الباب الثالث

الأنواع المختلفة (الخاصة) من الخرسانة

Special Types of Concrete

يوجد العديد من أنواع الخرسـانة ويمكن تصنيف أهم هذه الخرسانات كما يلي:

Plain Concrete	١- الخرسانة العادية
Reinforced Concrete	٢- الخرسانة المسلحة
Prestressed Concrete	٣- الخرسانة سابقة الإجهاد
Precast Concrete	٤- الخرسانة الجاهزة (سابقة الصب)
High Strength Concrete	٥- الخرسانة عالية المقاومة
Fibrous Concrete	٦- الخرسانة الليفية
Self-Compacting Concrete	٧- الخرسانة ذاتية الدمك
Polymer Concrete	٨- الخرسانة البوليمرية
Shotcrete	٩- الخرسانة المقذوفة (خرسانة الرش)
Light-Weight Concrete	١٠- الخرسانة الخفيفة
Heavy-Weight Concrete	١١- الخرسانة الثقيلة
Mass Concrete	١٢- الخرسانة الكتلية
Prepacked Concrete	١٣- الخرسانة المعبأة
Gap Concrete	١٤- خرسانة الركام ناقص التدرج
Architectural Concrete	١٥- الخرسانة المعمارية
Nailing Concrete	١٦- خرسانة التسمير
Sulfur Concrete	١٧- الخرسانة الكبريتية

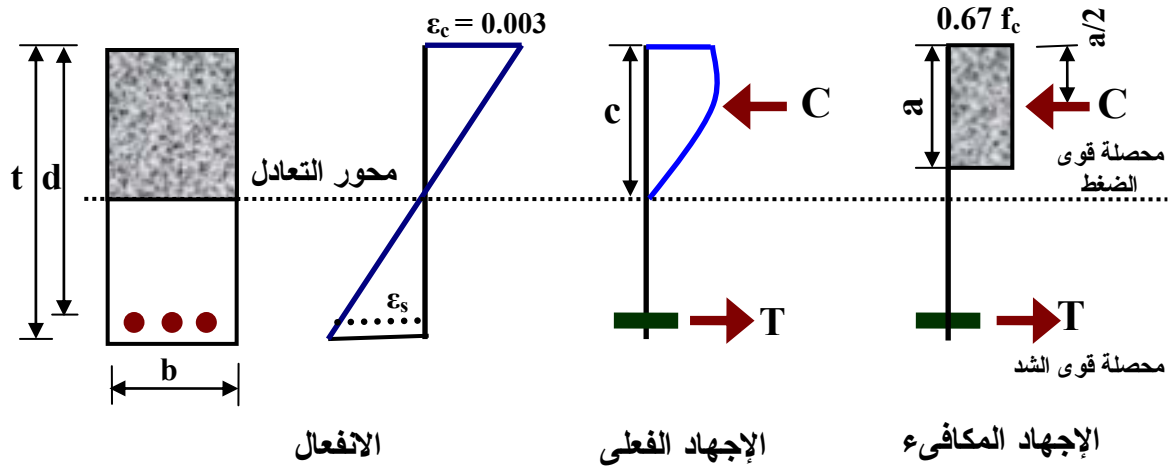
فيما يلي نبذة مختصرة عن أهم هذه الأنواع:

٣-١ الخرسانة العادية Plain Concrete

وهى خرسانة بدون أي حديد تسليح وتستخدم فى أعمال الفرشات الخرسانية تحت الأساسات والأرصفة وعمل الكتل الخرسانية الغير معرضة لإجهادات شد وعمل الأرضيات والسدود. ومقاومتها تتراوح من ١٥٠ إلى ٢٥٠ كج/سم^{٢} حسب الغرض المستخدمة من أجله. ويمكن تحسين بعض الخواص فيها لكي تناسب غرض الاستخدام ، مثلاً أن تكون مقاومة للكبريتات أو مقاومة لعوامل التعرية والتآكل كما فى حالة المصدات البحرية.

٣-٢ الخرسانة المسلحة Reinforced Concrete

وهى خرسانة عادية ويشترك معها حديد تسليح لمقاومة إجهادات الشد وهذا النوع من الخرسانة هو الأكثر شيوعاً واستخداماً فى العالم وذلك لسهولة تنفيذه ورخص تصنيعه. ويمكن أن يُصب فى الموقع مباشرة أو يُصب فى المصنع لعمل وحدات خرسانية جاهزة. وينبغي تحقيق الاتزان Equilibrium و التوافق Compatibility بين الإجهادات و الانفعالات فى كل من الخرسانة و الحديد. ومعظم كودات التصميم تهمل تماماً مقاومة الخرسانة للشد وبالتالى فإن الحديد يتحمل كل قوى الشد المؤثرة ، أما الخرسانة فتتحمل قوى الضغط. شكل (٣-١) يوضح توزيع الإجهادات والانفعالات على قطاع مستطيل من الخرسانة المسلحة.



شكل (٣-١) الإجهاد والإنفعال لعنصر من الخرسانة المسلحة ذو قطاع مستطيل معرض لعزم إنحناء .

٣-٣ الخرسانة سابقة الإجهاد Prestressed Concrete

وهى خرسانة عادية يتم إكسابها إجهادات ضغط قبل تحميلها وهذه الإجهادات تكون كفيلة بملاشاة إجهادات الشد الناتجة من تأثير الأحمال وبالتالى لا نحتاج إلى حديد تسليح حيث تكون المحصلة النهائية للإجهادات على طول القطاع الخرسانى بعد التحميل (التشغيل) هى غالباً إجهادات ضغط وبالتالى تكون الخرسانة كفيلة بتحملها. وبناءاً عليه يجب أن تكون الخرسانة ذات مقاومة عالية للضغط تتراوح من ٣٥٠ إلى ٦٠٠ كج/سم^{٢} وذلك حتى يمكنها تحمل إجهادات ضغط التصنيع وإجهادات ضغط التشغيل. وأسياخ الصلب المستخدمة فى الخرسانة سابقة الإجهاد تسمى كابلات Tendons وهى عبارة عن أسلاك Wires أو حبال مجدولة من مجموعة أسلاك Strands أو قضبان من الصلب Bars. وتمتاز الخرسانة سابقة الإجهاد بقلة الشروخ السطحية مع مقاومة عالية للأحمال. وهى مناسبة للاستخدام فى الكبارى والمستودعات المائية والوحدات الجاهزة مثل فلنكات السكك الحديدية وأعمدة التلغراف. وعموماً يوجد طريقتان لإكساب الخرسانة لإجهادات الضغط:

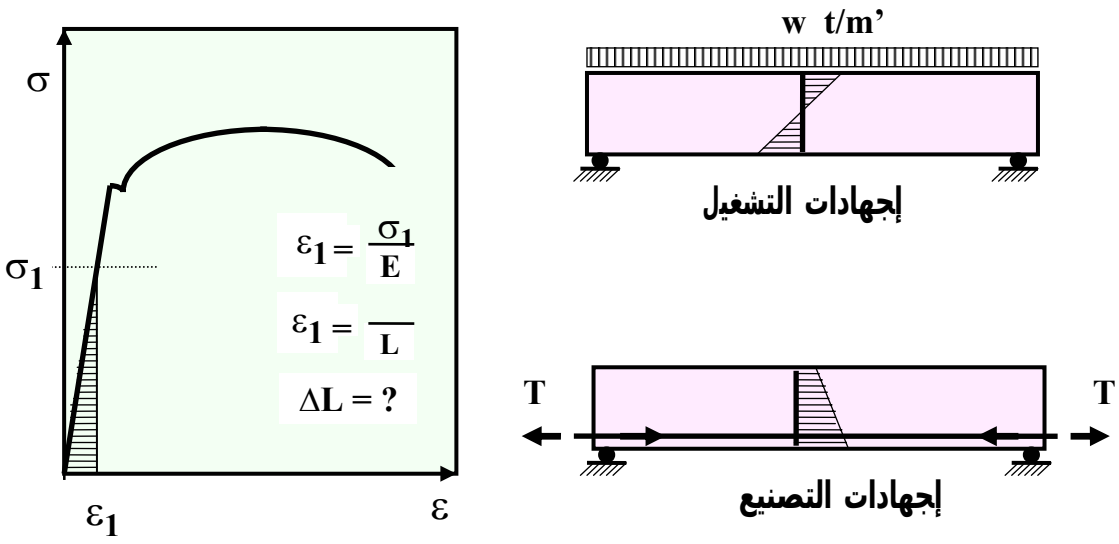
أ- طريقة الشد السابق Pre-tension

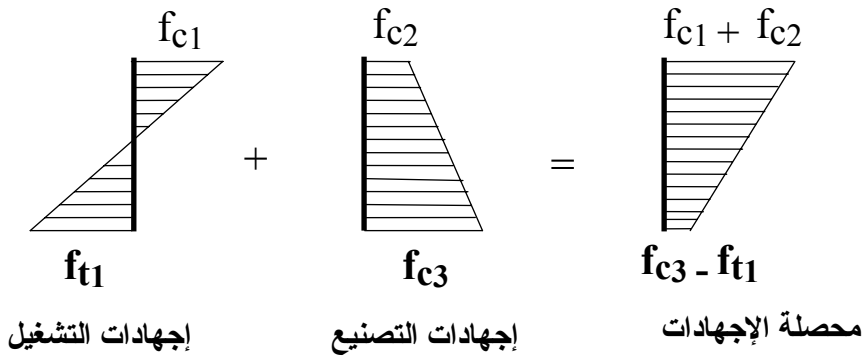
وفيها يتم شد كابلات الصلب قبل صب الخرسانة وقبل تصلدها. وتترك هذه الكابلات مشدودة (فى حدود المرونة) حتى تتصلد الخرسانة وتكتسب مقاومتها القصوى ثم بعد ذلك يتم رفع وإزالة قوى الشد من الصلب الذى يحاول أن ينكمش داخل الخرسانة المتصلدة مما يؤدى إلى حدوث إجهادات ضغط فى الخرسانة عن طريق قوى التماسك بين الحديد و الخرسانة كما بشكل (٣-٢). وتستخدم طريقة الشد السابق فى إنتاج الوحدات سابقة الصب سابقة الإجهاد حيث تسمح المعالجة بالبخار واستخدام خرسانة عالية المقاومة المبكرة فى الإزالة المبكرة لتلك الوحدات والاستغلال اليومي للقوالب.

ب- طريقة الشد اللاحق Post-tension

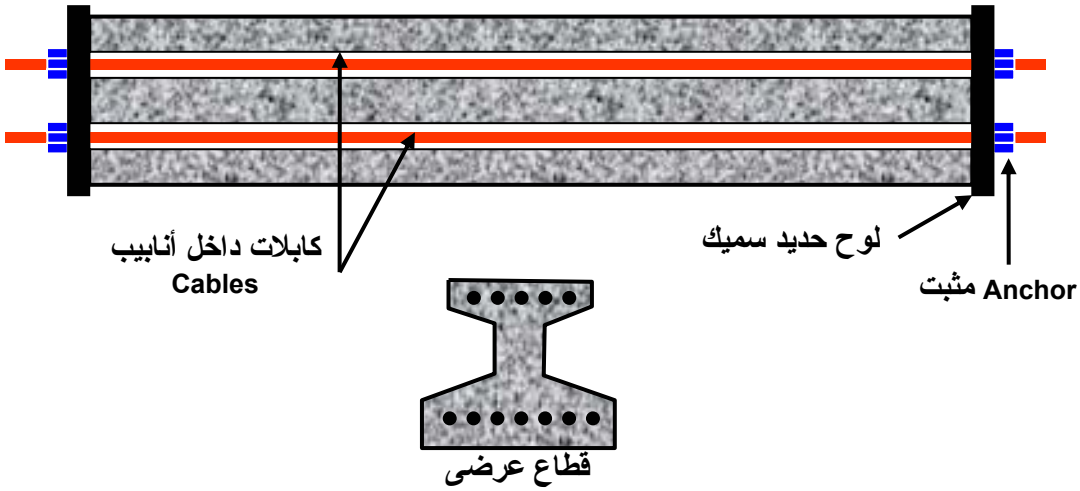
وفيها يتم عمل أنابيب مفرغة (مواسير أو أجربة) داخل الخرسانة وتوضع كابلات الصلب حرة الحركة بداخلها بدون شد حتى تتصلد الخرسانة تماماً (شكل ٣-٣). يتم شد الكابلات بعد تصلد الخرسانة حيث لا يكون هناك أى قوى تماسك بين الصلب و الخرسانة. بعد ذلك يتم رفع وإزالة قوى الشد من الصلب حيث يسبب إجهادات ضغط على ألواح الصلب المثبتة فى طرفى العنصر الخرسانى والتى تنتقل بدورها إلى الخرسانة بالتحميل. بعد ذلك تملأ الفراغات بين كابلات الصلب والمواسير بمونة الجراوت التى تتصلد وتقلل من فرصة صدأ صلب الكابلات.

