المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تقنية مدنية

تقنيات وأعمال الخرسانة

٢٠٢ مدن

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " تقنيات و أعمال الخرسانة " لمتدربي قسم" تقنية مدنية " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيدنا محمد سيد الأولين والآخرين، بعثه الله معلما وهاديا و بشيرا وداعيا إلى الله بإذنه وسراجا منيرا ، وعلى آله وصحبه، ومن تبعه بإحسان إلى يوم الدين.

أما بعد :

يعرض هذا الكتاب تقنيات و أعمال الخرسانة المختلفة و الإختبارات المعملية الخاصة بها حسب المواصفات القياسية لتدريس طلاب قسم التقنية المدنية بالكليات التقنية.

و يشمل هذا الكتاب على سبعة فصول. في الفصل الأول تم تغطية كيفية صنع، نقل، ضخ،صب، دمك و تشطيب الخرسانة. و قد خُصص الفصل الثاني لتغطية موضوع معالجة الخرسانة وتم التطرق إلى طريقة إضافة الماء بإستمرار و طريقة تغطية سطح الخرسانة لمنع فقدان الماء فقط والعوامل المؤثرة على تبخر الماء. و يتناول الفصل الثالث مختلف طرق إسراع مقاومة الخرسانة بما فيها استعمال المواد المضافة و المعالجة بالبخار. و يتناول كل من الفصل الرابع و الخامس تأثير الطقس الحار و البارد على أعمال الخرسانة و الإحتياطات اللازمة حول صنع الخرسانة و معالجتها ووقايتها. و يحتوي الفصل السادس على طريقة قيام بإختبارات جودة الخرسانة الطرية و المتصلبة في الموقع حسب المواصفات القياسية. لقد تمت تغطية دراسة كيفية القيام بإختبارات المتلفة و الغير المتلفة على الخرسانة في المنشأ في الفصل الأخير.

وتم تدعيم المادة العلمية بعدد وافر من الأمثلة التوضيحية، خصوصا في الفصل الثاني عن حساب مدة المعالجة و الفصل الثالث عن تحديد دورة معالجة بالبخار و الفصل الرابع و الخامس حساب درجة حرارة الخرسانة الطرية من خلال درجة حرارة عناصرها و الفصل السادس عن حساب مقاومة الخرسانة للشد بالطريقة البرازيلية و الانحناء. ويحتوي الفصل الأخير على أمثلة عن إختبار قلب الخرسانة. و زود الكتاب كذلك بكثير من الصور و الأشكال التوضيحية لمساعدة الطالب على فهم هذه المواضيع. و قد أستخدمت فيه الوحدات الدولية القياسية و استعمال المصطلحات باللغة الإنجليزية مما يتيح الفرصة لطالب قسم التقنية المدنية بالكليات التقنية لإستخدام مراجع أخرى في هذا المجال.

و أرجوا من الله أن أكون قد وفقت إلى تقديم ما يفيد طلاب الكليات التقنية ومايضيف جديدا إلى المؤلفات المتخصصة في هذا المجال.

والله ولي التوفيق.

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تقنية وأعمال الخرسانة

صب الخرسانة في العناصر الإنشائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة:

يتعلم الطالب في هذا الفصل على كيفية خلط الخرسانة و أنواع الخلَّاطات المستعملة. و يتعرف كذلك على عملية نقل و ضخ و صب الخرسانة في العناصر الإنشائية بالإضافة إلى أخذ بعض الاحتياطات لتفادي انفصال حبيبات الركام. و يدرس كذلك أهمية دمك الخرسانة المصبوبة على خواص الخرسانة المتصلبة و أنواع الهزازات المستعملة في هذه العملية بالإضافة إلى تشطيب الخرسانة بعد ذلك.

الأهداف: عند الانتهاء من هذا الفصل يكون للطالب القدرة على:

- التعرف على كيفية خلط و نقل و ضخ و صب الخرسانة في العناصر الإنشائية.
- العلاقة بين تكثيف الخرسانة و خواص الخرسانة المتصلبة.
- تعلم عملية تكثيف الخرسانة.
- تعلم كيفية تشطيب الخرسانة بعد دمكها.

مستوى الأداء المطلوب: أن يلم الطالب الإلمام التام بالجدارة المبينة أعلاه.

الوقت المتوقع لإنجاز الهدف: ٣ أسابيع على الأقل.

متطلبات الجدارة: اجتياز مادة خواص و اختبارات المواد.

صب الخرسانة في العناصر الإنشائية

١,١. مقدمة :

تحتوي صناعة الخرسانة على عدة مراحل:

- تصميم خلطات الخرسانة بعد اختبار مكوناتها.
- خلط مكونات الخرسانة لبضع دقائق.
- نقل الخرسانة إلى مكان الصب بطريقة صحيحة لتفادي انفصال حبيبات الخرسانة و المحافظة على تماسكها .
- صب الخرسانة في العناصر الإنشائية و دمكها لإزالة كل الفراغات الهوائية داخل الخرسانة.
- تشطيب الخرسانة.

كل هذه المراحل مهمة جدا للحصول على خواص الخرسانة المطلوبة.

٢,١. خلط الخرسانة :

عملية الخلط عبارة عن دوران و تحريك مواد الخرسانة (الركام، الإسمنت، الماء) و الهدف منها تغطية كل حبيبات الركام بعجينة الإسمنت و الحصول على خليط متجانس و يجب المحا فضة على هذا التجانس أثناء تفريغ الخرسانة من الخلاط.

يجب تنظيف مواد الخرسانة (الرمل، الركام الكبير) قبل خلطها من المواد الضارة مثل المواد العضوية و الأملاح لأن ذلك قد يسبب تآكل الحديد.

بعد ذلك تصب المواد الجافة (الرمل، الركام الكبير، الإسمنت) بعد وزنها في الخلاطة و تخلط عدة مرات ثم يضاف الماء بنسب معينة و يجب الأخذ بعين الاعتبار الماء الموجود على سطح الركام (خاصة في فصل الشتاء) أو إن كان الركام جافا جدا (الأجواء الحارة).

تحدد نسبة الماء إلى الإسمنت (water/cement ratio) حسب نوع الخرسانة المطلوبة (جدول رقم ١,١).

جدول رقم ١,١: العلاقة بين معدل مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم و نسبة الماء إلى الإسمنت طبقا للمواصفات الأمريكية.

معدل مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم (MPa)	نسبة الماء إلى الإسمنت (w/c ratio)
٢٠	٠,٧٠
٢٥	٠,٦٢
٣٠	٠,٥٥
٣٥	٠,٤٨
٤٠	٠,٤٣
٤٥	٠,٣٨

يتم خلط المواد الأولية للخرسانة بإحدى الطرق التالية:

١,٢,١. الخلّاطات اليدوي

تستعمل هذه الطريقة لخلط كميات قليلة حيث تخلط المواد على لوح خشبي بواسطة الجاروف ثلاث مرات و هي جافة ثم يضاف الماء بكميات مناسبة.

٢,٢,١. الخلّاطات الميكانيكية

يوجد ثلاث أنواع من الخلّاطات الخرسانية:

- **خلّاطات العبوة الواحدة:** هذا النوع هو الأكثر استعمالا حيث تعبأ الخلاطة بمواد الخرسانة و تخلط ويتم التفريغ قبل البدء في الخلطة الثانية.
- **الخلّاطات المستمرة:** يستعمل هذا النوع لإنتاج الخرسانة باستمرار (دون توقف) و هذه الطريقة يصعب الحصول فيها على خرسانة متجانسة.
- **الخلط في العربة:** يتم خلط المواد الناشفة في الخلّاطات المركزية و بعد ذلك يضاف الماء و يخلط المزيج في العربة أثناء النقل أو مباشرة قبل صب الخرسانة.

تصل سعة الخلَّاطات إلى ١٣ متر مكعب أما سعة الخلَّاطات الموجودة في المعمل (شكل رقم ١,١) هي ٠,٠٠٤ متر مكعب. يجب الإشارة أن حجم الخرسانة قبل الخلط (الإسمنت + الركام + الماء) يختلف عن حجم الخرسانة بعد الخلط و الدمك. و يزيد الحجم في حالتها الأولى عن حجم الخرسانة المكثفة بحوالي ٥٠ %.

شكل رقم ١,١: يبين إحدى الخلَّاطات المعملية.

٣,٢,١. زمن الخلط: Mixing time

العوامل التي تؤثر على زمن الخلط هي:

- نوع الخلاطة
- سرعة دوران الخلاطة
- حجم الخرسانة داخل الخلاطة.
- طبيعة مواد الخرسانة.

يتراوح زمن الخلط أقل من دقيقة واحدة إلى ١,٢٥ دقيقة حيث ينتج عنه خرسانة غير متجانسة و مقاومتها ضعيفة. يكون زمن الخلط في الخلاط في حدود دقيقة واحدة للمتر المكعب الواحد للخرسانة و تضاف ربع دقيقة لكل متر مكعب للخرسانة المضافة. جدول رقم ١,٢ يعطي قيم زمن الخلط لعدة أحجام مختلفة للخرسانة.

جدول ٢,١: توصيات زمن الخلط طبقا للمواصفات الأمريكية

حجم الخلَّاط (م^3)	زمن الخلط (دقيقة)
٠,٨	١
١,٥	١,٢٥
٢,٣	١,٥
٣,١	١,٧٥
٣,٨	٢
٤,٦	٢,٢٥
٧,٦	٣,٢٥

٣,١. نقل الخرسانة

يوجد عدة طرق لنقل الخرسانة من الخلاطة إلى أماكن الصب واختيار الطريقة يعتمد على كمية الخرسانة ونوع وحجم المنشأ الخرساني.

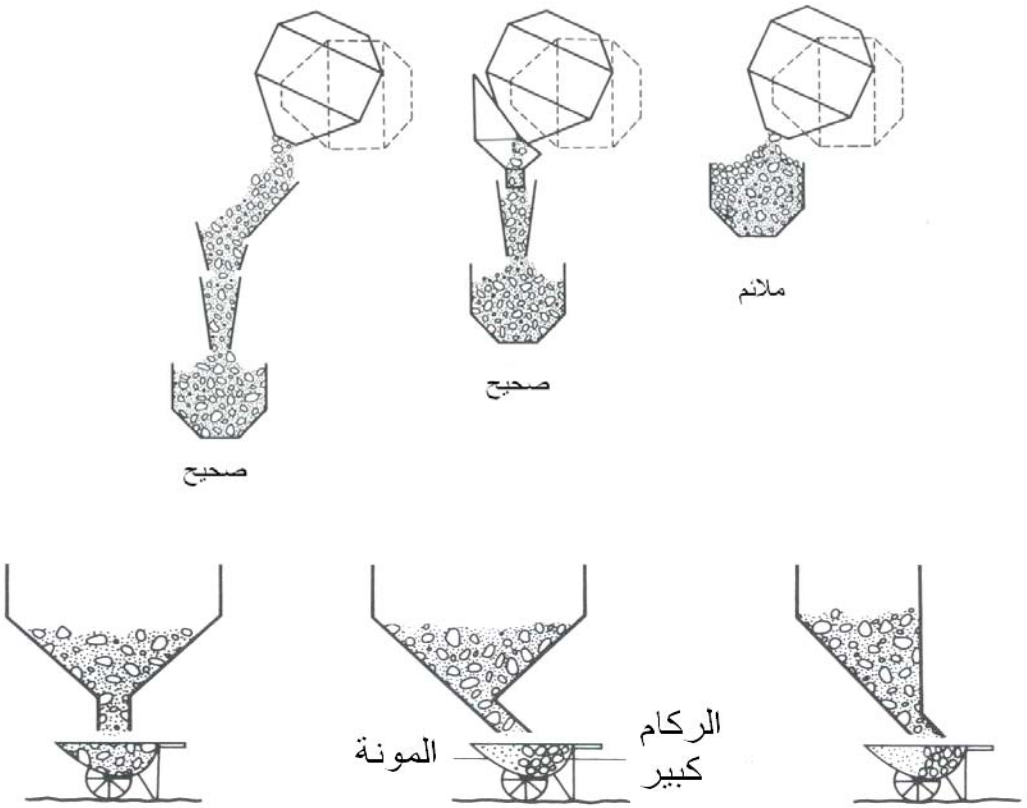
يوجد عدة اقتراحات لنقل الخرسانة:

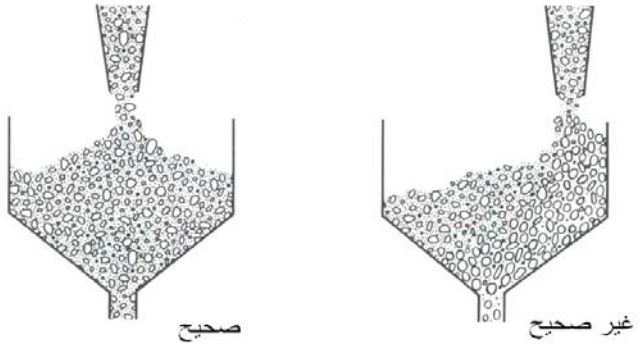
- العربة
- الدلو
- الأوعية
- السيور الناقلة
- مضخات
- العربات الخاصة

وتستعمل كذلك الروافع لنقل الخرسانة. ويجب حفظ الخرسانة أثناء النقل من أشعة الشمس والرياح وخاصة في المناطق الحارة. ويجب الأخذ بعين الاعتبار أثناء نقل الخرسانة على أن تحافظ الخرسانة على تماسكها (cohesion) واجتناب انفصال حبيبات الخرسانة.(segregation)

ويمكن تعريف انفصال حبيبات الخرسانة بهبوط الركام إلى الأسفل و بقاء الحبيبات الصغيرة والماء في الأعلى و ذلك يؤدي إلى ضعف مقاومة الخرسانة.

يوضح شكل رقم ٢,١ بعض الطرق السلبية والإيجابية في نقل الخرسانة من مكان إلى مكان آخر لتفادي انفصال حبيبات الخرسانة.





شكل رقم ٢,١: بعض الطرق السلبية والإيجابية في نقل الخرسانة.

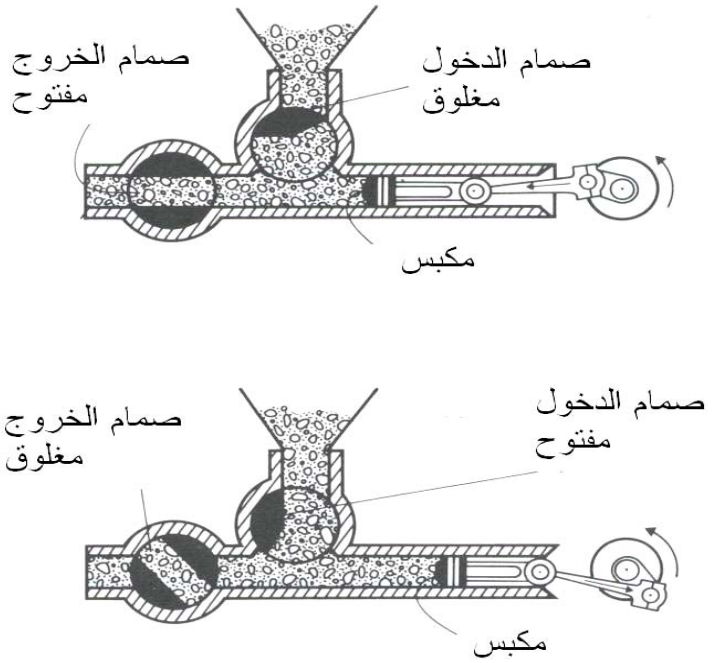
٤,١. ضخ الخرسانة

أصبحت الآن كميات كبيرة من الخرسانة يتم نقلها بواسطة ضخها عن طريق مواسير لمسافات طويلة إلى مكان الصب (شكل رقم ٣,١). وتستعمل هذه الطريقة عند استحالة نقل الخرسانة بالطرق الأخرى. ويمكن ضخ الخرسانة بنجاح على مسافات طويلة مثلا أكثر من ٤٢٠ م أفقيا و ٤٠ م عموديا وهذه المسافات في ازدياد مع تطور تكنولوجية الأجهزة والتجربة. شكل رقم ٤,١ يبين جهاز ضخ الخرسانة.

شكل رقم ٣,١: صب الخرسانة من خلال أنبوب بواسطة الضخ.

طريقة عمل الجهاز: بعد دخول الخرسانة في المضخة يُفتح صمام الخروج ويغلق صمام الدخول وعند تحرك المكبس عموديا و بعد عدة سلسلات من قوة الدفع تخرج الخرسانة خلال الأنابيب إلى مكان صب الخرسانة.

يمكن ضخ كمية ٦٠ م^{٣} من الخرسانة في الساعة من خلال أنابيب قطرها ٢٢٠ مم.



شكل رقم٤,١: جهاز ضخ الخرسانة.

وتعتمد هذه المسافات على عدة عوامل:

١) قدرة المضخة.

٢) قطر الأنابيب.

٣) عدد إعاقات الجريان المنتظم للخرسانة.

٤) سرعة الضخ.

٥) خواص الخرسانة المستعملة.

يجب أن يكون القطر الداخلي للأنابيب على الأقل ثلاث مرات أكبر من مقاس الركام الأكبر المستعمل. مثلا عند استعمال ركام ٢٥ مم يجب أن يكون قطر الأنابيب أكبر من ٧٥ مم.

الخلطات المناسبة للضخ هي التي لا تكون جافة جدا أو مبللة جدا وتكون قابلية تشغيل الخرسانة محددة باختبار الهبوط بين ٤٠ و ١٠٠ مم أو معامل الدمك بين ٠,٩٠ و ٠,٩٥. عملية الضخ تسبب عادة دمك جزئي للخرسانة و بذلك يقل اختبار الهبوط من ١٥ إلى ٢٥ مم. الالتزام بقابلية تشغيل معينة ضروري لتفادي الاحتكاك الزائد داخل الأنبوب بالنسبة للخلطات الجافة جدا أو حدوث انفصال حبيبات الركام بالنسبة للخلّاطات المبللة جدا.

من بين الصعوبات التي يتعرض لها العمال هي إنسداد الأنابيب كليا أو جزئيا في بعض الأحيان في حالة صعوبة تحرك الخلطة أمام المكبس و ذلك في حالة الخرسانة الغير المتماسكة مع بعضها البعض. و بالتالي يستدعي تنظيف الأنبوب أو تغييره في أسرع وقت قبل أن تجف الخرسانة. لذلك يجب استخدام العدد الكافي من العمال في حالة صب الخرسانة بواسطة الضخ.

٥,١. صب الخرسانة :

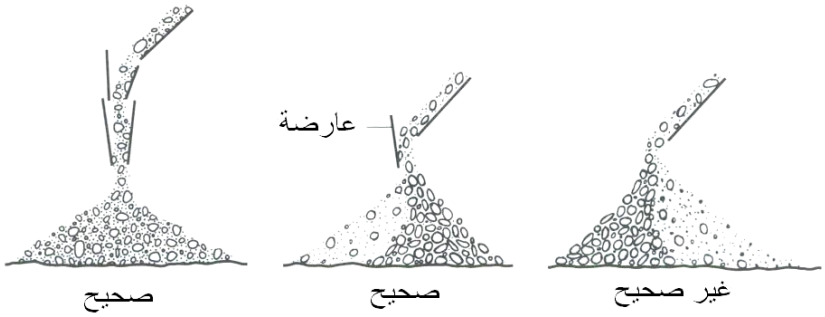
تعتبر عملية صب و دمك الخرسانة عمليتين مترابطتين مع بعضهما البعض، ويتم عادة تنفيذهما في نفس الوقت. صب الخرسانة ودمكها مُهما جدا للحصول على مقاومة عالية للخرسانة والتقليل من نفاذية الخرسانة و بالتالي ديمومة عالية للخرسانة الصلبة في المنشأ. من بين العوامل المؤثرة على نفاذية الخرسانة هي طريقة خلط و صب و دمك الخرسانة.

يجب أخذ بعض الاحتياطات قبل صب الخرسانة :

- رش سطح الأرض بالماء للتقليل من امتصاص الرطوبة من الخرسانة وخاصة في الأجواء الحارة.
- عند الصب فوق خرسانة قديمة يجب التأكد من السطح العلوي للخرسانة أن يكون خشن أو مبلل بالماء، لضمان ربط جيد بين الطبقتين.
- التأكد من ربط الشدات حسب المواصفات لتتحمل الضغط الناتج عن صب الخرسانة وخاصة في حالة صب الخرسانة في الجدران الرفيعة. كما هو معروف أن الضغط يزيد بازدياد عمق الخرسانة.
- التأكد من أن حديد التسليح نظيف لضمان ترابط جيد للخرسانة مع حديد التسليح.

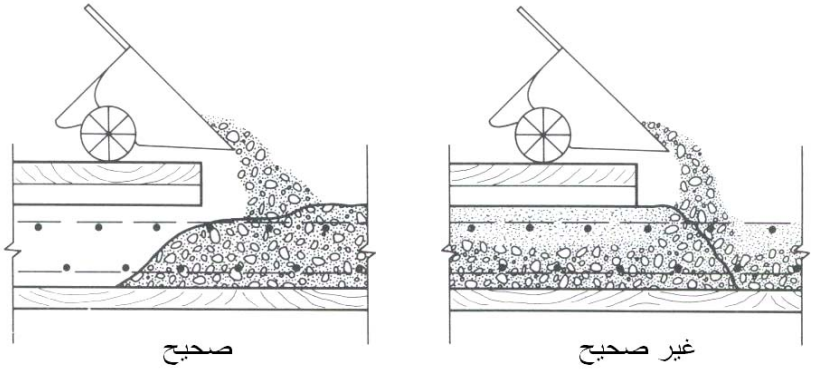
يجب صب الخرسانة من أقرب مكان (شكل رقم ٥,١) لتفادي حدوث إنفصال حبيبات الركام والحصول على الدمك الكامل لذلك يجب أخذ بعض الاحتياطات في عملية صب الخرسانة. يجب صب الخرسانة رأسيا مباشرة فوق الخرسانة التي سبق صبها وليس بالجانب (شكل رقم ٦,١).

شكل رقم ٥,١: صب الخرسانة من أقرب مكان (العربة)

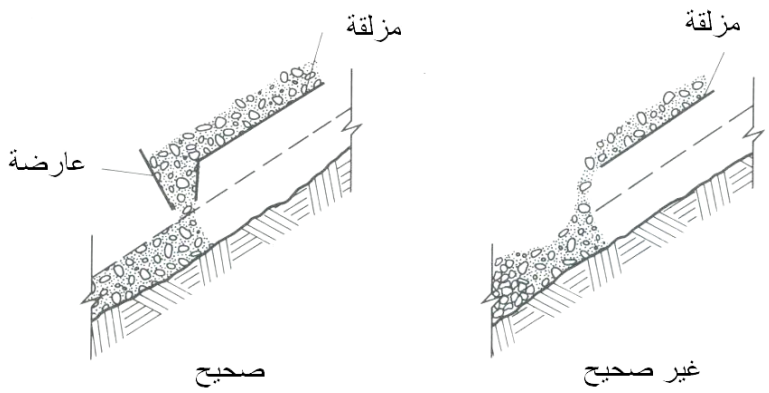


شكل رقم ٦,١: طريقة صب الخرسانة لتفادي انفصال حبيبات الركام

عند صب البلاطات الأفقية أو المائلة، يجب تفريغ الخرسانة في وجه التي سبق وضعها من قبل (شكل رقم ٧,١ و ٨,١).



شكل رقم ٧,١: طريقة صب الخرسانة (من العربة) لتفادي انفصال حبيبات الركام.



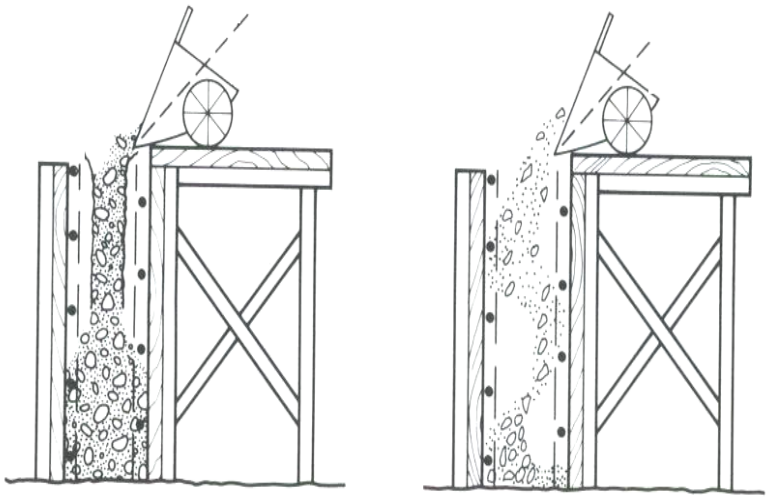
شكل رقم ٨,١: صب الخرسانة على أسطح مائلة.

صب الخرسانة في الأعمدة والجدران:

في حالة صب الخرسانة في الأعمدة والجدران متوسطة الارتفاع يتم إسقاط الخرسانة مباشرة من الأعلى ويجب تجنب اصطدام الخرسانة بجوانب الشدة (.شكل رقم ٩,١). بينما في حالة صب الخرسانة في الأعمدة و الجدران العميقة، ينصح بعدم رمي الخرسانة من الأعلى إلى الأسفل لأنه ينتج عن ذلك نوع من انفصال حبيبات الركام وبالتالي يقع الركام في أسفل الأعمدة فتترك العجينة الإسمنتية وكمية من الماء في الأعلى. و بالتالي تكون مقاومة الخرسانة في الأعلى ضعيفة جدا وحتى مقاومة التماسك مع حديد التسليح ضعيفة لذلك ينصح باستعمال أنبوب طويل يصل إلى الأسفل (.شكل رقم ١٠,١). ففي هذه الحالة تنتج دقة في وضع الخرسانة مع تفادي إنفصال حبيبات الركام.

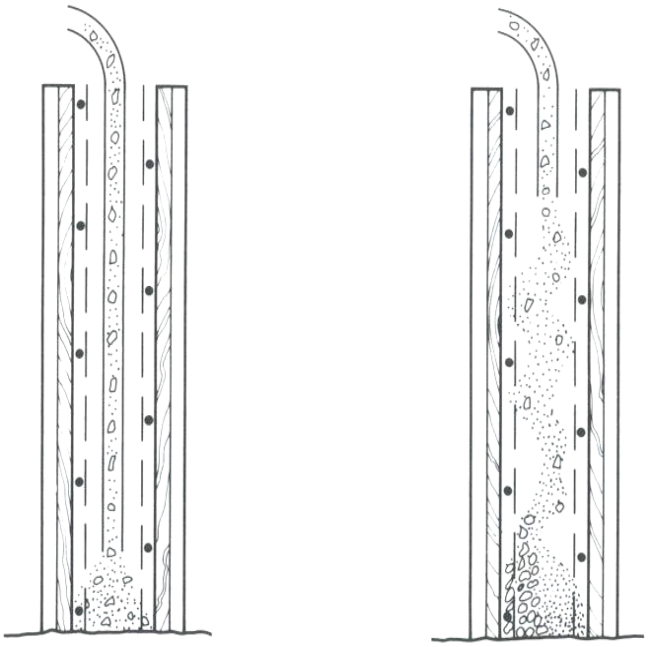
وتكون عادة سرعة صب الخرسانة أكبر من ٢ متر في الساعة لتفادي تكوين فواصل الصب. وتصب الخرسانة على طبقات ويكون سمك الطبقات مطابق لطريقة الدمك حتى يسمح بطرد الفراغات الهوائية. ويكون عادة سمك كل طبقة حوالي ٥٠ سم على الأكثر. ويتم دمك كل طبقة كليا قبل صب الطبقة التالية. عند صب الطبقة اللاحقة يجب أن تكون الخرسانة الموجودة سابقا مازالت لدنة حتى يحدث ترابط جيد بينهما ولتفادي حدوث فواصل الصب.

ويمكن صب الخرسانة من خلال فتحات جانبية لتجنب سقوط الخرسانة من مسافات عالية في حالة الأعمدة و الجدران الرفيعة.



غير صحيح صحيح

شكل رقم ٩,١: صب الخرسانة في الأعمدة و الجدران من المجاري أو العربا ت.



غير صحيح صحيح

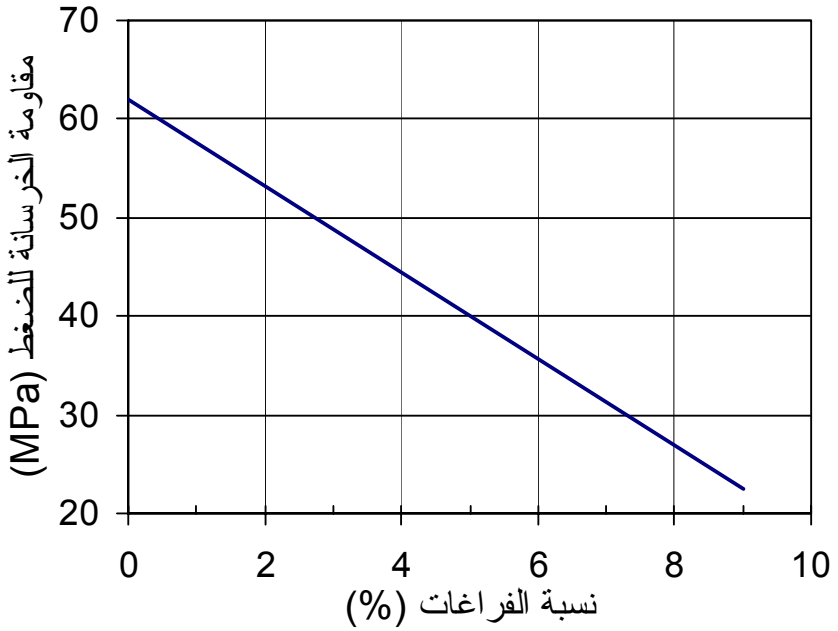
شكل رقم ١٠,١: صب الخرسانة في الأعمدة و الجدران العميقة باستعمال الأنابيب.

