

Properties and Testing of Materials III

CIV 144

Week 8

2- Shrinkage & Creep.



(With solved example)

الإنكماش و الزحف
Shrinkage & Creep

1- الإنكماش Shrinkage

التعريف

الانكماش هو خاصية من خواص الخرسانة التي تتصلد في الهواء. ولايسبب الإنكماش مشاكل إلا إذا كان هناك قيلاً على الحركة حيث يسبب إجهادات شد داخل الخرسانة مما يؤدي إلى تشرخها ويمكن التقليل من الآثار الضارة للإنكماش عن طريق:

Effective Curing

أ - المعالجة الصحيحة والمبكرة للخرسانة

Movement Joints

ب- عمل وصلات حركة

Shrinkage Reinforcements

ج- وضع أسياخ تسليح لمقاومة الإنكماش

أسباب حدوث الإنكماش

يحدث الانكماش فى الخرسانة نتيجة:

- أ- هبوط الأجزاء الصلبة فى الخلطة وفقد الماء الحر من الخرسانة الطازجة مما يسبب ما يعرف بإسم الإنكماش اللدن.
- ب- الإتحد الكيمىائى بين الأسمنت والماء يؤدى إلى حدوث الإنكماش الذاتى.
- ج- جفاف الخرسانة نتيجة فقد الماء يسبب حدوث إنكماش الجفاف.

أنواع الإنكماش

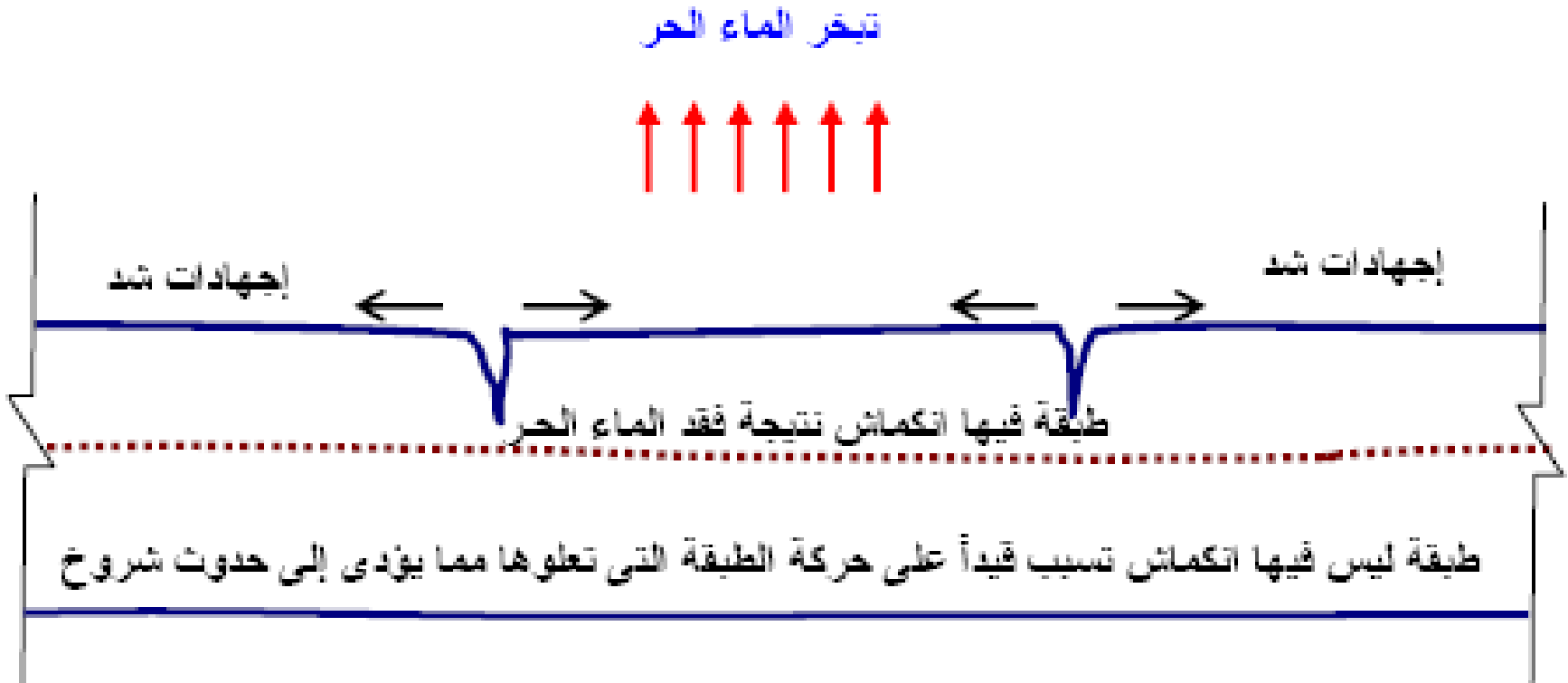
يوجد ثلاثة أنواع من الإنكماش هي:

- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| Plastic Shrinkage | أ- الإنكماش اللدن |
| Autogenous Shrinkage | ب- الإنكماش الذاتى |
| Drying Shrinkage | ج- الإنكماش بالجفاف |