هذا وفى الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة ـ طبعة ٢٠٠١ـ فقد تم تخصيص الباب العاشر للخرسانة سابقة الإجهاد حيث التعرف على كافة الاعتبارات الخاصة بالمواد المستخدمة فى هذه الخرسانة وتصميم قطاعاتها ونظم التحليل الإنشائى لها و التفتيش وضبط الجودة الخاص بهذه الخرسانة.





شكل (٣-٢) توضيح لطريقة الشد السابق.



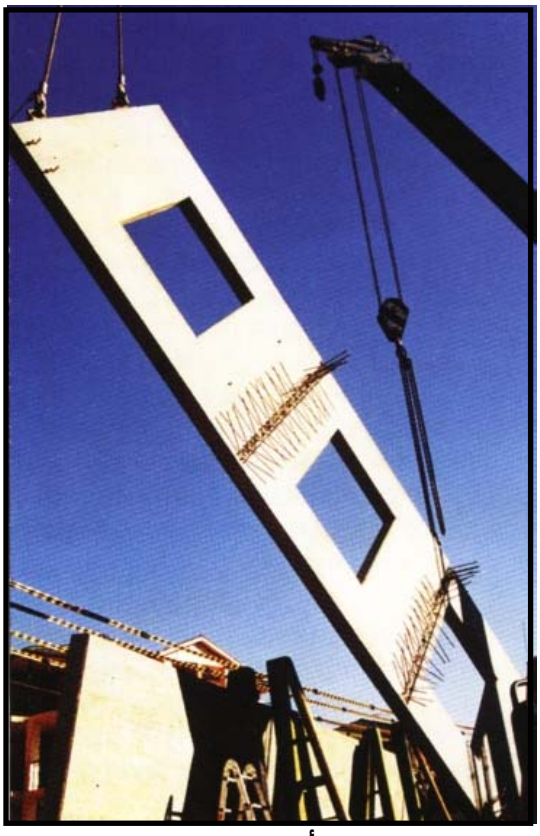
شكل (٣-٣) توضيح لطريقة الشد اللاحق.

٣-٤ الخرسانة الجاهزة (سابقة الصب) Precast Concrete

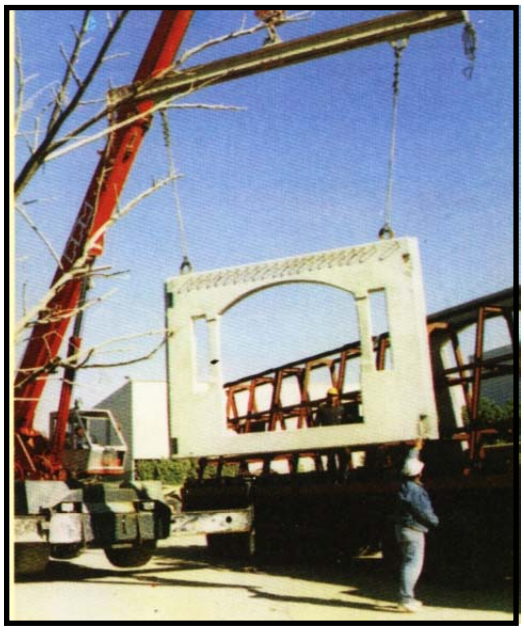
تصب الخرسانة وتعالج حتى تمام تصلدها فى المصنع ثم بعد ذلك تنقل إلى المنشأ وممكن أن تكون خرسانة عادية أو مسلحة أو سابقة الإجهاد وتشمل البلاطات والأعمدة والحوائط والبلوكات الخرسانية والفلنكات ووحدات الأسوار والسلالم. وفيها يتم التحكم فى عملية جودة الخرسانة والتصنيع مثل:

١- استخدام ركام جيد متدرج
٢- تقليل الماء
٣- إجراء الدمك والخلط ميكانيكا
٤- معالجة بالبخار
٥- استخدام إضافات للتلوين
٦- استخدام المواد العازلة المطلوبة

وتوضح الأشكال (٣-٤) ، (٣-٥) بعض التطبيقات التى تستخدم فيها الخرسانة سابقة الصب بنجاح. وعند تصنيع العناصر المختلفة من الخرسانة الجاهزة فيجب الأخذ فى الاعتبار كافة الأحمال الخارجية المؤثرة على العنصر فى مراحل التصنيع والتخزين والنقل و التركيب والتنفيذ والاستخدام.



حائط خرساني ثلاثة أدوار بارتفاع ٩,٨ متر.



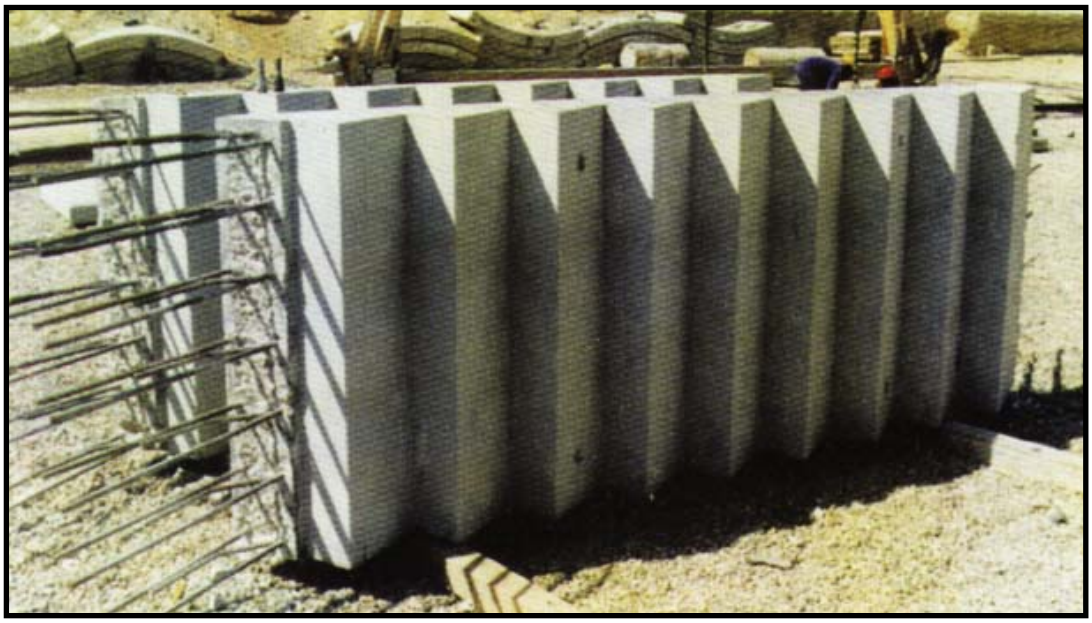
حائط خرساني ذو شكل معماري مميز.

شكل (٣-٤) بعض الحوائط من الخرسانة سابقة الصب .

سور من الخرسانة سابقة الصب بمدينة السادس من أكتوبر

مجارى خرسانية لتصريف مياه الأمطار
(نفق الأزهر)

حلقات خرسانية ذات تجويف بقطر ٨,٣٥ متر
(مترو أنفاق القاهرة)



سلالم خرسانية سابقة الصب (فندق الميريديان)

شكل (٣-٥) بعض التطبيقات المختلفة للخرسانة سابقة الصب .

٣-٥ الخرسانة عالية المقاومة High Strength Concrete

وهى خرسانة ذات مقاومة تزيد عن ٦٠٠كج/سم^{٢} وقد تصل أو تزيد عن ١٤٠٠كج/سم^{٢} ويمكن الحصول عليها باستخدام المواد المحلية المتاحة والتى تستخدم فى صناعة الخرسانة التقليدية (٢٥٠كج/سم^{٢}) من ركام وأسمنت وماء إلا أن الخرسانة عالية المقاومة تحتوى على مادة إضافية أخرى وهى الملدنات Superplasticizers وذلك حتى يمكننا تقليل ماء الخلط إلى أقصى درجة مع الحصول على نفس القابلية للتشغيل وبالتالى الحصول على المقاومة العالية (أنظر البابين الأول والثانى). أما المواد البوزولانية مثل مادة غبار السيليكا Silica fume فقد توجد أولا توجد فى كلٍ من نوعىّ الخرسانة. إن أهم شىء يجب أخذه فى الاعتبار عند إنتاج خرسانة عالية المقاومة هو اختيار مجموعة المواد التى تتجانس مع بعضها لتعطى خرسانة جيدة لها المقاومة و المتانة وكذلك القابلية للتشغيل المطلوبة.

٣-٥-١ الخصائص المطلوب توافرها فى المكونات:

أ- الركام الكبير يجب أن يكون قوى ومتين لأنه يعمل كعامل يحدد مقاومة الخرسانة القصوى حيث أن الشروخ فى حالة الخرسانة عالية المقاومة تمر خلال حبيبات الركام الكبيرة وليس حولها كما فى حالة الخرسانة التقليدية. وقد وجد أن الخرسانة المصنوعة من الصخر (مثل الجرانيت أو الدولوميت) تعطى مقاومة أكبر بحوالى ١٠ إلى ٢٠% من تلك المصنوعة من الزلط.

ب- الركام الصغير أو الرمل يجب أن يكون خشن نوعاً ما حيث يكون معاير النعومة له من ٢,٨ إلى ٣,٠ وذلك لأن الخلطة تكون غنية بالمواد الناعمة مثل الأسمنت وغبار السيليكا إن وجدت.

ج- الأسمنت يجب أن يكون عالي الجودة وأن يكون متوافق مع أي إضافات مستخدمة. ولقد وجد أن النسبة المثلى التى تعطى أكبر مقاومة للخرسانة تقع بين ٤٥٠ إلى ٥٠٠كج/م^{٣} (٩ : ١٠ شكاير). ويعتمد ذلك على خصائص وكميات ونسب باقي المكونات وعما إذا كانت الخلطة تحتوى على مادة غبار السيليكا أم لا.

د- غبار السيليكا Silica fume وهى مادة بوزولانية تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الحر الناتج من تفاعل الأسمنت مع الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات الكالسيوم والتى تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية وبالتالى زيادة المقاومة وتحسين النفاذية. وعموماً فإن الزيادة فى مقاومة الضغط بتأثير مادة غبار السيليكا قد لا تتجاوز ٢٠%. وتجدر الإشارة أن النسبة المثلى من غبار السيليكا تتراوح من ١٠ إلى ١٥% من وزن الأسمنت.

هـ- الملدنات Superplasticizers وهى أهم مكون للحصول على خرسانة عالية المقاومة حيث بواسطتها نستطيع خفض نسبة ماء الخلط إلى ٠,٢٥ من وزن الأسمنت فقط وبالتالى يمكننا الحصول على أعلى مقاومة. ويجب عمل تحقيق وتأكد من مدى توافق هذه المادة مع الأسمنت المستخدم.