٦,١. دمك الخرسانة:

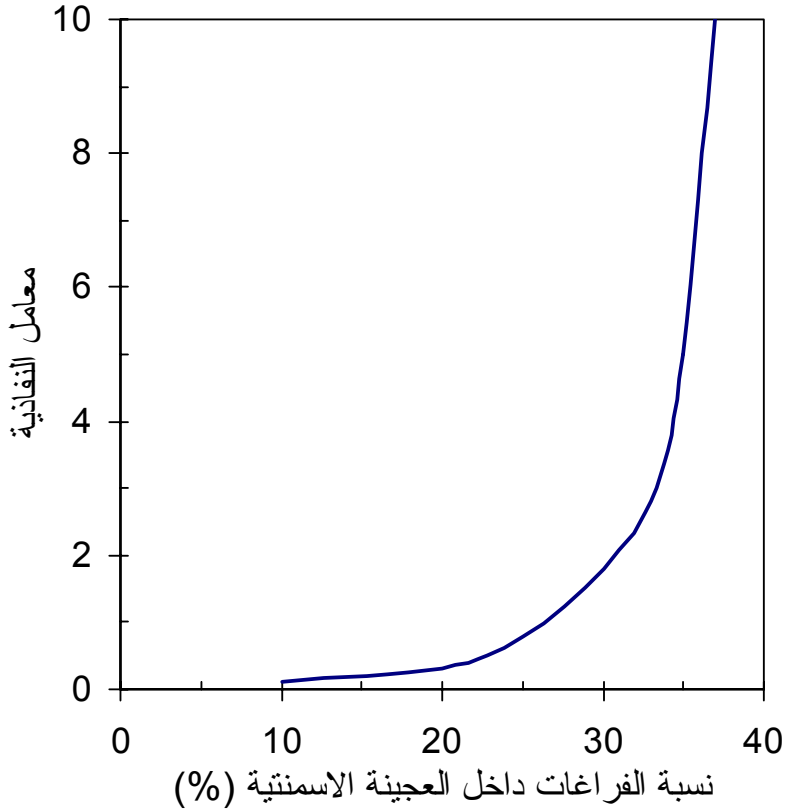
الهدف الرئيسي من دمك الخرسانة هو إزالة الفراغات الهوائية داخل الخرسانة الطازجة وكذلك زيادة في تماسكها مع حديد التسليح. وذلك للحصول على خرسانة متصلبة بأقل حجم من الفراغات وبالتالي مقاومة عالية وانخفاض في خاصية نفاذية الخرسانة وزيادة في تحمل الخرسانة (durability) للظروف المعرضة لها في الطبيعة. يبين شكل رقم ١١,١ تأثير الزيادة في نسبة الفراغات داخل الخرسانة على مقاومة الخرسانة للضغط. فالزيادة في حجم الفراغات بقيمة ٥ % تؤدي إلى انخفاض في مقاومة الخرسانة بحوالي ٣٠ %. يبين شكل رقم ١٢,١ العلاقة بين نسبة الفراغات و عامل نفاذية الخرسانة. زيادة في الفراغات من ٣٠ % إلى ٣٥ % يؤدي إلى زيادة في نفاذية الخرسانة (permeability) بحوالي أربع مرات.

من خلال النتائج المبينة في الشكلين رقم ١٠,١ و ١١,١ يظهر مدى أهمية إزالة كل الفراغات الهوائية من داخل الخرسانة الطرية و بالتالي يجب تكثيفها من أجل الحصول على مقاومة عالية للخرسانة الصلبة.

يوجد طريقتان لدمك الخرسانة : الدمك اليدوي أو الميكانيكي. و من المفروض أنه يمكن للطريقتان إعطاء نتائج عالية أي خرسانة ذات جودة عالية.



شكل رقم ١١,١: العلاقة بين نسبة مقاومة الخرسانة للضغط و نسبة الفراغات داخل الخرسانة.



شكل رقم ١٢,١: العلاقة بين نسبة الفراغات و عامل الإنفاذية للخرسانة.

١,٦,١. الدمك اليدوي:

يستخدم في عملية الدمك اليدوي قضبان من الخشب أو الحديد و يكون طويلا بحيث يصل إلى قاع الخرسانة و يكون بسمك بحيث يسمح بمروره خلال حديد التسليح و بالتالي توزيع الخرسانة بين حديد التسليح. و تستمر عملية دمك الخرسانة يدويا لحين خروج فقاعات الهواء من داخل الخرسانة.

٢,٦,١. الدمك الميكانيكي:

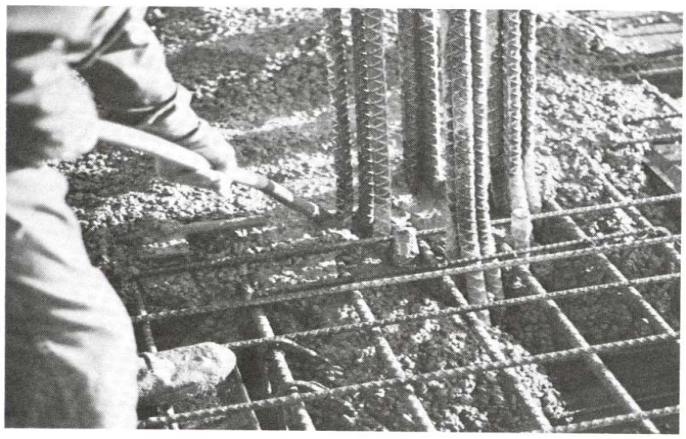
على العموم نوع خلّاطات الخرسانة هي التي تحدد طريقة دمك الخرسانة. مثلا لا يفضل استعمال الطرق الميكانيكية عندما يمكن تكثيف الخرسانة يدويا (مثلا في حالة الخرسانة السائلة). مع أن في بعض الأحيان يجب استعمال التكثيف الميكانيكي مثلا في الخرسانة الجافة جدا أين يستحيل دمكها يدويا.

يستعمل في هذه الطريقة أجهزة هزازة (vibrators) و تنقسم إلى ثلاث أقسام:

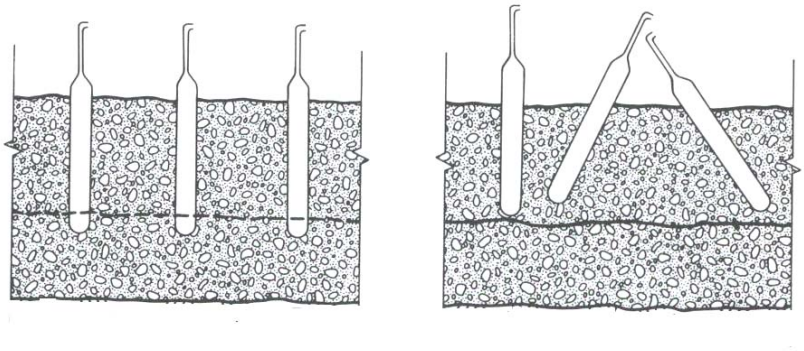
٣,٦,١. الهزازات الداخلية: (internal vibrators)

الهزازات الداخلية هي الأكثر استعمالا و تستعمل في جميع أنواع المنشآت (شكل رقم ١٣,١). و تحتوي على رأس هزاز و محرك. تتراوح عادة ذبذبات الهزاز بين ٧٠ و ٢٠٠ Hz. يجب تحريك الهزازات بسهولة من مكان إلى مكان آخر (المسافة تتراوح بين ٠,٥ إلى ١ م) حتى يتحقق دمك الخرسانة بالكامل. من أجل الحصول على نتائج جيدة من عملية إخراج الفراغات الهوائية من داخل الخرسانة يجب غطس الهزاز عموديا و بسرعة خلال عمق الخرسانة المصبوبة حديثا و كذلك داخل طبقة الخرسانة التي تحتها (على الأقل بعمق ١٥٠ مم) إذ مازالت لدنة لحصول على ربط جيد بين الطبقتين (شكل رقم ١٤,١). و يجب الإشارة أنه يصعب إخراج الفقاعات الهوائية من أسفل طبقة الخرسانة إذا كان عمقها يزيد عن ٠,٥ م.

مدة التكثيف بالهزاز تتراوح بين ١٠ و ٢٠ ثانية ثم يرفع الهزاز ببطأ. و يتحقق الدمك الكامل حتى تظهر طبقة رقيقة من عجينة الإسمنت فوق السطح و بالتالي يتوقف الدمك. ولا يجب استعمال الهزاز لمدة أكبر من اللازم (over-vibration) لأن ذلك يسبب انفصال حبيبات الركام (segregation). يجب تجنب تحريك الخرسانة أفقيا باستعمال الهزاز.



شكل رقم ١٣,١: استعمال هزاز داخلي لتكثيف الخرسانة داخل عمود يحتوي على حديد تسليح مكثف.



صحيح غير صحيح

شكل رقم ١٤,١:الوضعية الصحيحة للهزاز الداخلي لتكثيف الخرسانة.

٤,٦,١. الهزازات الخارجية: (external vibrators)

يثبت هذا النوع من الهزازات على الشدة من الخارج و بالتالي تهتز الهزازات و الشدة معا. و بتحريك الهزاز حول الشدة يتم دمك جميع أنحاء الخرسانة و يجب تجنب الاهتزازات الزائدة حتى لا تتلف الشدة. لذلك يجب أن تكون الشدة صلبة و قوية و متماسكة حتى لا يخرج الماء من الخرسانة و ينصح باستخدام الشدات الحديدية في حالة استعمال الهزازات الخارجية. و يستعمل عادة الهزازات الخارجية في مقاطع المنشآت الرقيقة و تحتوي على حديد تسليح مكثف و بالتالي يصعب إدخال الهزاز الداخلي و تحريكه في قلب الخرسانة. تتراوح ذبذبات الهزات من ٥٠ إلى ١٥٠ Hz.

في حالة صب الخرسانة على طبقات يجب أن لا تكون الطبقات عميقة جدا حتى يسهل إخراج الفراغات الهوائية من داخلها. يفضل تغيير مكان الهزاز مع الصب المستمر. و تعد عادة الهزازات الخارجية أقل تأثير من الهزازات الداخلية.

٥,٦,١. مناضد الهز: (vibrator tables)

مناضد الهز تعطي نتائج جيدة في دك الخرسانة سابقة الصب (precast concrete) و تحقيق تكثيف موزع بانتضام. يثبت الهزاز في أسفل المنضدة و باستعمال محرك يعطي حركة رأسية فقط للمنضدة و بالتالي تنتقل الهزات إلى القوالب و الخرسانة الموضوعة فوق المنضدة. يستعمل عادة هذا النوع من الهزازات في المختبر. تتراوح ذبذبات الهزات بين ٢٥ و ١٢٠ Hz.

٦,٦,١. **عملية إعادة الهز:** (revibration)

تعاد عملية الهز بعد ساعة إلى ساعتين بعد صب الخرسانة مما يزيد في مقاومة الخرسانة بحوالي ١٥ %. و لكن القيمة الحقيقية تعتمد على الدرجة التشغيلية للخرسانة.

عملية إعادة الهز تؤدي إلى طرد الماء الصاعد إلى سطح الخرسانة (bleeding) بعد عملية الدك و في غالب الأحيان هذا الماء الصاعد يبقى مباشرة تحت حديد التسليح أو تحت الركام الكبير مما يؤدي إلى ضعف التماسك الخرسانة مع حديد التسليح. لذلك عملية إعادة الهز مفيدة في زيادة مقاومة ربط الخرسانة مع الحديد.

و هذه العملية مفيدة كذلك لتماسك الطبقة العليا من الخرسانة المصبوبة حديثا بالطبقة السفلى. لأنها تزيل الماء الصاعد من الطبقة السفلى. كما هو معروف عند صعود الماء إلى سطح الخرسانة يؤدي إلى ارتفاع نسبة الماء إلى الإسمنت و بالتالي تنخفض مقاومة الخرسانة.

٧,١. تشطيب الخرسانة:

عدة تقنيات طُورت لتشطيب أسطح الخرسانة مثل البلاطات و الطرق. الهدف من هذه العملية هو إنتاج خرسانة مكثفة حتى تتحمل الظروف المعرضة لها في الطبيعة. يجب الإشارة أنه ليس من أهداف عملية التشطيب تحسين الخرسانة الغير مصممة جيدا. عملية التشطيب المتسلسلة هي كما يلي:

- يتم تسوية سطح الخرسانة بإزالة الخرسانة الزائدة. و يتم ذلك يدويا بواسطة القدد أو بآلات ميكانيكية (شكل رقم ١٥,١). بتحريك القدد فوق الخرسانة إلى الوراء و الأمام يدفع الخرسانة الزائدة إلى الأمام لملء البقع الفارغة. و يتبع هذه العملية مباشرة ردم حبيبات الركام الكبيرة و ملء أي بقع منخفضة.
- بعد تصلب الخرسانة و تبخر الماء الصاعد إلى سطح الخرسانة يتم تهذيب (floating) سطح الخرسانة يدويا (شكل رقم ١٦,١) أو باستعمال آلة ميكانيكية (شكل رقم ١٧,١). هذه العملية تؤدي إلى ردم الركام الكبير،و تكثيف سطح الخرسانة و التخلص من أي عيوب على سطح الخرسانة. و إذا تم الشروع في هذه العملية قبل تصلب الخرسانة أو بعد تصلبها بمدة طويلة يمكن حدوث ضرر لسطح الخرسانة.
- يمكن صقل سطح الخرسانة بعد أن يتم تهذيبها لهدف الحصول على سطح ناعم و كثيف.

شكل رقم ١٥,١: تهذيب سطح الخرسانة باستعمال آلة ميكانيكية

شكل رقم ١٦,١: تهذيب سطح الخرسانة يدويا بواسطة ملاسة.

شكل رقم ١٧,١ : تهذيب سطح الخرسانة ميكانيكيا باستعمال آلة التهذيب.

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تقنيات وأعمال الخرسانة

معالجة الخرسانة

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة:

يتعرف الطالب على الأنواع المختلفة لمعالجة الخرسانة و المواد المختلفة المستعملة. و يدرس كذلك أهمية المعالجة على خواص الخرسانة المتصلبة و كيف يتم تحديد مدة المعالجة اللازمة.

الأهداف: عند الانتهاء من هذا الفصل يكون للطالب القدرة على:

- معرفة الطرق المختلفة لمعالجة الخرسانة (طريقة إضافة الماء باستمرار و طريقة تغطية سطح الخرسانة لمنع فقدان الماء).
- التعرف على المواد المستعملة لعملية معالجة الخرسانة.
- تحديد مدة المعالجة
- معرفة العوامل المؤثرة على تبخر الماء من سطح الخرسانة.

مستوى الأداء المطلوب: أن يلم الطالب الإلمام التام بالجدارة المبينة أعلاه.

الوقت المتوقع لإنجاز الهدف: أسبوعان على الأقل.

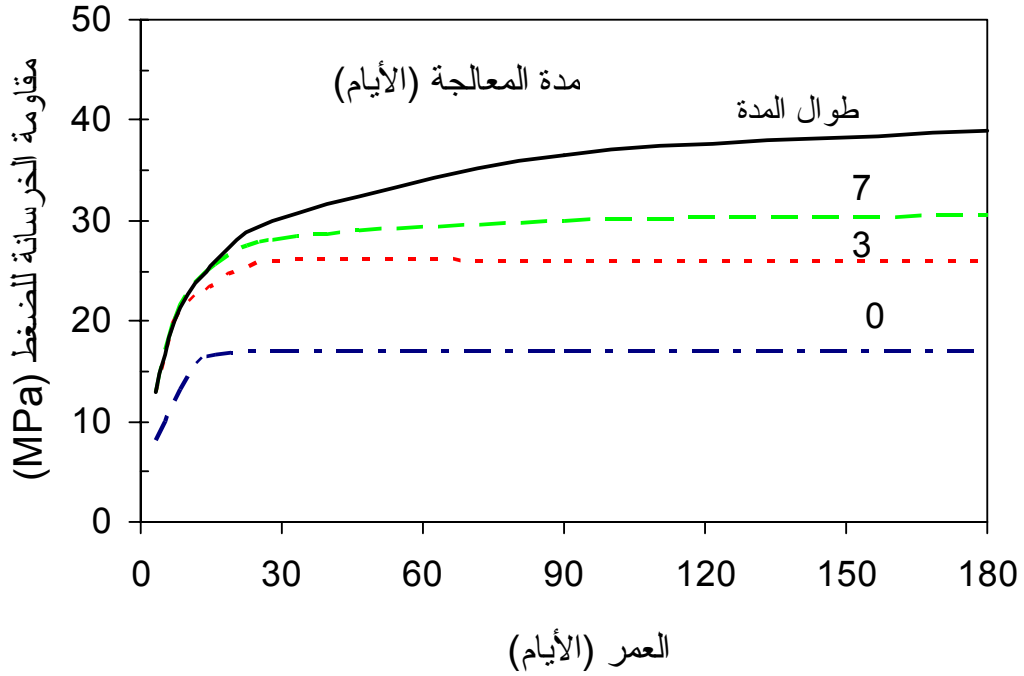
متطلبات الجدارة: اجتياز مادة خواص و اختبارات المواد.

١,٢. مقدمة

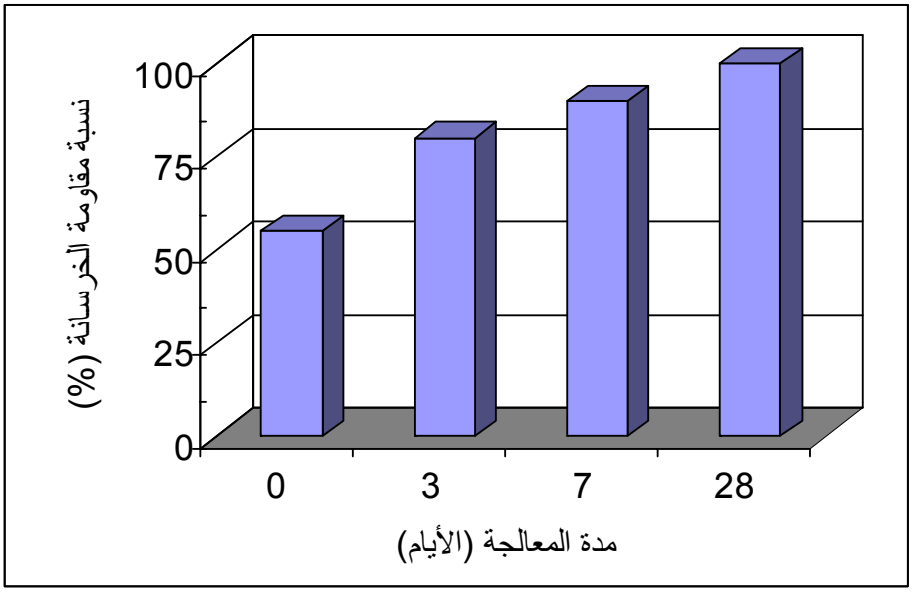
معالجة الخرسانة (بعد صبها وبعد انتهاء فترة زمن الشك) هي عملية ضرورية لإنتاج خرسانة ذات جودة عالية. الهدف منها وقاية الخرسانة ضد الجفاف المبكر لكي تعطي في النهاية الخواص المطلوبة مثل المقاومة المطلوبة (شكل رقم ١,٢) و الديمومة العالية و تحسين لانفاذية الخرسانة للسوائل.

معالجة الخرسانة تعني مراقبة كمية الرطوبة و درجة الحرارة على سطح الخرسانة بعد صبها لمنع الجفاف و الانكماش. عادة كمية من الماء تفقد من المونة الإسمنتية عن طريق تبخر الماء أو جزء من الماء يُمتص بواسطة حبيبات الركام. وذلك يؤثر على إتمام عملية التفاعلات و كذلك على نمو مقاومة الخرسانة.

وُجد أن مقاومة الخرسانة المعالجة لمدة ثلاثة أيام فقط تكون حوالي ٧٥ % من مقاومة الخرسانة التي تم معالجتها لمدة ٢٨ يوما (شكل رقم ٢,٢).



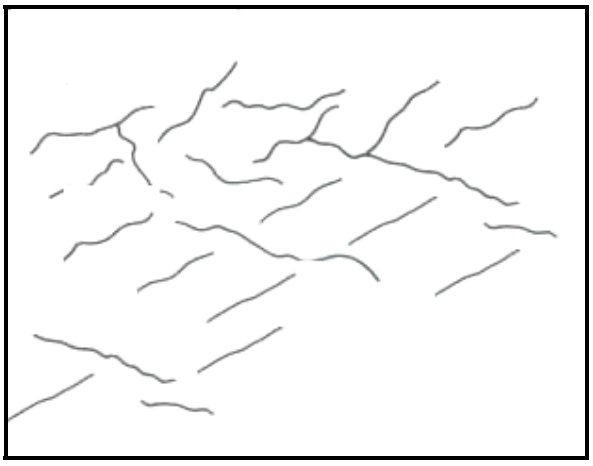
شكل رقم ١,٢: العلاقة بين مقاومة الخرسانة و مدة المعالجة.



شكل رقم ٢,٢.: تأثير مدة المعالجة على نسبة مقاومة الخرسانة بعد ٢٨ يوم

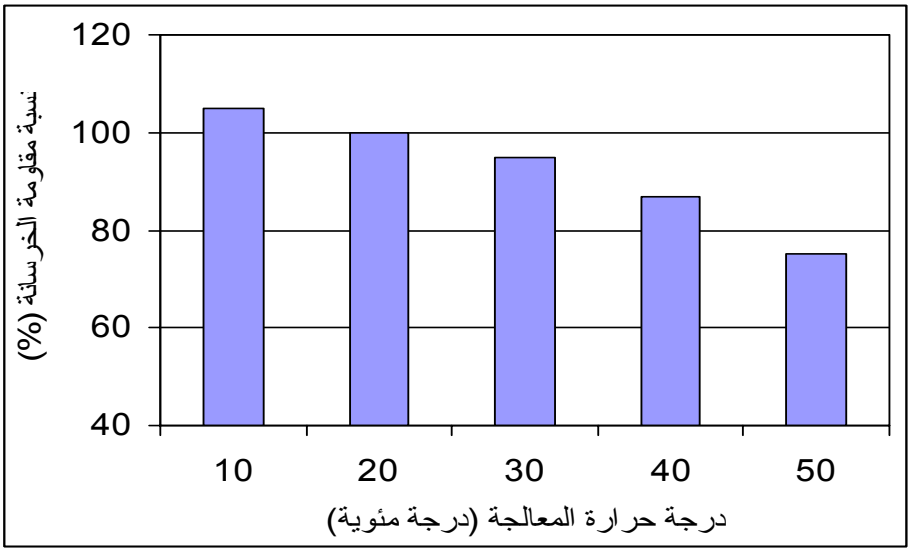
٢,٢. العوامل المؤثرة على تبخر الماء:

تبخر الماء من سطح الخرسانة في المراحل الأولى بعد صبها تعتمد على درجة حرارة و رطوبة الهواء وكذلك سرعة الرياح و على هذا الأساس يجب أن تكون كمية الماء المتبخر أقل من ٠,٥ كغ/م^{٢} في الساعة لتفادي حدوث تشققات اللدنة (شكل رقم ٣,٢).



شكل رقم ٣,٢ : تشققات اللدنة.

كلما زادت درجة حرارة الخرسانة أثناء المعالجة زادت أيضا سرعة تبخر الماء من سطح الخرسانة. يبين الشكل رقم ٤,٢ تأثير درجة حرارة المعالجة على مقاومة الخرسانة. ويظهر أنه كلما زادت درجة الحرارة زادت مقاومة الخرسانة المبكّرة. ولكن المقاومة بعد ٢٨ يوما تضعف كلما زادت درجة الحرارة.



شكل رقم ٤,٢ : تأثير درجة حرارة المعالجة على مقاومة الخرسانة بعد ٢٨ يوما.

٣,٢. طرق المعالجة :

يوجد عدة طرق و مواد تستعمل في معالجة الخرسانة بعد الصب. يمكن تقسيم المعالجة إلى قسمين.

- طريقة إضافة الماء باستمرار.
- طريقة تغطية سطح الخرسانة لمنع فقدان الماء فقط.

١,٣,٢. طريقة إضافة الماء باستمرار:

يمكن إضافة الماء باستمرار عن طريق غمرالخرسانة أو رشها أو استعمال أغطية مبللة.

a) **طريقة الغمر:**

تستعمل طريقة غمر الخرسانة بالماء في حالة الأسطح الأفقية و ذلك يجعل وجود طبقة من الماء. أصبحت هذه الطريقة نادرا ما تستعمل لأنها تحتاج إلى عدد كبير من العمال و تتطلب عناية

كبيرة. ويصعب استعمال هذه الطريقة في حالة الأسطح المائلة لذلك يجب استعمال سد من التربة أو الرمل على الأطراف حتى يساعد على حجز طبقة من الماء فوق سطح الخرسانة.

b) **طريقة نثر الماء:**

جعل طبقة رقيقة من الماء بشكل مستمر على سطح الخرسانة تعد من أنجع الطرق لمعالجة الخرسانة وخاصة عند توفر كمية هائلة من الماء. و تستعمل في هذه الطريقة عادة شبكات من الناثرات أو الرشاشات.

يجب استعمال المعالجة بنثر الماء بطريقة مستمرة لأن توقف نثر الماء بين الفترات قد يسبب الجفاف على سطح الخرسانة. هذه الطريقة تتطلب كذلك عناية دقيقة.

c) **طريقة الأغطية المبللة:**

استعمال أغطية مبللة بالماء فوق سطح الخرسانة مع مراقبة تبخر الماء تعد طريقة أخرى لمعالجة الخرسانة بالماء ، و توضع هذه الأغطية في أغلب الأحيان بعد بداية تصلب الخرسانة. ومادة الخيش أو غيرها من المواد الماصة للماء تستعمل بكثرة لتغطية سطح الخرسانة العمودي أو الأفقي. و يستعمل كذلك التراب أو الرمل المشبع بالماء على المساحات الخرسانية الأفقية. و تجدر الإشارة بأن هذه الطريقة تحتاج إلى تبليل الأغطية باستمرار (شكل رقم ٥,٢)، و هذا يعتمد على درجة تبخر الماء من سطح الخرسانة. و عادة يتم تبليل هذه الأغطية من مرتين إلى ثلاثة مرات يوميا.

شكل رقم ٥,٢: معالجة الخرسانة بأغطية مبللة بالماء.

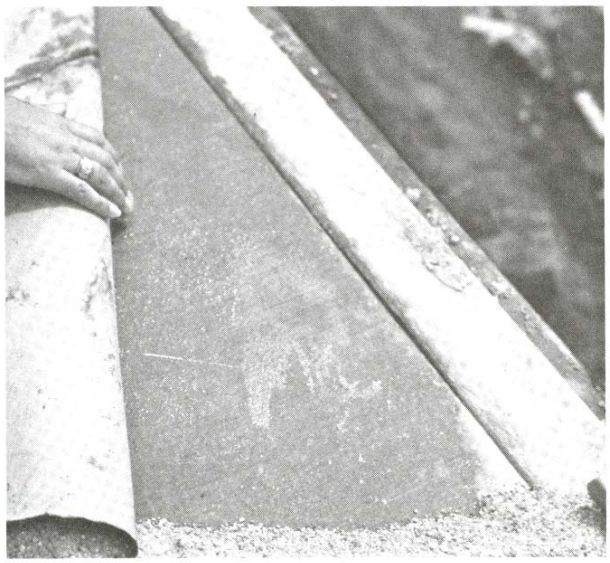
و يجب اختيار طريقة المعالجة للخرسانة المناسبة و خاصة عند استعمال الإسمنت البورتلاندي الأبيض، و ذلك لاحتمال حدوث تلوث لسطح الخرسانة بسبب ملائمتها للمواد الكيميائية العضوية القابلة للذوبان.

٢,٣,٢. طريقة تغطية سطح الخرسانة لمنع فقدان الماء فقط:

الورق الغير نافذ و الرقائق البلاستيكية و المركبات الكيميائية هي أكثر المواد استعمالا لتغطية سطح الخرسانة لمنع تبخر الماء.

a) الورق غير النفاذ:

يتكون الورق غير النافذ من ورق مقوى على شكل لفات و يجب استعماله بمجرد تصلب سطح الخرسانة بقدر كاف و هذا لتفادى أي تلف ممكن على سطح الخرسانة (شكل رقم ٦,٢). ويكون استعماله بعد تبليل سطح الخرسانة. ويستحسن استعمال ورق أبيض لعكس أشعة الشمس و تخفيف امتصاص حرارة الشمس في فصل الصيف أو في المناطق الحارة و استعمال ورق أسود لرفع امتصاص الحرارة في فصل الشتاء أو المناطق الباردة.



شكل رقم ٦,٢: معالجة الخرسانة باستعمال الورق غير المنفذ.

b) **الألواح البلاستيكية:**

ينصح كذلك باستعمال الألواح البلاستيكية بمجرد تصلب سطح الخرسانة بقدر كاف لتفادى أي تلف ممكن على سطح الخرسانة ويكون بعد تبليلها (شكل رقم ٧,٢). الألواح البلاستيكية هي الأكثر استعمالا لأنها سهلة الالتواء والمرونة على تغطية الأشكال المعقدة. و يجب التأكد بعدم وجود ثقوب على الألواح البلاستيكية لتفادي تبخر الماء من الخرسانة. و هذا يضمن استكمال التفاعلات الكيميائية بين الإسمنت و الماء. يمكن التحام الألواح البلاستيكية من إحدى جهاته بمواد قابلة لامتصاص الرطوبة المتبخرة من الخرسانة (مثل غثاء بوليثيلين) و التي تساعد على توزيع و إرجاع هذه الرطوبة المتبخرة إلى الخرسانة مرة أخرى. و في هذه الحالة تتحسن معالجة الخرسانة.

مثل الورق غير النافذ، يستحسن استعمال ألواح بلاستيكية بيضاء لعكس أشعة الشمس و تخفيف امتصاص حرارة الشمس في فصل الصيف و المناطق الحارة أو استعمال ألواح بلاستيكية سوداء لرفع امتصاص الحرارة في فصل الشتاء أو المناطق الباردة. و بذلك تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الخرسانة.

شكل رقم ٧,٢: معالجة الخرسانة بواسطة تغطيتها بصفائح بلاستيكية.

c) المركبات الكيميائية:

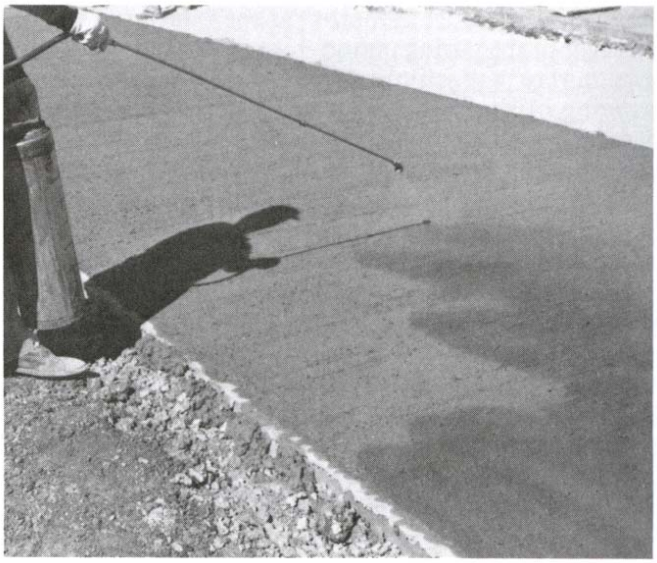
تتكون هذه المركبات السائلة من مادة صمغية (رتينج) أو شمع أو مطاط إصطناعي. ترش هذه المركبات على سطح الخرسانة بعد التهذيب النهائي لسطح الخرسانة (شكل رقم ٨,٢). و يتم ذلك عادة يدويا أو باستعمال الأجهزة الكهربائية. بعد تبخر السائل يتكون غشاء غير نافذ للماء فوق سطح الخرسانة و يعيق تبخر الرطوبة من الخرسانة. تعتبر هذه المركبات بديلا مقبولا لعملية المعالجة بالماء في بعض الإنشاءات الخرسانية.

