

تقنيات وأعمال الخرسانة

أعمال الخرسانة في الطقس الحار

الوحدة الرابعة : أعمال الخرسانة في الطقس الحار

الجدارة:

يدرس المتدرب في هذا الوحدة تأثير درجات الحرارة على نمو مقاومة الخرسانة و كذلك على عملية تبريد مواد الخرسانة و الاحتياطات حول صنع الخرسانة في الطقس الحار. و يتعرف المتدرب كذلك على أنواع 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 المتدرب لهذا الوحدة يتوقع أن يكون قادراً على 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 المتدرب الإلمام التام بالجدارة المبينة أعلاه.

الوقت المتوقع لإنجاز الهدف: أربعة أسابيع.

متطلبات الجدارة: اجتياز مادة خواص و اختبارات المواد.

أعمال الخرسانة في الطقس الحار

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 ماء الخلطة.
- سرعة الانخفاض في قابلية التشغيل.
- احتمال حدوث تشققات اللدنة.
- عناية أكبر في معالجة ووقاية الخرسانة الطرية.

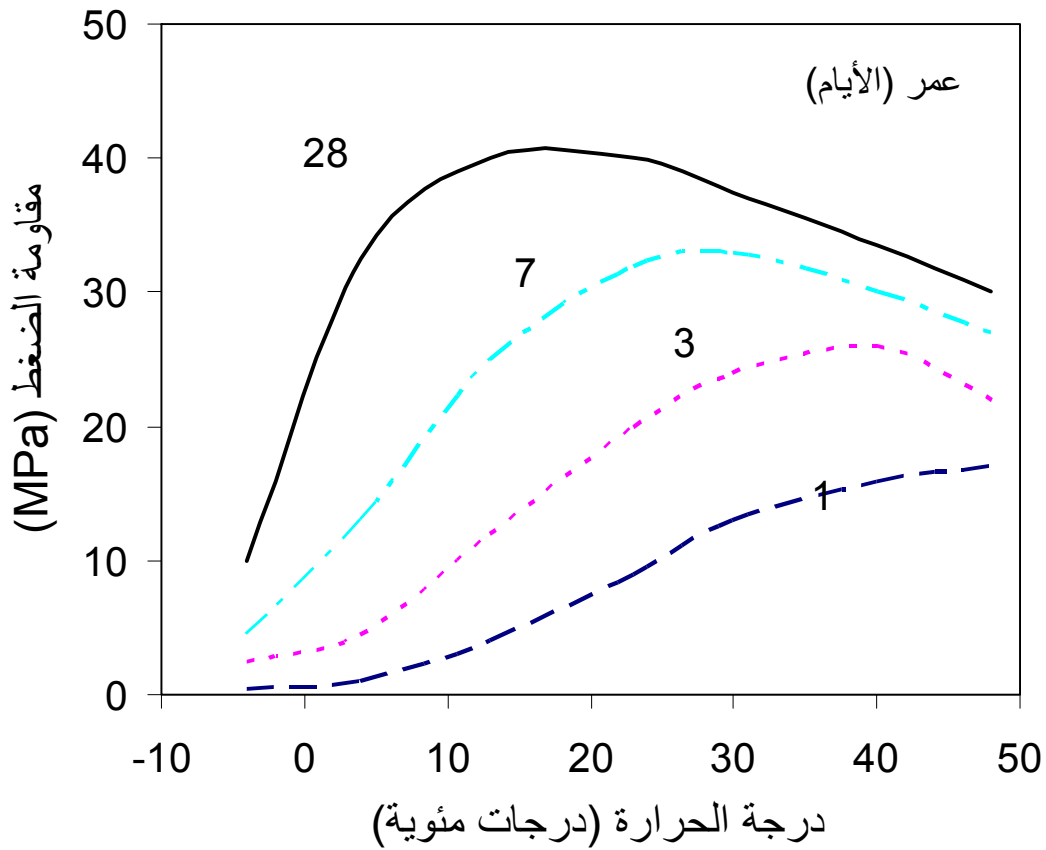
كل هذه المشاكل تحتاج إلى إضافة في كمية ماء الخلط، بينما الزيادة في كمية الماء تؤدي إلى انخفاض في معظم خواص الخرسانة الصلبة مثل: المقاومة و الديمومة و اللانفاذية و زيادة في انكماش الخرسانة الناتج عن جفاف الخرسانة.