٣-٥-٢ تطبيقات الخرسانة عالية المقاومة

ظل استخدام الخرسانة عالية المقاومة فترة طويلة محصوراً فى عدة تطبيقـــــــات تقليـدية Classical Applications هدفها الأوحد هو استغلال قيمة المقاومة العالية فى الحصول على أقل مساحة قطاع وأقل حجم للمنشأ وكذلك أقل وزن للمنشأ. ولذلك كانت هذه التطبيقات محددة فى ثلاثة أشياء رئيسية هى:

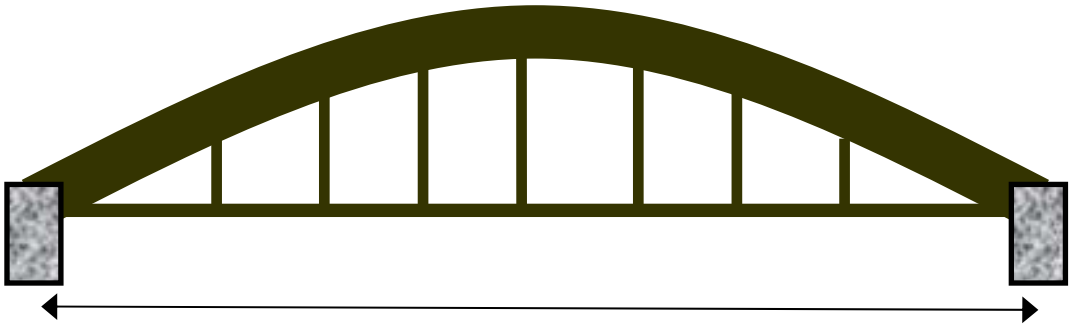
* المباني عالية الارتفاع High Rise Buildings
* الكبارى Bridges
* المنشآت البحرية Offshore Structures

وحديثاً تم استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى تطبيقات أخرى متنوعة (شكل ٣-٦) للاستفادة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة من مميزاتها العديدة. وهذه التطبيقات قد تأخذ اسم "تطبيقات غير تقليدية" Non-Classical Applications ومن هذه التطبيقات:

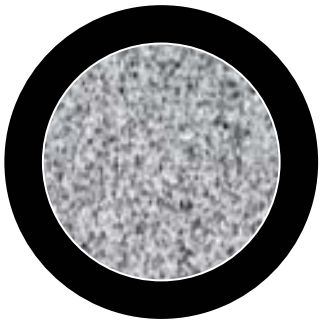
* الحصول على مقاومة مبكرة عالية High Early Strength
* إعادة إحياء العناصر الإنشائية القديمة مثل الأرش Arch Girder
* استخدامها مع قطاعات الحديد لزيادة جساءة المنشأ Improving Stiffness
* عمل خوازيق لولبية لتنفيذها بدون إهتزازت أو ضوضاء Screwing Piles
* محطات الطاقة النووية Nuclear Power Plants
* الأنابيب الخرسانية تحت الأرض Underground Concrete Pipes
* الأرصفة والطرق Pavements

ملحوظة :

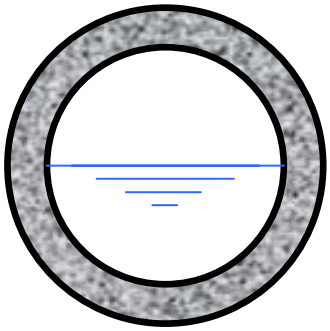
ينبغي أن نفرق بين الخرسانة عالية المقاومة High Strength Concrete والخرسانة عالية الأداء High Performance Concrete فالخرسانة عالية الأداء هى الخرسانة التى لها صفات وخصائص معينة تسمح لها بالعمل فى وسط محدد وفى ظروف معينة. والخصائص التى تميز الخرسانة عالية الأداء عن الخرسانات الأخرى قد تتضمن بعض خصائص الخرسانة الطازجة مثل القابلية للتشغيل أو القوام أو قد تتضمن بعض خصائص الخرسانة المتصلدة مثل مقاومة البرى والخدش أو المقاومة للصقيع أو المقاومة للانكماش. وهذه الخصائص قد تكون منفصلة أو مجتمعة بحيث تعطى خرسانة لها أداء مختلف عن أداء الخرسانة التقليدية المعتادة. والخرسانة عالية الأداء لا يشترط فيها أن تكون عالية المقاومة.



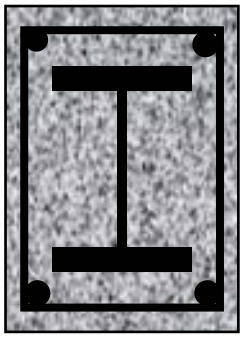
أرش Arch Girder



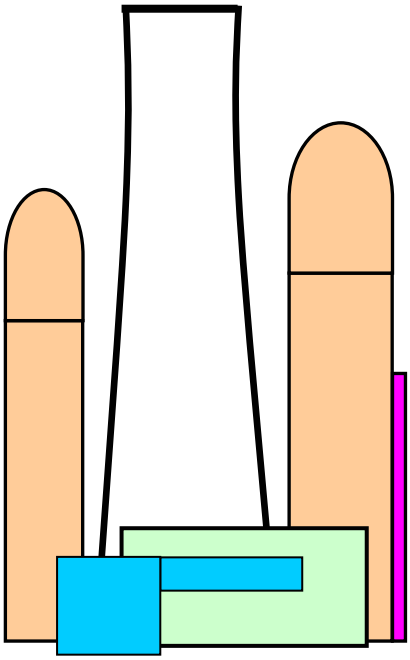
الأنابيب المعدنية المملوءة بالخرسانة



أنابيب المياه تحت الأرض



القطاعات المركبة



محطات الطاقة النووية

شكل (٣-٦) بعضاً من التطبيقات غير التقليدية للخرسانة عالية المقاومة.

٣-٥-٣ الجدوى من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى مصر

إن الخرسانة عالية المقاومة تحتاج إلى تكلفة أكثر نتيجة استخدام مواد ذات جودة عالية وكذلك ثمناً للإضافات المستخدمة وأيضاً لضبط الجودة العالي. وبالرغم من ذلك فقد ثبت عملياً أن استخدام الخرسانة عالية المقاومة يكون له عائد إقتصادى أو عائد فنى كبير بالمقارنة بالخرسانات التقليدية الأخرى. ولقد تم دراسة هذه النقطة فى عدة أبحاث تختص بدراسة الجدوى من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى الأعمدة والكمرات وذلك تحت الظروف والأسعار الموجودة فى مصر. ومن الأبحاث التى تناولت هذه النقطة بالتحليل الأبحاث رقم ٢٧ ، ٢٨ ، ٢٩ بقائمة المراجع. وفيما يلي عرض موجز لأهم النتائج فى هذا الصدد.

أولاً العناصر المعرضة لقوى ضغط مثل الأعمدة

إن الجدوى من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى العناصر المعرضة لقوى ضغط مثل الأعمدة تكون أقصى ما يمكن حيث يمكن الاستفادة من ذلك اقتصاديا (بتوفير التكاليف) وفنياً (بعمل تخفيض فى المساحات والمقاطع) ويمكن تلخيص ذلك فى النقاط الآتية:

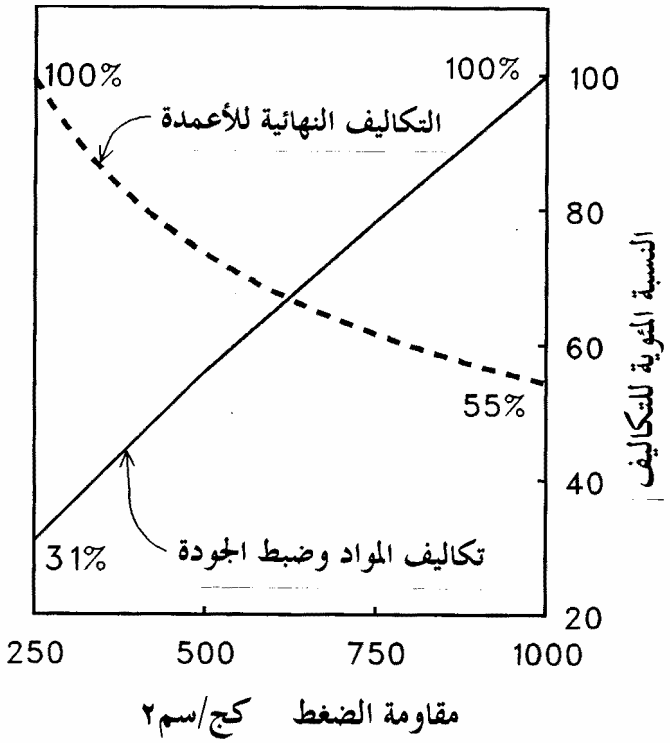
١- **على الرغم من زيادة تكاليف المتر المكعب من الخرسانة عالية المقاومة وكذلك زيادة تكاليف ضبط الجودة إلا أن التكاليف النهائية للعمود تقل كثيراً. فباستخدام خرسانة مقاومتها للضغط ١٠٠٠ كج/سم^{٢} فإن التكاليف النهائية للأعمدة تصل إلى حوالى ٥٥% فقط من التكاليف فى حالة استخدام خرسانة ذات مقاومة للضغط ٢٥٠ كج/سم^{٢} كما هو مبين بشكل (٣-٧).**

٢- **مساحة القطاع الخرسانى للأعمدة المعرضة إلى حمل ضغط محوري تقل إلى ما يقرب من ٥٤% و ٣٧% نتيجة استخدام خرسانة ذات مقاومة للضغط تساوى ٥٠٠ كج/سم^{٢} و ٧٥٠ كج/سم٢ بدلاً من ٢٥٠ كج/سم^{٢} على الترتيب (أنظر شكل ٣-٨ ، شكل ٣-٩).**

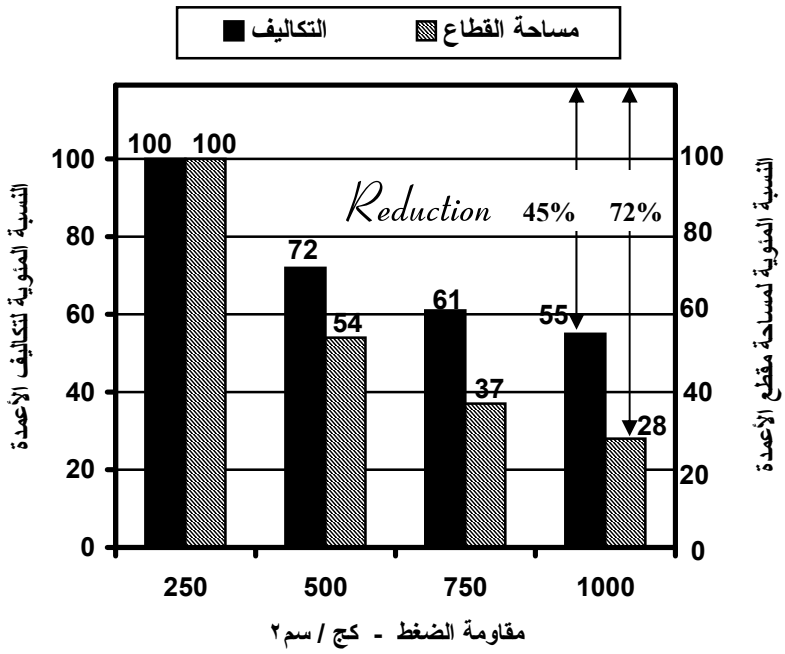
٣- **أثبتت الدراسات التحليلية أنه بالنسبة لعمود ذو مقطع ثابت و معرض إلى حمل ضغط محوري فإن هناك انخفاض فى نسبة حديد التسليح مقداره ٢,٢% لكل ١٠٠ كج/سم^{٢} زيادة فى مقاومة الضغط للخرسانة.**

٤- **إن الانخفاض الملحوظ فى أبعاد القطاع الخرسانى (خاصة فى الطوابق السفلى) ذو أهمية خاصة لخدمة الأغراض المعمارية وزيادة المساحة المستغلة (شكل ٣-٩).**

٥- **ثبات القطاع الخرسانى مع زيادة المقاومة يسمح بزيادة عدد الطوابق للمنشأ نفسه.**

