار أو زاد سمكها بشكل كبير فهناك إحتمال أكيد لتدهور حالة الحجر من الداخل ، و تتكون هذه الطبقة الملحية علي الأسطح في حال إرتفاع منسوب المياة تحت السطحية والتي غالبا ماتتكون نتيجة لتهالك شبكات الصرف الصحي ، وهذه هي أشد الأحوال خطورة علي الأثر لأن مياة الصرف الصحي تحتوي علي نسب عالية من الأملاح المختلفة ، و نتيجة لارتفاع المياه تحت السطحية الي مستوي قريب من أساسات المبني فإنها ترتفع في الجدار سواء كان أملس او حامل للنقوش أو الرسومات ، تكون بالطبع محملة بالاملاح الذائبة في الماء..

ونتيجة لتعرض السطح الخارجي للحراره نهارا أو أي تيارات هوائية فإنه يحدث بخر للمياة التي تترك البلورات الملحية في الفراغات البينية للحجر والتي تقوم بدورها بغلق المسام التي يتنفس منها الحجر وأيضا تترك طبقة ملحية علي السطح الخارجي وما علية من ألوان فيما يعرف بخاصية تزهر الأملاح ،وبتكرار عملية صعود المياه ثم البخر علي التوالي فإنها تتسبب في :

1- عملية خلخلة لجزيئات الحجر

نتيجة للترسبات الملحية في الجزيئات المكونة للحجر وبالتالي تقوم بالضغط علي جدران الخلايا البلورية فيحدث انهيار شبكي يحول الحجر إلي بودرة فتراه من الخارج متماسك ولكنه حقيقة مظهر خادع حيث انه مع اي تلامس لسطح الحجر تنهار القشرة الخارجية وتسقط .

2- زيادة تركيز البلورات الملحية

ويتم ذلك بزيادة تركيز البلورات الملحية بصورة كثيفة علي سطح الحجر أعلي القشرة الخارجية مما يؤدي إلي التصاق الأملاح الشديد لهذه الطبقة.–مما يؤدي الي تدهور حالة الجدار الحامل.

الخواص الميكانيكية للصخور: Mechanical properties of rocks 1– مقاومة التحمل الميكانيكي Resistance to load and stresses: تعرف هذه الخاصية بمقدرة الحجر على مقاومة الأحمال والضغوط الواقعة عليه في الاتجاهات المختلفة قبل أن يشقق الحجر أو يتحول إلى حبيبات مفروطة ، وتقدر بعدد الكيلوجرامات على الـ سم المربع. ونجد أنه نتيجة لطبيعة التركيز الحبيبي المتداخل للصخور النارية وبعض الصخور المتحولة التي لا يظهر فيها التركيب الصفائحي فإن قوة التحمل لهذه الصخور تصل إلى أعلى قيمة غير أن القدرة على تحمل الضغوط والأحمال تتفاوت من صخر إلى آخر وتصل إلى أدنى مستوى لها في الصخور الطفلية.[31]

1– خواص القوة: تتعرض الصخور بشكل عام إلى ثلاثة أنواع من الاجهادات وهي [32]:

أ– إجهاد الضغط. ب – إجهاد الشد. ج– إجهاد القص.

وتختلف الصخور من حيث قدرتها على تحمل الإجهادات التي تتعرض لها وذلك قبل أن تصل إلى مرحلة التصدع، و القوى الثلاثة المؤثرة في بناء وهيئة مادة الصخر.

أ– قوة تحمل الصخور للإجهادات الضغط:

وتعرف هذه القوة بأنها المقدار اللازم من الإجهاد لحدوث تكسير في العينة تحت تأثير ضغط (ثقل) محوري وهذه الخاصية تعكس قدرة الحجر على مقاومة الأحمال والضغوط الواقعة عليها وذلك قبل أن يتهشم و يتحول إلى حبيبات منفصلة ، وتقدر المقاومة بـ كجم/سم² [33]، وبفرض أن مساحة مقطع عينة من الصخر 10سم²، وتقع تحت ضغط ناتج عن حمل وزنة 200كجم، فإنه ممكن من المعادلة الرياضية التالية حساب قوة تحمل عينة الصخر لإجهاد الضغط:

$$\text{Compression stress} = \frac{\text{Compression weight (load)}}{\text{Area}}$$

From the previous example

$$\text{Compression stress} = \frac{200}{10} = 20 \text{ Kg / Cm}^2$$

وبمعنى آخر فإن العينة السابقة من الصخر تتحمل ضغطاً على السنتيمتر المربع يبلغ 20 كيلو جرام، وتتوقف قدرة تحمل أنواع الصخور المختلفة للإجهادات الناتجة عن الضغط على عدة عوامل أهمها التركيب المعدني لمادة الصخر وحجم حبيبات المعادن

---

[31] - محمد عبد الهادي محمد- دراسات علمية في ترميم وصيانة الآثار غير العضوية- رقم الأيداع 11702/ 97- الترقيم الدولي- I.S.B.N 977- 5789- 65-6- القاهرة- مكتبة زهراء الشرق- ص89.