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 تكوين كمية من الفراغات داخل المونة الإسمنتية و الخرسانة مما يؤثر على المقاومة النهائية للخرسانة. و يبين الشكل رقم (٤ - ١) تأثير درجة حرارة المعالجة على مقاومة الخرسانة. و يظهر أن كلما زادت درجة الحرارة فإن مقاومة الخرسانة المبكرة تزيد. و لكن المقاومة بعد ٢٨ يوما تضعف كلما زادت درجة الحرارة. بمعنى آخر أن مقاومة الخرسانة خلال اليوم الأول تزيد كلما زادت درجة الحرارة و لكن هذه الظاهرة تختلف في الفترة بين ٣ و ٢٨ يوما.

و يجب ملاحظة أن الخرسانة الموجودة في الموقع في طقس حار تختلف عن الخرسانة الموجودة في المختبر. و توجد 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.

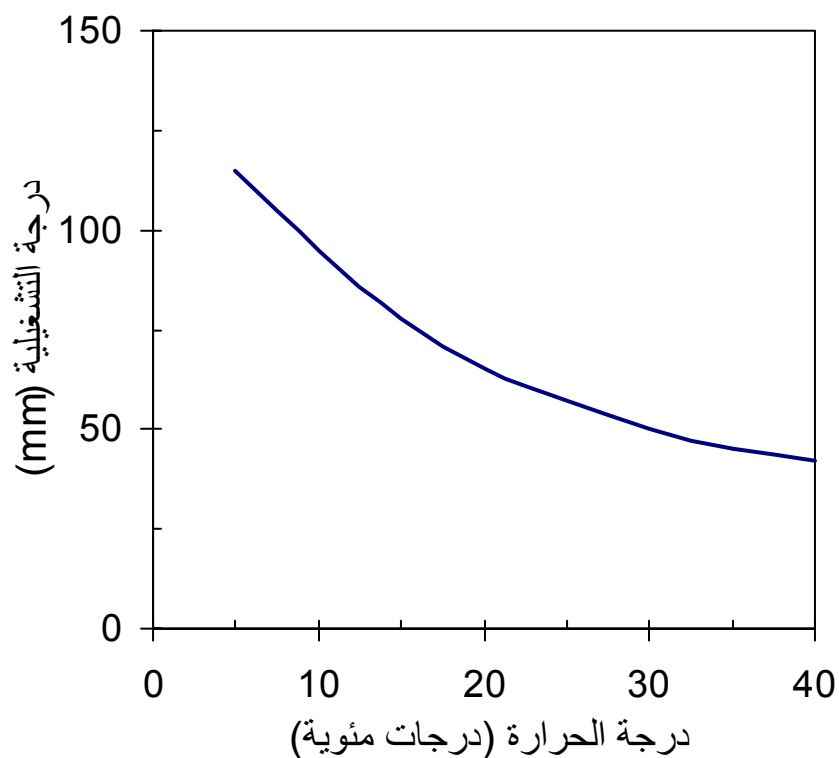
ويجب أن نذكر أن جودة الخرسانة تعتمد على درجة حرارة الخرسانة وليست درجة حرارة الطقس.

فالزيادة في درجة الحرارة تؤدي إلى انخفاض في الدرجة التشغيلية للخرسانة الطازجة، كما هو موضح في

