

تقنيات وأعمال الخرسانة

تسريع مقاومة الخرسانة

الوحدة الثالثة : تسريع مقاومة الخرسانة

الجدارة:

يتعرف المتدرب على الأنواع المختلفة للتسريع في مقاومة الخرسانة التي تتمثل 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 المتدرب كذلك تحديد دورة المعالجة بالبخار و أهمية كل فترة على خواص الخرسانة المتصلبة.

الأهداف: عند الانتهاء من هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة على:

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

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

الوقت المتوقع لإنجاز الهدف: أسبوعان.

متطلبات الجدارة: اجتياز مادة خواص و اختبارات المواد.

تسريع مقاومة الخرسانة

٣- ١ مقدمة:

تسريع مقاومة الخرسانة 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 استعمالاً للإسراع في المقاومة المبكرة للخرسانة جاهزة للاستعمال. فعند ارتفاع الحرارة، تزيد سرعة التفاعل الكيميائي بين الإسمنت و الماء و بالتالي عملية التصلد.

٣،٢. استعمال الإسمنت سريع التصلد:

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

٣،٣. استعمال المواد المضافة (معجلات التصلد):

يمكن تعريف المواد 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 استعمالاً للحصول على مقاومة مبكرة هي كلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$). وجود هذه المواد الكيميائية داخل الخرسانة يؤدي إلى رفع درجة حرارتها و بالتالي تزيد في سرعة التفاعل الكيميائي بين الإسمنت و الماء.

وتستخدم هذه المواد الكيميائية:

- لتقليل فترة معالجة الخرسانة
- لتعويض الإبطاء في الزمن الشك في الأجواء الباردة
- استخدام المنشأ في أقرب وقت

- عند إجراء الأعمال الإصلاحية للخرسانة.

وتأثير 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.

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

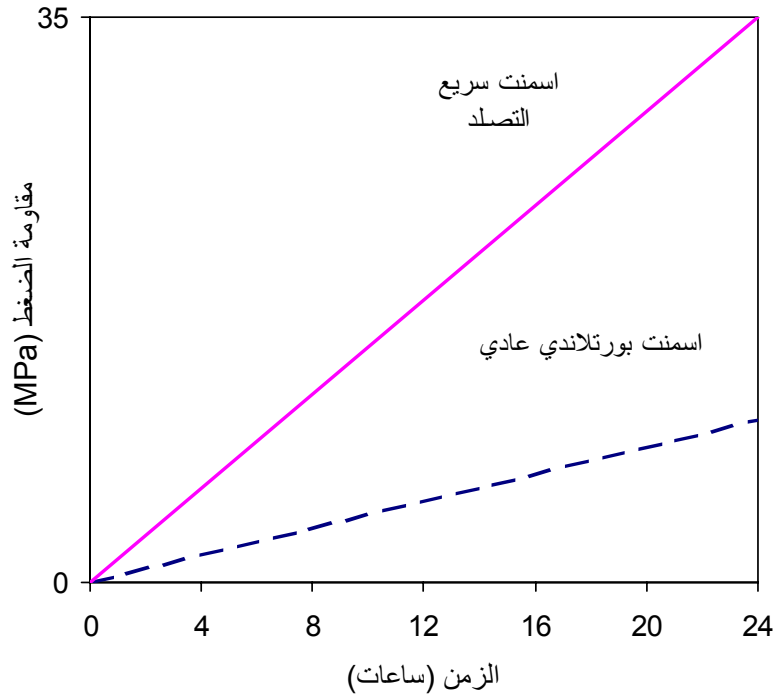
وشكل رقم (٢,٣) يوضح أن نسبة ٢ % من كلوريد الكالسيوم تجعل مقاومة الخرسانة تتضاعف بعد يوم واحد. ويلاحظ أن المقاومة النهائية (بعد ٢٨ يوما) تكون نوعا ما أقل من مقاومة الخرسانة العادية.

