

Faculty of Sciences and Technology

كلية العلوم و التكنولوجيا

N° d'ordre :..... /2026

دكتوراه علوم

الشعبة: هندسة مدنية

الموضوع:

نمذجة سلوك الجسور الحجرية القوسية بعد إعادة تأهيلها
تحت تأثير الحملات الحقيقية

إعداد:

● م. أحمد بوحلوفة

يناقش يوم 2026/07/08 تحت إشراف لجنة المناقشة:

الاسم واللقب	الرتبة	مؤسسة الانتماء	الصفة
ميسوم حنيفي	أستاذ	جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم	رئيسا
قادري طاهر	أستاذ	جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم	مقررا
بورديم سيدي محمد الأمين	أستاذ	المركز الجامعي مغنية	ممتحنا
دلة نور الدين	أستاذ	جامعة الشلف	ممتحنا
شمام محمد	أستاذ محاضر أ	جامعة غليزان	ممتحنا
برانسي طيب	أستاذ	جامعة معسكر	مدعوا

السنة الجامعية: 2026/2025

المحتويات

الموضوع	الصفحة
ملخص الرسالة.....	4
مقدمة عامة.....	7
الفصل الأول: استعراض مرجعي حول الجسور الحجرية.....	9
مقدمة.....	10
1-1 الجسور الحجرية القوسية.....	11
2-1 التعيين التقريبي للقناطر.....	12
1-2-1 مقدمة.....	12
2-2-1 قانون سيجورنيه.....	12
3-1 طرائق إنشاء الجسور الحجرية.....	13
4-1 المميزات العامة للجسور المشيدة بالأحجار الطبيعية.....	14
1-4-1 مزايا الإنشاء بالأحجار الطبيعية.....	14
2-4-1 مساوئ الإنشاء بالأحجار الطبيعية.....	15
5-1 أهمية البحث.....	16
6-1 الأبحاث السابقة.....	16
الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها.....	19
- مقدمة.....	20
1-2 صفات الأحجار الطبيعية وتصنيفها.....	20
1-2-1 تصنيف أحجار البناء وأنواعها.....	20
2-1-2 الصفات الفيزيائية للأحجار.....	24
3-1-2 الصفات الكيميائية.....	33
4-1-2 الصفات الميكانيكية.....	35
5-1-2 الصفات التكنولوجية (التقنية).....	39
2-2 المونة الإنشائية والمواد الرابطة.....	39
1-2-2 تصنيف المونة الإنشائية.....	39

نمذجة سلوك الجسور الحجرية القوسية بعد إعادة تأهيلها تحت تأثير الحمولات الحقيقية

41	 2-2-2 صفات المونة.
43	 3-2-2 المونة لربط الأحجار.
44	 4-2-2 المونة الخاصة.
47	 الفصل الثالث: العيوب وأسبابها في الجسور الحجرية.
48	 مقدمة:
48	 1-3 تعاريف لبعض العيوب الهامة.
49	 2-3 الاسباب العامة للعيوب في الجسور الحجرية.
51	 3-3 العيوب في الجسور الحجرية.
51	 1-3-3 العيوب وفق دليل [BIRM]
52	 2-3-3 العيوب وفق دليل شركة الدراسات التقنية للطرق الفرنسي [SETRA].
67	 الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية.
68	 مقدمة:
69	 1-4- مواد الانشاء.
69	 1-1-4. المواصفات العامة للتجارب التي تجرى على العينات.
72	 2-1-4. الاختبارات الحقلية للمواد.
73	 2-2-4. سلوك الجملة الانشائية للجسور الحجرية.
74	 1-2-4. قياس التشوهات العامة والانتقالات.
75	 2-2-4. دراسة هندسية للتشققات.
76	 3-2-4. القياسات الموضعية.
76	 3-3-4. تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية القائمة.
77	 1-3-4. الزيارة التقييمية للجسور الحجرية.
78	 2-3-4. تصنيف الجسور القائمة وفقا لحالتها الراهنة.
79	 3-3-4. تقييم العيوب لجسر قم غرز بدرعا.
85	 4-3-4. نتائج التجارب المخبرية للعينات المأخوذة من جسر قم غرز.
89	 4-3-4. الخلاصة.
89	 4-4- تحديد الحمولة الحديدية للجسور الحجرية القوسية.
89	 1-4-4. الطريقة التجريبية للتحليل الانشائي.
93	 2-4-4. الطريقة باستخدام برنامج Ring2.0.
103	 3-4-4. المقارنة وتحليل النتائج.
105	 الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية.
106	 - مقدمة.

نمذجة سلوك الجسور الحجرية القوسية بعد إعادة تأهيلها تحت تأثير الحمولات الحقيقية

107	1-5- مبادئ اصلاح وتقوية الجسور الحجرية.....
107	1-1 تعاريف.....
108	2-1 المواد.....
110	2-5. التكهيل واعادة انشاء الاحجار
110	1-2-5. المواد.....
111	2-2-5. تنفيذ الاشغال.....
112	3-5 التقوية بواسطة الشدادات والبراغي.....
112	1-3-5- المواد.....
112	2-3-5- تنفيذ الأشغال.....
113	4-5 التقوية الخرسانة المقذوفة.....
113	1-4-5- تقنيات القذف.....
115	2-4-5- تصنيع الخرسانة المقذوفة.....
116	3-4-5- تشغيل الخرسانة المقذوفة.....
117	4-4-5- الاصلاحات السطحية.....
117	5-5-5- الاصلاحات الانشائية.....
118	6-5-5- طريقة عمل الخرسانة المقذوفة.....
121	5-5 التقوية والتدعيم بالحقن.....
121	1-5-5- مواد الحقن.....
122	2-5-5- تصميم الحقن وفق اهداف التدعيم.....
122	3-5-5- تطبيقات الحقن في تدعيم الاساسات.....
123	4-5-5- ديمومة وفعالية الحقن.....
123	5-5-5- التثبيت الفوري (المباشر).....
124	6-5-5- تدعي تربة التأسيس.....
125	7-5-5- إعادة تجدد الخرسانة الكلسي والمنشلت الحجرية
126	8-5-5- عالية وديمومة الحقن
128	الخاتمة العامة
130	النتائج والتوصيات.....
132	المراجع.....

الملخص

عني هذا البحث بدراسة طرائق وأساليب تقييم الجسور الحجرية القديمة بشكل عام، وذلك بمعرفة العيوب التي تعرضت لها ومدى خطورتها وأثرها على قدرة تحملها، ومحاولة معرفة السلوك الإنشائي للأقواس الحجرية. وذلك بإجراء المعاينة والكشف المفصل لبعض الجسور المشيدة على الخط الحديدي الحجازي منذ بداية القرن الماضي، ثم القيام ببعض الاختبارات التي تحدد معايير المقاومة للأحجار ضد الحمولات والعوامل البيئية المختلفة. ومن ثم تقييمها ومعرفة درجة تصنيفها للوصول في الأخير إلى تقويمها، وبالتالي تحديد ما إن كانت تتطلب تقوية للجملة الإنشائية أو إصلاحات خارجية بسيطة أو صيانة خفيفة أو غير ذلك حسب الطرائق التي عرضناها.

ولقد بدأ البحث بإعطاء المواصفات العامة للأحجار والمونة الرابطة لها ودورها في رفع المقاومة الكلية للجسور. كما تطرق إلى عرض مفصل للعيوب التي يمكن أن تؤثر على الجسور الحجرية ورصد الأسباب التي أدت إلى ظهورها، ثم عرض الحالة الراهنة للجسور الحجرية القائمة في سورية وبينا تحديد قدرة تحملها للحمولات المتزايدة مع الزمن، والتي من خلالها تمت دراسة وتحديد طرائق التقوية أو الإصلاح للعناصر المتضررة منها.

ونتيجة هذا البحث تبين انه على الرغم من طول فترة إنشاء هذه الجسور، إلا أنها ما زالت تبدي مقاومات جيدة ضد تأثير العوامل الخارجية، كما أنها تتحمل حمولات كبيرة تبلغ أضعاف ما هو مطبق فعلياً. لذلك فمن الضروري متابعتها وصيانتها لزيادة عمرها التصميمي وبعامل أمان مقبول، وذلك إذا تم وضع برنامج زمني للمراقبة والمعاينة الدورية والمستمرة.

الكلمات المفتاحية: الجسور القوسية، إعادة التأهيل، قدرة التحمل، التقوية، السلوك الإنشائي

Abstract

This study focuses on the analysis of methods and techniques for the assessment of masonry bridges in general, through the identification of the defects to which they are exposed, their level of severity, and their influence on load-bearing capacity. It also aims to better understand the structural behavior of masonry arches.

This work was carried out through detailed inspections and in-depth examinations of several bridges located on the Hijazi railway network, dating back to the last century. Subsequently, various analyses were performed to determine the mechanical properties of the materials, as well as their resistance to loads and environmental factors. These assessments make it possible to classify the condition of the structures and to identify the necessary types of intervention, ranging from routine maintenance to light rehabilitation or more extensive repairs.

The study begins with an overview of the general characteristics of the materials used, particularly stone and mortar, and their role in enhancing the overall strength of bridges. It also discusses in detail the different types of deterioration that may affect these structures, as well as their underlying causes. It then presents the current condition of existing masonry bridges in Syria, highlighting their load-bearing capacity in response to increasing loads over time, which has made it possible to propose appropriate strengthening and repair methods.

The results of this research show that, despite their age, these bridges still retain good structural resistance and are only slightly affected by external factors. They are even capable of supporting significant loads, sometimes higher than those actually applied. Therefore, it is essential to ensure their regular monitoring and maintenance in order to guarantee their durability, structural safety, and an acceptable level of reliability, particularly through the implementation of systematic inspection and monitoring programs.

Keywords: Arch bridges, Rehabilitation, Load-bearing capacity, Strengthening, Structural behavior

Résumé:

Cette étude porte sur l'analyse des méthodes et techniques d'évaluation des ponts en maçonnerie en général, à travers la connaissance des dégradations auxquels ils ont été exposés, leur degré de gravité et leur influence sur leur capacité portante. Elle vise également à comprendre le comportement structurel des arches en maçonnerie.

Cela a été réalisé par des inspections détaillées et des examens approfondis de certains ponts situés sur le réseau ferroviaire Hijazi datant du siècle dernier. Par la suite, certaines analyses ont été effectuées afin de déterminer les propriétés mécaniques des matériaux, leur résistance aux charges et aux facteurs environnementaux. Ces évaluations permettent de classer l'état des ouvrages et d'identifier les types d'interventions nécessaires, qu'il s'agisse d'un simple entretien, d'une réhabilitation légère ou de réparations plus importantes.

L'étude commence par la présentation des caractéristiques générales des matériaux utilisés, notamment les pierres et les mortiers, ainsi que leur rôle dans l'amélioration de la résistance globale des ponts. Elle aborde également en détail les différents types de dégradations pouvant affecter ces ouvrages, ainsi que les causes de leur apparition. Ensuite, elle présente l'état actuel des ponts en maçonnerie existants en Syrie, en mettant en évidence leur capacité portante face à l'augmentation des charges au fil du temps, ce qui a permis de proposer des méthodes appropriées de renforcement et de réparation.

Les résultats de cette recherche montrent que, malgré leur ancienneté, ces ponts conservent encore une bonne capacité de résistance et sont peu affectés par les facteurs externes. Ils peuvent même supporter des charges importantes, parfois supérieures à celles réellement appliquées. Par conséquent, il est essentiel d'assurer leur suivi et leur entretien périodique afin de garantir leur durabilité, leur sécurité structurelle et un niveau de fiabilité acceptable, notamment à travers la mise en place de programmes de surveillance et d'inspection réguliers.

Mots-clés : Ponts en arc, Réhabilitation, Capacité portante, Renforcement, Comportement structurel

نمذجة سلوك الجسور الحجرية القوسية بعد إعادة تأهيلها تحت تأثير الحمولات الحقيقية

مقدمة عامة

تُعد الجسور الحجرية القوسية من أقدم وأعرق المنشآت الهندسية التي شيدها الإنسان، ولا يزال العديد منها صامداً حتى يومنا هذا، شاهداً على عبقرية التصميم القديم ومتانة المواد الطبيعية (الحجر والملاط) المستخدمة في بنائها. ومع ذلك، ومع مرور الزمن، تتعرض هذه المنشآت الحيوية لتحديات متعددة تهدد سلامتها الهيكلية وأداءها الوظيفي. فأبرز هذه التحديات يتمثل في التأثيرات البيئية والمناخية المتراكمة، وتزايد أحمال المرور الحديثة (خاصة في خطوط السكك الحديدية) التي تفوق بكثير الأحمال التي صُممت هذه الجسور لتحملها أصلاً، بالإضافة إلى غياب أو نقص برامج الصيانة والمراقبة الدورية، مما يؤدي حتماً إلى ظهور عيوب وتدهور في مواد البناء يؤثر سلباً على قدرتها التحملية.

في هذا الإطار، تأتي هذه المذكرة البحثية تحت عنوان "نمذجة سلوك الجسور الحجرية القوسية بعد إعادة تأهيلها تحت تأثير التحميلات الحقيقية"، لتسلط الضوء على الأهمية القصوى لتقييم حالة هذه الجسور وفهم سلوكها الإنشائي بدقة. وتركز الدراسة بشكل تطبيقي على الجسور الواقعة على شبكة السكك الحديدية الحجازية في سوريا، والتي تعود إلى القرن الماضي، وتعتبر جزءاً لا يتجزأ من البنية التحتية والتراث الهندسي.

تعتمد منهجية هذا البحث على نهج علمي متكامل وشامل يشمل عدة محاور رئيسية: الفحص والتشخيص: الرصد الميداني الدقيق وتحديد أنواع العيوب والتدهور الذي تتعرض له الجسور وأسبابها، بالاعتماد على أدلة مرجعية معتمدة (مثل دليل BIRM ودليل SETRA). توصيف المواد: إجراء فحوصات مخبرية وميدانية لتحديد الخصائص الفيزيائية، والميكانيكية، والكيميائية لمواد البناء الأصلية (أنواع الحجر الطبيعي والملاط) وتقييم مدى مقاومتها للعوامل الخارجية.

التحليل الإنشائي والنمذجة: تقييم الحالة الراهنة للجسور وتحديد قدرتها التحملية الفعلية باستخدام طرق تحليلية تجريبية، والاستعانة ببرمجيات متخصصة في تحليل الكتل الصلبة مثل برنامج (Ring 2.0) لمحاكاة سلوك الجسر تحت تأثير الأحمال الحقيقية.

استراتيجيات التدخل: طرح بدائل وحلول عملية لإعادة التأهيل والتقوية، مثل إعادة رص المفاصل (Repointing)، والحَقن (Grouting)، أو التدعيم باستخدام الرباطات والأساسات، وفقاً لدرجة الضرر التي يصنف بها الجسر.

نمذجة سلوك الجسور الحجرية القوسية بعد إعادة تأهيلها تحت تأثير الحمولات الحقيقية

تهدف هذه الدراسة في نهاية المطاف إلى تقديم إطار علمي وعملي لتصنيف حالة الجسور الحجرية القائمة، وتحديد أنسب استراتيجيات التدخل (سواء كانت صيانة روتينية، أو إعادة تأهيل خفيفة، أو تدعيم شامل). وبذلك، تساهم هذه الأبحاث في إطالة العمر الافتراضي لهذه المنشآت التراثية والحيوية، وضمان سلامتها الهيكلية، والحفاظ على موثوقيتها وأمانها في مواجهة تحديات الزمن والاستخدام المتزايد، مع التأكيد على ضرورة وضع برامج مراقبة وصيانة دورية ومنتظمة.

الفصل الأول

استعراض مرجعي حول الجسور الحجرية

- مقدمة

1-1. الجسور الحجرية القوسية

1-2. التعيين التقريبي للنقاط

1-2-1. مقدمة

1-2-2. قانون سيجورنيه

1-3. طرائق إنشاء الجسور الحجرية

1-4. المميزات العامة للجسور المشيدة بالأحجار الطبيعية

1-4-1. مزايا الإنشاء بالأحجار الطبيعية

1-4-2. مساوئ الإنشاء بالأحجار الطبيعية

1-5. أهمية البحث

1-6. الأبحاث السابقة

الفصل الأول: استعراض مرجعي حول الجسور الحجرية

استعراض مرجعي

مقدمة:

منذ أن بدأ الإنسان يسعى على وجه الأرض مستلهما الطبيعة وباحثا فيها بفطرته عن حلول لمشاكل الوجود الجديد التي بدأت تصادفه، فالتفت بغريزته إلى ما تقع عليه عيناه، وامتدت يده إلى ما حوله. وبطبيعة الحال كانت الاحجار احدى المواد الجاهزة التي قبض عليها وتأمل فيها و منها بدأ رحلة تطوره، فاتخذ منها مسكنه وادوات صيده واسلحة الدفاع عن نفسه.

ولهذا السبب، فإن الأحجار بكل أنواعها، هي المادة الأكثر استعمالا منذ أقدم العصور. اذ استخدمت الاحجار الكبيرة كقناطر يجتاز من خلالها الانسان مجرى مائي او واديا عميقا. من هنا يمكن ان نقول ان الانسان القديم قد استخدم الجسور على هيئة احجار متراكمة او صخرة كبيرة، حيث نسميها الجسور الحجرية، وهي أقدم نوع من الجسور بعد الخشبية.

وقد تطورت الجسور الحجرية من طرف الصينيين والرومان، واستعملت فيها فقط الاحجار الطبيعية المشغولة حتى بداية القرن التاسع عشر. وقد كان الشكل الملائم لهذه المادة، هي الأقواس لأنها لا تقاوم الشد، حيث في هذه الجملة الانشائية تطبق ردود افعال مائلة للأسفل على الركائز، بحيث تسعى المركبة الأفقية لها إلى تباعد الركائز. لهذا بنيت مثل هذه المنشآت بمواد لا تقاوم الشد. حيث تتولد اجهادات ضغط في الاحجار المكونة للمنشأ، وفي الفواصل التي تسمح لها بالمقاومة.



صورة رقم (1-1). تبين منظر عام لجسر حجري قوسي

حتى أوائل القرن التاسع عشر، كانت الجسور الحجرية تصمم دون حسابات، انطلاقا من شكل باطن القوس وسماكة الذروة، كما كانت تحسب تغيرات سماكة المنشأ من قوانين تجريبية. إن عدم معرفة المواد المكونة وشروط استخدامها، بالإضافة إلى غياب الأرشيف يعطي عدم معرفة سلوك ووظيفة الجملة الانشائية، حيث تكمن هنا صعوبات كبيرة جدا من اجل إعادة تأهيلها.

الفصل الأول: استعراض مرجعي حول الجسور الحجرية

على الرغم من تطور التقنيات الحديثة منذ القرن التاسع عشر، لم تعد تستخدم هذه الجسور في وقتنا الحالي وذلك لارتفاع تكلفة انشائها من جهة، وثقل وزنها الذاتي من جهة أخرى، حيث يمكن ان تصل الى عشرة اضعاف الجسور الحديثة من مواد اخرى، كما انها لا يمكن ان تستعمل لمجازات طويلة.

رغم الخواص المميزة لديمومة الحجارة، الا انها تعاني من عدة عيوب تظهر وفق المناخ الذي يسود المنطقة التي فيها. ويمكن تلخيص العيوب الأكثر شيوعا إلى: التشققات، التجوية، الانسلاخ والتكسر، تقشر الأسطح. ويرجع اسباب هذه العيوب الى التغيرات المناخية الطويلة، إثر المواد الكيميائية، ألحت، الحشرات الثاقبة ونمو النباتات.

1-1. الجسور الحجرية القوسية:

إن القناطر (الأقواس) هي القسم المهم والفعال من الجسور، و تكون على نوعين: نوع كامل و هي القنطرة الكاملة، و نوع ناقص و هي عبارة عن قوس. و تسمى القناطر عادة بأسماء منحنياتها الداخلية و فتسمى:

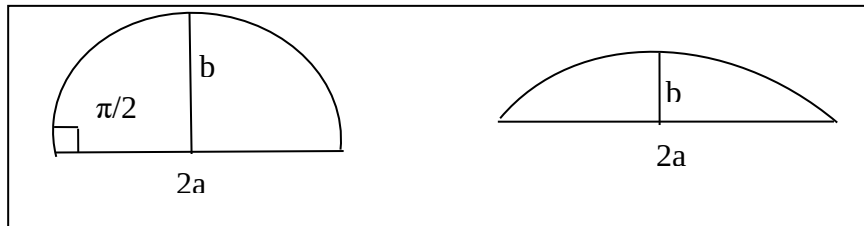
نصف دائرة كاملة Plein cintre ، قبضة السلة anse de pagner ، القطع الناقص ellipse ، الاوجيف ogive قوس دائرة parabole قطع مكافئ .

و نسمي قوسا كاملا فيما إذا كانت مماساته عند ابتدائه شاقولية، أما الأقواس الغير الكاملة فهي غالبا جزء من دائرة أو من قطع مكافئ. ومهما كان نوع القوس فإننا نسمي التفلطح نسبة السهم b إلى الفتحة $2a$ أي أن: $\alpha = \frac{b}{2a}$

من اجل نصف دائرة كاملة تكون $\alpha = 1/2$

فعندما تكون $\alpha > 1/2$ نسمي القنطرة مقببة.

وعندما تكون $\alpha < 1/2$ نسمي القنطرة مفلطحة.[6]



الشكل رقم (1-2). يبين حالات التفلطح

و قد صنف المهندس سيجرونيه القناطر كما يلي [6]:

- القناطر المفلطحة قليلا: $\frac{1}{2} > \alpha > \frac{1}{2\sqrt{3}}$

- القناطر المفلطحة بدرجة كافية: $\frac{1}{2\sqrt{3}} > \alpha > \frac{1}{7}$

الفصل الأول: استعراض مرجعي حول الجسور الحجرية

- القناطر المفلطحة كثيرا: $\alpha < \frac{1}{7}$

و عمليا لا تقل قيمة التفلطح عن 1/10

ونميز في القناطر أيضا الفتحة الخطية و هي طول القسم الذي يمكن للمياه أن تمر منه، والفتحة السطحية وهي متغيرة حسب ارتفاع المياه تحت الجسر وهي عبارة عن المساحة التي تجري فيها المياه. وإذا سمينا S المساحة للسطح المبلول في النهر قبل بناء الجسر و اذا كانت الفتحة السطحية يكون لدينا معامل الانسداد:

$$\beta = \frac{S - S_i}{S}$$

ويعني ذلك المعامل مساحة مقطع النهر التي يحتجزها الجسر

1-2. التعيين التقريبي للأبعاد الهندسية للقناطر:

1-2-1. مقدمة:

كتب سيجورنييه في مقدمة كتابه المشهور (عن القناطر الكبرى) بأننا نبني القناطر وفقا للقناطر المبنية فمسألة بناء القناطر مسألة تجريبية [6].

وفي الواقع فإننا حتى مدة قريبة (70 سنة تقريبا) كانت تبنى القناطر وفق الأبعاد التجريبية و بفتحة 35-40 م فتعتبر الفتحة ونوع القوس الداخلي ويستنتج من ذلك e_0 سمك القنطرة عند المفتح و e_1 سمكها عند ابتداء القوس. وهناك عدة قوانين لتحديد هاتين القيمتين الأساسيتين.

1-2-2. قانون سيجورنييه (Séjourné):

بعد أن درس سيجورنييه حالة الجسور القائمة المقنطرة تمكن من إيجاد سمك القنطرة عند المفتح بالقانون الآتي:

$$e_0 = \beta \mu (1 + \sqrt{2a})$$

حيث: μ , β عوامل تتعلق بنوع السير على الجسر وشكل المنحنى الداخلي.

جسر الطريق: $\beta = 0.12 - 0.18$ القيمة المتوسطة 0.15

جسر سكة حديدية: $\beta = 0.15 - 0.21$ القيمة المتوسطة 0.19

وبما انه في الوقت الحاضر تحسنت أنواع المونة يمكن أن نعتبر القيم الاصغرية المذكورة أعلاه. كما يجب أن نأخذ بعين الاعتبار وخاصة من اجل جسور السكة الحديدية بان الأوزان والحمولات الموجودة حاليا هي أكبر من التي كانت في زمن سيجورنييه.

وقد استخدمت القيمة 0.2 في عام 1944 لإنشاء جسور السكة الحديدية.

من اجل قوس دائري كامل: $\mu = 1$

من اجل قطع ناقص:

الفصل الأول: استعراض مرجعي حول الجسور الحجرية

$$\mu = \frac{4}{3} \left(1 - \frac{2\alpha}{3} + \frac{4\alpha^2}{9} \right)$$

من اجل جسر قوسي:

$$\mu = \frac{4}{3} (1 - \alpha + \alpha^2)$$

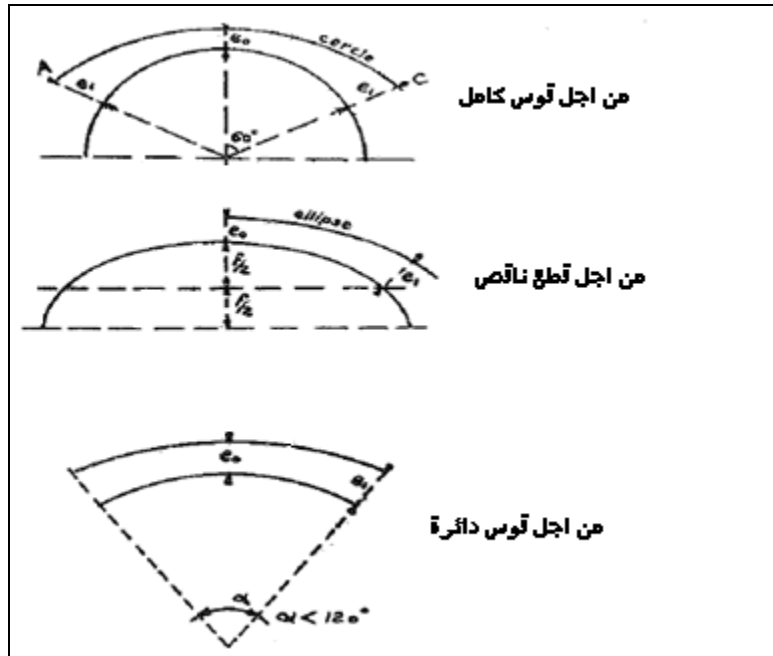
وإذا رمزنا بـ e_1 لسمك القنطرة في ابتداء القوس تكون القيم:

$$e_1 = 2e_0 \quad \text{من القوس الكامل:}$$

$$e_1 = (1 + 2\alpha) e_0 \quad \text{من اجل القطع الناقص:}$$

$$e_1 = (1 + 12\alpha^2) e_0 \quad \text{من اجل قوس دائري:}$$

و يمكن تخفيض هذه السماكة إلى 85% من قيمتها فيما إذا كانت الجسور مفرغة. نذكر هنا أن هذه القوانين كلها عملية وليس لها أية صبغة رياضية [6].



الشكل رقم (1-3). يبين الأشكال المناسبة لتحديد العوامل (e, μ)

3-1. طرائق إنشاء الجسور الحجرية: يوجد ثلاثة طرائق لإنشاء الجسور الحجرية: [41]

• بقايا حجارة (الركة):

وهي عبارة عن أحجار قاسية غير منتظمة الشكل وتستعمل على هيئتها التي تأتي بها من المقالع.

يمكن أن تكون مبنية بشكل صفوف منتظمة أو مدايك نظامية وتنفذ بشكل عشوائي وهذا النوع هو الأقل تكلفة وتعتبر قوية وممتينة بالنسبة للجسور الصغيرة المبنية بشكل جيد.

الفصل الأول: استعراض مرجعي حول الجسور الحجرية

• حجارة البناء:

وتشمل كل الأحجار المربعة (الأحجار منتظمة الشكل) تقريبا والتي يمكن تلبسها. يمكن أن تكون موضوعة بشكل عشوائي أو منتظمة على مداميك.

• الحجارة المنحوتة:

وتشمل الأحجار التي تكون منتظمة بدقة والمنحوتة بشكل نهائي. وكما هو الحال في الحجارة المربعة، يمكن أن تكون منتظمة أو عشوائية.

1-4. المميزات العامة للجسور المشيدة بالأحجار الطبيعية:

تتوفر مصادر الأحجار بكثرة في الطبيعة، غير أن المهندس يفقد الخرائط الجيولوجية التي تحدد أماكن توضع الطبقات الصالحة للاستخدام في البناء الحجري.

إن الكلفة الاقتصادية المتدنية للأحجار الكلسية في حال توفرها قريبا من موقع المبنى تسمح باستخدامها في كافة أعمال بناء الجدران الحجرية الحاملة وأعمال تلبس الواجهات، غير أننا لا يمكن أن نهمل الأحجار البازلتية والگرانيتية رغم أن كلفة استخراجها باهظة إلا أن إنتاج كميات كبيرة منها وخاصة الأحجار المتوسطة القساوة يمكن أن تخفض من كلفتها.

1-4-1. مزايا إنشاء الجسور بالأحجار الطبيعية:

يتميز البناء بالأحجار الطبيعية بما يلي:

1- دوام البقاء (الديمومة): إن العامل الهام لاستخدام الأحجار الطبيعية في البناء هو العمر المتوقع لبقاء المنشأة، وإن البناء الحجري ذو عمر مديد قد يصل إلى مئات السنين عند استخدام أحجار كبيرة الحجم.

إن انتقاء طبقة صخرية جيدة تستخدم أحجارها في بناء ما يطيل من عمره التقديري. ونؤكد هنا أننا قد ربطنا عمر المنشأة بالطبقة الصخرية وليس بالمقلع، إذ تتفاوت مواصفات أحجار كل طبقة فيه. كذلك يتعلق عمر المنشأة بطريقة البناء وخبرة البناء، فكلما كبرت كتلة الأحجار المستخدمة وتحسنت طريقة بنائها وقلت كتلة المونة في البناء الحجري زاد العمر التقديري للمنشأ.

كما يتعلق عمر المنشأة بمدى التوافق بين أحجارها والبيئة. إذ أن استخدام أحجار ذات مسامية مرتفعة في منطقة تتعرض للجليد أو استخدام أحجار لا تقاوم العوامل الكيميائية المتوفرة في الجو أو في تربة موقع المنشأ يقصران من عمرها. إن تحرك الأملاح القابلة للذوبان في الماء نحو الوجه الخارجي للحجر يمكن أن يحدث أضرارا بالغة فيه وقد يساعد على تقشره.

الفصل الأول: استعراض مرجعي حول الجسور الحجرية

- 2- تكاليف صيانتها اقتصادية: ذلك أن المنشأ الحجري المبني وفق أسس علمية سليمة وكان بناؤه ذا خبرة جيدة لا يحتاج إلى أية أعمال صيانة طويلة مدة صلاحيته. ويؤكد ذلك أن الأبنية القديمة رغم انقضاء العمر الافتراضي لها تستمر في الخدمة بعد أن تجرى أعمال ترميم لمونة الفواصل فيها فقط.
- 3- مقاوم للحريق: لما كانت الأحجار سيئة التوصيل الحراري لذلك فإن حريقاً عادياً لا يسبب لها أضراراً بالغة وتكفي بالتالي أعمال صيانة سطحية لإعادة المنشأة إلى الخدمة بعد الحريق.
- 4- مقاومة للاجهادات المفاجئة: ذلك أن الوزن الذاتي الكبير لجدران المنشآت الحجرية وصلابة أحجاره عاملان مؤثران هامان في مقاومة الاجهادات المفاجئة كالصدم والانفجار. وقد أثبتت المنشآت التي استخدمت الأحجار في بنائها مقاومتها للاجهادات المفاجئة وجدرانها.
- 5- الإنذار قبل انهياره: إذ أن البناء الحجري المعرض لأحمال متزايدة يظهر شقوقاً في جدرانه قبل أن يبلغ مرحلة الانهيار مما ينذر ذلك بالخطر ويسمح باتخاذ الإجراءات اللازمة لحمايته (تخفيض الأحمال - تدعيم الجدران...).
- 6- عازليته كبيرة: يخفف البناء بالأحجار الطبيعية من استخدام مواد العزل كثيراً ويعطي معاملاً حرارياً مناسباً. كما أن العزل الصوتي فيه جيد.
- 7- مقاومته لتقلبات الطقس: بسبب عازلية الأحجار الكبيرة وضعف توصيلها الحراري فإنه يؤمن حيزاً لا تؤثر فيه الأنواء بسرعة.
- 8- إن البناء الحجري يعطي مرونة كبيرة للمصممين والمعماريين للتصرف في الواجهات بالشكل الذي يريدونه، بالإضافة إلى المرونة في الأجزاء البارزة.
- 9- جماليته المعمارية: إن المعماري المتخصص في استخدام الأحجار يمكنه أن يبدع في تصميمه لواجهات منشآت جدرانها حجرية، فيتفنن في استخدام أشكال الأحجار وألوانها الطبيعية وينجز بذلك عملاً معمارياً فريداً متميزاً.

1-4-2. مساوئ إنشاء الجسور بالأحجار الطبيعية:

تتلخص مساوئ الإنشاء بالأحجار الطبيعية بما يلي:

- 1- طول مدة الإنشاء: إذ أن ضرورة استخدام اليد العاملة في أعمال البناء الحجري ورغم التطور الكبير في معدات التشغيل والرفع والنقل تستلزم وقتاً أطول للإنشاء عن باقي أنواعه.
- 2- كبر مساحة الجدران: إن كبر المساحة التي تتطلبها الجدران الحجرية ترفع من تكاليف المنشأ، كما أنها تقلل من الفتحة في الضوء خاصة للجسور التي تجتاز الأنهار كثيرة الغزارة.
- 3- صعوبة إدخال تعديلات على المنشآت ذات الجدران الحجرية الحاملة: ذلك أن عمل فتحات جديدة أو توسيع فتحات موجودة يتطلب دراسة جدية لها، كما أنها أعمال كلفتها مرتفعة.

الفصل الأول: استعراض مرجعي حول الجسور الحجرية

4- ضعف ارتفاع المنشآت ذات الجدران الحجرية الحاملة: إذ أن كتلة الأحجار الكبيرة لا تسمح ببناء جدار مرتفع نظراً لأن تراكم الأوزان الذاتية للأحجار يرفع من الجهود المطبقة على المداميك السفلى فيه [7] .

1-5. أهمية البحث:

تشكل الجسور العصب الحيوي في شبكة المواصلات البرية، وتمثل الجسور الحجرية منها نسبة هامة من حيث العدد وخاصة في شبكة الخطوط الحديدية، حيث تمثل حوالي 45 % من جملة الجسور على السكك الحديدية في فرنسا، و حوالي الثلث في الجزائر، كما تمثل عددا معتبرا في سوريا، بني معظمها في أواخر القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين.

إن المحافظة على الجسور الحجرية وعلى فنها المعماري جزء لا يتجزأ من الوعي الثقافي والحضاري للأمة، باعتبارها معالم أثرية. بالإضافة إلى تزايد حجم المرور المتواصل والحمولات المحورية المتزايدة نتيجة التطور الصناعي الكبير. لهذا الغرض يتوجب إجراء المزيد من الدراسات والبحوث العلمية بغية تقييم حالتها الراهنة وإمكانية إعادة تأهيلها وذلك لتحسين أدائها الوظيفي والإنشائي.

1-6. الأبحاث السابقة:

نظراً للأهمية البالغة التي تتطلبها إعادة تأهيل المنشآت الحجرية لتتحمل مختلف الاحمال والمؤثرات الخارجية، اجريت العديد من البحوث النظرية والدراسات التجريبية على مختلف انواع المنشآت ومواد بنائها، منها:

- مداخلات في مؤتمر البناء في نيو اورلينز من طرف الجمعية الامريكية للاختبارات والمواد ASTM سنة 1988. نذكر منها :

1- هونغ شين وسوريندرا شاه Hung Chen & Surendra Shah : وقد أجريا اختباراً لنموذج مخبري لركيزة جسر وسطية منفردة تحت اهتزازات ديناميكية وحمولات دورية، وذلك لمعرفة القص المستوي لهذه الركيزة، والاستجابة الكلية للركيزة الحجرية وذلك بتطبيق حمولة ديناميكية ببطء. جرى الاختبار على نموذجين لركيزتين موثوقيتين في النهايات، وارتفاعها مساوي لسماكتها، ومبنية من الآجر. وبينت النتائج أن الركائز أبدت انكسارات وتشققات محلية، وتدهور في القساوة غير متوقع كما أن ذروة المقاومة كانت ضعيفة [16].

الفصل الأول: استعراض مرجعي حول الجسور الحجرية

ولوحظ أن هناك فروقاً كبيرة بين الإستجابة الساكنة والإستجابة الديناميكية للركيزة الحجرية، كما أعطت نتائج الاختبارات أن المقاومة للمكعبات المأخوذة من الملاط المستعمل لبناء الركيزة أعطت نفس المقاومة المطلوبة في الكودات العالمية (ASTM).

2- كلايفورد جريم Clayford Grimm : تناول موضوع التشققات في المنشآت الحجرية، حيث أنها هي السبب الأكبر للإنهيارات، إذ تطرق البحث إلى تصنيف بعض أسباب التشققات إلى: نوع المنشأ، نوع المواد، البناء، الموقع، الشكل ، ابعاد المنشأ، ثم أعطى بعض طرائق لحماية وإصلاح هذه الشقوق [22].

3- بول جوهال وإيريك أوندرسون Paul Johal & Eric Anderson : وتناول بحثهما شرح برنامج اختبار لتقييم سلوك القص للركائز الوسطية الحجرية تحت حمولات زلزالية. وقد استعমা 32 عينة من البلوك الإسمنتي والأجر. وبينت النتائج أن المقاومة على القص للركائز الحجرية المبنية بملاط ذو أساس مرن كانت مقاربة لتلك المبنية بملاط ذو أساس اسمنت بورتلاندي [10].

قيم اجهادات القص العظمى التي تم الحصول عليها من الملاط ذو الأساس الإسمنتي وذو الأساس إسمنت مرن متقاربة إلى حدٍ ما، حيث كانت متوقعة من بيانات التجربة. كما ان محتوى الفراغات الهوائية في الملاط ذوأساس إسمنتي مرن أصغر من أو تساوي 18% محتوى الفراغات الهوائية الأعظمي المحدد في ASTM.

4- ريشارد جينسرت ووليام بريتنل R. Gensert & W. Bretnall : وتلخص بحثهما في توضيح المشاكل التي تواجه المباني الحجرية، ومحاولة إيجاد حلولٍ لها، وذلك بالكشف عنها بالملاحظة العينية وان تعذر ذلك لابد من اجراء اختبارات للمواد في الموقع والمخبر، ثم نمذجة هذه المنشآت لمعرفة قدرة تحملها، حيث اعتمد الباحثان على ملاحظة وتصوير نماذج لمختلف العيوب الظاهرة خاصة التشققات للجدران والانكسارات الجزئية للأحجار وانفصال المونة [11].

● بالإضافة إلى دراسات أخرى عربية وأجنبية نشرت في كتب ودلائل خاصة ببعض الكودات العالمية، ونذكر منها:

5- حوتي وزملاؤه من جامعة تلمسان بالجزائر: حيث درسوا أثر طبيعة الملاط على المقاومة على الضغط للمنشآت الحجرية. وهي دراسة مخبرية على جدران بأبعاد (80 × 100) سم² من البلوك الإسمنتي المفرغ مربوط بمونة إسمنتية (سماكة الفواصل 10 مم)، محملة تحت تأثير حمولة محورية على الضغط حتى الانكسار.

ودرس الباحث أثر تغير تركيز الاسمنت في الخلطة (300، 350، 400 كغ/م³)، مع استعمال ثلاث أنواع من الرمل.

الفصل الأول: استعراض مرجعي حول الجسور الحجرية

والهدف من هذه التجربة هو بيان مدى تأثير كل هذه العوامل على سلوك الجدران على الضغط. كما أجريت اختبارات تحديد الخواص الميكانيكية للبلوكات والملاط كل على حده، وللجدران بشكل عام وفق النورم الأوروبي (EN 106-1).

أظهرت النتائج أنه لا توجد اختلافات كبيرة في المقاومة على الضغط للجدران وفقاً لكمية الاسمنت بحيث لا تتجاوز (0.2 MPa). وعموماً ما يلاحظ هو انفصال الفواصل الشاقولية، ثم يحدث تشقق على مستوى البلوكات [27].

لذلك نرى أن مقاومة الفاصل تدخل بشكل عام في مقاومة الجدار. كما أثبتت الدراسات تأثير نوعية الرمل المستخدم في الملاط على مقاومة الضغط للمنشأ بأكمله.