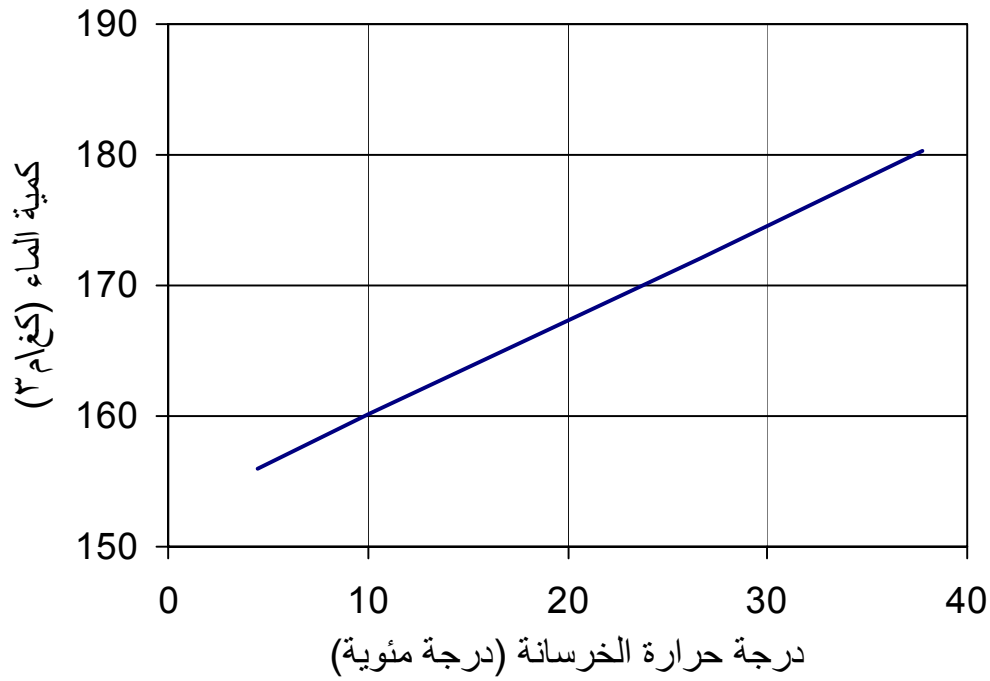
شكل رقم (٤ - ٢). و لكي نحافظ على الدرجة التشغيلية للخرسانة الطرية ثابتة نحتاج إلى إضافة المزيد

من الماء (شكل رقم ٤ - ٣) أي زيادة في نسبة الماء إلى الإسمنت . و هذا يؤثر بالعكس على جودة

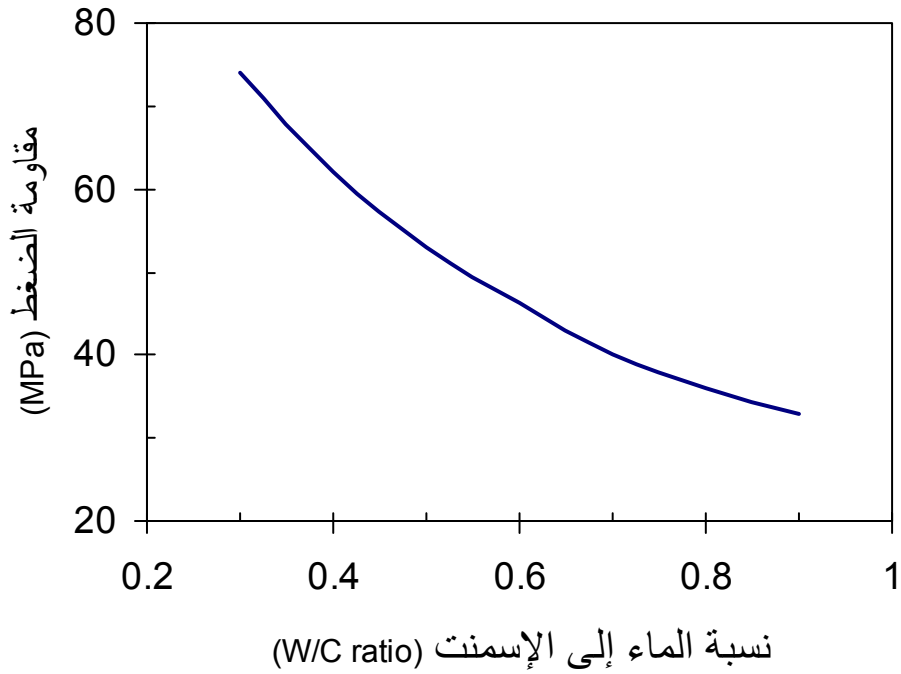
الخرسانة كما هو موضح في شكل ٤ - ٤. ويمكن استعمال مواد مساعدة لخفض نسبة الماء في الخلطة لتعويض الانخفاض في الدرجة التشغيلية للخرسانة الطازجة الناتجة عن الزيادة في درجة الحرارة.



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



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



شكل ٤ - ٤: العلاقة بين نسبة الماء إلى الإسمنت ومقاومة الخرسانة للضغط.