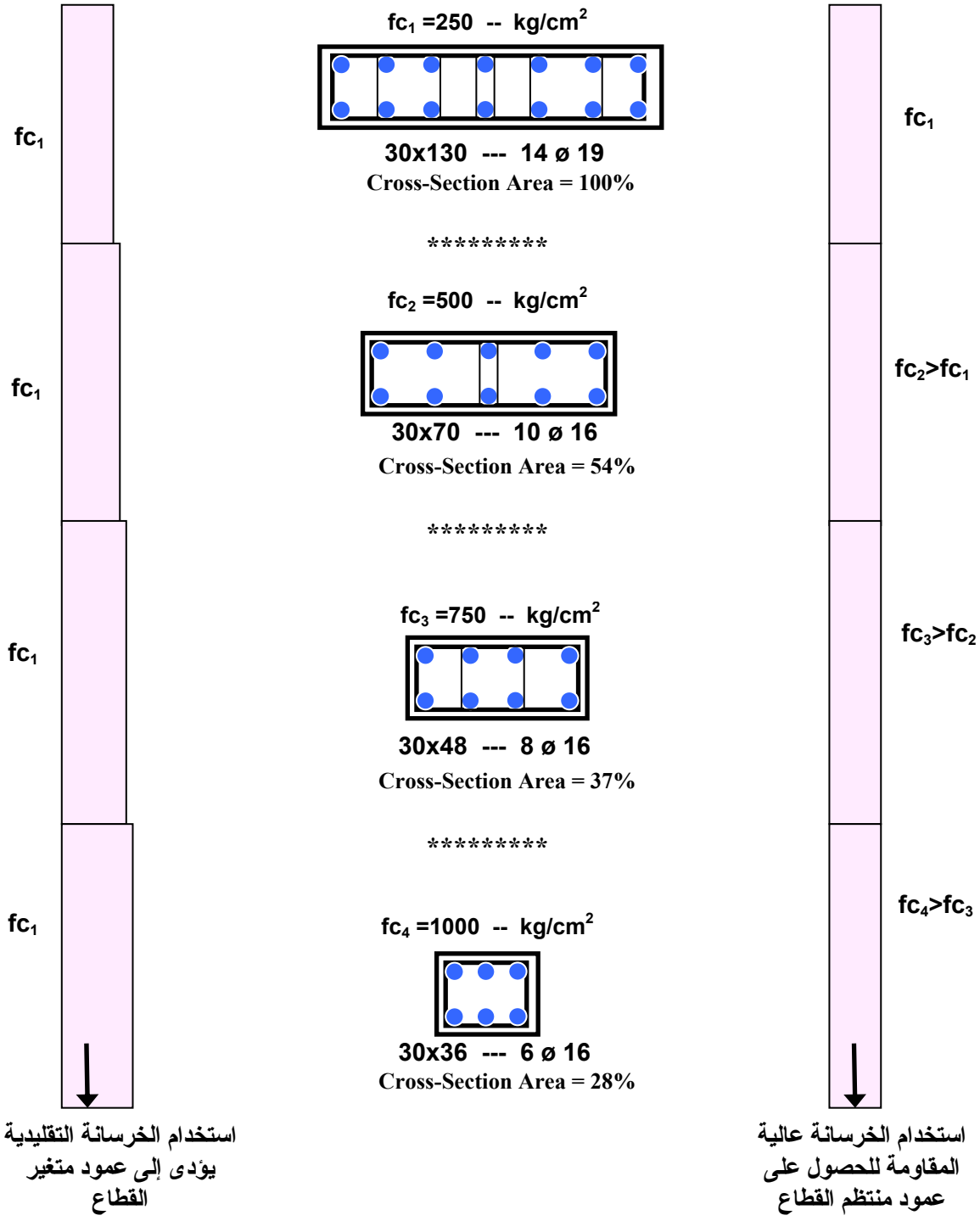


شكل (٣–٧) اقتصاديات الخرسانة عالية المقاومة فى الأعمدة.



شكل (٣–٨) انخفاض أبعاد القطاع الخرسانى فى الأعمدة.

❑ **المثال الآتى يوضح مدى الفوائد من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى تقليل قطاعات الأعمدة وكذلك تقليل كمية حديد التسليح المستخدمة. نفترض أن هناك عمود قصير يؤثر عليه حمل ضغط محوري مقداره ٤٠٠ طن والمطلوب تصميم قطاع العمود باستخدام خرسانات ذات مقاومة للضغط مقدارها ٢٥٠ ، ٥٠٠ ، ٧٥٠ ، ١٠٠٠ كج/سم^2 إذا علم أن مقاومة الخضوع للحديد تساوى ٢٤٠٠ كج/سم^2 وأن نسبة الحديد فى القطاع تساوى ١%.**



شكل (٣-٩) تأثير الخرسانة عالية المقاومة فى تقليل قطاعات الأعمدة.

ثانياً العناصر المعرضة لعزوم إنحناء مثل الكمرات

إن استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى العناصر المعرضة لعزوم إنحناء مثل الكمرات لا ينتج عنه خفض كبير فى التكاليف كما فى حالة الأعمدة وإنما تكون الاستفادة فى هذه الحالة من الناحية الفنية أكثر من الناحية الاقتصادية. ويمكن تلخيص ذلك فى النقاط الآتية:

١- الاستفادة الاقتصادية من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى الكمرات تتحقق فقط عندما يتم تقليل عرض القطاع مع ثبات العمق وثبات نسبة حديد التسليح فى القطاع. فقد وجد أنه بزيادة مقاومة الضغط ثلاثة مرات فإن عرض القطاع يمكن أن يقل إلى حوالى الثلث كما تقل التكاليف النهائية بنسبة ١٤%.

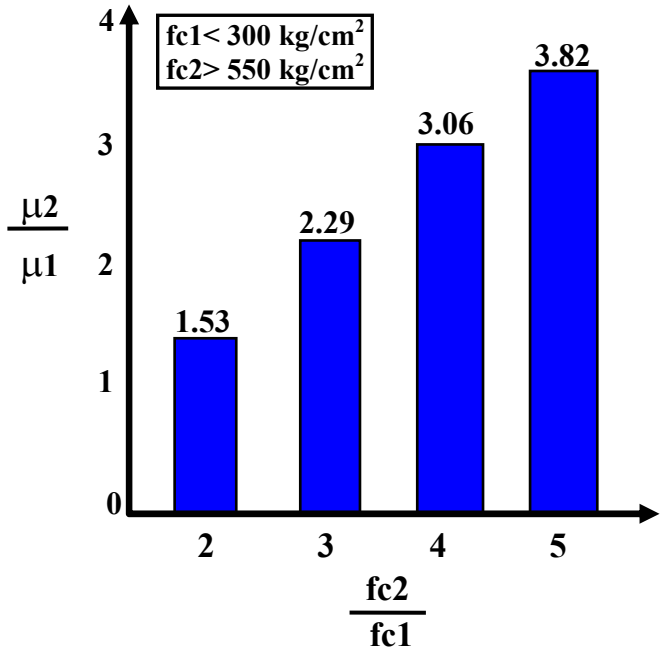
٢- إن استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى الكمرات يستلزم زيادة نسبة الحديد الرئيسي حتى نتجنب حدوث انفعال زائد فى الحديد وبالتالى نتجنب حدوث شروخ أكثر وأوسع. ولقد وجد أنه عند زيادة مقاومة الخرسانة إلى الضعف فإن حديد التسليح ينبغي زيادته بنسبة ٥٣% كما هو واضح بشكل (٣-١٠) ، وذلك حتى نحصل على نفس قيمة الانفعال فى حديد التسليح.

٣- تتحقق الجدوى الفنية من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى الكمرات وذلك بتقليل عمق القطاع وزيادة نسبة حديد التسليح. فقد وجد أنه عند زيادة مقاومة الضغط للخرسانة ثلاثة مرات فإن عمق القطاع يمكن أن يقل إلى حوالى ٦٤% من العمق الأصلي (شكل ٣-١١) ولكن نسبة الحديد تزيد وتصل إلى حوالى ٢٢٩% من النسبة الأصلية. وعليه فإن التكاليف تزيد بنسبة ٤٢%.

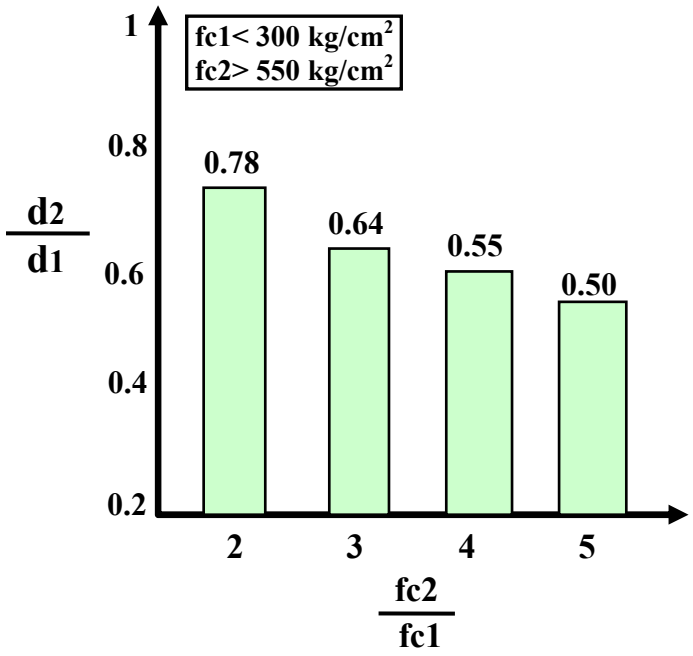
٤- أيضاً تتحقق الجدوى الفنية من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى الكمرات وذلك بزيادة بحر الكمرة عند ثبات الحمل المؤثر وثبات القطاع الخرسانى. فقد وجد أنه يمكن زيادة بحر الكمرة إلى ١,٨ مرة عندما تزيد مقاومة الضغط للخرسانة ٤ مرات.

٥- شكل (٣-١٢) يوضح تحقيق الجدوى الفنية من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى الكمرات من خلال زيادة السعة التحميلية للكمرة عند ثبات القطاع وزيادة نسبة حديد التسليح. فنجد أنه بزيادة مقاومة الضغط للخرسانة أربع مرات فإن السعة التحميلية لها تتضاعف ٣,٢٤ مرة.

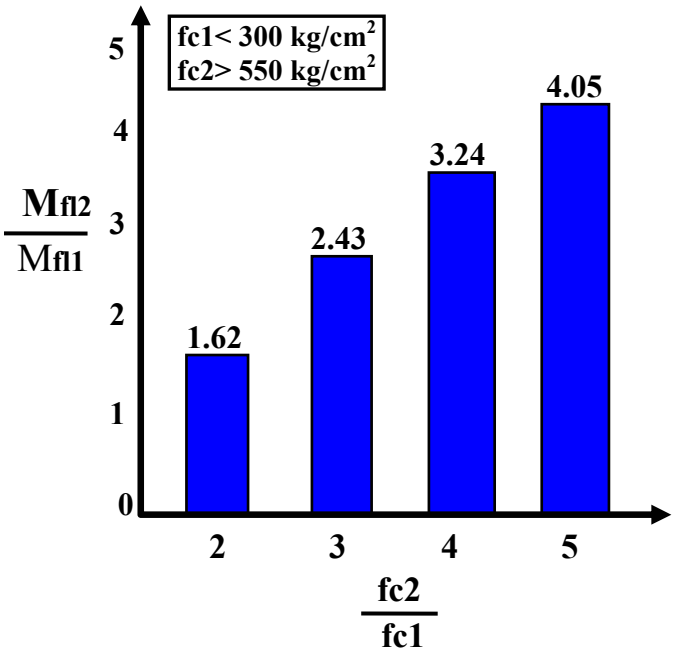
٦- يمكن إجراء تخفيض جزئي لكلٍ من عرض وعمق القطاع فى آن واحد كما هو مبين بشكل (٣-١٣) وذلك حتى يتم إسيفاء شروط التشغيل المختلفة.