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

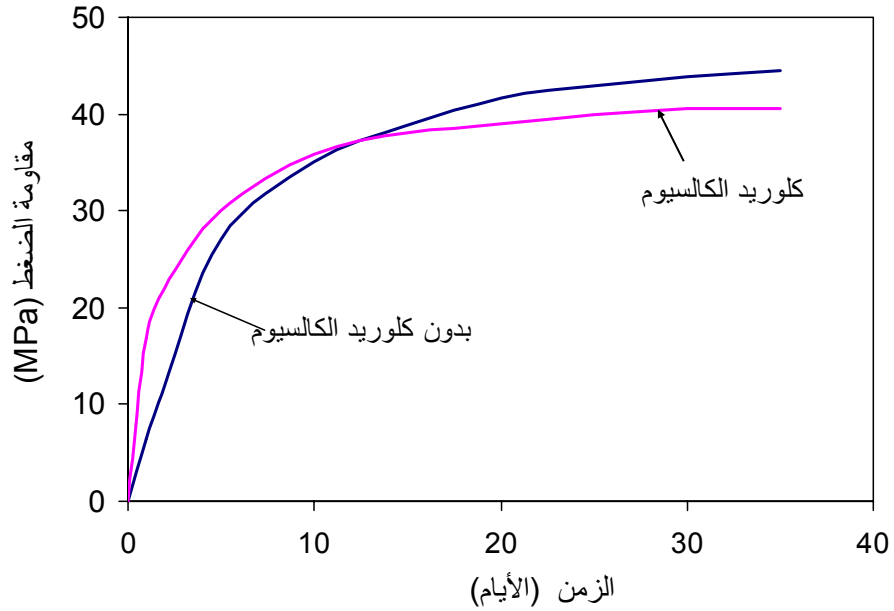
ونسبة ١ % من كلوريد الكالسيوم تزيد حرارة الخرسانة بـ ٦ درجات مئوية، أما مجموع الحرارة الناتجة عن تفاعل الكيميائي هي غير مؤثرة.

ويستحسن استعمال كلوريد الكالسيوم بنسب ضعيفة في الخرسانة المسلحة و هذا لتفادي احتمال تآكل الحديد داخل الخرسانة و عدم استعمالها في الخرسانة سابقة الإجهاد.

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



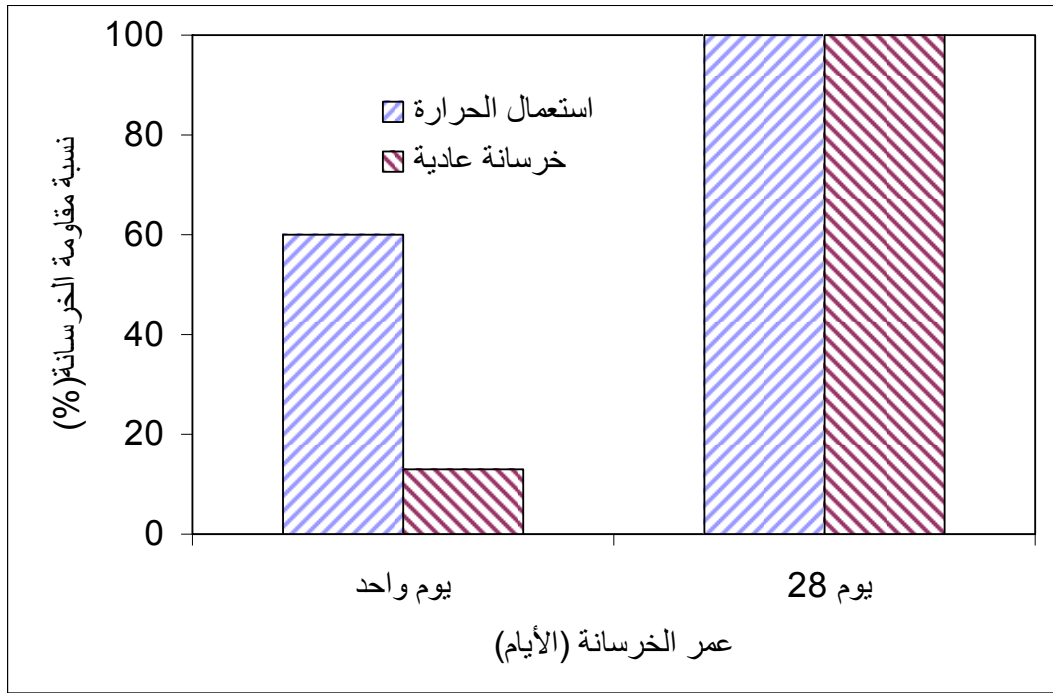
شكل رقم ٣- ١ : تأثير إسمنت سريع التصلد على مقاومة الضغط في الساعات الأولى بعد الخلط.