6- ناتالي دوميد (Nathalie Domede): وكان موضوع بحثها حول تطوير طريقة لإعادة تأهيل الجسور الحجرية القوسية بواسطة إعادة حساب المنشأ. وكان تطبيقها على جسر قوسي مبني في سنة 1870 بفرنسا، حيث اعتمدت على ثلاثة مراحل، إذ قياس الأبعاد الهندسية ومعرفة الخواص الميكانيكية للمواد وفي المرحلة الثانية والتي تهدف إلى تحديد السلوك المتجانس للأحجار والملاط الرابط لها وأخيراً حساب الجسر بالمعطيات الجديدة بالأبعاد الثلاثية وقد استخدمت في ذلك طريقة العناصر لمحدودة [17].

واستنتجت أنه عند تحميل القوس فإنه في حالة انزلاق الركيزة، ينتج لدينا انفصال بين الأحجار من القسم العلوي للقوس بالقرب من المساند، وفي القسم الداخلي من القوس عند نقطة تطبيق الحمولة. ويصل هذا الانفصال إلى 1mm حين يتم الانزلاق. ويحدث الانهيار بطريقة دوران الأحجار عن بعضها. كما وجدت أن معامل الأمان للجسر المدروس كبير جداً [17].

وانطلاقاً من استعراضنا لهذه الدراسات والأبحاث فإنها لم تغطي بشكل واسع طرائق تقييم الحالة الراهنة وإعادة تأهيل الجسور الحجرية القوسية. حيث لم تحدد العيوب وكيفية الكشف عنها، ولهذا وباعتبار هذا الموضوع جديد في الساحة العلمية في سورية، حاولنا أن نبحت في معرفة العيوب في الجسور الحجرية على شبكة المواصلات البرية في سورية ومحاولة تصنيفها وفق كودات عالمية و تقييم هذه الجسور بهدف إعادة تأهيلها لتحسين أدائها الوظيفي والإنشائي وذلك لإطالة عمرها التصميمي.

الفصل الثاني

تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

- مقدمة

1-2. الصفات الأساسية للأحجار وتصنيفها

1-1-2. تصنيف أحجار الإنشاء وأنواعها

2-1-2. الصفات الفيزيائية

2-1-3. الصفات الكيميائية

2-1-4. الصفات الميكانيكية

2-1-5. الصفات التقنية

2-2. المونة الإنشائية والمواد الرابطة

2-2-1. تصنيف المونة الإنشائية

2-2-2. صفات المونة

2-2-3. المونة لربط الأحجار

2-2-4. المونة الخاصة

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

2-1. الصفات الأساسية للأحجار وتصنيفها:

تقسم مميزات الأحجار إلى مميزات فيزيائية ومميزات كيميائية ومميزات ميكانيكية. وتضم المميزات الفيزيائية: التجانس والقساوة والكتلة الحجمية الظاهرية والمميزات التي ترتبط بالماء كالمسامية والنفوذية والإشباع بالماء ومقاومة التجمد. أما المميزات الكيميائية فتضم تأثير الأحجار بالعوامل الخارجية على مختلف أنواعها وتفاعلها مع مواد البيئة.

وأخيرا فإن المميزات الميكانيكية تضم مقاومة الحجر للضغط ومقاومته للقص بنوعيه الستاتيكي والديناميكي أي مقاومته للاهتزاز والصدمات وكذلك مقاومته للتعب أي قدرته على الاستمرار في تحمل الأحمال المطبقة عليه ومن ثم قدرته على الالتحام بمختلف أنواع الروابط.

إن نوع المنشأ وموقعه والتصميم المختار له تحدد المميزات الواجب توفرها في الأحجار وبذلك نفضل حجرا ما توفر فيه مجموعة مميزات عن حجر آخر توفرت فيه مميزات أخرى. كما يفيدنا معرفة مميزات الأحجار، الحصول على المعلومات الأساسية للتقييم الصحيح لمادة الإنشاء.

2-1-1. تصنيف أحجار الإنشاء وأنواعها:

الأحجار هي كتل صغيرة من الصخر، وهي من أقدم مواد البناء المعروفة، وبالنظر لخواصها الفريدة فقد اعتبر الحجر من المواد المفضلة في المنشآت الدائمة. لقد كان الحجر وما زال من المواد السائدة في المنشآت إلا أن حلول القرن العشرين ادخل مواد أخرى. عندما تكون الأحجار قابله للقطع والصقل والتلميع لتعطي منتجا يمتاز بالجمال والقدرة على البقاء، فإنها تسمى أحجار الزينة و التي يعتبرها الكثيرون من أهم ما يمكن إضافته إلى المنشآت المعمارية. لقد تم تصنيف الصخور حسب طرق تكوينها في الطبيعة وسنستعرض هنا أنواعا عديدة من الصخور تعد من أهم أحجار البناء والزينة.

2-1-1-1. الصخور النارية:

وهي صخور تكونت من برودة سريعة أو بطيئة لمواد منصهرة في باطن الأرض تحت ضغط حيث تسمح البرودة البطيئة بتكون بلورات كبيرة كما في حالة الجرانيت بينما البرودة السريعة على السطح ينتج عنها فقط بلورات صغيرة كما في حالة البازلت. وتتميز الصخور النارية بالصلادة ومقاومتها للتعرية. من أهم الأنواع الجرانيت والبازلت.

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

أ - الجرانيت (Granit):

صخر صلد مقاوم للتآكل صعب التشغيل، يمتاز بحسن منظره نتيجة لكبر حجم بلوراته، واللون الغالب فيه هو اللون الوردي بالإضافة إلى الأبيض والأسود. يستخدم في أعمال الزينة وكذلك في الأماكن المعرضة لقوى التعرية كجوانب دعامات الكباري والسلالم كما يستخدم كسره كركام للخرسانة. والجرانيت صخر غير متجانس يتكون من الكوارتز والفلسبار وكميات صغيرة من الميكا. وأثناء تبلور الجرانيت من المصهور تنشأ به شقوق تتبع خطوط تركيب بلوراته وذلك نتيجة اختلاف معاملات تمدد جزيئاته. وهذا الاختلاف في معاملات التمدد يجعل مقاومة الجرانيت للحريق ضعيفة.

ب - البازلت (Basalte): صخر صلد مقاوم للتآكل و لونه اسود أو رمادي داكن وتكوينه البلوري دقيق وقد يحتوي على بلورات زجاجية. يستعمل البازلت كأحجار بناء وزينه و في أعمال الرصف، كما يستخدم كسره تحت عوارض السكك الحديدية وكركام للخرسانة. وهو يتكون من الفلسبار الكلسي والبيروكسين.

بما أن الجسور التي عايناها في زيارتنا التقييمية هي جسور حجرية قوسية من حجر البازلت في درعا، وكما هو معروف فان منطقة جبل حوران مع تحتوي تشكيلاتها الصخرية على حجر بازلت بكميات هائلة. ولذلك نريد المزيد من التعرف على هذه الصخور وتركيباتها الكيميائية:

هي صخور نارية (بركانية) قاعدية دقيقة التبلور. تعتبر من أكثر الصخور القاعدية انتشاراً حيث تكون حمم الهضاب والمخاريط البركانية بالإضافة إلى تكوين القواطع، وتميل صخور البازلت إلى اللون الأسود.

ب-1: الوضع الجيولوجي للصخور البازلتية:

تتواجد صخور البازلت ضمن الصخور البركانية على شكل قواطع تخترق صخور القاعدة و صخور العصر الجوراسي والطباشيري الرسوبية ' وعلى شكل طفوح بركانية متبادلة مع صخور النف والاجنمبرايت. كما توجد ضمن الصخور البركانية الرباعية بشكل طفوح ومخاريط بركانية. ولم تحدد إلى الآن القيمة الاقتصادية الفعلية لصخور البازلت، حيث يقتصر استعمالها كأحجار بناء وركام وتعبيد ورصف الشوارع.

ب-2. أشكال تواجد الصخور البازلتية:

توجد صخور البازلت المصمتة (Basalte Compacté) بشكل طفوح بركانية تحتوي على مقاطع صغيرة من البازلت الفقاعي، الريولايت والتراكيت.

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

تتكشف صخور البازلت المتشققة (Basalte Fissuré) كطفوح بركانية .. تستخدم كركام و يمكن أن تدخل في صناعة الصوف الصخري. تتكشف صخور البازلت المتشققة ضمن بركانيات العصر الثلاثي المكونة من صخور البازلت، الريولايت، التف، البيوميس والزجاج البركاني يبدأ التكوين بالبازلت وينتهي الريولايت، كما تتكشف صخور البازلت المصمت في مناطق محدودة. تستخدم كأحجار بناء وركام. صخور البازلت المتشققة متوضعه على صخور التف البركاني. تستخدم كركام ويمكن أن تدخل في صناعة الصوف الصخري.

تتكشف صخور البازلت الفقاعي (Basalte Scoriacé) والتي يرجع أصلها إلى الانفجار البركاني في العصر القديم. تستخدم كأحجار بناء وزينه وفي رصف الطرق والشوارع في المدن لاسيما المدن القديمة كما يستخدم في رصف المساحات الأمامية والخلفية للمساجد. صخور البازلت المتشققة بشكل كبير كطفوح بركانية يستخدم كركام وحجر أساس للمباني.

ب-3. الخصائص الكيميائية:

لم تتوفر لدينا دراسات كافية عن الخصائص الكيميائية لصخور البازلت، سوى بعض التي أجريت لها تحاليل كيميائية (في اليمن) وكانت النسب المئوية كما في الجدول رقم (1-2).

جدول رقم (1-2) نتائج التحليل الكيميائي لصخور البازلت بالنسب المئوية [1]

L.O.I	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
2-0.1	3.5-2	2-0.5	12-7	5-3	15-10	15-10	50-45

ب-4. الخصائص الطبيعية والميكانيكية

لم تتوفر أيضا دراسة عن الخصائص الطبيعية والميكانيكية لصخور البازلت

جدول رقم (2-2) يبين نتائج التجارب الطبيعية لصخور البازلت [1]

الصفات	الكثافة الظاهرية غ/سم ³	المسامية الظاهرية %	امتصاص الماء %	المقاومة على الضغط (كغ/سم ²)
القيمة	3.1-2.5	0.60-0.20	0.2 -0.05	2200-800

2-1-1-2. الصخور الرسوبية

هي صخور تكونت من ترسيب الأجزاء المفتتة من الصخور بفعل عوامل التعرية مع ما قد يجرف معها من أصداف وحيوانات بحرية. وغالبا ما تظهر في هذه الصخور أسطح الانفصال بين

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

الطبقات المختلفة. وهذا النوع من الصخور اقل صلادة وأسهل في التشغيل من الصخور النارية . ومن أشهر الأنواع الحجر الجيري والحجر الرملي.

أ - الحجر الجيري (Pierre calcaire):

صخر سهل التشغيل قليل الفراغات يقاوم الحريق حتى (900 درجة مئوية) وللماء والحرارة تأثير سيئ عليه. الحجر الجيري لونه ابيض ويكتسب اللون البني إذا اختلط به شوائب مثل كبريتوز الحديد الذي يبقعه ويكوّن حامض الكبريتيك الضار بتركيبه. ويستعمل الحجر الجيري في أعمال البناء، كما يدخل في صناعة الإسمنت والمواد الحديدية. والحجر الجيري من أكثر الصخور شيوعا و يتكون من كربونات الكالسيوم (كالسيت) او كربونات الكالسيوم والمغنيزيوم (الدولوميت)، ويسمى حجر مجنيزي إذا زادت نسبة المغنيزيوم عن (15%). أما إذا وجدت به مواد أخرى مثل السليكا أو الطين فيسمى حجر جيرى سيليسي أو حجر جيرى طيني.

ب-الحجر الرملي:

تتوقف صلادة وقوة هذا الصخر بدرجة كبيرة على حجم حبيباته ونوع وكمية المادة اللاصقة. لونه الطبيعي فاتح ووجود أكسيد الحديد يكسبه اللون البني أو الأحمر ويجعله قليل الصلادة والمتانة. يتحمل الحجر الرملي الحرارة حتى 800 درجة مئوية وللماء والحرارة تأثير سيئ عليه واغلب استخداماته في أعمال البناء والتلبس. ويتكون الحجر الرملي من حبيبات مستديرة أو زاوية من الكوارتز ملتصقة ببعضها البعض، وتزداد قوة الحجر كلما صغرت حبيباته ولنوع المادة اللاصقة تأثير كبير في خواصه.

2-1-1-3. الصخور المتحولة:

وهي صخور رسوبية أو نارية تغيرت أنسجتها ومعادنها بسبب تأثير الضغط والحرارة ' ومن أمثلتها الرخام والإردواز والحجر الأخضر.

أ - الرخام (Marbre):

صخر سهل التشغيل، مقاوم للتآكل غير مقاوم للحريق يمتاز بحسن منظره نتيجة وضوح بلوراته. يوجد بألوان مختلفة كالأبيض والأصفر والأحمر والأسود والأخضر. يستخدم للزينة وفي الأسطح المعرضة للاحتكاك كالسلالم. كما يستخدم كسره في عمل البلاط. ويتكون الرخام من كربونات الكالسيوم المتبلورة التي تختلف أحجام بلوراتها من الدقيقة إلى الكبيرة. لون الأنواع النقية منه ابيض ويتلون تبعا للشوائب الموجودة به، فالليمونيت يكسبه اللون الأصفر أو البني، وأكسيد الحديد يكسبه

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

اللون الأحمر، والمواد البيتيومينية تكسبه اللون الرمادي أو الأسود، أما الجلوكونيت فيكسبه اللون الأخضر.

ب - الإردواز:

صخر متحول من رسوبيات طينية، دقيق التحبب، يتميز بانفصام متوازي مثالي لا يتعلق بمستويات تطبق الصخر، وبسبب هذا الانفصام يمكن فصل الصخر إلى شرائح رقيقة نسبياً. يستخدم في أوروبا وغيرها بعد تقطيعه إلى ألواح مربعة أو مستطيلة في تغطية أسطح المنازل وغيرها.

ج - الحجر الأخضر:

صخر متحول يحتوي على نوع أو أكثر من معادن الكلوريت واللابيدوت والاكينوليت، نتج عن تحول البازلت أو الديابيز أو الصخور النارية القاعدية الأخرى [1].

2-1-2. الصفات الفيزيائية للأحجار:

2-1-2-1. الوزن النوعي: عبارة عن نسبة وزن المادة إلى حجمها المطلق (حجم الأجزاء الصلبة)، ويعطى بالقانون التالي:

$$\gamma = \frac{G}{V_a}$$

حيث: G- وزن المادة

V_a - الحجم المطلق للمادة

وتعطى وحدة الوزن النوعي بـ (غ/سم³). ونورد فيما يلي الوزن النوعي لبعض المواد [3].

جدول رقم (2-3): يبين الوزن النوعي لبعض المواد الحجرية

المادة	الغرانيت	الحجر الكلسي	الرمل	الطوب الغضاري	البازلت
الوزن النوعي (غ/سم ³)	2.9-2.6	2.6-2.4	2.7-2.6	2.8-2.5	3.0-2.4

يعتمد الوزن النوعي للصخور على كثافتها، حيث أثبتت التجارب التي أجريت على عينات كثيرة انه كلما زادت نسبة المعادن الثقيلة في الصخر كلما زاد وزنه النوعي ويلاحظ وجود علاقة عكسية بين الوزن النوعي والمسامية للصخور. فالصخرة ذات الوزن النوعي المرتفع تملك مسامية منخفضة، وعندما يكون الوزن النوعي للصخور منخفض فان قابليته لتوصيل الأمواج الصوتية قليلة ومقاومته للتجمد منخفضة [1].

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

2-2-1-2. الوزن الحجمي: وهو وزن وحدة الحجم الطبيعي للمادة (مع المسامات والفراغات)، ويعطى بالقانون التالي:

$$\gamma_0 = \frac{G}{V}$$

حيث: G - وزن المادة

V - الحجم الطبيعي للمادة (مع المسامات)

وتعطى وحدة الوزن الحجمي بـ (كغ/م³) أو بـ (طن/م³).

وبالنسبة للمواد المؤلفة من حبيبات فيعين الوزن الحجمي الردمي (γ_0) وهو عبارة عن وزن وحدة الحجم مع المسامات والفراغات ما بين الحبيبات في الحالة الجافة. يتغير الوزن الحجمي الردمي كثيرا بالنسبة للمواد الحبيبية المفككة الرطبة وخاصة إذا كانت الحبيبات بأبعاد تقل عن 0,3 مم.

إن الوزن الحجمي لغالبية مواد البناء أقل من وزنها النوعي ماعدا السوائل والمواد الناتجة من الانصهار (كالزجاج والجرانيت)، حيث يساوي الوزن الحجمي عمليا الوزن النوعي.

تتعلق الصفات التقنية للمواد بأوزانها الحجمية كالمتانة وناقلية الحرارة، ويدخل الوزن الحجمي في حساب سماكة الجدران للمباني السكنية وفي حساب نقل وتركيب العناصر الهندسية وكذا في حساب درجة تراص المواد ومساميتها.

جدول رقم (2-4): الوزن الحجمي لبعض المواد

المادة	الطوب الغضاري	الجرانيت	الحجر الكلسي	الرمل	الخرسانة	البازلت
الوزن الحجمي	1800-1600 2700	-2500 2700	-1800 2400	-1450 1650	-1800 2500	-2400 2800

2-2-1-3. درجة التراص (الكثافة): وهي عبارة عن نسبة امتلاء حجم المادة بالمادة الصلبة، ويمكن حساب درجة التراص بالقيمة النسبية أو بالنسبة المئوية [3].

$$d_0 = \frac{\gamma_0}{\gamma}$$

كما يعرفها النورم الفرنسي (NF B 10-503) بأنها نسبة حجم الأجزاء المليئة من المادة إلى حجمها الظاهري الكلي:

$$C = \frac{V_{app} - V_v}{V_{app}} = \frac{V_m}{V_{app}}$$

حيث: V_v : حجم الفراغات

V_{app} : الحجم الظاهري للعينة.

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

وتعرف المسامية الحقيقية بأنها نسبة حجم الفراغات في كتلة حجرية إلى حجمها الظاهري [7].

$$p = \frac{V_v}{V_{app}}$$

وان درجة تراص غالبية مواد البناء أصغر من الواحد أو من 100% بسبب وجود مسامات فيها.

2-1-2-4: المسامية: وهي نسبة حجم المسامات إلى الحجم الكلي للمادة، وهي تكمل درجة التراص إلى الواحد أو إلى 100%.

$$p_0 = 1 - \frac{\gamma_0}{\gamma}$$

يمكن أن تكون المسامات مغلقة أو مفتوحة على بعضها البعض. وفي الحالة الأخيرة يمكن تعيينها في المخبر بطريقة امتصاص الماء بضغط جوي عادي أو تحت ضغوط جوية، أو باستعمال التفريغ الجوي وذلك حسب القانون التالي:

$$P_0 = \frac{G_w - G}{G_w - G_1}$$

حيث: G_w - وزن العينة المشبعة بالماء (غ)

G - وزن العينة في الحالة الجافة (غ)

G_1 - وزن العينة في الميزان الهيدروستاتيكي (غ)

وتقسم المسامات حسب أبعادها إلى مايلي:

- كبيرة : مسامات $< 0,02$ مم

- متوسطة: مسامات ($0,02 - 0,002$) مم

- صغيرة: مسامات ($0,002 - 0,0002$) مم

- مسامات زجاجية أو نصف مغلقة بأبعاد تقل عن $0,0002$ مم.

يمكن حساب المسامات وعدّها بالميكروسكوب إذا كانت أبعادها تزيد عن $0,02$ مم، وكذلك الأمر بالنسبة للمسامات بأبعاد بين $0,02 - 0,002$ مم. أما المسامات بأبعاد اقل من $0,002$ مم فتعين بطريقة التكثف والتبخّر الموضوعة بالاستناد إلى قانون تومسون [4].

ويميز النورم الفرنسي (NF B 10-503) نوعين من المسامات:

- المسامات المنعزلة: وهي المسامات التي تشكل جيبا هوائيا منعزلا تحصره جدران من المادة.

- المسامات المفتوحة: وهي المسامات التي تتصل فيما بينها كما تتفتح على الهواء الخارجي.

إن المسامات المفتوحة هي التي تدخل في قياس الكتلة الحجمية الظاهرية ودرجة تراص الأحجار. ويعبر عن المسامية بنسبة مئوية لحجم الفراغات التي يدخلها الماء إلى الحجم الظاهري.

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

ونعطي في الجدول (2-3) القيم العددية التي تعبر عن النسبة المئوية لمسامية بعض أنواع الأحجار.

جدول رقم (2-5) النسبة المئوية لمسامية بعض أنواع الأحجار.

نوع الحجر	المسامية
غرانيت	0-2%
مرمر وأحجار كلسية قاسية	2-5%
أنواع الأحجار الكلسية الأخرى	5-50%

ونلاحظ هنا أن المسامية تزداد كلما تناقصت قساوة الحجر. تسمى المسامية المطلقة للأحجار هي نسبة حجم المسامات الكلي إلى الحجم الظاهري للحجر.

ان التعريف الشائع للمسامية هو: النسبة المئوية لكتلة الماء الذي تمتصه العينة إلى كتلتها الجافة وهذا تعريف خاطئ، ويجب أن تدعى النسبة المئوية لتشرب الماء (عامل امتصاص الماء). وان المسامية الحقيقية هي حجم الماء الممتص الى حجم العينة الظاهرية. وبين هذين التعريفين عامل هو الكتلة الحجمية الظاهرية للعينة. لذلك فان حجرا عامل امتصاصه 20 % وكتلته الحجمية 2000 كغ/م³ تكون مساميته 40 %.

إن لدرجة التراص والمسامية أهمية كبيرة فبهما تتعلق الصفات الأخرى مثل المتانة وامتصاص الماء والنفوذية للماء والغازات والحرارة ومقاومة الصقيع والحموض وغيرها.

كما أن الأحجار ذات مسامية اقل يمكن أن تقاوم دورات التجمد والذوبان أفضل من الأحجار ذات درجة مسامية عالية [41]

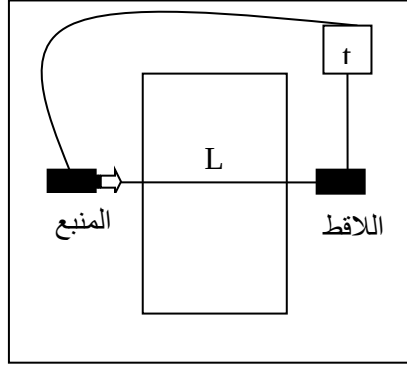
2-1-2-5: التجانس: وهي صفة هامة يجب توفرها في أحجار الإنشاء، وان أي عيب داخلي فيها قد تكون له نتائج سيئة على مقاومة الحجر، وان معاينة أولية للأحجار تسمح بانتقاء أولي منها، فلذلك يجب تجنب التكوينات غير المتجانسة فيها، كما يجب تجنب الأجزاء الرخوة (حفريات، مواد عضوية) والتكهفات المليئة بالهواء أو بالماء، كما نتجنب الأحجار التي فيها شقوق أو كسور.

إن تحديد تجانس عينة ما باستخدام سرعة انتشار الصوت فيها يسمح باكتشاف العيوب التي تحتويها والتي لم تستطع المعاينة البصرية كشفها. إن ارتفاع المميزات الميكانيكية للحجر يزيد من سرعة انتشار الصوت خلاله، وتتعلق هذه السرعة أيضا بكتامة الحجر، إذ تكون سرعة انتشار الصوت بطيئة في الأحجار الطرية والمسامية.

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

و لا يتعلق عزل الصوت فقط بمواصفات الجدار (قساوة الأحجار - كتلتها الحجمية) ولكن أيضا بتواتر الصوت.

- قياس سرعة انتشار الصوت خلال الأحجار: وهو أن نقيس زمن مرور نبضة صوتية عبر العينة بين المنبع واللاقط بينهما مسافة (1).



شكل رقم (1-2): يبين مبدأ قياس سرعة انتشار الصوت خلال الأحجار

ويستفاد من اختبار قياس سرعة انتشار الصوت خلال الأحجار من معرفة مدى تجانس الحجر وبالتالي اكتشاف العيوب فيه. كما انه كلما ازدادت سرعة انتشار الصوت خلال الأحجار، كلما ازدادت مقاومة الحجر على الضغط وازدادت وقساوته [7].

6-2-1-2: درجة امتصاص الماء: وهي إمكانية المادة في امتصاص الماء في الوسط الرطب. ويمكن أن يكون الماء الممتص بشكل سائل أو بخار ماء، ولذا نميز بين صفتين:

أ- **الامتصاص بالتكثف** (امتصاص بخار الماء): وهي صفة المادة في امتصاص بخار الماء من الهواء، وتتعلق بدرجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية وبشكل وبأبعاد المسامات ونوع المادة.

ب- **امتصاص الماء:** وهي إمكانية المادة في امتصاص الماء والاحتفاظ به، وتقاس بنسبة الماء الممتصة بالمادة الجافة المغمورة كلياً داخل الماء إلى وزن المادة الجافة (درجة امتصاص الماء وزناً) أو إلى حجمها (درجة الامتصاص حجماً w_0).

$$w = \frac{G_1 - G}{G} \times 100(\%) \quad w_0 = \frac{G_1 - G}{V} \times 100(\%)$$

حيث: G_1 - وزن المادة في حالة إشباعها بالماء بال غ.

G - وزن المادة في الحالة الجافة بال غ.

V - حجم المادة (مع المسامات) بال سم³.

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

إن درجة امتصاص الماء حجما أقل من المسامية الحقيقية، إذ أن بعض المسامات تكون مغلقة ولا يصل إليها الماء. ودرجة امتصاص الماء حجما أقل من 100%، بينما يمكن أن تكون درجة امتصاص الماء وزنا أكثر من 100% بالنسبة لبعض المواد ذات المسامية العالية، وتتغير درجة امتصاص مواد البناء للماء بحسب المسامات وشكلها وأبعادها ونوع المادة ودرجة شراحتها للماء [3].

كما يمكن القول أن امتصاص الماء هو قابلية الحجر على جذب الماء والموائع الأخرى بين المسام وحول سطح حبيباته. في أحجار البناء والزينة يجب أن تكون نسبة امتصاص الحجر للماء قليلة، إذ أن امتصاص الماء يؤدي إلى تجوية الحجر، والامتصاص يتناسب طرديا مع مسامية الحجر وعكسيا مع قوته [1].

2-6: الامتصاص الشعري في الأحجار: إن دراستنا لمسامية الحجر ودرجة إمساكه للماء إضافة لخاصة الامتصاص الشعري فيه تساعدنا على معرفة مدى مقاومته لفعل التجمد. يدرس الامتصاص الشعري على مكعبات مخبرية جففت تماما حتى الكتلة الثابتة ثم تغمر قاعدتها بالماء لتبدأ بعدها خاصة الامتصاص الشعري بالعمل فيرتفع الماء شاقوليا أو أفقيا وفقا لوضع العينة إن كانت موازية للسرير الطبيعي أو متعامدة معه، وبعد عدة مرات من الوزن تفصل بينها مدد زمنية ثابتة يمكن تحديد الامتصاص الشعري بالعلاقة التالية:

$$E_c = 100 \times \frac{m_t - m_1}{m_t}$$

حيث: E_c هي عامل الامتصاص الشعري للعينة

m_1 هي كتلة العينة الجافة

m_t هي كتلة العينة بعد زمن t من بدأ التجربة

ويعطي النورم الفرنسي (NF B10-502) خاصية الامتصاص الشعري للحجر بالعلاقة:

$$C = 100 \times \frac{M}{S\sqrt{t}}$$

حيث: M هي الكتلة الكلية الممتصة (غ)

t : هي الزمن الكلي منذ بدء التجربة (بالدقيقة)

S : هي مقطع قاعدة العينة (سم²)

ونميز خاصة الامتصاص الشعري لكل عينة بعاملين:

- عامل امتصاص شعري للعينة في وضع متعامد مع توضع السرير الطبيعي.
- عامل امتصاص شعري للعينة في وضع مواز لتوضع السرير الطبيعي.

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

2-1-2-7: درجة طرح المادة للماء: تحتفظ المادة بالماء الموجود فيها بشرط توافر الرطوبة النسبية المتوازنة للهواء. وحين تكون رطوبة المادة أعلى من الرطوبة النسبية المتوازنة فإن المادة تطرح الرطوبة إلى الوسط المحيط (أي تجف المادة).

تتناسب سرعة طرح الرطوبة طردا مع الفرق بين رطوبة المادة والرطوبة النسبية للهواء. كما تتعلق هذه السرعة بصفات المادة نفسها وشكل المسامات وطبيعة المادة. إن المواد الكارهة للماء ذات المسامات الكبيرة تعطي الماء بسهولة أكبر من المواد الشريهة للماء وذات المسامات الصغيرة. ولا يخلو الوسط الهوائي في الشروط الطبيعية من الرطوبة.

يسبب تغير رطوبة كثير من المواد في تغيير أبعادها فتتفتخ عند تعريضها إلى الرطوبة، وتتقلص عند تجفيفها. وإن تناوب الرطوبة والتجفيف يسبب في نشوء اجهادات متغيرة بالإشارة في عناصر المنشآت الهندسية تؤدي إلى فقدان هذه العناصر قدرة التحمل (تتخرب)، ولهذا السبب تستخدم مقاومة المادة للهواء.

2-1-2-8: نفاذية المادة للماء: عبارة عن قدرة المادة على تمرير الماء تحت الضغط. تتعلق درجة نفاذية المادة للماء بدرجة تراصها وبنيتها. وإن المواد الكثيمة (مثل الزجاج والبيتومين والفولاذ) غير نفوذية للماء. وكذا فإن المواد الحاوية على مسامات دقيقة مغلقة عمليا غير نفوذية للماء.

تميز نفاذية المادة للماء بكمية الماء المار خلال ساعة واحدة عبر 1 سم² من سطح المادة تحت تأثير ضغط (معطى) ثابت. كما تختبر المواد على عدم نفاذيتها للماء باستعمال أجهزة خاصة [3]. وتعرف أيضا بقابلية الأحجار لأن يخرقها الماء، ويتعلق ذلك بطبيعة الماء ودرجة حرارته (إذ تتغير لزوجته حسب درجة الحرارة)، كما تتعلق بسماكة الحجر والحمولة الهيدروستاتيكية وقطر مسامه الشعرية وعدد مساماته المفتوحة.

ويمكن ربط نفوذية الأحجار بالتوابع التالية:

- تنقص النفوذية مع زيادة لزوجة السائل
 - تنقص النفوذية مع زيادة عرض الحجر
 - تزداد النفوذية مع ازدياد الحمولة الهيدروستاتيكية
 - تزداد النفوذية إذا ازدادت المسامية عندما تبقى الأقطار الوسطية للمسامات ثابتة
- (يجب عدم الخلط بين ضعف نفوذية الأحجار وممانعتها للرشح) [7].

2-1-2-9: مقاومة الصقيع (التجمد): وهي إمكانية المادة المشبعة بالماء من تحمل تناوب التجمد والذوبان لمرات كثيرة دون ظهور دلائل الانكسار ودون أن تنقص مقاومة المادة كثيرا. ولقد أظهرت

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

المشاهدات العديدة أن المواد المعرضة لتناوب امتصاص الماء وتجمده تخرب تدريجيا، وذلك لأن الماء الموجود ضمن مسامات المادة عند تجمده يزداد حجمه بمقدار 9 % تقريبا [3].

الأحجار كغيرها من المواد تحتوي على عدد من الفراغات (المسامات) يمكن للماء الانتشار خلالها. وعند حلول الطقس البارد يتشكل الجليد على سطح الأحجار مما يزيد من حجم الماء فيه فيدفعه إلى الداخل حيث المسامات الفارغة وهكذا تزداد كمية المسامات التي تحتوي على الجليد أي تزداد كمية الإمساك بالماء. ومع تزايد البرودة يضغط جليد المسامات على جدرانها مما قد يسبب انفلاقها أو تقصفها أو تفتتها.

لكل نوع من الأحجار كمية من الماء الحرجة خاصة به إن تجاوزتها كمية الماء التي فيه سببت عيوباً في كتلة الحجر عند حدوث الجليد. لذلك يجب اختيار النوع المناسب من الحجر لكل موقع في أسطح الجدران الخارجية حيث يتم اختيار الأحجار القاسية ذات النفوذية الضعيفة والمسامية القليلة في عناصر الواجهة الأكثر تعرضاً للأنواء (الظروف الجوية) [7].

لتعيين مدى مقاومة المادة للصقيع يعتمد إلى تجميد العينات المشبعة بالماء تحت درجة حرارة ($15^{\circ}\text{C} - 17^{\circ}\text{C}$) ومن ثم تذويبها. تتعلق مقاومة المادة للصقيع بكثافتها ودرجة تشبع مساماتها بالماء. وإن المواد الكثيمة مقاومة للصقيع.

وتكون المواد المسامية مقاومة للصقيع فيما إذا كانت مساماتها مغلقة أو فيما إذا كان الماء يشغل 90% فقط من حجم المسامات، وتعتبر المادة مقاومة للصقيع فيما إذا لم تنقص متانتها أكثر من 25% بعد تعريضها إلى العدد المطلوب من تناوب التجمد والذوبان وإذا لم ينقص وزنه أكثر من 5%.

تعيين درجة مقاومة الصقيع بعامل المقاومة (K) حسب العلاقة:

$$K = \frac{R_1}{R_w}$$

حيث: R_1 : حد المتانة للمادة بعد اختبارها على المقاومة ضد الصقيع (kg/cm^2).

R_w : حد المتانة على الضغط للمادة المشبعة بالماء (kg/cm^2).

يجب أن لا تقل درجة مقاومة المادة للصقيع عن 75% من مقاومته الأصلية بعد اختبارها.

2-1-10: ناقلية الحرارة: وهي صفة المادة لتمرير الحرارة من خلالها.

تتصف كل المواد بناقلية للحرارة ولكن لكل مادة ناقلية للحرارة تختلف عن الأخرى. وتتميز ناقلية المادة للحرارة بعامل الناقلية الحرارية الذي يساوي لكمية الحرارة بالحريات (calories)، المارة عبر

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

النموذج بسماكة 1م ومساحة 1م² خلال ساعة واحدة بفرق درجتي الحرارة على سطحها بمقدار درجة مئوية واحدة.

تتعلق ناقلية المادة للحرارة بعدة عوامل: طبيعة المادة، بنيتها، درجة مساميتها، شكل المسامات، الرطوبة ودرجة الحرارة الوسطية التي يحدث بها تمرير الحرارة. فالمواد التي مساماتها مغلقة تتصف بناقلية أقل من المواد ذات المسامات المتصلة ببعضها.

كما أن للمواد ذات المسامات الصغيرة ناقلية أقل من المواد ذات المسامات الكبيرة، وذلك لأن الهواء يتحرك في المسامات الكبيرة أو المتصلة فينقل الحرارة أكثر من الهواء الساكن.

وتؤثر الرطوبة تأثيراً بالغاً على ناقلية المادة للحرارة، فدرجة ناقلية المواد الرطبة للحرارة أكبر من المواد الجافة [4].

ترتبط قدرة العزل الحراري للأحجار بوجود المسامات ونسبتها فيها، إن التوصيل الحراري U لمادة هي كمية الحرارة التي تعبر في نظام مناخي ثابت عينة من هذه المادة سماكتها 1م في واحدة الزمن ولوحدة السطوح فإذا كان فرق حرارتي وجهي العينة 1k. (k هي واحدة درجة الحرارة كالفن) فهناك علاقة بين التوصيل الحراري لهذه المادة وكتلتها الحجمية الظاهرية، ونلاحظ هنا أنه كلما ضعفت كتلتها الحجمية الظاهرية كلما كبرت قدرتها على العزل [7].

1-2-11: السعة الحرارية: وهي صفة المادة امتصاص الحرارة عند تسخينها. وهي تتميز بعامل السعة الحرارية الذي يعطى بالقانون التالي:

$$C = \frac{Q}{G(t_2 - t_1)}$$

حيث: Q: كمية الحرارة المصروفة على تسخين المادة من درجة الحرارة (t₁) وحتى (t₂) بالحرارة.
G: وزن المادة بالكغ.

t₂-t₁: الفرق بين درجة حرارة المادة قبل وبعد التسخين بالدرجة المئوية.

يتراوح عامل السعة الحرارية للمواد الحجرية بين 0.18 - 0.22.

إن للسعة الحرارية أهمية كبرى في الحالات التي تستلزم المحافظة على الحرارة. مثلاً في حساب الاستقرار الحراري لجدران وسطوح الأبنية المدفأة بهدف المحافظة على حرارة الغرف بدون تذبذبات كبيرة عند تغير الحرارة وكذلك في حساب الأفران [3].

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

12-2-1-2: مقاومة النار: وهي إمكانية المادة على تحمل درجة الحرارة العالية دون أن تفقد قدرة التحمل (أي دون نقصان شديد للمتانة وتشوهات كبيرة). وهذه الصفة ضرورية أثناء الحريق ويجب مراعاة تأثير الماء إذ أنه أثناء الحريق يستعمل الماء في إطفائه.

تقسم المواد بحسب مقاومتها للنار إلى ثلاثة أقسام: مواد لا تلتهب، مواد تلتهب بصعوبة، مواد تلتهب بسهولة.

- فالمواد التي لا تلتهب هي المواد التي لا تحترق ولا تشتعل تحت تأثير الحرارة العالية مثل المواد المعدنية وغير العضوية الطبيعية والصناعية والمعادن. إلا أن بعض هذه المواد لا تتشقق تحت تأثير الحرارة العالية ولا تتشوه مثل الطوب المحضر من الغضار، بينما البعض الآخر (مثل الفولاذ) تتشوه كثيرا تحت تأثير الحرارة العالية. ولهذا السبب لا يمكن تصنيف الفولاذ مع المواد المقاومة للنار.

- أما المواد التي تلتهب بصعوبة فهي المواد التي تحترق دون لهب أو تلتهب ولكن بصعوبة تحت تأثير الحرارة العالية، ولكنها تستمر في الاحتراق فقط بوجود النار. من هذه المواد الخشب المعامل بالمركبات المقاومة للنار.

- وبالنسبة للمواد التي تلتهب بسهولة فهي المواد التي تحترق وتلتهب تحت تأثير النار وتستمر في الاحتراق بعد إبعاد النار أيضا. من هذه المواد كل المواد العضوية غير المعاملة بالمركبات المقاومة للنار [3].

13-2-1-2: مقاومة الحرارة: وهي قدرة المادة على تحمل التأثير المستمر للحرارة العالية بدون أن تتشوه أو تنصهر، وتقسم المواد إلى ثلاثة أقسام:

مواد مقاومة للحرارة، وهي المواد التي تتحمل التأثير المستمر لدرجة الحرارة الأعلى من (1580°م) ، والمواد التي تتحمل التأثير المستمر لدرجة الحرارة بين (1350°م) و (1580°م) تدعى بالمواد المنصهرة بصعوبة. أما المواد التي تتحمل التأثير المستمر لدرجة الحرارة دون (1350°م) فتدعى بالمواد المنصهرة بسهولة.

تتعلق المقاومة الحرارية بتجانس المادة وعامل التمدد الحراري لأجزاء المادة، هذا ويعتبر الزجاج والگرانيت من المواد التي ليست لها مقاومة حرارية.

14-2-1-2: التصقح: صفة البلورات وحبيبات الميزرالات والمواد عند طحنها (أو تكسيرها) في أن تتفتت باتجاهات معينة مشكلة سطوحا مستوية في أمكنة الانكسار، وذلك بسبب الخصائص الداخلية لبنيتها، وعلى هذا فإن الحجر سينكسر في الأمكنة الأقل ترابطا بين طبقات المادة.

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

وتستعمل هذه الصفة عند استخراج قطع كبيرة من الأحجار، وكذا عند تحضيرها للتكسير للحصول على البحص. وبحسب ما تكون درجة التصفح للبلورات وحببيات المينرالات كاملة تماماً أو كاملة أو متوسطة أو غير كاملة، تحدث عدة أنواع من مقاطع الانكسار بدءاً من المقاطع المستوية واللامعة وانتهاءً بالمقاطع غير المستوية وغير الصحيحة.

3-1-2. الصفات الكيميائية:

1-3-1-2: الانحلال: صفة المادة في تشكيل محاليل متجانسة (محاليل حقيقية) تتصف ببنية كيميائية متماثلة وصفات فيزيائية متشابهة في جميع أجزاء كتلتها نتيجة التأثير المتبادل لمادة ما مع الماء أو غيره من المحاليل. وتتغير درجة الانحلال بحسب بنية المادة وتركيب المحلول المائي ودرجة حرارته.