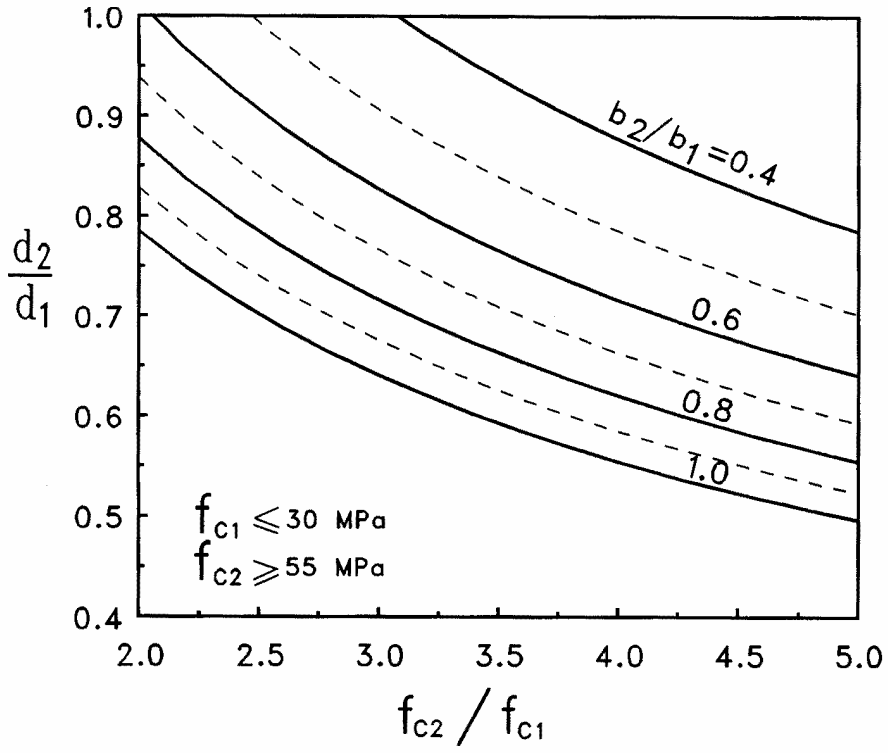
شكل (٣-١٠) تأثير الخرسانة عالية المقاومة على نسبة الحديد الرئيسي فى الكمرات.



شكل (٣-١١) تأثير الخرسانة عالية المقاومة فى تقليل عمق القطاع فى الكمرات.



شكل (٣-١٢) تأثير الخرسانة عالية المقاومة على السعة التحميلية للكمرات.



شكل (٣-١٣) تأثير الخرسانة عالية المقاومة على كلٍ من عرض وعمق القطاع فى الكمرات.

٣-٥-٤ المميزات العامة للخرسانة عالية المقاومة:

١- مقاومة الضغط فيها من ٦٠٠ إلى ١٤٠٠ كج/سم^{٢} (٥-٧ مرات مقاومة الخرسانة التقليدية).

٢- معاير المرونة يساوى تقريبا مرتين إلى مرتين ونصف معاير المرونة للخرسانة التقليدية مما يساعد فى تقليل الترخيم Deflection والتشكل Deformation.

٣- تمتاز بمتانة عالية Durability ومقاومة للاحتكاك ومقاومة للكيماويات.

٤- الفوائد الناتجة منها (مثل تقليل القطاعات وزيادة الأبحر وتقليل الوزن) أكثر من الزيادة فى تكاليف إنتاجها.

٥- تعطى مقاومة عالية بالنسبة لوحدة الثمن - وبالنسبة لوحدة الحجوم - وبالنسبة لوحدة الوزن Strength / unit weight - Strength / unit volume – Strength / unit Cost

ويمكن توضـيح النقطة السابقة كما يلي:

- مقاومة عالية بالنسبة لوحدة الثمن

خرسانة ذات مقاومة ٢٠٠ كج/سم^{٢} تتكلف مثلاً ٢٠٠ جنيه/م^{٣} يعنى ١,٠ كج/سم^{٢}/جنيه.
بينما خرسانة ذات مقاومة ٦٠٠ كج/سم^{٢} تتكلف ٣٠٠ جنيه/م^{٣} أى ٢,٠ كج/سم^{٢}/جنيه.

- مقاومة عالية بالنسبة لوحدة الحجوم

قاعدة عمود من خرسانة مقاومتها ٢٠٠ كج/سم^{٢} يكون حجمها حوالى ٤م^{٣} يعنى ٥٠ كج/سم^{٢}/م^{٣}.
بينما قاعدة من خرسانة مقاومتها ٦٠٠ كج/سم^{٢} يكون حجمها حوالى ٢م^{٣} يعنى ٣٠٠ كج/سم^{٢}/م^{٣}.

- مقاومة عالية بالنسبة لوحدة الوزن

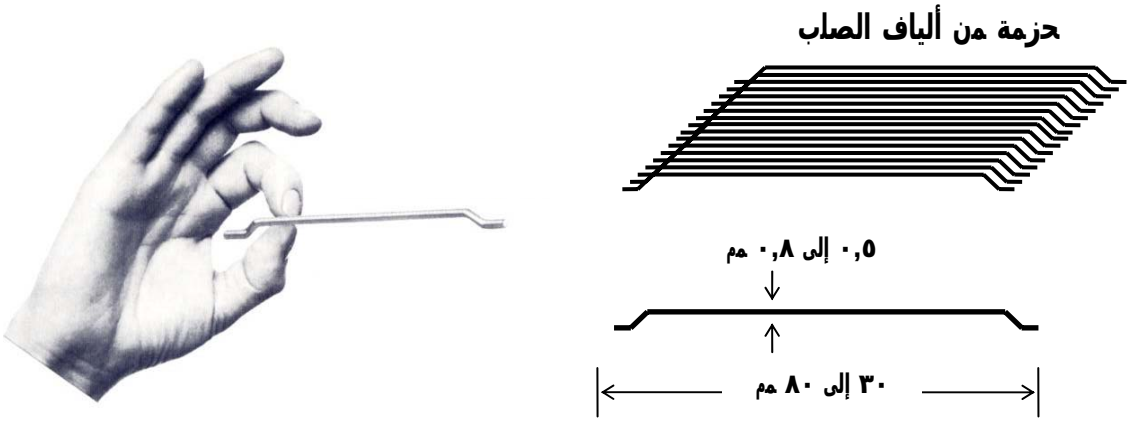
عمود من خرسانة ذات مقاومة ٢٠٠ كج/سم^{٢} يكون وزنة حوالى ٤ طن يعنى ٥٠ كج/سم^{٢}/طن.
بينما عمود من خرسانة مقاومتها ٦٠٠ كج/سم^{٢} يكون وزنة حوالى ٣ طن أي ٢٠٠ كج/سم^{٢}/طن.

ومن عيوب الخرسانة عالية المقاومة أنها أكثر قصافة Brittleness من الخرسانة التقليدية والانهيار بها مفاجئ حيث يكون الكسر فيها خلال الركام الكبير وليس حوله كما فى الخرسانة التقليدية ويمكن التغلب على هذه المشكلة بطرق عديدة منها استخدام الألياف مع الخرسانة. كذلك فإن استخدام الخرسانة عالية المقاومة يتطلب درجة عالية من ضبط الجودة والتحكم فيها.

٣-٦ الخرسانة الليفية Fiber Concrete

وهى الخرسانة المصنوعة من الأسمنت والركام و المحتوية على ألياف غير مستمرة و موزعة توزيعاً عشوائياً فى جميع الاتجاهات خلال الكتلة الخرسانية وتنقسم الألياف إلى قسمين رئيسيين من حيث النوع:

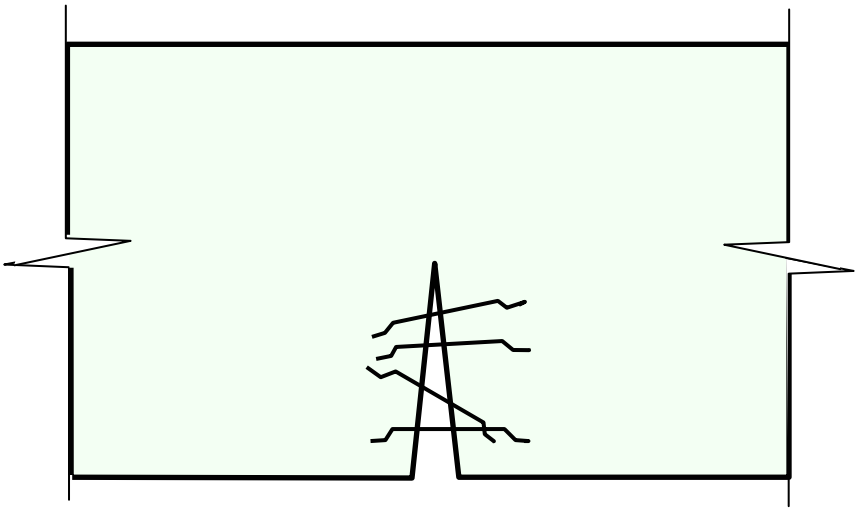
- ألياف الصلب وهى قطع من الصلب بطول ٣ إلى ٨سم وقطر من ٠,٥ إلى ٠,٨ مم كما بالشكل (٣-١٤).
- والألياف الصناعية مثل ألياف البولى بروبلين والبوليستر والبوليثيلين والأكريلك وتأخذ نفس شكل ألياف الصلب ولكنها مصنعة من مواد صناعية.



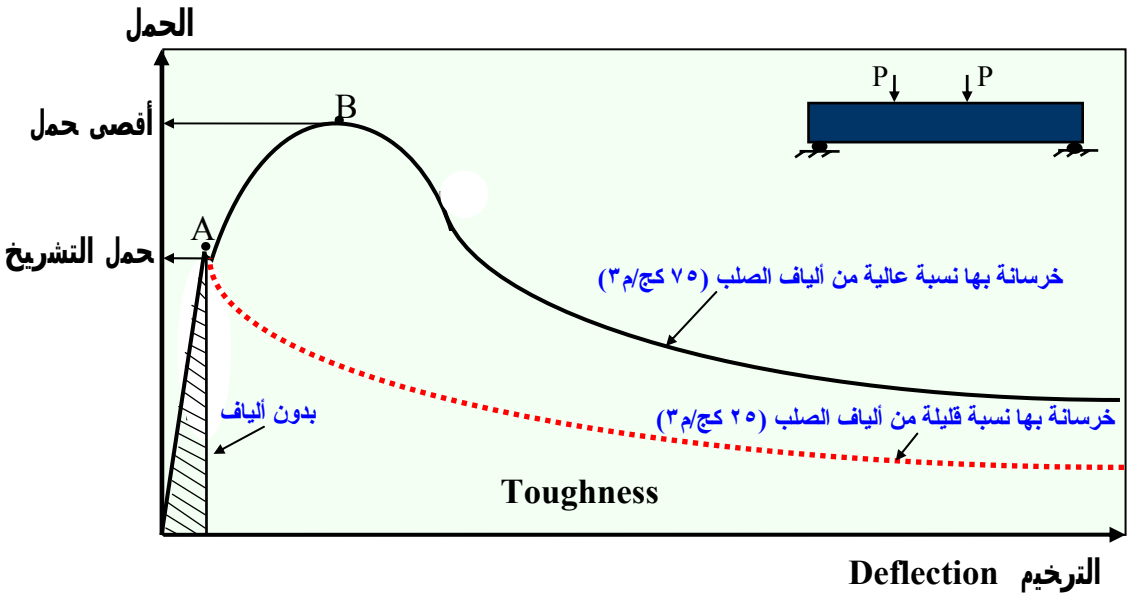
شكل (٣-١٤) ألياف صلب غير مستقيمة الأطراف.

