

نماذج تقدير الزحف والانكماش للبيتون العادي والبيتون عالي الأداء مفهوم لطريقة موحدة من نماذج الكودات

الدكتور إدوارد شديد *

نهى محفوظ **

(قبل للنشر في 2005/6/2)

□ الملخص □

يبدأ البحث بعرض المتطلبات الواجب توفرها في أي تمثيل رياضي لخصائص الزحف والانكماش، ثم يلخص خصائص الزحف والانكماش للبيتون عالي الأداء ويقارنها بالبيتون عادي المقاومة. ويبين البحث أن التنبؤ بالزحف و الانكماش لكل من البيتون عالي الأداء والبيتون عادي المقاومة يمكن أن يتم باستخدام أسلوب واحد قريب من النموذج الرياضي الذي تبنته الجمعية الأوروبية للبيتون و الاتحاد الدولي لسبق الإجهاد (CEB - FIP) في عام 1990 في حال اعتماد بعض التعديل و التوسعة لمجال الصيغ الأصلية. ولقد تمت معايرة النموذج الرياضي المطور اعتماداً على المعطيات المتوفرة في قاعدة RILEM للمعلومات عن الزحف والانكماش < ويعرض البحث دراسة إحصائية عن مدى الفرق في مجالات تطبيق النموذج الرياضي الجديد. ولقد تمت صياغة النموذج الرياضي المعتمد ضمن برنامج حاسب يقوم بحساب تشوهات الزحف والانكماش مع الزمن آخذاً بعين الاعتبار جميع المتغيرات التي اعتمدها النموذج الرياضي، ويمكن من خلال هذا البرنامج الوصول إلى منحنيات تشوه مع الزمن لأي حالة مفروضة، وبشكل بذلك أداة تحليلية فعالة ومرنة لمقارنة النتائج التجريبية التي يتم الوصول إليها.

* أستاذ في كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق - دمشق - سوريا.

** طالبة دكتوراه مشرفة على الأعمال في كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق - دمشق - سوريا.

Creep and Shrinking Models of Normal and High – Performance Concrete – Concept for an Unified Code

Dr. Edward Shdeed*

Noha Mahfouz**

(Accepted 2/6/2005)

□ ABSTRACT □

The paper starts by listing the requirements needed in any mathematical modeling of the characteristics of creep and shrinkage in concrete, followed by describing the characteristics of creep and shrinkage in high performance concrete (HPC) and comparing these with normal strength (NSC).

The paper shows that creep of shrinkage for both HPC and NSC can be predicted using a unified method, close to the mathematical model presented by CEB-FIP in 1990, by simply introducing some modifications and extending the range of formulae used.

The developed mathematical model has been calibrated against an extensive data base RILEM on creep and shrinkage. The paper includes a statistical study of applicability of the model and the extent of variation upon its application.

The selected mathematical model was incorporated into a computer program that calculates creep and shrinkage deformations over time, taking into considerations all the variables that went into the mathematical model. The program enables the consideration of time deformation curves for any given situation, representing an effective and flexible analytical tool to compare the experimental results measured.

*Prof, Faculty Of Civil Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

**Doctorate Degree Student, Faculty Of Civil Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

الشروط الواجب توفرها في النموذج الرياضي المناسب لتقدير الزحف والانكماش

1- مقدمة:

إن النماذج الرياضية المعتمدة في الكودات للزحف والانكماش في البيتون ما هي إلا تقريب أولي لعدد من الآليات المعقدة والتي تعمل على مدى واسع من المقاييس وتتحكم بآلية وكمية التشوهات المرتبطة بالزمن وبالرغم من التقدم الملحوظ في السنين القليلة إلا أن هذه الآليات الفيزيائية الدقيقة غير مدركة بشكل جيد ولعل هذا يشرح العدد الكبير من النماذج الرياضية المعتمدة في المواصفات والتي يجدها المرء في كتب التصميم وتوصياته بآليات و عوامل مختلفة وعديدة تؤثر فيها.

بالإضافة إلى ذلك فإن النماذج الرياضية المعتمدة بالكودات هي نماذج لمقاطع عرضية تأخذ بعين الاعتبار فيما يخص الجفاف أو التجفيف سلوكاً وسطياً للمقطع العرضي. وبمعنى آخر فإنه يمثل استجابة لنظام أكثر مما هو خاصة من خواص المواد وقد يشرح هذا التناثر الكبير لتنبؤات النماذج الرياضية المعتمدة بالكودات وهي أخطاء يبدو أنها موروثه ضمن كل النماذج.

2- متطلبات النماذج المعتمدة بالكودات:

يجب أن يكون النموذج الرياضي المعتمد في الكود سهلاً ومع ذلك فيجب أن لا يتعارض مع الظواهر التجريبية والفيزيائية، أو أن يكون عائقاً في طريق تطوير تكنولوجيا البيتون عالي الأداء. ويتطلب هذا من النماذج الرياضية أن تكون خالية من الاستخدام المتطرف للعوامل التجريبية وأن تكون مبنية علمياً على أساس صلب. ونظراً لأن قلة قليلة من المنشآت تتطلب معرفة دقيقة لكمية الزحف والانكماش في البيتون وفي معظم الحالات يكون من الكافي الوصول إلى تقدير إجمالي تقريبي للانكماش بالإضافة إلى تابع التوافق للزحف في جداول أو من خلال صيغ محددة تربط ما بين قيم الزحف والانكماش ومقاومة البيتون وتركيب خلطته، ولذلك فإنه في المستقبل سينحصر استخدام أي نماذج تفصيلية للتنبؤ بالزحف والانكماش إلى تلك المشاريع التي سيكون تحديد الزحف والانكماش فيها عوامل حاسمة في التصميم في حياة المنشأ وديمومة المنشأ على المدى البعيد ويمكن أن تميز نماذج التنبؤ تلك من النواحي الآتية:

2-1- الشكل والآلية للنموذج المعتمد (الصيغة الرياضية للنموذج المعتمد):

هو الوصف الرياضي لتطور الانكماش وتوافق الزحف على شكل تابع لعمر البيتون والعمر لدى التحميل والعمر لدى بداية التجفيف والرطوبة النسبية المحيطة وشكل المقطع العرضي وأبعاده أن يكون هذا الوصف الرياضي مبنياً على أسس علمية صلبة والتي هي في نفس الوقت ذات قاعدة نظرية جيدة وتم التحقق منها تجريبياً. وبهذه الطريقة فإن تطوير منتجات جديدة من البيتون سوف يبقى متاحاً أمام التقدم التكنولوجي ولن تكون هذه النماذج أكثر صعوبة في الاستخدام من النماذج الأخرى المبينة على صيغ تجريبية أكثر ما هي مبنية على أسس علمية.

2-2- تأثير تركيب الخلطات البيتونية:

بمعنى آخر هو تأثير قيم الخلطة البيتونية على الزحف والانكماش أن تتسبب الخلطات يلعب دوراً هاماً في التنبؤ بالزحف والانكماش وبأن هذا التأثير وللوقت الراهن على الأقل محصور بقيم تجريبية صيغت لتتناسب مجموعة من المعطيات التجريبية وقد كان الاتفاق على ماهية العوامل وطبيعة المعطيات التي يجب اعتبارها في محاولة تحديد

الصيغة المتنبئة في الكود لتتناسب مع هذه المعطيات. وإن التطور السريع للبيتون عالي الأداء قد أظهر أنه بالإضافة لمقاومته على الضغط فإن عوامل أخرى مثل نسبة الماء إلى الإسمنت يجب أن تستخدم لتحديد سلوك الزحف والإنكماش في الخرسانة وهذه العوامل التي تدخل في النموذج يجب أن تكون سهلة القياس والاستخدام من قبل مهندسي التصميم.

ويجب التركيز على أن تأثير نوع الاسمنت والإضافات للبيتون على الزحف والإنكماش غير مأخوذة بشكل كافٍ في الاعتبار في النماذج التصميمية الحالية.

2-3- القابلية للاستقراء الخارجي على المدى البعيد والتحديث (قابلية النموذج للتحديث وللتعميم على حالات لا يوجد فيها تجارب):

يجب أن تكون القابلية على التعديل بتوافر معطيات تجريبية جديدة أحد المعالم الأساسية في نماذج التنبؤ بالزحف في عمليات التصميم الهندسي. كما يهدف التحديث إلى تعميم نتائج التجارب المخبرية لتغطي أبعاد وأعمار المنشآت الحقيقية وإن عملية الاستقراء لا تعتمد على نوع النموذج المعتمد ولكن من جهة أخرى فإن الاستقراء للمدى البعيد والذي تستخدم فيه معطيات حُصل عليها بمدى زمني قصير لتقرير طول حياة والديمومة الإنشائية للمنشآت مقيساً بعوامل مثل التشوهات والتشققات الناجمة عن إعادة توزيع الاجهادات وضياح سبق الاجهاد إلى آخر ما هنالك يتطلب خلفية فيزيائية واضحة وإن قابلية المعلومات للاستقراء الخارجي أحد المتطلبات الرئيسية للصناعة اليوم.

