

الفصل السادس

التجمد والتصلب

Setting and hardening

1.6 تطور المقاومة

1.1.6 الأهداف التعليمية Learning objectives

1. وصف آلية تطور مقاومة الخرسانه
2. مقارنة سرع تطور المقاومة لعدد من أنواع الخرسانة المصنوعة من مواد مختلفة
3. وصف تأثيرات الحرارة تحت الأعتيادية والعالية على سرعة تطور المقاومه لأنواع مختلفه من الخرسانه .
4. وصف تأثيرات ظروف المعالجة على سرعة تطور المقاومه لأنواع من الخرسانه ز
5. وصف طرق مراقبة وضبط سرعة تطور المقاومه للخرسانه في المختبر والموقع .

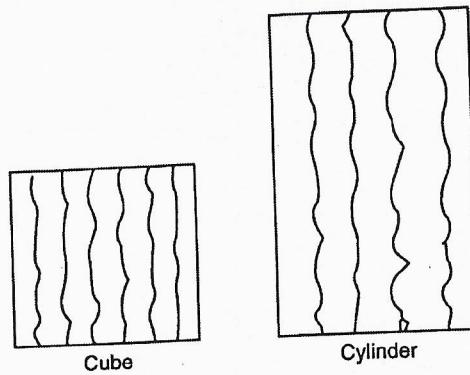
2.1.6 المقدمة Introduction

مقاومة الخرسانه ليست مصطلح محدد لوصف خاصية الخرسانه ، لكنها الحمل الأقصى المستمر تحت ظروف التحميل المعرفه . مقاومة الخرسانه تكون مقيده بمصطلحات مثل مقاومة الشد ، مقاومة الانحناء أو مقاومة الانضغاط . على سبيل المثال ، مع مقاومة انضغاط يكون من الضروري تعريف أو تحديد شكل النموذج ، مثلا (150 mm * 300 mm) لاسطوانه ومكعب طول ضلعه (100 mm) الى اخره ، وفيما اذا هناك ظروف تحميل خاصه يتم تطبيقها ، مثلا التحميل الثلاثي المحور (tri-axial loading) . الفروقات المتميزه بين هذه القياسات لمقاومة الانضغاط لا تعود الى الفروقات في استجابة الخرسانه لكن تعود بصورة رئيسيه الى الفروقات في التقيد الجانبي المتوفره بواسطة ماكينة الفحص . مع المكعبات ، التقيد الجانبي بواسطة صفيحتي ماكينة الفحص يكون هو العامل المهم في فشل المقاومه ونتيجة لذلك ينتج عنه مقاومه أعلى من الاسطوانه التي أبعادها مثلا (150 mm * 300mm) . المواصفه الأوروبيه (EN 206-1) تستعمل الاسطوانه (150 mm * 300mm) كتصنيف أول (ومرجعي) يليها المكعب الذي طول ضلعه (150 mm)

الظروف التي فيها صفات ماكنة الفحص لا توفر تقيد جانبي يمكن الوصول إليها بعدة تقنيات ، على سبيل المثال ، التحميل عبر طبقتين من غشاء بلاستيكي يوجد بينهما طبقة خفيفه من الزيت (grease) . ظروف التحميل هذه تعطي مقاومة أقل ، لاحظ الجدول (1.6) والنماذج تنتهي بشقوق شد موازية لأنجاه التحميل ، الشكل (1.6) .

جدول (1.6) مقاومة الأنضغاط مع وبدون تقيد جانبي بواسطة صفات الماكنة

Normally tested		With Platen restraint removed	
Cubes	Prisms	Cubes	Prisms
59	41	37	37
100	68	68	66
41	34	34	31
90	66	64	61



شكل (1.6) شكل الفشل النموذجي للمكعب والأسطوانة بدون تقيد جانبي من صفات ماكنة الفحص

تقنيات مختلفه تم استعمالها لدراسة آلية الفشل للخرسانة تشمل :

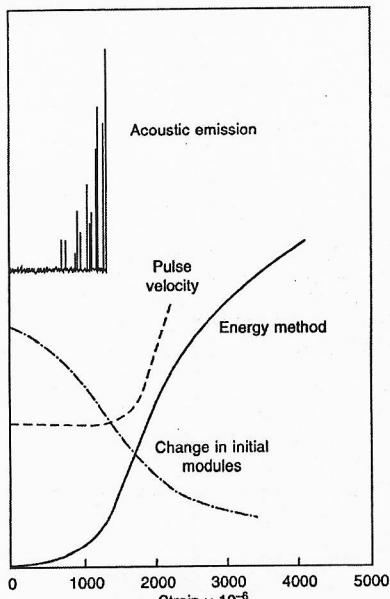
- منحنيات الأجهاد - الأنفعال (التغير في معامل المرونة الأبتدائي)

stress- strain curves (change in initial modulus)

Acoustic emission
Energy method
Volumetric strain
Pulse velocity

- الأنبعاث الصوتي
- طريقة الطاقة
- الأنفعال الحجمي
- سرعة الذبذبات

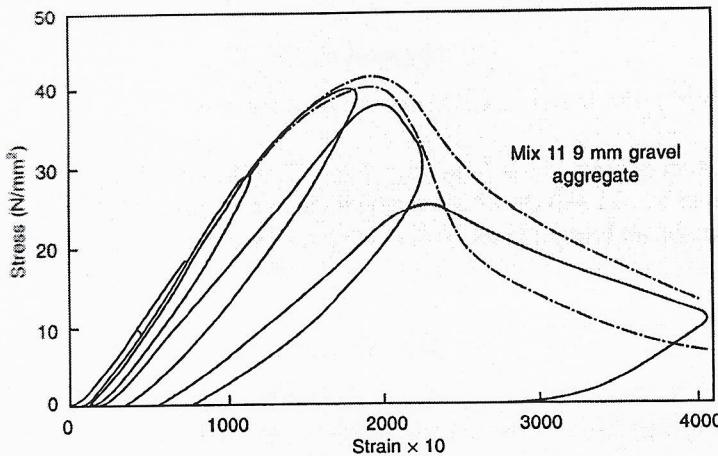
الشكل (2.6) يبيّن مقارنة طرق مختلفة تحت الضغط الاحادي المحور (uniaxial compression)



الشكل (2.6) مقارنة طرق مختلفة تحت الضغط احدي المحمور

البحث المقدم من قبل (Spooner and Doujill, 1975) يوحي الى ان فشل الخرسانة متفاقم من حيث الخطورة . خلال عملية التحميل تحدث شقوق . عندما يتم رفع الحمل ومن ثم إعادة تطبيقه ، فإن معامل المرونة (Modulus of elasticity) يقل اذا ظهرت شقوق ولا يحدث ضرر أو تلف أضافي حتى تصل الذروه الى ما وصلت اليه سابقا .

من هذه النقطه وما بعدها يتم حدوث تشقدات شعرية أضافيه . لقد تم ملاحظة أن المغلف المرسوم حول منحنيات للتحميل الدوري يتلامس مع المغلف الذي تم الحصول عليه لنماذج خاضعه لأنفعال متزايد برتبه واحد ، مثلا دورة تحميل مفرده ، الشكل (3.6) . هذا البحث يميل الى وصف النظريات السابقة التي تفترض أن الخرسانه تتصرف بطريقه منته خطيه (Linear-elastic way) لحد مستوى الأجهاد غير المستمر (المتقطع) ، أي تقريبا ثلث الحمل الأقصى . على أية حال ، يجب ملاحظة أنه في موديل (Spooner and Dougill) فإن كمية الضرر (التشقدات الشعرية) التي تحدث، عندما يكون التحميل محدد بحوالي ثلث الحمل الأقصى، تكون قليلا جدا . لذلك فإن التحميل الى حوالي نصف الحمل الأقصى يؤمن أساساً أمناً لتصميم معظم المنشآت . في مستويات التحميل الأعلى ، فإن دورات التحميل العديدة سوف تميل الى زيادة كمية الشقوق الشعرية ومن المحتمل أن ينتج عنها الفشل بالكلل (Fatigue).



الشكل (3.6) تأثير دورات التحمل على منحني الاجهاد - الانفعال

2.1.6 آلية تطور المقاومه Mechanism of strength development

الخرسانه تطور مقاومتها بواسطه أماهه الأسمنت وأضافة هذه الأماهه لتكوين سلسله من الهدرات المعقده الأماهه الأولى تقوم بثبيت جزيئات الأسمنت في تركيب ضعيف مُحاط بفضاء مليئ بالماء . كلما كان محتوى الماء اعلى كلما كان هناك فضاءات اضافية بين حبيبات الأسمنت . حبيبات الأسمنت مستمره بالأماهه مع الزمن وتتمليء الفضاء بين حبيبات الأسمنت بخليل من الهدرات والفجوات بشرط عدم السماح للخرسانه بالجفاف . أن الفضاءات الأضافيه بين حبيبات الأسمنت (أي نسبة الماء / الأسمنت الأعلى) تعني مساحات أكثر لوحدة الحجم وضعف في الخرسانه الناتجه . عندما تكون نسبة الماء / الأسمنت عاليه ، فإن هيكل المسامات الناتجه ضمن الهيدرات تترابط وينتج عنها خرسانه واطئه المقاومه ذات أختراقيه عاليه وديمومه واطئه .

الأماهه سوف تستمر لعدة سنين بشرط :

- 1 توفر الماء للأماهه
- 2 . توفر سمنت أضافي للتفاعل

كميات الأسمنت توضح كيف أن مركبات الأسمنت المختلفه تشارك في تطور المقاومه ، لكننا لا يمكن أن نقيس بسرعة تطور المقاومه للخرسانه على أساس مركبات الأسمنت ونسبة الماء / الأسمنت . أحد الأسباب لذلك هو أن الأسمنت لا يحتوي مركبات نقيه فقط والأماهه الحقيقيه تكون أكثر تعقيدا من تلك للمركبات النقيه المفرده . على أية حال ، كتعمير ، الأسمنت الذي يكون فيه محتوى ثلائي سليكات الكالسيوم (C3S) عالي ، يكتسب المقاومه بسرعة ويمثل تطور مقاومه طويلة الأمد واطئ ، بينما الأسمنت الذي يكون فيه محتوى ثلائي سليكات الكالسيوم (C2S) عالي ، يكتسب المقاومه بصورة أوطأ نسبيا لكن اكتساب المقاومه على الأمد الطويل يكون أعلى . في التطبيق العملي فإن اكتساب مقاومة الأمد الطويل سوف يحدث فقط في الظروف التي فيها تحتجز الخرسانه أو تكتسب ماء كافي لاستمرار الأماهه . في أي مرحله من الجفاف ، فعندما تقل الرطوبه النسبيه الداخليه تحت (95 %) ، فإن الأماهه الأضافيه الفعاله تتوقف . على أية حال ، فإن الخرسانه عندما يعاد ترطيبها فإن الأماهه سوف تبدأ من جديد .

موديلات مختلفه تم تطويرها لربط المقاومه بمساميه الهدرات .