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

٣-٤. استعمال الحرارة:

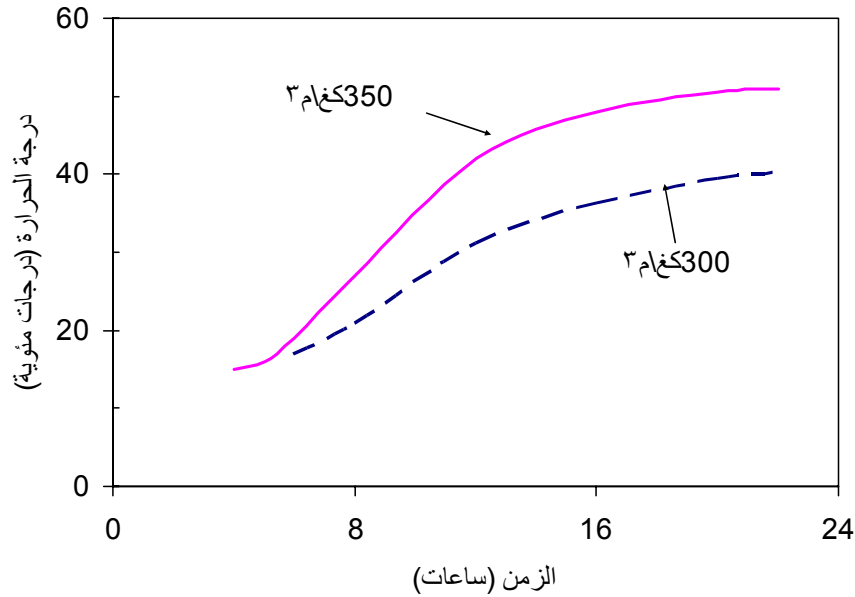
الفائدة الرئيسية من استعمال المعالجة بالحرارة هي الإسراع في المقاومة المبكرة. فيمكن بعد ٢٤ ساعة الحصول على مقاومة تعادل على الأقل ٦٠ % من المقاومة النهائية بعد ٢٨ يوم (شكل رقم ٣-٣).



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

وتوجد ثلاث طرق رئيسية في استعمال الحرارة لمعالجة الخرسانة:

- بنقل السوائل إلى الخرسانة مثل الماء، أو البخار أو الهواء الساخن. هذه الطريقة هي الأكثر استعمالاً.
- 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 ٣-٤).
- 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.

٣- ٥ المعالجة بالبخر تحت ضغط جوي عادي:

معالجة الخرسانة بالبخر 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 الأنابيب و الكمرات سابقة الإجهاد. ويبين شكل رقم (٥,٣) خزاناً للعينات الخرسانية للمعالجة بالبخر في العمل. يوضع الماء في أسفل الخزان و العينات فوق سطح الماء. و عند تسخين الماء يصعد البخر إلى الأعلى و بالتالي يتم معالجة العينات الخرسانية بالبخر.