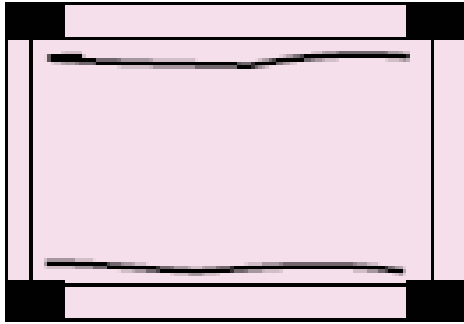
Plastic Shrinkage

أولاً: الإنكماش اللدن

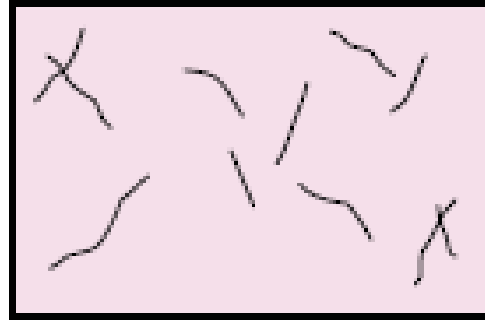
يحدث الانكماش اللدن قبل تصدّد الخرسانة خلال بضعة ساعات من صب الخرسانة وسببه هو فقد الماء الحر من الخلطة وهبوط الأجزاء الصلبة (الركام) إلى أسفل مما يؤدي إلى صعود الماء إلى أعلى وتبخره. فعندما يكون معدل تبخر الماء من سطح الخرسانة أسرع من معدل الإدماء (نزوح الماء إلى سطح الخرسانة) يحدث الإنكماش اللدن كما بالشكل (١). ولذلك فإن الإنكماش اللدن يُلاحظ أكثر في البلاطات والأعضاء الخرسانية ذات المساحة السطحية الكبيرة المعرضة للجو الحار أو الرياح. ويؤدي هذا النوع من الإنكماش إلى حدوث شروخ سطحية بالخرسانة. ويمكن منع شروخ الإنكماش اللدن بتقليل الفاقد من الماء السطحي عن طريق المعالجة المبكرة والفعالة. وتشرخ الخرسانة اللدنة عادة يأخذ إحدى صور ثلاث كما في شكل (٢).



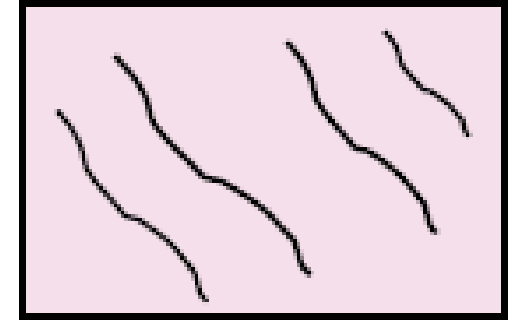
شكل (١) ميكانيكية حدوث الإنكماش اللدن



شروخ تتبع شكل توزيع
حديد لتسليح أو التغير في
عمق القطاع الخرساني.



شروخ موزعة توزيعاً غير
منتظم ولا تصل إلى الحروف
الحرّة للبلاطة.