قانون ابرامز (Abrams law) ينص على ان مقاومه الخرسانه تتناسب عكسيا مع نسبة الماء / الاسمنت

$$\text{Strength} = K_1/K_2^{W/C}$$

$K_1, K_2 = \text{constants}$

ان هذه العلاقة هي حالة خاصة من صيغة (Feret) :

$\text{Strength} = K(c/c+e+a)$

حيث $c, e, a = \text{الجوم المطلقة للأسمنت، الماء و الهواء}$
 $K = \text{ثابت}.$

الشيء الجوهرى هو ان المقاومة لها علاقة بالحجم الكلى للفجوات والعامل الأكثر أهمية في هذا هو نسبة الماء / الاسمنت . لمستوى اساسي اكثراً فان ذلك يمكن التعبير عنه كدالة لنسبة الجل / الفضاء (X space ratio, gel) ، التي هي نسبة حجم عجينة الاسمنت المتميزة الى مجموع حجم الاسمنت المتميزة والفجوات الشعرية . البيانات من قانون (Powers, 1958) تعطي :

$$\text{Strength} = 234x^3 \quad \text{MN/m}^2$$

ان هذه العلاقة غير معتمدة على العمر ونسب الخلط . هذه المعادلة صالحة لعدد من انواع الاسمنت لكن معاملات المعدلات العددية تتغير قليلاً اعتماداً على المقاومة الحقيقية للجل .

مقاومة الخرسانة تعتمد بصورة رئيسية على التركيب الفيزيائي للجل ، اما التركيب الكميائي للجل يملك تأثير ثانوي حيث يصبح غير هام في الاعمار المتأخرة .

هذا موديلات التي تسلط الضوء فقط على عجينة الاسمنت تهم تأثيرات خواص الركام على المقاومة التي ربما تكون مهمة جداً . ليس من الحكم الثقة بالموديلات النظرية لتخمين مقاومة الخرسانة . السرعة والقيمة الحقيقيتين لتطور مقاومة الخرسانة يعتمدان على :

1. اساس المقارنة .

2. نوع الاسمنت ، الصنف والمصدر .

3. نوع ، مصدر وكمية المضاف .

4. نسبة الماء / الاسمنت او نسبة الماء / الرابط .

5. نوع الركام

6. القوام (قابلية التشغيل) .

7. درجة الحرارة وسجل درجات الحرارة .

في بعض الحالات فان مجموعة من المواد سوف تحدد المقاومة القصوى . اعتمادياً فان عجينة الاسمنت هي التي تفشل لكن مع الخرسانة العالية المقاومة فان الفشل ربما يبدأ عن طريق فشل الركام . ان ذلك يعود غالباً الى زيادة محتوى الاسمنت مؤدياً الى زيادة متناسبة في الفراغات ونسبة الماء / الاسمنت تبقى نفسها ، لذلك فان الخرسانة لا تزداد مقاومتها . في حالات اخرى ، المقاومة القصوى تكون نتيجة فشل الركام او فشل منطقة ربط الركام بعجينة الاسمنت (Aggregate / cement paste bond) .

3.1.6 مقارنة تطور المقاومة Comparison of strength development

اعتماداً على اسس المقارنة فان سرع وقيم مختلفة لتطور المقاومة سوف يتم تأشيرها . بعض الطرق المستعملة كثيراً هي:-

1. نفس نسبة الماء / الاسمنت ونفس محتوى الاسمنت .

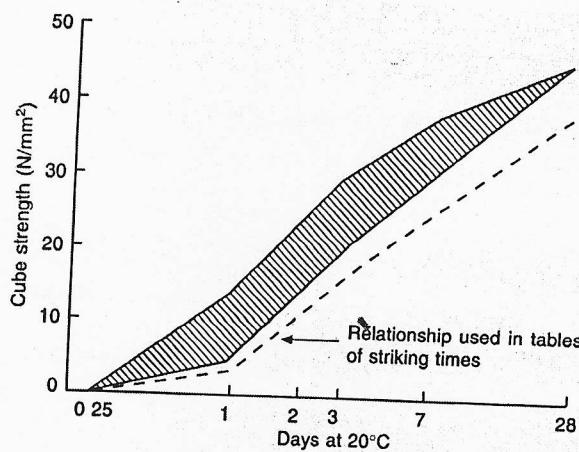
2. نفس محتوى الاسمنت و القوام .

3. نفس المقاومة بعمر (28 يوم) والقوام .

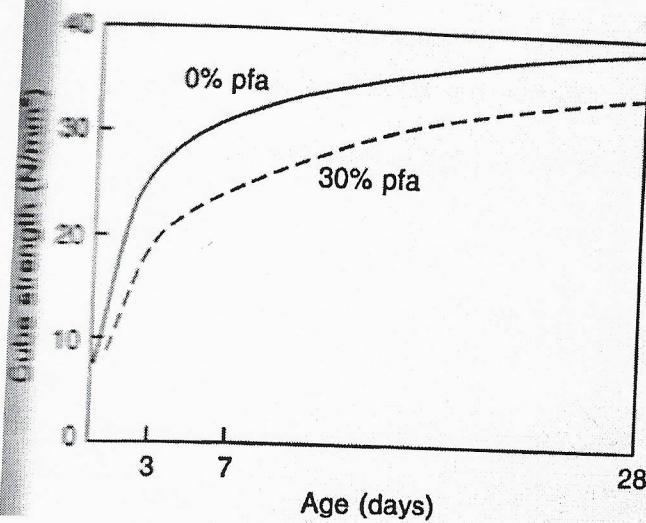
4. المطابقه التامة مع المواصفات والقوام المتساوي .

5. نفس مقاومة الأمد - الطويل ، مثلاً (90 يوم) ونفس القوام .

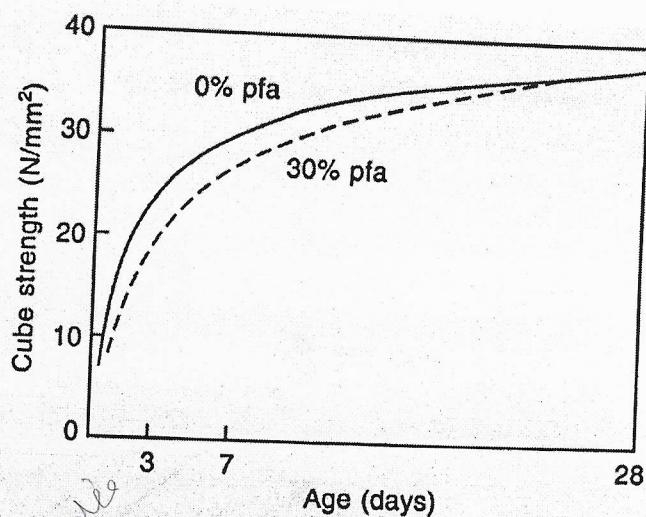
للتقطيف يجب اختيار قواعد المقارنة المناسبة لذلك التطبيق
 ◆ نوع (توافق) الاسمنت cement (compination) type مجموعه الاسمنت التي من نفس النوع والدرجة لا تعطي نفس سرعة تطور المقاومة حتى تحت ظروف المواتصة. الشكل (4.6). الاسمنت الذي يحتوي الخبث (Slag) او (pfa) يكتسب المقاومة بصورة اكثر بطئا لكنه يملك مقاومة نهائية اعلى بشرط وجود ماء كافي وسمنت للاماهة الاضافية ، الشكل (5.6)



الشكل (4.6) مخلف المقاومة النموذجي لخرسانة الاسمنت نوع (PC-42.5)



(a) Equal binder content and workability

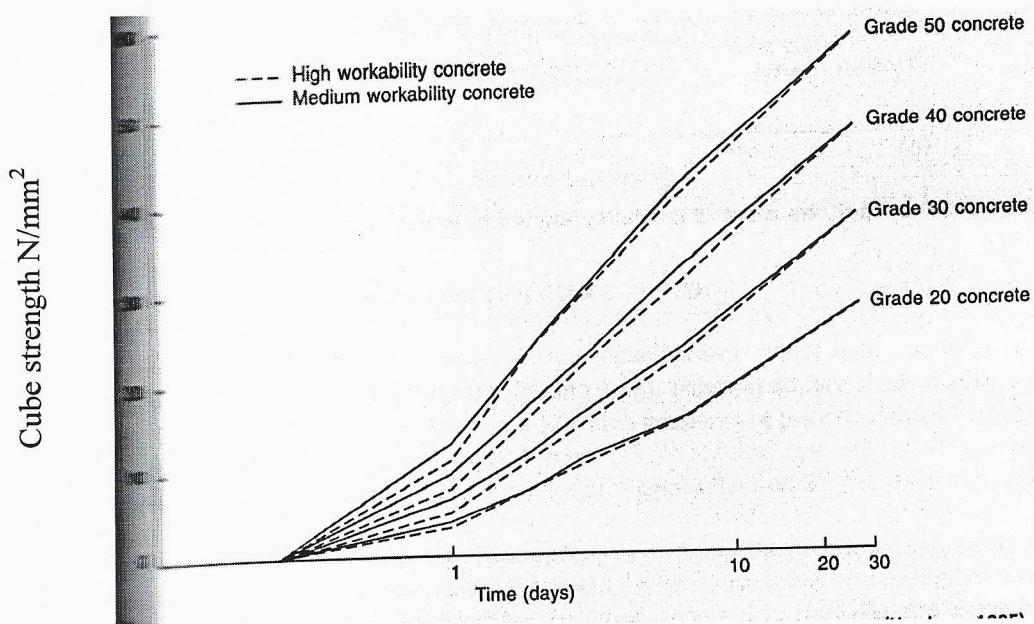


(b) Equal 28-day strength and workability

الشكل (5.6) اكتساب المقاومة المبكر لخرسانة (PPFAC) بدرجة حرارة (20°C)

❖ القوام Consistence

هي الكلمة المستعملة في المعايير الاوربية (EN 206-1) للكلمة التقليدية التي كانة مستعملة وهي قابلية التشغيل (Workability). التغيرات في القوام تملك نسبيا تأثير قليل على تطور المقاومة بالمقارنة مع بعض العوامل الاخرى ، لاحظ الشكل (6.6)



الشكل (6.6) اكتساب المقاومة بدرجة حرارة (20 °C) لقابلية تشغيل عالية ومتوسطة

❖ نوع الركام Aggregate type

نوع الركام يملك تأثير على مقاومة الخرسانة لكن له تأثير قليل على سرعة اكتساب المقاومة . الجدول (2.6) يبين تأثير بعض انواع الركام على مقاومة المكعب

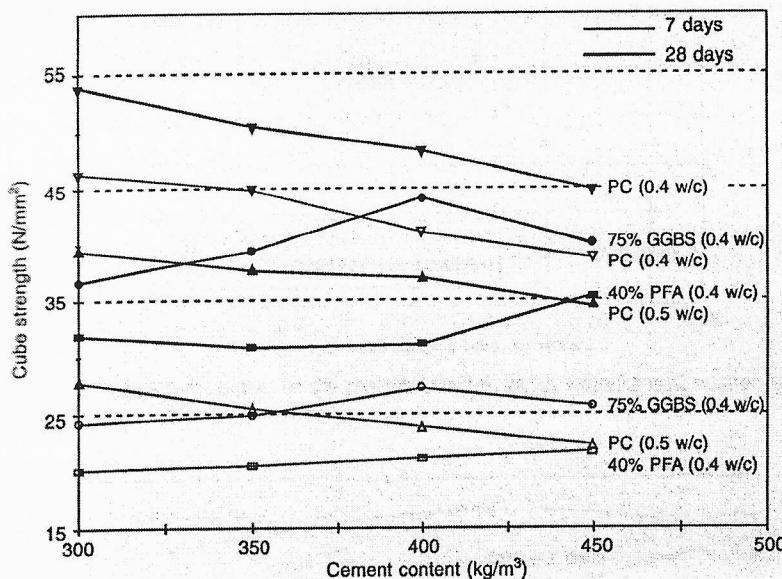
جدول (2.6) تأثير نوع الركام الخشن على مقاومة الخرسانة بعمر (28 يوم)