يوجد نوعين من المركبات:

- المركبات الشفافة.
- المركبات الملونة بالأبيض أو الأسود.

تستعمل عادة المركبات الملونة بالأبيض في المناطق الحارة و الملونة بالأسود في المناطق الباردة.

عند استعمال المركبات الشفافة يصعب ضمان تغطية كامل سطح الخرسانة و لذلك يستحسن استعمال المركبات الملونة لسهولة ظهورها للعين.



شكل رقم ٨,٢: معالجة الخرسانة بواسطة نثر المركبات الكيميائية لمنع تبخر الماء من سطح الخرسانة.

٤,٢. فترة المعالجة:

المواصفات الأمريكية (ACI 308) لمعالجة الخرسانة تقترح مدة ٧ أيام لمعظم الإنشاءات الخرسانية أو مدة من الزمن بحيث تصل مقاومة الخرسانة إلى ٧٠ % من مقاومة الخرسانة المطلوبة. و كذلك استعمال جدول رقم ١,٢ لتحديد أدنى مدة لمعالجة الخرسانة بحيث يجب أن لا تقل معالجة الخرسانة عن ٧ أيام عند استعمال الإسمنت البورتلاندي العادي أو ٣ أيام عند استعمال الإسمنت سريع التصلد أو ١٤ يوم بالنسبة للإسمنت منخفض الحرارة و عندما تكون درجة حرارة الهواء أكثر من ١٠ درجات مئوية.

جدول رقم ١,٢: طول مدة معالجة الخرسانة (درجة حرارة الخرسانة = ٢١ درجة مئوية) طبقا للمواصفات الأمريكية (ACI 306R-78).

نوع الإسمنت	مدة المحافظة (الأيام)			
	نسبة مقاومة الخرسانة بعد ٢٨ يوما			
	% ٥٠	% ٦٥	% ٨٥	% ٩٥
إسمنت بورتلاندي	٤	٨	١٦	٢٣
إسمنت متوسط المقاومة	٦	١٠	١٨	٢٤
إسمنت سريع التصلد	٣	٤	١٢	٢٠

عندما تكون درجة الحرارة أكثر من ٥ درجات مئوية و أقل من ٢٥ درجة مئوية، تقترح المواصفات البريطانية (BS8110) المعادلات الآتية لحساب أدنى مدة لمعالجة الخرسانة.

الإسمنت البورتلاندي العادي و الإسمنت سريع التصلد	$\frac{60}{t+10}$
الأنواع الأخرى	$\frac{80}{t+10}$

بالنسبة لرطوبة الجو أقل من ٥٠ %	
الإسمنت البورتلاندي العادي و الإسمنت سريع التصلد	$\frac{80}{t+10}$
الأنواع الأخرى	$\frac{140}{t+10}$

t : درجة الحرارة بالدرجة المئوية.

مثال ١: احسب مدة معالجة الخرسانة

استعمل إسمنت بورتلاندي عادي في رطوبة جو = ٧٠ % ودرجة حرارة = ٢٠ درجة مئوية.

مدة المعالجة = يومين. $\frac{60}{20+10} = 2$

رطوبة ٤٠٪ ودرجة الحرارة = ١٠ درجة.

مدة المعالجة = ٤ أيام. $\frac{80}{10+10} = 4$

مثال ٢: احسب مدة معالجة الخرسانة

استعمل إسمنت منخفض الحرارة في رطوبة جو = ٤٠ % ودرجة الحرارة = ١٠ درجات مئوية.

مدة المعالجة = ٧ أيام. $\frac{140}{10+10} = 7$

الخرسانة ذات مقاومة عالية (أي نسبة الماء إلى الإسمنت أقل من ٠,٤) تحتاج إلى عناية أكبر وبداية المعالجة في أقرب وقت بالنسبة للخرسانة ذات مقاومة عادية (أى نسبة الماء إلى الإسمنت أكثر من ٠,٥) بما أن كمية الماء قليلة في الخرسانة ذات مقاومة عالية لذلك تحتاج إلى إضافة ماء خلال المعالجة لضمان إكمال عملية التفاعل.

تقنيات وأعمال الخرسانة

طرق الإسراع في المقاومة

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة:

يتعرف الطالب على الأنواع المختلفة للإسراع في مقاومة الخرسانة التي تمتثل في استعمال إسمنت سريع التصلد و المواد المضافة و استعمال الحرارة. و يدرس كذلك معالجة الخرسانة بالبخار تحت الضغط الجوي العادي أو الضغط العالي. و يتعلم الطالب كذلك تحديد دورة المعالجة بالبخار و أهمية كل فترة على خواص الخرسانة المتصلبة.

الأهداف: عند الانتهاء من هذا الفصل يكون للطالب القدرة على:

- تصنيف الطرق المختلفة للإسراع في مقاومة الخرسانة.
- معرفة معالجة الخرسانة بالبخار و تأثيرها على خواص الخرسانة المتصلبة.
- تحديد دورة المعالجة و درجة الحرارة القصوى.

مستوى الأداء المطلوب: أن يلم الطالب الإلمام التام بالجدارة المبينة أعلاه.

الوقت المتوقع لإنجاز الهدف: أسبوعان على الأقل.

متطلبات الجدارة: اجتياز مادة خواص و اختبارات المواد.

١,٣. مقدمة

المعالجة بطريقة الإسراع في المقاومة تعني الحصول بسرعة على مقاومة مبكرة للخرسانة.

التقنيات المتوفرة هي:

- استعمال إسمنت سريع المقاومة المبكرة مثل إسمنت سريع التصلد.
- استعمال المواد المضافة.
- استعمال الحرارة

الحرارة هي الطريقة الأكثر استعمالا للإسراع في المقاومة المبكرة للخرسانة جاهزة الاستعمال. عند ارتفاع الحرارة، تزيد سرعة التفاعل الكيميائي بين الإسمنت و الماء و بالتالي عملية التصلد.

٢,٣. استعمال الإسمنت سريع التصلد :

يمكن استعمال إسمنت سريع التصلد لإنتاج خرسانة مقاومتها حوالي أربع مرات ضعف مقاومة الخرسانة العادية بعد ٢٤ ساعة (شكل رقم ١,٣).

٣,٣. استعمال المواد المضافة :

يمكن تعريف مواد المضافة بالمواد خلاف الإسمنت و الركام و الماء التي تضاف إلى الخرسانة أثناء الخلط بغرض تغيير بعض خواص الخرسانة الطرية أو المتصلدة.

المواد المضافة إلى الخرسانة الأكثر استعمالا للحصول على مقاومة مبكرة هي كلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$). بوجود هذه المواد الكيميائية داخل الخرسانة تزيد في رفع درجة حرارتها وبالتالي تزيد في سرعة التفاعل الكيميائي بين الإسمنت و الماء.

تستخدم هذه المواد الكيميائية

- لتقليل فترة معالجة الخرسانة
- لتعويض الإبطال في الزمن الشك في الأجواء الباردة
- استخدام المنشأ في أقرب وقت
- عند إجراء الأعمال الإصلاحية للخرسانة.

تأثير هذه المواد الكيميائية المضافة تعتمد على:

- النسبة المستعملة
- نوع الإسمنت
- درجة الحرارة
- نسب الخلطة.

تستخدم مادة كلوريد الكالسيوم في حالتها السائلة و تضاف إلى الماء الذي يخلط به الخرسانة.

نسبة مادة كلوريد الكالسيوم المستعملة تتراوح عادة من ١ إلى ٢ % من وزن الإسمنت.

شكل رقم ٢,٣ يوضح أن نسبة ٢ % من كلوريد الكالسيوم تجعل مقاومة الخرسانة تتضاعف بعد يوم واحد. ويلاحظ أن المقاومة النهائية (بعد ٢٨ يوما) تكون نوعا ما أقل من مقاومة الخرسانة العادية.

تأثيرالإسراع في المقاومة عن طريق استعمال المواد الكيميائية المضافة تكون أكثر فاعلية في الطقس البارد أي درجة حرارة من ٥ إلى ١٠ درجات.

نسبة ١ % من كلوريد الكالسيوم تزيد حرارة الخرسانة بـ٦ درجات مئوية، أما مجموع الحرارة الناتجة عن تفاعل الكيميائي هي غير مؤثرة.

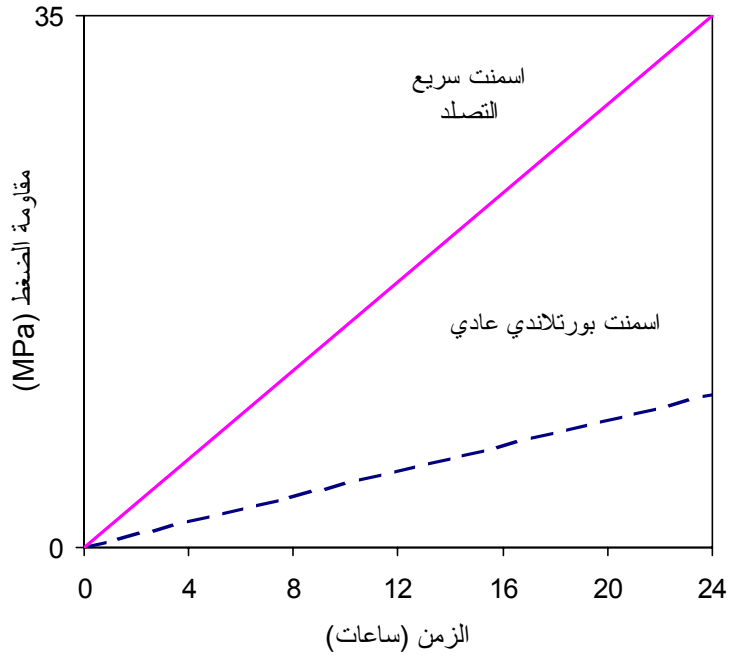
يستحسن استعمال كلوريد الكالسيوم بنسب ضعيفة في الخرسانة المسلحة و هذالتفادي احتمال تآكل الحديد داخل الخرسانة و عدم استعمالها في الخرسانة سابقة الإجهاد.

تأثير هذه المواد الكيميائية المضافة تعتمد على :

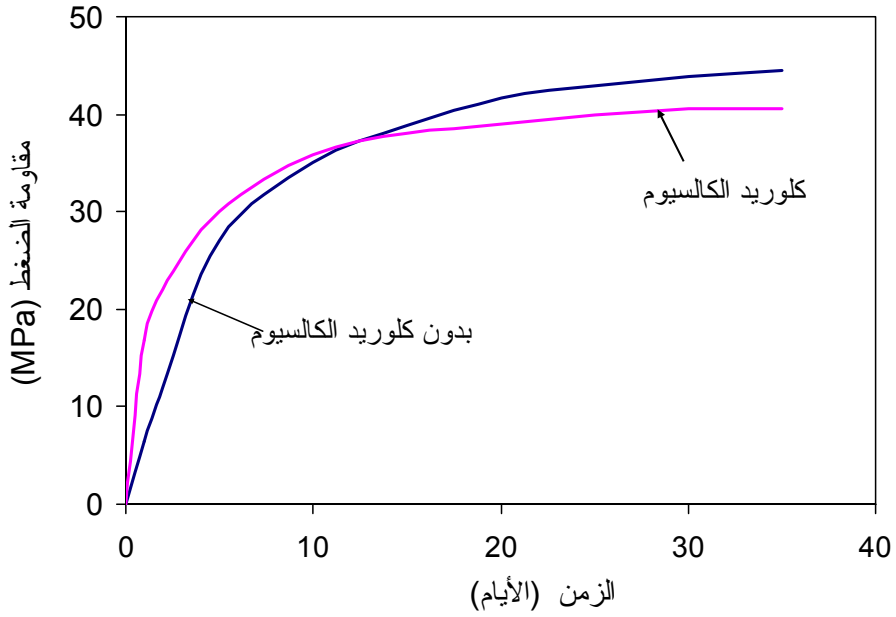
- النسبة المستعملة
- نوع الإسمنت
- درجة الحرارة
- نسب الخلطة

تستخدم مادة كلوريد الكالسيوم في حالتها السائلة وتضاف إلى الماء الذي يخلط به الخرسانة.

زمن الشك للخرسانة التي تحتوي على كلوريد الكالسيوم يكون أقل من ذلك للخرسانة العادية.



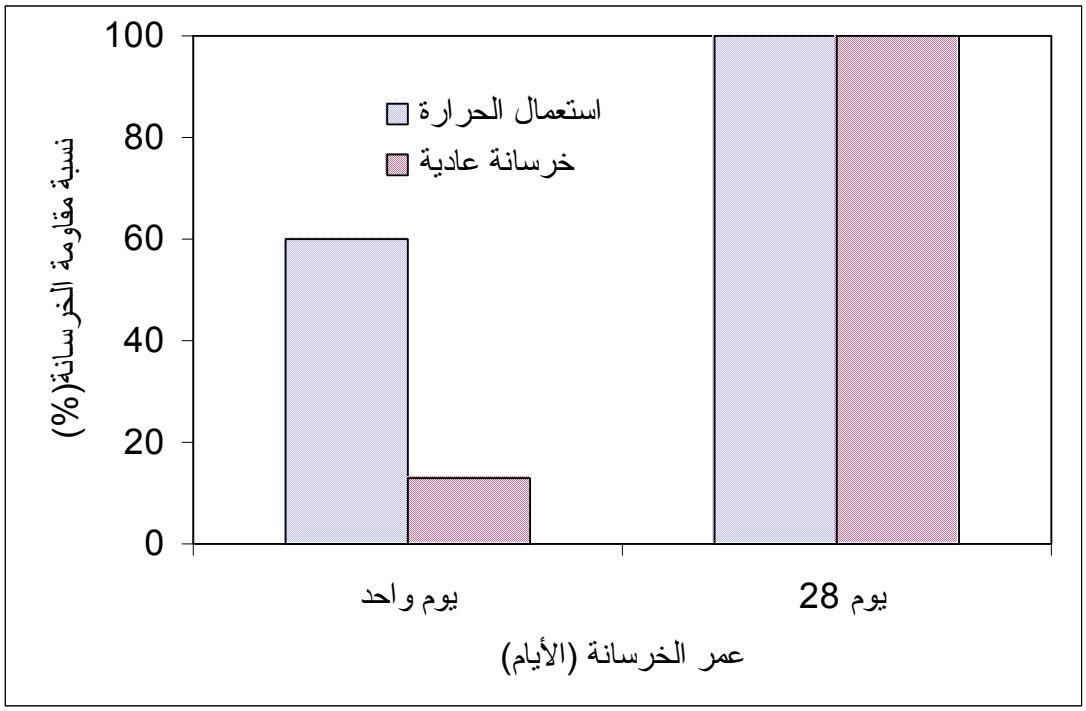
شكل رقم ١,٣ : تأثير إسمنت سريع التصلد على مقاومة الضغط في الساعات الأولى بعد الخلط.



شكل رقم ٢,٣ : تأثير كلوريد الكالسيوم على مقاومة الخرسانة للضغط.

٤,٣. استعمال الحرارة:

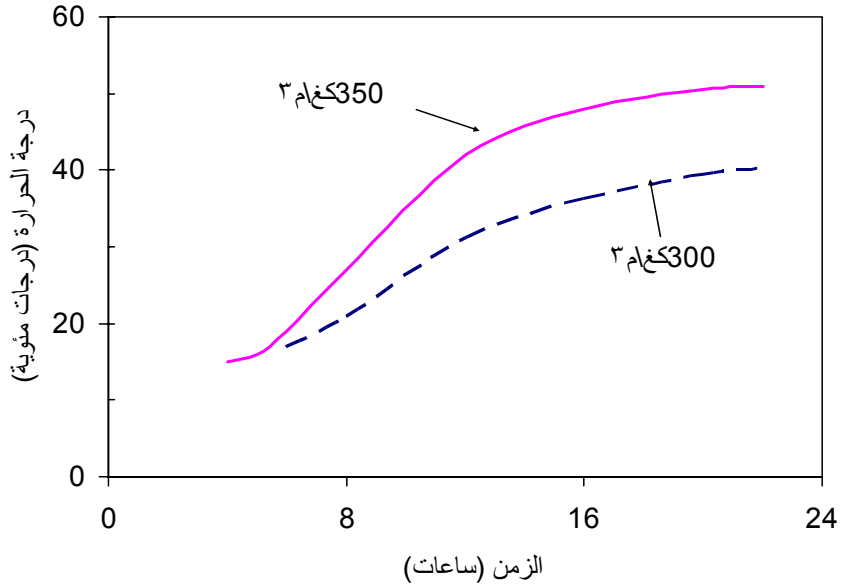
الفائدة الرئيسية من استعمال المعالجة بالحرارة هي الإسراع في المقاومة المبكرة. يمكن بعد ٢٤ ساعة الحصول على مقاومة تعادل على الأقل ٦٠ % من المقاومة النهائية بعد ٢٨ يوم (شكل رقم ٣,٣).



شكل رقم ٣,٣: تأثير الحرارة على الإسراع في مقاومة الخرسانة المبكرة

يوجد ثلاث طرق رئيسية في استعمال الحرارة لمعالجة الخرسانة.

- بنقل السوائل إلى الخرسانة مثل الماء، البخار أو الهواء الساخن. هذه الطريقة هي الأكثر استعمالا.
- باستعمال الحرارة الناتجة عن التفاعل الكيميائي بين الإسمنت و الماء. و كمية الحرارة تعتمد على نوع الإسمنت المستعمل و كمية الإسمنت في الخلطة. كلما زادت كمية الإسمنت زادت الحرارة (شكل رقم ٤,٣).
- باستعمال الكهرباء: استعملت عدة طرق لمعالجة الخرسانة بالكهرباء. من بين هذه الطرق استعمال حديد التسليح لتمرير التيار الكهربائي.



شكل رقم ٤,٣ : تأثير الزيادة في كمية الإسمنت على درجة حرارة الخرسانة في الساعات الأولى بعد الخلط.

١,٤,٣. المعالجة بالبخار:

معالجة الخرسانة بالبخار تحت ضغط جوي عادي يزيد في نمو مقاومة الخرسانة. بمعنى آخر كسب مقاومة مبكرة للخرسانة مع عدم انخفاض في المقاومة النهائية للخرسانة كما هو موضح في شكل رقم ٣,٣. و تستعمل هذه الطريقة في معالجة الوحدات الخرسانية جاهزة الصنع مثل أنابيب و الكمرات سابقة الإجهاد. يبين شكل رقم ٥,٣ خزان للعينات الخرسانية للمعالجة بالبخار في المعمل. يوضع الماء في أسفل الخزان و العينات فوق سطح الماء. و عند تسخين الماء يصعد البخار إلى الأعلى و بالتالي يتم معالجة العينات الخرسانية بالبخار.

تسمح طريقة المعالجة بالبخار بالإسراع بعملية التصلد و بالتالي زيادة في إنتاج الوحدات الجاهزة المسبقة الصنع. و تشتمل دورة المعالجة بالبخار على أربعة خطوات رئيسية كما يوضح شكل رقم ٦,٣.

- **فترة قبل إدخال البخار:**

و هو الوقت بعد إتمام عملية الصب و بداية إدخال البخار. وفي هذه الفترة تخزن الخرسانة في درجة حرارة عادية (مثلا ٢٠ درجة مئوية). و في هذه الفترة تبدأ الخرسانة في التماسك أي بعد بداية زمن الشك للعجينة الإسمنتية.

الطول الأمثل لهذه الفترة يتراوح عادة بين ٣ إلى ٥ ساعات. و هذا يعتمد على نوع الإسمنت المستعمل و على درجة الحرارة القصوى للمعالجة. و تحدد عادة هذه الفترة لكل نوع من الخرسانة. و هذه الفترة تحدد عادة المقاومة النهائية للخرسانة.

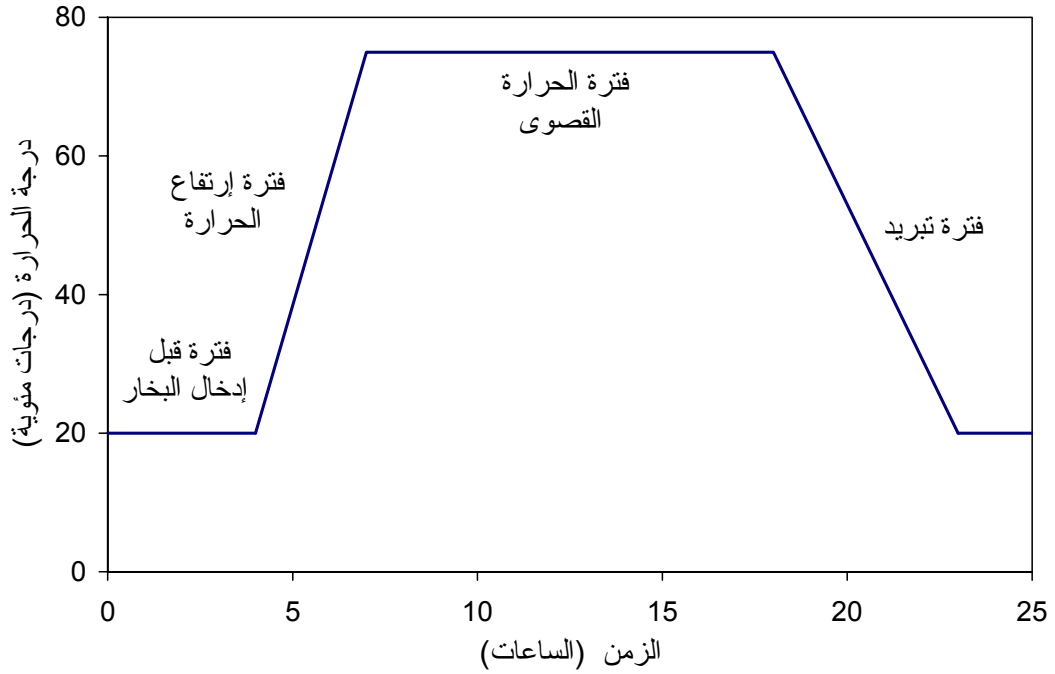
- **فترة ارتفاع الحرارة:**

و هي المدة بين بداية رفع درجة الحرارة إلى أن تصل إلى درجة الحرارة النهائية المطلوبة. معدل رفع درجة الحرارة يتراوح بين ٢٢ إلى ٣٣ درجة في الساعة. و في غياب فترة قبل إدخال البخار، لا يتجاوز معدل رفع درجة الحرارة ١١ درجة في الساعة. و إذا زاد عن هذه القيمة يمكن حدوث تشققات في الخرسانة كما يبين شكل رقم ٧,٣.

- **فترة درجة الحرارة القصوى الثابتة:**

و هي الفترة التي تثبت خلالها درجة الحرارة القصوى المطلوبة و تتراوح هذه الدرجة بين ٦٦ و ٨٢ درجة. و تحتاج هذه الفترة إلى عدة ساعات و كلما زادت هذه المدة ارتفعت مقاومة الخرسانة أثناء فترة معالجة الخرسانة.

شكل رقم ٥,٣: خزان للعينات الخرسانية المعالجة بالبخار



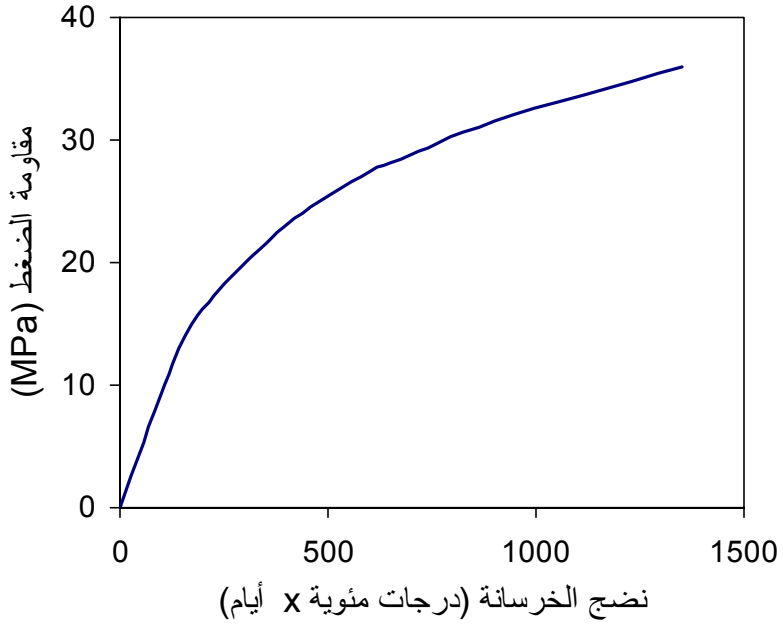
شكل رقم ٦,٣: دورة المعالجة بالبخار.

شكل رقم ٧,٣: تشققات في الخرسانة نتيجة ارتفاع كبير للحرارة خلال معالجتها بالبخار.

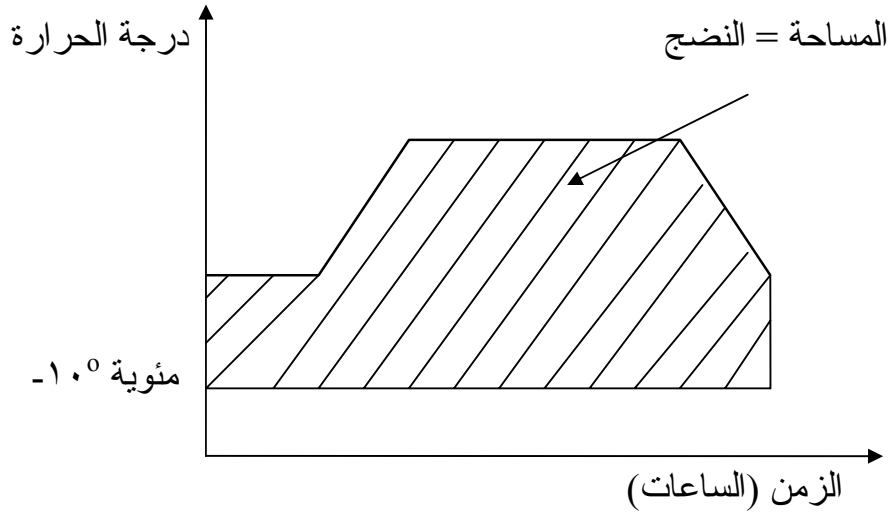
يمكن إيجاد علاقة بين اكتساب مقاومة الخرسانة للضغط و زمن و درجة حرارة معالجة الخرسانة كما هو موضح في شكل رقم ٨,٣ و تسمى هذه العلاقة بين الزمن و درجة الحرارة بنضج الخرسانة. و النضج يساوي حاصل ضرب درجة الحرارة في الزمن.

$$\text{نضج الخرسانة} = \sum a_t (T + 10)$$

النضج هو كذلك المساحة تحت الرسم البياني لدرجة حرارة الخرسانة و زمن دورة معالجة بالبخار (شكل رقم ٩,٣).

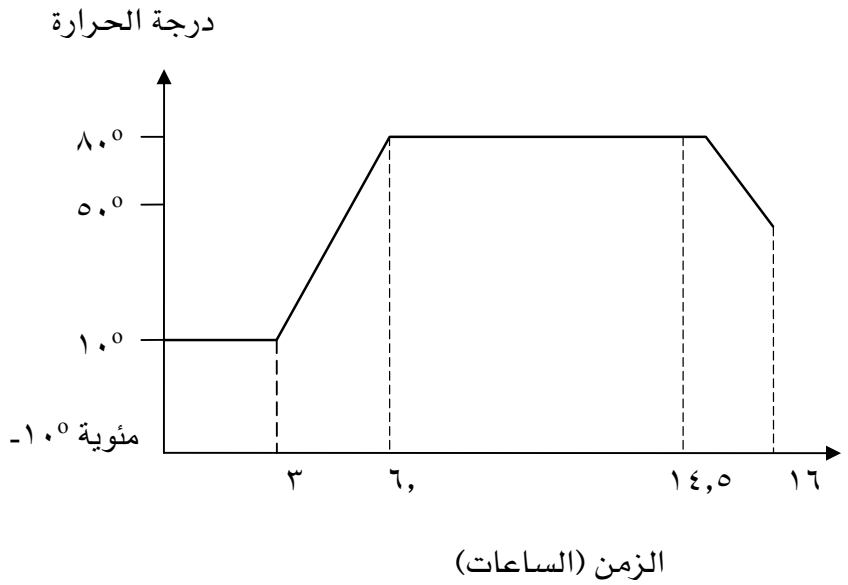


شكل رقم ٨,٣: العلاقة بين نضج الخرسانة و مقاومة الخرسانة للضغط.



شكل رقم ٩,٣: حساب نضج الخرسانة من خلال الرسم البياني لدرجة حرارة الخرسانة و الزمن لدورة المعالجة بالبخار

مثال: أوجد نضج الخرسانة لدورة مثالية لمعالجة الخرسانة الموضحة في الشكل التالي.



فترة قبل إدخال البخار $3*20=60$ درجة / ساعة

فترة ارتفاع الحرارة $3,5*\left(\frac{20+90}{2}\right)=193$ درجة / ساعة

فترة درجة الحرارة القصوى ثابتة $8*90=720$ درجة / ساعة

فترة التبريد $1,5*\left(\frac{90+60}{2}\right)=113$ درجة / ساعة

النضج = ١٠٨٦ درجة مئوية ساعة

٢,٤,٣. المعالجة بالبخار بالضغط العالي:

تتطلب وضع الخرسانة في أماكن مسيجة و منعزلة على الجو الخارجي و تمد بكمية هائلة من البخار تحت درجة حرارة تتراوح بين ١٦٠ -٢١٠ درجة مئوية و تحت ضغط يتراوح بين ٦ و ٢٠ أتموسفير.

الخرسانة المعالجة بالضغط العالي تكون جاهزة للاستعمال في أقل من ٢٤ ساعة. لذلك تكون المعالجة أقصر نسبيا. وتكون المقاومة معادلة لمقاومة الخرسانة العادية بعد ٢٨ يوما.

التفاعلات الكيميائية تتغير تحت هذه الظروف و ينتج مواد مختلفة على المواد التي عولجت تحت درجة حرارة أقل من ١٠٠ درجات مئوية.

تستعمل المعالجة بالبخار بالضغط العالي لإنتاج خرسانة جاهزة الصنع.

