تكنولوجيا الخرسانة
CONCRETE TECHNOLOGY

تأليف :
ا.د. عبد السلام المبروك عكاشة

منشورات البرنامج الوطني لتطوير المجلات العلمية

جامعة سبها
Sebha University

تكنولوجيا الخرسانة
CONCRETE TECHNOLOGY

الطبعة الأولى 2013

تأليف
الأستاذ الدكتور عبدالسلام عكاشة

تكنولوجيا الخرسانة

CONCRETE TECHNOLOGY

تأليف

أ.د. عبد السلام المبروك عكاشة

أستاذ الخرسانة ومواد البناء

رئيس قسم الهندسة المدنية

كلية الهندسة

جامعة سبها – ليبيا

الطبعة الأولي 2013

المحتـــويـات

مقـدمـــــة	INTRODUCTION
الفصل الأول : الخرسانة	CONCRETE
1.1 تعريف الخرسانة	1
2.1 مكونات الخرسانة	3
1.2.1 الإسمنت	3
2.2.1 الركام	3
3.2.1 المـاء	3
4.2.1 الإضافات	3
3.1 مـزايا الخرسانة	4
4.1 عيوب الخرسانة	4
الفصل الثانى : الإسمـنت	CEMENT
1.2 مقـدمة	5
2.2 أنـواع الإسمنت	6
1.2.2 الإسمنت البورتلاندي العادي	6
1.1.2.2صناعة الإسمنت	6
2.1.2.2 خواص الإسمنت	9
3.1.2.2 تفاعل الإسمنت	16
4.1.2.2 أستعمالات الأسمنت البورتلاندي العادي	17
2.2.2 الإسمنت البورتلاندي سريع التصلب	17
3.2.2 الإسمنت البورتلاندي الأسرع تصلبا	17
4.2.2 الإسمنت البورتلاندي المنخفض الحرارة	18
5.2.2 الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات	18
6.2.2 الإسمنت البورتلاندي الأبيض	18
7.2.2 الإسمنت البورتلاندي الملون	19
8.2.2 الإسمنت عالي الكبريتات	19

9.2.2 الإسمنت عالي الألومينية 19
10.2.2 الإسمنت البوزلاني 20
11.2.2 إسمنت آبار النفط 20

الفصل الثالث : الركـام AGREGGATES

1.3 مقـدمة 21
2.3 تصنيف الركـام 21
3.3 متطلبات الركام 22
4.3 خواص الركام 22
1.4.3 مقاومة الركام 22
2.4.3 التدرج الحبيبي للركام 23
3.4.3 المقاس الاعتباري الأكبر للركام 25
4.4.3 الوزن النوعي والوزن الحجمي 25
5.4.3امتصاص الركام 26
6.4.3تصنيف النسيج والشكل 27
5.3 توصيات الكود العربي 28

الفصل الرابـع : المـــاء MIXING WATER

1.4 مقـدمة 30
2.4 اشتراطات استخدام مياه الخلط 31
3.4 توصيات الكود العربي 31

الفصل الخامس : الإضـافات ADMIXTURES

1.5 مقـدمة 33
2.5 أنواع الإضافات 34
1.2.5 الإضـافات المحسنة للزوجة الخلطه 35
2.2.5 الإضافات المبطئة للتماسك 35
3.2.5 الإضافات المسرعة للتماسك 35
4.2.5 الإضافات المخفضة لكمية الماء 35
5.2.5 الإضافات المخفضة العالية لكمية الماء 36

6.2.5 الإضافات المكونة لفقاعات الهواء 37
7.2.5 الإضافات الملونة 37

الفصل السادس : تصميم الخلطات الخرسانية DESIGN OF CONCRETE MIX

1.6 مقدمة 38
2.6 طرق تصميم الخلطات الخرسانية 39
3.6 المعلومات اللازمة عند تصميم الخلطات الخرسانية 40
1.3.6 التشغيلية 40
2.3.6 كمية الماء 40
3.3.6 المقاومة المطلوبة 40
4.3.6 نوع الإسمنت 40
5.3.6 نوعية الركام الخشن والناعم 41
6.3.6 نسبة الماء للإسمنت 41
4.6 تغير المقاومة 41
5.6 العوامل التى تؤثر على تصميم الخلطات الخرسانية 41
1.5.6 طبيعة المنشأ ونوع العنصر 41
2.5.6 درجة التشغيل للخرسانة 41
6.6 الطريقة البريطانية لتصميم الخلطات 42

الفصل السابع : صناعة الخرسانة CONCRETE MANUFACTURING

1.7 مقدمة 54
2.7 تخزين المواد 54
1.2.7 الإسمنت 54
2.2.7 الركام 55
3.2.7 ماء الخلط 55
3.7 خلط الخرسانة 56
1.3.7 طرق خلط الخرسانة 56
2.3.7 توصيات الكود العربي 59

4.7 نقل الخرسانة 59
1.4.7طرق نقل الخرسانة 59
5.7 صب الخرسانة 60
1.5.7 الإعداد لصب الخرسانة 61
2.5.7 ملاحظات عند الصب 61
3.5.7 ضخ الخرسانة 63
6.7 دمك الخرسانة 64
1.6.7 الغرض من الدمك 64
2.6.7 طرق دمك الخرسانة 65
7.7 تشطيب وإنهاء سطح الخرسانة 67

الفصل الثامن : معالجة الخرسانة CURING OF CONCRETE

1.8 مقدمة 68
2.8 أهمية المعالجة 68
3.8 فترة المعالجة 69
4.8 طرق المعالجة 70
1.4.8 نظام إضافة الماء 70
2.4.8 نظام ترجيع الماء 72
3.4.8 مقارنة بين النظامين 74
4.4.8 نظام المعالجة بالبخار 75

الفصل التاسع : تشوهات الخرسانة DEFORMATION OF CONCRETE

1.9 المرونة 76
1.1.9 أنواع المرونة 76
2.1.9 العوامل المؤثرة على المرونة 78
3.1.9 طرق قياس معامل المرونة 78
2.9 الزحف 82
1.2.9 الزحف في الخرسانة 82

3.9 الانكماش 83
1.3.9 أنواع الانكماش 83
2.3.9 العوامل المؤثرة على الانكماش 86

الفصل العاشر : خواص الخرسانة الطرية PROPERTIES OF FRESH CONCRETE
1.10 مقدمة 87
2.10 خواص الخرسانة الطرية 87
1.2.10تشغيلية الخرسانة 88
2.2.10 الانفصال في الخرسانة 93
3.2.10 نضح الخرسانة 94
4.2.10 محتوى الهواء بالخرسانة 96
الفصل الحادي عشر : خواص الخرسانة الجافة PROPERTIES OF HARDNED CONCRETE
1.11مقدمة 97
2.11 المقاومة 97
1.2.11مقاومة الخرسانة للضغط 97
1.1.2.11 العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط 98
2.1.2.11 الطرق المباشرة 99
2.2.11 مقاومة الخرسانة للشد 101
3.2.11 مقاومة الخرسانة للانحناء 104
3.11 المرونة 105
4.11 الزحف 106
5.11 الانكماش 106
6.11 النفاذية 106
1.6.11 أنواع المسامات بالخرسانة 107
2.6.11 تأثير النفاذية على الخرسانة 107
3.6.11 العوامل المؤثرة على النفاذية 108
4.6.11 الاحتياطات اللازمة لعمل خرسانة قليلة النفاذية 108

الفصل الثاني عشر : متـانة الخرسـانة	**DURABILITY OF CONCRETE**
1.12مقـدمة	109
2.12 صدأ حديد التسليح	110
3.12 تفاعل القلويات مع السيليكا	116
4.12 هجوم الكبريتات	118
الفصل الثالث عشر : أنواع خاصة من الخرسـانة	**SPECIAL TYPES OF CONCRETE**
1.13 مقـدمة	120
2.13 الخرسانة العاديـة	121
3.13 الخرسانة المسلحـة	121
4.13 الخرسانة مسبقة الإجهاد	121
5.13 الخرسانة مسبقة الصب	122
6.13 الخرسانة عالية المقاومة	122
7.13 الخرسانة بالألياف	122
8.13 الخرسانة البوليميرية	123
9.13 الخرسانة ذاتية الدمك	123
10.13 الخرسانة المقذوفة	124
11.13 الخرسانة الخفيفة	124
12.13 الخرسانة الثقيلة	125
13.13 الخرسانة الكثلية	125
الفصل الرابـع عشر : الاختبارات اللاإتلافية	**NON DESTRECTIVE TESTS**
1.14مقـدمة	126
2.14 استعمالات الاختبارات اللاإتلافية	126
3.14 أنواع الاختبارات اللاإتلافية	126
1.3.14 اختبار القلوب	127
2.3.14 اختبار مطرقة شميدث	131
3.3.14 اختبار قياس سرعة الموجات فوق الصوتية	134

الفصل الخامس عشر : التشققات اللاإنشائية NON STRUCTURAL CRACKS

1.15 مقدمة 136

2.15 التشققات اللاإنشائية 136

1.2.15 تشققات الهبوط المرن 139

2.2.15 تشققات الانكماش اللدن 140

3.2.15 تشققات الانكماش الحراري 141

4.2.15 تشققات الانكماش الجاف 142

5.2.15 تشققات التعشيش 143

6.2.15 تشققات تآكل حديد التسليح 144

7.2.15 تشققات بسبب تفاعل القلويات مع السيليكا 145

الفصل السادس عشر : الخرسانة فى الأجواء الحارة والباردة CONCRETE IN HOT WEATHER

1.16 مقدمة 146

2.16 الخرسانة في الأجواء الحارة 146

3.16 تأثير درجة الحرارة على الخرسانة 147

1.3.16 تبريد مواد خلط الخرسانة 149

4.16 الاحتياطات الواجب اتخاذها في الأجواء الحارة 150

5.16 الخرسانة في الأجواء الباردة 152

6.16 الاحتياطات الواجب أتخادها في الأجواء الباردة 152

المراجع العربية 154

المراجع الأجنبية 155

مقدمـــــــة
INTRODUCTION

الخرسانة وحديد التسليح هما مادتان تم الجمع بينهما بسبب تكميل أحدهما للآخر من حيث تحمل إجهادات الضغط والشد التي تؤثر على العناصر الخرسانية ، حيث إن الخرسانة تتحمل إجهادات ضغط عالية مقارنة بتحملها لإجهادات الشد تصل حسب بعض المراجع إلى عشرة أضعاف ، بينما حديد التسليح يتحمل إجهادات شد عالية مقارنة بتحمله لإجهادات الضغط ، ومن هنا جاءت فكرة جمع تلك المادتين في مادة واحدة تسمى الخرسانة المسلحة. والخرسانة المسلحة هي مادة الإنشاء الأولى حتى يومنا هذا نظرا للمزايا التي تتمتع بها ابتداً من توفر موادها الخام الأولية ، ورخص أسعارها إلى إمكانية تشكيلها في أي شكل مما يعطيها أشكالاً معماريةً مميزةً.

تنفيذ الخرسانة المسلحة يتطلب تصنيع مادتين هما: حديد التسليح، والخرسانة ،(المادة الأولي) وهي حديد التسليح ، يتم تصنيعه في مصانع الحديد والصلب، وتتم عملية تصنيعه تحث مراقبة وجودة عالية وخواصه الكيميائية والفيزيائية يتم اختبارها في مختبرات تابعة للمصنع، وتدون في شهائد ترفق بالمنتج للاستعمال وبالتالي فإن ما نحتاجه في مواقع التنفيذ هو فقط قص حديد التسليح بالأطوال والأقطار المطلوبة، وتثبيتها في أماكنها طبقا لما هو وارد بالرسومات التنفيذية، وليس لعمال وفني ومهندسي التنفيذ علاقة بتصنيع تلك المادة.

الخرسانة وهى المادة الثانية الداخلة في تنفيذ الخرسانة المسلحة نجد أنها غالبا ما يتم تصنيعها في مواقع التنفيذ من قبل أشخاص فنيين وعلى دراية جيدة بتلك المادة ، كما أن جودة المواد الداخلة في تصنيعها يعتمد وبشكل كبير على فريق التنفيذ والإشراف بالموقع ومدى حرصهم والتزامهم بتطبيق المواصفات، والتأكد منها على الواقع قبل التصنيع ، وبالتالي جودة تصنيع الخرسانة يعتمد بالدرجة الأولي على جودة تنفيذ خطوات تصنيعها ابتداء من اختيار واختبار مواد تكوينها إلي تصميم الخلطة الخرسانية، ومرورا بالخلط والنقل والصب والدمك وأخيرا المعالجة ، وأي تقصير أو إهمال في تنفيذ أي من تلك الخطوات سيؤدي إلى إنتاج خرسانة ضعيفة وغير متينة ، ومن هنا نري أن جودة تنفيذ الخرسانة المسلحة يكمن في جودة تصنيع الخرسانة بالموقع ؛ ونظرا لأهمية مادة الخرسانة في جودة تنفيذ المنشآت ، وبالتالي أهمية تصنيعها ، وإلى ما يحدث في واقع التنفيذ خاصة وإن هذه المادة كما أسلفنا يتم تصنيعها غالبا بالموقع من نقص حقيقي في معرفة سلوكها

وكيفية تنفيذها وأسلوب اختيار مكوناتها وجودة صناعتها وكذلك طرق اختبارها ، فقد جاءت فكرة تأليف هذا الكتاب (**تكنولوجيا الخرسانة**) الذي يعطي فكرة واضحة وبتسلسل وأسلوب سهل عن هذه المادة ومواد تكوينها ونسب مكوناتها وصناعتها وضبط جودتها وخواصها الطرية والجافة والتشوهات التي تتعرض لها ومتانتها وأسلوب الحفاظ عليها وطرق اختباراتها المعملية والحقلية؛ كما يتعرض الكتاب إلى الأنواع الأخرى من الخرسانات التي يتم استخدامها في أغراض مختلفة ، وأخيرا بعض الاحتياطات اللازمة لتصنيع الخرسانة في الأجواء الحارة والباردة.

هذا الكتاب كان نتاج خمس سنوات كاملة قد قضيت في تأليفه وتجميع ما هو متاح ونافع وبلغة عربية مع كتابة المصطلحات باللغة الإنجليزية ، وأكثر من خمسة وعشرين عاما قد انقضت في التعامل مع هذه المادة ، سواء كان ذلك من الناحية البحثية، أو العملية أو المعملية.

وأخير نقدم هذا الكتاب لطلاب الدراسات الجامعية والعليا بكليات الهندسة أقسام الهندسة المدنية والمعمارية في الجامعات الليبية والعربية ، وكذلك إلى كل المهندسين المنفذين والمشرفين في مواقع التنفيذ.

هذا ولا يفوتني أن أقدم شكري إلى عائلتي التي وقفت بجانبي تشجعني لإتمام هذا الكتاب، وكذلك إلي جميع الزملاء الأساتذة الذين أسهموا في مراجعة النص، وتقديم مقترحاتهم لإخراج هذا العمل بالشكل المطلوب؛ وأسأل الله العلي القدير أن ينفع بهذا الكتاب طلابنا وزملاءنا المهندسين المهتمين بهذا المجال ، وأن يجعله في ميزان حسناتي إنه قريب مجيب الدعـاء.

المؤلف

الفصل الأول

الخرسانة

CONCRETE

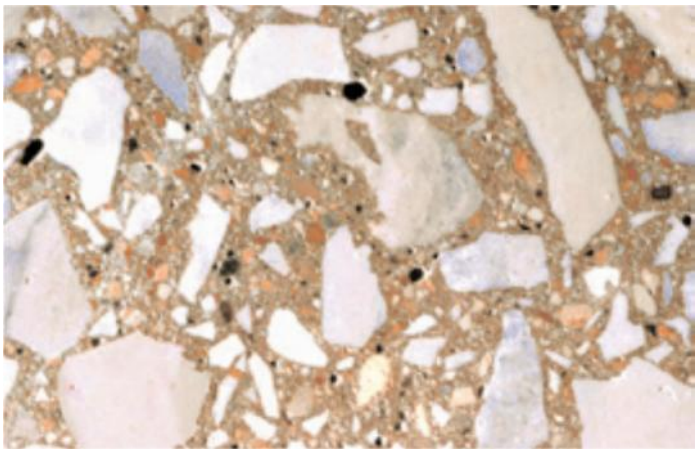
1.1 تعريف الخرسانة: Concrete Defenition

الخرسانة هي عبارة عن كتلة ناتجة عن خلط حجوم أو أوزان أو نسب معينة من الإسمنت ، الركام الخشن (الشرشور) ،الركام الناعم (الرمل) ، الماء والإضافات لتتصلب في قوالب بالأشكال والقياسات المطلوبة؛ الركام بنوعيه هو عبارة عن المكون الأساسي للكتلة الخرسانية حيث يمثل تقريبا 75٪من حجمها، الركام الخشن يعزى إلى حبيبات الركام التي مقاسها أكبر من أو تساوي 5 مم ، والركام الناعم إلى الحبيبات التي مقاسها أقل من 5 مم . الإسمنت والماء يتفاعلان كيميائيا لتغطية حبيبات الشرشور والرمل ، زيادة نسبة بسيطة من الماء عن النسبة المطلوبة للتفاعل الكيميائي ضرورية لتعطي الخرسانة التشغيلية اللازمة (درجة التشغيل) ومن تم سهولة صبها في القوالب وحول حديد التسليح ، ورغم أن الركام يمثل الجزء الأكبر من الكتلة الخرسانية إلا أن العجينة الإسمنتية هي الجزء الفعال في هذه الكتلة ، ويجب أن تتحقق بعض الشروط في العجينة الإسمنتية منها :

- سهولة التشغيل حتى يمكن تصنيعها بأشكال وأبعاد مختلفة.
- التمتع بقدرة عالية على التماسك والتثبيت لحبيبات الشرشور في الخلطة الخرسانية.
- القدرة على التصلب في وقت قصير نسبيا حيث تكسب الشرشور خواصاً ثابتةً من حيث المقاومة والثبات والتجانس المطلوب في الخرسانة.
- التمتع بخاصية ثبات الحجم مع الزمن بعد تصلبها.

الشكل (1.1) الخرسانة الطرية

جودة الخرسانة تعتمد على جودة العجينة الإسمنتية والركام ، وكذلك قوة الربط بينهما ؛ في الخرسانة الجيدة نجد أن جميع حبيبات الركام تكون محاطة بالعجينة الإسمنتية وكذلك جميع الفراغات ما بين تلك الحبيبات ، والشكل التالي (2.1) يوضح مقطعاً في خرسانة متصلدة للخلطة المتجانسة.



الشكل (2.1) مقطع في خرسانة متصلدة

كما أن جودة الخرسانة تتأثر وبشكل كبير بنسبة الماء للإسمنت في الخلطة الخرسانية ، فمن المعلوم أنه كلما كانت كمية الماء المستخدمة أقل كلما كانت جودة الخرسانة أفضل. وفيما يلي بعض مزايا تقليل ماء الخلط :

1. يزيد من مقاومة الخرسانة للضغط والانحناء.
2. يقلل من نفاذية وامتصاص الخرسانة.
3. يزيد من متانة الخرسانة.
4. يحسن من قوة الربط بين الخرسانة وحديد التسليح.
5. يقلل من الانكماش الجاف والتشققات.
6. يقلل من التغير الحجمي في حالات البلل والجفاف.

والخرسانة في حالتها المتصلدة تبدو كتلةً صخريةً ذات مقاومة عالية للضغط ، أما في حالتها الطرية فلها خاصية اللدونة التي تسمح بتشكلها في أي قالب معماري مطلوب. ونظراً لمقاومتها الضعيفة لإجهادات الشد يأتي استخدام حديد التسليح عالي المقاومة لإجهادات الشد للمشاركة مع الخرسانة لتصبح الخرسانة " خرسانة مسلحة " يمكن استخدامها في أي نوع من المنشآت لمقاومة إجهادات الضغط والشد معا ؛ كما يمكن استخدام الخرسانة بالاشتراك مع مواد أخرى لتكوين قطاعات مركبة كما في حالة

استخدام قطاعات الصلب مع الخرسانة ، أو لتكوين مواد مركبة كما في حالة إضافة أنواع معينة من الألياف إلى الخرسانة أثناء خلطها لتحسين بعض الخصائص.

2.1 مكونات الخرسانة Concrete Components

من التعريف السابق للخرسانة نجد أن المكونات الأساسية للخرسانة هي : الإسمنت ، و الركام الخشن، والركام الناعم ، والماء ، والإضافات.

1.2.1 الإسمنت Cement

الإسمنت البورتلاندي هو ناتج طحن الكلنكر (clinker) والجبس الخام ، حيث يتم الحصول على الكلنكر من خلال حرق المواد الجيرية والطينية مع بعض الإضافات الأخرى أحيانا بنسب معينة وبدرجة حرارة تصل إلى 1500 درجة مئوية؛ ويتميز الإسمنت البورتلاندي (الهيدروليكي) بخاصية التماسك بعد فترة قليلة من إضافة الماء إليه ، تم يتصلد نتيجة التفاعل الكيميائي مع الماء.

2.2.1 الركام Aggregate

يمثل الركام حوالي 75٪ من حجم الخرسانة ، ويقسم الركام إلى ركام خشن وركام ناعم ، كما يمكن أن يكون طبيعيا (غير مكسر) أو صناعيا (مكسر). يعتبر الركام مادة مالئة (خاملة) في الكتلة الخرسانية ، كما يصنف الركام حسب وزنه إلى ركام عادي، وخفيف ، وثقيل الوزن.

3.2.1 المـاء Water

الماء عنصر أساسي في إنتاج الخرسانة وبدونه لا تتم التفاعلات الكيميائية التي تكسب الخرسانة خاصية التماسك والمقاومة؛ الماء المستخدم يجب أن يكون مطابقاً للمواصفات خاليا من الأملاح وخصوصا أملاح الكلوريدات والكبريتات.

4.2.1 الإضافات Admixtures

الإضافات هي عبارة عن مواد كيماوية تكون على هيئة مسحوق ، أو سائل تضاف إلى الخلطة الخرسانية بنسب معينة لتحسين خاصية معينة من خواص الخرسانة ، وفى هذا العصر أصبحت الإضافات من المواد الأساسية الداخلة في تصنيع الخرسانة المتينة ، حيث أمكن التغلب على التناقض الناشئ بين المقاومة العالية والتشغيلية المنخفضة للخرسانة،

وذلك باستخدام المخفض العالي للمياه " HWR " على سبيل المثال أو ما يعرف بالملدنات الفائقة " super plasticizers " الذي يسمح باستخدام نسبة مياه قليلة جدا مقابل درجة تشغيل عالية ، وبالتالي الحصول على مقاومة عالية للخرسانة ، هذا وأصبحت تعرف الخرسانة التي لا تستخدم فيها المضافات في الوقت الحاضر بالخرسانة القديمة.

وتعتبر الخرسانة حتى اللحظة من أكثر مواد البناء شيوعا واستخداما ، ويرجع ذلك إلى المزايا التي تتمتع بها ، كما أن هناك بعض العيوب التي تحد من استخدامها في بعض الحالات ؛ وفي ما يلي بعض مزايا وعيوب الخرسانة :

3.1 مزايا الخرسانة Advantages of Concrete

- الخرسانة الطرية يمكن تشكيلها في أي شكل مطلوب بسهولة.
- الخرسانة تتحمل إجهادات الضغط وبشكل كبير.
- الخرسانة المسلحة يمكن استخدامها في تنفيذ أي شكل من أشكال المباني.
- الخرسانة بتحملها إجهادت الضغط العالية يجعلها أكثر اقتصادية.
- الخرسانة تعطي سهولة ومرونة وسرعة في تنفيذ المنشآت.
- الخرسانة تعطي منظرا معماريا جيدا للمباني.
- الخرسانة مقاوم جيد للظروف البيئية ، وتعمر طويلا في حال تنفيذها طبقا للمواصفات.
- الخرسانة مقاوم جيد للحريق.
- تكلفة صيانة المنشآت الخرسانية أقل نسبيا بالمقارنة مع باقي أنواع المنشآت.
- المواد الداخلة في تصنيع الخرسانة متوفرة وبشكل كبير.
- يمكن ضخ وصب الخرسانة في أكثر الأماكن تعقيدا.
- يمكن رش وقذف الخرسانة ، ويمكن استخدامها في أعمال الصيانة.

4.1 عيوب الخرسانة Disadvantages of Concrete

- الخرسانة ضعيفة التحمل لإجهادات الشد ، حيث تمثل 10٪ من تحملها لإجهادات الضغط.
- الخرسانة الطرية تنكمش بسرعة في الجو الجاف.
- الخرسانة ليست من المواد المصمتة تماما، وإنما تسمح بنفاذ السوائل والغازات بدرجات متفاوتة.
- الخرسانة المسلحة تتأثر بالأملاح وخاصة الكلوريدات والكبريتات.
- الخرسانة المسلحة وزنها ثقيل الأمر الذى يحد من استخدامها في المسافات الكبيرة.

الفصل الثاني

الإسمنت

CEMENT

1.2 مقدمة Introduction

الإسمنت البورتلاندي تم اكتشافه من قبل العالم الإنجليزي جوزيف أسبيدان عام 1824 وقد سمي بالإسمنت البورتلاندي نسبة إلى تشابه لونه بلون تلال بورتلاند في انجلترا ، ويعرف الإسمنت بأنه المادة التي تتميز بخاصية الالتصاق والتلاحم التي تمكنه من ربط حبيبات الركام وتماسكها عند خلطه بها . ويعتبر الإسمنت الهيدروليكي هو أحد المواد الإسمنتية التي لها تلك الخاصية ، كما يعتبر من أهم أنواع الإسمنت التي تستعمل في الأعمال الإنشائية ، وتعرف الخاصية الهيدروليكية بأنها عبارة عن قدرة المادة على التشكل والتصلب والثبات في الماء ؛ الإسمنت البورتلاندي هو أحد أنواع الإسمنت الهيدروليكي ويعرف بأنه مادة ناتجة من طحن وتنعيم ناتج حرق خليط يحتوى على الحجر الجيري (chalk) ويمثل حوالي 75٪ ومواد أخرى طينية يطلق عليها أسم (clay) وهى عبارة عن (iron ; alumina ; silica) وتمثل حوالي نسبة 25٪ من نسبة المواد الداخلة في تصنيع الإسمنت البورتلاندي. الإسمنت البورتلاندي عبارة عن مسحوق لونه رمادي ، كما في الشكل (1.2) مركب أساسا من بلورات صناعية من سيليكات الكالسيوم والألمنيوم .

الشكل (1.2) مسحوق الأسمنت[2.6]

2.2 أنواع الإسمنت Cement Types

تصنف الأنواع المختلفة للإسمنت إما بحسب استخدامها ، أو نوعيتها (خواصها) أو مقاومتها للضغط ، وطبقا للمواصفات البريطانية يقسم الإسمنت البورتلاندي إلى الأنواع الآتية :-

1. الإسمنت البورتلاندي العادي.
2. الإسمنت البورتلاندي سريع التصلب.
3. الإسمنت البورتلاندي الأسرع تصلبا.
4. الإسمنت البورتلاندي منخفض الحرارة.
5. الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات.
6. الإسمنت البورتلاندي الحديدي.
7. الإسمنت البورتلاندي الأبيض.
8. الإسمنت البورتلاندي الملون.
9. الإسمنت المخلوط.
10. الإسمنت عالي الألومينية.
11. الإسمنت البوزلاني.
12. إسمنت الآبار النفطية.
13. إسمنت البناء.
14. إسمنت منخفض القلويات.

إن أكثر هذه الأنواع استعمالا هو الإسمنت البورتلاندي العادي نظرا للدور الأساسي الذى يلعبه في مجالات البناء المختلفة ، ولذلك سيتم شرح هذا النوع بشئ من التفصيل.

1.2.2 الأسمنت البورتلاندي العادي Ordinary Portland Cement

1.1.2.2 صناعة الإسمنت Manufacturing of Cement

تتمثل خطوات تصنيع الإسمنت في ثلاث مراحل أساسية هي: الخلط ، الحرق ، والطحن. كما سلف الذكر بأن المواد الأساسية التي يصنع منها الإسمنت البورتلاندى هي"chalk " و " clay "؛ بالنسبة للكالسيوم " chalk " عادة ما يكون متواجداً بالأحجار والصخور الكلسية أو الجيرية ، أما الطين " clay " فهو عبارة عن مواد طينية تحتوي على أكاسيد

السيليكا والألومينيا والحديد ، ويُتبع في صناعة الإسمنت طريقتان رئيسيتان هما: الطريقة الجافة والطريقة الرطبة ، ففي الطريقة الجافة تكون المواد الكلسية والطينية جافة في جميع مراحل التصنيع ، أما في الطريقة الرطبة فتستعمل في حالة وجود خامات رخوة أو تحتوى على بعض الرطوبة وفيها تخلط الخامات خلطا جيدا مع كمية مناسبة من الماء تتراوح من (32٪– 40٪) من الخليط الخام ، والجدير بالذكر أن الطريقة الجافة هي الأكثر شيوعا وتتلخص الخطوات الرئيسية لمراحل صناعة الإسمنت البورتلاندي العادي كالتالي:

الشكل (2.2) شكل عام لمصنع أسمنت[2.6]

1. تستخرج مواد الخام الأولية من محاجرها وتنقل إلى المصانع بطريقة اقتصادية.
2. تطحن الأحجار أو الصخور الكلسية في محاجرها بواسطة كسارات خاصة.

الشكل (3.2) نقل الخامات الأولية من محاجرها[2.6]

3. يتم خلط المواد الأولية بنسب معينة لتشكل العجينة ، ويجب التأكد من نسب الخلط المطلوبة بالتحليل الكيميائي.
4. يوضع المزيج السابق في أفران دوارة تصل درجة حرارتها إلى 1500 درجة مئوية حيث تتم التفاعلات اللازمة لتشكيل الإسمنت ، والأفران الدوارة كما في الشكل (4.2) هي عبارة عن أفران إسطوانية الشكل قطرها حوالي 5م وطولها 150م من المعدن المبطن من الداخل بالطوب الحراري ، تدور حول محورها الطولي المائل مع الأفقي ميلا طفيفا ، حيث يتم إدخال العجينة فيها من الناحية العليا.

الشكل (4.2) الأفران الدوارة[2.6]

5. تنتج عن هذه العملية التي تمت بالفرن مادة شبيهة بحبيبات الفحم الأسود كروية تدعى بالكلنكر " clinker " والكلنكر هو حبيبات خشنة الملمس لونها أسود أو رمادي ، قطرها يتراوح بين (1-2 سم) تشبه حبيبات الكربون.

6. تطحن حبيبات الكلنكر بعد تبريدها إلى بودرة ناعمة جدا هي الإسمنت وفى هذه المرحلة يتم إضافة كمية من الجبس بنسبة 3-5٪ تقريبا ويطحن معه لغرض التحكم في زمن الشك الابتدائي وتفاعلات التصلد للإسمنت ، انظر الشكل (5.2).

7. يبرد الناتج ويخزن تم يعبأ في أكياس ، وزن الكيس غالبا 50 كجم ويتم تسويقه للمستهلك انظر الشكل (6.2).

(أ)الجبس (ب)الكلنكر

الشكل (5.2) مادة الجبس والكلنكر[2.6]

الشكل (6.2) عبوات أكياس الأسمنت

2.1.2.2 خواص الإسمنت Properties of Cement

- **الخواص الكيميـائية Chemical Properties**

1. مركبـات الإسمنت Cement Compounds

يعتبر التركيب الكيميائي للإسمنت من العمليات المعقدة في التحليل ، ويمكن تحديد المواد المركبة لمادة الإسمنت البورتلاندي العادي ونسبها المئوية كما يلي :

الجدول (1.2) المواد المركبة للإسمنت ونسبها[2.5]

رقم	إسم المادة	رمز المادة	النسبة المئوية
1	الكالسيوم أو الجير	Cao	٪67 -60
2	السيليكا	Si o_2	٪25 -17
3	الألومينيا	$Al_2 o_3$	% 8–3
4	الحديد	$Fe_2 o_3$	% 6–0.5
5	الماغنيسيوم	Mgo	٪4–0.1
6	الكبريتات	So_3	لا تتجاوز ٪2.75
7	القلويات	Alkalis	٪1.3–0.2

إن دور تلك المواد المركبة لمادة الإسمنت والموضحة في الجدول السابق في العملية الكيميائية وخواص الإسمنت يمكن تلخيصها كالتالي[3.1] :-

1. مواد الكالسيوم أو الجير : Calcium Materials (Ca)

زيادة نسبة الجير عن النسبة المحددة ستؤدى إلى عدم ثبات حجم الإسمنت وتفتت الإسمنت بعد أن يتم تشكله؛ من جهة أخرى تقليل نسبة الجير عن الحد المسموح به سيؤدى إلى إنتاج إسمنت ضعيف المقاومة.

2. مواد السيليكا : Silica Materials (Si)

زيادة نسبة السيليكا عن النسبة المحددة والتي عادة ما تكون مصحوبة بنقص في محتوى الألومينا سينتج عنه تأخر في زمن الشك مع مقاومة عالية للإسمنت بالإضافة إلى تحسين مقاومة الإسمنت لمهاجمة المواد الكيميائية.

3. مواد الألومينا : Aluminam Materials(Al)

زيادة نسبة الألومينا عن النسبة المحددة على حساب محتوى السيلكا سيؤدي إلى إنتاج إسمنت سريع التصلب مع مقاومة عالية .

4. مواد الحديد : (Fe)Ferric Materials

زيادة نسبة أكسيد الحديد عن النسبة المحددة يسرع في زمن الشك مع مقاومة عالية ، كما أنه هو المسؤول عن إعطاء الإسمنت اللون الرمادي .

5. مواد الماغنيسيوم : Materials(Mg)Magnesium

زيادة نسبة أكسيد الماغنيسيوم عن النسبة المحددة تؤدي إلى عدم ثبات حجم الإسمنت.

6. مواد القلويات : Materials Alkalis

زيادة نسبة القلويات عن النسبة المحددة يؤدي إلى إكساب الإسمنت ظاهرة التزهير ، كما تؤدي إلى زيادة احتمال وقوع ظاهرة التفاعل القلوي للركام.

عند خلط مكونات الإسمنت الأساسية وحرقها فأن الكلنكر الناتج بعد عملية الحرق يحتوي على أربعة مركبات رئيسية كما في الجدول (2.2) تختلط بعضها مع بعض بنسب مختلفة.

الجدول (2.2) المركبات الرئيسية للإسمنت ونسبها

ر.م	إسم المركب	الرمز الكيميائي	الرمز المبسط	النسبة المئوية
.1	ثلاثي سيليكات الكالسيوم	$3cao.\ Sio_2$	C_3S	% 50–25
.2	ثنائي سيليكات الكالسيوم	$2cao.\ Sio_2$	C_2S	٪45–21
.3	ثلاثىألومينات الكالسيوم	$3cao.\ Al_2o_3$	C_3A	٪11–5
.4	رباعي ألومينات الكالسيوم الحديدية	$4cao.\ Al_2o_3\ Fe_2o_3$	C_4AF	٪14–9

- **ثلاثي سيليكات الكالسيوم (C_3S) : Tricalcium Silicate**

هذا المركب يتحول إلى مادة جيلاتينية في خلال الساعات الأولى بعد إضافة الماء مصحوبا بارتفاع في درجة الحرارة وهو يعمل على إتمام عملية الشك للإسمنت والمسؤول عن المقاومة المبكرة خلال الأربعة عشر يوما الأولى.

- **ثنائي سيليكات الكالسيوم (C_2S) : Dicalcium Silicate**

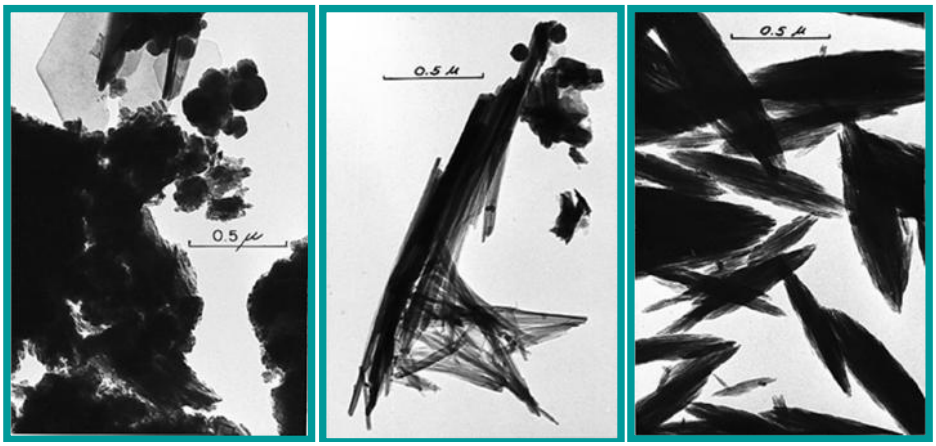
غالبا ما يكون تكوين هذا المركب بطيئا وبالتالي مصحوبا بدرجة حرارة قليلة نسبيا ، ويعتبر هذا المركب هو المسؤول عن زيادة تقدم مقاومة الخرسانة مع الزمن الواقع ما بين الأربعة عشر يوما إلى ثلاثة أشهر.

- **ثلاثي ألومينات الكالسيوم(C_3A) : Tricalcium Aluminate**

هذا المركب له القدرة على التفاعل بسرعة مصحوبا بدرجة حرارة تفاعل عالية ، وهو الذي يعمل على إكساب الإسمنت ظاهرة التصلب الأولى ومقاومته المبكرة.

- **رباعي ألومينات الكالسيوم الحديدية (C_4AF): Tetracalcium Alumino Ferrite**

هذا المركب هو الذى يكسب الإسمنت اللون الرمادي الخاص به حسب نسبة الحديد وفى نفس الوقت ليس له تأثير ملحوظ على المقاومة وتصلب الإسمنت.



الشكل (7.2) تفاعل مركبات الإسمنت (يسار) C_2S (وسط) C_3S (يمين) OPC[2.6]

- **الخواص الطبيعية والميكانيكية** **Physical &Mechanical Properties**

1 . نعومة الإسمنت Fineness of Cement

إن أهمية هذه الخاصية تكمن وراء تدخلها في سرعة تصلب العجينة الإسمنتية، فالتفاعل الذى يتم بين الماء والإسمنت يبدأ على سطح الخلطة وينتقل شيئا فشيئا إلى الداخل ، وبالتالي كلما كان الإسمنت أكثر نعومة كلما ازدادت سرعة دخول الماء إلى تلك العجينة مما يؤدى إلى زيادة في سرعة التفاعل وبالتالي إلى سرعة التصلب ، أيضاء كلما كان الإسمنت أكثر نعومة كلما كانت قوة تماسك العجينة الإسمنتية أكثر . من جهة أخرى نجد أن تكلفة الإسمنت تزداد بزيادة درجة النعومة ، وتزداد متطلبات الجبس لتأجيل زمن الشك كلما ازدادت نعومة الأسمنت ، وتزداد كمية الماء القياسية لعجينة الإسمنت كلما زادت النعومة ، كما أن زيادة نعومة الإسمنت أكثر من اللازم تؤدى إلى قدرة حبيبات الإسمنت على امتصاص بخار الماء من الجو أثناء عمليات الطحن والتخزين وبالتالي شك وتصلب تلك الحبيبات الناعمة جدا مما يؤدى إلى فقد الإسمنت جزءا من مقاومته وكفاءته في التفاعل الكيميائي ؛ وتعتمد درجة نعومة الإسمنت على كل من مصدر مواد الخام ، طريقة التصنيع ، التركيب الكيميائي ، درجة الحرق ، درجة الطحن ومدة التخزين.هناك طريقة دقيقة لقياس نعومة الإسمنت وهى طريقة التحليل الحبيبي والتي تجرى بمساعدة مجموعات قياسية خاصة من المناخل ؛ المواصفات البريطانية تحدد كحد أدنى نعومة الإسمنت " $2250 cm^2/g$ ". كما يمكن تعيين المساحة السطحية النوعية للأسمنت باستعمال جهاز بلين(Blaine) شكل (2.8) حيث تعتمد فكرة هذا الجهاز

على أساس نفاذية ومرور الهواء من خلال طبقة من الإسمنت ، حيث يدفع الهواء الجاف خلال طبقة قياسية محددة من الإسمنت موضوعة في خلية النفاذية في كل من المانوميتر والفلوميتر وبالتالي يمكن حساب المساحة السطحية النوعية للأسمنت (S) مقدرة بالسم 2 / جرام من المعادلة التالية[3.1] :

$$S = \frac{K_1}{\circ}\sqrt{\frac{h_1}{h_2}} \quad \text{.....(1.2)}$$

حيث إن : $\circ$ ← كثافة الأسمنت ، K ← ثابت ، h_1 ← النقص في الضغط خلال الطبقة ، h_2 ← النقص في الضغط خلال أنبوبة مقياس السريان بين (25- 55)م في الكيروسين

الشكل (8.2) جهاز بلين (Blaine)لقياس نعومة الإسمنت[2.6]

2. التماسك أو الشك للإسمنت Setting time of Cement

الشك هو عبارة عن تحول العجينة الإسمنتية إلى الحالة الصلبة ، بينما التصلب هو اكتساب تلك العجينة المقاومة المطلوبة بعد تماسكها. تحدد المواصفات العالمية بداية ونهاية زمن الشك في الأنواع المختلفة من الإسمنت من خلال مقاييس اعتبارية لتلك الفترات ، في الأحوال العادية لايمكن تحديد فترة معينة للشك لأن التفاعل بين الإسمنت والماء يستمر لسنوات طويلة ، ولتحديد زمن الشك يجب تعريف المصطلحات التالية[3.1].

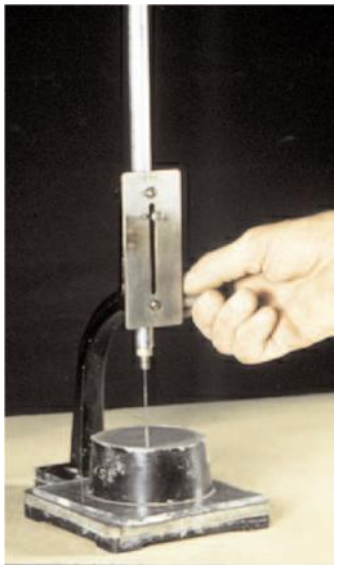
- **بداية زمن الشك Initial Setting Time**

هي الفترة الواقعة بين إضافة الماء للإسمنت وتحول العجينة الإسمنتية إلى الحالة الصلبة ، وبالتالي هي بداية فقدان العجينة الإسمنتية لقوامها اللدن ، وتسمى هذه الفترة أحيانا بزمن الشك الابتدائي ، وهو الزمن اللازم لنفاذ إبرة جهاز فيكات القياسية الرفيعة الخاصة بالشك الابتدائي مسافة وقدرها من 5- 7مم من قاع القالب.

• نهاية زمن الشك Final Setting Time

هي الفترة الواقعة بين إضافة الماء للإسمنت ونهاية تحول العجينة الإسمنتية إلى الحالة الصلبة ، وتسمى أيضا بزمن الشك النهائي ، وهو الزمن اللازم لفشل إبرة جهاز فيكات القياسية الكبيرة على ترك أثر على السطح العلوي للعجينة الأسمنتية في القالب.

يتم قياس هذه الفترات عن طريق تجربة فيكات "vicat " شكل (9.2) ، وكمثال للمواصفات العالمية نجد أن المواصفات البريطانية تنص على أنه يجب ألا يقل زمن بداية التماسك عن " 45 دقيقة " ولا يزيد زمن نهاية التماسك عن " 10 ساعات " وذلك حتى تعطى فرصة لخلط ونقل وصب ودمك الخرسانة في القوالب قبل الشك الإبتدائي وإعطاء أيضا فرصة كافية لتصلب العجينة الإسمنتية وقدرتها على الثبات تحت تأثير وزنها قبل الشك النهائي.



الشكل (9.2) جهاز فيكات (Vicat)لقياس القوام القياسي[2.6]

3. مقاومة الضغط للإسمنت Compressive Strength of Cement

المقاومة يمكن تعريفها بأنها مقدار قوة الضغط التي تتحملها العجينة الإسمنتية ، مقاومة الضغط للإسمنت تتأثر بدرجة كبيرة بنسبة ومحتوي تركيبه الكيميائي ، وكل من درجة حرقه ونعومته. فعلى سبيل المثال نجد أن الإسمنت غير المحروق جيدا مقاومته أقل من الجيد الحرق ، كذلك الإسمنت ذو درجة نعومة عالية مقاومته أكبر من الأقل نعومة وخاصة في المراحل الأولى. من أجل قياس مقاومة الإسمنت تستخدم كافة المواصفات العالمية نماذج معينة نظامية (الشكل 10.2) تجرى عليها التجارب المتعلقة بهذه الخاصية ،

لذلك يجب أن تكون الخلطات التي يتم إجراء الاختبار عليها دقيقة وطبقا للمواصفات فمثلا بالنسبة للخلطات ، يجب أن يكون الرمل قياسيا وأن يكون نظيفا وبوزن نوعيً محدد.

الشكل (10.2) القوالب المستخدمة في قياس مقاومة الإسمنت[2.6]

4 . ثبات الحجم Soundness of Cement

خاصية ثبات الحجم للإسمنت تعرف على أساس خلوه من المواد والعناصر التي تقلل من مقاومته ومتانته ، وينتج عن عدم ثبات حجم الإسمنت بعد تصلبه حدوث تشققات وتفتت كتلة الإسمنت بسبب تمدد المواد والعناصر الضارة الموجودة به. وتعزى ظاهرة عدم ثبات الحجم للإسمنت إلى عدة عوامل ، منها تفاعل الجير الحر الموجود في حبيبات الإسمنت مع الماء الذي يعمل على تمدد الجير بحجم أكبر محدثا قوة داخلية تعمل على تفتت وتشقق الإسمنت ، أيضا من أسباب عدم ثبات الحجم احتواء الإسمنت على نسبة عالية من كل من المغنيسيوم (أكثر من 4٪) والكبريتات (أكثر من 3٪). ويمكن التقليل من تلك الظاهرة بالحرق والطحن الجيد للمواد الخام الذي يعمل على تقليل الجير الحر المحتمل وجوده في الكلنكر ، بالإضافة إلى الطحن الجيد لحبيبات الكلنكر التي تؤدى بدورها إلى تعريض الجير الحر إلى تميوئه بسرعة ، وبالتالي الحصول على إسمنت أكثر ثباتا في الحجم ؛ ويمكن معرفة مدى ثبات حجم الإسمنت من عدمه وذلك باستخدام جهاز لوشاتيليه (Le chatelier)[3.1].

3.1.2.2 تفاعل الأسمنت Hydration of Cement

عند وضع الماء على الأسمنت يبدأ التفاعل مباشرة بين مركبات الإسمنت وجزيئات الماء ، فعند إضافة الماء يتم التفاعل بين C_3S ، C_2S والماء ويكون ناتج التفاعل هو عبارة عن $C_3S_2H_3$ كالسيوم سيليكات هيدرات وكالسيوم هيدروكسايد $Ca(OH)_2$ كما هو موضح في المعادلات الكيميائية التالية:

$$2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_3H_3 + 3Ca(OH)_2 \quad .....(2.2)$$

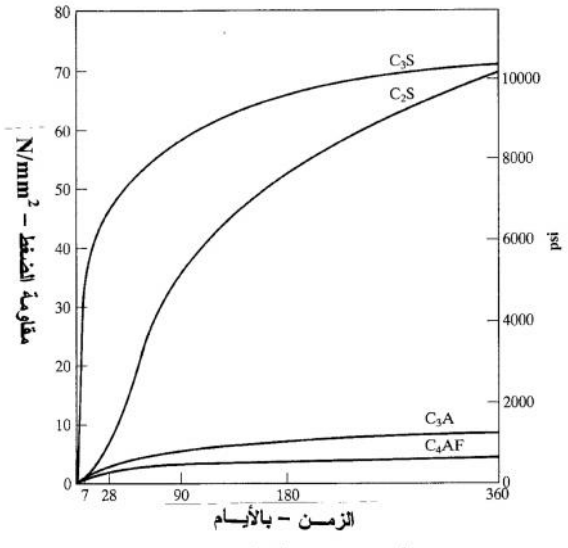
$$2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_3H_3 + 2Ca(OH)_2 \quad .....(3.2)$$

المركب الناتج وهو " $C-S-H$ " هذا المركب هو المركب الذي يعطى الصلابة للخرسانة في كلتا الحالتين ، ولكن في المعادلة الأولى نجد أن التفاعل الذي يحصل مع C_3S يكون أسرع من C_2S وكذلك الحرارة الناتجة من التفاعل تكون أيضا أشد ؛ التفاعل الذي يتم بين الماء و C_3S شديد جدا ويؤدى إلى التصلب السريع للعجينة الإسمنتية " flash setting " ولكي نمنع هذا التصلب السريع يضاف الجبس للإسمنت في مراحل تصنيعه.

$$C_3A + 26H + 3CSH_2 \rightarrow C_3A_3CSH_{32} \quad .....(4.2)$$

$$C_3A + 10H + CSH_2 \rightarrow C_3ACSH_{12} \quad .....(5.2)$$

عليه كلما زادت كمية الألومينات في الإسمنت كلما زادت نسبة إضافة الجبس. الشكل (11.2) يبين سرعة كل مركب من مركبات الإسمنت الأساسية لمقاومة الضغط.