[32] - فخري موسى نخلة وآخرين – الجيولوجيا الهندسية – الطبعة السادسة – دار المعارف - ص 102.

[33] - السيد محمود البنا – دراسة ترميم وصيانة مدينة صنعاء القديمة (في العصر العثماني) – رسالة دكتوراه 1993 – قسم ترميم الآثار – كلية الآثار – جامعة القاهرة – ص 131.

الداخلة في تكوينه حيث ثبت أن قوة تحمل الصخر لأجهادات الضغط تزداد كلما كان حجم الحبيبات دقيقاً" [34]، كما تبين أيضاً من الدراسة المجهرية لبعض عينات الصخور النارية والمتحولة – والتي يبدو الترابط فيها قوي بين حبيباتها المعدنية– أنها تكون أكثر قدرة على تحمل إجهادات الضغط من عينات أخرى من الصخور لا يظهر فيها هذا الترابط القوي، وبالنسبة للصخور الرسوبية فإن قدرتها على تحمل إجهادات الضغط تزداد عندما تكون المادة الرابطة من الكوارتز عنها عندما تكون المادة الرابطة من الطمي.، هذا وتزداد قوة تحمل الصخور بصفة عامة لاجهادات الضغط إذا كان الضغط يؤثر في إتجاه رأسي وتقل هذه القوة في الاتجاهات الأخرى، كما تقل أيضاً هذه القوة بزيادة درجة تشبع الصخر بالماء.

ب_ قوة تحمل الصخور لإجهادات الشد:

تعتبر قوة تحمل الصخور للشد ضعيفة وعلى سبيل المثال فإن قوة تحمل الجرانيت للشد لا تتجاوز ¼ من قوة تحمله للضغط حيث أنها لا تزيد عن 70 كجم/سم² في حالة الشد أما الرخام فقوة تحمله للشد تتراوح بين 550 كجم/سم² و 65 كجم/سم² وتتناقص هذة القوة فتصبح حوالي 35 كجم/سم² بالنسبة للحجر الجيري [35] ، وفي الصخور الرسوبية يتحمل الحجر الرملي لإجهاد ضغط يبلغ 200كجم/سم²، إلا أنه يتحمل إجهاد شد قدره 70 : 140 كجم/سم² فقط، [36] ويؤدي إجهاد الشد المؤثر على الصخر إلى إحداث تشققات وتصدعات على مادة الصخر، ومع ذلك فإن قوة تحمل الصخور لأجهاد الشد ضعيفة جداً إذا ما قورنت بقوة تحملها لأجهاد الضغط

ويمكن إيجاد علاقة رياضية تربط بين كل من قوة تحمل الصخر لاجهاد الضغط وقوة تحمله لاجهاد الشد على النحو التالي : [37]

Compression stress = K + Tension stress

K = a constant value between 4:10

د_ قوة تحمل الصخور لإجهادات القص:

ينتج عن إجهادات القص حركة نسبية للصخور في الاتجاه المؤثر للاجهاد وتؤدي هذه الحركة لأنهيار مادة الصخر، ولتعيين العلاقة الرياضية التي تحدد قوة تحمل الصخر لاجهاد الشد فإنه إذا تصورنا مكعبين من صخر ما أحدهما مستقر فوق الآخر، فإذا وقع المكعب العلوي تحت تأثير إجهادين أحدهما رأسي ، والآخر مماسي فإن المكعب العلوي يصبح على وشك الأنزلاق في حالة تساوي الاجهاد القاص مع الاجهاد العمودي مضروباً في معامل أحتكاك الصخر **س** ويمكن التعبير عنه بالصورة الرياضية التالية [38] :

Tangential stress = Vertical stress × S

S ⟹ Friction coefficient of rock

For rocks: -

Tangential stress = Vertical stress × tan Θ +K

Θ ⟹ Shear stress angle

K ⟹ Cohesion force of rock grain

2- خواص المرونة:

إذا فرضنا وجود عينة أسطوانية الشكل من صخر ما واقعة تحت ضغط مقداره **ص** ويؤثر في الاتجاه العمودي، وكان هذا الضغط يقل عن القدر اللازم لتكسيرتلك العينة، فإن الضغط المؤثر في الاتجاه العمودي يؤدي إلى تقليل طول العينة ، كما يزيد من قطره، وإذا زال تأثير ذلك الضغط الواقع على العينة ثم عادت إلى وضعها الأصلي، فإنها تخضع لقانون **هوك** والذي يقرر أن مقدار التغيير النسبي –الانفعال– في طول العينة يتناسب طردياً مع مقدار الضغط المسبب لهذا الانفعال، والذي يمكن صياغته في العلاقة الرياضية التالية :

$$\text{Value of elasticity } E = \frac{\text{vertical stress}}{\text{Strain}} = Kg / cm^2$$

$$\text{Strain} = \frac{\Delta}{L}$$

وغالباً ما تتشابه الصخور المرنة في خواصها، إلا أن معظم الصخور الموجودة في خواص مرونتها في اتجهات الضغط المختلفة، وبالتالي يتغير معها معامل مرونتها من إتجاه لآخر [39]، حيث يقل مقدار معامل المرونة في الصخور الواقعة تحت ضغط مؤثر في

---

[34] - مروان عبد الله حسين- ترميم وصيانة المنحوتات الحجرية في بعض العمائر المصرية القديمة "بحث في النشأة والتطور"- رسالة ماجستير 2004- كلية الفنون التطبيقية- قسم النحت والتشكيل المعماري والترميم- ص 187.

[35] - د.محمد كمال خلاف – محاضرات عن صيانة وترميم الآثار غير العضوية أحجار- معادن- خزف – لمرحلة تمهيدي ماجس- زجاج –لمرحلة تمهيدي ماجستير – شعبة ترميم نحت 2009 كلية الفنون الجميلة جامعة الأسكندرية.- ص 16.

[36] - مروان عبد الله حسين- ترميم وصيانة المنحوتات الحجرية في بعض العمائر المصرية القديمة "بحث في النشأة والتطور"- رسالة ماجستير 2004- كلية الفنون التطبيقية- قسم النحت والتشكيل المعماري والترميم- ص 189.

[37] - فخري موسى نخلة وآخرين – الجيولوجيا الهندسية – الطبعة السادسة – دار المعارف - ص 104.

[38] - فخري موسى نخلة وآخرين – الجيولوجيا الهندسية – الطبعة السادسة – دار المعارف - ص 106.

[39] - فخري موسى نخلة وآخرين – الجيولوجيا الهندسية – الطبعة السادسة – دار المعارف - ص 104.

إتجاه عمودي، وتزداد قيمة معامل المرونة في الاتجاهات الاخرى للضغط، وبعبارة أخرى فأن الصخور الواقعة تحت ضغط مؤثر في إتجاه عمودي يزداد تشوهها عنها في حالة تأثير الضغط في الاتجاهات الأخرى [40]

الأساليب العلمية المقترحة للعلاج

أولا : عملية تنظيف الجدران الحجرية :

تغطي الأسطح الحجرية عادة بطبقة من الأتساخات نتيجة لتعرضها لعوامل التلف البيئية والتلوث الجوي والأتربة التي تختلط بماء المطر أو رطوبة الجو لتغطي طبقة الباتينا المغلفة للحجر والتي تعطي الإنطباع الزمني والتاريخي للمبني والتي يطلق عليها Black hard crust، ولذا تأتي عملية تنظيف الحجر في مرحلة أولي من عمليات الترميم.

1- استخدام جهاز السفع بالرمال Sand Blast

وهذه التجهيزات تتم عن طريق استخدام الرمال الناعمة بعد غسلها جيدا من الأملاح والعوالق ، ثم تترك لتمام جفافها ، وقد تخلط الرمال مع برادة الحديد الناعمة وقد تستخدم برادة الحديد بمفردها وما يحدد هذا هو سمك ونوعية الطبقات المترسبة علي الحجر ،وبالطبع يراعي أثناء التنفيذ المحافظة علي لون الحجر حتي لاتبدو هناك أي بقع لونية مشوهة للجدار علي كامل المسطح ، وتتم تحديد قوة دفع الرمال بالبار ولكن تتوقف قوة الدفع علي حالة الحجر نفسة ، ويراعي طبعا التجهيزات الفنية حول المبني لحجب الفني أثناء العمل عن ازعاج المارة لما تسببه هذه الطريق من إثارة للغبار ، كما يراعي غلق فتحات المبني جيدا لعدم تسرب الغبار الناتج عن العملية إلي داخل المبني .