٤-٣. 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 الحرارة عن ٣٢ درجة مئوية.

ويمكن استعمال المعادلة الآتية لحساب درجة حرارة الخرسانة الطرية (T) من درجة حرارة عناصرها (الإسمنت، والماء، والركام).

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

بحيث :

T : درجة عناصر الخرسانة بالدرجات المئوية.

W : وزن عناصر الخرسانة (كلغ/م^٣)

a : الركام

c : الإسمنت

W : الماء

wa : الرطوبة الموجودة على سطح الركام.

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

مواد الخرسانة	الوزن (كلغ/م ^٣)	درجة حرارة (درجة مئوية)
الإسمنت	335	50
الركام	1839	40
الماء	167	30

إذا درجة حرارة الخرسانة الطرية تساوي:

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

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

يجب أن تنخفض درجة حرارة :

الإسمنت •	$8.8 = \frac{645}{0.22 \times 335}$ درجات مئوية
الركام •	$1.6 = \frac{645}{0.22 \times 1839}$ درجات مئوية
الماء •	$3.8 = \frac{645}{167}$ 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) لأن كمية الركام تمثل حوالي من ٧٠ إلى ٨٥ % من وزن الإجمالي للخرسانة. ولخفض درجة حرارة الخرسانة بـ ١٠ درجات مئوية يجب خفض درجة حرارة الركام بـ ١٦ درجات مئوية. وتوجد عدة طرق لتبريد الركام:

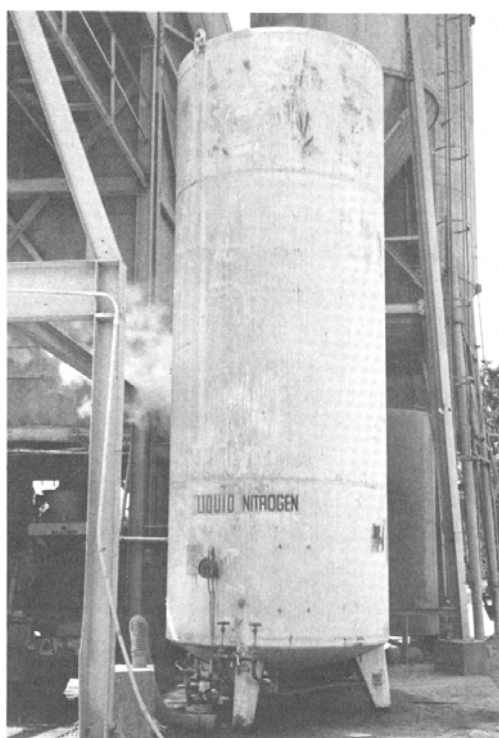
- تغطية خزانات الركام من أشعة الشمس و رشها بالماء
- رش الركام بالماء.
- استعمال المبردات
- غطس الركام في ماء مبرد داخل الخزانات.

٢.٣.٤. تبريد الماء:

يعد الماء أسهل المواد للتبريد مقارنة بالمواد الأخرى (الركام و الإسمنت) على الرغم أنه يستعمل بكمية أقل من المواد الأخرى (تكون عادة نسبة الماء إلى الإسمنت حوالي ٠,٥ و نسبة الماء إلى 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 ب ١٠ درجات مئوية

وتوجد عدة طرق لتبريد الماء أو المحافظة عليه بارداً:

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



شكل رقم ٤-٥: جهاز تبريد الماء.

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

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

بحيث:

W_i : وزن الثلج.

مثال ٢: احسب درجة حرارة الخرسانة الطرية T من درجة حرارة عناصرها (الإسمنت، والماء، والركام) و كمية الثلج $W_i = 35$ كلغ.