الشكل (11.2) سرعة مقاومة الضغط للمركبات الأساسية[2.5]

4.1.2.2 استعمالات الإسمنت البورتلاندي العادي Uses of normal portlandcement

يستعمل هذا النوع من الإسمنت في معظم المنشآت وأعمال البناء والإكساء وذلك في أي حالة عدا الحالات التالية :-

1. الأعمال البحرية والأعمال الخاصة بالمياه الجوفية
2. الأعمال التي تتطلب الحصول على سرعة عالية وسريعة لتماسك الخرسانة
3. الأعمال التي تتطلب الحصول على مقاومة عالية وسريعة للخرسانة
4. الأعمال التي تتطلب انتشار حرارة منخفضة نتيجة التفاعلات الكيميائية للإسمنت
5. الأعمال التي تتطلب أن يكون فيها للخرسانة لون معين غير المألوف

2.2.2 الإسمنت البورتلاندي سريع التصلب Rapid-Hardening Portland Cement

يتميز هذا النوع بسرعة تصلبه وذلك فى المراحل الأولى من عملية التصلب مقارنة بالإسمنت البورتلاندي العادي ، وذلك بسبب ارتفاع نسبة المركب C_3S ونعومته العالية، ويستعمل هذا النوع من الإسمنت فى الحالات التى يرغب الحصول فيها على مقاومة سريعة يتم بموجبها فك الشدات الخشبية فى مدة قصيرة ، والتركيب الكيميائي لهذا النوع من الإسمنت مشابه للتركيب الكيميائي للإسمنت البورتلاندي العادي مع زيادة نسبة المواد الكلسية عن المواد الأخرى ، وبطحنه إلى بودرة أكثر نعومة ؛ ومن مساوئ هذا النوع من الإسمنت زيادة سرعة انتشار الحرارة الناتجة من عملية التفاعل وزيادة فى سرعة التقلص الناتج وحجمه ، ولذلك عند استخدامه يجب أخذ الاحتياطات التالية :

1. عدم استعماله فى الحجوم الكبيرة.
2. عدم استعماله بنسب كبيرة فى الخلطات لأنه يؤدى إلى زيادة حجم التقلص.
3. العناية بفواصل التمدد.
4. العناية بالتسليح المقاوم لتأثير التقلص.

3.2.2الإسمنت البورتلاندي الأسرع تصلبا Special rapid-Hardening Portland Cement

يحصل هذا النوع من الإسمنت بإضافة عامل مسرع إلى الإسمنت سريع التصلب ، وذلك يكون بزيادة نسبة 2٪ تقريبا من $CaCL_2$ بهدف تسريع التماسك ، وبذلك يكون لهذا الإسمنت نفس مميزات الإسمنت البورتلاندي سريع التصلب مع زيادة في سرعة التصلب بحدود الضعف ، كما أن له مساوئ الإسمنت سريع التصلب نفسها.

4.2.2الإسمنت البورتلاندى منخفض الحرارة Low-heat Portland Cement

يتميز هذا النوع من الإسمنت عن الإسمنت البورتلاندي العادي بانخفاض في درجة حرارة التفاعل وذلك بسبب التركيب الكيميائي له ، حيث تتم زيادة نسبة C_2S وتخفيض نسبة C_3S و C_3A مع زيادة في درجة النعومة ، ومن مميزات هذا النوع من الإسمنت إمكانية استخدامه في الكتل الخرسانية الضخمة بسبب انخفاض كمية الحرارة الناتجة من التفاعل الكيميائى ، حيث إن الحرارة الناتجة من الإسمنت البورتلاندي العادي تصل إلى 80 كالوري/غ بينما الحرارة الناتجة من الإسمنت البورتلاندي منخفض الحرارة تتراوح ما بين 40-60 كالوري/غ. ومن مساوئ هذا النوع من الإسمنت الضعف النسبي في المقاومة عن الإسمنت العادي والبطئ في التصلب والتماسك ، ولذلك عند استخدامه يجب أخذ الاحتياطات التالية :

1. عدم استعماله في الحالات التي تحتاج إلى مقاومة عالية أو سرعة في التنفيذ.
2. يفضل استعماله في الجدران الساندة والسدود والكتل الخرسانية بشكل عام.
2. الاهتمام بالمعالجة من حيث المدة والطريقة المناسبة.
3. ضرورة مراعاة الفترة اللازمة لفك الشدات الخشبية.

5.2.2 الأسمنت البورتلاندى المقاوم للكبريتات Sulphate-resisting Portland Cement

هذا الإسمنت يحتوى على نسبة قليلة من C_3A وذلك في حدود 3.5٪ مع نعومة قليلة في حدود $2500cm^2/g$ طبقا للمواصفات البريطانية ، ويتميز هذا النوع من الإسمنت بمقاومته العالية للمركبات الكبريتية ، ولذلك فهو يناسب الأعمال البحرية وأعمال الأساسات في المناطق ذات المياه الجوفية السطحية ، وبشكل خاص المياه الحاوية على أملاح كثيفة مع احتفاظه بنفس خواص الإسمنت البورتلاندي العادي.

6.2.2 الإسمنت البورتلاندي الأبيض White Portland Cement

لأغراض معمارية يتم إنتاج الإسمنت البورتلاندي الأبيض وذلك باستخدام china clay الذى يحتوي على نسبة بسيطة من أكاسيد الحديد والماغنيسيوم ، بالإضافة إلى chalk ، على العموم من الناحية الميكانيكية ، الأسمنت الأبيض له نفس خواص ومواصفات الإسمنت البورتلاندي العادي ، إلا أنه أكثر كلفة من الناحية الاقتصادية.

7.2.2الإسمنت البورتلاندي الملون Coloured Portland Cement

الإسمنت الملون هو عبارة عن الإسمنت البورتلاندي العادي أو الأبيض مضافاً إليه أكاسيد ملونة ، بحيث تكون هذه الأكاسيد الملونة ذات مواصفات فيزيائية وكيميائية خاصة مثل:

1. ثبات اللون بتأثير الضوء والعوامل الأخرى.
2. تركيبها الكيميائي لايؤثر على الإسمنت ولا يتأثر به.
3. عدم وجود أملاح قابلة للإنحلال بالماء.

8.2.2 الإسمنت عالي الكبريتات Supersulphated Cement

هذا النوع من الإسمنت يصنع من خليط يتكون من (80-85٪) من خبث أفران الصلب و (10-15٪) جبس مع 5٪ تقريبا من الكلينكر الإسمنتي الناتج عن صناعة الإسمنت البورتلاندي العادي ودرجة نعومته تتراوح ما بين $m^2/kg400-500$. يتميز هذا النوع من الإسمنت بمقاومته الجيدة للمركبات الكيميائية الضارة بالإسمنت البورتلاندي وانخفاض درجة حرارة تفاعله ، لذا فإنه يستعمل في الأعمال البحرية والكتل الخرسانية الكبيرة ، وعند استخدامه يجب أخذ الاحتياطات التالية :

1. عدم استعماله في المعالجات الحرارية.
2. عدم تعريضه لحرارة عالية ، حيث إن ذلك يؤدي إلى انخفاض مقاومته.
3. احتياجه إلى كمية من الماء أكبر من الإسمنت البورتلاندي العادي.

9.2.2 الإسمنت عالي الألومينيا High-alumina Cement

الإسمنت عالي الألومينية كان السبب الأساسي في إنتاجه هو مقاومة هجوم الكبريتات على الخرسانة ، ولكن بعد ذلك سرعان ما أصبح يستعمل للحصول على تصلب سريع للخرسانة ؛ المواد الأولية التي تدخل في صناعة هذا النوع من الإسمنت هي البوكسيتAl_2o_3 و الأحجار الكلسية chalk وطريقة تصنيعه تختلف كليا عن طريقة تصنيع الإسمنت البورتلاندي العادي من حيث نوع الفرن ودرجات الحرارة ؛ من خواصه سرعة التصلب العالية ، حيث يكتسب حوالي 80٪ من مقاومته خلال 24 ساعة ، السطح النوعي يتراوح ما بين $2500-3200cm^2/g$، حرارة تفاعل عالية تصل إلى 9 كالوري/غ/ساعة في الفترة الأولى من التصلب. عند استخدام هذه النوعية من الإسمنت يجب أخذا لإحتياطات التالية:

1. عدم استعماله في الكتل الخرسانية الكبيرة بسبب الحرارة العالية الناتجة عن التفاعل.
2. الانتباه إلى انخفاض مقاومته بوجود الجو الحار والرطب معا.
3. عدم استعمال خلطات غنية بالإسمنت.

10.2.2 الإسمنت البورتلاندي البوزلاني Portland-Pozzolan Cement

الإسمنت البورتلاندي البوزلاني يصنع بطحن الكلنكر مع نسبة تتراوح من 10- 25٪ من المواد البوزلانية ؛ المواد البوزلانية هي عبارة عن مواد سيلكياتية أو ألومينياتية لا تتفاعل مع الماء مباشرة وإنما تتفاعل في وجود الماء مع الكالسيوم هيدروكساييد الناتج عن تفاعل الإسمنت البورتلاندي العادي مع الماء في درجة الحرارة العادية ؛ المواد البوزلانية المستخدمة إما أن تكون طبيعية مثل الطين المحروق (الكاولينة) أو صناعية مثل مخلفات مناجم الفحم (Flay ash)، ومخلفات مصانع الحديد والصلب (Slag) ، و Silica fume.
التفاعل البوزلاني يمكن توضيحه من خلال المعادلة التالية:

$$\text{Calcium hydroxide} + \text{Pozzolana} + \text{Water} \rightarrow \text{C-S-H gel}$$

الإسمنت البورتلاندي البوزلاني تنتج عنه حرارة تفاعل أقل مقارنة بالإسمنت البورتلاندي العادي ، كما أن المقاومة المبكرة ستكون أقل من المقاومة الناتجة عن الإسمنت البورتلاندي العادي نظرا للتفاعل البطئ ، ولكن مع الزمن الإسمنت البورتلاندي البورزلاني يعطي مقاومة أكبر في حال تمت معالجة الخرسانة بالشكل المطلوب؛ وهناك بعض المميزات للإسمنت البوزلاني مثل :

1. الإسمنت البوزلاني أقل كلفة من الإسمنت البورتلاندي العادي.
2. الإسمنت البوزلاني يستهلك الكالسيوم هيدروكساييد ولا ينتجه.
3. الإسمنت البوزلاني يقلل من حرارة التفاعل وسرعته.
4. الإسمنت البوزلاني يقلل من نفاذية الخرسانة ويزيد في متانتها.

11.2.2 إسمنت أبار النفط Oil Well Cement

يستخدم هذا النوع من الإسمنت في حقول النفط وفي العجينة الإسمنتية لأنابيب النفط.

الفصل الثالث

الركـــام

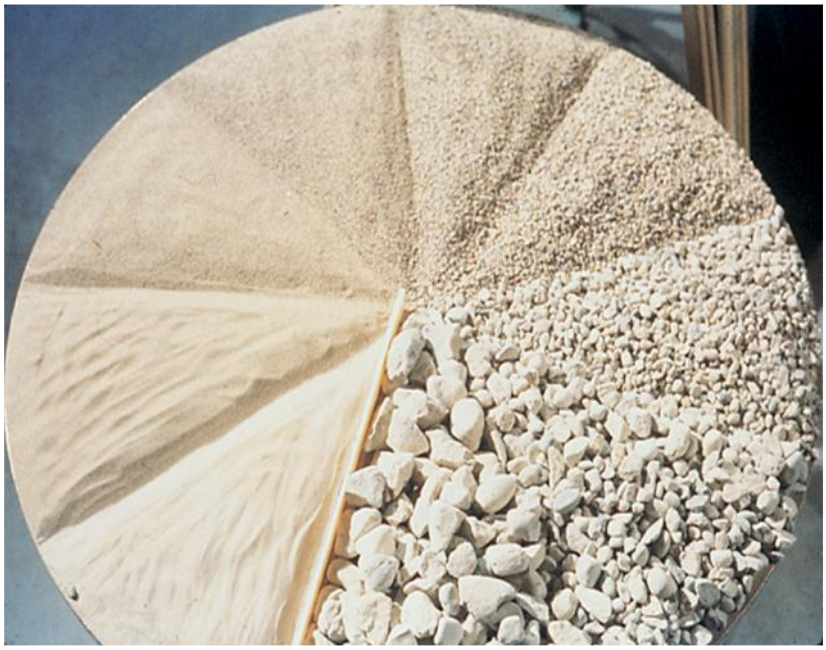
AGGREGATES

1.3 مقدمة Introduction

يمثل الركام الجزء الأكبر في الخلطة الخرسانية حيت تمثل نسبة الركام حوالي 75٪ من حجم الخرسانة ولذلك ليس من المستغرب التأكيد على جودته ، ليس فقط لأنها ستؤثر على مقاومة الخرسانة الناتجة ، ولكن أيضا لتأثير خواصه على متانة المنشآت الخرسانية؛ يقصد بالركام تلك المواد الحبيبية التي تشكل الحجم الأكبر للكتلة الخرسانية بحيث تربط بينها العجينة الإسمنتية ، ويكون مصدر الركام ذا المنشأ الطبيعي، إما من الصخر الطبيعي ، أو من نواتج الترسب الطبيعي في أحواض الأنهار وأسفل السهول، أو نتيجة الرياح ، أو من نواتج تكسير كتل الحجارة والصخور الكبيرة.

2.3 تصنيف الركام :

يقسم الركام من حيث حجم الحبيبات إلى ركام ناعم متوسط ، قطر حبيباته لا يزيد عن 5 مم ، وركام خشن ، قطر حبيباته يزيد عن 5 مم ،والشكل (1.3) التالي يوضح تدرج حبيبات الركام.



الشكل (1.3) تدرج حبيبات الركام[2.6]

والفوائد الرئيسية لاستعمال الركام في الخلطات الخرسانية متعددة منها :

1. يعتبر الركام من أرخص المواد الداخلة في صناعة الخرسانة.
2. يخفف من التغيرات الحجمية الناجمة عن تصلب العجينة الإسمنتية وتغيرات نسبة الرطوبة.
3. يحقق الركام معظم خصائص المقاومة والمرونة والتغيرات الجوية .. وغيرها.

3.3 متطلبات الركام Requirements of Aggregates

1. تجانس الحبيبات ، وخلوها من المواد العضوية والأتربة.
2. تحقيق المتانة والمرونة ضمن الحدود المطلوبة بشكل لا تقل معه مقاومته عن مقاومة العجينة الإسمنتية الرابطة.
3. أن يكون خاليا من الشوائب.
4. تركيبه الكيميائي لا يسمح له الانحلال بالماء.
5. أن يكون معامل التمدد الحراري له مقاربا لمعامل التمدد الحراري للعجينة الإسمنتية.
6. التدرج الحبيبي يكون ضمن حدود المواصفات.
7. مقاومته للصقيع والعوامل الخارجية جيدة.
8. يجب أن يكون شكل حبيبات الركام الخشن قريبا إلى الكروي ما أمكن ، ويفضل خلوها من الحبيبات المسطحة والعصوية.
9. قابليته لامتصاص الماء منخفضة.

4.3 خواص الركام Properties of Aggregates

يشكل الركام كما سلف ذكره الحجم الأكبر للكتلة الخرسانية ، ولذلك يجب أن يكون ذا خواص جيدة تتطلبها صناعة الخرسانة لتحقيق الفائدة المرجوة منها؛ ومن هذه الخواص :

1.4.3 مقاومة الركام Strength of Aggregates

يجب ألاّ تقل مقاومة الركام للكسر عن مقاومة العجينة الإسمنتية ، ونظرا لصعوبة القياس المباشر للمقاومة فإنه من المتبع في ذلك اللجوء إلى القياس غير المباشر ؛ وتجربة لوس أنجلوس الشهيرة هي الأكثر انتشارا ، حيث يطحن وزن معين من الركام الخشن في جهاز دوار يحتوى على كرات معدنية لفترة معينة؛ تم يقاس وزن المواد التي تقل أبعادها

عن (25mm) بعد الطحن ، وتقارن بما كانت عليه قبل الطحن ؛ ويعتبر الركام الخشن مقبول المقاومة إذا لم يزد وزن المواد الناعمة عن 45٪ للسطوح غير المعرضة للاحتكاك وعن30٪ بالنسبة للسطوح المعرضة للاحتكاك.

2.4.3 التدرج الحبيبي للركام Sieve analysis of Aggregates

لدراسة التدرج الحبيبي للركام الخشن والناعم هناك طريقة تعرف بالاختبار المنخلي "Sieve analysis " وهى عبارة عن مجموعة مناخل قياسية بأشكال وفتحات معينة تحدد طبقا للبلد المصنع ، وفى هذا الصدد تم اختيار مجموعة المناخل القياسية طبقا للمواصفات البريطانية " BS812 " ويمكن تصنيف هذه المناخل إلى نوعين :

1.مناخل قياسية ، فتحاتها بالمليمتر وتستخدم لدارسة التدرج الحبيبي للركام الناعم وهي :

5.0mm , 2.36 mm , 1.18mm , 600 nm , 300 nm , 150nm

2.مناخل قياسية ، فتحاتها بالمليمتر وتستخدم لدراسة التدرج الحبيبي للركام الخشن وهي:

75mm , 50mm , 37.5mm , 20mm , 14mm , 10mm

وهذه المناخل مصنوعة من أسلاك متشابكة وليس من صفائح مثقبة ، ولقياس التدرج الحبيبي للركام الخشن أو الناعم عن طريق استخدام هذه المناخل يجب اتباع الآتي: -

تجرى هذه التجربة من خلال امرار عينة مخلوطة من كافة المقاسات ، وذات وزن محدد سابقا على مجموعة مختارة من المناخل القياسية ، وذلك بعد تجفيف العينة ، يتم هز المناخل بشكل يدوي أو ميكانيكي بكافة الاتجاهات ، أي بصورة أفقية ورأسية ودوران ؛ وذلك لمدة كافية من الزمن تستطيع الحبيبات خلالها المرور من الفتحات التي هي أكبر منها في المناخل.

تقاس بعدئذ أوزان الكميات المحجوزة من الحبيبات على كل منخل بواسطة ميزان حساس ، وتنسب أوزانها إلى الوزن الكلى للعينة لتحديد النسب المئوية المارة والمحجوزة على كل منخل قياسي من المجموعة المستخدمة؛ يراعى عند إجراء التجربة نظافة المناخل ، مع ملاحظة أنه لا يجوز إجبار الحبيبات على المرور قسرا من الفتحات المختلفة للمناخل؛ بعد إتمام الخطوات المذكورة يحدد المقاس الاعتباري للركام الخشن.

- **مجالات الأبعاد للحبيبات Particle Size Distribution**

للتعبير عن الحدود النظامية لمقاسات الحبيبات المستخدمة في الخرسانة غالبا ما تحدد المواصفات مجالات معينة تمثلها منحنيات تدرج حبيبي تعطي قيما دنيا وعظمى نموذجية للنسب المارة ، أو تعطى في جداول خاصة بذلك ، ويجب أن يقع منحنى التدرج الحبيبي النظامي لنوع معين من الحبيبات ضمنها؛ فطبقا للكود البريطاني فإن هذه المجالات تقسم كالتالي :

1.الركام الناعم Fine Aggregates

يقسم الركام الناعم إلى ناعم ، ومتوسط ، وخشن تبعا للحدود الموضحة بالجدول التالي والناجمة عن التدرج الحبيبي الذي تم عمله على مجموعة من المناخل القياسية المعتمدة بالمواصفات البريطانية :

الجدول (1.3) حدود التدرج الحبيبي للركام الناعم

فتحة المنخل ملم	نسبة المار بالوزن ٪			المجالات العامة للرمل ٪
	الرمل الخشن	الرمل المتوسط	الرمل الناعم	
10	–	–	–	100
5	–	–	–	89 - 100
2.36	60 – 100	65 – 100	80 – 100	60 - 100
1.18	30 - 90	45 – 100	70 – 100	30 - 100
0.60	15 - 54	25 – 80	55 – 100	15 - 100
0.30	5 - 40	5 – 48	5 – 70	5 - 70
0.15	–	–	–	0 - 15

2. الركام الخشن Coarse Aggregates

يعتبر الركام الخشن ذا تدرج مقبول إذا كانت نتائج التحليل الحبيبي للعينة بالمناخل القياسية المعتمدة ضمن حدود الجدول التالي طبقا للمواصفات البريطانية :

الجدول (2.3) حدود التدرج الحبيبي للركام الخشن

فتحة المنخل	المقاس الاعتباري الأكبر (ملم)				
ملم	40	20	14	10	5
	نسبة المار بالوزن ٪				
75	100	–	–	–	–
50	100	–	–	–	–
37.5	85 - 100	100	–	–	–
20	0 - 25	85 – 100	100	–	–
14	–	–	85 - 100	100	–
10	0 - 5	0 – 25	0 - 50	85 - 100	100
5	–	0 – 5	0 - 10	0 - 25	50 – 100
2.36	–	–	–	0 - 5	0 – 30

3.4.3 المقاس الاعتباري الأكبر للركام Maximum Aggregate size

يعرف المقاس الاعتباري الأكبر للركام بأنه أصغر فتحة لمنخل من مجموعة المناخل القياسية المستخدمة ، تمر منه نسبة تساوى أو تزيد عن 95 ٪ وزنا من العينة المختبرة. يحدد المقاس الاعتباري الأكبر للركام من خلال أكبر بعد لحبيباته ، وعادة لا يتجاوز المقاس الاعتباري الأكبر للركام المستعمل في الخلطة الخرسانية عن ربع سماكة العنصر المصبوب ، أو المسافة بين أى قضيبي تسليح متجاورين , أيهما أقل .

4.4.3 الوزن النوعي والوزن الحجمي Bulk Density

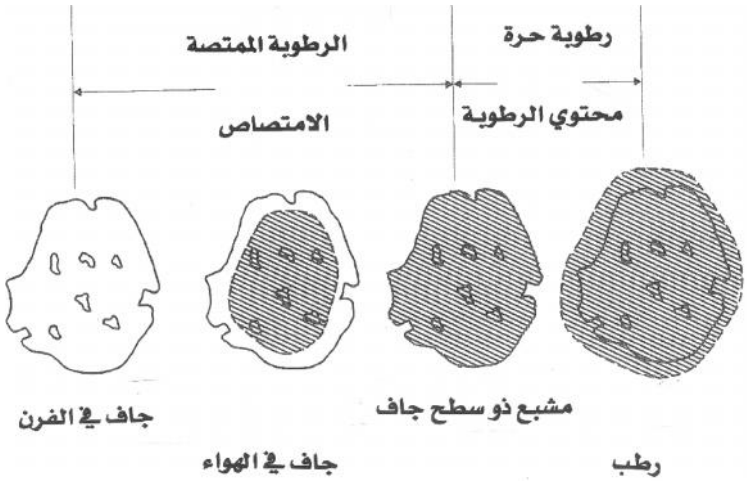
يعرف الوزن النوعي بشكل عام بأنه الوزن للمادة لوحدة الحجم بدون فراغات ، أما الوزن الحجمى فهو وزن وحدة الحجم مع الفراغات الهوائية ، ومن الواضح أن الوزن الحجمى غير ثابت؛ إن تجارب تحديد الوزن النوعي والوزن الحجمى سهلة وتجرى لتحديد نسب المواد الحجمية أو الوزنية عند تصميم الخلطات الخرسانية بشكل عام ، وفى حالة عدم إمكانية عمل تلك الاختبارات يمكن اعتبار قيمة الوزن النوعي للركام الخشن المكسر (الناتج من خلال محاجر تكسير الصخور) $2.6\ t/m^3$ وللركام الخشن غير المكسر (الطبيعي) $2.7\ t/m^3$ ، أما الوزن الحجمى فيختلف حسب درجة الرص وشكل الحبيبات.

الشكل (2.3) الميزان الحساس لوزن العينة في الماء

5.4.3 امتصاص الركام Absorption of Aggregate

يحتوى الركام على فراغات صغيرة ضمن ذراته تمتص الماء عند خلط الخرسانة ، وتؤثر زيادة هذه الفراغات في مقاومة الخرسانة الناتجة وفى تماسك الركام مع العجينة الإسمنتية؛ الفراغات في الركام تختلف في حجمها وفى كل الأحوال ، فإن أصغر الفراغات هي أكبر من الفراغات الجيلاتينية في العجينة الأسمنتية؛ بعض الفراغات في الركام تكون مغلقة وموجودة بالكامل داخل حبيبات الركام ولكن بعضها الآخر يكون متصلاً بسطحها ، وبالتالي يمكن عبرها نفاذ الماء إلى داخل حبيبات الركام ، كمية ومعدل نفاذية الماء يعتمد على حجم الفراغات ومدى اتصالها بعضها البعض. عندما تتشبع جميع فراغات الركام بالماء يسمى الركام بالركام المشبع وسطحه جاف ، وإذا وضع هذا الركام في الهواء الطلق سيتبخر جزء من الماء منه ويصبح الركام جافاً بالهواء ، وعندما يوضع الركام بالفرن لتجفيفه سيتم تبخر جميع الماء من الفراغات، ويصبح الركام جاف تماما ، وبذلك يسمى جافاً بالفرن ، هذه الحالات بالإضافة إلى الحالة المشبعة تماما (الرطبة) موضحة بالشكل (3.3)؛ لتحديد نسبة الامتصاص للركام تجفف عينه منه لمدة 24 ساعة بالفرن وتوزن ، تم تغمر بالماء وتوزن مرة أخرى

وتعرف نسبة الامتصاص بأنها النسبة المئوية للفرق بين الوزنين مقسماً على الوزن الجاف ، ويفضل ألاّ تزيد نسبة الامتصاص على 1-2 ٪.



الشكل (3.3) تمثيل تخطيطي للرطوبة في الركام[2.5]

6.4.3 تصنيف النسيج والشكل Shape and Texture Classification

يمكن تقسيم شكل حبيبات الركام الخشن إلى الأشكال التالية، وكما في الشكل(3.4):

1. كروي، وهو طبيعي ويتكون بفعل عوامل الترسب والجرف الذي تسببه العوامل الطبيعية.
2. ذو رؤوس حادة ، ينتج عن تكسير الصخور الطبيعية في الكسارات.
3. منبسط أو مفلطح.
4. عصوي ، وهو مسطح بسماكات صغيرة ، ينتج عن تكسير الصخور الطبيعية.
5. غير منتظم ، من نواتج تكسير الحبيبات الكبيرة للزلط أو الحجارة الطبيعية.

الشكل (3.4) أشكال حبيبات الركام الخشن[5.1]

ويمكن التعرف على أنواع الحبيبات من خلال شكلها الظاهري كالآتي :-

1. الحبيبات الناعمة : وتنتج عن الرخام المكسر أو بعض الصخور النارية وتكون مصقولة الشكل بفعل المياه أو التكسير.
2. الحبيبات الزجاجية: هي عبارة عن نوع من الصوان الأسود صدفي الشكل.
3. الحبيبات الخشنة : تتكون غالبا من البازلت أو الحجر الكلسي وتتميز بنيتها ببلورات ناعمة جدا تصعب رؤيتها بالعين المجردة.
4. حبيبات الحجر الرملي : مستديرة الشكل ومنتظمة إلى حد ما تنتج عن المحاجر.
5. حبيبات بلورية : حصويات تحتوى على بلورات واضحة منشؤها نواتج تكسير أنواع خاصة من الصخور كالغرانيت.

ويؤثر شكل حبيبات الركام على مقاومة الخرسانة المنتجة وجودتها ، إذ إن كمية العجينة الإسمنتية تزيد بزيادة مجموع سطوح الحبيبات، لذلك نجد أن استخدام الحبيبات المكورة تمتاز عن بقية الأشكال بهذه الناحية، كما أن مقاومة الخرسانة المصنعة من الركام المكسر عادة ما تكون أعلى من مقاومة الخرسانة المصنعة من الركام غير المكسر .

5.3 توصيات الكود العربي Arabic Code Recommendations

يحدد الكود العربي الخواص التي يجب أن تتحقق في الركام المستعمل في الخلطات الخرسانية كما يلي[2.1] :-

1. يكون مصدر الركام إما من الصحراء أو من مجاري الأنهار أو من كسر الصخور أو من مواد مصنعة مثل الطين المحروق أو من خبث الحديد أو غيرهما، ولا يجوز استعمال الركام الصغير(الرمل) من شواطئ البحار إلا بعد إجراء تجارب عليه في مختبر معترف به.

2. يكون الركام الكبير (الشرشور) والركام الصغير (الرمل) في الخرسانة من الزلط والرمل أو كسر الحجارة أو خليط منهما ، وفى جميع الأحوال يجب أن يفي الركام الكبير والركام الصغير بحدود المواصفات القياسية الوطنية الخاصة بركام الخرسانة من المصادر الطبيعية أو بركام الخرسانة المصنع في حالة سماح المواصفات والكودات الوطنية باستخدامه.

3. يجب أن يتكون ركام الخرسانة من حبيبات الركام الصغير والركام الكبير على أن تكون هذه الحبيبات صلدة وقوية الاحتمال ونظيفة وخالية من المغلفات الملتصقة أو المواد

الغريبة كأوراق الشجر أو نفايات الأخشاب ، وتكون المقاسات المختلفة للحبيبات موزعة توزيعا منتظما في الخليط الشامل.

4. يجب ألاّ تحتوى حبيبات الركام على مواد ضارة بالخرسانة بحديد التسليح ، مثل الأملاح أو بيريت الحديد أو الفحم أو الميكا أو الطين أو ما شابهما من المواد ذات الرقائق الطبقية أو الحبيبات الرقيقة المفلطحة أو العصوية ، وألا تحتوى على شوائب عضوية بكمية تؤثر تأثيرا ضارا على شك أو تصلد الخرسانة أو مدى تحملها مع مرور الزمن أو على حديد التسليح.

5. في حالة استخدام ركام من غير الموارد الطبيعية يجب التحقق من مدى مقاومته وتحمله مع مرور الزمن وخلوه من المواد الضارة بالخرسانة أو بحديد التسليح.

6. يجب أن يكون الركام متدرجا طبقا للمواصفات القياسية الوطنية بمقاسات مختلفة للحبيبات موزعة توزيعا منتظما في الخليط الشامل بما يحقق إنتاج خرسانة سهلة التشغيل بأقل كمية من ماء الخلط مع عدم حدوث فراغات فيها؛ ويتم تحديد منحنيات التدرج النهائية للركام بناء على تجارب تأكيدية تجرى لهذه الغاية.

7. في حالة عدم توافر الركام بالتدرجات الحبيبية الواردة بالمواصفات القياسية الوطنية يمكن تحديد منحنيات تدرج حبيبي مناسبة بناء على دراسات وتجارب مختبرية بحيث يكون تدرج الركام المستخدم مناسبا للحصول على خرسانة سهلة التشغيل بأقل كمية من ماء الخلط وأعلى كثافة للكتلة الخرسانية.

8. يجب أن يكون المقاس الاعتباري للركام الكبير في الحدود المسموح بها في المواصفات القياسية الوطنية مع مراعاة أن يكون ذلك المقاس أقل من (0.2) البعد الأصغر بين جانبي شدة القطاع الخرسانى وأقل من ثلث سمك البلاطة الخرسانية وأقل من (0.75) المسافة بين أسياخ التسليح.

9.يجب أن تكون الكمية القصوى الكلية لمحتوى الكلوريدات مقدرة في صورة كلوريد أيونى كنسبة مئوية من وزن الركام طبقا لنوعية الخرسانة التي يستخدم بها الركام كما يلي :-

<u>الخرسانة المسلحة :</u>

لا تزيد النسبة على 0.04٪للركام الخشن

لا تزيد النسبة على 0.06٪للركام الناعم

لا تزيد النسبة على 0.06٪ للركام الخليط

<u>الخرسانة سابقة الصب:</u> لا تزيد النسبة على 0.015٪ للركام.

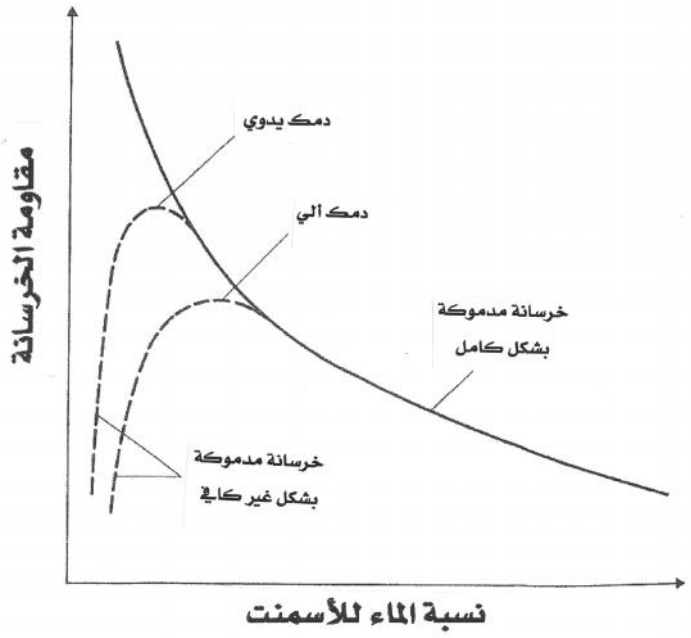
الفصـل الرابـع

مـــاء الخلط

MIXING WATER

1.4مقـدمة Introduction

الماء هو أحد المكونات الأساسية في الخلطة الخرسانية ، بدونه لا يمكن تصنيع الكتلة الخرسانية ، والماء الداخل في صناعة الخرسانة ينقسم إلى قسمين : الأول يعرف بالماء الكيمائي وهو كمية الماء اللازمة لإتمام التفاعلات الكيميائية بينه وبين مركبات الإسمنت ، وتتراوح نسبته تقريباً من 0.20-0.25 ، والثاني يعرف بالماء التشغيلي وهو كمية الماء اللازمة لإعطاء الخرسانة اللزوجة اللازمة "درجة التشغيل" لإمكانية نقلها وصبها في الأماكن المحددة لها وتحديد هذه النسبة يرجع للمهندس المصمم للخلطة الخرسانية ، بحيث يتم حسابها بكل دقة لكي تحقق الغرض المطلوب بدون تأثير على جودة الخرسانة المنتجة؛ وكما هو معروف أن زيادة كمية الماء في الخلطة الخرسانية له تأثير سلبي على مقاومة الضغط للخرسانة، أنظر الشكل (1.4)؛ لذا فإن الأسباب الداعية لاستخدام الماء في الخلطات الخرسانية يمكن تحديدها في سببين ، الأول إماهة الإسمنت والثاني إعطاء الخرسانة درجة التشغيل المطلوبة.



الشكل (1.4) علاقة نسبة الماء للإسمنت بالمقاومة[2.5]

2.4 اشتراطات استخدام مياه الخلط Recommendation for Mixing Water

يشترط في استخدام ماء الخلط النقاط التالية :

1. أن يخلو من الزيوت والشحوم والمواد الأخرى المشابهة.
2. أن يخلو من المواد الصلبة العالقة، كالقش وبقايا الخشب.
3. أن يخلو من المركبات الكيميائية مثل الكبريت ، الفوسفات ، الرصاص ، النحاس ، واليود.
4. أن يخلو من السكريات المنحلة أو الأملاح.

هذا ويعتبر الماء الصالح للشرب مادة نموذجية للأعمال الخرسانية.

3.4 توصيات الكودات العربية الموحدة Arabic Codes Recommendation

يحدد الكود العربي الخواص التي يجب أن تتحقق في الماء المستعمل في الخلطات الخرسانية والمعالجة كما يلي[2.1] :-

1. أن يكون الماء المستعمل في خلط الخرسانة نظيفاً وخالياً من المواد الضارة مثل الزيوت والأحماض والمواد العضوية , وأي مواد تؤثر تأثيرا متلفا على مكونات الخرسانة أو حديد التسليح.
2. يشترط في ماء خلط الخرسانة ألا يزيد محتوى الأملاح على :
   - 2.00 جرام في اللتر من الأملاح الكلية الذائبة (T.D.S)
   - 0.50 جرام في اللتر من أملاح الكلوريدات.
   - 0.60 جرام في اللتر من أملاح الكبريتات.
   - 1.00 جرام في اللتر من أملاح الكربونات والبيكربونات.
   - 0.10 جرام في اللتر من أملاح كبريتيد الصوديوم.
   - 0.20 جرام في اللتر من المواد العضوية.
   - 3.00جرام في اللتر من المواد غير العضوية وهى الطين والمواد المعلقة غير الرسوبية.
3. يجب ألاّ لايقل بصفة عامة الأس الهيدروجيني (PH) لماء الخلط عن (6) للخرسانة عالية الجودة وعن (7) للخرسانة التقليدية ، وفى حالة عدم إجراء هذا الاختبار لمصدر الماء في أعمال سابقة يجب إجراء تحليل للماء لمعرفة الرقم الفعلي .
4. يعتبر الماء الصالح للشرب ، باستثناء الاشتراطات البكتريولوجية مناسبا في جميع الأحوال لخلط الخرسانة ؛ وفى حالة عدم توافره يمكن استعمال ماء من مصادر أخرى

لخلط الخرسانة ومعالجتها بشرط استيفاء الشروط الواردة سابقا ، وذلك بالإضافة إلى ما يلي:

- ألا يزيد زمن الشك الإبتدائي لعينات الإسمنت المجهزة بهذا الماء على أكثر من 30 دقيقة على زمن الشك الإبتدائي لعينات بنفس الإسمنت جهزت بالماء الصالح للشرب ، وعلى ألاّ يقل زمن الشك الإبتدائي بأي حال عن 45 دقيقة.
- لا تقل مقاومة الضغط لمكعبات المونة القياسية بعد 7 و 28 يوم ، والتي استعمل فيها هذا الماء عن 90٪ من مقاومة الضغط لعينات مماثلة جهزت بماء خلط صالح للشرب عند نفس العمر ، مع استخدام القالب القياسي لاختبار المونة القياسية في كلا الحالتين.
- يجب عند تصميم الخلطة الخرسانية استخدام نفس نوع الماء الذى سيستخدم في الخلط عند تنفيذ المنشأ.

5. لا يسمح على الإطلاق باستخدام ماء البحر في خلط الخرسانة المسلحة أو الخرسانة سابقة الصب.

6. يجوز استخدام ماء البحر عند الضرورة في خلط الخرسانة العادية بدون تسليح على أن لا يزاد محتوى الإسمنت في الخلطة للوصول إلى المقاومة المطلوبة للخرسانة بشرط توافر الخبرة السابقة في استعماله بنجاح.

7. يعتبر الماء الصالح في خلط الخرسانة المسلحة صالحا للاستعمال في معالجة هده الخرسانة.

8. يجب ألاّ يحدث الماء المستخدم في المعالجة بقعا أو ترسبات غير مقبولة على سطح الخرسانة.

الفصل الخامس

الإضـــافات

ADMIXTURES

1.5 مقـدمة Introduction

تعرف الإضافات بأنها تلك المواد التي يتم إضافتها إلى الخلطة الخرسانية أثناء خلطها بنسب صغيرة جدا وذلك لتحسين بعض الخواص المتعلقة بالخرسانة الناتجة ، ويجب التأكد عند استخدام الإضافات من أن استخدام مادة معينة لتحسين خاصية معينة لا يؤثر في حدوث تأثيرات ضارة على الخصائص الأخرى؛ كما يمكن تعريف الإضافات بأنها عبارة عن مواد تضاف للخلطة الخرسانية لتحسين خواصها الطازجة والصلبة ، أو للحصول على خاصية معينة، وفى أواخر العقد المنصرم تزايدت الأبحاث في هذا المجال بهدف إنتاج خرسانة متينة؛ أصبحت المضافات إحدى تلك المواد الرئيسية المكونة للخلطة الخرسانية، وأصبحت الخرسانة المصنوعة بدون أضافات يمكن أن يطلق عليها خرسانة قديمة. وللإضافات الخرسانية استخدامات متعددة سواء في عمليات الخلط بالموقع أو في الخلطات المركزية ، أو في مصانع الخرسانة الجاهزة ، أو سابقة الإجهاد؛ كما تطور استخدام الإضافات أيضا حيث دخلت في صناعة مواد البناء ، كمصانع الطوب والبلاط لتقليل الهالك أو للحصول على نوعيات ذات إجهادات عالية ، أو للوفاء بالطلبات السريعة ، حيث يتم أستخدام الإضافات الخاصة بالحصول على إجهادات مبكرة لهذه العناصر، وتصنع هذه الإضافات بأشكال مختلفة ومن مركبات كيميائية ، متنوعة كما تأخذ أسماءً تجارية عدة بحسب المنتج لها ، لذا يمكن أن تكون على هيئة بودرة أو مسحوق أو مادة سائلة تستخدم طبقا لنشرة فنية ترفق عادة مع المادة من قبل المصنع ؛ والمهم في جميع الأحول ألاّ يكون لإضافة أية مادة للخرسانة تأثير سلبي على الخرسانة المنتجة.

الشكل (1.5) بعض أنواع المضافات للخرسانة[2.6]

ومن أهم الخواص التي يمكن تحسينها باستخدام المضافات هي :

1. تحسين تشغيلية الخرسانة بدون زيادة ماء الخلط.
2. تقليل معدل فقدان تشغيلية الخرسانة.
3. الحد من حدوث انفصال مكونات الخرسانة.
4. التعجيل أو التأخير في زمن الشك للخرسانة.
5. زيادة المقاومة المبكرة للخرسانة.
6. الحصول على خرسانة ذات مقاومة عالية.
7. زيادة متانة الخرسانة.

ومن أهم الاشتراطات الواجب توفرها في الإضافات هي :

1. يجب التأكد من أن استخدام أي مضاف ليس له تأثير سلبي على الخرسانة.
2. يجب التأكد من فعالية المضافات بإجراء خلطات تجريبية.
3. يجب أن تتناسب الفائدة المرجوة من استخدام مضاف بالزيادة في التكاليف.
4. يجب عدم إضافة أي مضافات تحتوي على كلوريدات في الخرسانات المسلحة.
5. يجب توريد الإضافات في عبوات محكمة الإغلاق وموجود عليها تاريخ الإنتاج والصلاحية.
6. يجب تخزين الإضافات في أماكن جيدة التهوية ومحمية من الرطوبة وأشعة الشمس.

2.5 أنواع الإضافات Type of Admixtures

توجد العديد من الإضافات التي تستخدم في الخلطات الخرسانية ومن أهم تلك الإضافات والأكثر استخداما وشيوعا هي :

1. الإضافات المحسنة للزوجة الخلطة ودرجة تشغيلها.
2. الإضافات المبطئة للتماسك.
3. الإضافات المسرعة للتماسك.
4. الإضافات المخفضة لكمية الماء (WRA).
5. الإضافات المخفضة العالية لكمية الماء (HWRA).
6. الإضافات المكونة لفقاعات الهواء.
7. الإضافات الملونة للخرسانة.

1.2.5 الإضافات المحسنة للزوجة الخلطة Viscosing Modified Admixture

يستخدم هذا النوع من الإضافات في الخلطات التي تقل نسبة الرمل والمواد الناعمة فيها عن الحد الطبيعي ، أو على الخلطات الحاوية على نسبة صغيرة من الماء إلى الإسمنت مما يتطلب رفع لدونة الخلطة؛ تصنع هذه المواد بأشكال مختلفة ومن مركبات كيميائية متنوعة ، كما تأخذ أسماء تجارية عدة بحسب المنتج لها ، لذا يمكن أن تكون على هيئة بودرة أو مسحوق أو مادة سائلة تستخدم طبقا لنشرة فنية ترفق عادة مع المادة من قبل المصنع.

2.2.5 الإضافات المبطئة للتماسك Set-Retarders Admixture

الغرض من هذه الإضافات هو تأخير بداية عملية التماسك ، وغالبا ما تستخدم بهدف زيادة المدة المطلوبة لمعالجة الخرسانة ونقلها وصبها قبل التصلب ، أو عندما تعترض الصب ظروف صعبة تطيل من فتراته أو حين الخشية من عدم إمكانية معالجة الخرسانة بالماء بعد الصب مباشرة ، ومن أهم المركبات المستخدمة المواد الكربوهيداتية والسكر وأملاح الزنك والفوسفات.

3.2.5 الإضافات المسرعة للتماسك Accelerators Admixture

الغرض من هذه الإضافات هو تسريع عملية تفاعل الإسمنت مع الماء وبالتالي تخفيض فترة بداية التماسك أو تسريع عملية التصلب؛ وتستخدم المواد المسرعة حين الحاجة إلى سرعة تنفيذ الأعمال وفك القوالب ، ومن أهم المركبات المستخدمة الهيدروكسيدات القلوية وأملاح الكربونات الذائبة والسيلكات ونترات الكالسيوم وكلوريد الكالسيوم.

4.2.5 الإضافات المخفضة لكمية الماء Water-Reducer Admixtures(WRA)

هذا النوع من المضافات يعرف أيضا باسم Plasticizer يعمل على تقليل نسبة الماء للإسمنت وذلك من خلال الآتي : المواد المضافة تمتص عن طريق سطح حبيبات الإسمنت التي تعطي للحبيبات شحنة سالبة تؤدى إلى تنافر في تلك الحبيبات؛ هذا التنافر يجعل كل حبيبة محاطة بالماء من جميع الجوانب مما ينتج عنه زيادة في درجة التشغيل للخرسانة.

باستعمال (WRA)يمكن تخفيض كمية الماء في الخلطة الخرسانية من 5- 15٪. كما أنه عند استخدام مثل هذه المضافات يجب التأكد من الآثار الجانبية مثل: انفصال مكونات الخرسانة، النضح ، ودرجة التشغيل العالية.

وتستخدم الإضافات المخفضة لكمية الماء في الحالات التالية :

- للحصول على مقاومة ضغط عالية للخرسانة بنفس درجة التشغيل.
- لزيادة مقاومة الضغط للخرسانة عن طريق تقليل نسبة الماء للإسمنت.
- لزيادة درجة التشغيل للخرسانة.
- لتقليل درجة النفاذية للخرسانة.

5.1.1 الإضافات المخفضة العالية لكمية الماء High Water-Reducers Admixtures(HWRA)

هذا النوع من المضافات يعرف أيضا باسم SuperPlasticizer يعمل على تقليل عال لنسبة الماء للإسمنت ، وذلك من خلال عملية الانفصال في حبيبات الإسمنت التي تتم عن طريق امتصاص تلك الحبيبات لحامض السيلفونيك (*Sulphonic acid*) عن طريق سطحها وبالتالي زيادة درجة التشغيل ؛ ويمكن باستعمال (HWR) تخفيض كمية الماء في الخلطة الخرسانية من 25- 35٪ . كما أنه عند استخدام مثل هذه المضافات يلاحظ أن هناك عدداً من الآثار الجانبية يجب التأكد منها مثل انفصال مكونات الخرسانة، النتوء درجة التشغيل العالية؛ وتستخدم الإضافات المخفضة العالية لكمية الماء في الحالات التالية :

- عند صب الخرسانة عن طريق المضخات.
- في الأسقف الكبيرة، عندما يكون هناك كثافة في تشابك حديد التسليح.
- لإنتاج مقاومة عالية بنفس درجة التشغيل.

الشكل (2.5) الحالات التي تستخدم فيها المضافات

6.2.5 الإضافات الناشرة لفقاعات الهواء Air-Entraining Admixture

من المعروف أن الماء حينما يتجمد يزداد حجمه وبالتالي يضغط على الخرسانة التي تحتويه ، إلا أن وظيفة هذه المواد هو تكوين فراغات غير متصلة ضمن الخرسانة لحمايتها من فترات التجمد ، ولمنع الظاهرة المذكورة من التأثير عليها ، كما تعمل هذه المواد أيضا على تخفيف الوزن الحجمي للخرسانة؛ ويتم ذلك إما بإضافة مواد تحدث رغوة أثناء خلط الخرسانة مثل بعض المركبات العضوية كالأصماغ الخشبية والزيوت أو عن طريق استخدام مواد صلبة تتفاعل مع الإسمنت وتنتج غاز الهيدروجين على هيئة فقاعات دقيقة مثل مسحوق بودرة الألمونيوم والزنك والماغنيسيوم.

7.2.5 الإضافات الملونة Colored Admixtures

تهدف هذه المواد إلى إعطاء الخرسانة ألوانا خاصة لأسباب معمارية وهى عبارة عن أكاسيد معدنية وهى متوفرة في صورة مواد طبيعية أو صناعية ويشترط فيها أن تكون خاملة كيميائيا وألا تزيد نسبتها عن 10٪ من وزن الخرسانة ومن أهم المواد المستخدمة على سبيل المثال لا الحصر أكسيد الحديد الأحمر للون الأحمر ، أكسيد الكروم للون الأخضر. الشكل التالي يوضح شكل الأسطح الخرسانية بأستخدام الإضافات الملونة في الخرسانة.

