مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (26) العدد (1)2004
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (26) No (1) 2004

أسباب تلف أحجار البناء في المباني الأثرية القديمة وبعض طرق الترميم

الدكتور طارق أصلان *
الدكتور بسام حويجة**
حمزة نظام***

(قبل للنشر في 2004/9/7)

□ الملخّص □

تتعرض المنشآت الأثرية كغيرها من المنشآت المدنية للاهتراء والتلف بتأثير عوامل مختلفة، إلا أن ترميم وإعادة تأهيل هذه المنشآت له مبادئ خاصة ناتجة عن خصوصية هذه المنشآت ، سواء من حيث أسلوب الإنشاء والمواد المستخدمة أو من حيث القيمة الأثرية ، والتي تفرض على العاملين في مجال الترميم الالتزام بجملةٍ من المبادئ نابعة من احترام الأصالة التاريخية للمنشأ.

ويعرض هذا البحث أسباب تلف أحجار البناء في المباني الأثرية القديمة، كما يعرض منهجا لتقييم هذا التلف ومواد المعالجة الحديثة ومعايير المعالجة الناجحة.

* أستاذ مساعد في قسم الإنشائية –كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية–سورية .
** أستاذ مساعد في قسم الإنشائية –كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية –سورية.
*** طالب ماجستير في قسم الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية–سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (26) العدد (1)2004
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (26) No (1) 2004

Reasons of Stone Decay in the Historic Building and Methods of Restoration

Dr. Tarek Aslan *
Dr. Bassam Hoyjeh**
Hamzeh Nezam***

(Accepted 7/9/2004)

□ ABSTRACT □

Historic buildings, as other civil structures, face decay and corrosion, caused by several factors. the restoration and restructure of historic buildings have certain principles derived from their particularity; concerning the structural style the materials involved, or their heritage value imposing on the workers of their field the commitment to a set of principles emerged from the respect to the historic authenticity of the buildings.

This study discusses the reasons of stone decay in the historic building, methodology to assess this decay, the recent materials used for treatment and the criteria of successful treatment.

***Teacher Assistant In The Structural Department, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia-Syria.**
****Teacher Assistant In The Structural Department, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia-Syria.**
*****M.D. Student In The Structural Department, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia -Syria.**

مقدمة :

تتعرض المباني الأثرية في أي بقعة من العالم لتأثيراتٍ ضارةٍ وعوامل تلفٍ موجودة في البيئة المحلية ،الأمر الذي يجعل مواد البناء المستخدمة في تلك المباني تدخل في تفاعلات فيزيائية وكيميائية ، ينتج عنها أشكال تخريب متفاوتة في خطورتها لا يمكن القضاء عليها تماماً. مما حدا بعالم الترميم الإيطالي **Torraca** أن يصف في أحد أبحاثه تلف المباني الأثرية بقوله هو "**عبارة عن قصة لا نهاية لها** "[1] .

أسباب تلف المباني الأثرية القديمة:

تعتمد شدة التلف على عدة اعتبارات أهمها [2] :

1. طبيعة مواد البناء المستخدمة في المباني الأثرية ومدى قدرتها على مقاومة عوامل التلف .
2. العوامل المتلفة التي تهدد تلك المباني.
3. برامج الترميم والصيانة الدورية التي يقوم بها الخبراء من أجل علاج مظاهر التلف المختلفة ومدى نجاح هذه البرامج واتباعها الأسس والقواعد العلمية.

1- عوامل التدهور والتلف(التخريب): تؤثر عوامل كثيرة على تلف أحجار البناء بأشكال متباينة ، ويمكن إدراج هذه العوامل ضمن التصنيف التالي: [3]

- عوامل فيزيائيّة (Physical Destruction): بالحرارة ؛ تغير الحرارة ؛الرطوبة ؛الأمطار ؛... الخ
- عوامل ميكانيكيّة (Mechanical Destruction): بالحت ... إلخ .
- عوامل كيميائيّة (Chemical Destruction): أحماض؛ أسس ؛ أملاح ؛مواد عضوية ؛... الخ
- عوامل حيويّة (Biological Destruction): التعفنات "بكتيريا"؛ الفطور؛ الطحالب؛ الأشنيات ؛ ...الخ
- عوامل بشريّة (Human Destruction): مثل عمليات الصيانة ومحاولات الترميم ، عمليات الإضافة والتبديل لأسباب مختلفة .

تتضح التأثيرات الخطيرة لعوامل التخريب (التلف) المختلفة أكثر بدراسة المصدر الذي جاءت منه ، أو نشأت فيه ، وأثرت من خلاله على المباني الأثرية [4].

1-1- عوامل التلف الفيزيائيّة والميكانيكيّة؛ وتسببها المتغيرات الجويّة (weathering) (الحرارة ؛ الرطوبة؛ الأمطار ؛ الرياح ... الخ):

تعتبر التغيرات المستمرة في معدلات الحرارة والرطوبة يومياً وموسمياً وسنوياً من أسباب تلف مواد البناء المختلفة ، لأن هذه التغيرات تتسبب في تلف هذه المواد بطريقة مباشرة أو تشترك مع عوامل أخرى في زيادة معدلات التلف،حيث أن ارتفاع درجات الحرارة في الوسط المحيط بالمباني الأثرية يرفع حرارة مواد البناء كالأحجار الطبيعية والصناعية (الآجر واللبن) ، مما يؤدي إلى زيادة حجم البلورات المعدنية التي تتكون منها هذه المواد. ونظراً لاختلاف عوامل التمدد الحرارية لهذه البلورات تبعاً لعناصرها وفلزاتها والمواد المكونة منها تنشأ إجهادات داخلية في مواد البناء، ومع تكرار ارتفاع الحرارة وانخفاضها تتعاقب الإجهادات الداخلية ، فتحدث تعباً في المادة يطلق عليه التلف الحراري الفيزيائي thermal physical damage الذي يتجلى في تلف الأحجار على اختلاف أنواعها وطبيعتها. فالأحجار الرسوبية مثل: (الحجر الكلسي والرملي) تنشأ بها شقوق وشروخ مختلفة العمق نتيجة

هذه الظاهرة. أما الأحجار الاندفاعية مثل:(الغرانيت والبازلت والديوريت) فإن مظاهر التلف تختلف اختلافاً بيّناً لقلة المسام والفراغات داخلها، فعندما ترتفع درجة الحرارة نهاراً في الوسط المحيط بالحجارة الاندفاعية والإستحالية في المباني الأثرية تتمدد أسطحها الخارجية ، بينما تبقى الأسطح الداخلية على حالتها دون تمدد نتيجة عدم وصول التأثير الحراري إليها. وفي الليل تنقلب الحال فتصبح الأجزاء الداخلية لتلك الأحجار في حالة تمدد، بينما الأجزاء الخارجية في حالة انكماش ، بعد أن فقدت حرارتها. ونتيجة لتعاقب هذه الظاهرة تتعرض الأحجار الاندفاعية والإستحالية للتلف الشديد حيث تنفصل منها أجزاء مختلفة الحجم ، وتتساقط حبيباتها المعدنية بصورة منفصلة أو على شكل تجمعات معدنية. وتتجلى هذه الظاهرة في الأبنية الأثرية بوضوح نظراً لطول فترة وجودها.