تسمح طريقة المعالجة بالبخر بالإسراع بعملية التصلد و بالتالي زيادة في إنتاج الوحدات الجاهزة المسبقة الصنع. و تشتمل دورة المعالجة بالبخر على أربع 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.

والطول 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. فمعدل 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).

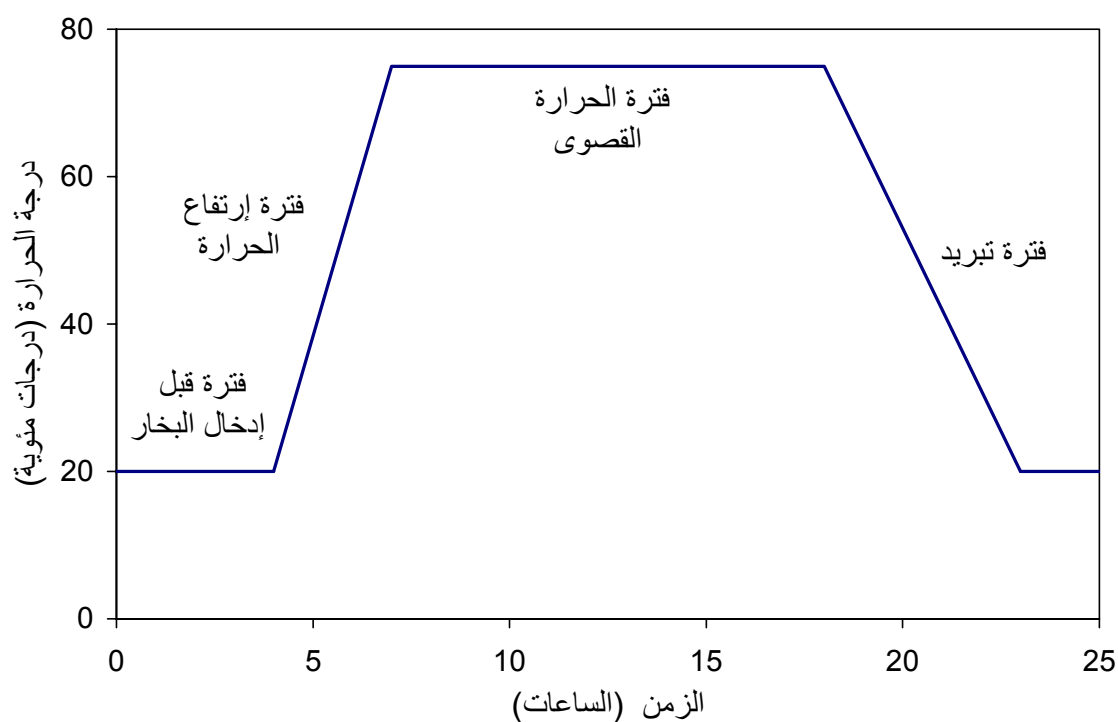
• فترة درجة الحرارة القصوى الثابتة:

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.

• فترة التبريد: وفي هذه الفترة تترك الخرسانة في درجة حرارة عادية (مثلا ٢٠ درجة مئوية). ويتم التبريد (ببطء) حتى لا تحدث تشققات ناتجة عن الانخفاض المفاجئ لدرجة الحرارة.



شكل رقم ٣- ٥: خزان للعينات الخرسانية المعالجة بالبخر



شكل رقم ٣- ٦: دورة المعالجة بالبخر.