والألياف لها القدرة على تحسين مقاومة الخرسانة فى القص والشد والانحناء والصدم والانكماش. كما أنها تعمل على تقليل اتساع الشروخ وإعادة توزيعها كما يتضح ذلك من الرسم الكروكى بشكل (٣-١٥)، ولكن الألياف لا تؤثر بدرجة كبيرة على مقاومة الضغط. وأهم وظيفة للألياف أنها تزيد من قيمة معاير المتانة للمادة زيادة كبيرة جداً. شكل (٣-١٦) يوضح منحنى الحمل والتشكل للخرسانة الليفية ومدى زيادة المتانة Toughness فى الخرسانة الليفية. وبالتالى فهي تحول ميكانيكية الكسر فى الخرسانة من كسر قصف مفاجئ وخطر Dangerous Sudden Failure إلى كسر غير قصف وتدريجي Ductile Failure. شكل (٣-١٧) يوضح مقارنة بين كمرتين متشابهتين من الخرسانة المسلحة (بدون كانات) أحدهما بدون ألياف والأخرى تحتوى على ألياف. ويتضح التأثير الكبير والفعال للألياف فى مقاومة قوى القص وزيادة معاير المتانة Toughness. وتستخدم الخرسانة الليفية على نطاق واسع فى الطرق والمطارات والمنشآت العسكرية وقواعد الماكينات. كما تستخدم فى الأسقف القشرية ومناطق

الاتصال بين الكمرة والعمود فى الإطارات. وتستخدم الألياف أيضاً فى المواسير الخرسانية والوحدات سابقة الصب و فى العناصر الخرسانية المعرضة لقوى القص والصدم. وبالرغم من أن الألياف تزيد من مقاومة قوى الشد فى الانحناء إلا أن هذه الزيادة غير جديرة بالاعتبار وبالتالى فإنه ليس من الحكمة أن تستخدم الألياف كبديل كلى أو إستعواضى لأسياخ صلب التسليح.



شكل (٣-١٥) دور الألياف فى تقليل اتساع الشروخ وإعادة توزيعها .



شكل (٣-١٦) منحنى الحمل والتشكل للخرسانة الليفية.

شكل (٣-١٧) تأثير الألياف الفعال فى مقاومة قوى القص وزيادة المتانة.

٣-٧ الخرسانة ذاتية الدمك Self-Compacting Concrete

٣-٧-١ تعريف :

الخرسانة ذاتية الدمك هى الخرسانة التى لها درجة عالية من السيولة والإنسياب Deformability كما أن لها مقاومة عالية للإنفصال الحبيبى Stability ويمكن صبها بنجاح فى القطاعات الضيقة والمزدحمة بحديد التسليح Filling Capacity وذلك بدون الإستعانة بأى وسيلة دمك خارجية.

وتعتبر الخرسانة ذاتية الدمك نتاج التقدم التكنولوجي فى مجال إضافات الخرسانة حيث تعتبر كل من إضافات تحسين اللزوجة وإضافات تقليل ماء الخلط (الملدنات الفائقة) هما العنصرين الأساسيين اللازمين لإنتاج هذه الخرسانة. ويعتبر اليابانيون هم رواد صناعة هذه الخرسانة حيث قاموا فى السنوات العشر الأخيرة باستخدامها فى منشآت وتطبيقات عديدة ومفيدة. بعد ذلك تم إنتاج هذه الخرسانة فى العديد من الدول مثل تركيا وأمريكا. وفى مصر تم حديثاً إجراء بعض الأبحاث فى جامعة المنصورة لإنتاج الخرسانة ذاتية الدمك باستخدام المواد المحلية كما تم دراسة المتطلبات الخاصة للقابلية للتشغيل وكذلك الاختبارات الخاصة والضرورية لهذه الخرسانة. وبصفة عامة فلقد أظهرت نتائج الاختبارات إمكانية صناعة الخرسانة ذاتية الدمك بالمواد المحلية المتاحة فى مصر بدرجة نجاح عالية. والبحث رقم ٣٨ بقائمة المراجع يختص بهذا الموضوع.

٣-٧-٢ الخواص المطلوب تحقيقها فى الخرسانة ذاتية الدمك:

أولاً: درجة إنسياب وسيولة عالية High Deformability

ويتحقق ذلك بالآتي:

١- زيادة سيولة العجينة --- باستخدام الملدنات الفائقة و/أو استخدام نسبة عالية من ماء الخلط.

٢- تقليل الاحتكاك الداخلي بين الحبيبات --- بتقليل نسبة الركام الكبير فى الخلطة و/أو استخدام نسبة من البودرة الناعمة المتدرجة.

ثانياً: درجة مقاومة عالية للإنفصال الحبيبى Good Stability

ويتحقق ذلك بالآتي:

١- تقليل الانفصال بين المواد الصلبة فى الخلطة عن طريق --- تقليل المقاس الإعتبارى الأكبر للركام و/أو تقليل نسبة الركام و/أو استخدام إضافات تحسين اللزوجة و/أو تقليل نسبة ماء الخلط.

٢- تقليل النضح (الماء الحر) إلى أقل درجة ممكنة عن طريق --- استخدام نسبة أقل من ماء الخلط و/أو استخدام بودرة ذات مساحة سطحية عالية و/أو زيادة نسبة إضافات تحسين اللزوجة.

ثالثاً: لها قدرة عالية على الصب والملء فى القطاعات الضيقة أو المزدحمة بحديد التسليح وذلك تحت تأثير وزنها وبدون حدوث إنسداد أو توقف للخرسانة Blockage

ويتحقق ذلك بالآتي:

١- أن يكون لها مقاومة عالية للانفصال الحبيبي أثناء صب وتدفق الخرسانة عن طريق --- استخدام إضافات تحسين اللزوجة و/أو تقليل نسبة ماء الخلط.

٢- التوافق بين مقاس القطاعات والمسافة بين الأسياخ من ناحية ومقاس الركام الكبير ونسبته فى الخلطة من ناحية أخرى وذلك عن طريق --- تقليل المقاس الإعتبارى الأكبر للركام و/أو تقليل نسبة الركام فى الخلطة.

٣-٧-٣ مميزات الخرسانة ذاتية الدمك:

١- سهولة الصب فى القطاعات المزدحمة بحديد التسليح والقطاعات الضيقة.

٢- القدرة على صب كمية كبيرة من الخرسانة فى فترة زمنية قصيرة.

٣- تحتاج عمالة أقل.

٤- لا يوجد بها إنفصال حبيبى.

٥- لا تحتاج إلى إستخدام هزازات فى الموقع مما يؤدى إلى سهولة الصب والتغلب على مشكلة الضوضاء الناتجة عن الهزازات.

٦- لها شكل ومظهر أفضل كما أنها لا تحتاج إلى تسوية سطحها بعد صبها .

٧- لا تعطى فرصة للتدخل فى الموقع لإضافة ماء للخلطة نظراً لسيولتها.

٨- أكثر معمرية من الخرسانة التقليدية.

٣-٧-٤ الاختبارات المطلوبة والغرض منها:

وتجدر الإشارة أنة بالنسبة للخرسانة ذاتية الدمك فإن تحقيق متطلبات وخواص الخرسانة الطازجة يكون له الأولية إذا قورن بمتطلبات وخواص الخرسانة المتصلدة حيث تعتبر المرحلة الطازجة هنا هى الغاية المنشودة ومن ثمّ توجد إختبارات خاصة لقياس خواص المرحلة الطازجة من الخرسانة ذاتية الدمك وفيما يلى نبذة مختصرة وسريعة عن بعض هذه الإختبارات:

١- إختبار الإنسياب الحر Slump Flow

وذلك لقياس الإنسياب الحر فى حالة عدم وجود عوائق فى طريق الخرسانة. ويستخدم فى ذلك جهاز مخروط الهبوط التقليدى الموضح فى الباب السابع من هذا الكتاب. ويلزم أن يكون قطر الإنسياب فى حدود من ٦٠ إلى ٧٠سم.

٢- إختبار إنسياب الخرسانة فى القمع V-Funnel Test

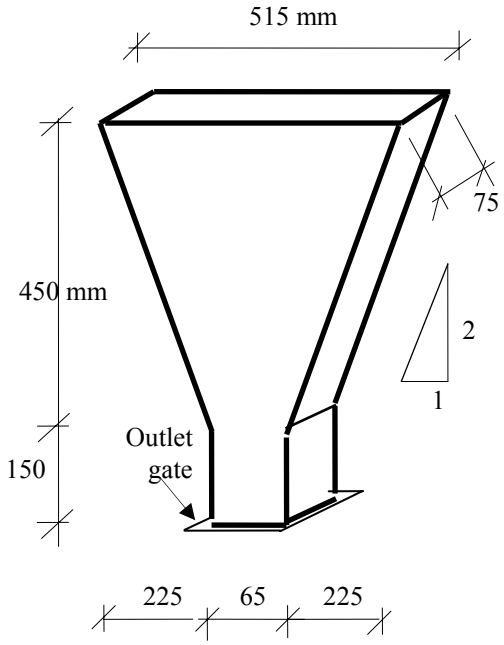
ويقيس قدرة الخرسانة على تغيير مسارها والإنتشار خلال منطقة ضيقة بدون حدوث إنسداد أو توقف. ويستحدم لذلك الجهاز الموضح بشكل (٣-١٨) حيث يتم قياس زمن مرور الخرسانة بالكامل فى القمع ، وهذا الزمن يجب أن لا يتجاوز عشر ثوان.

٣- إختبار القدرة على الصب والملء Filling Capacity

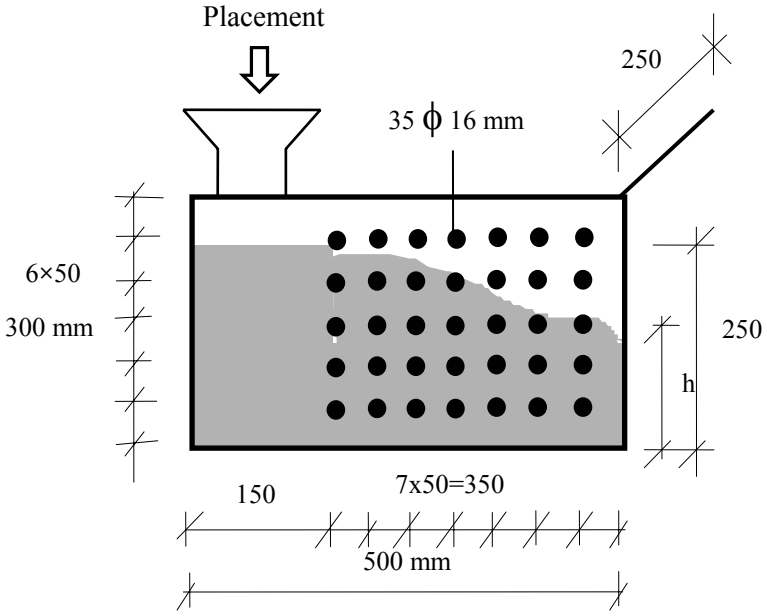
وذلك لقياس قدرة الخرسانة على الصب والتدفق فى وجود منطقة مزدحمة بحديد التسليح دون حدوث توقف أو إنسداد للخرسانة. ويستخدم فى ذلك جهاز خاص كما هو مبين بشكل (٣-١٩) حيث يتم قياس النسبة المئوية للخرسانة التى تملء الصندوق والتى ينبغى أن لاتقل عن ٨٠%.

٤- رصد الهبوط فى سطح الخرسانة Surface Settlement

وذلك لقياس الثبات فى الخرسانة بعد الصب وحتى حدوث التصلب. حيث ينبغى بقاء الركام معلق فى العجينة دون حدوث هبوط. وتستخدم أجهزة القياس الميكانيكية للتحكم فى رصد الحركة النسبية لسطح الخرسانة.