كما تتسبب الحرارة المرتفعة في تبخر المياه الحاملة للأملاح الذائبة التي انتقلت إلى جدران المباني الأثرية من التربة حيث ينتج عن ذلك تبلور الأملاح سواء داخل الأحجار أو على سطحها.

يتراكم تأثير الرطوبة الجوية مع تأثير الحرارة في زيادة معدلات التلف الفيزيوكيميائي لمواد البناء المختلفة. إذ أن كمية الرطوبة التي تمتصها مواد البناء تتسبب في إعادة انحلال الأملاح التي كانت متبلورة داخل مواد البناء وانتقالها إلى أماكن مختلفة كما أن هذه الرطوبة تتسبب في تلف بعض المكونات المعدنية التي تتكون منها بعض أنواع الأحجار الرسوبية مثل الحجر الكلسي والرملي الذي يحتوي على نسبة من فلزات الغضار **clay minerals** التي تتعرض للذوبان نتيجة امتصاص هذه الأحجار كمية كبيرة من الرطوبة. وبمرور الوقت تفقد هذه الأحجار نسبة كبيرة من معادن الغضار كما أن الأحجار الرطبة تكون عرضة للتلف البيولوجي لأنها تشكل وسطاً ملائماً لنمو الكائنات الحية الدقيقة من بكتيريا وطحالب وفطريات وأشنيات.

1-2- عوامل التلف الكيميائية:

يؤثر الوسط البحري على المنشآت المدنية بشكل عام ، حيث يزداد تركيز الأملاح في الوسط الهوائي لمسافة 5km تقريباً أو بالرذاذ أو بالمياه الجوفية. ويختلف أثر التخريب في المنشآت تبعاً للحرارة وتركيز الأملاح في الوسط. ويبين الجدول(1) الخواص الكيميائية لمياه البحر المتوسط قرب مرفأ اللاذقية.

جدول (1): خواص مياه البحر المتوسط في ميناء اللاذقيّة على السطح لمسافة 1300 م من المكسر [5]

الشوارد السالبة	g/ l	mval/l	mval/l %
Cl^-	27.2080	767.27	92
$SO4^{-2}$	3.1307	65.19	7.81
$HCO3^-$	0.0980	1.61	0.19
مجموعة الشوارد السالبة	30.4367	834.07	100.00

وللأمطار تأثيرات تخريبية على المباني فهي تشكل أحد المصادر الرئيسية للرطوبة داخل مواد البناء المستخدمة ، شأنها في ذلك شأن المياه الأرضية والرطوبة الجوية .غير أن تأثيرها أشد عدائية وأكثر خطورة عند انحلال بعض الغازات فيها وتشكل ما يعرف ***بالأمطار الحامضية*** فهناك أبخرة الأحماض الطبيعية مثل حمض الكربونيك أو أبخرة الأحماض الناتجة عن التلوث الجوي بالغازات الصناعية ، مثل حمض الكبريتيك وحمض النيتريك وحمض الهيدروكلوريك وكلها أحماض تتسبب في تلف الأحجار ، وخاصة الأحجار الكلسية والأحجار الرملية التي ترتبط حبيباتها بمادة كربونات الكالسيوم.

يشكل التلوث الجوي بكل أنواعه عوامل خطرة تسبب تلفاً في مواد البناء المستخدمة في المباني الأثرية. يعد غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 أخطر غازات التلوث الجوي ، حيث يتحول إلى حمض الكبريت في الأجواء الرطبة ويخرِّب الأحجار الكلسية والرخام ومواد المونة (الملاط) التي تحوي كربونات الكالسيوم ويحولها إلى كبريتات الكالسيوم (الجبس) $CaSO_4.2H_2O$. كما تتدرج أكاسيد النتروجين NOx ضمن غازات التلوث الجوي ، التي تتحول إلى حمض النتريك في وجود الوسط الرطب حيث يتفاعل مع كربونات الكالسيوم وينتج عن هذا التفاعل أملاح نترات الكالسيوم .

تتسبب مخلفات التلوث الجوي مثل الأتربة وقطرات الشحوم وحبيبات الكربون التي تترسب فوق أسطح المباني الأثرية في تشويه تلك الأسطح وتغطيتها بطبقة من المكونات السوداء.

يبين الجدول(2) تصنيف الغازات المخربة تبعاً لتراكيزها في الهواء. كما يبين الجدول(3) تصنيف عدائية الوسط تبعاً لرطوبة الهواء ونوع الغاز وتركيزه .

جدول (2):تصنيف الغازات المخربة [3]

	mg/m^3 تركيز الغاز بالهواء		
الغاز الرموز	A	B	**C**
SO2	<0.1	0.1-5	5.1-50
H2O	<0.01	0.01-0.5	0.51-5
CS2	<0.05	0.05-5	5.1-50
HF	<0.002	0.02-0.5	0.51-5
Cl2	<0.05	0.05-0.5	0.51-2
HCl	<0.05	0.05-1	1.1-10

الجدول (3): تصنيف الأوساط المخربة [3]

عدائية الوسط	رطوبة الهواء النسبية ٪	**نوعية الغازات**
1- عدائية ضعيفة جداً	أ- طقس سيئ	**بدون غازات مخربة**
	ب- =<60	**غازات مخربة نوع A**
2-عدائية ضعيفة	أ-طقس ورطوبة >75	**بدون غازات مخربة**
	ب- سيئ 61-75	**غازات مخربة نوع A**
	ج- <=60	**غازات مخربة نوع B**
3-عدائية متوسطة	أ->75	**غازات مخربة نوع A**
	ب- 61-75	**غازات مخربة نوع B**
	ج- <=60	**غازات مخربة نوع C**
4- عدائية شديدة	أ->75	**غازات مخربة نوع B**
	ب- 61-75	**غازات مخربة نوع C**

الصورة (1) توضح مدى التخريب في الحجر الرملي بتأثير غازات التلوث الجوي في البيئة المدنية (**urban environment**) والبيئة البحرية (**coastal environment**) .

صورة(1):قوس النصر – مدينة اللاذقية

يمكن أن تسبب المياه السطحية Ground Water وهي المياه التي توجد تحت سطح التربة وتتسرب إلى أساسات المباني الأثرية من التربة المجاورة وهي غير المياه الجوفية under ground water التي توجد على مسافات أعمق كما أن مكوناتها الكيميائية تختلف عن مكونات المياه الجوفية ، حيث أنها قد تكون مختلطة بمكونات مياه الصرف الصحي أو مياه القنوات.