Aggregate type	28 – day strength Free w/c ratio	
	0.65	0.50
Granite	38.5	54.0
Carboniferous limestone	37.0	54.0
Natural gravel	32.5	53.5
Jurassic oolitic limestone	30.0	43.0
Dolomitic limestone	34.0	43.5
Lightweight (sintered pfa)	28.1	37.0

❖ نفس نسبة الماء / الاسمنت مع تغير محتوى الاسمنت

Equal w/c ratio with varying cement contents

المصادر الهندسية تعطي نتائج متضاربة. بعض المصادر تبين انه عند نفس نسبة الماء / الاسمنت لا يوجد تأثير لمحتوى الاسمنت بينما اغلبها تبين انخفاض المقاومة عند زيادة محتوى الاسمنت ، لاحظ الشكل (7.6)

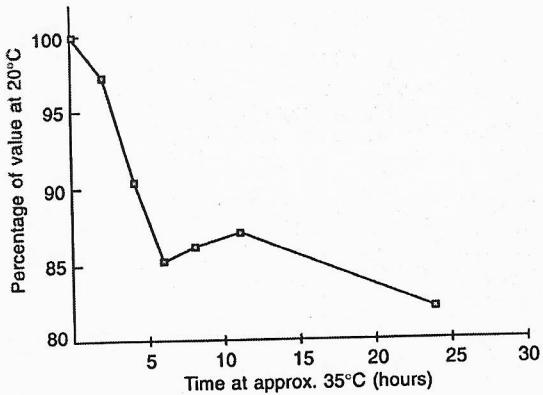


الشكل (7.6) مقاومة المكعب كدالة لنوع الاسمنت والمحتوى

4.1.6 الحرارة وتاريخ (سجل) الحرارة
 الحرارة الواطئة تقلل تطور المقاومة المبكرة بينما الحرارة العالية تزيد تطور المقاومة المبكرة ، الشكل (8.6) . درجة الحرارة عند الصب لها تأثير على مقاومة الخرسانة بعمر (28 يوم) . في الساعات القليلة قبل المعالجة القياسية فان الحرارة الواطئة تقلل المقاومة بعمر (28 يوم) وكذلك فان الحرارة العالية تزيدتها . العالم (Pitcher, 1976) بين انه فقط فترات قصيرة في درجات الحرارة العالية يكون لها تأثير ضار على مقاومة المكعب بعمر (28 يوم) ، الشكل (9.6) .

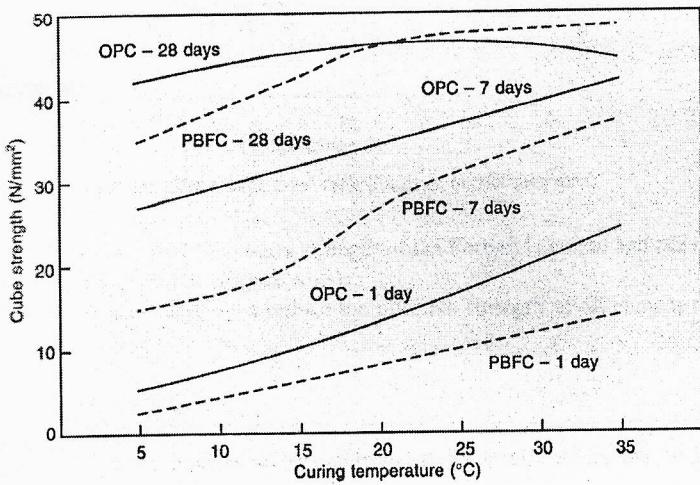
دوره درجات الحرارة التي يخضع لها الصب الكبير من الخرسانة تزيد مقاومة الخرسانة المصبوبة في الموضع نسبة الى النماذج القياسية للايام الاولى القليلة ، لكن لمقاومة المدى الطويل فان المقاومة تكون اقل من تلك للمكعبات القياسية . كل خرسانة الاسمنت البورتلاندي بينت انخفاض المقاومة بعمر (28 يوم) مقارنة مع النماذج القياسية ، لكن كل هذه الانواع من الخرسانة تستمر باكتساب المقاومة . ان التأثير على الخرسانة التي تحتوي مواد بوزولايني مختلف قليلا . بعمر (28 يوم) فان مقاومة الخرسانة المصبوبة موقعيها تزداد نسبة الى النماذج القياسية وان ذلك يعود الى التأثير المعدل للمواد البوزولاينية . عند حوالي ثلاثة اشهر فان منحنيات تطور المقاومة تتقطع بحيث في سنة واحدة فان خرسانة الاسمنت البورتلاندي المصبوبة موقعيها وخرسانة مسحوق الرماد الطيار (pfa) لا تختلف بصورة كبيرة ، الشكل (10.6) .

الحرارة العالية في الاعمار المبكرة تقلل المقاومة الفصوى لجميع انواع الاسمنت



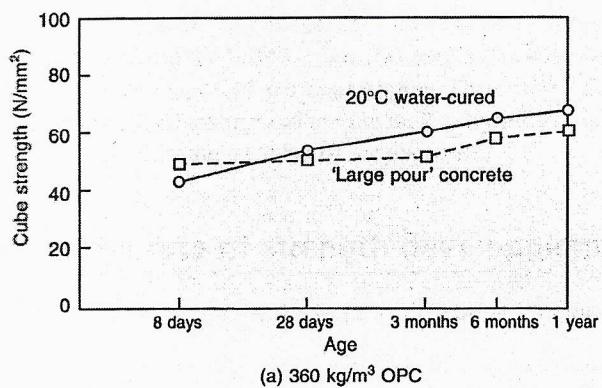
(9.6) الشكل

تأثير الزمن عند حرارة (35°C) على المقاومة بعمر (28 يوم)

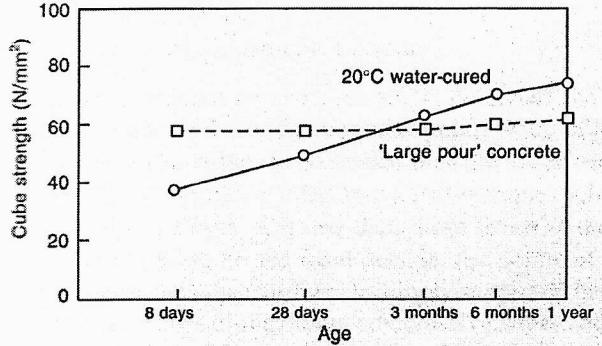


(8.6) الشكل

تأثير حرارة المعالجة على اكتساب المقاومة لخرسانة (PC) و (PBFC)



(a) 360 kg/m³ OPC

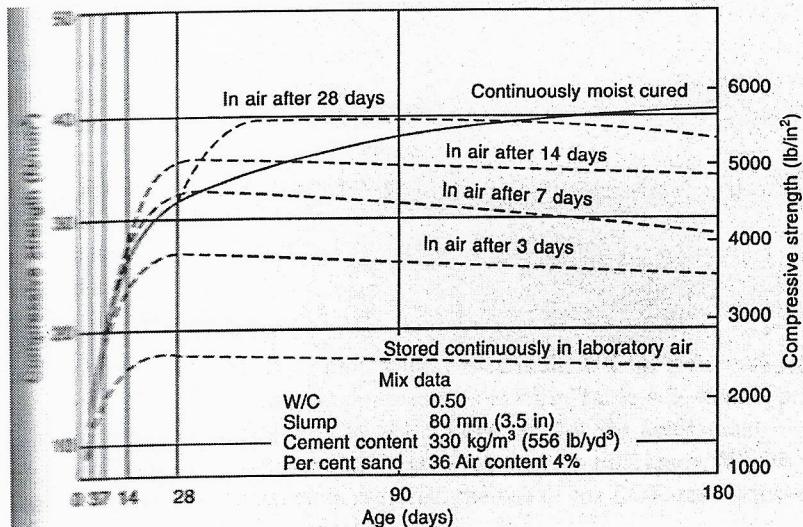


(b) 275 kg/m³ OPC, 115 kg/m³ pfa

الشكل (10.6) مثال لتطور مقاومة المكعب لخرسانة (PC) و (PC / pfa) المكافئة

5.1.6 ظروف المعالجة Curing conditions

اماهة الاسمنت تتطلب الماء ، وتقليل الماء سوف يقل الاماهة . في الظروف الجافة فان فعالية الاماهة سوف يتم الوصول اليها وعندها توقف عملية الاماهة واكتساب المقاومة . تاثير المعالجات في الهواء مبينة على الشكل (11.6) .



الشكل (11.6) تاثير المعالجة الرطبية على الخرسانة مع نسبة ماء الى سمنت تبلغ (0.50)

الاهتمام يكون مطلوب عند تفسير البيانات حول تاثير المعالجة على المقاومة عند اختبار الخرسانة في الحالة الجافة حيث تزداد المقاومة مقارنة باختبار النماذج الرطبة . مثلا ، الدراسة الحديثة (MAT CT 0043 94) تقارن المعالجة لكل من المواصفة البريطانية (BSI) والالمانية (DIN) للخرسانة . في المواصفة البريطانية (BS 1881) فان النماذج تعالج لمندة (27 يوم) في الماء بينما المواصفة الالمانية (DIN) تكون المعالجة (6 ايام) في الماء و (21 يوم) في الهواء . في كلا الحالتين فان النموذج يبقى لمدة يوم واحد في القالب قبل المعالجة . البيانات بيبرت انه مع المواصفة الالمانية (DIN) فان المكعبات التي طول ضلعها (100 ملم) كانت بالمعدل (8%) اعلى والمكعبات التي طول ضلعها (150 ملم) كانت (14%) اعلى . ان ذلك يبيين ان التاثير المحكم هو ظروف الرطوبة على الفحص وليس نقص الاماهة التي تملك فقط تاثير على المنطقة السطحية اثناء التعرض للهواء خلال (21 يوم) .

6.1.6 مراقبة (ضبط) سرعة تطور المقاومة

Monitoring the rate of strength development

ان مقاومة المكعبات القياسية سوف لن تكون نفس المقاومة في المنشاء لاسباب التالية :-

1. الاختلاف في درجة النضوج

2. الاختلافات في الرص والمعالجة

3. ذهاب الماء والاسمنت مع عناصر الصب (ال قالب مثلا)

جزء كبير من الخرسانة سوف يملأ تدرج حراري مهم جدا عبر المقطع وتاريخ (بيانات) الحرارة والنضوج سوف يتغير من نقطة الى اخرى . الماء الذي يذهب ضمن العنصر سوف يكون السبب لأن تكون منطقة السطح العلوي اضعف من منطقة السطح السفلي وحتى في السطوح المعلقة (Suspended slabs) سوف يكون هناك فورقات مهمة . على سبيل المثال ، قراءات فحص السحب (pull out) للقوة على السطح العلوي تكون حوالي (10%) اقل من تلك التي تؤخذ عند السطح السفلي . بسبب الفروقات بين المنشآت ونماذج الفحص القياسية ، يكون من الصعب جدا اجراء التحديد عن طريق القياس على المنشآت فيما اذا نوعية الخرسانة المجهزة الى الموقع كانت حسب المواصفات . من الممكن تحديد فيما اذا المنشآت يكون قوي بصورة مناسبة للحمل المطلوب .