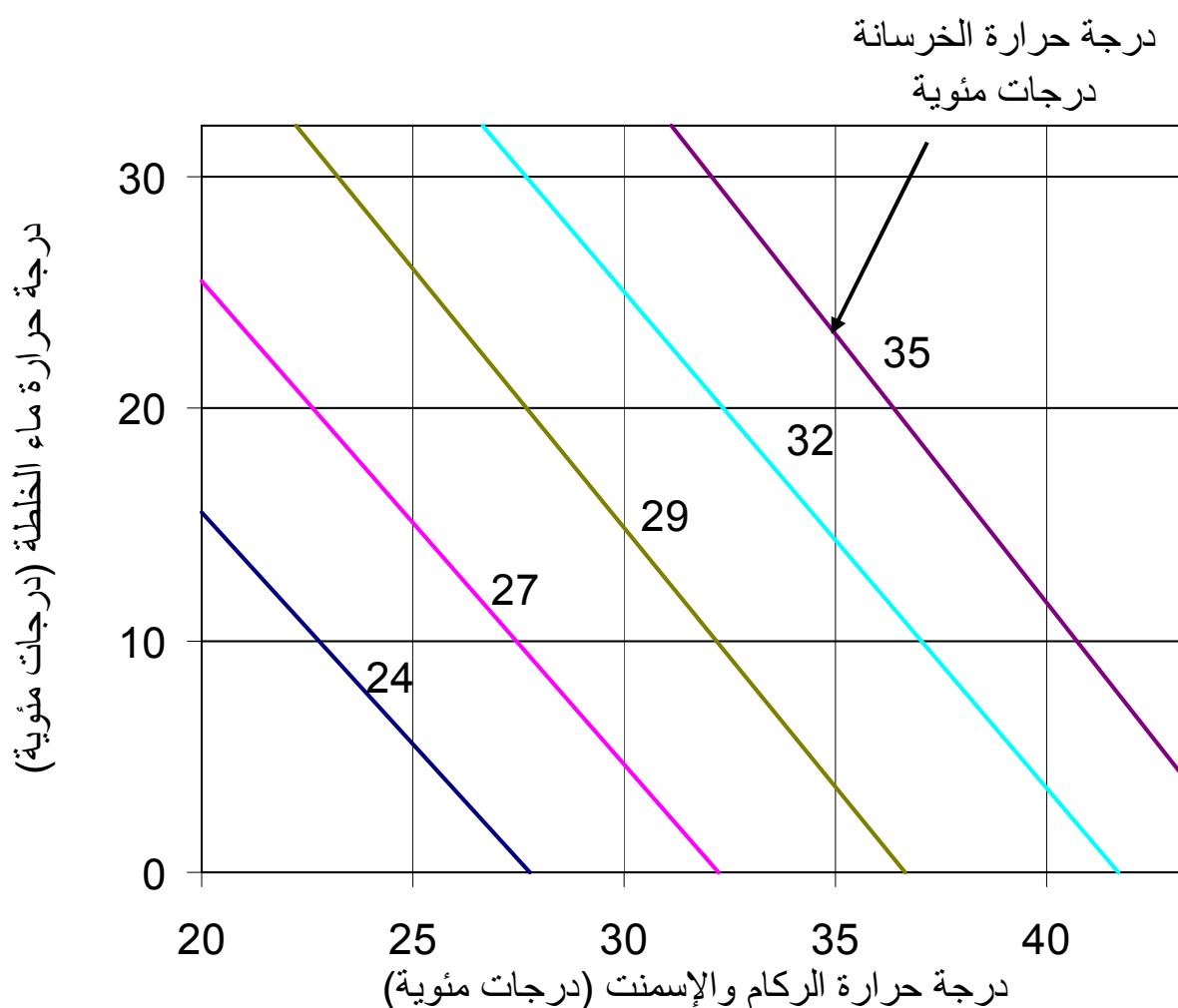
مواد الخرسانة	الوزن (كلغ/م ^٣)	درجة حرارة (درجات مئوية)
الإسمنت	335	50
الركام	1839	40
الماء	132	30

إذا درجة حرارة الخرسانة الطرية تساوي:

$$T = \frac{0,22(40 \times 1839 + 50 \times 335) + 30 \times 132 - 112 \times 35}{0,22(1839 + 335) + 132 + 35} = \frac{19908}{645} = 30.8^\circ C.$$

يمكن الإشارة إلى أن استعمال ٣٥ كلغ من الثلج يؤدي إلى خفض درجة حرارة الخلطة بـ ٧,٨ درجة مئوية.

ويمكن استعمال (شكل رقم ٤ - ٦) لحساب درجة حرارة الخرسانة الطرية من درجة حرارة مكوناتها.