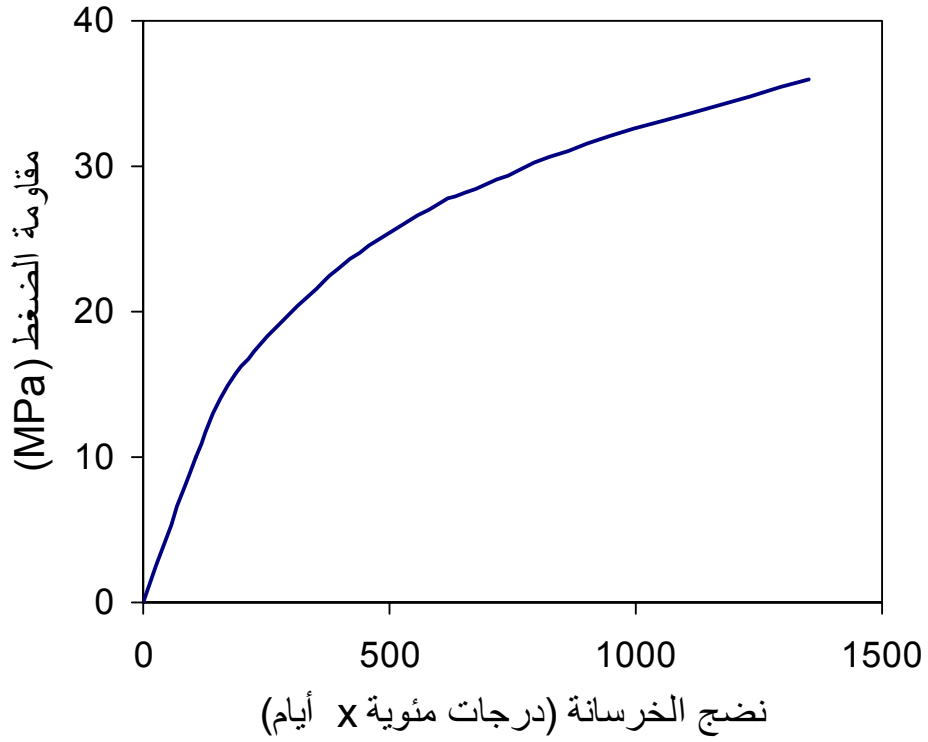


شكل رقم ٣- ٧: تشققات في الخرسانة نتيجة ارتفاع كبير للحرارة خلال معالجتها بالبخر.

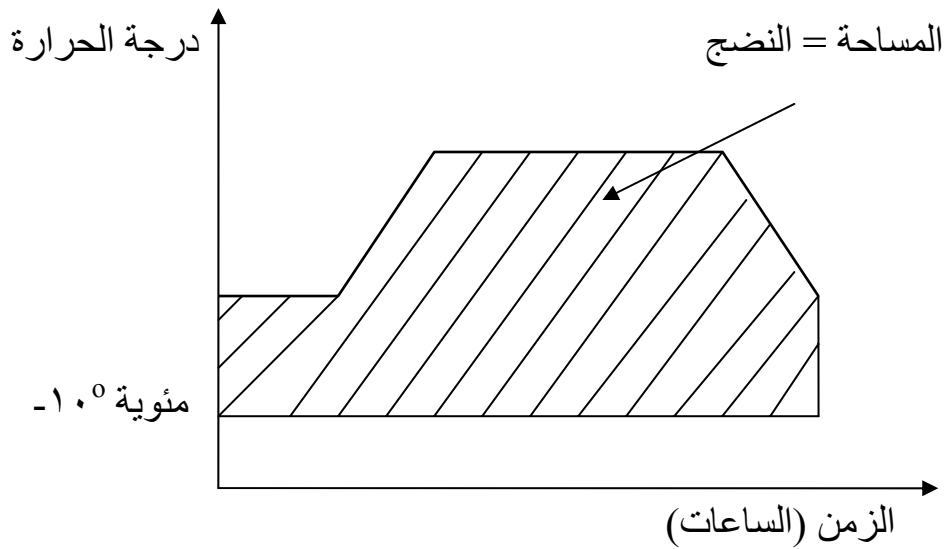
ويمكن إيجاد علاقة بين اكتساب مقاومة الخرسانة للضغط و زمن و درجة حرارة معالجة الخرسانة كما هو موضح في شكل رقم (٨,٣) و تسمى هذه العلاقة بين الزمن و درجة الحرارة بنضج الخرسانة. و النضج يساوي حاصل ضرب درجة الحرارة في الزمن.