الشكل (3.5) بعض أنواع المضافات الملونة للخرسانة

الفصـل السادس

تصميم الخلطات الخرسانية

DESIGNOFCONCRETE MIX

1.6 مقـدمة Introduction

يقصد بتصميم الخلطات الخرسانية هو إيجاد نسب أو كميات المواد المختلفة من الإسمنت والركام الخشن والناعم والماء ومواد أخرى مضافة للمتر المكعب الواحد بحيث تحقق الشروط التالية :

1. مقاومة محددة للخرسانة.
2. متانة للخرسانة.
3. الليونة ودرجة التشغيل المطلوبة.
4. بعض المزايا الخاصة قبل التماسك وبعده.
5. تكلفة اقتصادية.

وتعتمد الأسس التي تبنى عليها طرق تصميم الخلطات الخرسانية عموما على الخبرات السابقة وعلى التجارب والإحصاءات؛ إن معظم طرق تصميم الخلطات الخرسانية تعبر غالبا عن نسب حجمية أو وزنية لكميات المواد الداخلة في تصنيع الخلطة الخرسانية ، فمثلا في حالة التعبير عن مواد الخلطة الخرسانية بنسب حجمية حيث لا يوجد أي أساس تكنولوجي أو حسابي لتلك النسب ، بل تعتمد على الخبرة والملاحظة عند اختيار النسب المختلفة للمواد؛ يتم التعبير بالنسبة التالية لخلطة خرسانية مقترحة (4:2:1) وتعني أن حجما واحداً من الإسمنت يقابله حجمان من الركام الناعم وأربعة من الركام الخشن ، ومن خلال معرفة الوزن الحجمي للإسمنت ومعرفة الكمية المطلوبة وزنا ، يتسنى لنا تحديد كمية الركام الناعم والخشن، وعند تغيير تلك النسب نحصل على خلطات خرسانية مختلفة ولكل منها خواص فيزيائية وميكانيكية مختلفة ، ويمكن تمييز الاختلاف في المقاومة بين الخلطات ذات النسب المختلفة بشكل اعتباري ، فعلى سبيل المثال نقول إن الخلطة الخرسانية ذات النسبة (1:1:2) تعتبر خلطة غنية بالإسمنت وذات مقاومة أعلى من الخلطة الخرسانية ذات النسبة (4:2:1). تستخدم هذه الطريقة منذ زمن بعيد ، إلا أن نتائجها بصفة عامة غير مرضية ، وتفتقد إلى طريقة علمية محددة نستطيع

بواسطتها الربط بين تغير المقاومة الميكانيكية للخرسانة وتحول كمية الماء والإسمنت والركام داخل الخرسانة؛ ومن عيوب هذه الطريقة الآتي:

1.تعتبر نسبة الماء للإسمنت غير محددة ومتروكة لظروف العمل ، مما يؤدى إلى اختلاف خواص الخرسانة بشكل عشوائي ، وتصبح الخرسانة في هذه الحالة غير متجانسة.

2. النسب المحددة لا تعطي مترا مكعبا في جميع الحالات، وقد تصل في بعض الأحيان إلى 1.25 م^3.

3. نسبة الرمل إلى الشرشور المحددة لم يؤخذ بعين الاعتبار النوع أو التدرج الحبيبي أو المقاس، وتعد هذه الصفة ذات طابع غير علمي ولكنها ذات طابع اعتباري.

وبالرغم من ذلك فإن هذه الطريقة مستخدمة وبشكل كبير في تنفيذ معظم المنشآت، إلا أنه لا يوصى باستخدامها إلا في الأعمال الصغيرة غير الهامة حيث يتم تحديد نسب الخلط بالخبرة.

2.6 طرق تصميم الخلطات الخرسانية Concrete Mix Design Methods

يتم التطرق هنا بالشرح إلى طرق تصميم الخلطات الخرسانية المبنية على أساس تكنولوجي من الاختبارات والحسابات ويعتمد تصميم الخلطات الخرسانية على عوامل عدة، منها نوعية المواد المستخدمة ومتطلبات الصب والتسوية وخواص الخرسانة الناتجة من حيث المقاومة والمتانة؛ ويعتبر تحديد نسب الخلطة الخرسانية من الخطوات المهمة والأساسية في صناعة الخرسانة من حيث المتطلبات الأساسية للجودة والإقتصاد؛ لذا يستلزم الأمر الفهم العميق للعلاقة بين تصميم الخلطة الخرسانية ومقاومة الخرسانة ومتانتها للحصول على المكونات المناسبة أخذا في الاعتبار العلاقة بين الخواص والتكاليف. إن الأسس التي تبنى عليها طرق تصميم الخلطات الخرسانية تعتمد عموما على الخبرات السابقة وعلى التجارب والإحصاءات كما تم ذكره سابقا ، كما أن معظم الطرق تعبر غالبا عن كميات مواد الخلطة الخرسانية بنسب حجمية أو وزنية؛ أهم الطرق المتبعة في تصميم الخلطات الخرسانية هي:

1. طريقة بولومي
2. الطريقة المعملية
3. طريقة النسب القياسية
4. طريقة المعهد الأمريكي للخرسانة
5. طريقة معامل النعومة للركام الناعم والخشن
6. الطريقة الروسية باستخدام الحجم المطلق
7. طريقة الثلاثة معادلات
8. طريقة السطح النوعي للركام الناعم والخشن
9. طريقة مركز أبحاث الطرق البريطانية(D.O.E)

سيتم شرح إحدى هذه الطرق وهى طريقة مركز أبحاث الطرق **البريطانية** (D.O.E)

3.6المعلومات اللازمة عند تصميم الخلطات الخرسانية

من أجل تصميم خلطة خرسانية يجب توفر المعلومات التالية:

1.3.6 التشغيلية Workability

تعرف تشغيلية الخرسانة بأنها مدى سهولة خلط الخرسانة ونقلها وصّبها ودمكها، فكلما كانت درجة التشغيل عالية كلما كانت الخرسانة أكثر تشغيلية وأسهل تعاملا ، وكلما كانت درجة التشغيل قليلة كلما كانت الخرسانة أقل تشغيلية وأصعب تعاملا؛ درجة التشغيل يمكن تحديدها بعدة طرق معملية منها اختبار هبوط المخروط ، اختبار معامل الدمك ... وغيرها؛ اختبار هبوط مخروط أبرامس أكثر الاختبارات استخداما وشيوعا ، حيث يتم تحديد لزوجة الخرسانة أو درجة التشغيل على أساس درجة هبوط المخروط حسب التقسيمات الموضحة بالفقرة 2.5.6.

2.3.6 كمية المـاء Water Content

كمية الماء من أهم العوامل التي تؤثر على لزوجة الخرسانة ، باستعمال نوع معين من الركام الخشن نجد أنه كلما زادت كمية الماء كلما زادت درجة التشغيل. كما أن كمية الماء اللازمة لإنتاج خلطة خرسانية بدرجة تشغيل معينة تعتمد على خواص الركام المستخدم ، فمثلا الركام الخشن المكسر يحتاج إلى كمية ماء أكبر من الركام الخشن غير المكسر ، كما أن صغر المقاس الاعتباري للركام الخشن المستخدم يزيد من كمية الماء المطلوبة ، وكذلك كلما زادت نعومة الركام الناعم المستخدم زادت كمية الماء المطلوبة.

3.3.6 المقاومة المطلوبة Required Strength

تحدد مقاومة الخرسانة عادةً عند عمر 28 يوماً ، ومقاومة الخرسانة تعتمد إلى حد كبير على درجة الحرارة والرطوبة خلال فترة الإنضاج ، وعادة في الاختبارات المعملية تحفظ العينات الخرسانية في أحواض بها الماء للحفاظ على درجة حرارة ورطوبة ثابتة لغاية تاريخ الاختبار.

4.3.6 نوع الإسمنت Cement Type

لكل نوع من الإسمنت فترة تختلف عن غيره لوصول الخرسانة للقوة المطلوبة.

5.3.6 نوعية الركام الخشن والناعم Type of Coarse and Fine Aggregate

الخرسانة المصنعة من الركام الخشن غير المكسر عادة ما تكون أقل مقاومة من الخرسانة المصنعة من الركام الخشن المكسر ، وذلك بسبب قوة الالتصاق بين العجينة الإسمنتية وحبيبات الركام.

6.3.6 نسبة الماء للإسمنت Water-Cement Ratio

العلاقة بين نسبة الماء للإسمنت والمقاومة علاقة عكسية فكلما زادت نسبة الماء للإسمنت قلت المقاومة كما في الشكل (1.4) وعليه يجب تحديدها بكل دقة.

4.6 تغير المقاومة Variability of Strength

التغير في مقاومة الخرسانة المنتجة لنفس الغرض يمكن عزوه لعدة متغيرات منها ، التغير في جودة المواد المستخدمة ، التغير في نسب الخلط أثناء العمل و التغير أثناء إعداد العينات والاختبار.

5.6 العوامل التى تؤثر على تصميم الخلطات الخرسانية

1.5.6 طبيعة المنشأ ونوع العنصر Type of Structural Members

يلعب هذا العامل دورا كبيرا وهاما في تحديد المقاومة المطلوبة للخلطة الخرسانية ، فهناك على سبيل المثال منشآت لا يسمح فيها بحدوث التشققات الشعرية كخزانات المياه مثلا ، أو نجد منشآت معينة ذات طبيعة خاصة مثل الكمرات العميقة والأعمدة التي تتطلب مقاومة عالية نسبيا؛ وعلاوة على ذلك فهناك عناصر كثيرة تعتبر ثانوية في المنشآت ، أو أنها تعتبر بصورة ما عناصر ذات أهمية قليلة.

2.5.6 درجة التشغيل للخرسانة Workability degree of Concrete

يقصد بدرجة التشغيل ليونة الخلطة الخرسانية ومقدار انسيابها ، وتصنف الخلطات الخرسانية تبعا لهذا العامل كما هو موضح بالجدول (1.6) التالي:

الجدول (1.6) تصنيف درجة الهبوط

ر.م	نـوع الخلطـة	مقـدار الهبوط (مم)
1	جامـدة	10 - 0
2	جافـة	30 - 10
3	لـدنـة	60 - 30
4	مائعـة	180 - 60

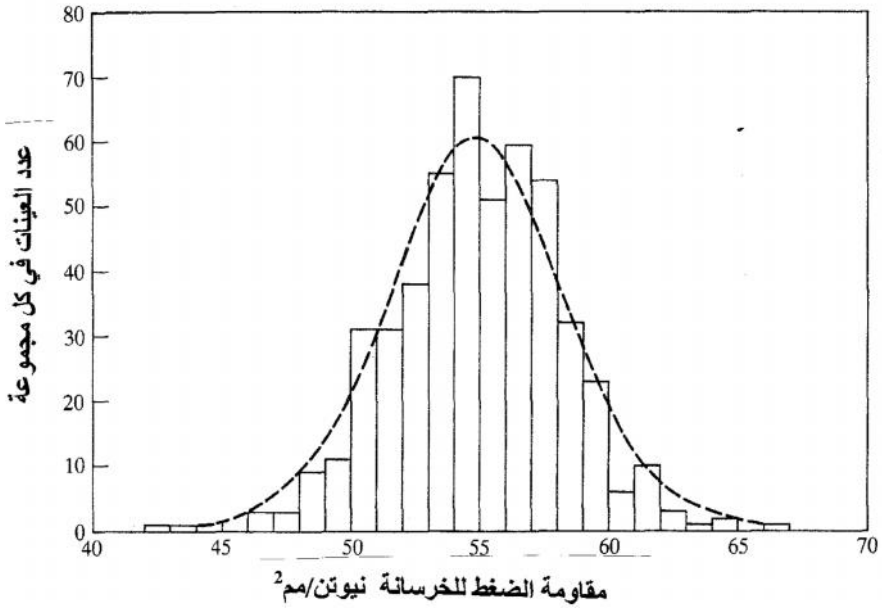
6.6 الطريقة البريطانية لتصميم الخلطات British Method of Mix Design

تعتبر هذه الطريقة نصف حسابية ، كونها تستند إلى مجموعة متعددة من نتائج التجارب المعملية التي أجريت في مركز أبحاث الطرق البريطانية على خلطات مختلفة من الخرسانة الحاوية على أنواع ونسب متباينة من الركام ، إضافة إلى اعتمادها على الأسس والقواعد النظرية لتعيين نسب المواد اللازمة لخلطة معينة دون الحاجة إلى تكرار تجارب كثيرة. ويمكن تلخيص الخطوات المتبعة في هذه الطريقة إلى التالي:-

1. المقاومة المتوسطة Mean Strength

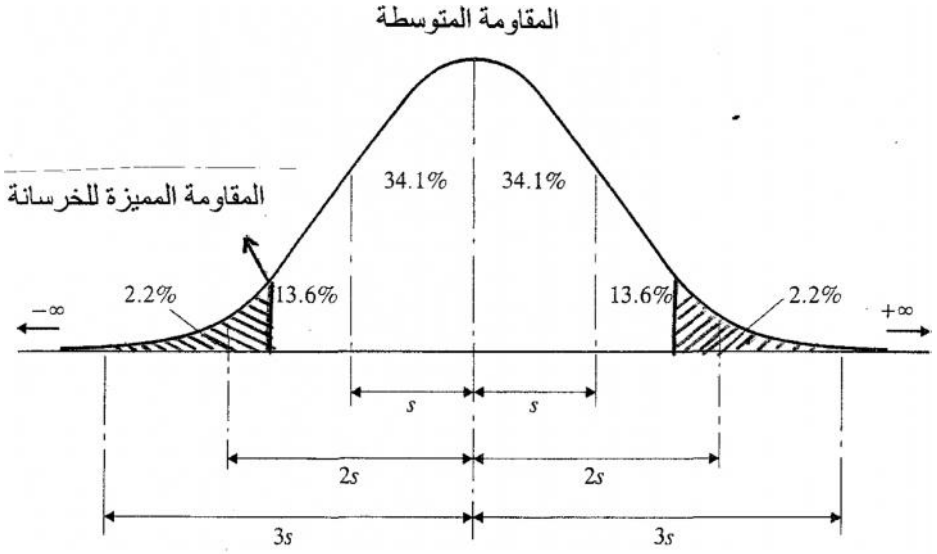
في هذه الخطوة يتم تحديد قيمة المقاومة المكعبية المتوسطة للخرسانة وذلك باستخدام الطرق الإحصائية بالاعتماد على قيمة المقاومة المحددة للخرسانة التي تحدد من خلال التصميم ، وتتعلق بنوعية الخرسانة المطلوبة ومستوى المتابعة والتنفيذ بالموقع والتحكم في صناعة الخرسانة؛ ويمكن تعريف المقاومة المتوسطة من خلال الآتي :

إذا توفرت لدينا مجموعة من المقاومات التجريبية على الضغط لعينات نموذجية تم اختبارها في شروط نظامية بعد 28 يوماً، وكانت نتائجها هي X_1 , X_2 , X_3.....X_n فإننا نستطيع تشكيل المنحنى البياني التالي الذى يربط عدد العينات بقيم المقاومة وذلك من خلال تقسيم عدد العينات إلى مجموعات جزئية لها مقاومة محصورة بين أي قيمتين متتاليتين كما في الشكل التالي (1.6).



الشكل (1.6) العلاقة بين عدد العينات ومقاومة الخرسانة[2.5]

إن المنحنى الناتج يدعى كما هو معروف بمنحنى التكرار النسبي ، الذى من خلاله يمكننا رسم منحنى التوزيع الإجمالي المنتظم من خلال الوصل بين نقاط منتصفات المقاومات المعتمدة في الشكل ، وهذا المنحنى يمثل احتمال وجود عدد من العينات لها مقاومة واحدة ، كما في الشكل (2.6).



الشكل (2.6) منحني التكرار النسبي[2.5]

من خصائص هذا المنحنى أن المساحة المحصورة بينه وبين المحور (x) تساوى المائة (100) لذلك فإن احتمال الحصول على عينات تقل قيمتها عن المقاومة المحددة ($\mathbf{f_c}$) يساوى مساحة الجزء المهشر من المنحنى؛ من خلال المنحنى يمكن تعريف كل من المقاومة المحددة أو المميزة والمقاومة المتوسطة كالتالي :

- **المقاومة المميزة** (f_c) **Characteristic Strength**

المقاومة المميزة هي المقاومة التي بعدها يتوقع أن 5٪ من مجموع نتائج العينات تكون غير مقبولة.

- **المقاومة المتوسطة المستهدفة**(f_m) **Target Mean Strength**

المقاومة المتوسطة المستهدفة يمكن حسابها من خلال المعادلة التالية :

$$f_m = f_c + ks \quad \text{..... (1.6)}$$

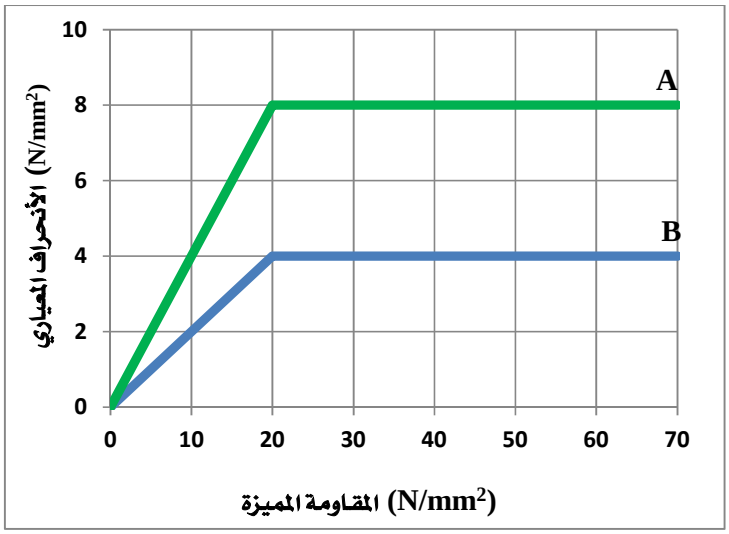
حيث ks ← المجال إن s ← الانحراف المعياري ، k ← ثابت يعتمد على نسبة العينات الغير مقبولة .

يعتمد تحديد قيمة الانحراف المعياري على مدى تجانس الخلطة الخرسانية ، ويمكن حسابه من خلال المعادلة التالية :

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x-m)^2}{n-1}} \quad \text{.....(2.6)}$$

حيث : x ← تعبر عن نتيجة ، n ← عدد النتائج ، m ← متوسط النتائج

وفى حالة عدم إمكانية إجراء مجموعة من الاختبارات المعملية و حسابه ، يمكن تحديده من خلال الشكل (3.6) الذي يمثل العلاقة بين المقاومة المميزة والانحراف المعياري.



المنحنى (A) يمثل العلاقة بين الانحراف المعياري(σ) وعلاقته بالإجهاد التصميمي في حالة إجراء تجارب أقل من (20 تجربة) لمتابعة مقاومة الضغط (وهي حالة تحكم بسيطة) .

المنحنى (B) يمثل العلاقة بين الانحراف المعياري(σ) وعلاقته بالإجهاد التصميمي في حالة إجراء تجارب (20 تجربة أو أكثر) لمقاومة الضغط (وهي حالة تحكم جيدة) .

الشكل (3.6) العلاقة بين المقاومة المميزة والانحراف المعياري[2.11]

قيمة الثابت k تعتمد على نسبة العينات التي تقل مقاومتها عن المقاومة المحددة المسموح بها ، وهذه النسبة تعتمد بالدرجة الأولى على أهمية المنشأ ، فكلما كان المنشأ على درجة من الأهمية كلما حددت نسبة القيم غير المقبولة إلى أدنى حد لها وبالتالي فإن قيمة الثابت ستزيد ، انظر الجدول (1.6)؛ وينتج عن ذلك زيادة في قيمة المقاومة المتوسطة أيضا ، وبالتالي ارتفاع تكلفة الخرسانة؛ من خلال ذلك يتضح أن تحديد نسبة القيم غير المقبولة ، وبالتالي قيمة الثابت له دور في تحديد تكلفة المتر المكعب من الخرسانة.

وبالتالي عند التصميم يجب تحديد تلك النسبة بكل دقة وتبعا لدرجة أهمية المنشأ. ويوضح الجدول (2.6) قيم الثابت k .

الجدول (2.6) العلاقة بين النسبة غير المقبولة وقيمة الثابت (k)[2.11]

ر.م	النسبة غير المقبولة ٪	قيمة الثابت (k)
.1	10	1.28
.2	5	1.64
.3	2.5	1.96
.4	1	2.33

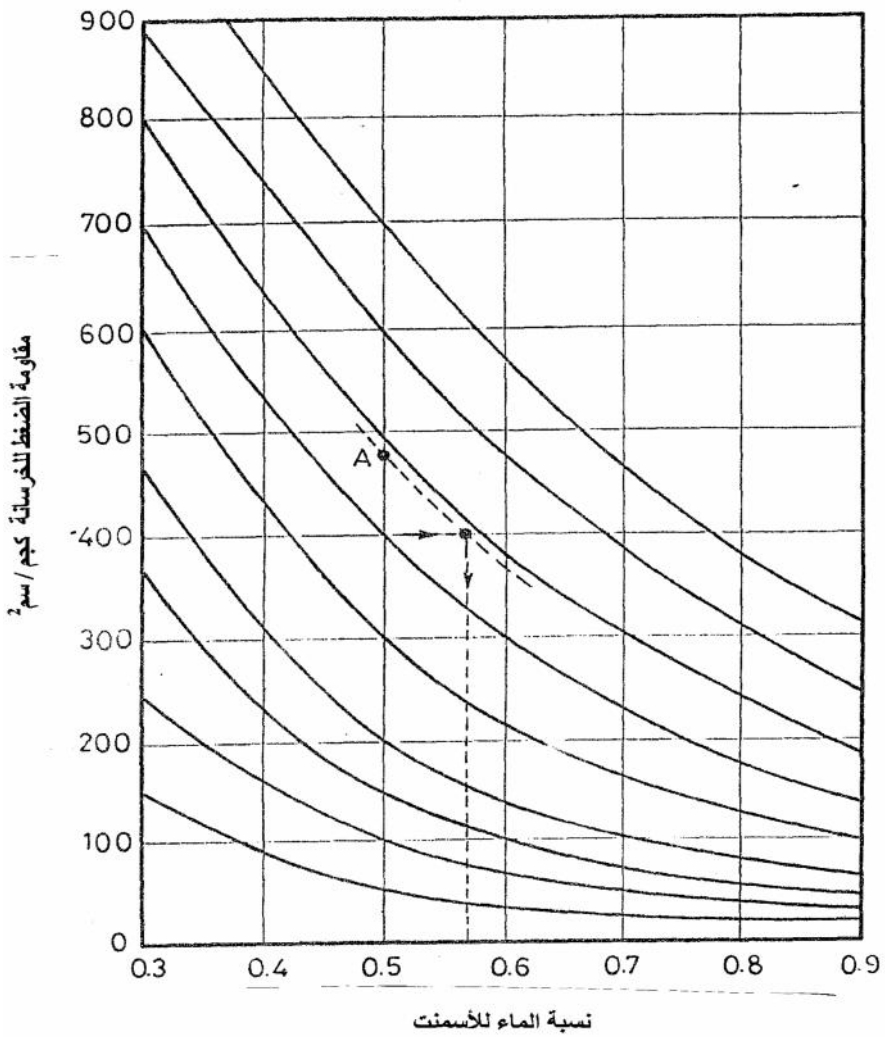
2. تعيين نسبة الماء للإسمنت Specified Water Cement ratio

بعد معرفة المقاومة المتوسطة للخرسانة المراد تصميمها ، يتم تحديد نسبة الماء للإسمنت للخلطة كالتالي :

- من الجدول (3.6) يتم تحديد قيمة المقاومة عند عمر 28 يوماً بناء على نوع الركام الخشن والإسمنت المستعمل وبنسبة ماء للإسمنت ثابتة وتساوي 0.5 .
- من الشكل (4.6) يتم تحديد المنحنى للخلطة التي يتم تصميمها ، وذلك عند نقطة تقاطع قيمة المقاومة مع نسبة الماء للإسمنت الثابتة والمستخرجة في النقطة السابقة من الجدول (3.6).
- باستخدام منحنى الخلطة الخرسانية المحدد من الفقرة السابقة ، وقيمة المقاومة المتوسطة يتم تحديد نسبة الماء للإسمنت للخلطة الخرسانية.

الجدول (3.6) مقاومة الضغط التقريبية لخلطات خرسانية مصنعة بنسبة ماء للإسمنت (0.5)[2.11]

نوع الإسمنت	نوع الركام الخشن	مقاومة الضغط (نيوتن/مم^2) عند عمر (أيام)			
		3	7	28	91
البورتلاندى العادى أو المقاوم للكبريتات	غير مكسر	22	30	42	49
	مكسر	27	36	49	56
البورتلاندى سريع التصلب	غير مكسر	29	37	48	54
	مكسر	34	43	55	61



الشكل (4.6) العلاقة بين مقاومة الضغط للخرسانة ونسبة الماء للإسمنت (w/c)[2.11]

3. تحديد كمية الماء Determination of Water Content

من خلال معرفة درجة التشغيل المطلوبة ونوع الركام الخشن المتوفر والمقاس الاعتباري الأكبر يتم تحديد كمية الماء اللازمة للخلطة الخرسانية باستخدام الجدول (4.6).

ملاحظة : في حالة ما إذا كان نوع الركام الخشن والناعم يختلفان ، كأن يكونالركام الخشن من النوع المكسر والركام الناعم من النوع غير المكسر ، فكمية الماء يمكن حسابها من خلال العلاقة التالية :

$$\frac{2}{3}w_f + \frac{1}{3}w_c \quad \text{..... (3.6)}$$

حيث إن : w_f ← كمية الماء طبقا لنوعية الرمل w_c ← كمية الماء طبقا لنوعية الشرشور

الجدول (4.6) كمية الماء التقريبية اللازمة لإعطاء درجة تشغيل معينة (kg/m^3)[2.11]

درجة التشغيل مخروط أبرامس (mm) معامل الدمك (s)		0- 10 12 >	10- 30 6- 12	30- 60 3- 6	60- 180 0- 3
الحجم الأعظمي للركام (mm)	نوع الركام				
10	غير مكسر مكسر	**150** **180**	**180** **205**	**205** **230**	**225** **250**
20	غير مكسر **مكسر**	**135** **170**	**160** **190**	**180** **210**	**195** **225**
40	غير مكسر **مكسر**	**115** **155**	**140** **175**	**160** **190**	**175** **205**

ملاحظة : عند استخدام نوعية ركام مختلفة في الخلطة الخرسانية يتم تقدير كمية الماء اللازمة من خلال العلاقة التالية : $\frac{2}{3}w_f + \frac{1}{3}w_c$. حيث أن

w_f ← كمية الماء اللازمة حسب نوعية الركام الناعم .

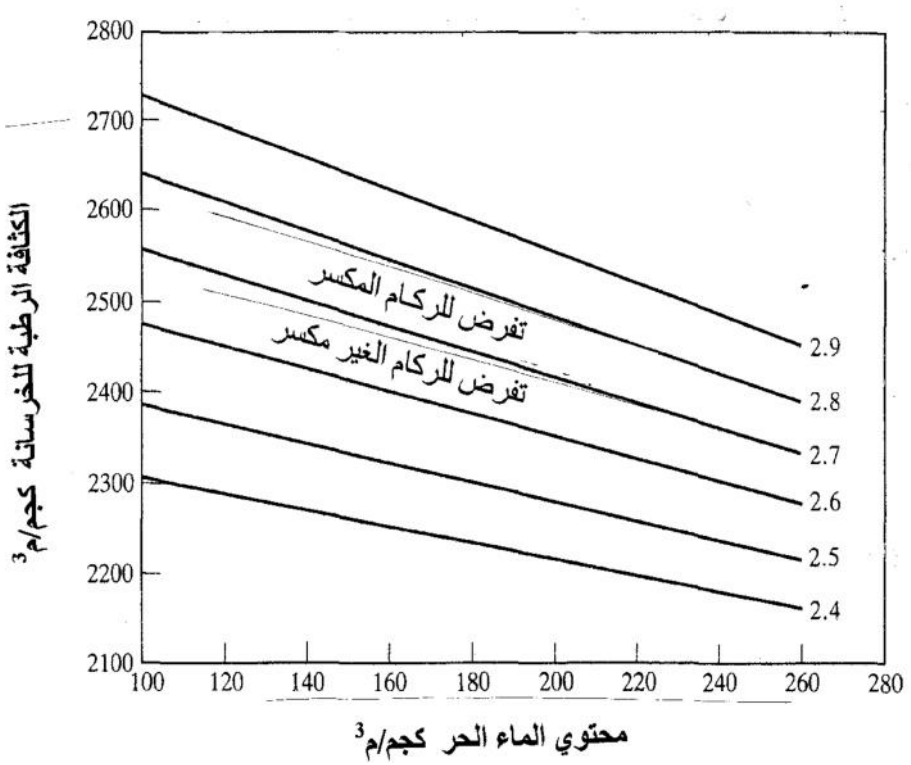
w_c ← كمية الماء اللازمة حسب نوعية الركام الخشن.

4. تحديد كمية الإسمنت Determination of Cement Content

بعد معرفة نسبة الماء للإسمنت وكمية الماء في المتر المكعب الواحد ، يمكن حساب كمية الإسمنت في المتر المكعب وذلك بقسمة كمية الماء على نسبة الماء للإسمنت.

5. تحديد كمية الركام Determination of Aggregate Content

من خلال معرفة الكثافة النسبية للركام المستعمل ((في حالة عدم وجود معلومات يمكن اعتبار الكثافة النسبية للركام المكسر (2.7) والركام غير المكسر (2.6)) ، ومعرفة كمية الماء في المتر المكعب وباستخدام الشكل (5.6) يمكن معرفة كثافة الخرسانة (وزن المتر المكعب من الخرسانة) ، وبذلك يمكن تحديد وزن الركام في المتر المكعب بطرح وزن الإسمنت والماء من وزن المتر المكعب من الخرسانة.

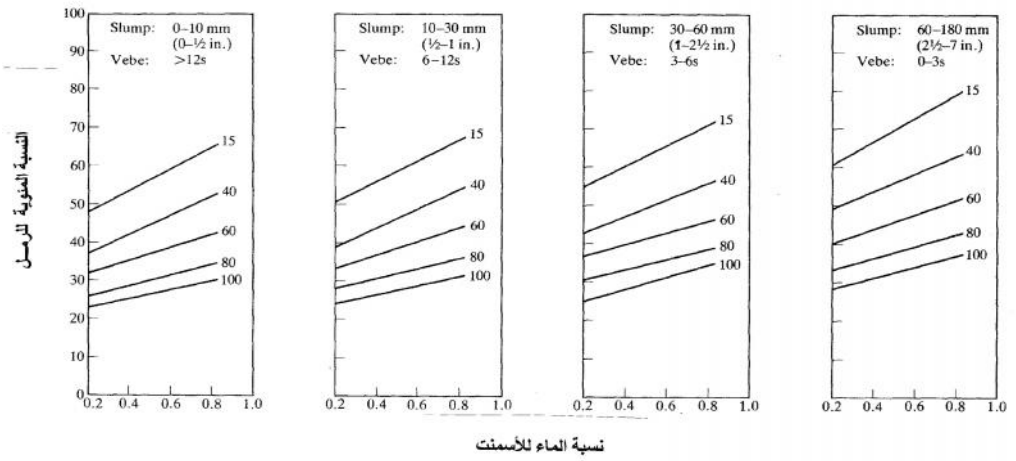


الشكل (5.6) العلاقة بين محتوى الماء الحر وكثافة الخرسانة[2.11]

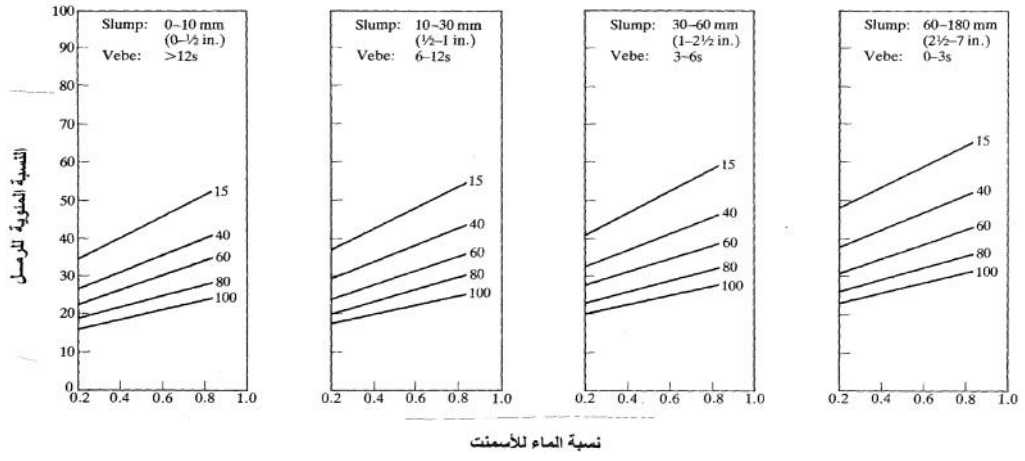
6. تحديد وزن الركام Determination of aggregates Weights

باستخدام الشكل (6.6) ومعرفة المقاس الاعتباري الأكبر للركام الخشن المستخدم ودرجة التشغيل المطلوبة للخلطة ونسبة الماء للإسمنت ، ونسبة المار عبر المنخل 600 ميكرون يتم تحديد نسبة الركام الناعم من وزن الركام الكلي ، وبضرب تلك النسبة في وزن الركام الكلي نتحصل على وزن الركام الناعم ، ومن ثم يكون وزن الركام الخشن هو عبارة عن الوزن الكلي للركام ناقص وزن الركام الناعم.

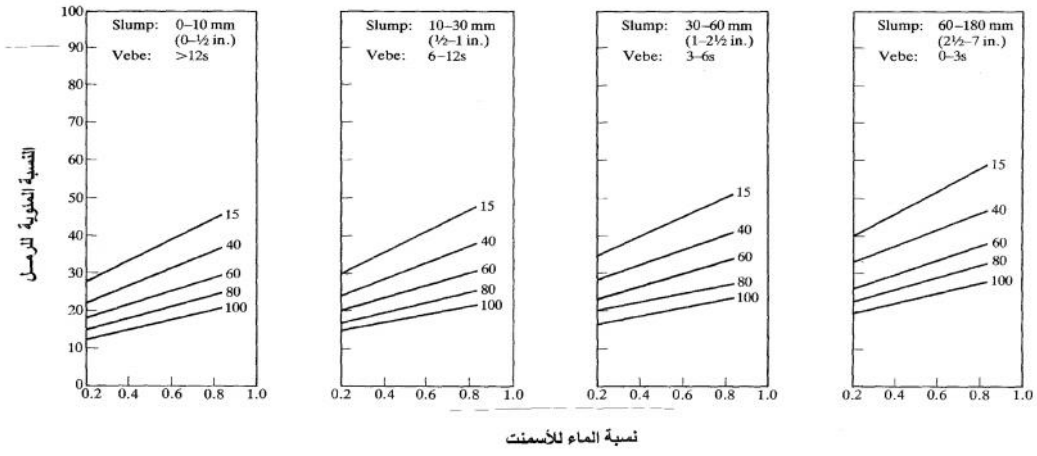
يتم تقريب وزن كل مادة إلى أقرب 5 كجم ، وبذلك يكون قد تم الحصول على وزن المواد الداخلة في الخلطة الخرسانية من إسمنت وركام خشن وناعم وماء لمتر مكعب واحد. في حالة معرفة حجم الخلطة الخرسانية المراد خلطها بالخلاط يتم ضرب الكميات المتحصل عليها للمتر المكعب الواحد في النسبة المطلوبة ، فعلى سبيل المثال عندما يراد خلط كمية من الخرسانة في خلاط سعة 0.05 متر مكعب يتم ضرب جميع الكميات المتحصل عليها من التصميم بعد تقريبها إلى أقرب 5 كجم في 0.05 للحصول على الخلطة المطلوبة. والجدول (5.6) يوضح نموذجا جاهزا كملخص لتصميم خلطة خرسانية باستعمال طريقة DOE (المثال 1.6).



(أ) المقاس الاعتباري الأكبر للركام الخشن 10 مم



(ب) المقاس الاعتباري الأكبر للركام الخشن 20 مم



(ج) المقاس الاعتباري الأكبر للركام الخشن 40 مم

الشكل (6.6) نسبة الرمل من الوزن الكلي للركام[2.11]

مثال (1.6) تصميم خلطة خرسانية عادية

المطلوب تصميم خلطة خرسانية لتعطي مقاومة ضغط عند 28 يوم تساوي 35 نيوتن/مم^2 ، وباستعمال الإسمنت سريع التصلب؛ المقاس الاعتباري الأكبر للركام الخشن 20 مم الركام الخشن والناعم المتوفران من النوع غير المكسر والركام الناعم عبارة عن ركام متوسط النعومة ، وعند اختبار التدرج الحبيبي للركام الناعم وجد أن 50٪ منه مرت عبر المنخل رقم 600 ميكرون؛ الانحراف المعياري للخلطة الخرسانية يساوي 6 نيوتن/مم^2 ومسموح ب 5٪ كنسبة النتائج غير المقبولة؛ درجة التشغيل المطلوبة باستعمال مخروط إبرامس 25مم والكثافة النسبية للركام تساوى 2.65.

الحـل :

الخطوة الأولى : حساب نسبة الماء للإسمنت

الخطوة الأولى هي إيجاد نسبة الماء للإسمنت وذلك بتحديد المقاومة المميزة ، وذلك عن طريق المعادلة رقم (1.6) وذلك بإيجاد قيمة المجال الذي يساوي حاصل ضرب الانحراف المعياري في الثابت k ، وحيث إن الانحراف المعياري يساوي 6 نيوتن/مم^2 والثابت يمكن استخراجه من الجدول (2.6) بدلالة النسبة غير المقبولة ويساوي 1.64؛ وبذلك يمكن حساب المقاومة المميزة كالتالي :

المقاومة المميزة = $35 + (6 \times 1.64) = 44.84 \approx 45$ نيوتن/مم^2

ومن خلال ذلك يمكن إيجاد نسبة الماء للإسمنت كالتالي: في البداية يتم تحديد قيمة مقاومة الخرسانة عند 28 يوماً من الجدول (3.6) وذلك بإدخال المعلومات الخاصة بالخلطة المطلوبة التالية : نوعية الإسمنت (إسمنت بورتلاندي سريع التصلب) ، ونوعية الركام (غير مكسر)؛ حيث إن القيم الموجودة بالجدول(3.6) تعبر عن خلطة خرسانية بنسبة الماء للإسمنت 0.5 ، وبذلك تكون مقاومة الخرسانة عند 28 يوماً لخلطة خرسانية بمواصفات الإسمنت والركام المتوفرة وبنسبة الماء للإسمنت 0.5 تساوى 48 نيوتن/مم^2.

يتم إدخال هاتين القيمتين بالشكل رقم (4.6) لتحديد المنحنى للخلطة وذلك بالصعود بخط عمودي من المحور السيني الذى يمثل قيمة w/c=0.5 وفى نفس الوقت يتم تمرير خط أفقي من المحور الصادى على اليسار يمثل قيمة المقاومة 48؛ نقطة التقاء الخطين يمثل المنحنى الذى يستعمل لإيجاد نسبة الماء للإسمنت للخلطة؛ في حالة لم تكن نقطة التقاء الخطين على أي من المنحنيات الموجودة بالشكل يتم رسم منحنى موازى للمنحنيات

الموجودة ويمر بنقطة الإلتقاء؛ بعد تحديد المنحنى للخلطة يتم تحديد نسبة الماء للإسمنت وذلك بأن يتم رسم خط أفقي من المحور الصادي باليسار يمثل قيمة المقاومة المميزة للخلطة حتى يتقاطع مع منحنى الخلطة ويتم إسقاط الخط من نقطة التقاطع على المحور السيني لقراءة نسبة الماء للإسمنت والتي كانت 0.53 ويتم التأكد من أن هذة النسبة لا تتجاوز النسبة القصوى في حال تحديدها.

الخطوة الثانية : حساب كمية الماء

الخطوة الثانية هي إيجاد كمية الماء في الخلطة للمتر المكعب الواحد ، فمن خلال معرفة درجة التشغيل وهي (10- 30 ملم) والمقاس الاعتباري الأكبر للركام هو (20 مم) ونوعية الركام من النوع غير المكسر؛ يتم إدخال تلك المعلومات في الجدول (4.6) وبذلك يتم الحصول على كمية الماء في الخلطة الخرسانية وهى 160 كجم/م^3.

الخطوة الثالثة: حساب كمية الإسمنت

الخطوة الثالثة هي إيجاد كمية الإسمنت في الخلطة وذلك بقسمة كمية الماء المستخرجة في الخطوة الثانية على نسبة الماء للإسمنت المستخرجة من الخطوة الأولى كالتالي : كمية الإسمنت = 160 ÷ 0.53 = 302 كجم/م^3

ويتم التأكد من أن هذه الكمية لا تتجاوز الكمية القصوى ولا تقل عن الكمية الدنيا المحددة

الخطوة الرابعة: حساب كمية الركام

الخطوة الرابعة هي إيجاد كمية الركام في الخلطة الخرسانية ، فبمعرفة الكثافة النسبية للركام الخشن التي تساوي في هذا المثال 2.65 ، وكمية الماء في الخلطة الخرسانية والتي تساوي 160 كجم/م^3؛ يتم إدخال هاتين القيمتين بالشكل رقم (5.6) لتحديد المنحنى للخلطة وذلك بالصعود بخط عمودي من المحور السيني الذي يمثل قيمة كمية الماء والتي تساوى 160 كجم/م^3 حتى يتقاطع مع المنحنى الذي يمثل الكثافة النسبية للركام الخشن(2.65) (في حالة كون كثافة الركام الخشن غير معلومة يمكن استخدام القيم التالية : 2.7 للركام الخشن المكسر ، 2.6 للركام الخشن غير المكسر)؛ من نقطة تقاطع الخط مع المنحنى يتم عمل خط أفقي حتى يتقاطع مع المحور الصادي الذى يمثل كثافة الخرسانة ، من خلال نقطة التقاطع يتم قراءة كثافة الخرسانة والتي تساوي 2435 كجم/م^3. بمعرفة كثافة الخرسانة (2435كجم/م3) ، وكمية الماء (160كجم/م^3) ، وكمية الإسمنت (302كجم/م^3) يتم حساب كمية الركام في الخلطة كالتالي : كمية الركام = 2435 – 160 – 302 = 1973 كجم/م^3

الخطوة الخامسة: حساب كمية الركام الناعم والخشن

الخطوة الخامسة هي إيجاد كمية الركام الخشن والناعم من الوزن الكلى للركام المتحصل عليه في الخطوة السابقة ، الشكل (6.6) يحوى 12 شكلا ، مقسماً إلى ثلاث مجموعات كل مجموعة تعبر عن المقاس الاعتباري الأكبر للركام10،20،40مم؛ كل مجموعة تحوي على أربعة أشكال يعبر كل واحد منها عن درجة تشغيل معينة؛ فبمعرفة المقاس الاعتباري الأكبر للركام الخشن (20مم) ودرجة التشغيل المطلوبة (10- 30) ونسبة الماء للإسمنت (0.53) ونسبة المار عبر المنخل 600 ميكرون والتي تساوي في المثال 50٪ ، يتم إدخال تلك المعلومات في الشكل (6.6) ويتم تحديد نسبة الركام الناعم من وزن الركام حيت تساوي 33٪. وبذلك تكون:

كمية الركام الناعم في الخلطة = 1973 × 33٪ = 651 كجم/م^3

كمية الركام الخشن في الخلطة = 1973 – 651 = 1322 كجم/م^3

تمرين (1.6) تصميم خلطة خرسانية لغرض الضخ

المطلوب تصميم خلطة خرسانية لتعطي مقاومة ضغط عند 28 يوماً تساوي 25 نيوتن/مم2 لغرض الضخ ، وباستعمال الإسمنت البورتلاندى العادي. المقاس الأعتباري الأكبر للركام الخشن 20 مم ، الركام الناعم والخشن المتوفران من النوع غير المكسر والركام الناعم عبارة عن ركام متوسط النعومة ، وعند اختبار التدرج الحبيبي للركام الناعم وجد أن 60٪ منه مر عبر المنخل رقم 600 ميكرون؛ الانحراف المعياري للخلطة الخرسانية يساوي 8 نيوتن/مم^2 ومسموح ب 5٪ كنسبة النتائج غير المقبولة؛ الكثافة النسبية للركام تساوي 2.55.

تمرين (2.6) تصميم خلطة خرسانية عالية المقاومة

المطلوب تصميم خلطة خرسانية لتعطي مقاومة ضغط عند 28 يوماً تساوي 55 نيوتن/مم^2 ، وباستعمال الإسمنت البورتلاندي العادي؛ المقاس الاعتباري الأكبر للركام الخشن 20 مم؛ الركام الناعم والخشن المتوفران من النوع غير المكسر والركام الناعم عبارة عن ركام متوسط النعومة ، وعند اختبار التدرج الحبيبي للركام الناعم وجد أن 45٪ منه مر عبر المنخل رقم 600 ميكرون؛ الانحراف المعياري للخلطة الخرسانية يساوي 4.2 نيوتن/مم^2 ومسموح ب 1٪ كنسبة النتائج غير المقبولة؛ درجة التشغيل المطلوبة باستعمال مخروط أبرامس 40مم والكثافة النسبية للركام تساوي 2.65.

الجدول (5.6) **نموذج لتصميم خلطة خرسانية بالطريقة البريطانية (D.O.E)**

المرحلة	التسلسل		المرجع	القيم
1	1.	المقاومة المحددة	معلومة	**35**……N/mm^2 عند ……**28**……يومالنسبة الغير مقبولة ((defective ……**5**……٪
	2.	الانحراف المعياري	الشكل 2.5	**6**…N/mm^2 أو يفرض ……N/mm
	3.	المجـال		**1.64×6** …**9.84** =N/mm^2 (k=1.64)
	4.	المقاومة المتوسطة المطلوبة		**35** + **10** = **45** N/mm^2
	5.	نوعالأسمنت	معلوم	**RHPC**
	6.	نوعالركام الخشن	معلوم	**غير مكسـر**
		نوعالركام الناعم	معلوم	**مكسـر**
	7.	نسبة الماء للأسمنت (w/c)	الجدول 2 ، الشكل 4	**0.53**
	8.	أعلى نسبة ماء للأسمنت	معلومة	-
2	1.	درجة التشغيل	معلومة	……sأوmm……**25**……
	2.	المقاس الأعتباري الأكبر للركام	معلوم	……**20**…… mm
	3.	كمية المـاء في الخلطة	جدول 3	……**160**……..Kg/m^3
3	1.	كمية الأسمنت في الخلطة		Kg/m^3…**302**….=…**0.53**…./…**160**….
	2.	أعلى كميـة أسمنت	معلومة	Kg/m^3…… استعمل 3.1 إذا كانت أقل من 3.2
	3.	أقل كميـة أسمنت	معلومة	Kg/m^3…… استعمل 3.3 إذا كانت أقل من 3.1
	4.	نسبة الماءللأسمنت المعدلة		……
4	1.	الكثافة النسبية للشرشور	معلومة	……**2.65**……
	2.	كثافـة الخرسـانة	الشكل 5	….**2435**… Kg/m^3
	3.	الوزن الكلي للركام		Kg/m^3 **1973** = **302** - **160** - **2435**
5	1.	درجة نعومة الركام الناعم	المارمن المنخل 600 µm	……**50**…..%
	2.	نسبة الركام الناعم	الشكل 6	……**33**…..%
	3.	كمية الركام الناعم في الخلطة		Kg/m^3…**651**….=…**0.33**….×…**1973**….
		كمية الركام الخشن في الخلطة		Kg/m^3…**1322**…=…**651**…- …**1973**….

كمية المواد للمتر المكعب الواحد (Kg)

الأسمنت	المـاء	الركام الناعم	الركام الخشن
300	**160**	**650**	**1320**

الفصل السابع

صنـــاعة الخرســـانة

CONCRETE MANUFACTUR

1.7 مقدمـة Introduction

صناعة الخرسانة في الموقع هي عملية تعتمد على عدة خطوات ابتداء من اختيار المواد وتخزينها ، ومرورا بتصميم الخلطة تم خلطها ونقلها وصبها في القوالب المعدة لها ودمكها، وأخيرا معالجتها؛ إن تلك الخطوات ترتبط ببعضها ارتباطا وثيقآ ويجب تنفيذها بكل دقة وأن يراعى فيها الاحتياطات الواجب اتخاذها في كل خطوة طبقا لما سيرد لاحقا ، ويجب التنويه إلى أن أي خلل في أي خطوة من الخطوات السابقة ستكون النتيجة عدم الحصول على المقاومة والمتانة المطلوبة للخرسانة.