تعتبر المياه أخطر عوامل التلف الفيزيوكيميائية التي تنجم عنها أضرار بالغة. فهي تتسبب في تلف مواد البناء حتى لو كانت نقية وخالية من الأملاح لأنها تشكل عاملاً يحفز التفاعلات الكيماوية داخل مواد البناء ولولا المياه لكانت كل العمليات فيزيائية .

نتيجة لتبخر المياه التي تتسرب إلى الحجر بواسطة الشعيرات الماصة إما عمودياً صعوداً أو نزولاً وإما من السطح إلى الداخل، تتعرض هذه المياه لعدة تغييرات كيماوية وفيزيائية، حيث تحل بعض الأملاح من الحجارة فتغير خصائصها وتراكيزها ثم تترسب هذه الأملاح في أماكن أخرى وتتبلور.

تنتقل الأملاح باتجاه سطح الصخر أثناء التبخر فتسد مسامه وعند الامتصاص ثانية تتكاثف بلورات الأملاح وتصعب عملية التبخر فتتحطم البلورات محدثة تخر يبات في القشرة نفسها وفي بعض الحالات وخاصة في المناطق الصحراوية والجبلية يتجمد الماء داخل الحجر فيؤدي إلى تحطمه.

1– 3 – التلف الحيوي(Biological Decay) :

ينشأ التلف الحيوي في الأحجار ومواد البناء المختلفة نتيجة تفاعل الكائنات الحية الدقيقة مع مادة كربونات الكالسيوم الموجودة فيها، وتخفي التجمعات العضوية فوق أسطح مواد البناء مظاهر تلف خطيرة ، إذ تتحول سطوح الأحجار تحتها إلى سطوح فاقدة لمقاومتها الميكانيكية ، وتتحول بمرور الوقت إلى طبقات هشة .

قد يتسبب النموالبيولوجي للأحياء الدقيقة من خلال تجميع ذرات الغبار والرطوبة وسطاً ملائماً لنمو النباتات الأرقى ، التي تتسبب في حدوث شروخ وشقوق تؤدي مع الزمن إلى انهيار الواجهات الحجرية، وتبين الصورة (2) شكل من أشكال النمو النباتي في قلعة صلاح الدين قرب مدينة اللاذقية .

صورة (2):قلعة صلاح الدين – ريف اللاذقية
نمو النباتات عامل أساسي في تخريب الآثار

4 – 1– الإتلاف البشري (Human Decay):

تعرضت كثير من المباني الأثرية للتلف وفقدت كثيرًا من عناصرها المعمارية والزخرفية بسبب تحويل هذه المباني إلى مساكن أو استخدامها استخدامات مختلفة: سياسية أو اجتماعية أو ثقافية أو عسكرية دون الحفاظ على طابعها الأثري وقيمتها التاريخية والفنية.

كما تعرض كثير من المباني الأثرية للتلف بسبب أعمال الصيانة والترميم الخاطئة التي أجريت دون أسس علمية ، واتباع أساليب خاطئة ، واستخدام مواد كيميائية استخداماً خاطئاً ، مثل استخدام الإسمنت في أعمال الترميم ، فهو يحتوي على نسبة عالية من الأملاح ، ويختلف في خصائصه الفيزيائية والكيميائية عن الحجار ومواد البناء المستخدمة في المباني الأثرية ، ويتحول مع الزمن إلى مادة غريبة منفصلة عن ما حولها من مواد البناء وتصبح معرضةً للسقوط .

صورة(4):تلف الحجر بتأثير أعمال الترميم غير المسؤولة

منهج لتقييم تلف الحجر في الموقع :

قبل القيام بأي من عمليات المعالجة لحجر البناء في الموقع يجب القيام بعملية تقييم وكشف بصري على الموقع ، وتوثيق الحالة الراهنة للحجر من أجل تشخيص حالته بدقة ، وصولاً لاقتراح العلاج المناسب ،من حيث المواد المستخدمة وطرق المعالجة.

يقترح برنارد سميث من(جامعة الملكة) في بلفاست [6] طريقة تقييم تتلخص باستخدام الجدول(4) المبين لتوضيح الحالة الراهنة لحجر البناء في الموقع:

الجدول (4):يلخص منهجية لتقييم تلف الحجر

مظاهر الإهتراء		الرمز	نوع الحجر	الشدة (شديد– متوسط –خفيف)	الإنتشار (غزير– شائع – نادر)	المظاهر المعمارية (حسب الرمز)	محمي / مكشوف	تقييم مظاهر اللاهتراء
ميكانيكي (فيزيائي)	بثور تقشر (<5مم) تقشر (> 5مم) تفكك حبيبي تشكيلات هندسية (خلايا نحل) تجاويف حجارة متشققة	**BL FL Sc GD Hb Cv CS**						
انحلال	ضياعات في سطح الحجر تبقيع تحفير أخاديد إعادة تبلور الأملاح	**SL St Pt SF X**						
التغيرات/ الترسبات	التزهير تزهير غير ظاهر فتات صخري تغيرات تحت القشرة قشرة متصلبة تبقيع بأكاسيد الحديد قشرة سوداء قشرة رمادية تغليف بقشرة سوداء	**Ef Cf RM AR CH IS BC GC BE**						
حيوي	**اشنيات طحالب (علىسطح الحجر) طحالب (ضمن الحجر) نمو نباتي**	**Ln EpA EnA Vn**						
الأضرار البشرية	الإصلاح الإزالة والتبديل	**Rr Rc**						

معايير المعالجة الناجحة:

بشكل عام ،إذا كانت مواد التقوية أو المواد الطاردة للماء ستطبق بشكل ملائم ،فإن هناك بعض المعايير التي يجب مراعاتها [7] :

- § يجب أن تتلاءم المعالجة المطبقة مع نوع الحجر.
- § يجب أن تملك المواد التصاقاً جيداً .
- § يجب أن تنفذ مواد المعالجة إلى عمق 25mm على الأقل أو حتى عمق الاهتراء والتخريب. (هذا بالنسبة للمواد المقوية ، أما بالنسبة للمواد الطاردة للماء ، فيجب أن تتوضع بالقرب من السطح).
- § يحب أن تكون المواد قليلة اللزوجة وتوترها السطحي معتدل ومتوسط وزنها الجزيئي منخفض ونشاطها الكيماوي منخفض خلال الساعات الأولى التي تلي تطبيقها على الحجر. سيزيد توفر هذه العوامل من اختراق المواد داخل الحجر على الرغم من أن الوزن الجزيئي المنخفض جداً قد يؤدي إلى طرد المواد إلى السطح أثناء تبخر المذيب.
- § يجب أن تكون مواد المعالجة قادرة على مقاومة وتحمل جميع مجالات تغير درجة الحرارة المحتملة ، والتي يمكن أن نصادفها في واجهات الأبنية .
- § يجب أن لا تؤدي المعالجة إلى سد مسام الحجر ، أو أن تقلل بشكل كبير معدلات حركة الرطوبة داخل الحجر.
- § يجب أن لا تغير المعالجة مسامية الحجر، كأن نجعل الحجر أكثر حساسية لأضرار الصقيع والتجمد مثلاً.
- § بجب أن تغير معالجة الحجر من خصائصه الفيزيائية، بحيث يكون أقرب ما يمكن من الحجر السليم.
- § يجب ألاّ تسبب المعالجة تلوناً أو تغيرات على سطح الحجر، وألاّ تسبب تغيرات في اللون مع مرور الزمن .
- § يجب ألاّ تكون المعالجة حساسة للتخريب، بتأثير الأملاح أو الحموض في مياه المطر أو غازات الغلاف الجوي أو الملوثات أو الأحياء الدقيقة.
- § يجب أن تطبق المعالجات بمعدلات متشابهة على الحجارة السليمة.
- § يحب أن تحوي المعالجات على كميات منخفضة من المذيبات (لأسباب صحية وبيئية).