شكل (٣–١٨) الجهاز المستخدم فى إختبار إنسياب الخرسانة فى القمع V-Funnel Test



شكل (٣–١٩) الجهاز المستخدم فى إختبار القدرة على الصب والملء Filling Capacity Test

٣-٨ الخرسانة المقذوفة (خرسانة الرش) Shotcrete

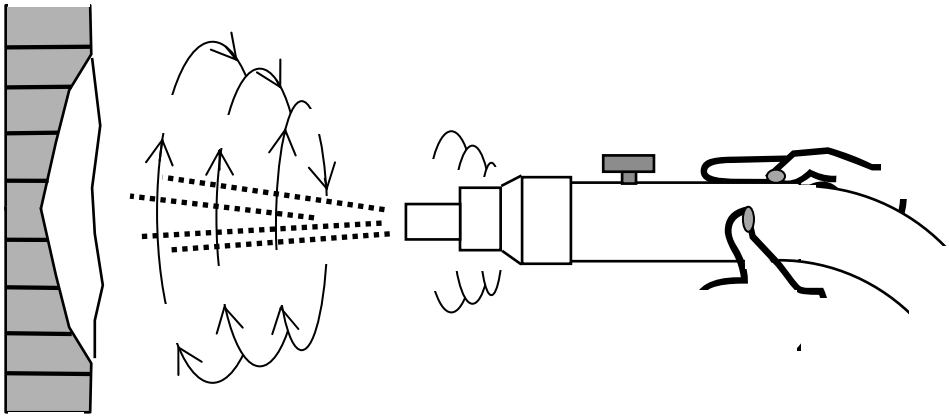
هى خرسانة (أو مونة) تقذف بضغط الهواء من فوهة القاذف بسرعة عالية إلى السطح المراد تغطيته بالخرسانة. وتستخدم غالبا فى أعمال الإصلاحات والترميم Repair وتبطين الأنفاق Tunnels وتبطين الترع وفى كثير من الأحوال التى يصعب فيها إستخدام الطرق التقليدية فى الصب فمثلاً عندما يكون مطلوب صب طبقات غير سميكة أو متغيرة السمك أو عندما يصعب الوصول إلى منطقة العمل أو عندما يكون إستخدام الشدات صعباً أو مكلفاً. كما تستخدم الخرسانة المقذوفة فى إصلاح الخرسانة المتداعية فى الكبارى والأهوسة والسدود والمنشآت المواجهة للمياه وكذلك مبانى الطوب المتآكلة. كما تستخدم فى تبطين الأفران بكافة أنواعها.

ويوجد نوعين رئيسيين لطريقة تنفيذ الخلطة ، أسلوب الخلط الجاف وأسلوب الخلط المبتل. ففى الطريقة الجافة يتم خلط الركام و الأسمنت وأى مكونات أخرى على الجاف أولاً وتدفع بإستخدام ضغط الهواء خلال القاذف ثم يضاف الماء عند فوهة القاذف ويدفع الجميع إلى السطح المراد صبه. أما فى الطريقة الرطبة فيتم خلط جميع المكونات بما فيها الماء خلطاً جيداً أولاً (ماعدا معجلات الشك إن وجدت) ويدفع الجميع بإستخدام ضغط الهواء خلال القاذف إلى السطح المراد قذفه. وفى جميع الأحوال يلزم إعداد السطح المقذوف عليه الخرسانة لضمان جودة ترابطها معه. ويمكن القول أن خواص وسلوك الخرسانة المقذوفة يعتمد كثيراً على صفات المعدات المستخدمة وعلى مهارة القائمين بها كما يعتمد على الظروف التى يتم بها الصب.

و تتميز خلطة الخرسانة المقذوفة بإحتوائها على محتوى أسمنت أعلى لتعويض نسبة الفقد منه عند الإرتداد من السطح. كذلك فإن ركامها يتميز بصغر المقاس حيث يفضل أن لايزيد عن ١٢ مم. كما أنها قد تحتوى على إضافات معينة (ماعدا المؤجلات Retarders) لتحسين بعض الخواص المرغوبة وغالباً فإن الخرسانة المقذوفة تحتوى على المعجلات Accelerators وذلك لتسريع عملية الشك للخرسانة المقذوفة. ويفضل أن تكون فوهة القاذف عمودية على السطح المقذوف ولا تتعدى زاوية ميل القاذف على السطح ٤٥ درجة وذلك لضمان التوزيع المنتظم للخرسانة ولتجنب حدوث تكور و دحرجة للخرسانة على السطح مما يؤدى إلى سطح متعرج غير منتظم. كما يفضل أن تكون المسافة بين فوهة القاذف والسطح فى حدود ٠,٦ إلى ١,٨ متر. شكل (٣-٢٠) ، شكل (٣-٢١) يوضحان إستخدام الخرسانة المقذوفة و التحكم فى القاذف.

ويعيب هذه الخرسانة تعرضها للإنكماش بقيمة كبيرة نتيجة لكثرة كمية الماء بها وكذلك زيادة محتوى الأسمنت مع نقص الركام الكبير. كما يعيب هذه الخرسانة أيضاً إحتمال عدم الإلتصاق والتماسك التام بمادة السطح الذى ترش فوقة وللتغلب على مشكلة الإنكماش يمكن إستخدام الألياف مع هذه الخرسانة والتى أثبتت نجاحاً كبيراً فى الوقت الحال.

شكل (٣-٢٠) صورة توضح إستخدام الخرسانة المقذوفة فى أحد الأنفاق.



حركة دورانية خفيفة فى فوهة الدفع لإنتاج خرسانة مقذوفة جيدة

شكل (٣-٢١) كروكى يوضح طريقة قذف الخرسانة والتحكم فى فوهة الدفع.

٣-٩ الخرسانة البوليمرية Polymer-Concrete

البوليمر أو الراتنج هو إسم لمادة عضوية تتكون من العديد من الجزيئات المتشابهة ذات الوزن الجزيئى المرتفع والجزئ الواحد من هذه الجزيئات يسمى مونومر.

أما الخرسانة الراتنجية فهى خرسانة خاصة يتم الحصول عليها بمعاملة الخرسانة العادية بمواد البوليمر التى تعمل كمواد لاحمة أومالئة للفراغات بين حبيبات الركام. وتمثل المواد البوليمرية حوالى ٦ إلى ١٥% من وزن الخرسانة ومن أمثلتها مواد أو مركبات البوليستر Polyester و الأيبوكسى Epoxy وقد تصل تكاليف خرسانة البوليمرز حوالى من ٢ - ٣ مرات تكاليف الخرسانة العادية وتمتاز بالآتى:

- مقاومة عالية للعوامل الخارجية مثل مقاومة التآكل ونفاذ الماء والمقاومة للكبريتات.
- مقاومة عالية جداً للإنكماش.
- مقاومة ضغط عالية قد تصل إلى ١٢٠٠ كج/سم^{٢}
- مقاومة شد تصل إلى ١٠٠ كج/سم^{٢}

وعموماً يوجد ثلاثة أنواع رئيسية من الخرسانة المحتوية على راتنجات:

١- الخرسانة البلاستيكية	(PC)	Plastic Concrete
٢- الخرسانة البوليمرية الأسمنتية	(PCC)	Polymer Cement Concrete
٣- الخرسانةالأسمنتية المحقونة بالبوليمرات	(PIC)	Polymer Impregnated Concrete

٣-٩-١ الخرسانة البلاستيكية PC

وفيها تحل الراتنجات محل الأسمنت كمادة رابطه لجزيئات الركام. أى أنها عبارة عن ركام متماسك مع بعضه بواسطة مادة رابطة من البوليمرات. والخرسانة البلاستيكية لها خواص ميكانيكية عالية وزمن معالجتها قصير ولها إنكماش متناهى فى الصغر ومقاومة عالية للكيماويات وتتوقف الخواص على نوع الراتنج المستخدم وكميته فى الخلطة ومن أهم الأنواع المستخدمة:

- الأيبوكسى
- البولى إستر
- الفينول فورمالدهيد
- فورفورال أستيون

وهذه الخرسانة لها مقاومة تزيد بدرجة كبيرة عن الخرسانة الأسمنتية وتتوقف الزيادة على نوع الراتنج المستخدم وكميته فى الخلطة (أنظر شكل ٣-٢٢).

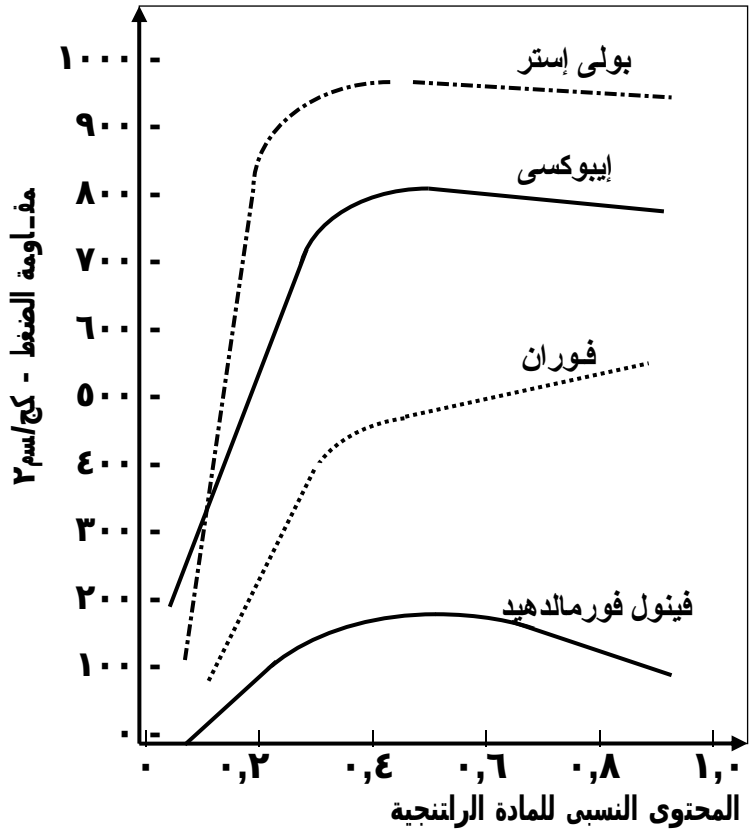
أهم تطبيقات الخرسانة البلاستيكية

١- طبقة حماية سطحية لأسطح الكبارى والمصانع وأماكن الخدمات والسلالم والخرسانة المسلحة و سابقة الإجهاد.

٢- ترميم الخرسانات التى حدث بها شروخ نتيجة الحرارة أو الإنكماش أو الأهتزازات.

٣- لصق الخرسانة الحديثة والقديمة أو الوحدات سابقة الصب.

٤- لصق الخرسانة على المعادن كطريقة للتقوية والتسليح الخارجى.



شكل (٣-٢٢) مقاومة الضغط لبعض الأنواع من الخرسانة البلاستيكية.

٣-٩-٢ الخرسانة البوليمرية الأسمنتية PCC

وهى التى تصنع بخلط الأسمنت والركام ويضاف اليها ماء الخلط المضاف إلية الراتنج. أى أنها خرسانة تقليدية مع إحلال جزء من ماء الخلط بواسطة مواد راتنجية. والراتنج المضاف يكون فى عبوتين: إحداهما تحتوى على المونومر والأخرى تحتوى على المصلد اللازم للتفاعل الكيميائى وإتمام عملية البلمرة (إتحاد الجزيئات) وتتم عملية البلمرة أثناء عملية التصلد للخرسانة. ومن ثم تتكون شبكة مستمرة من البوليمرات تملء أغلب فراغات الخرسانة. ويجب لذلك الحذر بأن لاتعطل عملية البلمرة طور الإماهة للأسمنت. ومن أهم المونومرات الشائعة الإستخدام كإضافة للخرسانة:

١- فينيل اسيتات	٢- الإكريلات
٣- فينيل كلوريد	٤- مستحلبات البيتومين
٥- المطاط	٦- الإيبوكسيات

وتجدر الإشارة إلى أن العلماء الروس قد توصلوا إلى خرسانة أسمنتية بوليمرية ذات خواص عالية وذلك بإدماج فورفريل الكحول "Furfryl Alcohol" وهيدروكلوريد الإيثيلين فى خليط الخرسانة مما نتج عنه خرسانة كثيفة ومعدومة الإنكماش تقريباً وذات مقاومة عالية للصدأ وذات مسامية منخفضه ومقاومة للإهتزازات. وعموما فإن النتائج التى تم الحصول عليها نتيجة إستخدام المونومرات كإضافات للخرسانة العادية أثناء الخلط قد أعطت تأثيرا محدودا على خواصها الميكانيكية وإن كان التأثير أكثر وضوحا على القوام والقابلية للتشغيل.