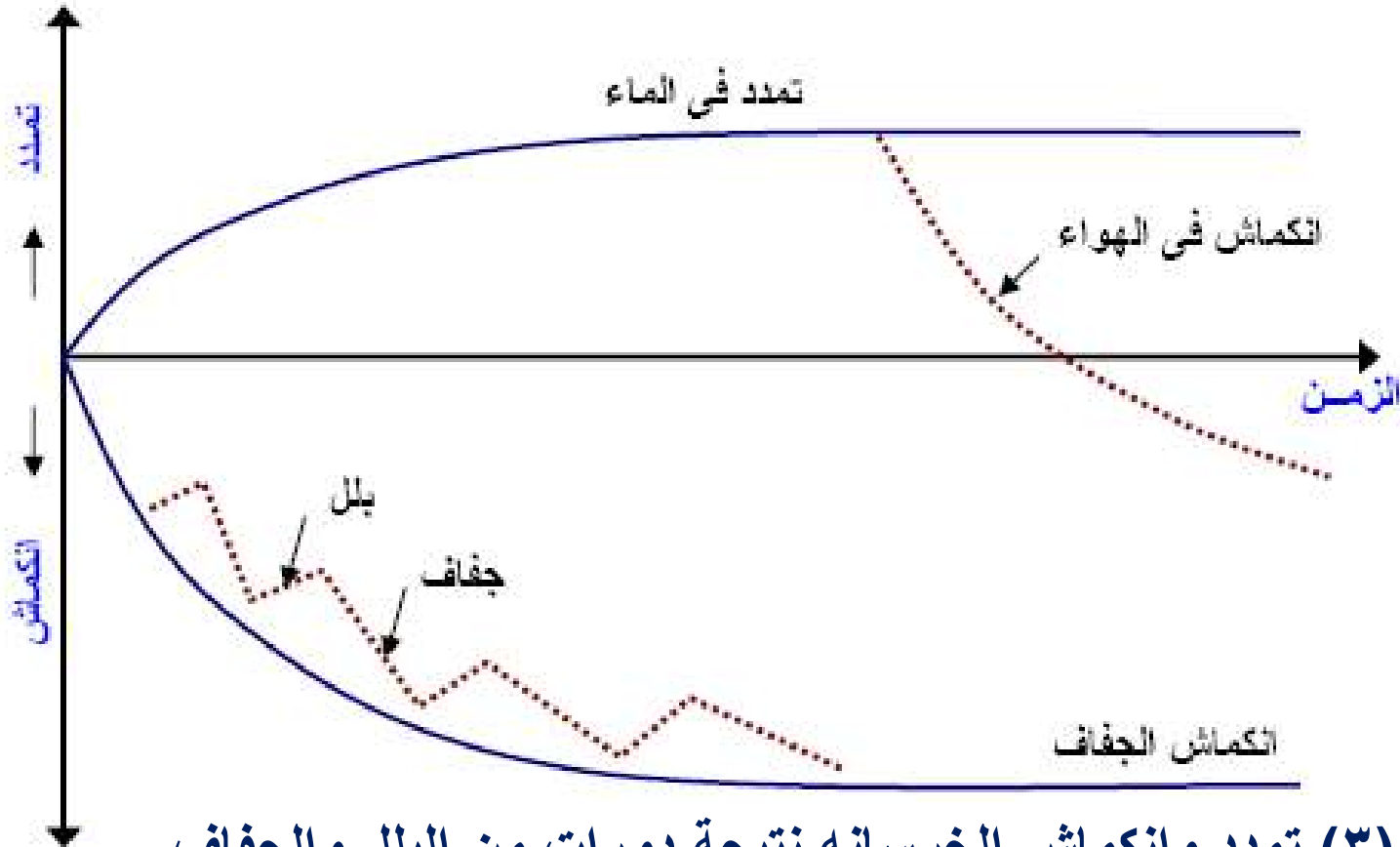


شروخ قطرية مائلة بالنسبة
لحروف البلاطة وتكون
المسافة بين هذه الشروخ
من ٢٠ إلى ٢٠٠ سم.

شكل (٢) أشكال الإنكماش اللدن

عندما تبدأ عملية الإماهة Hydration بين الأسمنت والماء يحدث نقص في حجم المونة لأن عندما تبدأ عملية الإماهة المونة المتصلدة حجمها أقل من مجموع حجمى الماء والأسمنت فى الخلطة مما يؤدي إلى إنكماش الخرسانة الداخلية وهو ما يعرف بالإنكماش الذاتى لأنه يحدث ذاتياً نتيجة الإتحاد الكيميائى بين الأسمنت والماء. أما إذا تمت معالجة الخرسانة تحت الماء فإن الماء الداخلى فى التفاعل يتم إستعاضته من الماء الخارجى وتمتص العجينة الأسمنتية ماءً زائداً مما يؤدي إلى زيادة طفيفة فى حجم الخرسانة وليس إنكماشاً كما فى شكل (٣). أما الخرسانة التى تعالج فى الهواء أو تترك بدون معالجة فلا يتم إستعاضة الماء الداخلى فى التفاعل ولكن على العكس يُسحب الماء من العجينة المتصلدة ويحدث إنكماشاً إضافياً هو إنكماش الجفاف.

والإنكماش الذاتي يتأثر بعدة عوامل منها: التركيب الكيميائي للأسمنت - كمية الماء في الخلطة ودرجة الحرارة وقد تصل قيمة الإنكماش الذاتي إلى 100×10^{-6} (مم لكل متر) ويحدث ٧٥% من في الشهور الثلاثة الأولى من عمر الخرسانة.