أنواع مواد التقوية والمواد الطاردة للماء:

تصنع المواد الطاردة للماء لمنع أو تقليل نفاذية الماء في النسيج الحجري Stone Texture وبالتالي تقليل معدلات التخريب.وتصنع مواد التقوية لتقوية الحجارة الضعيفة وتثبيتها ، وتقليل سرعة فقدان وضياع سطح الحجر ، عن طريق ربط الحجر المتفكك من خلال سد الثغرات والفجوات بين الحبيبات. وبعض مواد المعالجة تملك خصائص كلا النوعين معاً .فبعضها هو بالأساس مواد طاردة للماء ولكنها تملك تأثيرات تقوية. وبعضها الآخر بالأساس مواد تقوية ، وتملك أيضاً تأثيرات المواد الطاردة .

وفيما يلي أهم المواد المجربة في ترميم الحجارة:

§ المواد ذات الأساس االسيليني* Silane-based materials:

وتضم هذه المواد أنواعاً ونماذج مختلفة من مركبات السيليكون التي تعالج بالبلمرة لتشكل أنواعاً هلامية (gel) شديدة الامتصاص. وعندما يجف الهلام يشكل رواسب من مركبات السيليكا تبقى في الحجر. بعض الأنواع (تيترياالك أوكسي سيلانيسtetraalkoxysilanes مثلاً) لا تملك خواص طاردة للماء بينما أنواع أخرى (ألكل ترياالك أوكسي سيلانس alkyltrialkoxysilanes مثلاً) تملك نوعاً ما خواص المواد الطاردة للماء ، والتي يمكن التحكم بهذه الخواص عن طريق تعديل خواص المواد الابتدائية. إن سرعة تبخر البولي سيلوكسانس، والذي هوسيلانات مبلمرة جزئيا، أقل منها للسيلينات وقابلة للانحلال في المذيبات العضوية.إن المواد ذات الأساس السيليني بشكل عام تملك القدرة على اختراق المسام العميقة نسبياً ، على الرغم من أن النتائج قد تختلف وقد ثبت حدوث تحسن ملحوظ في متانة الحجر ، باستخدام السيلانيات. إن البوليميرات عناصر مستقرة جداً ولاتتفكك أو تنهار بتأثير الأشعة فوق البنفسجية أو عند تعرضها للأمطار الحامضية، ومع ذلك فإنها قد تتخرب بوجود بخار السيلينات ،خلال إعادة تطبيق مواد التقوية في حال عدم كفاية المعالجة.

§ مواد التقوية الإكريلية**Acrylic consolidants :

يمكن للمواد اللاصقة الإكريلية،التي قد تم استخدامها على الحجر وتتضمن (ميتل أكرليت،ميتيل ميتاكريليت،إتيل ميتاكريليت،بوتيل ميتاكريليت methylacrylate, methyl methacrylate, ethyl methacrylate and butyl methacrylate) أن تحقق زيادة ملحوظة في متانة الحجر. وعندما يكون الحجر خاليا من الملوثات فإن البولي ميتيل ميتاكريليت(PMMA) يكون مستقراً ومقاوما للحرارة والأكسدة وللأشعة فوق البنفسجية ولا يصفر مع الزمن. بينما الإكريلات الأخرى أقل ثباتا .

§ مواد التقوية من الفينيل***Vinyl consolidants :

وتضم كلا من البولي فينيل كلوريد(PVC) والبولي فينيل أستيت (PVA).وعلى العموم فقد اعتبرت مواد تقوية غير ناجحة وجيدة ، حيث أنها تميل لإعطاء سطح الحجر مظهراً لماعاً ومن الصعب تحقيق اختراق جيد لها ضمن الحجر.

§ الإيبوكسي**** Epoxies:

تصنع المواد اللاصقة (الصمغية) الإيبوكسية عن طريق جمع وربط بوليميرات الايبوكسي ذات الوزن الجزيئي المنخفض.ويمكن لهذه المواد أن تحقق زيادة ملحوظه في مقاومة المادة المطبقة عليها. ومع ذلك فقد وجد أن استعمالها غير عملي بشكل عام ، كمواد مقوية ومثبتة للحجر الرملي بسبب عمق اختراقها المنخفض.

---

*السيلينات (silanes) وهي عبارة عن هيدرات السليكون وصيغتها العامة (SinH2n+2) وأبسط صيغة لها SiH4 وهو عبارة عن غاز عديم اللون ،والذي يسيل عند الدرجة –112 درجة مئوية ويتجمد عند –185 درجة مئوية ويتفكك ببطء عند الدرجة 250درجة مئوية إلى عناصره الأساسية وعند الدرجة 500 درجة مئوية يتفكك بسرعة. (عن الموسوعة البريطانية).

** الأكريلات:وهي مواد بوليميرية لها الصيغة التالية CH2CHCO2R ،والجذرRيمكن أن يكون ميتيل CH3 أو إتيل CH2CH3 (عن الموسوعة البريطانية).

*** الفينيل: مواد عضوية مؤلفة من سلسلة كربونية بشكل رئيسي ولها عدة أنواع يتم تصنيعها منذ الخمسينات في القرن العشرين. (عن الموسوعة البريطانية

**** الإيبوكسي :اسمه العلمي بولي فينيل أوكسيد ورمزه PPO .وله عدة أنواع منها يدخل في صناعات العزل الكهربائي والآخر يدخل في صناعة مواد البناء . (عن الموسوعة البريطانية)

§ البولي يوريتين****Polyurethane :

تطبق هذه المواد على الحجر بشكل مذيبات أو مواد مترسبة، حيث أن المحلول المكثف منها يمكن أن يحقق زيادة ملحوظة في متانة الحجر، ولكنها غير مقاومة للتخريب عند تعرضها للحرارة والضوء ، ولذلك يتم خلطها مع المواد المثبتة.

§ البولي إستير*****Polyesters :

تبدي البولي إستيرات مقاومة ضعيفة لتأثير الأشعة فوق البنفسجية والحموض والأسس. واستمرار عملها على المدى الطويل ضعيف. ولقد وجد أن استخدامها غير مفيد في المعالجات المحافظة على الحجر.