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

٤.٤. احتياطات حول صنع الخرسانة في المناطق الحارة:

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 لتقليل الانكماش الحراري والتصدعات الناتجة عنها.
- يجب أن يكون نقل وصب الخرسانة من أقرب مكان.
- يجب تفادي تمديد زمن الخلط.

- يكون الزمن من بداية تعبئة السيارة الخلطة بالخرسانة جاهزة الخلط حتى تفريغها في الموقع ساعة واحدة على الأكثر أو حتى ٤٥ دقيقة مع مراعاة نوع وكمية المواد المضافة المؤجلة للشك.
- أن لا تزيد عدد دورات الخلط 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 ظروف صعبة.

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

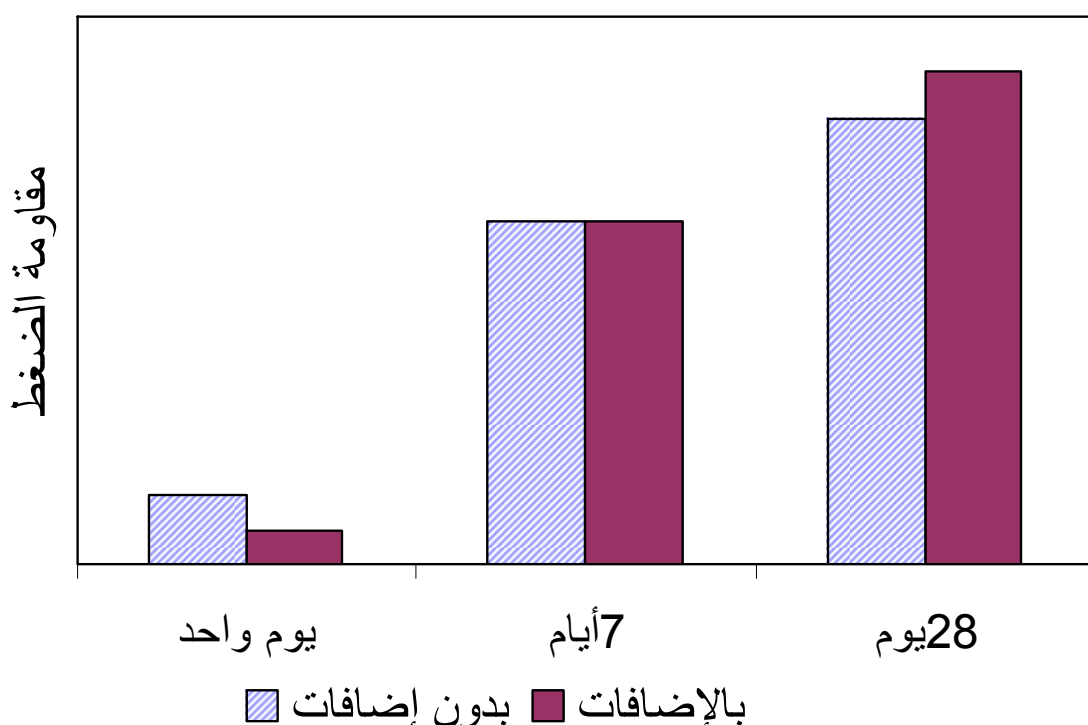
- النسبة المستعملة
- نوع الإسمنت
- نسب الخلطة
- درجة الحرارة

معدل نمو المقاومة يقل عند استعمال هذا النوع من الإضافات في الأيام الأولى بعد الخلط ولكن يزداد معدل نمو المقاومة في الأيام التالية. وتكون مقاومة الضغط بعد يوم إلى ثلاثة 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 (٤ - ٧).

أنواع الإضافات الأكثر استعمالاً هي الجبس، والسكر، وأملاح خارصين (زنك).

فإضافة 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 لتبطين الشك على مقاومة الخرسانة للضغط.