تتميز المواد بدرجات انحلال مختلفة، فمياه المحيطات تحوي أملاح محلولة تتراوح بين (1) غ و(164) غ لكل (1000) غ ماء، ومنها: $K_2 SO_4$, $K Cl$, $Ca SO_4$, $Mg SO_4$, $Mg Cl_2$, Na) و(1) غ و(164) غ لكل (1000) غ ماء، ومنها: Cl وغيرها. وان النسبة بين هذه الأملاح ثابتة نسبياً.

2-3-1-2: التبلور: صفة المادة في تشكيل البلورات عند تحولها من حالة (غازية أو سائلة) إلى حالة ثنائية (صلبة). يسبب تبلور بعض المواد في زيادة متانتها مثل الاسمنت المتصلب.

إن تبلور الماء في مسامات الحجر الإسمنتي يمكن أن يسبب في تخريب بنيته، ويرافق تبلور المواد ذات المنشأ العضوي وكذا المنشأ المعدني تغير في حجمها. ويمكن فحص خواص التبلور ودرجته بواسطة الميكروسكوبات.

3-3-1-2: مقاومة التآكل: صفة المادة في عدم تخربها بتأثير الأوساط الفعالة، وقد عرفت أوساط فعالة كثيرة تؤثر بشكل تخريبي على بعض المواد ولا تؤثر على بعضها الآخر. وتقدر مقاومة التآكل بالتحليل الكيميائي.

4-3-1-2: مقاومة العوامل الجوية: صفة المادة في عدم تلفها بتأثير العوامل الجوية (حرارة الهواء، الأمطار، الأشعة الشمسية، مختلف الغازات، وغازات مختلف المعامل، المواد العضوية الدقيقة وغيرها) وفي عدم تغير تركيبها وصفاتها. ويمكن في المخابر إجراء اختبارات تؤثر بشكل مشابه لتأثير العوامل الجوية.

5-3-1-2: الالتصاق: صفة المادة في الالتصاق على سطح مادة ثنائية وتقاس بمتانة الالتصاق - عند فصلهما عن بعضهما البعض -. وكمثال على هذه الصفة يمكن إيراد الخرسانة

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

والخرسانة المسلح حيث قوى الالتصاق تظهر في ترابط الحجر الإسمنتي مع سطوح المواد الحصوية (الرمل، البحص، الزلط) وحديد التسليح.

2-1-3-6: قوة الترابط: متانة المادة بسبب قوى الالتصاق الداخلية للجزيئات، ويمكن ملاحظة ذلك في الخرسانة حيث تظهر قوى الترابط باللتصاق المواد المؤلفة للحجر الإسمنتي كحبات الرمل والبحص. وبالنسبة نحصل على حجر صناعي مترابط من مختلف المواد التي تتصف كل مادة منها بصفات خاصة بها.

يمكن الحكم بطريقة غير مباشرة على الالتصاق وقوة الترابط مثلاً بواسطة تعيين متانة المونة الإسمنتية.

2-1-3-7: التصلب: بعض المواد تكتسب عدة صفات جديدة نتيجة عمليات فيزيائية وكيميائية مثل المقاومة لحمولات مختلفة بالشكل والميزات ومقاومة تأثير الوسط الخارجي الفعال وغيرها. تتعلق المتانة المكتسبة وكذا مقاومة تأثير القوى الخارجية والأوساط الفعالة بتركيب مختلف المواد الداخلة في التصلب والشروط التي يجرى التصلب بها.

2-1-3-8: الشيوخة: صفة المادة للانتقال من حالة إلى أخرى نتيجة عمليات فيزيائية وكيميائية بحيث تفقد إمكانية مقاومة الحمولات والأوساط الخارجية الفعالة.

2-1-3-9: انتشار الحرارة أو امتصاصها: صفة المادة في نشر الحرارة نتيجة لجريان التفاعلات الكيميائية مثل امتصاص الحرارة أثناء تحضير المواد الرابطة وانتشار الحرارة أثناء تصلبها.

2-1-3-10: إمكانية الاحتراق: صفة بعض المواد في الاحتراق أي الاشتراك في التفاعلات الكيميائية الجارية بسرعة والمترافقة بانطلاق الضوء وكمية من الحرارة [3].

2-1-4. الصفات الميكانيكية:

تتميز الصفات الميكانيكية للمواد بقدرتها على مقاومة كل أشكال تأثيرات القوى الخارجية. وبحسب مجموعة الدلائل نميز بين متانة المادة على الضغط والانعطاف والصدم والقتل والقساوة واللدونة والمرونة والاهتراء وغيرها.

2-1-4-1: المتانة: وهي إمكانية المادة مقاومة الانكسار تحت الاجهادات الناجمة عن الحمولة في دراسة هذه الخاصة يعني علم مقاومة المواد وهنا نعطي المفاهيم العامة لمتانة المواد الضرورية في دراسة الخواص الأساسية لمواد البناء. ومنها:

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

أ- مقاومة الأحجار للضغط:

إن معرفة مقاومة الأحجار للضغط تسمح باختيار نوع مناسب من الأحجار لكل موقع في المنشأ بحيث تتمكن من مقاومة الاجهادات التي ستخضع لها وضمن حدود للأمان نظامية.

- طريقة تحديد مقاومة الضغط:

حسب النورم الفرنسي (NF B 10-509) تنفذ التجربة على مكعبات يتراوح طول ضلعها من 70 مم إلى 100 مم وذلك بعد تصحيح حروفها لتعطي أوجها مستوية ومتوازية ويسمح بتسامح لتسوية السطح يقل عن 0.1 مم كما يسمح بتسامح لتوازي أسطح المكعبات ب 0.2 مم.

بعد تجفيف العينة حتى نحصل على الكتلة الثابتة نوضع بين لوحين ضغط لمكبس هيدروليكي مع التأكد من تطابق مركز قوة الضغط ومركز ثقل المكعب، ويبدأ تطبيق ضغط متزايد بسرعة ثابتة.

$$\sigma_p = \frac{P}{S} \quad \text{وتعطي العلاقة التالية مقاومة الضغط:}$$

حيث p : حمولة الانكسار

S : مقطع العينة

يختلف شكل انكسار الأحجار وفقا لقساوتها، فالكوارتزيت ينكسر كالزجاج بينما تنكسر الأحجار الطرية مشكلة جذعين أو أكثر لأشكال هرمية تتقارب في قاعدتها.

تعتمد قوة الضغط الذي تتحمله الصخور على النسيج الصخري وحجم الحبيبات. فكلما كانت حبيبات الصخر دقيقة ومتراصة كانت قوه تحمله لاجهادات الضغط أكبر، كما أن المادة اللاصقة تلعب دورا كبيرا في تحديد قوة الضغط الذي تتحمله الصخور الرسوبية والتي تصل أقصى قوة عندما تكون المادة اللاصقة من السليكا، وعكس ذلك عندما تكون المادة اللاصقة من الطين. كما أن قوه تحمل الصخور لاجهادات الضغط تقل بزيادة درجة التشبع.

ب- **مقاومة الأحجار للشد:** تعتبر الأحجار ذات مقاومة ضعيفة للشد، وإن تحديد مقاومتها للشد تسمح بمعرفة تصرف الجدران الحجرية الحاملة أو أحجار التغطية عند تعرضها لأحمال أفقية أو لأحمال غير متمركزة وهي أضعف بكثير من مقاومة الأحجار للضغط، وتحدد عادة بالعلاقة:

$$\frac{\sigma'_p}{\sigma_p} = \frac{1}{10} \quad \bullet \text{ للأحجار الكلسية والغرانيت}$$

$$\frac{\sigma'_p}{\sigma_p} = \frac{1}{15} \quad \bullet \text{ للأحجار الرملية}$$

حيث σ'_p : هي مقاومة الحجر للشد

σ_p : هي مقاومة الحجر للضغط

ج- **مقاومة الأحجار للقص:** إن معرفة مقاومة الأحجار للقص مفيدة خاصة عند استخدامنا لها في البروزات كالكورنيشات والشرفات، وتقدر هذه المقاومة غالبا بثلاث مقاومة الحجر للشد.

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

د- **مقاومة الأحجار للثقب:** هي مقاومة الأحجار لضغط مركز في مساحة صغيرة من سطح العينة، لذا تعتبر مقاومة الثقب هي مقاومة للضغط تصحبها عملية تطويق شديدة من باقي أجزاء العينة، ومن هذا الوصف يمكننا اعتبار اختبار مقاومة الأحجار للثقب عملية لقياس قساوة الحجر وتحدد عمليا هذه المقاومة للثقب بثلاثة أضعاف مقاومتها للضغط البسيط.

هـ- **مقاومة خرزات الأحجار:** خرزات الأحجار هي عناصر معدنية (من معدن واحد أو من خليطة معدنية) ذات أشكال مختلفة تستخدم في أعمال تغطية الجدران (التلبيس)، ولها غايات متعددة وفق دورها، فمنها خرزات حاملة ومنها خرزات مثبتة وأيضا خرزات لتعليق ألواح التغطية. إن معرفة الجهود المطبقة على خرزات الأحجار ضرورية لتحديد مقاومة الأحجار للاجهادات التي تنقلها إليها الخرزات وبالتالي لتحديد سماكة أحجار التغطية.

2-4-1-2: السيوبة: بتأثير الحمولات الصغيرة نسبيا فان المادة تنتشوه تشوها لدنا قليلا ولمدة طويلة. وبزيادة التشوهات اللدنة فان أبعاد العناصر والمنشآت تتغير. توجد عدة نظريات في شرح أسباب سيوبة المواد وإحداها تربط هذه الصفة بالانتقال النسبي للذرات والجزئيات أي تعتبر السيوبة كالسيلان البسيط للمادة [3]. تزداد السيوبة بزيادة درجة الحرارة وزيادة الاجهادات.

2-4-1-3: الاسترخاء: عبارة عن صفة المادة المتعلقة بانخفاض الاجهادات الناجمة عن تأثير الحمولات الخارجية وذلك بسبب تناقص التشوهات المرنة وزيادة التشوهات اللدنة.

وبحسب معطيات الباحثين المختلفين فان استرخاء الاجهادات في الخرسانة في حال المحافظة على التشوهات ثابتة يتلاشى مع الزمن.

2-4-1-4: الانقصاص: صفة المادة في الانهيار تحت تأثير قوة طارئة دون حدوث تشوه لدن مرئي (باق) حتى في تلك الحالات التي تنتشوه فيها المادة تشوها لدنا بتأثير الحمولات الستاتيكية.

2-4-1-5: الاهتراء: صفة المادة في تأكلها طبقة-طبقة بتأثير قوى الاحتكاك بين سطحها وسطح المادة المؤثرة عليها.

ويتعلق اهتراء المادة بصلادتها (القساوة السطحية). وعند التأثير المشترك لقوى الاحتكاك والقوى الطارئة تزداد سرعة تآكل المادة.

يمكن تعيين الاهتراء بطرق مختلفة، ومن هذه الطرق مثلا يعين الاهتراء بواسطة توجيه ماء مع مادة صلبة كالرمل الكوارتزي على شكل ناقورة بضغط كبير، أو تعيينه بواسطة قرص الاهتراء.

وتعتبر المواد الحجرية الطبيعية كالكوارتزيت والحجر الرملي والبازلت والديوريت والغرانيت والرخام والصخور الكلسية من المواد ذات المقاومة الجيدة للاهتراء.

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

2-1-4-6: صلابة السطح:

تستخدم هذه الخاصية لقياس مقاومة الصخر للخدش حيث تستخدم برادة الحديد لصقل السطوح وعرض الخدش يدل على مدى صلابة سطح الصخر. ويقاس العاملون في المحاجر صلابة السطح بسرعة اهتزاز ريشة الحفر.

هي الميزة التي تجمع بين المميزات الفيزيائية والمميزات الميكانيكية، ويمكننا تعريفها بأنها مقاومة الأحجار للحك. وهناك طريقتان لقياسها:

- طريقة سلم موهز Mohs: حيث أعد موهز سلما من عشرة معادن تزداد قساوتها من 1 إلى 10، وكل معدن منها يحك المعدن الذي يسبقه في السلم، ويحكه المعدن الذي يليه علما بأن المعادن التي من قساوة واحدة لا تحك بعضها ومن ثم يمكن تحديد قساوة معدن ما بالمقارنة مع معادن هذا السلم.

1- التالك يمكن تقشيريه بالظفر.

2- جيبس يمكن حكه بالظفر.

3- كالسيت يمكن حكه بقطعة من النحاس.

4- فليورين تحكه الموصى بسهولة.

5- أباتيت يحك بالموصى.

6- أورتوز يحك بمبرد فولاذي.

7- كوارتز يحك الزجاج.

8- توباز يحك الكوارتز بسهولة.

9- كوراندون يحك التوباز بسهولة.

10- الألماس لا يمكن حكه.

إن سلم موهز هو سلم نسبي لا يسمح بتحديد التغيرات الدقيقة لقساوة معدن ما غير أنها طريقة سهلة الاستخدام.

- طريقة تقدير القساوة السطحية للأحجار الكلسية: إن الطريقة المتبعة في تقدير القساوة السطحية للأحجار الكلسية هي طريقة إحداث خط في الوجه المصحح للحجر، وإن قياس عرض الخط الناتج ومقارنته بالأرقام الواردة في الجدول رقم 1- يسمح لنا بتقدير قساوة الحجر السطحية.

جدول رقم (2-4). يبين تصنيف الأحجار حسب القساوة [7]

أحجار طرية	$e > 1.80 \text{ mm}$
أحجار نصف قاسية	$1.80 \text{ mm} \geq e > 1.40 \text{ mm}$

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

$1.40 \text{ mm} \geq e > 1.00 \text{ mm}$	أحجار قاسية
$1.00 \text{ mm} \geq e > 0.75 \text{ mm}$	أحجار قاسية جدا
$e < 0.75 \text{ mm}$	أحجار باردة

حيث e هي عرض الخط الناتج.

7-4-1-2: مقاومة الصدم: ولها أهمية عظمى للمواد المستعملة في الأرضيات والطرق. يميز حد المتانة على الصدم بمقدار العمل المصروف على تكسير النموذج منسوباً إلى حجمه (كغ م/سم³)، وتختبر المواد على الصدم بواسطة جهاز خاص.

8-4-1-2: صفات المرونة واللدونة: تنتشوه المواد المعرضة إلى الحمولات فتتغير أبعادها وشكلها. وتختلف المواد عن بعضها البعض بمقدار نوع التشوه. إذا استعاد النموذج أبعاده وشكله بعد أبعاد الحمولة فإن هذا التشوه يسمى بالتشوه المرن، بينما إذا احتفظ جزئياً أو كلياً بالتشوه بعد أبعاد الحمولة دعي هذا بالتشوه اللدن.

أ- **المرونة:** وهي صفة المادة لاستعادة شكلها الأولي وأبعادها الأولية بعد أبعاد الحمولة. يدعى حد المرونة الاجهادات الموافقة لتشوهات لدنة قليلة جداً.

ب: **اللدونة:** صفة المادة في تغيير شكلها تحت تأثير الحمولة دون ظهور الشقوق والاحتفاظ بهذا الشكل بعد أبعاد الحمولة. تقسم المواد كلها إلى مواد لدنة ومواد غير لدنة. من المواد اللدنة: الفولاذ والنحاس والعجينة الغضارية والبيتومين المسخن...، ومن المواد غير اللدنة: المواد الحجرية. ان المواد غير اللدنة تنكسر فجأة دون أن تنتشوه، وهي تقاوم بشكل جيد على الضغط وبشكل سيء على الشد والانعطاف والصدم.

2-5-1-2- الصفات التكنولوجية (التقنية):

1-5-1-2: إمكانية اللحام: صفة بعض المواد بعد تسخينها حتى الانصهار أو حتى الليونة بالتبريد الالتحام بشكل متين مع المواد من ذات النوع والتي أيضاً تسخن إلى نفس الحالة.

2-5-1-2: إمكانية التشكل: صفة المواد والخلائط المؤلفة من مواد مختلفة أخذ شكل القالب تحت تأثير أقل ما يمكن من قوى الرص.

هذه الصفة تحدد درجة رص الخلائط وتؤثر على متانتها وعدم نفوذيتها ومقاومتها للاهتراء وللعوامل الفعالة المختلفة.

3-5-1-2: عدم الانفصال: صفة الخلائط عند نقلها وصبها عدم فصل الماء وعدم تغير التجانس الذي أمكن التوصل إليه [3]

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

2-2. المونة الانشائية والمواد الرابطة:

2-2-1. تصنيف المونة الانشائية: يدعى بالمونة الانشائية المزيج المتصلب والمؤلف من المادة الرابطة والرمل والماء، وبحسب تركيبه فان المونة الانشائية عبارة عن خرسانة بمواد حصوية ناعمة وتنطبق عليها جميع قوانين الخرسانة. ويمكن تصنيف المونة بحسب المميزات الرئيسية التالية: الوزن الحجمي، نوع المادة الرابطة، مجال استعمال المونة، الصفات الفيزيائية والميكانيكية للمونة.

2-2-1-1: حسب الوزن الحجمي في الحالة الجافة تصنف إلى:

أ- مونة ثقيلة بوزن حجمي أكبر أو يساوي الى 1500 كغ/م³ ، وتستعمل لها الرمال الكوارتزيتية أو الدولوميتية أو الكلسية أو غيرها من الرمال الثقيلة.

ب- مونة خفيفة بوزن حجمي أقل من 1500 كغ/م³ ، وتستعمل لها الرمال الخفيفة من التوف أو الرماد البركاني أو الخبث أو الكيرامزيت أو غيرها من الرمال الخفيفة المسامية.

2-2-1-2: حسب نوع المادة الرابطة تصنف إلى:

أ- مونة إسمنتية: باستعمال الاسمنت البورتلاندي أو أحد أنواعه كمادة رابطة.

ب- مونة كلسية: باستعمال الكلس الهوائي أو الكلس المائي كمادة رابطة.

ج- مونة جصية: باستعمال الجص أو أحد أنواعه كمادة رابطة (الجص البنائي، الاسمنت الانهدريتي).

د- مونة مختلطة: باستعمال الاسمنت والكلس أو الاسمنت والغضار كمادة رابطة.

ويكون اختيار نوع المادة الرابطة بحسب مجال استعمال المونة وبحسب المتطلبات التي يجب أن تحققها المونة وبحسب شروط تصلب المونة من الحرارة والرطوبة وكذلك بحسب شروط استثمار البناء أو المنشأة.

2-2-1-3: حسب مجال الاستعمال تصنف إلى:

أ: مونة لربط الأحجار والبلوكات الاسمنتية ولبناء الجدران باستعمال القطع الكبيرة.

ب: مونة لتلبيس الجدران وتنفيذ الطينة الديكورية على الجدران المبنية في المكان والجدران مسبقة الصنع.

ج: مونة خاصة وهي مونة ذات صفات خاصة (صوتية أو امتصاص أشعة روتجن أو لملء الوصلات).

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

2-2-1-4: حسب الصفات الفيزيائية والميكانيكية: وأهمها المتانة ومقاومة الصقيع التي تميز ديمومة المونة. وبحسب المقاومة على الضغط تقسم المونة إلى تسع (9) ماركات مقاومتها بدءاً من (4) كغ/سم² وحتى (300) كغ/سم².

يعبر عن تركيب المونة بالوزن أو الحجم للمواد الداخلة في تركيبها للحصول على (1) م³ من المونة أو بالنسب الوزنية أو الحجمية لبعضها البعض في الحالة الجافة وبحيث يؤخذ مصروف المادة الرابطة مساوياً إلى (1) للمونة البسيطة المؤلفة من المادة الرابطة دون إضافة مواد معدنية.

للمونة الثقيلة تستعمل الرمال الطبيعية الكوارتزية أو الفيلدسباتية أو الرمال الناتجة عن تكسير الصخور الثقيلة. وللمونة الخفيفة تستعمل الرمال المسامية الخفيفة من الخفاف والتوف والقوقعية والخبقية.

من أجل جعل المونة الإسمنتية سهلة التوضع تستعمل مواد معدنية أو عضوية مضافة. وتعتبر من أفضل المواد المعدنية المضافة الغضار والكلس على شكل عجينة وبحيث لا تزيد نسبة الاسمنت الى العجينة عن (1:1).

إن إضافة الغضار والكلس تزيد من إمكانية المونة بالاحتفاظ بالماء كما تحسن من سهولة التوضع وتوفر الاسمنت. كما يمكن إضافة مواد معدنية أخرى مثل الدياتوميت، التريل، الخبث المطحون وغيرها.

يمكن إضافة المواد ذات السطوح الفعالة لزيادة لدونة المونة وللاقتصاد في مصروف الاسمنت، وذلك بإضافة نسبة أجزاء مئوية أو عشرية من المائة من وزن المادة الرابطة. وكما مادة ذات السطوح الفعالة يمكن استعمال الحثالة الكحولية السولفيتية (ح ك س).

إن المتطلبات للمواد الداخلة في تركيب المونة البنائية من المادة الرابطة والرمل والماء هي نفسها المتطلبات للمواد الداخلة في تركيب الخرسانة [3].

2-2-2-2: صفات المونة: من أهم صفات المونة قبل التصلب الطراوة، سهولة التوضع، إمكانية الاحتفاظ بالماء، وبعد التصلب المتانة والديمومة.

2-2-2-1: الطراوة: يمكن أن تكون طراوة المونة من القاسية وحتى المائعة وذلك بحسب تركيب المونة. ويجب أن تكون طراوة المونة المستعملة في بناء الأحجار والتلبيس وغيرها من أعمال البناء على درجة كافية. وتعين درجة الطراوة بعمق انغراز مخروط معدني بوزن (300) غ وزاوية في الرأس (30°). وإن طراوة المونة هي التي تعين سهولة التوضع التي هي عبارة عن إمكانية وضع المونة بسهولة وبأقل قدرة على قاعدة بطبقة رقيقة ومتجانسة ومرتبطة بقوة مع سطح القاعدة.

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

عادة تكون المونة الإسمنتية قاسية بسبب قلة العجينة الإسمنتية فيها، وبالتالي تكون صعبة التوضع. وفي هذه الحالة تستعمل مواد معدنية أو عضوية مضافة والمذكورة أعلاه لزيادة الطراوة وسهولة التوضع.

2-2-2-2: إمكانية الاحتفاظ بالماء: عبارة عن صفة المونة في عدم انفصالها إلى طبقات أثناء نقلها واحتفاظها بالماء عند فرشها بطبقة رقيقة على قاعدة مسامية.

تكون المونة الإسمنتية عادة ذات إمكانية منخفضة في الاحتفاظ بالماء، وهي تنفصل إلى طبقات أثناء نقلها وعند فرشها على قاعدة مسامية (طوب غضاري، خرسانة، بلوك إسمنتي) تعطي الماء بسرعة إليها وبحيث لا يكفي الماء الباقي فيها لإجراء التفاعلات الكيميائية لتصلبها ووصولها إلى المتانة المطلوبة. ويمكن زيادة إمكانية الاحتفاظ بالماء بإضافة المواد المعدنية والعضوية الفعالة.

2-2-2-3: المتانة: وتتعلق متانة المونة المتصلبة بفعالية المادة الرابطة وبالنسبة الإسمنتية المائية. ويمكن تعيين متانة المونة الإسمنتية بقانون بوبوف التالي:

$$\left(\text{Kg/cm}^2 R_m = 0.25 R_c \left(\frac{C}{W} - 0.4 \right) \right)$$

حيث: R_c : فعالية الاسمنت بالكغ/سم².

C/W : نسبة الإسمنتية الى الماء.

كما تتعلق متانة المونة بمصروف الاسمنت وجودة الرمل وذلك حسب القانون التالي:

$$R_m = K R_c (C - 0.05) + 4 \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

حيث: k : عامل جودة الرمل يساوي إلى (0.5-0.7) للرمل الناعم وإلى (0.8) للرمل متوسط النعومة و(1) للرمل الخشن.

C : كمية الاسمنت بال طن/م³ من الرمل.

وبالنسبة للمونة المختلطة فان متانتها تتعلق أيضا بالمواد الناعمة المضافة. ولكل تركيب اسمنتي توجد نسبة مثلى بين الاسمنت والمواد المضافة والتي تعطي سهولة في التوضع ومتانة أعلى.

تعين متانة المونة الإسمنتية بتكسير مكعبات بأبعاد (7*7*7) سم محضرة من المونة الاسمنتية وتصب على قاعدة مسامية وتحفظ بدرجة حرارة المخبر لمدة (28) يوما. والمتانة النسبية الوسطية للمونة الإسمنتية (وكذا المونة المختلطة) عند حفظ العينات في الشروط الطبيعية من الحرارة والرطوبة تساوي بعمر (3) أيام إلى (25%) من الماركة (المتانة بعمر 28 يوما) وبعمر (7) أيام

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

إلى (50%) من الماركة وبعمر (14) يوما إلى (75%) من الماركة وبعمر (60) يوما إلى (120%) وبعمر (90) يوما إلى (130%) [3].

2-2-2-4: الانكماش (التقلص): صفة المونة في شروط الوسط الهوائي أن يغير (ينقص) من حجمه مع تشكيل تشققات على سطح العنصر (المنشأ).

وحيث أن محتوى الاسمنت في المونة الإسمنتية أعلى منه في الخرسانة فإن تقلص المونة أعلى من تقلص الخرسانة بمرتين تقريبا.

2-2-2-5: التغير المتساوي للحجم: صفة المادة الرابطة في التصلب دون حدوث تشققات. إن سبب حدوث التشققات هو وجود أكسيد الكالسيوم الحر (CaO) والذي يتفاعل مع الماء يزداد حجمه.

ولهذا تحدد نسبة أكسيد الكالسيوم الحر في الاسمنت (وهو الأكسيد غير المتحد مع بقية الأكاسيد Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2) ويجب حفظ الاسمنت في المستودعات فيما إذا تبين أن للاسمنت تغيرا غير متساو للحجم، حيث تحدث عملية الكربنة (تفاعل غاز الفحم الموجود في الهواء مع أكسيد الكالسيوم) [3].

2-2-3: المونة لربط الأحجار: يتعلق تركيب المونة لربط الأحجار ونوع المادة الرابطة بميزات المنشآت وشروط استثمارها.

وتستعمل أربعة أنواع من المونة لربط الأحجار وتحضير القطع الكبيرة مسبقا الصنع لتركيبها باستعمال المواد الرابطة التالية:

2-2-3-1: مونة إسمنتية: بمادة رابطة، الاسمنت البورتلاندي أو الاسمنت البورتلاندي الخبثي، وتستعمل هذه المونة لتركيب الجدران من البانيلات والبلوكات الخرسانية أو البلوكات من الطوب.

وبمادة رابطة الاسمنت البورتلاندي البوزولاني أو الاسمنت البورتلاندي المقاوم للسulfates، وتستعمل للمنشآت التي تعمل في شروط تأثير المياه الفعالة ومياه المجاري.

2-2-3-2: مونة إسمنتية - كلسية: وهي عبارة عن المونة المؤلفة من الاسمنت والعجينة الكلسية والرمل والماء. وتتصف هذه المونة بسهولة توضع جيدة ومتانة عالية ومقاومة جيدة للصقيع. وتستعمل هذه المونة لبناء الجدران الواقعة تحت منسوب الصفر وفوقه.

2-2-3-3: مونة إسمنتية - غضارية: وهي عبارة عن المونة المؤلفة من الاسمنت والعجينة الغضارية والرمل والماء، وتتصف بسهولة توضع جيدة وبمتانة ومقاومة للصقيع كافية. وتستعمل لبناء الجدران الواقعة تحت منسوب الصفر وفوقه.

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

تستعمل طراوة المونة لبناء الجدران بحسب مجال استعمالها وطرائق الإنشاء، وذلك ضمن الحدود التالية:

- من أجل ملء اللصاقات الأفقية والشاقولية عند تركيب البانيلات الخرسانية يجب أن تكون الطراوة في حدود (5-7) سم.

- من أجل تحضير البلوكات الكبيرة من الطوب و لملء اللصاقات الأفقية عند تركيب الجدران من البلوكات الخرسانية الكبيرة والأحجار الخرسانية والأحجار من الخرسانة الخفيف في حدود (9-13) سم.

- من أجل بناء بأحجار الدبش (4-6) سم ولأجل ملء الفراغات فيها (13-15) سم. ويمكن اضافة مواد ملدنة عضوية أو معدنية لزيادة الطراوة.

تساوي أبعاد حبات الرمل لمونة ربط الأحجار الى (2.5) مم في حال كون الأحجار ذات أشكال هندسية صحيحة، و(5) مم في حال كون الأحجار بدون شكل (أحجار دبش).

ويتعلق كمية الاسمنت لكل (1) م³ من الرمل بحسب الديمومة المطلوبة وبحسب الشروط المحيطة بالبناء أثناء الاستثمار ويتراوح بين (125) كغ/م³ رمل وحتى (300) كغ/م³ رمل.

ويجب ألا تقل تراكيب المونة لربط الأحجار عما يلي:

- 10 كغ/سم² لبناء الجدران والأساسات.

- 25 كغ/سم² لبناء الأعمدة.

- 50 كغ/سم² للعتبات.

2-2-4- المونة الخاصة: تنتسب المونة الخاصة المونة المستعملة لملء الوصلات بين القطع الخرسانية المسلحة المسبقة الصنع ومونة الحقن ومونة الأرضيات والمونة العازلة ومونة لرص الآبار ومونة صوتية ومونة عازلة لأشعة رونتجن.

أ- المونة لملء الوصلات بين القطع الخرسانية المسلحة المسبقة الصنع: وتحضر باستعمال الاسمنت والرمل الكوارتزي أو الدولوميتي بطراوة (7-8) سم.

ان المونة التي تتحمل الحمولات الحسابية يجب أن تكون متانتها مساوية الى ماركة خرسانة القطع مسبقة الصنع، وأما المونة التي لا تتحمل الحمولات الحسابية فمتانتها يجب ألا تقل عن (100). ويجب ألا تحتوي المونة على مواد مضافة تؤثر على الحديد في حال وجود حديد تسليح فيها مثل كلور الكالسيوم.

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

ب- **مونة الحقن:** عبارة عن مونة اسمنتية رملية أو عجينية اسمنتية تستعمل لملء قنوات العناصر الخرسانية مسبقة الاجهاد، وتتطلب من هذه المونة متانة عالية (لا تقل الماركة عن 300) وامكانية الاحتفاظ بالماء ومقاومة الصقيع.

ولتقليل لزوجة المونة يمكن اضافة مواد ملدنة مثل الحثالة الكحولية السولفيتية (ح ك س) بنسبة حتى (0.2) من وزن الاسمنت. ويستعمل اسمنت بماركة (400) وأعلى لمونة الحقن. ويساوي مصروف الاسمنت لمونة الحقن (1100-1400) كغ/م³ ولعجينة الحقن (1300-1600) كغ/م³.

ج- **مونة الأرضيات:** وتقسم الى مونة اسمنتية رملية والى مونة اسمنتية حديدية والى اسمنتية خشبية والى مونة اسمنتية بوليميرية.

ويجب أن تتميز المونة الاسمنتية الرملية بالمتانة المطلوبة والطراوة الجيدة (11-13) سم. وتستعمل للمونة الاسمنتية الحديدية برادة فولاذ بأبعاد (1-3) مم، واسمنت بماركة (500) وأعلى، وماء. ولا تزيد طراوتها عن (1) سم. تتألف المونة الاسمنتية الخشبية من الاسمنت والرمل والنشارة الخشبية، وتستعمل لتجهيز القاعدة تحت الأرضيات.

ويدخل في تركيب المونة الاسمنتية البوليميرية مواد بوليميرية تكسب المونة الاسمنتية متانة كافية ومقاومة عالية للاهتراء وسهولة في التنظيف.

د- **المونة العازلة للماء:** تحضر باستعمال الاسمنت بماركة عالية (400 وأعلى) ورمل كوارتزي أو الرمل الناتج عن تكسير الصخور الطبيعية المتراصة.

ولأجل المونة لتجهيز طبقة مانعة للماء والتي تؤثر عليها أثناء الاستثمار مياه فعالة تستعمل كمادة رابطة الاسمنت البورتلاندي المقاوم للسulfates أو الاسمنت البوزولاني المقاوم للسulfates.

وتركيب هذه المونة يكون في حدود (1/2.5) أو (1/3.5) (نسبة الاسمنت الى الرمل وزنا). لأجل معالجة التشققات والحفر في الخرسانة وللورقة الاسمنتية للجدران الخرسانية أو الحجرية تستعمل مونة اسمنتية مع اضافة ألومينات الصوديوم أو البوليميرات أو المستحلبات البيتومينية لأكساء وصلات عدم النفوذية للماء تستعمل مونة إسمنتية محضرة بالاسمنت القابل للانفخاخ.

هـ- **المونة الصوتية:** يبلغ وزنها الحجمي (600-1200) كغ/م³، وتستعمل كورقة اسمنتية ماصة للصوت بهدف تخفيض مستوى الضجة. وكمادة رابطة يستعمل الاسمنت البورتلاندي والاسمنت البورتلاندي الخبثي والكلس والجبس، وكرمل يستعمل رمل مسامي بأبعاد (3-5) مم من حجر

الفصل الثاني: تصنيف الأحجار الطبيعية وصفاتها والمواد الرابطة لها

الخفاف أو الخبث أو الكيرامزيت أو غيرها. ويجب أن يكون مصروف الاسمنت والتركيب الحبي للرمل بحيث يؤمنان مسامية مفتوحة للمونة.

و- **المونة العازلة لأشعة رونتجن:** وهي عبارة عن مونة ثقيلة بوزن حجمي يزيد عن (2200) كغ/م³، وتستعمل كورقة إسمنتية للجدران والأسقف في غرف التصوير بأشعة رونتجن. كمادة رابطة يستعمل الاسمنت البورتلاندي وكرمل يستعمل الباريت وغيره من الصخور الطبيعية الثقيلة وبحيث أن تكون أبعاد حبات الرمل حتى (1.25) مم وحبات غبارية.

ولتحسين صفات عزل الأشعة تضاف بعض المواد الحاوية على عناصر خفيفة مثل الهيدروجين والليثيوم والكاديوم والمواد الحاوية على البور [3].

خلاصة:

مما سبق يمكن القول إننا نستفيد من بعض الخواص للأحجار ونحاول إجراء بعض الاختبارات على عينات منها، وذلك من أجل معرفة ديمومة ومقاومة الأحجار للعوامل الجوية خاصة وان الجسور الحجرية قديمة يزيد عمرها عن المائة عام.

إن تحديد الخواص والصفات الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية والتقنية للأحجار يساعد في حساب العمر الافتراضي للمنشأ، إن الجسور الحجرية التي قاومت التدهور وحافظت على أدائها الوظيفي أنشئت من أحجار ومونة ذات مواصفات عالية.

الفصل الثالث

العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

مقدمة

3-1- تعاريف

3-2- الأسباب العامة للعيوب

3-3- أنواع العيوب في الجسور الحجرية

3-3-1. العيوب وفق دليل [BIRM]

3-3-2. العيوب وفق دليل [SETRA]

3-3-1-1. العيوب في ملحقات الجسور

3-3-2-2. العيوب في عناصر الحماية

3-3-3-3. العيوب في الجملة الإنشائية

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

مقدمة:

لقد أصبحت ظاهرة تصدع الجسور الحجرية ملحوظة ومنتشرة، كما ظهرت العيوب وتعددت أشكالها وأنواعها. ولعل الإهمال لهذه الجسور والتوجه نحو مادة الخرسانة كبديل والاهتمام بمتابعتها وإعداد الكودات الخاصة بذلك، هو أكبر سبب لتراكم العيوب في الجسور الحجرية. ورغم تعدد عوامل الأمان وكبرها، والاحتياطات التي تتخذ لمواجهة الأخطاء فما زالت العيوب تظهر بالجسور الحجرية وقد تنهار، ولا شك أن دراسة أسباب هذه العيوب يساعد على الحد منها، والتخلص منها بتحسين الفهم لطبيعة كل من المواد والحركة في المنشآت غير المقررة.

3-1. تعاريف لبعض العيوب الهامة:

تحدث هذه العيوب بأشكال ومظاهر، نذكر منها:

- **الانفكاكات (décollements):** تشقق واضح بين جزئين يقسم المنشأ إلى أجزاء بقساوات مختلفة أو سلوك مختلف، وخاصة في المنشآت الحجرية، الفواصل والوصلات بين القوس وجدار الواجهة (Tympan).

- **التشققات (fissures):** ويمكن تحديدها نسبة إلى اتجاهاتها في الأسطح التي تظهر فيها، وتقع:

- على السطح الداخلي للقوس (intrados) أو الجزء المقعر من القوس، السطح العلوي (extrados) أو الجزء المحدب من القوس، وتكون إما طولية (أي موازية لمحور الطريق المحمول)، وتتواجد خاصة في الجزء المركزي من التحذب، وإما عرضية (أي متعامدة مع هذا المحور)، وتمتد عموماً بتشققات مائلة على الأعصاب الرأسية، أو قطرية (مائلة بالنسبة لمحور الطريق).

- على سطح شاقولي، يمكن أن تكون هذه التشققات إما شاقولية، وتكون غالباً في هذه الحالة عابرة ويجب تمييزها عن فواصل المنشأ، وإما أن تكون أفقية، وإذا كانت قريبة من الوصلات (الفواصل) مع العصب، فإنها مؤشر عن هبوط هذا الأخير، وإما أن تكون مائلة.

- **الهبوطات (affaissements):** وتتميز بعدم الاستمرارية الهندسية، وفقاً لفواصل الحجارة غالباً.

- **التفسخ (الانفكاك) (dislocation):** تبدي المنشآت الحجرية القديمة انفكاكات ناجمة عن الضياع في التماسك (الإلتحام) أو في المقاومة الميكانيكية.

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

- **الميلان (إنحناء) (déversement):** وينشأ عن الإنتفاخات أو (التقرب) (renflement) أو عن عيوب شاقولية الأسطح، خاصة على الجدران الاستنادية للأقواس، ويمكن أن تتسبب في خطر ديمومة المنشأ.
- **التسربات (infiltrations):** وتسمح بجريان المياه في جسم المنشأ، وتسبب تلف الأسطح أو الفواصل، كما تسبب ميلان وانفكاك في أجزاء المنشأ.
- **تلف أسطح الأحجار (alteration des parements):** والذي يكون على شكل بقايا آثار سوداء أو بنية ناتجة عن مواد عضوية محتواة في مواد الربط أو الأحجار، أو تكون على شكل الداء الأبيض من أصل بلوري نشطة أو لابلورية ناتجة عن تراكبات الأملاح المتواجدة في الآجر، الحجر، الرمل أو مواد ربط الملاط، أو في التربة.
- **تلف الفواصل (alteration des joints):** تحدث عملية الانحلال الكيميائي للروابط عن طريق جريان الماء أو أثر العوامل الجوية، حيث يمكن أن يؤدي تلف الفواصل إلى انهيار الأحجار.
- **تحطم الأحجار (éclatements de pierres) :** وينجم إما عن عدم كفاية أو نقص المقاومة الميكانيكية للمادة، أو عن تجمد الحجارة (مسامية، ثقب أصلي، تشققات).
- **التهشمات (épaufrures):** وتنتج عن الصدم الميكانيكي (مواد صلبة منقولة عبر الأنهار أو التيارات) للمواد الصلبة على الأحجار أو الآجر المكونة للمنشأ.
- **تآكل الأحجار (erosion de la maçonnerie) :** الأحجار مواد هشة نسبياً، وتتآكل بواسطة الاحتكاك أو التماس مع أجسام صلبة.

3-2- الأسباب العامة للعيوب في الجسور الحجرية

للعيوب أسباب عديدة مختلفة منها:

3-2-1 اختيار المواد

- أحجار تبدي عيوباً (فراغات أو حفر وتكهفات مملوءة بالأتربة أو مواد غضارية) تؤدي إلى تخفيض المقاومة الميكانيكية للأحجار.
- أحجار مسامية (poreuse) حساسة لتأثير التجمد.
- أحجار مستخرجة خلال فترة باردة، تتحطم تحت تأثير التجمد: الاستخراج خلال فترة جافة يؤدي إلى استبعاد الماء وتعطي للحجارة مقاومة على التجمد.
- 3-2-2 وضع المواد وشروط الإنشاء
- بناء أحجار في اتجاه التشقق المحتمل (fissuration préférentielle)

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

- استعمال الكلس (chaux) في الأوساط المغمورة في الماء يسمح بالكربنة في غياب الهواء، وهذا ما يؤدي إلى تصلب المادة الرابطة.

- إنشاء الفواصل الحجرية بسماكات صغيرة جداً (أقل من 8 ملم)، والذي يؤدي حتماً إلى توزع غير منتظم (سيء) للحمولات، ومن ثم تحطم الأحجار، كما أن الفواصل ذات السماكات الكبيرة جداً يمكن أن تحدث ضغوطاً مع تغييرها في سماكات الرابط، وذلك نظراً لتأثير المياه، أو ظواهر التقلص (retrait)، أو ضعف مقاومة مواد الربط.