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

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



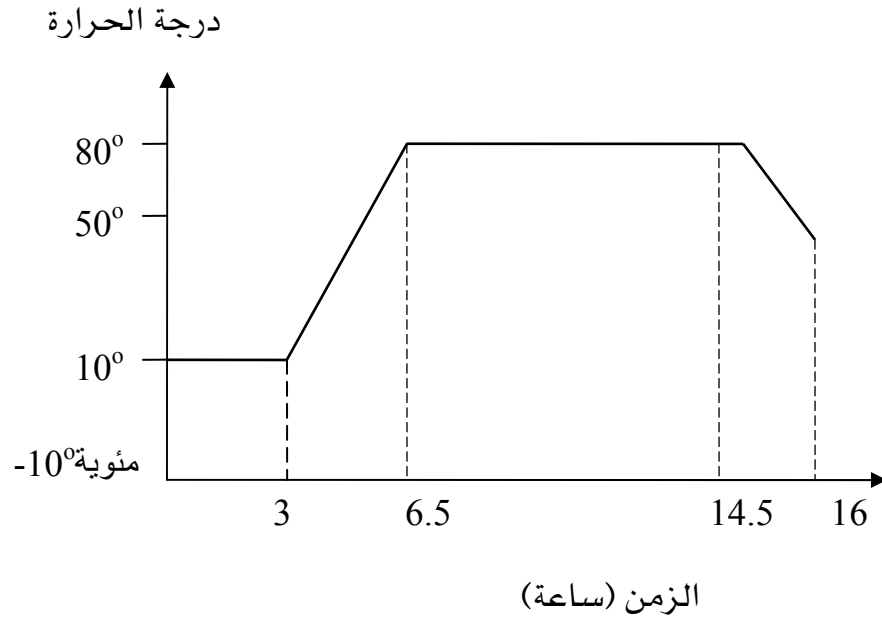
شكل رقم ٣- ٨: العلاقة بين نضج الخرسانة و مقاومة الخرسانة للضغط.



شكل رقم ٣- ٩: 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:



الحل:

$$60 = 20 \times 3 \text{ درجة / ساعة}$$

فترة قبل إدخال البخار

$$193 = 3,5 \times \left(\frac{20 + 90}{2} \right) \text{ درجة / ساعة}$$

فترة ارتفاع الحرارة

$$720 = 90 \times 8 \text{ درجة / ساعة}$$

فترة درجة الحرارة القصوى ثابتة

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

فترة التبريد

$$\text{النضج} = 1086 \text{ درجة مئوية ساعة}$$

٦,٣ المعالجة بالبخار تحت ضغط عال:

يتطلب وضع الخرسانة في أماكن مسيجة و منعزلة عن الجو الخارجي و تمتد بكمية هائلة من البخار تحت درجة حرارة تتراوح بين ١٦٠ - ٢١٠ درجة مئوية و تحت ضغط يتراوح بين ٦ و ٢٠ أتموسفير. فالخرسانة 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. والتفاعلات الكيميائية تتغير تحت هذه الظروف و تنتج مواد مختلفة عن المواد التي عولجت تحت درجة حرارة أقل من ١٠٠ درجات مئوية. وتستعمل المعالجة بالبخار بالضغط العالي لإنتاج خرسانة جاهزة الصنع. فدورة المعالجة تشبه تلك المستعملة بالبخار تحت الضغط العادي و تحتوي على فترة قبل إدخال البخار، وفترة التشرب، وفترة ارتفاع الحرارة و فترة خفض درجة الحرارة. وطول 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. والزمن المثالي لفترة المعالجة هي ٨ ساعات في درجة حرارة ١٧٥ درجة مئوية. وفترة فك الضغط تكون سريعة و تتراوح بين ٢٠ إلى ٣٠ دقيقة حتى تسمح لدرجة حرارة الخرسانة بالانخفاض.