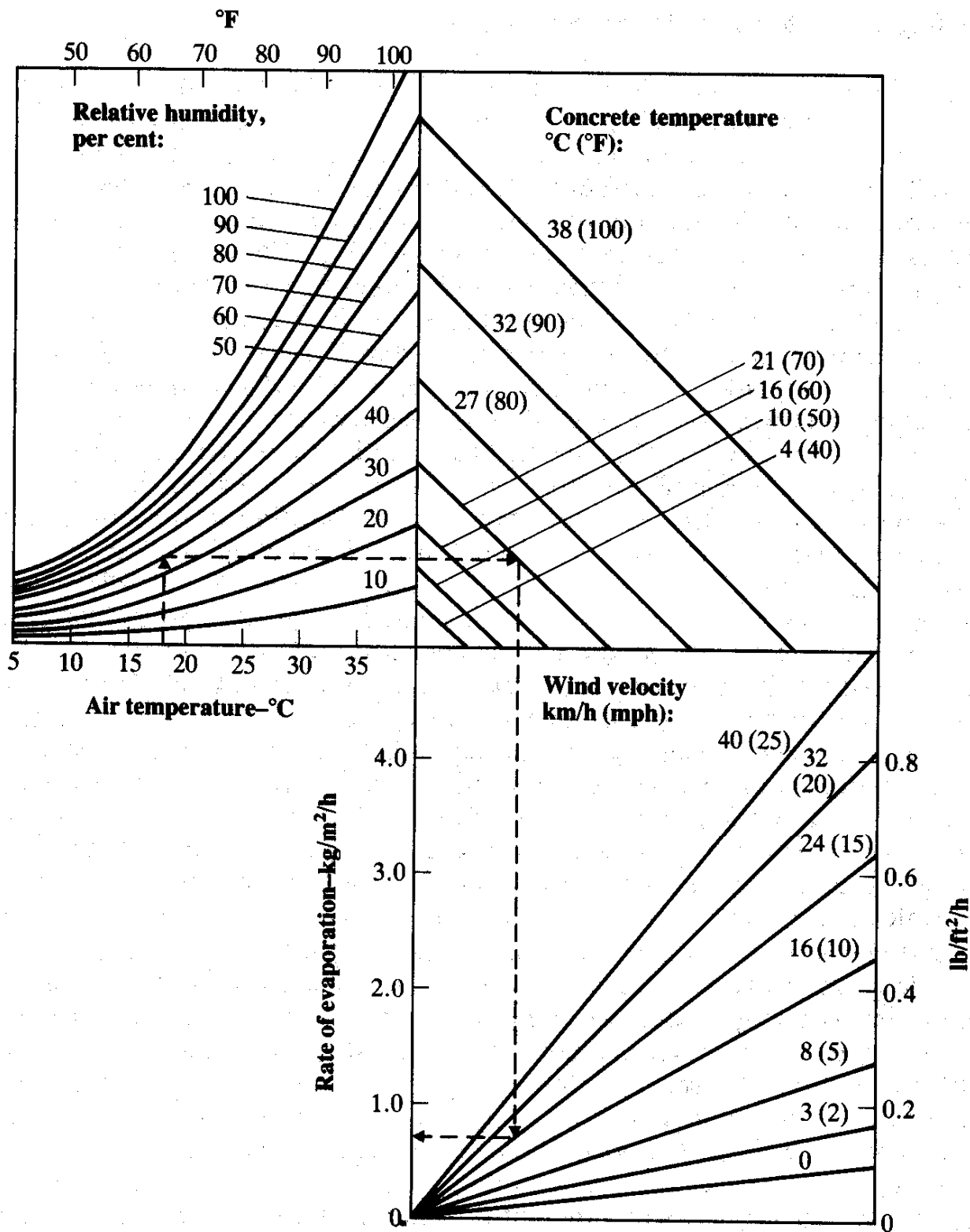
٥,٤. تشقق الخرسانة:

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. ويجب 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.

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

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

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



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

مصطلحات دلالات الشكل رقم ٨ - ٤ هي كالتالي:

Concrete temperature: درجة حرارة الخرسانة

Relative humidity: نسبة الرطوبة

Wind velocity: سرعة الرياح

Air temperature: درجة حرارة الجو

Rate of evaporation: سرعة تبخر

بعد صب الخرسانة يجب منع تبخر الماء من سطح الخرسانة ولكن عندما تزيد كمية تبخر الماء عن ٠,٥ كلغ/م^٢/الساعة يجب أخذ الاجراءات الوقائية بينما قد تظهر تشققات إذا تعدت هذه الكمية عن ١ كلغ/م^٢/الساعة.