3-1-3 تأثير درجة الحرارة والتقلص (الانكماش)

عندما تتزاح محصلة القوى الناجمة عن الحمولات الحية، درجة الحرارة، الانكماش، والحمولات الميتة - عن الثلث المركزي للمقطع، ينتج خطر تشقق المنشأ في المناطق الأكثر ضعفاً.

3-2-4 الانكسار بزيادة الضغط

ازدياد اجهادات الضغط في أماكن التعبئة أو في أسطح الحجارة يمكن أن يؤدي إلى انكسار الأحجار عن طريق التحطم.

3-2-5 حركة المياه المؤثرة (الضارة)

- المياه الصافية (مياه الأمطار، مياه غرائتية) تحل كلس الملاط أو كلس بعض الأحجار، وهذا ما يسبب ضرراً للحجارة.

- المياه الملحية (séléniteuses) (المحملة بكبريت الكلس حين التماس مع الجبس) تؤثر المواد الرابطة وتؤدي إلى تشكل أملاح كوتدوت (Caudlot)، حيث تتم عملية البلورة لتفكيك الأحجار.

- المياه المترسبة (résiduelles) من أصول صناعية أو منزلية، والمحملة نوعاً ما بمواد حمضية، بتدفق زيوت معدنية أو نباتية، بصابون، تفكك وتؤثر على المواد الرابطة.

- مياه البحار، محملة بالأملاح، تؤثر على المواد الرابطة والعناصر المعدنية المكونة للأحجار.

3-2-6 أنظمة تصريف المياه

العمل غير الدقيق لهذه الأنظمة يؤدي إلى تسرب المياه التي تؤثر على أجزاء من المنشأ.

3-2-7 نمو وتواجد عناصر حيوية ضارة

- الطحالب (mousse) والأشنه (lichen) والفطريات المتكاثرة في الأحجار، تفرز حموضاً مائية تؤدي إلى تفكيك الأحجار والفاصل.

- النباتات الزاحفة والنباتات ذات الجذور (حبلاب - lierre، التين، ...) تؤدي إلى اهتراء وكشف الأحجار، أو تحطم أجزاء منها.

- البكتيريا والحيوانات القاضمة تؤثر العناصر الحجرية وتضعها في حالة عدم استقرار.

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

3-2-8 التعرض إلى مناخ ضار

الأبخرة الحمضية (vapeurs acides) والدخان من مصدر جوي أو صناعي، والغازات الصناعية في الأماكن الحضرية (المدن) وتؤثر على أسطح الأحجار.

3-2-9 تأثير تدخلات الإنسان غير الصحيحة

إعادة تعبئة الفواصل بدون تحسين أنظمة تصريف المياه، يسهل احتجاز المياه والذي يؤدي إلى زيادة الأثر الديناميكي للحمولات الحية على المنشأ، ويؤدي عيوباً ناجمة عن التجمد والذوبان. استعمال الألغام: يمكن لفتحة التفتيش (التفتيب) فوق سطح المنشأ وفي منطقة تأثيرها، أن تحدث هبوطات وتزحزح الأحجار عن موضعها.

3-2-10. المواد الكيميائية: غازية أو صلبة، كما هو الحال في تذويب العوامل، تتحلل في الماء وتهاجم الصخور والمركبات المدعمة لفواصل الصخور؛ الأكسدة والاماهة لبعض المركبات المتواجدة في الصخر يمكن أن تكون سبباً للعيوب [42].

3-2-11. المثاقب البحرية: التجويف الصخري يهاجم الصخور بواسطة الإفرازات الكيميائية.

3-2-12. الصقيع والتجمد: تجمد الماء في روابط ومسامات الصخر يمكن أن تكسر أو تقشر الصخر أو الملاط [42].

3-3. العيوب في الجسور الحجرية:

3-3-1. العيوب وفق دليل [BIRM]: (الدليل المرجعي لمعاينة الجسور).

يلخص دليل المعاينة للجسور [BIRM] الأنواع الأساسية للعيوب في حجارة البناء [42] هي:



- التجوية: سطحها القاسي يتحلل إلى حبيبات صغيرة،

يعطي للأحجار نعومة سطحية.

- التكسر (الانسلاخ): القطع الصغيرة من الصخر

تتكسر أو تتسلخ طبقاتها.

- التقشر: فتحات أو شقوق تظهر في الصخور، فجأة

تفكك الحجر إلى قطع صغيرة. انظر الصورة (3-1)

- الحرائق: الحجارة غير قابلة للاحتراق لكن تتضرر

من الحرائق.

وعيوب ناتجة عن تلف الأساسات: يمكن أن نذكر على

سبيل المثال: الانجراف (الحت)، تشكل حفر في البناء

الحجري.

الصورة رقم (3-1). تبين مجموعة من العيوب في ركيزة

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

مختلف أنواع أنظمة الحماية المستخدمة في الخرسانة، يمكن ان تستخدم في احجار البناء. ان النظامين الأكثر شيوعا هما الطلاء والأغشية المبللة او السدادات.

3-3-2. العيوب وفق دليل شركة الدراسات التقنية للطرق الفرنسي [SETRA] [38]:

3-3-2-1. العيوب في ملحقات الجسر وتجهيزاته:

نبدأ بترقيم العيوب حتى تكون مرجعية ويعطى في التقرير فقط رقم العيب. [38]

1- التشوه نحو الأسفل: ناجم عن انضغاط مواد التعبئة (مواد منضغطة أو تحوي مواد ناعمة).

- هبوط محلي للعنصر القوسي.

- خلل في أحجار للعنصر القوسي LACUNES

- هبوط الركائز.



صورة رقم (3-2). تبيين تشوه سطح الجسر عند مدخله

2- التحطم (الانهيار) المحلي: ناجم عن:

- هبوط مواد التعبئة (مواد منضغطة أو تحتوي مواد ناعمة).

- هبوط محلي للقوس.

- خلل في أحجار القوس.

- هبوط الركيزة الطرفية.

3- تشققات في وسط وأطراف الجسر.

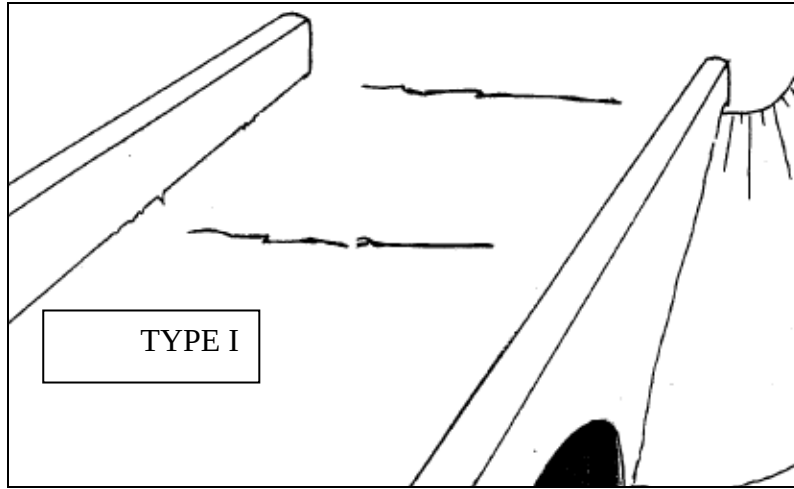
3-1: عرضية من النوع الأول (TYPE 1)، وتعني أنها تشققات عرضية في مختلف أنحاء

السطح الجسر ناجمة عن:

- السلوك السيئ لمواد الرصف.

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

- خلل في عملية الرصف.



صورة رقم (3-3). تبين التشققات العرضية

3-2: طولانية من النوع 2 (TYPE 2)، وهي تشققات تقع خارج مناطق الحواف للجسر، إما في الجسر أو خارجه، ناجمة عن:

- السلوك السيئ لمواد الرصف.

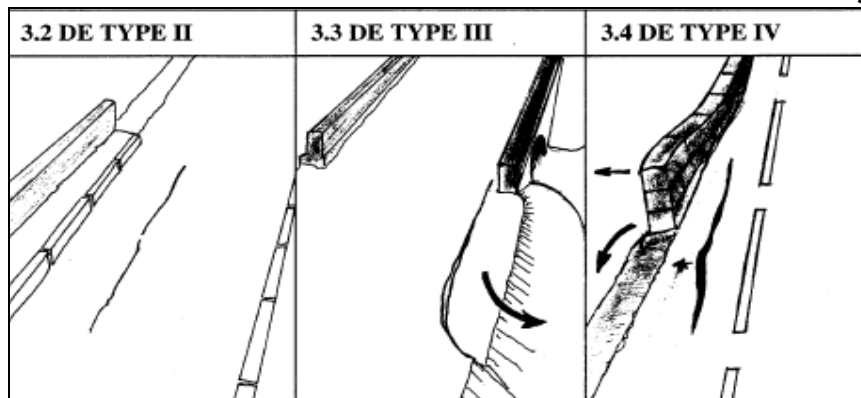
- خلل في عملية الرصف.

3-3: طولانية من النوع 3 (TYPE 3): تقع في طرف الجسر أو على الردم في حافة الجسر، خطية مستقيمة ومنحنية في نهايتها نحو المنحدر، ناجمة عن انزلاق في منحدر الردميات.

3-4: طولانية من النوع 4 (TYPE 4): وتقع في حافة الطريق وفي جسم المنشأ، ناجمة عن:

- انتقالات جانبية أو انقلاب الجدار الرأسي.

- خلل في مواد التعبئة.



صورة رقم (3-4). تبين التشققات الطولية على السطح [38]

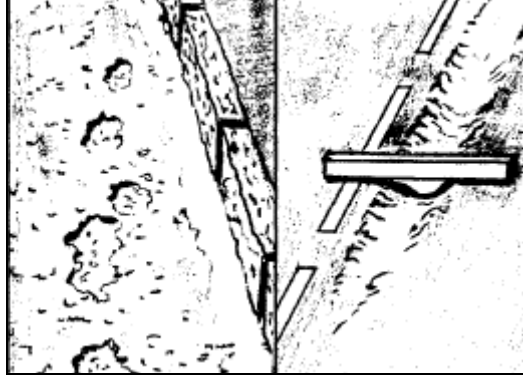
4- تشققات شبكية: في عرض الجسر أو في أطرافه، ناجمة عن:

- سلوك سيء لمواد الرصف.

5- عش الدجاجة: في عرض الجسر أو في أطرافه، ناجم عن:

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

- خلل محلي في طبقات رصف الطريق على الجسر.
- تصريف مياه غير كاف.
- نتيجة تجمع محلي لمياه الأمطار والسيول.
- 6- خلل في السطح، مثل: الحفر، التخلدات، فيضان المياه، في عرض أو أطراف الجسر ناجم عن سلوك غير جيد لمواد الرصف.**



صورة رقم (3-5). تبين التخلدات والحفر على سطح الجسر

- 7- هبوط سطح الطريق خلف الركيزة الطرفية، ناجم عن سلوك سيء لردميات الركيزة (هبوطات، حفر ناجمة عن وجود مواد ناعمة، الحت والتآكل حول الأساسات).**

8- خلل في حواف الأرصفة، يعني ذلك:

- خلل في الاستقامة العامة أو المحلية.
- غياب عنصر أو مجموعة من العناصر.
- احتكاك حواف الأرصفة (غياب الفواصل...).

وهذا ناجم عن:

- التنفيذ السيئ.
- الصدمات.
- التأثيرات الفيزيوكيميائية للوسط المحيط.

9- خلل في الأرصفة: يعني ذلك:

- تلف التغطية.
- تشوه السطح.
- ظهور النباتات.

وذلك ناجم عن:

- تجمع مياه السيول والأمطار.
- السلوك السيئ للمواد المكونة.

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

- عدم وجود صيانة.



صورة رقم (3-6). تبين اقتلاع أحجار الاطاريف

- 10- **هبوط جسم الرصيف:** موضعي أو شامل، في عرض أو خارج الجسر، ناجم عن:
 - انكسار البلاطات أو تنفيذ سيء لجسم الرصيف.
 - انضغاط مواد التعبئة للعنصر القوسي (مواد منضغطة، وتحتوي على مواد ناعمة).
 - هبوط محلي للعنصر القوسي أو للمنحدر.
 - خلل في أحجار بناء العنصر القوسي.
- 11- **خلل في كتامة تغطية الرصيف،** ناجم عن:
 - غياب التغطية أو سوء تنفيذها.
 - السلوك السيئ للمواد المكونة لها (تشققات، انفصال من المسند، قدمها).
- 12- **عدم وجود الرصيف:** (سطح الطريق و الكتف على مستوى واحد).
 - يسمح بتجمع مياه الأمطار.
 - يسمح بسير المركبات قريبة جدًا من الدرابزين (حاجز الحماية).
- 13- **انتقالات، انقطاع موضعي للدرازين، خلل الاستقامة،** ناجم عن: صدم المركبات أو سوء التنفيذ.
- 14- **خلل الاستقامة المستوية والانقلاب،** ناجم عن:
 - دفع مواد التعبئة.
 - متبوعا بتشووه للجملة الإنشائية (انفصال حافة القوس، انتقال جسم القوس والجدار الراجع، هبوط العنصر القوسي).
- 15- **خلل الاستقامة الشاقولي للعنصر القوسي في عرض الجسر،** ناجم عن حركات محلية أو عامة للمنشأ.

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

16- خلل الاستقامة الشاقولي عند المسند: (جسم الركيزة أو الجدار الراجع) ناجم عن حركة الركيزة.

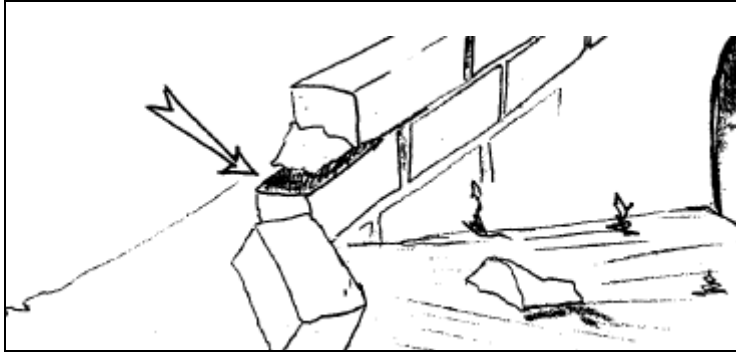
17- خلل في المواد المكونة للدرابزين (انفصال، احتكاك بين الملاط والحجر المنحوت ...).

18- عيوب في الدرابزين وحاجز الحماية. ويعني:

- خلل في الاستقامة العامة أو المحلية في المستوي.
- خلخلة في المواد المكونة.
- عدم الترابط بينها وبين المنشأ.
- انقطاع أو عدم استمرارية في الأجهزة.

وذلك ناتج عن:

- سوء التنفيذ.
- الصدمات.
- التأثيرات الفيزيوكيميائية للوسط المحيط.
- عيب في المنشأ عامة.



صورة رقم (3-7). تبين خلل في الاستقامة وانقطاع في الدرابزين

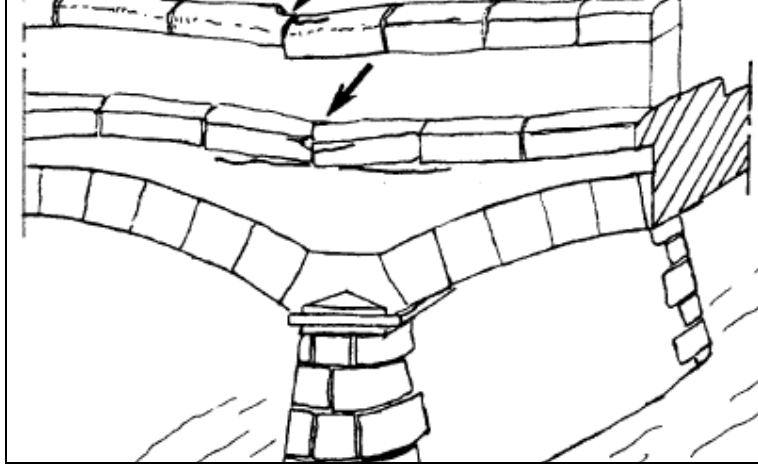
19- عيوب في الكورنيش، ويكون عبارة عن:

- خلل في الاستقامة الكلية أو المحلية.
- عدم الترابط بينها وبين المنشأ خاصة عندما تكون ظاهرة.
- خلل في الفواصل بين العناصر (فراغات، تملّح ...)

وذلك ناجم عن:

- سوء التنفيذ.
- الصدمات.
- التأثيرات الفيزيوكيميائية للوسط المحيط.
- عيب في كتامة الفواصل.
- عيب في المنشأ عامة.

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها



صورة رقم (3-8). تين خلل الاستقامة في الكورنيش

20- انسداد أجهزة تصريف المياه فوق الجسر بدون تجمع مياه، أجهزة تصريف مياه الأمطار للطريق فوق الجسر وعلى حوافه.

21- تجمع المياه فوق سطح الجسر،

ناجم عن:

- غياب أجهزة تصريف المياه.
 - التصميم غير الصحيح لأجهزة التصريف.
 - سوء تنفيذ أجهزة التصريف.
 - تدهور حالة الأجهزة بالاهتراء أو الصدمات.
- 22- تدهور أجهزة تصريف المياه فوق الجسر، ناتج عن اهترائها أو عن الحوادث.
- 23- عيوب الأرصفة للطريق تحت الجسر، ويعني ذلك:

- خلل في الاستقامة.
- غياب عنصر أو أكثر من العناصر المكونة للرصيف.
- تغيير الأحجار (انفصال، تقطعت ...).

وهذا العيب ناجم عن:

- سوء التنفيذ.
- الصدمات.
- الأثر الفيزيوكيميائي للوسط المحيط.

24- عيوب سطح الأرصفة تحت الجسر:

- تدهور تغطية الرصيف.
- تشوه سطح الرصيف.
- وجود النباتات.

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

وذلك ناجم عن:

- تجمع مياه الأمطار.
- السلوك السيء للمواد المكونة.
- صيانة غير كافية أو معدومة.

25- هبوط جسم الرصيف:

ناجم عن:

- انكسار في البلاطات.
- سوء التنفيذ أو السلوك الرديء لمواد تعبئة الرصيف.
- مرور المركبات.
- تسربات المياه.

26- تدهور تجهيزات الحماية تحت الجسر في الوسط الطرقي:

- خلل الاستقامة.
- تغير وفساد الدهان والغلفنة.
- فساد المواد المكونة.
- انقطاع أو عدم استمرارية.

ناجم عن:

- سوء التنفيذ.
- الصدمات.
- التأثيرات الفيزيوكيماوية للوسط المحيط.

27- انسداد تجهيزات تصريف مياه الأمطار تحت الجسر، بالنسبة للجسور التي تقطع طرق أو سكة حديد.

28- تجمع المياه تحت الجسر وفي نهايته:

ناجم عن:

- غياب أجهزة تصريف مياه الأمطار.
- التصميم السيئ لهذه الأجهزة.
- عيوب في التنفيذ.
- تدهور الأجهزة بفعل الاهتراء أو الصدمات.

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

29- سقوط المياه من أعلى، فوق الطريق المقطوع:

ناجم عن:

- عدم تأدية أجهزة التصريف العلوية لوظيفتها.
- تسرب المياه القوية عبر الفواصل، التشققات، أو شروخ في الكتامة على القوس العلوي.

3-2-3- العيوب في عناصر الحماية

30- عيوب الكتامة: وتشخص خلال الكشف عن عيوب الجزء العلوي للقوس، مثل:

- الداء الأبيض، التجويف، أثر جريان الماء، ...الخ.
- تواجد الأعشاب
- انفصال الأحجار
- تغير وفساد الأحجار

31- تشوه المنحدر الحجري للركيزة

ناجم عن:

- هبوط وانضغاط الردم
- أثر مياه الأمطار
- نمو النباتات



الصورة رقم (3-9). تبين تدهور المنحدر الحجري للركيزة

32- انهيار محلي أو وجود حفر في المنحدر الحجري

ناجم عن:

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

- الحت الناتج عن جريان المياه تحت المنحدر

- ثغرات في مواد الردم

- نمو النباتات

33- تدهور حالة المواد المكونة للمنحدر

(تغير الأحجار، انفصال الأحجار، تشققات أو انكسارات، ...)

34- نمو النباتات فوق المنحدر

- يمكن إزالتها بسهولة.

- أو تستوجب أدوات خاصة لإزالتها.

35- تدهور عناصر الحماية

ناجم عن:

- أثر التيارات المائية.

- صدمات الأجسام العائمة.

- نمو النباتات.

36- تدهور أجهزة تصريف المياه

ناجم عن:

- خلل في الصيانة.

- تعبئة وسد الأنابيب.

- الهبوطات.

- نمو النباتات.

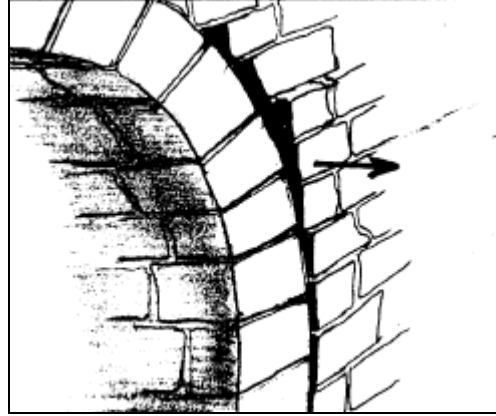
3-2-3-3 العيوب في الجملة الإنشائية:

37- خلل في شاقولية جسم القوس والجدار الراجع

ناجم عن الدفع الزائد للردم.

38- خلل في استقامة اوجه الأحجار أفقياً ناجم عن حركة المنشأ، خلل أصلي.

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها



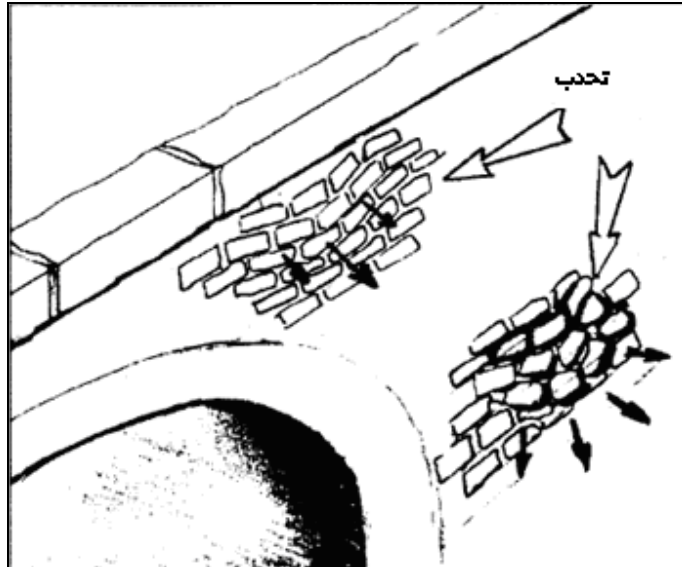
صورة رقم (3-10). تبين بروز الجدار عن القوس

39- تحذب (انتفاخ)

ناجم عن:

- تحريك دفع الردميات.
 - رداءة نوعية الفواصل.
 - حركة أحد عناصر المنشأ.
- وينقسم هذا العيب إلى:

- تحذب الجدار مع انفصال وعدم انتظام الأحجار.
- تحذب الجدار مع انفصال أو عدم انتظام هام للأحجار.
- تحذب الجدار بدون انفصال أو عدم انتظام الأحجار.



الصورة رقم (3-11). تبين أشكال التحذب على الجدار الخارجي

40- انفكاك جسم القوس أو في جزء منه أو في جدار راجع وبين الصف السفلي للقوس

ناجم عن زيادة الحمولات على الردم.

41- حركة الجدار الراجع بكامله، إما بالقلب أو بالحركة الأفقية،

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

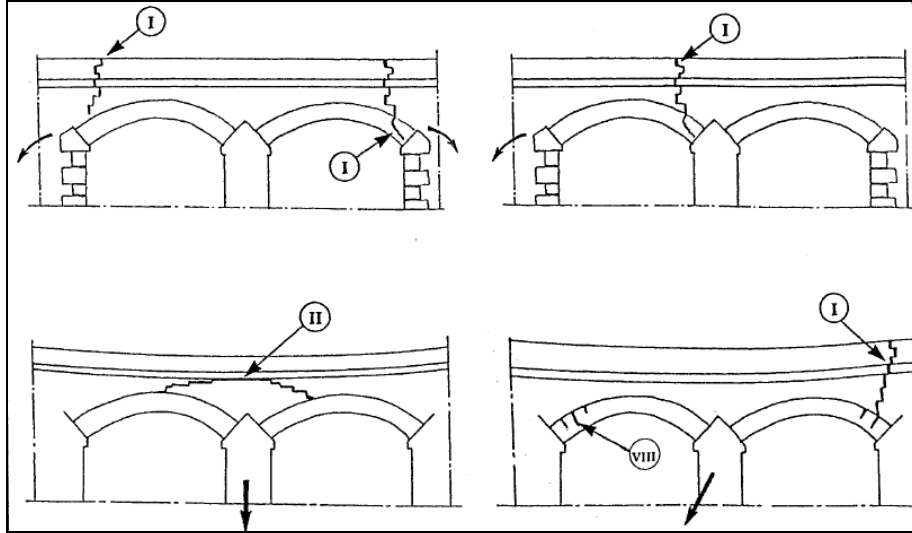
ناجم عن:

- دفع ترربة الردم.

- تعرية وحت منحدر أرباع المخاريط.

42- تشققات (تصدعات): Fractures:

تصنف التصدعات في الجملة الإنشائية إلى ستة أنواع كما هي موضحة في الشكل (3-12) والشكل (3-13)



الصورة رقم (3-12). تبين انواع التصدعات للجسور متعددة الفتحات

42-1: تصدع من النوع I أو III

- تشقق أصلي أو مستقر.

- ناجم عن حركة الركيزة أو الجدار الراجع

42-2: تصدع من النوع II، IV أو V

ناجم عن حركة الأساس أو جسم القوس.

42-3: تصدع من النوع VI

وموقعه في مؤخرة سلسلة الزاوية، وينتج حركة نحو أسفل زاوية الركيزة. ناجم عن:

- هبوط التربة.

- حت التربة.

- تواجد حفر تحت الأساسات.

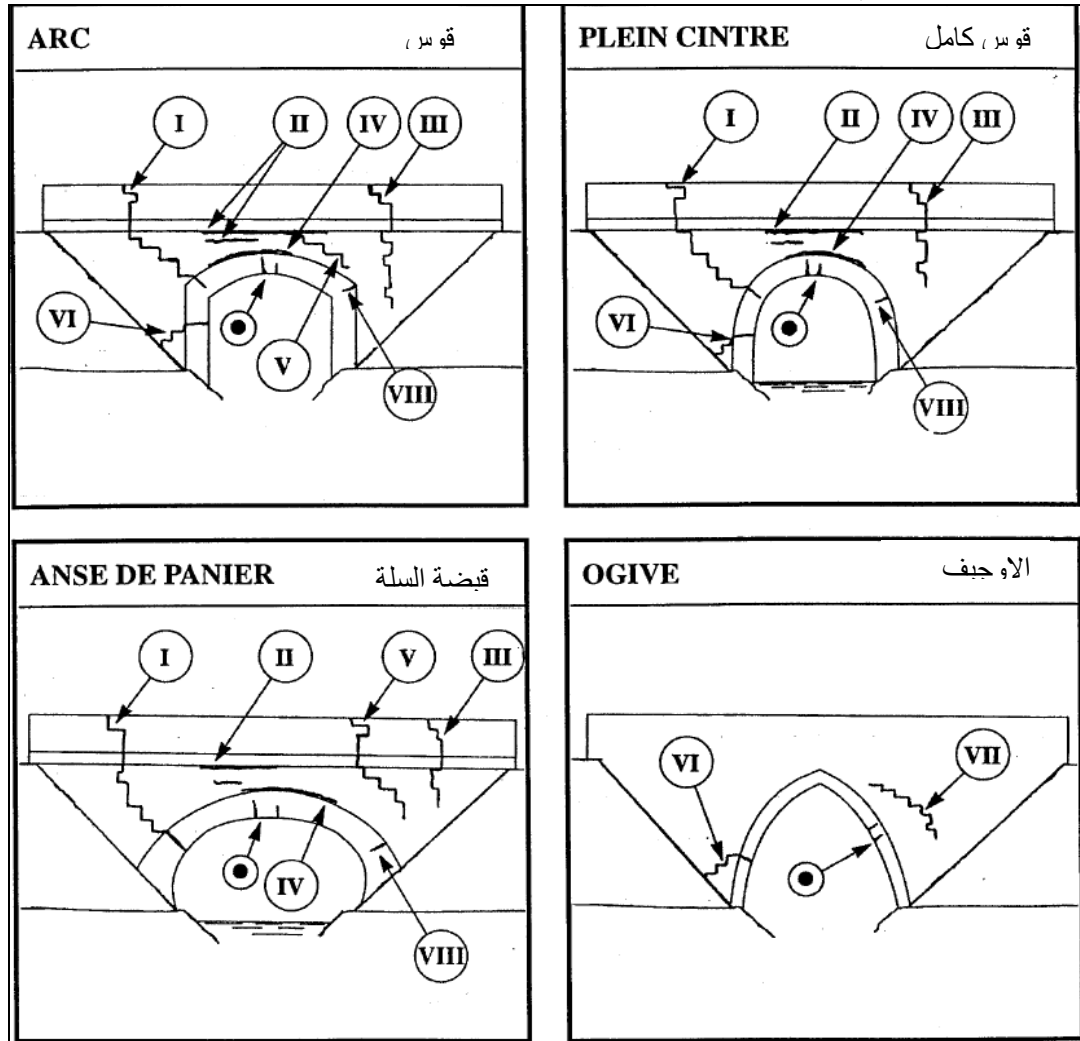
42-4: تصدع من النوع VII (حالة القوس العنصري غير دائري)

ويكون في جسم القوس، باتجاه مائل عموماً، محدداً خط الجزء السفلي للقوس.

ناجم عن الضغط المتزايد للقوس.

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

5-42: تصدع من النوع VIII : ويقع في الجزء العلوي من القوس، ويعبّر عن وجود مفصل في القوس (عدم التناظر في القوس).



الصورة رقم (3-13). تبين أشكال الشقوق في الجسور وحيدة القوس

43- الانفصال (انفتاح الفواصل): وهو يرتبط بخلل في الكتامة أو تصريف المياه، أو يتعلق بأثر

التفاعلات الفيزيوكيميائية للوسط المحيط بمونة الفواصل.

كما يتعلق بدفع جذور النباتات. ويمكن أن يكون:

1-43: على مساحة صغيرة. ويكون شاملا.

2-43: شامل مع العيب 44.

44- تفكك الأحجار عن بعضها:

نتيجة للانفصال أو للحت أو لنمو النباتات أو تدهور الأحجار العميقة، ويكون اما:

- محلي.

- واسع.

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها

- معمم.

- معمم مع ترابطه بالعيب 43.

45- الداء الأبيض:

ناجم عن تسرب مياه الأمطار عن طريق السطح العلوي، والأرصفة ومواد التعبئة.

46- تدهور الأحجار وتغيرها:

ناجم عن أثر التجمد وأثار أخرى فيزيوكيميائية.

ويكون:

46-1: على الحزام السفلي للقوس، أو على الزوايا. ويكون اما محليا او معمما.

46-2: على جزء من جسم القوس أو الجدران. محليا او معمما.

46-3: مرتبط بأثر الضغط في الحزام السفلي للقوس.

47- تواجد النباتات.

تنمو في الفواصل المتدهورة أو في الفجوات والحفر، أو ترحف عن طريق نهايات المنشأ
ناجم عن خلل في الصيانة.

- يمكن أن ينزع ببساطة ومن دون اللجوء الى أدوات خاصة.

- يستوجب نزعها وسائل خاصة.

48- عيب أو خلل الاستقامة الشاقولية في الجدار الأمامي والجدار الراجع:

ناجم عن:

- الدفع المتزايد للردميات.

- حركة الجدران الجانحة.

ويكون: أصلي أو مستقر أو متطور.

49- عيب في الاستقامة الأفقية لسرير الأحجار في الجدران:

* أصلي

* أو ناجم عن حركة المنشأ.

50- تحدّب (بروز بعض الأحجار):

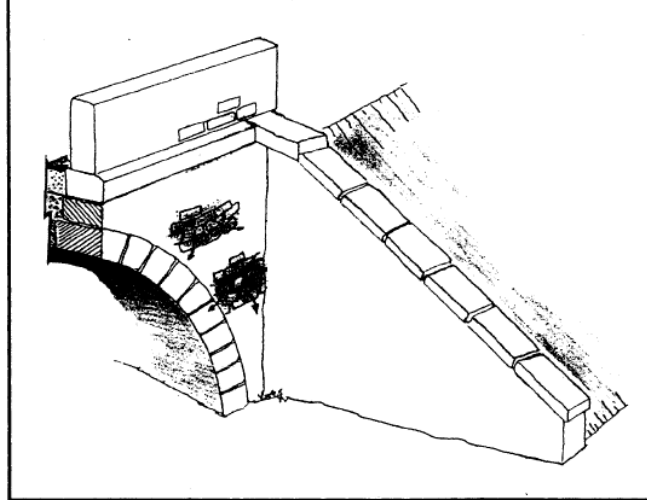
ناجم عن:

- أثر دفع الردميات.

- رداءة نوعية الفواصل.

- حركة عناصر المنشأ.

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها



الصورة رقم (3-14). تبين في الجدار الأمامي

1-50: مع وجود انفصال أو عدم انتظام الأحجار.

2-50: مع وجود انفصال و/ أو عدم انتظام هام للأحجار.

3-50: بدون انفصال ولا عدم انتظام للأحجار.

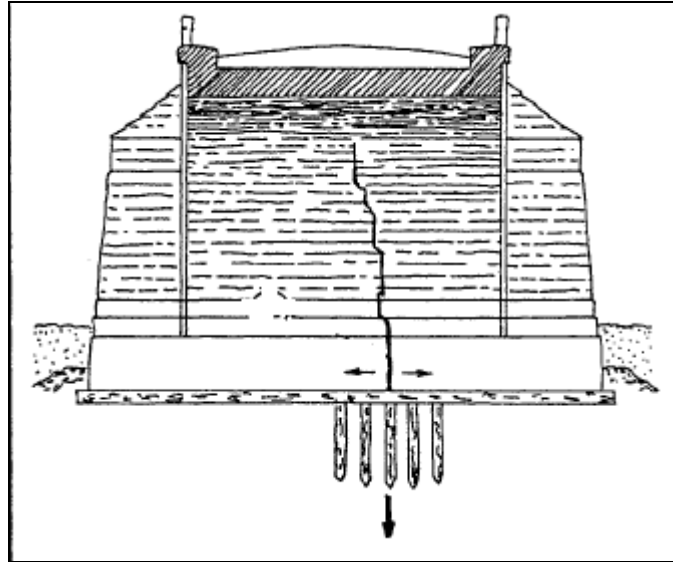
51- عيوب الاستقامة في الركائز:

ويكون ناجما عن حركة المنشأ أو أثر الردميات

52- تشققات في جدران الركائز:

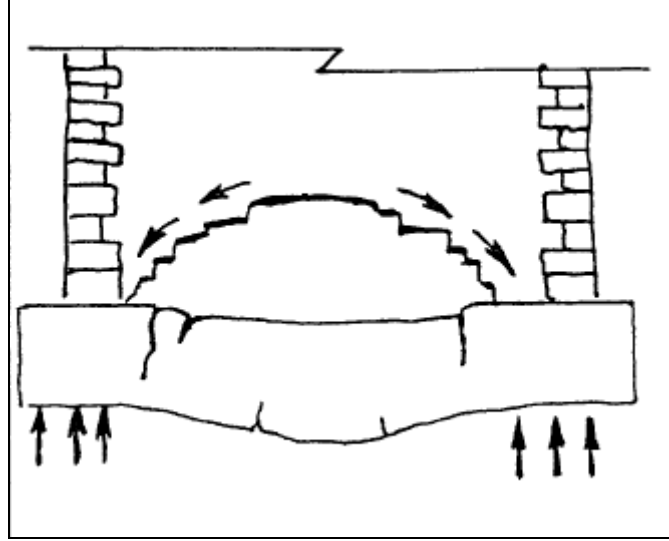
وتكون اما شاقولية او افقية وهي ناجمة عن: هبوط في وسط الركيزة او عن حركة المنشأ او دفع

التربة تحت الاساسات كما في الشكل (3-15) و الشكل (3-16).



الصورة رقم (3-15). تبين تشقق شاقولي في مركز الركيزة

الفصل الثالث: العيوب في الجسور الحجرية: أنواعها وأسبابها



الصورة رقم (3-16). تبين تشقق عرضي في مركز الركيزة

53- عيوب الاساسات: وتتمثل في حث التربة تحت الاساسات في سرير النهر او حوافه، وهي ناجمة عن:

- عناصر الحماية للأساسات او غيابها
- تغير تدفق مجرى النهر كحالة الفيضان مثلاً



الصورة رقم (3-17). تبين تشقق عرضي في مركز الركيزة

يمكن القول ان هذه العيوب التي تم استعراضها وتحديدها في العناصر ومكونات الجسور الحجرية، قد تم رصد الكثير منها في الجسور الحجرية على شبكة الطرق والسكك الحديدية السورية وخاصة تلك التي بنيت في الربع الاول من القرن الماضي. ان أسباب تدهور هذه الجسور هو عدم القيام بمعاينتها والكشف عن عيوبها وتقييم حالتها الراهنة وإعادة تأهيلها في الوقت اللازم ووفق دليل واضح.

الفصل الرابع

تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

مقدمة

4-1- مواد الانشاء

4-1-1. المواصفات العامة للتجارب التي تجرى على العينات

4-1-2. الاختبارات الحقلية للمواد

4-2- سلوك الجملة الإنشائية للجسور الحجرية

4-2-1. قياس التشوهات العامة والانتقالات

4-2-2. دراسة هندسية للتشققات

4-2-3. القياسات الموضعية

4-3- تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية القائمة

4-3-1. الزيارة التقييمية للجسور الحجرية

4-3-2. تصنيف الجسور القائمة وفقا لحالتها الراهنة

4-3-3. تقييم العيوب لجسر قم غرز - درعا

4-3-4. نتائج التجارب المخبرية للعينات المأخوذة من جسر قم غرز

4-3-4. الخلاصة

4-4- تحديد الحمولة الحدية للجسور الحجرية القوسية

4-4-1. الطريقة التجريبية للتحليل الإنشائي

4-4-2. الطريقة الحدية باستخدام برنامج ring2.0

4-4-3. المقارنة وتحليل النتائج

4-5- الحكم الأولي على سلامة الجسر

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

مقدمة:

بما ان الجسور الحجرية على شبكة الخطوط الحديدية السورية لم يتم معاينتها والكشف عن عيوبها وتشخيص هذه العيوب ولم يتم اعداد التقارير اللازمة عنها خلال عمرها الافتراضي، لذلك لابد من تقييم حالتها الراهنة.

تبدأ عملية التقييم بعد الكشف الدقيق عن الجسور ومكوناتها وتحليل الملاحظات التي تمت بالمعاينة البصرية. حيث لا يوجد طريقة عامة للتقييم ومُطبقة على جميع الجسور ولا حتى على «صنف» مُحدّد من الجسور. وبالتالي فان الطرائق المستخدمة تختلف حسب طبيعة العيوب التي تمت ملاحظتها.

بعد ان تتم إجراءات الكشف الدقيق للعيوب الموجودة خلال الزيارات المسبقة، يتم وضع برنامج للتقييم، وعلمياً يكون من الضروري تصور فكرة حول الأسباب المتوقعة لهذا العيوب وبالتالي تكون هي الفكرة الرئيسية الموجهة للتقييم.

ان أهداف التقييم تكون عامة ورئيسية، ويكون على نوعين:

* تقدير جودة ونوعية المادة (أو المواد) في الموقع.

* تحليل نظام العمل الحقيقي والسلوك الحقيقي للمنشأ.

يساعد هذان الهدفان باختيار الطريقة المناسبة من بين الطرائق الممكنة للتقييم. وتكون الطرائق التي تسمح بتقييم حالة المواد هي:

* دراسة وتحليل عينات.

* تقنيات للفحص المحلي إما نظرياً أو بطرائق أكثر تعمقاً وقدرة (تصوير بالأشعة - فحص صوتي - فحص كهربائي مغناطيسي - فحص كهربائي كيميائي..).

وتكون الطرائق التي تسمح بتقييم أداء المنشأة مختلفة جداً وفي بعض الأحيان نضطر لجمعها بنفس المعاينة. فيكون لدينا:

* قياسات طوبوغرافية وهندسية (اختلاف مستويات، قياس التشوهات العامة أو الانتقالات نتيجة الحمولات).

