بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

جامعة الشيخ عبدالله البدري

كلية الهندسة

قسم المدنية

بحث تكميلي لنيل درجة البكالريوس الشرف في الهندسة المدنية

بحث بعنوان

تأثير درجة حرارة ماء الخلط على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة

إعداد الطلاب :

أحمد جماع علي محمد — **اشراف/ دكتورة زينب مصطفى**

منذر مبارك عوض الكريم

سلمى جماع علي محمد

معزة السيد احمد السيد

أبريل 2026

الآية

بسم الله الرحمن الرحيم

"يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ"

صدق الله العظيم

الإهداء

إلى من علمونا الحرف الأول.. إلى من سهرت الليالي من أجلنا.. إلى من كانت دعواتهم سر نجاحنا..

إلى آبائنا الغاليين.. إلى أمهاتنا الحبيبات..

إلى من شاركونا طريق العلم.. إلى زملائنا وأصدقائنا..

إلى أساتذتنا الذين مدوا لنا يد العون والمساعدة..

نهدي ثمرة جهدنا هذا..

الشكر والعرفان

الحمد لله رب العالمين، الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضله تتحقق الإنجازات، فله الشكر أولاً وآخراً على ما أنعم به علينا من علم وتوفيق.

نتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى المشرفة على هذا المشروع د. زينب مصطفى على توجيهاتها القيمة ونصائحها الثاقبة التي كانت خير دليل لنا طوال فترة العمل.

كما نشكر السادة أعضاء هيئة التدريس في قسم الهندسة المدنية بكلية الهندسة – جامعة الشيخ عبدالله البدري على ما قدموه لنا من علم ومعرفة طوال سنوات الدراسة.

والشكر موصول إلى الفنيين القائمين على المعامل الهندسية، الذين ساعدونا في إجراء التجارب والاختبارات المعملية.

وأخيراً، نشكر كل من ساهم في إنجاز هذا العمل من قريب أو بعيد.

توزيع المهام بين أعضاء المجموعة

العضو المهام الرئيسية

أحمد جماع علي محمد إعداد المقدمة، مشكلة البحث، الأهداف، الإشراف على التنسيق العام

منذر مبارك عوض الكريم الدراسات السابقة، الإطار النظري، جمع المراجع

سلمى جماع علي محمد إجراء الاختبارات المعملية، تسجيل النتائج، توثيق الصور

معزة السيد تحليل النتائج، إعداد الجداول والمخططات، كتابة الاستنتاجات

المستخلص

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير درجة حرارة ماء الخلط على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة، مع تثبيت درجات حرارة المواد الصلبة (الركام، الأسمنت، الرمل) لتحديد التأثير الحقيقي للماء فقط. تم استخدام خمس درجات حرارة للماء: 10، 20، 30، 40، 50 درجة مئوية، واعتُمدت الخلطة عند 20°م كخلطة مرجعية. تم قياس درجة حرارة الخرسانة الطازجة، وإجراء اختبار الهبوط، واختبار مقاومة الضغط للمكعبات بعد 7 و 28 يوماً.

النتائج الرئيسية للمشروع:

1/ قابلية التشغيل (الهبوط): انخفضت قيمة الهبوط من 68 مم عند 20°م إلى 54 مم عند 50°م، بنسبة انخفاض بلغت 20.6%، مما يؤكد أن ارتفاع حرارة الماء يقلل الدونة بسبب زيادة التبخر.

2/ مقاومة الضغط بعد 28 يوماً: سجلت الخلطة المرجعية عند 20°م أعلى مقاومة (29.26 نيوتن/مم²). عند انخفاض الحرارة إلى 10°م، انخفضت المقاومة طفيفاً إلى 28.33 نيوتن/مم² (بنسبة 3.3%). أما عند ارتفاع الحرارة إلى 30°م، فهبطت المقاومة إلى 26.05 نيوتن/مم² (بنسبة 10.97%)، وعند 40°م وصلت إلى 22.16 نيوتن/مم² (بنسبة 14.93% مقارنة بـ30°م).

3/ العلاقة الأساسية: كلما انخفضت درجة حرارة ماء الخلط (ضمن المدى 10-20°م) تحسنت المقاومة، وكلما ارتفعت (فوق 20°م) تدهورت المقاومة بشكل حاد، باستثناء ارتفاع طفيف غير معنوي عند 50°م.

الاستنتاج النهائي: المدى الأمثل لدرجة حرارة ماء الخلط هو 20-30°م، مع أفضلية واضحة لدرجة 20°م. يوصى بتجنب استخدام ماء ساخن (فوق 30°م) في خلط الخرسانة تفادياً لخسارة كبيرة في المقاومة تصل إلى نحو 11% عند 30°م و 24% عند 40°م مقارنة بالخلطة المرجعية.

الكلمات المفتاحية: درجة حرارة ماء الخلط، مقاومة الضغط، الهبوط، الخرسانة الطازجة، الخرسانة المتصلدة، النسبة المئوية للتغير، الخلطة المرجعية.

Abstract

This research aims to study the effect of mixing water temperature on the properties of fresh and hardened concrete according to British Standard specifications. The study was conducted by fixing the temperatures of solid materials (aggregate, cement, sand) at approximately constant values, and changing the mixing water temperature to five different degrees: 10, 20, 30, 40, 50°C. The mix with water temperature of 20°C was adopted as a reference mix for comparison. The fresh concrete temperature was measured immediately after mixing, the slump test was performed, then standard test cubes were cast and tested after 7 and 28 days to determine .compressive strength

The results showed that the fresh concrete temperature increases with increasing water temperature, but the increase is less than the increase in water temperature due to the effect of solid materials. It was also found that workability (slump) decreases with increasing temperature. Regarding compressive strength, the best results were at 30°C, recording the highest strength after 28 days (31.05 N/mm²), while the lowest strength was at 50°C (27.90 N/mm²). The study recommended controlling mixing water temperature within the range of 20-30°C to obtain the best concrete .properties

Keywords: Concrete, mixing water temperature, compressive strength, workability, hot weather, British Standard, reference mi

فهرست المحتويات

البند	المحتويات	رقم الصفحة
	الآية	I
	الإهداء	II
	الشكر والعرفان	III
	المستخلص	IV
	Abstract	V
	فهرست المحتويات	VI
	فهرست الجداول	X
	فهرست الأشكال	IX
	فهرست المخططات	XI
	الفصل الأول	
1-1	مقدمة	1
2-1	أهداف البحث	2
3-1	منهجية البحث	2
4-1	هيكلة البحث	3
5-1	مشكلة البحث	3
	الفصل الثاني	
1-2	المقدمة	4
2-2	تقسيم مفهوم الطقس الحار والبارد	5
1-2-2	تقسيم ظروف الطقس الحار	6
3-2	تأثير ارتفاع درجة الحرارة على الخرسانة	6
4-2	مرحلة التصلب المبكر للخرسانة	8
5-2	تشقق الخرسانة	8

1-5-2	أسباب تشقق الخرسانة ومضارها	8
6-2	حرارة الإماهة	9
7-2	التأثيرات الناتجة عن صب الخرسانة في الجو الحار	10
8-2	الاحتياطات اللازمة لصب الخرسانة في الطقس الحار	11
9-2	تأثير انخفاض درجة الحرارة على الخرسانة	12
10-2	التأثيرات الناتجة عن صب الخرسانة في الطقس البارد	13
11-2	الاحتياطات اللازمة لصب الخرسانة في الطقس البارد	13
	الفصل الثالث	
1-3	التحليل المنخلي للركام	15
2-3	اختبار الكثافة النوعية والامتصاص للركام	17
2-2-3	الامتصاص	17
5-2-3	الحسابات	18
4-3	اختبار تعيين زمن الشك الابتدائي والنهائي	20
5-3	اختبار مقاومة المونة الأسمنتية للضغط	21
6-3	اختبار الهبوط	22
1-6-3	الغرض من الاختبار	22
2-6-3	قالب الاختبار	22
3-6-3	طريقة الاختبار	22
7-3	اختبار مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية	23
1-7-3	طريقة الاختبار	26
	الفصل الرابع	26
4	نتائج الاختبارات	29
1-4	نتائج اختبارات الأسمنت	29
2-4	نتائج اختبارات الركام	30
3-4	نتائج اختبارات مقاومة الضغط للخرسانة	31

	الفصل الخامس	
	الاستنتاجات	41
	التوصيات	42
	المراجع	42

فهرس الجداول

رقم الجدول	اسم الجدول	رقم الصفحة
1-4	نتائج اختبارات الأسمنت	29
2-4	نتائج التحليل المنخلي للركام الناعم	30
3-4	الخواص الفيزيائية للركام الناعم	30
4-4	نتائج التحليل المنخلي للركام الخشن	30
5-4	الخصائص الفيزيائية للركام الخشن	31
6-4	نتائج مقاومة الضغط لدرجة حرارة10 درجة مئوية	32
7-4	نتائج مقاومة الضغط لدرجة حرارة 20 درجة مئوية	33
8-4	نتائج مقاومة الضغط لدرجة حرارة 30 درجة مئوية	33
9-4	نتائج مقاومة الضغط لدرجة حرارة 40 درجة مئوية	34
10-4	نتائج مقاومة الضغط لدرجة حرارة 50 درجة مئوية	34
11-4	نتائج مقاومة الضغط بعد 7 أيام	35
12-4	نتائج مقاومة الضغط بعد 28 يوم	37
13-4	متوسطات مقاومة الضغط	38

فهرس الاشكال

رقم الشكل	اسم الشكل	رقم الصفحة
1-2	زيادة استهلاك الماء	7
1-3	جهاز فيكات	19
2-3	قالب الهبوط	23
3-3	رفع قالب الهبوط	24
4-3	قياس الهبوط	25
5-3	اشكال الهبوط	25
6-3	نموذج للهبوط الحقيقي	26
7-3	وضع العينات في ماكينة الضغط	28
8-3	كسر العينات المكعبة في اختيار مقاومة الضغط	28

فهرس المخططات

رقم المخطط	المحتوى	رقم الصفحة
1-4	مقاومة الضغط بعد 7 أيام	36
2-4	مقاومة الضغط بعد 28 يوم	37

الفصل

الأول

الفصل الأول

المقدمة

1-1 مقدمة:

الخرسانة هي مادة تتكون من الأسمنت والرمل والماء مع إضافة نوع من الركام مثل الكوارتز أو الزلط، وتعد الخرسانة من أهم مواد البناء في العصر الحديث خصوصاً مع تدعيمها بالحديد لتصبح خرسانة مسلحة.

جاءت كلمة خرسانة (Concrete) والتي تعني "تنمو معا" من الكلمة اللاتينية (Concretus) وهذا ما يحدث بالضبط عندما تجمع مكونات الخرسانة الثلاث: الركام والأسمنت والماء.

يعتبر الرومان أول من استعمل الخرسانة العادية في التاريخ، منذ حوالي ألفي عام، وقد استعملت في معظم مبانيهم لسهولة تشكيلها وإمكان تنفيذها بعمالة مدربة تدريباً بسيطاً.

وللخرسانة خصائص كثيرة تمتاز بها عن المواد الأخرى، فهي تأخذ شكل قالبها وتتماسك مع الزمن تدريجياً، وتبدأ بالشك الابتدائي وتنتهي بالشك النهائي. كذلك فهي شديدة المقاومة للإجهادات الناتجة عن الضغط ولكنها في نفس الوقت ضعيفة جدا في مقاومتها للشد، لذلك الخرسانة العادية (غير المسلحة) لا تستخدم أبدا في الأماكن التي تحدث فيها إجهادات الشد (مثل الكمرات).

للتغلب على هذه المشكلة يوضع الحديد وهو مقاوم ممتاز لقوى الشد وقوى الضغط، وفي حين أن أسياخ الحديد الطويلة يمكن أن تتحمل قوى الشد كليا، فإن الخرسانة لا تتحمل قوى الضغط كلها إذا كانت قطاعاتها نحيفة، مما يؤدي إلى احتمال انبعاج العنصر الخرساني.