شكل (٣) تمدد وإنكماش الخرسانة نتيجة دورات من البلل والجفاف

Drying Shrinkage

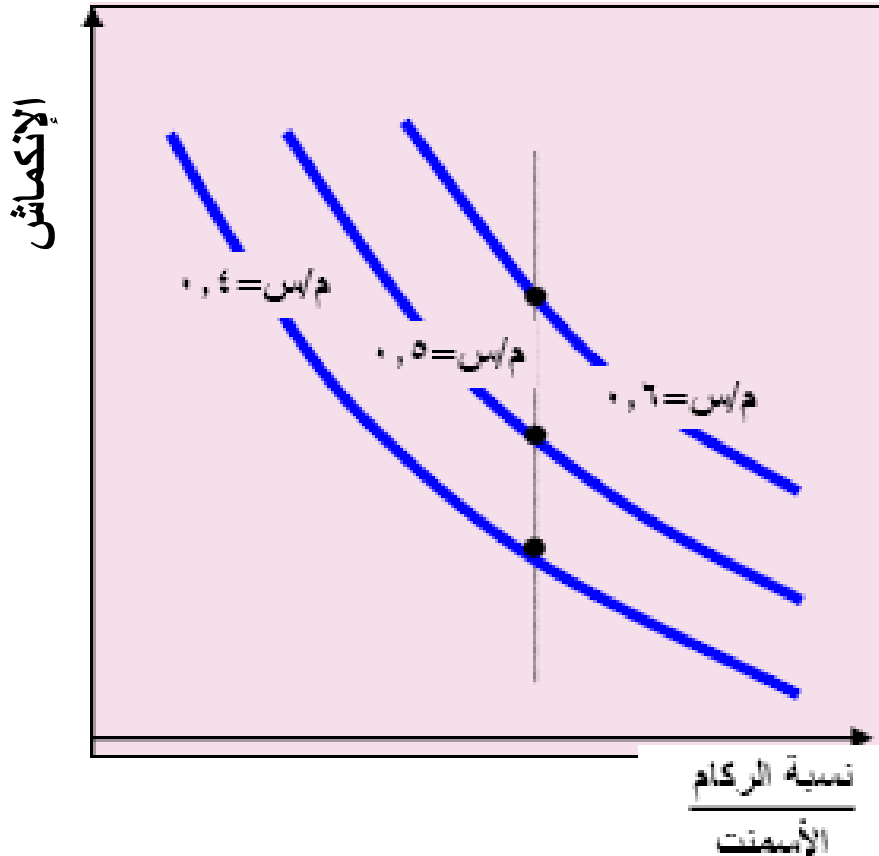
ثالثاً: إنكماش الجفاف

عندما تتعرض الخرسانة المتصلدة - المعالجة في الماء - للجفاف فإنها تفقد أولاً الماء الموجود في الفجوات والشقوق الشعرية الداخلية ولا تبدأ في الإنكماش إلا إذا استمر الجفاف بحيث تفقد الماء الموجود بالعجينة المتصلدة ذاتها وهو ما يعرف بالإنكماش نتيجة الجفاف وقد تصل قيمة هذا الإنكماش إلى 10×10^{-6} ومن أهم وظائف الركام في الخلطة تقليل إنكماش مونة الأسمنت. والإنكماش بالجفاف يبدأ بمعدلات عالية ويستمر لمدة طويلة ولكن بمعدل يتناقص باستمرار. ويمكن إفتراض أن نصف الانكماش الكلى نتيجة الجفاف يحدث في السنة الأولى.

العوامل التي تؤثر على إنكماش الجفاف

1- مكونات الخلطة

بصفة عامة فإن الإنكماش يتناسب طردياً مع كمية الماء بالخلطة ويتناسب عكسياً مع كمية الركام بها كما بشكل (٤).



شكل (٤) تأثير الماء والركام على الإنكماش

الماء: يحدث الإنكماش نتيجة فقد الماء إلى الجو المحيط. فكلما كان هناك ماء أكثر متاح للتبخر كلما زادت إمكانية الإنكماش أثناء الجفاف.

الأسمنت: أهمية الأسمنت بالنسبة للإنكماش ترجع فقط إلى أن كميته ونعومته تؤثر على كمية الماء في الخلطة.

الركام: كلما زادت كمية الركام كلما زاد تأثير الركام على تقليل الإنكماش لمونة الأسمنت. كذلك فإن إستعمال الركام ذي مساحة سطحية أقل ما يمكن يساعد على تقليل محتوى الماء في الخلطة وبالتالي يعمل على تقليل الإنكماش.

٢- معالجة الخرسانه

تعمل معالجة الخرسانة على تقليل الفاقد الحرارى وبالتالي تقليل فروق الحرارة فى الأعضاء الخرسانيه الضخمة كما أنها فى نفس الوقت تقلل الفاقد من ماء الخرسانة وبالتالي تبطئ من معدل الإنكماش فى فترة المعالجة مما يقلل من إحتتمالات التشرخ.

٣- حجم وشكل العضو الخرساني

حيث أن الجفاف (فقد الرطوبة) يكون من سطح العينة فإن ذلك يعنى أنه كلما زادت المساحة السطحية لكل وحدة كتلة كلما زاد معدل إنكماش العضو. فالعضو الخرساني الضخم السميك يستطيع الإحتفاظ بكمية من الماء أكبر من تلك التى تستطيع بلاطة رقيقة الإحتفاظ بها. وبالتالي يكون تأثير الإنكماش كبيراً وخطيراً فى حالة البلاطات وخاصة الرقيقة منها. ويمكن التعبير عن حجم العضو الخرساني ومساحته السطحية بما يسمى بالبعد الإعتبارى للقطاع **B** الذى يقدر كما يلى:

$$B = 2A_c/P_c$$

حيث:

B = البعد الإعتبارى للقطاع - مم

A_c = مساحة المقطع الخرساني - مم²

P_c = محيط المقطع الخرساني المعرض للجفاف - مم

جدول (١) يوضح بعض القيم الإسترشادية لإنفعال إنكماش الجفاف وذلك في حدود درجة رطوبة نسبية بين ٤٠ و ٨٥%.

جدول (١) قيم إسترشادية لإنفعال إنكماش الجفاف (مليمتر/متر)

جو رطب (الرطوبة حوالى ٧٥%)			جو جاف (الرطوبة حوالى ٥٥%)			حالة الجو
البعد الإعتبارى للقطاع B - مم			البعد الإعتبارى للقطاع B - مم			العمر المعتبر عنده الإنكماش
$B \leq 200$	$600 > B > 200$	$B \geq 600$	$B \leq 200$	$600 > B > 200$	$B \geq 600$	
٠,٢٦	٠,٢٣	٠,٢١	٠,٤٣	٠,٣٨	٠,٣١	٣ - ٧ أيام
٠,٢٣	٠,٢٢	٠,٢١	٠,٣٢	٠,٣١	٠,٣٠	٧ - ٦٠ يوم
٠,١٦	٠,١٩	٠,٢٠	٠,١٩	٠,٢٥	٠,٢٨	أكثر من ٦٠ يوم

٤- درجة الحرارة والرطوبة

كلما قلت نسبة الرطوبة كلما زاد معدل وكمية الفاقد من الماء إلى سطح الخرسانة مما يؤدي إلى زيادة الإنكماش ونفس التأثير يحدث عند زيادة درجة حرارة الجو.

