

# الفصل التاسع

المرونة ، الانكماش ، الزحف والحركة الحرارية

Elasticity, shrinkage, creep and  
thermal movement

بالرغم من ان التصرف المرن والتشوه للخرسانه معروف منذ وقت ليس بالقصير الا انه فقط حديثا نسبيا تم تميز اهمية الزحف (creep) وانكمash الجفاف (drying shrinkage) ان ذلك كان في بداية القرن العشرين عندما وجد العالم (Hatt, 1907) للاول مرة زيادة الانحناء الا مرن للعتبات الخرسانيه المسلمه تحت الحمل المستمر (sustained load) . منذ ذلك الوقت تم نشر مئات البحوث والدراسات التصميميه التي تتعامل مع الموضوع مثل (ACI, 1973 ، BS 1881:part2, 1985 ، CEB- (RILEM, 1995) و (FIP, 1990

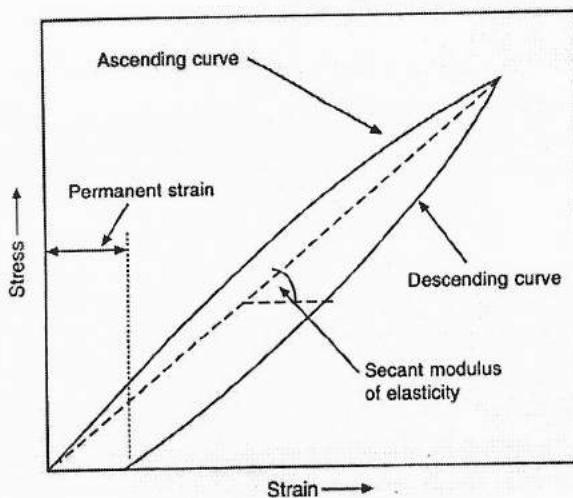
عندما تخضع الخرسانه الى اجهاد خارجي ، يكون هنالك انفعال اولي (مرن elastic) متبع بزيادة بطئه معتمد على الزمن (الزحف creep) . توجد انفعالات اخري لحركة الرطوبه المعتمد على الزمن التي لا يرافقها اجهاد خارجي . على سبيل المثال ، انكمash الجفاف يحدث في اغلب العناصر الانشائيه المخزونه عند حراره ورطوبه نسبيه اعتياديتن . لحساب التشوه (deformation) والانحناء (deflection) للعناصر الانشائيه لكي يتم تدقيق خدمية (serviceability) هذه العناصر ، فاننا نحتاج لمعرفة العلاقة بين الاجهاد والانفعال . انحناء الامد الطويل الكبير او التشقق العائد الى اجهاد الشد المسبب يجب تلافيه لكي نؤمن ديمومه مناسبه .

بالرغم من ان هذه الفصل يركز على الزحف وانكمash الجفاف ، توجد انواع اخري من الحركه التي تشارك بالتشوه الكلي او الاجهاد المسبب بواسطه التقيد للحركه . الحركه الحراريه ( thermal movement ) يمكن ان تكون مهمه ومتميزه على اساس يومي او فصلي . انها مساويه لنتائج معامل التمدد الحراري (coefficient of thermal expansion) الذي يكون تقريبا  $(\times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C})$  والتغير في الحرارة  $\Delta$   $(^\circ\text{C})$  . الانكمash الذاتي (autogenous shrinkage) يكون صغير في الخرسانه ذات المقاومه الاعتياديه لكن ليس الخرسانه ذات المقاومه العاليه او الخرسانه عاليه الاداء (high-performance concrete) . الانتفاخ (swelling) يحتضر للخرسانه المشبعة ويمكن ان يكون مهم للخرسانه الخفيفه الوزن .

## 2.9 المرونه Elasticity

تعريف المرونه الصافيه (pure elasticity) هي ان الانفعالات تظهر وتختفي حالا عند تطبيق وازلة الحمل . مثال على المواد التي تتصرف بهذه الطريقة الحديد (خطي) والخشب (لا خطي) . مواد اخري تتصرف بطريقة لا مرنة مثل الزجاج (مرن) والخرسانه (لا مرنة) . يجب التاكيد ان الخرسانه تتصرف بهذه الطريقة عندما تكون حديثة الصب او يتم تحملها في الاوقات الاولى المبكرة . كما بيده في الشكل (1.9) ، يتوج طرق ممكنه للحصول على معامل المرونه (modulus of elasticity) . شكل منحنى الاجهاد - الانفعال يعتمد لبعض المدى على سرعة تطبيق الاجهاد ، حيث ان تطبيق الاجهاد بسرعه يقل الانحناء (curvature) الانحراف عن الخطيه يعود ايضا الى التشققات الشعريه عند السطح البيين للرکام وعجينة الاسمنت (المنطقه العازله transition zone) . بسبب هذه التاثيرات ، فان التمييز بين المرونه والزحف لا يمكن تحديدها بوضوح والاغراض العمليه فان التشوه اثناء تطبيق الحمل يعتبر تشوه مرن

والزيادة اللاحقة في التشوه تعتبر زحفاً . ميل منحنى الاجهاد - الانفعال المعتبر يكون معامل القاطع للمرنة ( Secant modulus of elasticity)



الشكل (1.9) منحني الاجهاد – الانفعال المبكر للخرسانه المحمله مبكرا

تقدير التشوه الكلي في الحسابات التصميمية ، فان المعامل المرن الساكن ( static modulus of elasticity ) يستعمل غالبا كتقريب لمعامل القاطع ، وطريقة تحديده موصوفه في المواصفه البريطانيه (BS 1881:part121, 1983) . هذا ، تاثيرات الزحف يتم تقليلها عن طريق التحميل ثلاث مرات ، المعامل الساكن يتم تحديده من منحنى الاجهاد – الانفعال اللاخطي . بصورة عامة ، كل ما كانت الخرسانه اقوى كلما كان معامل المرونه الساكن اعظم . على ايٰت حال ، يكون من المعتاد تقدير معامل المرون من واحد من عدد العلاقات التجربية بين معامل المرونه الساكن (Ec in GPa) ومقاومة الانضغاط ( $f_{cu}$  in MPa) كما هو في المواصفه البريطانيه (BS 8110:part2, 1985) للخرسانه الاعتيادية التي كثافتها ( $2400 \text{ kg / m}^3$ ) حيث

$$E_c = 9.1 f_{cu}^{0.33} \quad (9.1)$$

والخرسانه الخفيفه الوزن التي كثافتها ( $\rho$ ) بين (1400-2400 kg/m<sup>3</sup>) فان

$$E_c = 1.7 \rho^2 f_{cu}^{0.33} \times 10^{-6} \quad (9.2)$$

بعض البلدان تستعمل علاقات مختلفة حيث يتم استعمال مقاومة الاسطوانه بدلاً من المكعب ، وان مقاومة الاسطوانه لخرسانة المقاومه الاعتياديّه تكون  $(0.8 * \text{cube strength})$  .

لتقدير الانفعالات عند الاجهادات الواطئه جدا ، يتم استعمال معامل المرونه الديناميكي كما هو محدد في المواصفه البريطانيه (BS 1881:part5, 1970) . المعلم الديناميكي يطابق معامل المساس الابتدائي في الشكل (1.9).

الانكمash هو خاصيه من خواص الخرسانه التي تتصلب في الهواء ، كما ان الانكمash لا يسبب مشاكل الخرسانه الا اذا كان هناك تقييد للحركه حيث تحدث عند اذ اجهادات شد داخل الخرسانه مما يؤدي الى تششقها . يمكن تقليل تاثير الانكمash عن طريق :

- المعلجه المناسبه والمبكره للخرسانه
- عمل مفاصل تمديه
- استعمال حديد التسلیح لمقاومة الانكمash

ان اسباب حدوث الانكمash في الخرسانه يمكن تلخيصها كما يلي:-

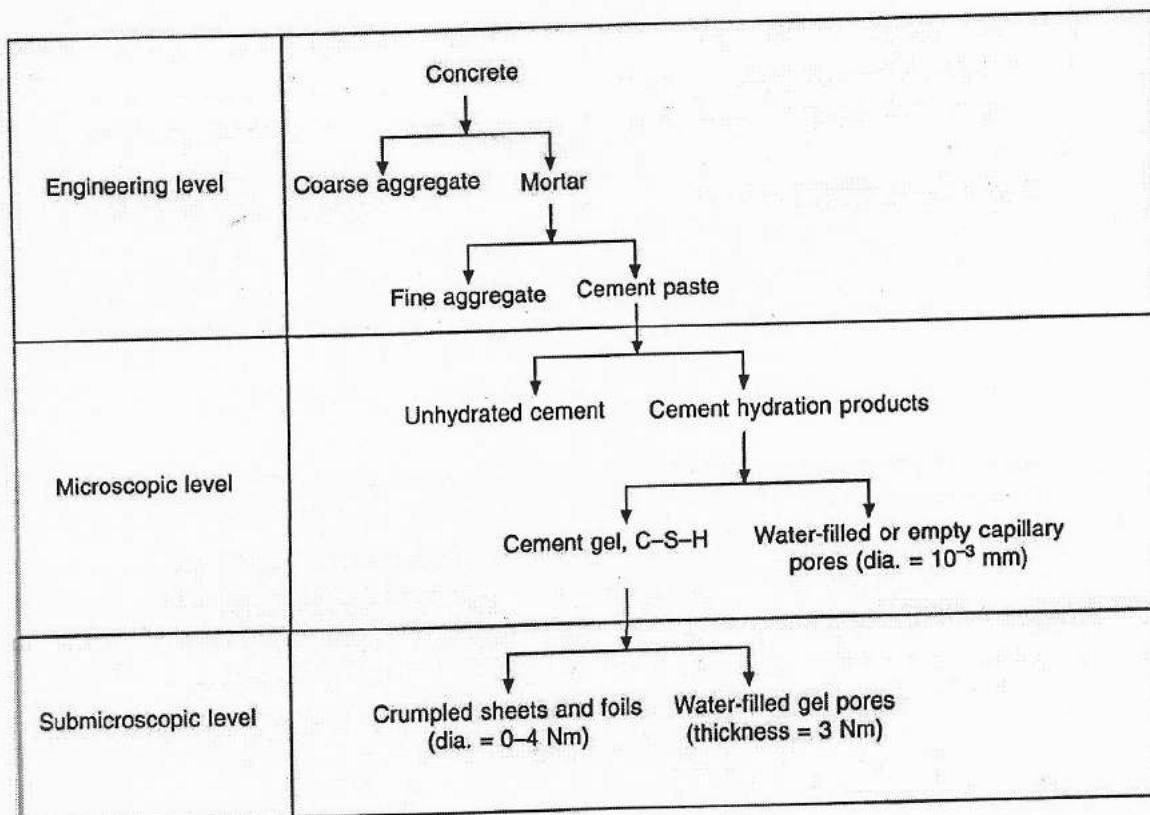
- هبوط الاجزاء الصلبه في الخلطه
- فقدان الماء الحر من الخرسانه الطريه وهذا يسبب ما يعرف بالانكمash اللدن (plastic shrinkage)
- الاتحاد الكميائي بين الاسمنت والماء بسبب حدوث الانكمash الذاتي (autogenous shrinkage)
- جفاف الخرسانه بسبب فقدان الماء الذي يسبب حدوث انكمash الجفاف (drying shrinkage)

### 1.3.9 تركيب عجينة الاسمنت Structure of cement paste

قبل مناقشة الانكمash ورصف ، يكون من المفيد مناقشة الصله الوثيقه لشكل تركيب الحركه على المدى البعيد ، خصوصا دور الماء . الشكل (2.9) يبين تركيب الخرسانه المشاهده عند المستوى الهندسي الى تركيب (C-S-H) عند المستوى المجهرى . الخرسانه توصف على انها مادة مركبه متعددة الاطوار (multi-phase) تتكون من جزيئات الركام الخشن المطموره في نسيج من العجينة ، وبدورها فان المونه تتكون من حبيبات الاسمنت غير المتميه المطموره في نسيج نواتج الاماهمه للاسمنت . هذه النواتج هي جل الاسمنت او (C-S-H) ، مع نظام مسامات شعرية مملؤه بالماء او فارغه . عند المستوى تحت المجهرى (submicroscopic) ، فان (C-S-H) تتكون من خليط من صفائح متتجده وطبقات رقيقة ، التي تكون نسيج متصل من الفجوات المملؤه بالماء (مسامات الجل) . صفائح (C-S-H) تملك سمك يبلغ حوالي (3Nm) ومسامات الجل تملك قطر يكون بين (0-4 Nm) ، التي تعني انه فقط جزيئات قليله من الماء يمكن ان تُمتص على السطح الصلب . مسامات الجل تشغل حوالي (28 %) من الحجم الكلي لجل الاسمنت او حجم (C-S-H) ، وهي اصغر بكثير من المسامات الشعرية التي قطرها (10<sup>-3</sup> mm) .

الماء يكون محمول في عجينة الاسمنت المتميه بادوار متغيرة . في احد هذه الادوار يوجد الماء الحر (free water) ، الذي يكون خارج نطاق القوى السطحية للعجينة ، بينما الدور الآخر للماء هو الماء المتهد كميائيا الذي يكون جزء ثابت من المركبات المتميه . بين هذه الدورين يوجد ماء الجل الذي يشمل الماء الممتز (adsorbed) الممسوك بواسطة القوى السطحية نوع (van der waals) لجزيئات

الجل ، الماء بين الطبقات (interlayer water) ، الذي يكون ممسوك (محمول) بين صفائح (C-S-H) والماء الشعري ، الشبكي ، الذي هو ماء التبلور غير المتحد كميائيا .



شكل (2.9) تركيب عجينة الاسمنه المتممه

الانواع المختلفه من الماء يكون من الصعب تحديدها كميأ وفي التطبيقات العمليه فان الماء يُقحـم الى الماء القابل للتـبـخـر (evaporable water) ، الذي يـحـدد عن طـرـيق الـفـقـدانـ بـالـلـوـزـنـ عن تسخين النموذج لـدـرـجـةـ حـرـارـهـ (105°C)ـ والمـاءـ غـيرـ القـابـلـ لـالتـبـخـرـ (non-evaporable water)ـ .ـ المـاءـ الاـخـيرـ يـسـتـنـتـجـ منـ مـحتـوىـ المـاءـ الاـصـلـيـ ،ـ لـكـنـ اـذـ كـانـ ذـلـكـ غـيرـ مـعـرـوفـ ،ـ فـيمـكـنـ تـحـدـيـدـهـ بـوـاسـطـةـ الـفـقـدانـ بـالـلـوـزـنـ عـنـ تـسـخـينـهـ بـدـرـجـةـ حـرـارـهـ مـقـدـارـهاـ (1000°C)ـ .ـ المـاءـ القـابـلـ لـالتـبـخـرـ يـشـمـلـ المـاءـ الحرـ وبـعـضـ المـاءـ المـمـتـزـ بـطـرـيقـهـ لـيـسـ قـويـهـ .ـ

### 2.3.9 آلية (ميكانزم) الانكماش Mechanism of shrinkage

في البيئة الجافه حيث يوجد تدرج في الرطوبه النسبيه بين الخرسانه والهواء المحيط بها ، الرطوبه (الماء) يتم فقدـهـ اوـلاـ منـ المسـامـاتـ الشـعـريـهـ الكـبـيرـهـ ولاـ يـحـدـثـ تـغـيـرـ حـجمـيـ اوـ انـكمـاشـ اوـ قدـ يـحـدـثـ قـليـلاـ .ـ علىـ اـيـهـ حالـ ،ـ انـ ذـلـكـ يـخـلـقـ تـدـرـجـ دـاخـلـيـ فيـ الرـطـوبـهـ إـلـىـ حدـ اـنـهـ لـلـمـحـافـظـهـ عـلـىـ التـواـزنـ الرـطـوبـيـ فـانـ المـاءـ المـمـتـزـ يـنـتـقـلـ مـنـ مـسـامـاتـ الجـلـ وـبـالـمـقـابـلـ ،ـ المـاءـ بـيـنـ الطـبـقـاتـ ،ـ رـبـماـ يـنـتـقـلـ إـلـىـ مـسـامـاتـ الـأـكـبـرـ .ـ هـذـهـ الـعـلـمـيـةـ يـنـتـجـ عـنـهـ تـقـلـصـ فـيـ حـجـمـ (C-S-H)ـ المـسـبـبـ بـوـاسـطـةـ ضـغـطـ التـواـزنـ الذـيـ يـحـدـثـ فـيـ الـهـيـكلـ الـصـلـبـ لـ (C-S-H)ـ بـوـاسـطـةـ الشـدـ السـطـحـيـ الذـيـ يـحـدـثـ بـسـبـبـ زـيـادـهـ تـقوـسـ مـسـامـاتـ الشـعـريـهـ الـهـلـالـيـهـ .ـ انـ ذـلـكـ يـعـرـفـ بـنـظـرـيـهـ الشـدـ الشـعـريـ .ـ عـنـ الرـطـوبـهـ النـسـبـيـهـ الـأـوـطاـ ،ـ فـانـ التـغـيـرـ فـيـ الطـاقـهـ السـطـحـيـهـ لـ (C-S-H)ـ عـنـدـماـ جـزـيـئـاتـ المـاءـ المـمـتـزـ الـمـحـاجـزـهـ يـتـمـ اـزـلـتـهاـ حـيـثـ يـعـتـقـدـ اـنـهـ الـمـسـؤـلـهـ عـنـ التـقـلـصـ فـيـ

الحجم او حدوث الانكمash . نظرية اخري هي نظرية ضغط التفكك او الفصل (disjoining pressure) ، التي تحدث في مساحات الامتاز المقيـد أي بين الطبقات ؛ ان ازالة هذا الماء يسبب تقلص (انخفاض) في الضغط ولذلك يحدث تقلص في الحجم .

النظريات السابقة المطبقة حيث ان السلوك القابل للاستعادة والانكمash لا يكون قابلاً للاستعادة بصورة تامة ، من المحتمل بسبب الروابط الاضافية المتكون اثناء عملية الجفاف . اكثر من ذلك ، فان انكمash الكربنه يمكن ان يحدث والذي يمنع دخول الماء عند اعادة الرش او اعادة البلا (re-wetting) .

هذا الفصل له علاقه بصورة رئيسية بانكمash الجفاف (drying shrinkage) ، اي ، الانكمash الناتج من فقدان الماء من الخرسانه الى البيئه الخارجيه . يجب التذكير بان الانكمash اللدن (plastic shrinkage) يحدث قبل التجمد (setting) ويمكن منعه بالاغماء او منع التجمد بعد الصب . مثل انكمash الجفاف ، فان الانكمash الذاتي (autojenous shrinkage) يحدث بعد التجمد ان ذلك يحدث في الخرسانه المختومه (sealed concrete) وسببه هو استهلاك الماء عن طريق اماهه الاسمنت ، حيث النواتج تشـغل حجم اقل من حجم مجموع الماء الاصلي والاسمنت غير المتميء . في خرسانه المقاومه الاعتياديـه ، فان الانكمash الذاتي يكون صغير اقل من ( $10 \times 10^{-6}$ ) ويكون ضمن انكمash الجفاف . من ناحية اخري ، فانه في الخرسانه العالية الاداء او الخرسانه العالية المقلمه المصنوعه بنسبة ماء / مواد رابطه واطئه ، فان الانكمash الذاتي يمكن ان يتتجاوز انكمash الجفاف . في الوقت الحاضر فـان المواصفـات التصميمـة لا توفر طرق لتـخمين الانكمash الذاتي .

### 3.3.9 قياس الانكمash Measurement of shrinkage

انكمash الخرسانه يقاس عادتاً في نفس وقت قياس الزحف وذلك باستعمال نماذج سيطره مماثله . انه يُسجل على انه تقلص خطـي (linear contraction) بسبب ان الانكمash الحجمـي الحقيقي يكون تقريباً ثلاثة مرات بقدر الانكمash الخطـي . النماذج يمكن ختمها (sealed) بسرعه لتحديد الانكمash الذاتي ، انكمash الجفاف ، او ختمها جزئياً لمحاكاتـ (simulation) تأثير حجمـ العضـو الانـثـائي .

### 4.3.9 العوامل المؤثـرة على الانكمash Factors in shrinkage

انكمash الخرسانه يتـأثر بـعـوـاـملـ عـدـةـ ، اـهـمـهـ الرـكـامـ الذـيـ يـعـيـقـ (يـقـيـدـ) انـكمـاشـ عـجـينـةـ الاسـمـنـتـ المتـصلـبـهـ . التـأـيـرـ يـقـاسـ كـمـاـ يـليـ:-

$$S_c = S_p [1-a]^n \quad (9.3)$$

حيث

$S_c$  = shrinkage of concrete

$S_p$  = shrinkage of cement paste

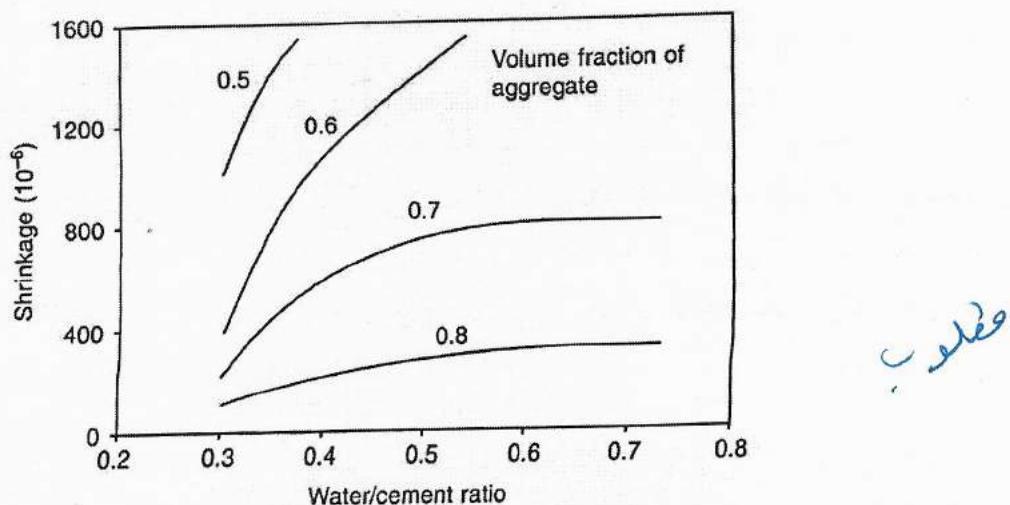
$a$  = aggregate volumetric contnt ( fine + coarse)

$n = \text{constant for mixes of constant w/c - ratio} = 2E_a + [E_a + E_c]$ .  $E_a = \text{elastic modulus of the aggregate}$  and  $E_c = \text{elastic modulus of the concrete}$

المعادله (3.9) تشير الى انه كلما كان حجم الركام اعظم ، كلما كان الانكمash اوطا . على سبيل المثال ، زيادة محتوى الركام من (71% الى 74%) سوف يقل الانكمash بمقدار (20%). ايضا ، الركام الصلب (قيمة  $E_c$  اعلى ) ، كلما كان انكمash الخرسانه اوطا . لذلك ، فان الخرسانه الخفيفه الوزن تملك انكمash اعلى من الخرسانه ذات الوزن الاعتيادي . تدرج الركام يؤثر يقوه على انكمash الخرسانه . على اية حال . عند نسبة ماء / سمنت ثابتة ، الركام الاكبر يسمح باستعمال خلطه افق (ركام اكثـر حـجما ) ، وهـذا الرـكام الاكـبر يـقود الى انـكمـاش اوـطا .

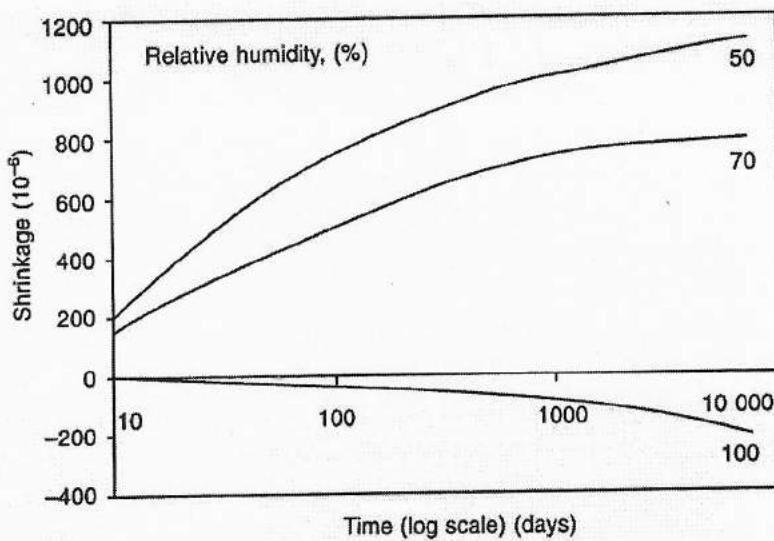
يوجـد عـدد من الصـخـور التـي تـنكـمـش عـند الجـفـاف بـحيـث انـها تعـطـي تقـيد اـقل لـانـكمـاش عـجـيمـة الاسـمنت . بعض الصـغـور البرـكـانيـه وصـخـور البـازـلت وصـخـور المـترـسـبه رـبـما تـزيد انـكمـاش الخـرسـانـه بـصـورـة جـوهـرـية . المـواـصـفـه البرـيـطـانـيه (BS 812:part 120, 1989) تـحدـد (تصـنـف) درـجـات استـعمـال الرـكامـذـي يـنـكمـش ، بيـنـما المـواـصـفـه البرـيـطـانـيه (BS 1881:part5, 1989) توـصـف طـرقـ تخـمـين انـكمـاش الخـرسـانـه .

كـما هو متـوقـع ، فـإن لـحـجم الرـكام الثـابـت ، فـإن انـكمـاش يـزـدـاد عـندـما تـزـدـاد نـسـبـة المـاء / الاسـمنت الـحرـة ، لـاحـظـ الشـكـل (3.9)



الشكل (3.9) تـأـثـير نـسـبـة المـاء / الاسـمنت عـلـى انـكمـاش الخـرسـانـه لمـحتـوى رـكام مـخـتـلـف

كلما كانت الرطوبة النسبية او طا كلما كان الانكمash اعظم بسبب ان تدرج الرطوبه النسبية الاعلى بين الخرسانه والبيئه يعزز فقدان الاعظم للماء . التاثير موضح في الشكل (4.9) . نفس الشكل بيبين بان الانتفاخ للخرسانه المخزونه في ماء (نسبة الرطوبه 100%) يكون حوالي ستة مرات اقل من الانكمash مما في الهواء الذي نسبة الرطوبه النسبيه فيه (70%)

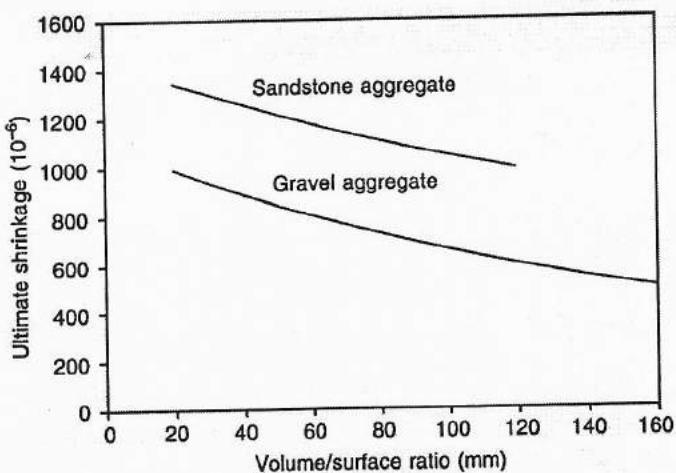


الشكل (4.9) الانكمash كداله ل الوقت للخرسانه المخزونه في روطوبه نسبيه مختلفه ، والوقت هو من عمر (28 يوم) بعد خزنها في الماء

من الواضح ، ان وقت الانكمash هو عامل في الانكمash عندما يحدث بعد فترة طويله من الوقت مع سرعة ابتدائيه عاليه الانكمash والتي تقل بسرعه . ان نسبة الانكمash المقاس خلال (20 سنه) يكون كما يلي :- (20%) منه يحدث خلال اسبوعين ، (60%) يحدث خلال ثلاثة اسابيع و (75%) منه يحدث خلال سنه ، لاحظ الشكل (4.9) .

بسبب ان الجفاف ينبع عن تبخير الماء من سطح العضو الخرساني ، فان حجم العضو الخرساني يكون عامل مهم في الانكمash . الاعضاء التي تكون مساحة المقطع العرضي فيها كبيرة تخضع الى انكمash اقل من تلك التي تكون مساحة المقطع العرضي فيها صغيره بسبب انه يكون من الصعب للماء ان يفلت ـ من الاعضاء السابقه (الكبيرة) . تاثير الحجم يمكن التعبير عنه كنسبة بين الحجم والسطح

معدل طول مسار الانكمash ، حيث الانكمash يقل عندما نسبة الحجم / السطح تزداد . ان العامل المحدد هو المساحة السطحية من العضو الخرساني المعرض الى الجفاف . الشكل (5.9) يوضح تاثير الحجم . يوجد تاثير ثانوي (اقل بكثير) للشكل على انكمash جفاف الخرسانه والذي يهمل عادة



الشكل (5.9) تأثير نسبة الحجم / السطح على انكماش الخرسانه

للمزيد

### 5.3.9 انكماش الكربنه Carbonation shrinkage

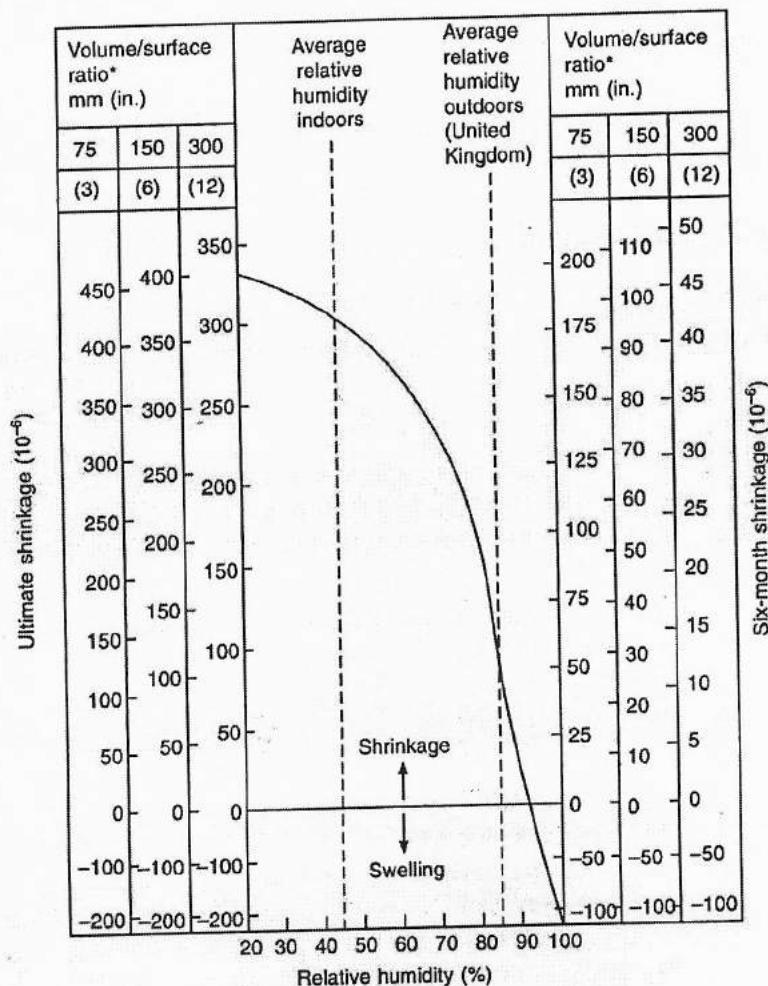
انكماش الجاف يشمل عادتاً أي انكماش للكربنه بالرغم من ان الاخير يختلف في طبعته . الكربنه لها علاقة كبيرة بالسبب المحتمل لتأكل ( جدا ) حديد التسليح ، ان سبب ذلك هو تفاعل هيدروكسيد الكالسيم مع ثاني اوكسيد الكاربون  $(CO_2)$  الموجود في الجو وبوجود الرطوبه . في البداية ، فان  $(CO_2)$  يتفاعل مع الرطوبه ليكون حامض الكاربونيك الذي بعدها يتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم  $Ca(OH)_2$  ليكون كاربونات الكالسيوم  $(CaCO_3)$  . مع مركبات الاسمنت الاخرى المتحله ، فان عملية الكربنه ينتج عنها تقلص حجمي او انكماش الكربنه .

سرعة الكربنه تكون بطئه وتعتمد على نفاذية الخرسانه ، محتوى الرطوبه والرطوبه النسبية للوسط المحيط . انكمash الكربنه العالي يعني نسبة ماء / سمنت عالة ونسبة رطوبه حوالي (55%) . في التطبيقات العملية ، فان انكمash الكربنه لا يحدث عندما تكون نسبة الرطوبه اقل من (25%) او اكثـر من (75%) . في الحالـة الاولـى فـانـه لا يـكونـ هـنـاكـ مـاءـ كـافـيـ لـحدـوثـ التـفـاعـلـ وـفيـ الحالـةـ الثـانـيـةـ فـانـ المسـامـاتـ تكونـ مـملـوءـةـ بـالمـاءـ وـلاـ تـسمـحـ بـدخـولـ  $(CO_2)$  .

### 6.3.9 التنبأ بالانكماش Prediction of shrinkage

انكماش وتنفاخ الخرسانه الاعتيادي (Plain concrete) بعد فترة تعرض امدها (ستة اشهر) و (30 سنـهـ) معطـاهـ فيـ المـواـصـفـ الـبـرـيطـانـيـهـ (BS 8110:part2, 1985). المـواـصـفـ الـبـدـيلـهـ لـذـلـكـ هيـ (CEB-FIP, 1990) التي تعطي الانكماس كـدـالـهـ لـلـزـمـنـ وـهيـ قـابـلـهـ لـلـتـطـيـقـ لـلـخـرـسـانـهـ الـحاـوـيـهـ عـلـىـ بـعـضـ المـضـافـاتـ . الطـرـيقـهـ الـبـرـطـانـيـهـ (BS method) مـبـيـنـهـ عـلـىـ الشـكـلـ (6.9) وـتـطـبـقـ لـلـخـرـسـانـهـ الـمـصـنـوـعـهـ مـنـ

نوعية ركام عاليه وغير قابل للانكمash ، مع محتوى ماء ابتدائي مقداره (8%) من الكتله الاصليه للخرسانه . لمحتويات ماء اخري ، فان الانكمash في الشكل (6.9) يتم ظبته بنسبة او مقدار محتوى الماء الحقيقي . الانكمash الذي يتم تخمينه بهذه الطرق لا يتم ضبطه بدقة عاليه ( $\pm 30\%$  في احسن الحالات) ، ولتخمين افضل فان العالمان (Neville and Brooks,2001) اوصيا بفحص الامد القصير (short – term test) باستعمال نماذج مصنوعه من الخرسانه الحقيقية ، وبعدها فان قيم الانكمash – الزمن المُقاسه يتم استقرانها (extrapolated) للحصول على انكمash الامد الطويل (long – term shrinkage) .



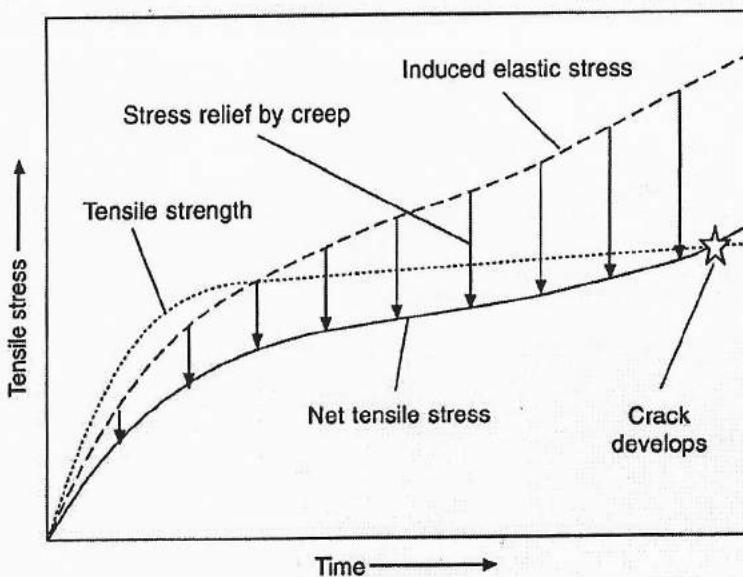
الشكل (6.9) التنبأ بالانكمash باستعمال الطريقة البريطانيه (BS 1881:part2,1985)

مذكور

### 7.3.9 تأثيرات انكمash الجفاف Effects of drying shrinkage

في المنشئات الخرسانيه الاعتياديه فان الانكمash يمكن ان يكون بمقدار ( $600 \times 10^{-6}$ ) الذي هو اعلى (6 مرات ) من انفعال الفشل في الشد . بناءا على ذلك ، فان تقييد الانكمash يمكن ان ينتج عنه تشقو الخرسانه . التشقو يمكن ان يكون سببها تقييد داخلي او خارجي ، على سبيل المثال ، في السطح فان التقييد يكون بواسطة لب (core) الخرسانه الداخلي او بواسطة حديد التسلیح . ان الاسس يمكن ان تقييد

الخرسانه بصورة كبيرة جدا . اجهاد الشد الحقيقي المتتطور يعتمد على الزحف ، الذي يكون مفید في تخفيف الاجهاد المرن المُسبب بواسطة التقيد . الشكل (7.9) يوضح شكل تطور الشق الذي يعود الى الانكماش المقيد .



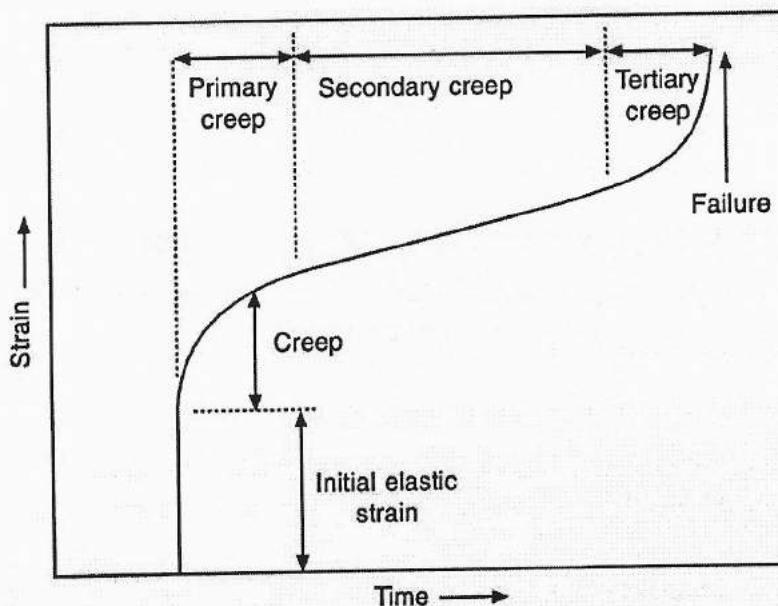
الشكل (7.9) تطور اجهاد الشد المُسبب الذي يقود الى التشقق بعد تخفيفه بالزحف طبقا لطريقة (Neville and Brooks, 1997)

الانكمash بسبب ايضا فقدان الاجهاد المسبق (prestressed) الخرسانه المسبقة الجهد ، Prestressed concrete ( ) ، ويزيد الانحناءات (deflections) للخرسانه المسلحه غير المتماثله . في الخرسانه عاليه المقاومة او العالية الاداء ، فان الانكمash الذاتي (autogeneous shrinkage) ربما يكون اعظم من انكمash الجفاف لكن معظمها يحدث في حياة الخرسانه المبكرة . لتلافي التأثيرات غير المرغوب فيها ، ربما يكون من الممكن تأخير عمليات الانشاء حتى بعد حدوث معظم الانكمash الذاتي .

#### 4.9 Creep الزحف

الزحف يُعرف على انه الزيادة التدريجية في الانفعال او التشوه مع الزمن الاجهاد ثابت مطبق ، بعد الاخذ بالاعتبار التشووهات الاخرى المعتمدة على الزمن غير المرافقه للاحجاه ، مثل الانكمash ، الانتفاخ و التشوه الحراري . الزيادة في الانفعال او التشوه يمكن ان تكون عددة مرات اكبر من الانفعال المرن عند التحميل وهاكذا فان الزحف يكون عامل مهم في خدمية (serviceability) المنشئات ويطلب اخذه بالحسبان عند التصميم . بسب انه تحت ظروف التحميل الاعتيادية فان الانفعال المرن يعتمد على سرعة التحميل ، فان ذلك سوف يتضمن بعض الزحف . في التطبيقات العمليه ، فان ذبك لا يكون مهما حيث في النهاية يكون الانفعال الكلي هو المهم . ايضا ، فان معامل المرونه يزداد مع العمر ولذلك فان التشووهات المرنة تقل تدريجيا ، ويمكن القول ، عن ان الزحف سوف يأخذ على انه الانفعال الذي يتجاوز الانفعال المرن في الوقت الذي عنده يتم تحديد الزحف . على اية حال ، فان التأثير يكون عادة صغير والزحف يُحسب من الانفعال المرن الاولى في اول تطبيق الحمل .

الخرسانه لا تكون محودة في قابليتها في تحمل الزحف . اغلب المواد الهندسية تتصرف بهذا النحو ، مثل ذلك ، الصخور عند الاجهادات العالية ، البلاستك (خصوصاً البلاستيك الحراري thermoplastic) الحديد عند درجات الحرارة العالية وحتى الخشب . الشكل (8.9) بيّن الصيغة او الشكل العام للمادة الخاضعة للزحف ، وفي بعض الوقت ، سوف يتطور الزحف الثالث (tertiary creep) اي بعد الزحف الاولى والثانوي وان المادة سوف تفشل بواسطة انكسار الزحف (rupture creep) او الكلل الساكن (static fatigue) . الخرسانه تتصرف ايضاً بنفس الطريقة لكن فقط عند اجهادات اعظم بمقادير 0.6 - 0.7 من المقاومة الساكنه (static strength) . بالرغم من ان الخرسانه يعتقد انها مادة هشه بطبيعتها بسبب ميلها الى التشقق تحت الانفعالات الصغيرة ، لا انها اليسة هشه بصورة تامة ، حيث انها الى حد ما يمكن ان تتطور افعالات كبيرة قبل الفشل ، التي تعتبر فائدة كبيرة لتلقي الفشل الكارثي



الشكل (8.9) الشكل العام لمنحنى الانفعال - الزمن لمادة خاضعة الانكسار الزحف

عند الاجهادات التشغيليه الاعتيادية ، اي ، تلك التي تكون ضمن مدى الخطيه بين الزحف والاجهاد ، فإن الخرسانه لا ظهر مطلقاً زحفاً ثالثاً (tertiary creep) وسوف تستمر بالتشوه لسنين عديدة (لقد تم تسجيل التشوه لمدة 30 سنه) . الرزحف له اهمية عملية بسب انه يمكن ان يكون مرتبأ او ثلاثة مراتا بقدر الانفعال المرن الابتدائي بعد سنه من التحميل ، الذي يمثل (70%) من الزحف الذي يحدث خلال (20 سنه) . في لغة الزحف النوعي الاقصى (ultimate specific creep) او الزحف لوحدة الاجهاد .  
الآن

الشكل (9.9) بيّن مكونات الانفعال المعتمد على الزمن للخرسانه الجافه الذي يطبق للعناصر الانشائية العامة . الزحف الكلي يتكون من الزحف الاساسي (basic creep) زائداً زحف الجفاف (drying creep) الانكماس يتم تحديده على نموذج مماثل منعزل لكن لا يخضع للحمل . للخرسانه المحتومة

، فان الخرسانه التي تمثل كتله او حجم كبير يحدث فيها فقط زحف اساسي (sealed concrete) ولا يوجد انكماش جفاف او زحف جفاف . يجب ملاحظة ، انه طبقاً لـ(Brooks, 2001) فان زحف الجفاف يكون موجود حتى بعد الاخذ بالاعتبار الانكمash وذلك بسبب وجود تداخل بين حركة الرطوبة والاجهاد الخارجي ليسبب زيادة في الاجهاد الداخلي . زحف الخرسانه يتاثر بقودة بالحرارة بطريقه معقدة والموضوع هو خارج هذf الكتاب .

لنعتبر الخرسانه محمله باجهاد مقداره ( $\sigma_0$ ) ، عند عمر ( $t_0$ ) . اذا الزحف النوعي (specific creep) بعد زمن تحت الحمل مقداره ( $t-t_0$ ) ، عند اذ الانفعال الكلي الذي يعود الحمل عند العمر ( $t$ ) عندما يتم تحميشه عند العمر ( $t_0$ ) يكون :-

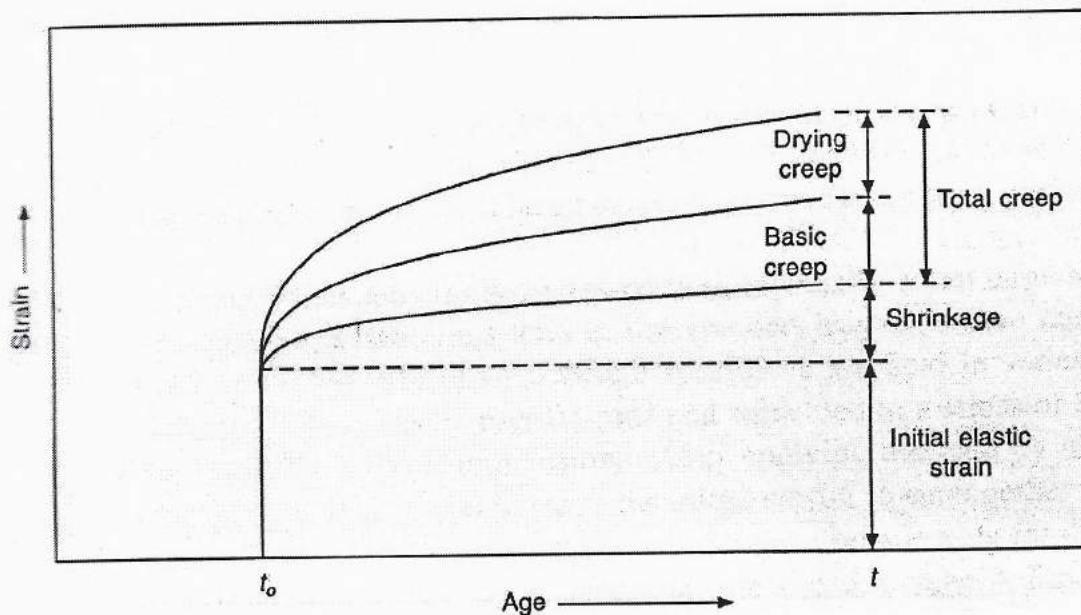
$$\sigma_0 \Phi(t, t_0) = \frac{\sigma_0}{E(t_0)} (1 + \varphi) \quad (9.4)$$

حيث

$\Phi(t, t_0)$  = total load strain per unit of stress of creep

$E(t_0)$  = secant modulus of elasticity at age  $t_0$

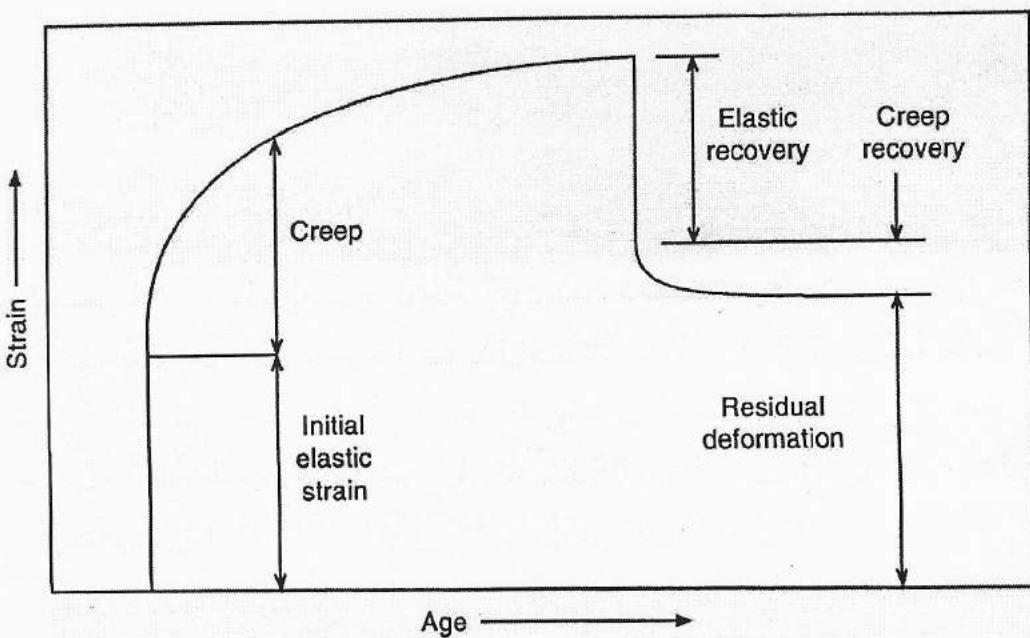
$\varphi(t, t_0)$  = creep coefficient, which is defined as the ratio of creep to the elastic strain =  $C_s E(t_0)$



الشكل (9.9) مكونات الانفعال عند عمر ( $t$ ) للخرسانه الجافه الخاضعه لحمل بعمر ( $t_0$ )

في بعض الاوقات ، تأثيرات الزحف في المنشئات يختلف عن تلك الزيادة الصرفة للنفعال او الانحناء . عندما يتم تقييد الاعضاء بطريقتا ما ، عند اذ فان الاجهاد سوف يتغير مع الزمن والزحف سوف ياثر على مستوى الاجهاد . على سبيل المثال ، اذا كان النموذج يخضع الى انفعال ثابت ، فان الزحف سوف يتسبب بان الاجهاد يقل مع الزمن ، والعملية تعرف على انها استرخاء الاجهاد (stress relaxation).

الزحف ظاهرة قابلة الاستعادة جزئياً . عند إزالة الحمل المستمر بعد بعض الوقت ، تكون هناك استعادة ائية للانفعال المرن (بصورة عامة تكون أصغر من الانفعال المرن الابتدائي بسبب ازدياد معامل المرونة ) ، هذه الاستعادة الائنية تكون متبوءة بنقصان متدرج الانفعال ، يدعى باستعادة الزحف ( creep recovery ) ، لاحظ الشكل (10.9) . الاستعادة تصل قيمتها القصوى بسرعة أكثر وتكون أقل بكثير من الزحف السابق وعليه فان اغلب الزحف يكون بطبيعته غير قابل الاستعادة . استعادة الزحف الاساسي تكون حوالي (25%) من الزحف السابق بينما استعادة زحف الجفاف تكون تقريباً صفراء .



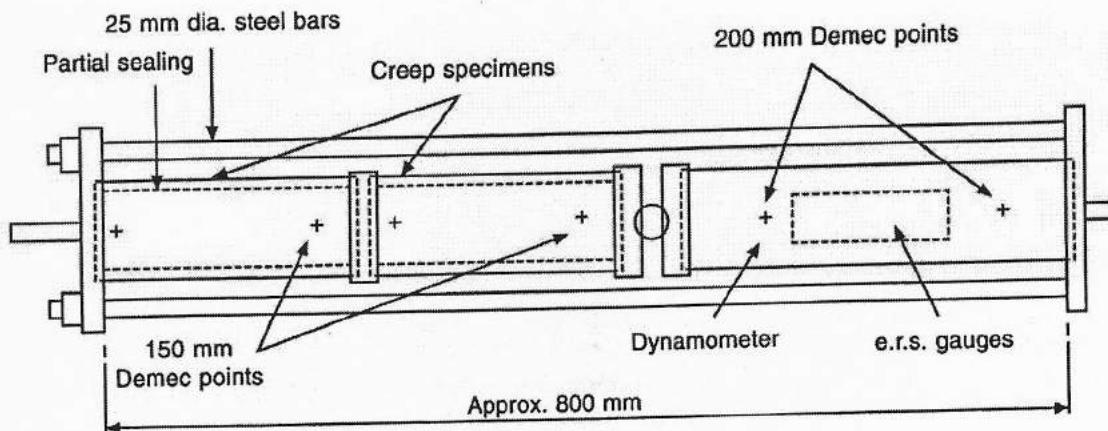
الشكل (10.9) استعادة المرونة او الزحف بعد رفع الاجهاد

مُرَدِّد

#### 1.4.9 قياس الزحف Measurement of creep

الفحص القياسي الوحدي المتوفّر للفحص العام للزحف لا ي نوع من الخرسانه تحت الانضغاط الاحادي المحور هو المواصفه الامرکيه (ASTM c512, 1987) . على اية حال ، المواصفه ( BS EN 1355:1997 ) موجود لتحديد زحف نماذج الاختبار ، مؤخوه من مركبات مسبقة الصنع للخرسانه المهوّات تحت الضغط البخاري (autoclaved aerated concrete) او الخرسانه الخفيفه الوزن مع تركيب مفتوح . اجهزة المواصفه الامرکية تكون كبيرة وغالباً خصوصاً عندما تكون هناك حاجة الى عدد كبير من النماذج . الباحثون يميلون الى استعمال اجهزة (معدات اصغر واقل كلفه كما هو مبين في الشكل (11.9) . نموذجين من الخرسانه محموله على التوالي مع الة لقياس القوة الميكانيكية (dynamometer) على شكل انبوب حديدي مدرج وتمسك باربعة قضبان مربوطة وتخلص الى اجهاد يتراوح بين (0.2 و 0.3) من المقاومة في عمر التحميل . بعد تطبيق الحمل عن طريق الشد اليدوي للصوملات الاربعة ، فان الانفعال يسجل كانفعال من اولي سويتا مع الوقت الذي يتطلبه تطبيق الحمل . الزيادة لاحقة بالانفعال ، بعد السماع بتحديد الانكمash او الانتفاخ على نماذج سيطرة منفصله ، يسجل على انه زحفاً . ان سلبيه هذا الجهاز هو انه بسبب عدم وجود نابض (spring) ، سيكون هناك فقدان في

الحمل يعود الى الزحف وهكذا فان الصوملات (nuts) سيعاد شدها عددة مرات اثناء المرحله المبكرة للزحف . الانفعال يقاس عادتاً بواسطة مقياس الانفعال الميكانيكي لحد تقريريا ( $10 \times 10^{-6}$ ) . العالم نفل (Neville, 1983) وصف اوع بديله من الاجهزه لتحديد الزحف . لقليل المتغيرات العمليه ، يكون من المهم خزن النماذج والاجهزه تحت ظروف بيئية مسيطرة عليها من الحرارة والرطوبه النسبية .



الشكل (11.9) اجهزة قياس الزحف

#### 2.4.9 ميكانيكية الزحف Mechanism of creep

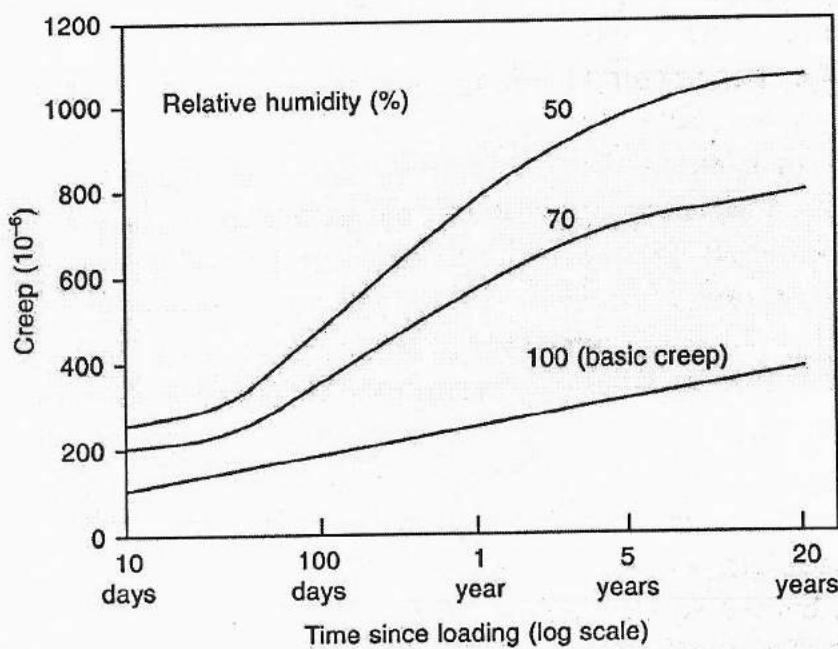
ان الية الزحف المضبوطة تكون غير واضحه . هذه الالية لها علاقة بالحركة الداخلية للماء المُمترز او الماء بين الطبقات بسبب ان الخرسانه التي يتم ازالة كل الماء القابل للتاخر منها تُظهر زحفاً قليلاً . حركة الماء الى خارج الخرسانه تكون مهمة لزحف الجفاف . علاوة على ذلك ، العالم (Brooks, 2001) يعتقد ان بعض الزحف الاساسي (basic creep) للخرسانه الكتليلية او المختومه يمكن حدوثه بسبب الحركة الداخلية للماء ، التي يمكن ان تحدث بسبب ان جميع المسامات لا تبقى مملوءه بالماء بصورة تامة . الاعتمادية القوية للزحف الاساسي على المسامية او المقاومة دليل غير مباشر يوحي ان المسامات الفارغه تتحكم بصورة كبيرة بالزحف . زحف الجل الصلب وزحف الامد الطويل ( long - term creep ) بعد اختفاء كل الماء ربما يعود الى السلان اللزيج (viscous flow) او الانزلاق (sliding) بين جزيئات الجل .

#### 3.4.9 العوامل المؤثرة على الزحف Factors in creep

مصدر الزحف في الخرسانه هو عجينة الاسمنت المتصلبه حيث ان الركام ذو الوزن الاعتيادي والنوعية الجيدة لا يخضع الى الزحف عند مستويات الاجهاد الموجودة في الخرسانه . الدور المهم للركام هو تقيد زحف العجينة بطريقه مشابه للانكماش ، لاحظ المعدلة (3.9) . كلما كانت النسبة الحجمية ومعامل المرone للركام اعظم . كلما كان التقيد اعظم وبالتالي يكون زحف الخرسانه اقل . على سبيل المثال ،

خرسانة ركام حجر الكلس (limestone) تملك زحف واطا وخرسانة الركام الخفيفة الوزن تملك زحف عالي .

للخرسانه الجافه ، الزحف يكون اعظم كلما كانت الرطوبه النسبية للبيئة المحيطيه او طا ، كما مبين في الشكل (12.9) . هنا ، نماذج الخرسانه يتم معالجتها عند رطوبه نسبية مقدارها (100%) لمنتهى (28 يوم) وعند اذ تخضع للحمل في ظروف الهواء وبرطوبه نسبة مختلفه ، لذلك ، حتى بالرغم من ان الانكماس يتم اخذ بالحسبان في تحديد الزحف عند رطوبه نسبيه اقل من (100%) فإنه لا يزال هناك تاثير للجفاف على الزحف . هذا التاثير يمكن ان يكون اقل اذا سمحت للخرسانه بالجفاف قبل تطبيق الحمل ، لكن هذه الطريقة غير موصى بها في التطبيقات العملية بسبب ان المعالجه غير المناسبه تعتبر تطبيقا سينا

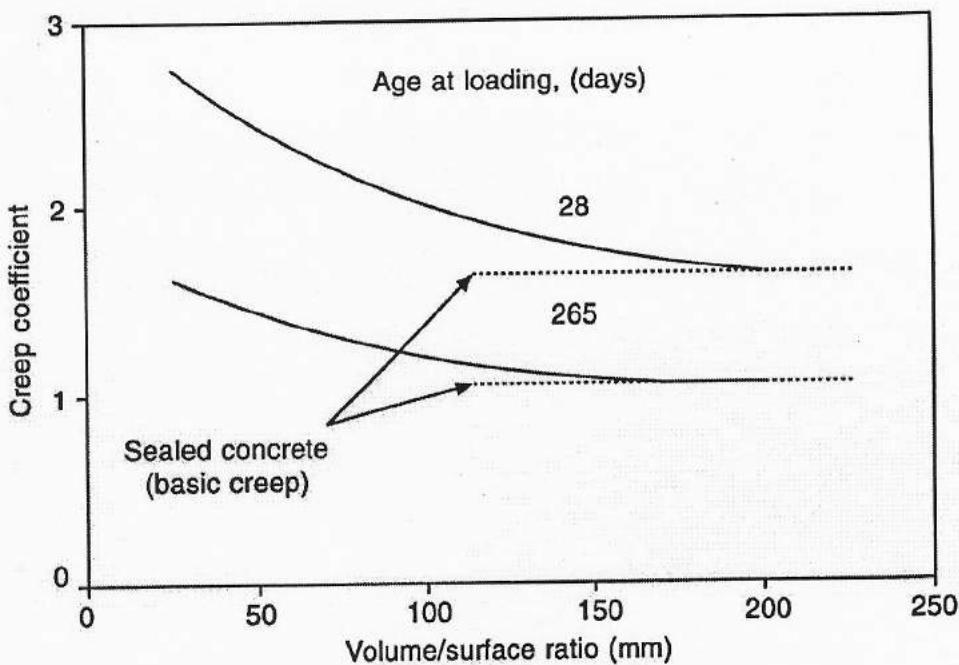


الشكل (12.9) تاثير الرطوبه النسبيه على زحف الخرسانه

بصورة مشابهه لانكماس الجفاف فان زحف الخرسانه الجافه يتاثر بحجم العضو الانشائي . يعبر عن الحجم كنسبة الحجم / السطح (volume / surface ratio , v/s) او السمك الفعال (effective thickness =  $2v/s$ ) ، الذي يمثل معدل طول مسار الجفاف ، الزحف يتناقص عندما تزداد نسبة الحجم / السطح . الشكل (13.9) يوضح تاثير حجم العضو الانشائي . تاثير شكل العضو الانشائي على الزحف يكون عامل ثانوي ويتم اهماله عادتا في طرق التقدير . الزحف الاساسي للخرسانه المختومه او خرسانة الحجم الكبير لا تتأثر بحجم العضو الانشائي .

بصورة عامة ، يوجد تنااسب مباشر بين الزحف والاجهاد المطبق مع مدى (مجال) محديد من الاجهاد بحيث ان مصطلح الزحف النوعي (specific creep) يكون قابل للتطبيق . ايضا ، للخلطات ذات النسب الثابتة ، فان الزحف يكون تقريبا متناسب عكسيا مع المقاومة عند وقت تطبيق الحمل . لذلك ، اتحاد التاثير ، الزحف يتنااسب تقريبا مع نسبة الاجهاد / المقاومة (stress / strength ratio) ، والقيمة

العليا تكون (0.5 الى 0.6) . عند المستويات الاعلى ، فان الشقوق الشعرية تلعب دور تحكمي وتمزق الزحف المعتمد على الزمن يكون محتملا .



الشكل (13.9) تأثير حجم العضو الانشائي على معامل الزحف لمدة (30 سنه ) للخرسانه المخزونه في رطوبه نسبيه مقدارها (%60)

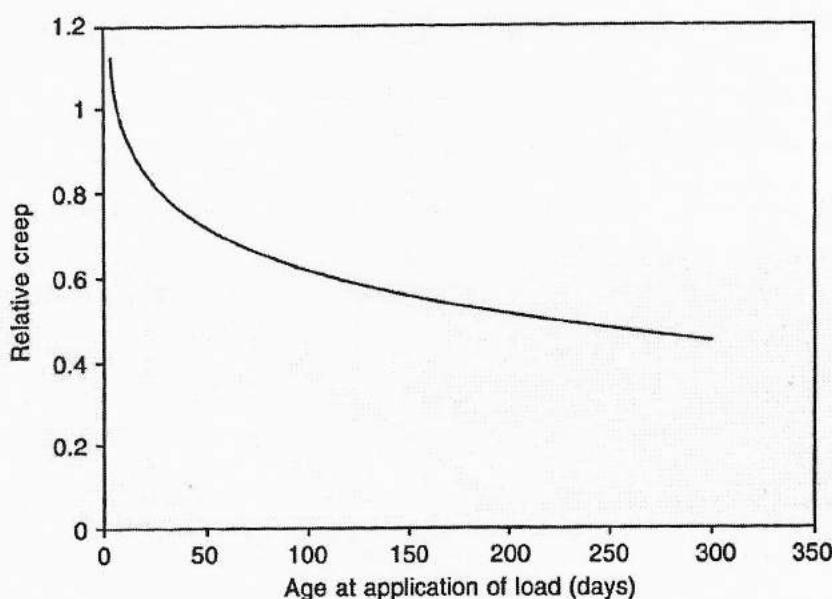
نوع الاسمنت ياثر على الزحف بنفس الطريقة التي يؤقر بها على مقاومة الخرسانه عند وقت تطبيق الحمل . على اساس تساوي نسبة الاجهاد / المقاومة ، فان العالمان (Neville ad Brooks,2001) حددوا ان اغلب الاسمنت البرتلندي يؤدي تقريبا الى نفس الزحف . على اية حال ، لنفس نسبة الاجهاد / المقاومة الابتدائية ، فان الزحف يتاثر ايضا بتطور المقاومة بعد تطبيق الحمل ، تطور المقاومة الاكبر يقود الى زحف اوطا . الميزة الاخيرة توضح لماذا استعمال المضافات المعدنية في الخرسانه ، مثل الرماد الطيار (fly ash) خبث حبيبات الافران النفاخة المطحونة (ggbs) ، بخار السلكا (silica fume) والميتاكولين (metakaoline) تؤدي بصورة عامة الى زحف اقل . التفاعل البوزلاني الوطا يشارك في تأخير تطور المقاومة وذلك عن طريق انتاج عجينة سمنت ذات مسامية اوطا .

المضافات الكيميائية ، مثل الملدنتات (مقللات الماء) والملدنتات الفائقة (مقللات الماء ذات المدى العالى) تاثر على الزحف بنفس الطريقة ، اي تاثيرها ينبع من العوامل الماثرة على المقاومة عند وقت التحميل وتطور المقاومة اللاحق . على اية حال ، لجميع انواع المضافات ، توجد ملابسات عندما الاتجاهات السابعة لا تطبق دائما . على سبيل المثال ، تحت الظروف الجافه . لتقدير (تخمين) اكثرب دقه للزحف ، يوصى لتنفيذ بعض الاختبارات .

لقد تم مبكرا تحديد ان عجينة الاسمنت حجما كانت العامل الرئيسي في تحديد زحف الخرسانه ، انها مقيده من قبل الركام . على اية حال ، في الخلطات التطبيقية التي تملك نفس قابلية التشغيل ، فان مجال (مدى) محتوى الاسمنت يكون صغيرا . على سبيل المثال ، مقارنة اثنين من الخرسانه ذات الوزن الاعتيادي يملكان نسب ركام / سمنت (9 و 4.5) بالكتله ، مع نسب ماء / سمنت (0.75 و 0.40) على التوالي ، فان

محتوى عجينة الاسمنت يطبق (24% و 29%) . بناءا على ذلك، فان الزحف لا يتوقع ان يكون لمدى كبير ، لكن هذه ليست هي الحاله نظرا لان نسبة الماء / الاسمنت تؤثر على الزحف بصورة معتبرة . تأثير نسبة الماء / الاسمنت يمكن ان تُفهم بلغة المقاومة ، بالرغم من ان خاصية التأثير الاساسي هي المسامية . نسبة الماء / الاسمنت الاوطال تسبب مسامية اوطال ، مقاومة اعلى ، ولذلك ، تطبيق قاعدة المقاومة العكسية ، اي حدوث زحف اوطال .

العمر الذي عنده يتم تطبيق الحمل يؤثر على قيمة الزحف وتأثيره يمكن ان يدرك بواسطة التغير في المقاومة . عندما يزداد العمر ، فان درجة اماهة الخرسانه تزداد وتبعا لذلك تقل المسامية . بناءا على ذلك ، فان المقاومة تكون اعظم وعليه وبنطبيق قاعدة المقاومة العكسية ، فان الزحف يكون اقل . الشكل (14.9) بيّن اتجاه الخرسانه المخزونه في رطوبه نسبية مقدارها (75%) .



الشكل (14.9) تأثير العمر عند تطبيق الحمل على زحف الخرسانه نسبة الى زحف الخرسانه المحمله عند عمر (7 يوم)

#### 4.4.9 التنبأ بالزحف Prediction of creep

طريقة المواصفه (CEB-FIP, 1990) تعطي سلسله من المعادلات لتخمين (تقدير ) معامل الزحف كدالة للزمن ، العمر عند التحميل ، الرطوبه النسبيه ، حجم العضو الانشائي والمقاومة . الطريقة تسمح ايضا باستعمال بعض المظافات في الخرسانه . من ناحية اخرى ، طريقة المواصفه البريطانيه ( BS 1881:par2, 1985 ) لا تكون مناسبه للخرسانه الحاووية على المضافات لكن يكون من السهل استعمالها حيث انها تعطي تقدير معامل الزحف الاقصى ( $\phi_{\infty}$ ) كما هو ممثل في الشكل (15.9). دالة الزحف القصوى ( $\Phi_{\infty}$ ) عندئذ تُعطى بالعلاقة التالية:-

$$\Phi_{\infty} = \frac{1}{E_c(t_0)} (1 + \phi_{\infty}) \quad (9.5)$$

$E_c(t_0)$  = the modulus of elasticity at the age of loading , ( $t_0$ )

ان  $(E_c(t_0))$  لها علاقه مقاومه انصغاط المكعب  $(f_{cu}(t_0))$  ، وكما يلي

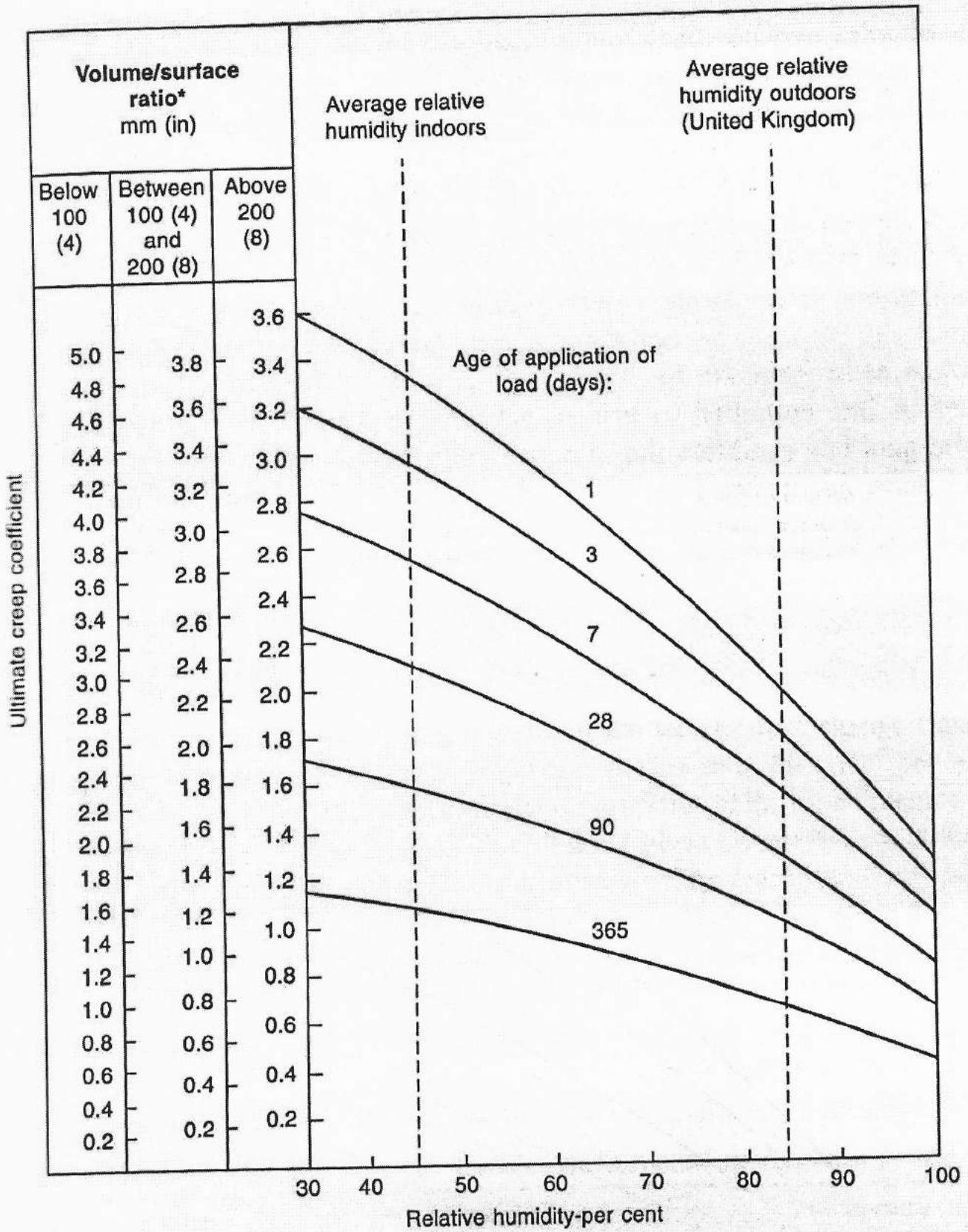
$$E_c(t_0) = E_c 28 \left[ 0.4 + 0.6 \frac{f_{cu}(t_0)}{f_{cu}^{28}} \right] \quad (9.6)$$

ان نسبة المقاومه للمعدهله (6.9) يمكن الحصول عليها عن طريق القياس . على ايه حال ، ان القيم الموجوده في الجدول (9.1) ربما يمكن استعمالها . معامل المرونه عند العمر (28 يوم) اي  $(E_c 28)$  يتم الحصول عليها من مقاومه المكعب بعمر (28 يوم) اي  $(f_{cu} 28)$  بواسطه العلاقة التالية

$$E_{cu} 28 = 20 + 0.2 f_{cu} 28$$

جدول (1.9) قيم نسبة المقاومه  $\frac{f_{cu}(t_0)}{f_{cu}^{28}}$  لاستعمالها في المعادله (6.9)

Age, $t_0$	Strength ratio
7	0.7
28	1.00
90	1.17
365	1.25



الشكل (15.9) ، طريقة المواصفه البريطانيه (BS 1881:part2,1985) لتقدير معامل الزحف الاقصى . في هذه الطريقة يتم استعمال بعض الاحيان سمك المقطع الفعال بدلا من نسبة الحجم / السطح حيث .

$$\text{Effective section thickness} = 2 * \text{volume} / \text{surface ratio}$$

اذا لم يكون هناك تغير في الرطوبه ، اي الخرسانه تكون مختومه لتمثل كتلة الخرسانه ، فان الزحف يفترض ان يكون مكافيء للخرسانه مع نسبة حجم / سطح اعظم من (200 mm) عند رطوبه نسبية مقدارها (100%).

كما في تخمين انكمash الجفاف ، فان دقة التخمين تكون واطاً . لقيم المدى الطويل الاكثر دقه خصوصا عندما يتوقع وجود ركام ذو مواصفات غير معروفة ، فان اختبار الامد القصير يكون مُصى به مستعملين الخرسانه الحقيقية والبيانات المقاسه يتم استقرارها (extrapolated) عن طريق المعادله التي تم اقتراحتها من قبل العالمان (Neville and Brooks, 2001)

#### 5.4.9 تأثيرات الزحف Effects of creep

بصورة عامة تعتبر تأثيرات الزحف من السلبيات في المنشئات الخرسانيه بالرغم من وجود بعض الفوائد . الزحف يزيد انحاء العتبات الخرسانيه المسلحه ويسبب فقدان الاجهاد المسبق (prestress) في العتبات الخرسانيه المسبقة الجهد prestressed concrete beams). في الاعمدة الخرسانيه المسلحه ، فان الزحف يسبب انتقال تدريجي للحمل من الخرسانه الى حديد التسليح . حالما يخضع الحديد ، فان الخرسانه تأخذ اي زيادة في الحمل ، بحيث المقاومة الكلية للخرسانه وال الحديد تتطور (تمو) قبل حدوث الفشل . الزحف يزيد لا مركزية eccentrically (الاعمدة النحيفه slender columns) ويمكن ان يؤدي الى الانبعاج (buskling).

في الجانب المفيد ، في المنشئات الخرسانيه غير المحددة ستاتيكيا statically indeterminate structures )، فان الزحف يمكن ان يخفض تركيزات الاجهاد التي يسببها الانكمash ، التغيرات الحرارية او حركة المساند . علاوة على ذلك ، في جميع المنشئات الخرسانيه فان الزحف يقلل الاجهاد الداخلي الذي سببه عدم انتظامية الانكمash او الانكمash المقيد ، حيث يكون هناك انخفاض في التشقق .

خلافا الى ذلك (بال مقابل ) ، في الخرسانه الكتليله ، فان الزحف ربما يكون سبب التشقق عندما الخرسانه المقيدة تخضع لدوره من الحرارة العائنة الى حرارة الاماهاه وبالتالي حدوث التبريد . الزحف ربما يسبب ايضا انحاء متعاقب في الابنية المرتفعة و الجسور الطويلة وفشل الاغلفه الخارجيه المثبته بصورة قوية على الابنية يمكن ان يحدث بسبب الحركة التفاوتية.

#### 5.9 الحركة الحرارية Thermal movement

الحركة الحرارية للخرسانه هي ناتج معامل التمدد الحراري لاوقات تغير الحرارة . معامل التمدد الحراري (coefficient of thermal expansion) يأخذ ( $10 \times 10^{-6}$  per  $^{\circ}\text{C}$ ) ، لكنه يعتمد على مكونات الخليطه و ظروف رطوبتها عند وقت تغير الحرارة ، التي تكون عادة ضمن ( $-30 \text{ to } 65^{\circ}\text{C}$ ) . الجدول (2.9) يعطي معامل التمدد الحراري لخرسانه (1:6) مصنوعة بركام مختلف . ان السبب معطى من قبل (Neville and Brooks, 1997) بالنسبة للمعلم الاعلى قليلا للخرسانه المعالجة بالهواء ، حيث عندما يتم ترطيب الخرسانه جزئيا ، فان ضغط بخار الماء لعجينة الاسمنت يزداد عندما ترتفع الحرارة وتبعا الى ذلك سوف يكون هناك تمدد