لذلك، نجد أن مركباً خليطاً من الخرسانة والحديد يعطي مادة مثالية لمقاومة الإجهادات المختلفة المؤثرة عليها. وهذا المركب هو ما يعرف باسم الخرسانة المسلحة.

تسبب درجات الحرارة العالية للمياه، في رفع درجة حرارة الخرسانة، وبالتالي سوف تزداد متطلبات الماء، وتقل قابلية التشغيل للخرسانة ذات نفس القوام

ويتسبب الماء الزائد إذا لم يصحح تأثيره على نسبة (الماء/الأسمنت) في إنقاص الجودة القصوى (المقاومة) المتحملة للخرسانة في الموقع.

نظرا لارتفاع درجة الحرارة الداخلية للخرسانة، فإن إمكانية أن يبرد السطح الخارجي وينكمش، وإذا اختلفت درجات الحرارة بشدة داخل المنشأ، فإن المادة سوف يحدث لها شروخ.

2-1 أهداف البحث

.**1/** التعرف على تأثير درجة حرارة مياه الخلط على درجة حرارة الخرسانة الطازجة

.2/ دراسة تأثير درجة حرارة ماء الخلط على مقاومة الضغط للخرسانة بعد 7 و 28 يوم

.3/ توضيح مفهوم الجو الحار والبارد وتأثيره على الخرسانة

.4/ تحديد المدى المناسب لدرجة حرارة ماء الخلط للحصول على أفضل خواص للخرسانة

5/ تقديم توصيات عملية للمهندسين والفنيين في مواقع البناء حول كيفية التعامل مع درجات الحرارة المختلفة

3-1- منهجية البحث:

· استخدام أسمنت من نوع الأسمنت البورتلاندي العادي ماركة أسمنت بربر.

· استخدام ركام خشن و ركام ناعم.

· عمل اختبارات للمواد وفصل المواد.

· تصميم خلطة خرسانية مرجعية اعتماداً على المدونة البريطانية (BS-8110).

· عمل 6 مكعبات من الخلطة الخرسانية المرجعية واختبار مقاومة الضغط لـ 3 مكعبات بعد 7 أيام و 28 يومًا.

· عمل 6 مكعبات من الخلطة الخرسانية مع رفع درجة حرارة مياه الخلط إلى (40 درجة مئوية) واختبار مقاومة الضغط لـ 3 مكعبات بعد 7 أيام و 28 يومًا.

· عمل 6 مكعبات من الخلطة الخرسانية مع رفع درجة حرارة المياه إلى (50 درجة مئوية) واختبار مقاومة الضغط لـ 3 مكعبات بعد 7 أيام و 28 يومًا.

· عمل 6 مكعبات من الخلطة الخرسانية مع خفض درجة حرارة المياه إلى (10درجة مئوية) واختبار مقاومة الضغط لـ 3 مكعبات بعد 7 أيام و 28 يومًا.

· عمل 6 مكعبات من الخلطة الخرسانية مع خفض درجة حرارة المياه إلى (20درجة مئوية) واختبار مقاومة الضغط لـ 3 مكعبات بعد 7 أيام و 28 يومًا.

· عمل مقارنة لتحليل النتائج والتوصيات

1-5مشكلة البحث:- يمكن أن تؤثر درجات الحرارة أثناء تصنيع ووضع الخرسانة على وقت التصلب والقوة النهائية، فعندما تكون درجات الحرارة مرتفعة يمكن أن يؤدي ذلك إلى حدوث تشققات. وتستخدم العديد من الأعمال الخرسانية الماء المبرد لعمليات التحكم في درجة حرارة الخرسانة وتقليل فرص التشقق والقلق. لذلك تبرز الحاجة إلى دراسة تأثير درجة حرارة ماء الخلط بشكل دقيق مع تثبيت العوامل الأخرى للحصول على نتائج موثوقة.

وتتمثل مشكلة البحث في أن معظم الدراسات السابقة لم تقم بعزل تأثير درجة حرارة الماء عن تأثير المواد الصلبة (الركام، الأسمنت، الرمل)، مما قد يؤدي إلى نتائج غير دقيقة. لذلك تركز هذه الدراسة على تثبيت درجات حرارة المواد الصلبة وتغيير درجة حرارة الماء فقط، لمعرفة التأثير الحقيقي للماء على خواص الخرسانة

1-4: هيكلة البحث:

يحتوي البحث على خمسة أبواب مبينة كما يلي:

· الباب الأول: مقدمة عامة.

· الباب الثاني: الدراسات السابقة (الإطار النظري).

· الباب الثالث: الاختبارات المعملية.

· الباب الرابع: نتائج الاختبارات المعملية ومناقشة النتائج.

· الباب الخامس: الخلاصة والتوصيات

الفصل

الثاني

الفصل الثاني

الدراسات السابقة

2-1 المقدمة

تناولت العديد من الدراسات تأثير درجة الحرارة على الخرسانة، حيث ركزت معظم الدراسات السابقة على دراسة تأثير درجة حرارة ماء الخلط فقط دون تثبيت درجات حرارة بقية مكونات الخلطة الخرسانية مثل الركام والرمل والأسمنت. وقد أظهرت تلك الدراسات أن تغير درجة حرارة الماء يؤدي إلى تغير في خصائص الخرسانة، لكنها لم تعزل تأثير المواد الصلبة

دراسة (ع.ع.بلقيه، 1997): تناولت تأثير الظروف المناخية الحارة على خواص الخرسانة في المنطقة العربية، وأشارت إلى أن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة سرعة الإماهة وانخفاض المقاومة النهائية.

دراسة (م.أبو علاء، 1989): ركزت على تأثير درجة حرارة مكونات الخرسانة على خواصها الطازجة والمتصلدة، وأوصت بضرورة تبريد الركام في الأجواء الحارة.

توصيات معهد الخرسانة الأمريكي (ACI 305, 1997): تناولت صب الخرسانة في الطقس الحار وقدمت إرشادات للتحكم في درجة حرارة الخرسانة الطازجة.

المواصفة البريطانية BS 8110: تشير إلى أهمية التحكم في درجة حرارة الخرسانة أثناء الصب، وتوصي بألا تزيد درجة حرارة الخرسانة الطازجة عن 30°م في الظروف العادية، وأن تكون درجة حرارة الماء المثلى للخلط حوالي 20°م.

أما في هذه الدراسة فقد تم تثبيت درجات حرارة المواد الصلبة (الركام، الرمل، والأسمنت) مع تغيير درجة حرارة ماء الخلط، وذلك للحصول على نتائج أكثر دقة في دراسة تأثير درجة حرارة الماء على الخرسانة. هذا النهج يسمح بفهم أفضل للدور الحقيقي لماء الخلط في تحديد درجة حرارة الخرسانة الطازجة وبالتالي خواصها اللاحقة.

2.2- مفهوم الطقس الحار

مفهوم الطقس الحار هو مفهوم واسع، وقد تمت الإشارة إليه في كثير من الأبحاث ولكن من منطلقات مختلفة تنطبق على منطقة ولا تنطبق على أخرى.

يعرف الجو الحار على أنه خليط من الظروف التالية:

· ارتفاع درجة حرارة الجو المحيط.

· الرطوبة النسبية للجو.

· سرعة الرياح.

العوامل الأساسية المؤثرة على درجة الحرارة في الخرسانة العادية هي:

· حجم المنشأة.

· درجة حرارة الوسط الخارجي.

· درجة الحرارة الابتدائية للخرسانة أثناء الصب والتنفيذ.

· نوع الأسمنت.

· مكونات الخلطة الأسمنتية.

حيث تؤدي هذه الظروف مجتمعة إلى زيادة معدل فقدان رطوبة الخرسانة وزيادة معدل إماهة الأسمنت.

هذا يتسبب في الإضرار بجودة الخرسانة الطازجة والمتصلدة. كما يمكن أن يظهر ذلك في جزء من السنة في البلاد الحارة الرطبة أو الحارة الجافة. كما يمكن أن يظهر في المناطق الأخرى من العالم خلال فصل الصيف.

1.2.2: تقسيم ظروف الطقس الحار إلى:

· الطقس الحار: يتم بدرجات حرارة عالية ونسبة رطوبة عالية أيضاً.

· الطقس الحار الجاف: يتم بدرجات حرارة عالية ونسبة رطوبة منخفضة.

3.2 - تأثير ارتفاع درجة الحرارة على الخرسانة

كلما زادت درجة حرارة الخرسانة أثناء الصب زادت أيضاً سرعة نمو المقاومة المبكرة ولكن المقاومة النهائية تكون أقل نسبياً. وتظهر تأثيرات الطقس الحار مباشرة على المكونات الرئيسية للخرسانة قبل عملية الخلط. فعند تخزين الأسمنت في أماكن مكشوفة معرضة مباشرة لأشعة الشمس تزداد درجة حرارته بمقدار خمس إلى ست درجات مئوية عن درجة حرارة الوسط المحيط.

كما أن تعرض الأسمنت للرطوبة يؤدي إلى تكوين حبيبات متصلدة تقلل من خواصه الفيزيائية والميكانيكية.

الركام الذي يتم تخزينه في موقع مكشوف ومعرض لأشعة الشمس المباشرة ترتفع درجة حرارته بحوالي أربع إلى خمس درجات مئوية عن الركام الذي يتم حمايته من هذه العوامل.

كما ترتفع درجة حرارة الماء المستخدم في خلط الخرسانة، وينتج عن تأثير الجو الحار والاستهلاك المرتفع للماء الطيف الذي يسبب تغيراً في مقاومتها للخدش.

الخرسانة في حالة التربة المتراكمة بالحرارة هي واحدة من أهمها:

· الخرسانة في حالة التربة المتراكمة بالحرارة

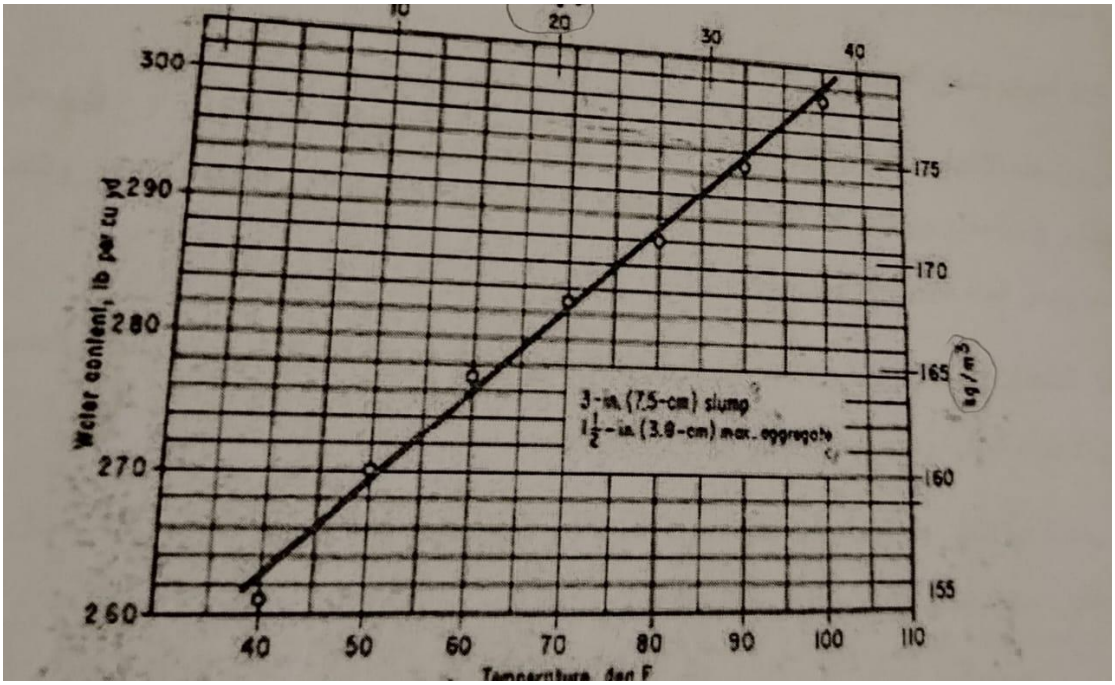
· تتميز هذه الخرسانة بدرجة كبيرة حيث تختلف حسب نوع الخرسانة.