الطرق الرئيسية لتخمين سرعة اكتساب المقاومة في الموقع هي :-

1. معالجة المكعبات في جانب المنشا *cubs cured alongside the structure*
2. جداول اوقات رفع قالب *tables of formwork striking times*
3. حوض المعالجة بالحرارة المناسبة *temperature matching curing path*
4. قياس درجة النضوج *measuring maturity*, e.g. COMA probe
5. فحوصات الاختراق *penetration tests*, e.g. Windsor probe
6. اختبارات التوقف *break-off test*, e.g. TNS-test
7. اختبارات السحب *pull-out tests*, e.g. LOK-test
8. مطرقة الارتداد *rebound-hammer*
9. فحص اللباب *coring*

من هذه الفحوصات فان اول فحصين يعتبران الاكثر استعمالا في بريطانيا لرفع قالب ، لكن كلها لها قوتها وضعفها كما مبين في الجدول (3.6).

خبراء المختبر ربما يتوفرون لديهم ايضا تقنيات معقدة غير مباشرة لتخمين تطور المقاومة . مثلا ، التغير في المسامية ، لكن ما لم يكن هناك حاجة لاستعمال هذه التقنية فالاسهل هو استعمال الفحص المباشر

جدول (3.6) طرق تخمين اوقات رفع القالب (مقاومة الكونكريت)

Method	Advantages	Disadvantages
Cubes cured alongside Tables	<ul style="list-style-type: none"> 1. Samples concrete supplied. 2. Good for thin slabs or walls cast in steel formwork. <ul style="list-style-type: none"> 1. Simple to apply but they must take into account the grade of concrete 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Conservative with large or well-insulated sections. 2. Requires cubes to be made and tested <ul style="list-style-type: none"> 1. Assume concrete is as specified. 2. Can be conservative as they assume the concrete just achieves its grade and has the lower bound strength gain
Temperature-matched curing path	<ul style="list-style-type: none"> 1. Samples concrete supplied 2. Produces test specimens of equal maturity to the structure. 3. Cube test, therefore no problem with conversion of test results. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Requires 110 V power supply. 2. Requires cubes to be made and tested. 3. Each pour needs its own TMCB
Measuring maturity with thermocouples	<ul style="list-style-type: none"> 1. Can also be used to measure the temperature gradients across the section. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Assumes concrete is as specified. 2. Need to establish and agree strength/maturity relationship. 3. Frequent temperature readings needed unless automatic logging system is used
Measuring maturity with meter or COMA probe	<ul style="list-style-type: none"> 1. Relatively simple to use. 2. Maturity can be read as many times as necessary 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Assumes concrete is as specified. 2. Need to establish and agree strength/maturity relationship
Penetration tests, e.g. Windsor probe	<ul style="list-style-type: none"> 1. Directly test structure. 2. Rapid. 3. Can have a second go. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Need to establish and agree strength/penetration relationship. This is not easy with normal-sized cubes and low strengths 2. Wide scatter at low strengths. 3. Need to repair surface.
Break-off tests, e.g. TNS test	<ul style="list-style-type: none"> 1. Directly test structure. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Requires inserts. 2. Need to repair surface. 3. Scatter of results so 5-6 inserts needed. 4. Need to establish strength/break-off relationship.
Pull-out tests, e.g. Lok-test	<ul style="list-style-type: none"> 1. Directly test structure. 2. An excellent correlation between Lok-test value and cube strength is claimed. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Until confidence is developed, need to establish strength/pull-out relationship 2. Requires inserts (5-6 per section). 3. Need to repair surface

ملاحظات على الجدول اعلاه.

- الفحوصات المباشرة على المنشأ يمكن ان تملأ مقاومة مكعب او طا من الفحوصات على نماذج الفحص بسبب الفروقات المفترضة بين نماذج الفحص والمنشأ (γ_m) .
- معامل اضافي يكون مطلوب لتأمين العلاقة الامينة بين قراءة الجهاز و مقاومة المكعب.

سوف يتم هنا اعطاء بعض التوضيحات لهذه الفحوصات

- معالجة المكعبات بجانب المنشا (cubes cured alongside structure) .

النماذج (المكعبات او الاسطوانات) تُعمل وترص بالطريقة الاعتيادية وبعد ذلك توضع بجانب او على سطح العنصر الانشائي المصبوب . هذه النماذج تغطى باوراق بلاستيكية او مواد مشابه الى ذلك لمنع جفاف النضوج المبكر. عندما السقف او البلاطة تكون معزولة فان النماذج توضع تحت العزل . النماذج يمكن ان تترك في قوالبها حتى وقت الفحص . في الاوقات المناسبة فان نموج او اكثر يؤخذ لاختبار المقاومة . النماذج يتم اختبارها اعتياديا مثلما تم استلامها من الظروف التي كانت فيها ولا يتم تنقيعها قبل ذلك .

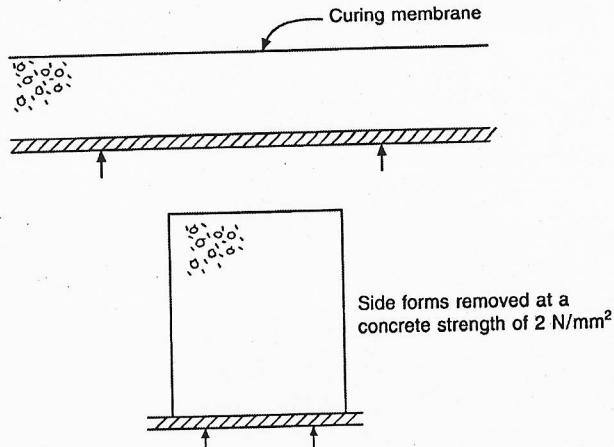
بسبب الفروقات في الحجم بين المكعبات والمنشا سيكون هناك فروقات مهمة جدا في درجة النضوج والمقاومة للمكعب والمنشا . المكعب سوف يميل الى التقدير الواطيء (underestimate) لمقاومة المنشا ، اي يعطي جواب امين لأن المكعب يتبع او يخضع لحرارة المحيط وليس للحرارة المرتفعة في المنشا التي سببها حرارة الاماهة المحتبسة (الموجودة في المنشا) . هذا التعميم ربما لا يكون حقيقي في حالة الخرسانة المخلخلة (قليل الكثافة) المصبوبة موقعيا والتي تم تبريدها قسريا . مع المقاطع النحيفه فإن ذلك يكون نظام فعال ومعقول عندما يكون هناك تقدير واطيء (underestimate) مهم للخرسانة المصبوبة موقعيا .

- جداول اوقات رفع القالب Tables of formwork striking times

لمجموعة محددة من الظروف وعلاقة المقاومة والنضوج المعروفة ، يكون من الممكن ايجاد جدول عن طريقها يمكن معرفة وصول الخرسانة الى المقاومة المحددة . الجدول (4.6) يعطي نموذج من تقرير CIRIA Report 136 . هذه الجداول كان اساسها فرضية ان الخرسانة تصل الى مقاومتها المميزة في (28 يوم) . السرعة المفترضة لتطور المقاومة معرفة في (CIRIA Report 136) والجداول ربما يمكن تطبيقها لاي خرسانة تصل هذه السرعة لاكتساب هذه المقاومة وان معادلة (Sadgrove) تعتبر قانون معقول للنضوج .

ان تقارير CIRIA Report 136 تكون حذرة عندما تكون مبنية على اساس السرعة الدنيا المحتملة لتطور مقاومة الاسمنت البورتلاندي والافتراض هو ان الخرسانة تصل فقط الى المقاومة المميزة الموصوفة . على الاقل في (95%) من الحالات تكون المقاومة فيها اعلى من هذه القيمة المميزة . ان سرعة تطور المقاومة عند درجة حرارة (20°C) تم اعطائها في التقرير اعلاه بتطبيقها لانواع اخرى من الاسمنت التي تصل الى سرع تطور المقاومة هذه . بالرغم من ان هذه تكون هي الاسهل حيث بينت جميع الانظمة المتبرعة لتخمين المقاومة ذلك فهي تكون غير اقتصادية وتفترض ان الخرسانة المجهزة تكون حسب المواصفات .

جدول (4.6) نموذج ماخوذ من (CIRIA Report 136).
 اوقات رفع قالب الدنيا (بالايات) لل بلاطه والجزء السفلي من العتبه مع سطح علوي غير معزول



Conditions of use

1. The non-formed surfaces are cured.
2. The concrete placing temperature is at least the mean air temperature. Higher placing temperature are not significant.
3. The table applies to any concrete that satisfies the criteria given in section 6.1.7.

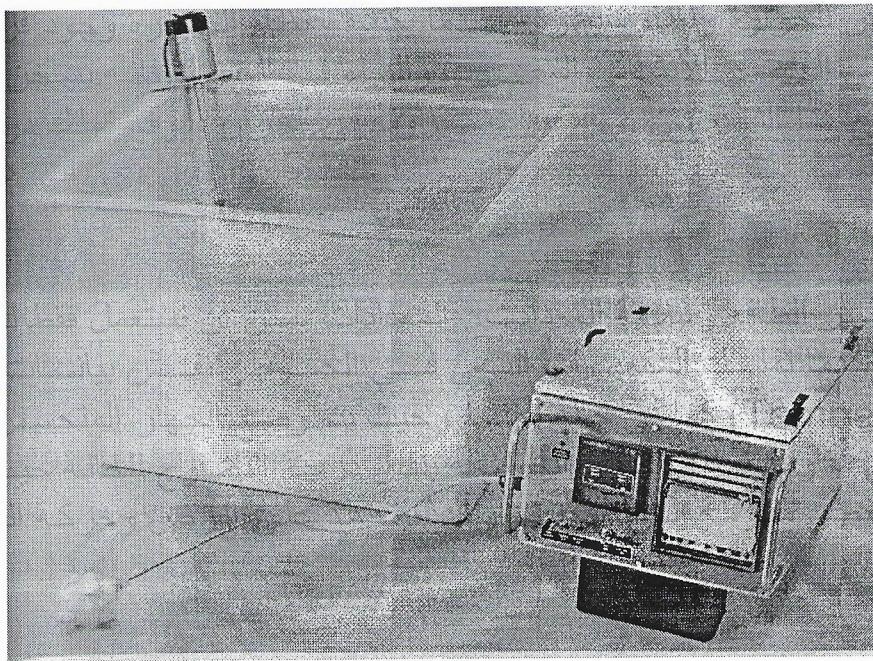
Specified Concrete	Required cube Strength (N/mm²)	Type of cement	Mean temperature(C°)		
			5	10	15
Grade 20	5	PC-52.5 PC-42.5	5	3.5	2.5
	5		6	4	2.5
	10		9	6.5	5
			17	13	10
Grade 25	5	PC-52.5 PC-42.5	4	2.5	2
	5		4.5	3	2
	10		6.5	5	4
	15		12	9	7
	20		26	19	15
Grade 30	5	PC-52.5 PC-42.5	3.5	2	1.5
	5		4	2.5	2
	10		5	4	3
	15		9	7	5.5
	20		17	13	10
Grade 40	5	PC-52.5 PC-42.5	2	1.5	1
	5		3	2	1.5
	10		3.5	2.5	2
	15		5	4	3
	20		8	5.5	4.5
	30		20	15	12
Grade 50	5	PC-52.5 PC-42.5	1.5	1	1
	5		2.5	1.5	1
	10		3	2	1.5
	15		4	3	2.5
	20		5	4	3
	30		10	8	6

ملاحظات :-

1. ابعد المقطع الدنيا تكون غير مهمة .
2. يفترض ان الشكل الجانبي للعتبه تم ازالته عندما كانت مقاومة الخرسانة (2 N/mm^2).
3. الجدول يعطي اوقات منفصلة لمقاومة مقدارها (5 N/mm^2) الاسمنت نوع (PC-42.5) و (PC-52.5). للمقاومة الاعلى من ذلك فان الاوقات تطبق لكلا نوعي الاسمنت .

