الإنكماش و الزحف

Shrinkage & Creep

١- الإنكماش Shrinkage

التعريف

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

أ ـ المعالجة الصحيحة والمبكرة للخرسانة Effective Curing

ب- عمل وصلات حركة Movement Joints

ج- وضع أسياخ تسليح لمقاومة الإنكماش Shrinkage Reinforcements

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- الإتحاد الكيميائى 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 هى:

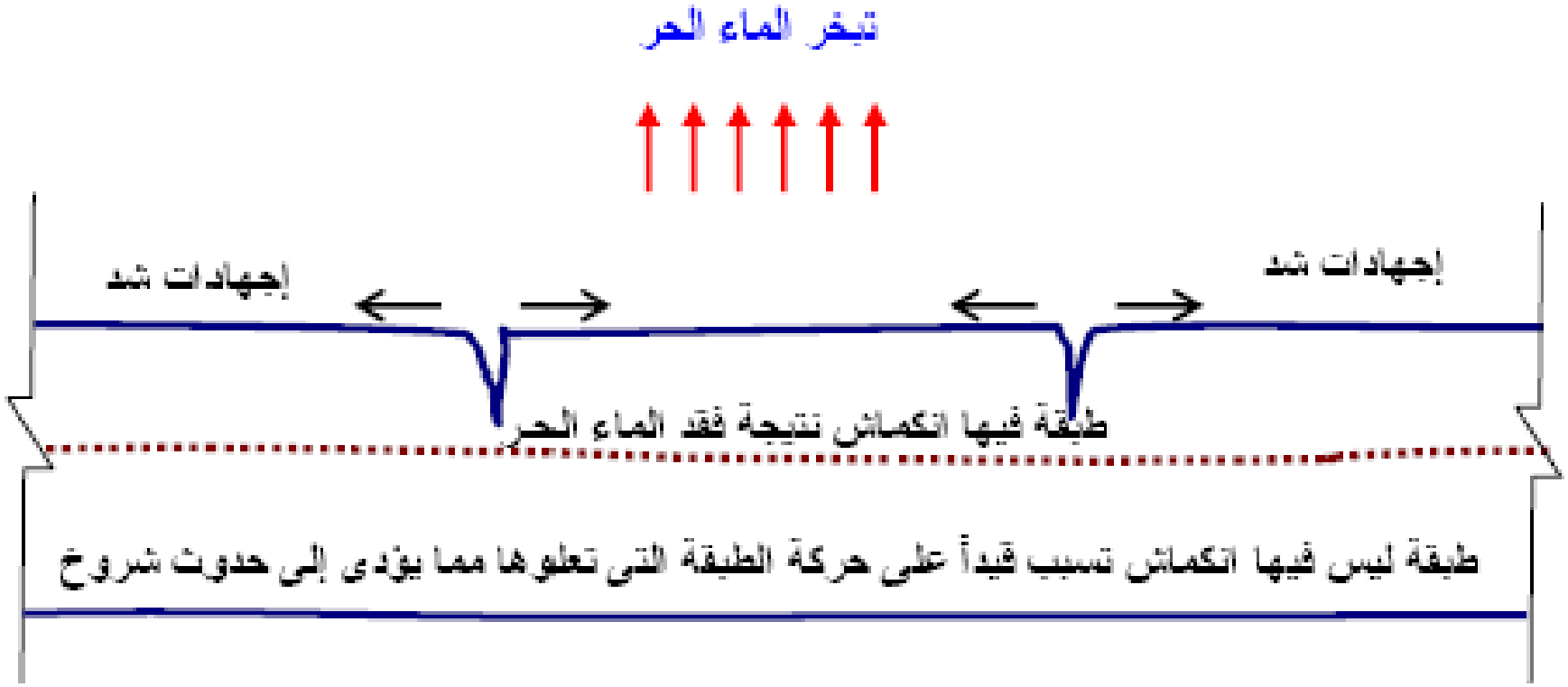
أ- الانكماش اللدن Plastic Shrinkage

ب- الإنكماش الذاتى Autogenous Shrinkage

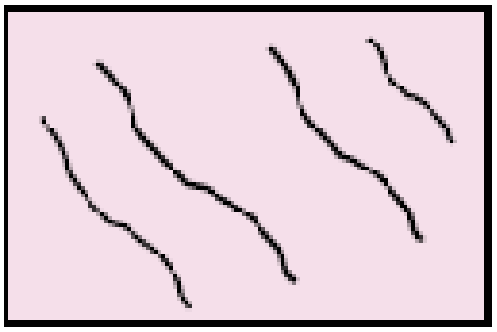
ج- الإنكماش بالجفاف Drying Shrinkage

أولا: الإنكماش اللدن Plastic Shrinkage

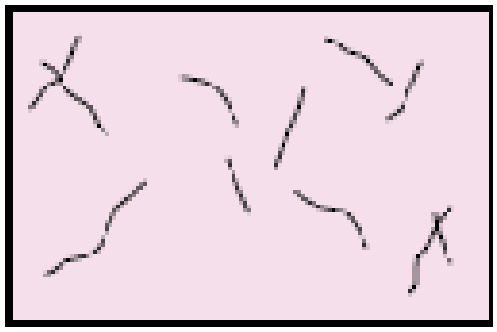
يحدث الانكماش اللدن قبل تصلد الخرسانة خلال بضعة ساعات من صب الخرسانة وسببه هو فقد الماء الحر من الخلطة وهبوط الأجزاء الصلبة (الركام) إلى أسفل مما يؤدى إلى صعود الماء إلى أعلى وتبخره. فعندما يكون معدل تبخر الماء من سطح الخرسانة أسرع من معدل الإدماء (نزوح الماء إلى سطح الخرسانة) يحدث الإنكماش اللدن كما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



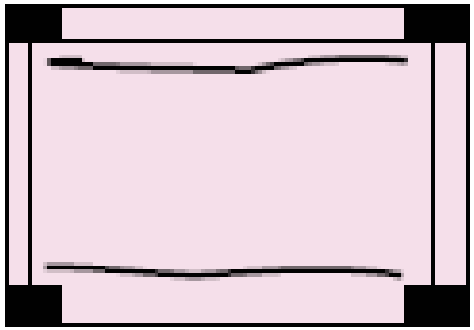
شكل (١) ميكانيكية حدوث الإنكماش اللدن



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



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



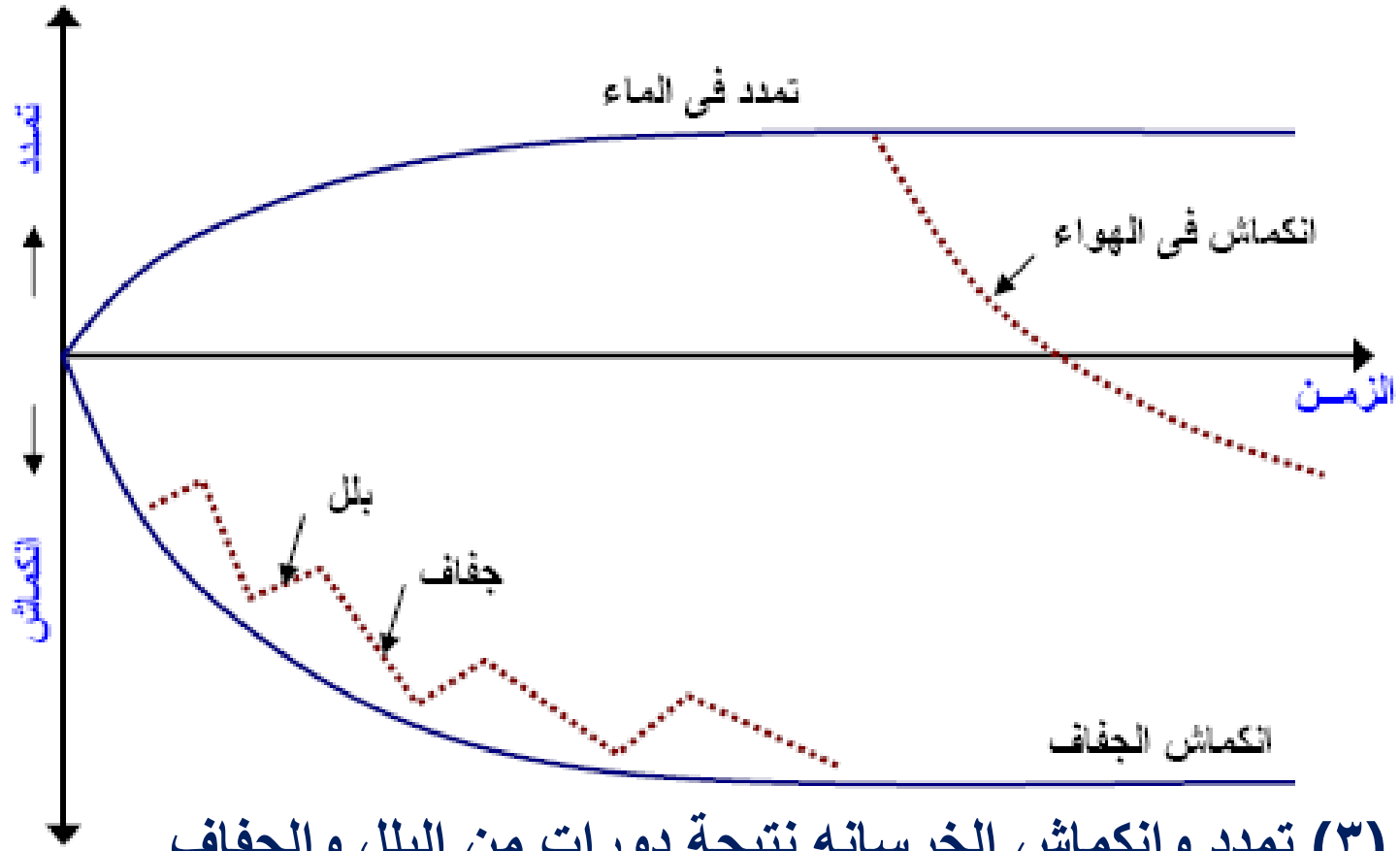
شروخ تتبع شكل توزيع حديد التسليح أو التغير في عمق القطاع الخرساني.

شكل (٢) أشكال الإنكماش اللدن

ثانيا: الإنكماش الذاتي Autogenous Shrinkage

عندما تبدأ عملية الإماهة Hydration بين الأسمنت والماء يحدث نقص فى حجم المونة لأن عندما تبدأ عملية الإماهة المونة المتصلدة حجمها أقل من مجموع حجمى الماء والأسمنت فى الخلطة مما يؤدى 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 الداخل فى التفاعل يتم إستعاضته من الماء الخارجى وتمتص العجينة الأسمنتية ماءً زائداً مما يؤدى إلى زيادة طفيفة فى حجم الخرسانة وليس إنكماشاً كما فى شكل (٣). أما الخرسانة التى تعالج فى الهواء أو تترك بدون معالجة فلايتم إستعاضة الماء الداخل فى التفاعل ولكن على العكس يُسحب الماء من العجينة المتصلدة ويحدث إنكماشاً إضافياً هو إنكماش الجفاف.

والإنكماش الذاتى يتأثر بعدة عوامل منها: التركيب الكيميائى للأسمنت - كمية الماء فى الخلطة ودرجة الحرارة وقد تصل قيمة الإنكماش الذاتى إلى ١٠٠x١٠-٦ (٠,١ مم لكل متر) ويحدث ٧٥% من فى الشهور الثلاثة الأولى من عمر الخرسانة.



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

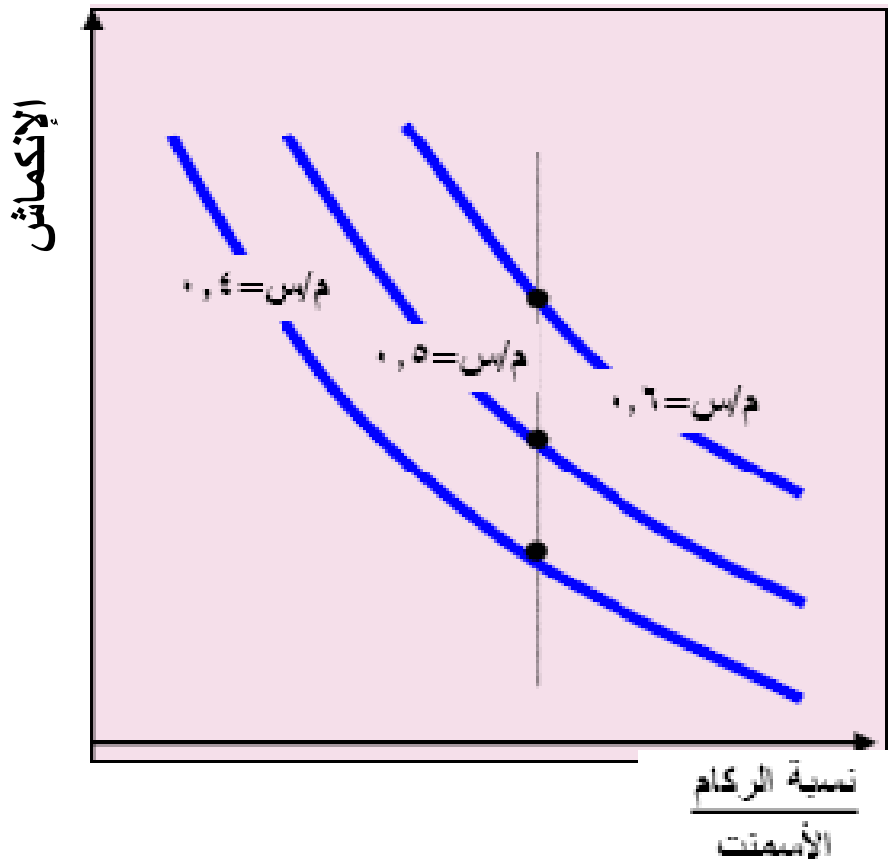
ثالثا: إنكماش الجفاف Drying Shrinkage

عندما تتعرض الخرسانة المتصلدة - المعالجة فى الماء -للجفاف فإنها تفقد أولاً الماء الموجود فى الفجوات والشقوق الشعرية الداخلية ولا تبدأ فى الإنكماش إلا إذا إستمر الجفاف بحيث تفقد الماء الموجود بالعجينة المتصلدة ذاتها وهو ما يعرف بالإنكماش نتيجة الجفاف وقد تصل قيمة هذا الإنكماش إلى ١٥٠٠x١٠-٦ ومن أهم وظائف الركام فى الخلطة تقليل إنكماش مونة الأسمنت. والإنكماش بالجفاف يبدأ بمعدلات عالية ويستمر لمدة طويلة ولكن بمعدل يتناقص بإستمرار. ويمكن إفتراض أن نصف الانكماش الكلى نتيجة الجفاف يحدث فى السنة الأولى.

العوامل التي تؤثر على إنكماش الجفاف

١- مكونات الخلطه

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 فى الخلطة.

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

٢- معالجة الخرسانه

تعمل معالجة الخرسانة على تقليل الفاقد الحرارى وبالتالى تقليل فروق الحرارة فى الأعضاء الخرسانيه الضخمة كما أنها فى نفس الوقت تقلل الفاقد من ماء الخرسانة وبالتالى تبطئ من معدل الإنكماش فى فترة المعالجة مما يقلل من إحتمالات 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 رفيعة الإحتفاظ بها. وبالتالى يكون تأثير الإنكماش كبيراً وخطيراً فى حالة البلاطات وخاصة الرقيقة منها. ويمكن التعبير عن حجم العضو الخرسانى 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 الخرسانى - مم^2

P_c = محيط المقطع الخرسانى المعرض للجفاف - مم

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

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

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

٤- درجة الحراره والرطوبه

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

٥- التسليح

تنكمش الخرسانة المسلحة بدرجة أقل من إنكماش الخرسانة العادية نظراً لأن صلب التسليح يسبب قيداً 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 والرطوبه
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.

أولا: إختبار الإنكماش بالجفاف Drying Shrinkage

١- طريقة إجراء هذا الإختبار هى أنه بعد رفع العينة من الماء (سواء كانت تعالج فى الماء بعد صبها أو كانت موضوعة فى الماء للتشبع بعد قطعها من الخرسانة ناضجة التصلد) يقاس طولها مباشرة بين الكرتين الصلب المثبتتين فى 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.

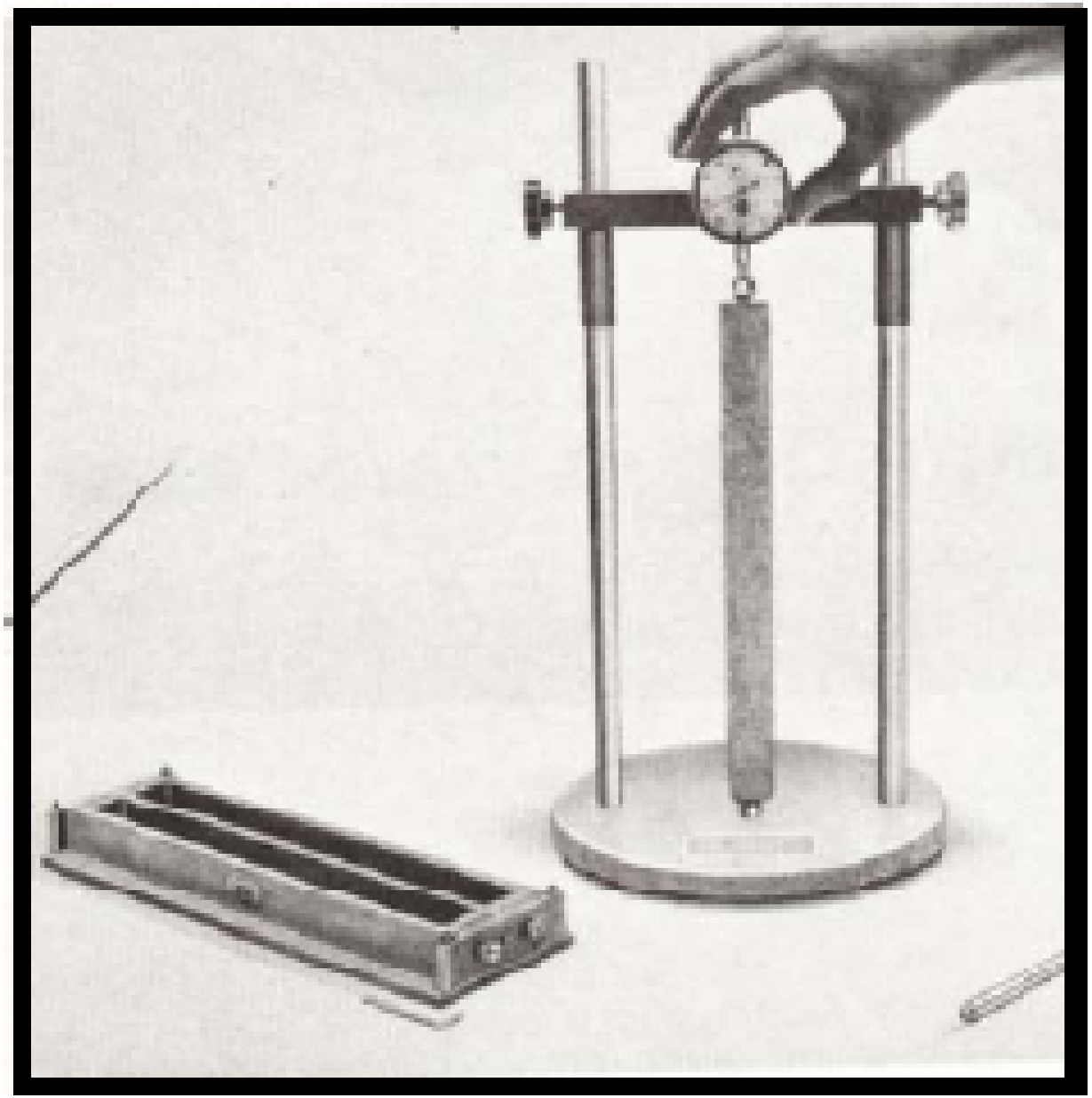
٣- يحسب انكماش الجفاف الأولى أو إنكماش الجفاف كنسبة مئوية كما يلى:

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

ثانيا: إختبار التمدد بالرطوبه Moisture Movement

١- تجفف العينة الخرسانية بنفس طريقة إختبار الإنكماش السابق ذكرها ويعين طولها الجاف الثابت وليكن L_3. تغمر العينة فى ماء درجة حرارته من ١٥- ٢٠ م° بشرط أن يكون أحد الأوجه الكبيرة للعينة ظاهر تماما 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 يلى:

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

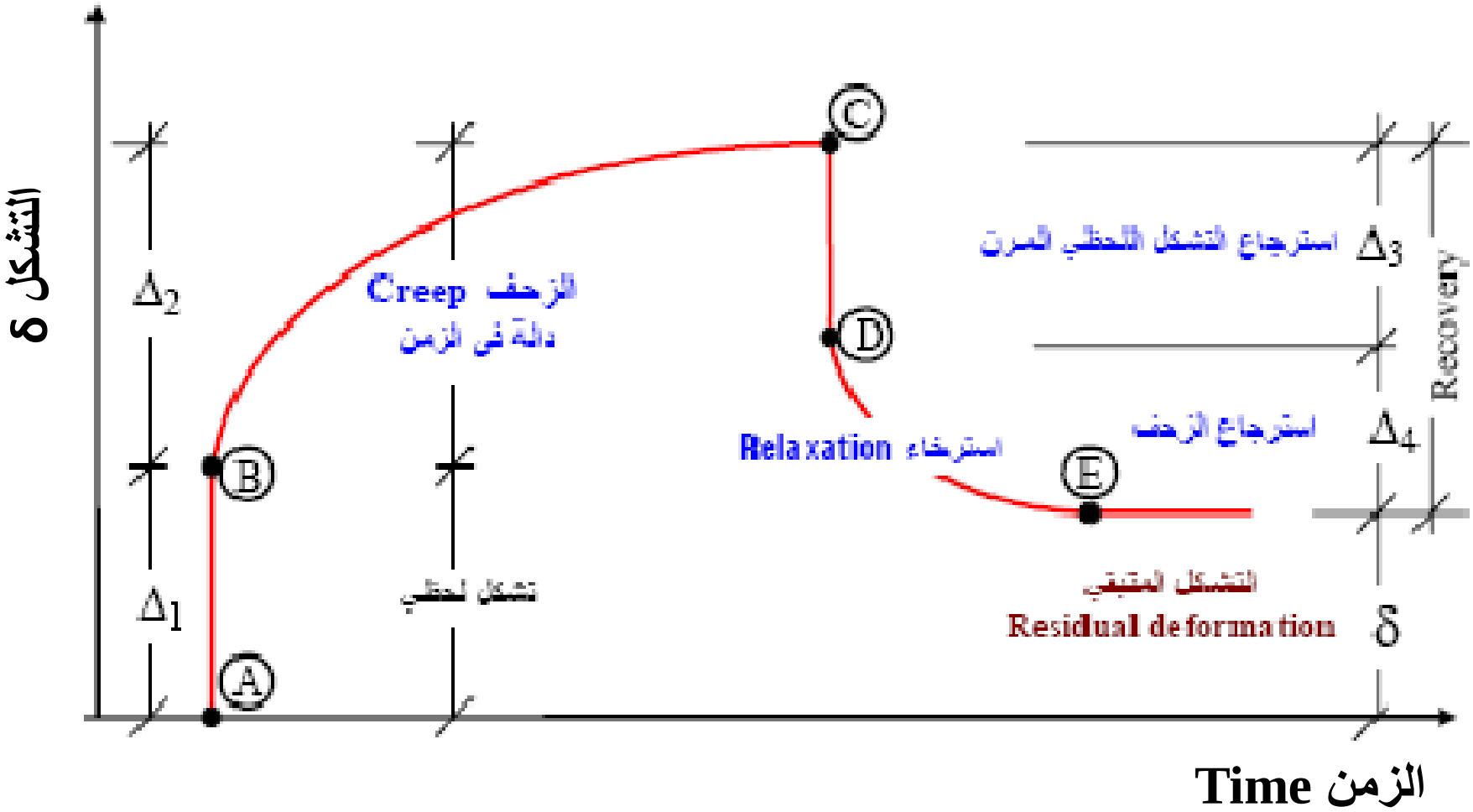


شكل (٥) جهاز قياس التمدد والإنكماش

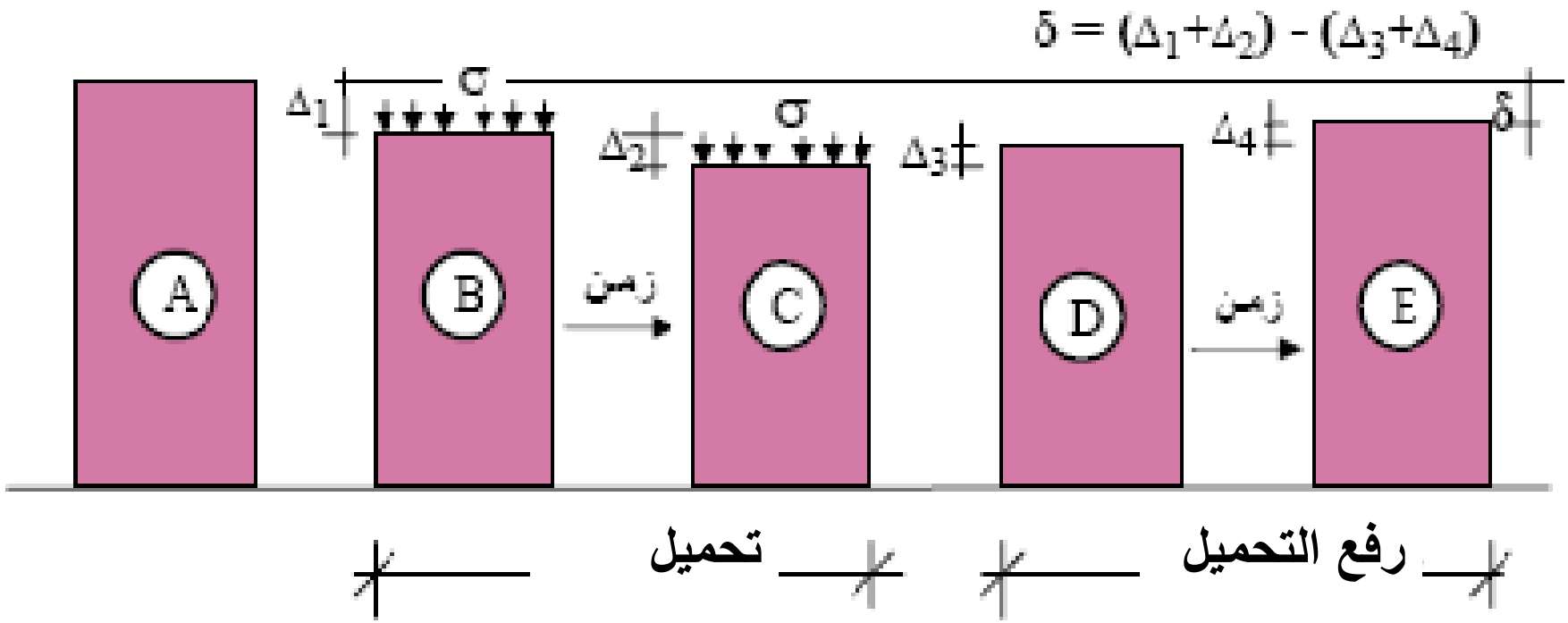
٢- الزحف Creep

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 اللحظيه 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 ٥x١٠-٦ إلى ٢٠x١٠-٦ وذلك لكل ١ كج/سم٢ إجهاد. ويمكن أخذ قيمة متوسطة للزحف الكلى للخرسانة على أساس ٠,٠١ مم لكل متر لكل واحد كج/سم٢ إجهاد. أى أن عضواً طوله ١ متر إذا تعرض لإجهاد ثابت مقداره ٣٠٠ كج/سم٢ فإنه يحدث له تشكل مقداره ٣مم نتيجة الزحف. ومن العوامل التى تؤثر على قيمة الزحف نوع الأسمنت المستخدم ومقاومة الخرسانة ونسبة الماء إلى الأسمنت فى الخلطة وكذلك الوقت الذى تم فيه أول تحميل للخرسانة وخواص المقطع الخرسانى 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/سم٢ يقدر بحوالى ١٨x١٠-٦ لكل ١كج/سم٢ إجهاد، فى حين كانت قيمة الزحف المناظرة لخرسانة ذات مقاومة ٦٠٠ كج/سم٢ هى ٥x١٠-٦ فقط.

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

حساب قيمة الزحف

- يمكن حساب القيمة الكلية للإنفعال الناتج عن أقصى زحف والإنفعال اللحظى المرن من المعادلة الآتية:

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

حيث:

ε_o = الإنفعال اللحظى المرن الناتج عن التحميل الأولى ويساوى $\mathbf{f_o / E_c}$

ε_t = الإنفعال الكلى عند زمن t.

φ = معامل الزحف.

$\varphi\ \varepsilon_o$ = إنفعال الزحف.

f_o = إجهاد الخرسانة الإبتدائى عند التحميل.

E_c = معاير مرونة الخرسانة عند عمر التحميل.

❑ وتؤخذ قيم معامل الزحف φ الإسترشادية من جدول (٢) وذلك بمعلومية الرطوبة النسبية للجو والبعد الإعتبارى للقطاع B والعمر عند بدء التحميل.

جدول (٢) قيم إسترشاديه لمعامل الزحف φ

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

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 تشريخ الخرسانة.

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

التأثير النافع:

يؤدى الزحف إلى تقليل الإجهادات التى يسببها إنفعال شد ثابت مع الوقت (مثل الإنكماش) وبالتالى يتولد عندنا إجهاد شد صافى هو الفرق بين الإجهاد الأصلى وتأثير الزحف. وهذه الظاهرة تعرف بالإسترخاء Relaxation. ومما هو معروف أن الشروخ لا تتكون إلا إذا زاد إجهاد الشد الصافى 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 = ٨٥مم ومعاير مرونة الخرسانه بعد أسبوع = ١٨٠ طن/سم^{٢}. احسب كذلك الإنفعال الكلي الحادث في العمود.

الحل:

$f_o = 200\ Kg/cm^2$ $E_c = 180\ t/cm^2$

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

$$\varepsilon_o = f_o / Ec = 200/180000 = 1.11x10^{-3}$$

$$\varepsilon_{cr} = \varphi \cdot \varepsilon_o = (3.8)\ (1.11x10^{-3}) = 4.22x\ 10^{-3}$$

$$\varepsilon_t = \varepsilon_o + \varepsilon_{cr} = 1.11x10^{-3} + 4.22x\ 10^{-3} = 5.3^{3}x\ 10^{-3}$$