· لا يمكن أن تكون خرسانة في حالة التربة المتراكمة بالحرارة إلا إذا كانت الخرسانة تحتوي على مواد معدنية.

· هناك أنواع مختلفة من الخرسانة التي تحتوي على مواد معدنية مثل:

· الخرسانة في حالة التربة المتراكمة بالحرارة (10%)

· الخرسانة في حالة التربة المتراكمة بالحرارة ومواد معدنية (90%)



الشكل (1-2) زيادة استهلاك الماء في الخلطة الخرسانية مع زيادة درجة حرارة الجو

4-2:مرحلة التصلب المبكر للخرسانة

الخرسانة المتصلدة هي الخرسانة التي قلت لدونتها نتيجة لبدء عملية الشك، كما تقل قدرة الخرسانة على التشوه بينما تزداد مقاومتها للشكل الذي يتحمل هذا الضرر، ولذلك تكون الخرسانة في بداية مرحلة التصلب وبناءً على النمو، مما يؤدي إلى زيادة درجة التصلب وبعدها تزداد في نسبة الارتفاع.

تزداد سرعة وتقل درجة كبيرة من الخرسانة على النحو حتى تصل إلى حدها الأقصى ثم تزداد في النهاية مع زيادة المقاومة.

وخلال هذه المرحلة تتولد حرارة داخل الخرسانة نتيجة التفاعل الكيميائي (الإماهة) وتنتج عنها ارتفاع درجة حرارة الكتلة الخرسانية.

وفي الخرسانة الكتلية تكون درجة الحرارة عالية وخاصة في قلب العنصر الخرساني، فيتكون مجال حراري متدرج تكون فيه القيمة العظمى في اللب والدنيا في السطح، وينتج عن ذلك فروقات حرارية بسبب اجهادات شد على السطح وضعف في الداخل.

5.2: تشقق الخرسانة

1.5.2 أسباب تشقق الخرسانة عديدة ومضاعفاتها جسيمة

ومن بين هذه الأسباب انكماش الخرسانة الذي يحدث في الساعات الأولى بعد صبها ويتراوح بين ساعة واحدة و 8 ساعات، ويحدث هذا النوع من التشققات عادة في الخرسانة في الطقس الحار. وتحدث عندما يتبخر الماء من سطح الخرسانة.

تظهر التشققات بسبب الفرق في درجة الحرارة عند ارتفاع درجة حرارة قلب الخرسانة في الكتل الضخمة وفي الأجزاء الحارة ويليها برودة على السطح الخارجي.

ولا يحدث أي تشقق إذا كانت الخرسانة حرة الحركة ولا يوجد ما يحد من حرية الحركة. مثال على هذه القيود وجود حديد التسليح داخل الخرسانة.

والظروف التالية تتسبب في تبخر الماء من سطح الخرسانة وبالتالي احتمال حدوث التشققات:

· درجة حرارة الجو العالية.

· رطوبة الجو المنخفضة.

· سرعة الرياح العالية.

بعد صب الخرسانة يجب منع تبخر الماء من الخرسانة، وعندما تزيد سرعة الرياح عن 2.1 كم/الساعة يجب أخذ الإجراءات الوقائية، بينما قد تظهر تشققات إذا تجاوزت هذه الكمية 1 كم/الساعة

ويكون طول التشققات بضعة مليمترات وقد تصل إلى متر، ويتراوح عرضها بين بضعة مليمترات وحوالي 71سم.

6.2 : حرارة الإماهة

التفاعلات الكيميائية بين الأسمنت والماء هي تفاعلات طاردة للحرارة، يليها ارتفاع في درجة الحرارة، وهذه التفاعلات تطلق كمية من الحرارة (جول Joule) وتعرف بحرارة الإماهة أو التفاعلات

وتزداد كمية حرارة التفاعلات كلما زادت:

· نسبة الماء إلى الأسمنت.

· نوع الأسمنت.

· درجة حرارة المعالجة.

· كمية الأسمنت في الخرسانة.

· درجة حرارة الجو المحيط.

· سمك العنصر الخرساني.

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

تسمى درجة حرارة الخلطة الخرسانية الطازجة بدرجة الحرارة الابتدائية. وتتأثر هذه الحرارة كثيراً بدرجة حرارة مكونات الخرسانة الرئيسية، إذ لم يتم حمايتها من ظروف الجو في موقع العمل، وخاصة من عملية الإماهة وعلى درجة الحرارة الابتدائية للخرسانة بسبب ارتفاع درجة الحرارة الناتجة الأولى بعد عملية الصب. ويمكن خفض درجة الحرارة الابتدائية في مركز الكتلة الخرسانية في الساعات الأولى.

مكونات الخرسانة نفسها. فالتغير في درجة حرارة المكونات بمعدل 10 درجات مئوية يحدث تغيراً في درجة الحرارة الابتدائية للخرسانة بحسب المعدلات الآتية:

· (تم احتساب هذه المعدلات لخلطة خرسانية بكمية 7,1والما 3,2.)

· (تم احتساب هذه المعدلات لخلطة خرسانية بكمية 0,7)

· (تم احتساب هذه المعدلات لخلطة خرسانية بكمية 200 كجم/م 3 ونسبة الماء إلى الأسمنت 0,7).

وبصفة عامة يمكن خفض درجة الحرارة الابتدائية للخرسانة بمعدل 2,9 درجة مئوية بخفض درجة حرارة الركام بمعدل 6,5 درجة مئوية.

التأثيرات الناتجة عن صب الخرسانة في الطقس الحار

7.2: التأثيرات الناتجة عن صب الخرسانة في الأجواء العادية لوجود

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

1. الاستهلاك المرتفع للماء
2. صعوبة ضبط ومراقبة الهواء المحبوس
3. التبخر السريع لمياه الخلط
4. الانخفاض السريع في القيمة الحاصلة من اختبار الهبوط
5. معدل الارتفاع في الشك
6. نقصان زمن تجمد الخلطة الخرسانية
7. الميل المرتفع للانكماش اللدن
8. نقصان مقاومة انضغاط الخرسانة
9. عناية أكبر في معالجة وحماية الخرسانة الطرية

8.2 : الاحتياطات اللازمة لصب الخرسانة في الطقس الحار

1- خفض درجة الحرارة الابتدائية عن طريق خفض درجة حرارة مكونات الخرسانة نفسها.

2- خفض درجة الحرارة الابتدائية عن طريق خفض درجة حرارة مكوناتها مع الحفاظ على كمية الماء في الخلطة ثابتة، وبالتالي نحافظ على قابلية التشغيل للخرسانة.

3- صب الخرسانة في الصباح الباكر أو في الليل إذا أمكن ذلك وهذا لتقليل الانكماش الحراري والتصدعات الناتجة عنها

4- يجب أن يكون صب ونقل الخرسانة من أقرب مكان.

5- يجب تفادي تمديد زمن الخلط.

6- أن لا تزيد عدد دورات الخلط عن 300 دورة.

7- بناء حواجز مؤقتة للزيادة في الرطوبة وتقليل تبخر الماء من سطح الخرسانة.

8- حفظ الخرسانة من أشعة الشمس لتقليل درجة حرارتها لتفادي التصدعات أو التشققات الناتجة عن اختلاف درجة الحرارة بين النهار والليل.

9- رش الخرسانة بالماء باستمرار في الطقس الجاف مع الأخذ بعين الاعتبار تبخر الماء من سطح الخرسانة يعطي نتائج فعالة لتبريد الخرسانة إضافة إلى معالجة ناجحة للخرسانة.

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

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

12- عند استحالة استعمال الرش بالماء لمدة أكثر من ساعتين، فيجب تغطية سطح الخرسانة بالألواح البلاستيكية أو الورق غير النافذ أو استعمال المركبات الكيميائية. في حالة الضرورة لمعالجة الخرسانة بالماء تكون خلال الساعات الأولى بعد التخشين وتستمر على الأقل 24 ساعة.

9.2: تأثير انخفاض درجة الحرارة على الخرسانة

إن معدل نمو الخرسانة ضعيف جداً في درجة الحرارة المنخفضة، ويجب حفظ الخرسانة الطرية من تأثير التجمد حتى تصل مقاومة الخرسانة إلى حوالي MPa 3,5 في درجة الحرارة العادية، وتصل مقاومة الخرسانة إلى هذه القيمة بعد حوالي 4 ساعات فقط. وتنخفض مقاومة الخرسانة بحوالي 50% إذا تعرضت الخرسانة للتجمد خلال الساعات الأولى بعد صبها

فدرجة الحرارة المنخفضة تعيق نمو التفاعل بين الأسمنت والماء وبالتالي تتأخر تصلب الخرسانة وتنخفض مقاومتها. فإذا كانت درجة الحرارة أقل من 10 درجات مئوية تتوقف التفاعلات الكيميائية وبالتالي تقل مقاومة الخرسانة. ويمكن أن تؤدي التغيرات في درجة الحرارة لخطر طوال فصل الشتاء والأجواء الباردة إذا لم نأخذ بعض الاحتياطات بعين الاعتبار.

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

كما هو معروف أن الخرسانة تولد حرارة أثناء تصلبها نتيجة التفاعل الكيميائي بين الأسمنت والماء، وهذه الحرارة مهمة جداً 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 كافية لمعالجة الخرسانة بدون استعمال حرارة إضافية مثل البخار، فالحصول على مقاومة عالية في الأيام الأولى بعد صب الخرسانة في الطقس البارد مفيد للتقليل من المدة اللازمة للمحافظة على الخرسانة.

ويمكن الحصول على هذه المقاومة العالية باستعمال إحدى الطرق التالية:

1- استعمال أسمنت سريع التصلد.

2- استعمال كمية مضاعفة من الأسمنت البورتلاندي العادي (من 60 كجم/م3 إلى 120 كجم/م3).

3- استعمال إضافات لتسريع الشك.

10.2:. التأثيرات الناتجة عن صب الخرسانة في الطقس البارد:

1- في الجو شديد البرودة تفقد الخرسانة جزء كبير من الحرارة الناتجة عن التفاعل بين الماء والأسمنت.

2- في الجو شديد البرودة تتجمد جزيئات الماء داخل الخلطة، ومن المعروف أنه عندما يتجمد الماء يزداد حجمه، وهذه الزيادة في الحجم تؤدي إلى تكسر بلورات الجسم البلوري الرابط لمكونات الخلطة، وبالتالي تلف أو إلحاق الضرر بالخرسانة المصبوبة.

11-2: الاحتياطات اللازمة لصنع وصب الخرسانة في الطقس البارد

1- يفضل أن تتجنب صب الخرسانة في أجواء البرد القارص إذا أمكن.

2- الابتعاد عن الصب في الصباح الباكر والليل، والسعي قدر الإمكان للصب عند فترة الظهر.

3- تسخين ماء الخلطة (وينصح بعدم تسخين الماء أكثر من 60 إلى 80 درجة مئوية).

4- تسخين الركام بالماء الساخن حتى 52 درجة مئوية إذا كان تسخين الماء غير كاف.

5- قبل أن توضع الخرسانة في القوالب يجب أن تنظف القوالب من الثلج والجليد.

6- الأماكن التي ستصب فيها الخرسانة يجب أن تكون حرارتها مناسبة لحرارة الخرسانة الجديدة.

7- قد يفضل استخدام القوالب الخشبية بديلاً عن القوالب الفولاذية.