شكل (13) جهاز السفع بالرمال

2- إستخدام بخار المياه Water steam

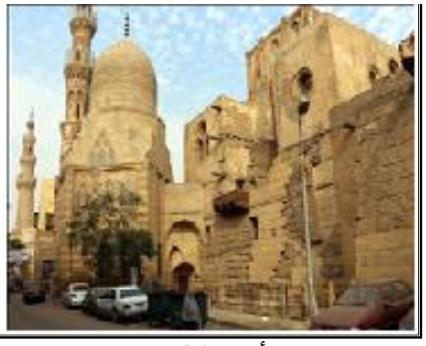
تعتمد هذه الطريقة علي قوة دفع المياة من خلال الكومبريسور باستخدام المسدس الخاص أو الباشبوري ، وتقدر القوة المستخدمة بوحدة القياس (بار) من 2 الي 4 بار حسب نسبة العوالق وقوة التصاقها و قطر الباشبوري لتحديد اللون الأصلي للحجر وهو الذي يظهر الباتينا التي تعطي الانطباع بالتقادم الزمني ، وبالتالي قد تصلح في المباني التي تتواجد في جو جاف وبعيد عن ارتفاع منسوب المياة تحت السطحية.

شكل (14) التنظيف ببخار المياه

3- التنظيف الكيميائي لإزالة الطبقات المترسبة علي الأسطح الحجرية

المعالجات الكيميائية افضل ألا تتم علي المسطحات الكبيرة لأنها سوف تكون مكلفة إقتصاديا وتستغرق وقتا أطول في الترميم وكذلك سوف تحتاج إلي إجراء عمليات معادلة لنسبة الحموضة علي سطح الحجر ، وهذه العملية تتم بواسطة المياه وبالتالي فهي لاتصلح الا في أضيق الحدود ولا تتم إلا في الاسطح الاقل نفاذية أو إمتصاص للماء كالأسطح الرخامية مثلا . وهناك طريقة آمنة تماما تم استخدامها وأثبتت فاعلية تماما في العديد من الأثار ذات الأسطح الحجرية مثل مسجد ومدرسة أم السلطان شعبان والجامع الأزرق وتتم الطريقة بعمل كمادة من عجينة من كربوكسي ميثيل السليلوز (كمادة مالئة) ومحلول كربونات الأمونيوم ، ويتم التحكم في تركيز كربونات الامونيوم حسب الحالة وتفرد علي الاثر في صورة كمادات ،ثم يدون تاريخ الكمادة وتترك لمدة يومين ثم يتم ازالتها ميكانيكيا ، ويتم بعد إزالتها تنظيف مكانها بالماء.

[40] - مروان عبد الله حسين- ترميم وصيانة المنحوتات الحجرية في بعض العمائر المصرية القديمة "بحث في النشأة والتطور"- رسالة ماجستير 2004- كلية الفنون التطبيقية- قسم النحت والتشكيل المعماري والترميم- ص 191.



شكل (15) مسجد ومدرسة أم السلطان شعبان شكل (16) مسجد الأمير خاير بك القاهرة .

ثانيا : إزالة الأملاح:

- إذا كان هناك عيوب في تمديدات المياه أو الحدائق أو أرض زراعية مثلا وأعمال السباكه قريبة من الجدار يجب أصلاحها علي الفور .

- إذا كان هناك عيوب في اعمال تمديدات الصرف الصحي يجب التدخل و هذه هي أصعب الحالات التي يمكن أن تواجه المتخصصين .

- إزالة الطبقة الملحية من علي الجدران: وتتم هذه الطريقة علي مرحلتين :

- الإزالة الميكانيكية للأملاح من علي سطح الحجر بالوسائل والأدوات المعروفة للمتخصصين في حال وجود طبقة ملحيه خفيفة علي سطح الحجر.

- التنظيف الندي وذلك باستخدام قطعة من القطن المنداه بالماء والمسح بها علي السطح المراد تنظيفه ولمرة واحدة او مرتين.