2.7 تخزين المواد Material Storing

1.2.7 الإسمنت Cement

يمكن أن يتم توريد الإسمنت إلى موقع العمل إما سائبا وفى هذه الحالة يتم نقله وتخزينه عبر خزانات مصممة خصيصا لهذا الغرض ، أو معبأ في أكياس تزن الواحدة 50 كجم تقريبا ، وفي هذه الحالة يجب أن يحفظ الإسمنت بطريقة تحميه حماية فعالة من رطوبة الهواء والأرض وذلك بتخزينه في مخازن جيدة التهوية بعيدة عن أشعة الشمس المباشرة على سطح مرتفع عن الأرض وتغطيتها بغطاء غير منفذ للماء كما هو موضح بالشكل (1.7)، ويجب أن لا يستخدم في الخلطات الخرسانية أي إسمنت بدأت تتكون فيه حبيبات متصلدة أو كتل أو ظهرت شوائب أو مواد غريبة مضى على حفظها ستة أشهر بالنسبة للإسمنت البورتلاندي العادي أو أقل من ذلك بالنسبة للأنواع الأخرى من الإسمنت.

الشكل (1.7) طريقة تخزين الإسمنت

2.2.7 الركام Aggregates

التحكم في جودة الخرسانة يبدأ من الكشف عن نوعية الركام الناعم والخشن المورد للموقع، ففي حالة الشك من خلال المشاهدة البصرية في نوعية أو مقاس أو جودة الركام الخشن الموردة فيجب عمل الاختبارات اللازمة للتأكد من صلاحيته ومطابقته للمواصفات ، كما يمكن التعرف على نظافة الركام الناعم المورد عن طريق عمل اختبار بسيط وسريع وذلك بأخذ عينة من الرمل وتمريرها بين أصابع اليد وفى حالة التصاق بعض منها بالإصبع فإن ذلك يعطي مؤشرا على وجود مواد عالقة مثل الطين والأملاح ، وفى تلك الحالة يمكن التأكد بعمل الاختبارات اللازمة؛ كما يتوجب حفظ الركام الناعم والخشن وتخزينهما كل على حدة وبكيفية تجنبهما التلوث انظر الشكل (7.2) ، وفى كل الأحوال يجب أن يحفظ الركام على أرضيات خرسانية سمك 10 سم تقريبا تصب على الأرضية المراد تخزين الركام عليها وذلك لمنعها من التلوث والاختلاط بالأتربة والشوائب؛ وفى بعض المشاريع الخاصة يمكن حفظ الركام في صوامع خاصة بغية حمايتها من العوامل الجوية والحفاظ عليها بدرجة جافة لاستخدامها في الخلط.

الشكل (2.7) طريقة تخزين الركام الخشن والناعم

3.2.7 ماء الخلط Mixing water

ماء الخلط هو الماء الصالح للشرب ، وكما تم ذكره يجب أن يكون نظيفا وخاليا من جميع الشوائب وفى حالة الشك في نوعية ماء الخلط يجب عمل الاختبارات اللازمة للتأكد من صلاحيته ، ويتم وضع ماء الخلط في خزان مياه ثابت أو متنقل حسب الوضع ، وذلك لحمايته من الغبار والشوائب؛ كما أن إضافة ماء الخلط يجب أن تكون محسوبة من خلال نسبة الماء للإسمنت؛ إن أية زيادة في كمية الماء عن الحد المطلوب ستؤدى حتما إلى نقص في مقاومة الخرسانة للضغط وزيادة النفاذية وبالتالي ضعف متانة الخرسانة.

3.7 خلط الخرسانة Mixing of concrete

1.3.7 طرق خلط الخرسانة Concrete Mixing Methods

خلط الخرسانة هي العملية التي تلي عملية تصميم الخلطة الخرسانية ليتم خلط تلك النسب من المواد؛ هناك نوعان من طرق الخلط، الخلط اليدوي والخلط الآلي أو الميكانيكي.

1. الخلط اليدوي Hand Mixing

يتم خلط الخرسانة يدويا في الأعمال الصغيرة التي تحتاج إلى كميات قليلة من الخرسانة وتكون درجة أهميتها قليلة ، وتتم عملية الخلط طبقا للآتي :-

1. يتم تجهيز المواد حسب الكميات المطلوبة حجميا وذلك باستخدام صناديق خاصة مصنعة خصيصا لهذا الغرض ، كما تجهز ألواح معدنية أو فرشة من الخرسانة لإجراء عملية الخلط.
2. يتم خلط الإسمنت والركام الناعم أولا على الناشف بواسطة الجاروف إلى أن يصبح اللون متجانسا ، تم يضاف الركام الخشن ويقلب من مكان إلى آخر.
3. يتم إضافة ماء الخلط (ما يسمى بعملية التخمير) ، مع الأخذ في الاعتبار بأن تتم هذه العملية بعيدا عن الشمس والمطر.
4. يتم مزج الخلطة وتقليبها من مكان إلى آخر ثلاث مرات ، إلى أن يتم الحصول على خلطة خرسانية متجانسة لها القوام المطلوب وذات لون واحد.
5. بمجرد أن يتم الخلط يجب أن يمنع إضافة أي ماء أو إسمنت إلى الخرسانة.

ومن مساوئ هذا النوع من الخلط هو عدم التحكم في كميات مواد الخلط وخاصة المياه ، حيث يتم في بعض حالات الخلط السيئة إضافة ماء الخلط بدون معيار أو مكيال (الشكل 3.7)حيث يتم إضافته عن طريق خرطوم المياه أو بطريقة عشوائية وبذلك تضاف كميات مياه كبيرة تصبح معها درجة التشغيل عالية مقابل مقاومة ومتانة ضعيفة.

الشكل (3.7) طريقة خاطئة لإضافة الماء

2. الخلط الآلي Automatic mixing

يتم خلط الخرسانة ميكانيكيا في الأعمال ذات الأهمية المتوسطة والكبيرة والتي تحتاج إلى كميات خرسانة كبيرة ، وتتم عمليات الخلط بالنسب المطلوبة في خلاطات ذات سعة تتناسب مع معدل النقل والصب.

- **أنواع الخلاطات :** **Mixers Types**

أ. طبقا لطريقة تغذية وتفريغ الخلاط:

1. خلاط العبوة الواحدة :

في هذا النوع تعبأ اسطوانة الخلط بالمواد اللازمة لخلطة واحدة وبعد أن تتم عملية خلطها وتفريغها توضع المواد اللازمة للخلطة التالية وهكذا.

2. الخلاط المستمر :

في هذا النوع تعبأ اسطوانة الخلط بالمواد اللازمة لإنتاج الخرسانة بالنسب والمعدلات المحددة دون توقف ، كما تتدفق في اسطوانة الخلط الخرسانة بصفة مستمرة بالمعدلات المقررة.

ب. طبقا لطريقة خلط المواد :

1. خلاط يعمل بتأثير الجاذبية :

في هذا النوع تدور أسياخ الحديد المبسط الملحومة بجوانب اسطوانة الخلط ، حيث ترفع المواد إلى أعلى أثناء دورانها ثم تسقط المواد إلى أعلى أثناء دورانها ثم تسقط المواد إلى أسفل تحت تأثير الجاذبية الناتجة من وزنها فتختلط المواد ببعضها.

2. خلاط يعمل بالضغط :

في هذا النوع تدور أسياخ التحريك في اتجاه مضاد لاتجاه اسطوانة الخلط وينتج عن ذلك دفع المواد وخلطها ببعضها.

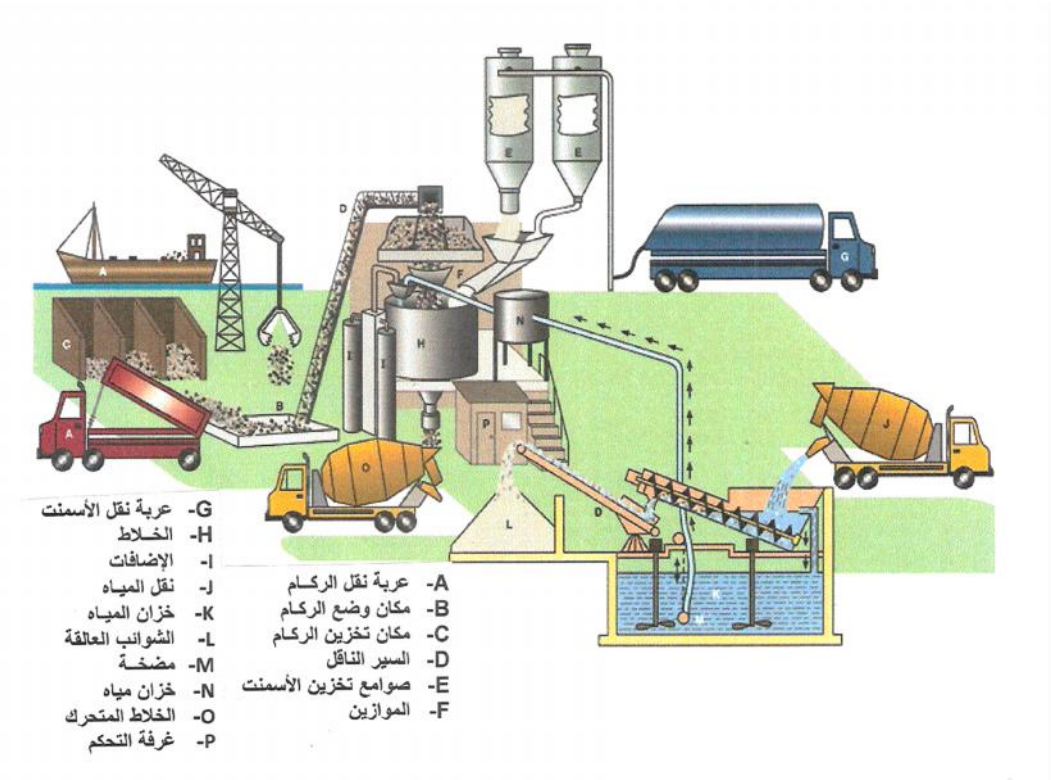
ج. طبقا لظروف استعمال الخلاط :

1. الخلاط الثابت Fixing Mixer

ويستعمل هذا النوع في مصانع إنتاج الخرسانة أو الخلطات المركزية لخلط الخرسانة سواء في مواقع الإنشاء أو في نقطة متوسطة بالنسبة لمواقع الإنشاء المختلفة ويكون الغرض منها إنتاج معدلات كبيرة من الخرسانة لمدة طويلة.

2. الخلاط المتحرك Removing Mixer

يستعمل هذا النوع لخلط الخرسانة في مواقع الإنشاء المطلوب بها إنتاج كميات صغيرة نسبيا من الخرسانة.



الشكل (4.7) توضيح تخطيطي للخلط المركزي[2.6]

الشكل (5.7) الخلاطات المركزية

2.3.7 توصيات الكود العربي Arabic Code Recommendation

يوصي الكود العربي الموحد ببعض النقاط بخصوص الخلط كما يلي[2.1] :-

1. يجب خلط مكونات الخرسانة ميكانيكيا في خلاطات ذات سعة تتناسب مع معدل الصب ، حتى يصبح توزيع مكوناتها منتظما ، كما يجب تفريغ الخلاط تماما قبل إعادة شحنه.

2. يجوز خلط الخرسانة يدويا إذا دعت الضرورة القصوى لذلك وبعد موافقة المهندس المشرف الإستشارى للمشروع ، وفى هذه الحالة يتم الخلط بتقليب المواد تقليبا جيدا بالنسب المطلوبة على طبلية مستوية صماء ، ويجب خلط الإسمنت مع الركام وهو جاف ويقلب على ثلاث دفعات على الأقل ، ثم يضاف الماء تدريجيا بالقدر المطلوب للخلطة ، ويستمر التقليب والخلط حتى تتجانس الخلطة لونا وقواما بحيث تحقق الاشتراطات التصميمية.

3. في حالة استخدام الخرسانة مسبقة الصنع يجب الرجوع إلى الاشتراطات الخاصة بها قبل السماح باستخدامها ، وكذلك في حالة استخدام مضخات الخرسانة.

4. في حالة الخلط الميكانيكي يتم تفريغ الشحنة ونقلها من الحلة إلى مكان صبها بواسطة السير الناقل أو بالرافعة أو مضخة الخرسانة ، كما يجوز تفريغها على طبلية صماء توطئة لنقلها يدويا ، مع مراعاة عدم تفريغ خلطة جديدة على طبلية قبل تمام نقل الخلطة السابقة[2.1].

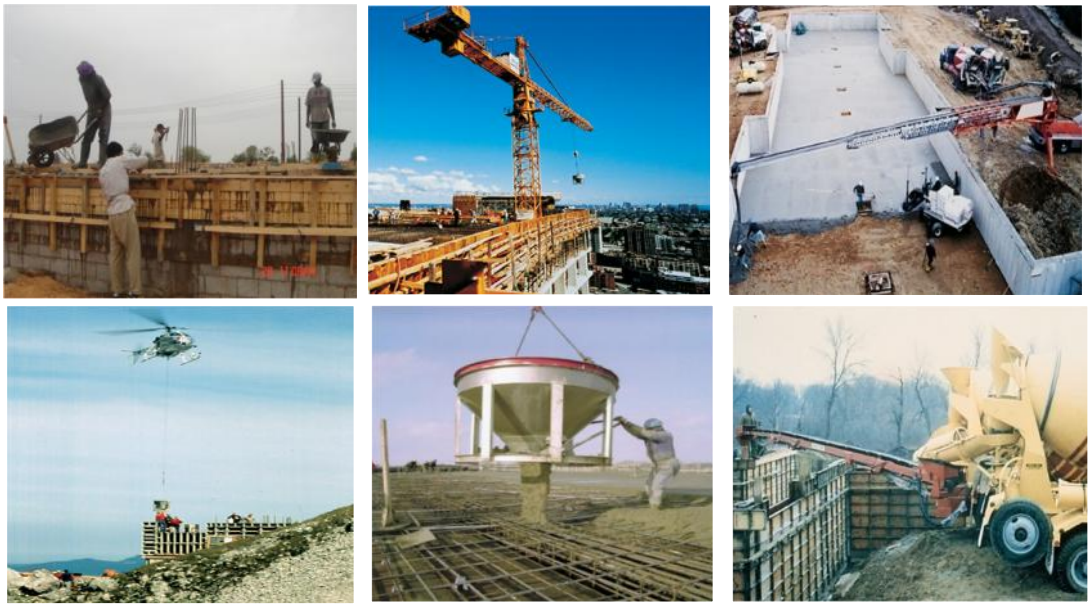
4.7 نقل الخرسانة Concrete Transporting

1.4.7 طرق نقل الخرسانة Methods of Transporting Concrete

نقل الخرسانة هي الخطوة التي تلي عملية الخلط , ويجب التحكم جيدا في هذه الخطوة حتى يتم الحصول على خرسانة متجانسة والتأكد من عدم حصول عملية انفصال في مكونات الخرسانة، ويتم نقل الخرسانة من مكان خلطها إلى المكان المعد لها بطرق مختلفة وذلك حسب الوسائل المتوفرة وأهمية المشروع ، وهناك عدة عوامل يجب أخذها بعين الاعتبار عند اختيار طريقة النقل وهي :

- المسافة بين مكان الخلط والصب.
- كمية الخرسانة ومعدل الصب.
- نوع الخرسانة.
- التكلفة الاقتصادية.

ففي أبسط الحالات يكون نقل الخرسانة يدويا بواسطة العربات الصغيرة (البرويطة)، تسير هذه العربات على ألواح خشبية تقع في منسوب أعلى من منسوب التسليح تثبت هذه الألواح بشكل جيد حيث ترتكز مباشرة على الشدة الخشبية؛ وفى المنشآت متوسطة الارتفاع يتم نقل الخرسانة من مكان خلطها في الأسفل إلى الطوابق العليا حتى خمسين مترا تقريبا بواسطة رافعات بسيطة وهى عبارة عن عربة ترفع ضمن سكتين عموديتين ترفع بكابلات مركبة على بكرات وتشغل بمحرك بسيط؛ وفى الأبنية ذات الارتفاعات العالية وكميات خرسانة كبيرة يمكن استخدام الروافع والطائرات العمودية لنقل الخرسانة كما هو موضح بالشكل (5.7)؛ وفى كل الأحوال يجب أن تكون الخلطة الخرسانية مناسبة لنوع طريقة النقل حتى يتم تفادي عملية انفصال مكونات الخرسانة بعضها عن بعض.



الشكل (5.7) طرق نقل الخرسانة

5.7 صب الخرسانة Placing of Concrete

صب الخرسانة هي الخطوة التي تلي عملية النقل , ويجب التحكم الجيد أيضا في هذه الخطوة حتى يتم الحصول على خرسانة متجانسة والتأكد من عدم حصول عملية انفصال في مكونات الخرسانة، ويتم صب الخرسانة في المكان المعد لها بطرق مختلفة وذلك حسب الوسائل المتوفرة وأهمية المشروع ، وهناك عدة عوامل يجب أخذها بعين الإعتبار عند صب الخرسانة وهي :

1.5.7 الإعداد لصب الخرسانة Preparation of Concrete Placing

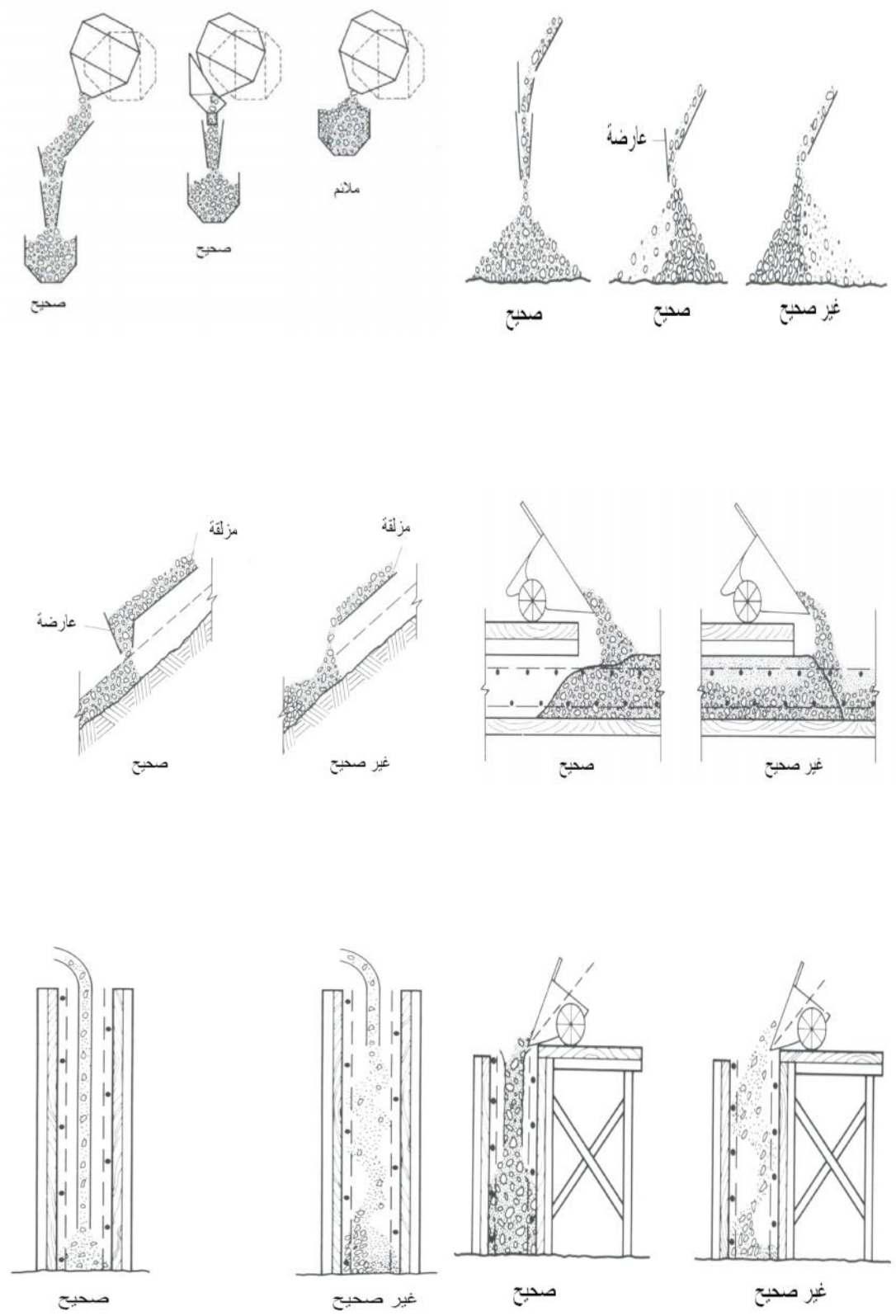
يجب قبل صب الخرسانة تجهيز القوالب وحديد التسليح في المكان المصمم له ، ويجب بل السطح أسفل الخرسانة حتى لا يمتص الماء من الخلطة الخرسانية وخصوصا في الأجواء الحارة؛ ويجب أن تكون القوالب نظيفة ومتماسكة ومربوطة جيدا ومن مادة تعطي الخرسانة السطح النهائي المطلوب؛ ويفضل بل القوالب أو دهانها بالزيت قبل الصب لتسهيل عملية الفك؛ وإذا كانت القوالب معرضة للشمس فيجب رشها بالماء من فترة إلى أخرى لضمان تماسكها؛ ويجب أن يكون حديد التسليح خاليا من الصدأ.

2.5.7 ملاحظات عند الصب Remarks for Placing

عملية صب الخرسانة في القوالب المعدة لها وعملية الدمك التي تلي هذه العملية لها أهمية كبيرة في الحصول على خرسانة ذات مقاومة عالية ونفاذية قليلة ولذلك فإن هناك عدة عوامل يجب أن تؤخذ بالحسبان عند وضع الخرسانة في القوالب:-

- تحريك الخرسانة بالهزاز غير مرغوب فيه.
- يجب صب الخرسانة على طبقات منتظمة.
- يجب عدم صب طبقة أخرى على الأولى إلا بعد دمكها جيداً.
- معدل الصب والدمك يجب أن يكون متساويا.
- عندما يراد عمل سطح ناعم جيداً للخرسانة يجب أن لا يقل معدل الصب عن 2م^3/الساعة ويجب تفادي التأخير في الصب.

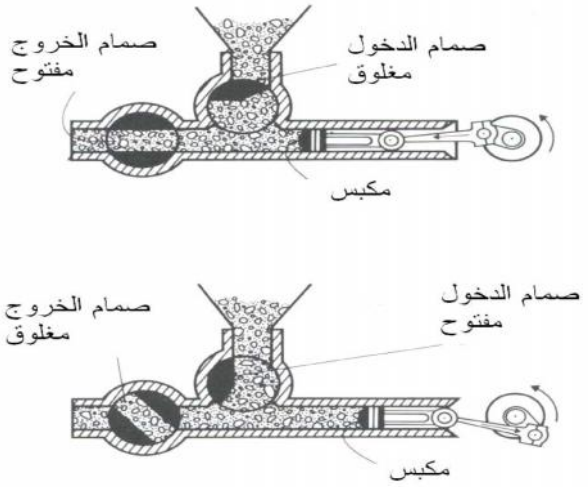
ففي حالة صب الخرسانة بسماكة كبيرة يراعى أن تصب على طبقات في حدود 30سم حتى يمكن دمك الخرسانة بشكل فعال أولا بأول. ويمكن زيادة هذا الحد في حال استخدام هزاز ، ويراعى أن لا يمضي وقت طويل بين تعاقب الطبقات حتى لا تكون الطبقة السفلي قد بدأت بالتصلب عند بدء صب الطبقة الثانية؛ أما في حالة الأعمدة فلا يجوز صبها بكامل ارتفاعها ويجب تقسيم أحد جوانب القالب إلى أجزاء لا يتجاوز ارتفاعها 2 متر ، ويتم تقفيلها أولا بأول حتى يمكن الصب تباعا؛ وفى جميع الأحوال يجب أخذ الحيطة عند صب الخرسانة بأي طريقة ألاّ يحدث انفصال في مكونات الخرسانة بسبب وضعية الصب غير الصحيحة كما هو موضح بالشكل (6.7)



الشكل (6.7) طرق صب الخرسانة[2.5]

3.5.7 ضخ الخرسانة Pumping of Concrete

في حالة نقل كميات كبيرة من الخرسانة أو في حالة نقل الخرسانة إلى ارتفاعات عالية تستخدم المضخات وذلك لسهولة وسرعة الصب والتكلفة الاقتصادية . ويتلخص نظام الصب في أن الخرسانة الموجودة بالخلط المتحرك يتم صبه في قمع المضخة وعن طريق الشفط ، وبعد دخول الخرسانة في المضخة يفتح صمام الخروج ويغلق صمام الدخول ، وعند تحريك المكبس عموديا وبعد عدة سلسلات من قوة الدفع يتم دفع الخرسانة في الأنبوب لتخرج الخرسانة من خلال الأنابيب إلى مكان الصب كما هو موضح بالشكل 7.7.



الشكل (7.7) مقطع في مضخة خرسانية[12.1]

وهناك عدة عوامل تؤثر على عملية الضخ منها :

1. عدد وحجم الفراغات لهما تأثير على عملية الضخ ، فكلما زاد حجم الفراغات سيحصل انفصال في مكونات الخرسانة.
2. نسبة الماء للإسمنت لها تأثير على عملية الضخ.
3. كمية الإسمنت ، فكلما قلت كمية الإسمنت عن 210 كجم/م^3 كلما حدث انفصال في مكونات الخرسانة ، وكلما زادت كمية الإسمنت عن 400 كجم/م^3 كلما أصبحت الطبقة الملامسة للأنبوب لزجة.
4. يجب ألا يزيد حجم المار من المنخل 2.36مم عن 5- 10٪. ولا يقل الحجم الأصغر المار من المنخل 300 ميكرون عن 300 كجم متضمنا الإسمنت.
5. يجب أن لا تقل درجة التشغيل عن 75مم .
6. يجب أن تكون نوعية الرمل ناعمة أو متوسطة النعومة.

الشكل (8.7) ضخ الخرسانة[2.6]

- **مزايا ضخ الخرسانة** **Advantages of Concrete Pumping**

1. معدل عالي في الصب.
2. يسهل الصب للمناطق العالية والصعب الوصول إليها.
3. يقلل من زمن الصب.

- **مساوئ ضخ الخرسانة** **Disadvantages of Concrete Pumping**

1. التكلفة العالية للخرسانة.
2. يزيد من الضغط على القوالب الخشبية.
3. معدل الصب كبير.

6.7 دمك الخرسانة Compacting of Concrete

دمك الخرسانة هي الخطوة التي تلي عملية الصب , ويجب التحكم الجيد في هذه الخطوة حتى يتم الحصول على خرسانة متجانسة ونفاذيتها قليلة والتأكد من عدم حصول عملية انفصال في مكونات الخرسانة، ويتم دمك الخرسانة بطرق مختلفة وذلك حسب الوسائل المتوفرة وكمية الخرسانة المراد دمكها.

1.6.7 الغرض من الدمك Reason of compacting

الغرض من دمك الخرسانة هو دمكها ضمن القوالب بشكل جيد وإخراج الفقاعات الهوائية التي بداخلها حتى تكون الخرسانة المتصلبة قليلة الفراغات أي بمعنى آخر بدرجة نفاذية قليلة؛ وتستمر عملية الدمك بشكل دائم حتى ظهور روبة الإسمنت.

2.6.7 طرق دمك الخرسانة Compacting Methods of Concrete

يتم دمك الخرسانة يدويا أو ميكانيكيا ، ففي الدمك اليدوي يتم بواسطة عمال موزعين على طول العنصر المصبوب ومجهزين بقضبان حديدية بطول كاف يمكن الوصول بها إلى عمق الخرسانة وبسمك مناسب بحيث يسمح بتمريرها بين قضبان حديد التسليح ، ويستخدم الدمك اليدوي في حال صب كميات قليلة من الخرسانة وتكون الخرسانة المصبوبة مائعة؛ أما الدمك الميكانيكي فيستخدم في حال صب كميات كبيرة من الخرسانة ويتم بعدة طرق مثل الهزازت الغاطسة أو هزازات القوالب الخارجية أو هزازات الأسطح ، وبوجه عام فأنه يوصى باستخدام الهزازت حيت إنها تقلل من مدة الدمك وتمكن من تخفيض نسبة الماء للإسمنت في الخلطة مما يؤدى إلى خرسانة متينة ، ويجب عند استخدام الهزاز أن يقوم بعملية الدمك شخص مدرب بحيث لا يترك مكانا دون دمك ولا يطيله حتى لا يحدث انفصال في مكونات الخرسانة؛ ويتم الهز الخارجي للخرسانة بتثبيت رجاجات على القوالب من الخارج كما في الشكل (9.7) ، والرجاجات هي عبارة عن صفائح يمكن نقلها من مكان لآخر وتناسب العناصر التي تتراوح سماكتها من 30- 60 سم .

الشكل (9.7) رجاجات على القوالب من الخارج[2.6]

أما الرج السطحي فيتم بواسطة صفائح أيضا تنقل باليد وتستعمل لرج البلاطات ويجرى الرج على سطح الخرسانة المصبوبة حتى تتم تسويتها إلى السماكة المطلوبة كما فى الشكل (10.7).

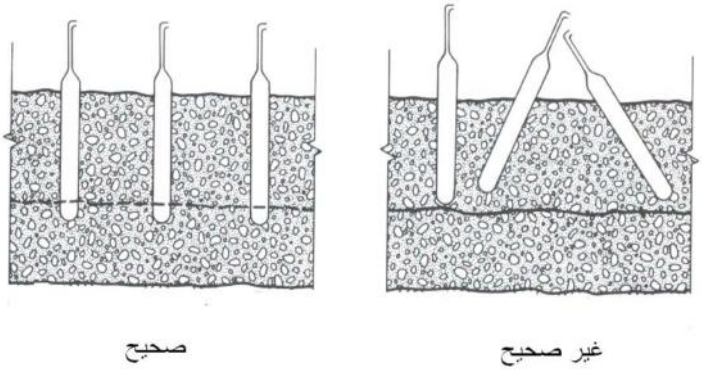
الشكل (10.7) دمك الخرسانة ميكانيكيا[2.6]

وفى جميع الأحول عند استخدام الهزازات الغاطسة والأكثر شيوعا لدمك الخرسانة كما في الشكل (11.7) يجب أتباع التعليمات التالية :

- يتم إدخال رأس الرجاج في الخرسانة بشكل عمودي.
- يجب إدخال رأس الرجاج داخل الكتلة الخرسانية مسافة لا تقل عن (5- 10) سم شرط ألا يتجاوز عمر صب هذه الخلطة الساعة والنصف اعتبارا من بدء تحضير الخلطة.
- يجب أن لا تزيد سماكة طبقة الخرسانة الطازجة المراد دمكها عن 0.75 من طول رأس الهزاز.
- يجب أن تتراوح فترة الهز للخرسانة الطازجة ما بين (15- 60) ثانية وذلك تبعا لقوام الخرسانة وفترة الإهتزاز المستخدمة.
- أثناء دمك الخرسانة يجب أن يحرك رأس الهزاز حركة بطيئة نحو الأعلى والأسفل مسافة تساوي تقريبا ربع طول الهزاز.
- يتم سحب الهزاز من الخرسانة بسرعة تتراوح ما بين (5- 8) سم/ثانية .
- يجب ألاّ تزيد المسافة بين أي موضعين متتاليين لرأس الهزاز عن (1- 1.5) نصف قطر التأثير للاهتزازات.
- يحدد نصف قطر التأثير للخرسانة الطازجة تجريبيا.

تنتهي لحظة دمك الخرسانة بواسطة الهزاز عبر جملة من الملاحظات الخارجية وهى :

- إنتهاء الهبوط للخرسانة الطازجة.
- إنتهاء ظهور فقاعات الهواء على سطح الخرسانة الطازجة.
- ظهور الروبة الإسمنتية على سطح الخرسانة وإضفاء مظهر التجانس على كتلة الخرسانة.



الشكل (11.7) طريقة وضع الهزاز داخل الخرسانة[2.5]

7.7 تشطيب وإنهاء سطح الخرسانة Surface Finishing of Concrete

تشطيب وإنهاء سطح الخرسانة من الأمور المهمة في خطوات تصنيعها ، حيث إن غطاء الخرسانة (cover) والذي يعتبر السطح الخارجي جزءاً منه هو الذي يقوم بحماية الخرسانة من تسرب الغازات والسوائل بداخلها وبالتالي زيادة مقاومتها ومتانتها ، وكلما كان تنفيذ غطاء الخرسانة وتشطيب السطح الخارجي له بشكل جيد كلما تحصلنا على غطاء خرسانى ذو كثافة عالية ونفاذية قليلة وبالتالي متانة عالية ، وهناك عدة أجهزه حديثة تستعمل في تشطيب وصقل الأسطح الخارجية للخرسانة؛ وتتلخص عملية إنهاء وتشطيب أسطح الخرسانة في أن يتم تسوية سطح الخرسانة بإزالة الخرسانة الزائدة ودمك السطح وذلك إما يدويا أو ميكانيكيا ويتبع هذه العملية ملُ جميع البقع المنخفضة بالخرسانة ، بعدها يتم تهذيب سطح الخرسانة وذلك بهدف تكثيف سطح الخرسانة والتخلص من أي عيوب ومن ثمّ صقل السطح انظر الشكل (12.7).

الشكل (12.7) الطريقة اليدوية والميكانيكية لتسوية سطح الخرسانة[2.6]

الفصـل الثامـن

معالجة الخرسانة

CURING OF CONCRETE

1.8 مقـدمة Introduction

معالجة الخرسانة هي آخر وأهم خطوة من خطوات تصنيع الخرسانة ، ويمكن تعريف المعالجة بأنها المحافظة على كمية ماء الخلط داخل الخرسانة من التبخر حتى يتم التفاعل بالكامل بين الإسمنت والماء ويحل ناتج التفاعل محل الماء المتفاعل أو بمعني آخر " لجعل الخرسانة مشبعة بالماء حتى ملئ الحجم المشغول بالماء داخل الخرسانة بناتج التفاعل " ومن خلال هذا التعريف يتضح أن الخرسانة التي لم يتم معالجتها ستكون معرضة إلى تبخر جزء من مياه الخلط وخاصة في الأجواء الحارة الجافة وبالتالي لا يتم التفاعل بين الإسمنت والماء بالكامل وسيكون هناك جزء من الإسمنت غير متفاعل داخل الخرسانة تم أن مكان الماء المتبخر سيصبح فراغات داخل الخرسانة وبالتالي زيادة درجة نفاذية الخرسانة ، وبشكل عام المعالجة الجيدة تحتاج إلى ثلاثة عوامل رئيسية وهي :

- درجة الرطوبة اللازمة.
- درجة الحرارة اللازمة.
- الزمن اللازم.

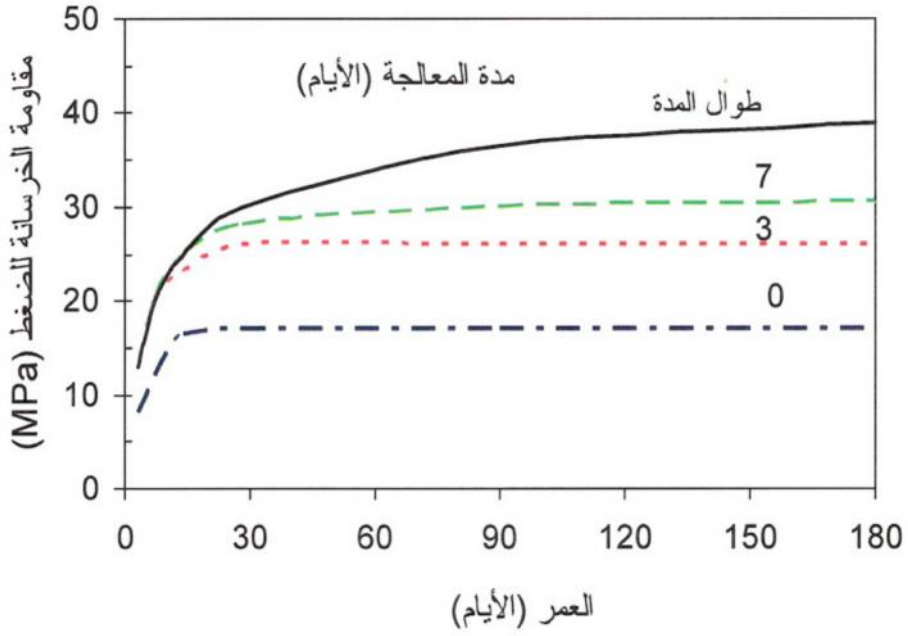
وفى حال تم إهمال أحد هذه العوامل فأن المعالجة لا يتوقع منها الفائدة المرجوة.

2.8 أهمية المعالجة Importance of Curing

مقاومة الخرسانة ومتانتها تعتمد وبشكل كبير على طريقة ومدة معالجتها ، فمن المعروف أن مقاومة الخرسانة لأحمال الضغط ولمرور السوائل والغازات عبرها يزداد مع الزمن شريطة أن تتم المحافظة على ماء الخلط بداخلها وبدرجة حرارة ورطوبة معتدلة على سطحها وهذا لا يتحقق إلا إذا تمت معالجتها بإحدى الطرق المناسبة وللمدة المطلوبة، وعملية المعالجة الجيدة والمحكمة تؤثر إيجابيا على خواص الخرسانة الصلبة حيث تزيد من :

1. مقاومة الخرسانة لأحمال الضغط.
2. مقاومة الخرسانة لنفاذ الغازات والسوائل.
3. مقاومة الخرسانة للصدم والاحتكاك.
4. مقاومة الخرسانة لفترات التجمد.
5. الثبات الحجمي للخرسانة.

ومن هنا يتضح أهمية المعالجة على مقاومة ومتانة الخرسانة ، حيث أثبت ومن خلال التجارب والخبرات السابقة أن مقاومة الخرسانة غير المعالجة تقل إلى ما نسبته 50٪ تقريبا عن الخرسانة المعالجة كما في الشكل (1.8).



الشكل (1.8) العلاقة بين مقاومة الخرسانة ومدة المعالجة[12.1]

3.8 فترة المعالجة Curing Duration

بشكل عام المواصفات الأمريكية تقترح فترة 7 أيام للمعالجة لمعظم المنشآت الخرسانية أو مدة من الزمن بحيث تصل فيه مقاومة الخرسانة إلى 70٪ من المقاومة التصميمية ، ومدة المعالجة للخرسانة تعتمد على نوع الإسمنت المستعمل ، فمثلا على سبيل المثال يجب ألاّ تقل فترة المعالجة عن 7 أيام بالنسبة للإسمنت البورتلاندي العادي و 3 أيام للإسمنت البورتلاندي سريع التصلب و 14 يوماً للإسمنت البورتلاندي منخفض الحرارة؛ وفى جميع الأحوال فإن الزمن اللازم لمعالجة الخرسانة يعتمد على عدة عوامل منها :

1. نوع الإسمنت المستعمل.
2. كمية الإسمنت ونسبة الماء للإسمنت المستعملة.
3. درجة الحرارة.
4. الرطوبة.

المواصفات البريطانية(BS8110) تقترح الجدول (1.8) التالي لحساب أقل زمن لمعالجة الخرسانة طبقا لنوع الإسمنت والظروف المحددة به.

الجدول (1.8) أقل فترة للمعالجة بالأيام (t ← درجة الحرارة)

نوع الإسمنت		متوسط درجة حرارة سطح الخرسانة (درجة مئوية)		
		10 – 5	أكثر من 10	25 - 5
درجة حرارة وجفاف معتدلة	الإسمنت البورتلاندي العادي الإسمنت المقاوم للكبريتات الإسمنت سريع التصلب	4	3	$\frac{60}{t+10}$
	الأنواع الأخرى من الإسمنت	6	4	$\frac{80}{t+10}$
درجة جفاف عالية ورطوبة أقل من 50٪	الإسمنت البورتلاندي العادي الإسمنت المقاوم للكبريتات الإسمنت سريع التصلب	6	4	$\frac{80}{t+10}$
	الأنواع الأخرى من الإسمنت	10	7	$\frac{140}{t+10}$

4.8 طرق المعالجة Methods of Curing

طرق معالجة الخرسانة كثيرة ومتعددة وتحديد إحداها لمعالجة عنصر خرساني يعتمد على عدة عوامل منها شكل العنصر المراد معالجته ، مدى توفر مياه المعالجة ، حجم الخرسانة ومساحة السطح ، التكلفة الاقتصادية؛ ويمكن حصر طرق المعالجة في الأنظمة التالية :

1.4.8 نظام إضافة الماء Adding Water System

- **طريقة الغمر بالمياه Immersing Water Method**

طريقة الغمر بالمياه كما في الشكل (2.8) هي عبارة عن غمر سطح الخرسانة بالماء طوال فترة المعالجة ، وتستعمل هذه الطريقة عادة في الأسطح الأفقية والأرضيات وهى ذات كفاءة

عالية ، إلا أن احتياج هذه الطريقة إلى عدد كبير من العمالة وتوفر المياه وصعوبة استخدامها في الأسطح غير الأفقية حد من استخدامها بشكل واسع.

الشكل (2.8) طريقة الغمر بالمياه

- **طريقة نثر المياه** **Spraying Water Method**

في هذه الطريقة يتم جعل طبقة رقيقة من الماء بشكل مستمر على سطح الخرسانة عن طريق النثر باستخدام شبكة من الرشاشات أو النثارات كما في الشكل (3.8) وهى لا تحتاج إلى عمالة كثيرة ولكن تحتاج إلى توفر المياه بشكل كبير ومستمر لأن توقف النثر بين الفترات قد يسبب في جفاف الخرسانة.

الشكل (3.8) طريقة نثر المياه[12.1]

- **طريقة الأغطية المبللة Covered Wet Sheet Method**

استعمال الخيش المبلل على الأسطح الخرسانية كما في الشكل (4.8) يعد طريقة أخرى لمعالجة الخرسانة ، حيث يعتبر الخيش من المواد الماصة للماء وتحتفظ به لفترة من الزمن وتزداد فترة الاحتفاظ بزيادة سماكة الخيش ويمكن استخدامها على جميع الأسطح الأفقية منها والعمودية والمائلة؛ كما يستعمل الرمل المشبع بالماء على الأسطح الأفقية؛ وتجدر الإشارة إلى أنه في هذه الطريقة يحتاج إلي تبليل الأغطية باستمرار ويتوقف ذلك على درجة حرارة ورطوبة الهواء.

الشكل (4.8) طريقة الأغطية المبللة

2.4.8نظام ترجيع الماء Retaining Water System

- **طريقة الألواح البلاستيكية Cover Plastic Sheet Method**

يتم في هذه الطريقة استخدام الألواح البلاستيكية على سطح الخرسانة بمجرد تصلبها بقدر كاف لمنع حدوث أي تلف على سطحها والألواح البلاستيكية شائعة الاستعمال نظرا لسهولة الالتواء والمرونة على تغطية الأشكال المعقدة ، ويجب التأكد عند استخدامها من عدم وجود ثقوب بها لتفادي تبخر الماء من الخرسانة؛ والشكل (5.8) يوضح طريقة استخدامها.

الشكل (5.8) طريقة الألواح البلاستيكية[12.1]

- **طريقة الورق المانع لتسرب المياه Impermeable Water Sheet Method**

يستعمل الورق المقوى غير المنفذ للماء لإنضاج الخرسانة ، ويمكن استخدامه على سطح الخرسانة بمجرد تصلبها بقدر كاف لمنع حدوث أي تلف على سطحها ، ويكون استعماله كما في الشكل (6.8) بعد بلل سطح الخرسانة وينصح باستخدام الورق أبيض اللون لعكس حرارة الشمس في فصل الصيف واللون الأسود لرفع امتصاص الحرارة في فصل الشتاء وبذلك تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الخرسانة.

الشكل (6.8) طريقة الورق المانع لتسرب المياه[12.1]

- **طريقة الأغشية الكيميائية Membrane Curing Compound Method**

تستعمل الأغشية الكيميائية في معالجة الخرسانة وخاصة في الأسطح الأفقية كالطرق والأسقف للمباني الخرسانية وذلك لقلة العمالة المطلوبة وسهولة الاستعمال ، والأغشية الكيميائية هي عبارة عن مواد كيماوية عند رشها على سطح الخرسانة تقوم بمنع تبخر الماء إما عن طريق عمل غشاء على سطح الخرسانة أو عن طريق تفاعل هذه المواد مع القلويات الموجودة بالخرسانة لسد جميع الفراغات في الطبقة السطحية لجعلها مصمتة وبالتالي منع تسرب المياه منها ؛ والأغشية الكيميائية نوعان هما:

1. مركبات تعتمد على مادة السولفنت Solvent Basis Compound

هذه المركبات تعتمد غالبا على هيدروكربون الرتنج التى تحمل السولفنت غير القابل للمزج ، هذه المركبات لها كثافة أقل من كثافة الماء ، مما يجعل السولفنت يطفو فوق سطح الماء الموجود على سطح الخرسانة ، وبعد أن يتم تبخر السولفنت يترك طبقة رقيقة على سطح الماء الذى بدوره يمنع تبخر الماء من على السطح.

2. مركبات تعتمد على الماء Water Basis Compound

نظرا للمشاكل الصحية التي يسببها السولفنت تم تقديم مركب آخر كبديل يستعمل أيضا لمعالجة الخرسانة ، هذا المركب يعتمد على تشتيت هيدروكربونات راتنجية مماثلة للسابقة في الماء بحيث يتم التفاعل بينه وبين القلويات الموجودة بالطبقة العليا (2- 3سم) عند رشه على الخرسانة كما في الشكل (7.8) ، وبذلك يتم ملُ جميع الفراغات الموجودة على سطح الخرسانة لتصبح طبقة مصمته تمنع تبخر الماء من داخلها.

الشكل (7.8) طريقة الأغشية الكيميائية

مزايا طريقة المعالجة بالأغشية الكيميائية Advantages of Membrane Curing

- عملية هذه الطريقة ، حيث يمكن استعمالها على أي شكل من أجزاء المبنى.
- اقتصادية ، لعدم احتياجها إلى عمالة كثيرة وإلى متابعة بعد رشها على الخرسانة.
- يمكن الحصول على كفاءة عالية تصل إلى 95٪.

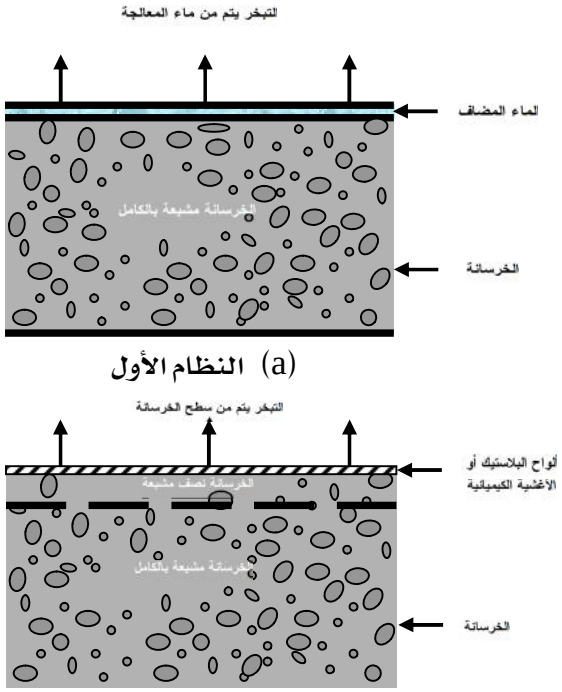
عيوب طريقة المعالجة بالأغشية الكيميائية Disadvantages of Membrane Curing

- في حالة وجود رياح يصعب الحصول على رش منتظم للمواد على سطح الخرسانة.
- بعض هذه المواد الكيماوية سام وعليه لا يمكن استخدامه في المباني الداخلية.

3.4.8 مقارنة بين النظامين Comparison Between the two Systems

بمقارنة نظامي معالجة الخرسانة المتمثل الأول في نظام إضافة الماء الشكل (a-8.8) والثاني في نظام ترجيع الماء الشكل (b-8.8) ، تشير معظم الأبحاث إلى أن النظام الأول أفضل من النظام الثاني وذلك نظرا لأن التبخر الذى سيحصل في النظام الأول سيكون من ماء المعالجة المضاف وبذلك تصبح الخرسانة بما فيها الغطاء الخرساني مشبعة بالماء طيلة فترة المعالجة ، بينما في النظام الثاني التبخر الذى سيحصل سيكون من ماء الخلط حيت يصطدم بألواح البلاستيك....وغيرها من مواد المعالجة ويرجع إلى سطح الخرسانة

وبذلك تصبح الطبقة الأولى من سطح الخرسانة وهى الغطاء الخرساني نصف مشبعة بينما باقي الخرسانة مشبعة بالكامل؛ ولكن نظرا لعدم عملية النظام الأول وخاصة على الأسطح العمودية يصبح النظام الثاني أكثر شيوعا لمعالجة الخرسانة.



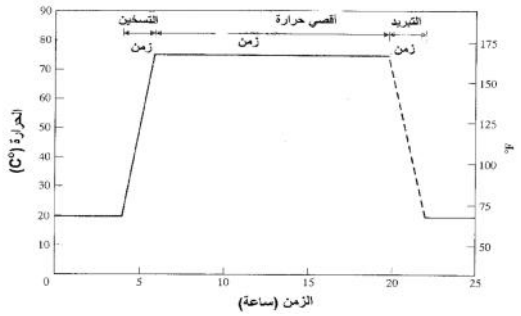
(a) النظام الأول

(b) النظام الثاني

الشكل (8.8) مقارنة بين النظامين

4.4.8 نظام المعالجة بالبخار Steam Curing System

المعالجة بالبخار تستعمل في مصانع الخرسانة الجاهزة وهى عملية معقدة ومكلفة لكنها تؤدى إلى سرعة في الإماهة وبالتالي الإسراع في الإنتاج وتجنب التخزين لغرض المعالجة وتتم المعالجة بالبخار إما تحت ضغط جوي عادي وتستغرق مدة من 10إلى16 ساعة تقريبا أو تحت ضغط عال وتستغرق المدة من 7الى8 ساعات تقريبا. انظر الشكل (9.8).