8- الحصول على درجة حرارة ملائمة بعمل حواجز عازلة حول المنشأ وتزويد المنطقة الداخلية بالحرارة.

9- يجب أن يكون الحد الأدنى لدرجة حرارة القالب 2 درجة مئوية والحد الأدنى لدرجة حرارة الخليط 15 درجة مئوية.

10- يجب المحافظة على الخرسانة من التجمد لمدة 3 أيام على الأقل.

11- يمكن حماية الخرسانة من شدة البرد والرياح بعمل الآتي:

- تسخين المكان الذي ستصب فيه الخرسانة.

- الحماية باستعمال المواد العازلة: الألواح البلاستيكية، البوليسترين، الخيش، الصوف المعدني، القش، نشارة الخشب، والأغطية البلاستيكية.

12- قد تضاف بعض المواد لحماية مياه الخرسانة من التجمد وهي: مضادات التجمد - الملدنات - مسرعات الشك.

13- وفي بعض الحالات يستحسن استعمال خرسانة بنسبة أسمنت إلى ماء منخفضة للزيادة في المقاومة المبكرة أيضاً.

14- مدة تفكيك القوالب والفورم قد تمتد إلى أيام لضمان وصول الخرسانة للمقاومة المطلوبة.

الفصل

الثالث

الفصل الثالث

الاختبارات المعملية

3.الاختبارات المعملية

3-1التحليل المنخلي للركام

3-1-1 الهدف من الاختبار:

1. تحديد التوزيع الحجمي لتحليل الركام الكبير والصغير وذلك بطريقة التحليل بالمناخل القياسية مع توضيح التدرج الحبيبي للركام ومقارنته بالمواصفات القياسية.

2. تحديد معاير النعومة لكل من الركام الكبير والصغير.

3. تحديد نسبة خلط الركام الصغير والكبير للحصول على ركام شامل ذي تدرج حبيبي معين.

4. تحديد مدى صلاحية الركام وملاءمته للأعمال الخرسانية.

3-1-2 الأجهزة والمواد المستخدمة:

1. مجموعة من المناخل القياسية المستعملة في التحليل المنخلي للركام الخشن والناعم كما هي مبينة:

- المواصفات مناخل للركام الخشن (Standard sieve size for coarse aggregates)
  - BS: 1.5 in, 3/4 in, 0.5 in, 3/8 in, 3/16 in
  - ASTM: 1.5 in, 1 in, 3/4 in, 0.5 in, 3/8 in, 3/16 in
  - مقاس الفتحة (mm): 37.5, 26.5, 19.0, 13.2, 9.52, 4.75
- المواصفات مناخل للركام الناعم (Standard sieve size for fine aggregates)
  - BS: 3/16 in, No. 7, No. 14, No. 25, No. 52, No. 100
  - ASTM: No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100
  - مقياس الفتحة (mm): 4.75, 2.36, 1.18, 0.600, 0.300, 0.150

ملاحظة: المنخل القياسي 1,5 in مقاس فتحة المنخل البريطاني = 37,5 mm والمنخل الأمريكي = 38,1 mm.

1. ميزان حساس لا تقل حساسيته عن 0,1% من وزن العينة.

2. عينة من الركام (ناعم وخشن).

3-1-3 خطوات الاختبار:

1. تحضر عينة الركام لهذا الاختبار بالأوزان المبينة في الجدول وذلك من العينة الكلية والتي تمثل تمثيلاً تماماً للمجموعة المأخوذة منها، وتحصل على العينة الكلية هذه بطريقة التقسيم الربعي أو باستخدام صندوق التقسيم، ويراعى تجفيف العينة في الهواء قبل وزنها أو إجراء تجربة التحليل المنخلي عليها.

(الجدول الخاص بالحد الأدنى لوزن العينة حسب المقاس الاعتيادي مفقود في النص الأصلي، ولكن تم الاحتفاظ بترقيمه).

2. في حالة الركام المخلوط يفصل الركام الخشن والناعم باستعمال المنخل16/3 الإنكليزي أو رقم (4) الأمريكي.

3. تخلل العينة بعد ذلك على المناخل القياسية للركام الخشن أو الناعم بحيث يبدأ التنخيل على المنخل الأكبر وينتهي بالأصغر، ويراعى أن تكون المناخل سليمة ونظيفة قبل استعمالها.

4. تجرى عملية التنخيل برج المناخل ميكانيكياً أو يدوياً مدة كافية لا تقل عن دقيقتين.

5. يراعى أن لا تجبر حبيبات الركام على المرور من فتحات المناخل بالضغط عليها باليد، وفي حالة المناخل 20 مم أو أكبر يسمح بمساعدة حبيبات الركام على المرور من فتحات هذه المناخل.

6. توزن مقاومة الركام المحجوزة على كل منخل باستعمال الميزان الحساس.

7. تحسب النسبة المئوية للركام المحجوز والنسبة المئوية المارة التراكمية للركام في جدول وكذلك النسبة المئوية المحجوزة التراكمية للركام.

8. يوضح التدرج الحبيبي للركام بيانياً.

3-2 اختبار الكثافة النوعية والامتصاص للركام الخشن

Specific gravity and absorption of coarse aggregate

3-1-2 الغرض من الاختبار:

تحديد الكثافة النوعية والامتصاص للركام الخشن. الكثافة النوعية هي الخاصية المستخدمة بصفة عامة في حساب الحجم الذي يشغله الركام الخشن في العديد من الخلطات المحتوية على ركام خشن، وتشمل خرسانة الأسمنت البورتلاندي والخرسانة الإسفلتية والأساس الحصوي.

3-2-2 الامتصاص:

هو الزيادة في وزن الركام نتيجة لتواجد الماء في مساماته ولا يشمل الماء الملتصق بالسطح. ويعتبر الركام جافاً إذا تم تجفيفه في درجة حرارة 110 ± 5 درجة مئوية لوقت كافٍ (16 إلى 24) ساعة لإزالة كل الماء.

· الكثافة النوعية الظاهرية المشبعة (SSD)

· الكثافة النوعية الظاهرية (ASG)

3-2-3الأدوات المستخدمة:

· ميزان يقرأ 0,01 مزود بسلة ذات سلك، وخزان ماء أسفل الميزان لغمر العينة تماماً.

· فرن تجفيف.

· قطعة قماش (2-1,5) لها قابلية امتصاص الماء.

· منخل رقم 4.

3-2-4الطريقة:

1. تجلب العينة من مكانها بطريقة صحيحة لأن جلب العينة قد يؤثر على دقة الاختبار.

2. تقسم العينة بطريقة التقسيم.

3. يؤخذ منها وزن حسب المقاس الأكبر للعينة.

4. تغمر العينة في الماء لمدة 24 ساعة.

5. توضع العينة داخل السلة في الماء وتوزن العينة المشبعة في الماء.

6. يجفف سطح العينة بواسطة القماش مع مراعاة عدم هز العينة، ثم توزن العينة المشبعة جافة السطح في الهواء وتسجل بالجرام.

7. توضع العينة في فرن درجة حرارة 100°C (110°F) لمدة ما بين (16 إلى 24) ساعة، ثم تخرج من الفرن وتترك حتى تبرد، ثم توزن العينة الجافة في الهواء وتسجل.

3-2-5الحسابات

$$BSG = A / (B - C)$$

$$SSD = B / (B - C)$$

$$ASG = A / (A - C)$$

$$Absorption \% = (B - A) / A \times 100$$

حيث أن:

A = وزن العينة الجافة في الهواء بالجرام.

B = وزن العينة المشبعة جافة السطح في الهواء بالجرام.

C = وزن العينة المغمورة في الماء بالجرام.

3-3 فحص القوام القياسي للأسمنت

3-3-1 الغرض من الفحص:

تعيين كمية الماء اللازمة للحصول على عجينة أسمنت ذات قوام قياسي، تستعمل في فحوصات تحديد الوقت اللازم للتجمد وثبات الأسمنت.

3-3-2المواصفات:

اعتمدت في هذا الاختبار المواصفة القياسية البريطانية (B.S.12 part:2 1971).

3-3-3 الجهاز المستخدم:

يستخدم في هذا الفحص جهاز فيكات مع استخدام طرف استواني قطره 10 مليمتر.

الشكل(1-3)جهاز فيكات

3-3-4 أسلوب العمل:

إن كمية الماء اللازمة للحصول على عجينة أسمنتية ذات قوام قياسي هي الكمية التي تعطي عجينة تسمح للطرف الأسطواني بالنفاذ إلى نقطة تبعد بين 5 إلى 7 مم عن قاعدة قالب فيكات وذلك عندما تمتلئ العجينة.

1. تحضر كمية من الأسمنت وزنها 400 غم وتخلط مع كمية من الماء، تقدر كنسبة مئوية من وزن الأسمنت الجاف لمدة 4 دقائق. مدة الخلط هذه هي الفترة المحصورة بين بدء إضافة الماء إلى الأسمنت حتى بدء ملء قالب جهاز فيكات بالعجينة الناتجة.

2. يملأ قالب فيكات الموضوع على لوح مستو غير مسامي بعجينة الأسمنت ملئاً تاماً وبطريقة واحدة، ثم يسوى السطح مع حافة القالب، ويلاحظ عند ملء القالب أن لا يستعمل في ذلك سوى يد القائم بالفحص.

3. يوضع قالب فيكات المملوء بعجينة الأسمنت تحت الإبرة الحاملة للطرف الأسطواني لجهاز فيكات، ثم ينزل هذا الطرف ببطء إلى أن يمس سطح العجينة، ثم يحرر ليسقط حراً لينفذ فيها.

4. يحدد مقدار نفاذ الطرف الأسطواني في عجينة الأسمنت بتعيين المسافة بين حافته السفلية وقاع قالب فيكات بواسطة التدريج الموجود في الجهاز.

5. يعاد عمل عجينة تجريبية باستعمال نسب مختلفة من الماء لحين الحصول على كمية الماء التي تعطي عجينة أسمنتية ذات قوام قياسي، وتقدر هذه الكمية كنسبة من وزن الأسمنت الجاف. وتشترط المواصفة القياسية البريطانية بأن تكون درجة الحرارة في الغرفة والأسمنت والماء بحدود 20 درجة مئوية عند إجراء الاختبار.

3-4 اختبار تعيين زمن الشك الابتدائي والنهائي

تعيين زمن الشك الابتدائي وزمن الشك النهائي للأسمنت على ألا يقل زمن الشك الابتدائي عن45 دقيقة ولا يزيد زمن الشك النهائي عند 10 ساعات.

3-4-1 الأجهزة المستخدمة:

يستعمل جهاز فيكات السابق مع استبدال الطرف الأصلي بإبرة فيكات لتحديد زمن الشك الابتدائي، واستعمال إبرة فيكات المثبت بنهايتها جزء دائري لتحديد زمن الشك النهائي.4

3-4-2طريقة إجراء الاختبار:

1. يملأ قالب جهاز فيكات بعينة الأسمنت ذات القوام القياسي ويُسوى سطحها، ثم يوضع القالب في مكانه بالجهاز وتُدلى الإبرة ببطء حتى تمس سطح العجينة وتُترك لتنفذ رأسياً في العجينة، ويُقرأ التدريج الذي يدل على المسافة بين قاعدة القالب ونهاية الإبرة، ويُحسب الزمن من بداية الخلط (صفر القياس).

2. تُكرر عملية نفاذ الإبرة على نفس العجينة في مواضع متباعدة لا تقل المسافة بينها وبين حافة القالب عن 10 mm، وبعد فترات زمنية متتالية حوالئ10 دقائق.

3. يُسجل الوقت المقاس من صفر القياس حتى تصل إبرة الجهاز إلى بعد (5= 5) مم من قاعدة القالب كزمن الشك الابتدائي لأقرب 5 دقائق.