دورة المعالجة تشبه تلك المستعملة بالبخار تحت الضغط العادي و تحت على فترة قبل إدخال البخار، فترة التشرب، فترة ارتفاع الحرارة و فترة خفض درجة الحرارة.

طول فترة قبل إدخال البخار تعتمد على نسب الخلطة و درجة حرارة المعالجة. و تكون سرعة رفع درجة حرارة البخار مناسبة بحيث تستغرق هذه الفترة تقريبا ٣ ساعات. الزمن الميثالي لفترة المعالجة هي ٨ ساعات في درجة حرارة ١٧٥ درجة مئوية. فترة فك الضغط تكون سريعة و تتراوح بين ٢٠ إلى ٣٠ دقيقة حتى تسمح الخرسانة لتبرُد.

تقنيات وأعمال الخرسانة

أعمال الخرسانة في الطقس الحار

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة:

يدرس الطالب في هذا الفصل تأثير درجات الحرارة على نمو مقاومة الخرسانة و كذلك على عملية تبريد مواد الخرسانة و الاحتياطات حول صنع الخرسانة في الطقس الحار. و يتعرف الطالب كذلك على أنوع تشقق الخرسانة في الأجواء الحارة و مضارها الجسيمة. و يدرس كذلك أهمية معالجة ووقاية الخرسانة في الأجواء الحارة بالإضافة إلى حرارة التفاعلات الكيميائية بين الإسمنت و الماء.

الأهداف:

خلال دراسة الطالب لهذا الفصل يتوقع أن يكون قادراعلى أن:

- يفسر تأثير درجات الحرارة على نمو مقاومة الخرسانة.
- يتعرف على كيفية تبريد مواد الخرسانة.
- يستنتج العلاقة بين درجة حرارة الخرسانة و درجة حرارة مكوناتها.
- يأخذ بعين الاعتبار الاحتياطات حول صناعة الخرسانة.
- يميز نوع تشقق الخرسانة في الجو الحار.
- يستنتج أهمية المعالجة و الوقاية.
- يتعرف على مفهوم حرارة التفاعلات الكيميائية.

مستوى الأداء المطلوب: أن يلم الطالب الإلمام التام بالجدارة المبينة أعلاه.

الوقت المتوقع لإنجاز الهدف: أسبوعان على الأقل.

متطلبات الجدارة: اجتياز مادة خواص و اختبارات المواد.

١,٤. مقدمة

أعمال الخرسانة في الطقس الحار تحتاج إلى عناية أكثر من الخرسانة في الأجواء العادية لوجود مشاكل إضافية مثل:

- طلب زيادة في كمية الماء الخلطة.
- سرعة الانخفاض في قابلية التشغيل.
- احتمال حدوث تشققات اللدنة.
- عناية أكبر في معالجة ووقاية الخرسانة الطرية.

كل هذه المشاكل تحتاج إلى إضافة في كمية ماء الخلط، بينما زيادة في كمية الماء تؤدي إلى انخفاض في معظم خواص الخرسانة الصلبة مثل: المقاومة و الديمومة و اللانفاذية و زيادة في انكماش الخرسانة الناتج عن جفاف الخرسانة.

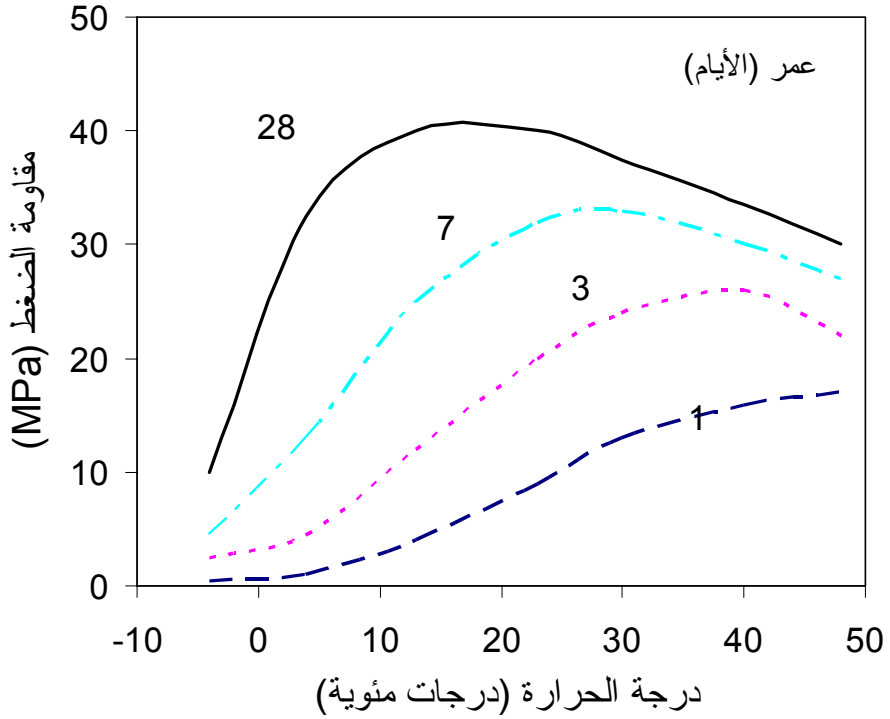
٢,٤. تأثير درجة الحرارة:

كلما زادت درجة حرارة الخرسانة أثناء الصب، زادت أيضا سرعة نمو المقاومة المبكرة. و لكن المقاومة النهائية للخرسانة تكون أقل نسبيا. لذا يجب خفض درجة حرارة الخرسانة أثناء الصب في الأجواء الحارة. و يمكن تفسيرها بأن سرعة التفاعل الكيميائي يؤدي إلى تكوين مواد موزعة غير منتظمة. و هذا يسبب إلى تكوين كمية من الفراغات داخل المونة الإسمنتية و الخرسانة مما يؤثر على المقاومة النهائية للخرسانة. يبين الشكل رقم ١,٤ تأثير درجة حرارة المعالجة على مقاومة الخرسانة. ويظهر أن كلما زادت درجة الحرارة فإن مقاومة الخرسانة المبكّرة تزيد. ولكن المقاومة بعد ٢٨ يوما تضعف كلما زادت درجة الحرارة. بمعنى آخر أن مقاومة الخرسانة خلال اليوم الأول تزيد كلما زادت درجة الحرارة ولكن هذه الظاهرة تختلف في الفترة بين ٣ و ٢٨ يوما.

يجب ملاحظة أن الخرسانة الموجودة في الموقع في طقس حار تختلف عن الخرسانة الموجودة في المختبر. يوجد عوامل إضافية مؤثرة:

- رطوبة الجو
- تعرض الخرسانة إلى أشعة الشمس
- سرعة الرياح

- طريقة المعالجة

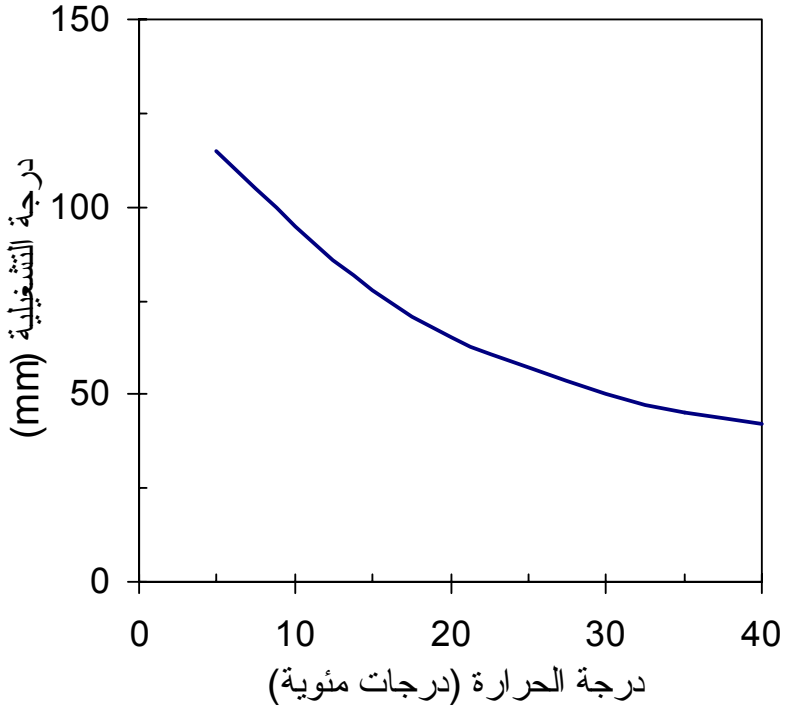


شكل رقم ١,٤ : تأثير درجة حرارة معالجة الخرسانة على مقاومة الخرسانة للضغط.

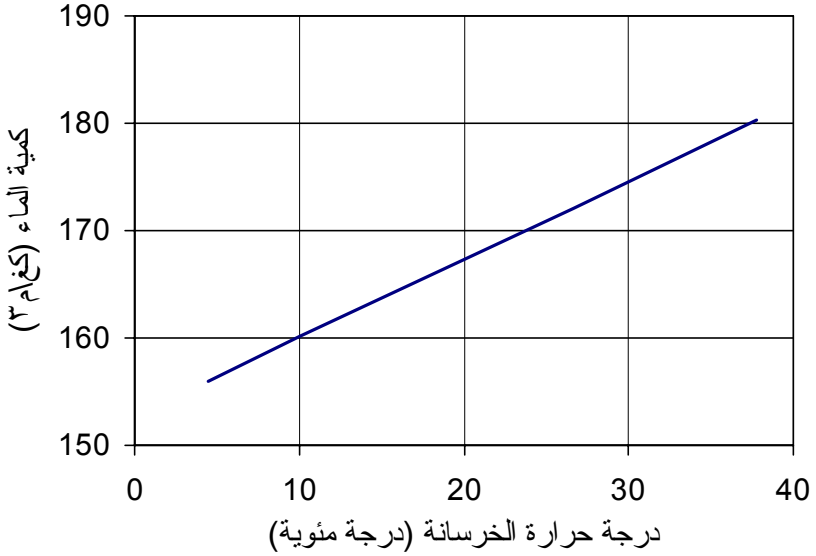
كل هذه العوامل تؤثر على جفاف الخرسانة، مما قد يؤثر على إكمال التفاعلات و يؤدي ذلك إلى انكماش و ظهور التشققات و انخفاض مقاومة و ديمومة الخرسانة.

يجب أن نذكر أن جودة الخرسانة تعتمد على درجة حرارة الخرسانة وليست درجة حرارة الطقس.

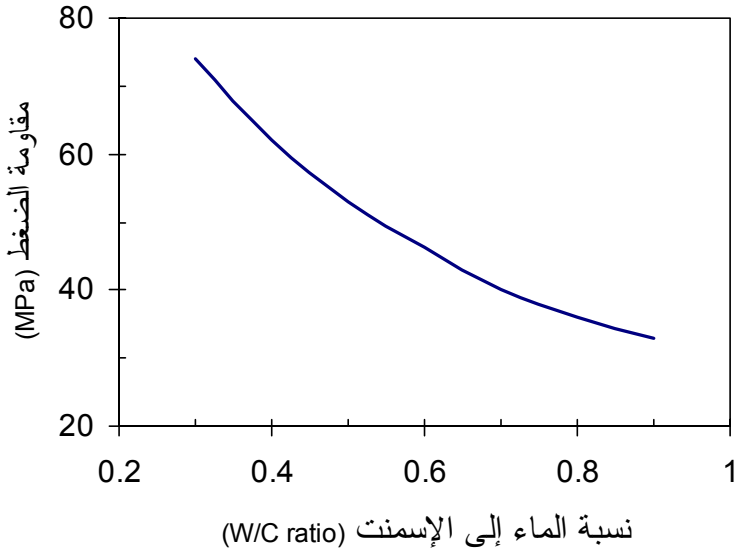
فالزيادة في درجة الحرارة يؤدي إلى انخفاض في درجة التشغيلية للخرسانة الطازجة، كما هو موضح في شكل رقم ٢,٤. و لكي نحافظ على الدرجة التشغيلية للخرسانة الطرية ثابتة نحتاج إلى إضافة المزيد من الماء (شكل رقم ٣,٤) أي زيادة في نسبة الماء إلى الإسمنت . و هذا يؤثر بالعكس على جودة الخرسانة كما هو موضح في شكل ٤,٤. ويمكن استعمال مواد مساعدة لخفض نسبة الماء في الخلطة لتعويض الانخفاض في الدرجة التشغيلية الخرسانة الطازجة الناتجة عن الزيادة في درجة الحرارة.



شكل ٢,٤: تأثير درجة حرارة الجو على الانخفاض في الدرجة التشغيلية للخرسانة.



شكل ٣,٤: كمية ماء الخلطة المضافة بسبب الزيادة في درجة حرارة الخرسانة.



شكل ٤,٤: العلاقة بين نسبة الماء إلى الإسمنت و مقاومة الخرسانة للضغط.

٣,٤. تبريد مواد الخرسانة:

يستحسن أن لا تزيد درجة حرارة الخرسانة الطرية عن ١٦ درجة مئوية. ولكن في المناطق الحارة يصعب تحقيق ذلك. لذلك يجب أن لا تزيد درجة حرارة عن ٣٢ درجات مئوية.

يمكن استعمال المعادلة الآتية لحساب درجة حرارة الخرسانة الطرية (T) من درجة حرارة عناصرها (الإسمنت، الماء، الركام).

$$T = \frac{0{,}22\left(T_a W_a + T_c W_c\right) + T_w W_w + T_{wa} W_{wa}}{0{,}22\left(W_w + W_c\right) + W_w + W_{wa}}$$

بحيث:

T: درجة عناصر الخرسانة بالدرجات المئوية.

W: وزن عناصر الخرسانة (كغ/م^3)

a: الركام

c: الإسمنت

w: الماء

W_a: الرطوبة الموجودة على سطح الركام.

مثال ١: احسب درجة حرارة الخرسانة الطرية (T) من درجة حرارة عناصرها (الإسمنت، الماء، الركام).

مواد الخرسانة	الوزن (كغ\م^3)	درجة حرارة (درجة مئوية)
الإسمنت	٣٣٥	٥٠
الركام	١٨٣٩	٤٠
الماء	١٦٧	٣٠

إذا درجة حرارة الخرسانة الطرية تساوي:

$$T = \frac{0{,}22(40x1839 + 50x335) + 30x167}{0{,}22(1839 + 335) + 167} = \frac{24878}{645} = 38.5^{o}C.$$

ما هي قيمة انخفاض درجة حرارة كل مادة من مكونات الخرسانة من أجل خفض درجة حرارة الخرسانة بدرجة واحدة مئوية ؟

يجب أن تنخفض درجة حرارة :

• الإسمنت	$\frac{645}{0.22x335} = 8.8$ درجات مئوية
• الركام	$\frac{645}{0.22x1839} = 1.6$ درجات مئوية
• الماء	$\frac{645}{167} = 3.8$ درجات مئوية

١،٣،٤. تبريد الركام:

نلاحظ من المثال السابق أن انخفاض درجة حرارة الركام لها التأثير الأكبر مقارنة مع المواد الأخرى (الإسمنت و الماء) لإن كمية الركام تمثل حوالي من ٧٠ إلى ٨٥ % من وزن الإجمالي للخرسانة. لخفض درجة حرارة الخرسانة ب١٠ درجات مئوية يجب خفض درجة حرارة الركام ب ١٦ درجات مئوية. توجد عدة طرق لتبريد الركام:

- تغطية خزانات الركام من أشعة الشمس و رشها بالماء

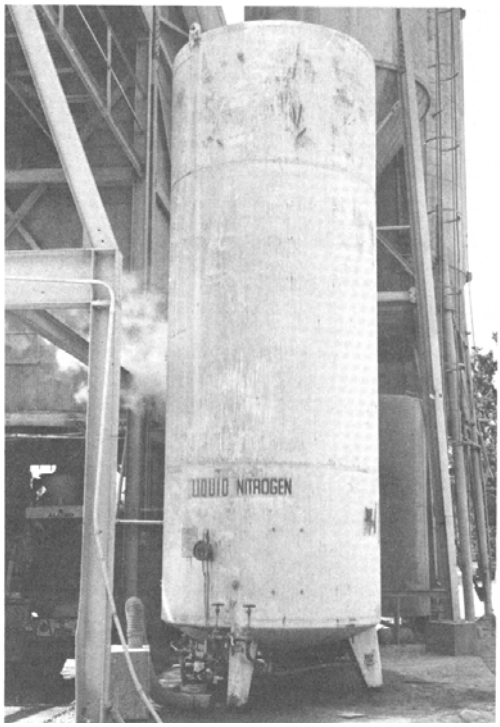
- رش الركام بالماء.
- استعمال المبردات
- غطس الركام في ماء مبرد داخل الخزانات.

٢,٣,٤. تبريد الماء:

يعد الماء أسهل المواد للتبريد مقارنة بالمواد الأخرى (الركام و الإسمنت) مع الرغم أنه يستعمل بكمية أقل من المواد الأخرى (تكون عادة نسبة الماء إلى الإسمنت حوالي ٠,٥ و نسبة الماء إل الركام حوالي ٠,١٢). لذلك يكون تأثير الماء البارد على تبريد الخلطة أقل من تأثير الركام. على حسب المثال، يجب خفض درجة حرارة الماء ب ٣٨ درجات مئوية لخفض درجة حرارة الخرسانة ب١٠ درجات مئوية

توجد عدة طرق لتبريد الماء أو المحافظة عليه باردا:

- يجب حفظ خزانات الماء من أشعة الشمس.
- دفن أو تظليل أو دهن (بدهان أبيض) مواسير الماء.
- استعمال البراد أو النيتروجين السائل (شكل رقم ٥,٤).



شكل رقم ٥,٤: جهاز تبريد الماء.

كما يمكن استعمال الثلج كجزء من ماء الخلطة لتبريد الخراسانة الطرية. ففي هذه الحالة نستعمل المعادلة التالية لحساب درجة حرارة الخرسانة الطرية (T).

$$T = \frac{0{,}22\left(T_a W_a + T_c W_c\right) + T_w W_w + T_{wa} W_{wa} - 112 W_i}{0{,}22\left(W_w + W_c\right) + W_w + W_{wa} + W_i}$$

بحيث:

W_i : وزن الثلج.

مثال ٢: احسب درجة حرارة الخرسانة الطرية T من درجة حرارة عناصرها (الإسمنت، الماء، الركام) و كمية الثلج W_i = ٣٥ كغ.

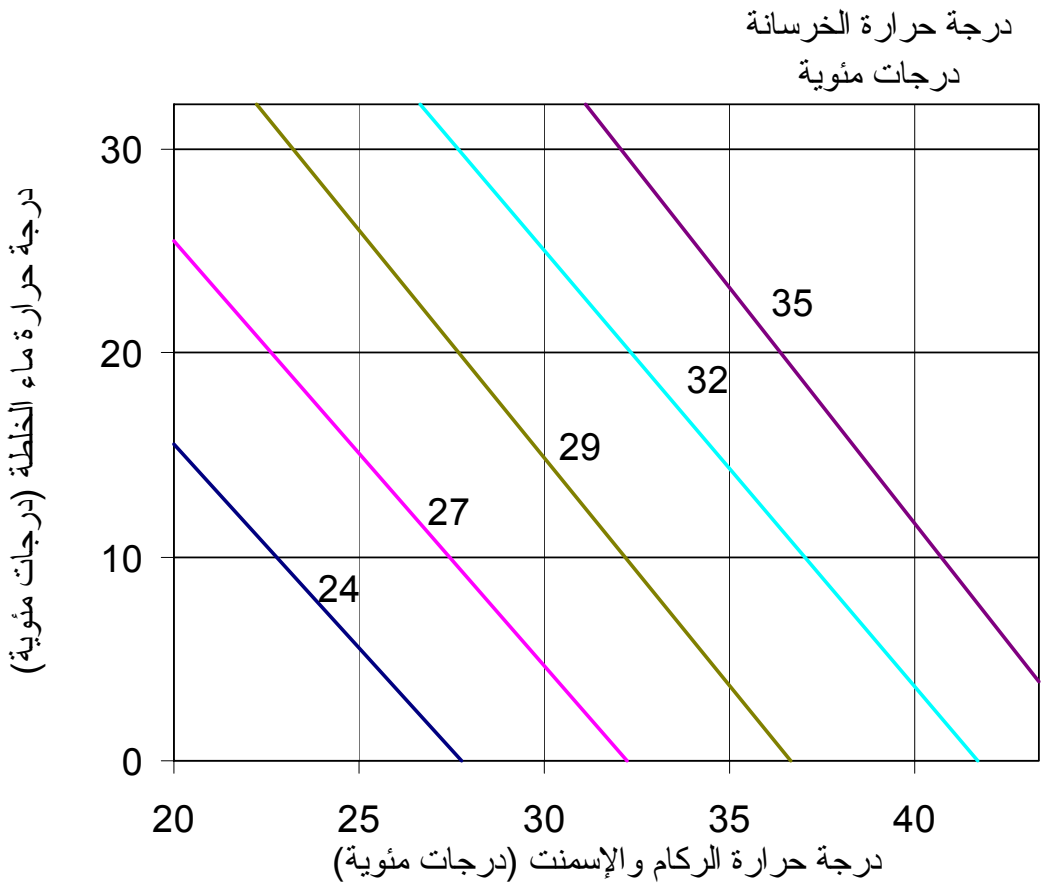
مواد الخرسانة	الوزن (كغ\م^3)	درجة حرارة (درجات مئوية)
الإسمنت	٣٣٥	٥٠
الركام	١٨٣٩	٤٠
الماء	١١٧	٣٠

إذاً درجة حرارة الخرسانة الطرية تساوي:

$$T = \frac{0{,}22\left(40x1839 + 50x335\right) + 30x132 - 112x35}{0{,}22\left(1839 + 335\right) + 132 + 35} = \frac{19908}{645} = 30.8^{o}C.$$

يمكن الإشارة أن استعمال ٣٥ كغ من الثلج يؤدي إلى خفض درجة حرارة الخلطة ب٧,٨ درجة مئوية.

و يمكن استعمال شكل رقم ٦,٤ لحساب درجة حرارة الخرسانة الطرية من درجة حرارة مكوناتها.



شكل ٦,٤: العلاقة بين درجة حرارة الخرسانة الطرية و درجة حرارة عناصرها في الطقس الحار.

٤,٤. احتياطات حول صنع الخرسانة.

يجب أخذ بعض الاحتياطات قبل صب الخرسانة وهذا لغرض خفض درجة الحرارة مثل:

- رش الشدات وحديد التسليح وطبقة الأرض السفلية لغرض تبريدها والمحافظة على الرطوبة.
- صب الخرسانة في الصباح الباكر أو بالليل إذا أمكن ذلك وهذا للتقليل الانكماش الحراري والتصدعات الناتجة عنها.
- يجب أن يكون نقل وصب الخرسانة من أقرب مكان.
- يجب تفادي تمديد زمن الخلط.
- يكون زمن تفريغ الخرسانة أقل من ساعة واحدة أو حتى أقل من ٤٥ دقيقة.
- أن لا تزيد عدد دورات الخلاط عن ٣٠٠ دورة.

١,٤,٤. استعمال إضافات لتبطئ الشك: (Retarding admixtures)

و يمكن استعمال إضافات لتبطئ الشك و تستعمل هذه الإضافات لبعض الأهداف مثل:

١. صب الخرسانة في الأجواء الحارة: و هذا لتعويض الإسراع في زمن الشك الناتج عن درجة الحرارة العالية.

٢. صب كميات كبيرة من الخرسانة: الإبطاء في زمن الشك للخرسانة وهذا لتفادي إحداث فواصل الصب بين الخرسانة الطرية و الخرسانة التي سبق صبها.

٣. الإبطاء في زمن الشك الابتدائي للخرسانة عند صب الخرسانة في ظر وف صعبة.

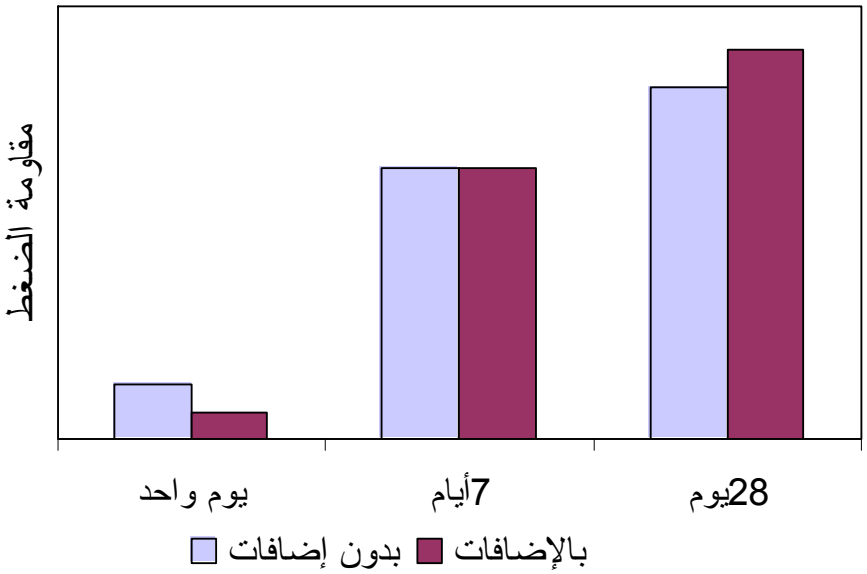
عند استعمال هذه المواد يتراوح الإبطاء في زمن الشك بين ساعة واحدة إلى ثلاث ساعات. تأثير الإضافات التي تبطئ الشك يعتمد على:

- النسبة المستعملة
- نوع الإسمنت
- نسب الخلطة
- درجة الحرارة

معدل نمو المقاومة تقل عند استعمال هذا النوع من الإضافات في الأيام الأولى بعد الخلط ولكن يزداد معدل نمو المقاومة في الأيام التالية. تكون مقاومة الضغط بعد يوم إلى ثلاث أيام أقل من مقاومة ضغط الخرسانة المقارنة وبعد ٧ أيام تكون لها نفس المقاومة و بعد ٢٨ يوما يمكن الحصول على زيادة طفيفة في قيمة مقاومة الضغط، كما هو موضح في شكل رقم ٧,٤.

أنواع الإضافات الأكثر استعمالا هي الجبس، السكر، أملاح خارصين (زنك).

إضافة سكر بمقدار ٠,٠٥ % من وزن الإسمنت يؤدي إلى ازدياد في زمن الشك بحوالي ٤ ساعات. ويمكن انعدام زمن الشك إذا استعمل السكر بمقدار ٠,٢ إلى ١ % من وزن الإسمنت.



شكل ٧,٤: تأثير إضافات لتبطئ الشك على مقاومة الخرسانة للضغط.

٥,٤. تشقق الخرسانة في الجو الحار:

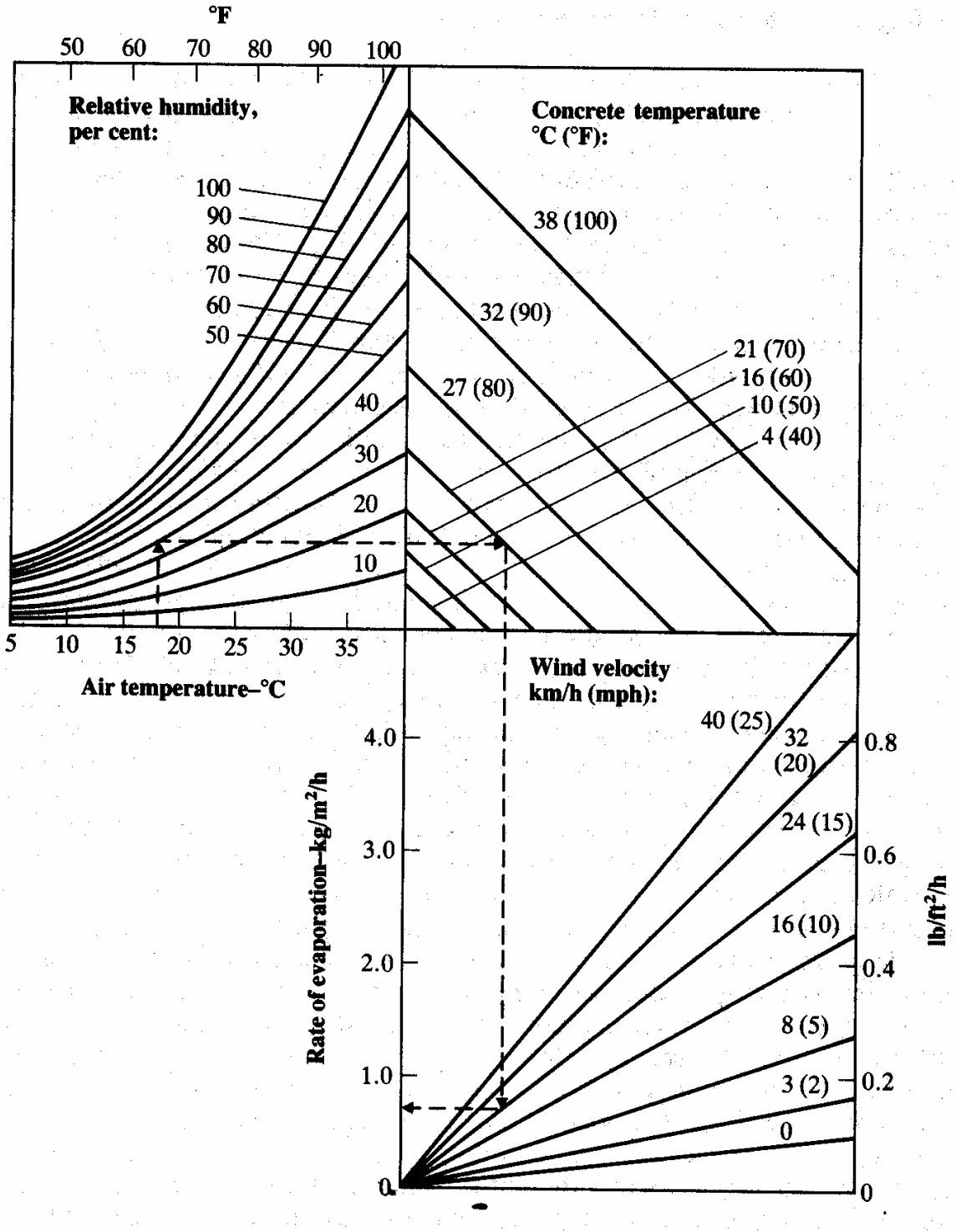
أسباب تشقق الخرسانة هي عديدة ومضارها جسيمة. و من بين هذه الأسباب انكماش الخرسانة الذي يحدث في الساعات الأولى بعد صبها و تتراوح بين ساعة واحدة و ٨ ساعات. و يرتبط هذا النوع من التشققات عادة بصب الخرسانة في الطقس الحار. و تحدث عندما يتبخر الماء من سطح الخرسانة.