٣-٩-٣ الخرسانة الأسمنتية المحقونة بالبوليمرات PIC

وهى الخرسانة الأسمنتية المتصلدة والتى سبق صبها ويتم حقنها أو غلغلتها بواسطة مونومرات ذات لزوجة منخفضة ثم تتم البلمرة لهذه المونومرات بعد ذلك وهى داخل الخرسانة وتنقسم إلى ثلاثة أنواع:

أ - الخرسانة المغلغلة كليا :

وتستخدم لمقاومة درجات الحرارة العالية أو عند التعرض إلى المياه المالحة. وفيها يتم بدء تنشيط عملية البلمرة وذلك أما بالإشعاع Radiation أو بالحرارة Thermal method وأهم المونومرات التى تستخدم فى هذه الطريقة هى:

- المثيل ميثا كريلات	Methyl methacrylate
- الستيرين	Styrene
- الكلوروستيرين	Chlorostyrene

وقد أوضحت التجارب أن الخرسانة المغلغلة بالمثيل ميثاكريلات والتى تتم بلمرتها بالإشعاع لها مقاومة ضغط تصل إلى حوالى ٣٠٠ % عند درجة تشبع بالبولميرات مقدارها ٦,٦ %. وأوضحت النتائج أيضا أن هناك زيادة وتحسينات مناظرة لكل من مقاومة الشد ومعاير المرونة ومقاومة التجمد والذوبان ومقاومة البرى والتفاذية ومقاومة الكيماويات.

ب - الخرسانة المغلغلة جزئيا:

وقد تم عمل هذه الخرسانة كأسلوب لتبسيط عملية الغلغلة وتقليل التكاليف وذلك لإستيفاء التطبيقات التى تتطلب المتانة أكثر من القوة وأهم المواد المستخدمة فى هذه الطريقة هى البولى إسترسترين و الميثيل ميثاكريلات وتتأثر خواص الخرسانة الناتجة بدرجة كبيرة بعمق الغلغلة بالبوليمر وبالتالى مقدار التشبع به. وبصفة عامة فإن الخرسانة المغلغلة جزئيا تعطى نتائج عالية جداً وإن كانت أقل نسبيا من الخرسانة المغلغلة كليا.

ج - الخرسانة المغلغلة سطحيا:

وهى شبيهة بالخرسانةالمغلغلة جزئيا وإن كانت المونومرات المستخدمة فى هذه الطريقة لها لزوجة منخفضه وبالتالى فهى أكثر تطاير ولها معدلات بطيئة فى الإختراق داخل الخرسانة وهذه الطريقة من الغلغلة مناسبة لكبارى الطرق السريعة.

تطبيقات الخرسانة المغلغلة بالبوليمر

١- خرسانة محطات تنقيه المياه المالحة (مقاومة الحرارة + المواد الكيماوية)
٢- أرضيات الكبارى السابقة الإجهاد
٣- الدعامات الخرسانية لأسقف مناجم الفحم
٤- الأنفاق والمنشآت تحت الماء
٥- قواعد المضخات والمنشآت البحرية والخرسانات الخفيفة
٦- مواسير المجارى والضغط

٣-١٠ الخرسانة الخفيفة Lightweight Concrete

من أهم عيوب الخرسانة التقليدية (٢٢٠٠ إلى ٢٥٠٠ كج/م^3) كمادة إنشائية بالمقارنة مع الخشب والحديد أن الخرسانة التقليدية ثقيلة الوزن نسبياً حيث تكون نسبة الوزن الذاتى لأجزاء المبنى Own weight بالمقارنة مع الأحمال المؤثرة هى نسبة عالية فى جميع الأحوال. ولذلك تم التفكير فى إنتاج وإستخدام خرسانة خفيفة وزنها أقل من ٢٠٠٠ كج/م^3. ولذلك فقد أمكن تصنيع خرسانة إنشائية تزن ١٤٠٠ إلى ١٩٠٠ كج/م^3 بزيادة بسيطة فى التكاليف وكذلك إنتاج خرسانة نصف انشائية للبلوكات الداخلية تزن ٩٠٠ كج/م^3 وتستعمل بكفاءة كحوائط داخلية. وعموماً فإن الخرسانة الخفيفة هى تلك التى يقل وزنها عن ٢٠٠٠ كج/م^3. والغرض من إستخدامها هو تقليل وزن المنشأ وبالتالى تقليل تكاليف الأساسات وكذلك لأغراض العزل الحرارى والصوتى.

أنواع الخرسانة الخفيفة

يمكننا تخفيض وزن الخرسانة عن طريق واحد أو أكثر من الطرق الآتية:

١- إيجاد فراغات بين حبيبات الركام (خرسانة خالية من المواد الرفيعة Finless Concrete)

٢- إيجاد فراغات داخل الركام (خرسانة ذات ركام خفيف Lightweight Aggregate Concrete)

٣- إيجاد فراغات داخل العجينة الأسمنتية (الخرسانة المهواة أو الخلوية Cellular Concrete)

٣-١٠-١ خرسانة خالية من المواد الرفيعة Finless Concrete

تتكون من الأسمنت والركام الكبير فقط وأحيانا يستخدم فيها الهواء عن طريق إضافة مواد رغوية أو بإستعمال تدرجات خاصة من الركام. والركام الكبير يمكن أن يكون زلط أو أحجار مكسرة أو ركام خفيف. وينحصر تدرج الركام بين ١٠ مم ، ٢٠ مم ولا تتعدى نسبة المار من المنخل الصغير عن ٥% وهذا النوع من الخرسانة ذو كثافة تتراوح من ٣/٢ إلى ٤/٣ كثافة الخرسانة التقليدية المصنوعة من نفس الركام. وهذا النوع يحتاج إلى تصميم دقيق وخصوصاً بالنسبة لمحتوى الماء.

٣-١٠-٢ خرسانة الركام الخفيف Lightweight Aggregate Concrete

خرسانة الركام خفيف الوزن هى أكثر أنواع الخرسانات الخفيفة شيوعاً وإستخداماً إذ يمكن إستعمالها كخرسانة إنشائية. والركام المستخدم فى الخرسانة الإنشائية الخفيفة هو فى أغلب الأحوال ركام صناعى. وصناعة الركام تعتبر أحد أجزاء التصنيع للخرسانة الخفيفة ومن أمثلة الركام الخفيف:

- الطين الممدد (الليكا) - الفيرموكليت - الفوم (بوليسترين)

شكل (٣- ٢٣) يوضح بعض أنواع الركام خفيف الوزن.

الصفات الواجب توافرها فى الركام الخفيف

١- يجب أن تكون حبيبات الركام متجانسة من حيث التركيب والصفات.
٢- „ „ „ „ „ „ „ ذات وزن نوعى منخفض.
٣- „ „ „ „ „ „ „ ذات مقاومة مناسبة (عامل مؤثر على مقاومة الخرسانة).
٤- „ „ „ „ „ „ „ ذات قدرة على التماسك مع حبيبات الأسمنت.
٥- „ „ „ „ „ „ „ ذات مقاومة جيدة للعوامل الجوية.
٦- يجب أن تحتوى الحبيبات على أكبر عدد ممكن من الفراغات الداخلية الصغيرة المنفصلة وعلى أقل عدد ممكن من الفراغات الكبيرة المتصلة.

٣-١٠-٣ الخرسانة المسواة (ذات الخلايا) Cellular Concrete

وفى هذا النوع تتكون فقاعات من الغازات والهواء فى وسط الخرسانة وهى فى الحالة الطازجة ويظل التركيب مسامى بعد أن تشك الخرسانة. والطريقتين الرئيسيتين لإنتاج هذا النوع هما:

أ - انتاج غازات فى الخلطة بتفاعلات كيميائية

ب- إضافة مواد رغوية للخلطة.

ومن المواد الشائعة المولدة للغازات المسحوق الناعم من بودرة الألمونيوم أو بودرة الزنك (٠,٢% من وزن الأسمنت) وعند خلطها بالأسمنت تتكون فقاعات من الهيدروجين فتنتفخ الكتلة مكونة عند تصلدها مادة ذات تركيب خلوى. وتجدر الإشارةإلى أن هناك علاقة طردية بين وزن الخرسانة ومقاومتها للضغط.

شكل (٣-٢٣) بعض انواع الركام خفيف الوزن.

٣-١١ الخرسانة الثقيلة Heavy Weight Concrete

وهى خاصة بالوقاية من الإشعاع الذرى والنووى حيث تتناسب قدرة الخرسانة لإمتصاص هذه الإشعاعات مع وزنها أو كثافتها وبالتالى تكون حوائط وبلاطات الأرضيات والأسقف من الخرسانة الثقيلة. وتصنع الخرسانة الثقيلة من ركام من مواد ثقيلة من خامات الحديد أو خام الرصاص. وتجدر الإشارة أن خام الحديد يعطى خرسانة وزنها من ٣٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ كج/م^{٣} ، وقد تستخدم قطع من الحديد كركام وتصل كثافة خرسانتة الى ٥٦٠٠ كج/م^{٣}. ومن الممكن أيضاً إستخدام النواتج الثانوية للفرن العالى مثل جلخ المحولات الأكسجينية وخردة سى لإنتاج خرسانة ذات كثافة حوالى ٢٨٠٠ كج/م^{٣}. ويستخدم فى بعض الأحيان ركام من صخر السربنتين (سليكات الماغنسيوم المماهة) وبصفة عامة فلابد لركام الخرسانة ثقيلة الوزن أن يوفى بمتطلبات الكثافة والتركيب وذلك للوقاية من الإشعاع . ويستخدم الأسمنت البورتلاندى العادى ولكن يفضل الأسمنت منخفض الحرارة فى حالة الخرسانة الكتلية ثقيلة الوزن كما لا يستخدم الأسمنت سريع التصلد. أيضاً لا تستخدم إضافات المعجلات أو إضافات الهواء المحبوس وإنما يمكن إستخدام الملدنات و المؤجلات.

ونظراً لأن الركام المكون من قطع الحديد يميل دائماً إلى الإنفصال عند خلطه أو صبه بالطرق التقليدية فإنه يفضل إستخدام الخرسانة الثقيلة سابقة الرص Prepacked Concrete والتى تعتبر أكثر مناسبة فى هذه الحالة. وتصنع الخرسانة سابقة الرص من دفع وضخ المونة خلال فراغات ركام نظيف ومرصوص و مدموك جيداً و مشبع بالماء. وعندما تضخ المونة خلال القوالب أو الفرم فتزيح ما بها من ماء وهواء وتملأ الفراغات وبذلك تنتج خرسانة ذات كثافة عالية بها نسبة عالية من الركام. ويميز هذه الخرسانة سهولة صبها فى بعض المناطق أو الأحوال التى يصعب فيها صب الخرسانة التقليدية.

٣-١٢ الخرسانة الكتلية Mass Concrete

وهى خرسانة ذات كتل كبيرة مثل خرسانة السدود والخزانات الأرضية أو أى خرسانة بحيث يكون حجمها من الكبر بحيث يتطلب ذلك أخذ الإحتياطات من تولد الحرارة الناتجة من إماهة الأسمنت وما يتبع ذلك من إنكماش وتشريخ للخرسانة. ويستخدم فى الخرسانة الكتلية ركام كبير قد يصل مقاسه حوالى ١٥ سم. ونظرا لوجود حرارة تفاعل عالية من الأسمنت فإنه ينبغى أخذ بعض الإحتياطات الضرورية مثل:

- إستخدام أسمنت من النوع منخفض الحرارة Low heat.
- إستخدام محتوى قليل من الأسمنت خلطة فقيرة Lean mix.
- إحلال نسبة من ١٠ إلى ٢٠% من الأسمنت بمادة بوزولانية مثل غبار السلسكا أو الرماد المتطاير.
- إستخدام الثلج المجروش بدلاً من جزء من ماء الخلط و تسمى هذه العملية بالتبريد السابق.
- وجود مواسير رفيعة من الصلب رقيق الجدران داخل الكتلة الخرسانية تمرخلالها دورات من الماء البارد لخفض الحرارة و تسمى هذه العملية بالتبريد اللاحق.
- الصب على طبقات قليلة الإرتفاع بحد أقصى واحد متر.
- العزل السطحى للخرسانة برقائق من البوليسترين أو اليوريثان وذلك بغرض تنظيم معدل هبوط الحرارة (وليس خفض الحرارة) بحيث يقل فرق الإجهاد الناتج من الهبوط السريع لدرجة الحرارة عند سطح الخرسانة وداخلها.

****