3-5 اختبار مقاومة المونة الأسمنتية للضغط

3-5-1 الغرض من الاختبار:

تحديد مقاومة الضغط للأسمنت باستخدام مكعبات من المونة الأسمنتية.

3-5-2 الأدوات المستخدمة:

· قوالب مكعبة معدنية قياس 50mm.

· هزاز ميكانيكي.

· ماكينة اختبار الضغط.

· ميزان حساس.

3-5-3 خطوات التجربة:

1. تحضر مونة أسمنتية بنسبة 1:3 (أسمنت: رمل قياسي) ونسبة ماء/أسمنت تحدد حسب القوام القياسي.

2. تخلط المونة جيداً ثم تملأ القوالب على طبقتين وتدمك كل طبقة بالهزاز.

3. تسوى الأسطح وتترك القوالب في مكان رطب لمدة 24 ساعة.

4. تفك القوالب وتغمر العينات في الماء حتى موعد الاختبار.

5. تختبر العينات بعد 7 أيام و28 يوم.

3-5-4 النتائج:

يتم حساب متوسط مقاومة الضغط لثلاث عينات في كل عمر.

3-6 اختبار الهبوط (Slump Test)

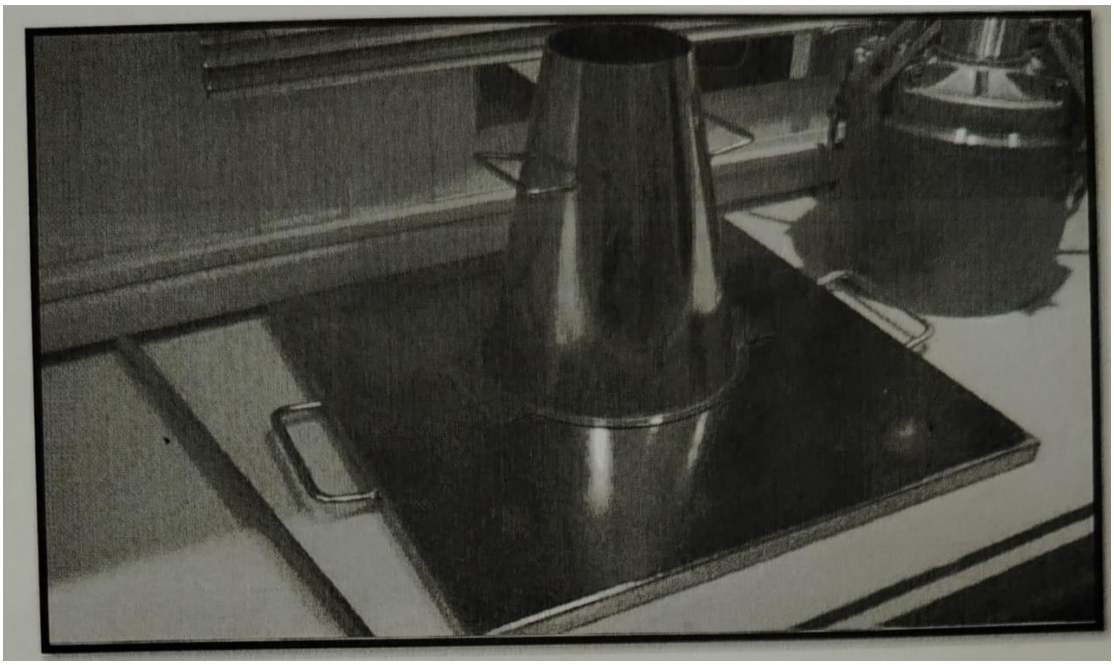
3-6-1 الغرض من الاختبار:

تحديد قوام الخلطة الخرسانية بقياس مدى هبوطها بعد تشكيلها على هيئة مخروط ناقص وذلك في المعمل أو في موقع التنفيذ. وذلك للتأكد من نسب مكونات الخلطة الخرسانية حيث أن أي تغيير في نسبة الأسمنت أو كمية الماء والركام يؤثر على قيمة الهبوط. ويعتبر هذا الاختبار من أبسط وأفضل الوسائل لضبط الجودة في محطات الخلط وفي مواقع التنفيذ.

3-6-2 قالب الاختبار:

عبارة عن مخروط ناقص مصنوع من معدن متين بسمك 1,5 mmعلى الأقل، مفتوح من أعلى ومن أسفل، قطر فتحته العليا10 cmوالسفلي 20 cm وارتفاعه 30 cm كما بالشكل (3-2).

قضيب الدمك: وهو سيخ من الصلب بقطر 15 mm وطول 60mm.



الشكل (3-2): قالب اختبار الهبوط وقضيب الدمك

3-6-3 طريقة إجراء الاختبار:

1. ينظف السطح الداخلي للقالب بحيث لا توجد به أي مياه عالقة أو آثار خرسانية.

2. يوضع القالب على سطح أفقي غير منفذ للماء على أن يثبت جيداً.

3. يملأ القالب على ثلاث طبقات ارتفاع كل منها يساوي ثلث ارتفاع القالب تقريباً، على أن تدمك كل طبقة بواسطة قضيب الدمك 25 مرة موزعة على السطح وبشرط أن ينفذ القضيب إلى الطبقة التي تحتها.

4. بعد الانتهاء من دمك الطبقة العليا للقالب يُسوى سطحها مع حافة القالب.

5. يُرفع القالب بعد ملئه مباشرة في اتجاه رأسي وببطء وعناية كما بالشكل (3-3).

6. يُقاس مقدار الهبوط بعد رفع القالب مباشرة وهو الفرق بين ارتفاع القالب وارتفاع مركز عينة الخرسانة الطازجة كما بالشكل(4-3). يتم توصيف القوام إما جاف أو صلب أو لدن أو مبتل أو رخو وذلك طبقاً لقيمة الهبوط كما هو موضح بالجدول (1-3).

ملاحظات:

· يجب أن لا يزيد المقاس الاعتيادي الأكبر للركام المستخدم عن 40mm.

· يجب أن لا تزيد الفترة بين انتهاء الخلط وبداية إجراء الاختبار عن دقيقتين.

· تحدث ثلاثة أشكال مختلفة لحالة الهبوط: فقد يكون هبوطاً حقيقياً أو هبوط قص أو انهيار كما بالشكل 3-(5) و(6-3).

يراعى إعادة الاختبار على عينة أخرى في حالة حدوث انزلاق جانب في العينة أو انهيار.

إذا تكرر ذلك في حالة إعادة الاختبار فيُقاس الهبوط مع تسجيل ذلك مع النتيجة.

الجدول (1-3) قيم الهبوط المناظرة لدرجات قوام الخرسانة المختلفة

الهبوط (مم)	صفر – 20	10 – 40	30 – 120	100 – 200	180 – 220
قوام الخلطة	جاف	صلب	لدن	مبتل	رخو

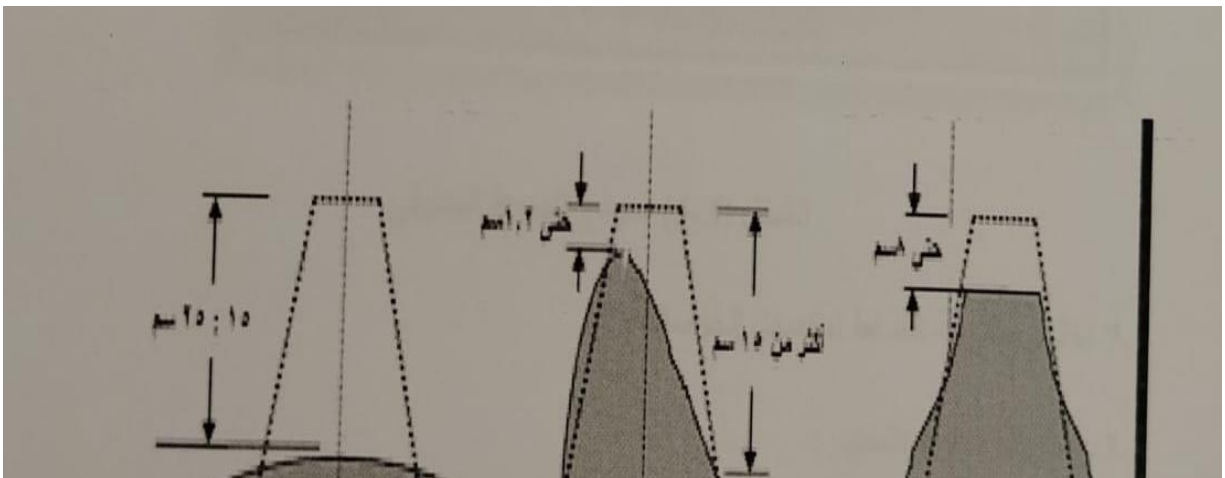
الخرسانية consistency	dry	Stiff	plastic	wet	sloppy

الهبوط (mm) 0 - 20 10 - 40 30-120 100 - 200

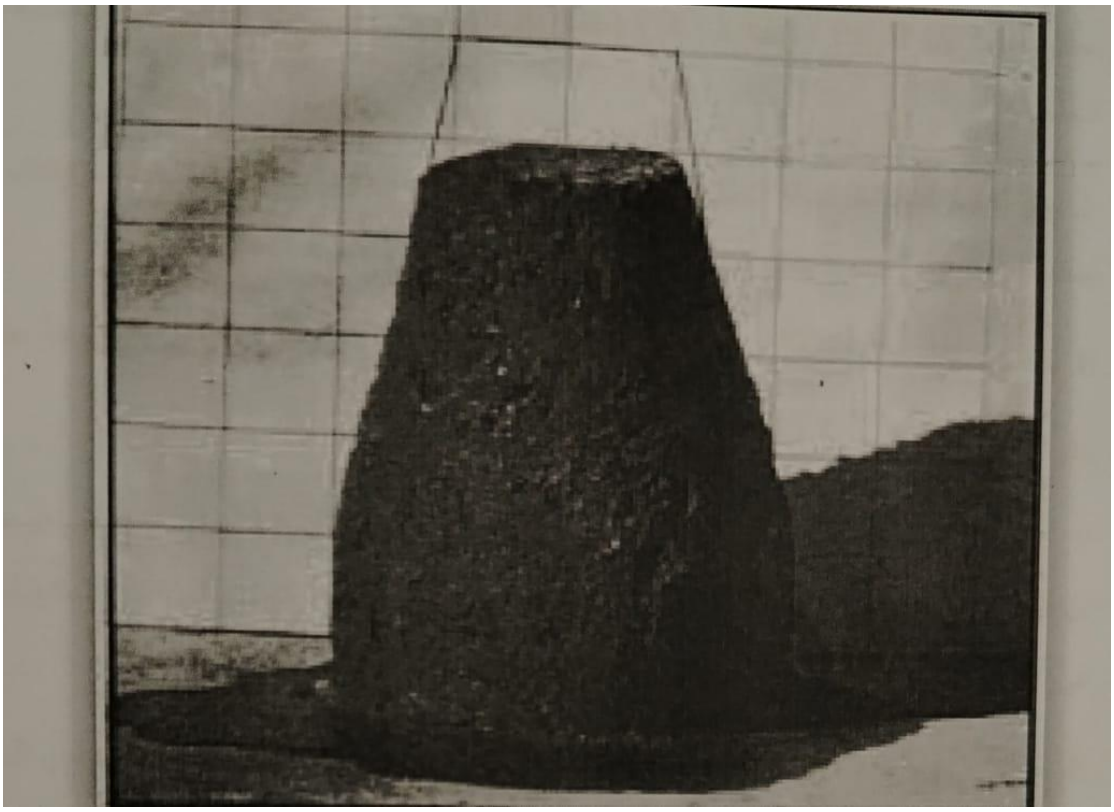
قوام الخلطة الخرسانية جاف (Dry) صلب (Stiff) لدن (Plastic) مبتل (Wet / Sloppy)

الشكل (3-3) رفع القالب بعد ملئه

الشكل (3-4) قياس الهبوط لتحديد قوام الخرسانة الطازجة



الشكل (3-5) أشكال الهبوط المختلفة



الشكل (3-6) نموذج للهبوط الحقيقي

3-7 اختبار مقاومة الضغط لمكعبات الخرسانة

3-7-1 طريقة إجراء الاختبار:

1. توزن الكميات اللازمة من الأسمنت والركام الصغير والركام الكبير (أو المقاسات المحجوزة على المناخل منفصلة) والماء، ويراعى عند حساب الوزن أن تزيد كمية الخرسانة المخلوطة عن الخرسانة اللازمة لملء القوالب بحوالي 15% وذلك لتعويض أي فقد أو هالك قد يحدث أثناء الاختبار.