يجب أن نذكر أنه لا يحدث أي تشقق إذا كانت الخرسانة حرة الحركة و لا يوجد ما يحد من حرية الحركة. مثال على هذه القيود وجود حديد التسليح داخل الخرسانة.

الظروف التالية تتسبب في تبخر الماء من سطح الخرسانة و بالتالي احتمال ظهور التشقق:

- درجة حرارة الجو العالية.
- رطوبة الجو منخفضة.
- سرعة الرياح عالية.

يمكن استعمال شكل رقم ٨,٤ لتحديد قيمة تبخر الماء من سطح الخرسانة ولتحديد هذه الكمية يجب معرفة درجة الحرارة ورطوبة الجو وسرعة الرياح.



شكل رقم ٨,٤: تأثير درجة حرارة الخرسانة و نسبة الرطوبة و سرعة الرياح على تبخر رطوبة على سطح الخرسانة طبقا للمواصفات الأمريكية (ACI 305, R-77).

بعد صب الخرسانة يجب منع تبخر الماء من سطح الخرسانة ولكن عندما تزيد كمية تبخر الماء عن ٠,٥ كغ/م٢/الساعة يجب أخذ الاجراءات الوقائية بينما قد تظهر تشققات إذا تعدت هذه الكمية عن ١كغ/م٢/الساعة.

شكل ٩,٤ يبين تشققات مثالية ناتجة عن انكماش اللدن. يكون طول التشققات بعض السنتمترات وتصل إلى متر ، وتتراوح المسافة بين التشققات بين بعض السنتمترات و حوالي ٧٠ سنتمتر.

شكل رقم ٩,٤: تشققات اللدنة.

ويجب أخذ بعض الاحتياطات لتجنب التشققات الناتجة عن انكماش اللدن.

- رش سطح الأرض و الشدات و الركام الجاف بالماء حتى تحافظ الخرسانة على كمية ماء الخلطة ثابتة وبالتالي نحا فظ على الدرجة التشغيلية للخرسانة.
- بناء مؤقت لحواجز الريح لخفض سرعة الرياح وبالتالي تقليل تبخر الماء من سطح الخرسانة.

ونتطرق إلى بعض الاحتياطات الأخرى في فقرة المعالجة والوقاية.

مثال ١: استخدم المنحنيات في الشكل رقم ٨,٤ لإيجاد سرعة تبخر الماء باستعمال المعطيات التالية:

- درجة حرارة الجو: ١٨^{o} مئوية.
- رطوبة الجو النسبية: ٤٠ %.
- درجة حرارة الخلطة: ٢١^{o} مئوية.
- سرعة الرياح: ١٦ كم\الساعة.

إذاً يكون معدل التبخر يساوي = ٠,٨ كغ/م٢/الساعة.

مثال ٢: استخدم المنحنيات في الشكل رقم ٨,٤ لإيجاد سرعة تبخر الماء باستعمال المعطيات التالية:

- درجة حرارة الجو: ٣٠^{o} مئوية.
- رطوبة الجو النسبية: ٣٠ %.
- درجة حرارة الخلطة: ٣٢^{o} مئوية.
- سرعة الرياح: ٣٢ كم \الساعة.

إذاً يكون معدل التبخر يساوي = ٢,٠ كغ/م^{٢}/الساعة.

لخفض معدل تبخر الماء، يجب مثلا خفض درجة حرارة الخلطة إلى ٢١^{o} مئوية إضافة إلى استعمال حواجز للريح لتقليل سرعة الرياح على سطح الخرسانة إلى ٣ كم \الساعة، إذاً معدل تبخر الماء ينخفض إلى ٠,٤ كغ/م^{٢}/الساعة.

٦,٤. المعالجة و الوقاية:

الخرسانة في الاجواء الحارة تحتاج إلى عناية أكبر من الخرسانة الموجودة في الاجواء المعتدلة.

يجب أن تحفظ الخرسانة من أشعة الشمس لتقليل درجة حرارة الخرسانة لتفادي التصدعات أو التشققات الناتجة عن اختلاف درجة الحرارة بين النهار والليل.

رش الخرسانة بالماء باستمرارفي الطقس الجاف مع الأخذ بعين الاعتبار تبخر الماء من سطح الخرسانة تعطي نتائج فعالة لتبريد الخرسانة إضافة إلى معالجة الخرسانة ناجعة.

يجب أن لا يكون الماء أبرد بكثير من الخرسانة لتفادي التصدعات الناتجة عن الفرق في درجة حرارة الخرسانة والماء.

يوجد طرق لمعالجة الخرسانة أقل نجاعة:

- استعمال الالواح البلاستيكية أو الورق غير النافذ الذي لونه أبيض لعكس أشعة الشمس وتخفيض إمتصاص حرارة الشمس.
- عند استحالة استعمال الرش بالماء لمدة أكثر من ٢٤ ساعة، فيجب تغطية سطح الخرسانة بالألواح البلاستيكية أو الورق غير النافذ أواستعمال المركبات الكيميائية. الحاجة الضرورية لمعالجة الخرسانة بالماء تكون خلال الساعات الأولى بعد التهذيب وتستمر على الأقل ٢٤ ساعة.

٧,٤. حرارة التفاعلات:

التفاعلات الكيميائية بين الإسمنت و الماء هو تفاعل طارد للحرارة، يليها إرتفاع في درجة الحرارة، وهذه التفاعلات تولد كمية من الحرارة (جول Joules) وتعرف بحرارة التفاعلات.

تزيد كمية حرارة التفاعلات كلما زادت:

- نسبة الماء إلى الإسمنت.
- نعومة الإسمنت .
- درجة حرارة المعالجة.
- كمية الإسمنت في الخرسانة.

لذلك يجب الإحتياط عند صب الخرسانة في الأجواء الحارة بأن لا يستعمل الإسمنت بكميات كبيرة.

جدول رقم ١,٤ يبين كمية حرارة التفاعلات الناتجة في الأسبوع الأول لبعض أنواع الإسمنت بالنسبة إلى الإسمنت البورتلاندي العادي.

جدول رقم ١,٤: نسبة كمية حرارة التفاعلات لبعض الإسمنت.

النوع		
نوع I	إسمنت بورتلاندي العادي	٪١٠٠
نوع II	إسمنت متوسط المقاومة للكبريتات	٨٠ -٨٥٪
نوع III	إسمنت سريع التصلد	إلى١٥٠٪
نوع IV	إسمنت منخفض الحرارة	٤٠ - ٦٠٪
نوع V	إسمنت مقاوم للكبريتات	٦٠ - ٧٥٪

نستنتج من الجدول المبين أعلاه أنه ينصح بعدم استعمال الإسمنت سريع التصلد وأفضل إسمنت للاستعمال هو إسمنت نوع ٤ أي إسمنت منخفض الحرارة.

عند ارتفاع درجة حرارة قلب الخرسانة بالكتل الضخمة وفي الأجواء الحارة، ويليها برودة على السطح الخارجي. وهذا يؤدي إلى فرق في درجة الحرارة مما يسبب تشققات.

شكل رقم ٤،٣ من الفصل الثالث يبين رفع درجة حرارة الخرسانة المنعزلة على الجو الخارجي مع مرور الزمن بعد خلط الخرسانة. ويظهر من هذا الشكل أن درجة الحرارة تصل إلى أقصى نقطة إلى بعد حوالي ١٢ ساعة بعد الخلط وان زيادة ٥٠ كغ/م^3 من قيمة الإسمنت تؤدي إلى زيادة حوالي ١٥ درجة مئوية في حرارة الخرسانة.

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تقنيات وأعمال الخرسانة

أعمال الخرسانة في الطقس البارد

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة:

يدرس الطالب في هذا الفصل تأثير درجات الحرارة المنخفضة على معدل نمو مقاومة الخرسانة و كذلك على عملية تسخين مواد الخرسانة بالإضافة إلى الاحتياطات اللازمة حول صنع الخرسانة في الطقس البارد. و يدرس كذلك أهمية معالجة ووقاية الخرسانة في الأجواء الباردة.

الأهداف:

خلال دراسة الطالب لهذا الفصل يتوقع أن يكون قادراعلى أن:

- يفسر تأثير درجات الحرارة على نمو مقاومة الخرسانة.
- يتعرف على كيفية تسخين مواد الخرسانة.
- يتم تحديد درجة حرارة الخرسانة من درجة حرارة مكوناتها.
- يأخذ بعين الاعتبار الاحتياطات حول صناعة الخرسانة.
- يستنتج أهمية المعالجة و الوقاية.

مستوى الأداء المطلوب: أن يلم الطالب الإلمام التام بالجدارة المبينة أعلاه.

الوقت المتوقع لإنجاز الهدف: أسبوعان على الأقل.

متطلبات الجدارة: اجتياز مادة خواص و اختبارات المواد.

١,٥. مقدمة :

يكون معدل نمو الخرسانة ضعيف جدا في درجة حرارة منخفضة. ويجب حفظ الخرسانة الطرية من تأثير التجمد حتى تصل مقاومة الخرسانة إلى حوالي ٣,٥ MPa. في درجة حرارة عادية، وتصل مقاومة الخرسانة إلى هذه القيمة بعد حوالي ٢٤ ساعة فقط. وتنخفض مقاومة الخرسانة بحوالي ٥٠ % إذا تعرضت الخرسانة إلى التجمد في خلال الساعات الأولى بعد صبها.

درجة الحرارة المنخفضة تعيق نمو التفاعل الكيميائي بين الإسمنت و الماء و بالتالي تأخر تصلب الخرسانة و ازدياد مقاومة الخرسانة. إذا كانت درجة الحرارة أقل من ١٠ درجات مئوية تتوقف التفاعلات الكيميائية و الزيادة في مقاومة الخرسانة.

يمكن صب الخرسانة بدون التعرض لخطر طوال فصل الشتاء في الأجواء الباردة إذا أخذنا بعض الاحتياطات بعين الاعتبار.

٢,٥. احتياطات حول صنع الخرسانة :

ينصح بعدم صب الخرسانة فوق طبقة الأرض المجمدة لأنه ينتج عنه فقدان الحرارة من الخرسانة و بالتالي احتمال تجمد الطبقة السفلى من الخرسانة. والفرق في درجة حرارة الخرسانة ينتج عنه تشققات.

كما هو معروف أن الخرسانة تولد حرارة أثناء تصلدها نتيجة التفاعل الكيميائي بين الإسمنت و الماء. وهذه الحرارة مهمة جدا عند صب الخرسانة في فصل الشتاء. لذلك يجب تغطية الخرسانة بأغطية كحاجز فعال لمنع خروج الحرارة من الخرسانة مباشرة بعد صبها. وفي بعض الأحيان هذه الكمية من الحرارة هي كافية لمعالجة الخرسانة بدون استعمال حرارة إضافية مثل البخار.

الحصول على مقاومة عالية في الأيام الأولى بعد صب الخرسانة في الطقس البارد مفيدة للتقليل من المدة اللازمة للمحافظة على الخرسانة.

يمكن الحصول على هذه المقاومة العالية باستعمال إحدى الطرق التالية:

١. استعمال إسمنت نوع ٣: إسمنت سريع التصلد
٢. استعمال كمية مضاعفة من الإسمنت البورتلاندي العادي (من٦٠ كغ/م^3 إلى ١٢٠كغ/م^3)
٣. استعمال إضافات لتعجيل الشك.

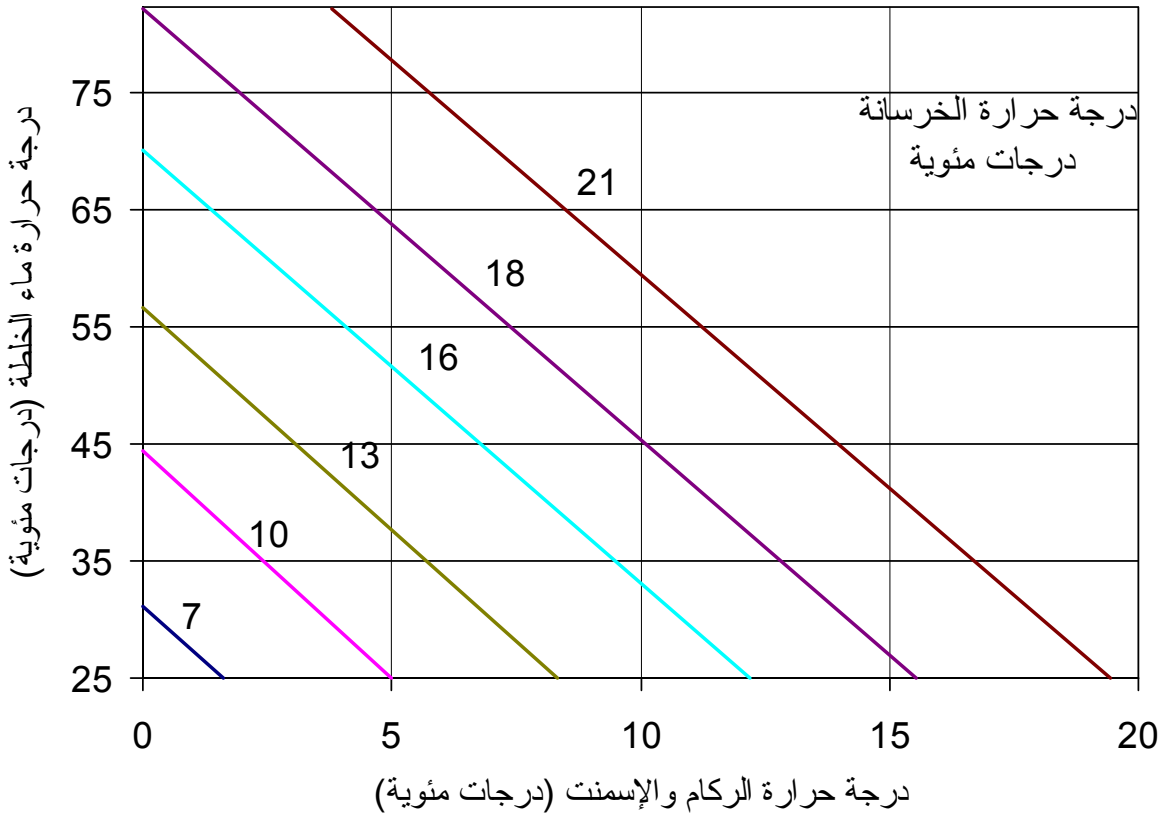
يمكن استعمال كمية قليلة من الاضافات لتعجيل الشك مثل كلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$) للزيادة في سرعة زمن الشك ونمو المقاومة المبكرة للخرسانة في الأجواء الباردة.

وفي بعض الإنشاءات الخرسانية يستحسن استعمال خرسانة مع نسبة الإسمنت إلى الماء منخفضة للازدياد في المقاومة المبكرة أيضا.

تسخين ماء الخلطة: يعتبر الماء من أسهل المواد لتسخينه من المواد الأخرى الداخلة في صنع الخرسانة (الإسمنت و الركام) على الرغم من أن وزن الركام والإسمنت في الخرسانة أكبر من وزن الماء.وينصح عدم تسخين الماء أكثرمن(٦٠ ـ ٨٠ درجة مئوية).

و يمكن كذلك تسخين الركام بالبخار حتى ٥٢ درجة مئوية إذا كان تسخين الماء غير كاف.

يمكن استعمال معادلة حساب درجة حرارة الخرسانة الطرية (T) من درجة حرارة عناصرها (الإسمنت، الماء، الركام) المذكورة في الفصل الرابع أو استعمال شكل رقم ١,٥.



شكل ١,٥: العلاقة بين درجة حرارة الخرسانة الطرية و درجة حرارة عناصرها في الطقس البارد.

٣,٥. المعالجة:

يمكن استعمال طريقة لتغطية سطح الخرسانة باستخدام الورق غير النافذ و الألواح البلاستيكية (شكل رقم ٢,٥) و المركبات الكيميائية الملونة بالأسود لرفع امتصاص الحرارة في المناطق الباردة. وبذلك تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الخرسانة. و يمكن كذلك الاحتفاظ بالحرارة و الرطوبة داخل الخرسانة بتغطيتها بمواد عازلة مثل بطانيات عازلة (شكل رقم ٣,٥).

يمكن الحصول على درجة حرارة ملائمة بصنع حواجز عازلة حول المنشأ و تزويد المنطقة في الداخل بالحرارة (شكل رقم ٤,٥). الحرارة بالبخار هي أحسن وسيلة لأنها تحافظ على رطوبة الخرسانة. المواصفات الأمريكية تقترح استعمال جدول رقم ١,٥ لتحديد أدنى مدة لمعالجة الخرسانة في الأجواء الباردة (درجة حرارة الخرسانة = ١٠ درجات مئوية).

شكل رقم ٢,٥ : استعمال الألواح البلاستيكية لمعالجة الخرسانة في المناطق الباردة

شكل رقم ٣,٥ : تغطية سطح الخرسانة بمادة عازلة للاحتفاظ بالحرارة داخل الخرسانة

شكل رقم ٤,٥ : تزويد الخرسانة داخل المنطقة العازلة بالحرارة.

جدول رقم ١,٥ : طول مدة معالجة الخرسانة في الطقس البارد (درجة حرارة الخرسانة = ١٠ درجات مئوية) طبقا للمواصفات الأمريكية (ACI 306R-78)

نوع الإسمنت	مدة المحافظة (الأيام)			
	نسبة مقاومة الخرسانة بعد ٢٨ يوما			
	٥٠ %	٦٥ %	٨٥ %	٩٥ %
إسمنت بورتلاندي	٦	١١	٢١	٢٩
إسمنت متوسط المقاومة	٩	١٤	٢٨	٣٥
إسمنت سريع التصلد	٣	٥	١٦	٢٦

و يمكن الملاحظة من الجدول أنه يجب أن تكون مدة معالجة الخرسانة المكونة من الإسمنت البورتلاندي ٦ أيام من أجل الحصول على نسبة مقاومة الخرسانة ٥٠ ٪ من المقاومة المحصل عليها بعد ٢٨ يوما. و هذه المدة تتقلص إلى ٣ أيام فقط بالنسبة لمعالجة الخرسانة المكونة من الإسمنت سريع التصلد.

تقنيات وأعمال الخرسانة

إختبارات الخرسانة في الموقع

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة:

يتعرف الطالب بالتفصيل عن الطرق المختلفة لاختبار جودة الخرسانة الطرية و المتصلبة. بالإضافة إلى العوامل المؤثرة على درجة التشغيلية و العوامل المؤثرة على المقاومة.

الأهداف:

عند دراسة هذا الفصل يتعرف الطالب على

- الأنواع المختلفة لاختبارات جودة الخرسانة الطرية.
- العوامل المؤثرة على درجة التشغيلية للخرسانة الطرية.
- الأنواع المختلفة لاختبارات جودة الخرسانة الصلبة.
- العوامل المؤثرة على مقاومة الخرسانة الصلبة.
- العلاقة بين مقاومة الشد و مقاومة ضغط الخرسانة.

مستوى الأداء المطلوب: أن يلم الطالب الإلمام التام بالجدارة المبينة أعلاه.

الوقت المتوقع لإنجاز الهدف: أسبوعان على الأقل.

متطلبات الجدارة: اجتياز مادة خواص و اختبارات المواد.

١,٦. مقدمة:

خواص الخرسانة الطرية تؤثر كثيرا على خواص الخرسانة المتصلبة. لذلك يجب العناية بالخرسانة عندما تكون طرية و كذلك عند اختيار مكوناتها و خلطها و صبها في المنشأ. فدرجة التشغيلية و مقاومة الخرسانة تتأثران بكمية ماء الخلطة. فالعلاقة بين درجة التشغيلية و الماء علاقة طردية أما العلاقة بين مقاومة الخرسانة علاقة عكسية. كلما زادت نسبة الماء قلت مقاومة الخرسانة وزادت درجة التشغيلية.

تعتبر عموما مقاومة الخرسانة للضغط دليلا مباشرا للجودة وخواص الأخرى للخرسانة المتصلبة مثل اللامنفذية و ديمومة الخرسانة. و هذه نتيجة سهولة إجراء اختبار مقاومة الخرسانة.

٢,٦. مراقبة جودة الخرسانة الطرية:

يجب أن تتوافر الشروط التالية للخرسانة الطرية لكي نحصل على خرسانة صلبة ذات جودة و مقاومة عالية:

- تكون الخرسانة الطرية سهلة الخلط و النقل.
- سهولة الصب و الدمك للخرسانة الطرية بدون استعمال طاقة إضافية.
- يجب ألا تنفصل حبيبات الركام (segregation) أثناء صب الخرسانة و تكثيفها.
- أن تكون الخرسانة متجانسة.

١,٢,٦. قابلية تشغيل الخرسانة: (workability)

يمكن تعريف قابلية تشغيل الخرسانة على أنها كمية الجهد اللازمة للحصول على كثافة كاملة للخرسانة بدون حدوث انفصال حبيبات (segregation)، ولكن عمليا يصعب تحديد درجة التشغيل كما سبق ذكره. بما أن العلاقة بين مقاومة الخرسانة ووجود فراغات داخل الخرسانة علاقة عكسية، لذا يجب الحصول على أقصى كثافة ممكنة بمعنى آخر زيادة في كمية الفراغات و من ثم انخفاض في كثافة الخرسانة يؤدي إلى انخفاض كبير في المقاومة. أهمية دمك الخرسانة (compaction) هو مبين في شكل رقم ١٠،١. زيادة في كمية الفراغات بمقدار ٥ % تؤدي إلى نقص المقاومة بمقدار ٣٠ %.

٢,٢,٦. العوامل التي تؤثر على درجة التشغيلية:

تتأثر درجة التشغيلية بعوامل كثيرة منها كمية الماء في خلطة الخرسانة، نسب الخلطة، خاصية الركام، الزمن، درجة حرارة الجو، خواص الإسمنت و المواد الإضافية.

- كمية الماء في خلطة الخرسانة:

كمية الماء هو العامل الأكثر أهمية في التأثير على قابلية التشغيل، حيث إن الزيادة في كمية الماء تؤدي إلى زيادة في سهولة إنسياب الخرسانة (flow) و بالتالي سهولة دمكها. ولكن زيادة في كمية الماء (زيادة في نسبة الماء إلى الإسمنت) تؤدي إلى انخفاض مقاومة الخرسانة (شكل رقم ٩،٦) و إلى إنفصال حبيبات الركام. (segregation) كما هو معروف فإن زيادة في نسبة الماء إلى الإسمنت تسبب في زيادة في كمية الفراغات في نواتج الإسمنت. و عليه فإن كمية الماء المضافة إلى الخرسانة هي التي تحدد درجة التشغيل.

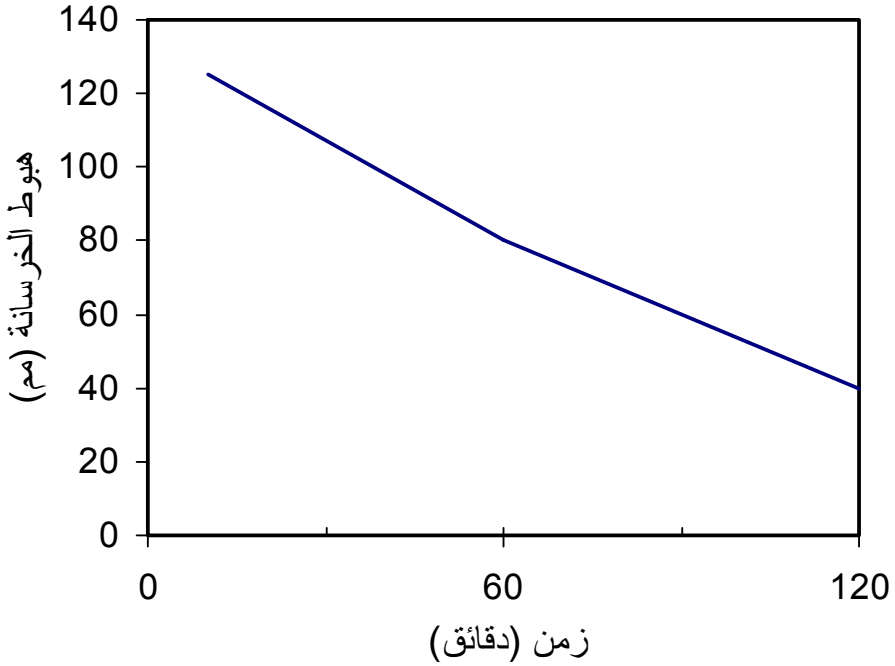
- الركام:

زيادة في نسبة الركام إلى الإسمنت يؤدي إلى انخفاض في درجة التشغيلية للخرسانة. و هذا راجع إلى انخفاض كمية العجينة الإسمنتية اللازمة لتملأ الفراغات بين حبيبات الركام و تحيط بها.

درجة التشغيلية تتأثر كذلك بشكل و نعومة السطح الخارجي للركام. كلما كان شكل حبيبات الركام دائري (round) زادت قابلية التشغيل للخرسانة. و هذا راجع إلى أن يلزم للحبيبات الكروية (spherical) كمية أقل من العجينة الإسمنتية و الكمية الباقية من العجينة تزيد من سهولة تحريك حبيبات الركام و الأجزاء الصغيرة من الخرسانة و هذا بالتالي يزيد من قابلية التشغيل.

- الزمن و درجة الحرارة:

كلما زادت درجة حرارة الجو تنخفض درجة التشغيلية للخرسانة كما هو مبين في شكل رقم ٢،٤ (الفصل الرابع). وذلك لأن درجة الحرارة العالية تزيد من سرعة تبخر الماء وسرعة التفاعل الكيميائي بين الإسمنت والماء. لذلك ينصح باستعمال كمية أكبر من الماء في صناعة الخرسانة في الأجواء الحارة (مثل في المملكة العربية السعودية والخليج العربي عامة). شكل رقم ١،٦ يبين أنه كلما زاد الزمن بعد الخلط إنخفضت قابلية التشغيل و هذا بسبب تبخر الماء أو فقدان الماء عن طريق الامتصاص. العلاقة بين فقدان درجة التشغيلية و الزمن هي علاقة خطية. و تكون سرعة الإنخفاض أكبر في النصف الساعة إلى الساعة الأولى بعد الخلط.



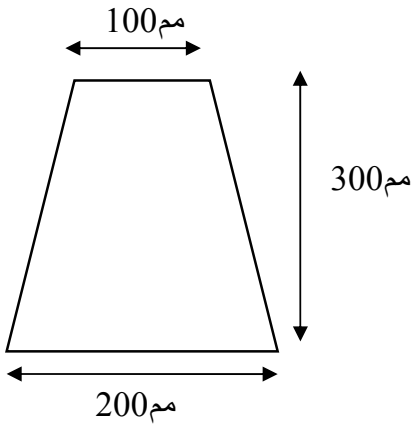
شكل رقم ١,٦: العلاقة بين فقدان درجة التشغيلية و الزمن بعد نهاية الخلط.

٣,٢,٦. قياس درجة التشغيلية:

يوجد عدد كبير من الاختبارات لقياس درجة التشغيلية للخرسانة في جميع أنحاء العالم و تطورت خلال السنوات و ترتكز تحت الطرق التالية: اختبار الهابط، اختبار الانسياب، جهاز إعادة الشكل، اختبار الدمك، اختبار فب، اختبار كرة الاحتراق.

١,٣,٢,٦. اختبار هبوط الخرسانة الطازجة: slump test

يعتبر هذا الاختبار الأقدم و الأكثر استعمالا في جميع أنحاء العالم طبقا للمواصفات الأمريكية (ASTM C143-78). هذا الجهاز البسيط يحتوي على قالب مخروط ناقص (frustum cone) بأبعاد قياسية مبين في شكل رقم ٢,٦.



شكل رقم ٢,٦ : قالب مخروط ناقص

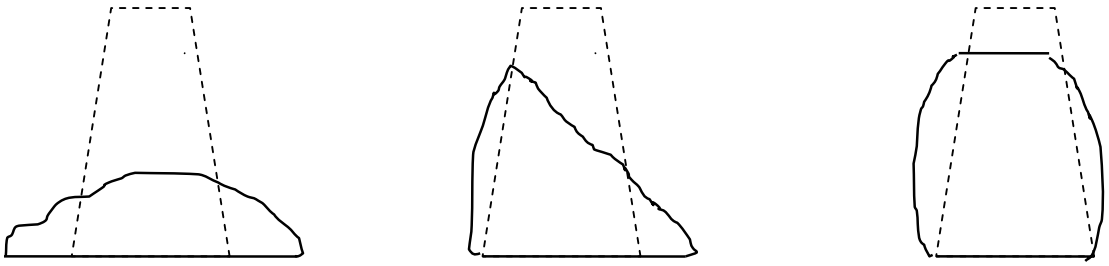
طريق العمل:

- يملأ القالب بالخرسانة الطازجة على ثلاثة طبقات متساوية الحجم.
- دمك كل طبقة ٢٥ مرة بقضيب من الحديد قطره ١٦ مم و مدور في نهايته.
- يسوى سطح المخروط جيدا.
- يرفع القالب رأسيا مباشرة
- يقاس مقدار هبوط الخرسانة مباشرة بالميليمتر أي الفرق بين ارتفاع الخرسانة بعد الهبوط و ارتفاع المخروط. (شكل رقم ٣,٦)

يمكن حدوث ثلاث أنواع مختلفة من الهبوط معتمدا على خلطة الخرسانة (شكل رقم ٤,٦).

يجب إعادة الاختبار في حالة هبوط قص و هذا النوع من الهبوط يدل على أن الخرسانة جافة مع إمكانية الإشارة إلى فقدان التماسك (cohesion). أما هبوط انهيار يدل في الغالب على أن الخرسانة مبتلة جدا أو أن الخرسانة فقيرة (lean concrete). هذا الاختبار مفيد جدا في مواقع المشاريع الإنشائية و يعطي فكرة على أن الخرسانة منتظمة و متجانسة أم لا. ولا ينصح باستعمال هذا الاختبار للخرسانة الجافة جدا و المبتلة جدا لأنه لا يعطي قيمة دقيقة في الحالتين.

شكل رقم ٣,٦: يبين قياس هبوط الخرسانة .



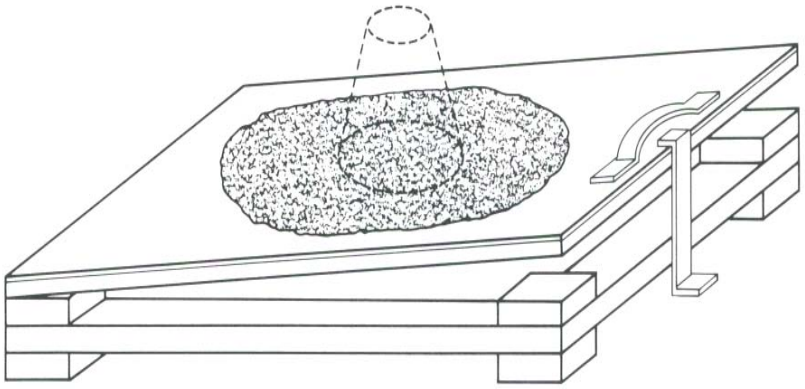
هبوط حقيقي a) True slump هبوط قص b) shear هبوط انهيار c) collapse

شكل رقم ٤,٦: أنواع هبوط الخرسانة.