* قياسات القوى المباشرة والمؤثرة على المنشأ.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

* قياسات محلية للأداء (قياس تشوه محلي ...).

ولدينا جزء هام يتعلق بدراسة التشققات حيث يتم إجراء معاينة وكشف هندسي للتشققات وتطورها مع الزمن (الاستطالة، زيادة حجم الشق، ظهور شقوق جديدة).

4-1- مواد الانشاء:

تهدف اجراءات دراسة واختيار العينات الى: التحقق من المواد الفعلية للجسور الحجرية القائمة وتقييم مواصفاتها، ويجب التذكير أنه من أجل التحقق من المواد لابد من الرجوع إلى المستندات الموجودة ضمن إضبارة المنشأ (إذا كانت متوفرة) وتكون بنفس درجة أهمية التجارب على هذه العينات.

4-1-1- المواصفات العامة للتجارب التي تجرى على العينات:

إن سوء أخذ عينة يمكن أن يُتلف المنشأ جزئياً. بالتالي يتم محاولة أخذ العينات أصغر ما يمكن وبعدهد مُحدّد قدر الإمكان ومن أقل المناطق ضرراً على المنشأ. وبالتالي فإن المعلومات التي تم الحصول عليها لا تكون مُمثلة للمنشأ كلياً. وفي معظم الحالات نستخدم هذه العينات كمرجع أو كنقطة مقارنة لاستكمال المعلومات.



صورة رقم (4-1): تبين عينات من حجر بازلتي - جسر قم غرز - درعا

4-1-1-1- تجارب ميكانيكية:

على العينات المأخوذة يتم اجراء التجارب الميكانيكية المعتادة (ضغط - شد.. الخ). يمكن أن يكون للتجارب الميكانيكية أهداف مختلفة منها تحديد مقاومة الشد أو الضغط.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

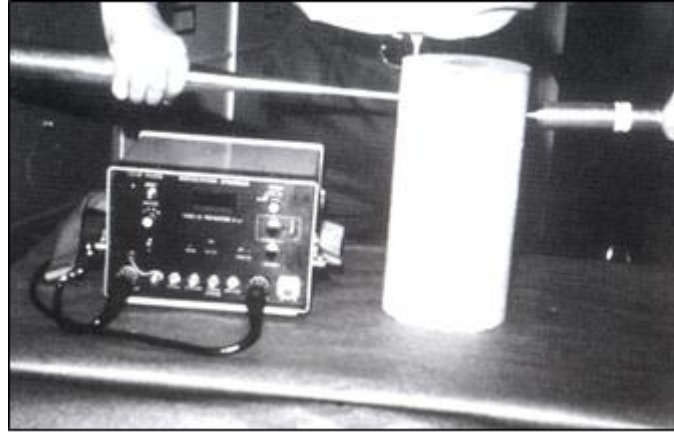


صورة رقم (4-2): تبين عينات بازلت مكسورة على الانعطاف

4-1-1-2- تجارب فيزيائية:

وتكون عبارة عن قياسات للكثافة و للمسامية وامتصاص الماء. يتم استخدام أجهزة غاما للكثافة، ويكون من الصعب استخدامها بالمنشأ. وتكون نتائج تلك القياسات بشكل عام غير مهمة ولكن تسمح بالمقارنة مع معطيات أخرى.

من التقنيات الأخرى المستخدمة عادةً على المنشآت والعينات يكون الفحص الصوتي (قياس سرعة انتشار الموجات الصوتية). صورة (4-3).



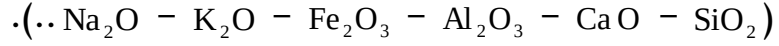
صورة (4-3): اختبار العينات بالموجات فوق الصوتية

4-1-1-3- تجارب كيميائية:

تقنيات طرائق التحليل الكيميائي والفيزيوي - كيميائي متطورة نسبياً ومن حسناتها أنها لا تتطلب سوى عينات صغيرة. و تكون هذه الدراسات الكيميائية والفيزيوكيميائية مكلفة. الطرائق التحليلية الموجودة في علم المعادن تسمح بتحديد كامل لطبيعة المعدن وبنيته ونظام تحضيره وبالتالي معرفة مواصفاته.

* التحليل الكيميائي الأساسي والذي يسمح بمعايرة الأكاسيد المختلفة الموجودة ضمن الأحجار

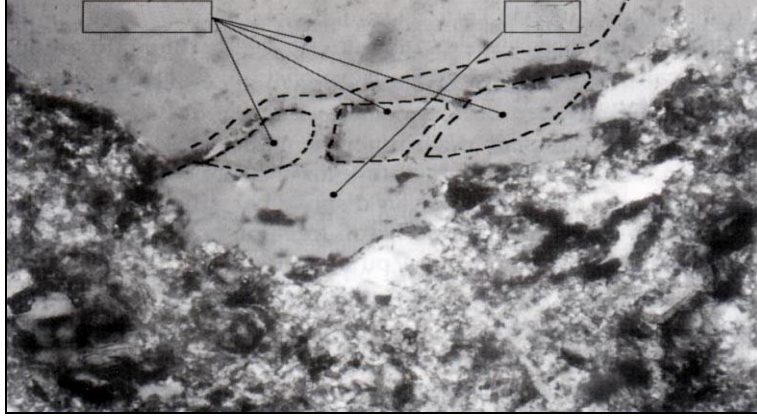
الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية



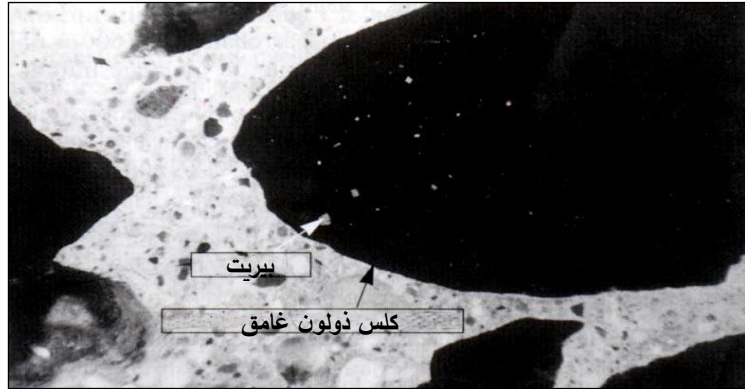
* التحليل الحراري ويسمح بمعرفة وقياس العناصر التي تتحطم بدرجات الحرارة وذلك عند تزايدها.

* الفحوصات التي تجرى بالمجهر الإلكتروني وذلك للكشف على المواد المتلفة والمتبلورة بشكل سيء مثل التفاعل القلوي.

* التحاليل المتعلقة بالصخور: وتتطلب استخدام المجهر الإلكتروني وذلك لفحص التكوين المعدنية للحبيبات وتركيباتهم ودرجة تلفها.



صورة (4-4): مراقبة التفاعل القلوي على شريحة معينة



صورة (4-5): مراقبة حجر البيريت بالمجهر

إن الاستخدام المشترك لهذه التقنيات المختلفة تسمح بمعرفة معظم المعلومات حول تركيبة الأحجار. يجب التذكير أن دراسة العينات لا تكون كافية لتقييم جيد لوضع المادة وأنه يجب أيضاً إجراء اختبارات غير تخريبية للمادة وذلك بالموقع وهذا الكشف ضروري.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

4-1-2- الاختبارات الحقلية للمواد:

4-1-2-1- المواصفات العامة:

إن معظم أجهزة التقييم الحقلية للمادة تكون عبارة عن وسائل لاستكمال النتائج الحاصلة من العينات المخبرية. أي كما سبق وذكر أنه يجب إتمام الدراسات التي تجرى حول العينات المأخوذة بتجارب محلية غير تخريبية فعلى العكس لا يجب أن تجرى التجارب على عينات محلية فقط. بالفعل لا يوجد حتى يومنا هذا طريقة غير تخريبية وتُعطى نتائج كافية الدقة دون أي تخریب للمادة نفسها.

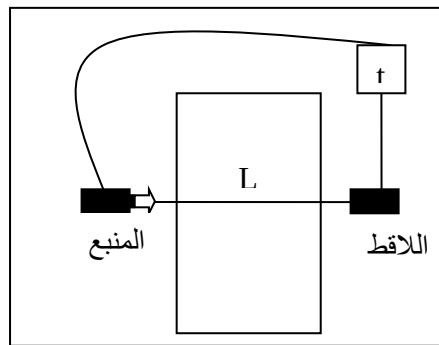
4-2-1-2- تقييم القساوة السطحية

يمكن معرفة القساوة السطحية للأحجار من خلال جهاز المطرقة المرتدة. ويكون مبدأ هذا الجهاز كالتالي: كتلة حديدية موجهة من خلال أنبوب وتقذف عن طريق نابض على سندان ذو احتكاك من أحد أطرافه مع سطح المادة. هذه الكتلة الحديدية ترتد على السندان وتعود لضغط النابض من جديد. وسبابة تسمح بقياس طول الارتداد وكلما كان الارتداد أطول كلما كان سطح المادة أقسى.

هذه الطريقة تُعتبر من أسهل الطرائق استخداماً ولكن المعلومة لا تكون دقيقة جداً. ومن أجل حالات معقدة يكون الفحص الصوتي هو الأفضل والأكثر دقة.

4-3-2-1- الفحص الصوتي في الموقع

لا تُعتبر طريقة حديثة جداً (أول استخداماتها في عام 1960) وتُدعى أيضاً طريقة الفحص الديناميكي وتُعتمد على قياس سرعة الانتشار (v) لموجة فوق الصوتية في المادة. تعتمد على قياس زمن الانتشار (t) بين المنبع واللاقط بينهما مسافة l ($l = v \times t$).



شكل رقم (4-6): يبين مبدأ قياس سرعة انتشار الصوت خلال الأحجار

ولكن الجدران الحجرية عبارة عن مادة غير متجانسة تماماً وغير خطية. وهي عبارة عن مادة متشققة وتتضمن فواصل بعوامل مرونة اقل، كما أن مواصفاتها الميكانيكية تجعل انتشار

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

الموجات فيها غير منتظم..

وإنما يتم استخدام هذه الطريقة من أجل:

* مراقبة تجانس الأحجار.

* تحديد وتقييم أهمية العيوب.

* إعطاء في بعض الحالات تقدير للمقاومة على الانكسار للعينة الحجرية.

4-2- سلوك الجملة الإنشائية للجسور الحجرية:

4-2-1- قياس التشوهات العامة والانتقالات:

يوجد طريقتان لاستخدام المعطيات المتعلقة بهندسة الجسور واختلافها:

علم الطبوغرافيا وتسوية المنشأة المفرغة يُعطوا بعض المعلومات حول وضع هذه المنشأة وقياس التشوهات تحت الحمولات يعطينا عملها.

4-2-1-1- المخطط الطبوغرافي:

في بداية عملية التشخيص يجب في مرحلة المراقبة العامة للمنشأ متابعة هندستها العامة وخاصةً تسويتها.

- الأساسات والركائز:

عندما يحصل خلل في أساسات منشأ ما يظهروا غالباً على شكل انتقال للركائز. يجب إذاً متابعة المنشأة والتحقق الدوري من الثبات للركائز. في حال منشأة ضخمة يكون من المُجدي تجهيز كل ركيزة بلوحة تصويب عند الإنشاء ومن ثم الكشف عن هذه اللوحة بالنسبة لنقاط ثابتة. ويحصل ذلك عندما يراد التأكد من عدم استقرار معين للمنشأة.

- سطح الجسر:

يمكن إجراء نفس الاحتياطات بالنسبة لسطح الجسر. فإن التشوهات الدائمة وخاصةً بالتسوية تكون من إحدى دلائل خلل في الأعماق.

يجب ملاحظة أنه من غير الضروري حين الزيارة العادية بإجراء تسوية دقيقة جداً للسطح، لأنه عند الإنشاء والتصميم يتبين بوضوح استقامة الجسر وظهور أي تقوس يكون بديهي. بالتالي أي تشوه غير عادي بسطح الجسر يكون مرئي مباشرةً على ملاسته.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

4-2-1-2- قياس التشوه تحت الحمولات:

إن السلوكية العامة لجسر ذو حمولة معروفة تُعطينا في بعض الأحيان معلومات قيمة حول وضعه. وغالباً ما يتم قياس الأسهم.

- قياس الأسهم:

إن قياس الأسهم المأخوذة على سطح الجسر المُحمّل تكون ضرورية بالنسبة لاختبارات منشأة جديدة - وهي بالفعل أول عملية تشخيص وتقييم وتبقى مرجعية بالنسبة للفحوصات اللاحقة. يجب ملاحظة أنه في حال ظهور خلل يؤثر على قدرة تحمل المنشأة بالتالي يكون المطلوب هو إجراء عملية تحميل تدريجية - ويتم ذلك عن طريق تحميل المنشأة خزانات فارغة تعباً بالماء حسب الطلب وتتوقف العملية حينما تكون استجابة المنشأة غير عادية. ويمكن زيادة عدد قياسات الأسهم بزيادة عدد نقاط القياس.

تتوفر خمسة طرائق لقياس الأسهم:

- المستوى المائي - التوضع يكون ثقيل ويكون الجمود عالي (هذه الطريقة قليلة الاستخدام).
- طرائق التسوية الطبوغرافية وتتطلب كادر عمل مجهز بدقة وعالي الجودة.
- لاقطات الانتقال ذو مترجم كهربائي تسمح بتسجيل القياسات.
- جهاز حديث: جهاز قياس اللدونة الليزري (المُرسل عبارة عن صفائح نصف عاكسة وتسمح بتقسيم الحزمة إلى اثنان أو ثلاث. وهدف الحزمة عبارة عن خلية ضوئية - كهربائية ثابتة على عربة أفقية. وبعد المعايرة الأولية أي بعد توجيه الحزمة على الهدف فيكون السهم المأخوذ من استقامة البقعة الضوئية عبارة عن انتقال الخلية على العربة. ويمكن معرفة قيمة هذا الانتقال وتسجيله بشكل مستمر).

- قياس الدورانات:

يمكن أن يتم معرفة سلوك الجملة الإنشائية للجسور محملة فوق حمولتها من خلال طرائق مختلفة عن الأسهم - فيمكن مثلاً قياس دوران الركائز أو ميلان الركائز. حتى ولو كانت طريقة قياس الأسهم أكثر استخداماً من طريقة قياس الدورانات ولكن هذه الأخيرة أكثر دقة.

- قياسات أخرى:

في بعض الأحيان من الممكن دراسة أداء الجملة الإنشائية للجسر من ناحية سلوكيتها الديناميكية، وغالباً ما نستخدم آلة لتسجيل الزلازل. وتستخدم هذه الآلات لقياس أي مركبة متناوبة مع

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

انتقال مثل:

* الحمولة الديناميكية للسهم حين مرور القطار.

* الانتقالات الأفقية لرأس الركيزة حين فرملة العربة.

ولكن بشكل عام، هذه الطريقة تكون مُجدية في حال تضرر الجسر بخلل هام جداً ويمكن الكشف عن هذا الخل بشكل أبكر من خلال طرائق كشف أخرى.

4-2-2- دراسة هندسية للتشققات (fissurographie):

إن الكشف الدقيق للتشققات وتطورها في المنشآت مع الزمن يُشكل عنصراً هاماً للمعاينة والكشف الدقيق. كما أن التشققات تمثل المظهر الخارجي لنظام عمل المنشأ. إضافة إلى ذلك عندما يوجد حقل إجهادات فيكون التشقق عمودياً على اتجاه الإجهاد الرئيسي للشد.

إن إجراء الكشف الشقوق عبارة عن عملية صعبة جداً ويتطلب خبرة سابقة جيدة وخاصةً خلال الزيارات الميدانية في مواقع الجسور.

* طبيعة التشققات وأبعادها:

إن الكشف النظامي للتشققات في المنشآت الحجرية لا يكون له أية أهمية - ويجب منذ بدء عملية الفحص النظري التمييز بين التشقق العادي والتشقّق الناتج عن عيب في العمل.

عندما يتم ملاحظة تشقق، أول ما يجب إجرائه هو توقيعه على المنشأ وعلى الأوراق مع تطوره وتحديد التاريخ. بالفعل يكون من الهام جداً معرفة تطور تشقق ناتج عن عمل المنشأ وذلك بين فحوصين متتاليين.

من العوامل الأخرى الهامة التي يجب متابعتها حين تطور الشق وهو اختلاف انفتاحه مع الزمن. يكون طبعاً من المستحيل قياس هذا الانفتاح بدقة، ولكن يكون من المفيد تحديد تقريبي لعرض الشق بتاريخ مُحدد وبشروط تحميل معينة.

يكون من الأساسي، في بعض الحالات، معرفة إذا كان الشق (أو شبكة الشقوق) تجتاز العنصر بشكل كامل أم لا. يوجد طريقة بسيطة جداً وهي عبارة عن ضخ ماء ملون على واجهة ومتابعة ما سيخرج من الواجهة المعاكسة.

يجب بالمرحلة الأولى تصنيف التشققات حسب أقسام معينة وإعطاء كل قسم من الأقسام رمز مُحدد. واستخدام الألوان يكون مفيد في مثل هذه الحالة. ولكن هذا التصنيف لم يُحدد بعد سبب الخل. ومن ثم يجب نقل على الرسم وبنفس السلم مخطط التشققات. مثل هذا البيان يُسهل عملية التحليل. ولكن يجب ومن الضروري رؤية المنشأ لإجراء تشخيص دقيق.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

4-2-3 - القياسات الموضعية (مقياس التشققات):

إن قياس الأسهم وردود الأفعال ومستوى عمل التشققات عبارة عن معطيات هامة لمعرفة وضع وعمل المنشأ. ولكن يجب إتمام هذه الطرائق بقياسات أكثر دقة.

وأكثر الطرائق تطوراً تعتمد على الدراسة الحقلية لعمل منشأ أي بتعديل وضعها تحت تأثير العمل الخارجي: مقياس التمدد ومقياس التشققات.

بشكل عام مقياس التمدد عبارة عن قياس لنشوه محلي لجسم تحت تأثير القوى المختلفة، ومقياس التشققات عبارة عن قياس التحركات النسبية تحت تأثير القوى الخارجية، وفي حال مقياس التمدد نعتبر المادة مستمرة.

بشكل عام يكون قياس التشوهات في نقطة ما مستخدم كوسيلة لتقييم اختلاف حقل الإجهادات في هذه النقطة. في حال إجراء عملية قياس تمدد أو قياس تشقق يجب:

* توفر عدد نقاط كافٍ لتجنب قدر الإمكان التشبث، وإبعاد النقاط المنفردة وإزالة القياسات الغريبة.

* أجهزة قياس منفردة السماح بالتوصيل حين الضرورة [12].

4-3 - تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية القائمة:

يجب أن تتم زيارة الجسور بشكل دقيق ومفصل وباستعمال جميع الأدوات والأجهزة التي تساعد على دقة التقييم من جهة وسلامة فريق المعاينة من جهة أخرى. حيث تُجرى الزيارة التقييمية الدورية كل (3) سنوات.

والجسور التي تمت زيارتها:

- جسور حجرية قوسية على السكة الحديدية.

- جسور ذات الركائز الحجرية.

تتم الزيارة بوجود إضبارة المشروع والخبير المسؤول عن المعاينة، ويجب أن يكون هذا الخبير خاضع لدورات وتدريب حول منهجية التقييم.

ويجب أن تكون المعلومات الحاصلة نتيجة هذه الزيارة موضوعة ضمن قوائم وصور ومخططات تسمح بتقييم العيوب. كما يجب أن تتم الزيارة بعد التنظيف الكامل للمنشأ وقلع الأشجار

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

والنباتات المحيطة، ثم يتم تصنيف جميع المعلومات ضمن إضارة المشروع المذكور.

1-3-4. الزيارة الميدانية لجسر قم غرز بدرعا

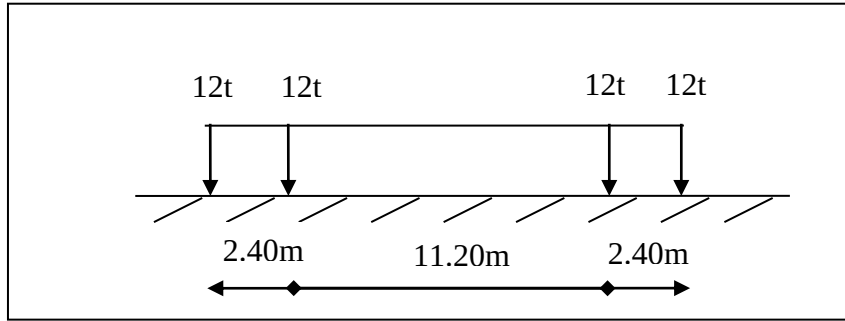
الجسر يحمل سكة حديد الخط الحجازي: دمشق - المدينة المنورة، على النقطة الكيلومترية 128. لم نحصل على إضارة الجسور التي عايناها وإنما قمنا ببعض القياسات التقريبية.

- أبعاد جسر قم غرز

الطول (m)	العرض (m)	عدد الفتحات	طول الفتحة (m)
47.0	3.50	6.0	6

جدول رقم (4-1). يبين أبعاد جسر قم غرز

- عرض الخط الحديدي: 105سم.
- السرعة القصوى الممكنة للقطار 45 كم/سا، حسب ما صمم عليه الخط الحديدي.
- الحمولة المحورية للقاطرة البخارية القديمة: 9طن
- الحمولة المحورية للقاطرة الحالية: 12طن
- القاطرة الهنغارية بأربعة (04) محاور.
- القاطرة الرومانية بستة (06) محاور.



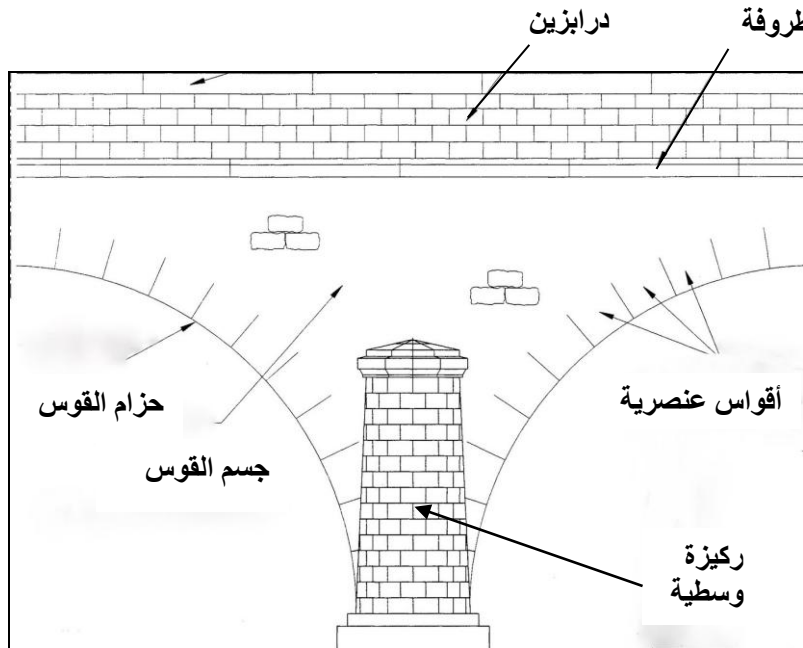
شكل (4-8). يبين وزن الحمولة وأبعادها للقاطرة الهنغارية

يقع الجسر على مجرى نهري غير دائم الجريان، وبمستوى منسوب المياه منخفض. وتتوضع أساسات الركائز على تربة صخرية. كما هو موضح في الصورة (4-8).



الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

صورة رقم (4-8). تبين منظر عام لجسر قم غرز



شكل (4-9) - منظر جانبي لجسر حجري

2-3-4. تصنيف الجسور القائمة وفقا لحالتها الراهنة:

تتميز الحالة الراهنة للجسور باختيار صنف من بين الأصناف الخمسة لدرجة التضرر، تكون أحيانا متممة بالعلامة " S " كدليل على أمان مستعملي الجسر.

الصنف	البيان
1	جسر في حالة جيدة ظاهريا، بعد الصيانة الدورية العادية.
2	- الجملة الإنشائية في حالة جيدة ظاهريا لكن التجهيزات أو عناصر الحماية تبدي عيوباً. - الجملة الإنشائية تبدي أضراراً خفيفة - تتطلب صيانة خاصة دون السرعة بالتدخل.
3	- الجملة الإنشائية في حالة جيدة ظاهريا لكن التجهيزات أو عناصر الحماية تبدي عيوباً. - الجملة الإنشائية تبدي أضراراً خفيفة. - تتطلب صيانة خاصة <u>مستعجلة</u>، من أجل حماية التطور السريع للعيوب في المنشأ وعدم وصوله إلى الصنف 3.
4	الجملة الإنشائية للجسر متضررة ، تتطلب بعض الإصلاحات لكن دون السرعة بالتدخل.
5	الجملة الإنشائية للجسر متضررة جداً، وتستوجب سرعة التدخل بالإصلاح أو التقوية، وتتعلق بضعف قدرة تحمل الجسر، أو بالتطور السريع للعيوب الظاهرة التي يمكن أن تؤدي إلى الحالة الحرجة.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

جدول رقم (4-2). يبين درجات العيوب في الجسور الحجرية وفق النورم الفرنسي [38]

ملاحظة: هناك العديد من الكودات لتحديد درجات الحالة الراهنة، منها الكود الأمريكي (الآشتو)، والكود السويدي. وكلها تعتمد على نفس الطريقة فقط الاختلاف في عدد الدرجات.

مخطط تصنيف الحالة الراهنة للجسور القائمة

حالة جيدة	حالة سيئة للتجهيزات او عناصر الحماية	عيوب خفيفة على المنشأ	المنشأ متضرر
		هل هناك خطر في الظهور السريع للعيوب الخطرة في المنشأ؟ نعم لا صنف 3 صنف 2	هل هناك استعجال في الإصلاح راجع لضعف قدرة التحمل نعم لا صنف 5 صنف 4
صنف 1	صنف 2، 3	صنف 4، 5	
الصيانة الدورية	الصيانة الخاصة	الإصلاح والتقوية	

4-3-3. تقييم العيوب لجسر قم غرز - درعا

4-3-3-1. ملحقات الجسر وتجهيزاته

الملاحظات	التصنيف	بيان العيب
	1	1- الخط الحديدي والعوارض لا تبدي عيوباً، ما عدا نقص البلاست في بعض المناطق
فوق سطح الجسر على جانب خط الحديد وبعمق 25سم تقريباً	2	2- التشوه نحو الأسفل، الحفر، ناجم عن انضغاط مواد التعبئة (مواد منضغطة أو تحوي مواد ناعمة، أو هبوط الركائز أو خلل في أحجار القوس

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

		العنصري.
فوق القوس الثالث	3	3- التحطم (الانهيار) المحلي: ناجم عن: - هبوط مواد التعبئة (مواد منضغطة أو تحتوي مواد ناعمة). - خلل في أحجار القوس العنصري. - هبوط الركيزة
	3	4- هبوط سطح الطريق خلف الركيزة الطرفية، ناجم عن سلوك سيء لردميات الركيزة (هبوطات، حفر ناجمة عن وجود مواد ناعمة، الحت والتآكل حول الأساسات).
	2	5- تحطم حواف الأرصفة، أو غياب عنصر أو مجموعة من العناصر. وهذا ناجم عن: - أعمال تخريبية من طرف الإنسان - الصدمات.
في مواقع مختلفة على الجهتين	2	6- تآكل، وانقطاعات موضعية للدرابزين، خلل الاستقامة، ناجم عن: - تخريب المواطن
خاصة في مداخل الجسر وعلى جهتيه.	2	7- عيوب في الاطارييف، ويكون عبارة عن: - عدم الترابط بينها وبين المنشأ خاصة لما تكون ظاهرة. - خلل في الفواصل بين العناصر (فراغات، تملح،...) وذلك ناجم عن: - سوء التنفيذ. - التأثيرات الفيزيوكيميائية للوسط المحيط. - عيب في كتامة الفواصل. - عيب في المنشأ عامة.
لم نرى وجود أجهزة تصريف مياه فوق السطح ولكن وجود دماعات في	2	8- انسداد أو انعدام وجود أجهزة تصريف مياه الأمطار للطريق فوق الجسر وعلى حوافه. ناجم عن: - التصميم غير اللائق لأجهزة التصريف.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

الجدران	- سوء تنفيذ أجهزة التصريف. - تدهور حالة الأجهزة بالإهتراء
---------	--

الدرجة الكلية التي يأخذها السطح العلوي للجسر (هي اكبر درجة سجلت في الجدول أعلاه): 3



صورة رقم (4-10). تبين السطح العلوي للجسر

2-3-3-4. عناصر الحماية:

الملاحظات	التصنيف	بيان العيب
متواجدة في معظم الأجزاء الداخلية للأقواس.	2 3 3	9- انعدام الكتامة أو تدهورها: وتشخص خلال الكشف عن عيوب الجزء السفلي للقوس، مثل: - الداء الأبيض، التجايف، أثر جريان الماء، ...الخ. - انفصال الأحجار (غياب مونة الربط) - تغير وفساد الأحجار
	2	10- تشوه التغطية الحجرية للركيزة، ناجم عن: - هبوط وانضغاط الردم - تسرب مياه الأمطار - نمو النباتات
	2	11- انهيار محلي ووجود حفر في التغطية الحجرية، ناجم عن: - الحت الناتج عن جريان المياه تحت المنحدر

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

		- ثغرات في مواد الردم - نمو النباتات
	2	12- تدهور حالة المواد المكونة للتغطية الحجرية (تغير الأحجار، انفصال الأحجار، تشققات أو انكسارات، ...)
	1	13- نمو النباتات فوق المنحدر - يمكن إزالتها بسهولة.
	2	14- تدهور عناصر الحماية، ناجم عن: - أثر التيارات المائية. - نمو النباتات.
	2	15- تدهور أجهزة تصريف المياه الجانبية، ناجم عن: - انعدام الصيانة. - الهبوطات. - نمو النباتات.

وتكون العلامة النهائية لعناصر الحماية كالمنحدر الحجري أمام الركيزة والكتامة هي: 3



صورة رقم (4-11). تبين حالة التغطية الحجرية للركيزة الطرفية

4-3-3. الجملة الإنشائية:

أ. الأقواس والجدران الحجرية:

الملاحظات	التصنيف	بيان العيب
في القوس الثالثة وقد يتطور بزيادة الحمولات	4	16- انفكاك بين جسم القوس وبين الصف السفلي للقوس (حزام القوس)

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

		- ناجم عن زيادة الحمولات على الجسر.
	2	17- الانفصال (انفتاح الفواصل): وهو يرتبط بخلل في الكتامة أو تصريف المياه، أو يتعلق بأثر التفاعلات الفيزيوكيميائية للوسط المحيط بمونة الفواصل. كما يتعلق بدفع جذور النباتات. ويمكن أن يكون على مساحة صغيرة و شامل.
تواجده بشكل ضعيف	1	18- الداء الأبيض: ناجم عن تسرب مياه الأمطار عن طريق السطح العلوي، والأرصفة ومواد التعبئة.
ويعني تغير لون الأحجار	1	19- - تدهور الأحجار وتغيرها: ناجم عن أثر التجمد وأثار أخرى فيزيوكيميائية. ويكون: على الحزام السفلي للقوس، و على الزوايا
لم نلاحظ وجود نباتات على جدران المنشأ	0	20- تواجد النباتات
لم يظهر لنا أي تصدع يديه المنشأ في الجدران الخارجية	0	21- التصدعات والشقوق
	3	22- فراغات لأحجار مقتلعة في الجدار الرأسي. ناجم عن فعل أيدي تخريبية

وتكون العلامة النهائية. الأقواس والجدران الحجرية هي: 4



صورة رقم (4-12). تبين انفصال الحزام عن القوس

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية



صورة رقم (4-13). تبين اقتلاع أحجار الاطروفة



صورة رقم (4-14). تبين حفرة مع نزع أحجار الاطروفة

ب. الركائز والأساسات:

الملاحظات	التصنيف	بيان العيب
لم نلاحظ-بشكل دقيق- أي خلل في الاستقامة الشاقولية أو الأفقية لجدران الركائز الوسطية	0	23- شاقولية الركائز
تواجد بسيط	1	24- غياب مونة الربط في بعض المواقع من جدران الركائز الوسطية. ناجم عن اثر المياه
وخاصة في الأجزاء القريبة من الماء	1	25- ظهور الداء الأبيض وتغير لون الأحجار. ناجم عن اثر المياه والعوامل الجوية.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

26- تحطم بعض الأجزاء من الأحجار . ناجم عن اثر صدم الأجسام الصلبة المتدحرجة مع المياه أو من تخريب المواطن	2	
27- انعدام عناصر الحماية للركائز الوسطية كالسياج المعدني الواقى للجزء السفلي من الركيزة أو لأساسها .	3	يمكن أن يؤدي إلى تدهور أساسات الركائز وحتى جدرانها
28- هبوط الركائز، ويمكن أن يكون ناجما عن اثر الحت أو زيادة الحمولات المطبقة .	2	في الركيزة الثالثة التي تحمل
29- الحت والتآكل لمجرى الوادي حول الركائز الوسطية، ويكون ناجما عن غياب عناصر الحماية أو اثر التيار المائي	2	وخاصة حول الركيزة الوسطية الثالثة، لكن لم نستطيع التأكد من أبعاده لتجمع المياه حول الركيزة. وان كان بسيطا نوعا ما
30- تدهور الأساسات	2	لم تتمكن من معاينة كل الأساسات
31- نمو النباتات في مجرى الوادي المعرقة لجريان المياه، وتواجد بقايا أحجار متجمعة .	2	

وتكون العلامة النهائية للركائز الأساسات الحجرية هي: 3

وتكون العلامة النهائية للجملة الإنشائية عامة هي: 4. وهي العلامة النهائية التي يأخذها الجسر .
ويعني ذلك دخول المنشأ في مرحلة التدخل الضروري بالتقوية أو الإصلاح للعناصر المتضررة وذلك
بعد إعادة دراسة السبب الحقيقي للعيب اثر الكشف الدقيق والمفصل للعنصر .
وبعد اخذ عينات من أحجار متساقطة حول الجسر وإجراء بعض الاختبارات عليها كما يلي .

4-3-4. نتائج الاختبارات المخبرية على العينات:

1-4-3-4. اختبار المقاومة على الانعطاف:

بعد تجفيف العينات بأبعاد (28 x 7 x 7) إلى الوزن الثابت، نضعها فوق مسندين بسيطين
متدحرجين بفتحة 21 سم، ونطبق حمولة محورية مركزة تدريجيا في منتصف العينة حتى الانكسار .



صورة رقم (4-15). تبين توضع عينة الحجر في جهاز اختبار الانعطاف

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

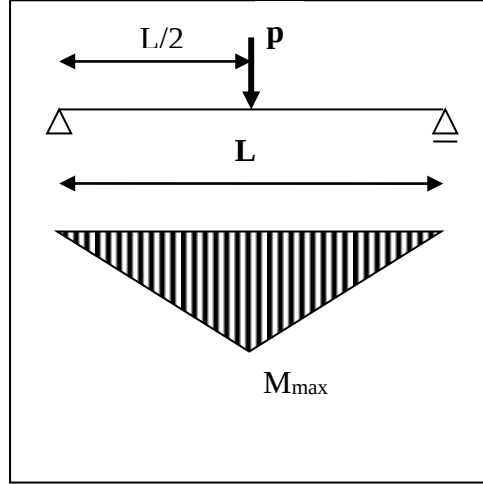
إجهاد الانكسار يعطى بالعلاقة التالية:

$$\sigma_t = \frac{6M_t}{bh^2}$$

حيث b: عرض العينة (مم)

h: ارتفاع العينة في منطقة الانكسار (مم)

M_t : عزم الانعطاف للعينة في مقطع الانكسار (N.mm)



ويعطى عزم الانعطاف لحمولة مركزة في منتصف جائر باستناد بسيط:

$$M = \frac{pL}{4}$$

وفي مثالنا:

طول فتحة المجاز (L = 21 cm)

• للعينة السليمة من العيوب:

الحمولة الحديدية لانكسار العينة 1 هي (p = 1664 kg)

$$M = \frac{pL}{4} = \frac{1664 \cdot 21}{4} = 8736 \text{ kg.cm}$$

$$\sigma_t = \frac{6M_t}{bh^2} = \frac{6 \times 8736}{7 \times 7^2} = 153 \text{ kg/cm}^2$$

• للعينة التي تحوي تكهفات:

الحمولة الحديدية لانكسار العينة 2 هي (p = 1240 kg)

$$M = \frac{pL}{4} = \frac{1240 \cdot 21}{4} = 6510 \text{ kg.cm}$$

$$\sigma_t = \frac{6M_t}{bh^2} = \frac{6 \times 6510}{7 \times 7^2} = 114 \text{ kg/cm}^2$$

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية



صورة رقم (4-16). تبين العيب الموجود في العينة المكسورة على الانعطاف

2-3-3-4. اختبار المقاومة على الضغط:

تؤخذ مكعبات (7 x 7 x 7) سم³، وتجفف حتى الوزن الثابت. ثم توضع في جهاز قياس الضغط بعد تسوية أسطحها، تطبق حمولة تدريجية حتى انكسار العينات تحت الضغط. يعطى إجهاد الضغط:

$$\sigma = \frac{p}{s}$$

حيث: p- الحمولة الحدية للانكسار (كغ)

s- مساحة سطح العينة المطبق عليها الضغط (سم²)

وقد سجلت الإجهادات في الجدول التالي:

العينة	1	2	3
المقاومة على الضغط (كغ/سم ²)	1041	1102	1061

جدول رقم (4-3). يبين قيم إجهادات الضغط للعينات الثلاث البازلتية

ومنه يكون الإجهاد الوسطي للعينات مساويا للقيمة: $\sigma_p = 1068 \text{ kg/cm}^2$

وعليه فإن هذه القيمة مقبولة بالنسبة لأحجار البازلت التي تتراوح مقاومتها على الضغط من 800 كغ/سم² إلى 2200 كغ/سم².

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية



صورة رقم (4-17). تبين توضع العينة المكسورة على الضغط

3-3-3-4. اختبار الوزن النوعي والوزن الحجمي

طريقة قياس الوزن النوعي: إن مبدأ التجربة يتضمن تحديد حجم الفراغات والحجم الظاهري للعينة حيث تجرى التجارب على خمس عينات مضلعة الشكل (5x7x7). وبعد تجفيفها حتى نحصل على كتلتها الثابتة P1 بدرجة حرارة (80°). تعرض في وعاء محكم إلى فراغ ضغطه 20 مم زئبقي ولمدة 2:30 سا وذلك لإفراغ الهواء الموجود في المسامات.

بعد ذلك ندخل ماء مقطرا في الوعاء حرارته هي حرارة الغرفة، حتى يتم غمر العينات وذلك خلال مدة ساعتين ويعاد الضغط الجوي إلى الوعاء وتبقى العينات مغمورة لمدة 24 ساعة. بعدها يتم وزن العينات في الماء فنحصل على P3 كما نحصل على كتلة العينات في الهواء بعد تنشيفها وهي P2 .

وحصلنا على النتائج التالية:

العينة	P ₁ (غ)	P ₂ (غ)	P ₃ (غ)
1	690.5	698.5	439.5
2	692.5	699.0	441.0
3	707.5	714.0	450.5
4	693.0	700.0	441.0
الوسطي	695.9	702.9	443

جدول رقم (4-4). يبين القيم التجريبية لأوزان العينات خلال تجربة الوزن النوعي

يكون الوزن النوعي مساويا إلى كتلة المادة الجافة P1 مقسمة على حجمها المطلق V_a.

$$\gamma = \frac{p_1}{p_1 - p_3} = \frac{695.9}{695.9 - 443} = 2.75 \text{ g / cm}^3$$

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

ويكون الحجم الظاهري مساويا للحجم V مضافا إليه حجم الفراغات الكلي.
حيث:

$$V_{app} = p_2 - p_3 \quad \text{الحجم الظاهري}$$

$$V_a = p_1 - p_3 \quad \text{الحجم المطلق}$$

$$V_v = p_2 - p_1 \quad \text{حجم الفراغات}$$

ولما كانت الكتلة الحجمية للماء المقطر تعادل 1 غ/سم³ فالكتلة الظاهرية يعبر عنها

$$\gamma_0 = \frac{p_1}{p_2 - p_3} = \frac{695.9}{702.9 - 443} = 2.68 \text{ g / cm}^3$$

* المسامية: وتعطى كما يلي

$$p_0 = \frac{p_2 - p_1}{p_2 - p_3} \times 100 = 2.6 \%$$

وبالتالي فالقيم المتحصل عليها كلها ضمن الحدود النظرية للحجر البازلتية.