2. تُدهن قوالب الاختبار من الداخل بطبقة رقيقة من الزيت الخفيف.

3. تخلط مكونات الخرسانة ميكانيكياً أو يدوياً خلطاً جيداً حتى يصبح لونها متجانساً.

4. بمجرد الانتهاء من الخلط تُجرى اختبارات القوام (الهبوط مثال) وأي اختبارات أخرى تكون مطلوبة مثل اختبارات القابلية للتشغيل (عامل الدمج أو في بي) أو اختبار تحديد نسبة الهواء في الخلطة.

5. بعد اختبارات الخرسانة الطازجة تُملأ القوالب مباشرة بالخرسانة على 15 درجة مئوية، وتُدمك الخرسانة ميكانيكياً بالهزاز أو يدوياً حتى تتماسك تماماً دون حدوث انفصال حبيبي.

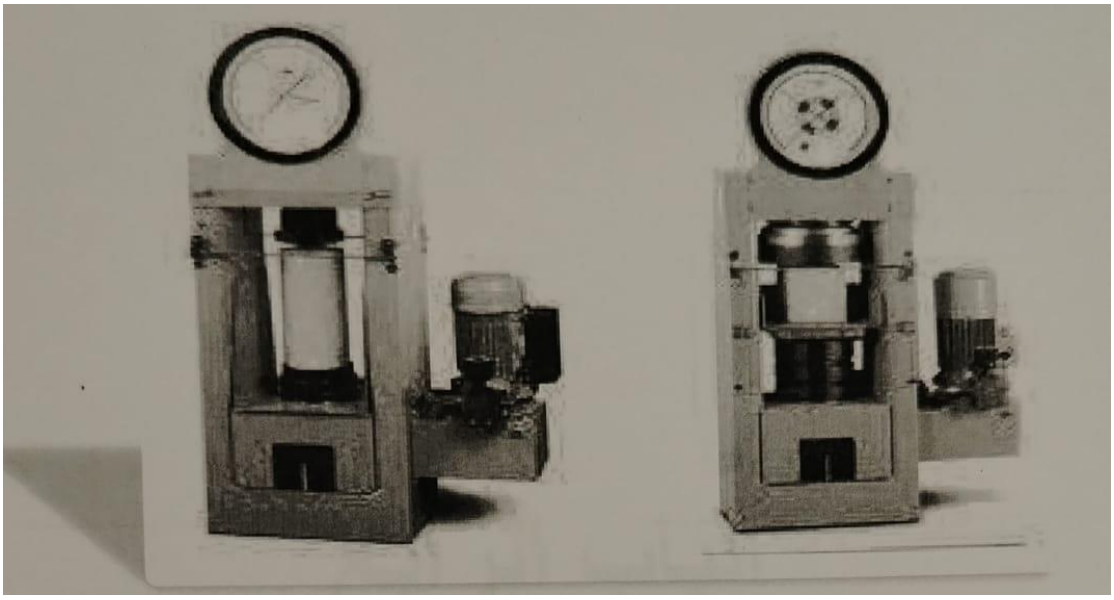
6. تُغطى القوالب بعد صبها مباشرة وتوضع في مكان درجة حرارته 20 إلئ 25 درجة مئوية لمدة 24 ساعة، ويُلاحظ أن لا تتعرض إلى اهتزازات.

7. تُفكك العينات الخرسانية بعد ذلك من القوالب وتُغمر فوراً في ماء نقي درجة حرارته حوالي 15 - 25 درجة مئوية وتُترك حتى وقت الاختبار، ويفضل ترك مسافات بين المكعبات في أحواض المعالجة، ويُنصح بعدم وضع المكعبات فوق بعضها.

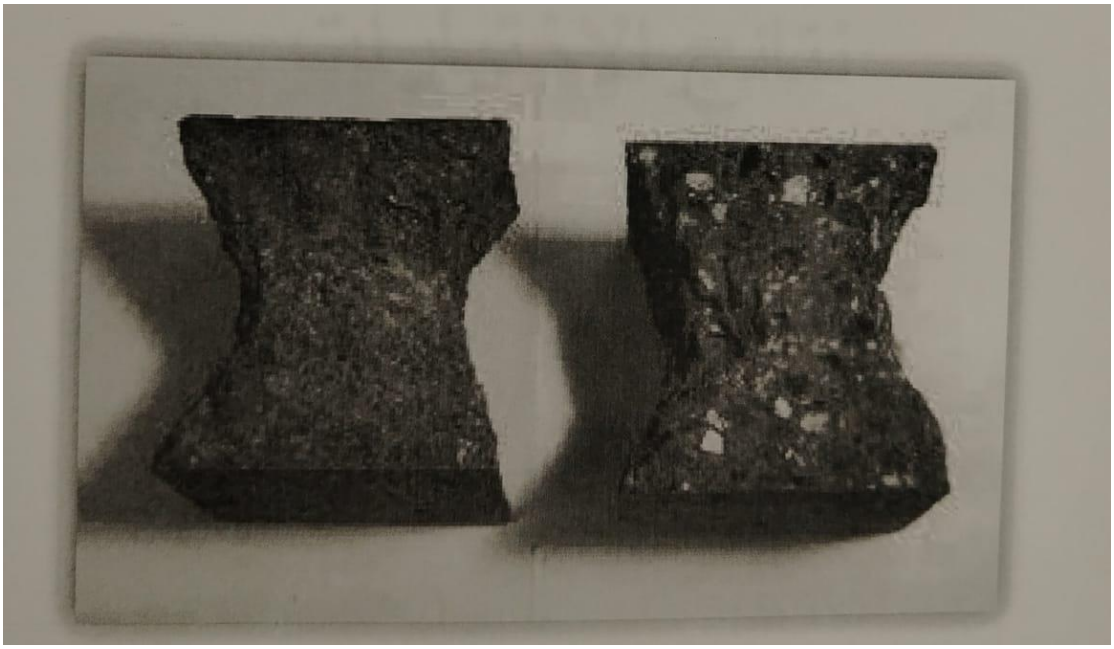
8. تُختبر العينة بوضعها في ماكينة الاختبار بحيث يكون محورها منطبقاً مع محور رأس الماكينة. وفي حالة العينة المكعبة يلزم أن يكون وجهي العينة الملامسين لسطحي رأس الماكينة هما الوجهين المقابلين للسطحين الداخليين للقالب المعدني لضمان استوائها وتوازيها.

أما في حالة العينة الأسطوانية فيلزم عمل كبس لسطحي نهايتي الأسطوانة بطريقة تجعل السطحين مستويين ومتوازيين.

1. تُعرض العينة لحمل ضغط محوري بمعدل حوالي 140 كجم/سم² / دقيقة حتى الكسر وتُدون النتائج في جدول.



الشكل (3-7) يبين وضع المكعبات والأسطوانة في ماكينة الضغط.



الشكل (3-8) يوضح شكل الكسر في عينات خرسانية مكعبة بعد إجراء اختبار الضغط عليها

الفصل

الرابع

الفصل الرابع

نتائج الاختبارات

4-1 اختبارات الأسمنت:

جدول رقم (4-1) يوضح نتائج اختبارات الأسمنت

الاختبار	النتائج	متطلبات الكود bs 121996
زمن الشك الابتدائي	56 دقيقة	لا يقل عن 45 دقيقة
زمن الشك النهائي	3.25 ساعة	لا يزيد عن 10 ساعات
مقاومة الضغط (7 أيام)		
1	21.25	أكبر من أو يساوي 10 N/mm^2
2	21	
3	22.52	
مقاومة الضغط (28 يوم)		
1	43.16	المطلوب 25 N/mm^2
2	42.12	
3	44.18	

4-2 اختبار الركام:

جدول رقم (4-2) يوضح نتائج التحليل المنخلي للركام الناعم

منخل رقم (mm)	المتبقى (g)	الركام المار التراكمي (g)	الوزن المار (%)	نسبة المار (%)
4.75	0	0	1.996	100
2.36	0.130	0.130	1.866	93.48
1.18	0.273	0.403	1.593	79.809
0.6	0.376	0.779	1.217	60.97
0.3	1.108	1.877	0.109	5.64
0.15	0.090	1.977	0.019	0.95
0.075	0.11	1.988	0.008	0.4008
Pan	0.008	1.996	0	0

جدول (4-3) يوضح الخواص الفيزيائية للركام الناعم

الكثافة النوعية	2.7
الامتصاص	%0.5

جدول رقم (4-4) يوضح نتائج التحليل المنخلي للركام الخشن

منخل رقم (mm)	المتبقى (g)	الركام المار التراكمي (g)	الوزن المار (%)	نسبة المار (%)
37.5	0	0	2	100
25	0	0	2	100
19	0.405	0.405	1.592	79.75
12.5	1.114	1.519	0.481	24.05
9.5	0.351	1.87	0.13	6.5
4.75	0.1298	1.999	0.001	0.05
Pan	0.001	2	0	0

الجدول (5-4) يوضح الخصائص الفيزيائية للركام الخشن

الكثافة النوعية	2.65
الامتصاص	%1.09

4-3 اختبارات مقاومة الضغط للخرسانة:

جدول رقم (6-4) يوضح نتائج مقاومة الضغط عند درجة الحرارة (10)

درجة الحرارة	العمر	الهبوط (mm)	وزن المكعب (kg)	أقصى حمل (KN)	مقاومة الضغط (N/mm^2)	متوسط مقاومة الضغط (N/mm^2)
			8.690	580.470	24.813	
10	7 ايام	66	8.488	542.714	23.656	24.58
			8.456	568.349	25.264	
			8.501	571.013	24.143	
10	28 يوم		8.394	691.734	30.746	28.33
			8.596	645.610	30.123	

جدول رقم (7-4) يوضح نتائج مقاومة الضغط عند درجة حرارة (20)

درجة الحرارة	العمر	الهبوط (mm)	وزن المكعب (kg)	أقصى حمل (KN)	مقاومة الضغط (N/mm^2)	متوسط مقاومة الضغط (N/mm^2)
			8.471	542.107	24.089	
20	7 ايام	68	8.428	568.073	25.248	24.35
			8.452	533.596	23.715	
			8.530	646.421	29.289	
20	28 يوم		8.510	625.650	28.341	29.26
			8.579	665.707	30.143	

جدول رقم (8-4) يوضح نتائج مقاومة الضغط عند درجة الحرارة (30)

درجة الحرارة	العمر	الهبوط (mm)	وزن المكعب (kg)	أقصى حمل (KN)	مقاومة الضغط (N/mm^2)	متوسط مقاومة الضغط (N/mm^2)
			8.451	564.115	24.167	
30	7 ايام	64	8.423	547.109	23.256	24.61
			8.452	550.096	23.415	
			8.651	684.420	27.851	
30	28 يوم		8.368	650.080	26.141	26.05
			8.379	645.207	24.143	

جدول رقم (4-9) يوضح نتائج مقاومة الضغط عند درجة الحرارة (40)