الشكل (9.8) دورة المعالجة بالبخار[2.5]

الفصـل التاسـع

تشوهات الخرسانة

CONCRETE DEFORMATIONS

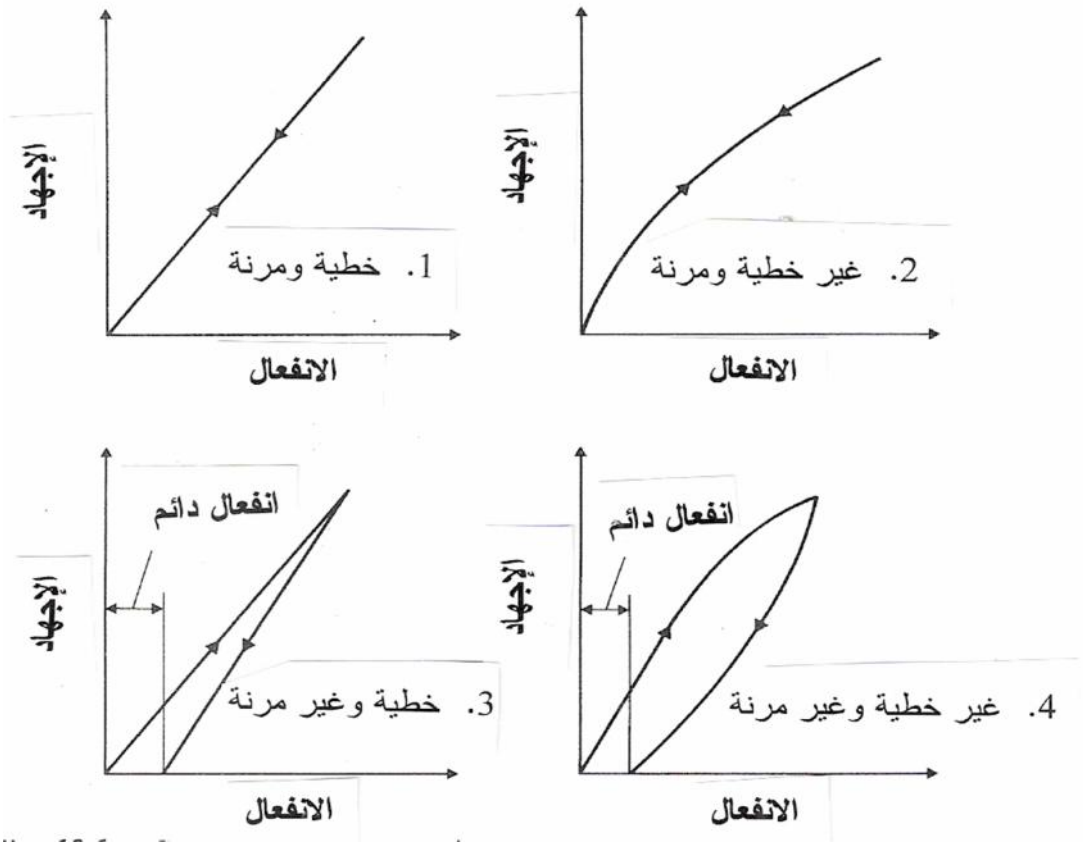
1.9المـرونة Elasticity

المرونة يمكن تعريفها بأنها عبارة عن ظهور واختفاء الانفعالات مباشرة تحت تأثير أو عدم تأثير الإجهادات.

1.1.9 أنواع المرونة Type of Elasticity

يمكن تقسيم المرونة إلى أربعة أقسام كما في الشكل (1.9) هي :-

1. خطية ومرنة مثل (الحديد)
2. غير خطية ومرنة مثل (المواد البلاستيكية والأخشاب)
3. خطية وغير مرنة مثل (الزجاج)
4. غير خطية وغير مرنة مثل (الخرسانة)

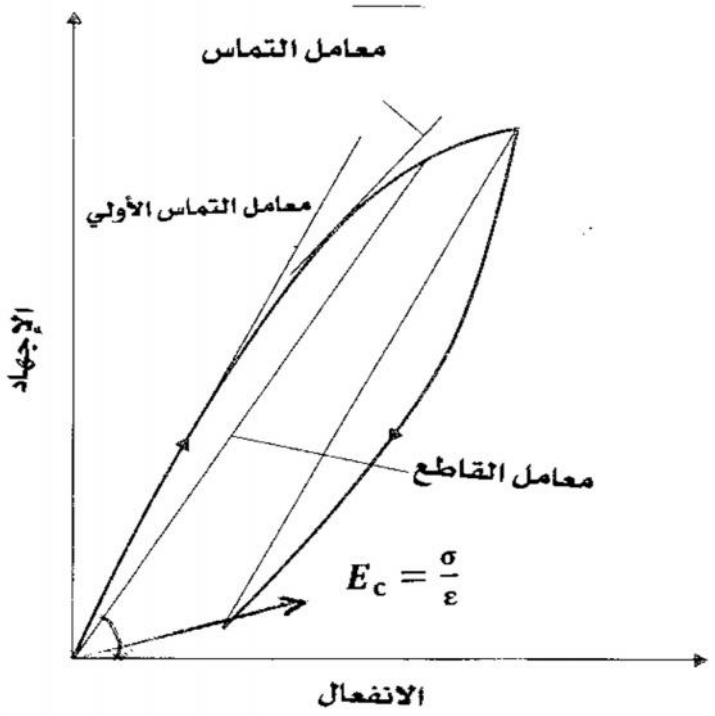


الشكل (1.9) أشكال المرونة المختلفة[2.5]

فعلاقة الإجهاد بالإنفعال بالنسبة للخرسانة ستكون غير خطية وغير مرنة وترجع عدم الخطية إلى الزحف (creep) ، ويعرف معامل المرونة بأنه النسبة بين الإجهاد والإنفعال المرن المصاحب للإجهاد المؤثر ، ويمكن التعبير عن معامل المرونة بأحد الصور التالية :

1. معامل المرونة الإبتدائي.
2. معامل المرونة اللحظي.
3. معامل المرونة التماس.
4. معامل المرونة القاطع.
5. معامل المرونة التفريغ (Unloading).

وبمعرفة معامل المرونة للخرسانة يمكن حساب الصلابة للخرسانة (Stiffness) والتشوهات (Deformation) والنسبة المعيارية ($n = \frac{E_s}{E_c}$).



الشكل (2.9) مرونة الخرسانة[2.5]

يبين الشكل (2.9) منحنى العلاقة بين الإجهاد والانفعال للخرسانة عند تعرضها إلى حمل ضغط محوري وتحت تأثير حمل إستاتيكي قصير المدى ، حيث يظهر منحنى الإجهاد والانفعال خطا مستقيما في بداية تحميل الخرسانة، ولكن مع استمرار وزيادة التحميل يبدأ في الحياد عن الخط المستقيم ، وهذا يبين أن الخرسانة في بداية تحميلها تكون العلاقة

بين الإجهاد والانفعال للخرسانة مرنة (خطا مستقيما) وهذا ناتج عن أن إجهادات الشد الناتجة عن التحميل لم تتجاوز إجهادات الشد بالنسبة للخرسانة ، ولكن عندما تتجاوز إجهادات الشد الناتجة عن الأحمال أجهادات الشد في الخرسانة فإن تشققات شعرية دقيقة ستظهر بالخرسانة ومع ظهور أول شق يبدأ المنحنى في الانحراف وتدخل الخرسانة مرحلة أخرى وهي المرحلة الغير مرنة؛ معامل يانغ للمرونة هو مقدار يعبر عن صلابة الخرسانة في مرحلة المرونة ويمكن قياسه بتعريض عينة من الخرسانة المتصلبة على هيئة إسطوانة قياسية إلى قوة ضغط محورية بعد 28 يوماً من الصب وذلك بين فكي جهاز الاختبار مع زيادة القوة تدريجيا بمعدل 140كجم/سم^2/دقيقة وقياس التشوهات الناتجة وهي الإنفعال الطولي والعرضي الناتج في منتصف العينة ومن ثم رسم العلاقة بين الإجهاد والإنفعال كما في الشكل (2.9) وكما سلف ذكره أنّ معامل المرونة يمكن التعبير عنه بعدة صور ، فمعامل المرونة الابتدائي هو عبارة عن ميل المماس لمنحنى الإجهاد والانفعال عند نقطة الأصل وهو ليس ذا أهمية كبيرة في تحليل الإنشاءات إلا من خلال التحميل المتكرر لدورة التحميل الأولي؛ ومعامل المرونة اللحظي وهو عبارة عن ميل الجزء المستقيم في منحنى العلاقة بين الإجهاد والانفعال؛ ومعامل التماس هو عبارة عن ميل المنحنى عند أي نقطة بعد مرحلة المرونة، وأخيرا معامل التفريغ وهو يعبر عن صلابة الخرسانة بعد إزالة الأحمال.

2.1.9 العوامل المؤثرة على معامل المرونة Factors Influencing Modulus of Elasticity

معامل المرونة كما سبق ذكره يعبر عن صلابة الخرسانة وقيمته تتأثر بدرجة تميؤ الإسمنت ونسب الخلط ونوعية الركام ونسبة الماء للإسمنت ، فكلما زادت نسبة الماء للإسمنت في الخلطة الخرسانية كلما قل معامل المرونة ، ويزداد معامل المرونة كلما زادت صلابة وقدرة تحمل الركام الخشن المستخدم ، كما أن معامل المرونة يزداد بزيادة عمر الخرسانة وكذلك بالنسبة لمحتوى الرطوبة في الخرسانة؛ بالنسبة لمعدل التحميل نجد أنه كلما زاد معدل التحميل كلما زاد معامل المرونة.

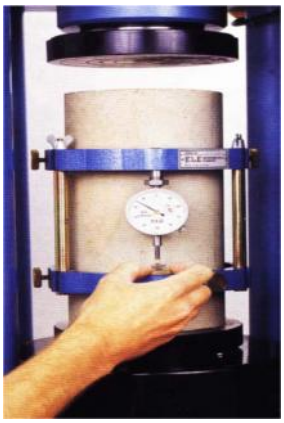
3.1.9 طرق قياس معامل المرونة Methods of Measuring Modulus of Elasticity

يمكن قياس معامل المرونة للخرسانة بإحدى الطرق التالية وهي :

1. طريقة التحميل الإستاتيكي.
2. الطريقة الديناميكية.
3. طريقة الانحناء

1. طريقة التحميل الإستاتيكي Static load Method

تتلخص هذه الطريقة في أن يتم تجهيز وصب اسطوانات خرسانية بقطر 15سم وارتفاع 30سم من خرسانة محددة المواصفات ، ومن ثم يتم معالجتها لمدة 28 يوماً أو للمدة المطلوبة بعدها يتم تثبيت مقاييس للانفعال على سطح العينة في مقابل بعضها وموازيين لمحور العينة كما في الشكل (3.9). تحمل العينة في جهاز اختبار الضغط بمعدل 140كجم/سم^2/دقيقة حتى يصل الإجهاد (F + 7) كجم/سم^2 حيث F ثلث متوسط مقاومة الضغط ، يستمر التحميل بهذا الإجهاد لمدة دقيقة على الأقل ثم يقلل تدريجيا إلى 1.4 كجم/سم^2 ثم تؤخذ قراءات مقاييس الإنفعال ثم يعاد التحميل مرة أخرى وبنفس المعدل إلى أن يصل الإجهاد إلى (F+1.4) كجم/سم^2 ويستمر التحميل عند هذه القيمة حتى أخذ قراءات الانفعال تم يقلل التحميل تدريجيا حتى 1.4 كجم/سم^2 وتؤخذ قراءات الانفعال. يعاد التحميل دورة ثالثة بنفس الأسلوب السابق ، وفى نهاية الدورة الثالثة تقارن القراءات مع الدورة السابقة فإذا كان هناك اختلاف في القراءات أكثر من 5٪ تعاد الدورة حتى يكون الفرق في القراءات بين الدورتين المتتاليتين أقل من 5٪ وبذلك يتم تحديد منحنى الإجهاد والإنفعال من الدورة الأخيرة ومن خلاله يمكن قياس معامل المرونة[7.1].



الشكل (3.9) قياس معامل مرونة الخرسانة[7.1]

2. الطريقة الديناميكية Dynamic Method

يمكن تحديد معامل المرونة ديناميكيا وذلك بتعريض عينة الخرسانة إلى اهتزازات طولية والخرسانة في حالة رنين باستخدام جهاز الموجات فوق الصوتية ، وباستخدام المعادلة التالية يمكن حساب معامل المرونة الديناميكي للخرسانة.

$$E_d = Kn^2L^2 \circ \quad \text{.....(1.9)}$$

حيث إن : E_d ← معامل المرونة الديناميكي

K ← ثابت

n ← التردد

L ← طول العينة

° ← كثافة الخرسانة

مع العلم بأن قيمة معامل المرونة الديناميكي يكون أعلى من قيمة معامل المرونة المحسوب بالطريقة الإستاتيكية ، ويرجع السبب في ذلك إلى أن إيجاد معامل المرونة بالطريقة الديناميكية لا يتأثر بالتقلص؛ ويمكن حساب أحدهما بمعرفة الآخر من خلال العلاقة التالية :

$$E_c = 1.25E_d - 19 \quad \text{.....(2.9)}$$

3. طريقة الانحناء Flexural Method

يمكن أيضاء إيجاد معامل المرونة من خلال تعريض كمرة خرسانية إلى حمل مركز في منتصفها ومن ثم قياس قيمة الانحناء تم قياس معامل المرونة من خلال المعادلة التالية :

$$E_c = \frac{PL^3}{48\Delta I} \quad \text{.....(3.9)}$$

حيث إن : E_c ← معامل المرونة للخرسانة

P ← الحمل المركز في منتصف الكمرة.

L ← طول الكمرة.

I ← عزم القصور الذاتي لمقطع الكمرة.

Δ ← قيمة الانحناء عند منتصف الكمرة.

ونظرا لأن النسبة بين الارتفاع وطول الكمرة تعتبر كبيرة فيفضل أخذ قيمة الانحناء الناتجة عن تأثير قوة القص في الاعتبار وبذلك يمكن تعديل المعادلة السابقة بحيث تكون على النحو التالي[7.1] :

$$E_c = \frac{PL^3}{48\Delta \mathrm{I}}\left[1+\left(2.4+1.5\neg\left(\frac{h}{L}\right)^2-0.84\left(\frac{h}{L}\right)^3\right)\right] \quad \text{.....(4.9)}$$

حيث إن : h .... عمق الكمرة.

¬ .... نسبة بواسون (الانفعال العرضي/الانفعال الطولي) وتتراوح بالنسبة للخرسانة من 0.15- 0.20

- **النسبة المعيارية (n)** **Modular Ratio**

هي النسبة بين معامل المرونة لحديد التسليح (E_s) ومعامل المرونة للخرسانة (E_c).

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad \text{.....(5.9)}$$

- **نسبة بواسون (¬)** **Poisson's Ratio**

هي النسبة بين الانفعال العرضي إلى الانفعال الطولي للخرسانة عندما يتكون تحت تأثير إجهاد ضغط في حدود المرونة ، وتتراوح قيمتها ما بين 0.15 ـ 0.20.

$$¬ = \frac{£_h}{£_v} \quad \text{.....(6.9)}$$

حيث إن : ¬ ← نسبة بواسون

$£_h$ ← الانفعال العرضي

$£_v$ ← الانفعال الطولي

كما يمكن إيجاد نسبة بواسون باستخدام جهاز الموجات فوق الصوتية وذلك عن طريق المعادلة التالية[2.5] :

$$\left(\frac{V^2}{2nL}\right)^2 = \frac{1-¬}{(1+¬)(1-2¬)} \quad \text{.....(7.9)}$$

حيث إن : V ← السرعة mm/s

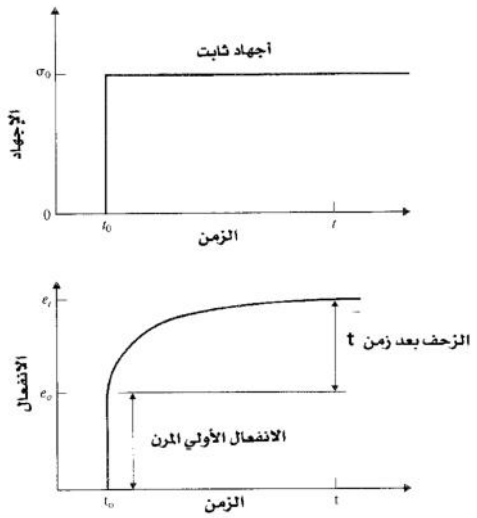
n ← التردد Hz

L ← طول العينة mm

قيمة نسبة بواسون بالطريقة الديناميكية أعلى من قيمتها بالطريقة الستاتيكية، حيث تتراوح من 0.2 ـ 0.24

2.9 الزحف Creep

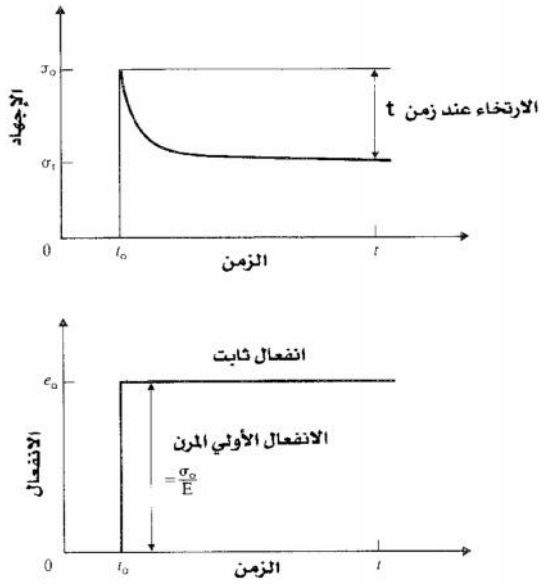
يعرف الزحف بأنه زيادة في الانفعالات مع مرور الزمن تحت تأثير إجهادات ثابتة كما في الشكل (4.9) وتتراوح قيمة الزحف للخرسانة من 5×10^{-6} إلى 20×10^{-6} . وحيث إن الزحف قد يكون عدة مرات أكبر من الانفعال عند تأثير الحمل ، فتعتبر دراسة الزحف ذات أهمية خاصة في ميكانيكا الإنشاءات.



الشكل (4.9) الزحف في الخرسانة[2.5]

1.2.9 الزحف في الخرسانة Creep of Concrete

للزحف تأثير ضار على الخرسانة مثل زيادة الانحناء في العناصر الخرسانية في بعض الحالات ، كما يعمل على توسيع الشقوق التي تنشأ من أسباب أخرى ، ويزيد من الارتخاء في حديد الخرسانة مسبقة الإجهاد. وكما أن للزحف تأثيراً ضاراً بالخرسانة فإن للزحف تأثيراً نافعاً على الخرسانة حيث يؤدى الزحف إلى تقليل الإجهادات التي يسببها شد ثابت مع الوقت (مثل الانكماش) وبالتالي يتولد شد إضافي هو الفرق بين الإجهاد الأصلي وتأثير الزحف ، وتسمى هذه الظاهرة بالاسترخاء ، كما هو موضح بالشكل (5.9).



الشكل (5.9) الارتخاء في الخرسانة[2.5]

ويمكن حساب القيمة الكلية للانفعال الناتج عن أقصى زحف والانفعال اللحظي المرن من المعادلة التالية[7.1]:

$$£_t = £_0(1+¨) = f_0(1+¨)/E_c \quad \text{.....(8.9)}$$

حيث إن : $£_0$ ← الانفعال اللحظي المرن الناتج من التحميل الأوليّ f_0/E_c

$£_t$ ← الانفعال الكلي عند زمن t.

$¨$ ← معامل الزحف.

$£_0¨$ ← إنفعال الزحف.

f_0 ← إجهاد الخرسانة الإبتدائي عند التحميل.

E_c ← معامل المرونة للخرسانة عند التحميل.

3.9 الانكماش Shrinkage

التغير الحجمي للخرسانة هو أحد المشاكل التي تتعرض لها الخرسانة وتؤثر على المدى البعيد على مقاومتها ومتانتها ، هناك عدة أسباب لهذا التغير منها الخواص الحرارية للخرسانة والركام ، تفاعل القلويات مع السيليكا ، هجوم الكبريتات ....إلخ ، هنا في هذا الفصل سيتم التطرق إلى سبب آخر ممكن أن يسبب تغيرا حجميا في الخرسانة ويؤدى إلى ظهور تشققات بالخرسانة ، وهو ما يعرف بالانكماش؛ الانكماش هو أحد الأسباب الرئيسية المسببة للتشققات في الخرسانة وخاصة في الأسطح الأفقية ، ويمكن القول أنه من الصعب عمل خرسانة لا تنكمش ولا تتشقق ولكن إلى أي حد؛ وهنا يأتي السؤال كيف يمكن التقليل من ظاهرة الانكماش في الخرسانة والتشققات الناتجة عنها؟للتقليل من ظاهرة الانكماش في الخرسانة يجب التعرف وبعمق على طبيعة حدوث الإنكماش وما هي العوامل التي تؤثر في حدوثه؛ كلمة الانكماش تعبر عن عدة عمليات من التغير الحجمي للخرسانة نتيجة تبخر أو فقدان الماء من الخرسانة عند مراحل وأسباب مختلفة.

1.3.9 أنواع الانكماش Types of Shrinkage

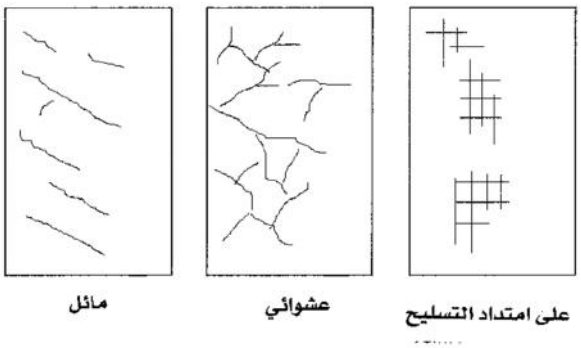
يمكن تقسيم الانكماش إلى الأنواع الثلاثة الآتية[7.1] :-

1. الانكماش اللدن.
2. الانكماش الذاتي.
3. الانكماش الجاف.

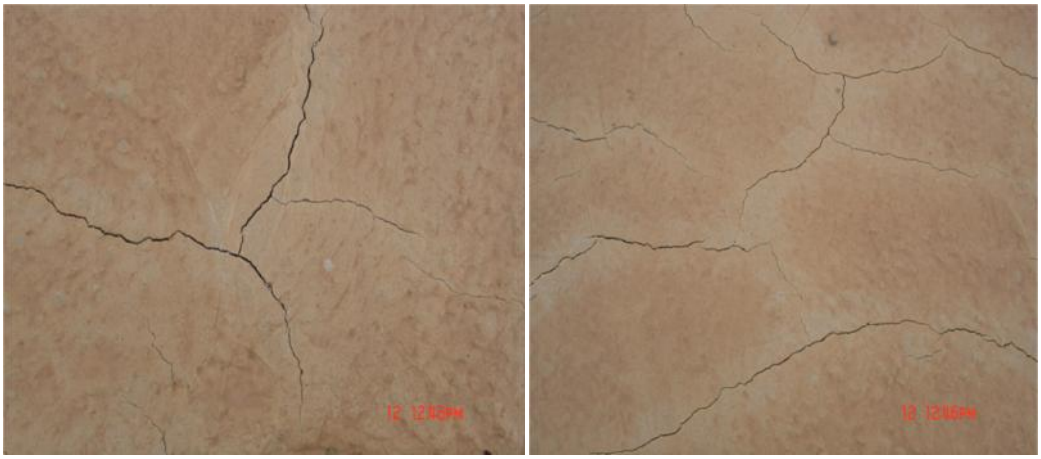
1. الانكماش اللدن Plastic Shrinkage

الانكماش اللدن يحدث في الساعات الأولى من صب الخرسانة وبالتحديد في الفترة الواقعة من نصف ساعة إلى 6 ساعات ، والسبب الرئيس في حدوث هذا الانكماش هو فقدان الماء من الخرسانة إما عن طريق التبخر أو امتصاص الركام أو أرضية التأسيس؛ أكثر العناصر المعرضة للانكماش المرن هي الأسطح الأفقية سواء كانت أرضيات أو بلاطات وخاصة في الجو الحار ، حيث يصبح معدل التبخر أكبر من معدل النضح للمياه فوق سطح الخرسانة مما يجعل سطح الخرسانة عرضة للبلل والجفاف المتكرر مما ينتج عنه تولد إجهادات شد على سطح الخرسانة وبالتالي ظهور التشققات على السطح ، ويمكن التغلب على هذه العملية بعمل المعالجة الجيدة للخرسانة من حيث النوعية المناسبة والمدة الكافية، الشكل (6.9) التالي يوضح كيفية حدوث التشققات المرنة في الخرسانة والشكل (7.9) يوضح أشكال التشققات المرنة في الخرسانة والشكل (8.9) يوضح صور لتشققات بسبب الانكماش المرن في الأسطح الخرسانية.

الشكل (6.9) كيفية حدوث التشققات في الخرسانة بسبب الانكماش



الشكل (7.9) أشكال التشققات المرنة في الخرسانة



الشكل (8.9) التشققات المرنة في الخرسانة

2. الانكماش الذاتي Autogenous Shrinkage

عندما تبدأ عملية التفاعل بين الإسمنت والماء يحدث نقص في حجم المونة الإسمنتية لأن المونة المتصلدة حجمها أقل من حجمي الماء والإسمنت في الخلطة مما يؤدى إلى انكماش الخرسانة الداخلية وهو ما يعرف بالانكماش الذاتي لأنه يحدث ذاتيا نتيجة الاتحاد الذاتي بين الماء والإسمنت؛ أما معالجة الخرسانة تحت الماء فإن الماء الداخل في التفاعل الكيميائي يتم استعاضته من الماء الخارجي وتمتص العجينة الإسمنتية ماء زائدا مما يؤدى إلى زيادة طفيفة في حجم الخرسانة وليس انكماشا؛ الانكماش الذاتي ليس له أهمية كبيرة عدا في الخرسانة الكتلية ، وتصل قيمة الانكماش الذاتي إلى $100*10^{-6}$ ويحدث 75٪ منه في الثلاثة أشهر الأولى من عمر الخرسانة[7.1].

3. الانكماش الجاف Drying Shrinkage

بمجرد تصلب الخرسانة المعالجة بالماء وتعرضها للجفاف فإنها تفقد الماء الموجود في الفجوات والشقوق الشعرية الداخلية ولا تبدأ في الانكماش إلا إذا استمر الجفاف بحيث تفقد الماء الموجود بالعجينة المتصلدة ذاتها وهو ما يعرف بالانكماش الجاف؛ وقد تصل قيمة هذا الانكماش إلى $1500*10^{-6}$وهناك عدة عوامل تؤثر على الانكماش الجاف للخرسانة، وفيما يلي بعض هذه العوامل؛ الشكل التالي يوضح الانكماش الجاف في الخرسانة.

الشكل (9.9) الانكماش الجاف في الخرسانة

2.3.9 العوامل المؤثرة على الانكماش Factors Influencing Shrinkage

1. مـواد الخلطة الخرسانية Material of Concrete Mix

الانكماش يزداد بزيادة كمية الماء في الخلطة الخرسانية ، فكلما كانت هناك كمية ماء أكبر متاحة للتبخر كلما زادت إمكانية الانكماش أثناء الجفاف؛ وكلما زادت كمية الركام في الخلطة الخرسانية كلما قل الانكماش الجاف للخرسانة؛ بالنسبة للإسمنت يرجع تأثيره فقط لكون كميتة ونعومته تؤثر على كمية الماء في الخلطة الخرسانية.

2. معالجـة الخرسانة Curing of Concrete

المعالجة الجيدة للخرسانة تقلل من حدوث الانكماش اللدن والجاف للخرسانة.

3. حجم وشكل العنصر الخرساني Type and Volume of Concrete Element

كلما زادت المساحة السطحية للعنصر الخرساني كلما زاد معدل الانكماش ، وكذلك كلما قل سمك العنصر كلما زاد معدل الانكماش أيضا.

4. درجة الحرارة والرطوبة Temperature and Humidity

كلما زادت درجة الحرارة وقلت درجة الرطوبة كلما زاد معدل التبخر وبالتالي زيادة معدل الانكماش في الخرسانة.

5. التسليح Reinforcement

الانكماش في الخرسانة المسلحة يكون عادة أقل منه في الخرسانة العادية.

الفصل العاشر

خواص الخرسانة الطرية

PROPERTIES OF FRESH CONCRETE

1.10 مقدمة Introduction

تمر الخرسانة بمراحل متعددة من لحظة إضافة الماء إلى الإسمنت مرورا بتصلبها في القوالب المعدة لها وإلى حين انتهاء عمرها الافتراضي ، فالمرحلة الأولى هي الخرسانة الطازجة وهى الخرسانة التي تبدأ من لحظة إضافة الماء على مكونات الخرسانة الجافة إلى لحظة حدوث الشك الإبتدائي ، وتتميز هذه المرحلة بالقدرة على الخلط والنقل والصب والدمك ، المرحلة الثانية هي الخرسانة الخضراء وهي تبدأ من لحظة حدوث الشك الابتدائي إلى حين حدوث الشك النهائي وتصلد الخرسانة ، وفى هذه المرحلة لا يمكن إعادة تشكيلها كما أنها لا تقوى على تحمل أي نوع من الأحمال ، المرحلة الثالثة هي الخرسانة الصلبة أو المتصلدة وهي تبدأ من نهاية المرحلة السابقة إلى حين انتهاء عمرها الافتراضي وفى هذه المرحلة تزداد فيها قوة تحمل الخرسانة للإجهادات بمرور الزمن؛ خلال تلك المراحل تكتسب الخرسانة خواص عديدة يمكن تقسيمها إلى نوعين : خواص للخرسانة الطرية وهى تشمل المرحلة الأولى والثانية وخواص الخرسانة الصلبة وهى تشمل المرحلة الثالثة ، وبشكل عام يجب أن تحقق خواص الخرسانة بنوعيها الطري والصلب الشروط والمواصفات الخاصة بها[7.1].

2.10 خواص الخرسانة الطرية Properties of Fresh Concrete

تعتمد خواص الخرسانة الطرية وبشكل كبير على مدى جودة ومطابقة مكوناتها للمواصفات ، وكذلك خطوات تصنيعها ابتداء من تصميم الخلطة الخرسانية مرورا بالخلط والنقل والصب والدمك ، وخواص الخرسانة الطرية تؤثر بشكل كبير على خواص الخرسانة الصلبة ، فعلى سبيل المثال درجة التشغيل ومقاومة الخرسانة تتأثر بشكل كبير بكمية الماء حيث إن درجة التشغيل تزداد بزيادة كمية الماء ، ولكن على العكس فإن العلاقة بين نسبة الماء والمقاومة هي علاقة عكسية ، أي أنه كلما زادت كمية الماء أثناء الخلط كلما قلت المقاومة وزادت التشغيلية؛ وفى جميع الأحوال لكي يتم الحصول على خرسانة ذات مقاومة ومتانة جيدة يجب أن تتوفر عدة شروط في الخرسانة الطرية منها:

درجة تشغيل مناسبة حتى تتم عملية الخلط والنقل والصب بشكل سهل وجيد ، وتفادي حدوث انفصال في مكونات الخرسانة وأن تكون الخرسانة متجانسة؛ وتجدر الإشارة هنا إلى أن خواص الخرسانة الطرية المطلوبة لمنشأ معين تحدد طبقا لطبيعة المنشأ وكمية الخرسانة ، وكذلك كثافة حديد التسليح وأبعاد القطاعات وطريقة خلط ونقل وصب ودمك ومعالجة الخرسانة؛ ويمكن تحديد خواص الخرسانة الطرية في الأربع الخواص الرئيسية التالية :

1. تشغيلية الخرسانة.
2. الانفصال في مكونات الخرسانة.
3. نضح الخرسانة.
4. محتوي الهواء بالخرسانة.

1.2.10 تشغيلية الخرسانة Workability of Concrete

تشغيلية الخرسانة يمكن التعبير عنها بمدى سهولة خلط ونقل وصب ودمك الخرسانة بدون حدوث انفصال في مكوناتها ، كما يمكن تعريف تشغيلية الخرسانة على أساس أنها " كمية الجهد اللازمة للحصول على كثافة كاملة للخرسانة بدون حدوث انفصال في مكوناتها " هناك عدة عوامل تؤثر على تشغيلية الخرسانة منها كمية الماء ، نسب الخلط ، حجم وشكل الركام ، السطح الخارجى والتدرج الحبيبي للركام واستعمال المضافات ، وتشغيلية الخرسانة يمكن قياسها بعدة طرق وأكثر هذه الطرق شيوعا هي :

- اختبار هبوط المخروط.
- اختبار الانسيابية.
- اختبار معامل الدمك.
- اختبار إعادة التشكيل.

1. اختبار الهبوط Slump Test

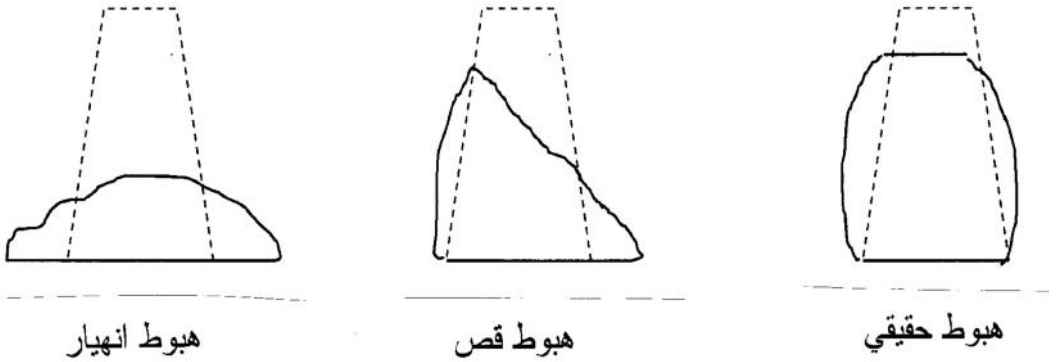
إختبار الهبوط هو اختبار سهل وسريع وغير مكلف يستخدم عادة في الخرسانات ذات درجة تشغيل متوسطة إلى عالية ، وهو أقدم وأكثر الاختبارات استخداما وشيوعا من بين الاختبارات الأربعة ، وهو عبارة عن مخروط ناقص مصنوع من معدن متين بسمك 1.5 مم مفتوح من الأعلى والأسفل ، قطر الفتحة العليا 100مم والسفلي 200مم وبارتفاع

300مم ويدعم عادة المخروط بحوامل على الجانبين لاستعمالهم في رفع القالب ، كما يوجد قضيب للتسوية والدمك مدور في نهايته بقطر 15 مم وطول 60 سم كما هو موضح في الشكل (1.10) وتتلخص طريقة الاختبار في الآتي :

1. ينظف القالب جيدا من الداخل ويوضع على سطح ناعم مستوي غير ممتص للماء.
2. يملأ القالب بالخرسانة الطرية على ثلاث طبقات متساوية بسمك 100مم.
3. تدمك كل طبقة قبل وضع الأخرى فوقها بـ 25 دمكة بالقضيب موزعة على كامل سطح الطبقة بحيث ينفذ القضيب للطبقة التي تحتها.
4. بعد الانتهاء من دمك الطبقة الأخيرة يسوى سطح الخرسانة مع حافة القالب.
5. يرفع القالب بعد التسوية مباشرة بشكل رأسي وبدون أي ميلان وببطئ وعناية.
6. يوضع القالب الفارغ بجانب العينة الخرسانية وباستعمال القضيب ومسطرة يتم قياس الفرق بين ارتفاع القالب ومركز الكتلة الخرسانية من الأعلى.
7. يتم تصنيف درجة التشغيل بمقدار الهبوط في الكتلة الخرسانية كما بالجدول (1.10).

الشكل (1.10) اختبار الهبوط

ويراعى عند الاختبار ألاّ يزيد حجم الركام الخشن المستخدم في الخلطة المراد اختبارها عن 40 مم ، كما أن الاختبار يجب أن يتم في مدة لا تتجاوز دقيقتين من نهاية خلط الخرسانة ، ومن خلال هذا الاختبار سيكون هناك أحد الأشكال الثلاثة للهبوط إما حقيقي أو قص أو انهيار كما هو موضح بالشكل (2.10) ، الهبوط الحقيقي يدل على تجانس الخرسانة ، بينما هبوط القص يدل على جفاف الخرسانة وربما فقدان التماسك ، وهبوط الانهيار يدل على أن الخرسانة مائعة أو مبتلة جدا ، ولا ينصح باستعمال هذا الاختبار في الخرسانات الجافة جدا أو المائعة جدا لأنه لا يعطي قيما دقيقة في الحالتين؛ اختبار الهبوط بالرغم من المحددات إلا أنه وإلى هذا اليوم يعتبر من أكثر الاختبارات الموقعية للخرسانة استخداما ويعتبر كمراقب لجودة وتجانس الخلطة الخرسانية بالموقع ، فعلى سبيل المثال يعطي فكرة عن تجانس الخلطة الخرسانية بشكل دائم على مدار عمل يومي، وأي زيادة في الهبوط فهي تدل على زيادة محتوى الرطوبة للركام أو تغير في التدرج الحبيبي ، وبذلك يعطي تنبيها لتصحيح الحالة التي أدت إلى زيادة الهبوط وهكذا.



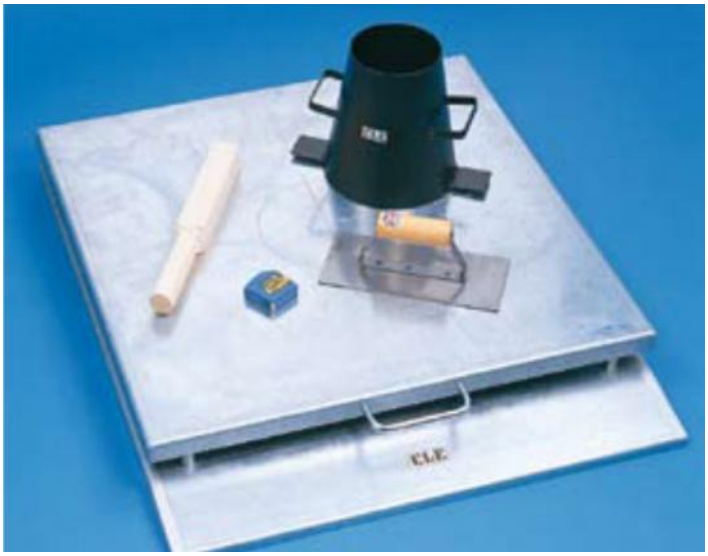
الشكل (2.10) أشكال الهبوط

2. اختبار الانسيابية Flow Table Test

اختبار الانسيابية أصبح من الاختبارات الشائعة لتشغيلية الخرسانة خاصة في الخرسانة المستعمل فيها المضافات المخفضة لكمية المياه (Superplactiziser)، وجهاز الانسيابية كما هو موضح بالشكل (3.10) يتكون من منضدة خشبية مغلفة بصفيحة معدنية على شكل مربع طول ضلعه 70سم ومثبت بحيث يمكن رفع إحدي نهايتيه 40مم؛ يوضع على سطح المربع مخروط ناقص مصنوع من معدن متين بسمك 1.5 مم مفتوح من الأعلى والأسفل

قطر الفتحة العليا 130 مم والسفلي 200 مم وبارتفاع 200 مم ، ويدعم عادة المخروط بحوامل على الجانبين لاستعمالهم في رفع القالب ، كما توجد عصا خشبية للدمك وقدة معدنية للتسوية ومتر للقياس؛ وتتلخص الطريقة في التالي:

1. يوضع القالب في منتصف المربع ويملأ بالخرسانة الطرية على طبقتين.
2. تدمك كل طبقة بالعصا الخشبية عدد عشر ضربات موزعة على السطح.
3. إزالة الخرسانة الزائدة مع تسوية السطح ، تم يرفع القالب بشكل رأسي مباشرة.
4. ترج المنضدة عشر مرات في عشر ثواني.
5. يؤخذ معدل قيمتين لقطر (D) لانتشار الخرسانة على المنضدة بالميلليتر.
6. يتم حساب معدل انسياب الخرسانة من المعادلة $flow = \frac{D - 200}{200} * 100$



الشكل (3.10) إختبار الإنسيابية

3. اختبار معامل الدمك Compacting Factor Test

يستعمل اختبار معامل الدمك عادة في الخرسانات الجافة ذات درجة تشغيل منخفضة ، وجهاز الاختبار هو عبارة عن قالبين على شكل مخروط ناقص ومجهز بباب في الأسفل يمكن التحكم بفتحه وإغلاقه ، وقالب على شكل اسطوانة في الأسفل كما هو موضح بالشكل (4.10) وتتلخص خطوات الاختبار في التالي :

1. يملأ المخروط الأعلى بالخرسانة الطرية وبدون دمك.
2. يفتح الباب السفلى للمخروط الأول لتهبط الخرسانة في المخروط الثاني تحت تأثير وزنها

3. يفتح الباب السفلى للمخروط الثاني لتهبط الخرسانة تحت تأثير وزنها في الإسطوانة
4. توزن الخرسانة الموجودة بالإسطوانة P_1.
5. تفرغ الإسطوانة ثم تملأ بنفس عينة الخرسانة ويتم دمكها بشكل جيد وتوزن P_2.
6. يقاس معامل الدمك من خلال المعادلة $C.F = \frac{P_1}{P_2}$.

الشكل (4.10) اختبار معامل الدمك

الجدول التالي يوضح تشغيلية الخرسانة باستخدام اختبار الهبوط ومعامل الدمك للخرسانة بمقاس اعتباري للركام 20 ، 40 مم.

الجدول (1.10) تصنيف درجة الهبوط[12.1]

درجة اتشغيل	الهبوط (مم)	معامل الدمك	الاستخدام المناسب للخرسانة
قليلة جدا	0 - 25	0.78	أعمال الطرق التي يتم فيها الدمك آلي
قليلة	25 - 50	0.85	الخرسانة الكتلية المدموكة آليا
متوسطة	50 - 100	0.92	الخرسانة المسلحة التي يتم فيها الدمك يدويا أو آليا
عالية	100 - 175	0.95	الخرسانة عن طريق المضخات

4. اختبار إعادة التشكيل Vebe Test

يستعمل اختبار إعادة التشكيل عادة في الخرسانات الجافة ولتحديد الفروق بين درجات التشغيل ، ويتكون جهاز الاختبار كما هو موضح بالشكل من منضدة اهتزاز ميكانيكية موضوع عليها إسطوانة معدنية قطرها 240مم وارتفاع 200مم بداخلها مخروط ذو

فتحتين (نفس المستعمل في اختبار هبوط المخروط) وقرص زجاجي شفاف ، وتتلخص خطوات الاختبار في التالي :

1. يوضع المخروط داخل الإسطوانة الموجودة فوق المنضدة.
2. يملأ المخروط بالخرسانة بنفس خطوات اختبار هبوط المخروط.
3. يرفع المخروط بشكل رأسي تاركا الخرسانة بداخل الإسطوانة.
4. يوضع القرص الزجاجى الشفاف فوق الإسطوانة ليغطي سطحها.
5. يتم تشغيل الرجاج الميكانيكي للمنضدة ويحسب الزمن بالثانية من بداية تشغيل الهزاز وحتى يغطى كامل سطح القرص الزجاجي الشفاف بالخرسانة ، أي أن الخرسانة تحولت من شكل مخروط ناقص إلى اسطوانة.
6. يعبر عن درجة التشغيل بالجهد اللازم للحصول على دمك كامل للخرسانة والمقدر بالزمن بالثانية.

الشكل (5.10) اختبار إعادة التشكيل

2.2.10 الانفصال في الخرسانة Segregation of Concrete

الانفصال الحبيبي للخرسانة هو عبارة عن انفصال حبيبات الركام الخشن عن باقي مكونات الخرسانة بحيث يصبح توزيعها غير منتظم ويصبح الخليط معها غير متجانس، كما هو موضح بالشكل (6.10)؛ ويرجع حدوث الانفصال إلى عدة أسباب منها:

1. زيادة كمية الماء في الخلطة الخرسانية.
2. زيادة زمن الخلط عن الزمن المحدد والمناسب.
3. طريقة نقل الخرسانة وزمن النقل.
4. طريقة صب الخرسانة وارتفاع الصب.
5. طريقة دمك الخرسانة وزمن الدمك.

الشكل (6.10) إنفصال مكونات الخرسانة

ولتفادي حدوث الانفصال في مكونات الخرسانة يجب اتباع خطوات تصنيع الخرسانة بكل دقة إبتداء من التصميم ومرورا بالخلط والنقل والصب والدمك ، كما يجب استخدام شرشور ذي تدرج حبيبي منتظم واستعمال المضافات للتقليل من كمية الماء بالخلطة. وكما هو واضح بالشكل فإن الانفصال في مكونات الخلطة الخرسانية يؤدى إلى إضعاف متانة ومقاومة الخرسانة ، وزيادة عدد وحجم الفراغات وبالتالي زيادة نفاذية الخرسانة.

3.2.10 نضح الخرسانة Bleeding of Concrete

النضح أو نزيف الخرسانة هو عبارة عن تكون طبقة من المياه على سطح الخرسانة بعد دمكها وتسويتها مباشرة كما في الشكل (7.10) ، ويمكن أن تستمر وتكون واضحة بشكل كبير في الجو البارد أو المائل للبرودة ، في حين أن تلك الطبقة من المياه سرعان ما تتبخر من السطح في الأجواء الحارة تاركة تشققات على سطح الخرسانة في حال عدم المعالجة وتعرف بتشققات الانكماش المرن للخرسانة؛ وعملية النضح تزداد مع مرور الزمن حتى حوالي الساعة من دمك وتسوية سطح الخرسانة ، ثم تبدأ في التناقص ويستمر النضح بشكل أو بآخر حتى نهاية زمن الشك النهائي للإسمنت.

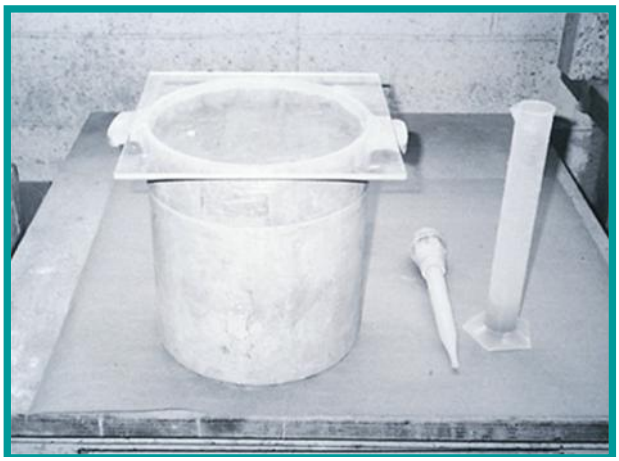
الشكل (7.10) النضح بالخرسانة

ويحدث النضح نتيجة هبوط المواد الصلبة (الركام) وصعود المواد الناعمة والماء إلى الأعلى نتيجة الدمك الزائد أو ارتفاع كمية الماء في الخلطة؛ ومن الأضرار الناتجة عن عملية النضح هو ضعف الطبقة العلوية من الخرسانة نتيجة احتوائها على نسبة عالية من الماء والتي عند تبخرها ستترك فراغات مسببة في ضعف مقاومة الخرسانة وزيادة نفاذيتها. وللتغلب على هذه الظاهرة يجب اختيار الطريقة المناسبة والمدة الكافية لمعالجة الخرسانة ، التحكم في كمية ماء الخلط وعدم التقليل من كمية المواد الناعمة مثل الرمل والإسمنت بالخلطة ، استعمال المضافات التي تعمل على تحسين خواص الخرسانة و تقليل نسبة الماء وزيادة التشغيلية وبالتالي تقليل ظاهرة النضح؛ ويمكن تحديد الكمية النسبية لماء الخلط الذي تم نضحه من الخرسانة من خلال التجربة التالية :

1. المعدات المطلوبة للتجربة هي إناء إسطواني سعة 0.01 م^3 بقطر داخلي 250 مم وارتفاع داخلي 280 مم ، قضيب للدمك والتسوية مثل المستعمل في اختبار الهبوط ، ماسحة لإزالة مياه النضح من على سطح الخرسانة ، ودورق زجاجي متدرج سعة 100 سم^3 كما هي موضحة بالشكل (8.10).
2. تؤخذ عينة من الخرسانة الطرية ويملأ بها الإناء الإسطواني على خمس طبقات كل طبقة بارتفاع 50 مم.
3. تدمك كل طبقة بعدة دمكات باستعمال قضيب الدمك ، تم يسوى السطح وينعم بشكل جيد.
4. توزن عينة الخرسانة بشكل دقيق ويسجل الوزن .
5. بمعرفة كمية الماء في المتر المكعب من الخلطة يمكن حساب كمية الماء في العينة المختبرة.
6. تترك العينة بعد التسوية في مكان مستوٍ بعيد عن الاهتزازات وفى درجة حرارة 27C^0.
7. يتم تجميع المياه في الدورق باستعمال الماسحة من المياه المتجمعة على السطح كل 10 دقائق خلال 40 دقيقة الأولى ، تم كل 30 دقيقة إلى حين انتهاء النضح.