§ بيرفلورو بولي إيتر Perfluoropolyethers :

وتستخدم بشكل عام كمواد طاردة للماء، فهي لا تملك تأثيرات لاصقة، أو أنها ضعيفة. وتملك هذه المواد ثباتاً تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية، وهي قابلة للانتزاع نظرياً من الحجر من خلال قابليتها للانحلال في مذيبات الفلورين. وتستمر هذه المواد بالحركة والتنقل داخل الحجر، ولذلك يبطل مفعولها مع الزمن. ودرجة تنقلها تتعلق بالاستقطاب وحجم الزمرة الوظيفية ومسامية الحجر ، ويكون التراجع في فعاليتها أقل في الحجر الأقل مسامية. ولهذا فإن هذه المواد تعطي مفعول أفضل في نماذج الحجر القليلة المسامية.

§ الفلوسيليكات Fluosilicates:

لقد جرى اختبار الفلوسيليكات من المغنيزيوم والزنك والألمنيوم كمواد مقوية ومثبتة للحجر. ولكن الحموض الداخلة في تركيب هذه المواد سوف يهاجم الحجارة الكلسية (المتكلسة) مسببة تصلبا (تقسية) لطبقة السطح من خلال ترسيب فلوريد الكالسيوم. ولقد ثارت الشكوك حول مسؤولية الفلوسيليكات ، عن تقشر وتسريع اهتراء بعض الحجارة الرملية التي جرت معالجتها.

§ هيدروكسيد الباريوم (لمعالجة الحجر الكلسي) Barium-hydroxide:

لقد استخدمت طرق المعالجة المعتمدة على هيدروكسيد الباريوم في تقوية الحجر الكلسي المتخرب. إن المعالجة باستخدام هيدروكسي الباريوم ، بالإضافة إلى تكوينها لكربونات الباريوم ،فهي أيضا تتم عن طريق تحويل كبريتات الكالسيوم إلى كبريتات الباريوم غير المنحلة نسبيا.ولقد جرى في الماضي استخدام الباريوم في العلاج كخليط مع محلول حمض ثنائي للحصول على نواتج من مركبات الباريوم غير المنحلة.فقد تم استخدام حموض كل من السيليكون والفلور والكربون والكبريت والكروم والفوسفور . وتتضمن سلبيات هذه المعالجات تغيرات لونية أو بنيوية وطبيعة تأثيرات التثبيت والدعم قصيرة الأمد لهذه المواد.

§ رائق الكلس (لمعالجة الحجر الكلسي) Limewater:

كان الكلس يستخدم كمادة مقوية للحجر الكلسي. يتحول الكلس إلى كربونات الكالسيوم عن طريق الكربنة عند اتصاله بالهواء. وتنوعت النتائج وفي حين أن بعض الباحثين وجدوا النتائج مشجعة فإن آخرين اعتبروها بدون جدوى.

**** البولي يوريتين :أحد مواد عزل الأسطح وله أنواع عديدة ويتكون بشكل أساسي من مركبات مجموعة الإيزوسيانيد ،يتم تخفيفة (معادلته) بإضافة زيوت خاصة . (عن الموسوعة البريطانية).

***** البولي أستير :ويضم مجموعة كبيرة أهمها حمض دي كربوكسيل HOCH2CH2OH . (عن الموسوعة البريطانية).

مشاكل محتملة:

بينما يوجد العديد من الإثباتات على أداء المواد الطاردة للماء ومواد التقوية في الظروف المخبرية فإن على المهنيين أن يدركوا أن نتائج عينات الحجر المعالجة في المخبر لا تشكل بالضرورة نموذجاً مطابقاً لتلك النتائج التي يمكن الحصول عليها في الأبنية .يمكن أن تعالج العينة في المخبر بشكل فعال جدا وكافٍ بينما في البناء الحقيقي قلما يمكن تحقيق المستوى نفسه من الشروط والظروف المخبرية. ولذلك فإن التطبيقات المخبرية تكون نتائجها أفضل من تلك النتائج المتوقعة عند إعادة التطبيق في الموقع. وبالرغم من هذه الصعوبات ، فإن التجارب المخبرية يمكن أن تعطي دلالات مفيدة حول الأداء المتوقع (المحتمل) للعلاج عندما يكون حجم العينات وحالتها تحاكي واقع واجهة البناء بشكل جيد.

من غير المتوقع أن تؤدي الفحوص المخبرية المجراة على عينات كتلية من المونة الرابطة إلى إعطاء صورة دقيقة عن سلوك المعالجات في المونة الرابطة في واجهات البناء.ولقد وجد أن خصائص كتل المونة تختلف بشكل كبير عن مواصفات المونة الموجودة في مناطق الوصل، بسبب الاختلاف في الاكتناز والرطوبة واحتمال وجود الشقوق في مناطق الوصل في واجهات الأبنية، وخصوصاً في حالة المونة الإسمنتية.

وفيما يلي بعض المشاكل التي يطرحها استخدام مواد المعالجة:

1- عمق الاختراق Depth of Penetration :

- إن اختلاف تقنيات ووسائل القياس قد يعطي قيماً مختلفة لعمق الاختراق.
- إذا كان من المفترض أن عمق الاختراق يجب أن يكون 25mm على الأقل فإن بعض مواد المعالجة السيلينية والبولي يوريتانية تكون ذات فعالية.تملك الإكريلات والفينيلات ومواد الإيبوكسي والبولي يوريتان وبيرفلورو بولي إيتيرات اختراقاً ضعيفا في الغالب (ومن جهة أخرى فإن المعالجات الطاردة للماء قد لا تتطلب اختراقات عميقة).
- عندما يكون الاختراق صغيراً قد تبرز مشكلات تترافق مع تقشر السطح، أو تبلور الأملاح أو أضرار التجمد والصقيع تحت الطبقة التي تمت معالجتها.
- يتم حل العديد من المواد المقوية بالمذيبات لإعطائها لزوجة منخفضة وكافية لاختراق الطبقات.وبالتالي فإن البوليميرات تترسب كنواتج لتبخر المذيب . إذا كان التبخر سريعاً جداً فقد تسحب الرواسب خارجاً وتترسب على السطح.
- إن السيلين المجرد سريع التطاير، وقد يتبخر عن السطح قبل أن يحدث تفاعل البلمرة.
- إذا تكثف هذا البخار على سطوح أخرى فقد يحدث تفاعل البلمرة في المناطق التي لا يراد معالجتها.
- يحتاج تفاعل بلمرة السيلينات لوجود الماء.وإذا كان هناك ندرة بالماء فعندئذ لن يستمر التميه حتى نهايته ومعظم المادة المثبتة سوف تضيع بالتبخر.
- في الوقت الذي تتطلب السيلينات وجود الماء لإنجاز البلمرة ، فإن وجود الرطوبة في الطبقات قد يثبط ويعيق تفاعل البلمرة والاختراق لأنواع المعالجات الأخرى (الإكريلات مثلاً).