درجة الحرارة	العمر	الهبوط (mm)	وزن المكعب (kg)	أقصى حمل (KN)	مقاومة الضغط (N/mm^2)	متوسط مقاومة الضغط (N/mm^2)
				448.232	20.502	
			8.575			
40	7 ايام	58	8.560	445.545	20.463	20.17
			8.570	432.472	19.531	
			8.565	467.765	21.209	
40	28 يوم		8.568	530.702	23.800	22.16
			8.495	488.300	21.481	

جدول رقم (4-10) يوضح نتائج مقاومة الضغط عند درجة الحرارة (50)

درجة الحرارة	العمر	الهبوط (mm)	وزن المكعب (kg)	أقصى حمل (KN)	مقاومة الضغط (N/mm^2)	متوسط مقاومة الضغط (N/mm^2)
			8.398	461.246	21.500	
50	7 ايام	54	8.272	492.966	22.930	21.29
			8.209	435.279	19.432	

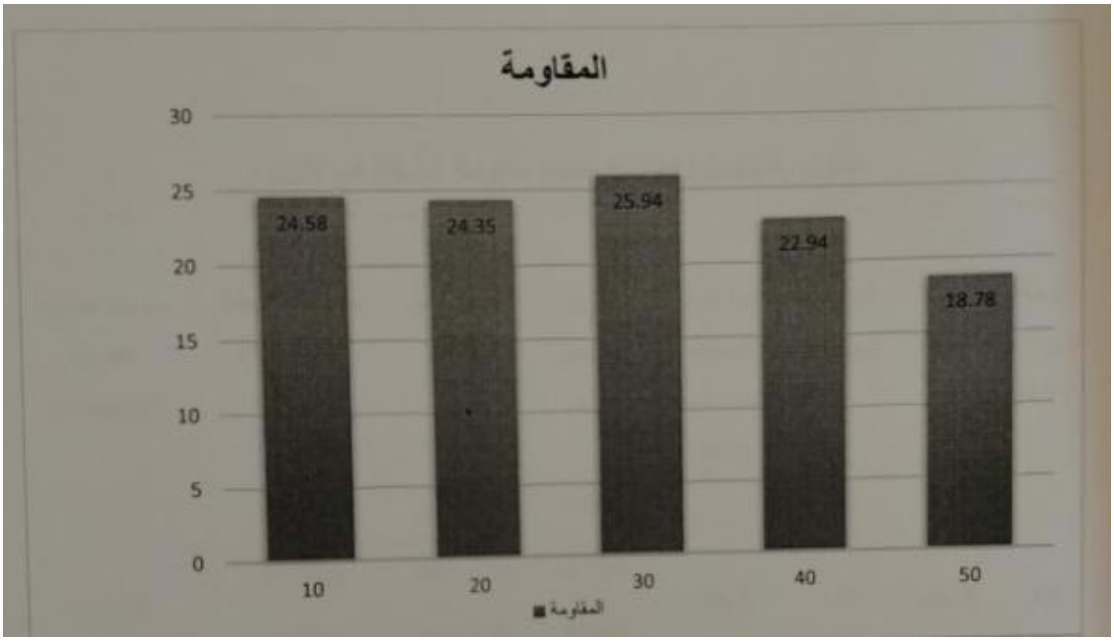
		8.296	541.730	24.413		
50	28 يوم		8.223	519.827	22.289	22.82
			8.368	514.833	21.783	

جدول رقم (11-4) نتائج مقاومة الضغط في 7 أيام

درجة الحرارة	العمر	الهبوط	وزن المكعب (kg)	اقصى حمل (KN)	مقاومة الضغط (N/mm2)	متوسط مقاومة الضغط (N/mm2)
			8.690	580.470	24.813	
10	7 ايام	66	8.488	542.714	23.656	24.58
			8.456	568.349	25.264	
			8.471	542.107	24.089	
20	7 ايام	68	8.428	568.073	25.248	24.35
			8.452	533.596	23.715	
			8.451	564.115	24.167	
30	7 ايام	64	8.423	547.109	23.256	24.61
			8.452	550.096	23.415	
			8.575	448.232	20.502	
40	7 ايام	58	8.560	445.545	20.463	20.17
			8.570	432.472	19.531	
			8.398	461.246	21.500	
50	7 ايام	54	8.272	492.966	22.930	21.29

					19.432	

مخطط (4-1) يوضح مقاومة الضغط عند تغير درجة الحرارة (7 أيام)



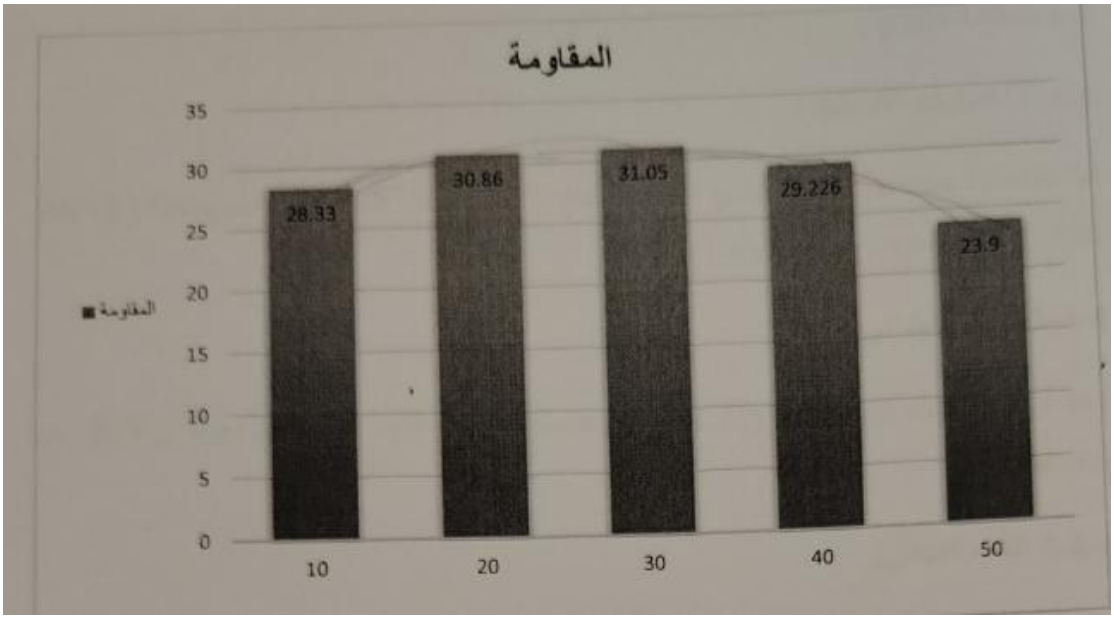
(رسم بياني يوضح العلاقة بين درجة الحرارة والمقاومة بعد 7 أيام)

جدول رقم (4-12) يوضح نتائج مقاومة الضغط في 28 يوم

درجة الحرارة	العمر	الهبوط	وزن المكعب (kg)	اقصى حمل (KN)	مقاومة الضغط (N/mm2)	متوسط مقاومة الضغط (N/mm2)
			8.501	571.013	24.143	
10	28 يوم	66	8.394	691.734	30.746	28.33
			8.596	645.610	30.123	
			8.530	646.421	29.289	

29.26	28.341	625.650	8.510	68	28 يوم	20
	30.143	665.707	8.579			
	27.851	684.420	8.651			
26.05	26.141	650.080	8.368	64	28 يوم	30
	24.143	645.207	8.379			
	21.209	467.765	8.565			
22.16	23.800	530.702	8.568	58	28 يوم	40
	21.481	488.300	8.495			
	24.413	541.730	8.296			
22.82	22.289	519.827	8.223	54	28 يوم	50
	21.783	514.833	8.368			

مخطط (2-4) يوضح مقاومة الضغط عند تغير درجة الحرارة (28 يوم)



(رسم بياني يوضح العلاقة بين درجة الحرارة والمقاومة بعد 28 يوم)

جدول رقم (13-4) يوضح جميع متوسطات مقاومة الضغط ودرجة حرارة كل خلطة

الزمن (اليوم)	درجة الحرارة 10 درجة مئوية	درجة الحرارة 20 درجة مئوية	درجة الحرارة 30 درجة مئوية	درجة الحرارة 40 درجة مئوية	درجة الحرارة 50 درجة مئوية
	المقاوم	المقاومة	المقاومة	المقاومة	المقاومة
7 ايام	24.58	24.35	24.61	20.17	21.29
28 يوم	28.33	29.26	26.05	22.16	22.82

(مناقشة النتائج (ملخص علمي 4-4

أولاً: نتائج المواد الأولية:

، زمن شك ابتدائي BS 12:1996 الأسمنت: أسمنت بورتلاندي عادي مطابق للمواصفة البريطانية ٠ 73.8 دقيقة (أكبر من 45 دقيقة)، ونهائي 3.25 ساعة (أقل من 10 ساعات). مقاومة الضغط لمكعبات .يوم) وهي أعلى من الحد الأدنى 28) N/mm² أيام) و 43.15 7) N/mm² الأسمنت 21.58

.%الركام الناعم (رمل كنجر): كثافة نوعية 2.7، امتصاص 0.5 ٠

الركام الخشن (20 مم): كثافة نوعية 2.65، امتصاص 1.09%. التدرج الحبيبي للركامين ضمن الحدود ٠ .الموصى بها

ثانياً: تأثير درجة حرارة ماء الخلط على مقاومة الضغط (28 يوم):

.(N/mm² أظهرت النتائج أن أفضل مقاومة للخرسانة تحققت عند درجة حرارة ماء خلط 20°م (29.26 كلما انخفضت الحرارة إلى 10°م قلت المقاومة بنسبة طفيفة، وكلما ارتفعت الحرارة فوق 20°م قلت المقاومة بشكل ملحوظ ومتزايد، كما يوضح الجدول التالي

:

الانتقال بين درجات الحرارة	التغير في المقاومة (N/mm2)	نسبة التغير (%)	الاتجاه والتفسير
من 10%م الى 20%م	0.93+=28.33-29.26	زيادة 3.28%	تحسن طفيف .الامامة منتظمة
من 20%م الى 30%م	3.21-=29.26-26.05	نقصان 10.97%	تدهور ملحوظ بسبب سرعة الاماهة
من30%م الى 40%م	3.89-=26.05-22.16	نقصان 14.93%	تدهور حاد تبخر الماء وتشقق
من 40%م الى 50%م	0.66+=22.16-22.82	زيادة طفيفة2.98%	غير معنوي ما زال أقل من المرجع

جدول (4-1) النسب المئوية لتغير مقاومة الضغط (28 يوم) مع تغير درجة حرارة ماء الخلط

:(ثالثاً: تأثير درجة الحرارة على الهبوط (قابلية التشغيل

.(أعلى هبوط سجل عند 20°م (68 مم ·

.(أقل هبوط عند 50°م (54 مم ·

.نسبة الانخفاض في الهبوط من 20°م إلى 50°م = 20.6%، بسبب زيادة سرعة التبخر والتفاعل ·

رابعاً: الخلاصة العلمية للمناقشة:

ا .

.لمدى الأمثل: 20-25°م لماء الخلط

. تجنب استخدام ماء خلط حار (أكثر من 30°م) في الخلطات الخرسانية.

الفصل

الخامس

الفصل الخامس

5-1 الخلاصة

بناءً على النتائج المعملية لهذا المشروع (مع تثبيت حرارة المواد الصلبة)، يمكن استخلاص الآتي:

1. تأثير انخفاض الحرارة (10°م مقارنة بـ20°م):

أدى انخفاض حرارة الماء إلى 10°م إلى نقص بسيط في مقاومة الضغط بنسبة 3.3% (من 29.26 إلى 28.33 نيوتن/مم²)، مع زيادة طفيفة في الهبوط (قابلية التشغيل). هذا يشير إلى أن البرودة المعتدلة لا تضر بالخرسانة بشكل كبير.

2. تأثير ارتفاع الحرارة (30°م - 50°م مقارنة بـ20°م):

عند 30°م: انخفضت المقاومة بنسبة 10.97% (إلى 26.05 نيوتن/مم²).