• حوض المعالجة مع الحرارة الملائمة Temperature- matched curing path الشكل النموذجي لهذا الفحص مبين على الشكل (12.6). ان هذا الفحص يتضمن جهاز حساس للحرارة (Temperature sensor)، الذي يوضع في عنصر مصبوب حديثا ، خزان مملوء بالماء مع خلط ، سخان وجهاز متخصص للحرارة ونظام سيطرة . عندما يكتشف نظام السيطرة وجود فرق في الحرارة بين الجهاز المتخصص في العنصر الانشائي المصبوب والماء في الخزان فإنه يسخن الماء بحيث تكون الحرارة متساوية . مع هذا النظام فان اي مكعبات مخزونة في الخزان سوف تملك درجة نضوج مطابقة لدرجة العناصر الانشائية المصبوبة حيث يوجد الجهاز المتخصص (sensor). في هذا النظام المكعبات التي سطحها العلوي مغطى بصفائح الحديد او الزجاج تخزن في الخزان وعند اوقات مختاره مسبقا يتم اخذ نموذج او نموذجين لاختبارها بالطريقة الاعتيادية .

هذا النظام يتطلب تجهيز الطاقة وسلامة المعدات . المعدات يمكن ان تستعمل فقط لعنصر انشائي واحد لهذا الوقت . عندما تملك المكعبات التي في الحوض نفس نفس بيانات درجة الحرارة كما في حالة المنشآت ، حيث يتم وضع الجهاز المتخصص ، فعند اختبار هذه المكعبات فانها تعطي مقاومة نماذج اختبار الخرسانة بنفس درجة النضوج للحالة حيث تم وضع الجهاز المتخصص . انها لا تعطي مقاومة الموقع حيث ان هذه تعتمد على الرص وحركة الماء ضمن العنصر الانشائي المصبوب .



الشكل (12.6) حوض المعالجة مع الحرارة الملائمة

• قياس درجة النضوج Measuring maturity

فكرة درجة النضوج سوف يشار اليها لاحقا . لتحديد درجة النضوج وبذلك المقاومة للحالة المختارة في العنصر الانشائي ، فان تاريخ (بيانات) وقت الحرارة من الصعب تحتاج الى ان تكون معروفة وكذلك العلاقة بين المقاومة والنضوج للخرسانة الخاصة . درجة النضوج يمكن قياسها بعدة طرق :-

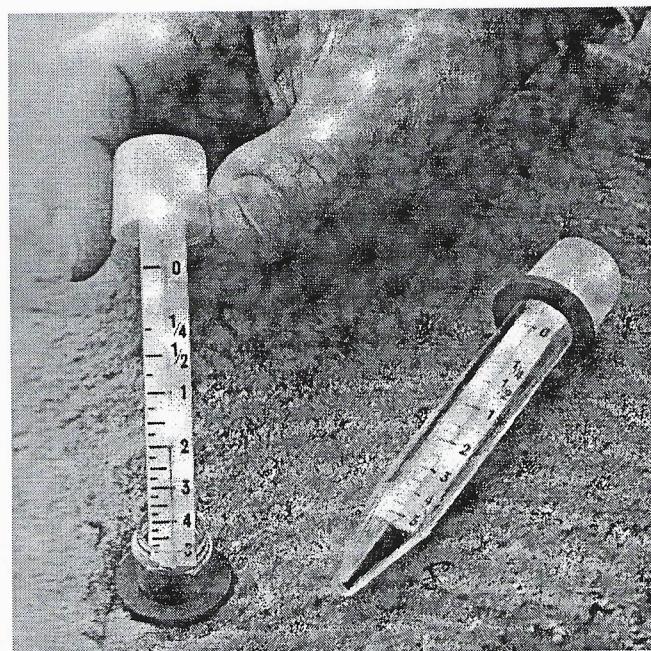
1. قياس درجة الحرارة للحالة المختارة في العنصر الانشائي باستعمال مثلا ، المزدوجة الحرارة (Thermocouple) بفواصل زمني مألف ، مثلا كل ساعة ، وحساب درجة النضوج بدالة نضوج مناسبة .

2. قياس درجة النضوج بجهاز قياس النضوج عن طريق جهاز متحسس للحرارة والموضع في نقطه مختاره في العنصر الانشائي ، لاحظ الشكل (13.6) . مقياس درجة النضوج يحسب اوتماتكيا درجة النضوج . بعض اجهزة القياس درجة النضوج تسمح باختيار الدالة المناسبة على اساس نوع الاسمنت



الشكل (13.6) جهاز قياس درجة النضوج

3. استعمال مسبار (محس) النضوج المسمى (COMA probe) ، لاحظ الشكل (14.6) . ان هذا يشمل انبوب شعري مملوء بمحلول . عندما تنكسر نهاية الانبوب فان محلول يتبخّر بسرعة تعتمد على حرارة محلول . حالا بعد صب الخرسانة فان نهاية الانبوب الشعري تنكسر والانبوب مع بطاقته المدرجة توضع في قشرتها الخارجية وتتقع في الخرسانة الطيرية . يتم دوريا ازالة الانبوب الشعري والبطاقة المدرجة من القشرة ويتم قراءة درجة النضوج مباشرة من البطاقة المدرجة .

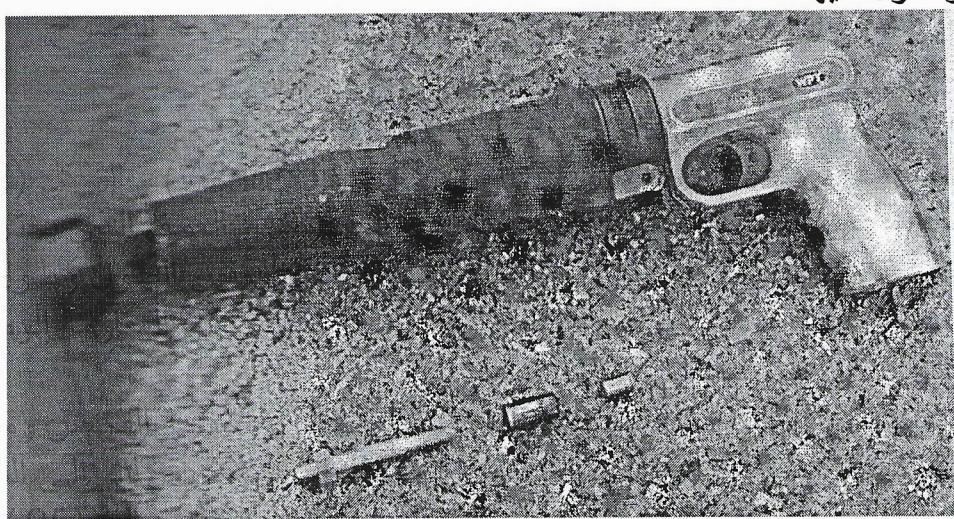


الشكل (14.6) جهاز (COMA probe) لقياس درجة النضوج

- فحوصات الاختراق Penetration tests

هذا الفحص يعرف بفحص مسبار وندسور (Windsor probe test) ، الشكل (15.6) . في هذا الاختبار فان مسبار (مجس) الحديد الصلب يتم ادخاله في الخرسانة . العمق الذي يخترق الخرسانة له علاقة بمقاومة الخرسانة . لسهولة القياس فان جميع المجرسات تكون بنفس الطول وطول المجرس البارز من الخرسانة يتم قياسه وبذلك يتم تحديد عمق الاختراق . في الخرسانة ذات المقاومة الوطئة جداً والعالية جداً فان هذا الاختبار يكون غير حساس (فعال) .

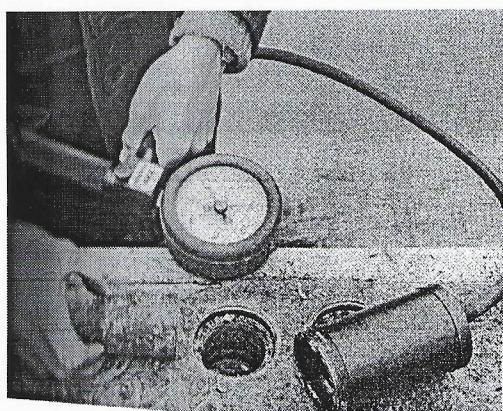
في هذا الفحص والفحوصات الثلاثة التالية فان التغير في العلاقة بين نتائج الفحص ومقاومة الخرسانة المصبوبة موقعاً يجب ان تؤخذ في الحسبان . لتخمين فيما اذا الخرسانة وصلت الى المقاومة المطلوبة فانه من الطبيعي استعمال (90%) كحد مثوى به عندما هذه تعطي احتمالية (95%) من المقاومة المطلوبة قد تم الوصول اليها



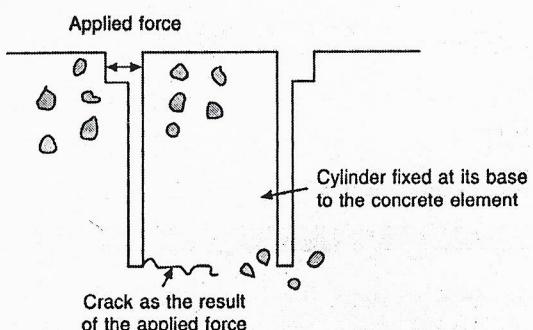
الشكل (15.6) جهاز (Windsor probe) لقياس الاختراق

- فحص Break-off test

هذا الفحص معروف بفحص TNS-test ، كما في الشكل (16.6) . حالا بعد الصب وتسوية الخرسانة الطيرية يتم وضع جزء انبوبي دائري (Plastic sleeve) في الخرسانة بحيث تكون قمة هذا الجزء مع مستوى سطح الخرسانة . عند الاوقات المحددة مسبقا يتم ازالة الاجزء الانبوبيه الدائرية لترك اماكن فارغه (Cores) التي تثبت من قاعدتها مع العنصر الخرساني الرئيسي . باستخدام معدات خاصة يتم تطبيق قوة افقية على جانب الفراغ كما في الشكل (17.6) حيث تتوقف من قبل العنصر الخرساني الرئيسي . قوة التوقف (break-off force) هذه لها علاقة مترادلة في مقاومة المكعب . العالم Keiller, 1982 (بين ان ٩٠٪ هي حدود الثقة لمدى الخرسانة الناضجة تكون) الكود الامريكي (ACI 228,1995) ثبت ان التكرارية التي يعبر عنها كمعامل للتغير (coefficient of variation) تكون حوالي ٩٪ .