2- تكوين البوليميرات Polymer formation :

§ عندما يكون محتوى الحجر من الأملاح عالياً فإن ذلك يتضارب مع تبلمر والتصاق المواد ذات الأساس السيليني.

§ إن وجود الكالسيت في الحجر يثبط ويعيق تبلمر السيلينات.

§ تبلمر السلينات يكون أسرع بوجود درجة رطوبة مرتفعة نسبياً ،بالإضافة إلى امكانية حدوث تبلمر أسرع عند ارتفاع الإجهاد على البوليمرات التي يمكن أن تتوضع في الشقوق فيما بعد .

§ عندما تخضع المادة إلى انخفاض في الحجم عند وضعها فإن ذلك يمكن أن يسبب اجهادات على الحجر ، إذا التصقت هذه المواد على حبيبات الحجر قبل انتهاء الانكماش.

§ لقد وجد أن النموذج الأخير من البوليميرات المشتقة من المواد ذات الأساس السيليني تعتمد بشكل كبير على نوع المذيب المستعمل ، وعلى وجود أي نوع من المحفزات وحتى على الأسلوب المختلط .

§ يمكن أن تسبب إعادة تطبيق المعالجات ذات الأساس السيليني انتفاخاً وتضخماً في المادة إذا لم تتم العناية بها بشكل جيد خلال مرحلة التصلب.

3- استقرار البوليميرات Polymers Stability :

§ إن البوليميرات ذات الأساس السيليني مستقرة جداً بشكل عام. بينما تتغير بعض الأنواع الأخرى من مواد المعالجة مع الزمن ، من خلال تعرضها لفعل الضوء ، والحرارة ، والرطوبة والعوامل الفيزيائية أو الكيميائية أو للأحياء الدقيقة.

§ بعض البوليميرات العضوية ضعيفة المقاومة عند تعرضها للحرارة أو الأشعة فوق البنفسجية أو الحموض قد تتخرب البوليميرات العضوية بتأثير الأحياء الدقيقة والتي يمكن أن تستخدم البوليميرات العضوية كمصادر لغذائها.

4- التغيرات اللونية Colour Changes :

§ قد تحدث تغيرات في المظهر واللون عند استخدام المواد المقوية أو المواد الطاردة للماء ، بما فيها السيلينات والفينيلات والإيبوكسي والبولي يوريتينات والفلو سيليكات. تتنوع درجة تغير اللون ، وتعتمد على مادة الحجر المعالج ومواد العلاج وطريقة تطبيقه وبتوفر بعض الظروف ، فإن بعض المعالجات لا تسبب تغيرات في اللون.

§ قد تكون الفروق اللونية ظاهرة على الحجر المعالج في حالتي الرطوبة والجفاف. يمكن للمواد الطاردة للماء بشكل خاص أن تغير المظهر الطبيعي للحجر عند تعرضه لمياه الأمطار.

§ تتحول بوليمرات الفينيل إلى اللون الأبيض الكامد (غير شفاف) عندما تترطب، ولكنها تعود إلى حالتها الشفافة عند الجفاف.

§ قد يحدث لمعان في سطح الحجر بسبب ترسب البوليميرات على السطح.

§ قد تحدث التغيرات اللونية بسبب تغير خصائص البوليميرات بمرور الزمن.

§ تتنوع حساسية البوليميرات للمؤثرات المختلفة ولكن بعضها، بما فيها بعض المواد الإكريلية والإيبوكسي والبولي إستيرات ، تتخرب بسرعة عند تعرضها للأشعة فوق البنفسجية.

§ البوليميرات الناعمة نسبياً relatively soft (بعض بوليميرات الفينيل)، قد تجذب الأوساخ.

5 – التغيرات الفيزيائية Physical Changes :

§ يمكن للمعالجات أن تؤثر على كل من امتصاص الرطوبة ومعدلات التبخر بطرق لا يمكن التنبؤ بها وتحديدها .

§ في حين أن المواد الطاردة للماء يمكن أن تمنع أو تقلل دخول الماء السائل عبر سطح الحجر. فإنها لا تستطيع منع دخول الماء على شكل بخار ، أو عبر الشقوق عند منطقة المونة الرابطة بين الأحجار أو عن طريق ارتفاع الرطوبة (الخاصية الشعرية) أو بالانتقال من الأجزاء المحيطة. وبالتالي بالرغم من أن المواد الطاردة ستتمكن من تقليل مقدار اختراق الرطوبة في الحجر ، فإنه لا يمكن أن نضمن أنها ستمنعها من الدخول. وعلى فرض أن تطبيق العديد من المواد الطاردة يقلل معدل تبخر الرطوبة من الحجر، فمن غير الواضح أن المواد الطاردة للماء سوف تحد من نشاط الرطوبة في الحجر .

§ من المهم جدا أن لا تؤدي المعالجة إلى تخفيض جوهري في مسامية الطبقة المعالجة، لأن المونة الرابطة والحجر المعالج يجب أن يكونا قادرين على فقد الرطوبة بالتبخر لتجنب احتجاز الرطوبة خلف المنطقة المعالجة.

§ قد يبدل تغير المسامية من مقاومة الحجر للأضرار الناتجة عن تبلور الأملاح أو الصقيع والتجمد .

§ يجب أن تكون درجة تمدد وتقلص الطبقة المعالجة بفعل الحرارة والبرودة قريبة قدر الإمكان من الطبقات السليمة المحيطة ، لتجنب حدوث انفصال للمنطقة المعالجة.

لقد وجد أن بعض مواد التقوية والمواد الطاردة–المقوية قادرة على تحقيق زيادة ملحوظة في المقاومة في الحجارة المعالجة . وليس بالضرورة أن الأقوى هو الأفضل حيث أن المطلب الوحيد لمواد التقوية ، هو تخفيض معدل تخرب وفساد سطح الحجر عن طريق إعادة ربط الحبيبات المتفككة.لا يفترض بشكل عام أن يتحمل السطح أي حمولات ، ولذلك فليس من المطلوب أن يتمتع بمقاومة مميزة. قد تؤدي تقوية السطح إلى مشاكل تشمل الاختلاف في التمدد الحراري أو انسداد المسام أو زيادة الهشاشة والتي يمكن أن تسبب تقشر وانسلاخ السطح المعالج.

6– زيادة الحساسية للتخرب Increased Vulnerability to Decay :

§ إذا عملت مواد التقوية على زيادة نسبة المسام في الطبقة فهذا يمكن أن يؤدي إلى زيادة القابلة للتعرض لأضرار الصقيع.

§ لقد وجد أن العديد من مواد المعالجة بما فيها السيلينات والإكريلات والبولي يوريتينات تؤدي إلى زيادة حساسية الحجر الرملي لعمليات التخريب المرتبطة بتبلور الأملاح. ومع ذلك فقد لوحظ في عدد من الحالات نقصان في هذه الحساسية.ولا يمكن في الوقت الحاضر التكهن بتأثيرات العلاج على حساسية الحجر للتخريب الناتج عن الأملاح .