- التنظيف الكيميائي إذ استدعي الامر لاستخدام محاليل كيميائية في حالة تكلس الأملاح والأتساخات، ويراعي اجراء اختبار تلك المحاليل أولا قبل استخدامها في التنظيف، و في حالة عدم وجود نقوش جدارية أو ألوان فإنه يمكننا استخدام الطرق الميكانيكية لإزالة الأملاح.

- تنظيف الأملاح باستخدام الكمادات وذلك بعمل كمادات من الصلصال اللدن والذي تم تخميرة قبل العمل بيوم أو يومين، وقد استخدمت هذه الطريقة بنجاح في مشروع ترميم القاهرة التاريخية بمجموعة محمد بك أبو الذهب وكذلك في مجموعة أم السلطان شعبان حيث يتم وضع طبقة بسمك 2/1 سم من الصلصال اللدن علي الجدار ويترك لمدة ثلاثة أيام (حسب درجة حرارة أو أكثر).

ثالثا - طرق تقوية الجدران الحجرية: تختلف مواد التقوية المستخدمة في الأحجار طبقا لنوع الحجر نفسه ، ففي حلة الحجر الجيري مثلا ينصح بعدم استخدام اللدائن الصناعية بتاتا ، سواء إذا كانت مركبات الإيبوكسي او غيرها كذلك عدم اللجوء إلي استخدام الجبس أو الإسمنت بأنواعه في عمليات التقوية لأنه في حالة استخدام منتجات الإيبوكسي أو الإسمنت فإن معامل الشد ومعامل التصلب يختلف عن الحجر لاختلاف معامل التمدد الحراري لكلاهما مع الحجر الجيري نفسه فيصعب إزالتها .

كما أن هذه المواد عندما تتصلب فإنها تنفصل عن الحجر بعد أن تفصل معها السطح الملتصق بها مسببة تلف للحجر في الاماكن السليمة وبالتالي علي المدي البعيد يتلف الجدار تماما .

أما الجبس فإنه يتأثر بالرطوبه وبتحول إلي أنهيدريت بفعل ذوبان املاح الكبريتات والكربونات المكونة له وبالتالي يصبح عديم الفائدة.

ولذا ينصح باستخدام إما مواد طبيعية ملائمة للحجر ولا تتأثر بالرطوبة أو إستخدام المحاليل القابلة للاسترجاع والتي يمكن اذابتها بالماء.

وفي حال الإنهيار التام او تلف أي كتلة من الحجر بشكل ملحوظ ينصح باستبدالة بأخر مستحدث من نفس نوعية الحجر ويراعي مكان الحجر من حيث الأحمال الواقعة عليه.

و يراعي في نفس التوقيت إجراء عملية الحقن لتقوية الجدار ،مع الأخذ في الإعتبار أن هناك فارق بين تقوية جدار وتقوية الحجر أو البلوك الحجري .

وكما هو معلوم فإن سمك الجدران في المباني التاريخية وخصوصا العمارة الإسلامية والقبطية تصل إلي متر أحيانا وكل هذا السمك لا يمثل كتلة حجر واحده ولكنها عباره عن كتلتين من الحجر وبينهما فراغ هذا الفراغ قد تم ملئه بكسر الحجر مع مونة القسرمل وهي تتكون من رماد الأفران والجير والرمل واختلاط الجير مع رماد الأفران يعطي قوة تماسك عالية وطبعا الرمل مادة مالئة ، ويمكن استبدال رماد الأفران ببودرة الحجر. ولذا ينصح ان يتم عملية الحقن في هذه الحالة باستخدام (بودرة الحجر أو رماد الأفران مع الرمل والجير) في صورة قوام لباني ، ويتم ذلك باستخدام الكومبريسور بعد عمل فتحات في الجدار بقطر 1 / 1،5 بوصه علي أبعاد متساوية وبارتفاع حوالي متر من الأرض ، ويراعي أن تكون الفتحات في العراميس قدر الإمكان للحفاظ علي الحجر بحالته.

ويتم الحقن علي مراحل توزع علي ايام الأسبوع حسب قدرة الجدار علي استقبال مادة الحقن مع مراعاة ترك فترة لجفاف كل مرحلة ، ثم يتم غلق الفتحات بنفس مونة القسرمل مع مراعاة الدرجة اللونية للحجر وقد استخدمت هذه الطريقة في جامع ومدرسة أم السلطان شعبان تحت إشراف أ.د/ حسين محمد علي من خلال مؤسسة الأغاخان.