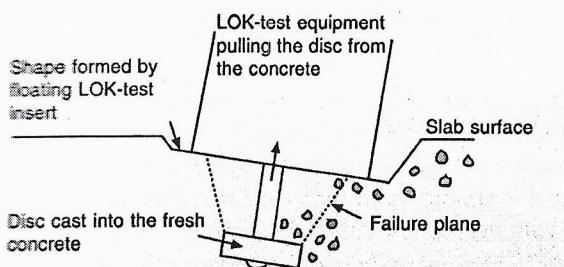
الشكل (17.6)
معدات فحص (TNS-test)



الشكل (16.6)
مبدأ فحص Break-off test

- فحص السحب Pull-out test

مبدأ فحص السحب مبين على الشكل (18.6) . القوة المطلوبة لسحب قرص الحديد المصبوب مع الخرسانة لها علاقة مباشرة بمقاومة المكعب اذا كان فحص السحب يستعمل لتحديد وقت رفع قالب لل بلاطات فانه يوصى بان الاقراس (discs) توضع على السطح العلوي لل بلاطة التي اعتياديا تكون الجزء الضعف في المقطع



الشكل (18.6) مبدأ فحص السحب

- فحص مطرقة الارتداد Rebound hammer

يقيس هذا الفحص صلابة السطح . وهو موصوف في المواصفة الاوربية EN 12504-2 Testing concrete in structure-part 3 (concrete in structure-part 3) . هذا الفحص مفيد لتخمين انتظامية (uniformity) العنصر الانشائي واختيار نقاط لفحوصات اكثر تفصيلا ، مثل فحص اللباب (coring) . يمكن ان يستعمل لتخمين المقاومة اذا تم معايرته لفحص الخرسانه المختبرة . الكود الامريكي (ACI 228, 1995) ينص

على ان قابلية التكرار (repeatability)، التي يعبر عنها كمعامل للتغير (coefficient of variation)، تكون حوالي (10%). للخرسانة ذات المقاومة الواطئه فان هذه الاختبارات لا تكون حساسة جدا ولا يوصى بها كطرق لتحديد اوقات رفع القالب.

- فحص الباب Coring test

فحص الباب هو فحص مباشر للمقاومة في الموقع . هذا الفحص يستعمل في بعض الاحيان لتوفير المعايرة للطريقة غير المباشرة . فحص الباب نادرا ما يستعمل لتحديد سرعة اكتساب المقاومة . على اية حال ، فإنه يستعمل بصورة مألوفة لتحديد مقاومة الخرسانة الناضجة موقعيا . الفحص موصوف في المعاصفة الاوربية (EN 12504-1-part 1) ، حيث ان نماذج الباب تُخذل وتحتبر تحت الضغط . هذا الفحص الذي يستعمل لتخمين مقاومة الخرسانة في الموقع موصوف في المعاصفة الاوربية (EN 13791).

2.6 النضوج والمعالجة المعجلة Maturity and Accelerated Curing

1.2.6 مفهوم النضوج Concept of Maturity

ان سرعة اكتساب مقاومة الخرسانة تعتمد على سرعة التفاعل للاسمنت والمضافات مع الماء (الاماهة) . بصورة عامة مع جميع التفاعلات الكيميائية فان سرعة التفاعل تعتمد على درجة حرارة التفاعل . حرارة التفاعل الاعلى تعطي سرعة تفاعل اعلى ، مثلاً الخرسانة تكتسب المقاومة بسرعة اكبر عندما حرارتها تكون اعلى . المعالجة المعجلة هي العملية التي بواسطتها حرارة الخرسانة ترتفع اسطواعيا بواسطة تطبيق حماوة (حرارة) خارجية لتسريع سرعة اكتساب المقاومة .

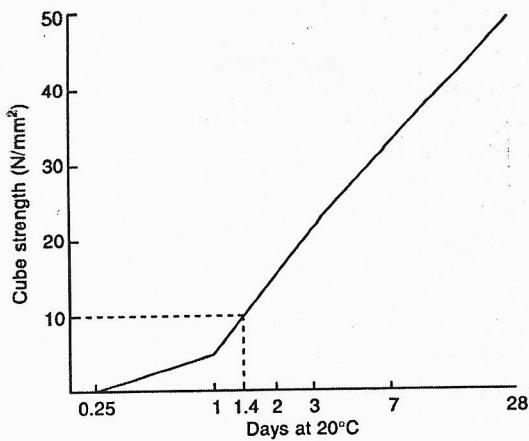
مقاومة المكعب هي دالة لكل من نسب الخلط للخرسانة ، الوقت بين الصب والاختبار والحرارة التي عندها تم خزن المكعب . لذلك ، لخلطه خاصة ، سوف يكون من الممكن ايجاد علاقة بين الوقت والحرارة لتخمين درجة النضوج والمقاومة . ان هذا هو هدف قوانين النضوج . ان درجة النضوج تعني ايجاد العمر المكافئ بالايماء الذي يقصد به العمر الذي تكون به مقاومة الخرسانة (التي درجة حرارتها لا تساوي 20°C) مساوية الى مقاومة الخرسانة بدرجة حرارة (20°C) . لقياس او حساب تاريخ (بيانات) اوقات درجات الحرارة (Temperature-time history) عند نقطه او موقع في المقطع الخرساني ، فإن قانون النضوج يستعمل لحساب النضوج في تلك النقطه ومن هنا حساب مقاومة مكعبات الاختبار لنفس درجة النضوج لتلك النقطه . تقليديا ، درجة النضوج يعبر عنها بوحدات (C°h) لكن حديثا الاتجاه يميل للتعبير عن النضوج بما يكافئ ذلك بالايماء ذلك عند حرارة المعالجة القياسية لمكعبات السيطرة التي تبلغ (20°C) حسب المعاصفة البريطانية .

$$1440 \text{ C}^{\circ}\text{h} = \text{Equivalent age of 3 days at } 20^{\circ}\text{C}$$

$$3360 \text{ C}^{\circ}\text{h} = \text{Equivalent age of 7 days at } 20^{\circ}\text{C}$$

$$13440 \text{ C}^{\circ}\text{h} = \text{Equivalent age of 28 days at } 20^{\circ}\text{C}$$

العلاقة بين المقاومة والنضوج لا تكون موحدة لجميع انواع الخرسانة لمقاومة بعمر (28 يوم) ولذلك يجب تحديدها مختبريا للخرسانة الخاصة بذلك المستعملة ان ذلك يمكن الوصول اليه بسهولة عن طريق سحق المكعبات التي تم خزنها في الماء بدرجة حرارة (20°C) بالاعمار (20, 7, 3, 2, 1 و 28 يوم) للحصول على منحني تطور المقاومة للخلطه الخرسانية الموصوفة ، لا حظ الشكل (19.6) . بعد ذلك عندما معيار اوقات رفع القالب يتطلب ، مثلا ، 10 N/mm^2 من النماذج التي لها نفس النضوج الذي للمنشا ، فان هذا يعادل درجة نضوج مقدارها على الاقل (1.4 يوم) عند درجة حرارة (20°C) .



الشكل (19.6) اكتساب المقاومة لخرسانة الاسمنت نوع (PC-42.5) الموصوفة

2.2.6 قوانين النضوج Maturity laws قوانين النضوج تتبع نفس المعادلة الاساسية لـ

$$\text{Equivalent age at } 20^\circ\text{C} = \sum k \Delta t$$

هدف قانون النضوج هو تقديم او ايجاد معادله لدالة النضوج (k) ، وبالتالي للنماذج الخرسانية الخاصة مع درجة نضوج متساوية تملك مقاومة متساوية وبصرف النظر عن تاريخ (بيانات) زمن درجة الحرارة الحقيقي. لقد تم اقتراح عدد من القوانين مثل

ASTM C1074, 1987

Hansen and Pedersen, 1977, 1989

Carino and Tank, 1992

De Vries, 1992

Commission 42-CEA, 1981

Bresson, 1982

Sandgrove, 1975

التي بعضها تم استقاقها تجريبيا . في السنين الحديثه تم تطوير قوانين مبنية على فكرة الطاقة التحفيزية وقانون (Arrhenius law) على سرعة التفاعل. هذه المعادلة تأخذ الصيغة التالية

$$\text{Equivalent age at } 20^\circ\text{C} = \sum \left[\exp \left[\frac{E}{R} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{\theta + 273} \right) \right] \right] \Delta t$$

حيث

E = الطاقة التحفيزية التي يتم الحصول عليها مختبريا ، (kJ/mol)

R = ثابت الغاز المولاري = $0.008314 \text{ kJ/C}^\circ \text{ mol}$

Δt = معدل حرارة الخرسانة ($^\circ\text{C}$) في الوقت المتزايد t

انواع مختلفة من الخرسانة تملك طاقة تحفيزية مختلفة . العالمان Hansen and Pedersen, 1977 (اقترحا انه الخرسانة التي تحتوي الاسمنت الذي يصنف حاليا بـ (PC-52.5) او (PC-42.5) فان المعادلة تصبح كما يلي

Equivalent age at 20°C for values of θ of 20°C or greater

$$= \sum \left[\exp \left[\frac{33.5}{0.008314} \right] \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{\theta + 273} \right) \right] \Delta t$$

او

Equivalent age at 20°C for values of θ below 20°C

$$= \sum \left[\exp \left[\frac{33.5 + 1.47 (20 - \theta)}{0.008314} \right] \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{\theta + 273} \right) \right] \Delta t$$

جدول دالة النضوج نشرة من قبل (commission 42-CEA, 1981; Bresson, 1982) للمساعدة في تسهيل الحسابات .
لنوع محدد من الاسمنت فان معادلات تجريبية متوفرة مثل معادلة (Sadgrove equation)

$$\text{Equivalent age at } 20^{\circ}\text{C} = \sum \left(\frac{\theta + 16}{36} \right)^2 \Delta t$$

هذه المعادلة تكون سارية المفعول للخرسانة التي يكون الاسمنت فيها من نوع (PC-42.5) و (PC-52.5) في مدى درجة حرارة من (1 الى 45 درجه) للاعمار المكافئة عند درجة حرارة (20 C°) من خمس ساعات الى (28 يوم) ، (Sadgrove, 1975) . الجدول (5.6) يبين بان هذه المعادلة تعطي نتائج مشابهة جدا لتلك التي تم الحصول عليها من معادلات الطاقة التحفيزية لحد درجة حرارة (40C°)

جدول (5.6) مقارنة قيمة (k) لخرسانة الاسمنت نوع (PC-42.5) و (PC-52.5)، تم الحصول عليها من معادلات (Arrhenius) و (Sadgrove) .