§ قد تؤدي الفلو سليكات إلى تكوين أملاح منحلة في الطبقة المعالجة .

§ عند وجود أملاح منحلة في الحجارة غير المعالجة فإن قوى الامتصاص الشعري(قوى كابيلر) المتولدة عن تبخر الماء على السطح سوف تسبب ترسيب هذه الأملاح على السطح أو بالقرب منه.في الحجر المعالج بمواد طاردة لا يمكن للماء الخروج إلى السطح ، ويجب أن يتبخر داخل الحجر وتحت مستوى عمق اختراق المواد الطاردة. وقد يتسبب ذلك في ترسيب وتركيز الأملاح المنحلة داخل الحجر. ويمكن عندئذ أن تلحق أضرار بالحجر عن طريق الزيادة في ضغط البلورات أو حجمها.

§ لقد وجد أن لبعض مواد المعالجة السيلينية إمكانية زيادة حساسية الحجر الرملي لعمليات التخريب الناتجة عن الحموض.

7- تبخر المذيبات: Emissions of Solvents

قد يستمر إصدار المواد العضوية الطيارة من مادة المعالجة (VOCs) لعدة أسابيع تلي المعالجة. في المراحل الأولى قد يهدد ذلك بخطر الحريق ومعظمها تشكل تهديداً للصحة وتتطلب أقنعة للوجه مع فلاتر مناسبة لتستعمل عند الإقتراب منها. والخطر الناجم عن مواد المعالجة غير البوليميرية (السيلينات مثلا) لا يحتمل أن يستمر لأكثر من بضعة أيام وكذلك البوليميرية سريعة نسبياً.ومن ناحية أخرى فقد يبقى تركيز المذيبات في المناطق المحصورة يشكل خطراً على الصحة لأسابيع متعددة.

أساليب تطبيق وامتصاص المعالجة:

يمكن أن يكون لطريقة التطبيق أهمية كبيرة من حيث تأثيرها على عمق اختراق مواد التقوية أو المواد الطاردة للماء. وتشمل طرق التطبيق (المخبرية منها والحقلية) : التطبيق بالفرشاة والرش والحقن ، والامتصاص الشعري ، ونزح الهواء والنزح بالضغط ، والغمر الكلي. إن أعماق الاختراق التي تتحقق في الشروط المخبرية ليس بالضرورة أن تحقق في التطبيقات الحقلية. ما لم تكرر التجارب المخبرية – قدر الإمكان – على حالات يحتمل أن تتواجد في الواقع فمن غير المحتمل أن تعكس النتائج المخبرية الحالات التي نصادفها في واجهات الأبنية.

قد تختلف الكميات الممتصة من مواد المعالجة بشكل واسع تبعا لمسامية ونفاذية الطبقة. إن حالة التخريب والفساد الحاصل في الحجر هو مؤثر هام أيضاً على الامتصاص ، حيث أن الحجارة المتخربة والخاضعة للعوامل الجوية تمتص كميات أكبر نسبياً من الحجارة السليمة. ويتأثر معدل امتصاص مواد المعالجة أيضا باستخدام المذيبات وباللزوجة. ولا يمكن تحقيق اختراق عميق في الحجر إذا كان تبلمر مادة الترميم سريعاً جداً. ولذلك فإن بعض الأنظمة تضيف المحفزات إلى خليط المذيب الأحادي الذي يسبب السرعة ، ولكنه يؤخر التحول إلى الجل (الهلام) في بعض الحالات بعد التطبيق .

يمكن أن يستدل على كمية مواد التثبيت أو المواد الطاردة للماء الممتصة من قبل البناء الحجري عن طريق عمق الاختراق المحتمل ، ويمكن حسابه عن طريق قياس وزن أو حجم المادة المطبقة. قد تحدث أخطاء بسبب الضياعات المتمثلة باختلاف الاختراقات الحاصلة في الحجر والمونة الرابطة ، أو (بعض منهجيات الترميم) بسبب الضياعات الحاصلة خلال مرحلة الغسيل بالمذيبات من مراحل العلاج. يحتمل أن تكون الضياعات في مواد التقوية خلال مرحلة الغسيل بالمذيبات ملحوظة في الوقت الذي يكون فيه عمق اختراق مواد المعالجة منخفضاً.

تقييم العلاج:

هناك عدد من العوامل التي يمكن أن تستخدم في تقييم أداء أي نوع من المعالجات بالمواد المقوية أو بالمواد الطاردة للماء . ويمكن أن تلخص:

- § عمق اختراق المعالجة.
- § تغيرات في القوة (المقاومة).
- § التغيرات في المسامية.
- § التغيرات في النفاذية.
- § التغيرات في خصائص حفظ الماء وامتصاصه.
- § التغيرات اللونية.
- § التغيرات في التمدد والتقلص الحراريين.

إذا كان المطلوب معرفة عمق الاختراق بدقة فلا بديل عن إجراء السبر والقياسات . على الرغم من إمكانية الحصول على دلالات أولية عن عمق الاختراق ، من خلال قياس حجم مواد العلاج المطبقة أو معدل التشرب بالماء ، أو مسامية الحجر الرملي أو قابلية النفاذ ، بشرط توفر المعلومات الأولية عن قياس عمق الاختراق ليكون إجراء المقارنة ممكناً.ولا يوجد اختبار واحد بحد ذاته يمكن أن يحدد بفعالية عمق الاختراق لكل المعالجات. من أجل المواد الطاردة للماء ، إن الاختبارات المائية على العينات الداخلية يمكن أن تعطي قياسات سريعة وفعالة لعمق الاختراق .قد تتطلب المعالجات غير المائية طرق اختبار أخرى مثل اختبارات المقاومة. قد تعطي طرق الاختبار المختلفة أعماق اختراق مختلفة لنفس العينة نظراً لأن المواصفات المقاسة قد تتنوع في فعاليتها. فمثلاً قد تدل نتائج طرد الماء على أعماق اختراق كبيرة نسبياً ، فإن التغيرات في المقاومة قد تحدث فقط بالقرب من السطح. وعلى الرغم من إمكانية التنبؤ – بخطأ مقبول– بعمق الاختراق المحتمل لمواد العلاج فإنه لا يمكن التنبؤ بمقدار الاختراق الحقيقي بدقة ما لم تؤخذ عينات داخلية للتحليل. يختلف عمق الاختراق بين الأحجار تبعاً لاختلاف خصائصها وتأثير نوع المونة الرابطة وحالة مناطق الوصل التي يمكن أن يكون لها أثر ملحوظ على عمق الاختراق الحاصل في وجه البناء الحجري .

تتضمن طرق الاختبار المفيدة لتحديد عمق الاختراق ما يلي :

- § زمن امتصاص قطرات الماء (للمعالجات الطاردة للماء فقط).
- § التغيرات اللونية المرئية والملاحظة أثناء الرطوبة والجفاف (للمعالجات الطاردة للماء بشكل رئيسي).
- § قابلية النفاذ لبخار الماء.
- § اختبارات المقاومة.