٥- التسليح

تتكشف الخرسانة المسلحة بدرجة أقل من إنكماش الخرسانة العادية نظراً لأن صلب التسليح يسبب قيلاً على الحركة. وعلى ذلك فوظيفة أسياخ الإنكماش ليست فقط مقاومة إجهادات الشد الناتجة من الإنكماش وإنما تقليل الإنكماش نفسه كذلك.

إختبار التغير الحجمي للخرسانه بالجفاف والرطوبة Drying Shrinkage & Moisture Movement Tests

يجرى هذا الاختبار لتعيين قيمة التغير فى طول العينة الخرسانية نتيجة تعرضها للزيادة فى الحجم بتأثير الرطوبة أو للنقص فى الحجم بتأثير الإنكماش بالجفاف.

عينات الإختبار: تستخدم عينات منشورية بطول يتراوح من ١٥ إلى ٣٠سم ومقطع مستعرض حوالى ٥*٥سم أو ٧,٥*٧,٥سم ويثبت فى منتصف المقطع عند كل من النهايتين على محور العينة كرة من الصلب لإمكان إجراء عملية قياس الطول بدقة بين سطحى الكرتين.

أولاً: إختبار الإنكماش بالجفافه Drying Shrinkage

١- طريقة إجراء هذا الإختبار هي أنه بعد رفع العينة من الماء (سواء كانت تعالج في الماء بعد صبها أو كانت موضوعة في الماء للتشبع بعد قطعها من الخرسانة ناضجة التصلد) يقاس طولها مباشرة بين الكرتين الصلب المثبتتين في نهايتى العينة وذلك بتركيب العينة فى الجهاز المبين بشكل (٥) حيث يبين الميكرومتر أو مقياس التشكل قيمة التغير فى الطول المقاس عن طريق طول قياس معلوم لقضيب إنفار Invar rod له طول مساو تقريبا لطول العينة وتكون دقة القياس لغاية ٠,٠٠٢٥ مم ثم يعين ذلك الطول الأولى الرطب للعينة L_1 .

٢- تجفف العينة فى فرن درجة حرارته حوالى ٥٠ درجة مئوية وتكرر دورات التجفيف والتبريد وقياس الطول حتى تحصل على طول ثابت لا يتغير وتسجل القراءة النهائية L_2 .

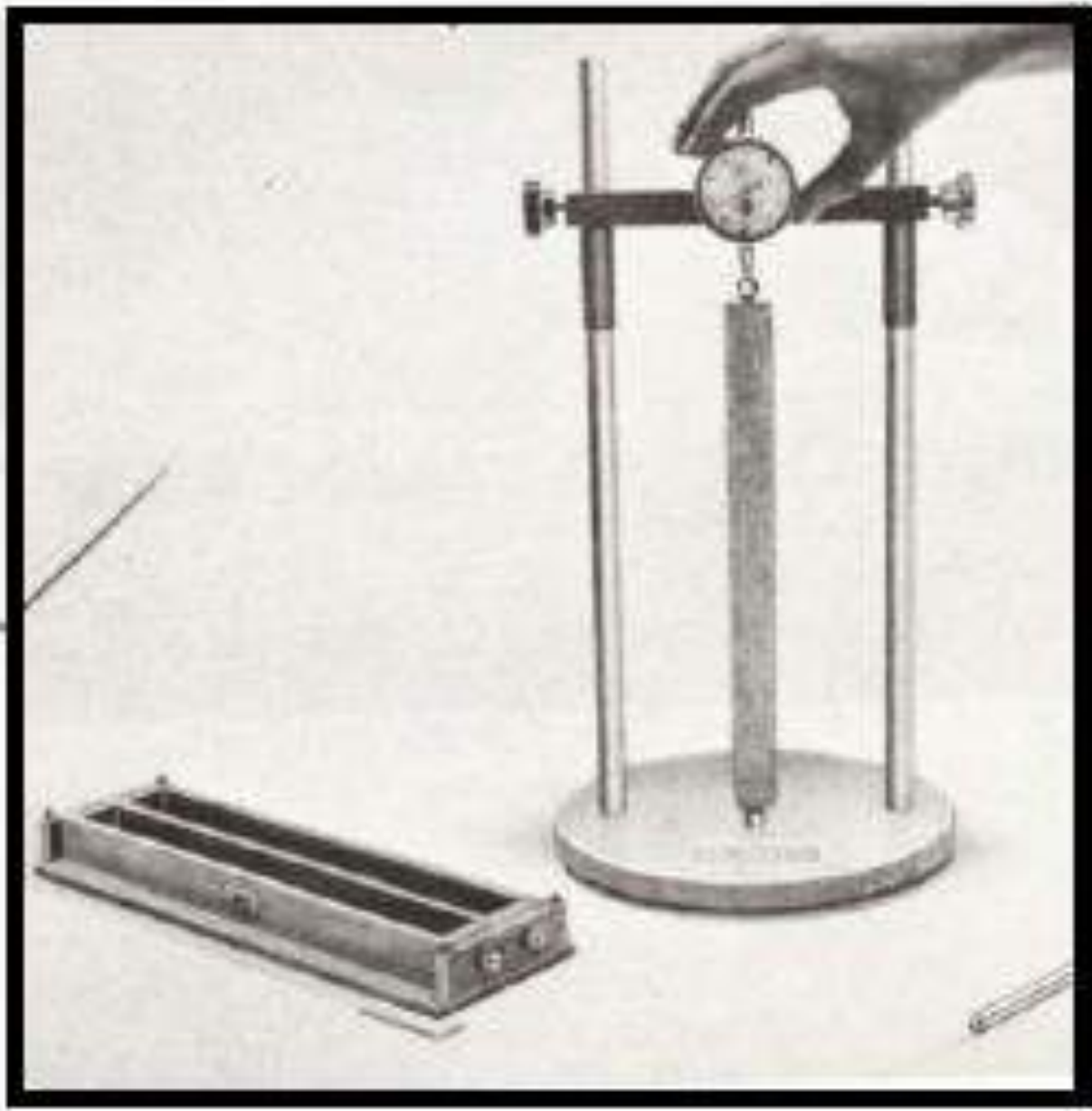
٣- يحسب انكماش الجفاف الأولى أو إنكماش الجفاف كنسبة مئوية كما يلي:

$$\text{Shrinkage \%} = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$$

ثانياً: إختبار التمدد بالرطوبة Moisture Movement

١- تجفف العينة الخرسانية بنفس طريقة إختبار الإنكماش السابق ذكرها ويعين طولها الجاف الثابت وليكن L_3 . تغمر العينة في ماء درجة حرارته من ١٥-٢٠ م° بشرط أن يكون أحد الأوجه الكبيرة للعينة ظاهر تماماً فوق سطح الماء. تترك العينة مغمورة لمدة ٤ أيام وبعدها ترفع من الماء ويقاس الطول النهائى الرطب للعينة وليكن L_4 يحسب قيمة التحرك بالرطوبة كنسبة مئوية كما يلي:

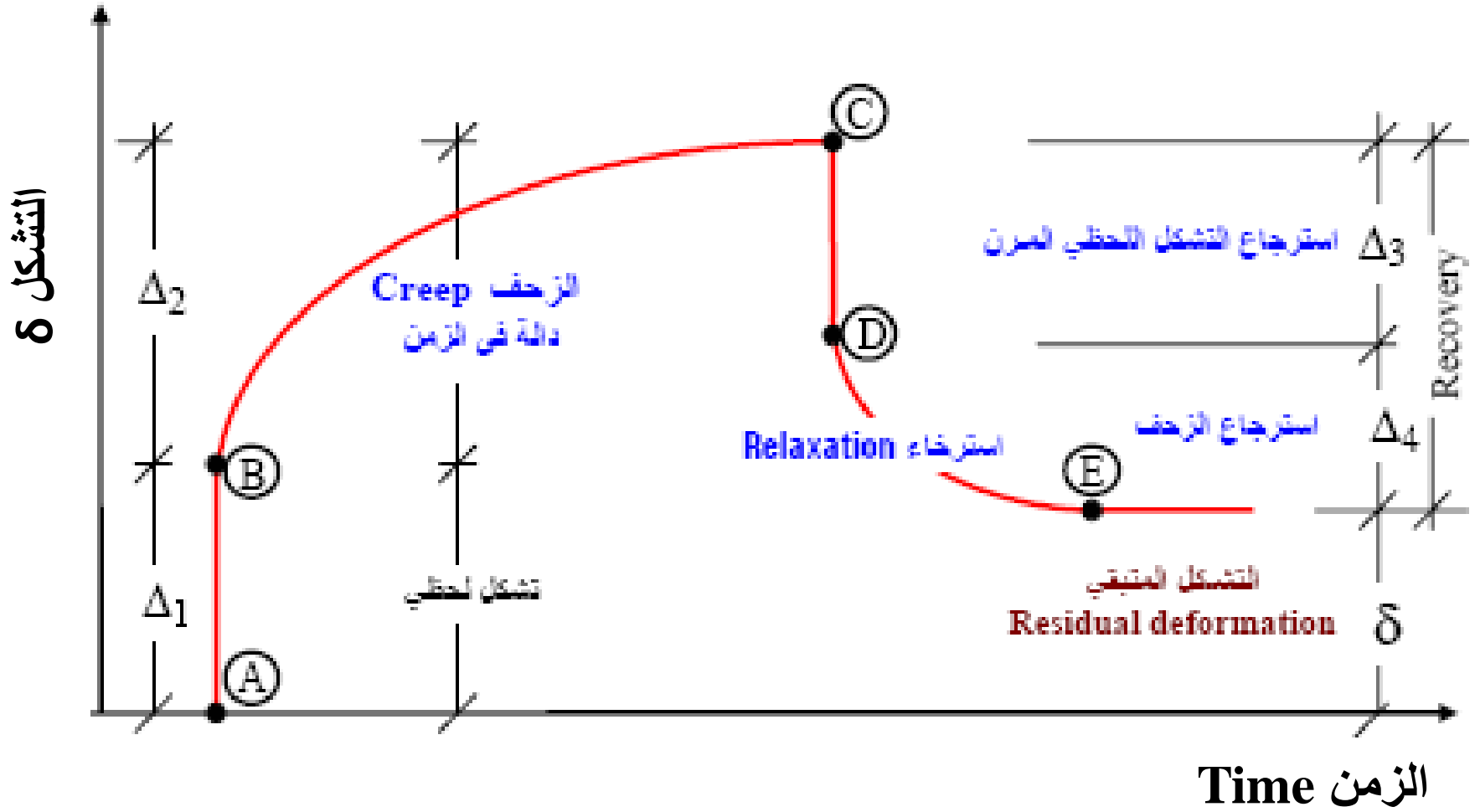
$$\text{Moisture Movement \%} = \frac{L_4 - L_3}{L_3} \times 100$$



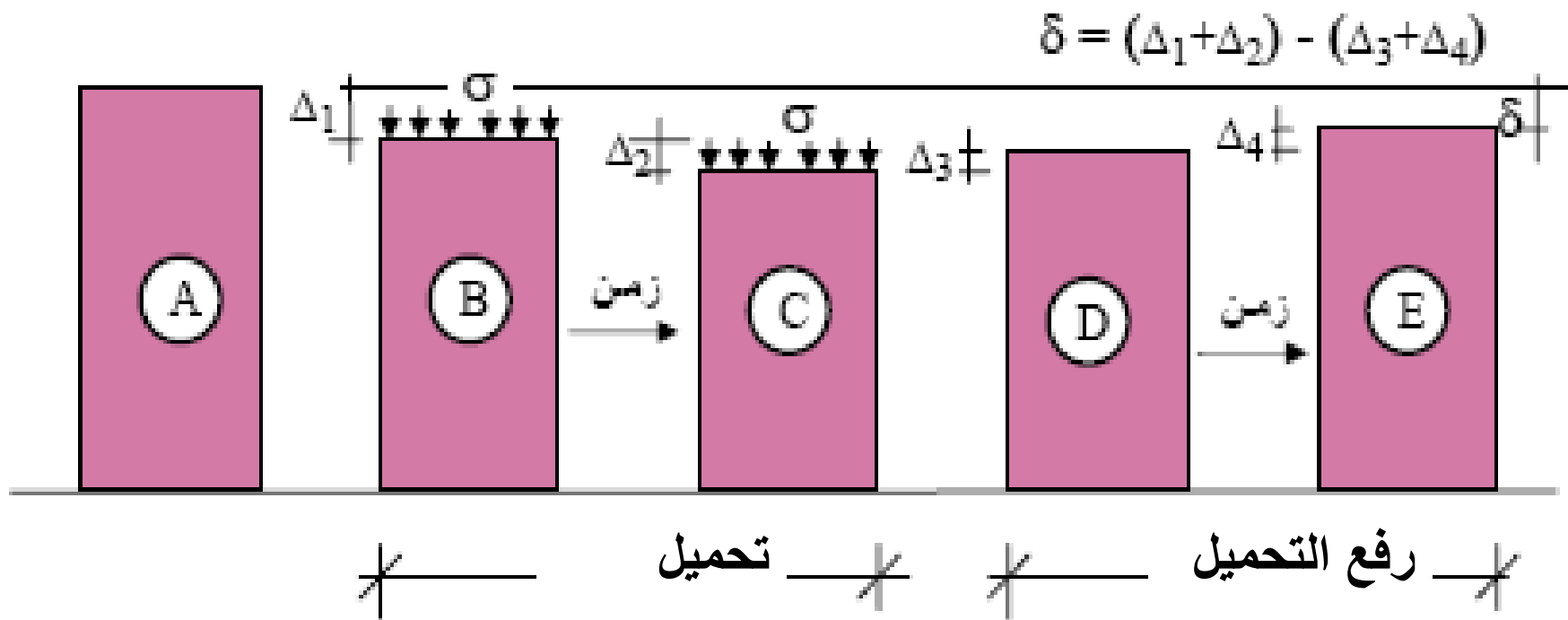
شكل (٥) جهاز قياس التمدد والإنكماش

التعريف

هو الإنفعال غير المرن الذي يحدث مع مرور الزمن تحت تأثير إجهاد ثابت. أي أن الزحف يعتمد على الزمن Time-dependent وقد تصل قيمته إلى عدة أضعاف قيمة الإنفعالات اللحظية التي تحدث نتيجة أحمال التشغيل. الشكل (٦) يبين ميكانيكية حدوث الزحف.



شكل (٦) ميكانيكية حدوث الزحف



شكل (٦) ميكانيكية حدوث الزحف

□ وقيمة الإنفعال الناتج من الزحف للخرسانة تتراوح من 10×10^{-6} إلى 20×10^{-6} وذلك لكل ١ كج/سم^٢ إجهاد. ويمكن أخذ قيمة متوسطة للزحف الكلى للخرسانة على أساس ٠,٠١ مم لكل متر لكل واحد كج/سم^٢ إجهاد. أى أن عضواً طوله ١ متر إذا تعرض لإجهاد ثابت مقداره ٣٠٠ كج/سم^٢ فإنه يحدث له تشكل مقداره ٣مم نتيجة الزحف. ومن العوامل التي تؤثر على قيمة الزحف نوع الأسمنت المستخدم ومقاومة الخرسانة ونسبة الماء إلى الأسمنت في الخلطة وكذلك الوقت الذي تم فيه أول تحميل للخرسانة وخواص المقطع الخرساني وقيمة الرطوبة النسبية للجو المحيط بالمنشأ. وبصفة عامة فإن قيمة الزحف تقل كلما زادت مقاومة الخرسانة، وقد وجد أن قيمة الزحف لخرسانة ذات مقاومة للضغط ٢٠٠ كج/سم^٢ يقدر بحوالى 18×10^{-6} لكل كج/سم^٢ إجهاد، فى حين كانت قيمة الزحف المناظرة لخرسانة ذات مقاومة ٦٠٠ كج/سم^٢ هى 5×10^{-6} فقط.