Temperature °C	Arrhenius equation	Sadgrove Equation
0	0.15	0.20
10	0.50	0.52
20	1.00	1.00
30	1.57	1.63
40	2.41	2.42
50	3.59	3.36
60	5.22	4.46
70	7.42	5.71

تحليل البيانات الموجودة يبين ان معادلة (Sadgrove) يمكن تطبيقها لبعض انواع الخرسانة التي تحتوي (silica fume) والسليكا (pfa) (ggps) بمدى اكثرا تقيدا لدرجة الحرارة او الزمن .
بسبب وجود مدى واسع من انواع واصناف الاسمنت ، التركيب والاظافات يكون من المهم اختيار قانون النضوج المناسب او الامين . دالة النضوج حيث ($k = \theta / 20$) يمكن اعتبارها علاقه امينه في مجال

الخرسانة لرفع القالب مع اي سمنت اعتيادي (ويشمل ذلك ggps) ولذلك ، في غياب البيانات فانه يمكن استعمال هذه الدالة . هذه الدالة يفهم منها انه لا يوجد تطور للمقاومة عند درجة حرارة (0 °C) وسرعة اكتساب المقاومة تكون دالة خطية بين (0 °C) و (20 °C) . هذه الدالة لا يمكن استعمالها عند درجة حرارة اقل من (0 °C) حيث يتم الحصول على قيمة سالبة ، اي حصول تخفيض في المقاومة التي تم الوصول اليها سابقا . قانون النضوج هذا وقوانين اخرى مختارة يمكن تدقيقها عمليا بواسطة معالجة المكعبات عند ، مثلا، (5 °C)، (20 °C) و (40 °C) و سحقها في مجال زمني و رسم النتائج على شكل رسم بياني لمقاومة المكعب مقابل العمر المكافئ عند درجة حرارة (20 °C) . درجة حرارة المعالجة المختارة سوف تمتد زمنيا للمدى المحتمل لحرارة الموقع ، في الواقع يكون من غير المستحسن استنتاجها (استقرائيا) . عند وقوع جميع النتائج على نفس المستقيم فان قانون النضوج المختار يكون مناسب للخلطه الخرسانية . عند عدم الوصول الى هذه الحالة المثالية ، لكن قانون النضوج المختار يقدر تقدير اواطنا (underestimates) تطور المقاومة ، وهذا سوف يتوفير حلا امينا .

3.2.6 حساب النضوج Calculation of maturity

Example 1 A hand calculation of maturity using the Sadgrove equation

$$\text{Equivalent age at } 20\text{C}^\circ = \sum \left(\frac{\theta + 16}{36} \right)^2 \Delta t$$

Time from casting Hours	Concrete temperature °C	Δt Hours	Average concrete temperature in Δt °C	$k = [(\theta+16)/36]^2$	$k\Delta t$ Hours	$\sum k\Delta t$ Hours
0	7	2	6.5	0.391	0.782	
2	6	2	7	0.48	0.816	0.782
4	8	2	9	0.482	0.964	1.6
6	10	2	10.6	0.542	1.084	2.56
8	11	2	11	0.563	1.125	3.64
10	11	2	11.5	0.584	1.167	4.77
12	12	2	11.5	0.584	1.167	5.94
14	11	2	11	0.563	1.125	7.10
16	11	2	10.5	0.542	1.084	8.23
18	10	2	9.5	0.502	1.003	9.31
20	9	2	9	0.482	0.965	10.32
22	9	2	8.5	0.463	0.926	11.2
24	8					12.21

بعد الوقت الحقيقي البالغ (24 ساعه) فان درجة نضوج المقطع كانت مكافئة لـ (12.2 ساعه) بدرجة حرارة (20 °C)

Example 2 Checking the application of the Sadgrove equation to a Portland plastfurnase cement concrete

Experimental strength data, N/mm²

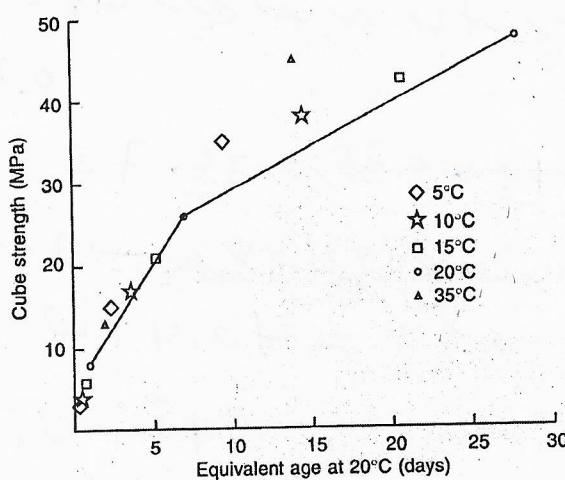
Age of tests Days	Curing temperature, °C				
	5	10	15	20	35
1	3	4	6	8	13
7	15	17	21	26	45
28	35	38	42.5	47.5	48

For each strength, the equivalent age at testing is calculated from $\sum \left(\frac{\theta + 16}{36} \right)$

Equivalent ages attesting

Age of tests Days	Curing temperature, °C				
	5	10	15	20	35
1	0.34	0.52	0.74	1	2.01
7	2.38	3.64	5.18	7	14.07
28	9.52	14.56	20.72	28	56.28

الآن يتم رسم (رسم بياني) لمقاومة المكعب في الجدول العلوي مقابل الاعمار المكافئة في الجدول الثاني حيث يعطي الشكل (20.6)



الشكل (20.6) تدقيق حول تطبيق معادلة (Sadgrove equation)

عند وقوع النقاط على او فوق خط بيانات (20 °C) ، فالمقاومة الحقيقة تكون اعلى من المقاومة المخمنة ولذلك فان معادلة (Sadgrove) يمكن تطبيقها بامان لهذه الخرسانة .
ملاحظة : في التطبيقات العملية فان البيانات يجب الحصول عليها خلال ثلاثة ايام لاعطاء امان اكثرب في هذه الفترة الحرجة .

4.2.6 طرق الحصول على البيانات لحساب النضوج

Methods of obtaining data for maturity calculation

الطريقة الاكثر شيوعا لضبط او مراقبة الحرارة في المقطع الخرساني هي استعمال المزدوجة الحرارية (Thermocouples) او اية اجهزة حرارية حساسة في الصب . الحرارة يمكن قياسها يدوين او اوتوماتكيا . هكذا انظمة يمكن استعمالها ايضا لقياس التدرج الحراري خلال المقطع . ربط المزدوجة الحرارية يجب ان يكون بصورة مامونة تحت حديد التسلیح (الاظافی) لحمايتها عندما يتم صب الخرسانة ، لكن يجب تأمين ان الاجهزه المتحسسه للحرارة (sensors) لا تكون في اتصال مع الحديد . المقترن هو ان السلك يكون منحنی بحيث المتحسس يكون على بعد حوالي (25 ملم) من حديد التسلیح واخر نقطه من ربط المزدوجة الحرارية . درجة النضوج يتم قياسها من درجة الحرارة والوقت المسجلين . الطريقة البديلة لذلك هو قياس درجة النضوج كما هو في حالة اختبار (COMA probe) ، حيث في هذا الاختبار يتم حساب درجة النضوج اوتوماتكيا . الشيء الاساسي هو يجب التحقق من ان جهاز قياس درجة النضوج هو دالة مناسبة لدرجة النضوج .

5.2.6 تطبيقات المعالجة المعجلة Application of accelerated curing

التطبيقات العملية للمعالجة المعجلة تشمل :-

1. ظمان دورة يومية من العمل .
2. تعجيل عملية الانشاء في ظروف الشتاء .
3. تأمين الاستعمال اليومي المتعدد لل قالب المستعمل في الخرسانة المسبقة الصب .
4. تقليل الوقت بين الانتاج والتجهيز للعناصر الخرسانية المسبقة الصب .

تطبيق عملية التسخين للخرسانة يكون واسع ومكلف ولذلك سوف يطبق فقط في المواقع في حالة ان الفوائد المتوقعة تزيد على الكلفة .

6.2.6 طرق المعالجة المعجلة Methods of accelerated curing

في الانشاءات الموقعة فانه فقط دور يومية من البناء تسمح بحوالي (14 ساعه) معالجة . في هذا الوقت فان الخرسانة سوف تحتاج ان تكتسب مقاومة مقدارها حوالي (10 N/mm^2) . في الظروف الباردة فان ذلك لا يمكن الوصول اليه بدون بعض اشكال المعالجة المعجلة .

للانشاءات الموقعة فان حرارة التسخين المطلوبة للمعالجة المعجلة يمكن حسابها بواسطة الطريقة التالية المبنية على اساس التجربة العملية وليس على المعرفة العلمية (concrete society, 1995). يتم استعمال (0.75 kW) لكل متر مكعب من الخرسانة لكل درجه مئوية واحدة ($^{\circ}\text{C}$) فانها ترفع من حرارة الطبع الى درجة حرارة مقدارها ($^{\circ}\text{C} 54$) . السماح بنسبة اضافية مقدارها (10%) بسبب الامتصاص من قبل الحديد الموجود باشكاله المختلفة . ان ذلك يعطي كمية التسخين الكلية المطلوبة لكل (1 m^3) من الخرسانة مقدارها (40.4 kW) الى (24.0 kW) للخرسانة المصبوبة التي درجة حرارتها بيبين (5 $^{\circ}\text{C}$) و (25 $^{\circ}\text{C}$).

فترة التسخين سوف تعتمد على حرارة الهواء الخارجي لكن فترات التسخين النوذجية الاوربية تكون كما يلي

Air temperature $^{\circ}\text{C}$	Heating time (hours)
+ 15	5.0
+ 10	5.5
+ 5	6.0
0	6.5
- 5	7.0
- 10	7.5

ان عدد ومحوقة اجهزة التسخين المخططه (المصممة) تعتمد على :-
 أ. ابعاد المقطع الذي يُراد صبه .
 ب. فترة التسخين .
 ت. نوع السخان .
 ث. فقدان حرارة التسخين للهواء الخارجي.

سعة جهاز التسخين سوف تُعطى بالكيلو واط - ساعه (kWh). عدد اجهزة التسخين يمكن حسابها من العلاقة التالية

$$\text{Numbers of heaters} = \frac{\text{Heat needed } \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right) \times \text{Volume}(\text{m}^3)}{\text{Heating time (h)} \times \text{Heatir capacity(kWh)}}$$

في المنشآت الخرسانية المسبقة الصب فان حجم المقطع العرضي يمكن ان يكون اصغر وهذا يكون غالباً اسهل لتخمين الخرسانة بسرعة اكثر ولدرجات حرارة اعلى . في هذه الحالات يوجد غالباً تأخير في تطبيق التسخين ، السرعة القصوى للتسخين والتبريد ودرجة الحرارة القصوى . ان الدورة التسخينية تُصمم لتقليل فترة المعالجة والمحافظة على تخيرات مؤدية لخواص الخرسانة ضمن الحدود المقبولة .
 انظمة التسخين الرئيسية للمعالجة المعجلة هي:

1. البخار في الانابيب او صب الخرسانة في خيمة تُلف المنشآ (تستعمل في صورة رئيسية كتقنية للخرسانة المسبقة الصب).
2. التسخين بالغاز باستعمال مسخنات الاشعة تحت الحمراء المروطة مباشرة بالجزء السفلي او باستعمال اجهزة التسخين المُسخنه بالحمل الحراري . في كلا الحالتين فان الفراغ يجب ان يُختم لتقليل فقدان الحرارة . هذا النظام شائع الاستعمال في الخرسانة المصبوبة موقعيا .
3. التسخين الكهربائي خلال غطاء فوقى او خلال اسلاك ذات مقاومة واطئة الفولتية مصبوبة داخل الخرسانة . الغطاء الفوقي (overblankets) يجب ان يُعزل لمنع فقدان الحرارة المتعاقب . عند نسخين الخرسانة بصورة مباشرة مباشرة فيجب ان تكون هناك عناية فيما يتعلق بالامان والقوالب يجب ان تكون معزولة بصورة جيدة . هذا النظام يمكن التحكم به بسهولة بواسطة استعمال محولة زمنية .
4. مسخنات التربو (Turbo heaters)

في هذا النظام تكون المسخنات الحيزية (بينها فراغ) مملؤه بالغاز او الزيت . انها تسخن الجزء السفلي عن طريق التسخين بالحمل الحراري . تستعمل ستارة (جدران) في النهاية لتقليل فقدان الحرارة .