عند 40°م: انخفضت المقاومة بنسبة 24.3% (إلى 22.16 نيوتن/مم²) مقارنة بالمرجع.

عند 50°م: سجلت المقاومة 22.82 نيوتن/مم²، أي أقل بنسبة 22% من المرجع، مع ملاحظة تحسن طفيف جداً مقارنة بـ40°م لا يتجاوز 3%، لكنه يبقى ضمن القيم المنخفضة.

3. العلاقة الأساسية المؤكدة: في هذا المشروع، ثبت أن كلما انخفضت درجة حرارة ماء الخلط (ضمن المدى 10-20°م) زادت مقاومة الضغط، و كلما ارتفعت درجة الحرارة (فوق 20°م) قلت المقاومة بشكل ملحوظ، مع انخفاض موازٍ في قابلية التشغيل (الهبوط انخفض بنسبة 20.6% عند 50°م

5-2 التوصيات

1/ التحكم الدقيق في حرارة الماء: يوصى باستخدام ماء خلط بدرجة حرارة تتراوح بين 20-25°م للحصول على أفضل مقاومة. يجب تجنب استخدام ماء تزيد حرارته عن 30°م لأنه يخفض المقاومة بأكثر من 10%.

2/ في الأجواء الحارة: إذا اضطررت للصب في حرارة عالية، فيجب تبريد ماء الخلط (وليس تسخينه) إلى أقل من 25°م، وتعويض الفاقد في الهبوط بإضافات ملدنة وليس بإضافة ماء إضافي.

3/ في الأجواء الباردة: يمكن استخدام ماء بدرجة 20-25°م، ولا حاجة لتسخينه إلى درجات عالية لأن ذلك سيضر المقاومة. يكفي حماية الخرسانة بعد الصب فقط.

4/ السرعة في التنفيذ: يجب ألا تزيد المدة بين الخلط والصب عن 20 دقيقة في الطقس الحار، لتقليل فقد الماء بالتبخر الذي يسبب انخفاض الهبوط والمقاومة.

5-3 المراجع:

1. ع.ع.بلقيه، جامعة عدن، الجمهورية اليمنية، عدن، سلسلة الكتاب الجامعي (3)، 1997.

2. م.أبو علاء، جامعة شبه جزيرة العرب، الجزء الرابع، الطبعة الثانية، الأنجلو المصرية - القاهرة، مكتبة الأنجلو المصرية - القاهرة 1989.

3. البقري، الإنسان والانهيار، الطبعة الأولى، طباعة دار الحرمين، 72ش-مصر والسودان-حدائق القبة-1994.

4. شزابو المجد وآخرون، تصدع المنشآت الخرسانية وطرق إصلاحها، دار النشر للجامعات - الطبعة الثانية – مصر 1997.

5. ACI-Committee Report: Hot weather concreting Reported by ACI committee 305, Aug 1997.

6. N.R. SHATTAF, ALshamsi : The effect of condensed silica fume on some properties of concrete in hot climates proceedings of the first international

conference on reinforced concrete materials in hot climates. Alain-U.A.E .April 24th-27th /1994 . pp 147-157

p.Catharin : Die Hydrothonswaerme der Zemente und ihre Bedeutung. .7 .zement und Beton. Heft 11,12- 12 wien.1971

.Zongjin Li; Advanced concrete technology; 2011 .8

The Roman Pantheon: The Triumph of Concrete. Romanconcrete.com. .9 .Retrieved on 2013-02-19

Evelien Cochez[1] Wouter Nijst Giorgio Simbolotti & Giancarlo Tosato. .10 "Cement Production" (PDF). IEA ETSAP – Technology Brief I03 – June .2010: IEA ETSAP- Energy Technology Systems Analysis Programme

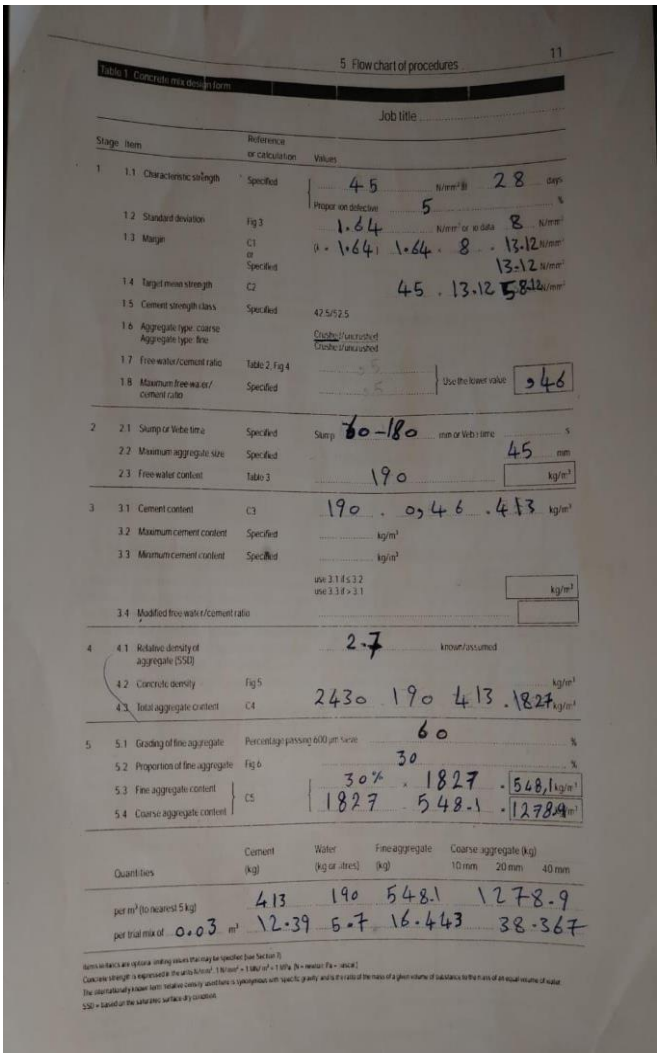
."U.S. Federal Highway Administration (14 June 1999). "Admixtures .11

."Cement Admixture Association. "Admixture Types .12

http://www.daytonsuperior.com/docs/default-source/tech-data- .13 sheets/section-05---curingcompounds.pdf?sfvrsn=3

Structural lightweight concrete" (PDF). Concrete Construction. The " .14 Aberdeen Group. March 1981

الملاحق



5 Flow chart of procedures 11

Table 1 Concrete mix design form

Job title .....

Stage	Item		Reference or calculation	Values
1	1.1	Characteristic strength	Specified	45 N/mm² at 28 days
				Proportion defective 5 %
	1.2	Standard deviation	Fig 3	1.64 N/mm² or no data 8 N/mm²
	1.3	Margin	C1 or Specified	(k = 1.64) 1.64 × 8 = 13.12 N/mm²
				13.12 N/mm²
	1.4	Target mean strength	C2	45 + 13.12 = 58.12 N/mm²
	1.5	Cement strength class	Specified	42.5/52.5
	1.6	Aggregate type: coarse Aggregate type: fine		Crushed/uncrushed Crushed/uncrushed
	1.7	Free-water/cement ratio	Table 2, Fig 4	
	1.8	*Maximum free-water/cement ratio*	*Specified*	Use the lower value 0.46
2	2.1	Slump or Vebe time	Specified	Slump 60–180 mm or Vebe time s
	2.2	Maximum aggregate size	Specified	45 mm
	2.3	Free-water content	Table 3	190 kg/m³
3	3.1	Cement content	C3	190 ÷ 0,46 = 413 kg/m³
	3.2	*Maximum cement content*	*Specified*	kg/m³
	3.3	*Minimum cement content*	*Specified*	kg/m³
				use 3.1 if ≤ 3.2 use 3.3 if > 3.1
	3.4	Modified free-water/cement ratio		kg/m³
4	4.1	Relative density of aggregate (SSD)		2.7 known/assumed
	4.2	Concrete density	Fig 5	kg/m³
	4.3	Total aggregate content	C4	2430 − 190 − 413 = 1827 kg/m³
5	5.1	Grading of fine aggregate	Percentage passing 600 μm sieve	60 %
	5.2	Proportion of fine aggregate	Fig 6	30 %
	5.3	Fine aggregate content	C5	30% × 1827 = 548,1 kg/m³
	5.4	Coarse aggregate content		1827 − 548.1 = 1278.9 kg/m³

Quantities	Cement (kg)	Water (kg or l.)	Fine aggregate (kg)	Coarse aggregate (kg) 10 mm	20 mm	40 mm
per m³ (to nearest 5 kg)	413	190	548.1	1278.9		
per trial mix of 0.03 m³	12.39	5.7	16.443	38.367		

Items in italics are optional limiting values that may be specified (see Section 7).
Concrete strength is expressed in the units N/mm². 1 N/mm² = 1 MN/m² = 1 MPa (N = newton; Pa = pascal).
The internationally known term 'relative density' used here is synonymous with 'specific gravity' and is the ratio of the mass of a given volume of substance to the mass of an equal volume of water.
SSD = based on the saturated surface dry condition.

Table 1 Concrete mix design form

Job title .....

Stage	Item		Reference or calculation	Values
1	1.1	Characteristic strength	Specified	_____ N/mm² at _____ days
				Proportion defective _____ %
	1.2	Standard deviation	Fig 3	_____ N/mm² or no data _____ N/mm²
	1.3	Margin	C1 or Specified	(k = _____) _____ × _____ = _____ N/mm²
				_____ N/mm²
	1.4	Target mean strength	C2	_____ + _____ = _____ N/mm²
	1.5	Cement type	Specified	OPC/SRPC/RHPC
	1.6	Aggregate type: coarse Aggregate type: fine		Crushed/uncrushed Crushed/uncrushed
	1.7	Free-water/cement ratio	Table 2, Fig 4	
	1.8	*Maximum free-water/cement ratio*	*Specified*	Use the lower value
2	2.1	Slump or Vebe time	Specified	Slump _____ mm or Vebe time _____ s
	2.2	Maximum aggregate size	Specified	_____ mm
	2.3	Free-water content	Table 3	_____ kg/m³
3	3.1	Cement content	C3	_____ ÷ _____ = _____ kg/m³
	3.2	*Maximum cement content*	*Specified*	_____ kg/m³
	3.3	*Minimum cement content*	*Specified*	_____ kg/m³
				use 3.1 if ⩽ 3.2 use 3.3 if > 3.1
	3.4	Modified free-water/cement ratio		_____ kg/m³
4	4.1	Relative density of aggregate (SSD)		_____ known/assumed
	4.2	Concrete density	Fig 5	_____ kg/m³
	4.3	Total aggregate content	C4	_____ − _____ − _____ = _____ kg/m³
5	5.1	Grading of fine aggregate	Percentage passing 600 μm sieve	_____ %
	5.2	Proportion of fine aggregate	Fig 6	_____ %
	5.3	Fine aggregate content	C5	_____ × _____ = _____ kg/m³
	5.4	Coarse aggregate content		_____ − _____ = _____ kg/m³

Quantities	Cement (kg)	Water (kg or l.)	Fine aggregate (kg)	Coarse aggregate (kg) 10 mm	20 mm	40 mm
per m³ (to nearest 5 kg)						
per trial mix of _____ m³						

Items in italics are optional limiting values that may be specified (see Section 7)

1 N/mm² ≈ 1 MN/m² = 1 MPa (see footnote to Section 3).

شيت التصميم

صورة لصب الخرسانة و اختبار الهبوط

صورة لخلط الركام الناعم والخشن

صورة لصب الخرسانة داخل المكعب

قياس درجة حرارة الماء

صورة للخلطة الخرسانية

قياس درجة حرارة الخلطة

صورة لوزن المواد

صورة لكسر المكعبات

صورة لصب الخلطة الخرسانية داخل المكعب

صورة للمكعبات الخرسانية