وشكل (٤ - ٩) يبين تشققات مثالية ناتجة عن انكماش اللدن. ويكون طول التشققات بعض السنتيمترات وتصل إلى متر ، وتتراوح المسافة بين التشققات بين بعض السنتيمترات و حوالي ٧٠ سنتيمتر.



شكل رقم (٤ - ٩): تشققات اللدنة.

ويجب أخذ بعض الاحتياطات لتجنب التشققات الناتجة عن انكماش اللدن مثل:

- رش سطح الأرض و الشدات و الركाम الجاف بالماء حتى تحافظ الخرسانة على كمية ماء الخلطة ثابتة وبالتالي نحافظ 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 (٤ - ٨) لإيجاد سرعة تبخر الماء باستعمال المعطيات التالية:

- درجة حرارة الجو: ١٨ ° مئوية.
 - رطوبة الجو النسبية: ٤٠ %.
 - درجة حرارة الخلطة: ٢١ ° مئوية.
 - سرعة الرياح: ٢٤ كم \ الساعة.
- إذاً يكون معدل التبخر يساوي = ٨,٠ كلغ / م^٢ / الساعة.

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

- درجة حرارة الجو: ٣٠ ° مئوية.
 - رطوبة الجو النسبية: ٣٠ %.
 - درجة حرارة الخلطة: ٣٢ ° مئوية.
 - سرعة الرياح: ٣٢ كم \ الساعة.
- إذاً يكون معدل التبخر يساوي = ٢,٠ كلغ / م^٢ / الساعة.

ولخفض معدل تبخر الماء، يجب مثلاً خفض درجة حرارة الخلطة إلى ٢١ ° مئوية إضافة إلى استعمال حواجز للريح لتقليل سرعة الرياح على سطح الخرسانة إلى ٣ كم \ الساعة، إذاً معدل تبخر الماء ينخفض إلى ٢,٠ كلغ / م^٢ / الساعة.

٦,٤ حرارة الإماهة:

التفاعلات الكيميائية بين الإسمنت و الماء هي تفاعلات طاردة للحرارة، يليها إرتفاع في درجة الحرارة، وهذه التفاعلات تولد كمية من الحرارة (جول Joules) وتعرف بحرارة الإماهة أو التفاعلات.

وتزيد كمية حرارة التفاعلات كلما زادت:

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

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

وجداول رقم (٤ - ١) 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	100%
نوع II	إسمنت متوسط المقاومة للكبريتات	80 - 85 %
نوع III	إسمنت سريع التصلد	إلى 150%
نوع IV	إسمنت منخفض الحرارة	40 - 60 %
نوع V	إسمنت مقاوم للكبريتات	60 - 75 %

ونستنتج 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 (٣ - ٤) من الوحدة الثالثة 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 وأن زيادة ٥٠ كغ/م^٣ من قيمة الإسمنت تؤدي إلى زيادة حوالي ١٥ درجة مئوية في حرارة الخرسانة.

٧,٤. الوقاية والمعالجة:

الخرسانة في الأجواء الحارة تحتاج إلى عناية أكبر من الخرسانة الموجودة في الأجواء المعتدلة. فيجب أن تحفظ الخرسانة من أشعة الشمس لتقليل درجة حرارة الخرسانة لتفادي التشققات أو التشققات الناتجة عن اختلاف درجة الحرارة بين النهار والليل.

ورش الخرسانة بالماء باستمرار في الطقس الجاف مع الأخذ بعين الاعتبار تبخر الماء من سطح الخرسانة يعطي نتائج فعالة لتبريد الخرسانة إضافة إلى معالجة ناجعة للخرسانة.

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

وتوجد طرق لمعالجة الخرسانة أقل نجاعة:

- استعمال الألواح البلاستيكية أو الورق غير النافذ الذي لونه أبيض لعكس أشعة الشمس وتخفيض امتصاص حرارة الشمس.

وعند استحالة استعمال الرش بالماء لمدة أكثر من ٢٤ ساعة، فيجب تغطية سطح الخرسانة بالألواح البلاستيكية أو الورق غير النافذ أو استعمال المركبات الكيميائية. فالحاجة الضرورية لمعالجة الخرسانة بالماء تكون خلال الساعات الأولى بعد التهذيب وتستمر على الأقل ٢٤ ساعة.