8. يتم حساب نسبة مياه النضح من خلال المعادلة التالية :

(كمية مياه النضح ÷ كمية مياه الخلط في العينة)×100



الشكل (8.10) اختبار النضح[2.6]

4.2.10 محتوي الهواء بالخرسانة Air Content in Concrete

تؤثر نسبة الهواء المحبوس بالخرسانة الطرية علي محتوي الماء بحيث كلما زادت نسبة الهواء المحبوس كلما قل محتوي الماء ، وللحصول على نسبة ثابتة من الماء للإسمنت وهابط ثابت في نفس الوقت يلزم تقليل محتوي الماء كلما زاد محتوي الهواء؛ وتقاس نسبة الهواء المحبوس في الخرسانة بعدة طرق ، منها طريقة الضغط كما في الشكل (9.10) حيث توضع العينة في وعاء الجهاز الموضح بالشكل ويضاف الماء إلي الخليط حتى يمتلأ تقريبا الوعاء؛ ويعرض في داخل الوعاء ضغط معلوم من أعلاه ويقاس النقص في عمود المياه بالأنبوبة ، ويعبر النقص الظاهري في حجم كتلة الخرسانة والماء عن الانضغاظ للهواء المحبوس.

الشكل (9.10) إختبار قياس محتوى الهواء بالخرسانة

الفصـل الحادي عشـر

خواص الخرســانة الجـافة

PROPERTIES OF HARDENED CONCRETE

1.11 مقـدمة Introduction

تعتمد خواص الخرسانة الجافة بشكل كبير على مدى جودة ومطابقة مكوناتها للمواصفات ، وكذلك خطوات تصنيعها ابتداء من تصميم الخلطة الخرسانية مرورا بالخلط والنقل والصب والدمك ، وخواص الخرسانة الجافة هي الخواص التي تعبر عن الخرسانة من لحظة الشك النهائي إلى حين انتهاء عمرها الافتراضي؛ ويمكن تحديد خواص الخرسانة الجافة في الخمس خواص التالية :

1. المقـاومة.
2. المرونـة.
3. الزحف.
4. الانكماش.
5. النفاذيـة.

2.11 المقاومة Strength

مقاومة الخرسانة بصفة عامة توصف بأنها أهم خاصية للخرسانة ، حيت تحدد جودة الخرسانة بمدى مقاومتها للإجهادات المعرضة لها مع أنه وفي معظم الحالات نجد أن متانة الخرسانة تكون الأكثر أهمية للتعبير عن جودة الخرسانة؛ وبالرغم من ذلك تظل مقاومة الخرسانة هي الخاصية التي تعطي تصورا سريعا عن جودة الخرسانة بالموقع؛ وتشتمل مقاومة الخرسانة على أنواع عدة منها مقاومة الخرسانة للضغط ، الشد ، الانحناء ، القص والتماسك ، وهناك عدة عوامل توثر بشكل عام على مقاومة الخرسانة ، منها نسبة الماء للإسمنت ، دمك الخرسانة والمعالجة.

1.2.11 مقاومة الخرسانة للضغط Compressive Strength of Concrete

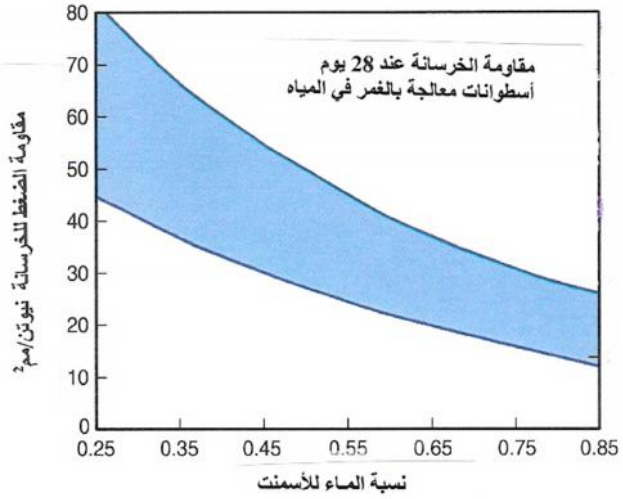
يمكن تعريف مقاومة الضغط للخرسانة بأنها قدرة الكتلة الخرسانية علي مقاومة الأحمال الواقعة عليها حتى الانهيار ، أي أعلى جهد تتحمله عند حدوث الانهيار ويمكن قياسها بوحدات الإجهاد ، ومقاومة الضغط للخرسانة هي إحدى أهم خواص الخرسانة الجافة ، ففي معظم المنشآت تستخدم الخرسانة لمقاومة إجهادات الضغط التي تتعرض لها تلك

المنشآت ، كما أن مقاومة الضغط للخرسانة لها علاقة وطيدة بباقي خواص الخرسانة الطرية منها والجافة ، حيث إن معظم تلك الخواص تزداد بزيادة مقاومة الضغط للخرسانة ، وتحدد مقاومة الخرسانة بعمر 28 يوماً وهو العمر الذي عنده تكون الخرسانة قد تحصلت على 95٪ من مقاومتها تقريبا وتتراوح مقاومة الخرسانة في المنشآت العادية ما بين 200 – 400 كجم/سم^2 وتقاس مقاومة الضغط للخرسانة بعدة طرق منها المباشرة وغير المباشرة ، فالطرق المباشرة تشمل اختبار مكعبات أو اسطوانات خرسانية أو القالوب المستخرج من الخرسانة الجافة بالموقع ، ويتم اختبار تلك العينات تحت جهاز الضغط المباشر بالمعمل ، أما الطرق غير المباشرة فتشمل اختبار (مطرقة شميدت) واختبار الموجات فوق الصوتية والتي يتم فيها تقدير مقاومة الخرسانة بطريقة غير مباشرة؛ سيتم شرح الاختبارات المباشرة في هذا الفصل ، بينما يتم شرح الاختبارات غير المباشرة في الفصول القادمة.

1.1.2.11 العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط Factors Effecting Compressive Strength

تتأثر مقاومة الضغط للخرسانة بعدة عوامل متداخلة، ويمكن تصنيفها في المحاور التالية :

1. مكونات الخلطة الخرسانية، وتشمل الإسمنت ، الركام بنوعيه ، الماء والإضافات.
2. خطوات تصنيع الخرسانة، وتشمل الخلط ، الصب ، النقل ، الدمك ثم المعالجة.
3. نسب الخلط، وتشمل نسبة خلط الركام الصغير إلى الركام الكبير ، نسبة الركام للإسمنت و نسبة الماء للإسمنت كما في الشكل (1.11).
4. طريقة وحالة الاختبار، وتشمل مركز ومعدل التحميل ، درجة حرارة ورطوبة العينة ، حجم وشكل العينة وحالة سطح العينة الملامس للجهاز.



الشكل (1.11) العلاقة بين نسبة الماء للإسمنت ومقاومة الخرسانة[2.6]

2.1.2.11 الطرق المباشرة Direct Methods

تقاس مقاومة الضغط للخرسانة عادة عند الأعمار 3 ، 7 ، 14 ، 21 و 28 يوماً من صب الخرسانة، أو أي عمر بعد هذه الفترة حسب المطلوب، وتستعمل قوالب من المعدن سميك على شكل مكعبات خرسانية حسب الكود البريطاني طول ضلعها 10 أو 15 سم، أو اسطوانات حسب الكود الأمريكي قطرها 15سم وارتفاع 30سم ، كما في الشكل (2.11) وتستخدم ماكينة الضغط المباشر لتكسير العينات ، كما هو موضح بالشكل (3.11).

مكعب اسطوانة

الشكل (2.11) أشكال القوالب

الشكل (3.11) ماكينة الضغط المباشر لتكسير العينات

وتتلخص طريقة اختبار الضغط في الخطوات التالية :

1. يجهز القالب سواء كان مكعبا أو اسطوانة ويدهن وجهه الداخلي بالزيت الخفيف
2. يملأ القالب على طبقتين أو ثلاث طبقات وتدمك كل طبقة 25 مرة بقضيب قطره 16مم مدور في نهايته، أو استعمال الهزاز الميكانيكي لتكثيف الخرسانة.
3. يتم تسوية السطح بشكل جيد ويغطى القالب بخيش مبلل أو غيره لمنع تبخر الماء.
4. يترك القالب في درجة حرارة 20 درجة مئوية تقريبا دون تعرضه لأي اهتزاز.
5. بعد 24 ساعة يتم فك القالب ووضعه في حوض معالجة به ماء نقي درجة حرارته 20 درجة مئوية حتى يوم الاختبار ، وينصح بعدم وضع العينات بعضها فوق بعض.
6. في يوم الاختبار يتم استخراج العينة من الماء ويتم تجفيف سطحها بشكل جيد تم توضع العينة تحت المكبس في ماكينة الضغط بحيث يكون محورها منطبقا تماما مع محور المكبس ، وفى هذه الحالة يجب التأكد من أن يكون السطح العلوي والسفلي موازيين تماما لأسطح المكبس ، كما يجب وضع السطح العلوي عند الصب للعينة عموديا لسطح المكبس في حالة المكعب ، أما في العينة الإسطوانية فإنه يتم تغطية سطح العينة بمادة صلبة لضمان استواء وتوازي السطحين.
7. تعرض العينة لحمل ضغط محوري بسرعة تحميل ثابتة تتراوح من 0.2 – 0.4 نيوتن/مم^2/ثانية وتدون النتائج في جدول.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن مقاومة الضغط الناتجة من المكعب تساوي تقريبا 1.25 مقاومة الضغط للإسطوانة حسب العلاقة التالية $f_{cu} = 1.25\, f_{cy}$ حيث أن f_{cu} مقاومة المكعب و f_{cy} مقاومة الأسطوانة؛ هذه العلاقة هي نتيجة الفرق في نسبة الارتفاع إلى القطر $(\frac{h}{d})$

الجدول (1.11) معامل تصحيح الإسطوانات

نسبة ($\frac{h}{d}$) للإسطوانة	معامل تصحيح المقاومة طبقا للكود البريطاني
2.0	1.0
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.94
1.00	0.92

الجدول (2.11) معامل تصحيح للأشكال المختلفة للعينات[7.1]

شكل العينة	أبعاد العينة (سم)	معامل التصحيح
مكعب	10×10×10	0.97
	15×15×15	1.00
	20×20×20	1.05
	30×30×30	1.12
اسطوانة	20×10	1.20
	30×15	1.25
	50×25	1.30
منشور	30×15×15	1.25
	45×15×15	1.30
	60×15×15	1.32

الجدول التالي (3.11) يوضح قيم استرشادية لمعامل التصحيح لنتائج اختبار مقاومة الضغط للخرسانة (بدون إضافات) ذات عمر يقل أو يزيد عن عمر 28 يوماً

الجدول (3.11) معامل تصحيح لمقاومة الضغط خلاف 28 يوماً

نوع الإسمنت	عمر الخرسانة (بالأيام)				
	3	7	28	90	365
بورتلاندي عادي	2.5	1.33	1.0	0.85	0.75
بورتلاندي سريع التصلب	1.8	1.20	1.0	0.90	0.85

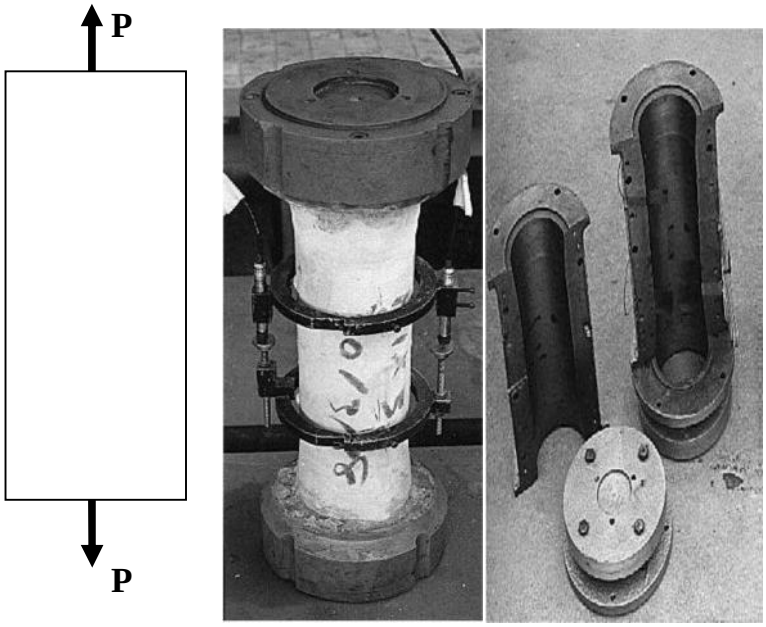
2.2.11 مقاومة الخرسانة للشد Tensile Strength of Concrete

مقاومة الخرسانة العادية لإجهادات الشد تعتبر قليلة جدا مقارنة بمقاومتها لإجهادات الضغط وهذا ما يجعلها عرضة للتشققات، وتقدر مقاومة الخرسانة لإجهادات الشد بـ 10٪ من مقاومتها لإجهادات الضغط ، وفى الخرسانة المسلحة تتم مقاومة إجهادات الشد عن طريق حديد التسليح، وتهمل مقاومة الخرسانة لإجهادات الشد، وبالرغم من مقاومة الشد

الضعيفة للخرسانة إلا أن الباحثين اهتموا بها كونها المسبب الرئيس في حدوث التشققات بالخرسانة ، كما أن أقصى مقاومة شد للخرسانة هي العنصر الأكثر أهمية عند دراسة السلوك الإنشائي لبداية وانتشار واتساع التشققات في العناصر الخرسانية؛ تقترح عدة مواصفات علاقات لحساب مقاومة الشد f_t للخرسانة بدلالة مقاومة الضغط f_c فعلى سبيل المثال تقترح المواصفات الأمريكية العلاقة التالية $f_t = k\sqrt{f_c}$ والمواصفات الأوربية $f_t = 0.3(f_c)^{2/3}$ ، ويمكن قياس مقاومة الشد للخرسانة بطريقة مباشرة وبطريقة غير مباشرة

1. الطريقة المباشرة Direct Method

تتلخص طريقة الشد المباشر في تطبيق قوة شد مباشرة بالتدريج وببطء من نهايتي طرف العينة ، ويتم حساب مقاومة الخرسانة لإجهادات الشد من العلاقة التالية $f_t = P/A$ حيث إن P أقصى قوة الشد و A مساحة المقطع كما في الشكل (4.11)



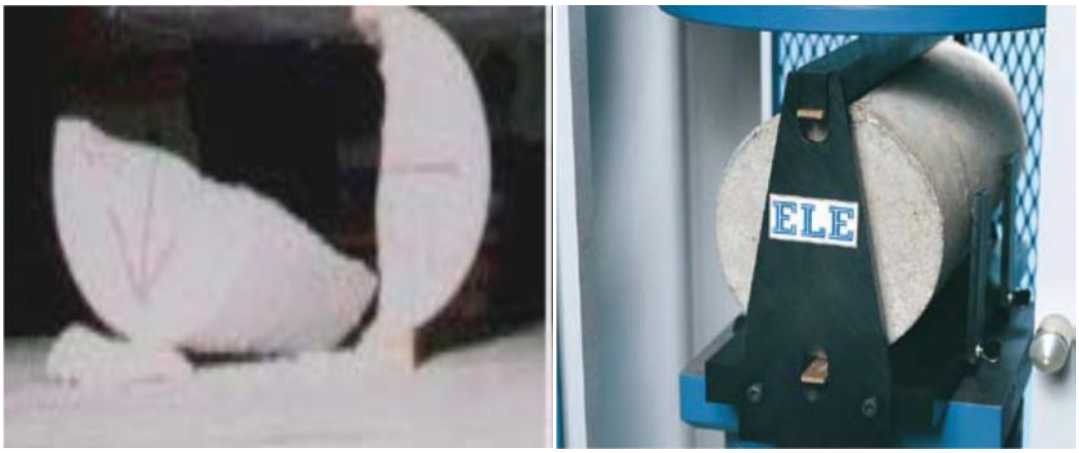
الشكل (4.11) طريقة الشد المباشر [12.1]

2. الطريقة غير المباشرة (الطريقة البرازيلية) Non-Direct Method

نظرا لصعوبة استعمال الطريقة المباشرة فقد تم اقتراح طريقة غير مباشرة لقياس مقاومة الشد للخرسانة كما في الشكل (5.11) وتتلخص هذه الطريقة في الخطوات التالية[12.1] :

1. يجهز قالب اسطواني نفس المستعمل في تحديد مقاومة الضغط للخرسانة بقطر 150 مم وطول 300 مم.
2. يتم صب الخرسانة في القالب وتجهيزها بنفس الطريقة المتبعة لتحديد مقاومة الضغط.
3. توضع العينة بشكل أفقي بين فكي المكبس بماكينة الضغط.
4. لضمان توزيع الأحمال على العينة يتم تثبيت قطعتين من الخشب سمك 2 سم أعلى وأسفل العينة.
5. تحمل العينة بقوة ضغط تدريجيا حتى الانفصال الناتج عن أجهادات الشد على المستوى الرأسي للعينة ويسجل الحمل الأقصى.
6. يتم حساب مقاومة الشد من العلاقة $f_t = \frac{2P}{\pi LD}$ حيث أن P أقصى حمل L ، D طول وقطر العينة على التوالي.
7. في حال استخدام مكعب يتم حساب مقاومة الشد من العلاقة $f_t = \frac{2P}{\pi a^2}$ حيث a هي طول ضلع المكعب.

والجدير بالذكر أن قيمة مقاومة الشد بالطريقة غير المباشرة أكبر بـ 15٪ من قيمة الشد بالطريقة المباشرة



الشكل (5.11) شكل العينة أثناء الاختبار غير المباشر

الجدول (4.11) نسب تقدير مقاومة الخرسانة للشد بالنسبة لعمر 28 يوماً

نوع الأسمنت	عمر الخرسانة (بالأيام)				
	3	7	28	90	365
بورتلاندي عادي	0.50	0.71	1.00	1.05	1.11
بورتلاندي سريع التصلب	0.66	0.83	1.00	1.05	1.11

3.2.11 مقاومة الخرسانة للانحناء Flexural Strength of Concrete

يتم إجراء اختبار الانحناء على كمرات خرسانية بأبعاد 50x15x15 أو 70x15x15 حسب المواصفات الأمريكية أو البريطانية على التوالي ، كما هو موضح بالشكل (6.11) وتعتبر مقاومة الانحناء تعبيرا عن مقاومة الشد بطريقة غير مباشرة وتسمى معاير الكسر في الانحناء ، وتتراوح قيم معاير الكسر في الانحناء بين 12- 20٪ من مقاومة الضغط وبالتالي فإن مقاومة الانحناء تزيد على مقاومة الشد بنسبة تتراوح بين 60- 100٪ وبالتالي فإن مقاومة الشد تقدر بحوالي 60٪ من مقاومة الانحناء للخرسانة؛ وتتلخص خطوات الاختبار في النقاط التالية[12.1] :

1. تجهز قوالب الكمرات وتدهن بالزيت الخفيف.
2. تجهز قوالب مكعبات لتحديد العلاقة بين الانحناء والضغط.
3. تملأ القوالب بالخرسانة على طبقات وتعالج بنفس الطريقة المتبعة في اختبار الضغط.
4. يتم اختبار عينات الانحناء عند عمر 28 يوماً.
5. يتم تحميل الكمرات في نقطتين ، كما هو موضح بالشكل لجعل الجزء المعرض للكسر معرضا للعزم فقط دون تواجد القص فيذلك الجزء، وبذلك فإن الكسر الذى سيحدث يكون نتيجة الانحناء فقط ويمكن تحميل الكمرة في نقطة واحدة بالمنتصف ، وفى هذه الحالة سيكون الكسر الحاصل هو نتيجة الانحناء والقص معا ، كما أن معاير الكسر في هذه الحالة سيكون أقل من معاير الكسر في الحالة السابقة.
6. يتم حساب معاير الكسر من المعادلة التالية $R = \frac{Pl}{bh^3}$

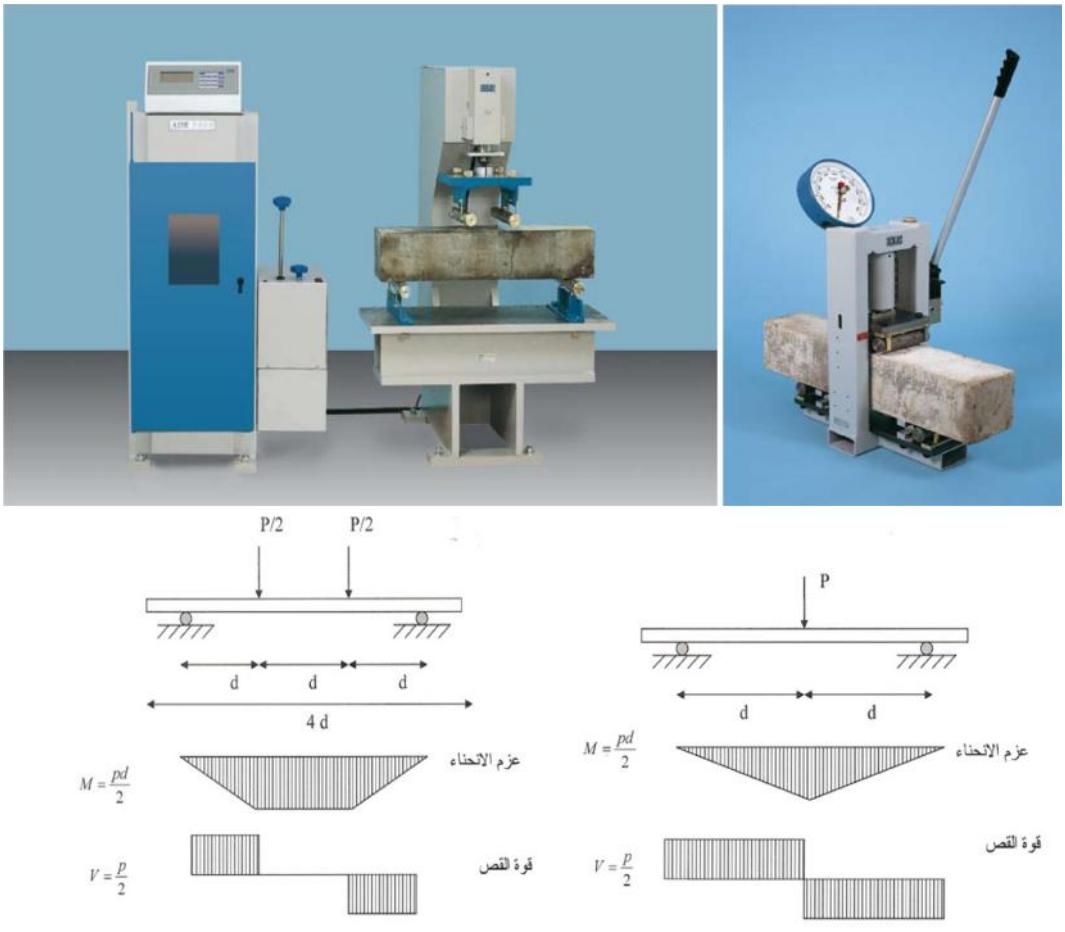
حيث إن : R معاير الكسر للعينة

l المسافة بين النقطتين

b عرض الكمرة

h ارتفاع الكمرة

عند حدوث الكسر خارج المنطقة الوسطى للكمرة يتم استعمال العلاقة التالية $R = \frac{3Pa}{bh^3}$ حيث a هي المسافة من نقطة الكسر إلى أقرب ركيزة ، وعندما يكون الكسر قريبا جدا من أحد الركائز يتم إعادة الاختبار.



الشكل (6.11) عزم الانحناء وقوة القص عند التحميل في نقطة (a) وفي نقطتين (b)[12.1]

3.11 المرونة Elasticity

في نظرية الخرسانة المسلحة يتم افتراض أن الخرسانة مرنة ومتجانسة وهو ما يتفق مع قانون هوك ، ولكن في الواقع نجد أن هذه الافتراضات غير دقيقة حيث إن الخرسانة لا تبدو أنها مرنه تماما؛ لكي يمكن حساب التشوهات والانحناء في أي عنصر إنشائي يجب أن تعرف العلاقة بين الإجهاد والانفعال؛ مقارنة بمعظم مواد الإنشاء نجد أن الخرسانة تقريبا تبدو مرنة عند بداية تحميلها بالأحمال ، ولكن مع بداية ظهور أول شق تصبح الخرسانة غير مرنة؛ المرونة يمكن تعريفها على أنها عبارة عن ظهور واختفاء الانفعالات مباشرة تحت تأثير وعدم تأثير الاجهادات ، وقد تم التطرق في الفصل التاسع للمرونة وأنواعها وطرق قياسها.

4.11 الزحف Creep

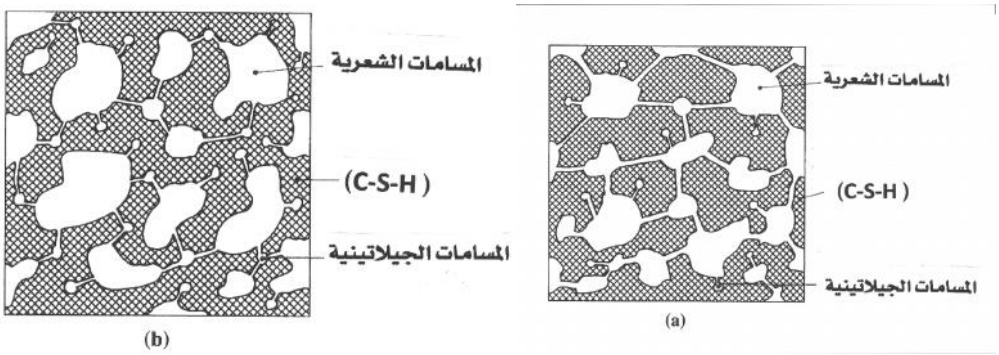
يمكن تعريف الزحف بأنه "زيادة في الانفعالات مع مرور الزمن تحت تأثير إجهادات ثابتة". وقد تم التطرق في الفصل التاسع للزحف وأنواعه وطرق قياسه.

5.11 الانكماش Shrinkage

الانكماش هو عبارة عن عدة عمليات من التغير الحجمي للخرسانة نتيجة تبخر أو فقدان الماء من الخرسانة عند مراحل وأسباب مختلفة ، وقد تم التطرق في الفصل التاسع للانكماش وأنواعه وطرق قياسه.

6.11 النفاذية Permeability

النفاذية من أهم الخواص الجافة للخرسانة والتي تساهم بشكل كبير في تحديد متانة الخرسانة حيث إن وجود خرسانة بنفاذية عالية تسمح بمرور السوائل والغازات عبرها تجعل الخرسانة عرضة لتفاعلات كثيرة مضرة بالخرسانة منها تآكل حديد التسليح ، تفاعل القلويات مع السيليكا ، وهجوم الكبريتات ....إلخ ، وباختصار يمكن تعريف نفاذية الخرسانة بأنها " مدى سهولة مرور الغازات والسوائل عبر الخرسانة " ، ويجب عدم الخلط بين النفاذية والامتصاص والمسامية؛ فالنفاذية هي الخاصية التي بواسطتها يمكن نفاذ أي غازات أو سوائل عبر الخرسانة، وهذه السوائل والغازات تقلل من متانة الخرسانة وبالتالي عمرها ، أما الامتصاص فهو قدرة الخرسانة على سحب الماء داخل فجواتها وهو غير مرتبط بالنفاذية، ويؤدى الامتصاص إلى انتفاخ الخرسانة كما يؤدى إلى تفتتها عند تعرضها إلى دورات التجمد والذوبان وهي مشبعة بالماء ، بينما المسامية هي وجود مسامات أو فجوات داخل الخرسانة وقد تكون هذه المسامات غير متصلة أو متصلة بعضها ببعض عن طريق أنابيب دقيقة أو مسارات شعرية؛ الخرسانة بطبيعتها مادة مسامية حيث إن التركيب الداخلي للعجينة الإسمنتية يحتوي على مسامات دقيقة نتيجة التفاعلات الكيميائية التي تحدث بين الإسمنت والماء ، ولكي تصبح الخرسانة منفذة للسوائل والغازات فلابد من اتصال هذه المسامات والفجوات بعضها ببعض عن طريق أنابيب أو مسارات شعرية دقيقة ، وفى حالة عدم اتصال بعضها ببعض وأصبحت المسامات معزولة فإنها لن تؤدى إلى خرسانة منفذة ، والشكل (7.11) يوضح أشكال المسامات بالخرسانة[7.1].



الشكل (7.11) أنواع المسامات في الخرسانة (a) عالية النفاذية (b) قليلة النفاذية[2.5]

1.6.11 أنواع المسامات بالخرسانة Void Types in Concrete

1. المسامات الهوائية : هي نوعان إما صغيرة أو كبيرة ، فالمسامات الصغيرة هي عبارة عن مسامات صغيرة جدا ، وهى عادة ما يتم تكوينها صناعيا داخل الخرسانة عن طريق الإضافات الناشرة لفقاعات الهواء التي تستخدم لزيادة التشغيلية ومقاومة الصقيع ، أما المسامات الكبيرة فهي غير منتظمة وتنشأ عادة بسبب سوء تصنيع الخرسانة بالموقع مثل سوء الصب والدمك والمعالجة ....إلخ ويتراوح قطر المسامات الهوائية من 0.01 – 0.20 مم.

2. المسامات الشعرية : عند خلط الماء والإسمنت مباشرة يحدث تكتل لحبيبات الإسمنت والماء هذا الماء يسمى بالماء الشعري حيث يبدأ التفاعل الكيميائي بينهما، وبانتهاء التفاعل التام بين الماء الشعري والإسمنت يترك الماء مكانه مسامات تسمى بالمسامات الشعرية، وهى تعتبر أكبر أنواع المسامات حجما وتحديدا للمسامية الكلية للخرسانة، ويتراوح قطر المسامات الشعرية من $10^{-6}*10$ إلى $10^{-3}*10$مم.

3. المسامات الجيلاتينية : وهى أصغر أنواع المسامات بالخرسانة ، وتتكون أثناء التفاعلات الكيميائية ضمن العجينة الإسمنتية المتصلدة ، ويتراوح قطرها من $10^{-6}*0.5$ إلى $10^{-6}*10$مم[7.1].

2.6.11 تأثير النفاذية على الخرسانة Effect of Permeability on Concrete

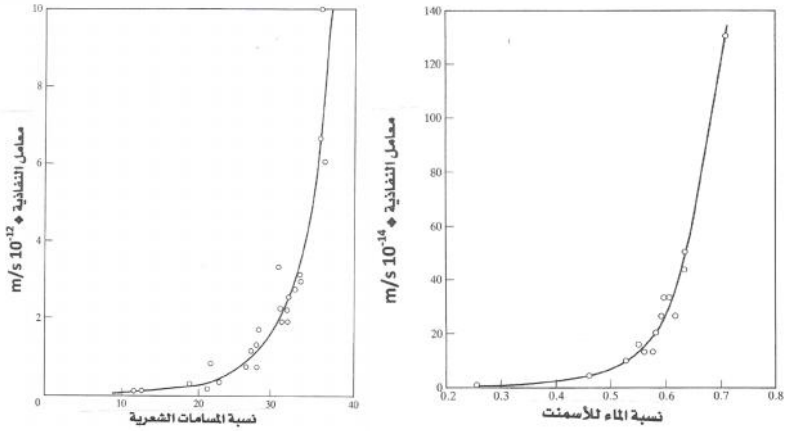
1. نفاذية الخرسانة تسهل على نفاذ الغازات والسوائل إلى داخل الخرسانة، ومن ثم المساعدة على تسريع حدوث صدأ حديد التسليح وتفاعل القلويات مع السيليكا وهجوم الكبريتات.

2. في الأجواء الباردة يتجمد الماء الموجود داخل الفراغات بالخرسانة مسببا ضغطا على الخرسانة وبالتالي إلى ضعف متانتها.

3. نفاذية الخرسانة تؤثر سلبا على مقاومة ومتانة الخرسانة.

3.6.11 العوامل المؤثرة على النفاذية Factors effecting Permeability

1. نسبة الماء للإسمنت : كلما زادت نسبة الماء للإسمنت كلما زادت نفاذية الخرسانة كما في الشكل (11.8).
2. الركام : كلما قلت الفراغات في الركام كلما قلت نفاذية الخرسانة ، وكلما كان الركام متدرجا بالخرسانة كلما قلت النفاذية.
3. الإضافات : استعمال الإضافات المخفضة لكمية الماء بالخلطة الخرسانية يقلل من نفاذية الخرسانة.
4. تنفيذ الخرسانة : كلما تم تنفيذ نقل وصب ودمك الخرسانة بشكل صحيح ودقيق كلما تم الحصول على خرسانة نفاذيتها أقل أنظر الشكل (11.8).
5. معالجة الخرسانة : معالجة الخرسانة الجيدة تقلل من نفاذية الخرسانة.



الشكل (11.8) تأثير نسبة الماء للإسمنت والمسامات الشعرية على النفاذية[2.5]

4.6.11 الاحتياطات اللازمة لعمل خرسانة قليلة النفاذية

1. تقليل نسبة الماء للإسمنت وذلك باستخدام المضافات للوصول إلى درجة التشغيل المطلوبة.
2. استخدام ركام ذي تدرج جيد.
3. اتباع خطوات تصنيع الخرسانة بشكل صحيح ودقيق.
4. الاهتمام بمعالجة الخرسانة بشكل جيد.

الفصل الثاني عشر

متـــــانة الخرسانة

DURABILITY OF CONCRETE

1.12مقدمة Introduction

متانة الخرسانة يمكن تعريفها بأنها قدرة الخرسانة على مقاومة الهجوم الواقع عليها من البيئة المحيطة بها خلال فترة حياتها التشغيلية؛ في السابق كانت مقاومة الخرسانة هي المعيار الأساسي في تحديد جودة الخرسانة ولكن بتقدم استخدام الخرسانات مع الزمن وجد أن متانة الخرسانة لا تقل أهمية عن مقاومتها ، بل في بعض الأحيان تأتى المتانة في المرتبة الأولى في تحديد مدى جودة الخرسانة؛ فعلى سبيل المثال زيادة مقاومة الخرسانة يمكن الحصول عليها بمجرد زيادة كمية الإسمنت في الخلطة الخرسانية ، ولكن هذه الزيادة في كمية الإسمنت سيكون لها أثار سلبية على الخرسانة ، منها زيادة حرارة التفاعل وحدوث تشققات بالخرسانة من جهة، إضافةً إلى ارتفاع تكلفة الخرسانة من جهة أخرى؛ كما أنه ليس كل خرسانة ذات مقاومة عالية تكون متانتها عالية أيضا ، لأن المتانة ليست خاصية يمكن قياسها مباشرة كالمقاومة ، وإنما هي خاصية تعتمد على عدة عوامل تبدأ من طريقة اختيار المواد الداخلة في تصنيع الخرسانة ومواصفاتها إلى طريقة تنفيذ خطوات تصنيع الخرسانة من خلط وصب ونقل ودمك ومعالجة ، وأي قصور في تنفيذ أي من تلك الخطوات سيؤدى إلى ضعف في متانة الخرسانة قبل مقاومتها.

الشكل (1.12) تنفيذ الخرسانة بمتانة عالية

متانة الخرسانة تعتمد بشكل كبير على حجم الفراغات داخل الخرسانة ونفاذيتها وبالتالي كلما قلت نفاذية الخرسانة كلما كانت متانة الخرسانة أفضل وخاصة غطاء الخرسانة الذى يعتبر خط الدفاع الأول للخرسانة ومتانتها لأنه وكما هو معلوم أن الخرسانة هي خليط من مواد غير متجانسة ، وبالتالي الحصول على خرسانة غير منفذة تماما أمر شبه مستحيل ، ولكن في نفس الوقت يمكن تقليل نفاذية الخرسانة عموما وغطاء الخرسانة خصوصا إلى الحد الأدنى ، وبالتالي منع أو تقليل نفاذ الغازات والسوائل إلى داخل الخرسانة التي من شأنها في حال نفاذها إلى الإضرار بمتانة الخرسانة ، ولتقليل نفاذية الخرسانة يجب التقليل من نسبة الماء للإسمنت في الخلطة الخرسانية، واتباع المواصفات في تنفيذ خطوات تصنيع الخرسانة كما سلف ذكره ، من هنا يلاحظ أن متانة الخرسانة هي تعبير أكبر شمولية من مقاومتها، بل يشمل مقاومتها أيضا؛ من خلال الطرح السابق يمكن القول بأنه عادة ما تصاحب متانة الخرسانة الجيدة مقاومة جيدة ولكن على العكس من ذلك ليس كل خرسانة ذات مقاومة عالية تكون متانتها عالية أيضا؛ يمكن تقسيم العوامل المؤثرة على متانة الخرسانة إلى عوامل خارجية وأخرى داخلية.

- العوامل الخارجيـة مثـل :

1. إرتفاع درجات الحرارة.
2. إنخفاض درجات الحرارة.
3. تغير في درجة الرطوبة والرياح.
4. مياه البحر ومياه الصرف الصحي.
5. الهجوم الكيميائي مثل الكلوريدات والكربونات.

- العوامل الداخليـة مثـل:

1. تأثير الأمــلاح.
2. تفاعل القلويات مع السيليكا.
3. تغير الحجم.
4. النفــاذية.

2.12 صدأ حديد التسليح Reinforcement Corrosion

إن عملية صدأ حديد التسليح تعتبر من أسوأ المشاكل التي تتعرض لها الخرسانة، وللتغلب على حدوث الصدأ يجب أن يتم التعرف جيدا وبعمق على طبيعة عملية الصدأ

وذلك لمحاولة التغلب على تلك المشكلة وإيجاد الحلول العملية لها؛ يعتبر صدأ حديد التسليح من أهم العوامل التي تؤثر على قدرة تحمل الخرسانة المسلحة مع الزمن، وأصبحت من المشاكل الهامة التي أفردت لها الكثير من مراكز البحوث العالمية الإمكانيات لتجنب بقدر الإمكان المشاكل الناجمة عنها؛ عملية الصدأ في حديد التسليح تعتبر من أسوأ المشاكل التي تواجه المنشآت الخرسانية المسلحة؛ عملية صدأ حديد التسليح هي مشكلة اقتصادية في المقام الأول، فعلى سبيل المثال: في تقرير لمركز أبحاث النقل في الولايات المتحدة (1991)أشار إلى أن تكلفة صيانة بلاطة الكباري المنفذة من الخرسانة المسلحة نتيجة صدأ حديد التسليح تصل إلى حوالي 200 مليون دولار/ السنة؛ في المملكة المتحدة بلغت تكلفة صيانة الكباري نتيجة صدأ حديد التسليح في عام 1989 حوالي 616.5 مليون جنيه أسترلينى؛ إذن عملية الصدأ تحدث ببطء وتنتشر مع الوقت، انظر الشكل (2.12) وبالتالي فإن عملية انتشار الصدأ في المنشأ هي عملية اقتصادية أولا وأخيرا حيث إنه يجب أن يتم اختيار الوقت المناسب لعمل المعاينة الدورية والصيانة للمنشآت المعرضة للصدأ ، حيث إن الوقت المناسب يحكمه أمان المنشأ وكذلك تكلفة الصيانة[8.1].

الشكل (2.12) تآكل حديد التسليح بالخرسانة

إن عملية الصدأ في حديد التسليح المعرض مباشرة للهواء تحدث بمجرد وجود الرطوبة ، وحيث إن الخرسانة هي مادة مسامية بطبيعتها فمن الطبيعي حدوث صدأ حديد التسليح بداخلها إذا ما توفرت الظروف لذلك؛ ولكن من حسن الحظ ليس بالضرورة حدوث الصدأ لحديد التسليح في الخرسانة، وذلك لأن الخرسانة قلوية بطبيعتها كما هو معلوم فإن القلوية هي عكس الحامضية، وبالتالي فإن الخرسانة نتيجة لقلويتها تقوم بحماية الحديد من الصدأ ، والخرسانة قلوية حيث أنه يوجد بداخل الفجوات الدقيقة تركيز عالٍ من محلول أكسيدات الكالسيوم ، والصوديوم ، والماغنيسيوم ، وهذه الأكاسيد تكون هيدروكسيدات التي لها قلوية عالية عند إضافة الماء للخلطة الخرسانية (pH = 12-13) هذه القلوية تكون طبقة الحماية السلبية على سطح حديد التسليح ، وهذه الطبقة تمنع حدوث الصدأ وتتكون من أكسيد وهيدروكسيد المعدن وجزء من الإسمنت؛ هذه الطبقة غالبا ما تتحطم بفعل عملية الكربنة أو نفاذ الكلوريدات إلى حديد التسليح ، وبتحطم تلك الطبقة وفى وجود الرطوبة والأكسجين تبدأ عملية الأكسدة أو الصدأ لحديد التسليح داخل الخرسانة[8.1].

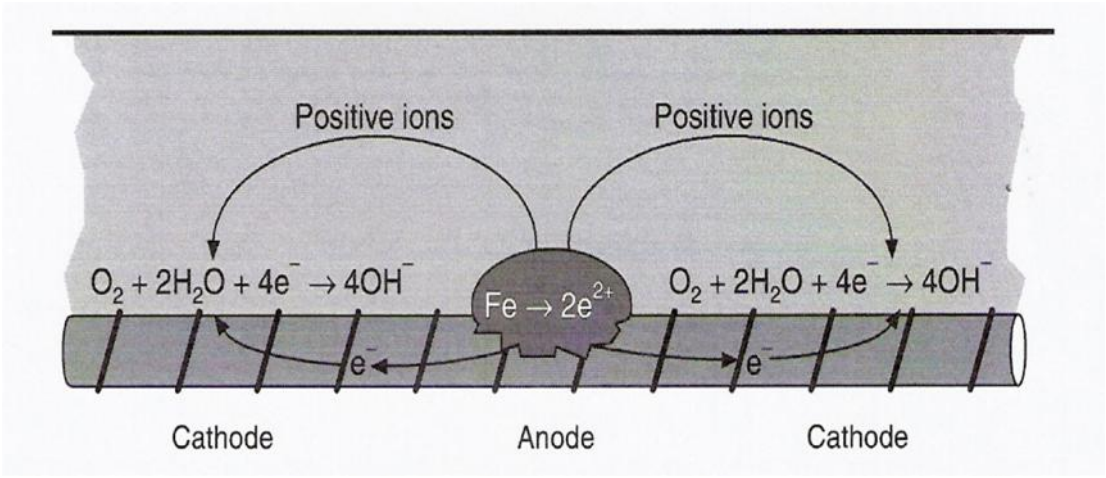
عملية صدأ حديد التسليح تحدث بسبب اختلاف في الطاقة الإلكترو كيميائية على سطح حديد التسليح التي ينتج عنها ظهور مجال مصعدي ومهبطي متصلان بمحلول ملحي ناتج من الإسمنت المتفاعل ، الشحنة الموجبة من الحديد (Fe^{++}) عند المصعد تمر عبر المحلول ، بينما شحنة سالبة حرة من إلكترونات (e^{-}) تمر عبر حديد التسليح إلى المجال المهبطي لتتحد مع الماء والأكسجين لتكون أيونات الهيدروكسايد ($(OH)^{-}$) كما في الشكل (3.12)؛ أيونات الهيدروكسايد تتحد مع أيونات الحديد (Fe^{++}) لتكون فيما بعد($Fe(OH)^{-}$) والذي يتحول بتوالي عملية الأكسدة إلى صدأ(rust). والمعادلات التالية توضح معادلات التفاعل .

$$Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^{-} \text{ (anodic reaction)} \quad ...(1.12)$$

$$4e^{-} + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4(OH)^{-} \text{ (cathodic reaction)} \quad ...(2.12)$$

$$Fe^{++} + 2(OH)^{-} \rightarrow Fe(OH)_2 \text{ (ferrous hydroxide)} \quad ...(3.12)$$

$$4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3 \text{ (ferric hydroxide)} \quad ...(4.12)$$



الشكل (3.12) عملية صدأ حديد التسليح بالخرسانة

معدل صدأ حديد التسليح في الخرسانة المسلحة يرتبط بعدة عوامل ، إذا تم التحكم في تلك العوامل بحيث يصبح معدل الصدأ قليلا فإن الصدأ سوف يحدث ولكنه لا يسبب مشكلة كبيرة على المنشأ الخرساني؛ ومن أهم العوامل التي تؤثر على معدل الصدأ هو وجود الأكسجين والرطوبة ونفاذهما إلى حديد التسليح وخاصة في المناطق الكاثودية .

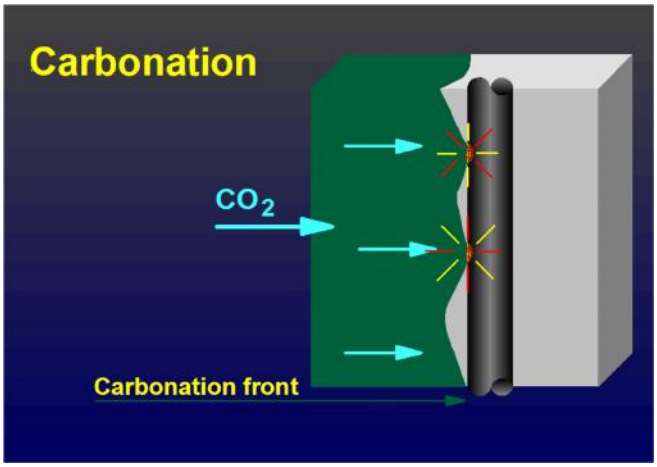
ويمكن تلخيص عملية الصدأ في حديد التسليح بالخرسانة في الآتي : عند تصلب الخرسانة تتكون طبقة الحماية السلبية حول حديد التسليح نتيجة قاعدية الخرسانة (pH=12≈14)وعندما تقل قاعدية الخرسانة (PH<10) نتيجة نفاذ ثاني أكسيد الكربون وهو ما يعرف بالكربنة أو الكلوريدات إلى داخل الخرسانة ووصولهما إلى الطبقة الملامسة لحديد التسليح فإن تلك الطبقة ستتكسر ويصبح حديد التسليح غير محمي ، وفى وجود الرطوبة والأكسجين تبدأ عملية الصدأ وتظهر بقع الصدأ على السطح الخارجي للخرسانة ، ثم تتطور إلى شقوق شعرية طولية بموازاة حديد التسليح ، وباستمرار عملية الصدأ فإن ناتج عملية الصدأ يكون أكبر من حجم حديد التسليح الأصلي ، وبالتالي يقوم بالضغط على الخرسانة في الاتجاهين العلوي والسفلي وتزداد الشقوق اتساعا على السطح الخارجي للخرسانة ،ونظرا لأن طبقة الغطاء الخرساني أقل سمكاً من باقي الخرسانة التي تعلو حديد التسليح فإن الضغط يزداد على الغطاء ويتسبب في تساقطه في المراحل المتقدمة من عملية الصدأ ، كما في الشكل (2.12).

- **الكربنة Carbonation**

تحدث عملية الكربنة عند نفاذ ثاني أكسيد الكربون الموجود بالهواء الجوي عبر الغطاء الخرساني إلى الطبقة الملامسة لحديد التسليح ، ويؤدى ذلك إلى فقدان الخرسانة لقاعديتها وبالتالي إلى تكسر طبقة الحماية حول حديد التسليح نتيجة تفاعل ثاني أكسيد الكربون مع المواد القاعدية الموجودة بالخرسانة (هيدروكسيد الكالسيوم) محولا إياه إلى كربونات في وجود الرطوبة كما في الشكل (4.12).

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \xrightarrow{H_2O} CaCO_3 + H_2O \quad ...(5.12)$$

وبذلك فإن سرعة عملية التحول الكربوني تعتمد بالدرجة الأولى على جودة الخرسانة ونفاذيتها ، فكلما كانت نفاذية الخرسانة قليلة جدا كلما كان التحول الكربوني بطيئا جدا ، وصدأ حديد التسليح نتيجة الكربنة يتم على طول حديد التسليح ، ويمكن اختبار عمق التوغل الكربوني بالخرسانة عن طريق استعمال محلول الشفاف (فانوفتالين).



الشكل (4.12) نفاذ ثاني أكسيد الكربون في الخرسانة

الشكل (5.12) اختبار عمق التوغل الكربوني في الخرسانة[2.6]

وفى حالة وجود ثاني أكسيد الكبريت في الجو المحيط بالمنشأ الخرساني تحدث عملية مشابهة للتحول الكربوني تعرف بعملية التحول الكبريتي ، وتسبب أيضا في نقص قاعدية الخرسانة المحيطة بأسياخ التسليح ، وإذا حدث تحول كربوني وكبريتي معا فإن ذلك سيؤدى إلى زيادة في سرعة فقدان الخرسانة لقاعديتها؛ ولهذا يوصى بزيادة غطاء الخرسانة في الأماكن المعرضة للكبريتات.