7.2.6 تأثير المعالجة المعجلة على خواص الخرسانة

Effect of accelerated curing on concrete properties

المعالجة المعجلة تملك التأثيرات التالية على خواص الخرسانة:

1. تقليل المقاومة القصوى لمقدار يصل الى (30%) اعتمادا على حرارة الذروة (peak temperature) التي يتم الوصول اليها .
2. زيادة كبيرة جدا في المسامات الكبيرة (الخشنة) اعتمادا على الحرارة التي يتم الوصول اليها .
3. اذا كانت حرارة المعالجة عالية فسوف يكون هناك خطر كبير في تأخير تكون الاترنجات .
4. للانشاءات المصبوبة موقعيا ، فان المعالجة المعجلة سوف تزيد خطر التشغقات الحرارية في الاعمار المبكرة التي سببها التقادم الخارجي

ان سبب فقدان المقاومة القصوى وزيادة المسامات الخشنة يعتقد انه يعود الى تكون نواتج الاماهة بالقرب من حبيبات الاسمنت الاصلية وعدم انتشار هذه النواتج بصورة منتظمة خلال الفضاء الموجود بين حبيبات الاسمنت .

اذا كانت حرارة الذروة خلال المعالجة المعجلة لا تتجاوز (65°C) ، فان التأثير على خواص الخرسانة لامد الطويل (long-term properties) لا تكون كبيرة .

3.6 تخمين الاوقات الامينة لرفع القالب Assessment of safe striking times

1.3.6 العوامل الخارجية الرئيسية التي تؤثر على اوقات رفع القالب عند ازالة القالب من المقطع الخرساني فان المقطع ان لا يجب ان لا :

- انهيار collapse

- يحدث في انحراف مفرط على المدى القصير او الطويل

- حدوث ثلث في هيكل الخرسانة عند ازالة القالب

بالاضافة الى ذلك فيجب اعطاء بعض الاعتبارات بانه بعد ازالة القالب فان العنصر الخرساني سوف :-

- يميل لتلف الانجماد - الذوبان

- يميل للتشققات بسبب التقلصات الحرارية للسطح

اذا كان هناك خطر كبير في احد المقاطع فالاختيار المفضل هو تأخير رفع القالب . البديل الى ذلك هو عزل المقاطع بعد ازالة القالب لكن ذلك ليس دائما الخيار العملي . على ايده حال ، فان القالب يتم رفعه للاستعماله في مكان اخر .

من الضروري الاخذ بنظر الاعتبار فيما اذا المقطع ، بعد رفع القالب ، يحتاج لاعادة اسناد ليأخذ الاحمال من الانشاءات الاظافية مثل السطوح الاخرى ، او لتقليل انحراف الزحف . النصائح حول اعادة الاسناد موجودة في (Concrete Society, 1995) .

2.3.6 حساب الاوقات الزمنية لرفع القالب Calculation of safe formwork striking times

العالم (Harrison, 1995) وصف بالتفصيل خلفيه تحديد او قات رفع القالب . الخلاصة التالية مبنية على ذلك .

لحساب المقاومة المميزة المطلوبة بواسطة المكعبات التي لها نفس درجة النضوج للمنشا قبل ازالة الجزء السفلي للقالب ، يكون من الضروري اما حساب المقاومة المطلوبة ، تدقيق كلا العزمين ، الربط والانحراف (pond) و الانحراف (deflection) ، او استعمال المعادلة التالية :-

Characteristic strength of cubes of equal maturity to the structure =

$$\frac{\text{Dead load} + \text{construction load}}{\text{Total design load}} \times \text{grade of concrete}$$

هذه المعادلة تكون حذرة جدا للمقاطع المسلحة بحديد خفيف . بسبب ان الحمل الميت يمثل اعتماديا نسبة عالية من الحمل التصميمي الكلي فان معيار الانهيار (collapse criterion) تعني ايضا معيار الانحراف (deflection criterion) في اغلب الحالات .

طريقة بديلة تم تطويرها من قبل العالم (Beeby, 2000) لل blatas التي سمكتها (300 ملم) او اقل . انها قابلة للتطبيق عندما يكون الحمل الانشائي الكلي غير معامل (total unfactored construction load) اقل او مساوي للحمل التصميمي الخدمي الكلي الغير معامل (total unfactored design load) للخرسانة التي لها درجة نضوج مساوية للمنشا ، f_c ، والعلاقة هي

$$f_c \geq f_{c_{us}} \left(\frac{w}{W_{ser}} \right)^{1.67}$$

f_{cu} = specified characteristic strength of the concrete
 w = total unfactored construction load on slab, kN/m^2
 W_{ser} = total unfactored design service load, kN/m^2

كذلك

لقد تم التوجيه باستعمال القيمة ($0.75 kN/m^2$) كذلك حمل انشائي .

كما في كل الطرق التي تعطي متطلبات في حدود المكعبات التي لها نفس درجة النضوج التي للمنشأ ، فإذا كانت طريقة الفحص مباشرة على المنشأ ، مثل فحص (LOK-test) ، فيكون من الممكن تقليل متطلبات المقاومة بمقدار (15%) كما تفترض المواصفة الاوربية بان المقاومة في الموقع تكون (85%) من المقاومة المميزة . ان عملية خفض المقاومة هذه يجب تطبيقها من قبل المنضمات والشركات التي تفهم بصورة تامة الشكوك المصاحبة للفيزياء المحددة (لتقليل تلف الانجماد - الذوبان) ، فان مقاومة مقدارها ($2 N/mm^2$) تكون مطلوبة قبل رفع القالب . في اجزاء عديدة من العام فان المعيار الاعلى من ($5 N/mm^2$) يكون مطبق . الشيء المهم هو منع الخرسانة الحديثة من ان تكون مشبعة قبل التجدد لأن الخرسانة المشبعة في الماء تحتاج مقاومة اعلى بكثير لتأثير الانجماد ، الذوبان.

لحماية سطح الخرسانة من التلف الفيزيائي عند ازالة القالب فان ذلك يتطلب عمر مكافئ فوق (6 ساعات) عنده درجة حرارة ($20^\circ C$) الاشكال السطحية الناعمة الى (8 ساعات) بدرجة حرارة ($20^\circ C$) للسطح الغير مختومة بالخشب الرقائقي (plywood). للنوعية العالية للانهاء للخرسانة العادي (plain) فان مقاومة مقدارها ($2 N/mm^2$) تكون مطلوبة قبل رفع القالب .

اوقيات رفع الاجزاء السفلية للقالب ، التي تعتبر اكثر حرارة ، يتم تحديدها من خلال المقاومة المميزة لنماذج الفحص التي لها نفس درجة النضوج للمنشأ . المشكلة العملية التي يمكن مواجهتها هي انه اي نظام اختبار لا يكون مشابه بصورة عالية للمعلومات المتوفرة لحساب تخمين جديد للمقاومة المميزة . يمكن تطبق التقنيات الاحصائية مثل اختبار (t-test) ، لكن ذلك يفترض ان الاختبارات تؤخذ بصورة عشوائية والنتائج تكون كبيرة . كحل عملي ، العالم (Harrison, 1995) اقترح استعمال (25%) من الحد لتثبت المقاومة الوسط اي معدل المقاومة (mean strength) المطلوبة بواسطة نماذج الفحص التي لها نفس درجة النضوج التي للمنشأ . ان هذا مبني على اساس فرضية ان الطريقة التي بواسطتها تم تحديد معدل المقاومة تكون حذرة . مثلاً ان جهاز فحص (temperature-matched curing path) يوضع في الجزء الابعد من المقطع وكذلك جهاز فحص (LOK-test) يوضع في مكان على السطح العلوي حيث تكون المنطقة هي الابعد والاضعف .

3.3.6 تأثيرات الخرسانة على اوقات رفع القالب Effects of the concrete on formwork striking times

فيما مضى تم حساب المقاومة الدنيا لرفع القالب ، حيث يتم تخمين متى تصل الخرسانة في العضو الانشائي الى المقاومة المطلوبة . المقاومة في العضو الانشائي تتغير من نقطه الى اخرى بسبب تاريخ (بيانات) درجات الحرارة المختلفة ورفع القالب . التخمين يتم للمنطقة السطحية حيث ان هذه المنطقة تكون مناسبة اكثر وتتوفر قيمة امينة (مقاومة الباب سوف تكون اعتيادياً اعلى) .

تطور المقاومة في المنشآت تعتمد على :-
 1. الخرسانة المستعملة .

- أ. الخرسانة ذات صنف المقاومة الاعلى سوف تصل المقاومة المحددة بوقت اقصر .
- ب. اصناف الاسمنت ذات المقاومة الاعلى سوف تصل المقاومة المحددة في وقت اقصر .
- ت. نوع الاسمنت سوف يؤثر على سرعة اكتساب المقاومة والأنواع التي تحوي نسب اعلى من المكونات الرئيسية الثانوية مثل (ggbs) سوف تكتسب المقاومة بصورة اكثر بطا .

2. درجة حرارة الخرسانة عند الصب .

عندما تكون درجة الحرارة الخرسانة عند الصب اعلى فان الخرسانة سوف تصل المقاومة المحددة بوقت اقصر . لكن التوفير في الوقت سوف يعتمد على كيفية الاحتفاظ بالاعصر في حالة ساخنة

3. درجة حرارة المحيط .

درجة حرارة المحيط الاعلى سوف تؤدي الى اكتساب اسرع للمقاومة.

4. العزل المتوفّر بواسطة القالب او التربة .

كلما كان القالب اكثـر عزـلاً لـلـخـرسـانـة كلـما كـانـت سـرـعة فـقـدانـ حـرـارـةـ الـامـاهـه اوـطاـ وـالـوقـت يـكـونـ اـقـصـرـ لـلوـصـولـ إـلـىـ المـقاـوـمـةـ المـحـدـدـةـ .

5. حجم المقطع

كلما كان حجم المقطع اكبر كلما كان الوقت اقصر للوصول الى المقاومة المحددة .

6. تطبيق عملية التسخين (المعالجة المعجلة)

ان ذلك سوف يقصر الوقت المطلوب للوصول الى المقاومة المحددة .

4.3.6 التوصيات الاساسية لوقات رفع القالب

principle recommendations for fromeork striking times

المواصفة الاوربية (EN 13670-1 Execution of concrete structures part 1) حيث أنها تعطي بعض القواعد العامة للأداء .

- لمقاومة التلف في السطح وتلك التي تتشاء خلال رفع القالب .
- لأخذ الحمل المفترض على العضو الانشائي عند هذه المرحلة .
- لتلافي الانحراف الذي يحدث ما بعد الاحتمالات الموضوفة المسموح بها التي تنتج عن التصرف المرن واللامرن (الزحف) للخرسانة .

كثير من الموصفات والقواعد الاخرى العملية تقيس المتطلبات باليام او تعطي قواعد التطبيق التي تقيس المتطلبات . مثال على ذلك المواصفة البريطانية (BS 8110).