الاختبار	القيمة
الوزن النوعي (غ/سم ³)	2.75
الوزن الحجمي (غ/سم ³)	2.68
المسامية (%)	2.60

جدول رقم (4-5). يبين حصيلة نتائج الوزن النوعي والمسامية

3-4. الخلاصة:

ان التجارب على أحجار الجسر القائم دلت على ان الصفات الميكانيكية والفيزيائية لم تتراجع بشكل كبير ومازالت ضمن الحدود المسموحة نظريا رغم مرور ما يقارب القرن على إنشاء الجسر. ونستنتج من خلال التجارب التي أجريناها ان الجسور الحجرية تبدي مقاومات هائلة على الضغط، مما يجعلها ذات ديمومة كبيرة تزيد من العمر التصميمي او تعطي عمرا تصميميا جديدا وبعامل أمان جيد، بعد الإصلاحات التي يجب إجراؤها على العناصر وبشكل دوري.

4-4- تحديد الحمولة الحديدية للجسور الحجرية القوسية

4-4-1. حسب الطريقة التجريبية للتحليل الإنشائي للجسور القوسية [26]

4-4-1-1- اشتراطات عامة:

إن هذه الطريقة تجريبية بسيطة ويجب أخذ بعض الاحتياطات في تطبيقاتها، نذكر منها:

1- المسقط الأفقي مستقيم.

2- الأقواس تحتوي على مفتاح واحد.

3- الفتحات متساوية ومنتظمة.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

- 4- الركائز الطرفية غير مشوهة (ليس فيها هبوطات).
- 5- الجسر لا يحتوي على عيوب هامة تضر بالجملة الإنشائية.
- 6- الجدران فوق المفتاح صلبة.
- 7- الفتحات تتراوح ضمن المجال $(2.0 \geq L \geq 20)$.
- 8- النسبة الأصغرية لنصف القطر الشاقولي إلى الطول $(f/L \geq 1/6)$.
- 9- سماكة القوس عند الذروة (c) نسبة إلى الطول (c/L) معطاة في الجدول (4-6):

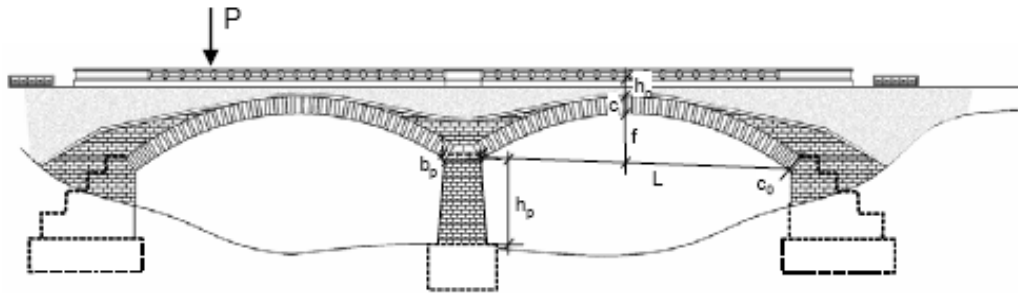
L (m)	2.0 - 5.0	5.0 - 7.5	7.5 - 10	10 - 15	15 - 20
$c/L \geq$	0.1	0.09	0.07	0.06	0.05

الجدول رقم (4-6). يبين قيم c/L بدلالة طول الفتحة للأقواس الحجرية

- 10- يجب أن تكون الأبعاد التالية محققة:
 - للأقواس الكاملة $H_{backfill} = 0.6 f \rightarrow f/L = 1/2$
 - للأقواس المسطحة $H_{backfill} = 0.3 f \rightarrow f/L = 1/6$
- 11- ارتفاع الردم فوق الذروة h_0 يجب أن يكون: $2.0 \text{ m} \geq h_0 \geq 0.25 \text{ m}$
- 12- الارتفاع الأعظمي للركائز الوسطية لا يتجاوز 10 m.
- 13- سماكة الركيزة في الأعلى نسبة إلى طول الفتحة يكون $b_p/L \geq 0.10$

4-4-1-2- حساب الحمولة الحدية المركزة بطريقة تحليل العنصر الصلب-التحليل اللدن:

- طريقة التحليل اللدن للمنشآت prototype تأخذ بالحسبان ميكانيزم الانكسار (المفاصل، القص) وتطبق على أكثر من قوس. كما يجب تطبيق الحمولة في مواقع مختلفة من $L/6$ إلى $L/2$ ، ويؤخذ عرض الجسر 3.0 م. نأخذ الحمولات الميتة بالحسبان وتضرب بالعامل 1.0.



شكل (4-18) يبين الأبعاد التي تدخل في حساب الحمولة المركزة

نعتمد في حسابنا للحمولة المركزة على الأبعاد الهندسية وعوامل تجريبية معطاة. كما هو موضح في الجدول (4-7):

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

$L[m]$	c/L	f/L	$h_o[m]$	$h_p[m]$	b_p/L	μ	$\gamma [kN/m^3]$	$\gamma_{fill} [kN/m^3]$
5.00	0.10	1/2	0.25	2.0	1/4	0.60	20.0	18.0
7.50	0.09	1/4	0.50	5.0	1/6	0.80		
10.00	0.07	1/6	2.00	10.0	1/8			
12.50	0.06							
15.00	0.05							
17.50								
20.00								

جدول رقم (4-7) يبين العوامل اللازمة في تحديد الحمولة المركزة.

4-4-1-3- تطوير علاقة تحديد الحمولات الحديدية:

في الواقع، لابد من وجود عدة متغيرات تحليلية للحصول على علاقة حسابية. ولهذا نأخذ علاقة مبسطة مباشرة منفصلة المتغيرات. وأخذين بعين الاعتبار سكة الحديد، العوارض و إرتفاع الردميات. وتعطى الحمولة الحديدية بالعلاقة التالية:

$$P_{ult} = (AL^2 + BL + C)K_1K_2$$

مع: L بالمتر [m] و P_{ult} ب [KN]

حيث: A ، B و C معاملات تتعلق بـ (c/L) ومعطاة في الجدول التالي:

c/L	A	B	C
0.10	24.432	15.796	792
0.09	29.891	-183.15	1092
0.07	20.000	-190.00	1020
0.06	14.927	-173.30	1095
0.05	3.3036	7.4106	345

جدول رقم (4-8) يبين تحديد معاملات علاقة الحمولة الحديدية

K_1 - عامل يتعلق بـ (f/L) ، ويعطى بالعلاقة:

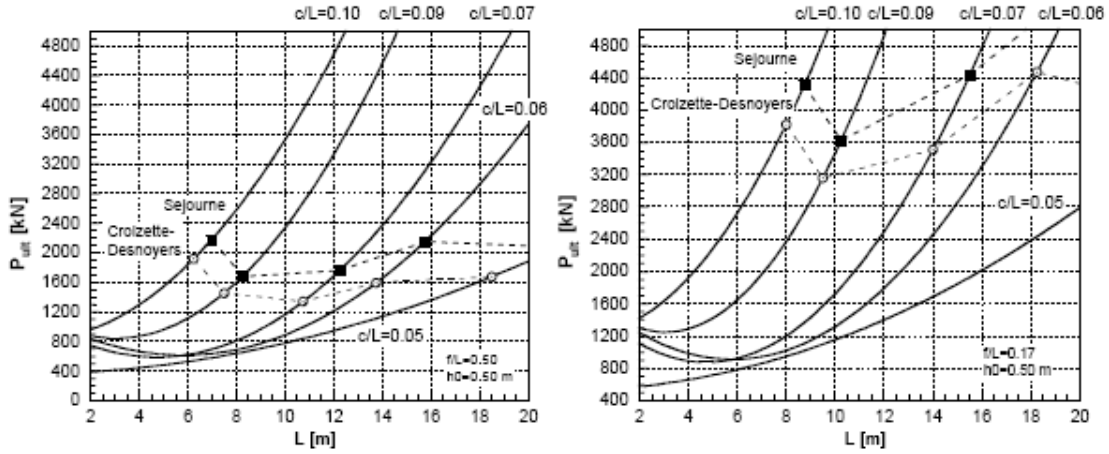
$$K_1 = \begin{cases} 1 - 0.05\left(\frac{L}{f} - 4\right)^2 & \text{if } \frac{f}{L} \leq 0.25 \text{ and } \frac{h_p}{L} \geq \frac{1}{2} \\ 1 + 0.03\left(\frac{L}{f} - 2\right)^2 & \text{else} \end{cases}$$

K_2 - عامل يتعلق بارتفاع الردم فوق الذروة (h_0) ، ويعطى بالعلاقة:

$$K_2 = 1 + \left(\frac{h_0}{2.50}\right)^2 \quad h_0 \text{ in [m]}$$

ولدينا أيضا قيم الحمولة المحورية الحديدية ممثلة في منحنيات سيجورنييه (Séjourné) وديسنوير (Desnoyers) لجسور السكك الحديدية، الخاصة بالأقواس الكاملة والأقواس المسطحة (قليلة الارتفاع)، كما يبين الشكل رقم (4-15).

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية



الشكل رقم (4-19). يبين الحمولة الحديدية للقوس والنتائج التجريبية لتصميم الجسور

(حسب سيجورنيه وديسنوير)

وأثبتت نتائج الأبحاث إن عامل الأمان الموجود في الجسور المصممة بالطرق الكلاسيكية لسيجورنيه كبير جدا حيث يبلغ في الأقواس الكاملة (العميقة) أربعة (4) أضعاف الحمولة الحقيقية بينما يصل في الأقواس المسطحة إلى عشرة (10) أضعاف.

4-4- تطبيق الطريقة المبسطة على جسر قم غرز بدرعا:

لدينا العلاقة العامة للحمولة الحديدية:

$$P_{ult} = (AL^2 + BL + C)K_1K_2 \dots\dots\dots(KN)$$

حساب المعاملات:

$$c/L = 0.5/6 = 0.09 \text{ لدينا}$$

من الجدول رقم (4-8)، نجد:

$$A = 29.89, \quad B = -183.15, \quad C = 1092$$

إيجاد K_1 و K_2 :

بالرجوع إلى علاقة K_1 نجد أن الشرط الأول غير محقق حيث $f/L = 0.5$ ، وبالتالي نأخذ العلاقة الثانية:

$$K_1 = 1 + 0.03(f/L - 2)^2 = 1.0$$

$$K_2 = 1 + \left(\frac{h_0}{2.5}\right)^2 = 1.05$$

وبتعويض قيم المعاملات في علاقة الحمولة، نجد:

$$P_{ult} = (AL^2 + BL + C)K_1K_2 = 1122.9 \text{ KN}$$

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

وكذلك عند استعمال مخططات سيجورنيه مباشرة نجد نفس قيمة الحمولة الحدية لمثالنا، وعليه فإن الجسر باعتبار أن مقاومته الكلية لم تتراجع بشكل يهدد استقراره، يتحمل حمولة محورية هامة، تصل تقريبا إلى أربعة أضعاف الحمولة الحقيقية، مما يبرز أن تصميم الجسور الحجرية القوسية كان يعطى لها عامل أمان كبير جدا.

وعليه يمكن الحكم المبدئي على الجسر بأنه يتحمل الحمولات الحالية كما يمكن استثماره في حالة تطوير الخط. لكن لابد من الإشارة إلى القيام بالإصلاحات اللازمة على الأقل للحد من تطور بعض العيوب التي يمكن أن تؤدي إلى تضرر الجملة الإنشائية.

4-4-2. تعيين الحمولة الحدية للجسور الحجرية باستخدام برنامج Ring2.0

مقدمة:

لتعيين قدرة التحمل الحدية للجسور الحجرية القائمة تم استخدام برنامج ring، وهذا البرنامج خاص، حيث صمم لحساب قدرة التحمل الحدية للجسور الحجرية القوسية وحيدة الفتحة أو متعددة الفتحات. وضع البرنامج أول مرة للاستعمال سنة 2001، وقد انتشر الآن للاستعمال الموسع حول العالم من قبل الباحثين وبمزايا متطورة [25].

ولتطبيق برنامج ring، يجب فهم الإطار الأساسي النظري والعملي للبرنامج، ولذلك لابد من:

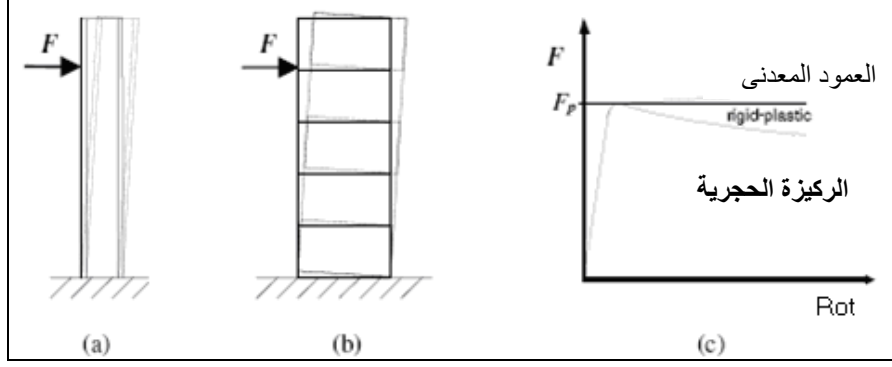
- شرح الأساس النظري لبرنامج ring .
 - توثيق العديد من الدراسات التي أجريت من أجل تصديق نتائج برنامج ring .
 - إعداد إرشادات عملية لكيفية استخدام البرنامج من أجل تقييم الجسور الحجرية القوسية.
- ويجب الاطلاع على الدليل المرجعي لكيفية استخدام برنامج ring الذي يعطي معلومات عن نظام التشغيل و متطلباته. ويعطي تعليمات التثبيت و تعليمات مفصلة عن استعمال مزايا وأوامره.

4-4-2-1 الأسس النظرية لبرنامج التحليل الإنشائي للجسور الحجرية القوسية (ring):

أ) الخلفية: يعتبر برنامج ring الجملة الإنشائية القوسية ككتل صلبة ويستخدم طرائق التحليل الحاسوبية الحدية لتحليل حالة الانهيار فقط. وعلى الرغم من ظهور تقنيات التحليل الحدي أو تقنيات آليات التحليل اللدن التي طورت في الأصل لتحليل الإنشاءات والعناصر المعدنية، إلا أنه يمكن تطبيقها وتطويرها على المنشآت الكتلية الحجرية، كالأقواس والركائز [19].

وللمساعدة على فهم لماذا يمكن تطبيق نظرية التحليل الحدي، يمكن مقارنة استجابة عمود معدني ذو مقطع عرضي لدن ومنتظم مع استجابة ركيزة حجرية، كما في الشكل (4-20)

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية



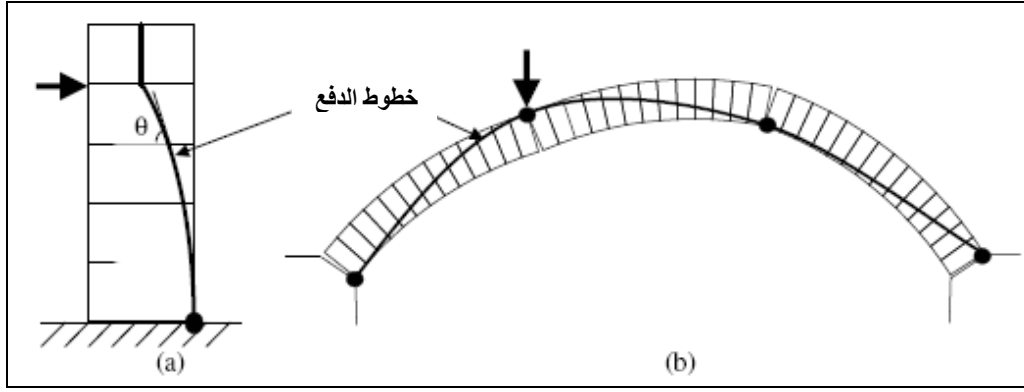
الشكل (4-20). يبين التحميل الجانبي: (a) عمود معدني، (b) ركيزة حجرية، (c) منحنيات الاستجابة المثالية.

يمكن أن نستنتج ما يلي:

- عندما تعطي قوة الشد وقوة الضغط للعمود المعدني عزم مقاوم لدن حدي M_p ، فإن غياب مقاومة الشد يعني أن الركيزة الحجرية لا تملك عزم مقاوم مماثل.
- على أية حال، نعني بالوزن الذاتي وسماكة الركيزة أن هناك مقاومة ضد الانقلاب ويمكن اعتبار أن للركيزة الحجرية قدرة تحمل كبيرة. على الرغم من وجود عزم يتفاوت حسب الارتفاع.
- علاوة على ذلك، عندما لا تكون الانتقالات في الركيزة كبيرة، فإن مقاومة الركيزة الحجرية ضد الانقلاب عند مقطع معطى تكون ثابتة.
- لذلك تكون استجابة الركيزة مطاوعة (ductile)، وهو مطلب مهم لإمكانية تطبيق نظرية التحليل اللدن الحدي.

في المنشآت الحجرية يتغير العزم المقاوم بشكل مستمر و يجعل مخططات عزوم الانعطاف صعبة التحليل. و يكون من المفيد رسم لامركزية حمولة الضغط أو الدفع عند كل مقطع عرضي (حيث اللامركزية هي نسبة العزم إلى الدفع). الشكل (4-21) يبين الخطوط الناتجة عن الدفع عند الانهيار لنوعين مختلفين من المنشآت.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية



الشكل (21-4). بين خطوط الدفع عند الانهيار في: (a) ركيزة حجرية، (b) قوس حجرية

نلاحظ من الشكل (21-4) انه في حالة الركيزة الحجرية قد استعملت نظرية التوازن السكوني لتحديد موقع خطوط الدفع قبل وأثناء مرحلة الانهيار، وعلى خلاف ذلك، في الشكل 21b الذي يمثل حالة القوس الحجرية فهناك العديد من المواقع المحتملة لخطوط الدفع قبل الانهيار، ويمكن تحديد موقعها فقط عند نقطة الانهيار الاعظمي.

بالإضافة إلى اعتبارات التوازن الأساسية، وضمن سياق المنشآت الكتلية الحجرية، حيث يمكن تطبيق الشروط التالية لاختبار الانهيار الحدي (نفترض احتمال وجود مفاصل وانزلاقات):

- شرط الخضوع (yield condition)، والذي يعتبر أن خط الدفع يكون ضمن المنشأ ولا يقطع أي فاصل عند زاوية مقابلة (θ) اقل من $\tan^{-1}(\mu)$ ، حيث (μ) معامل الاحتكاك.
- شرط الآلية (mechanism condition)، الذي يعتبر صحيحا بشرط أن يكون خط الدفع إما يمس الأسطح الخارجية للعناصر الحجرية أو يقطع الفواصل عند زاوية (θ) من $\tan^{-1}(\mu)$. وذلك لتعجيل عملية استيفاء الشروط المطلوبة لتحويل الجملة الإنشائية إلى الحالة الآلية.

هكذا في الأقواس الحجرية، نظرية الحد الأدنى للتحليل اللدن تنص: إذا تحقق شرطي التوازن والخضوع، فإن الحمولة المطبقة ستكون كحد أدنى من حمولة الانهيار اللدنة الحقيقية.

بنفس الطريقة فإن نظرية الحد الأعلى للتحليل اللدن تنص: إذا حققت خطوط الدفع شروط التوازن والآلية، فإن الحمولة المطبقة ستكون كحد أكبر من حمولة الانهيار الحقيقية اللدنة.

عند استعمال نظرية الحدود العليا أو الحدود الدنيا، يمكن إجراء تحليل يدوي حدي. على سبيل المثال، يمكن إجراء تحليل يدوي بالحدود العليا بواسطة:

- اختيار محتمل لآلية الانهيار.
- استخدام التوازن (أو طريقة العمل) لحساب حمولة الانهيار.
- إيجاد آليات الانهيار المحتملة الأخرى حتى الحرجة منها.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

على أية حال، حتى في حالة الفتحة الوحيدة والقوس الوحيدة، تجعل الأبعاد الهندسية للأقواس الحل اليدوي ضعيفا. يمكن من خلال برنامج ring نمذجة هذه العملية بشكل فعال، باستخدام تقنيات تحقيق الأمثلية الرياضية، بدلا من إجراءات التكرار المتتابع لإيجاد حمولة الانهيار المطلقة الدنيا. أخيرا، وللتوضيح أشارت الدراسة أعلاه إلى أن المواد الحجرية تمتلك مقاومات لا نهائية على إجهاد الضغط، وهذه ليست حالة واقعية. في الحقيقة إن وجود مقاومة محدودة للمواد الحجرية، يعني أن خطوط الدفع المذكورة سابقا يكون من الأفضل أن تعتبر كمنطقة دفع، والتي يجب أن تكون لها سماكة كافية في أي نقطة لتحمل قوة الضغط (يعتمد السمك المطلوب على مقاومة التهشم، ويمكن تحديده من خلال برنامج ring). نلاحظ أن في برنامج ring يفترض أن الدفع يكون على مساحة من المادة تحت مستوى منتظم للإجهاد (بمعنى: افتراض كتلة-إجهاد مستطيلة استنادا إلى منحني صلد-لدن لاستجابة تهشم الأحجار المثل).

(ب) معامل حمولة الانهيار:

على العموم، ومن الفائدة بمكان أن يحسب العامل، والذي سوف يؤدي إلى الانهيار إذا ما تم تطبيقه على بعض النماذج المحددة للحمولات الحية (أي عندما يضرب بقيمة الحمولة الحية المطبقة على الجسر يعطي حمولة الانهيار القصوى). ويعرف عادة هذا العامل بعامل التحميل، و إن تحديده لجسر معطى هو الهدف الأساسي للتحليل الذي يقدمه البرنامج. مثال:

في حال استعمال حمولة محورية وحيدة بـ 10KN (1t) ، وبعد استخدام البرنامج، حيث يحسب معامل الانهيار، وقد أعطت نتائجه مثلا عامل حمولة قدره 15.4، هذا يعني أن الحمولة التي تؤدي إلى الانهيار هي $(15.4 \times 10 = 154\text{KN "15.4t"})$.

وفي حالة استعمال حمولات متعددة المحاور، فإن معامل الانهيار يضرب في كامل الحمولات المحورية لكي نحصل على الحمولة المسببة للانهيار. وكمثال على ذلك إذا كان لدينا حمولة قاطرة بـ 1400KN موزعة على أربعة محاور بـ 200KN و أربعة أخرى بـ 150KN ، وبعد استخدام البرنامج، أعطت النتائج أن معامل الانهيار هو 3، يعني ذلك ان الحمولة المحورية المسببة للانهيار هي (أربعة محاور بـ 600KN ، وأربعة أخرى بـ 450KN).

4-2-2-2 مجال تطبيق البرنامج:

(أ) عموميات: إن برنامج Ring مناسب بشكل كبير لتحليل الجسور القوسية الحجرية المتعددة الفتحات أو وحيدة الفتحة، حيث تكون الحمولات الحية غير مهمة مقارنة بالوزن الذاتي للمنشأ. ولا

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

يوجد حد أدنى لعدد الفتحات التي يمكن تحليلها بشكل معقول، أما بالنسبة للفتحات الأطول من 20م - 30م، فإن الحمولات الحية ستكون مهمة بشكل أساسي وسيتم أخذ بعين الاعتبار ما يلي:

- تأثيرات الانزياحات الحجرية طويلة الأمد (والناجمة عن الإجهادات العالية المستمرة بانتظام).
- في حالة الجسور ذات الفتحات الطويلة، فإن حضور إجهادات الضغط العالية يمكن أن تؤدي إلى تشوهات من الدرجة الثانية لا يمكن إهمالها.

يمكن أن يستخدم البرنامج لنمذجة الجسور المؤلفة من حلقات (rings) متعددة أو وحيدة الحلقة والمبنية باستخدام الأحجار أو الأجر.

يعمل البرنامج بافتراض أن الأحجار المستخدمة في بناء الجسر هي أحجار مستطيلة ومنتظمة الشكل، ولهذا فإن البرنامج يصبح أقل كفاءة لنمذجة الأقواس الحجرية المبنية من الحجر الغشيم (غير النحيت).

إضافة إلى ذلك فإن البرنامج يصبح غير مجدي لحساب الحمولة الحدية لجسر ما إذا ما حصلت إحدى الحالتين التاليتين:

- إذا كان الجسر مؤلف من قوس طويلة (أكبر من 20م) أو قوس مسطحة (نسبة الفتحة إلى نصف القطر العلوي تكون أكبر من 6 أو أن القوس يتألف من فتحات مسطحة كما في حالة القطع المكافئ) ويمكن أن تكون التشوهات المرنة الحاصلة قبل الانهيار ستغير أبعاد القوس بشكل ملحوظ.

- من المتوقع أن الاستجابة الضعيفة لجزء من المنشأ يمكن أن تمنع تشكل آلية الانهيار المرنة (انهيار بسيط أو ضعيف في الفواصل بين الحلقات Rings أو تشكل مفاصل ضعيفة).

ومع ذلك حتى في هذه الحالات فإن البرنامج يمكنه أن يقدم تقديراً عالياً للحمولة المحتملة للجسر والذي يمكن أن يستخدم كبديل عن أساليب التحليل الرياضي الأخرى. إن هذه الأساليب البديلة يمكن أن تستخدم في حالتين:

- التحليل الحدي المرن.
- التحليل المرن اللاخطي بالاشتراك مع نموذج لمادة حجرية يتبع مبادئ آليات الانكسار الميكانيكي (مثل استخدام نظرية هيلبرغ Hellerborg الخاصة بالتشقق المنتظم).

ب) التأثيرات ثلاثية الأبعاد:

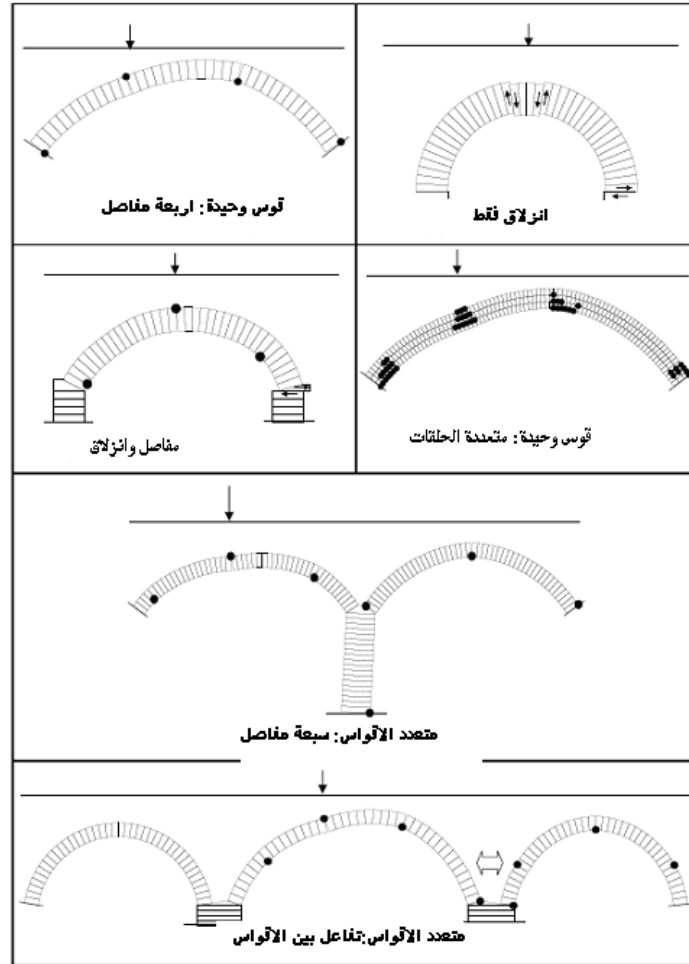
على أية حال، إذا كان الجسر عريضاً مقارنة مع فتحته، فإن تأثير الجدران الحاملة على المقطع المركزي للجسر يمكن أن تكون ضعيفة. إضافة إلى ذلك يلاحظ وجود عيب شائع في الجسور الحجرية ألا وهو انفصال الجدران الحاملة عن الأقواس (وذلك واضح بوجود تشققات طولانية على حواف الجسر الجانبية). لهذه الأسباب فإن الجدران على الأقواس لا يمكن نمذجتها بالبرنامج.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

وأخيراً، بما أن هذا البرنامج يمثل القوس ببعدين 2D في المستوى الشاقولي، فإنه يصبح أكثر ملائمة لتقييم الجسور الحجرية القوسية والتي فتحتها بين ركيزتين طرفيتين مباشرة.

(ج) مدى تمييز أنماط الانهيار:

يمكن لهذا البرنامج يميز آليات انهيار كامنة ومتعددة ويظهر الشكل (4-22) أنماط الانهيار التي أحصيت أثناء استخدام البرنامج لتقييم جسور حجرية حقيقية.



الشكل (4-22). يبين أنماط الانهيار التي يعطيها برنامج ring

إن قدرة البرنامج على تمييز أنماط الانهيار غير المعروفة حتى الآن قد أدت إلى بعض الاكتشافات المهمة.

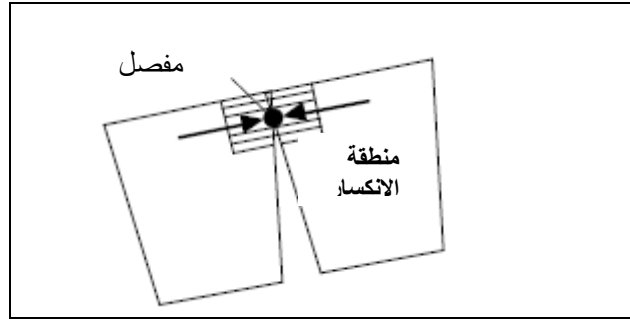
بشكل عام، يجب على مستخدمي البرنامج أن يتجنبوا استخدام قواعد بديهية أو مسلمات قدر الإمكان، ويتوجب عليهم في هذه الحالة نمذجة أكبر قدر ممكن من الجمل الإنشائية الممكنة للجسور الحجرية القوسية.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

4-4-2-3: نمذجة مقاومة الأحجار المحدودة:

عندما يتم تحديد مقاومة المادة فان برنامج ring يقوم بإجراء تحليل تكراري متتابع عند أي نقطة تماس فعالة يتم تحديدها في كل عملية تكرار تبعا لقيمة القوة الناعمة. يفترض الحصول على انحراف في القيمة عندما يحسب عامل الانهيار عند حالات التكرار الأخيرة والحالية.

يفترض في الدفع الحاصل في القوس أن ينتقل بواسطة كتلة-إجهاد مستطيلة وفق نظرية لايفسلي (Livesley) فان هذا يعني أنه عند مواضع المفاصل فان حواف أسطح التماس الفعالة يتم تعديلها في كل عملية تكرار بحيث تتلاءم مع مركز كتلة الانكسار (شكل 4-23).



الشكل (4-23). يبين موضع المفصل المحتمل (نظرية لايفسلي)

4-4-2-4: نمذجة الانهيار بالانزلاق:

تعمل عدة برامج آلية احتمالية حدوث انهيارات بالانزلاق، فإن هذه الحالة لا تحصل مع برنامج Ring، حيث يستخدم هذا البرنامج نمودجا مساعدا افتراضيا للاحتكاك (وهذا يعني احتمال وجود انفصال مرافق للانزلاق).

على أية حال، لقد تبين بأن الاحتكاك بين الكتل الناعمة يمكن أن يؤدي إلى الحصول على عوامل تحميل غير محافظة (إذا تم الانزلاق في حالة الانهيار الحرج) وبالرغم من ذلك فقد تبين أنه أثناء نمذجة الجسور القوسية المبنية بالأجر والمتعددة الحلقات فإنه يمكن الحصول على توافق جيد ومعقول بين النتائج التجريبية والحقيقية.

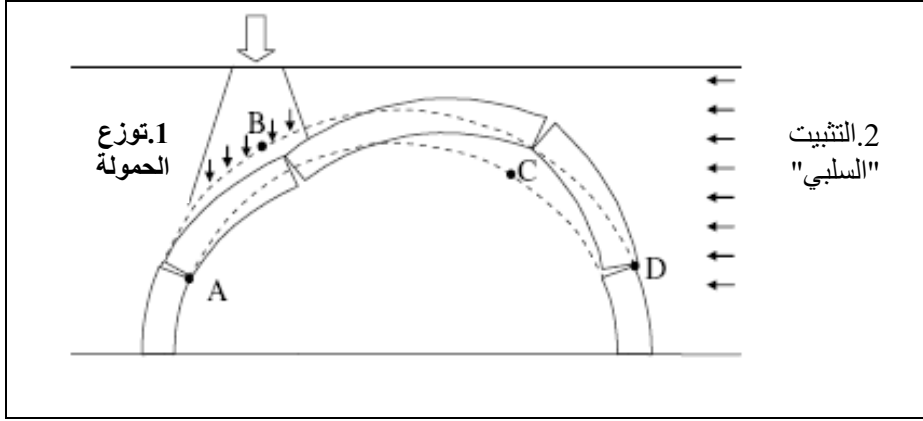
4-4-2-5: نمذجة الردميات:

أ) **عموميات:** إن الوزن الميت الشاقولي لمادة الردم تعطي إجهادا مسبقا ومؤثرا على أحجار القوس مما يزيد قدرته على التحمل (بشرط أن تكون الحجارة المكونة ذات قوة ضاغطة فعالة)، إن للردم أيضا تأثيرين مفيدتين (شكل 4-24) وهما:

1_ يوزع الحمولات الحية.

2_ يثبت حركة القوس عندما ينحرف القوس في الردم (التثبيت غير الفعال "السلبى").

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية



الشكل (4-24). يبين أثر التفاعل بين القوس والترتبة في الجسور الحجرية

إن كل من التأثيرين المذكورين أعلاه يمكن لكل منهما أن يعزز قدرة التحمل للجسر القوسي الحجري. على أية حال بينما يتم نمذجة الكتل الحجرية المكونة للجسر في الجسور القوسية بواسطة برنامج Ring فإن نمذجة الردم تتم بطريقة غير مباشرة وأكثر بساطة.

ب) توزيع الحمولات الحية:

إن ضغط الحمولات الحية الشاقولية على سطح القوس يمكن تفسيره حسب البرنامج، إما أن تكون متوزعة بانتظام أو موزعة حسب نموذج بوسينسك (Boussinesq).

ج) المقاومة السلبية:

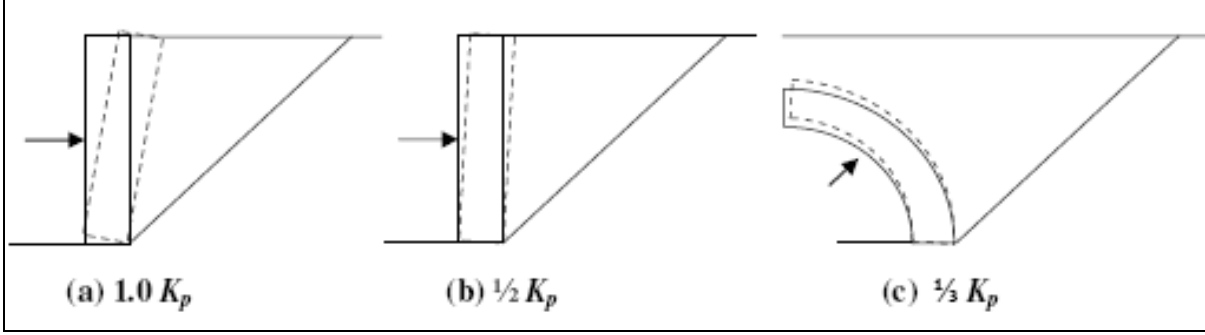
إلى يومنا هذا، لا تزال إمكانية تطبيق النظرية الكلاسيكية للجدران الاستنادية الشاقولية لتعطي تقريبا للضغوط السلبية عندما تندفع مقطع من القوس نحو الردميات المحيطة بها، وتبين هذه النظرية أن الضغط السليبي الأفقي المقيد يمكن حسابه بضرب اجهادات الناجمة عن الأحمال الشاقولية بمعامل ضغط التربة K_p ، انظر الشكل a25، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi'/2)$$

حيث ϕ' هي الزاوية الفعالة لمقاومة القص لمواد الردميات.

في حالة الانهيار الحاصل مع دوران الجدران فإنه يمكن تطبيق معامل ضغط التربة بقيمة منخفضة في الواقع (الشكل b25). أما إذا كان الجدار منحنيا (قوس) فإن K_p يفترض أن يكون منخفضا أكثر (الشكل c25).

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية



الشكل (4-25). معاملات ضغط التربة الأفقية المستخدمة:

(a) دوران جدران عريض،

(b) دوران جدار قصير ($\approx 0.5\%$)،

(c) دوران قوس حول الردمية المحيط بها.

افترض بوروس Buroughs استخدام معامل ضغط بديل للأقواس K_e معطى كما يلي:

$$K_e = K_0 + e(K_p - K_0)$$

حيث K_0 : معامل ضغط التربة المهمل (rest pressure coeff) ويعطى بالعلاقة:

$$K_0 = 1 - \sin \phi'$$

e : معامل تجريبي.

عندما تكون ϕ' كبيرة و e تكون مساوية الى الثلث، فان معامل الضغط K_e يكون

$$K_e \approx K_p/3$$

وذلك باعتبار أن K_0 صغير جدا مقارنة بـ K_p .

وفي المقابل، إذا كانت ϕ' صغيرة فان $K_e > K_p/3$

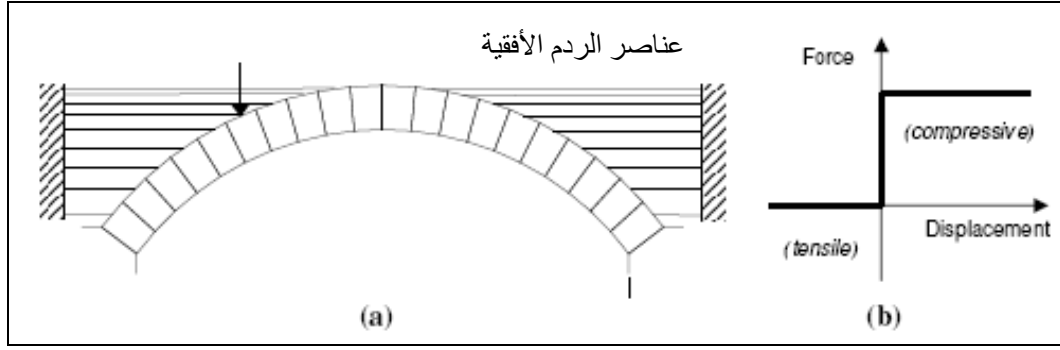
إضافة إلى التوزيع المثلثي "الكلاسيكي" للضغوط المذكورة سابقا، فان برنامج ring يمكن أن يعطي توزيعا منتظما للاستخدام في الحالات الخاصة (النموذج الكلاسيكي هو النموذج الافتراضي في البرنامج).

وتقترح بعض الدراسات الحديثة أن مقاومة التماسك للمواد الغضارية في الردميات يمكن أن تزيد من مقاومة الجسور ذات الفتحات الصغيرة. وعلى أية حال، فانه يتوجب إجراء المزيد من الأبحاث في الوقت الحالي قبل اعتماد فوائد هذه الأبحاث كحقيقة مسلم بها.

* تطبيق البرنامج:

لقد تبين أن الطريقة الفعالة والبسيطة لجمع ضغوط الردميات الأفقية يتمثل بما يسمى عناصر الردم (الشكل 4-26).

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية



الشكل (4-26). (a) قوس مثبتة بعناصر ردم، (b) استجابة عناصر الردم.

إن عناصر الردم تضغط عند قوة ثابتة ($K_p \times \text{معامل} \times \text{الضغط الشاقولي} \times \text{المساحة}$)، لكن هذه العناصر غير قادرة على التمدد، وهذا يضمن أن الضغوط يمكن نقلها بالاتجاه الصحيح ("الضغوط الفعالة" غالباً ما تكون صغيرة نسبياً، لذا فإنها تهمل افتراضياً في برنامج ring).

(د) تثبيت الأحجار:

تستعمل العناصر اللامحورية أفقياً لتبسيط نموذج تأثير التثبيت على الجدران الحجرية. مع ملاحظة أن:

- القوة المطلوبة لضغط عنصر تثبيت تؤخذ افتراضياً كبيرة جداً لكي يكون التثبيت كسلسلة دعائم.