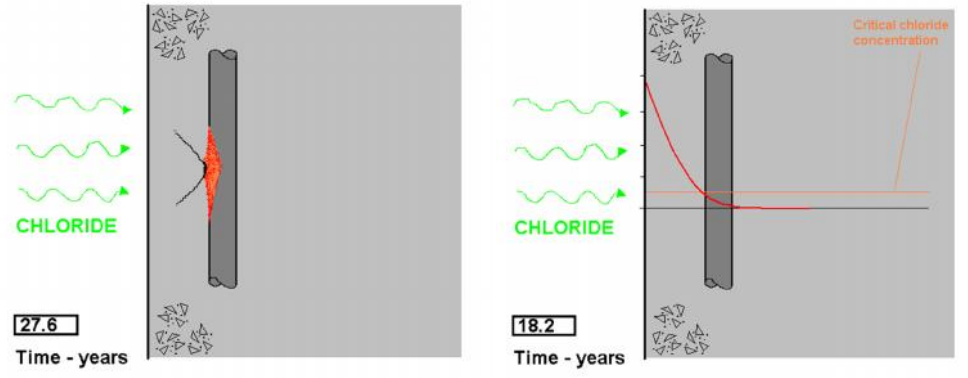
- **هجوم الكلوريدات** **Chloride attack**

أيونات الكلوريدات من أكثر المواد تدميرا لطبقة الحماية السلبية لحديد التسليح في الخرسانة ، والكلوريدات يمكن أن تكون داخل الخرسانة في الأصل ، أي من خلال وجودها بمواد خلط الخرسانة (الركام الخشن ، الماء ، الإضافات) أو خارجية المصدر من خلال مياه البحار أو الأملاح التي تستعمل لإذابة الجليد ....إلخ؛ وصدأ حديد التسليح نتيجة وجود الكلوريدات داخل الخرسانة أخطر وأصعب في إصلاحه من الصدأ نتيجة التحول الكربوني ، لأنه في تلك الحالة لا يمكن إصلاحه إلا عن طريق إزالة الطبقة الخرسانية المحيطة بحديد التسليح بالكامل؛ الشكل (6.12) يوضح صدأ حديد تسليح في أحد الأعمدة نتيجة الخلط بمياه مالحة.

الشكل (6.12) صدأ حديد التسليح نتجة وجود كلوريدات داخل الخرسانة

ويبدأ تأثير الكلوريدات إذا زاد تركيزها في الخلطة الخرسانية عن 0.3٪ من وزن الإسمنت؛ وفى جميع الأحوال هجوم الكلوريدات المؤدي إلى صدأ حديد التسليح يعتبر من أخطر أنواع الصدأ ، حيث إن صدأ حديد التسليح نتيجة أيونات الكلوراید تكون على هيئة نقط أو ما

يعرف بـ(Pitting Corrosion) حيث يتركز في نقاط على طول حديد التسليح ، كما في الشكل (7.12). الشكل(8.12) يوضح تآكل حديد التسليح بسبب الكلوريدات.



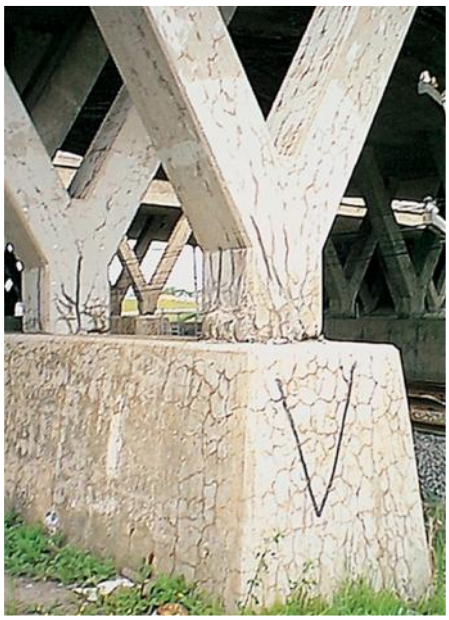
الشكل (7.12) آلية نفاذ الكلوريدات في الخرسانة

الشكل(8.12) صدأ حديد التسليح نتيجة الكلوريدات

3.12 تفاعل القلويات مع السيليكا Alkali Silica Reaction(ASR)

تفاعل القلويات مع السيليكا هو أيضا نوع آخر من أنواع المشاكل التي تتعرض لها الخرسانة وتسبب في تشققها وتقليل متانتها؛ حيث كان أول اكتشاف لهذا التفاعل في عام 1940 ، ومنذ ذلك الوقت توالت الأبحاث لمعرفة حقيقة وأسباب هذه الظاهرة؛ والآن وبعد مرور أكثر من سبعين عاما على أول أكتشاف لهذه الظاهرة ، أصبحت مسببات وآلية عمل هذا التفاعل معروفة؛ هذا التفاعل يكمن في أن القلويات المتواجدة بالخرسانة من خلال الإسمنت في صور أكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم تتفاعل مع السيليكا النشطة التي قد تكون عالقة في بعض أنواع الركام المستخدم في الخرسانة في وجود الرطوبة، هذا التفاعل

يكون ما يعرف بـ القلويات سيليكا جل (Alkali-Silica gel) ، هذا المركب في وجود المزيد من الرطوبة ينتفخ ويزداد حجمه ويقوم بالضغط على الخرسانة مما يسبب في تشققات بالخرسانة تعرف بتشققات تفاعل القلويات مع السيليكا؛ الشكل (9.12) يوضح شكل التشققات الناتجة عن تفاعل القلويات مع السيليكا.



الشكل (9.12) تشققات نتيجة تفاعل القلويات مع السيليكا

من خلال ما سبق نجد أن تفاعل القلويات مع السيليكا (ASR) يحدث إذا توفرت ثلاثة عوامل رئيسية وهي :

1. نسبة قلويات كافية بالخرسانة .
2. سيليكا نشطة بالخرسانة.
3. رطوبة كافية للتفاعل وانتفاخ الجل.

أيضا من المعروف أن القلويات ليست فقط من الإسمنت وإنما يمكن أن تكون من الرمل المحتوي على كلوريد الصوديوم أو ماء الخلط أو الإضافات أو نفاذ مياه البحر؛ القلويات من جميع هذه المصادر يجب أخذها في الحسبان عندما يتم حساب المجموع الكلي للقلويات بالخرسانة والذي تحدده المواصفات البريطانية بأن لا يزيد عن 3.0 كجم في المتر المكعب الواحد كحد أقصى في حالة وجود سيليكا نشطة بالخرسانة؛ كما أن معظم المواصفات تشترط أن لا تزيد نسبة القلويات في الإسمنت عن 0.6٪. وللتقليل من إمكانية حدوث هذا التفاعل والتحكم فيه يجب عمل الآتي :

1. التأكد من خلو الركام من السيليكا النشطة.
2. استخدام إسمنت بنسبة قلويات منخفضة.
3. التقليل من نفاذية الخرسانة وحجم الفراغات.
4. منع وصول الرطوبة للخرسانة.

4.12 هجوم الكبريتات Sulphate attack

أملاح الكبريتات يمكن أن تتواجد بالتربة أو مياه البحار أو مياه الصرف الصحي وقد تسبب أضرارا للخرسانة غير المتينة وتسبب في تلفها ، وعليه فأكثر العناصر والمنشآت الخرسانية عرضة لخطر هجوم الكبريتات هي :

1. المنشآت البحرية.
2. منشآت محطات الصرف الصحي.
3. القواعد الخرسانية للمنشآت.

الشكل (10.12) كمرات خرسانية بعد 7 سنوات من غمرها في تربة غنية بالكلوريدات[2.6]

الكبريتات على سبيل المثال كبريتات الكالسيوم وكبريتات الصوديوم وكبريتات الماغنيسيوم يمكن أن تهاجم الخرسانة بتفاعلها مع المركبات الأساسية الناتجة من تفاعل الإسمنت مع الماء، انظر الشكل (10.12). هذه التفاعلات يمكن أن تنتج ضغطا كافيا لتلف العجينة الإسمنتية ، وهو ما يفقد العجينة الإسمنتية قوة الارتباط والمقاومة.

كبريتات الكالسيوم تتفاعل مع ألومينات الكالسيوم لتشكل الومينات الكالسيوم الكبريتية المائية أو ما يعرف بالأترنجايت وفقا للمعادلة التالية:

$$4CaO.Al_2O_3.19H_2O + 3(CaSO_4.2H_2O) + 16H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O + Ca(HO)_2 \quad \text{.....(6.12)}$$

كبريتات الصوديوم والمغانسيوم والبوتاسيوم تتفاعل مع هيدوكسيد الكالسيوم الموجود داخل الخرسانة المتصلبة ، وينتج عن هذا التفاعل كبريتات الكالسيوم (الجبس) وفقا للمعادلة التالية:

$$4CaSO_4\,2H_2O + 2NaOH\,8H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 10H_2O \quad \text{...(7.12)}$$

ومن خلال نواتج هذه التفاعلات نجد أن بلورات الأترنجايت تسبب ضغطا داخليا على الخرسانة مما يسبب في تشققها وتلفها؛ وللتقليل من إمكانية حدوث هذه التفاعلات والتحكم فيها يجب عمل الآتي :

1. استخدام الإسمنت المقاوم للكبريتات.
2. تقليل نفاذية الخرسانة باستخدام:
   - نسبة قليلة من نسبة الماء للإسمنت.
   - معالجة الخرسانة بشكل جيد.
   - السمك المناسب لغطاء الخرسانة.
   - دمك الخرسانة بشكل جيد.
3. عزل القواعد الخرسانية بشكل جيد (بطبقة من الإسفلت أو دهان البيوتومين).
4. استخدام المضافات لتحسين جودة الخرسانة المنتج.

الفصـل الثالث عشـر

أنواع خاصة من الخرســانة

SPECIAL TYPES OF CONCRETE

1.13 مقـدمة Introduction

الخرسـانة العادية (موضوع هذا الكتاب) هي أحد أنواع الخرسانات المستعملة في تنفيذ المنشآت الخرسانية ، بالمقابل هناك العديد من أنواع الخرسانات التي تستعمل في أغراض شتى ، ويمكن تصنيف أهم تلك الأنواع شيوعا واستخداما كالتالي[7.1]:

1. الخرسانة العاديـة.
2. الخرسانة المسلحة.
3. الخرسانة مسبقة الإجهاد.
4. الخرسانة مسبقة الصب.
5. الخرسانة عالية المقاومة.
6. الخرسانة الليفية.
7. الخرسانة البلوميرية.
8. الخرسانة ذاتية الدمك.
9. الخرسانة المقذوفة.
10. الخرسانة الخفيفة.
11. الخرسانة الثقيلة.
12. الخرسانة الكتلية.

2.13 الخرسانة العادية Normal Concrete

الخرسانة العادية هي الكتلة الخرسانية الناتجة عن خلط الإسمنت والماء والركام بنوعيه والإضافات وبدون استعمال حديد التسليح ، ويستخدم هذا النوع من الخرسانة في أعمال الأرضيات والأرصفة وخرسانة النظافة تحت الأساسات وأعمال الكتل الخرسانية غير المعرضة لإجهادات الشد، وتتراوح مقاومتها من 150 – 250 كجم/سم^2 حسب الغرض المستعملة من أجله.

3.13 الخرسانة المسلحة Reinforced Concrete

نظرا لضعف الخرسانة العادية في مقاومتها لإجهادات الشد ومقاومتها العالية لإجهادات الضغط ، ووجود مادة أخرى معاكسة لها من حيث مقاومتها العالية لإجهادات الشد ومقاومة ضعيفة نسبيا لإجهادات الضغط ، وهو حديد التسليح ، فقد تم تقديم نوع آخر من الخرسانات التي تجمع بين الخرسانة العادية وحديد التسليح لتتحمل إجهادات الشد والضغط معا ، وهى ما يعرف بالخرسانة المسلحة؛ هذا النوع هو الأكثر شيوعا واستخداما في العالم إلى الوقت الحاضر نظرا لسهولة تنفيذه وتشكيله ورخص مواده و تصنيعه؛ ويجب التحقق في مثل هذه الخرسانات من الاتزان والتوافق بين الإجهادات والانفعالات في كل من الخرسانة العادية والحديد.

4.13 الخرسانة مسبقة الإجهاد Prestressed Concrete

نظرا لبعض المساوئ في الخرسانة المسلحة مثل التشققات والوزن الثقيل الذى يحد من استعمالها في بعض المنشآت الكبيرة ، فقد تم تقديم نوع آخر من أنواع الخرسانات وهو الخرسانة مسبقة الإجهاد؛ الخرسانة مسبقة الإجهاد هي عبارة عن خرسانة عادية بمقاومة عالية تتراوح من 400 - 700 كجم/سم^2 يتم إكسابها إجهادات ضغط عالية قبل تحميلها لغرض تقليل أو تلاشى إجهادات الشد الناتجة عن الأحمال ، ويتم إكساب الخرسانة إجهادات الضغط عن طريق الشد بكابلات من الصلب عالية المقاومة ، وتتم عملية الشد بطريقتين الأولى وهي ما يعرف بطريقة الشد السابق وفيها يتم شد الكابلات قبل صب الخرسانة وقبل تصلدها؛ وتترك هذه الكابلات بعد صب الخرسانة حتى تصلدها واكتسابها مقاومتها القصوى ، بعد ذلك يتم إزالة قوي الشد عن الكابلات إما بالقطع أو أي طريقة أخرى مما يؤدي إلى انكماش الكابلات مؤثرة بإجهادات ضغط داخل الخرسانة عن طريق قوى التماسك بين الكابلات والخرسانة، أما طريقة الشد اللاحق فتتم عن طريق وضع تجاويف داخل العنصر الخرسانى قبل الصب، ويتم صب الخرسانة عليه ، وبعد تصلد الخرسانة وإكسابها المقاومة القصوى يتم تمرير الكابلات عبر تلك التجاويف، ويتم شدها على العنصر نفسه، ثم يتم تثبيتها على طرفي العنصر الخرسانى وتتم إزلة قو ي الشد عن الكابلات إما بالقطع أو أية طريقة أخرى لتؤثر بقوة ضغط كبيرة مسببة إجهادات ضغط على طرفي نهاية العنصر الخرساني التي تنتقل بدورها إلى العنصر الخرساني بالتحميل ، ويتم بعد ذلك ملء تلك التجاويف بمادة إسمنتية لحماية الكابلات

من جهة والمساهمة في نقل إجهادات الضغط للخرسانة من جهة أخرى؛ وتتميز هذه الخرسانات بقلة التشققات السطحية والمقاومة العالية للأحمال، وكذلك صغر مقاطعها الخرسانية مقارنة بالخرسانة المسلحة.

5.13 الخرسانة مسبقة الصب Precast Concrete

الخرسانة مسبقة الصب أو ما يعرف بالخرسانة الجاهزة ، هي عبارة عن عناصر خرسانية يتم تصنيعها في مصانع خاصة لهذا الغرض حتى يتم تصلدها تماما في المصنع تم تنقل للتركيب في المكان المعد لها؛ ممكن أن تكون هذه العناصر خرسانة عادية أو مسلحة أو مسبقة الإجهاد وممكن أن تكون هذه العناصر بلاطات أو أعمدة أو حوائط ...إلخ. من ميزات هذه الخرسانات أنها تنفذ بتحكم وجودة عالية في جميع مراحل التصنيع ، ويستخدم هذا النوع من الخرسانات عند تنفيذ مشاريع بها عناصر خرسانية متكررة بأعداد كبيرة.

6.13 الخرسانة عالية المقاومة High Strength Concrete

الخرسانة عالية المقاومة هي خرسانة تزيد مقاومتها عن 700كجم/سم^{2}ويمكن الحصول عليها من خلال استخدام المواد المحلية المكونة للخرسانة العادية ولكن بجودة عالية ومواصفات محددة مضافا إليها المضاف المخفض العالي للمياه أو ما يعرف (Superplastisicer) وذلك لتقليل نسبة الماء للإسمنت إلى الحد الأدنى مع الحصول على التشغيلية المطلوبة وبالتالي مقاومة عالية؛ تستخدم مثل هذه الخرسانات في الحصول على مقاومة عالية مبكرة ، في المحطات النووية ، في المباني العالية ..وغيرها.

7.13 الخرسانة بالألياف Fiber Concrete

الخرسانة بالألياف هي عبارة عن الخرسانة العادية مضافا إليها أليافاً غير مستمرة وموزعة توزيعا عشوائيا في جميع الاتجاهات ضمن الكتلة الخرسانية ، وتنقسم الألياف إلى نوعين ألياف الصلب، وألياف صناعية ،واستعمال الألياف في الخرسانة يحسّن من مقاومة الخرسانة في الشد والانحناء، والصدم، والانكماش، كما أنها تعمل على تقليل اتساع التشققات؛ ويستخدم هذا النوع من الخرسانات بشكل واسع في الطرق والمطارات والمواسير الخرسانية ...إلخ.

8.13 الخرسانة البوليرية Polymer Concrete

الخرسانة البوليرية هي خرسانة خاصة يتم الحصول عليها بمعاملة الخرسانة العادية بمواد البوليمر ، والبوليمر هو اسم لمادة عضوية تتكون من العديد من الجزيئات المتشابهة ذات الوزن الجزيئي المرتفع والجزء الواحد من هذه الجزيئات يسمى مونومر؛ ومواد البوليمر عند إضافتها للخرسانة تعمل كمواد مالئة أو لاحمة للفراغات بين حبيبات الركام. وتمثل المواد البوليميرية حوالي من 6- 15٪ من وزن الخرسانة، ومنها على سبيل المثال مواد البوليستر والإيبوكسي؛ يتميز هذا النوع من الخرسانات بمقاومته العالية للعوامل الخارجية وللانكماش ومقاومة ضغط عالية تصل إلى 1200كجم/سم^2 ومقاومة شد تصل إلى 100كجم/سم^{2}وتصنع الخرسانة البلوميرية من ثلاثة أنواع تعرف بالخرسانة البلاستيكية ، الخرسانة البلوميرية الإسمنتية والخرسانة الإسمنتية المحقونة بالبوليميرات ، إلا أن تكاليف هذه الخرسانات مرتفع مقارنة بالخرسانة التقليدية حيث يصل إلى ثلاثة أضعاف الخرسانة العادية؛ ويستخدم هذا النوع من الخرسانات كطبقة حماية سطحية لأسطح الكباري والمصانع ، عملية ترميم الشقوق ، الأنفاق والمنشآت البحرية .....إلخ.

9.13 الخرسانة ذاتية الدمك Self Compacted Concrete

الخرسانة ذاتية الدمك هي خرسانة لها درجة تشغيل عالية ولها مقاومة عالية للانفصال الحبيبي ولا تحتاج إلى استعمال أية أداة دمك أثناء تنفيذها، فهي من اسمها ذاتية الدمك؛ و الخرسانة ذاتية الدمك هي نتاج للتقدم التكنولوجي في مجال الخرسانة حيث تعتبر مضافات تقليل ماء الخلط وتحسين التشغيلية هما العنصرين الأساسيين اللازمين في صناعة مثل هذا النوع من الخرسانات(Plasticiser&Superplasticiser) وتحكم صناعة هذا النوع من الخرسانات مواصفات الركام وحجمه وتدرجه، كما أن لهذا النوع من الخرسانات ميزات منها سهولة الصب في الأماكن الضيقة ، معدل صب عالٍ مع احتياجها لعدد عمالة أقل من الخرسانة التقليدية ، لا يحدث بها انفصال حبيبي ، بالرغم لعدم احتياجها لتسوية السطح فإن لها شكلاً ومظهراً جيداً، وأخيراً فإنها أكثر متانة من الخرسانة التقليدية؛ يستخدم هذا النوع من الخرسانات في صب المقاطع الخرسانية ذات التسليح الكثيف وفى أعمال الصيانة والأماكن الضيقة.

10.13 الخرسانة المقذوفة Shot Concrete

الخرسانة المقدوفة هي نوع آخر من أنواع الخرسانات من حيث تنفيذها ، حيث يتم تنفيذ الخرسانة عن طريق قذفها على المكان المراد وضع الخرسانة فيه ، ويوجد نوعان رئيسيان لتنفيذ مثل هذه الخرسانات ، هما الخلط الجاف والخلط الرطب ، ففي النوع الأول يتم خلط مكونات الخرسانة على الجاف وتدفع باستخدام ضاغط الهواء عبر القاذف، تم يضاف الماء عند فوهة القاذف ويدفع الجميع إلى المكان المراد صبه؛ أما النوع الثاني فيتم خلط جميع مكونات الخلطة الخرسانية بما فيها الماء خلطا جيدا ويدفع الجميع عن طريق ضاغط الهواء عبر القاذف إلى المكان المراد صبه؛ وفى جميع الأحوال يجب تهيئة السطح المراد قذفه بشكل جيد لضمان قوة الترابط، ويمكن القول بأن سلوك وخواص الخرسانة المقذوفة يعتمد بشكل كبير على نوع المعدات المستخدمة ومهارة المنفذين لها والظروف المحيطة بأعمال الصب؛ ويمتاز هذا النوع من الخرسانات باحتوائه على كمية إسمنت أعلى لتعويض نسبة الفاقد منه عند الإرتداد وكذلك صغر قطر الركام حيث يفضل أن لا يزيد عن 12مم . ومن عيوب هذه الخرسانات تعرضها للانكماش بشكل كبير نتيجة زيادة محتوى الإسمنت وكمية الماء بها ونقص الركام الكبير بها؛ يستخدم هذا النوع من الخرسانات غالبا في أعمال الترميميات خاصة في أعمال إصلاح تآكل حديد التسليح ، كما تستخدم في تبطين الأنفاق والأفران بكافة أنواعها.

11.13 الخرسانة الخفيفة Light Weight Concrete

الخرسانة الخفيفة هي أيضا نوع آخر من أنواع الخرسانات ، ونظرا للوزن الثقيل للخرسانة التقليدية مقارنة بمواد البناء الأخرى حيث يتراوح وزنها من 2200 – 2400 كجم/م^3 مما ترتب عليه التقيد بطول ومقاطع محددة للعناصر المنفذة من هذه الخرسانة؛ لذلك ثم التفكير في إنتاج خرسانة أخف إلى حد ما من الخرسانة التقليدية فجاءت فكرة الخرسانة الخفيفة وهي الخرسانة التي وزنها يقل عن 2000 كجم/م^3 وذلك عن طريق استخدام ركام خفيف الوزن أو إيجاد فراغات داخل العجينة الإسمنتية عن طريق تكوين فقاعات من الغازات أو الهواء في العجينة الإسمنتية وهى في الحالة الطرية أو بإضافة مواد رغوية؛ وتستخدم الخرسانة الخفيفة كحوائط داخلية في المنشآت ، أو كعازل للصوت والحرارة وكذلك في بعض الأحيان تستخدم لتقليل وزن المنشأ ، وبالتالي تقليل حجم الأساسات ، ولا تستعمل الخرسانة الخفيفة في العناصر الإنشائية أو الحاملة في المنشأ.

12.13 الخرسانة الثقيلة Heavy Weight Concrete

الخرسانة الثقيلة هي الخرسانة التي تصل كثافتها حتى 6000 كجم/م^3 حيث تصنع هذه الخرسانة من ركام ثقيل الوزن ، ونظرا لأن الركام الثقيل يميل دائما إلى الانفصال عند خلطه أو صبه بالطرق التقليدية فإنه يفضل استخدام الخرسانة الثقيلة سابقة الرص والتي تعتبر أكثر ملاءمةً في هذه الحالة ، وذلك عن طريق دفع وضخ المونه الإسمنتية خلال فراغات ركام نظيف ومرصوص ومدموك جيدا ومشبع بالماء ، وعند ضخ المونة خلال القوالب تزيح ما بها من ماء وهواء، وتملا الفراغات، وبذلك تنتج خرسانة ذات كثافة عالية بها نسبة عالية من الركام؛ يستخدم هذا النوع من الخرسانات في الوقاية من الإشعاعات النووية حيث تتناسب قدرة الخرسانة لامتصاص هذه الإشعاعات مع وزنها أو كثافتها.

13.13 الخرسانة الكتلية Mass Concrete

الخرسانة الكتلية هي الخرسانة المصبوبة في مكان واحد ووقت واحد بكميات كبير ة مثل السدود، والحوائط الساندة، والخزانات؛ هذا النوع من الخرسانات يحتاج إلى عناية خاصة حيث إن حرارة التفاعل الناتجة عن التفاعلات الكيميائية هي العنصر المهم والمطلوب الاهتمام به في مثل هذه الخرسانات؛ ففي الخرسانة الكتلية يجب استخدام الإسمنت منخفض الحرارة أو الإسمنت المخلوط البوزلاني وكذلك تبريد المواد الداخلة في صناعة الخرسانة من ركام وماء والاهتمام بالمعالجة والصب على طبقات. يستخدم هذا النوع من الخرسانات في السدود والخزانات الأرضية والكباري والكتل الخرسانية بشكل عام.

الفصـل الرابع عشر

الإختبارات اللاإتلافية للخرسانة

NONDESTRUCTIVE TESTS OF CONCRETE

1.14 مقـدمة Introduction

الاختبارات اللاإتلافية للخرسانة تهدف إلى اختبار العناصر الخرسانية القائمه بالمنشأ دون حدوث أي تلف أو انهيار بها ، وتعتبر الاختبارات اللاإتلافية من أهم الاختبارات التي تساعد المهندس الإنشائي لكتابة التقارير الفنية عن حالة المباني القائمة؛ وفى ما يلي عرض لبعض تطبيقات الاختبارات اللاإتلافية :

1. اختبار مقاومة الضغط للخرسانة المتصلدة.
2. اختبار مقاومة سطح الخرسانة المتصلدة.
3. تحديد أماكن وأقطار حديد التسليح.
4. تحديد أماكن وعرض الشقوق الداخلية بالخرسانة.

2.14 استعمالات الاختبارات اللاإتلافية Uses of Non-Destructive Tests

يمكن حصر أسباب اللجوء إلى مثل تلك الاختبارات إلى الآتي :

1. عند ظهور مشاكل في المنشأ مثل ظهور تشققات أو تصدعات.
2. نتائج مقاومة الضغط للخرسانة غير مطابقة للمطلوب.
3. عدم وجود نتائج اختبارات للخرسانة أثناء التنفيذ.
4. عدم التزام المقاول بإتمام أعمال المعالجة للخرسانة.
5. عند الشك في نوع الإسمنت المستخدم.
6. عدم التزام المقاول بتنفيذ تعليمات الإشراف بخصوص تنفيذ الخرسانات.
7. للتأكد من جودة تنفيذ الخرسانة.

3.14 أنواع الاختبارات اللاإتلافية Type of Non-Distractive Tests

تشمل الاختبارات اللاإتلافية التي تنفذ على المنشآت الخرسانية القائمة الآتي :

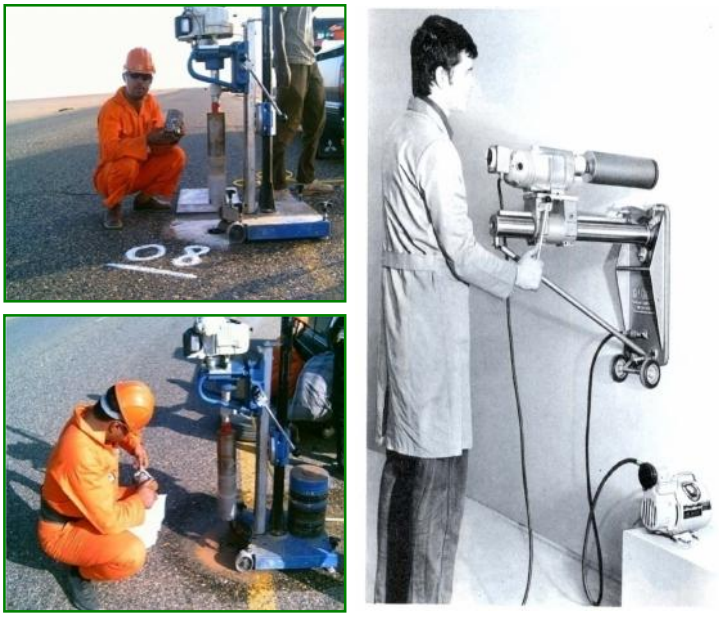
1. اختبارالقلوب الخرسانية.
2. اختبار مطرقة شميدت.

3. اختبار قياس سرعة الموجات فوق الصوتية.
4. اختبار مطرقة الكرة.
5. اختبار القلع.
6. اختبار قياس الغطاء الخرسانى وتباعد حديد التسليح.
7. اختبار التحميل للعناصر الإنشائية.

وسيتم الشرح بشئ من التفصيل للثلاث الطرق الأولى الأكثر استعمالا.

1.3.14 اختبار القلوب Core Test

يعتبر هذا الاختبار اختبارا نصف إتلافي للخرسانة، ويستخدم لتحديد المقاومة الفعلية للخرسانة في المنشأ القائم، وذلك عن طريق أخذ عينة إسطوانية منزوعة من أحد العناصر الإنشائية في المنشأ باستخدام جهاز النزع الميكانيكي الموضح بالشكل (1.14).



الشكل (1.14) أخذ العينة عن طريق النزع للخرسانة المتصلدة

هذا الجهاز عبارة عن مثقاب به آلة ثقب إسطوانية من الحديد الصلب وتعمل بالضغط الهيدروليكي ، ويعتبر قطر العينة 150 مم هو القياسي إذا كانت للخرسانة من القوة بحيث لا تتأثر بالكسر أثناء انتزاع العينة ، كما أن القطر 100 مم هو الشائع الاستخدام

وفى جميع الأحوال يجب أن لا يقل قطر العينة المأخوذة عن ثلاثة أضعاف أكبر مقاساً للركام بها ، وتكون نسبة طول العينة إلى قطرها من1- 2؛ يتم استخراج العينة عموديا على السطح المستخرجة منه ، ويدون عليها رقم العينة ومكانها واتجاه أخذها مباشرة بعد الاستخراج ، كما يجب ملئ مكان العينة بمونة طبقا للمواصفات غير قابلة للانكماش وبمقاومة عالية.

- **تجهيز سطح العينة** **Preparation of Sample Surface**

يتم تجهيز سطح العينة (نهايتي القالب) بحيث يكونان مستويين تماما، ويتم ذلك إما بنشر نهايتي القالب بمنشار خاص لهذا الغرض ، أو بعمل طبقة إسمنتية تسمى (Cap) لا يزيد سمكها عن 10مم ولها من القوة بحيث لا تنكسر قبل انهيار العينة تحث جهاز الضغط ، الشكل (2.14) يوضح عينة جاهزة للاختبار.

الشكل (2.14) عينة قالوب جاهزة للإختبار[12.1]

كما يتم قبل الاختبار فحص العينة لتحديد نوع الركام وحجمه وحالة السطح والشكل ،وكذلك درجة الدمك وتوزيع حبيبات الشرشور ، وتركيز الركام بالنسبة للمونة الإسمنتية ، كما يتم تحديد حجم الفراغات والتعشيش وأماكن وجودها واتجاهها إن وجد مع تحديد أسبابها من حيث نقص في الدمك أو في المونة الإسمنتية أو انفصال حبيبي؛ كل هذه المعلومات يجب أن توضع في تقرير نتائج الاختبار.

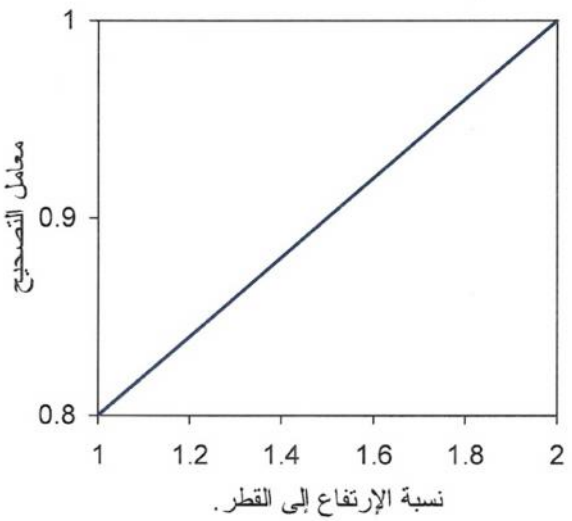
- **طريقة اختبار العينة Method of Sample Testing**

يوضع القالب في ماكينة الضغط تحت سرعة ثابتة بمعدل 15 MPa/الثانية حتى الانهيار ، وتكون العينة رطبة حسب المواصفات البريطانية، أو جافة حسب مواصفات أخرى، مع العلم بأن المقاومة الناتجة من خلال العينة الرطبة تكون أقل من الجافة بنسبة (10-15٪) تقريبا؛ ويتم حساب المقاومة من خلال قسمة حمل الكسر على المساحة المحسوبة من القطر المتوسط.

- **العوامل المؤثرة على المقاومة Factors affecting Strength**

1. نسبة الارتفاع إلى القطر Height to Diameter Ratio

نسبة ارتفاع العينة المختبرة إلى قطرها تؤثر على قيمة المقاومة ، ويمكن استعمال معامل التصحيح من الشكل (3.14)[12.1].



الشكل (3.14) تأثير نسبة ارتفاع العينة إلى قطرها[12.1]

2. اتجاه أخذ العينة Direction of Taking Sample

يتم أخذ 8٪ كفرق في المقاومة بين العينات التي تم إخراجها في الاتجاه العمودي والأفقي للنزع ، عادة الاتجاه الأفقي يعطي مقاومة أكبر من الاتجاه العمودي.

3. وجود حديد تسليح في العينة Present of Steel in Sample

عادة يفضل أن يتم أخذ العينات خالية من حديد التسليح ، ولكن في حالة الاضطرار إلى ذلك، أو وجودها في العينة المنزوعة تشير الدراسات إلى انخفاض في مقاومة الخرسانة

لتلك العينات بقيمة تقدر بأقل من 10٪ ، في هذه الحالة يمكن استخدام معامل التصحيح طبقا للحالة الموجودة من خلال المعادلات التالية[12.1] :

أ. في حالة وجود حديد تسليح واحد فقط وعمودي على المحور الطولي للعينة:

$$1.0 + 1.5\left(\frac{¤_r}{¤_c} x \frac{h}{l}\right) \quad .....(1.14)$$

حيث : $¤_r$ ← قطر سيخ حديد التسليح.

$¤_c$ ← قطر العينة المختبرة.

h ← المسافة بين محور سيخ حديد التسليح وأقرب نهاية للعينة.

l ← طول العينة.

ب. في حالة وجود أكثر من سيخ حديد تسليح:

$$1.0 + 1.5\left(\frac{\sum(¤_r.h)}{¤_c.l}\right) \quad .....(2.14)$$

- **تقدير مقاومة المكعب القياسي Prediction of Cube Strength**

يرجع الفرق في المقاومة بين المكعب القياسي والعينة المنزوعة من الخرسانة في المنشأ إلى عدة أسباب أهمها :

- ظروف تنفيذ الخرسانة ومعالجتها.
- حجم العينة.
- عمر الخرسانة.

لتقدير مقاومة المكعب القياسي في الموقع من مقاومة العينة من خلال المعادلات التالية :

- العينة المؤخوذة أفقيا :

$$\frac{2.50\, f_a}{1.5 + 1/a} = \text{مقاومة المكعب القياسي} \quad .....(3.14)$$

- العينة المؤخوذة عموديا :

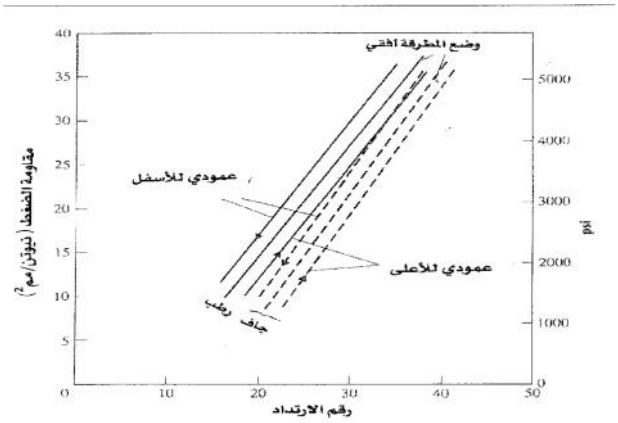
$$\frac{2.50\, f_a}{1.5 + 1/a} = \text{مقاومة المكعب القياسي} \quad ....(4.14)$$

حيث : f_a ← مقاومة عينة الخرسانة

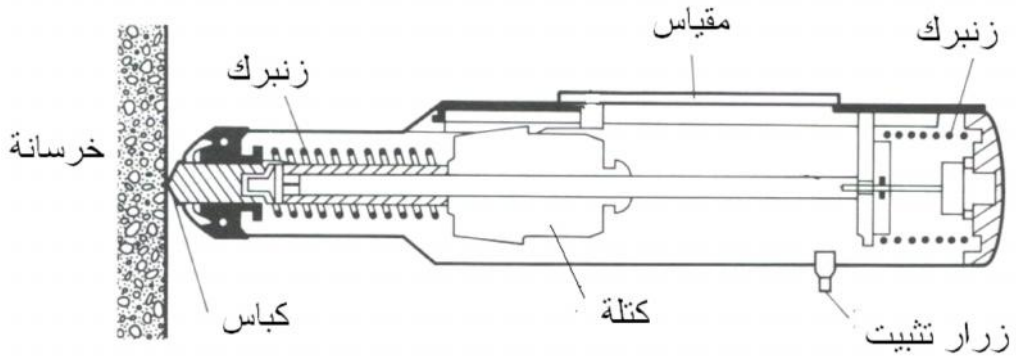
a ← نسبة ارتفاع العينة إلى قطرها

2.3.14 اختبار مطرقة شميدت Schmidt Hammer Test

يعتبر اختبار مطرقة شميدت من الاختبارات غير المتلفة للخرسانة وهو يعبر عن مقاومة سطح الخرسانة ، حيث تستخدم المطرقة في تعيين رقم الارتداد (Rebound Number) حيث يعتمد عمل الجهاز على النظرية التي تنص على أن قوة ارتداد كتلة مرنة يعتمد على قوة السطح الذي تصطدم به؛ ويستخدم رقم الارتداد في الاسترشاد عن القيمة التقريبية لمقاومة الضغط للخرسانة المختبرة ، ويمتاز هذا الاختبار بالسهولة والسرعة في تحديد قيمة مقاومة الخرسانة[7.1] ؛ وتتلخص آلية عمل الجهاز في الآتي: بالضغط الخفيف على زرار تثبيت بالجهاز يخرج الرأس المتحرك الكباس (Plunger) تم يوضع الجهاز عموديا على المكان المراد اختباره ، ثم يضغط على الجهاز فينزلق الكباس إلى داخل الجهاز ، وقبل اختفائها ينفك الزنبرك محدثا طرقة على سطح الخرسانة (صدمة) مع الانتباه أن يكون الجهاز مثبتا عموديا تماما على السطح المختبر ولا يتم لمس الزرار نهائيا في هذه المرحلة. عند الاصتدام ترتد الكتلة بمقدار يتناسب مع صلابة سطح الخرسانة محركا مؤشر القياس لتحديد قيمة الارتداد ، وهكذا ينقل الجهاز إلى نقطة أخرى لتكرار نفس العملية ، وبعد الانتهاء من الاختبار يعاد الجهاز إلى وضعه الأصلي بجعل الكابس داخل الجهاز. تحدد مساحة الاختبار لكل عنصر إنشائي في حدود 30x30سم، تم تحدد نقاط ضمن هذه المساحة في حدود 15 نقطة موزعة بشكل متوازن على المساحة المختبرة بحيث لا تقل المسافة بين كل نقطتين عن 2.5سم ، يحسب متوسط رقم الارتداد وتحذف القراءات الشاذة بحيث لا يزيد الفرق بين أي رقم ارتداد والمتوسط عن 5 وحدات ، ويعتبر رقم الارتداد مقبولاإذا كان ثلثا القراءات لا تنحرف عن المتوسط بمقدار 2.5 وحدة؛ يتم تحويل رقم الارتداد المتوسط إلى مقاومة ضغط نيوتن/مم^2 كما بالشكل (4.14) .



الشكل (4.14) العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الارتداد[2.5]



الشكل (5.14) مطرقة شميدت[12.1]

- **أنواع مطرقة شميدت** **Types of Schmidt Hammer**

يوجد نوعان من مطرقة شميدت من حيث طريقة قراءة الرقم الارتدادي وهما :

- **أجهزة تقرأ النتيجة على التدرج الموجود بالجهاز ، وتسمى مطرقة شميدت العادية**

الشكل (6.14) مطرقة شميدت العادية

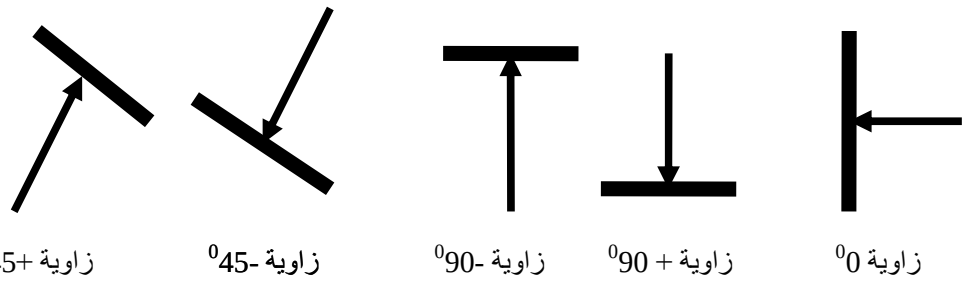
- **أجهزة مزودة بأداة تسجيل رقمي ، وتسمى مطرقة شميدت الرقمية**

الشكل (7.14) مطرقة شميدت الرقمية

ويفضل النوع الثاني لسهولة استخدامه وتسجيله للقراءات أوتوماتيكيا وإمكانية الرجوع إلى القراءات المسجلة في أي وقت ونسبة الخطأ به أقل.

- **زاوية ميل استخدام المطرقة Angle of Using Hammer**

تمت معايرة الجهاز على الوضع الأفقي أي لاختبار الأسطح الرأسية ، مثل الحوائط والأعمدة ، وبذلك اعتبرت زاوية ميل الجهاز بالنسبة للمستوي الأفقي صفرا؛ ويمكن إجراء الاختبار بزوايا مختلفة، كما هو موضح بالشكل (8.14) وفى هذه الحالة يتم تصحيح القراءات طبقا للمنحنيات المناسبة ، ففي حالة الزوايا الموجبة يتم التصحيح بطرح بعض القيم من قراءة المؤشر نتيجة تأثير الجاذبية الأرضية ، أما في حالة الزوايا السالبة فيتم التصحيح بإضافة بعض القيم إلى قراءة المؤشر[7.1].



الشكل (8.14) زوايا ميل مطرقة شميدت

- **توصيات عند استخدام المطرقة Recommendations for Using Hammer**

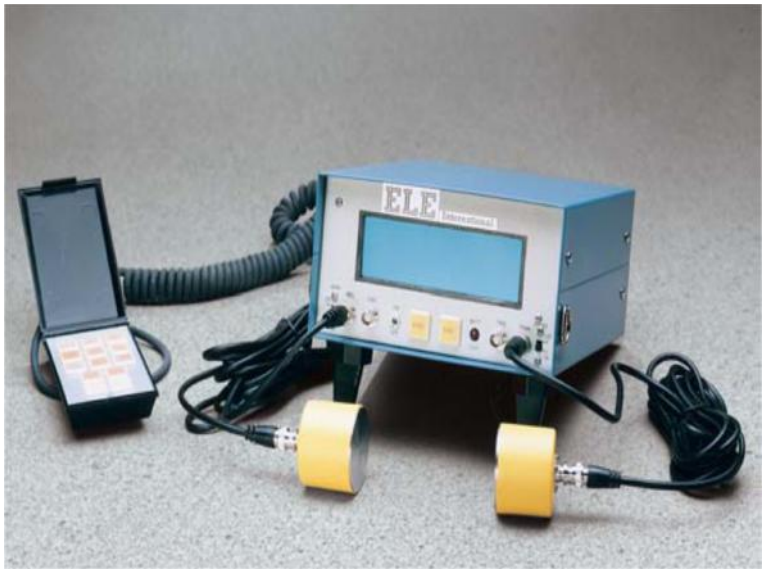
في ما يلي بعض النقاط الواجب تطبيقها وأخذها في الحسبان قبل الشروع في الاختبار نظرا لحساسيته لمثل تلك النقاط ، وفى حالة عدم تطبيقها فإنه لا يتوقع الحصول على نتائج مقبولة وحقيقية من هذا الاختبار والنقاط هي[7.1] :

1. أن يكون الجهاز معايرا قبل الاستخدام.
2. أن يكون السطح المختبر نظيفا وخاليا من المسامية والنتوءات والتعشيش.
3. تنظيف السطح بأحجار الكاريورندوم المزودة بالجهاز.
4. إزالة أية مونة أو طبقات اللياسة في مكان إجراء الاختبار.
5. إزالة أية خرسانة ضعيفة نتيجة لنضح في الأسطح الأفقية.
6. لا يتم وضع كابس الجهاز على حبيبات شرشور أو حديد مباشرة.

7. يتم اختيار المناطق العلوية من العنصر الإنشائي.
8. يفضل استخدام الأسطح الرأسية لإجراء الاختبار.
9. في العناصر النحيفة يجب أخذ الاحتياطات بسبب احتمال تأثير مرونتها على النتائج.
10. في الأسطح المبللة تقل نتائج القراءات إلى حدود 30٪ عن القيمة الحقيقية.

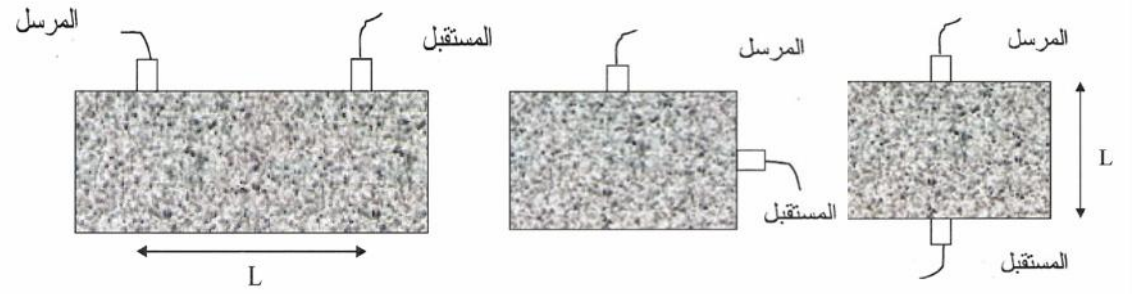
3.3.14 اختبار قياس سرعة الموجات فوق الصوتية Ultrasonic Pulse Velocity Test

اختبار الموجات فوق الصوتية هو أحد الاختبارات اللاإتلافية للخرسانة، ويستعمل هذا الاختبار في تحديد مقاومة الضغط للخرسانة بطريقة غير مباشرة ، وكذلك قياس مدى تجانس الخرسانة المتصلدة واكتشاف الشقوق والفراغات داخل الخرسانة ، وقياس عمق طبقة الخرسانة ، كما هو موضح بالشكل (9.14)؛ يعتمد جهاز الموجات فوق الصوتية على إرسال موجات صوتية عبر الخرسانة من المرسل ويتم استقبالها من قبل المستقبل اللذين يتم تثبيتهما على سطح الخرسانة بشكل محكم ، ويستعمل في ذلك الشحم أوعجينة الجلسرين أو الصابون السائل ، ويتم قياس زمن المرور الذى تأخذه الموجات من المرسل إلى المستقبل بدقة الخطأ 1٪؛ يقاس طول مسافة المسار بدقة ، ومن ثم يمكن حساب سرعة النبضات بقسمة طول المسار على الزمن الذى أخذته الموجات بين المرسل والمستقبل ، يستخدم منحنى المعايرة الخاص لإيجاد مقاومة ضغط المكعب المكافئ ، وتتراوح دقة النتائج بين ±20٪ من القيمة الفعلية لمقاومة الضغط.



الشكل (9.14) جهاز الموجات فوق الصوتية

توجد ثلاث طرق لوضع المرسل والمستقبل على العنصر الخرساني حسب نوع العنصر ، فهناك القياس المباشر وهو وضع المرسل والمستقبل في اتجاهين متضادين ، كما في الشكل(10.14 أ) أو القياس نصف مباشر ، وهو وضع المرسل والمستقبل في الجوانب المجاورة، كما في الشكل (10.14 ب) أو قياس غير مباشر وهو وضع المرسل والمستقبل على نفس السطح ، كما في الشكل (10.14 ج)؛ القياس المباشر أفضل الطرق وأدق النتائج بينما القياس غير المباشر تكون العملية أقل كفاءة من السابق لأن أكبر طاقة تتجه نحو الخرسانة ، إن القياس غير المباشر لا يعطي معلومات كافية عن الخرسانة الضعيفة التي تكون تحت السطح القوي المتصلد ، وتحديد طول المسار أقل دقة ، وقد وجد أن السرعة في هذه الحالة أقل من الحالة المباشرة.