٢,٣,٢,٦. اختبار الانسيابية: flow test

أصبح هذا الاختبار أخيرا أكثر استعمالا و خاصة للخرسانة بمادة إضافية لخفض نسبة الماء في الخلطة (super plasticizer admixture). جهاز اختبار الانسيابية يحتوي على منضدة خشبية مغلفة بصفيحة معدنية على شكل مربع طول ضلعه يساوي ٧٠٠ مم و مثبت بحيث يمكن رج إحدى نهايته بمقدار ٤٠ مم. يوضع على سطح المنضدة قالب على شكل مخروط ناقص (شكل رقم ٥,٦):

- ارتفاع	= ٢٠٠ مم
- قطر الأعلى	= ١٣٠ مم
- قطر الأسفل	= ٢٠٠ مم



شكل رقم ٥,٦: جهاز اختبار الانسيابية

طريقة العمل:

- يملأ القالب بالخرسانة الطازجة على طبقتين متساوية الحجم.
- دمك كل طبقة بعصا خشبية ١٠ مرات.
- يسوى سطح المخروط و يزيل الخرسانة الزائدة.
- يرفع القالب رأسيا.
- ترفع المنضدة و ترج ١٥ مرة في ١٥ ثانية.
- بعد ذلك يأخذ معدل قيمتين لقطر (D) انتشار الخرسانة على المنضدة.

يقاس إنسياب (flow) الخرسانة بالمعادلة التالية:

$$flow = \frac{D - 200}{200} x100$$

D = قطر بمم

و يجب أن تكون الخرسانة في هذه المرحلة متماسكة و متجانسة.

٣,٣,٢,٦. اختبار الدمك: compacting factor test

تطور اختبار الدمك في بريطانية سنة ١٩٤٧ و تستعمل تحت المواصفات البريطانية (BS.1881:part2).

يحتوي الجهاز على قالبين على شكل مخروط ناقص و مجهز بباب في الأسفل و قالب على شكل أسطوانة في الأسفل كما هو موضح في شكل رقم ٦,٦. يستحسن استعمال هذا الاختبار للخرسانة الجافة ذات درجة تشغيلية منخفضة. استعمال هذا الجهاز في مواقع المشاريع محدود جدا إلا في المشاريع الكبيرة أو في صنع الخرسانة المجهزة سابقا.

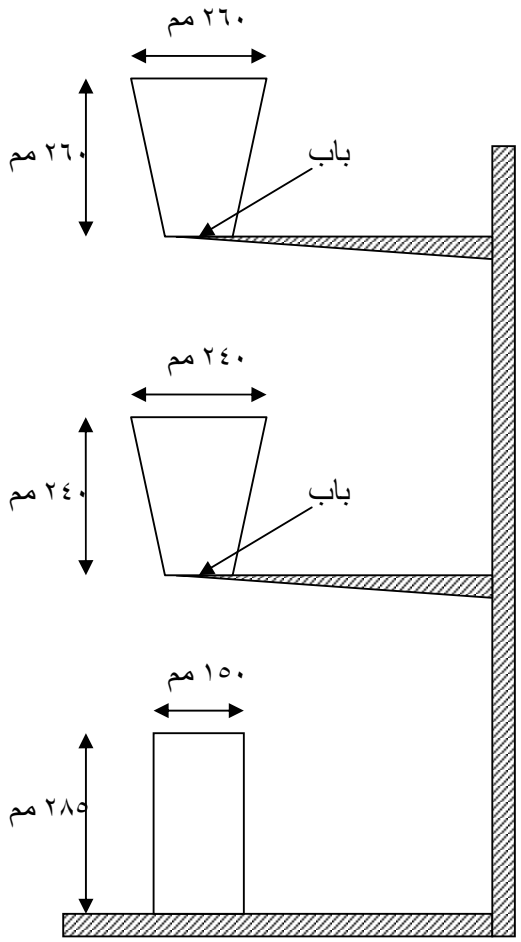
طريقة العمل:

- يملأ القالب الأعلى بالخرسانة الطازجة بدون استعمال أي دمك.
- بعد فتح الباب تسقط الخرسانة تحت تأثير الوزن إلى القالب الأسفل.
- و كذلك بعد فتح الباب تسقط الخرسانة تحت تأثير وزنها إلى القالب الثالث على شكل أسطوانة.
- يسوى سطح القالب و يزيل الخرسانة الزائدة.
- تقاس بعد ذلك وزن الخرسانة المكثفة جزئيا = P_1
- تملأ الخرسانة مرة ثانية بنفس عينة الخرسانة و يتم تكثيفها كاملا بواسطة هزاز داخلي أو على منضدة هز.
- يأخذ بعد ذلك وزن الخرسانة المكثفة كاملا = P_2

يقاس معامل الدمك (compacting factor) بالمعادلة التالية:

$$C.F = \frac{P_1}{P_2}$$

تكون قيمة معامل الدمك دائما أقل من واحد. جدول رقم ١,٦ يدرج قيمة هبوط الخرسانة و معامل الدمك لمختلف درجات تشغيلية و أنواع استعمالات الخرسانة.



شكل رقم ٦,٦ : جهاز اختبار الدمك

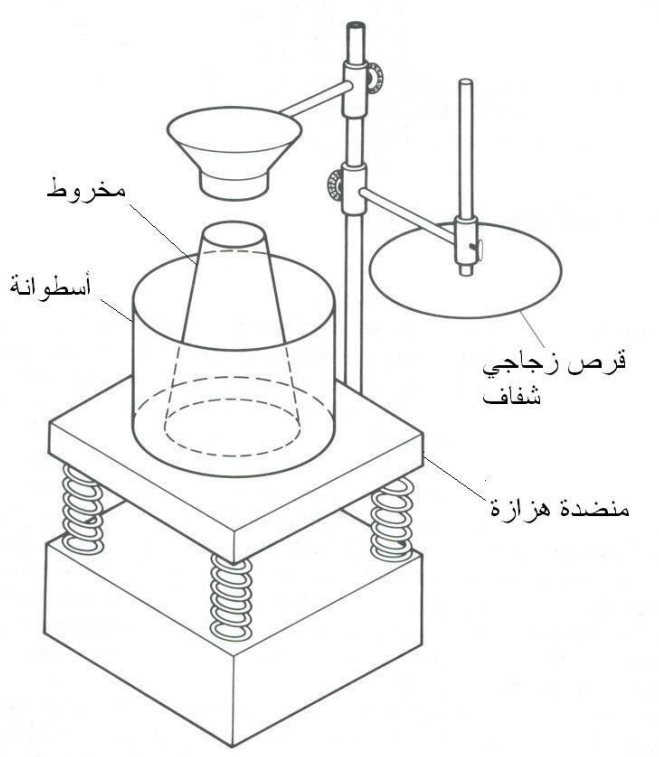
جدول رقم ١,٦ : هبوط الخرسانة و معامل الدمك لمختلف درجات تشغيلية و أنواع استعمالات الخرسانة.

درجة التشغيلية	هبوط الخرسانة (مم)	عامل الدمك	أنواع استعمال الخرسانة
منخفضة جدا	٠ -٢٥	٠,٧٨	- طرق مكثفة بأجهزة
منخفضة	٢٥ -٥٠	٠,٨٥	- طرق مكثفة يدويا - خرسانة الأساسات
متوسطة	٢٥ -١٠٠	٠,٩٢	- خرسانة مسلحة عادية
عالية	١٠٠ -١٧٥	٠,٩٥	- خرسانة مسلحة (نسبة التسليح عالية) و صعوبة في استخدام الهزاز

٤,٣,٢,٦. اختبار إعادة التشكيل: (Vebe Test)

اسم vebe نسبة إلى العالم السويدي V. Bahrner الذي طور هذا الاختبار في سنة ١٩٤٠ و أصبح أكثر استعمالا و تحت المواصفات البريطانية (BS 1881 part 104 1983) و يعد هذا الاختبار ملائما جدا لتحديد الفروق بين درجة التشغيلية للخرسانات الجافة جدا

و يستعمل للخرسانة ذات حبيبات الركام أقل من ٤٠ مم. يبين شكل رقم ٧,٦ الرسم للجهاز.



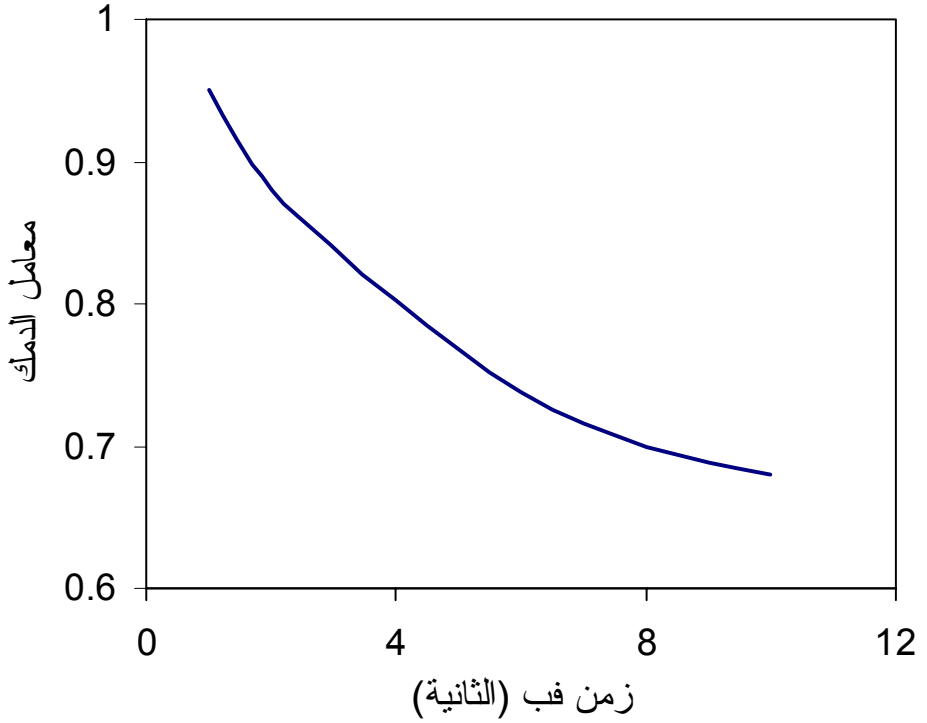
شكل رقم ٧,٦: جهاز اختبار فب

طريقة العمل:

- يملأ المخروط بالخرسانة بنفس طريقة اختبار هبوط الخرسانة (slump test)
- يوضع المخروط المستعمل في اختبار الهبوط الخرسانة داخل أسطوانة (قطرها ٢٤٠ مم و ارتفاعها ٢٠٠ مم)
- يرفع القالب رأسيا.
- يوضع قرص زجاجي شفاف فوق الخرسانة (وزن = ٢,٧٥ كغ)

- يحصل دمك الخرسانة باستعمال رج المنضدة.
- يأخذ الزمن (T) بالثانية من بداية استعمال رج المنضدة و حتى يغطى القرص الشفاف كاملا بالخرسانة بمعنى آخر حتى يتغير شكل الخرسانة من المخروط الناقص إلى أسطوانة.

يفترض أن الجهد اللازم للحصول على دمك كامل للخرسانة هو قياس لدرجة التشغيلية للخرسانة و يقاس بالزمن بالثانية (Vebe seconds). يكون هذا الاختبار ملائما جدا عندما يتراوح الزمن من ٥ إلى ٣٠ ثانية. شكل رقم ٨,٦ يبين العلاقة بين عامل الدمك وزمن فب (T) بالثانية بالنسبة للخرسانة العادية.



شكل رقم ٨,٦ : العلاقة بين معامل الدمك و زمن فب.

٣,٦. مراقبة جودة الخرسانة الصلبة:

تعتبر مقاومة الخرسانة بصفة عامة الخاصية الأكثر أهمية. مع أن بعض الخواص الأخرى مثل الديمومة، المنفذية و التغيرات البعدية للخرسانة، تكون في بعض الحالات أكثر أهمية. على الرغم من ذلك، مقاومة الخرسانة تعطي عموما تصور عن جودة الخرسانة.

١,٣,٦. العوامل المؤثرة على المقاومة:

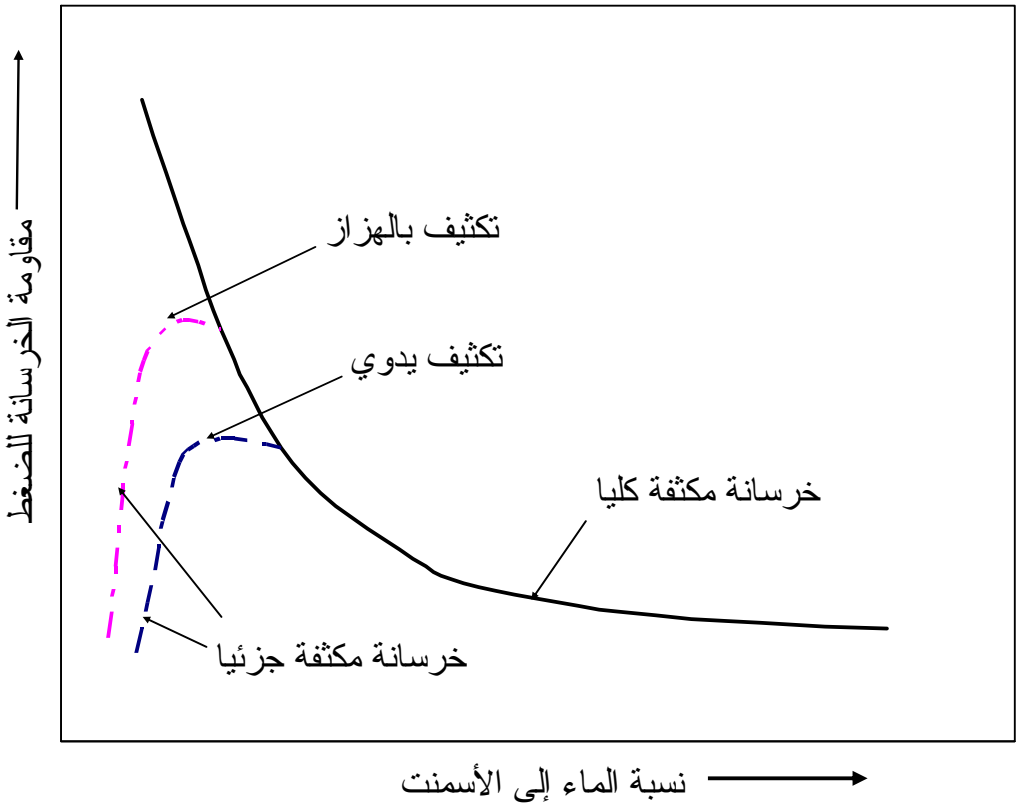
على الرغم أن كمية الفراغات (porosity) هو العامل الرئيسي المؤثر على المقاومة إلا أنه يصعب تحديده عمليا. لذلك يؤخذ بالعوامل الآتية:

١) نسبة الماء إلى الإسمنت (water/cement ratio)

٢) درجة دمك الخرسانة الطرية (compaction)

٣) عمر الخرسانة

شكل رقم ٩,٦ يوضح تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت و درجة دمك الخرسانة على مقاومة ضغط الخرسانة. كلما انخفضت نسبة الماء إلى الإسمنت زادت مقاومة الخرسانة المكثفة تماما. أما إذا وجدت فراغات داخل الخرسانة (دمك غير كاف) يلاحض انخفاض في المقاومة.



شكل رقم ٩,٦ : العلاقة بين مقاومة الخرسانة و نسبة الماء إلى الإسمنت و طريقة تكثيف الخرسانة.

تزيد مقاومة الخرسانة بزيادة العمر و هذا يرجع إلى زيادة في درجة التفاعل الكيميائي بين الإسمنت و الماء كما هو موضح في الجدول رقم ٢,٦. تتأثر الخرسانة بعوامل أخرى مثل: نسبة الركام إلى الإسمنت، نوع الركام و المقاس الاعتباري الأكبر للركام.

جدول رقم ٢,٦ : مقاومة الخرسانة للضغط طبقا للمواصفات البريطانية (نسبة الماء إلى الإسمنت = ٠,٥)

نوع الإسمنت	نوع الركام الكبير	مقاومة الخرسانة للضغط (MPa)			
		٣ أيام	٧ أيام	٢٨ يوم	٩١ يوم
إسمنت بورتلاندي عادي (نوع I)	طبيعي	٢٢	٣١	٤٣	٥٠
	كساري	٢٧	٣٦	٤٨	٥٥
إسمنت سريع التصلد (نوع III)	طبيعي	٢٩	٣٧	٤٩	٥٥
	كساري	٣٤	٤٣	٥٤	٦٠

يمكن استعمال قانون أبرام (Abram's law) لحساب مقاومة الخرسانة للضغط (f_c)

$$f_c = \left[\frac{V_c}{V_c + V_w + a}\right]^2$$

حيث

V_c:	حجم الإسمنت
V_w:	حجم الماء
a:	حجم الفراغات في الخرسانة
K:	ثابت

٢,٣,٦. أنواع المقاومة:

تستخدم مقاومة الخرسانة للضغط في تصميم الأنواع المختلفة من المنشآت مثل الجسور، العمارات. مع أنه يوجد أنواع أخرى من المقاومة.

- مقاومة الشد
- مقاومة الانحناء
- مقاومة القص
- مقاومة التماسك

٣,٣,٦. اختبار مقاومة الضغط:

يستعمل عادة عينات صغيرة الحجم لتحديد مقاومة الخرسانة. تتأثر مقاومة عينات الخرسانة ببعض العوامل الثانوية:

- سرعة التحميل.
- مقاس العينات.
- رطوبة العينات.
- نوع معالجة الخرسانة.

يستعمل عادة قالب من معدن متين على شكل مكعبات طول ضلعه ١٠٠ مم و ١٥٠ مم طبقا للمواصفات البريطانية أو أسطوانات (قطر= ٥٠٠ مم ارتفاع = ٣٠٠ مم). طبقا للمواصفات الأمريكية (ASTM C470-81) شكل رقم ١٠,٦.

طريقة العمل:

- يملأ القالب بالخرسانة على طبقتين أو ثلاث طبقات و تدك كل طبقة ب ٢٥ مرة بقضيب حديدي قطره ١٦ مم و مدور في نهايته. و يمكن استعمال الهزاز الخارجي أو الداخلي لتكثيف الخرسانة.
- يجب تغطية القوالب الأسطوانية من مادة كبريتية أو عجينة من إسمنت بورتلاندي (سمكها من ١,٥ إلى ٣ مم) لتسوية سطح الأعلى للخرسانة.

- بالنسبة لمعالجة الخرسانة داخل المخبر تحفظ العينة في غرفة المختبر على أن تكون نسبة الرطوبة عالية (لا تقل على ٩٠ %) و درجة حرارة تساوي ٢٠ درجة مئوية لمدة ٢٤ ساعة حتى تحافظ العينات على رطوبتها.
- تفك العينات من القوالب بعد ذلك.
- توضع العينات مباشرة داحل الماء على درجة حرارة تساوي ٢٠ درجة مئوية حتى يوم الاختبار.
- عند وضع العينة داخل ماكينة الاختبار للضغط (شكل رقم ١١,٦) يجب التأكد أن يكون السطح العلوي و السفلي للعينة موازيا لأسطح الماكينة. لذلك يجب وضع المكعبات في مكينة الاختبار بحيث يكون سطح العلوي للقالب عند صب الخرسانة عموديا لسطح الماكينة. أما بالنسبة للعينة الأسطوانية يغطى السطح العلوي بمادة صلبة لضمان إستواء و توازي السطحين.
- تكون سرعة حمل الضغط ثابت و تتراوح بين ٠,٢ إلى ٠,٤ MPa في الثانية.
- يجرى اختبار مقاومة الخرسانة للضغط عادة على ثلاث عينات بعد ٢٨ يوما. و يمكن إجراء اختبارات إضافية بعد ٣ و ٧ أيام أو ممكن بعد ١٣، ٢٦ أسبوع و بعد سنة واحدة.

جدول رقم ٣,٦ يبين نسبة مقاومة الخرسانة للضغط بعد ٣ و ٧ أيام إلى مقاومة الخرسانة بعد ٢٨ يوما.

يجب الإشارة أن مقاومة المكعبات للضغذ تساوي تقريبا ١,٢٥ مرة مقاومة الأسطوانات للضغط أي:

$$f_{cu} = 1.25\, f_{cyl}$$

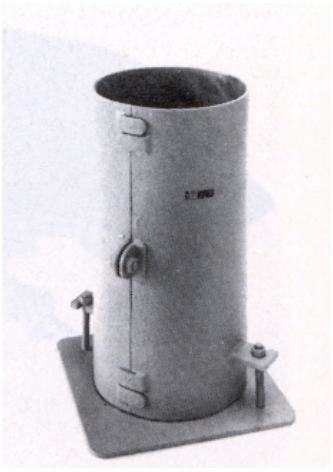
بحيث f_{cu} = مقاومة المكعب

f_{cyl} = مقاومة الأسطوانة

هذه العلاقة هي نتيجة في الفرق في نسبة الارتفاع إلى القطر $\left(\frac{h}{d}\right)$.

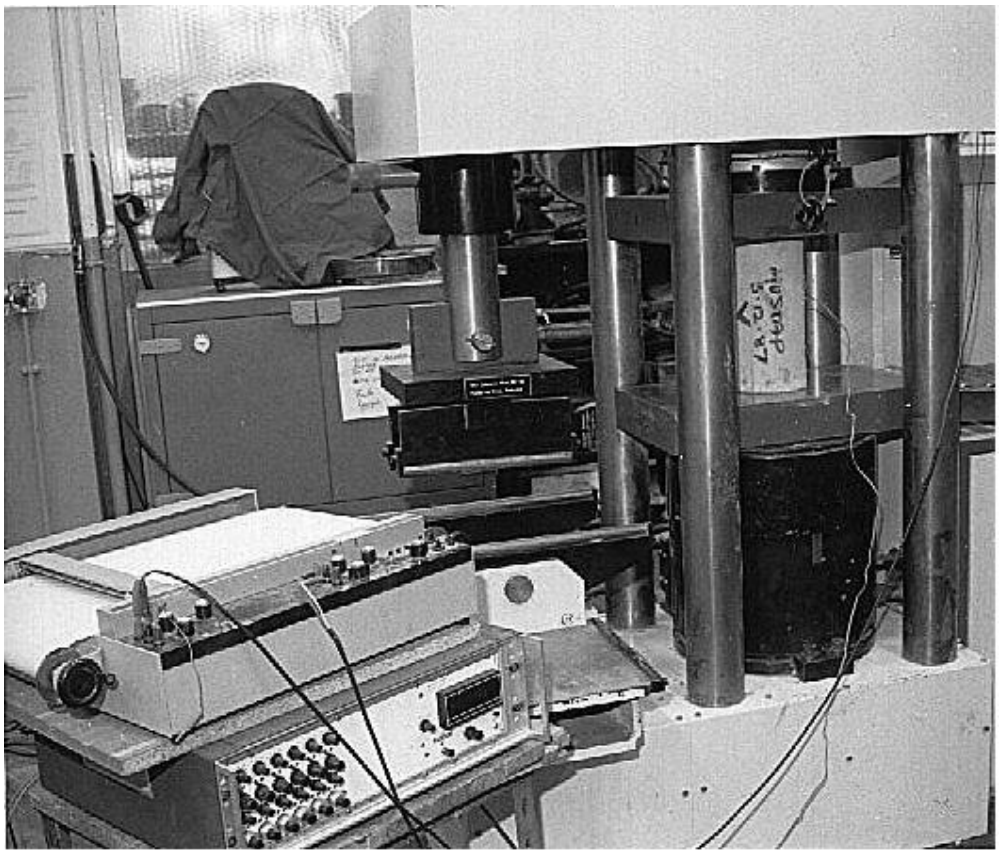
الأسطوانة	$\frac{h}{d} = 2$
المكعب	$\frac{h}{d} = 1$

قالب على شكل مكعب



قالب على شكل أسطوانة

شكل رقم ١٠,٦ : القوالب المستعملة في اختبار مقاومة الخرسانة للضغط.



شكل رقم ١١,٦ : وضع عينة الخرسانة على شكل أسطوانة داخل ماكينة الاختبار و إجراء اختبارللضغط

جدول رقم ٣,٦ :نسبة مقاومة الخرسانة للضغط بعد ٣ و ٧ أيام إلى مقاومة الخرسانة بعد ٢٨ يوما.

نوع الخرسانة	٣ أيام	٣ أيام
خرسانة إسمنت بورتلاندي عادي	% ٤٠	% ٦٦
خرسانة إسمنت سريع التصلد	% ٥٥	% ٨٠

٤,٣,٦. اختبار مقاومة الشد:

من المعروف أن مقاومة الخرسانة للشد ضعيفة بالنسبة لمقاومتها للضغط .لذلك في الخرسانة المسلحة نعتبر أن حديد التسليح يقاوم جميع قوى الشد ونهمل مقاومة الخرسانة للشد.

يوجد عدة معادلات مقترحة لربط مقاومة الشد (f_t) والضغط (f_c) معضمها على شكل:

$$f_t = k f_c^{\,m}$$

بحيث k وm ثابتين .

المواصفات الأمريكية (ACI) تستعمل العلاقة التالية.

$$f_t = k\sqrt{f_c}$$

وحدة f_c و f_t : MPa

المواصفات الأوربية (CEB) تقترح العلاقة التالية:

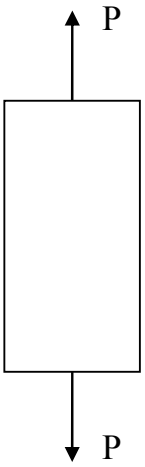
$$f_t = 0.3(f_c)^{2/3}$$

تتراوح عادة نسبة مقاومة الشد إلى مقاومة الضغط من 0.07 إلى 0.11 .

توجد طريقتان لاختبار مقاومة الشد للخرسانة:

١,٤,٣,٦ طريقة اختبار الشد المباشر (direct tensile strength)

كل المحاولات التي بذلت لاختبار الخرسانة للشد المباشر تعتمد على تطبيق قوة شد في نهاية طرفي العينة (شكل رقم ١٢,٦). يبين شكل رقم ١٣,٦ و ١٤,٦ عينة الخرسانة لاختبار و قالب الخرسانة المستعمل لاختبار مقاومة الشد المباشر.



$$f_t = \frac{P}{A}$$

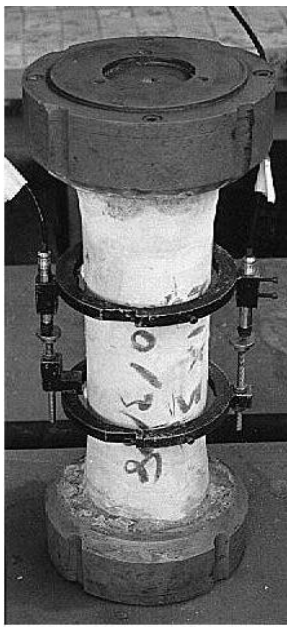
بحيث

f_t : إجهاد الشد.

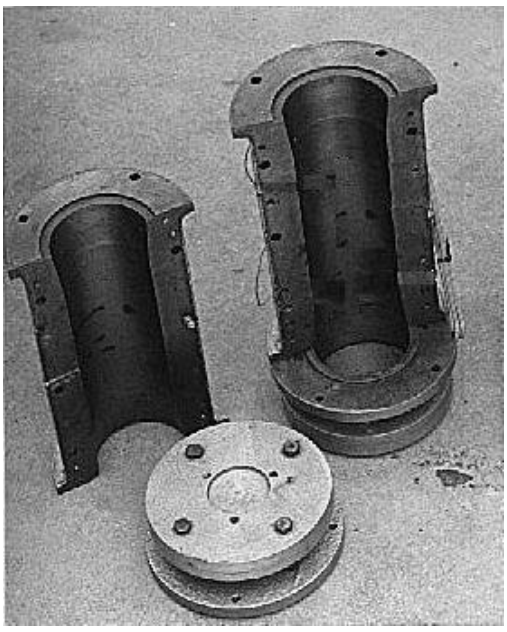
P : قوة الشد.

A : مساحة المقطع.

شكل رقم ١٢,٦: اختبار الشد المباشر.



شكل رقم ١٣,٦: عينة الخرسانة لاختبار مقاومة الشد المباشر



شكل رقم ١٤,٦: قالب الخرسانة المستعمل لاختبار مقاومة الشد

٢,٤,٣,٦ طريقة اختبار الشد الغير المباشر (indirect tensile strength)

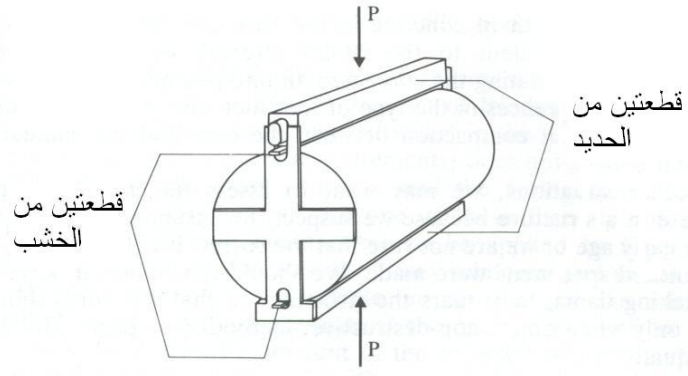
بما أنه توجد صعوبة في استعمال طريقة اختبار الشد المباشر لقياس مقاومة الشد للخرسانة لذلك نستعمل طريقة اختبار غير المباشر وذلك عن طريق إجراء:

- اختبار الشد بالطريقة البرازيلية. (splitting test)
- اختبار الانحناء. (flexure test)

١) اختبار الشد بالطريقة البرازيلية:

توضع عينة أسطوانية من نفس النوع المستعمل في اختبار مقاومة الضغط (١٥٠x٣٠٠ مم) في مكينة الاختبار بشكل أفقي .

- تجرى عملية الصب والدمك للعينات بنفس الطريقة لعينات اختبار الضغط.
- يتم ضمان توزيع الحمل على العينة عن طريق قطعتين من الخشب ،مثبتتين فوق وتحت العينة. شكل رقم ١٥,٦
- في هذا الاختبار تحمّل العينة تدريجيا حتى يحدث الانفصال.
- هذا الانفصال هو نتيجة إجهاد الشد على المستوى الرأسي للعينة .
- تكون سرعة الحمل ثابتة بحيث تكون الزيادة في إجهاد الشد تتراوح بين ٠,٠٢ إلى ٠,٠٤ MPa/الثانية.