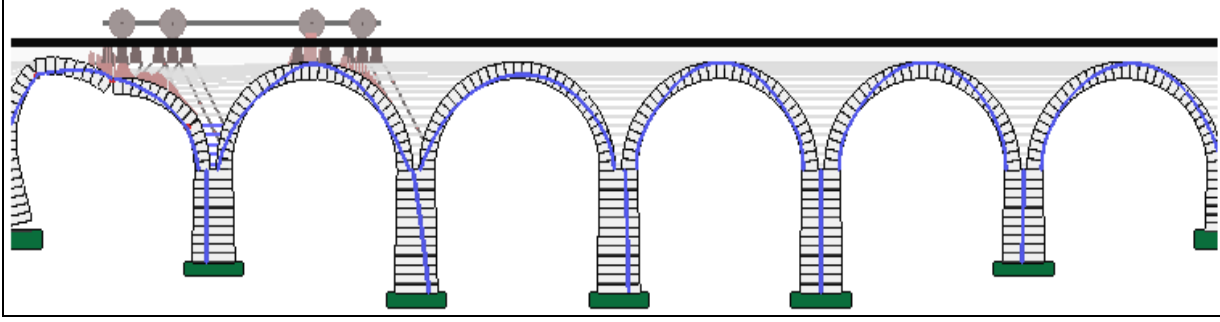
- قيمة القوة لا تتعلق باعتبارات انزلاق القوس مع التثبيت (الجدار بين الأقواس)، كما هو الحال في الردم بين الأقواس.

هذه الفرضية تشير ضمناً إلى أنه لا يمكن أن يحدث الانزلاق النسبي بين القوس والتثبيت. إذا لم تكن هذه هي الحالة المعروفة، فإنه يجب أن يكون التثبيت بأمان في المواقع حيث تكون الزاوية بين الخط المماسي للقوس العلوي والأفق تكون كبيرة نسبياً.

4-2-4-6. تطبيق برنامج ring لحساب الحمولة الحدية لجسر قم غرز:

في مثالنا: جسر متعدد الفتحات، وجدنا بتطبيق حمولة محورية $4 \times 250 \text{KN}$ ، وجدنا معامل حمولة الانهيار يساوي 1.99 يعني ذلك الحمولة المحورية الحدية هي 500KN (50 t). وذلك عند الوضعية الحرجة للحمولة في النقطة الثامنة من بداية القوس الأولى. ويعطي ميكانيزم الانهيار وشكل خطوط الدفع في الشكل الموالي:

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية



الصورة رقم (4-27). تبين شكل الانهيار لجسر قم غرز بدرعا

وقد اعطيت النتائج التفصيلية للجسر المدروس في الملاحق.

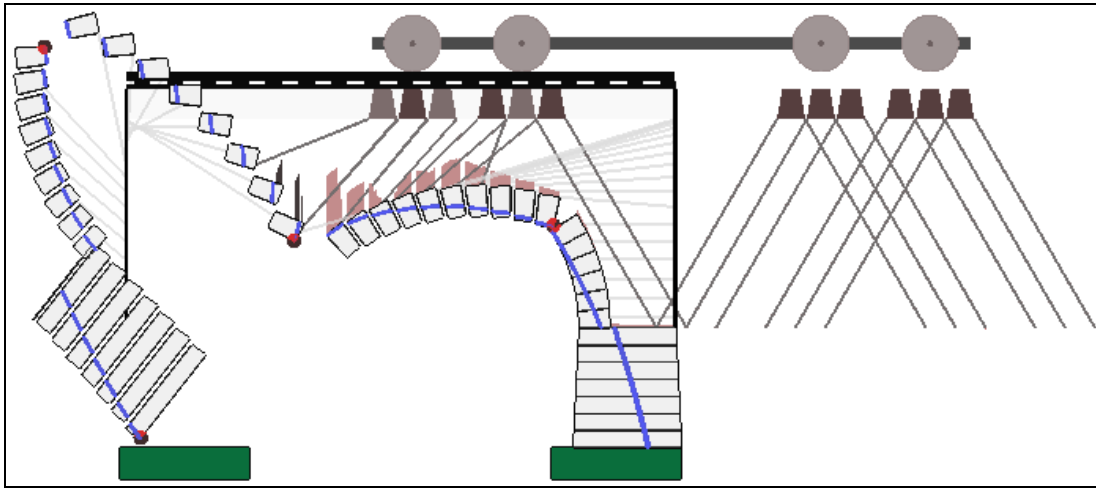
4-4-2-7. تطبيق البرنامج على جسر بفتحة واحدة

بتطبيق نفس الحمولة السابقة وجدنا معامل حمولة الانهيار يساوي 1.99 يعني ذلك الحمولة

المحورية الحديدية هي (50 t) 500KN.

وذلك عند الوضعية الحرجة للحمولة في النقطة رقم 15 أي على بعد 4.50m من بداية القوس الاولى.

ويعطي ميكانيزم الانهيار وشكل خطوط الدفع في الشكل الموالي:



الصورة رقم (4-28). تبين شكل الانهيار لجسر وحيد الفتحة

4-4-3 المقارنة وتحليل النتائج

من خلال التحليل اليدوي والنمذجة الحاسوبية ببرنامج ring2.0 كانت النتائج متقاربة، حيث بافتراض الجسر لا يبدي عيوباً في الجملة الإنشائية فان قدرة تحمله أكبر بكثير من الحمولات الفعلية الحالية بكلا الطريقتين.

وهذا ما يبين إن هذه الجسور صممت بعوامل أمان كبيرة حيث تصل احيانا الى ضعف الحمولات الفعلية. وإن المادة التي بنيت بها لا مقاومات عالية للضغط.

الفصل الرابع: تقييم الحالة الراهنة للجسور الحجرية

اعتماداً على الكشف الميداني على عناصر الجسر و التحريات الحقلية، يمكن إبداء الملاحظات التالية:

- 1- إن ثبات و استقرار الجسر طيلة الفترة الماضية و التي تقارب المائة عام، و دون ظهور مشاكل واضحة و خطيرة في الجملة الإنشائية تهدد استقرار الجسر و تنذر بانتهائه، يعتبر من نقاط القوة التي يمكن الاعتماد عليها إلى حد ما في طريقة التعامل مع الجسر في الفترة اللاحقة من عمره الاستثماري.
 - 2- إن الاعتماد على مادة الحجر في بناء الركائز الطرفية و الوسطية، و على قوة الحجر و مقاومته للعوامل الطبيعية و البيئية، و قلة متطلبات الصيانة، يعتبر أيضاً من نقاط القوة التي ستؤخذ بعين الاعتبار في الفترة اللاحقة من عمر الجسر.
 - 3- إن دراسة و تصميم و تنفيذ الجسر، تم في فترة زمنية كان لها اعتباراتها الخاصة أكاديمياً و عملياً و حتى على صعيد الاستثمار، أما الآن فقد تغيرت الكثير من الاعتبارات و الفرضيات، و الجسر ما زال ضمن الخدمة و لكن في فترة زمنية مختلفة و ذات متطلبات تختلف عن متطلبات فترة الإنشاء.
 - 4- إن التشققات التي ظهرت في الأقواس، سواء كانت في الحجر نفسه أو في المادة الرابطة بين الأحجار، تحتاج لمعالجة فورية لوقف تطورها أولاً و من ثم إعادة التكامل الإنشائي لجسم القوس المتضرر.
 - 5- إن غياب أو تعطل أنظمة التصريف المطرية، يعرض القسم العلوي من الجسر، و من ثم الركائز، لخطر بقاء المياه ضمن عناصر الجسر و هذا ما سبب الكثير من التدهور في حالة هذه العناصر.
- بالرغم من العيوب التي تم اكتشافها، إلا أنه يمكن بعد مجموعة من عمليات الإصلاح و المعالجة و الاحتياطات المدروسة، الوثوق بالجسر للفترة اللاحقة من عمره الاستثماري، و سنورد في الفصل الخامس من هذه الدراسة التفاصيل اللازمة لعمليات الصيانة و الإصلاح التي يمكن أن نستفيد منها لمعالجة هذا الجسر.

بدائل التأهيل للجسور الحجرية

- مقدمة

5-1. مبادئ الإصلاح والتقوية للجسور الحجرية

5-1-1: تعريف:

5-1-2: المواد المستخدمة للإصلاح والترميم

5-2. إعادة بناء الأحجار

5-2-1: إعادة التعبئة - التعبئة:

3-5. التقوية بواسطة الشدادات

5-4. التقوية بالخرسانة المقذوف

5-5. حقن الأحجار وتدعيم الأساسات

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

بدائل التأهيل للجسور الحجرية

مقدمة:

بعد معرفة العيوب كاملة، والبحث عن الأسباب التي مكنت من تطورها، ثم معرفة نتائجها المرتقبة. يجب أن نبدأ باختبار شامل ومفصل للمنشأ.

في حالة التقوية، ينصح بالبحث بنفس الطريقة عن العيوب التي يمكن أن تتواجد بعد الاستقادة من العملية من أجل حماية المنشأ حتى وإن كانت هذه العيوب صغيرة (خفيفة).
- الحالة الميكانيكية للمنشأ.

في حالة إصلاح السطح، من الضروري مراقبة الجملة الإنشائية أنها في حالة مرضية. أما حالة إصلاح المنشأ أو تقويته، فمن الضروري تحديد الحالة الميكانيكية للمنشأ وتسليط الضوء على إمكانية الضعف المرتقب للمنشأ.

- حالة وخواص المواد:

في كل الأحوال يجب معرفة وتحديد حالة وخواص المواد الميكانيكية (تجمد، الضغط،) والكيميائية (تحديدا الكربنة) في الموقع.

- الوسائل:

الأبحاث المشار إليها سابقا، تتطلب أحيانا اختبارات وتدخلات مفصلة تجرى من طرف اختصاصي، كما يجب التراكب بين الاختبارات المخربة على الجزرات، واختبارات غير مخربة في الموقع.

كما يمكن الاكتفاء بالفحص العيني من طرف الخبير في الحالة العادية.

- تعريف وتحديد الأهداف:

يجب في عمليات الإصلاح والتقوية أن تتوافق مع المتطلبات المحددة، بحيث من خلالها يمكن أن تكون الأهداف مفصلة ومحددة.

في حالة الإصلاح، يجب في الوهلة الأولى التركيز على أسباب العيوب، إما بإزالتها، وإما تعطيل الميكانيزمات التي تسمح بتطورها.

أما في الوهلة الثانية، نمرّ إلى تحديد التأثيرات ومن ثم إصلاح العيوب. كما ويجب الانتباه إلى عدم التركيز على تأثير العيوب إذا لم نلاحظ أي مؤشر لتطورها واستمرارها. من جهة أخرى، ليس بالضرورة دوما التركيز على العيوب وتأثيرها إذا كانت قد عولجت أو أزيلت بالكامل.

في حالة التقوية أو الإصلاح للجملة الإنشائية، فمن الضروري دراسة المنشأ من جديد بعد تحديد ضعف المقاومات المرتقبة لكل عنصر من عناصره وفقا لاستخداماته [28].

من أجل أن يكون لدينا تقوية، يجب أن يكون الجزء المضاف تحت التحميل سواء تحت تأثير حمولات الاستثمار فقط، سواء تحت تأثير الحمولة الدائمة (الميتة) وفي هذه الحالة الأخيرة، حالة

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

التحميل يمكن أن تنتج تشوهات خارجية عن الأشغال أو يمكن أن تكون بوضعيات خاصة كوضع كوفراج مؤقت أثناء الأشغال، أو استعمال الرفع الهيدروليكي.

يجب أن يكون الهدف المرجوّ محدّدًا في ما يخص إصلاح القوس في مختلف حالات التحميل بين الجزء القديم والجزء المضاف للمنشأ.

- الدراسة التقنية للإنجاز:

يجب أن تشمل الدراسة، في كل الحالات، تحقيق موافقة ومطابقة الحلول للمشاكل المطروحة. عندما لا يتعلق الأمر بإصلاح الأسطح، يجب أن تكون دراسة سلوك الجملة الإنشائية، والشروط التي من خلالها أخذت القوس، أثناء وبعد الأشغال [32].

يجب أن تكون الحماية والأمان بشكل خاص مدروسة تحت كل الأحوال. كما يجب على هذه الدراسة أن تشمل البحث عن الأثر الثانوي المرتقب، بعد أن تتم الحماية ضده، (مثل: وضع حمل هيدروليكي على جدار استنادي حيث من خلاله نطبق أو نضع تغطية دون وضع تصريف مياه). يجب أن تحدد هذه الدراسة الأداء والفعالية اللازمة وفقا للأهداف المحددة والطرائق المحتملة، ومن ثمّ تحديد الاختبارات والتجارب التي تسمح بمعرفة بلوغ الأداء المطلوب.

كما ويجب أن تركز الدراسة على الشروط العامة والمشاكل المحيطة بالمنشأ، فترات العمل، الوسائل الضرورية للتدخل من أجل تنفيذ الأشغال، وسائل الحماية، المنشآت المؤقتة وشروط استخدام المواد. من أهم الشروط الخاصة بالحماية في الورشات.

- للعمال الفنيين.

- الأجزاء المتبقية من المنشأ.

- منشآت مجاورة أخرى مستخدمة أو غير مستخدمة.

- ممتلكات ومواد وأجهزة ضدّ أي تلف.

5-1- مبادئ إصلاح وتقوية الجسور الحجرية:

يشمل هذا الموضوع أعمال الإصلاح للمنشآت الحجرية مثل الجسور، الجدران الاستنادية والسدود. وينطبق أيضا على المنشآت المطمورة (الأنفاق، شبكة الصرف). ويتعلق بـ:

- إصلاح الأسطح.

- إصلاح وتقوية المنشآت الحجرية.

- الكتامة وتصريف المياه.

5-1-1: تعاريف:

نظرا للحاجة لبعض المصطلحات، نستخدم التعاريف التالية [32]:

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

- أبهة (Appareil): هو مجموعة الأحجار المنحوتة المستخدمة في واجهة المنشأ.
- مخطط (Calepin): رسم يوضح العمل المنفذ على الأحجار المنحوتة، وعليه تبين كل أبعاد الأحجار.
- مخطط الزينة (الواجهة) (Calepin d'appareil): رسم يبين الواجهة وجزء المنشأ المراد بناؤه، وفق سلم محدد.
- مخطط التوضع (Calepin de pose): رسم زيادة على مخطط الواجهة، يبين توضع الأحجار المنحوتة.
- القبض (Harpage): وهو توضع أحجار البناء في نفس الجدار بالتناوب، لكي تسمح بالاستمرارية بين الجزء الجديد والجزء المحفوظ.
- الرّضم (البناء) (Hourdage): وهو البناء باستخدام الأحجار الكبيرة موصولة بالملاط فيما بينها.
- حجر غير منحوت (Moellon): عنصر حجري خام بأبعاد صغيرة، مغطى بالجصين أو بالملاط، والذي يستخدم في الجدران الكتلية للمنشآت.
- التعبئة (Jointoiement): هو ملء فواصل الأحجار المبنية في الأسطح الظاهرة.
- الحجر المنحوت (Pierre de taille)، هو عنصر حجري يمكن أن يصنع جزءا من بناء، ينحت وتحدد أبعاده وفقا لمخطط الواجهة، والحجر المنحوت مهما صغر حجمه يختلف عن الحجر غير المنحوت لأن له مكانه المرتقب وضعه فيه بدقة.
- إعادة التعبئة (Rejointoiement): إصلاح وترميم التعبئة.
- الفسخ (الإزالة) (Rescindement): الهدم الخفيف تبعا للسماكة الجزئية حسب أبعاد محددة.

5-1-2: المواد المستخدمة للإصلاح والترميم

5-1-2-1. مواد مشتركة لجميع التقنيات (الطرائق):

- الحصويات: يجب أن توافق المواصفة (P 18-101) و (P 18-301).
- الاسمنت: يجب أن يكون موافقا للمواصفة (NFP 15-301) و (P 15-307) بالنسبة لإسمنت البناء.
- كلس (جير): (chaux) اصطناعي (XHA).
- كلس (جير): طبيعي (XNA).
- الماء.
- الإضافات.

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

- التسليح.

5-1-2-2: مواد نوعية خاصة: إضافة إلى المواد السابقة تستعمل مواد أخرى خاصة:

* التكهيل (تعبئة الفواصل):

- مونة إسمنتية معدلة أو غير معدلة، تكون غالبا مركزة مسبقا.

- مونة ذات أساس صمغي مركزة مسبقا.

- ماستيك (Mastic): (معجون صمغي).

إن عائلة المواد المستعملة هي الماستيك المكون من رابط مركب اصطناعي ومن الشوارد (الأيونات) المعدنية، يتطلب أو لا يتطلب تعليق (تركيب) أولي، والروابط تنتمي إلى العائلات التالية:

• الأكريليكات (Acryliques):

- مستحلب مائي (Emulsion aqueuse)

- محلول مذيبي عضوي (Solution dans un solvant organique)

- الأيبوكسيدات (Epoxydes)

- البوليستيريات (Polyesters)

- البوليوليفور (متعدد الكبريت) (Polysulfures)

- البوليوريثان (Polyurethanes)

وهي مطابقة للمواصفة NFP 18-800، والروابط تنتمي إلى العائلات الرئيسية الكيميائية التالية:

- راتنج أيبوكسي: وهي أنظمة ذوات مركبين سائلين بدون مذيب تخلط وقت الاستخدام. ويمكن أن تحمل بمواد معدنية يمكن بسرعة بلمرتها، ومعامل مرونتها أن تختار وتحدد حسن احتياجات الورشة.
- راتينجات بوليسترية (Résines): وهي أنظمة مركبة من راتنج محلول في سائل خفيف (diluant) مشع (réactif)، ومن وسيط (catalyseur) يسمح بعد خلطه في الموقع بالحصول على صلابة الخلطة بحيث تكون سرعة التصلب منتظمة وذلك بواسطة إضافة مسرعات.

- راتنج أكريليكي (Résines acryliques): وهي أنظمة تكون:

* إما على شكل هلام (gel)، التركيز بالمسرعات يسمح بتنظيم سرعة التصلب في الموقع.

* إما على شكل مواد تنتمي إلى عائلة البوليستيريات ولكن بمقاومات كيميائية ممتازة.

- الملونات (الأصباغ) (colorants): نحصل على تلوين الملاط من استعمال الرمل الملون أو من إضافة كميات ضئيلة من أكسيدات المعادن (حديد، نحاس ...) من تربة مغرة (حديدية).
تلوين المستيك يجب أن يتم في المصنع.

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

2-5 التحميل وإعادة إنشاء الأحجار . إعادة الإنشاء الجزئية:

يجب أن نزيل كل الأشنات والأعشاب التي تضر بالفواصل، ونقوم بإصلاحها في الوقت المناسب من أجل تجنب انفصال لأحجار الأسطح.

يمكن لهذا الإصلاح السطحي أن يتم بترميم جزئي أو عام لملاط الرّضم. في حالة الأحجار غير الرّضم، التعبئة تصبح ضرورية لأن نفاذية الماء هي في الأصل تجرى أشغال التعبئة وتنفذ كما تنفذ بنفس الطريقة مع إعادة التعبئة.

• اختيار المواد:

يجب أن نحدّد مسبقاً نوع مادة التعبئة أو إعادة التعبئة، وبشكل خاص سلوكه بالنسبة للشروط المناخية.

المواد الأكثر استعمالاً هي الملاط الإسمنتي أو الملاط الكلسي، مطابق للمواصفات NF P15-300، وإما ملاط مختلط.

المواد المستخدمة نتطرق إليها لاحقاً:

- الأحجار الكلسية

- الأحجار الرخامية

- الغرانيت

- آجر (قرميد) من تربة محمية (مصحورة).

- آجر أو بلوك مفرغ من تربة محمية (مصحورة) للدهان.

عندما تظهر بعض البقع غير المرغوب فيها على السطح وغير لائقة المظهر، فيجب إعادة دراسة معمّقة لاستخدام الاسمنت المخلوط بالرمل الناعم أو الغبار المتطاير.

إن اختيار الرابط وتركيزه يتعلق بطبيعته وصنف مقاومته، وبطبيعة المسند وطريقة تنفيذ الملاط. في حالة تنفيذ إعادة التعبئة الميكانيكية بالقذف، تركيز الاسمنت يجب أن يكون محدّداً وفقاً للمواصفة NF P95-102.

التركيب الحبيبي المستخدم عبارة عن رمل منظّف، ذو نوعية عالية ومن مصدر حبيبي (من الأفضل أن يكون المكافئ الرملي أكبر أو يساوي 75) مطابق للمواصفة NF P18-301. تركيز الماء يجب أن يكون مثلما يكون في الملاط، وأن يكون دهنياً وغير سائل. يمكننا استخدام مواد خاصة للمونة.

كما يجب أن يسمح تشكيل الملاط بتأمين الحماية لفواصل المنشأ (حماية ملاط الرّضم، مقاومة الوسط الفعّال، مقاومة للضغوط المعاكسة، التماسك والتلاحم للأحجار، ...)، ومن الناحية الجمالية (اللون، الشكل، ...).

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

* تنفيذ الأشغال:

يجب أن نعرف برنامج أو الجدول الزمني لأشغال إعادة التعبئة، قبل بداية الورشة، كما يجب أن يسمح بتجنب تخريب أجزاء المنشأ التي قد عولجت ولا حتى وضعها تحت أثر الاهتزازات، خاصة عند أعمال التعرية أو الكشط أو إزالة المادة القديمة بواسطة أدوات تؤثر على الفواصل حديثة التعبئة.

أ- أعمال تحضيرية:

يجب أولاً تنظيف الأحجار قبل عملية إعادة التعبئة، كما يجب كشط وتهيئة الفواصل التي تتطلب إعادة تعبئة، ويكون ذلك يدوياً عن طريق أزميل مدبب من الرأس، منقاش حادّ، قرص للحث، وكذا بضخ مياه تحت ضغط معين، كما يجب الانتباه أثناء عملية التهيئة إلى عدم إتلاف عناصر إنشائية أخرى بتلك الأدوات.

إضافة إلى كل هذا، يجب غسل الفواصل من الغبار قبل عملية التعبئة، حتى تبقى أسطح الفواصل نظيفة تماماً وخالية من المواد التي تحول دون التماسك، بحيث في الأخير نسمح بتأمين متانة وتماسك قوي.

ب- أعمال التعبئة:

وتجرى إما يدوياً أو ميكانيكياً.

- التعبئة الميكانيكية: وتكون بالقذف، وتستخدم طبقاً للمواصفة NF P95-102 حول الخرسانة المقذوف، وتستخدم للفواصل ذات الفتحات أكبر من 1 سم.
- التعبئة اليدوية: وهي التقنية الملائمة لترميم الأحجار أو الفواصل المتضررة محلياً والتي لا تزيد فتحاتها عن 1 سم.

من أجل الملاط ذو أساس إسمنتي، يجب تبليل كافة المساحات الواجب ترميمها حسب درجة التركيب الحبي للملاط وحبيبية سطح الأحجار، أما المواد الخاصة فلا بدّ من الرجوع إلى وصفة الصانع.

يجب على الفواصل أن تملأ على كامل العمق المهيأ، كما يجب أن نرطب ونجعل سطح مادة التعبئة ملساء ناعمة وذلك بعد إنهاء التعبئة والتأكد من أن المادة قد غطت كامل الفاصل. بشكل عام، يجب أن تكون الفواصل البارزة (الظاهرة التعبئة) محمية ومحفوظة بالنسبة للعناصر المعرضة للأحوال الجوية، لأنها تلعب دور حاجز للمياه.

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

ج- المعالجة الخاصة والإنهاء:

بعد عملية التعبئة، نقوم بتنظيف كل العناصر المجاورة، ويجب حماية الفواصل من أثر التجفيف بالترطيب (dessiccation par humidification) في حالة تعرض المنشأ إلى رياح أو في حالة الجو الحار، كما يجب أخذ بعض الاحتياطات كحماية السطح ووضع مواد موضعية للمعالجة المناسبة.

5-3: الإصلاح او التقوية بالشدادات والبراغي:

هذه التقنية تخص تثبيت اسياخ معدنية بهدف التخفيف من التشوهات في الجدران الحجرية او فتحات الشقوق. يجب ان تكون القضبان عرضانية موثوقة في الجدران الحجرية او على كامل طولها. تستعمل غالبا شدادات عادية (قوة الشد الاساسية تكون محدودة)، والشدادات الفعالة (الموضوعة في حالة شد مسبق) خاصة بالجدران الحجرية المنتظمة. المواد المستخدمة هي من المواصفة NF P 106-95.

5-3-1: اختيار المواد:

أ) **القضبان:** التسليح العادي المستعمل غالبا هي عبارة عن قضبان معدنية محززة، كما يمكن استعمال عند الضرورة قضبان غير معدنية كالألياف المركبة مثلا. في حالة التسليح الفعال يمكن استعمال قضبان معدنية محززة او وحدات مسبقة اجهاد.

ب) **القنوات:** وهي القنوات التي نمرر من خلالها حديد التسليح ويمكن ان تكون:

- قنوات محفورة في الاحجار.

- قطع معدنية مفرغة مغلفة مطابقة للمواصفات.

- قطع من البوليإيثيلين وتكون حسب المواصفات.

ويجب ان تكون الفتحات الداخلية للقنوات كافية لتمرير القضبان المعدنية.

ت) **التثبيت:** يجب ان تكون مساند القضبان قاسية وتصمم ابعادها حسب المقاومة المحلية للاحجار.

ث) **مواد التثبيت:** يجب ان يختار الاسمنت الداخل في تركيب المونة حسب:

- أثر الوسط المحيط على الرابط.

- أثر الرابط على الشداد.

في حال استعمال تسليح غير معدني، يجب ان يوافق مادة التثبيت طبيعة التسليح.

ج) **البراغي:** ويجب استعمال براغي ذات شد يمكن مراقبته.

ح) **حماية التسليح من التآكل:** التسليح المعدني تكون محمية اما ب تغطية (دهان، راتنج، غلفنة

...) واما بواسطة مونة، او شحوم محقونة في القنوات.

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

5-3-2: تنفيذ الاشغال:

أ) **الحفر:** طريقة الحفر تكون حسب نوع المواد الموجودة. ويجب اخذ الاحتياط من الحفر بواسطة الطرق نظرا للاهتزازات التي يسببها. و إذا كانت الأحجار في حالة سيئة، يمكن استعمال حفارة حلزونية. و إذا كان الحفر في وسط غير متجانس يجب التأكد من استمرارية القناة واستقامتها والاستعانة بالقضبان المفرغة و الحقن في الاماكن المخربة.

ب) **تحضير أسطح المساند:** القطع الجانبية في النهايات يمكن ان تستند ببساطة على الجران الحجرية، ولاغراض جمالية يمكن غرس النهايات في الاحجار مع اخذ الاحتياط من مقاومتها. في حالات الحمولات المركزة الهامة، فمن الضروري انجاز مساند كتلية من الخرسانة تسمح بتوزيع الاجهادات.

ت) **وضع وتثبيت القضبان:** ويكون حسب المواصفات ويخضع لاختبارات مسبقة للشد الموضعي.

ث) **التثبيت blockage:** تثبيت التسليح العادي يكون غالبا عن طريق حلقة محززة حيث فقط لتأمين مسند صحيح للنهايات على الأحجار. كما تكون إجراءات شد والتثبيت للتسليح الفعال محددة في الدراسة وحسب المواصفات.

ج) **الحماية من التآكل:** يجب إن يغطي حقن المادة الخاصة بالحماية كامل حجم الحقن. كما ان إجراءات الحقن و ضغط الحقن تتعلقان بحالة الأحجار.

يمكن عند الضرورة وفي حالة الأجزاء الضعيفة (خاصة في مناطق المساند للشدادات او للبراغي)، تقوية العناصر مسبقا عن طريق الحقن ووفقا للمواصفات المطلوبة.

5-4 طريقة الخرسانة المقذوف:

ظهرت هذه الطريقة في بداية القرن الماضي في ألمانيا والولايات المتحدة الأمريكية. من ثم في فرنسا: تم استخدام تقنية قذف الخرسانة أولاً من أجل إصلاح المنشآت المتلفة خلال الحرب العالمية الأولى ومن أجل تدعيم أنفاق السكك الحديدية. ومن ثم اكتسبت هذه التقنية عدة تطورات حتى وصلنا في يومنا هذا لاستخدامها بكثرة لإصلاح وتدعيم الجسور.

نتائج البحوث والتجارب التي أجريت على طريقة عمل والمظهر الإنشائي للخرسانة المقذوف موضحين في الملف بنهاية هذا الفصل.

5-4-1 تقنيات القذف:

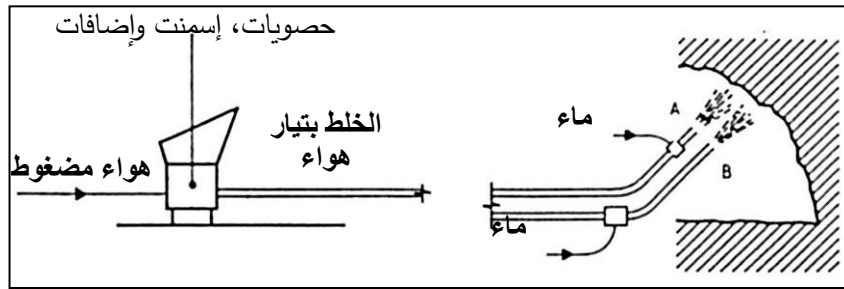
يوجد لدينا تقنيتين أساسيتين لقذف الخرسانة والفرق الرئيسي بينهما يعتمد على الترتيب الزمني للعمليات الأساسية. لدينا فيما يلي أهم المبادئ المتبعة لطرائق القذف المختلفة المستخدمة:

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

1-4-5-1 القذف الناشف (مع أو بدون سبق تبليل):

بهذه الطريقة، ندخل المكونات المخلوطة (عدا الماء) في آلة القذف ومن ثم تدفع ضمن قناة من خلال تيار هواء مضغوط.

في القذف من دون سبق تبليل نُدخل الماء على مستوى بوري القذف - بينما في حال القذف مع سبق تبليل تضاف الماء في المجاري قبل (2) إلى (3m) من القناة وهذا يخفف من إصدار الغبار شكل (1-5).



A: قناة عادية.

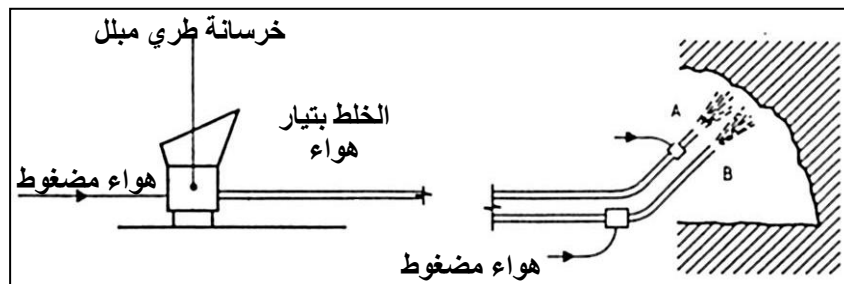
B: قناة مسبقة التبليل.

شكل (1-5): تقنية القذف على الناشف

يمكن أن تتم عملية خلط المواد الأولية بمركز المعايرة على شرط أن تكون ناشفة، ويجب تجنب أي بداية هدرجة للإسمنت قبل إدخال الخليط في آلة القذف. بالفعل بما أن الحبيبات تبقى دوما رطبة قليلا فيكون من الضروري تجهيز الخليط قبل الإدخال بالآلة مباشرة.

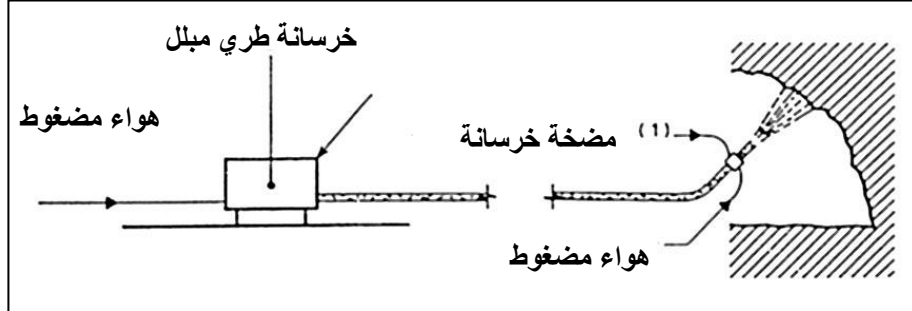
1-4-5-2 القذف المبلل (تيار ممدد أو تيار كثيف):

يتم إدخال جميع مكونات الخرسانة بما فيه الماء ضمن آلة القذف. يتم النقل عن طريق قناة أو عن طريق تيار هواء مضغوط للطريق المبلل بتيار ممدد (شكل 2-5) أو عن طريق الضخ للطريق المبلل بتيار كثيف (شكل 3-5). وفي الحالتين يلزمنا حقن هواء مضغوط بقناة القذف من أجل تسريع القذف. يمكن أن يتم تصنيع الخرسانة في مركز خرسانة بالورشة أو في مركز خرسانة مسبق الصنع.



الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

شكل (5-2) تقنية القذف المبلل بتيار ممدد



شكل (5-3) تقنية القذف المبلل بتيار كثيف

لكل تقنية حسناتها وسيئاتها فيجب علينا اختيار طريقة القذف الملائمة لطبيعة الأعمال المطلوب تنفيذها.

2-4-5 تصنيع الخرسانة:

إن جميع الإضافات المستخدمة في تصنيع الخرسانة المصبوب يمكن أن تستخدم في حال الخرسانة المقذوف. طبيعة هذه الإضافات تتناسب مع طريقة القذف المستخدمة. بالفعل معظم المواد المستخدمة لتصنيع خرسانة خاص مصبوب مستخدمة من أجل الخرسانة المقذوف الخاص - على سبيل المثال:

* الخرسانة المقذوف بإسمنت مذاب أو أسمنت "خفيف".

* الخرسانة المقذوف الخفيف بالحبيبات الخفيفة.

* الخرسانة المقذوف بالألياف (ألياف معدنية أول ألياف زجاجية).

* الخرسانة المقذوف مع إدخال دخان السيليس.

يجب علينا التمييز بين الخرسانة والملاط المقذوف المستخدم لإصلاح المنشآت. القياس الأعظمي (D) للحبيبات المستخدمة يسمح بالتمييز بين الملاط والخرسانة.

في بعض الأحيان يكون قياس الحبيبات (D) أقل أو يساوي (5 mm).

الخرسانة يحتوي على حبيبات يتجاوز قياسها (16mm) بالطريقة الناشفة أو (12mm) بالطريقة المبللة.

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

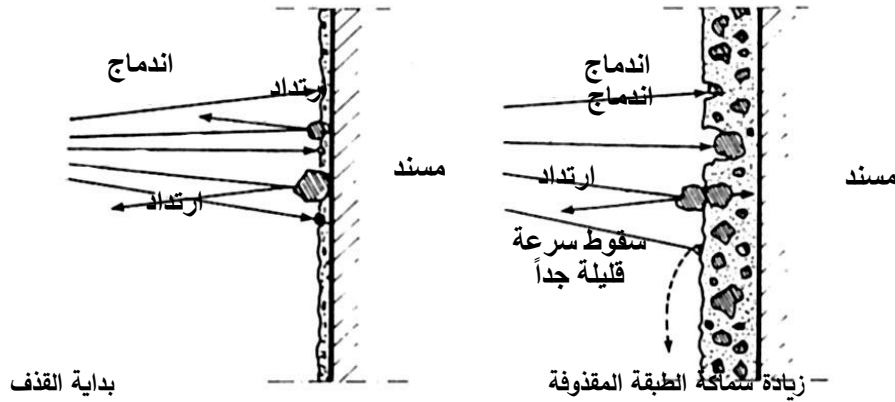
عندما يستخدم الخرسانة المقذوف لإصلاح أو تدعيم الجسور فيكون القياس الأعظمي للحبيبات ما بين (5) إلى (7 cm) من غير اللجوء إلى مسرعات التصلب.

3-4-5 تشغيل الخرسانة المقذوف:

1-3-4-5 حالة الطريقة الناشفة:

تكون طريقة توضع الخرسانة مختلفة حسب الطريقة المستخدمة. على الطريقة الناشفة: العناصر المختلفة تخرج من القناة بسرعة عالية جداً (بحدود 100 m بالثانية). والحبيبات الصغيرة جداً تصل بطاقة عالية جداً وعلى الأساسات وبالتالي تعود. وحبيبات الإسمنت ونقاط الماء تشكل عجينة صافية تلتصق بالأساسات وتستقبل حبيبات الرمل أكبر وأكبر. طبقة الملاط المشكلة تسمح للحبيبات الصغيرة بالدخول - ارتداد الحصى يتناقص والطاقة الحركية الكبيرة للحصى التي تصطدم. الخرسانة يؤمن التصاقه ويؤمن للمادة نتائج ميكانيكية أفضل. (شكل 4-4).

هكذا نحصل بشكل طبيعي على إنحناء بالإسمنت بجوار السطح المستقبل والذي يشارك بشكل أفضل بالالتصاق. من الهام عدم تخفيض ارتداد الحصى الذي يعتبر قسم مُكْمِل للعملية على الطريقة الناشفة وهذا يزيد من جودته. هذه الميكانيكية للالتصاق لا تتطلب أي إدخال لراتنج التغليف.



شكل (4-4) توضع الخرسانة المقذوف بالطريقة الناشفة

بحالة الطريقة الناشفة يكون من الممكن نقل الخرسانة على مسافات كبيرة: أكثر من (500 m) على الأفق وأكثر من (100 m) على الشاقول. الأنابيب تكون أكثر مرونة وسهلة الاستعمال وأسهل للتنظيف. وعملية نقل مادة ناشفة تسمح بتوقف القذف مدة أطول.

بما أن المقامة عالية والالتصاق مع المسند جيد وتشقق الخرسانة المقذوف ضعيف فتكون

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

الطريقة الناشفة هي الأكثر تلائماً مع إصلاح الخرسانة في مجال الجسور والتدعيم الإنشائي للجسور
الخرسانية

5-4-3 حالة الطريقة الرطبة:

بالنسبة للطريقة الرطبة يكون ارتداد الحصى أقل بكثير من الطريقة الناشفة. لأن الحصى عندما تصل إلى الأساس تكون مغلفة بالرابط وهذا يُسهل الالتصاق. إن قذف المادة الرطبة يسمح بتجنب تصنيع غبار والذي يعتبر عائق. بالطريقة الناشفة بتيار كثيف تكون سرعة خروج الخرسانة عند القناة نسبياً ضعيفة (بحدود المتر بالثانية) وبالتالي تكون المواصفات الميكانيكية للمادة منخفضة بالمقارنة مع الطريقة الناشفة. الطريقة المبللة تستخدم غالباً في مجال الأنفاق والقذف في الموقع وإصلاح المباني.

5-4-4 الإصلاحات السطحية:

من أجل إعادة إنشاء مقاطع دقيقة خرسانية يكون من الضروري استخدام كوفراج ولكن هذا الكوفراج يشكل عقبة ويعيق عملية القذف ويمكن أن يؤدي إلى تكوين مناطق غير ملتصقة ومتماسكة بسبب الارتدادات في الزوايا. بالتالي يكون من المفضل اللجوء إلى تغليف التسليح ومن ثم وضع الكوفراج فقط من أجل قذف الطبقة النهائية. هذه العمليات المختلفة تتطلب مهارة كبيرة للقناة ولحامل القناة من أجل تعبئة المناطق صعبة الوصول بقذف الماء. كما في حال الإصلاحات الإنشائية تكون الإضافات غير ضرورية حيث الصفات الأصلية للخرسانة المقذوف بالطريقة الناشفة تكون كافية.

5-4-5 الإصلاحات الإنشائية (إضافة تسليح):

كما ورد في الكودات، عندما يكون لدينا إصلاح أو تدعيم إنشائي فيجب على الدراسة أن تحتوي على دراسة عمل المنشأة والشروط التي سيتم تحتها إضافة الإجهادات وذلك يدون أي حمولة أي بظروف الورشة أو الاستثمار وذلك خلال مدة الأعمال وما بعد انتهاء الأعمال يجب أن يتم الأمان تحت كل أشكاله (شخصي وإنشائي).

في حال التدعيم يجب أن نحدد شروط تحميل العنصر المدعم وذلك إما تحت تأثير حمولات الاستثمار وحدها و تحت تأثير الحمولات الدائمة. إذا أخذنا على سبيل المثال حالة عمود متدهور ويطلب تدعيمه فيكون من المجدي إدخال الخرسانة المقذوف لإعادة أخذ الحمولات الدائمة وذلك يتم عن طريق تدعيم العمود عن طريق رافعة و من ثم نوضع حديد التدعيم ونقذف الخرسانة ومن ثم تفك القوالب.