(أ) قياس مباشر (ب) قياس نصف مباشر (ج) قياس غير مباشر

الشكل (10.14) طرق قياس جهاز الموجات فوق الصوتية[12.1]

والجدول التالي يصنف جودة الخرسانة بناء على قيمة سرعة الموجات.

الجدول (1.14) تصنيف جودة الخرسانة على أساس سرعة الموجات[2.3]

ر.م	سرعة الموجات (كم/الثانية)	جودة الخرسانة
.1	أكبر من 4.5	ممتازة
.2	4.5 – 3.5	جيده
.3	3.5 – 3.0	متوسطة
.4	أقل من 3.0	مشكوك فيها

الفصل الخامس عشر

التشققات اللاإنشائية فى الخرسانة

NON STRUCTURAL CRAKS OF CONCRETE

1.15 مقدمة Introduction

التشققات التي تحدث في المنشآت الخرسانية تنقسم إلى نوعين : تشققات إنشائية وأخرى لا إنشائية؛ التشققات الإنشائية هي تشققات تحدث بأحد الأسباب التالية منفردة أو مجتمعة:

1. أخطاء في التصميم.
2. زيادة في الأحمال عن المصمم لها.
3. هبوط في الأساسات.
4. تغيير في استخدام المبنى.
5. التقلص في الخرسانة.

وتكون في صورة إما تشققات قص (Shear cracks) ، أو تشققات انحناء(flexural Crakes)

2.15 التشققات اللاإنشائية Non-Structural Cracks

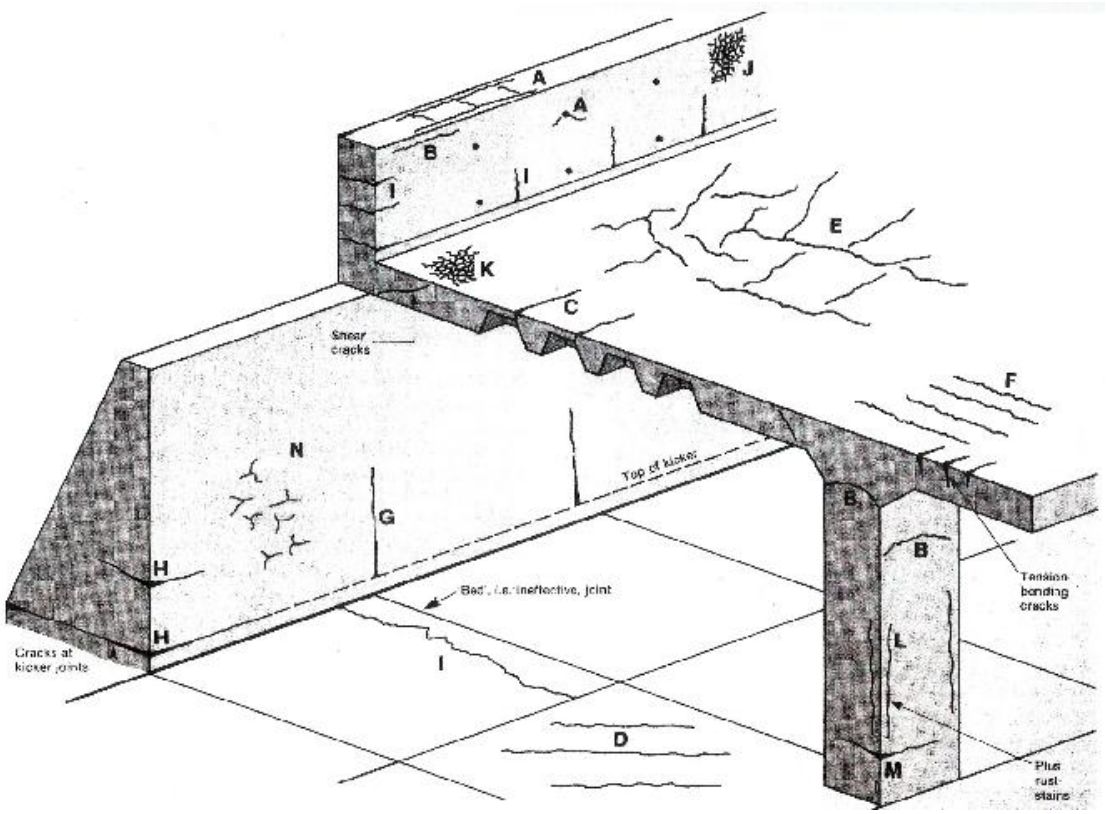
التشققات اللاإنشائية هي التشققات التي لها علاقة مباشرة بتنفيذ الخرسانة بالموقع (طريقة تصنيعها) ومتانتها والتي لا يخلو تقريبا منشأ خرساني منها ولكن بدرجات متفاوتة وحسب جودة التنفيذ ، وهى أقل خطورة على المنشأ من التشققات الإنشائية ولكنها مزعجة من الناحية المعمارية وتؤثر على متانة المنشأ بشكل عام؛ الجدول والشكل (1.15) يوضحان أشكال التشققات اللاإنشائية التي يمكن أن تحدث على العناصر الخرسانية المختلفة؛ أسباب حدوث التشققات اللاإنشائية متعددة ومتداخلة ويمكن تصنيف هذه التشققات تبعا لزمن حدوثها إلى تشققات قبل التصلب وتشققات بعد التصلب.

- **تشققات قبل التصلب Cracks Before Setting**
  - تشققات بسبب الانكماش اللدن للخرسانة.
  - تشققات بسبب الهبوط اللدن لمكونات الخرسانة.

- تشققات بسبب فك الشدات الخشبية.
- تشققات بسبب التجمد.

- **تشققات بعد التصلب** **Cracks After Setting**

- تشققات بسبب الانكماش الجاف للخرسانة.
- تشققات بسبب صدأ حديد التسليح.
- تشققات بسبب تفاعل القلويات مع السيليكا.
- تشققات بسبب دورات التجمد والذوبان.
- تشققات بسبب التغير في درجات الحرارة.



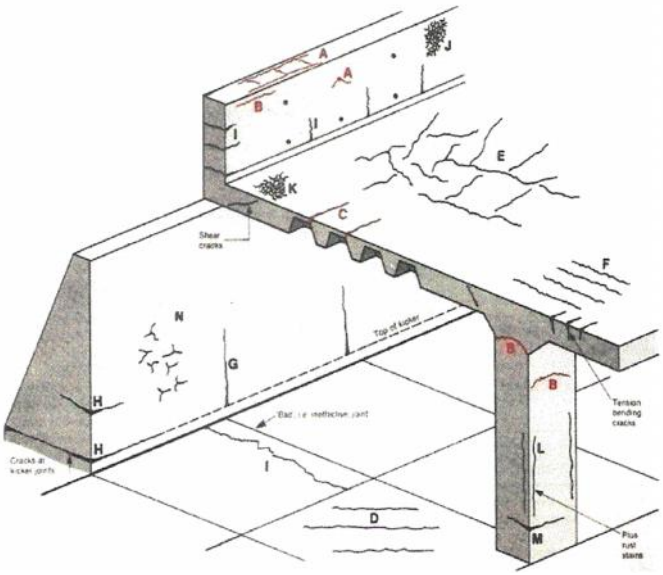
الشكل (1.15) أنواع التشققات اللاإنشائية[2.12]

نوع التشققات	الرمز	وجوده	أكثر أماكن وجوده شيوعا	المسبب الرئيسي	المسبب الثانوي	الإحتياطات اللازم اتخاذها	زمن ظهور الشق
الهبوط اللدن Plastic Settlement Cracks	A	فوق التسليح	المقاطع العميقة	النضح الزائد	حالة جفاف سريعة	تقليل النضح بإعادة الدمك	من عشرة دقائق إلى ثلاث ساعات
	B	في الأقواس	أعلى الأعمدة				
	C	تغير العمق	البلاطات المفرغة				
الانكماش اللدن Plastic Shrinkage Cracks	D	قطري	الطرق والبلاطات	الجفاف السريع	معدل بطي للنضح	الاهتمام بالمعالجة بعد الصب مباشرة	من ثلاثين دقيقة إلى ست ساعات
	E	عشوائي	البلاطات الخرسانية المسلحة				
	F	فوق التسليح	البلاطات الخرسانية المسلحة				
الإنكماش الحراري Thermal Shrinkage Cracks	G	إنفعالات خارجية	الحوائط السميكة	حرارة داخلية عالية	التبريد السريع	تقليل الحرارة	من يوم إلى أسبوعين أو ثلاثة
	H	إنفعالات داخلية	البلاطات السميكة	تغير عالي في درجات الحرارة			
الإنكماش الجاف Drying Shrinkage Cracks	I		البلاطات الرقيقة	عدم كفاية فواصل التمدد	إنكماش عالى ومعالجة غير كافية	تقليل نسبة الماء للإسمنت والإهتمام بالمعالجة	عدة أسابيع أو أشهر
التعشيش Segregation Cracks	J	ضد الشدات	أوجه الخرسانة	شدات غير منفذة	خلطات غنية ومعالجة ضعيفة	الإهتمام بالمعالجة وتشطيب الخرسانة	من يوم إلى سبعة أيام
	K	الخرسانة المائعة	البلاطات	الخرسانة المائعة			
صدأحديد التسليح Corrosion Cracks	L	طبيعي	الأعمدة والكمرات	ضعف الغطاء الخرساني	خرسانة ضعيفة الجودة	منع مسببات صدأ حديد التسليح	أكثر من سنتين
	M	كلوريدات	الخرسانة سابقة الصب	وجود الكلوريدات			
تفاعل القلويات مع السيليكا ASR-Cracks	N		الأماكن الرطبة	ركام نشط + إسمنت عالي القلويات		منع مسببات تفاعل ASR	أكثر من خمس سنوات

الجدول (1.15) أنواع ومسببات وزمن حدوث التشققات اللاإنشائية

1.2.15 تشققات الهبوط اللدن Plastic Settlement cracks

تحدث تشققات الهبوط اللدن في الخرسانة عادة في الساعات الأولى من صبها وفي فترة تتراوح من 10 دقائق حتى ثلاث ساعات من صبها ، وأكثر الأماكن تعرضا لمثل هذه التشققات هي المقاطع العميقة وفوق حديد التسليح وفي أماكن تغير العمق (البلاطات المفرغة)، ويرجع السبب الرئيس في حدوث مثل هذه التشققات إلى النضح الزائد، كذلك حالة الجفاف السريعة ، وللتقليل من إمكانية حدوثها يجب إعادة الدمك قبل حدوث الشك؛ الشكل(2.15) يوضح أماكن حدوثها باللون الأحمر ، والشكل (3.15) يوضح صورة لمثل هذه التشققات.

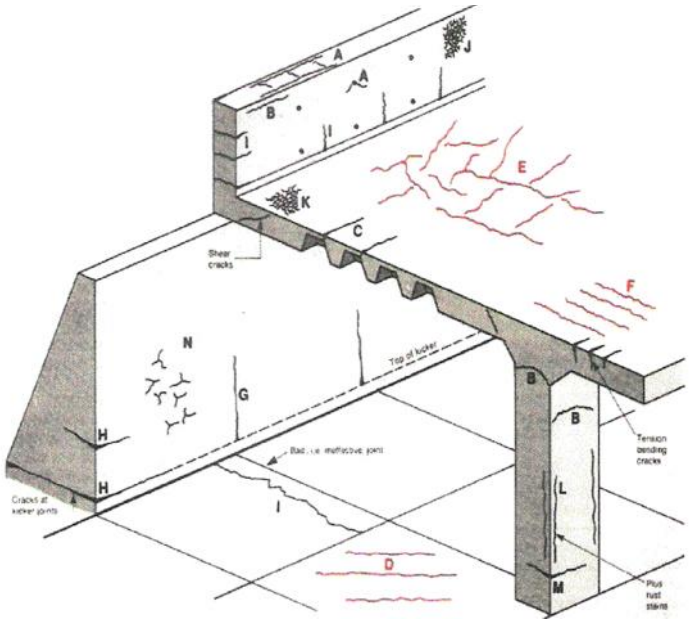


الشكل (2.15) أماكن حدوث تشققات الهبوط اللدن للخرسانة

الشكل (3.15) تشققات الهبوط اللدن للخرسانة

2.2.15 تشققات الانكماش اللدن Plastic Shrinkage cracks

تحدث تشققات الانكماش اللدن في الخرسانة عادة في الساعات الأولى من صبها وفى فترة تتراوح من 30 دقيقة وحتى ست ساعات من صبها ، وتظهر في عدة أشكال فإما طرية أو عشوائية ، وأكثر الأماكن تعرضا لمثل هذه التشققات هي العناصر المسطحة مثل البلاطات والطرق ، ويرجع السبب الرئيس في حدوث مثل هذه التشققات إلى كون معدل التبخر أعلى من معدل النضح وكذلك الجفاف السريع ، وللتقليل من إمكانية حدوثها يجب الاهتمام بالمعالجة بعد الصب مباشرة؛ الشكل(4.15) يوضح أماكن حدوثها باللون الأحمر ، والشكل (5.15) يوضح صورة لمثل هذه التشققات.

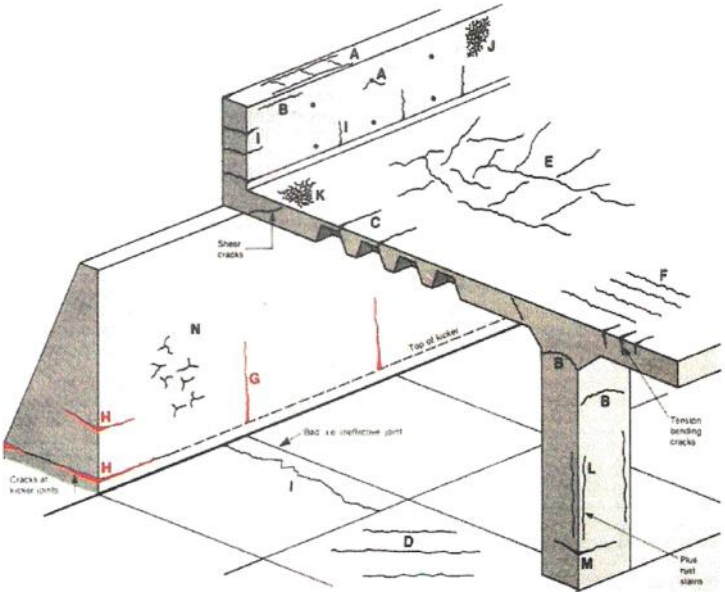


الشكل (4.15) أماكن حدوث تشققات الإنكماش اللدن للخرسانة

الشكل (5.15) تشققات الانكماش اللدن للخرسانة

3.2.15 تشققات الانكماش الحراري Thermal Shrinkage Cracks

تحدث تشققات الإنكماش الحراري في الخرسانة عادة في الأيام الأولى من صبها وفى فترة تتراوح من يوم وحتى ثلاثة أسابيع من صبها ، وأكثر الأماكن تعرضا لمثل هذه التشققات هي العناصر السميكة مثل البلاطات والحوائط السميكة والسدود ويرجع السبب الرئيس في حدوث مثل هذه التشققات إلى حرارة تفاعل داخلية عالية ، وكذلك التغير العالي في درجات الحرارة ، وللتقليل من إمكانية حدوثها يجب الاهتمام بتبريد مواد الخلط ، تقليل درجة الحرارة والاهتمام بالمعالجة؛ الشكل(6.15) يوضح أماكن حدوثها باللون الأحمر ، والشكل (7.15) يوضح صورة لمثل هذه التشققات.

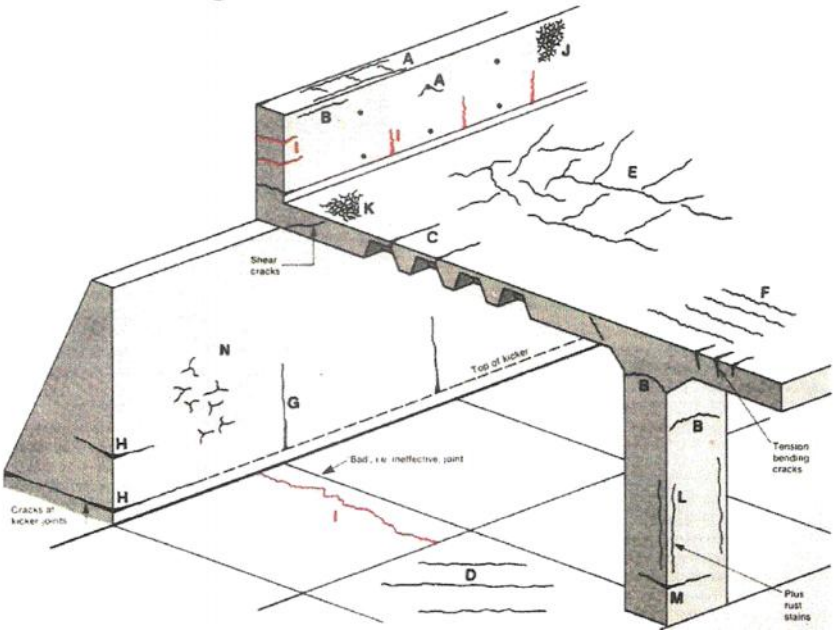


الشكل (6.15) أماكن حدوث تشققات الإنكماش الحراري للخرسانة

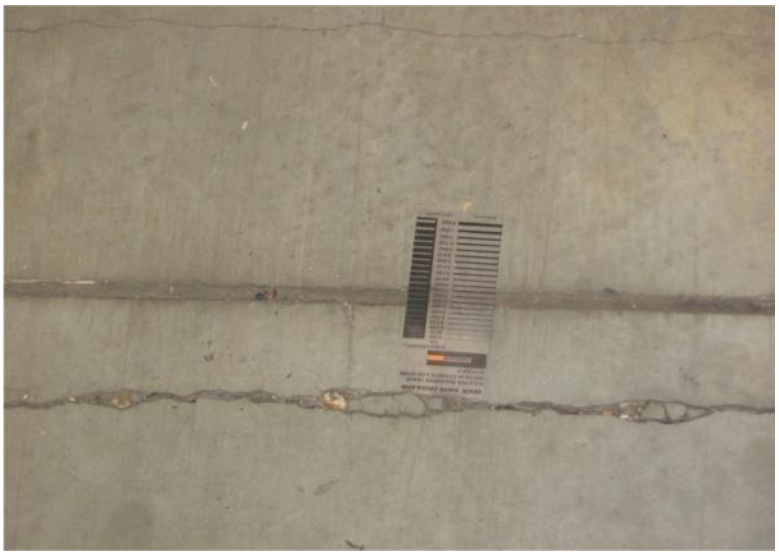
الشكل (7.15) تشققات الإنكماش الحراري للخرسانة

4.2.15 تشققات الانكماش الجاف Drying Shrinkage Cracks

تحدث تشققات الانكماش الجاف في الخرسانة عادة في الأسابيع الأولى من صبها وتظهر في الفترة من أسبوعين وحتى أربعة أسابيع من صبها ، وأكثر الأماكن تعرضا لمثل هذه التشققات هي العناصر الرقيقة مثل البلاطات ، ويرجع السبب الرئيس في حدوث مثل هذه التشققات إلى عدم كفاية فواصل التمدد وكذلك المعالجة غير الجيدة ، وللتقليل من إمكانية حدوثها يجب عمل فواصل التمدد الكافية والاهتمام بالمعالجة؛ الشكل(8.15) يوضح أماكن حدوثها باللون الأحمر ، والشكل (9.15) يوضح صورة لمثل هذه التشققات.



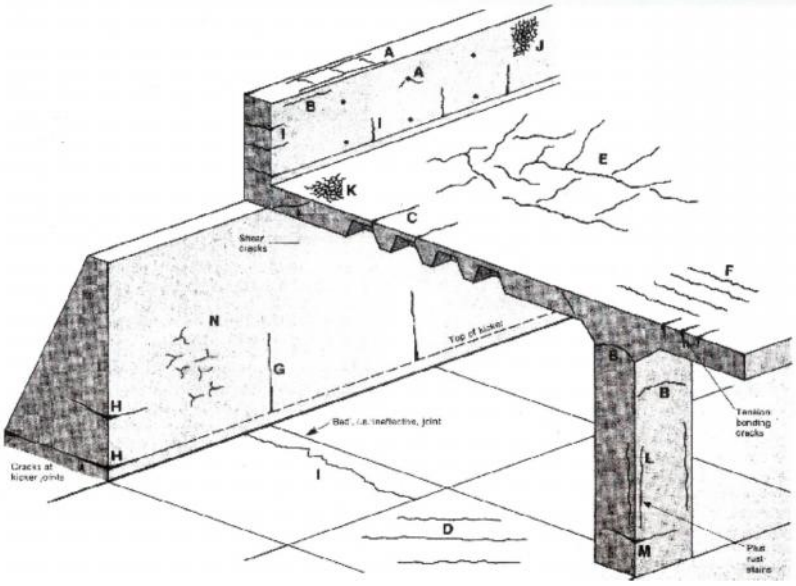
الشكل (8.15) أماكن حدوث تشققات الانكماش الجاف للخرسانة



الشكل (9.15) تشققات الانكماش الجاف للخرسانة

5.2.15 تشققات التعشيش Segragation Cracks

تحدث تشققات التعشيش في الخرسانة عادة في الأسبوع الأول من صبها وتظهر في الفترة من يوم وحتى سبعة أيام من صبها ، وأكثر الأماكن تعرضا لمثل هذه التشققات هي أوجه الخرسانة ، ويرجع السبب الرئيس في حدوث مثل هذه التشققات إلى الشدات غير المنفذة، وكذلك المعالجة غير الكافية، وللتقليل من إمكانية حدوثها يجب الاهتمام بالمعالجة وتشطيب الخرسانة؛ الشكل(10.15) يوضح أماكن حدوثها باللون الأحمر ، والشكل (11.15) يوضح صورة لمثل هذه التشققات.

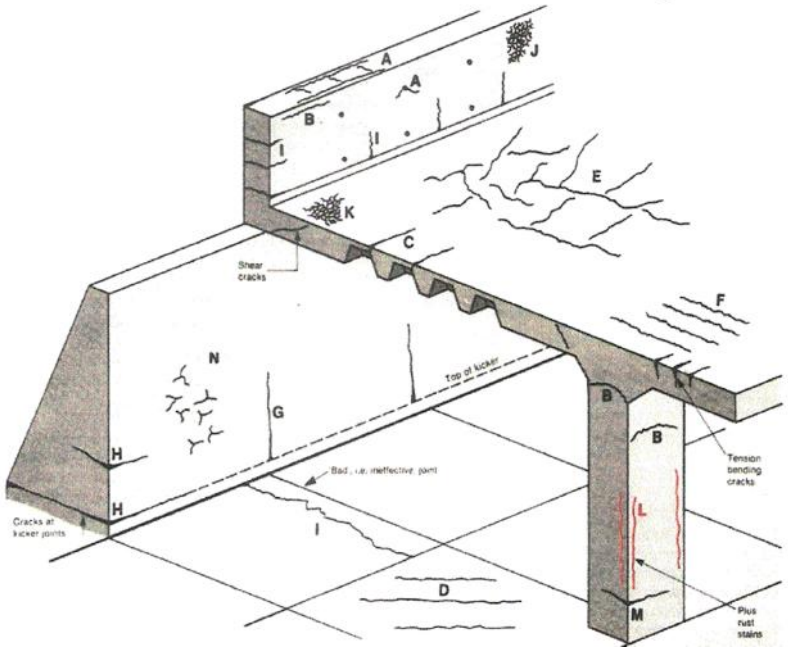


الشكل (10.15) أماكن حدوث تشققات التعشيش في الخرسانة

الشكل (11.15) تشققات التعشيش في الخرسانة

6.2.15 تشققات تآكل حديد التسليح Reinforcement Corrosion Cracks

تحدث تشققات تآكل حديد التسليح في الخرسانة عادة في السنوات الأولى من صبها وتظهر في الفترة من سنتين وصاعدا من صبها ، وأكثر الأماكن تعرضا لمثل هذه التشققات هي الأعمدة والكمرات والبلاطات ، ويرجع السبب الرئيس في حدوث مثل هذه التشققات إلى قلة سمك وضعف الغطاء الخرساني ، وكذلك ضعف متانة الخرسانة. وللتقليل من إمكانية حدوثها يجب الاهتمام بتنفيذ الخرسانة بشكل جيد ، وذلك باتباع خطوات تصنيعها بشكل دقيق؛ الشكل(12.15) يوضح أماكن حدوثها باللون الأحمر ، والشكل (13.15) يوضح صورة لمثل هذه التشققات.

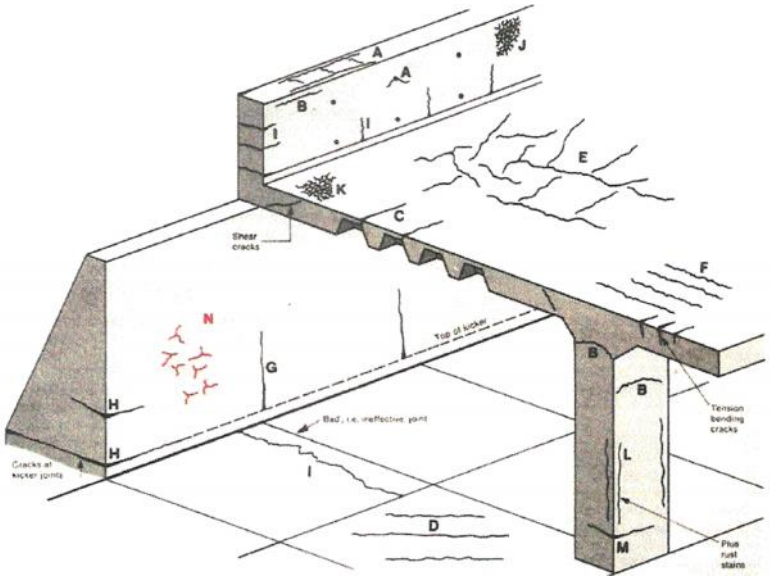


الشكل (12.15) أماكن حدوث تشققات تآكل حديد التسليح في الخرسانة

الشكل (13.15) تشققات تآكل حديد التسليح في الخرسانة

15.2.7 تشققات تفاعل القلويات مع السيليكا ASR Cracks

تحدث تشققات تفاعل القلويات مع السيليكا في الخرسانة عادة بعد عدة سنوات من صبها، وتظهر في الفترة من خمس سنوات فصاعدا من صبها ، وأكثر الأماكن تعرضا لمثل هذه التشققات هي العناصر الرطبة؛ ويرجع السبب الرئيس في حدوث مثل هذه التشققات إلى وجود ركام نشط ، وكذلك خرسانة عالية القلوية ، وللتقليل من إمكانية حدوثها يجب الاهتمام باختبار الركام قبل استخدامه وعدم تجاوز نسبة القلويات بالخرسانة ومنع الرطوبة عن الخرسانة؛ الشكل(14.15) يوضح أماكن حدوثها باللون الأحمر ، والشكل (15.15) يوضح صورة لمثل هذه التشققات.



الشكل (14.15) أماكن حدوث تشققات تفاعل القلويات مع السيليكا في الخرسانة

الشكل (15.15) تشققات تفاعل القلويات مع السيليكا في الخرسانة

الفصـل السادس عشر

الخرسـانة فى الأجواء الحارة والباردة

CONCRETE IN HOT AND COLD WEATHER

1.16 مقـدمة Introduction

بشكل عام يعتبر فصل الخريف والربيع من أفضل فصول السنة لتنفيذ الخرسانة نظرا لعدم وصول درجات الحرارة فيها إلى الحدود العليا أو الدنيا التي تؤثر على تصنيع الخرسانة وتنفيذها؛ ولكن من جهة أخرى نجد أن الخرسانة تنفذ في جميع فصول السنة، ولا يمكن حصر تنفيذها في تلك الفصول فقط ، وعليه فإنه من الضروري أن يتم أخذ الاحتياطات اللازمة لتنفيذ الخرسانة في فصلي الصيف والشتاء أي في الأجواء الحارة والباردة حتى يمكن الحصول على خرسانة متينة.

2.16 الخرسانة في الأجواء الحـارة Hot Weather Concrete

يقصد بالجو الحار هنا هو الجو المتوفرة به الخصائص التالية :

- درجة حرارة عالية.
- درجة رطوبة منخفضة.
- درجة رياح عالية.

وبذلك تصبح أهم مشكلة تواجه الخرسانة في مثل هذه الأجواء هو التبخر السريع الذى يحصل بمياه الخلط للخرسانة ، وأن التحدي الكبير هو منع هذا التبخر السريع من مياه الخلط بالخرسانة؛ إذن يجب حماية الخرسانة أثناء وبعد خلط الخرسانة ووضعها في القوالب المعدة لها وتشطيبها للمحافظة على مياه الخلط ليتم التفاعل الكيميائي بالكامل بين الإسمنت والماء ، وفى حالة تبخر جزء من مياه الخلط فإن التفاعل لن يتم بالكامل وسيظل جزء من الإسمنت بدون تفاعل ، كما أن مشاكل عدة ستظهر نتيجة تبخر ماء الخلط منها: ضعف مقاومة الخرسانة ومتانتها وزيادة في نفاذية الخرسانة وظهور التشققات نتيجة الإنكماش اللدن للخرسانة؛ عوامل عدة تؤثر على معدل تبخر الماء من الخرسانة ، أهمها درجة حرارة الخرسانة ، حرارة الجو المحيط بها ، درجة الرطوبة ودرجة الرياح؛ فعلى سبيل المثال عندما تقل درجة الرطوبة من 90 إلى 50٪ فإن معدل التبخر

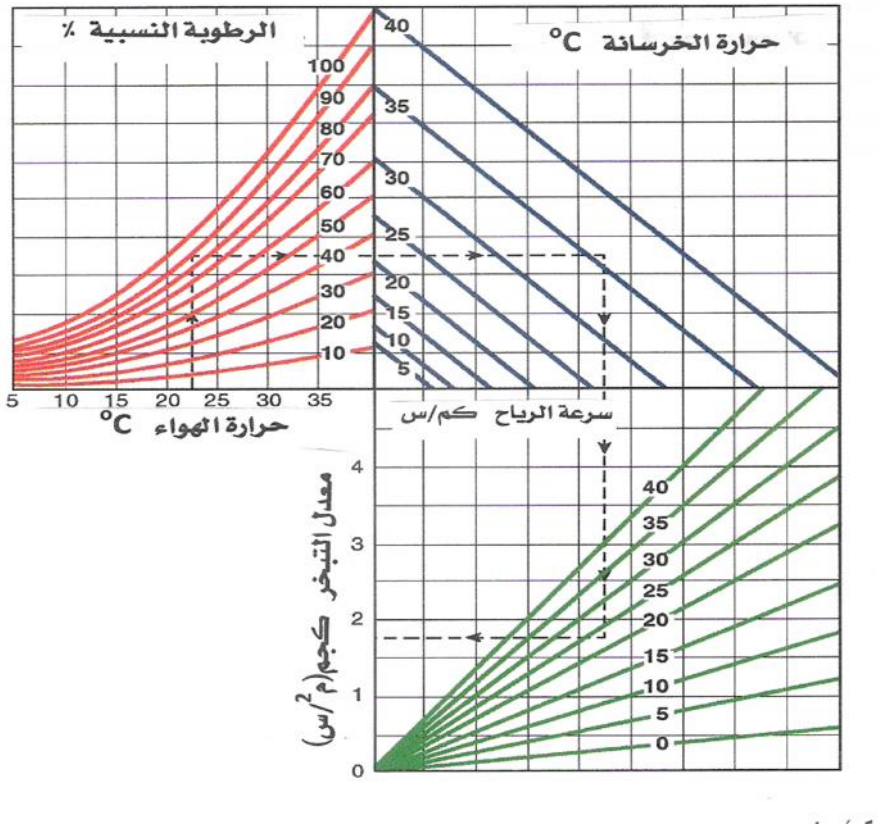
يزداد خمسة أضعاف تقريبا ، كما أن زيادة حرارة الخرسانة و الجو المحيط معا بنسبة 20٪ يزيد من معدل التبخر إلى الضعف ، كما أن زيادة سرعة الرياح من 0 إلى 20 كم/ساعة تزيد من معدل التبخر إلى أربعة أضعاف.

3.16 تأثير درجة الحرارة على الخرسانة Effect of Temperature on Concrete

من المعروف أنه كلما زادت درجة حرارة الخرسانة أثناء الصب زادت أيضا سرعة نمو المقاومة المبكرة ، ولكن المقاومة النهائية تكون أقل ، والسبب في ذلك أن زيادة درجة الحرارة تزيد من سرعة التفاعل الكيميائي والذي يؤدي إلى تكوين مواد موزعة غير منتظمة ، كما أن ارتفاع درجة الحرارة يؤدى إلى زيادة تبخر الماء من الخرسانة والذي بدوره كما سلف ذكره يسبب في عدم اكتمال التفاعل وبالتالي إلى زيادة نسبة الفراغات بسبب تبخر الماء وعدم وجود ناتج تفاعل يحل محل الماء المتبخر ، كما أن تبخر الماء يقلل من تشغيلية الخرسانة الأمر الذى يتم فيه إضافة المزيد من الماء للمحافظة على تشغيلية الخرسانة (في حال عدم استعمال مضافات) مما ينتج عنه إنقاص في مقاومة الخرسانة[12.1].

كل هذه المشاكل تفرض الحرص على تخفيض درجة حرارة الخرسانة إلى الحد الأدنى وعمل كافة الاحتياطات لتقليلها وخاصة في فصل الصيف ، والتي منها: تقليل حرارة مواد الخلط ، اختيار أوقات صب الخرسانة مثلا في الصباح الباكر أو في المساء...إلخ؛ ويمكن استعمال الشكل (1.16) لتحديد قيمة تبخر الماء من سطح الخرسانة ، ولتحديد ذلك يجب معرفة درجة الحرارة ، والرطوبة ، وسرعة الرياح؛ التفاعلات الكيميائية بين الماء والإسمنت ينتج عنها حرارة تعرف بحرارة التفاعل ، هذه الحرارة تعتبر طاردة أيضا للماء وزيادتها غير مرغوب فيها وخاصة في الجو الحار ، وتزداد حرارة التفاعل بزيادة :

1. نعومة الإسمنت.
2. كمية الإسمنت في الخلطة.
3. نوعية الإسمنت.
4. نسبة الماء للإسمنت.
5. درجة حرارة المعالجة.



الشكل (1.16) تأثير درجة حرارة الخرسانة ونسبة الرطوبة وسرعة الرياح على معدل التبخر من سطح الخرسانة طبقا للمواصفات الأمريكية[2.6]

لذا يجب أخذ الحيطة في الأجواء الحارة بأن لا يستعمل الإسمنت بكميات كبيرة وأن يتم اختيار أنسب الأنواع من حيث الحرارة ، والجدول التالي يوضح كمية حرارة التفاعل الناتجة في الأسبوع الأول لبعض أنواع الإسمنت مقارنة بالإسمنت البورتلاندي العادي.

الجدول (1.16) نسبة كمية حرارة التفاعلات لبعض أنواع الإسمنت[12.1]

نوع الإسمنت	نسبة حرارة التفاعل
الإسمنت البورتلاندي العادي	٪100
الإسمنت سريع التصلب	٪150
الإسمنت متوسط المقاومة للكبريتات	٪85 -80
الإسمنت المقاوم للكبريتات	٪75 -60
الإسمنت منخفض الحرارة	٪60 -40

1.3.16 تبريد مواد خلط الخرسانة Cooling of Mixing Materials

يجب أن لا تزيد درجة حرارة الخرسانة عن 16 درجة مئوية ، ولكن يصعب تحقيق ذلك في المناطق الحارة ، لذلك في جميع الأحوال يجب أن لا تزيد حرارة الخرسانة عن 32 درجة مئوية ، ويمكن قياس درجة حرارة الخرسانة الطرية من خلال جهاز الترمومتر الموضح بالشكل (2.16) ، أو حساب درجة حرارة الخرسانة الطرية من خلال درجة حرارة المواد الداخلة في تصنيعها من خلال المعادلة التالية[12.1] :

$$T = \frac{0.22(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_{wa} W_{wa}}{0.22(W_w + W_c) + W_w + W_{wa}} \quad ...(1.16)$$

حيث إن : T ← درجة حرارة عناصر الخرسانة بالدرجة المئوية.

W ← وزن عناصر الخرسانة (كج/م^3)

a ← الركام

c ← الأسمنت

w ← الماء

W_a ← الرطوبة الموجودة على سطح الركام

من خلال المعادلة السابقة يتضح أن حرارة المواد الداخلة في خلط الخرسانة لها دور كبير في تحديد درجة حرارة الخرسانة وخاصة الركام باعتباره يمثل حوالي 75٪ من مكونات الخرسانة.

الشكل (2.16) قياس درجة حرارة الخرسانة[2.6]

- **تبريد الماء Cooling of Water**

مع أنه أقل كمية في مواد الخلط يعد تبريد الماء من أسهل طرق تبريد مواد الخلط مقارنة بالمواد الأخرى؛ توجد عدة طرق لتبريد الماء المستعمل في الخرسانات في الأجواء الحارة مثل:

1. وضع خزانات المياه بعيدا عن أشعة الشمس المباشرة.
2. في حالة الخزانات العلوية يتم طلاء الخزانات والمواسير باللون الأبيض.
3. استخدام الثلج لتبريد المياه.
4. استخدام النيتروجين السائل لتبريد المياه.

- **تبريد الركام Cooling of Aggregates**

بالرغم من صعوبة تبريده مقارنة بالماء إلا أن الركام يعتبر من أكثر المواد تأثيرا على تخفيض درجة حرارة الخرسانة نظرا لنسبته العالية في الخلطة الخرسانية؛ توجد عدة طرق لتبريد الركام المستعمل في الخرسانات في الأجواء الحارة مثل :

1. منع تعرض الركام لأشعة الشمس المباشرة وذلك بتغطية أماكن تخزين الركام.
2. رش الركام بالماء.
3. استعمال المبردات.
4. استعمال الثلج.

- **تبريد الإسمنت Cooling of Cement**

توجد عدة طرق لتقليل درجة حرارة الإسمنت المستعمل في الخرسانة في الأجواء الحارة مثل :

1. عدم استعمال الإسمنت مباشرة بعد التصنيع.
2. تخزين الإسمنت في أماكن بعيدة عن أشعة الشمس المباشرة.
3. طلاء خزانات تخزين الإسمنت باللون الأبيض.
4. استعمال الإسمنت منخفض الحرارة.
5. استعمال المواد البوزلانية لتخفيض حرارة التفاعل.

4.16 الاحتياطات الواجب اتخاذها في الأجواء الحارة Hot Weather Caring

الخرسانة في الأجواء الحارة تحتاج إلى عناية أكبر من الخرسانة في الأجواء المعتدلة. فيما يلي بعض النقاط الواجب اتخاذها في مثل هذه الأجواء :

- **نقاط يجب تذكرها قبل صب وتشطيب الخرسانة:**

1. يجب التخطيط قبل البدء في عملية خلط الخرسانة من حيث توقعات الأحوال الجوية فيما يخص درجة الحرارة والرطوبة ودرجة الرياح واتجاهها، من المعلوم أن كل هذه العوامل بمفردها أو مجتمعة ستسبب في زيادة معدل تبخر الماء من سطح الخرسانة.
2. يجب تجهيز كافة المعدات والمواد اللازمة للاستعمال في الأجواء الحارة.
3. يجب التأكد من مصدر مياه كاف لعملية تبريد المواد ، والمعالجة.يجب تجهيز ألواح كافية من البلاستيك لمنع أشعة الشمس عن الخرسانة والمواد.
4. يجب أن يوضع برنامج محكم لضمان عدم التأخر في صب الخرسانة ، ومواعيد البدء في صب الخرسانة تكون ملائمة من حيث درجة حرارة الجو.
5. يجب أخذا الاحتياطات اللازمة لتبريد مواد الخلط في الموقع وذلك بمنع أشعة الشمس المباشرة للركام ورش الركام بالماء وتبريد ماء الخلط واستعمال الثلج في ذلك.
6. يجب منع امتصاص ماء الخلط وذلك برش الأرضية جيدا قبل وضع الخرسانة، وكذلك رش حديد التسليح والشدات الخشبية مباشرة قبل وضع الخرسانة في القوالب لضمان عدم امتصاص ماء الخلط.

- **نقاط يجب تذكرها أثناء وبعد صب الخرسانة:**

1. بعد وضع الخرسانة في القوالب المعدة لها يجب تسويتها ودمكها وتشطيبها مباشرة.
2. يجب وضع أغطية مؤقتة على الخرسانة التي تم الانتهاء من تشطيبها مباشرة لمنع تبخر المياه.
3. أي تأخير في تشطيب الخرسانة المستعمل بها مضاف فقاعات الهواء في الأجواء الحارة قد يضر بالخرسانة ويؤدى إلى ظهور فقاعات على سطح الخرسانة يصعب التخلص منها.
4. يجب حماية الخرسانة من زيادة معدل التبخر من سطحها بإحدى الطرق المتبعة لأن ذلك يؤدى إلى ظهور التشققات اللدنة على سطح الخرسانة.

5. البدء بمعالجة الخرسانة بمجرد حصول التصلب على سطح الخرسانة بإحدى طرق المعالجة المناسبة والمتاحة.
6. يجب جعل سطح الخرسانة رطبا طول الوقت ولفترة كافية من تاريخ الصب حسب نوعية الإسمنت المستعملة.

5.16 الخرسانة في الأجواء الباردة Cold Weather Concrete

كما أسلفنا الذكر حول تأثير الأجواء الحارة على الخرسانة ، فإنّ للأجواء الباردة تأثيراً سلبياً من نوع آخر على جودة وتنفيذ الخرسانة أيضا ، حيث إن درجة الحرارة المنخفضة تؤخر تصلب الخرسانة والحصول على المقاومة ، وكلما انخفضت درجة الحرارة كلما انخفضت درجة التفاعل بين الإسمنت والماء ، وفى درجات الحرارة قرب التجمد تبدأ عملية التفاعل بطيئة جدا وكذلك المقاومة ، وعند درجات الحرارة تحت التجمد تصبح زيادة مقاومة الخرسانة معدومة؛ وتنفيذ الخرسانة في الأجواء الباردة تعترضه بعض المصاعب حيث إن تجمد مياه الخلط للخرسانة هو السمة الظاهرة في مثل هذه الأجواء حيث يبطئ عملية التفاعل ، ويقلل تشغيلية الخرسانة ، وبذلك يصعب نقلها وصبها ودمكها وتشطيبها ، كما أن تجمد الماء في الخرسانة يسبب في تشققها ، لأنه كما هو معلوم أن الماء بعد التجمد يزداد حجمه وبالتالي هذه الزيادة في الحجم ستضغط على الخرسانة وتسبب تشققات بها.

إن الخرسانة المنفذة في درجات الحرارة المنخفضة فوق التجمد تعطي مقاومة أعلى من الخرسانة المنفذة في درجة حرارة عالية ، ولكن في نفس الوقت نجد أن الخرسانة المنفذة في درجات الحرارة المنخفضة تحتاج إلى فترة أطول للمعالجة؛ الحصول على مقاومة عالية مبكرة في الأجواء الباردة أمر مرغوب فيه للتقليل من زمن الحماية للخرسانة ، ويمكن الحصول على مقاومة عالية مبكرة إما باستعمال الإسمنت البورتلاندي سريع التصلب أو بزيادة كمية الإسمنت في الخلطة أو باستعمال المعالجة البخارية.

6.16 الاحتياطات الواجب اتخاذها في الأجواء الباردة

الخرسانة في الأجواء الباردة تحتاج إلى عناية أكبر من الخرسانة في الأجواء المعتدلة؛ فيما يلي بعض النقاط الواجب اتخاذها في مثل هذه الأجواء :

- **نقاط يجب تذكرها قبل صب وتشطيب الخرسانة:**

1. يجب التخطيط قبل البدء في عملية خلط الخرسانة من حيث توقعات الأحوال الجوية
2. يجب تجهيز كافة المعدات والمواد اللازمة للاستعمال في الأجواء الباردة.
3. في درجات الحرارة المنخفضة جدا يجب تسخين مواد الخلط من ماء وركام.
4. ينصح بعدم صب الخرسانة فوق طبقة الأرض المجمدة لأنه ينتج عنه فقدان الحرارة من الخرسانة وبالتالي احتمال تجمد الطبقة السفلية من الخرسانة.
5. يجب تغطية جميع أعمال الحفر لمنع الأرضية من التجمد لحين وضع الخرسانة.
6. إزالة الثلوج من القوالب وعن حديد التسليح قبل البدء في صب الخرسانة.

- **نقاط يجب تذكرها بعد صب الخرسانة:**

1. يجب معالجة الخرسانة بالطريقة المناسبة لمنعها من التجمد في الأيام الأولى من صبها
2. استعمال طريقة لتغطية سطح الخرسانة باستخدام الورق غير النافذ والألواح البلاستيكية ، والمركبات الكيميائية الملونة بالأسود لرفع امتصاص الحرارة، وبذلك تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الخرسانة.
3. الاحتفاظ بالحرارة والرطوبة داخل الخرسانة وذلك بتغطيتها بمواد عازلة مثل البطانيات العازلة.

ويمكن الحصول على درجة حرارة ملائمة بعمل حواجز عازلة حول المنشأ وتزويد المنطقة في الداخل بالحرارة كما في الشكل (3.16) ، والبخار هو أحسن وسيلة لأنه يحافظ على رطوبة الخرسانة[12.1].

الشكل (3.16) استعمال الألواح البلاستيكية لمعالجة الخرسانة والتزويد بالحرارة[12.1]

1. المـراجـع العربية :

1.1 محمد راتب سطاس و أندراوس سعود " مواد البناء وأختباراتها" الطبعة الخامسة منشورات جامعة دمشق 1994.

2.1 الكود العربي الموحد لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة 1997.

3.1 عبد الرحمن مجاهد أحمد " دليل المهندس الإنشائي لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية ؛ الجزء الأول الخرسانة المسلحة وخواصها" دار الكتب المصرية 1998.

4.1 عبد الرحمن مجاهد أحمد " دليل المهندس الإنشائي لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية ؛ الجزء الثاني الخرسانة العادية وخواصها" دار الكتب المصرية 1998.

5.1 إبراهيم على درويش و على إبراهيم درويش " الخرسانة ؛ موادها وصناعتها وخواصها وضبط جودتها وترميمها" الجزء الأول " منشأة المعارف الإسكندرية 2000

6.1 إبراهيم على درويش و على إبراهيم درويش " الخرسانة ؛ موادها وصناعتها وخواصها وضبط جودتها وترميمها" الجزء الثاني " منشأة المعارف الإسكندرية 2000

7.1 محمود إمام " الخرسانة ؛ الخواص ، الجودة ، الاختبارات"دار الكتاب القاهرة 2002

8.1 محمد عبد الله الريدي " إصلاح وحماية المنشآت الخرسانية المعرضة للصدأ"دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، القاهرة 2002.

9.1 محمد أسماعيل عمر " الإسمنت ؛ صناعته وخصائصه" دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، القاهرة 2004.

10.1 شريف فتحي الشافعي " الاختبارات الطبيعية والميكانيكية والكيميائية للإسمنت العادي وسريع التصلب" دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، القاهرة 2004.

11.1 شريف فتحي الشافعي " الاختبارات القياسية للخلطات الخرسانية الإسمنتية" دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، القاهرة 2004.

12.1 المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بالمملكة العربية السعودية " تقنيات وأعمال الخرسانة "

2. المـراجـع الأجنبية :

2.1 F.M.Lea " The Cemistry of cement " Third Edittion , Edwared Hrriold Publishers 1988.

2.2 J.H.Bungey " Testing of Concrete in Structures " 2nd Edition Surrey University Press.1989.

2.3 M.S.Shetty " Concrete Technology ; theory and practice" , S.chand & company Ltd.New Delhi 2000.

2.4 George R. White " Concrete technology", Third Edittion , Delmar Publishers Inc.1991.

2.5 A.M.Neville & J.J.Brooks" Concret Technology"Pearson Education Limited, England 2001.

2.6 S.H.Kosmatka , B. Kerhoff and W.. Panarese " Design and control of Concrete Mixtures" Forteenth Edition, Portland Cement Association, USA, 2003.

2.7 S.K.Duggal " Building Materials " Secound edition New AGE international Publishers, New Delhi.2003.

2.8 B.L.Gupta and Amit Gupta " Concrete Technology" Third Edittion , Standard Publishers Distributors 2004.

2.9 A.M.Neville " Properties of Concrete" Fourth Edittion , Pearson Education Limited, England 2004.

2.10 P.Kumar Mehta& P.J Monteiro " Concrete , Microstructures, Properties and Materials" Third Edition, McGraw-Hill co.2006

2.11D C Teychenne, R E Franklin, H C Erntroy, D W Hobbs and B K Marsh o " Design of Normal Concrete Mixes" second Edition, HIS BRE Press, 2010.

2.12 Concrete Society " Non-structural cracks in concrete" Third Edition, Technical Report No.22.