شكل رقم ١٥,٦: وضع العينة الأسطوانية لاختبار إجهادالشد بالطريقة البرازيلية.

يوجد إجهاد ضغط عالي عند أسفل و أعلى الأسطوانة.

يمكن حساب مقاومة الشد في وسط العينة (σ_t) بالمعادلة التالية:

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi LD}$$

حيث p: الحمل

D: قطر الأسطوانة = ١٥٠ مم

L: طول الأسطوانة = ٣٠٠ مم

يمكن استعمال عينات على شكل مكعبات وتكون مقاومة الشد كمايلي:

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi a^2}$$

a= طول ضلع المكعب .

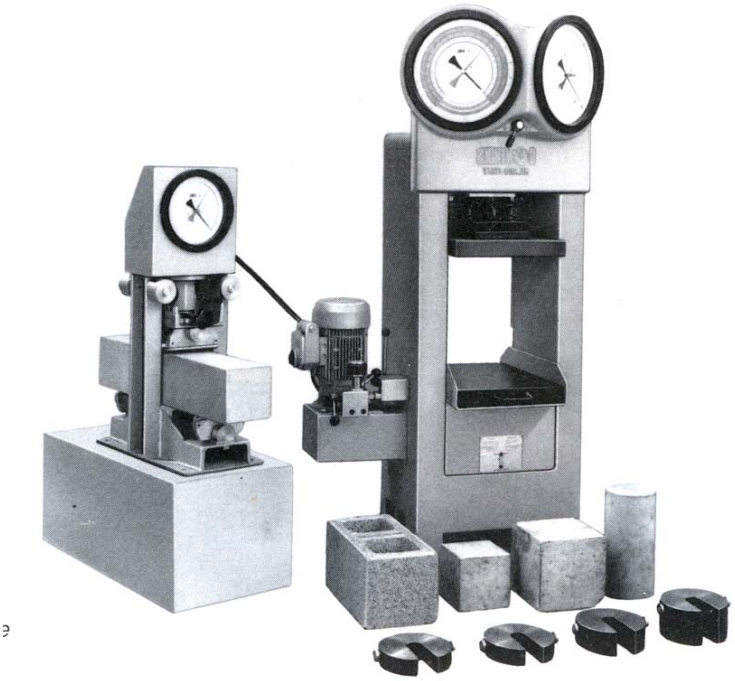
عموما وجد أن قيمة إجهاد الشد بالطريقة البرازيلية تكون حوالي ١٥ % أعلى من القيمة المحصلة عليها بطريقة اختبار الشد المباشر.

شكل رقم ١٦،٦يبين قطعتين من الأسطوانة بعد كسر العينة.

شكل رقم ١٦،٦: يبين قطعتين من الأسطوانة بعد كسر العينة باختبار إجهاد الشد بالطريقة البرازيلية.

٢) اختبار الانحناء:

نستعمل كذلك اختبار الانحناء (شكل رقم ١٧,٦) لتحديد مقاومة الشد للخرسانة طبقا للمواصفات الأمريكية (ASTM C78). العينة المستعملة على شكل كمرة ١٥٢ x١٥٢x ٥٠٨ طبقا للمواصفات الأمريكية أو ١٥٠x١٥٠ x ٧٥٠ طبقا للمواصفات البريطانية.(BS:1881)



شكل رقم ١٧,٦: وضع عينة الخرسانة على شكل كمرة داخل مكينة الاختبار و إجراء اختبار الانحناء.

يملأ القالب بالخرسانة على طبقتين وتكثف الخرسانة يدويا أو باستعمال هزّاز خارجي أو داخلي.

- تكون معالجة الخرسانة بنفس طريقة اختبار مقاومة الضغط.
- يجرى اختبار الانحناء للخرسانة بعد ٢٨ يوم.
- تكون سرعة الحمل ثابتة بحيث تكون زيادة إجهاد الشد تتراوح من ٠,٠٢ إلى ٠,١٠ MPa في الثانية.

في هذا الاختبار تحمل العينة في نقطتين كما هو موضح في الشكل ١٨,٦. وبذلك ينتج عزم إنحناء ثابت بين نقطتي الحمل وعلى ذلك يكون ثلث الكمرة معرض إلى أقصى إجهاد. ويحدث إجهاد الشد الأقصى في المنطقة السفلى من الكمرة. ويسمى معاير الكسر (modulus of rupture). وتنعدم قوة القص في تلك المنطقة (شكل رقم ١٨,٦).

بينما عند تحميل الكمرة في منتصفها تكون أقصى قيمة للعزم وإجهاد الشد في نقطة واحدة فقط (شكل رقم ١٩,٦).

عندما يحدث الكسر في المنطقة الوسطى للكمرة (شكل رقم ١٨,٦)، يحسب معاير الكسر (R) بالمعادلة التالية.

$$R = \frac{Pl}{bd^3}$$

حيث p: الحمل الأقصى

l: المسافة بين الدعامتين

d: ارتفاع الكمرة

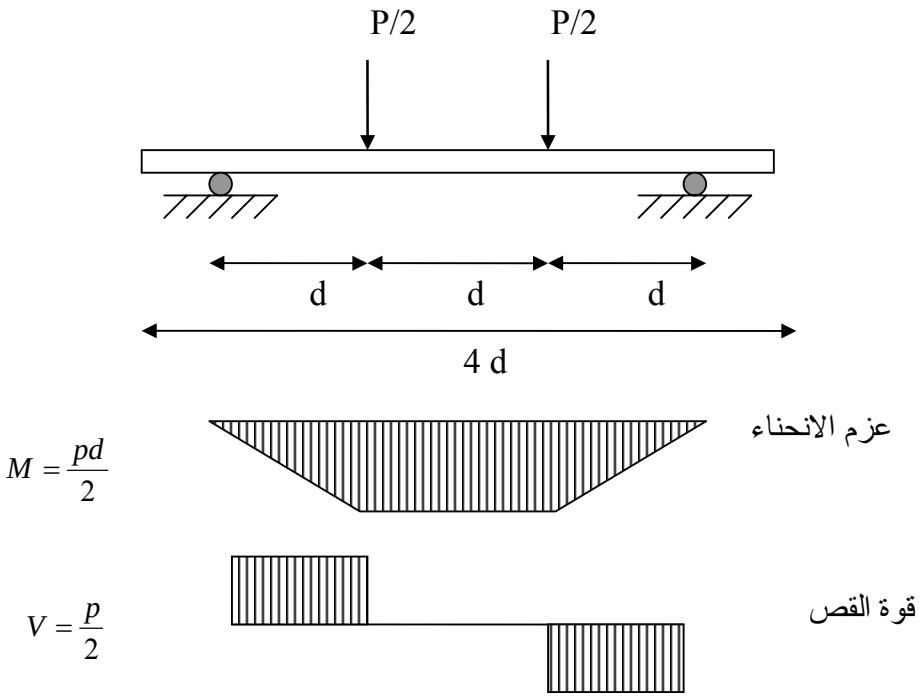
b: عرض الكمرة

عند حدوث الكسر خارج المنطقة الوسطى للكمرة يمكن استعمال المعادلة التالية:

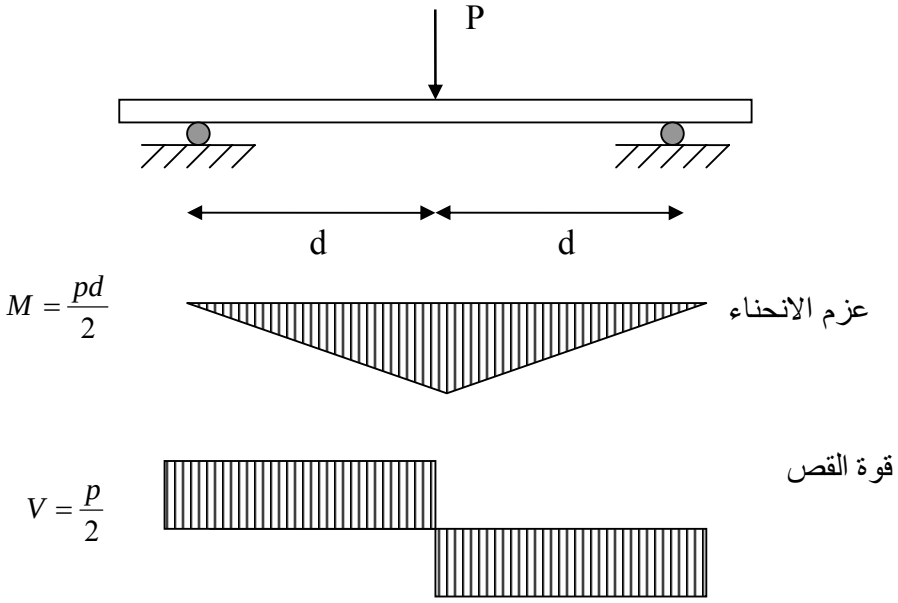
$$R = \frac{3Pa}{bd^3}$$

a= المسافة بين نقطة الكسر إلى أقرب ركيزة.

عند حدوث الكسر قريب جدا من إحدى الركيزتين يجب إعادة الاختبار. عموما اختبار الانحناء يعطي قيمة الإجهاد الشد أعلى من اختبار الشد المباشر.



شكل رقم ١٨,٦: عزم الانحناء و قوة القص عند تحميل الكمرة على نقطتين.



شكل رقم ١٩,٦: عزم الانحناء و قوة القص عند تحميل الكمرة على نقطة واحدة.

تقنيات وأعمال الخرسانة

اختبارات مقاومة الخرسانة في المنشأ

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة:

يتعلم الطالب في هذا الفصل كيفية القيام بالاختبارات المتلفة على الخرسانة في المنشأ. إضافة إلى العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط لعينات قلب الخرسانة و تقدير مقاومة المكعب القياسي. و يتعلم كذلك الاختبارات غير المتلفة مثل مطرقة الكرة و مطرقة شميت و اختبار القلع و اختبار سرعة الموجات فوق الصوتية.

الأهداف:

خلال دراسة الطالب لهذا الفصل يتوقع أن يكون قادراعلى القيام بالاختبارات التالية:

- قلب الخرسانة المتصلبة.
- مطرقة الكرة.
- مطرقة شميت.
- اختبار القلع.
- قياس سرعة الموجات فوق الصوتية.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يلم الطالب الإلمام التام بالجدارة المبينة أعلاه.

الوقت المتوقع لإنجاز الهدف:

أسبوعان على الأقل.

متطلبات الجدارة:

اجتياز مادة خواص و اختبارات المواد.

١,٧. مقدمة:

مقاومة الخرسانة في المنشأ تختلف عن تلك المحددة عن طريق اختبار الضغط باستعمال المكعبات أو الأسطوانات لعدة عوامل من بينها:

- ظروف معالجة الخرسانة. (درجة حرارة و نسبة رطوبة و مدة معالجة الخرسانة)
- درجة دمك الخرسانة
- الفرق في مقاس الخرسانة في المنشأ و العينة الصغيرة.

الهدف الرئيسي من تحديد مقاومة الخرسانة الحقيقية في المنشأ التأكد من نتائج اختبار الخرسانة للعينات. إذا كانت نتائج اختبارات عينات الضغط للخرسانة أقل من المقاومة المحددة لتصميم المنشأ فهذا يعني إما أن:

- جودة الخرسانة الحقيقية في المنشأ غير مرضية.
- كانت اختبار العينات بشكل غير مطابق للمواصفات.
- الخرسانة في العينة لا تعكس الخرسانة في المنشأ.

٢,٧. اختبار قلب الخرسانة المتصلبة: (Core test)

يعتبر هذا الاختبار متلفا للخرسانة و تؤخذ قلوب خرسانية من جزء من المنشأ لتحديد مقاومة الخرسانة الحقيقية (potential strength) في المنشأ. مقاومة الخرسانة الحقيقية تعادل مقاومة الخرسانة عن طريق اختبار العينات بعد ٢٨ يوما.

لنقل مقاومة قلب الخرسانة إلى مقاومة الخرسانة للضغط يجب أخذ بعين الاعتبار بعض العوامل المؤثرة:

- نوع العينة
- طريقة معالجة الخرسانة
- عمر الخرسانة
- درجة الدمك.

١,٢,٧. أخذ العينات:

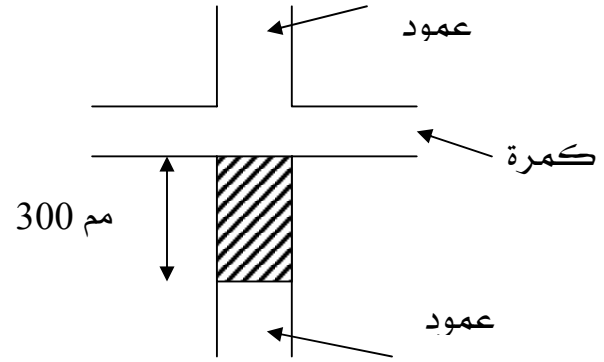
توجد طريقتان في اختيار المكان:

١) مكان وجود أقل مقاومة و أكبر قيمة للإجهاد مثل:

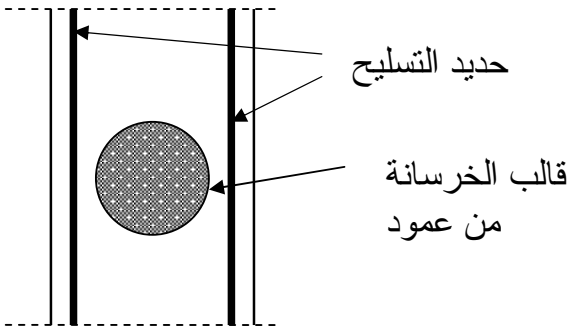
- المنطقة العلوية من وسط الكمرة. (beams)
- المنطقة العلوية للأعمدة (columns) و الجدران (walls)

٢) طبقا للمواصفات يجب تفادي مكان الخرسانة غير النموذجي.

مثلا: اجتناب المنطقة العلوية من الأعمدة و الجدران على عمق ٣٠٠ مم من الأعلى.



يفضل أخذ القوالب في اتجاه أفقي و تفادي حديد التسليح قدر المستطاع (شكل رقم ١,٧)، و يمكن استعمال جهاز (شكل رقم ٢,٧) لتحديد مكان حديد التسليح داخل الخرسانة (covermeter).



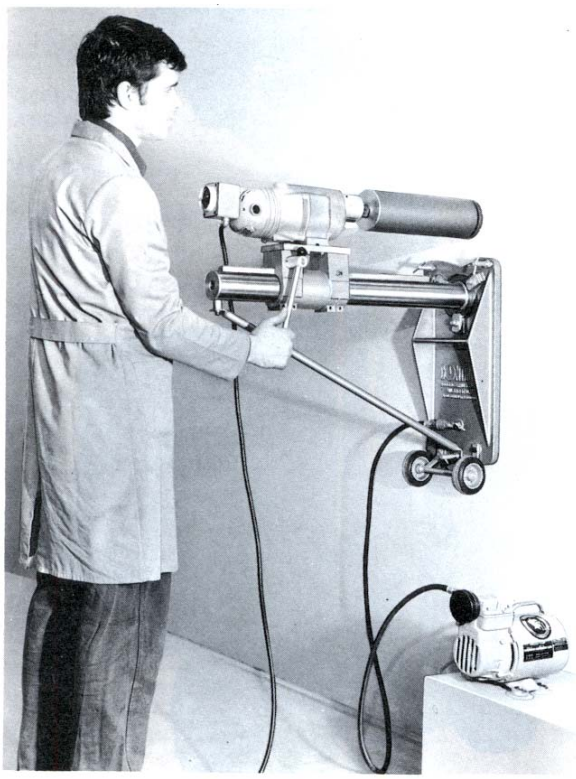
شكل رقم ١,٧: يبين أخذ قالب الخرسانة من عمود.

شكل رقم ٢,٧ : جهاز لتحديد حديد التسليح داخل الخرسانة المسلحة (covermeter).

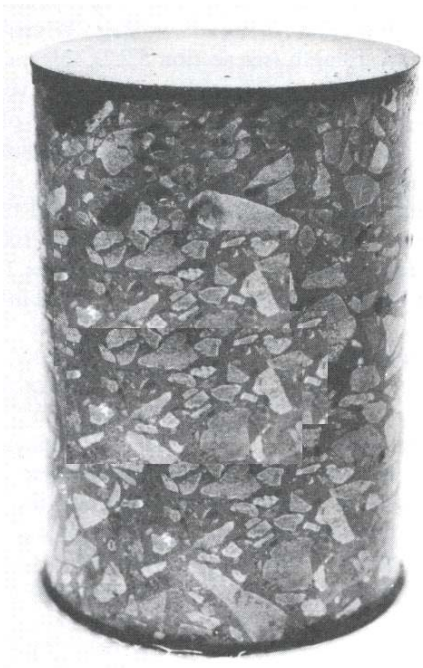
يستحسن على أن لا يقل قطر القالب عن ١٠٠ مم بالنسبة للمواصفات البريطانية و الأمريكية. وتستخدم العينات ذات القطر ١٥٠ مم إذا زاد المقاس الاعتباري الأكبر للركام عن ٢٥ مم. و تكون دقة الاختبار أقل إذا زادت نسبة مقاس الركام إلى قطر القالب. ويجب أن تتراوح نسبة طول القالب إلى قطره من ١ إلى ٢,٠.

٢,٢,٧. تجهيز العينات:

بعد قص عينات قلب الخرسانة باستعمال مكينة تثقيب دوار(شكل رقم ٣,٧) يجب تهذيب أسطح العينة أو تغطية السطح بمونة إسمنت عالي الألومينا (high alumina cement) أو خليط من الكبريت والرمل، للحصول على أسطح متوازية وعمودية على المحور الطولي للقالب (شكل رقم ٤,٧).



شكل رقم ٣,٧: عملية أخذ عينة قلب الخرسانة باستعمال مكينة تثقيب دوار.



شكل رقم ٤,٧: عينة قلب الخرسانة

٣,٢,٧. طريقة الاختبار:

توضع القوالب في مكينة الضغط حيث تكون سرعتها ثابتة. بمقدار ١٥ MPa/الثانية. وتكون القوالب رطبة طبقا للمواصفات البريطانية، أو جافة حسب مواصفات بعض الدول الأخرى.

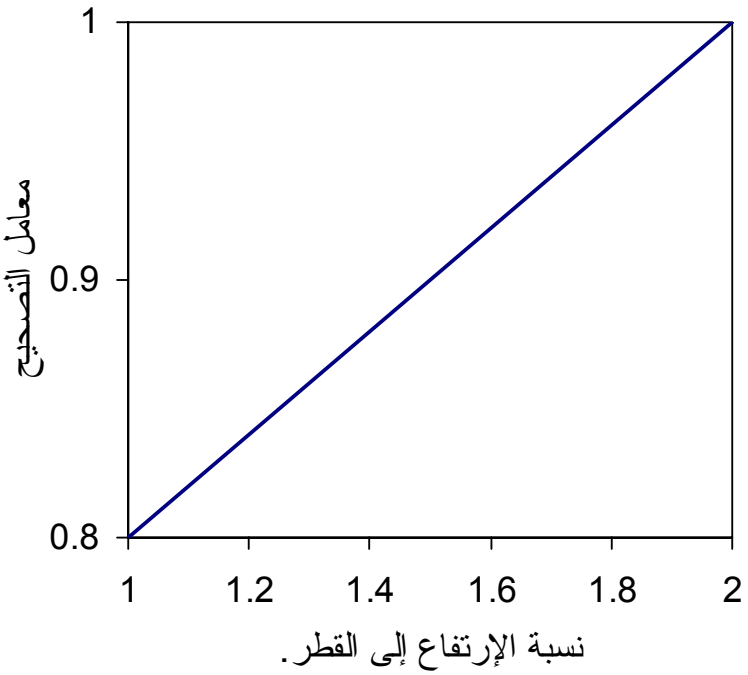
٤,٢,٧. العوامل المؤثرة على مقاومة ضغط عينات قلب الخرسانة:

١) خواص الخرسانة.

تكون مقاومة العينات الرطبة أقل من تلك الجافة بحوالي (١٠ -١٥ %) ووجود فراغات داخل الخرسانة يقلل من المقاومة المقاسة.

٢) نسبة ارتفاع القالب إلى قطره.

كلما زادت نسبة الارتفاع إلى القطر انخفضت المقاومة المقاسة. و يمكن استعمال معامل التصحيح (correction factor) من شكل رقم ٥,٧



شكل رقم ٥,٧: تأثير نسبة ارتفاع القالب إلى قطره.

٣) إتجاه أخذ العينة.

يمكن أخذ حوالي ٨ % كفرق في المقاومة المقاسة بين العينات التي تم إخراجها في الاتجاه العمودي و الأفقي للحفر. الاتجاه الأفقي يعطي مقاومة أكبر من الاتجاه العمودي.

٤) وجود حديد التسليح في القالب.

يستحسن أن يجري الاختبار على عينات خالية من حديد التسليح. و لكن في حالة وجودها تشير بعض النتائج أن الانخفاض في المقاومة المقاسة يقدر بأقل من ١٠ %. و يقدر معامل التصحيح بالمعادلة الآتية.

- في حالة وجود سيخ تسليح واحد فقط و عمودي على محور الطولي للقالب.

$$1.0+1.5\left(\frac{\phi_r}{\phi_c}x\frac{h}{l}\right)$$

بحيث:

ϕ_r :	قطر سيخ حديد التسليح
ϕ_c :	قطر القالب
h:	المسافة بين محور سيخ حديد التسليح و أقرب نهاية للقالب
l:	طول القالب

- في حالة وجودأكثر من سيخ تسليح واحد.

$$1.0+1.5\left(\frac{\sum(\phi_r.h)}{\phi_c.l}\right)$$

٥,٢,٧. تقدير مقاومة المكعب القياسي.

الفرق في المقاومة بين المكعب القياسي المحتملة و قالب الخرسانة في الموقع يعد نتيجة اختلاف العوامل الآتية:

- ضروف معالجة الخرسانة.

- درجة دمك الخرسانة.
- الفرق في مقاس الخرسانة في المنشأ و العينة الصغيرة.

لتقدير مقاومة المكعب القياسي من مقاومة قالب الخرسانة نستعمل المعادلتين الآتيين طبقا للمواصفات (concrete Society Report):

- للقالب المأخوذ أفقيا:

تقدير مقاومة المكعب القياسي=	$\frac{3.25\, f_\lambda}{1.5+1/\lambda}$

- للقالب المأخوذ عموديا:

تقدير مقاومة المكعب القياسي=	$\frac{3.00\, f_\lambda}{1.5+1/\lambda}$

بحيث:

f_λ :	مقاومة قالب الخرسانة.
λ :	نسبة ارتفاع إلى قطر القالب

لتقدير مقاومة المكعب القياسي في الموقع من مقاومة قالب الخرسانة نستعمل المعادلتين الآتيين طبقا للمواصفات (concrete Society Report):

- للقالب المأخوذ أفقيا:

تقدير مقاومة المكعب القياسي=	$\frac{2.5\, f_\lambda}{1.5+1/\lambda}$

- للقالب المأخوذ عموديا:

تقدير مقاومة المكعب القياسي=	$\frac{2.3\, f_\lambda}{1.5+1/\lambda}$

٣,٧. الطرق الغير متلفة : (Non-destructive Test)

عدة اختبارات غير متلفة يمكن استعمالها لتحديد مقاومة الخرسانة المتصلبة في المنشأ. الاختبارات الأكثر استعمالا :

-مطرقة الكرة penetration resistance

-مطرقة شميدت Schmidt hammer

-اختبار القلع pull out test

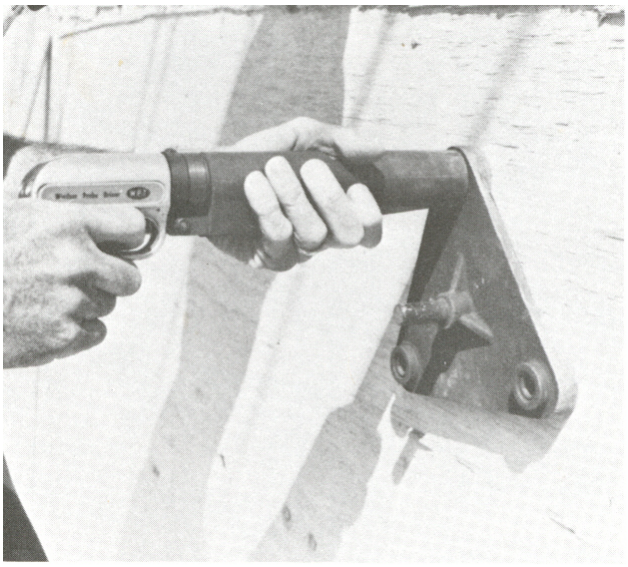
-اختبار سرعة الموجات فوق الصوتية ultrasonic pulse velocity test

-طرق الإشعاع radioactive methods

١,٣,٧. مطرقة الكرة: penetration test

هذا النوع من الاختبار يستدعي قياس تأثير ضرب كرة من حديد على سطح الخرسانة. شكل رقم ٦,٧ يبين الجهاز Windsor probe

تقاس بعد ذلك عمق إختراق الضربة. و يمكن إيجاد علاقة بين عمق الاحتراق و مقاومة الخرسانة للضغط. الركام القوي يمكن إعطاء ظاهريا مقاومة للضغط عالية.



شكل رقم ٦,٧: يبين جهاز مطرقة الكرة (Windsor probe)

٢,٣,٧. اختبار القلع: pull out test

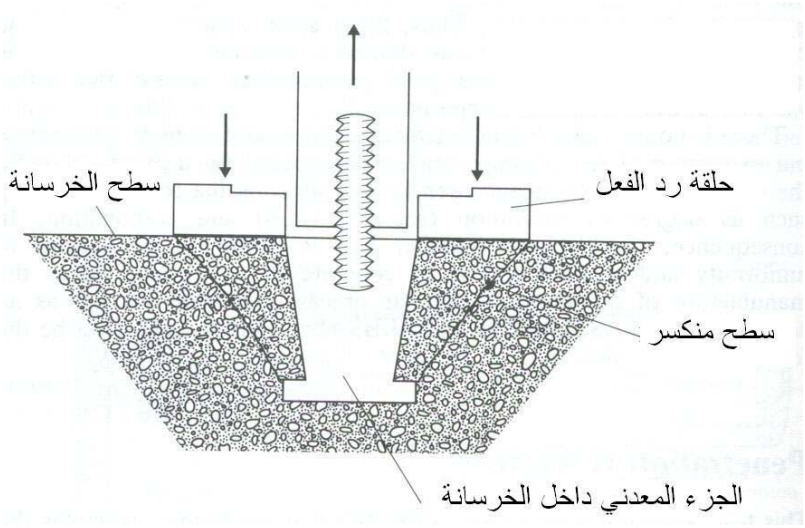
يستدعي هذا الاختبار (شكل رقم ٧,٧) تحديد القوة اللازمة لقلع قطعة من الحديد موضوعة داخل الخرسانة أثناء صبها ثم تقاس المقاومة (f_p) بالمعادلة التالية

$$f_p = \frac{F}{A}$$

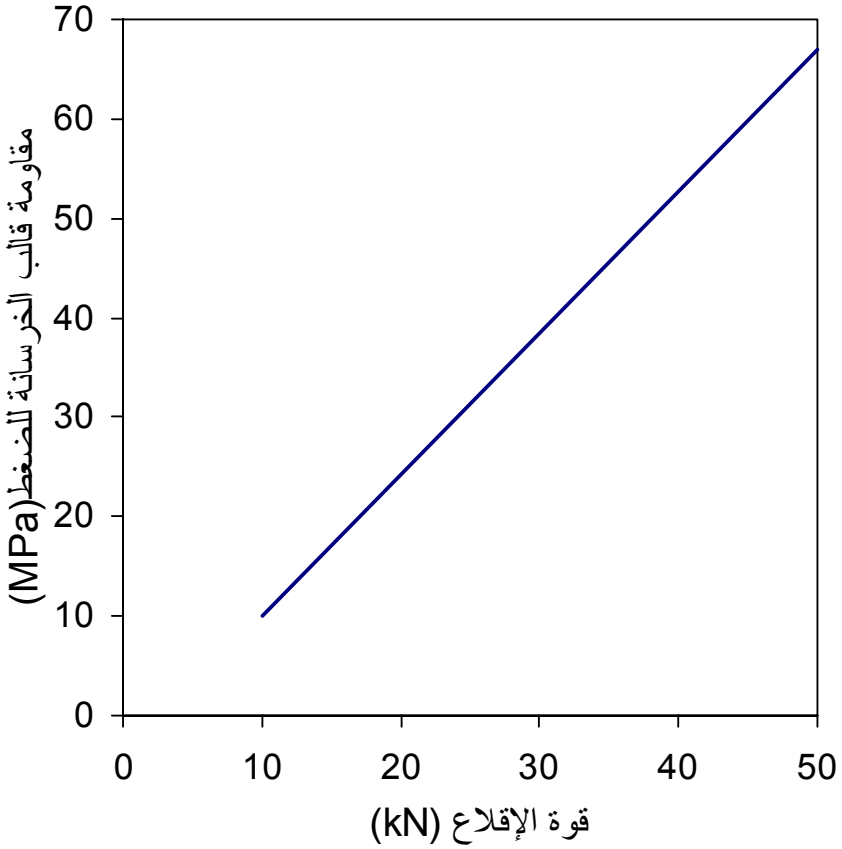
F = القوة اللازمة لإقلاع قطعة الحديد

A = مساحة الخرسانة المقلوعة.

هذه المقاومة (f_p) تعطي قيمة مقاومة الخرسانة للقص. بينما توجد علاقة بين القوة (F) و مقاومة الخرسانة للضغط (شكل رقم ٨,٧)



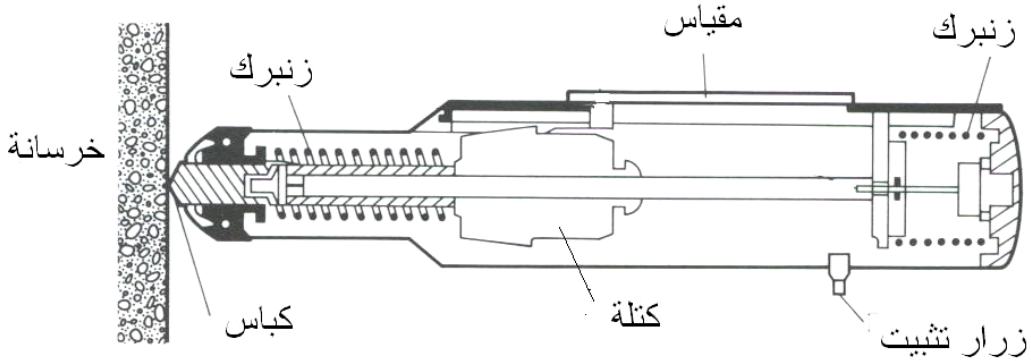
شكل رقم ٧,٧: يبين جهاز اختبار القلع



شكل رقم ٨,٧: العلاقة بين قوة الإقلاع و مقاومة للضغط.