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

التسليح يُشكل عائقاً بالنسبة لعملية القذف وفي حال كان المشروع يتطلب وضع عدة طبقات تسليح فيجب تجنب وضع كل شبكات التسليح قبل القذف ووضع كل تسليح فقط بعد تغطية الطبقة السابقة. وأيضاً يجب عدم تجميع القضبان بالرزومات ويجب ترك فراغ كافٍ بين كل تسليح والآخر (على الأقل (3) إلى (4cm)) وإلاً تحصل ظاهرة الخيال خلف التسليح حيث يُظهر الخرسانة عدة فراغات وتكون ضارة لالتصاق الحديد. يجب علينا تثبيت التسليح بعدد كافٍ من النقاط (4 نقاط كل m^2 من الحديد الملحوم) وذلك لتجنب عدم التصاق التسليح تحت تأثير الارتجاج من عملية قذف الخرسانة.

5-4-6 طريقة عمل الخرسانة المقذوف ومظهره الإنشائي:

تم إجراء بحوث في مخبر الطرق والجسور بباريس حيث تم إجراء تجارب على عناصر إنشائية تحتوي على تسليح إضافي متداخل في الخرسانة المقذوف.

كانت التجارب تجري أولاً على التصاق الخرسانة المقذوف مع المنشأ ومن ثم على التصاق التسليح مع الخرسانة المقذوف ومن ثم على المقاومة على الانحناء (الانعطاف) وإجهاد قص للجوائز المدعمة بخرسانة مسلح مقذوف.

5-4-6-1 التصاق الخرسانة المقذوف مع المنشأ:

في مرحلة أولى تم دراسة هذه التجربة الكلاسيكية بطريقة الشد المباشر بالمخبر - والتجربة عبارة عن أخذ عينة محلية من الخرسانة المقذوف مع خرسانة ومن ثم أخذ العينة إلى المخبر ونشر الواجهات ولصق إحدى أطراف العينة على صفيحة معدنية ومن ثم لصق قرص معدني على الطرف الآخر للعينة وأخيراً إجراء تجربة شد مباشر باستخدام جهاز مختص بقياس بالالتصاق على الخرسانة.

تم التحقق أنه عندما تكون القوانين النسبية لتنفيذ الخرسانة المقذوف محققة فيكون مستوى الربط بين الخرسانة المقذوف وخرسانة المنشأ لا يشكل دوماً مستوى ضعيف. في معظم الحالات يحصل الانقطاع إما في خرسانة المنشأ أو في الخرسانة المقذوف. النتائج تعطينا مقاومة على الشد ما بين (2) و (2,2Mpa) عندما يحصل الانقطاع في الخرسانة المقذوف وعلى الأقل (2,5Mpa) عندما يحصل الانقطاع في خرسانة المنشأ.

هذه التجربة تسمح بتحديد شروط قبول إجراء عملية إصلاح بالخرسانة المقذوف من حيث التصاقه مع المنشأ الأساسي.

ويعتبر هذا الالتصاق جيد عندما يحصل الانقطاع:

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

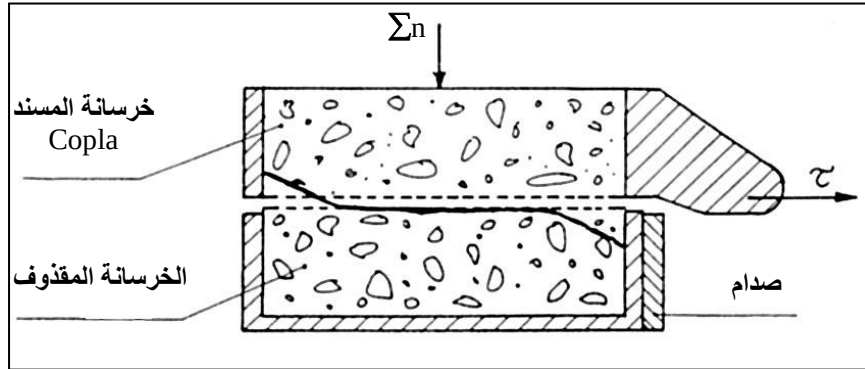
* في المنشأ إذا كانت المقاومة على الشد للحجر أقل منها في الخرسانة المقذوف.

* في الخرسانة المقذوف إذا كانت إجهادات الشد حين الانقطاع أكبر من إجهادات الشد (R_t) الناتجة من التجارب على نفس الخرسانة.

في جميع الحالات يجب أن يكون على الأقل إجهاد الشد هذا يساوي أصغر القيمتين التاليتين:
(2 MPa) أو ($0.75 R_t$).

في مرحلة ثانية تم دراسة الالتصاق عن طريق تجربة قص. تجارب القص أجريت على جهاز القص من نوع "علبة Casagrande" التابعة لمختبر Lyon.

ومبدأ التجربة يعتمد على صنع العينة ذو شكل متوازي السطوح حيث النصف السفلي والنصف العلوي مصنوعين على التوالي من خرسانة مقذوف ومن خرسانة المسند ومن ثم نصنع هذه العينة ضمن علبة القص حيث القسم السفلي منها ثابت والقسم العلوي معرض لإجهاد قص أفقي وإجهاد ناظمي يعاكس رفع العلبة (شكل 4-6).



شكل (4-6) شكل علبة القص وصورة توضيحية لسطح الانقطاع

تفسير نتائج هذه التجربة يعتمد على معايير Coulomb والذي يتضح بالعلاقة:

$$\tau_{\max} = C_m + \sigma_N \tan \phi_m$$

حيث:

$\tau_{\max}$: إجهاد قص وسطي يحصل حين الانقطاع.

C_m : التماسك عند الانقطاع.

σ_N : الإجهاد الوسطي للضغط المطبق على مستوى الانقطاع.

ϕ_m : زاوية الاحتكاك الداخلي.

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

الجدول (1-4) يلخص أهم النتائج الحاصلة نتيجة (20) عينة مخبرية.

جدول (1-4) نتائج تجارب القص على السطح

زاوية الاحتكاك $\phi_r (^\circ)$	التماسك المتبقي (Mpa) Cr	$\tan \phi_m$	زاوية الاحتكاك $\phi_m (^\circ)$	"التماسك" عند القيمة $C_m(\text{Mpa})$	
43,2	0	2,25	66	3,75	BP/ BS رملي من المجموعة الأولى
43,2	0	1,23	51	2,60	BP/ BS رملي من المجموعة الثانية
43,8	0	1,43	55	3,10	BP/ BS مسنن
44,5	0	1,60	58	2,80	إعادة أخذ خرسانة BS
47	0	2,25	66	3,04	BS مونوليت

حيث:

BP: خرسانة مقذوف.

BS: خرسانة المنشأ.

تحليل هذا الجدول يعطينا ما يلي:

* السلوكية الممتازة لسطح الخرسانة بين المنشأ والخرسانة المقذوف.

* التأثير الضعيف على نتائج المعالجة المختارة من أجل هذا السطح (رملي أو مسند).

* القيمة المهمة للتماسك القريبة للمقاومة على الشد المباشر للمواد.

* معدل احتكاك بحدود (1) ($\tan \phi_r \neq 1$) بعد الانقطاع وقص الخشونات (ϕ_r عبارة عن زاوية الاحتكاك المتبقي).

*** انكسار مسبق بانفصال الخرسانة المقذوف عند الأطراف.

تلك التجارب وضحت نقطة الضعف الناتجة عن مستوى الاحتكاك أو سطح التماس بين الخرسانة المقذوف وخرسانة المنشأ وتم إجراء مجموعة جديدة من التجارب مع اختبارات مشابهة لما سبق ومجربين حسب النموذج الأول. التغيير الوحيد الذي أجري خلال هذه السلسلة الجديدة من التجارب هو إضافة حساسات تتأكد من "الدرز" الجيد بين الخرسانتين.

جميع الانقطاعات حصلت نتيجة انهيار مقاومة الانعطاف للمقطع الرئيسي مع انفصال على المستوى الرابط بين الخرسانة المقذوف والمنشأ عند كل طرف من أطراف الجائز.

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

جميع الانقطاعات حصلت بخلق شق من عزم القص يميل بزاوية (45°) في المنطقة الموجودة بين الركيزة والحمولة ومن غير ملاحظة أي انفصال بين الخرسانة المقذوف والمنشأ.

الخلاصة:

- نتائج الأبحاث التي أجريت تبين أنه يمكن "إعطاء أبعاد" للتدعيم بفرض سلوكية المنشأ المدعم مستقرة. يكون من الهام التأكد من تثبيت جيد للتسليح الإضافي.
- المستويات الموجودة بين المنشأ والخرسانة المقذوف والعكس، عبارة عن مستويات ضعيفة وبالتالي يكون من الضروري تواجد حديد درز.
- إنه من الضروري عند حساب سلوكية المنشأ المدعمة أخذ بعين الاعتبار القوى التي تحصل حين تنفيذ الأعمال. التسليح والخرسانة المضافين لا يشاركا إلا في القوى المطبقة بعد تصلب الخرسانة. ويكون من المفيد قدر الإمكان التخفيف عن المنشأ بإجراء أساور فعالة على شرط أن نتحكم بشكل كامل بالقوى الناتجة عن هذه الأساور.
- ويمكن أيضاً أن نجعل الخرسانة المسلح المقذوف يشارك في أخذ قسم من التشوهات الناتجة عن الحمولات الدائمة.
- يجب الانتباه إلى أهمية وجودة الشركة المنفذة لتحديد نجاح أو فشل التدعيم عن طريق خرسانة مسلح مقذوف.

5-5- تدعيم الأساسات بالحقن.

5-5-1 استقرار الأساسات:

يجب أن يسبق تصميم أعمال التدعيم للأساسات، تقريراً عن حالتها. ومن أجل ذلك، فمن الضروري معرفة بعض المعلومات:

- 1- طبيعة الأساس، تصميمه، طريقة تنفيذه، أبعاده، وضعه الراهن والحمولات المطبقة عليه.
- 2- طبيعة تربة الأساس، أبعادها، خواصها الفيزيائية، الكيميائية، الهيدروليكية والميكانيكية الحالية، وكل ضرر ملاحظ إليه.
- 3- طبيعة وأبعاد نظام حماية الأساس، ووضعه الراهن.
- 4- نمط المحيط والبيئة حول الأساس، سلوكه الدوري، وتطوره المفاجئ المرتقب.

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

مجموع المعلومات خارج مراجعة الإضبارة الأرشيفية توجب دراسة مفصلة للأساس، بداية باختبار خارجي ثم فحوصات داخلية عن طريق أخذ جزرات أو اختبارات فيزيائية، كيميائية، هيدروليكية وميكانيكية، يتم إجراؤها بدقة من أجل تحديد الوضع الراهن، مع ذلك، فإن أي تحقيق يتوجب أن يكون مسبقاً بمراقبة الأساس، بحيث نسمح بشكل أحسن، بمتابعة تطور سلوكه بالرجوع إلى الحالة الحدية التي قد حددناها. بعد ذلك يمكن أن نتطرق إلى تحليل المشكلة بواسطة:

1- تحديد الأسباب المحتملة للعيوب، لطبيعتها ولأهميتها.

2- تقدير الثبات الراهن وتطور سلوك الركيزة، وأيضاً تبريره وفقاً لخواص التربة، العيوب والقوى المطبقة على مستوى الأساس.

أخيراً، عندما يتم توقيف تصميم أعمال التدعيم، من الضروري تحديد الأهداف الواجب التوصل إليها عن طريق الحقن داخل الإطار العام لتقوية الأساس.

5-2-5 الحقن - نبذة تاريخية: يمكن تعريف الحقن بأنه تقنية تعبئة للثقوب والفراغات بين الحصويات في أي وسط، سواء كان مائي أو غير ذلك، بواسطة مادة مائعة تتصلب مباشرة بعد وضعها.

بدأت هذه التقنية منذ 1802، عن طريق المهندس الفرنسي شارل بيريني (Charles Berigny) لكنها تطورت بشكل كبير في منتصف العشرين. وبشكل مواز، عرفت هذه التقنية تطبيقات خاصة جداً. ولكن لم تتطور هذه التقنية إلا بتطور مواد ومعدات الحقن.

5-3-5 تطبيقات الحقن في تدعيم الأساسات:

من بين الأهداف التي يمكن أن يحققها الحقن، نذكر:

1- التثبيت الفوري والضروري قبل أي عمل مسبب لعدم الثبات (حفر، ضخ، طرق الألواح المعدنية الواقية... إلخ). في هذه المرحلة يتكون تماس مستمر بين الأساس وتربة التأسيس، من جهة، ومن جهة أخرى، تحسين رص التربة الرخوة.

2- تقوية أو تدعيم تربة التأسيس من أجل تحسين خواصها الميكانيكية والهيدروليكية بغية تحسين تحملها، أو تحويلها إلى تربة أقل تأثراً بالاحت والانجراف والتغير.... (صخور مكسرة، تربة معدلة....)

3- تدعيم أو تجديد قطع الأحجار المنفصلة أو المقتلعة، وتدعيم الخرسانة المكون من الكلس الرطب.

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

4- تعبئة أو ملء الثقوب والحفر الطبيعية أو الاصطناعية والتي تكون عميقة في تربة التأسيس، من أجل تجاوز خطر تطورها بالانقطاع المتتالي، كما هو الحال بالنسبة للمواقع الكلسية.

5- التثبيت مثل البراغي و الهدف من ذلك هو تأمين الاستمرارية بين مختلف أجزاء القطعة المدعمة والأساس القديم، ومن جهة أخرى، لإكمال التدعيم للتربة بصفة نهائية.

6- تثبيت الأوتاد الصغيرة في التربة، الصخور أو الخرسانة من أجل تدعيم مناطق الشد أو تحسين تماس وتد مع تربة التأسيس والمنشأ.

5-5-4 تصميم الحقن وفقاً لأهداف التدعيم:

يشمل الحقن في معظم الأحيان الأساسات ذات الأبعاد الأقل من 20م، وأحجام تربة بين 500-2000 م³. تصميم حقن يعني اختيار:

- مواد الحقن.

- معدات الحفر.

- تجهيزات ثقب الحقن.

- مراحل الحقن.

- فرضيات توقيف الحقن.

وذلك تبعاً للمواقع والأهداف المرجوة.

5-5-5 التثبيت الفوري (المباشر)

هي المرحلة الحرجة، وهي ضرورية لمتابعة سلوك الأساس والقسم العلوي. في البداية، من الضروري تشكيل حاجز ليحد من ضياعان المواد المحقونة وللتخفيف من جريان المياه. هذا الحاجز يجب أن يتوافق مع المحيط المباشر للأساس.

أيضاً من أجل أساس مكشوف يمكن وضع كوفراج بسيط، ومن أجل التغطية الحجرية التي لا يمكن إزاحتها يجب تغطيتها على كامل المحيط بالحقن. ثم يمكن إجراء عملية التثبيت.

توضع ثقوب الحقن من الأفضل على مستوى الأساس بعد ان يتم تحديد أطوالها ما بين (3-5م). ثم تجهز بأنابيب (أقنية) صغيرة تدخل مكان الحفر مزودة بسدادة بسيطة في الجهة العلوي من أجل السماح لمواد الحقن بالحركة الحرة.

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

أثناء تنفيذ الحفر، نتجنب استعمال طين الحفر التي تؤدي إلى عرقلة نجاح الحقن، ونفضل مونة الحفر ذات أساس إسمنتي.

تتمثل مواد الحقن في ملاط مقسى، من أجل تحديد نصف قطر التأثير، ثم مونة إسمنتية من أجل التثبيت في حالة الحت (الانجراف) المحلي وسهولة الوصول إليه، يمكن المعالجة بالحقن في أغلفة بلاستيكية التي تنتشر في المنطقة المراد معالجتها.

يتمثل معيار توقيف الحقن في الضغط، لكن حجم المراحل المتتالية يتجدد بهدف تخفيض نصف قطر التأثير للملاط وتنفيذ تعبئة منتظمة.

5-5-6 تدعيم تربة التأسيس:

بالنسبة لمرحلة التدعيم؛ يجب البحث من أجل تعديل الشروط الابتدائية تحت الأساس تدريجياً وبانتظام، دون إحداث حالة إجهادات محلية متعارضة مع الثبات المؤقت.

كما هو الحال بالنسبة للتثبيت الفوري، يجب تنفيذ الحواجز والتغطية لأول مرحلة، هدفها سوف يكون هاماً، لأنه يجب أن يحدد الضياعان الناتجة عن الحقن ويسمح بحقن جيد وصحيح لتربة التأسيس وفق معايير الكميات والضغط الناتجة.

تصميم هذه الحواجز (كوفراج صغير) مرتبط بتصميم مجمل أعمال التدعيم. كما يمكن إضافة أيضاً:

- سياج مستمر من الألواح المعدنية.
- شاشة بواسطة حقن التربة في الموقع. نحصل على تباعد ضعيف للحفر ونصف قطر تأثير صغير لمواد الحقن. معايير الحقن هي أولاً كميات محددة مسبقاً بالنسبة للحفر الأولية، ثم ضغوط أعظمية بالنسبة للحفر الثانوية.
- التدعيم بالحقن للحمايات الموجودة كما هو الحال بالنسبة لرؤوس الأوتاد الخشبية في هذه الحالة الخاصة، من الضروري وضع صف مضاعف من الحقن، مع إضافة ملاط إلى الخارج ومونة إسمنتية إلى الداخل.

بالنسبة لحقن تربة التأسيس، يجب البحث عن توزيع متجانس للحفر من جهة، ومن جهة أخرى، الحقن بأجزاء أفقية مع أفضلية مناطق الفراغات المحتملة، ثم الترب الرخوة جداً. هذا الأخير هام جداً لأنه يؤدي إلى إنجاز تثبيت واستناد لتربة التأسيس إلى الأساس وتجنب الحقن العميق في ترب غير متجانسة ورخوة، تبدي انفصالات وتسمح بعدم انتظام للطبقات العلوية وتؤدي إلى هبوط تفاضلي للأساس، هذه الطريقة ضرورية عندما تحتوي الأساسات على أوتاد تكون فيها الرؤوس لا تستند إلى

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

صخور. في هذه الحالة تسعى المونة إلى السير مسار على طول جسد الوتد، حيث يمنع الاحتكاك الجانبي مؤقتاً ويؤدي إلى اختراقات تفاضلية.

هذا الإجراء لوحظ على أوتاد خشبية التي مغلفة بغمود مستمرة من الملاط بسماعة من 1-3 سم. من المهم ذكر بأن في حالة أوتاد مشوهة، فإن الملاط يغطي تماماً الخشب الفاسد بسيلانه بين التربة والخشب المقاوم.

هذه الملاحظة تبرز فائدتين أساسيتين:

- عن طريق مظهرها السلبي، وذلك لأنها تنتج تخفيضاً مؤقتاً للاحتكاك الجانبي والاختراقات التفاضلية للأوتاد.

- عن طريق مظهرها الإيجابي، حيث تسمح بتحديد التدعيم للأوتاد الخشبية بالحقن، لكن شريطة أن يكون القسم العلوي للجسر مؤمن، بحيث لا يمكن للتأثيرات العابرة للحقن أن تعرض ثبات المنشأ للخطر.

من بين مواد الحقن، يمكن استعمال المونة الإسمنتية- البانتونيتية (benthonique)، والتي تمنع التدعيم بالإشباع للحصى والبحص، ويحرص حصر التربة الرملية مع انفصالات موضعية. إذا كانت النتائج المحصل عليها غير كافية، يمكن إجراء حقن تكميلي بهلام قاسي من السيليس بإشباع فراغات ما بين الحصىات.

نقطة هامة تخص حفر وتجهيز ثقب الحقن. بالأخذ بعين الاعتبار عدم تجانس المواد، نوصي بالحفر بـ Roto percussion مع وضع الأنابيب في نفس الوقت في الماء أو مادة حفر أخرى، عند تجهيز الثقب يمكن استخدام أنابيب ذو مقبض بلاستيكي (الشكل 2) الذي يسمح عن طريق المبدأ بإجراء حقن على مستويات متفاوتة وعلى مراحل متتالية ولتحديد تدفق الملاط الطري.

5-5-7 إعادة تجديد الخرسانة الكلسي والمنشآت الحجرية:

هذا التجديد ضروري من أجل الحصول على قاعدة أساس مستمر وبسماعة كافية من أجل توزيع الاجهادات على تربة التأسيس بشكل لائق.

في حالة الاساسات الحجرية، فإن العلاج الفعال يكون بحقن ملاط إسمنتي أكثر سيولة بنسبة إسمنت- ماء (0.3) وبينتونيت- إسمنت (0.1).

أما في حالة خرسانة الكلس، وفقاً للخواص النهائية المتوصل إليها والنفاذية، يجب إجراء حقن ملاط إسمنت- بينتونيت غالباً يكون مكماً وحقن هلام قاسي من السيليس.

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

5-5-8 فعالية وديمومة الحقن:

فعالية الحقن متعلقة بالطريقة المطبقة في التنفيذ ونوعية مواد الحقن، هذه التقنية للتدعيم يمكن أن تكون أكثر فعالية منها عندما يكون حجم المواد المعالجة غير محدد تماماً، وبالأخذ بعين الاعتبار الشروط الهيدروليكية والكيميائية للوسط، حيث يمكن أن تؤثر بقوة على الثبات المباشر وتصلب مواد الحقن. عندما نتكلم عن الديمومة، يجب اختيار ديمومة مواد الحقن، وديمومة العلاج.

ديمومة الملاط أو المونة الاسمنتية، يمكن مقارنتها مع تلك الخاصة بمعظم الأساسات الخاصة القائمة بالنسبة لهلام السيليس، ديمومتها متعلقة بتركيبها الأصلي، وبأبعاد الفراغات المحقونة، وبتجانس المواد ونوعية الحقن.

بينما فبالنسبة لديمومة العاج، فهي أكثر تعقيداً. في الواقع، إن هدف الحقن الأساسي هو أن يكون موجهاً لتكوين خواص ميكانيكية ضرورية لثبات الأساسات، لهذا لا يمكن القضاء الكلي على أسباب العيوب.

غير أن، إذا طلبنا من الحقن تأمين حماية فعالة ودائمة للأساس وللترب التحتية، فلا بد من التغليف الكلي أن يخضع إلى معايير صارمة وفي هذه الحالة، من المناسب مقارنة كلفة وشروط التنفيذ لحقن ما مع تقنيات أخرى أكثر تحقيقاً مثل السياج من الألواح المعدنية، جدران حماية، أوتاد قاطعة، الخ....

الخلاصة:

يكون الحقن مقبول تماماً في عمليات التدعيم للأساسات المتضررة، مع ذلك، وكأي تقنية يمكن أن تكون هذه التقنية سبباً للتأثيرات المخلخة المؤقتة والدائمة.

من بين التأثيرات المؤقتة، يمكن ذكر:

- الثقوب، حيث تكمن الأهمية في إمكانية تضعيف الأساس، تنفيذها بدون احتياطات في مواقع حساسة يمكنها إحداث ضغوطاً، الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض قدرة التحمل.
- الحقن، في أنابيب بتيارات حقن جد كبيرة وضغوط مرتفعة جداً حيث ننفذها نظامياً من الأسفل إلى الأعلى، يمكنها جعل تربة التأسيس غير منتظمة، أو هبوط جزء من الأساس أو تخفيض قدرة تحمل الأوتاد.

نظراً لذلك، إذا كان الحقن مضعفاً محلياً لتربة التأسيس، متمثلاً في سقوط ضغط بتيار حقن ثابت، يجب أن يتوقف فوراً وإعادة تده لاحقاً بتعديل إما نوع الملاط، أو معايير ودرجة الحقن.

الفصل الخامس: بدائل التأهيل للجسور الحجرية

مع ذلك بالنسبة لبعض أنواع الأساسات، تنفيذ الحقن يؤدي إلى تأثيرات مخرلة نهائياً أيضاً بالنسبة لحالة أساس على أوتاد خشبية، الثقوب تنقص محلياً مقاومة العناصر الخشبية وتضعف الأساس.

لا يمكن أن نهمل عنصر أخيراً بالنسبة للحقن، إنه ضغط الماء داخل التربة، لا يمكن جريان الحقن بصورة منتظمة إلا إذا تخلل الماء بانتظام. كما يجب تنفيذ ثقوب بالعدد الكافي وإجرائية جيدة ووظيفة ممتازة يمكن أن تراقب وتعائن في الموقع مباشرة.

الخاتمة العامة

تُعد الجسور المقوسة الحجرية من أبرز الإرث الحضاري والهندسي الذي يجسد براعة الأجداد في فنون العمارة والإنشاءات، وقد شهدت هذه المنشآت تطوراً كبيراً عبر العصور لتتحدى عوامل الزمن وتظل شاهداً على التقدم الهندسي. وقد هدفت هذه الرسالة إلى تسليط الضوء على سلوك الجسور المقوسة الحجرية، وتقييم حالتها الإنشائية بعد إعادة التأهيل تحت تأثير الأحمال الحقيقية، مع تطبيق عملي على جسور السكك الحديدية الحجازية في سوريا.

ومن خلال ما تم تناوله في فصول هذه الدراسة، ميدانياً ومخبرياً وتحليلياً، يمكن تلخيص أهم النتائج والاستنتاجات التي توصلت إليها الرسالة فيما يلي:

خصائص المواد والعوامل المؤثرة: أثبتت الدراسة أن الأحجار الطبيعية المستخدمة في بناء هذه الجسور تتمتع بخصائص فيزيائية وميكانيكية عالية تجعلها قادرة على مقاومة العوامل البيئية والزمن، في حين أن نقاط الضعف الحقيقية تكمن في مواد الربط (الملاط) والفواصل. وقد تبين أن معظم التدهورات والعيوب (وفقاً لتصنيفي BIRM و SETRA) ناتجة عن تسرب المياه، العوامل الكيميائية والبيولوجية، والنشاط النباتي، مما يؤدي إلى تفتت الملاط وانفجار الأحجار أحياناً.

السلوك الإنشائي وقدرة التحمل: بينت نتائج التحليل الإنشائي (سواء بالطرق التجريبية أو باستخدام برنامج Ring 2.0) أن النظام المقوس يمتاز بكفاءة عالية في تحويل الأحمال إلى إجهادات ضغط بحتة، مما يحد من ظهور شقوق الشد. وقد أثبتت الفحوصات المخبرية والتجارب على عينات من الجسور قيد الدراسة أن هذه الجسور لا تزال تحتفظ بقدرة تحمل فائقة، تفوق في كثير من الأحيان الأحمال التشغيلية الحالية، وذلك بفضل معاملات الأمان العالية التي اعتمدها المهندسون القدامى في تصميمها.

تقييم الحالة وإعادة التأهيل: أظهر التقييم الميداني أن العيوب الظاهرة على الجسور هي في غالبيتها عيوب سطحية أو متوسطة لا تمس السلامة الإنشائية الكلية للجسر، مما يسهل عملية معالجتها. وقد خلصت الدراسة إلى أهمية اتباع منهجيات علمية دقيقة في أعمال الترميم، مثل إعادة ترميم الفواصل، وحقن الملاط الإسمنتي (Grouting) لتدعيم الكتلة الحجرية، وتدعيم الأساسات، مع ضرورة مراعاة التوافق بين المواد الحديثة المستخدمة في التدعيم والمواد الأثرية الأصلية.

أهمية المراقبة والصيانة: أكدت الرسالة أن متانة الجسور الحجرية لا تعفيها من الحاجة إلى المراقبة المستمرة؛ فالتدخلات البشرية الخاطئة، وإهمال شبكات تصريف المياه، وعدم الصيانة الدورية، هي الأسباب الرئيسية لتسارع تدهور هذه المنشآت.

الخاتمة العامة

وفي الختام، توصي هذه الرسالة بعدة توجيهات للمستقبل:

تبرز الحاجة الملحة لإعداد "دليل عربي/سوري خاص" لتقييم وتصنيف عيوب الجسور الحجرية، يتناسب مع طبيعة المواد والبيئة المحلية في سوريا. كما تؤكد على ضرورة تشكيل فرق متخصصة من المهندسين لإجراء الفحوصات الدورية باستخدام التقنيات الحديثة، وتبني ثقافة "الصيانة الوقائية" قبل الوصول إلى مرحلة "الترميم العلاجي".

إن الحفاظ على الجسور الحجرية القديمة، وإعادتها إلى الخدمة بأمان، ليس مجرد تحدٍ هندسي فحسب، بل هو واجب وطني وتاريخي للحفاظ على الذاكرة المعمارية للأمة، وإدامة لهذه المنشآت لتواصل أداء وظيفتها بأعلى درجات الموثوقية والأمان.

النتائج والتوصيات

النتائج:

1. المقاومة الكبيرة للأحجار الطبيعية للعوامل الجوية تمنحها ميزة الحفاظ على الشكل الهندسي التصميمي.
2. إن الشكل الهندسي للجسور القوسية يسمح لها بنقل إجهادات الضغط بشكل أمين إلى الركائز الكتلية التي تبدي مقاومات كبيرة للضغط.
3. تبدي الجسور الحجرية تشققات عند فواصل الأحجار قبل مرحلة الانهيار مما ينذر بالإسراع في اتخاذ قرار إعادة التأهيل.
4. إن معظم العيوب الملاحظة على الجسور الحجرية والتي لازالت ضمن عمرها التصميمي بصفة عامة تتعلق بظاهرة الحت وهبوط الركائز أو الفيضانات الهائلة.
5. معظم الجسور القوسية التي تم تقييمها من قبل الكثير من الباحثين أبدت قدرات تحمل هائلة تصل أحيانا إلى أربعة أضعاف الحمولة التي صممت من أجلها. وكمثال على ذلك الجسور التي تم تقييمها على خط حديدي الحجازي والتي تجاوزت عمرها الافتراضي.
6. إن عامل حمولة الانهيار المحسوب في الجسور القوسية والذي يصل أحيانا إلى ضعف الحمولة التقييمية الحديثة وفق الكودات العالمية، يعني أن تلك الجسور كانت تصمم بعوامل أمان كبيرة وهذا فيه دلالة واضحة على ان المهندسين كانوا يعتمدون على القوانين التجريبية الأولى لسيجورنيه.
7. تعتبر طريقة تحليل الكتل الصلبة طريقة سهلة وبسيطة. رغم ذلك فهي وسيلة قوية قادرة على تحديد آلية الانهيار الحرج وعامل الحمولة المتعلق به للجسور الحجرية القوسية، سواء كانت وحيدة الفتحة أو متعددة.
8. إن إدراج عناصر الردم وحيدة الاتجاه في صياغة المشكلة، يسمح بسهولة للطريقة ان تكون أكثر ملائمة لهذه المسائل حيث إن الضغوط المتولدة عن عناصر الردم بين الأقواس تؤثر على آلية الانهيار الحرج وبالتالي على عامل الحمولة المتعلق به.
9. يكون برنامج ring أول برنامج ينشر في الساحة العلمية الحالية ويعتمد على تحليل الكتل الصلبة خاص بالجسور الحجرية القوسية.
10. في مسائل الجسور الحجرية القوسية متعددة الحلقات، فان قوانين التوازن المشتركة التي يستخدمها برنامج ring تبدو حسابيا أكثر ملائمة من مثيلاتها. كما أنها سهلة التطبيق.
11. إن قوانين التحليل الحدي هي عموما تستعمل في معالجة تراكيب الكتل الصلبة المستوية لأي مظهر. وهذا النوع من الفرضيات يكون أحيانا له عدد من المساوئ ليس فقط لوجود الانهيار بالقص الاحتكاكي بدلا من الانزلاق، لكن أيضا لاستخدام معايير بسيطة للانهيار التي لا تسمح بالتنبؤ بأنماط الانهيار الممكنة للملاط او تهشم الأحجار أو تكسرها. لكن حاليا وفي النسخة الجديدة تم إدراج التحليل ثلاثي الأبعاد وباستعمال متغيرات إضافية تم الحصول على أنماط انهيار أكثر واقعية.

النتائج والتوصيات

12. إن الاستعانة باختبارات التحميل غير التخريبية في تقييم الجسور الحجرية يساعد في دقة الحسابات، كما يثبت قدرة تحمل الجسر بأمان، يقيم النظريات والطرق الحسابية الحديثة ويمنحها التحقيقات اللازمة.
13. يستخدم البرنامج كوثيق للنتائج وتأكيدها. لا يمكن أن نسلم بنتائج البرنامج لوحدها، لأن البرنامج لا يزال قيد التطوير حيث أن الجسور الحجرية لها أشكال وأنواع ومواد مختلفة، إذ يتطلب منا مزيداً من الإحصاء لها وللعيوب الممكنة التي تظهر عليها.

التوصيات:

- من خلال دراستنا للجسور الحجرية وعلى ضوء النتائج المتحصل عليها يمكن أن نخرج بالمقترحات التالية:
- البحث عن الإضبارة التنفيذية للجسور الحجرية وإلا فمن الضروري إجراء القياسات الحقلية اللازمة لتحديد الأبعاد الدقيقة للجسور والتي تتطلبها عملية النمذجة الحاسوبية.
 - ضرورة المعاينة الحقلية الموسعة للجسور الحجرية وإجراء كافة الاختبارات التي من شأنها تحديد الخواص الأساسية للجسور واستخدام في ذلك معدات وتجهيزات حديثة.
 - إجراء تحقيقات عملية علاوة على النمذجة الحاسوبية وذلك مثل اختبارات التحميل وقياس التشوهات.
 - الاعتماد على الكودات العالمية لتصنيف العيوب غير كافي وذلك لاختلاف نوع المواد والبيئة التي أنشئت فيها هذه الجسور، لذلك يجب إعداد دليل خاص بالعيوب في الجسور الحجرية في سورية.
 - تكوين فريق عمل مؤهل من المهندسين للمعاينة والكشف عن العيوب وتقييم وإعادة تأهيل الجسور الحجرية
 - إعداد خطة عملية لتقييم الجسور الحجرية القديمة من طرف وزارة النقل، وذلك للحفاظ عليها أولاً كونها ارث حضاري، وزيادة قدرة تحملها لتواكب حركة المرور الحديثة.
 - ضرورة إجراء المزيد من البحوث والدراسات الأكاديمية التي من شأنها أن تطور في التقنيات والطرائق الحالية لإعادة تأهيل الجسور الحجرية.

المراجع:

1. شاهين، عبد العزيز. طرق صيانة وترميم الآثار والمقتنيات الفنية، الهيئة المصرية العامة، القاهرة. 1975.
2. العش، فرج نادر. تكنولوجيا ترميم وصيانة الأبنية والمقتنيات الأثرية، دار المجد، دمشق. 1989.
3. محمد، محمد عبد الهادي. مبادئ ترميم وصيانة الآثار غير العضوية، مكتبة نخضة الشرق، القاهرة. 1996.
4. عيسى، فارس. الأشغال العامة-الجسور، منشورات جامعة حلب، حلب. 1965.
5. كعدي، بشير. البناء بالأحجار الطبيعية، حلب. 1998.
6. الجند، إسماعيل ناصر، القدسي، محمد عبد الباري. أحجار البناء والزينة في اليمن، هيئة المساحة الجيولوجية والثروات المعدنية صنعاء. 2000م.
7. سعود، اندراوس و محمد راتب سطاس، مواد البناء واختباراتها، منشورات جامعة دمشق، دمشق. 2001.
8. الحموي، ناظم، تصميم الجسور حسب الكود الروسي، 2001.
9. ميرو، اسامة، مواد البناء واختباراتها، منشورات جامعة دمشق، دمشق. 2003.
10. سطاس، محمد راتب و محمود كركندي، مواد البناء، منشورات جامعة دمشق، دمشق. 2000.
11. الجند، إسماعيل ناصر، القدسي، محمد عبد الباري أحجار البناء والزينة في اليمن هيئة المساحة الجيولوجية والثروات المعدنية صنعاء 2000م.
12. العش، فرج نادر تكنولوجيا ترميم وصيانة الأبنية والمقتنيات الأثرية، دار المجد، دمشق. 1989.
13. سعود، اندراوس و محمد راتب سطاس، مواد البناء واختباراتها، منشورات جامعة دمشق. 2001.
14. سطاس، محمد راتب و محمود كركندي مواد البناء، منشورات جامعة دمشق، دمشق. 2000.
15. شاهين، عبد العزيز طرق صيانة وترميم الآثار والمقتنيات الفنية الهيئة المصرية العامة، القاهرة. 1975.
16. عيسى، فارس الأشغال العامة الجسور، منشورات جامعة حلب، حلب. 1965.
17. كعدي بشير البناء بالأحجار الطبيعية، حلب. 1998.
18. محمد، محمد عبد الهادي مبادئ ترميم وصيانة الآثار غير العضوية، مكتبة نخضة الشرق القاهرة. 1996.
19. ميرو اسامة مواد البناء واختباراتها، منشورات جامعة دمشق، دمشق. 2003

المراجع:

20. Anderson, D. Eric & Paul Johal, shear strength of masonry piers under cyclic loading, masonry symposium by ASTM, Harry A Harris editor, New Orleans, 1988.
21. Bretnall, William & Richard Gensert, problems and solutions to masonry buildings, masonry symposium by ASTM, Harry a Harris editor, New Orleans, 1988.
22. Calgaro, J.A, & Lacroix, Roger; maintenance et réparation des ponts, presse ENPC, Paris, 1997.
23. Calgaro, J.A, Projet et construction des ponts, presse ENPC.2000.paris.
24. C. Casapulla, Lower-Bound Approach to the Limit Analysis of 3D Vaulted Block Masonry Structures. University of Naples. Naples, Italy.
25. Chaise, R, restauration des anciennes maçonneries, 2nd ED, éditions Eyrolles. Paris. 1981
26. Chen, Hung & Surendra Shah, test of model masonry single pier under dynamic shaking and quasistatic cyclic loading, masonry symposium by ASTM, Harry A Harris editor, New Orleans, 1988.
27. Domede. Nathalie, méthode de requalification des ponts en maçonnerie. XXIV rencontres universitaires de génie civil. INSA. Toulouse. 2006.
28. Galabru, Paul, les ouvrages d'art, édition Eyroles, Paris, 1963
29. Gilbert, M. Ring: Theory and modeling guide. Computational limit analysis and design unit, University of Sheffield, UK, 2005.

المراجع:

30. Gilbert. M, 2D rigid-block analysis program for masonry arch bridges.
University of Sheffield, UK
31. Gilbert. Matthew, ring2.0 software for the analysis of masonry arches.
UIC HQ. Paris. May 2007.
32. Grimm, Clayford, masonry cracks: a review of the Literature, masonry
symposium by ASTM, Harry A Harris editor, New Orleans, 1988
33. H. M. Ahmed and M. Gilbert, The computational efficiency of two
rigid block analysis formulations for application to masonry structures.
University of Sheffield, Sheffield, United Kingdom.
34. K. Hulet, C. Smith, M. Gilbert. Load-carrying capacity of flooded
masonry arch bridges, Bridge Engineering 159 Issue BE3. September
2006.
35. Limit State Ltd. Ring2.0 Program Reference. Sheffield. 2007.
36. Martin-Caro. J.A et All, A first level structural analysis tool for the
Spanish railways masonry arch bridges. ARCH'04, CIMNE, Barcelona.
2004.
37. Megnounif, A et All. Influence de la nature du mortier sur la résistance
en compression des maçonneries en bloc de béton creux. 4eme
symposium Int sur la construction. Université de Chleff. 2005
38. Ministère des transports. Instruction technique pour la surveillance et
l'entretien des ouvrages d'art. LCPC et SETRA. Paris. 1979.

المراجع:

39. Normes Françaises "NF P 95-102 ", réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie, béton projeté. AFNOR. Paris. 1992.
40. Normes Françaises "NF P 95-103", réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie, traitement des fissures. AFNOR. Paris. 1993
41. Normes Françaises " NF P 95-106", réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie, fondations. AFNOR. Paris. 1993.
42. Normes Françaises "NF P 95-107", réparation et renforcement des maçonneries. AFNOR. Paris. 1994.
43. Olivier, Emile, technologie de matériaux de construction, tome 1, entreprise moderne d'édition, Paris, 1965.
44. Paul Mullett et all Gifford, Applied Discrete Element Technology: The Assessment and Strengthening of masonry arches. Feature journal. Uk. 2003
45. Paulo B. Lourenço & Daniel V. Oliveira. Conservation of ancient constructions and application to a masonry arch bridge. Universidade do Minho, Portugal.
46. Philippe Block, Equilibrium systems Studies in Masonry Structure. Universiteit Brussel, 2003.
47. Savary, V, technologie de maçonnerie, Dunod, Paris, 1965.

المراجع:

- 48.SETRA, IQOA, catalogue des désordres des ponts en maçonnerie.
Paris, 1996
- 49.Swedish national road administration, bridge inspection manual.
Sweroad. 1996. Sweden.
- 50.Taylor, G. D, materials in construction, 3rd ED, Singapore, 2000
- 51.University of Sheffield, Limit state Ring, a rapid analysis tool for
masonry arch bridges. The Innovation Centre. Sheffield. UK.
- 52.US Department of transportation, BIRM: Bridge Inspector's Reference
Manual, publication NHI, FHWA, 2002. USA.
- 53.Xanthakos, Petros. Bridge maintenance and rehabilitation. Bretnal hall.
New York. 1996.