أعطت اختبارات المقاومة التي أجريت على حجارة معالجة بمواد التقوية زيادات طفيفة نسبياً في المقاومة، علماً أن هذه الإختبارات شملت حجارة نظيفة وأخرى متسخة فضلاًعن حجارة متخربة بشكل كبير .ولقد لاحظ باحثون آخرون زيادات هامة في المقاومة عند تطبيق مواد التقوية من السيلينات والإكريلات وإيبوكسي والبولي يورتينات .

ولم يلاحظ أن أي من مواد المعالجة تسد مسام الحجر الرملي بشكل ملحوظ. بالرغم من أن بعض المعالجات سببت خفضا في المسامية تراوح (1.5–3%).ولقد لاحظ باحثون آخرون حدوث تخفيض في المسامية عند استخدام مواد المعالجة ذات الأساس السيليني .وتظهر قياسات النفاذية لبخار الماء بأن بعض المعالجات المختبرة في هذه الدراسة قد سببت انخفاضا في النفاذية يصل حتى 30% . ولاحظ باحثون آخرون دلائل على حدوث انخفاض في امتصاص الماء عند استخدام المعالجات من السيلينات والإكريلات والإيبوكسي والبولي يوريتينات .

تبين النتائج المخبرية عن الحجر الرملي أن التمدد والتقلص الحراري للحجر المعالج طفيفة وتعتبر مهملة والمستخلص من هذه النتائج مختلف مع الأمور المستقرأة من سلوك واجهات الأبنية ومن ناحية أخرى الاختلافات الأساسية في السلوك الحراري المتعلق بمادة الحجر تحت السطح المعالج يمكن أن يتسبب في انفصال السطح المعالج.

خلاصة:

يبين الفحص والاستقصاء عن التأثيرات طويلة الأمد لمواد التقوية والمواد الطاردة للماء في المواقع التي تمت معالجتها سابقا (حتى 20سنة) أن النتائج يمكن أن تكون متباينة جداً. يمكن لخاصة طرد الماء أن تستمر- في بعض الظروف– وبثبات نسبي في السطوح المعالجة لأكثر من عشرين سنة في حين أن المناطق المحيطة قد تتخرب بشكل كبير وتظهر في وضع سيئ. وقد تستمر إمكانية ملاحظة مواد المعالجة (مع أثرها الطارد للماء) على أعماق معقولة. وحتى عندما يتلاشى السطح الأصلي يمكن أن تستمر المواد الطاردة في عملها داخل الحجر. ولقد لوحظ أن النتائج تكون أفضل عموماً عند استخدام المواد ذات الأساس السيليني منها عند استخدام مركبات الإكريلات. وهذا الاختلاف كما هو واضح ناجم عن عمق الاختراق الأكبر للمواد السيلينية. ومن جهة أخرى يمكن لمركبات الإكريل أن تعمل بشكل أفضل عندما يتم حماية وعزل السطح المعالج عن الرطوبة.

تختلف الآراء حول استخدام المواد الطاردة للماء نظراً لأنها تعدل خصائص الحجر فيما يتعلق بتشرب وتبخر الماء.وليس هناك توافق حول مواد التقوية والمواد الطاردة للماء فيما يتعلق بعمق الاختراق الملائم . اقترح بعض الباحثين أن المواد الطاردة قد تكون أكثر فعالية عند تطبيقها على السطح مباشرة بينما اقترح آخرون أن المعالجة في العمق أكثر ملاءمة.من المرجح أن تكون المواد الطاردة فعالة عندما يكون المطلوب وقف اختراق الماء لسطح الحجر. وستكون غير فعالة واحتمال أن تسبب ضررًا في حال دخلت الرطوبة إلى الحجر عبر طرق أخرى غير السطح المعالج.

فيما يتعلق بمواد التقوية ، هناك توافق على أن المعالجة المحصورة بالسطح الخارجي خطرة نظراً لأنها قد تسبب تقشر الحجر ولكن ليس هناك اتفاق حول العمق الملائم لتطبيق العلاج تماشياً مع الحقيقة التي مفادها أنه من الواضح ضرورة معالجة الحجر على عمق كاف لتثبيت ودعم كامل سماكة المنطقة المتخربة . وبعض المواد المقوية تملك خصائص طرد الماء أيضاً.ونظرا لأنه من الخطر تطبيق المعالجة بالقرب من السطح هذا يجعل استخدام المواد الثنائية المفعول (مقوية–طاردة) ذو إشكالية إذا اعتبرنا أن التطبيق الأمثل للمواد الطاردة على السطح الخارجي .

إن النوع الأمثل من البوليميرات الواجب تطبيقه على الحجر هو الذي يستطيع إيقاف تخرب الحجر وإعادته إلى حالته الطبيعية قدر الإمكان . ولتحقيق ذلك يجب على الحجر المعالج أن يحاكي الحجر السليم في العديد من

الخصائص حسب الإمكان. وبعض هذه الخصائص أكثر أهمية من غيرها.و أكثرها أهمية تتضمن :المقاومة والمسامية وقابلية النفاذ والتمدد الحراري واللون. ومن بين كل البوليميرات المختبرة يبدو أن السيلينات تحمل أكثر التباشير بالرغم من كونها غير مناسبة لجميع الحالات . المنتج النظري الأخير من بلمرة السيلينات البسيطة هو السيليكا والذي يوجد على شكل مادة إسمنتية رابطة في العديد من الحجارة الرملية وقد يحاكي سلوك الرابط الطبيعي بشكل أقرب من العديد من البوليميرات.

المراجع :

.....

1 Torraca, G.G., Physio-chemical deterioration of porous rigid building materials, notes for general model. Venice 1975.

2 منشورات" المؤتمر العربي لترميم وإعادة تأهيل المنشآت" القاهرة 16–19 أيلول 1998.

3 Nedelcon, Coroziunea Si Combaterea, 1982

4 منشورات" المؤتمر العربي لترميم وإعادة تأهيل المنشآت" القاهرة 16–19 أيلول1998.

5 أصلان، طارق.، تآكل البيتون المسلح في البيئة البحرية محاضرة علمية .

6 -Smith, Bernard, And Others, Assessment Of Building Stone Decay: A Geomorphologicl Approach, Belfast 1999.

7- Historic Scotland, The Robert Gordon University, Building Research Establishment, Sandstone consolidates and water repellents, 1999.

8- Aspects of stone weathering, decay and conservation, the Robert Gordon university 15-17 may 1997, editors Melanie S. Jones and Rachael D. Wakefield.

9- Stone cleaning and the nature, soiling and decay mechanism of stone, proceeding of the international conference held in Edinburgh, UK, 14-16 April 1992. Edited by Robin G.M. Webster.

10– أصلان، طارق ؛ مواد البناء. منشورات جامعة تشرين ،1987