2-4- انكماش الجفاف المحدود:

إذا ما كان منحنى الانكماش محدوداً أو غير محدود، وأنه من المقبول عموماً أن فيزياء آلية الانكماش فيما يخص فقدان الرطوبة لا يتفق وسلوك انكماش الجفاف غير المحدود بالإضافة إلى الزحف الناشئ عن الانكماش المتزامن معه وهذه النظرية المقبولة بشكل واسع قد تم التحقق منها تجريبياً في اختبارات واسعة على الانكماش مثل تلك التجارب التي قام بها ETH1 Zurich على نماذج رقيقة بما فيه الكفاية بحيث يمكنها الوصول إلى توازن الرطوبة وإن النماذج التي تعتمد الكودات يجب أن تأخذ هذه الحقيقة في الحسبان وأن تتجنب انكماش الجفاف غير المحدود.

2-5- القدرة على التنبؤ السليم لتاريخ تحميل منشآت حقيقية:

تتغير الاجهادات في المنشآت عادة مع الزمن مما يسبب الزحف والزحف المرتد وارتخاء الاجهادات ولأغراض تقدير (الزحف - الانكماش)، فإن مبدأ التضيد يبدو مقبولاً لمعظم معطيات الارتخاء وإن نموذجاً جيداً للتنبؤ بالزحف يجب أن تكون لديه القدرة على التنبؤ بالزحف المرتد والارتخاء وأن يتجنب ظواهر سيئة مثل الزحف المرتد السالب (بما معناه أن جزء من الاستعادة الأولية من قصر الطول الناشئ عن الزحف أو حتى مجمل هذا القصر في الطول ثم استعادته لاحقاً). وكذلك إرتخاء الاجهادات (ضغط غير محدود والذي قد يؤدي إلى إجهادات شد في العينة) وأن هناك اجماعاً على أن مثل هذه الخواص غير مرغوب فيها إن لم تكن خاطئة من ناحية المبدأ.

2-6- الاستقرار الحسابي:

إن طرائق الحساب باستخدام الكمبيوتر تزداد أهميتها باضطراد وإن تطبيق النماذج الحسابية يجب أن يكون سهلاً للمبرمجين وأن يكون مستقراً في الحسابات بأن يتجنب مشاكل التقارب في حلول الكمبيوتر. وإن تحليل منشآت ذات اجهادات متغيرة بتغير الزمن يتطلب الحصول على طيف التأخير لمنحنيات الزحف للنموذج المعتمد وبمساعدة قيم معامل المرونة الخاصة ب النموذج الحراري المتسلسل لكالفن، فإن حل مسائل الزحف الإنشائي يمكن أن تتم صياغتها من خلال معادلات تفاضلية وأن يتم حلها تفاضلياً دون حاجة إلى تأثير الذاكرة ودون هذه القيم فإن المرء أن

يحل المعادلات التفاضلية مبنية على مبدأ التنضيد والذي يخلق تأثيرات أو تاريخ تحمل والذي قد يكون أكثر تعقيداً بكثير. ومن المهم للنموذج الرياضي أن يسمح بالتحديد السهل لطيف التأخير لمنحنيات الزحف وهي خاصية تتطلبها توصيات RILEM العامة.

نماذج تقدير الزحف والانكماش للبيتون العادي والبيتون عالي الأداء مفهوم لطريقة موحدة من نماذج الكودات:

1- مقدمة:

إن نماذج تقدير الانكماش والزحف العملية للبيتون عادي المقاومة كانت مجال الاستخدام لعقود عدة. أما بالنسبة للبيتون عالي الأداء (مقاومة الضغط $f_c > 60\text{MPa}$ والذي يتزايد استخدامه بالواقع فإن بعض نماذج التقدير قد طورت مؤخراً [2,3,4].

ومن نقائص هذه النماذج أنها تغطي فقط سلوك البيتون عالي الأداء ولا تقدم استمراراً في التمثيل لتقدير التشوهات في البيتون العادي ولكن وبما أن الخصائص الأساسية لسلوك التشوه للبيتون ذي المقاومة العادية والبيتون عالي الأداء متشابهة جداً فيجب أن تعطى الأفضلية لتطوير طرائق تسمح بتقدير الزحف والانكماش لكلا نوعي البيتون. ستقوم هذه الورقة العلمية بتقديم نموذج يغطي البيتون عالي الأداء والعادي.

لقد تمت مراجعة الخصائص الخاصة بالانكماش والزحف للبيتون عالي الأداء فيما يخص تمثيل سلوك المادة مع الزمن وذلك اعتماداً على قاعدة المعلومات المتوفرة لدى RILEM.

ولسوف نثبت أن نماذج التقدير الخاصة بالبيتون عادي المقاومة لا يمكن تطبيقها ببساطة وتعميم استخدامها لتقدير الانكماش والزحف للبيتون عالي الأداء ومع ذلك فسوف نوضح أن المبادئ والمفاهيم المتفق عليها في خلق مثل هذه النماذج يمكن الإبقاء عليها.

بالنسبة للزحف يقترح نموذج خطي شديد القرب من الطريقة التي اعتمدها نموذج (CEB-FIP) الجمعية الأوروبية للبيتون - الاتحاد الدولي لسبق الاجهاد [5].

وعلى النقيض من ذلك النموذج فقد تم الفصل بين التأثيرات المختلفة للزحف الأساسي وزحف الجفاف بما في ذلك اقتراح علاقة مناسبة لتأثير أبعاد العناصر على زحف الجفاف.

أما بالنسبة للانكماش فقد تم الفصل ما بين مركبات الانكماش الذاتية وانكماش الجفاف.

وقد جرت معايرة هذه النماذج عددياً باستخدام قاعدة المعلومات المتوفرة لدى RILEM.

2 - التشوهات المتعلقة بالزمن للبيتون عالي الأداء:

يتأثر سلوك البيتون في الزحف والانكماش إلى حد كبير بعوامل داخلية مثل خواص المواد ومركبات البيتون وتركيب الخلطة. وبشكل خاص فإن البنية الدقيقة للمونة الاسمنتية المتصلبة لها تأثير كبير على خصائص الزحف والانكماش. فإن التغيرات في البنية الدقيقة والمرتبطة بالانتقال من البيتون العادي إلى البيتون عالي الأداء ينشأ عنها تغيرات ملحوظة في خصائص الزحف والانكماش.

تختلف البنية الدقيقة للبيتون عالي الأداء اختلافاً كبيراً عن البيتون ذي المقاومة العادية وبشكل خاص كونها

أقل مسامية وأكثر تجانساً في المونة الإسمنتية الصلبة الرابطة وبنية مختلفة لمناطق التماس ما بين المونة والمواد الحصى وبشكل أولي وبسبب المسامية القليلة للمادة الرابطة من المونة الاسمنتية الصلبة في البيتون عالي الأداء والتي تؤدي إلى صلابة أعلى فإن تشوهات الزحف والانكماش أقل منها عما هو الحال في البيتون ذي المقاومة العادية وبشكل خاص فإن خصائص الزحف والانكماش التي يمكن ربطها مباشرة بحركة الرطوبة مختلفة بشكل كبير بالنسبة للبيتون عالي الأداء.

وقد شملت قاعدة معلومات (RILEM) معظم المعطيات التجريبية عن الانكماش والزحف في البيتون عالي الأداء وتحتوي هذه على 419 مجموعة معطيات عن الانكماش و512 مجموعة من المعطيات عن الزحف جدول (1) و(2).

والنتائج العامة لهذه الدراسات ذات الأهمية المباشرة في صياغة نماذج تقدير الزحف والانكماش مدرجة أدناه.

1-2- خصائص الانكماش:

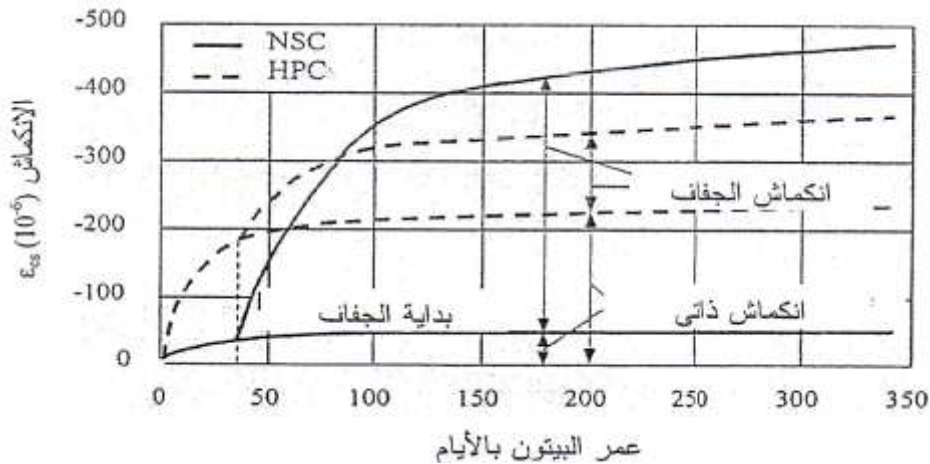
بينما يكون الانكماش الذاتي صغيراً بالنسبة للبيتون العادي إلا أنه يزداد بشكل ملحوظ للبيتون عالي الأداء فإن مركبة الانكماش هذه التي تحدث بغض النظر عن شروط الجو المحيط يجب أخذها بعين الاعتبار بشكل كاف في أي نموذج لحساب الانكماش.

الجدول (1) معطيات الانكماش عن البيتون عالي الأداء في المرجع [RIL-98]

نوع التشوهات	عدد المراجع	عدد التجارب	مجال قيمة f_{cm} (MPa)	محتوى أبخرة السيليكا الأعظمي (%)*
انكماش ذاتي	4	33	60-105	8.7
انكماش جفاف	11	45	17-111	17.6

* نسبة من محتوى الإسمنت

يبين الشكل (1) التطور مع الزمن للانكماش الذاتي وانكماش الجفاف في البيتون العادي والبيتون عالي الأداء.



الشكل (1)

واستناداً إلى الشكل رقم (1) والنتائج التجريبية الأخرى الموجودة في قاعدة RILEM للمعلومات يمكن ملاحظة الخصائص العامة الآتية للانكماش في البيتون عالي الأداء مقارنة مع البيتون العادي:

1- إن الانكماش الكلي (أي الانكماش الذاتي وانكماش الجفاف معاً) أقل من البيتون العادي.

- 2- تنقص مركبة انكماش الجفاف بشكل كبير في البيتون عالي الأداء بينما يزداد الانكماش الذاتي بشكل ملحوظ.
- 3- إن شكل تابع التغير مع الزمن للانكماش الكلي للبيتون عالي الأداء مشابه للبيتون العادي أما مركبة الانكماش الذاتي والمستقلة عن التأثيرات الخارجية فأنها تتطور بشكل أسرع مع الوقت بالمقارنة مع انكماش الجفاف الذي يتأثر إلى حد كبير بالعوامل الخارجية. مثل الرطوبة النسبية المحيطة وأبعاد العناصر.
- 4- إن تأثير عوامل مثل العمر لدى بداية الجفاف ونوع الأسمنت المستخدم على تطور الانكماش مختلفة ما بين البيتون عالي الأداء والبيتون العادي.
- ومن وجهة نظر علوم المواد فمن الواضح أنه بسبب المقاومة الأعلى والصلابة للمادة الحاوية من المونة الإسمنتية المتصلبة في البيتون عالي الأداء فإن جميع تأثيرات الانكماش التي تنشأ عن التفاعل المشترك مابين المادة الرابطة والمواد الحصى مختلفة عما هو الحال في البيتون العادي.
- ومع ذلك فإن المعلومات التجريبية المناسبة غير متوفرة بعد ولدى تمثيلنا الانكماش من المهم أن نلاحظ أن الخصائص المرتبطة بانتشار الرطوبة تتغير بشكل كبير مع ازدياد مقاومة البيتون وذلك بسبب تناقص مسامية المادة الرابطة وبناء على بعض النتائج التجريبية يمكن الاستنتاج أن التشققات الداخلية والتي تحد من الانكماش المقيس إلى حد ما هي أكبر في البيتون عالي الأداء.
- وتعطي التحريات التجريبية دليلاً واضحاً على أن مركبة الانكماش الذاتي تزداد بنقصان نسبة الماء إلى الإسمنت أي بازدياد مقاومة البيتون، وهذا عائد بشكل أساسي إلى ظاهرة معروفة من التجفيف الذاتي والذي يؤدي إلى رطوبة نسبية داخلية في عنصر من البيتون تقل بشكل كبير عن 1 وذلك اعتماداً على نسبة الماء إلى الإسمنت.
- وكنتيجة لذلك وفي بيتون عالي الأداء ($f_c > 100\text{MPa}$) فلن يحصل انكماش بل سيحصل بعض التمدد إذا كانت الرطوبة النسبية المحيطة مرتفعة نسبياً $RH > 0.90$ وإن إحدى النواحي الهامة المرتبطة بمقدار الانكماش وتطوره مع الزمن تتعلق بتأثيرات الإضافات المعدنية (الميزرالية) مثل الرماد وخبث الأفران ومن خلال عدة بحوث علمية، فإن من الواضح أن إضافة أبخرة السيليكا يزيد من الانكماش الذاتي بينما تؤدي إضافة الرماد إلى إنقاص التشوهات غير المرتبطة بالأحمال مقارنة بأنواع مماثلة من البيتون.

الجدول (2) معطيات الزحف للبيتون عالي الأداء في المرجع [RIL 98]

نوع التشوهات	عدد المراجع	عدد التجارب	مجال قيمة f_{cm} (MPa)	محتوى أبخرة السيليكا الأعظمي (%)*
الزحف الأساسي	4	31	62-105	10
زحف الجفاف	10	51	60-119	15.8

2-2- خصائص الزحف:

- إن خصائص الزحف للبيتون عالي الأداء قد بينت ونوقشت في المرجع MUE96 والفروق الرئيسية ما بين سلوك الزحف للبيتون عالي الأداء والبيتون ذي المقاومة العادية يمكن تلخيصها بما يلي:
- 1- إن مقدار تشوهات الزحف الإجمالية أي مجموع مركبة الزحف الأساسي ومركبة زحف الجفاف هي أقل بكثير في حالة بيتون عالي الأداء.
- 2- وبينما تنقص مركبة زحف الجفاف بشكل كبير في حالة بيتون عالي الأداء يكون النقص في مركبة الزحف الأساسي

أقل وتندني نسبة مركبة زحف الجفاف إلى مركبة الزحف الأساسي بتزايد مقاومة البيتون.

3- إن معدل الزحف لمجمل تشوهات الزحف للبيتون عالي الأداء أقل بشكل ملحوظ مما هو عليه في حالة البيتون العادي.

4- إن شكل تابع التحول مع الزمن لتشوهات الزحف الإجمالية للبيتون عالي الأداء مشابه لذلك التابع للبيتون ذي المقاومة العادية.

إن الفرق الأول ما بين خصائص الزحف بين (بيتون عالي الأداء HPC) و(بيتون عادي المقاومة NSC) يعتمد على مقدار المقاومة التي تم الوصول إليها في زمن التحميل، ويكون صحيحاً بشكل خاص لأنواع البيتون الإنشائي التي يجري تحميلها في أعمار تزيد عن يوم واحد، وينجم هذا الفرق عن المقاومة والصلابة اللتين هما أعلى بكثير والمسامية الأقل للمادة الرابطة من العجينة الإسمنتية المتصلبة في البيتون عالي الأداء HPC مقارنة مع NSC البيتون ذي المقاومة العادية.

نتيجة:

إن جميع آثار زحف البيتون الناجمة عن التفاعل ما بين المادة الرابطة والمواد الحصى مثل تأثير محتوى المواد الحصى وصلاحية المواد الحصى بالإضافة للشقوق الشعرية التي تسبب فيها الأحمال تنقص للبيتون HPC والذي يصنع بمواد حصى عادية.

وينشأ السبب الثاني وبشكل أساسي من المسامية المتدنية للمادة الرابطة المتصلبة من العجينة الإسمنتية ذات الأداء العالي، وكنتيجة لذلك فإن كل الظواهر المرتبطة بانتشار الرطوبة وحركتها مثل تأثير الرطوبة المحيطة وأبعاد العنصر والتجفيف المسبق على كمية الزحف تقل بالنسبة لـ HPC.

ومن الاعتبارات البسيطة لعلوم المواد يبدو واضحاً أن كل التأثيرات المعروفة ذات العلاقة على زحف البيتون (على سبيل المثال تأثير العمر عند التحميل، نوع الأسمنت، درجة حرارة البيتون، ومستوى الإجهاد). يجب أن تكون مختلفة إلى حد ما بالنسبة لـ HPC إلا أن المعلومات المتوفرة من التحريات المخبرية على البيتون الإنشائي لم تنزل محدودة جداً وليس هناك من معلومات على الإطلاق تمكن من وضع قيم عديدة لهذه التأثيرات.

3- النماذج الجديدة لتقدير الزحف والانكماش:

إن الطرائق المعروضة هنا للزحف والانكماش ذات علاقة وثيقة بالنماذج المعطاة في نموذج CEB Model [CEB 93] [Code 90] [5] وإن هذه النماذج مبنية على مفاهيم ذات قواعد متينة ومقبولة عالمياً للتنبؤ بالزحف والانكماش.

كما جرى تضمينها أيضاً في الكود الأوربي 2 (ENV91) ونظراً لقابلية التطبيق الواسعة التي يجري عرضها هنا والتي تغطي التشوهات المرتبطة بالزمن لكل من البيتون عالي الأداء والبيتون العادي الإنشائيين فقد كان من الضرورة إجراء بعض تعديلات وإضافات على النماذج السابقة وسوف تبين هذه التغييرات في الفقرات التالية ، 3.3.2.

3-1- تعاريف واعتبارات عامة:

إذا أهملنا التشوهات الحرارية فإن التشوه الإجمالي في البيتون $\varepsilon_c(t, t_0)$ الذي يحصل في الزمن t في عنصر من البيتون معرض إلى ظروف جوية معينة وخاضع لإجهاد في اتجاه واحد في الوقت t_0 يمكن التعبير عنه بالمعادلة

رقم (1):

$$\varepsilon_c(t, t_0, t_s) = \varepsilon_{ci}(t_0) + \varepsilon_{cc}(t, t_0) + \varepsilon_{cs}(t, t_s) \quad (1)$$

$\varepsilon_c(t, t_0, t_s)$ التشوه الكلي للبيتون.

$\varepsilon_{ci}(t_0)$ التشوه الأولي في البيتون عند تطبيق الإجهاد في الزمن t_0 .

$\varepsilon_{cc}(t, t_0, t_s)$ تشوه الزحف للبيتون في العمر الذي فيه $t \geq t_0$ بعد تطبيق الحمل.

$\varepsilon_{cs}(t, t_s)$ تشوه الانكماش في الزمن t .

t عمر البيتون لحظة الحساب.

t_0 عمر البيتون عند التحميل.

t_s عمر البيتون عند بداية التجفيف.

وينبغي ملاحظة أن التعاريف المعطاة لمركبات التشوه المنفردة أعلاه منسجمة مع تلك التعاريف في النموذج

[CEB93] ولسوف تعطى معادلات لكل من مركبات التشوهات في الأجزاء اللاحقة 3-2، 3-3.

إن الغرض من نماذج الزحف والانكماش المعروضة أدناه هو التنبؤ بالسلوك المتغير مع الزمن لمقطع عرضي وسطي لعنصر بيتوني معالج بالرطوبة في درجات حرارة عادية لمدة لا تزيد عن 14 يوماً ومعرض إلى رطوبة نسبية وسطى في المجال ما بين 40-100 في درجات حرارة محيطة $10-30^\circ\text{C}$ وهي صالحة للبيتون العادي الإنشائي ذو الوزن العادي وذو المقاومة المكعبية التي تتراوح ما بين 15-120MPa ويجب أن يكون العمر عند التحميل على الأقل يوماً واحداً وأن لا يتجاوز الإجهاد المسبب للزحف 40% من مقاومة البيتون في وقت التحميل.

وإن العوامل الداخلة في النموذج الجديد هي تماماً تلك للنموذج [CEB 93] وتستخدم مقاومة البيتون على

الضغط بعمر 28 يوماً كعامل وحيد يتعلق بالمواد والذي يأخذ اعتبارات تأثير تركيب البيتون بشكل إجمالي كبدل.

وباستخدام هذا المفهوم فإن عوامل مثل نسبة الماء إلى الإسمنت ومحتوى الحصى وكمية المواد الإضافية مثل أبرة السيليكا والرماد والتي تستخدم غالباً في صنع HPC لا تدخل في الاعتبار بشكل مباشر والسبب في ذلك أنه في معظم الحالات العملية فإن المهندس المصمم في مرحلة التصميم على علم فقط بالمقاومة وليس لديه معلومات فيما يتعلق بالعوامل الأخرى.

ومع ذلك فإن أخذ المقاومة على الضغط فقط بالحساب يمثل طريقة بدائية وبشكل خاص في حالة البيتون عالي

الأداء حيث يمكن أن يؤدي اعتبار محتوى أبرة السيليكا كعامل إضافي إلى تحسين دقة التقدير.

ولقد جرى التحقق من نماذج الحساب المعروضة هنا عددياً باستخدام قاعدة المعلومات الواسعة المتوفرة لدى

RILEM.

3-2- تقدير الانكماش:

بالنظر إلى ما تم الوصول إليه بشأن البيتون عالي الأداء فقرة 1-2 فإن الطريقة الجديدة للانكماش تقسم الانكماش الكلي إلى مركبتين انكماش ذاتي وانكماش ناشئ عن الجفاف وبينما تكون الصلة وثيقة ما بين النموذج المعتمد لانكماش الجفاف مع تلك المعطاة بالنموذج [CEB93] إلا أنه كان هناك حاجة لاشتقاق علاقة جديدة للانكماش الذاتي. كما جرت بعض التعديلات على مركبة انكماش الجفاف حيث إن النموذج الجديد يجب أن يغطي كلا نوعي البيتون HPC والعادي NSC فكان لابد من وضع نموذج لانكماش ذاتي للبيتون العادي أيضاً.

ويمكن حساب الانكماش الكلي $\varepsilon_{cs}(t)$ من المعادلة رقم 2 أدناه

$$\varepsilon_{cs}(t, ts) = \varepsilon_{cas}(t) + \varepsilon_{cds}(t, ts) \quad (2)$$

انكماش الجفاف انكماش ذاتي

حيث:

$$\varepsilon_{cas}(t) = \varepsilon_{caso}(f_{cm}) \cdot \beta_{as}(t) \quad (3)$$

$$\varepsilon_{cds}(t, t_s) = \varepsilon_{cdso}(f_{cm}) \cdot \beta(RH) \cdot \beta_{ds}(t - t_s) \quad \text{و:}$$

حيث:

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) \Rightarrow \text{الانكماش الكلي في الزمن } t$$

$$\varepsilon_{cas}(t) \Rightarrow \text{الانكماش الذاتي بالزمن } t$$

$$\varepsilon_{cds}(t, t_s) \Rightarrow \text{انكماش الجفاف بالزمن } t$$

$$\varepsilon_{caso}(f_{cm}) \Rightarrow \text{معامل الانكماش الذاتي الاعتباري يؤخذ من معادلة (5)}$$

$$\varepsilon_{cdso}(f_{cm}) \Rightarrow \text{معامل انكماش الجفاف الاعتباري يؤخذ من معادلة (7)}$$

$$\beta_{as}(t) \text{ تابع يصف تطور الانكماش الذاتي مع الزمن ويؤخذ (6)}$$

$$\beta_{RH}(RH) \text{ عامل يؤخذ بعين الاعتبار تأثيرات الرطوبة على انكماش الجفاف (8)}$$

$$\beta_{ds}(t - t_s) \Rightarrow \text{تابع يصف تغير انكماش الجفاف مع الزمن ويؤخذ من (9)}$$

عمر البيتون بالأيام في الزمن الذي يدرس فيه التشوهات
عمر البيتون لدى بداية التجفيف بالأيام t_s
فترة التجفيف بالأيام $t - t_s$

ويمكن تقدير الانكماش الذاتي $\varepsilon_{cs}(t)$ كما هو بالمعادلة 3 باستخدام المعادلات 5 و 6.

$$\varepsilon_{caso}(f_{cm}) = -\alpha_{as} \left(\frac{f_{cm}/f_{cm0}}{6 + f_{cm}/f_{cm0}} \right)^{2.5} \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp \left(-0.2 \left(\frac{t}{t_1} \right)^{0.5} \right) \quad (6)$$

المقاومة الوسطى للبيتون على الضغط بعمر 28 يوم (ميغا باسكال) f_{cm}

الحد الأدنى للمقاومة ميغا باسكال $f_{cm0} = 10 \text{ MPa}$

يوم $t_1 = 1$

عامل يعتمد على نوع الإسمنت حيث α_{as}

إسمنت بطيء التصلب $\alpha_{as} = 800$

إسمنت عادي أو سريع التصلب $\alpha_{as} = 700$

إسمنت سريع التصلب عالي المقاومة $\alpha_{as} = 600$

إن مركبة الزحف الذاتي لا تتعلق بالرطوبة النسبية وبأبعاد العنصر وتزداد بشكل أسرع من انكماش الجفاف.

من أجل انكماش الجفاف $\varepsilon_{cds}(t, ts)$ والمعطى بالعلاقة 4 يمكن أن يحدد باستخدام المعادلات 7-10.

$$\varepsilon_{cdso}(f_{cm}) = [(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp(-\alpha_{ds2} \cdot f_{cm}/f_{cm0})] 10^{-6} \quad (7)$$

$$\beta_{RH} = \begin{cases} -1.55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] & \text{for } 40 \leq RH < 99\% \cdot \beta_{s1} \\ 0.25 & \text{for } RH \geq 99\% \cdot \beta_{s1} \end{cases} \quad (8)$$

$$\beta_{ds}(t-t_s) = \left(\frac{(t-t_s)/t_1}{350 \cdot (h/h_0)^2 + (t-t_s)/t_1} \right)^{0.5} \quad (9)$$

$$\beta_{st} = \left(\frac{3.5f_{cm0}}{f_{cm}} \right)^{0.1} \leq 1.0 \quad (10)$$

حيث:

α_{ds1} عامل يعتمد على نوع الإسمنت

$\alpha_{ds1} = 3$ إسمنت بطيء التصلب

$\alpha_{ds1} = 4$ الإسمنت العادي أو سريع التصلب

$\alpha_{ds1} = 6$ إسمنت عالي المقاومة سريع التصلب

حيث: عامل يعتمد على نوع الإسمنت α_{ds2}

$\alpha_{ds2} = 0.13$ إسمنت بطيء التصلب

$\alpha_{ds2} = 0.11$ عادي أو سريع التصلب

$\alpha_{ds2} = 0.12$ عالي المقاومة سريع التصلب

عامل يأخذ بعين الاعتبار الجفاف الذاتي للبيتون عالي الأداء β_{s1}

RH الرطوبة النسبية المحيطة بالنسبة المئوية

$RH_0 = 100\%$

الارتفاع المكافئ للمقطع العرضي حيث $h = 2A_c/u$

A_c مساحة المقطع mm^2

u محيط المقطع الذي هو بتماس مع السطح الخارجي mm

$H_0 = 100 mm$

$F_{cm} = 10 MPa$

وبموجب تطبيق المعادلة رقم 8 على البيتون ذي المقاومة العادية يتوقع أن يحصل انتفاخ أو تمدد إذا تعرض البيتون إلى رطوبة نسبية محيطة تقارب 99% أما بالنسبة للبيتون في المقامات الأعلى فيحدث الانتفاخ أو التمدد بدرجات رطوبة نسبية أقل بسبب النقص الحاصل مسبقاً في الرطوبة النسبية بسبب التجفيف الذاتي انظر الفقرة 2-1.

3-3- تقدير الزحف:

بالعودة إلى نتائج الاختبارات الموجودة على الزحف للبيتون عالي الأداء يتضح أن طريقة معالجة معامل الزحف وتابع الزحف بالترتيب يجب أن تشمل فصلاً للزحف الكلي إلى مركبتين (1) الزحف الأساسي (2) زحف الجفاف. ومع أن الطريقة المستخدمة بالنموذج [CEB-93] لا تبين فصلاً واضحاً للزحف الكلي إلى مركبتين أساسيين وجفاف إلا أن هذا التمييز بين مركبتي التشوه موجود بشكل مبسط [CEB90] وقد كانت هذه الحقيقة عنصراً حاسماً في مدى ملائمة النموذج للتعميم باتجاه تقدير الزحف لكل من البيتون العادي وعالي الأداء ويمكن العودة إلى المرجع MUE 96 من أجل تبريرات تفصيلية للطريقة الجديدة لتقدير الزحف. إن تشوه الزحف للبيتون يحسب بالمعادلة:

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \varphi(t, t_0) \cdot \frac{\sigma_c(t_0)}{E_c} \quad (11)$$

حيث $\varphi(t, t_0)$ عامل الزحف

$\sigma_c(t_0)$ الإجهاد الثابت المطبق في وقت التحميل

E_c معامل المرونة للبيتون بعمر 28 يوم.

وتابع الزحف $J(t, t_0)$ والذي يمثل كامل التشوه الذي يعتمد على الأحمال لوحدة الإجهاد معطى بالعلاقة:

$$J(t, t_0) = \frac{1}{E_c} [n(t_0) + \varphi(t, t_0)] \quad (12)$$

$$n(t_0) = E_c / E_c(t_0)$$

حيث:

$E_c(t_0)$: معامل المرونة في الوقت t_0

وبلاحظ أنها:

$$E_c(t_0) = \frac{\sigma_c(t_0)}{\varepsilon_{ci}(t_0)}$$

حيث: $\varepsilon_{ci}(t_0)$: التشوه الأولي عند التحميل معادلة رقم (1)

وباستخدام تعاريف التشوهات في النموذج [CEB-93] فإن مركبات التشوه المتفرقة المعطاة بالمعادلات من

11 ← 15 تبقى متوافقة مع بعضها بعض.

1-3-3- معامل المرونة:

إن قيمة معامل المرونة للبيتون بعمر 28 يوم E_c يمكن أن تقدر باستخدام المقاومة على الضغط للبيتون

بمعادلة رقم [13]. مقاومة وسطى على الضغط للبيتون مقدرة بالميجا باسكال:

$$E_c = 21500 \sqrt[3]{\frac{f_{cm}}{f_{cmo}}} \rightarrow \quad (13)$$

$$f_{cmo} = 10 \text{ MPa}$$

ومعامل المرونة للبيتون بعمر لا يساوي 28 يوم يمكن أن يحسب من المعادلة 14 حيث يوم $t_1=1$

$$E_c(t) = E_c \cdot \exp \left\{ \frac{s}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{28}{t/t_1}} \right] \right\} \quad (14)$$

s: يعتمد على نوع الإسمنت ومقاومة البيتون على الضغط ويؤخذ من الجدول (3):

الجدول (3) التابع s حسب المعادلة رقم (14)

f_{cm} (MPa)	نوع الإسمنت	s
≤ 60	RS	0.20
	N, R	0.25
	SL	0.38
> 60	جميع الأنواع	0.20

RS- إسمنت عالي المقاومة سريع التصلب.

N,R- إسمنت عادي وسريع التصلب.

SL- إسمنت بطيء التصلب.

2-3-3- معامل الزحف:

وفقاً للنموذج رقم [CEB-93] [5] فإن معامل الزحف $\varphi(t, t_0)$ يمكن أن يكتب كما يلي:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) \quad (15)$$

φ_0 : معامل الزحف الاسمي

$\beta_c(t, t_0)$ تابع يصف العلاقة ما بين الزحف والزمن بعد التحميل

ويمكن تقدير العوامل φ_0 و $\beta_c(t, t_0)$ بالمعادلات التالية:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \quad (16)$$

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH/RH_0}{\sqrt[3]{0.1h/h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad (17)$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{5.3}{\sqrt{f_{cm}/f_{cm0}}} \quad (18)$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0.1 + (t_0/t_1)^{0.2}} \quad (19)$$

$$t_0 = t_{0,T} \left[\frac{9}{2 + (t_{0,T}/t_{1,T})^{1.2}} + 1 \right]^\alpha \geq 0.5 \text{ days} \quad (20)$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)/t_1}{\beta_H + (t - t_0)/t_1} \right]^{0.3} \quad (21)$$

$$\beta_H = 150 \left[1 + (1.2 RH/RH_0)^{18} \right] h/h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3 \quad (22)$$

حيث:

t : عمر البيتون بالأيام في اللحظة المعتبرة

t_0 : عمر البيتون عند التحميل بالأيام

$t_{0,T}$: عمر البيتون عند التحميل معدلاً بما يتفق وحرارة البيتون ومن أجل $T=20^\circ$ يكون $t_{0,T}$ يوم $t_{1,T}=1$

مطابقاً لـ t_0 أما بالحالات الأخرى يرجع للمرجع [CEB-93] [5].

α : عامل يعتمد على نوع الإسمنت $\alpha = -1$ إسمنت بطيء التصلب $\alpha = 0$ سريع عادي

$\alpha = 1$ للإسمنت عالي المقاومة سريع التصلب.

α_i معاملات تعتمد على المقاومة الوسطى على الضغط للبيتون حسب المعادلة:

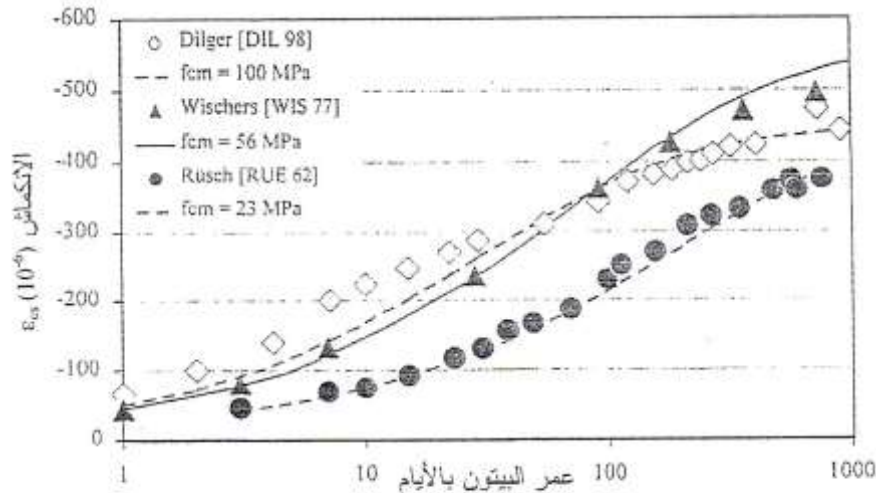
$$\alpha_1 = \left[\frac{3.5f_{cm0}}{f_{cm}} \right]^{0.7}, \alpha_2 = \left[\frac{3.5f_{cm0}}{f_{cm}} \right]^{0.2}, \alpha_3 = \left[\frac{3.5f_{cm0}}{f_{cm}} \right]^{0.5} \quad (23)$$

وقد جرى تعريف باقي المتحولات والعوامل في الفقرات السابقة.

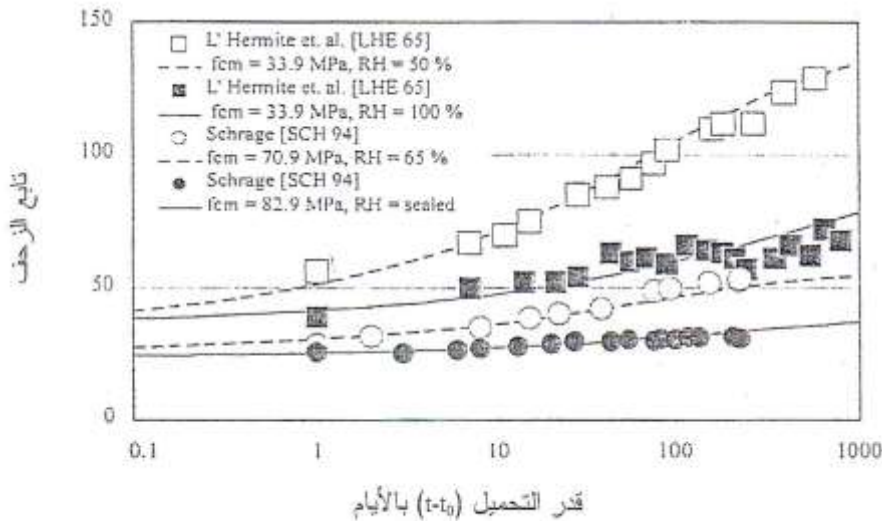
4- التقييم الإحصائي:

لقد جرى التحقق من النماذج الجديدة لتقدير الزحف والانكماش في البيتون العادي وعالي الأداء باستخدام المعلومات التجريبية المتوفرة في قاعدة المعلومات RILEM وتبين الأشكال 2 و 3 دقة نماذج التقدير للانكماش والزحف بالترتيب ومن الواضح من هذه الأشكال أن نماذج التقدير هذه تتفق بشكل معقول مع المعطيات التجريبية إلا

أن مثل هذه المقارنة ما بين التشوهات المقيسة والمحسوبة هي اعتبارية إلى حد ما بسبب اختيار مجموعات معطيات معينة. ويمكن الوصول إلى تقييم موضوعي بالدقة الإجمالية للنماذج المقترحة باعتماد معامل التغير الذي يتم حسابه وفقاً لطريقة موثقة جيداً في ما تم نشره ويعطي الجدول (4) معاملات التغير لتشوه الانكماش ولتتابع الزحف لكلا من البيتون العادي وعالي الأداء والقيم التي تم الوصول إليها تبين أن نماذج التقدير المقترحة هي على اتفاق معقول مع معطيات التشوهات المقيسة ويلاحظ أن القيمة العالية لـ V معامل التغير لانكماش البيتون عالي الأداء تعود للعديد من التجارب لقياس الانكماش الذاتي والتي احتوت تناثراً كبيراً فيما بينها.



الشكل (٢) مقارنة ما بين النموذج الرياضي المقترح ومعطيات بعض الباحثين التجريبية للانكماش



الشكل (٣) مقارنة بين النموذج الرياضي المقترح وبعض معطيات الباحثين التجريبية للزحف

الجدول رقم (4) معامل التغير لحساب الزحف والانكماش

نوع التشوه	نوع البيتون	عدد التجارب	V (%)	
زحف	HPC	82	19.0	26.7
	NSC	221	29.0	
انكماش	HPC	78	37.3	32.8

	NSC	91	28.1	
--	-----	----	------	--

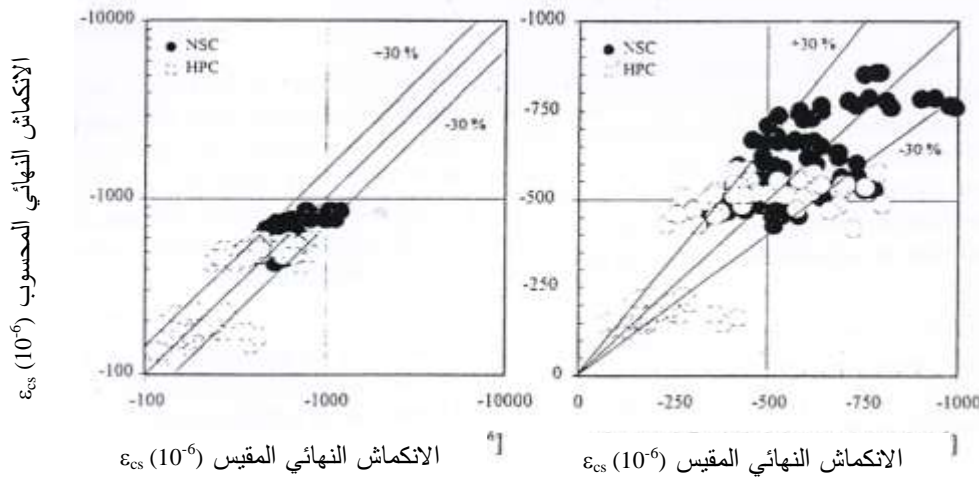
V: معامل التغير لحساب الزحف والانكماش

ولو أن انكماش البيتون عالي الأداء قد تم قياسه فقط على عينات غير مختومة فإن معامل التغيرات يصبح $V=28.8\%$

وفي معظم الحالات العملية فإن ما يهمنا هو فقط القيمة النهائية للتشوهات المتغيرة مع الزمن بمعنى آخر توابع الانكماش النهائي والزحف النهائي ومعامل الزحف. ويبين الشكلان 4 و 5 دقة النماذج الجديدة في تقدير القيم النهائية للتشوهات لكل من البيتون العادي وعالي الأداء ويمكن أن نرى أنه في معظم الأحوال أن خطأ التقدير دون 30%.

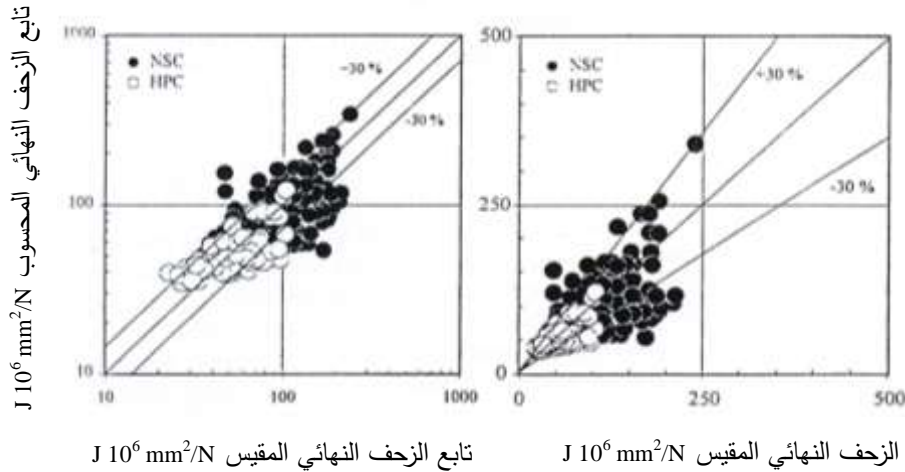
5- نتائج البحث:

بالرغم من توفر الكثير من المعطيات عن البيتون عالي الأداء إلا أنه يجب الاعتراف أنه نظراً لشدة تعقيد التشوهات المتغيرة مع الزمن. فإن قاعدة المعلومات تبقى محدودة جداً. ولا تتوفر هناك بعض المعلومات عن كثير من التأثيرات على الانكماش والزحف للوصول إلى علاقات مناسبة لنماذج التقدير فإن الطرق الجديدة لتقدير الزحف والانكماش قد تتغير أو تعمم لدى ظهور معلومات جديدة عن ظواهر التشوه في البيتون عالي الأداء وهناك العديد من التحريات النظرية والتجريبية التي تجري حالياً (MUE99) ومن ناحية أخرى فإن هذه الطرائق يجب أن تبقى بسيطة طالما لم تحصل تحسينات كبيرة بتوفر علاقات أكثر دقة " ومن هذا المنطلق تتم مناقشة بعض العلاقات المعطاة بالنماذج الجديدة فيما يلي:



الشكل (4) تشوهات الانكماش النهائية المحسوبة والمقاسة المخطط اليساري لوغاريتمي واليميني خطي

ومن الممكن التصريح بشكل عام إنه ودون تعديل الطرائق المبينة فإن دقة التقدير يمكن تحسينها إذا استبدل عامل مقاومة البيتون على الضغط بعوامل تبين تركيب البيتون مثل نسبة الماء إلى الإسمنت وكمية الإسمنت وكمية ونوع المواد المضافة والإضافات. ولم يجر إدخال هذه العوامل في النموذج الحالي للأسباب التي ذكرها في الفقرة 3-1.



الشكل (5) تشوهات الزحف النهائية المحسوبة والمقاسة المخطط اليساري لوغاريتمي واليميني خطي

1-5- الانكماش:

إن تقدير معامل الانكماش الذاتي الاسمي بالمعادلة رقم 5 يمكن أن يحسن بتوفر معلومات تفصيلية عن نوع الإسمنت، إضافة إلى العوامل التي أخذت بعين الاعتبار، وقد أبدت الدراسات التجريبية الحديثة أن وجود خبث الأفران المطحون في الإسمنت سوف يؤدي إلى زيادة الانكماش الذاتي بشكل كبير (TAZ98).

أما فيما يخص تابع التحول مع الزمن للانكماش الذاتي (المعادلة رقم 6) فلم يكن هناك أي تحسين يذكر في دقة التنبؤ به، وذلك إذا ما تم اعتبار المقاومة على الضغط كعامل مؤثر وتبقى جميع الاعتبارات الخاصة بالانكماش الذاتي صحيحة عند دراسة انكماش الجفاف وتغيره مع الزمن.

ويمكن إحداث بعض التحسين في النموذج إذا ما أدخل في الصيغة زمن بداية التجفيف ويصح هذا لكل من البيتون العادي وعالي المقاومة ولكن وضمن الشروط العادية للمعالجة بالرطوبة عادة فإن تأثير هذا العامل على مقدار الانكماش لم يكن ذا تأثير يذكر.

وإن الطريقة المختارة فيما يخص التجفيف الذاتي المعادلات 10.8 لا تزال بدائية ويمكن تحسينها لدى اعتبار التحريات التي تتم بشكل نظامي على أنواع البيتون الإنشائي حالياً (MUE99).

إن إحدى المشاكل العامة في الوصول إلى تقدير أمثل من ناحية الدقة للانكماش ينجم عن فرق أساسي يمكن رؤيته في مقدار الانكماش، وذلك اعتماداً على مكان إجراء التحريات المخبرية ومن الواضح جداً من قاعدة المعلومات المتوفرة أن أنواع البيتون التي تمت دراستها في الولايات المتحدة تعطي دائماً قيماً أعلى للانكماش من أنواع البيتون المماثلة في التحريات الأوروبية ويمكن أن يرد ذلك إلى الفروق في أنواع الإسمنت أو إلى بعض الفروق المتصلة بتركيب البيتون. ومن وجهة النظر هذه فينبغي ملاحظة أن نموذج تقدير الانكماش المعروض هنا غير منحاز لمجموعة معطيات معينة بمعنى أن هذا النموذج قد طور باستخدام كل المعلومات الموجودة في قاعدة البيانات.

5-2 - الزحف:

من المعروف جيداً أنه حتى بالنسبة لمقاومة معينة أن معامل المرونة يعتمد على نوع الحصويات وتصبح المعادلة رقم 13 لأنواع البيتون المصنوعة من المواد الحصوية الكوارتزيتية وفي النموذج (CEB 93) [5] توجد عوامل تأخذ بعين الاعتبار تأثير نوع الحصويات.

وطالما لم تتوفر معلومات إضافية فيمكن استخدام هذه العوامل ومن وجهة نظر علوم المواد يبدو أن هذه العوامل قد تتغير بشكل طفيف للبيتون عالي الأداء وهذا عائد لحقيقة أن نسبة معاملات المرونة للمادة الرابطة من العجينة الإسمنتية والمواد الحصوية المستخدمة في المقاومة العادية تزداد بازدياد مقاومة البيتون ولا توجد حتى الآن تحريات مفصلة عن هذا الموضوع.

ولا تأخذ المعادلة (14) في الاعتبار أن تغير معامل المرونة مع الزمن يعتمد أيضاً على تركيب البيتون أي نسبة الماء إلى الإسمنت ونوع ومقدار الإضافات مثل أبخرة السيليكا والرماد المتطاير .

وكنتيجة لذلك فإن بعض التعديل في المعادلة (14) بناء على معلومات تجريبية مناسبة قد يكون ضرورياً في البيتون عالي الأداء (MUE 95-2)

من الواضح أن الخطوة الأولى هي تقريب معقول لتغير معامل المرونة مع الزمن للبيتون عالي الأداء إذا أخذت قيمة العامل s مساوياً 0.2 بالمعادلة رقم (14) أنظر الجدول رقم 3.

وعلى المرء أن يتوقع أيضاً على سبيل المثال أن عوامل إضافية ينبغي إدخالها للأخذ بعين الاعتبار موضوع تابع الشيوخة المعطى بالمعادلة 19 ولكن المعلومات المتوفرة على سلوك الشيوخة للبيتون عالي الأداء وتأثير نوع الإسمنت لم تنزل قليلة جداً. ونظراً للمعلومات المحدودة والمتناثرة فقد أبقيت المعادلة 19 كما هي معطاة بالنموذج [CEB 93] [5].

المحلق (1)

برنامج حاسب بلغة QBASIC لحساب تشوهات الزحف والانكماش مع الزمن حسب النموذج الرياضي المعتمد في البحث

```

DECLARE SUB InputModule (fcm!, RH!, ts!, t0!, h!, CementType$)
DECLARE SUB ConstantsModule (fcm0!, t1!, RH0!, h0!, t1T!)
DECLARE FUNCTION EPSCas! (ALPHAas!, fcm!, fcm0!, t!, t1!)
DECLARE FUNCTION EPScs! (ALPHAas!, ALPHAds1!, ALPHAds2!, fcm!,
fcm0!, RH!, RH0!, t!, ts!, t1!, h!, h0!)
DECLARE FUNCTION EPScds! (ALPHAds1!, ALPHAds2!, fcm!, fcm0!, RH!,
RH0!, t!, ts!, t1!, h!, h0!)
DECLARE FUNCTION BETAds! (t!, ts!, t1!, h!, h0!)
DECLARE FUNCTION EPScds0! (ALPHAds1!, ALPHAds2!, fcm!, fcm0!)
DECLARE FUNCTION BetaRH! (RH!, RH0!, fcm!, fcm0!)
DECLARE FUNCTION BETAs! (fcm!, fcm0!)
DECLARE FUNCTION EPScas0! (ALPHAas!, fcm!, fcm0!)
DECLARE FUNCTION BETAas! (t!, t1!)
DECLARE SUB CreepCoeff (EPScc!, fcm0!, fcm!, SIGMAc!, RH!, RH0!, h!, h0!,
ALPHA!, s!, t!, t0!, t1!, t1T!)
DECLARE SUB CementTypeParameters (CementType$, ALPHAas!, ALPHAds1!,
ALPHAds2!, ALPHA!, s!, fcm!)
Dim epa(200), eps(200), ept(200), EPScc(200, 3), SIGMAc(3)
Call InputModule(fcm!, RH!, ts!, t0, h!, CementType$)
Call CementTypeParameters(CementType$, ALPHAas, ALPHAds1, ALPHAds2,
ALPHA, s, fcm)
Call ConstantsModule(fcm0!, t1!, RH0!, h0!, t1T)
Open "Shrink.csv" For Output As #1
For t = 0 To 1000 Step 10
Counter = Counter + 1
epa(Counter) = EPSCas!(ALPHAas!, fcm!, fcm0!, t!, t1!)
If t >= ts Then eps(Counter) = -EPScds!(ALPHAds1, ALPHAds2, fcm!, fcm0!, RH!,
RH0!, t!, ts!, t1!, h!, h0!)
ept(Counter) = epa(Counter) + eps(Counter)
Print #1, t, ", "; epa(Counter), ", "; eps(Counter), ", "; ept(Counter)
Next t
Close #1
SIGMAc(1) = 0.5 * fcm
SIGMAc(2) = 0.7 * fcm
SIGMAc(3) = 0.9 * fcm
Counter = 0
Open "creep.csv" For Output As #2
For t = 0 To 1000 Step 10
Counter = Counter + 1

For j = 1 To 3
If t >= t0 Then Call CreepCoeff(EPScc(Counter, j), fcm0, fcm, SIGMAc(j), RH,
RH0, h, h0, ALPHA, s, t, t0, t1, t1T)

```

```

Next j
Print #2, t, ", "; EPScc(Counter, 1), ", "; EPScc(Counter, 2), ", "; EPScc(Counter, 3)
Next t
Close #2
End
Function BETAas(t, t1)
BETAas = 1 - Exp(-0.2 * (t / t1) ^ 0.5)
End Function
Function BETAds(t, ts, t1, h, h0)
BETAds = ((t - ts) / t1 / (350 * (h / h0) ^ 2 + (t - ts) / t1)) ^ 0.5
End Function
Function BetaRH(RH, RH0, fcm, fcm0)
If RH >= 0.99 * BETAsl(fcm, fcm0) Then
    BetaRH = 0.25
Else
    If (RH >= 40) And (RH < 0.99 * BETAsl(fcm, fcm0)) Then
        BetaRH = -1.55 * (1 - (RH / RH0) ^ 3)
    Else
        Print " RH is out of range ", RH
    End If
End If
End Function
Function BETAsl(fcm, fcm0)
LocVar = (3.5 * fcm0 / fcm) ^ 0.1
If LocVar > 1 Then LocVar = 1
BETAsl = LocVar
End Function
Sub CementTypeParameters(CementType$, ALPHAas, ALPHAds1, ALPHAds2,
ALPHA, s, fcm)
Select Case CementType$
Case "SL"      'Slow Hardening Cement
    ALPHAas = 800
    ALPHAds1 = 3
    ALPHAds2 = 0.13
    ALPHA = -1
    s = 0.2
Case "NR"      'Normal and Rapidly Hardening Cement
    ALPHAas = 700
    ALPHAds1 = 4
    ALPHAds2 = 0.11
    ALPHA = 0
    s = 0.25
Case Else      "'RS" Rapidly Hardening High Strength Cement
    ALPHAas = 600
    ALPHAds1 = 6
    ALPHAds2 = 0.12
    ALPHA = 1
    s = 0.38

```

```

End Select
  If fcm > 60 Then s = 0.2
End Sub
Sub ConstantsModule(fcm0, t1, RH0, h0, t1T)
fcm0 = 10      'MPa
t1 = 1        'Day
h0 = 100      'mm
RH0 = 100     'Percentage
t1T = 1       'Day
End Sub
Sub CreepCoeff(EPScc, fcm0, fcm, SIGMAc, RH, RH0, h, h0, ALPHA, s, t, t0, t1,
t1T)
      'Equations 23, pp. 126
ALPHA1 = (3.5 * fcm0 / fcm) ^ 0.7
ALPHA2 = (3.5 * fcm0 / fcm) ^ 0.2
ALPHA3 = (3.5 * fcm0 / fcm) ^ 0.5
      'Equation 22, pp. 125
BetaH = 150 * (1 + (1.2 * RH / RH0) ^ 18) * h / h0 + 250 * ALPHA3
If BetaH > (1500 * ALPHA3) Then BetaH = 1500 * ALPHA3
      'Equation 20, pp. 125
      'Equation needs clarification
      'as it cannot be used as is

Rem t0 = t0T * (9 / (2 + (t0T / t1T) + 1) ^ ALPHA)
Rem IF t0 < .5 THEN t0 = .5
      'Equation 21, pp. 125
BETAc = ((t - t0) / t1 / (BetaH + (t - t0) / t1)) ^ 0.3
      'Equation 19, pp. 125
BETAat0 = 1 / (0.1 + (t0 / t1) ^ 0.2)
      'Equation 18, pp. 125
BETAfcm = 5.3 / (fcm / fcm0) ^ 0.5
      'Equation 17, pp. 125
FiRH = (1 + (1 - RH / RH0) / (0.1 * h / h0) ^ (1 / 3) * ALPHA1) * ALPHA2
      'Equation 16, pp. 124
Fi0 = FiRH * BETAfcm * BETAat0
      'Equation 15, pp. 124
Fitt0 = Fi0 * BETAc
      'Equation 13, pp. 123
Ec = 21500 * (fcm / fcm0) ^ (1 / 3)
      'Equation 14, pp. 124

Ect = Ec * Exp(s / 2 * (1 - (28 * t1 / t) ^ 0.5))
Ect0 = Ec * Exp(s / 2 * (1 - (28 * t1 / t0) ^ 0.5))
nt0 = Ec / Ect0
      'Equation 12, pp. 123
j = 1 / Ec * (nt0 + Fitt0)
      'Equation 11, pp. 123
EPScc = Fitt0 * SIGMAc / Ec

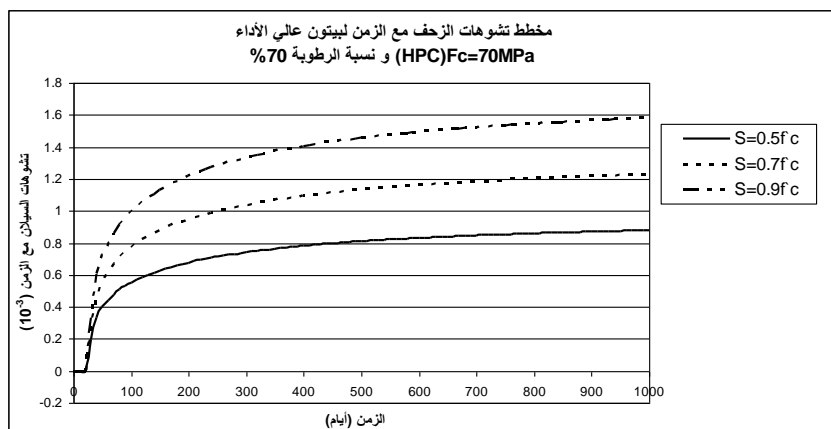
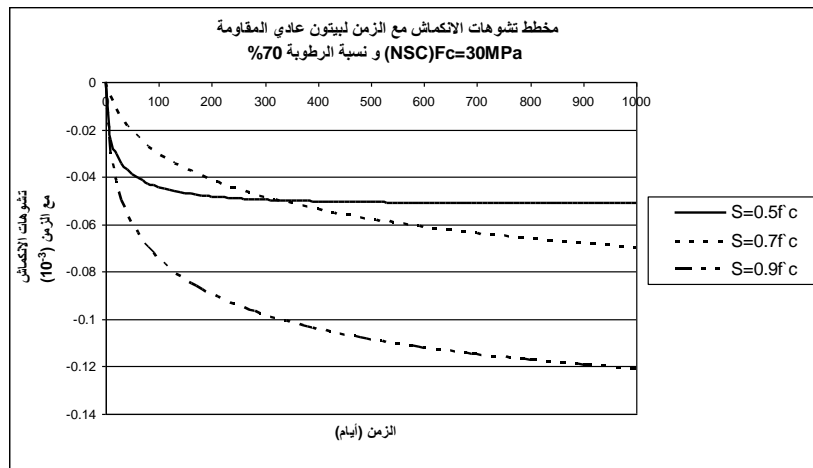
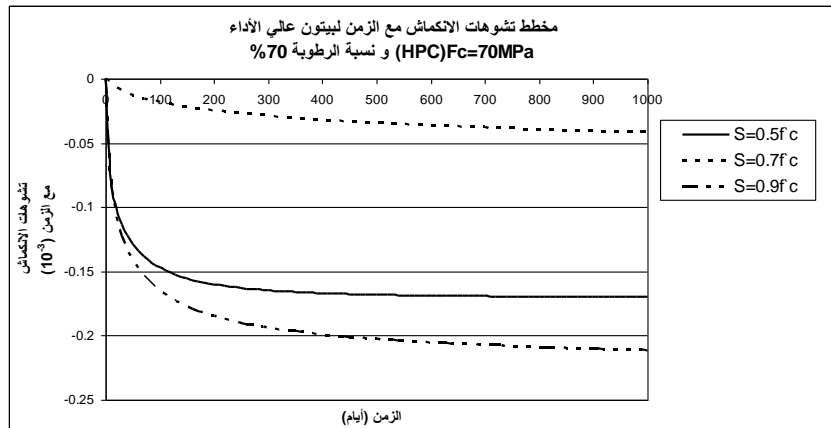
```

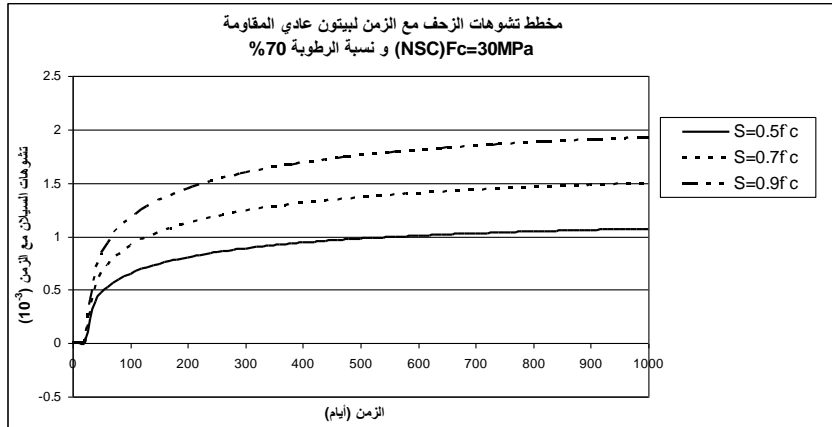
```

End Sub
Function EPScas(ALPHAAs, fcm, fcm0, t, t1)
LocVar1 = EPScas0(ALPHAAs, fcm, fcm0)
LocVar2 = BETAAs(t, t1)
EPScas = LocVar1 * LocVar2
End Function
Function EPScas0(ALPHAAs, fcm, fcm0)
EPScas0 = -ALPHAAs * ((fcm / fcm0) / (6 + fcm / fcm0)) ^ 2.5 / 1000000
End Function
Function EPScds(ALPHAds1, ALPHAds2, fcm, fcm0, RH, RH0, t, ts, t1, h, h0)
LocVar1 = EPScds0(ALPHAds1, ALPHAds2, fcm, fcm0)
LocVar2 = BetaRH(RH, RH0, fcm, fcm0)
LocVar3 = BETAds(t, ts, t1, h, h0)
EPScds = LocVar1 * LocVar2 * LocVar3
End Function
Function EPScds0(ALPHAds1, ALPHAds2, fcm, fcm0)
EPScds0 = ((220 + 110 * ALPHAds1) * Exp(-ALPHAds2 * fcm / fcm0)) / 1000000
End Function
Function EPScs(ALPHAAs, ALPHAds1, ALPHAds2, fcm, fcm0, RH, RH0, t, ts, t1,
h, h0)
LocVar1 = EPScas(ALPHAAs, fcm, fcm0, t, t1)
LocVar2 = EPScds(ALPHAds1, ALPHAds2, fcm, fcm0, RH, RH0, t, ts, t1, h, h0)
EPScs = LocVar1 + LocVar2
End Function
Sub InputModule(fcm, RH, ts, t0, h, CementType$)
INPUT "Cement Type, SL, NR or RS "; CementType$
INPUT "Value of Concrete Compressive Stress fcm in MPa "; fcm
INPUT "Value of Relative Humidity RH in Percentage "; RH
INPUT "Value of Age at Drying ts in Days "; ts
INPUT "Value of Age at Loading t0 in Days "; t0
INPUT "Value of Equivalent Height h in mm "; h
End Sub

```

المحلق (2)





المراجع:

- 1- A. Al Manaseer, B. Espion, F.J. Olm «Conclusions: ACI Paris Chapter Workshop on Creep and Shrinkage in Concrete Structures» eds. F.J. ulm, M. Prat, J. A. Calgaro and I Card Revue Francaise de Hernes Science, Publication, Paris 1999, Génie Civil. P 15-19.
- 2- H.S. Muler, C. H. Kuttner, V. Kuitsel «Creep and Shrinkage Models for Normal and Unified Code-Type Approach», eds. F.J. ulm, M. Prat, J. A. Calgaro and I Card Revue Francaise de Hernes Science, Publication, Paris 1999, Génie Civil. P 15-19. PP. 113-132.
- 3- R.L. le Ray, J.M. Cussac and O. Martis «Structures Sensitive to Creep: from Laboratory Experimentation to Structural Design - The Code of the Avignon High-Speed Rail Viaduct», eds. F.J. ulm, M. Prat, J. A. Calgaro and I Card Revue Francaise de Hernes Science, Publication, Paris 1999, Génie Civil. P 15-19. PP.133-157.
- 4- «Evaluation of the time dependent behavior of concrete», CEB Bulletin d'Information, No. 199, Comité Euro-International du Béton, Lausanne, Switzerland, 1990.
- 5- «CEB-FIP Model Code 1990», CEB Bulletin d'Information, No. 213/214, Comité Euro-International du Béton, Lausanne, Switzerland, 1990.
- 6- MÜLLER, H.S., KÜTTNER C.H., «Characteristics and Prediction of Creep of High Performance Concrete», Proc. Of the 4th Weimar Workshop on High Performance Concrete, High Performance Concrete: Material Properties and Design, eds. F.H. Wittmann and P. Schwesinger, AEDIFICATIO Verlag, Freiburg und Unterengstringen, P. 145-162, 1995.
- 7- [MUE 96] MÜLLER, H.S., KÜTTNER C.H., «Creep of High-Performance Concrete Characteristics and Code - Type Prediction Model», Proc. Of the 4th International Symposium on Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, Paris, France, P. 377-385, 1996.
- 8- [MUE 99] MÜLLER, H.S., KVITSEL V., «Vorhersagemodell für das Kriechen und Schwinden von normalfestem und hochfestem Beton», Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Berlin, Germany, to be published in 1999.
- 9- [RIL 98] PERSSON B., «Quasi-instantaneous and Long-term Deformation of High-Performance Concrete», Doctoral Dissertation, Report TVBM-1016, Lund University, Lund, Sweden, 1998.
- 10- [TAZ 98] TAZAWA E., Proceedings of the International Workshop on Autogenous Shrinkage of Concrete, ed. E. Tazawa, Japan Concrete Institute, Hiroshima, Japan, 1998.