□ يستمر الزحف مع الوقت في الأعضاء المعرضة لأحمال ثابتة لسنوات عديدة ولكن معدل زيادة إنفعالات الزحف يقل حتى يصبح ضئيلاً يمكن إهماله. وبالتقريب فإننا يمكننا أن نقول أن ربع قيمة الزحف الكلية تحدث في أول شهر وأن نصف قيمة الزحف الكلية تحدث في أول سنة. وأن قيمة الزحف بعد حوالي سبعة سنوات يزيد عن قيمة الزحف بعد عام بحوالي ٣٠% فقط. وتجدر الإشارة أن قيمة الزحف النهائي في الشد تساوي تقريباً القيمة في الضغط إلا أن معدل حدوث الزحف في الشد يكون أسرع نسبياً من معدل حدوثه في الضغط.

حساب قيمة الزحف

- يمكن حساب القيمة الكلية للإفعال الناتج عن أقصى زحف والإفعال اللحظي المرن من المعادلة الآتية:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_o (1 + \varphi) = f_o (1 + \varphi) / E_c$$

حيث:

ε_o	=	الإفعال اللحظي المرن الناتج عن التحميل الأولى ويساوى f_o / E_c
ε_t	=	الإفعال الكلي عند زمن t .
φ	=	معامل الزحف.
$\varphi \varepsilon_o$	=	إفعال الزحف.
f_o	=	إجهاد الخرسانة الابتدائي عند التحميل.
E_c	=	معايير مرونة الخرسانة عند عمر التحميل.

□ وتؤخذ قيم معامل الزحف ρ الإسترشادية من جدول (٢) وذلك بمعلومية الرطوبة النسبية للجو والبعد الإعتباري للقطاع B والعمر عند بدء التحميل.

جدول (٢) قيم إسترشادية لمعامل الزحف ρ

جو رطب (الرطوبة حوالي ٧٥%)			جو جاف (الرطوبة حوالي ٥٥%)			حالة الجو العمر المعتبر عنده التحميل
البعد الإعتباري للقطاع B - مم			البعد الإعتباري للقطاع B - مم			
$B \leq 200$	$600 > B > 200$	$B \geq 600$	$B \leq 200$	$600 > B > 200$	$B \geq 600$	
٢,٧٠	٢,٤٠	٢,١٠	٣,٨٠	٣,٢٠	٢,٩٠	٣ - ٧ أيام
٢,٢٠	٢,٠٠	١,٩٠	٣,٠٠	٢,٨٠	٢,٥٠	٧ - ٦٠ يوم
١,٤٠	١,٦٠	١,٧٠	١,٧٠	١,٩٠	٢,٠٠	أكثر من ٦٠ يوم

تأثير الزحف

لظاهرة الزحف فى الخرسانة تأثيرات ضارة وتأثيرات أخرى نافعة نوجزها فيما يلى:

التأثير الضار:

- ١- يزيد من قيمة الترخيم (Deflection) فى بعض الحالات.
- ٢- يعمل على توسيع الشروخ التى تنشأ من عوامل أخرى.
- ٣- زيادة الإنفعالات نتيجة الزحف قد يؤدى إلى تشريح الخرسانة.

ولكن بصفة عامة فإنه لا توجد حالات إنهيار نتيجة الزحف بمفرده ولكنه عامل مساعد على تصدع الخرسانة فى بعض الحالات.

التأثير النافع:

يؤدي الزحف إلى تقليل الإجهادات التي يسببها إنفعال شد ثابت مع الوقت (مثل الإنكماش) وبالتالي يتولد عندنا إجهاد شد صافي هو الفرق بين الإجهاد الأصلي وتأثير الزحف. وهذه الظاهرة تعرف بالإسترخاء Relaxation. ومما هو معروف أن الشروخ لا تتكون إلا إذا زاد إجهاد الشد الصافي عن مقاومة الخرسانة للشد.

مثال:

ما هي قيمة انفعال الزحف في عمود خرساني مصبوب حديثا تم تحميله بإجهاد مقداره ٢٠٠ كج/سم^٢ وذلك عند عمر ٧ أيام إذا كان البعد الإعتباري (B) لقطاعه = ٨٥ مم ومعايير مرونة الخرسانه بعد أسبوع = ١٨٠ طن/سم^٢. احسب كذلك الإنفعال الكلي الحادث في العمود.

الحل:

$$f_o = 200 \text{ Kg/cm}^2 \quad E_c = 180 \text{ t/cm}^2$$

From Table, B = 85mm < 200mm & جو جاف → $\varphi = 3.8$

$$\varepsilon_o = f_o / E_c = 200 / 180000 = 1.11 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{cr} = \varphi \cdot \varepsilon_o = (3.8) (1.11 \times 10^{-3}) = 4.22 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_t = \varepsilon_o + \varepsilon_{cr} = 1.11 \times 10^{-3} + 4.22 \times 10^{-3} = 5.33 \times 10^{-3}$$