٣,٣,٧. اختبارات مقاومة سطح الخرسانة بواسطة مطرقة شميدت: Schmidt hammer

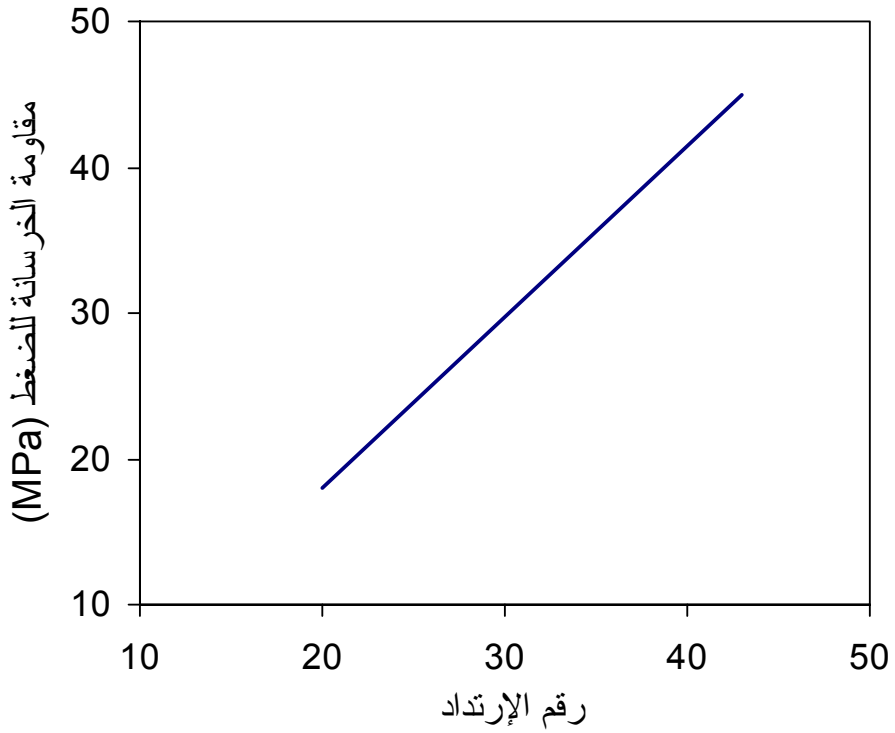
يعتبر كذلك هذا النوع من الاختبارات الغير متلفة (non-destructive testing) للخرسانة و يكشف عن قوة تحمل سطح الخرسانة. و يمتاز هذا الاختبار أنه سهل و سريع في تحديد مقاومة الخرسانة و أكثر دقة من اختبار مطرقة الكرة. شكل رقم ٩,٧ يبين جهاز مطرقة شميدت.



شكل رقم ٩,٧: جهاز مطرقة شميدت.

طريقة العمل تتلخص في صدم الزنبرك (plunger) عموديا على سطح خرسانة مستوية (شكل رقم ١٠,٧). و يقرأ رقم الارتداد بينما يكون الجهاز مثبتا و ضاغطا على سطح الخرسانة. و يوجد علاقة بين رقم الارتداد و قيمة مقاومة الخرسانة للضغط على أساس نتائج التجارب السابقة (شكل رقم ١١,٧)

شكل رقم ١٠,٧ : وضع جهاز مطرقة شميدت عمودي على سطح الخرسانة.

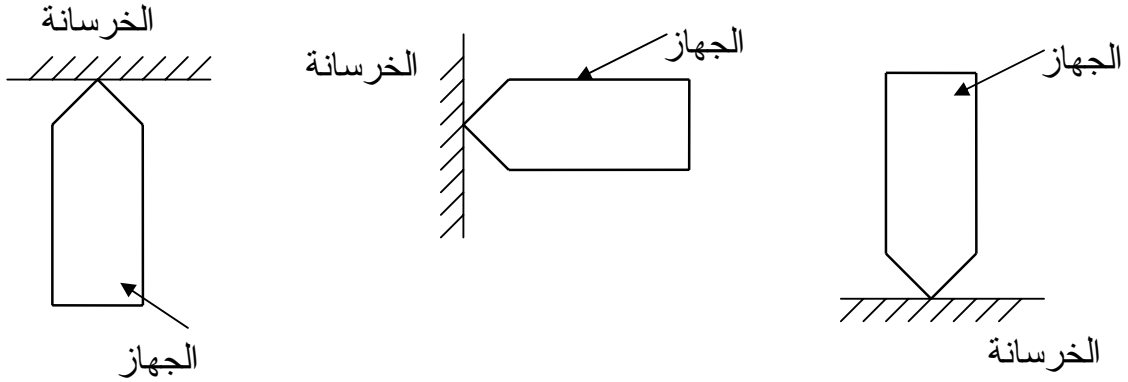


شكل رقم ١١,٧: العلاقة بين رقم الارتداد و قيمة مقاومة الخرسانة.

هذا الاختبار حساس جدا لوجود الركام أو فراغات هوائية صغيرة مباشرة تحت زنبرك لذلك ينصح بأخذ من ١٠ إلى ١٢ قراءات في المساحة التي يجرى عليها الاختبار. ثم نأخذ متوسطها. وجود فراغات هوائية يؤدي إلى انخفاض في رقم الارتداد أما وجود الركام يؤدي إلى زيادة في رقم الارتداد.

و كذلك سطح الخرسانة الجاف يعطي أرقام أعلى من سطح الخرسانة المبللة بالماء. و وضعية الجهاز (أفقي أو عمودي) يؤثر على رقم الارتداد بسبب تأثير وزن المطرقة (شكل رقم ١٢,٧).

.



حالة (a) حالة (b) حالة (c)

رقم الارتداد في حالة (a) < حالة (b) < حالة (c)

شكل رقم ١٢,٨: تأثير وضعية جهاز مطرقة شميدت على قيمة رقم الارتداد.

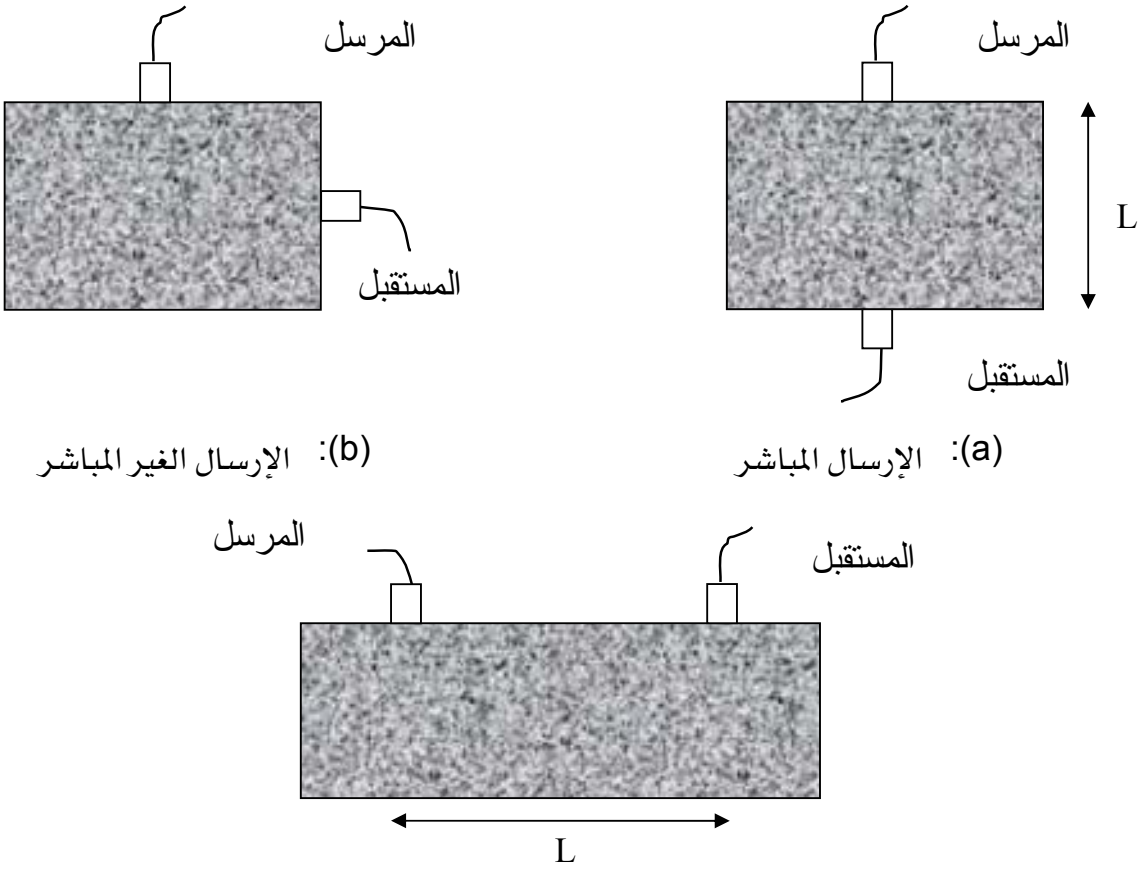
هذا الاختبار مفيد في تحديد الاختلاف في مقاومة الخرسانة من مكان إلى مكان آخر إذا تغير رقم الارتداد.

٤,٣,٧. اختبار قياس سرعة الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic pulse velocity)

يستخدم هذا الاختبار موجات صوتية عبر الخرسانة (شكل رقم ١٣,٧) و يتم قياس زمن المرور (T) بين المرسل و المستقبل (شكل رقم ١٤,٧) بدقة الخطأ بحوالي١%.

يستحسن استعمال الإرسال المباشر (شكل رقم ١٤,٧) إذا أمكن الحال مثلا في عمود الخرسانة. و لكن في بعض الأحيان يستحيل استعمال طريقة (a) مثلا في أساسات الخرسانة أو البلاطات فتستعمل طريقة (b) أو (c) .

شكل رقم ١٣,٧ : جهاز قياس سرعة الموجات فوق الصوتية.



شكل رقم ١٤,٧ : طرق الإرسال و الاستقبال موجات فوق الصوتية.

و بعد ذلك تحسب سرعة الصوت (V) بالثانية.

$$V = \frac{L}{T}$$

بحيث L = المسافة (م)

T = الزمن (الثانية)

يمكن ربط سرعة الصوت (V) في الخرسانة و معاير المرونة (E) بالمعادلة التالية:

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

بحيث أن

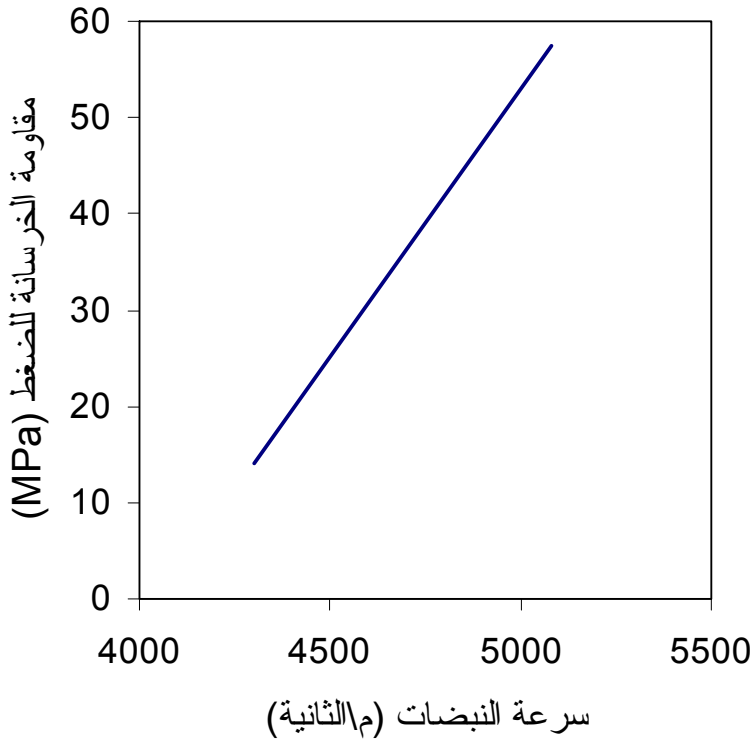
ρ = كثافة الخرسانة.

لذلك بمعرفة معاير مرونة الخرسانة يمكن إذاً تقييم جودة الخرسانة التي أجري عليها الاختبار. كما يمكن استعمال سرعة النبضات (pulse velocity) مباشرة لتقييم جودة الخرسانة أو ربطها عموما بمقاومة الخرسانة (شكل رقم ١٥,٧). بينما يصعب استعمال هذه العلاقة لتحديد مقاومة الخرسانة بسبب وجود عوامل كثيرة تؤثر على هذه العلاقة مثل:

- نوع و كمية الركام.
- كمية الماء داخل الخرسانة.
- وجود حديد التسليح.
- درجة حرارة.

عمليا يستخدم هذا الاختبار لعدة مجالات:

- لمعرفة وجود تشققات (cracks) داخل الخرسانة في المنشأ (مثلا في السدود).
- مراقبة جودة الخرسانة.
- تحديد الاختلاف في دمك الخرسانة من مكان إلى مكان آخر.



شكل رقم ١٥,٧: العلاقة بين مقاومة الخرسانة للضغط و سرعة الموجات فوق الصوتية للخرسانة العادية.

٤,٧. تجربة التحميل: (loading test)

نستعمل تجربة التحميل عندما لا نستطيع تحديد مقاومة الخرسانة بدقة في الاختبارات السابقة ذكرها (الاختبارات المتلفة و غير المتلفة). الهدف الرئيسي عموما قياس الانحراف الحادث لأحد أعضاء المنشأ (مثل بلاطة أو جسر) تحت أحمال أكبر من تلك المصممة عليها. و يمكن ترك هذه الأحمال لمدة معينة.

وتكون الحاجة إلى هذا الاختبار عند إحدى الحالات الآتية:

- عندما تكون جودة التشييد أو التصميم في شك.
- عند حدوث ضرر أو تلف لجزء من المنشأ.

خطوات الاختبار:

لا يجوز إجراء الاختبار قبل مرور ٢٨ يوم من ابتداء تصلد الخرسانة. تنص المواصفات الأمريكية (ACI) على أن لا يقل عمر الخرسانة على ٥٦ يوم. ويجب وضع دعامات متينة (scaffolding) بالعدد الكافي لتفادي انهيار أي عضو من المنشأ. لذلك يستحسن وضع الأحمال مباشرة فوق العضو تحت الاختبار حتى لا يؤثر على الأعضاء الأخرى.

تقترح المواصفات البريطانية (BS8110) على أن يكون الحمل الإجمالي يساوي:

أكبر قيمة من (a): جميع الأحمال الميتة + ١,٢٥ حمل الحي

(b): ١,٢٥ (جميع الأحمال الميتة + حمل الحي)

و يترك هذا الحمل لمدة ٢٤ ساعة. و يأخذ قراءات الانحرافات (deflections) (شكل رقم ١٦,٧) و قراءات عرض التشققات (cracks) في الأوقات التالية:

- مباشرة بعد وضع الأحمال: الانحراف = f_1 بالميلمتر
- بعد ٢٤ ساعة : الانحراف = f_2 بالميلمتر
- بعد رفع الأحمال : الانحراف = f_3 بالميلمتر
- بعد ٢٤ ساعة بعد رفع الأحمال : الانحراف = f_4 بالميلمتر

إذا كان	$\frac{40l^2}{h} \rangle f_2$

ففي هذه الحالة تكون قيمة الانحراف مقبولة.

بحيث l : طول البحر(مم)

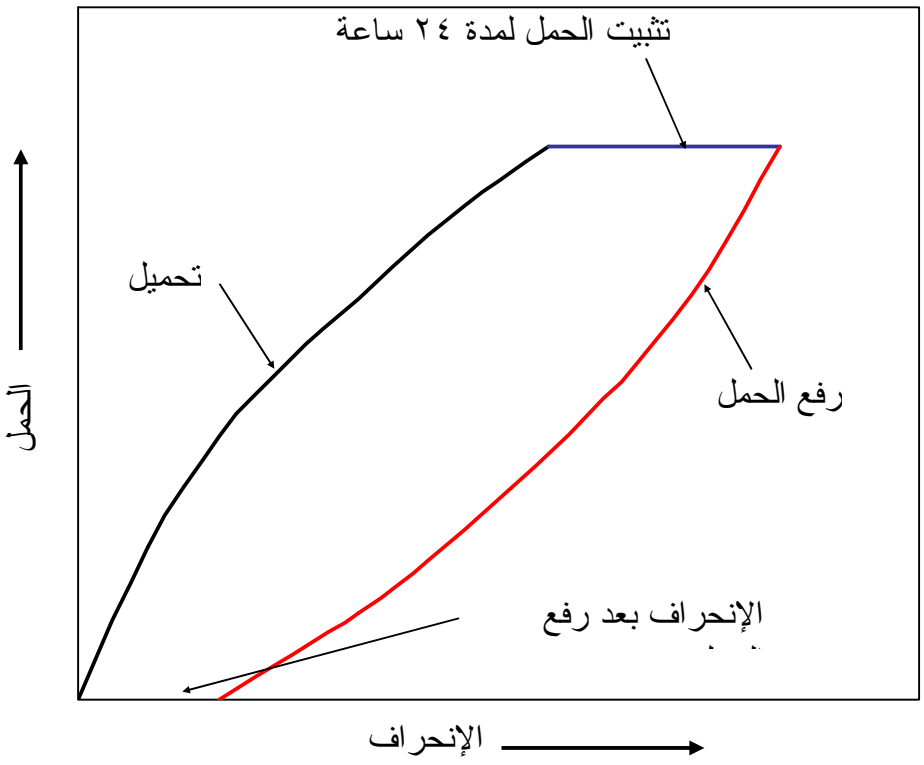
h : عمق العضو (مم)

و في حالة العكس ، يجب أن يختفي على الأقل ٧٥ % من الانحناء الأعظم (f_2) بعد ٢٤ ساعة من رفع الأحمال، أي بمعنى آخر يجب إتباع المعادلتين التاليتين.

بالنسبة للخرسانة المسلحة reinforced concrete $\frac{f_2 - f_3}{f_2} \times 100 \rangle 75\%$

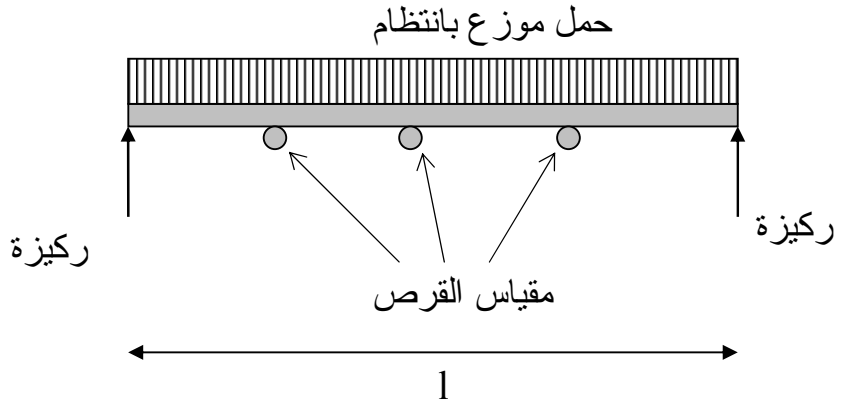
بالنسبة للخرسانة سابقة الإجهاد prestressed concrete $\frac{f_2 - f_3}{f_2} \times 100 \rangle 85\%$

إذا ظهر أثناء الاختبار تشققات معتبرة إو انحراف غير متوقع فيجب توقيف اختبار التحميل قبل تعرض المنشأ أو العضو لأضرار.



شكل رقم ١٦,٧: العلاقة بين الحمل و الانحراف في منتصف الكمرة.

يجب تحميل الكمرة تحت الاختبار بأحمال موزعة بانتظام باستخدام الماء أو أكياس من الإسمنت أو الرمل (شكل رقم ١٧,٧). و توضع الأجهزة الميكانيكية (مقياس القرص شكل رقم ١٨,٧) لقياس الانحراف في السطح الأسفل من الكمرة و في منتصف الكمرة (l/2) و على بعد (l/4) من الدعامتين.



شكل رقم ١٧,٧ : وضعية مقياس القرص لتحديد إنحراف الكمرة

شكل رقم ١٨,٧ : جهاز مقياس القرص

مثال ١: اختبار قلب الخرسانة.

أخذت عينة من قلب الخرسانة رأسيا من كمرة قطرها ١٠٠ مم و طولها بعد التغطية يساوي ١٤٠ مم. كان المقاس الاعتباري الأكبر للركام ٢٥ مم. قوة الكسر = ١٨٠ kN

مساحة قطع الأسطوانة = $\frac{\pi(100)^2}{4} = 7850$ مم^2.

مقاومة الخرسانة = $\frac{P}{A} = \frac{180000}{7850} = 22.93$ MPa

نسبة طول العينة إلى القطر= $\frac{140}{100} = 1.4$

تقدر مقاومة الضغط للمكعب القياسي داخل المنشأ: $\frac{2.3 \times 22.93}{1.5 + \frac{1}{1.4}} = 23.82$ MPa

تقدير مقاومة المكعب القياسي: $\frac{3.0 \times 22.93}{1.5 + \frac{1}{1.4}} = 31.06$ MPa

مثال ٢: اختبار قلب الخرسانة.

أخذت عينة من قلب الخرسانة أفقيا من عمود خرساني ١٠٠ مم و طولها بعد التغطية يساوي ١٣٠ مم. يوجد داخل العينة سيخ حديد تسليح واحد قطره ٢٥ مم و عمودي على المحور الطولي للعينة. و يبعد ب٤٥ مم من إحدى نهاية العينة. كان المقاس الاعتباري الأكبر للركام ٢٠ مم.

قوة الكسر = ٢١٠ kN

مساحة قطع الأسطوانة = $\frac{\pi(100)^2}{4} = 7850$ مم^2.

مقاومة الخرسانة = $\frac{P}{A} = \frac{210000}{7850} = 26.75$ MPa

نسبة طول العينة إلى القطر= $\frac{130}{100} = 1.5$

تقدر مقاومة الضغط للمكعب القياسي داخل المنشأ : $\frac{2.5\times 26.75}{1.5+\frac{1}{1.3}} = 29.47$ MPa

معامل التصحيح لحديد التسليح: $1.13 = 1.0 + 1.5\left(\frac{25}{100}\times\frac{45}{130}\right)$

قيمة مقاومة ضغط المكعب داخل المنشأ بعد التصحيح: $29.47\times 1.13 = 33.30$ MPa

تقدير مقاومة المكعب القياسي: $\frac{3.25\times 26.75}{1.5+\frac{1}{1.3}} = 38.31$ MPa

قيمة مقاومة المكعب القياسي بعد التصحيح: $38.31\times 1.13 = 43.29$ MPa

١. إبراهيم علي الدرويش ، علي إبراهيم الدرويش. الخرسانة. الجزء الثالث. موادها و صناعتها و خواصها و ضبط جودتها و ترميمها. ٢٠٠٠.

٢. أحمد علي العريان، عبد الكريم محمد عطا. تكنولوجيا الخرسانة. ١٩٩٠.

٣. فاروق عباس حيدر. تشييد المباني. الجزء الأول أساسيات إنشاء المباني. ١٩٩٩.

٤. إبراهيم علي الدرويش ، عبد الوهاب محمد عوض. الخلّاطات الخرسانية. ١٩٨٦.

٥. حبيب مصطفى زين العابدين. تقنية صناعة الخرسانة. ١٩٩٢.

٦. حبيب مصطفى زين العابدين. الحكم على سلامة المنشآت الخرسانية. ١٩٩٢.

7. Neville A. M. and Brooks J. J. Concrete Technology. London, Longman, 1990.
8. Neville A. M. Properties of Concrete. London, Longman, 1996.
9. Pigeon M and Plean R. Durability of concrete in cold climates, Spon Press, 1995.
10. Maier. High Performance Concrete, Spon Press, 1992.
11. Soroka L, Concrete in Hot Environments, Spon Press, 1993.
12. Richardson. M. G. Fundamentals of durable reinforced concrete, Spon Press, 2002.
13. Illston J. M. and Domone P. L. J. Construction Materials, Spon Press, 2001.
14. ACI-committee 305R-77 (Revised 1982), Hot-weather concreting, Part 2, ACI Manual of Concrete Practice, 1984.
15. ACI-committee 306R-78, Cold-weather concreting, Part 2, ACI Manual of Concrete Practice, 1984.
16. Concrete Society, Concrete core testing for strength, technical Report N^{o}. 11, Cement and Concrete Association, London, 1976.
17. Sidney Mindess and Francis Young J. Concrete. Prentice Hall, 1981.
18. Bungey J. H. The Testing of Concrete in Structures, Surrey University Press, 1982.
19. Concrete Society, Pumping Concrete, Report N^{o}. 1, Cement and Concrete Association, London, 1984.
20. Colin Deacon R. Concrete Ground Floors. Their design, construction and finish. Cement and Concrete Association, London, 1974.

21. Kosmatka S. H. and Panaresse W. C. Design and Control of Concrete Mixtures. Portland Cement Association, Illinois, 1994.
22. Shirley D. E. Introduction to Concrete. Cement and Concrete Association, London, 1984.
23. Kirkbride Tom. Review of Accelerated Curing Procedures. Cement and Concrete Association, London, 1971.
24. Concrete Society, Guide to Chemical Admixtures for Concrete, technical Report N°. 18, Cement and Concrete Association, London, 1980.
25. Boukendakdji M. Mechanical Properties and Long-term Deformation of OPC and Slag Cement Concretes, PhD Thesis, Leeds University, 1990.

الصفحة

الفصل الأول: صب الخرسانة في العناصر الإنشائية. ١

١,١ مقدمة ٢

٢,١ خلط الخرسانة: ٢

١,٢,١ الخلط اليدوي ٣

٢,٢,١ الخلَّاطات الميكانيكية ٣

٣,٢,١ زمن الخلط ٤

٣,١ نقل الخرسانة ٥

٤,١ ضخ الخرسانة ٧

٥,١ صب الخرسانة ١٠

٦,١ دمك الخرسانة ١٤

١,٦,١ الدمك اليدوي ١٥

٢,٦,١ الدمك الميكانيكي ١٥

٣,٦,١ الهزازات الداخلية ١٦

٤,٦,١ الهزازات الخارجية ١٧

٥,٦,١ مناضد الهز ١٧

٦,٦,١ عملية إعادة الهز ١٨

٧,١ تشطيب الخرسانة ١٨

الفصل الثاني: معالجة الخرسانة ٢١

١,٢ مقدمة ٢٢

٢,٢ العوامل المؤثرة على تبخر الماء ٢٣

٣,٢ طرق المعالجة ٢٤

١,٣,٢ طريقة إضافة الماء باستمرار ٢٤

٢,٣,٢ طريقة تغطية سطح الخرسانة لمنع فقدان الماء فقط ٢٦

٤,٢ فترة المعالجة ٢٩

الفصل الثالث: طرق الإسراع في المقاومة ٣٢

١,٣ مقدمة ٣٣

٢,٣ استعمال الإسمنت سريع التصلد ٣٣

٣,٣ استعمال المواد المضافة ٣٣

٤,٣ استعمال الحرارة ٣٦

١,٤,٣ المعالجة بالبخار ٣٧

٢,٤,٣ المعالجة بالبخار بالضغط العالي ٤٢

الفصل الرابع: أعمال الخرسانة في الطقس الحار ٤٣

١,٤ مقدمة ٤٤

٢,٤ تأثير درجة الحرارة ٤٤

٣,٤ تبريد مواد الخرسانة ٤٧

١,٣,٤ تبريد الركام ٤٨

٢,٣,٤ تبريد الماء ٤٩

٤,٤ احتياطات حول صنع الخرسانة ٥١

١,٤,٤ استعمال إضافات لتبطئ الشك ٥٢

٥,٤ تشقق الخرسانة في الجو الحار ٥٣

٦,٤ المعالجة و الوقاية ٥٦

٧,٤ حرارة التفاعلات ٥٧

الفصل الخامس: أعمال الخرسانة في الطقس البارد ٥٩

١,٥ مقدمة ٦٠

٢,٥ احتياطات حول صنع الخرسانة ٦٠

٣,٥ المعالجة ٦٢

الفصل السادس: اختبارات الخرسانة في الموقع ٦٤
١,٦ مقدمة ٦٥
٢,٦ مراقبة جودة الخرسانة الطرية ٦٥
١,٢,٦ قابلية تشغيل الخرسانة ٦٥
٢,٢,٦ العوامل التي تؤثر على درجة التشغيلية ٦٥
٣,٢,٦ قياس درجة التشغيلية ٦٧
١,٣,٢,٦ اختبار هبوط الخرسانة الطازجة ٦٧
٢,٣,٢,٦ اختبار الإنسيابية ٦٩
٣,٣,٢,٦ اختبار الدمك ٧١
٤,٣,٢,٦ اختبار إعادة التشكيل ٧٣
٣,٦ مراقبة جودة الخرسانة الصلبة ٧٤
١,٣,٦ العوامل المؤثرة على المقاومة ٧٥
٢,٣,٦ أنواع المقاومة ٧٧
٣,٣,٦ اختبار مقاومة الضغط ٧٧
٤,٣,٦ اختبار مقاومة الشد ٨٠
١,٤,٣,٦ طريقة اختبار الشد المباشر ٨١
٢,٤,٣,٦ طريقة اختبار الشد الغير المباشر ٨٢
الفصل السابع: اختبارات مقاومة الخرسانة في المنشأ ٨٧
١,٧ مقدمة ٨٨
٢,٧ .اختبار قلب الخرسانة المتصلبة ٨٨
١,٢,٧ أخذ العينات ٨٩
٢,٢,٧ تجهيز العينات ٩٠

٣,٢,٧ طريقة الاختبار ٩٢
٤,٢,٧ العوامل المؤثرة على مقاومة ضغط عينات قلب الخرسانة ٩٢
٥,٢,٧ تقدير مقاومة المكعب القياسي ٩٣
٣,٧ الطرق غير المتلفة ٩٥
١,٣,٧ مطرقة الكرة ٩٥
٢,٣,٧ اختبار القلع ٩٦
٣,٣,٧ اختبارات مقاومة سطح الخرسانة بواسطة مطرقة شميدت ٩٧
٤,٣,٧ اختبار قياس سرعة الموجات فوق الصوتية ٩٩
٤,٧ تجربة التحميل ١٠٢
المراجع ١٠٨

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS