

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

مدينة دمشق

استخدام الطرائق العددية والحاسب الإلكتروني في تعيين الوضعية الإجهادية الناتجة عن الزحف والانكماش في العناصر البيتونية المسلحة

الدكتورة المهندسة نهى محفوظ

عضو هيئة تدريسية في جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة تطور الوضعية الإجهادية لعناصر البيتون المسلح والبيتون مسبق الإجهاد، وذلك باستخدام الطرائق العددية و الحاسب الإلكتروني لقياس تشوهات الزحف تحت تأثير الأحمال الثابتة، وتحت تأثير مستويات مختلفة من الإجهادات، وذلك من أجل تقييم الوضع الراهن للمنشآت المتصدعة وتحديد الزمن الأمثل لمعالجتها .

وخصص هذا البحث لعرض الطريقة العددية في تعيين الوضعية الإجهادية في العناصر البيتونية المسلحة الناتجة عن الانكماش والزحف، وأدرجت الفرضيات والأسس المعتمدة في هذه الطريقة، ومخطط منهجي لهذه الدراسة. وقد درست باعتماد برامج حاسوبية وباعتماد الكود الأوروبي وضعية الأعمدة المنفذة من أنواع مختلفة من البيتون والمعرضة لمستويات مختلفة للإجهاد والمنفذة باعتماد نسب مختلفة للتسليح. خلصت هذه الدراسة لتعيين المدة الزمنية المناسبة لتنفيذ أعمال تدعيم منشآت معرضة لإجهادات عالية. كما درست العناصر المعرضة للضغط اللامركزي المنشقة أو غير المنشقة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة (البيتون) المسلحة، الزمن، الزحف الخطي واللاخطي، الانكماش، المنشآت المتصدعة.

١ - مقدمة:

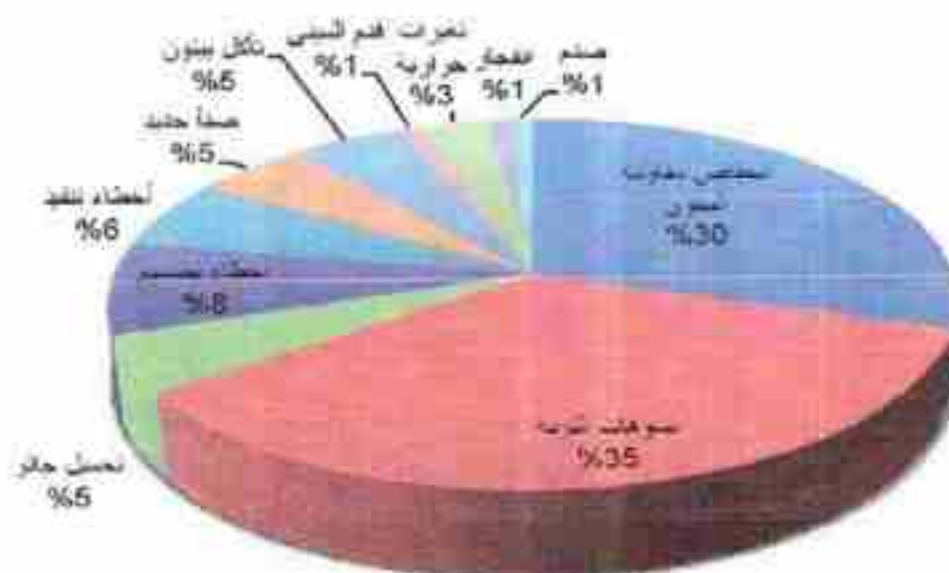
أولت مراكز بحوث البيوتون في العالم اهتماماً بالغاً لظاهرة الزحف منذ بداية استخدام البيوتون المسلح، إلا أن اهتمامها ينصب بشكل رئيسي على الزحف الخطي المرافق لإجهادات قريبة من إجهادات التشغيل، وهناك بحوث محدودة للزحف اللاخطي [1-4-7].

تعد ظاهرة الزحف بالرغم من أهميتها غير مدروسة تجريبياً في جامعات ومراكز البحوث المحلية وذلك بسبب نقص التجهيزات التجريبية و لأنها تحتاج إلى مند طويلة في دراستها ، ويتناولها الكود العربي السوري بشكل محدود، معتمداً نسخاً قديمة من الكودات العالمية التي هي في تطور دائم، معتمدة نماذج رياضية مختلفة للتنبؤ بقيم الإنكماش والزحف مرتبطة بقيم مقاومة البيوتون وتركيب خلطته وأبعاد العنصر، وبالظروف المناخية المحيطة وعمر البيوتون عند التحميل، ومدة التحميل وسوية الإجهادات المطبقة [10].

وأخذت النماذج المعتمدة للتنبؤ عن الزحف صيغاً رياضية معقدة مما جعل أسلوب تقسيم الزمن إلى مراحل زمنية صغيرة، واستخدام الطرائق العددية في تعيين الوضعية الإجهادية التشوهية للعناصر البيوتونية المسلحة السليمة أو المتصدعة هو الأسلوب الأفضل [3-5-6].

٢ - أهمية البحث:

تتجلى أهمية هذا البحث من خلال حوادث سجلت لحالات انهيار منشآت في القطر العربي السوري والعالم في مرحلة الاستثمار، وتحت تأثير أحمال ثابتة وأخرى لبعض حالات التصدع التي تتطلب معالجة، والتي من المتوقع أن يتزايد عددها نظراً للانتشار الكبير للمنشآت العشوائية، والتي تزيد نسبتها عن ٣٠% من المنشآت القائمة فضلاً عن قنم العديد من المنشآت وتجاوز عمرها الافتراضي، وتعرض بعض المنشآت لزيادة عدد الطوابق أو أحمال شادة أو تغير في مواصفات تربة التأسيس (كتسرب المياه التي أدت إلى تصدعات وخروج مجموعة من أعمدة البناء عن العمل) .



الشكل (١) توزع أسباب الانهيارات والتصدعات في مورية

٣- استخدام الطرائق العددية في تعيين الوضعية الإجهادية الناتجة عن الزحف والإنكماش في العناصر البيتونية المسلحة :

إن مبدأ استخدام الطرائق العددية والحاسب الالكتروني يعد الأفضل في دراسة المنشآت الهندسية بعد اعتماد نموذج رياضي يمثل هذه المنشآت هو الأفضل .

تصنف هذه المسائل كما يلي :

١- دراسة الوضعية الإجهادية الناتجة عن الزحف والإنكماش في المنشآت البيتونية المسلحة غير المقررة ولم يتطرق لها هذا البحث .

٢ - دراسة الوضعية الناتجة عن الزحف والإنكماش في العناصر التي تؤدي إلى وضعية ضغط مركزي أو لا مركزي، وتتفرع عن هذه الدراسة المواضيع التالية :

٢. ١- دراسة الوضعية الإجهادية الناتجة عن الإنكماش في العناصر غير متناظرة التسليح .

٢. ٢- دراسة الإجهادات الناجمة في البيتون والفولاذ وتغيرها مع الزمن في العناصر غير المتناظرة التسليح والمعرضة لوضعية ضغط لا مركزي، وذلك باعتبار الزحف الخطي والزحف اللاخطي.

٢ . ٣ - دراسة الضياعات في الإجهادات في العناصر المسبقة الإجهاد غير متناظرة التسليح وذلك باعتبار الزحف الخطي واللاخطي وباعتبار الإنكماش .

٢. ٤ - دراسة تطور الإجهادات الناعمية في العناصر السابقة وذلك في مقطع عرضي بعد تشكل شقوق شاقولي فيه .

٢ . ٥- دراسة ضياع الإجهادات في التسليح المسبق الإجهاد في العناصر متناظرة أو غير متناظرة التسليح والناجمة عن الزحف والإنكماش .

٤- الفرضيات الأساسية المعتمدة:

- ١- تعتبر التشوهات الأنية للبيتون والناجمة عن تطبيق القوى الخارجية تشوهات مرنة .
- ٢ . يقسم المجال الزمني T إلى مجموعة من المجالات الصغيرة Δt
- ٣ . تعتبر القوى الخارجية والداخلية ثابتة عند دراسة كل من المجالات Δt
- ٤- تحسب التشوهات الناتجة عن الزحف بعد استبدال التابع $\sigma(t)$ لمجموعة من القيم الثابتة للإجهادات $\sum \Delta \sigma_i(t)$ وباعتبار قياس الزحف لكل من هذه القيم ومع اعتبار زمن تأثيرها على العنصر $C(t_i, t)$ وذلك من الصيغة .

$$\sum_{t_i}^{t_i, K=t} C(t_i, t) \Delta \sigma_{t_i} \quad (١)$$

في حالة الزحف الخطي.

ووفق الصيغة .

$$\sum C(t_i, t) \Delta f(\Delta \sigma_{t_i}) \quad (٢)$$

في حالة الزحف اللاخطي .

- ٥ . تحسب التشوهات الكلية في العنصر بمرحلة معينة كمجموع لتشوهات الزحف والتشوهات الأنية المرنة إضافة إلى التشوهات الناتجة عن الإنكماش حتى الزمن المدروس وذلك من الصيغة .

$$\Delta \varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E(t)} + \sum c(t_i, t) \Delta \sigma_{t_i} + \varepsilon_{sh}(t) \quad (٣)$$

- ٦ . يحسب تزايد التشوهات في مرحلة زمنية معينة Δt بدلالة الفرق بين التشوهات الكلية المحسوبة في بداية المجال الزمني t_i وفي نهايته t_{i+1} ومع اعتبار التشوهات اللاخطية وتزايد عامل المرونة مع الزمن.

- ٧ . تستبدل العناصر المعرضة إلى وضعية إجهادية والتي تقوّل إلى وضعية ضغط لا مركزي لنموذج رياضي مؤلف من مجموعة متوازية من الشرائح عددها J .

- ٨ . تطبق على النموذج الرياضي تشوهات قصرية تساوي تزايد تشوهات الزحف في المرحلة الزمنية Δt_i ولكل شريحة من شرائح المقطع العرضي والناجمة عن الزحف الخطي في الشرائح المعرضة لإجهادات

منخفضة وزحف لا خطي في الشرائح المعرضة لإجهادات عالية وتحسب قوة التثبيت N_{fix} وعزم التثبيت M_{fix} والإجهادات الناتجة عن التحرير وتزايد الإجهادات الذاتية $\Delta\sigma_i$ ونتحقق من أن مخطط تزايد الإجهادات الذاتية متوازنة

٩- ننتقل إلى دراسة فترة زمنية جديدة Δt_{i+1} وتعيين تشوهات الزحف في هذه المرحلة وفق العلاقة ٤.

١٠- تعيين الإجهادات في نهاية الزمن المدروس في كل من عناصر النموذج الرياضي كمجموع للإجهادات الابتدائية الناتجة عن الزحف في جميع المراحل الزمنية المدروسة.

٥- برنامج دراسة تغير الوضعية الإجهادية في العناصر المسبقة الإجهاد مع الزمن:

يعتبر العنصر معرضاً للانعطاف البسيط وهو منفذ بتسليح علوي مسبق للإجهاد وتسليح سفلي مسبق للإجهاد وتسليح آخر غير مسبق للإجهاد .

و يدرس العنصر وفق المراحل السابقة الخاصة بعنصر بيتوني مسلح معرض للضغط اللامركزي مع اعتبار الضياعات في مسبق الإجهاد في كل مرحلة زمنية Δt

٦- الطريقة العددية في تعيين الوضعية الإجهادية في العناصر البيتونية المسلحة الناتجة عن الزحف والإنكماش:

دراسة برنامج حاسوبي يعتمد الطريقة العددية والمخطط المنهجي المبين في الشكل (٢) وتعيين تشوهات الزحف والإنكماش وفق النموذج الأوربي للتنبؤ بالزحف والإنكماش CEB-99 [2-4] وحساب تشوهات الزحف الخطي وفق الصيغة المعتمدة في الكود الأوربي CEB-99

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \beta_c(t, t_0) \quad (٤)$$

φ_0 : معامل السيلان الاسمي

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

و يتم حساب تشوهات الزحف اللاخطي وفق الصيغة المعتمدة في الكود الأوربي CEB-99

$$\varphi_{0,K} = \varphi_0 \exp(1.5(k_\sigma - 0.4)) \quad (٥)$$

$\varphi_{0,K}$: معامل السيلان في حالة الإجهادات العالية.

$K_\sigma = \sigma_c / f_c$ سوية الإجهادات في لحظة تطبيق القوة

واعتماد تزايد عامل المرونة مع الزمن وفق الصيغة:

$$E_e(t) = E_o \cdot \exp \left\{ \frac{s}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{28}{t/t_1}} \right] \right\} \quad (٦)$$

s: عامل يعتمد على نوع الإسمنت ومقاومة الببتون على الضغط ويؤخذ من الجدول (١):

الجدول (١) التابع s حسب المعادلة رقم (٦)

fcm (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.

تمت دراسة مجموعة كبيرة من الحالات الخاصة للاعمدة القصيرة الببتونية المسلحة المعرضة للضغط المركزي و تم اعتماد نسب تسليح تساوي $\mu=0.01$ ، $\mu=0.02$ ، $\mu=0.03$ واعتمدت مقاومة الببتون المميزة

مساوية $f'_c = 150, 200, 250, 300, 350, 400 \text{ kg / cm}^2$

واعتبر عمر الببتون عند التحميل يساوي الى ١٠ ايام أو ٢٨ يوماً أو ٣٦٠ يوماً واعتمدت سويات مختلفة للإجهادات في العنصر

$\sigma / f'_c = 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75$
 $, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95$

واعتبار أن انهيار العمود يحدث في الحالات التالية:

- بلوغ التشوهات الطولية النسبية في العمود مساوية ٠,٠١ في الأعمدة المسلحة بتسليح أملس عامل مرونته $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg / cm}^2$ وحد الزحف فيه $f_r = 2400 \text{ kg / cm}^2$ نظراً لاستخدام التسليح الأملس بشكل واسع في المنشآت البيتونية المسلحة حتى الستينيات من القرن الماضي.

- بلوغ التشوهات النسبية في العمود ٠,٠٢ لأن ذلك سيمسب في التسليح إجهادات قريبة من حد الزحف الاصطلاحي $\sigma_s = 4400 \text{ kg / cm}^2$

- بلوغ التشوهات النسبية في العمود ٠,٠٠٣ لأن ذلك يمثل الحد الأقصى لتشوهات البيتون المرافقة للانهيار.

تم حساب قيم الإجهادات المتناقصة لكل حالة في البيتون مع الزمن بدءاً من التحميل وكذلك قيم الإجهادات المتزايدة في الفولاذ وقيم تشوهات الإنكماش المتزايدة وكذلك تشوهات الزحف والتشوهات الكلية لمجموع التشوهات المرنة وتشوهات الزحف وتشوهات الإنكماش وكذلك مع اعتبار تزايد عامل المرونة في البيتون. ومن دراسة هذه النتائج يمكن تأكيد ما يلي:

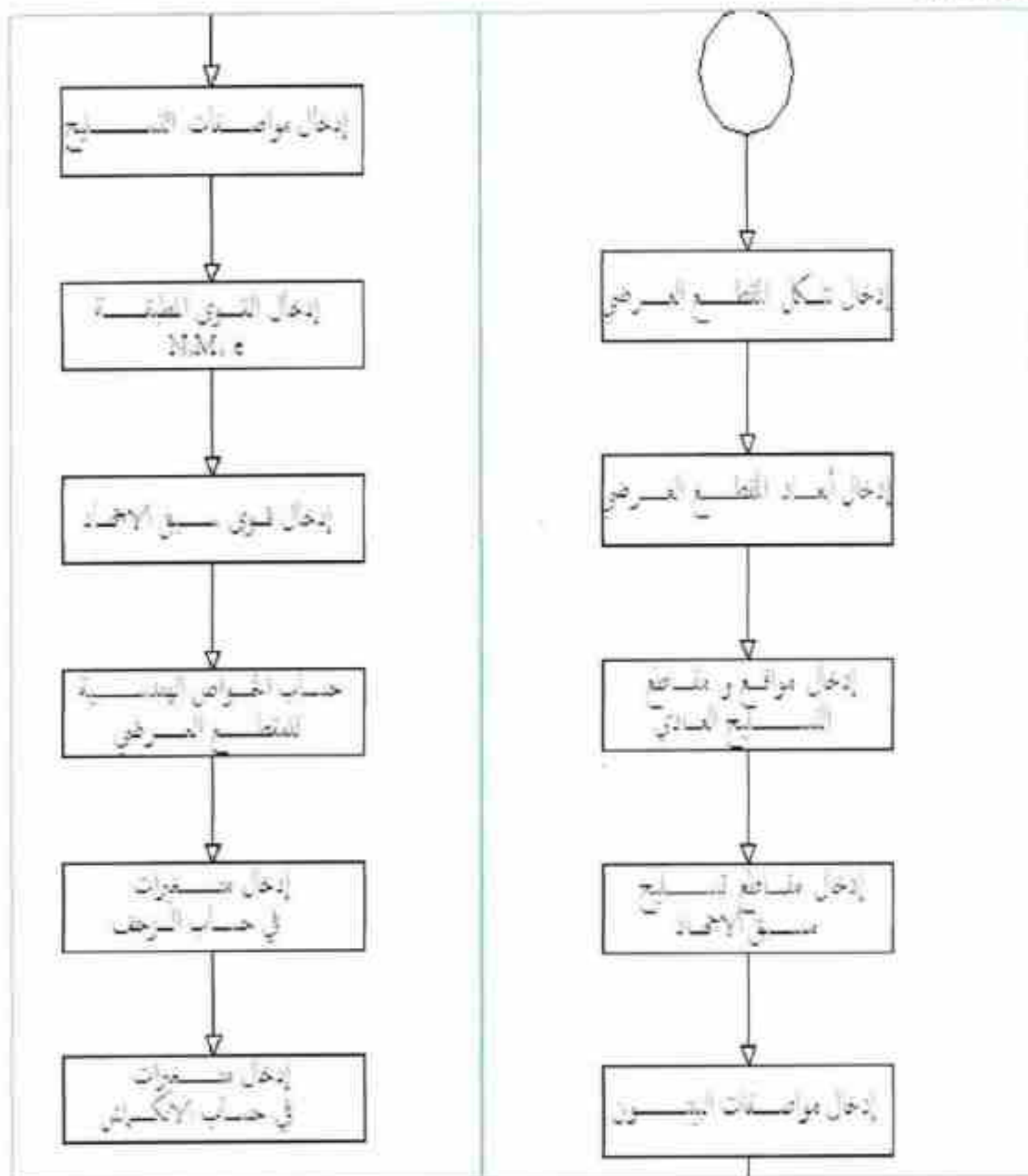
- إن زيادة نسبة التسليح تؤدي إلى إطالة العمر الآمن وتخفيض تأثير الزحف والإنكماش.
 - إن الإجهادات العالية $(0.85 - 0.9) \sigma / f'_c$ غير آمنة وتسبب انهيار في العنصر بعد فترة قصيرة (يوم أو عدة أيام).
 - إن العمر الآمن في العناصر المنفذة من البيتون عالي المقاومة أصغر منه في تلك المنفذة من بيوتون منخفض المقاومة وذلك بالنسبة لمساوية متماثلة للإجهادات بالنسبة للمقاومة المميزة.
 - إن التحميل في عمر مبكر ١٠ أيام يؤدي إلى تخفيض العمر الآمن.
 - إن التحميل في عمر كبير ٣٦٠ يوم لا يفي خطورة تطبيق إجهادات عالية.
- ولقد تبين من هذه الدراسة :

- إن الزمن الآمن للأعمدة المعرضة إلى سوية عالية للإجهاد لا يتعدى عدداً من الساعات.
- إن الأعمدة المعرضة إلى سوية إجهادات ناتجة عن الحملات القلبية و غير المصعدة تساوي

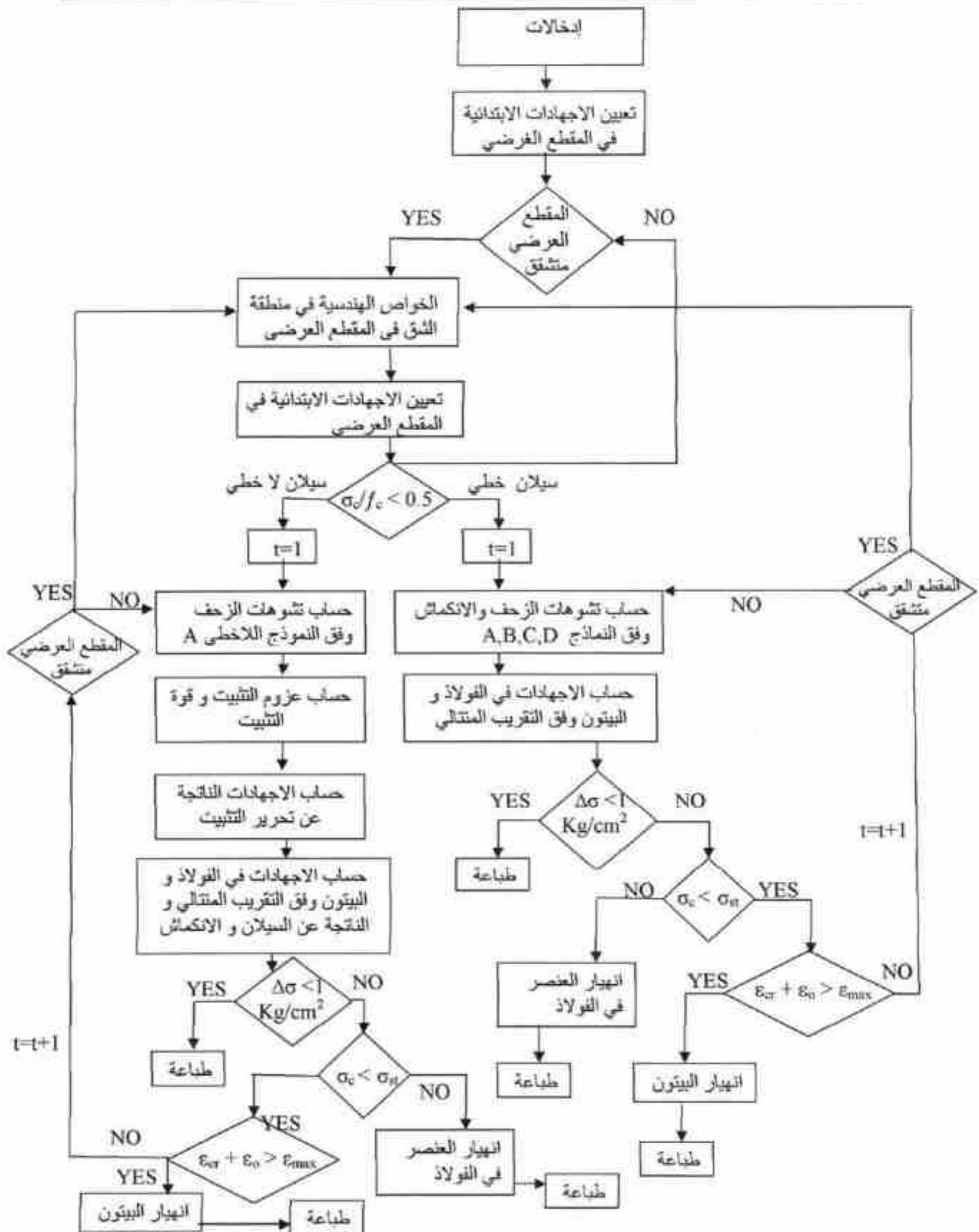
$$\sigma / f'_c = 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95$$

هي منشآت غير آمنة ولا بد من تدعيمها وبمسح الزمن الآمن بتنفيذ تدعيم مؤقت فيها ومن ثم تدعيم دائم.

المخطط المنهجي لتعيين الوضعية الإجهادية في العناصر البيتونية المسلحة والنتيجة عن الزحف والإتكماش:

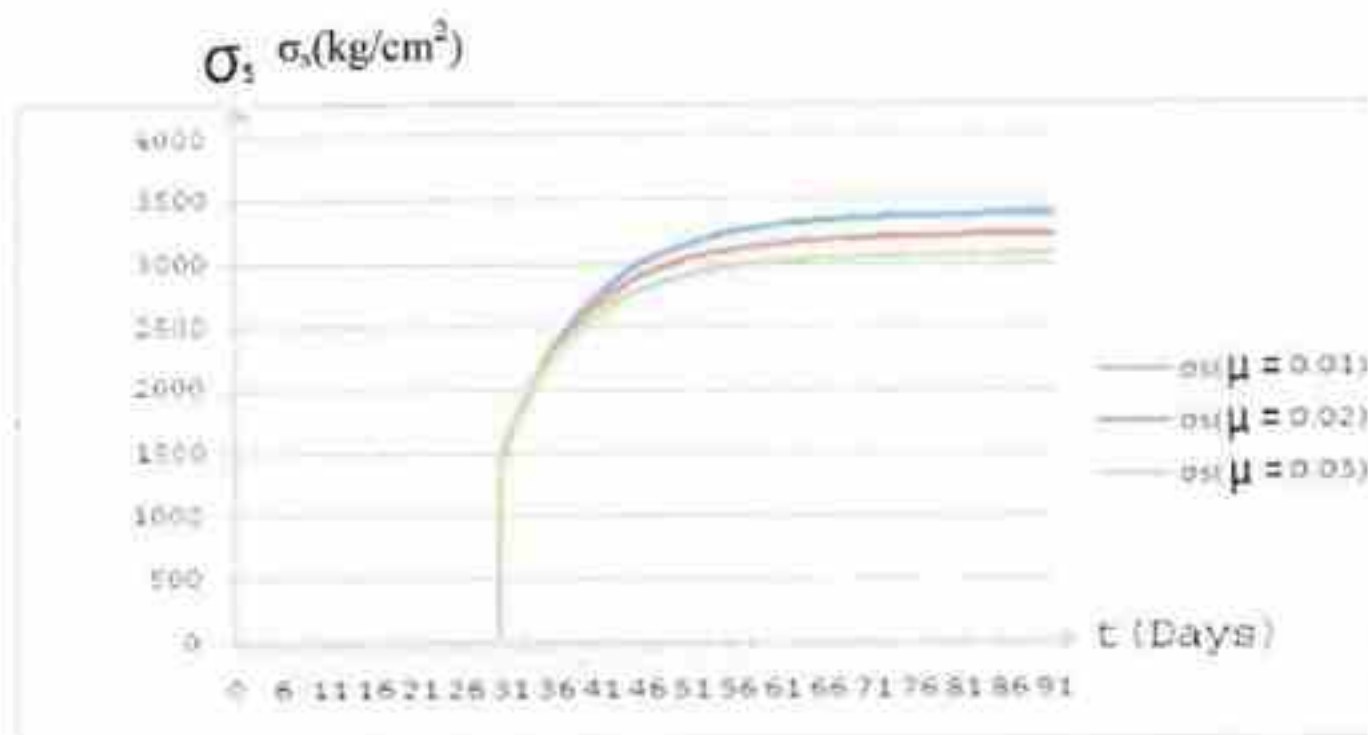


الشكل (٢) منخلات المخطط المنهجي



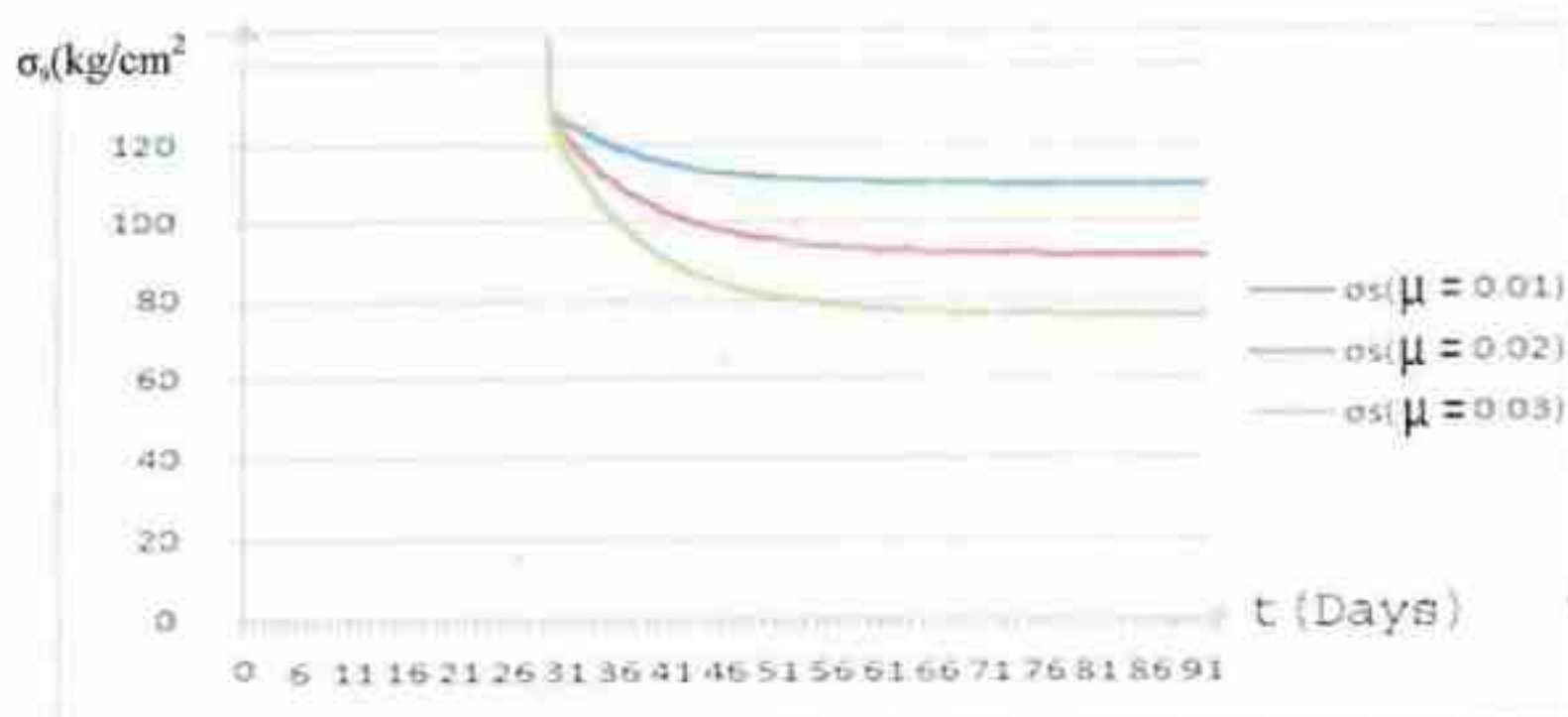
الشكل (٣) المخطط المنهجي لتعيين الوضعية الإجهادية في العناصر البيتونية المسلحة والناتجة عن الزحف والانكماش

يبين الشكل (٤) تمثيلاً بيانياً لإجهادات الفولاذ مع الزمن في حالة الضغط المركزي، ونلاحظ أن الإجهادات في الفولاذ تتزايد بسرعة ثم تتخامد أو يحدث انهيار.



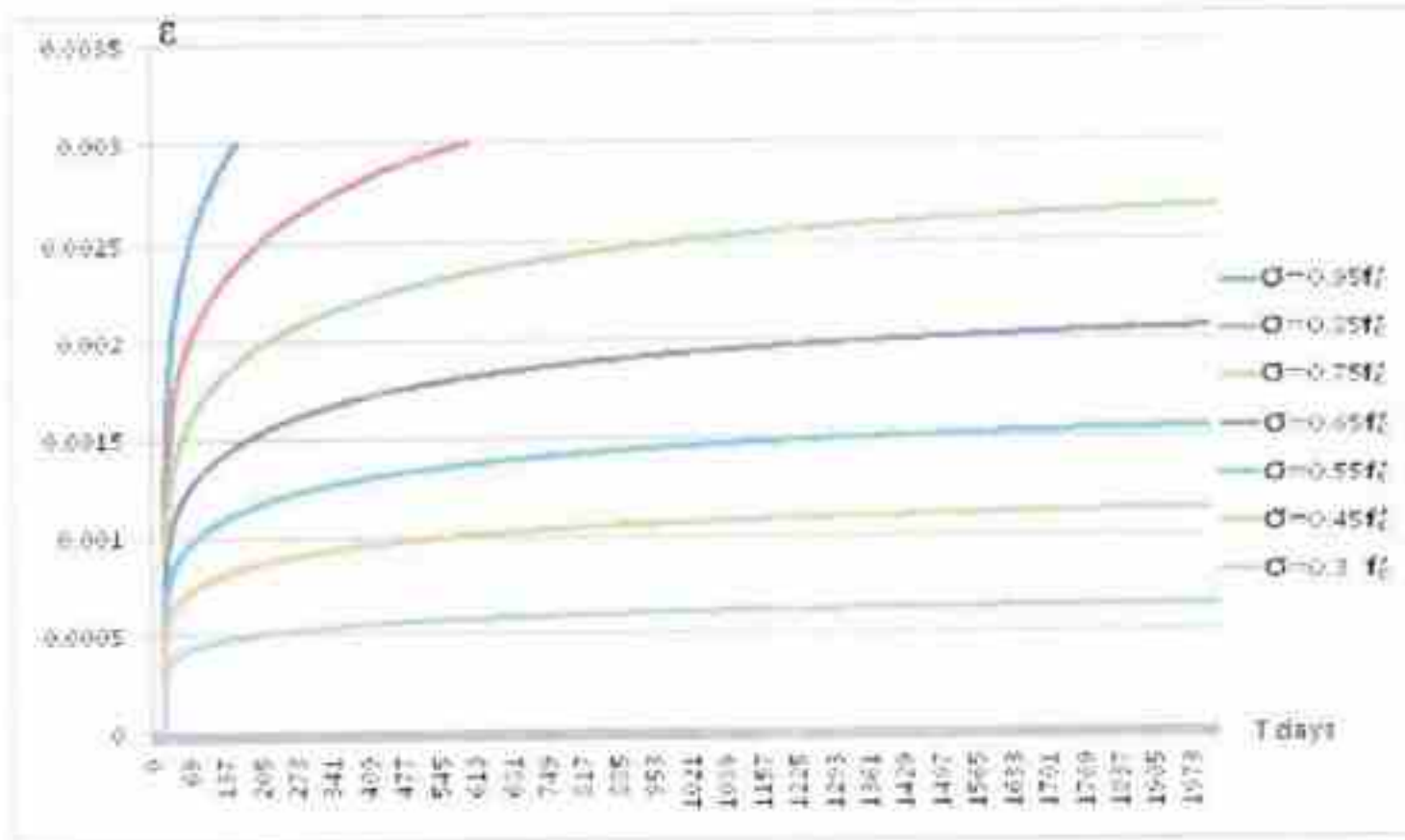
الشكل (٤) إجهادات الفولاذ مع الزمن في حالة الضغط المركزي

يبين الشكل (٥) تمثيلاً بيانياً لإجهادات البيتون مع الزمن في حالة الضغط المركزي، ونلاحظ أن إجهادات البيتون تتناقص وتتزايد التشوهات مع الزمن.



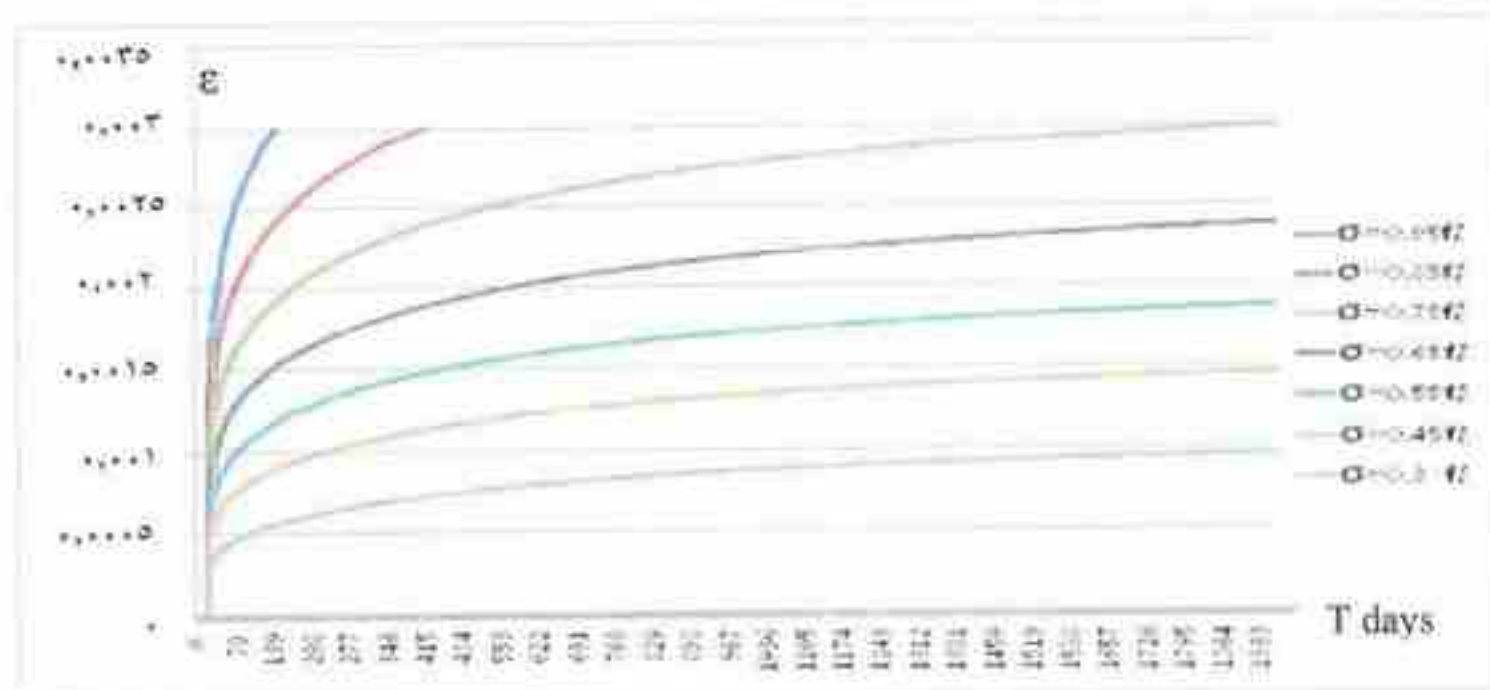
الشكل (٥) إجهادات البيتون مع الزمن في حالة الضغط المركزي

يبين الشكل (٦) تزايد تشوهات الزحف في أعمدة بيتونية مسلحة معرضة لمستويات مختلفة من الإجهاد بدء التحميل $T_0 = 28$ Days والمقاومة المميزة $f'_c = 200 \text{ Kg / cm}^2$ وفق الكود CEB-99 دون اعتبار تشوهات الإنكماش



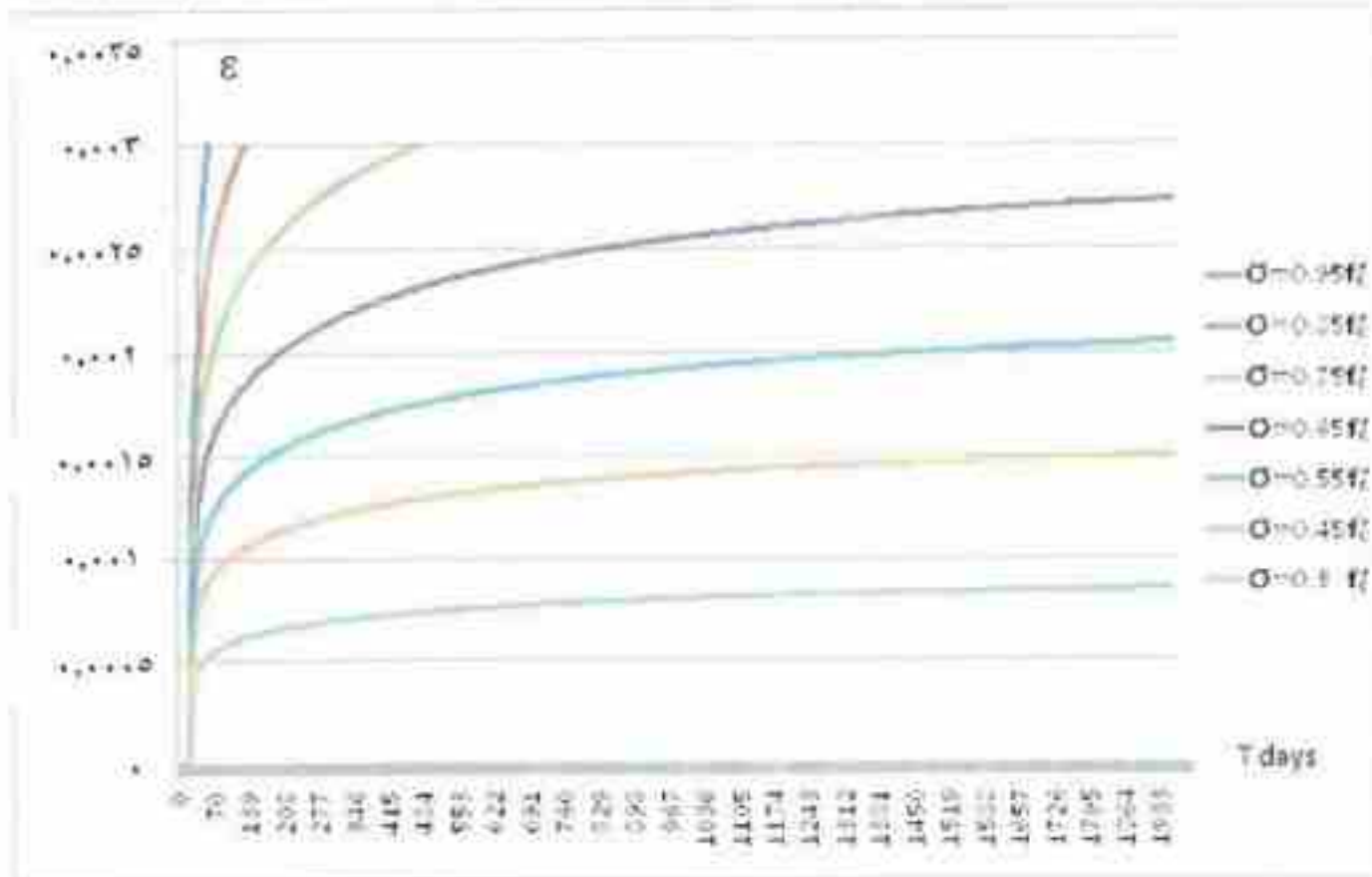
الشكل (٦) تزايد تشوهات الزحف في أعمدة بيتونية مسلحة معرضة لمستويات إجهاد محددة
 $f'_c = 200 \text{ kg / cm}^2$ $T_0 = 28$ Days $\mu=0.01$ No Shrinkage

يبين الشكل (٧) تشوهات الزحف في أعمدة بيتونية مسلحة معرضة لمستويات مختلفة من الإجهاد بدء التحميل $T_0 = 28$ Days والمقاومة المميزة $f'_c = 200 \text{ kg / cm}^2$ وفق الكود CEB-99 مع اعتبار تشوهات الإنكماش



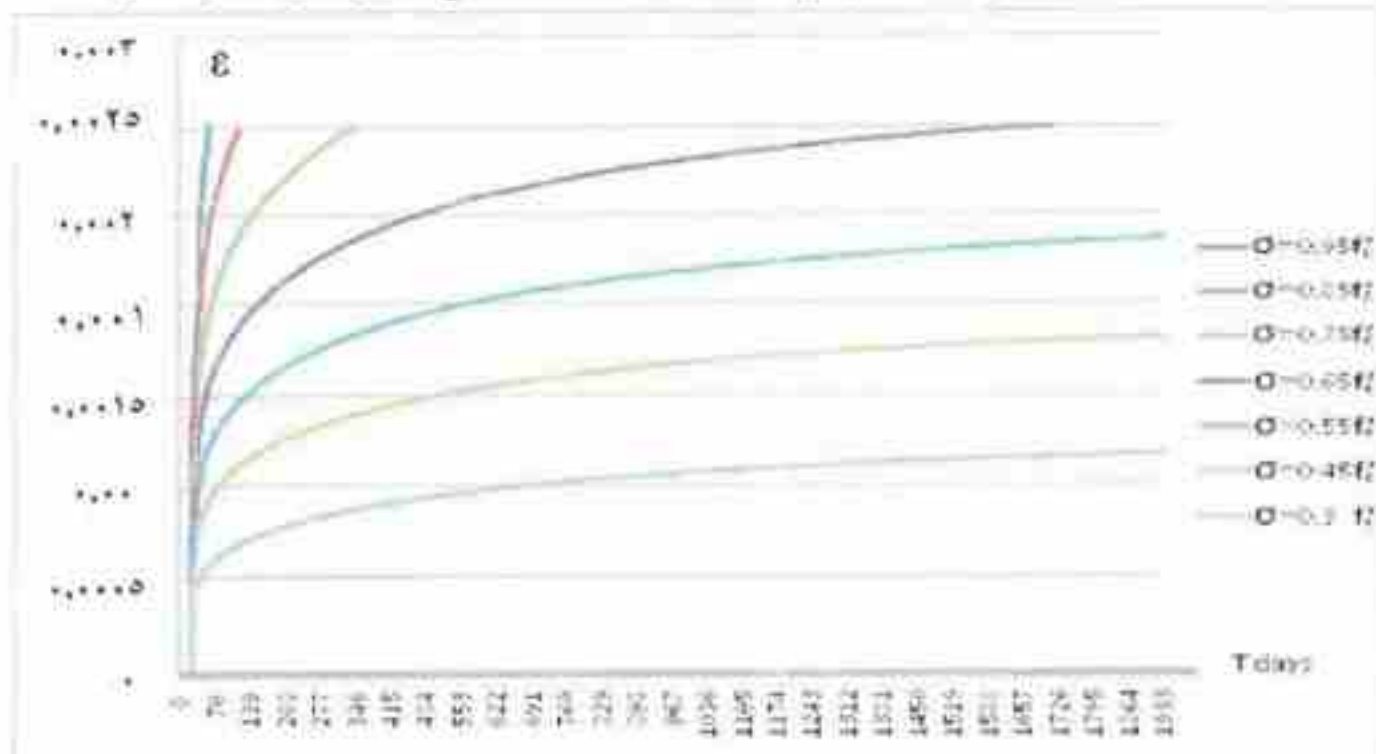
الشكل (٧) تشوهات الزحف في أعمدة بيتونية مسلحة معرضة لمستويات إجهاد محددة
 $f'_c = 200 \text{ kg / cm}^2$ $T_0 = 28$ Days $\mu=0.01$ With Shrinkage

يبين الشكل (٨) تشوهات الزحف في أعمدة بيتونية مسلحة معرضة لسويات مختلفة من الإجهاد بدء التحميل $T_0=28$ Days والمقاومة المميزة $f'_c = 300 \text{ kg / cm}^2$ وفق الكود CEB-99 نون اعتبار تشوهات الإنكماس



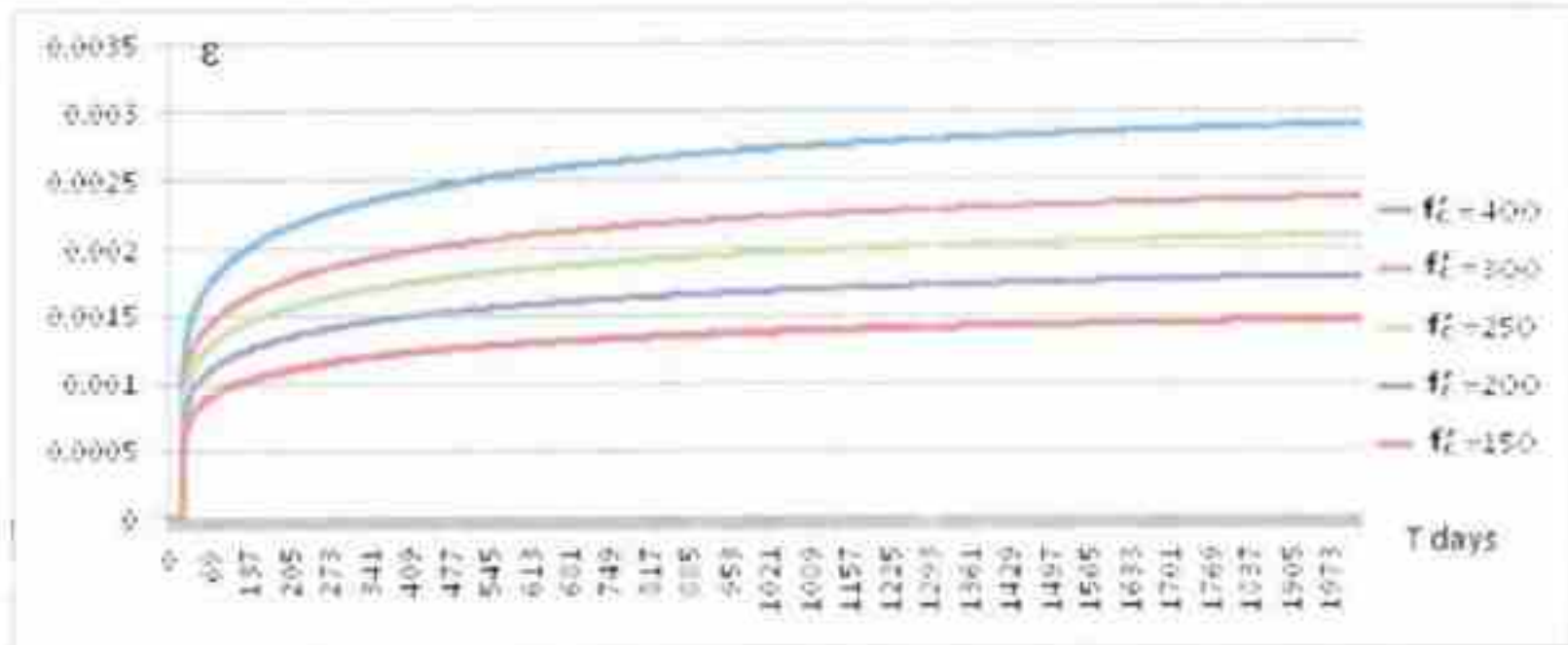
الشكل (٨) تشوهات الزحف في أعمدة بيتونية مسلحة معرضة لسويات إجهاد محددة
 $f'_c = 300 \text{ kg / cm}^2$ $T_0=28$ Days $\mu=0.01$ No Shrinkage

يبين الشكل (٩) تشوهات الزحف في أعمدة بيتونية مسلحة معرضة لسويات مختلفة من الإجهاد بدء التحميل $T_0=28$ Days والمقاومة المميزة $f'_c = 300 \text{ kg / cm}^2$ وفق الكود CEB-99 مع اعتبار تشوهات الإنكماس



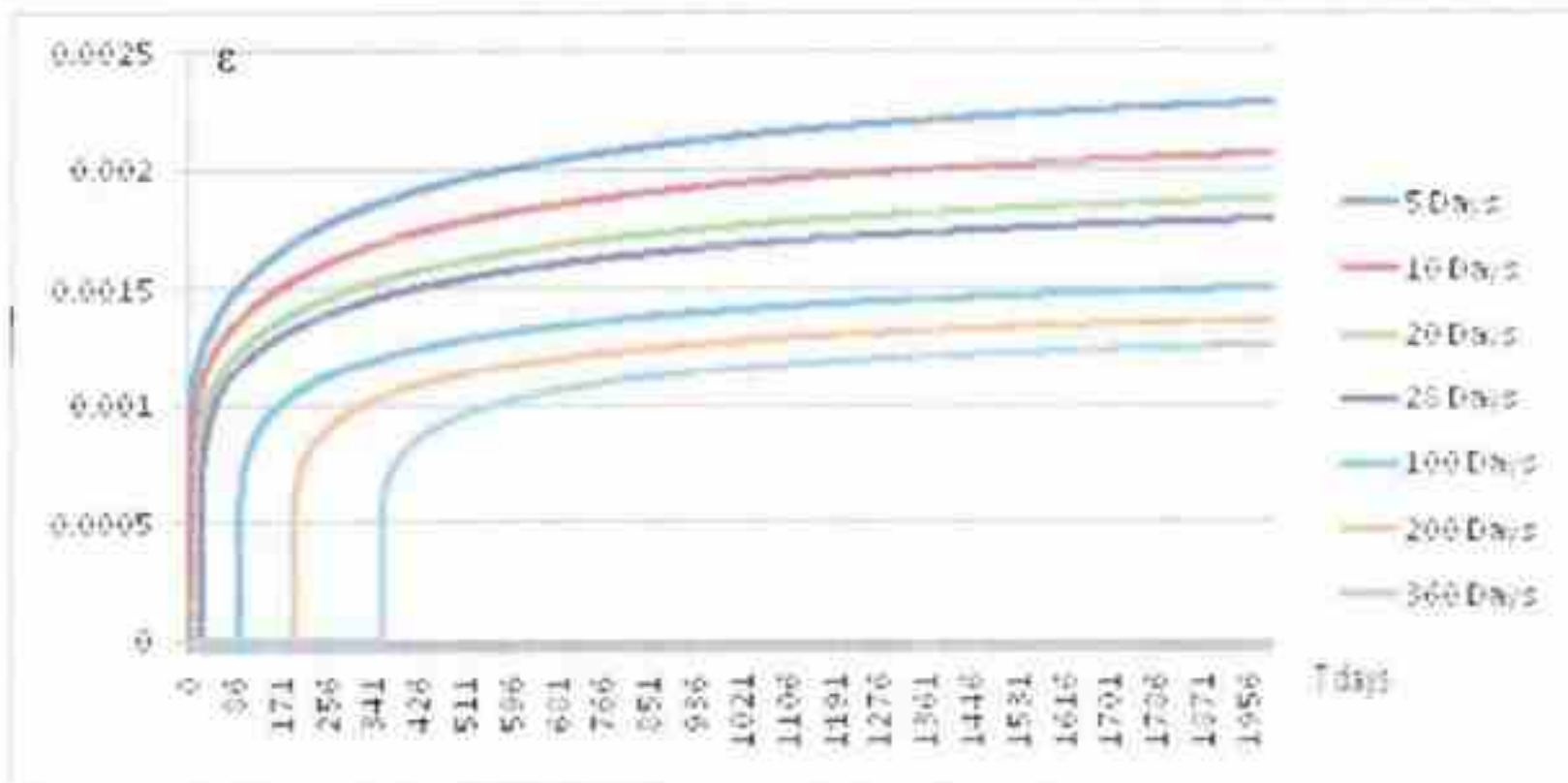
الشكل (٩) تشوهات الزحف في أعمدة بيتونية مسلحة معرضة لسويات إجهاد محددة
 $f'_c = 300 \text{ kg / cm}^2$ $T_0=28$ Days $\mu=0.01$ With Shrinkage

يبين الشكل (١٠) تأثير تزايد المقاومة حيث نلاحظ في الشكل تشوهات الزحف في أعمدة بيتونية مسلحة مختلفة المقاومة عند عمر بدء التحميل $T_0=28$ Days و سوية إجهاد $\sigma_c = 0.6 f'_c$ وفق الكود CEB-99



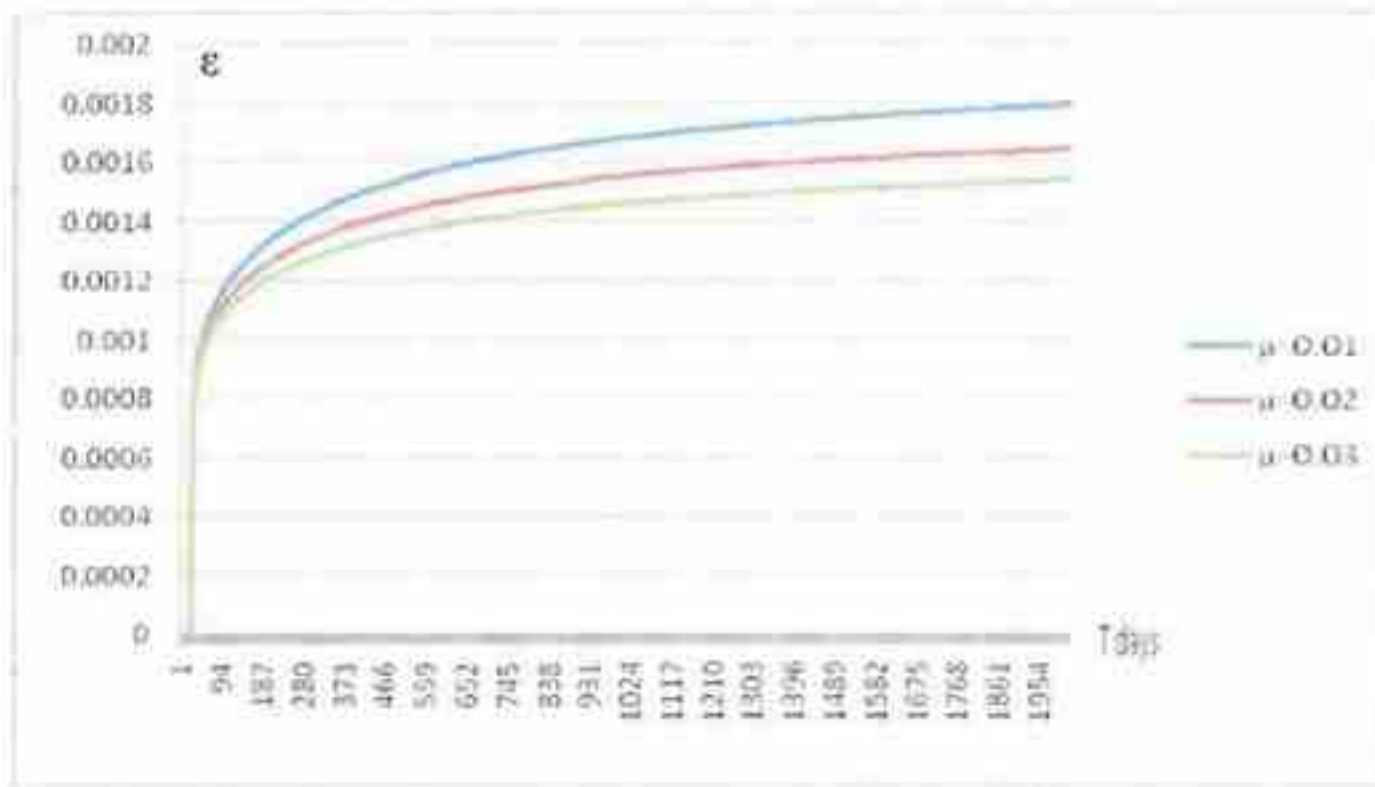
الشكل (١٠) تأثير تزايد المقاومة $\mu=0.01$ $\sigma_c = 0.6 f'_c$ $T_0=28$ Days

يبين الشكل (١١) تأثير الزمن عند بدء التحميل حيث نلاحظ في الشكل تشوهات الزحف في أعمدة بيتونية مسلحة مع اختلاف عمر بدء التحميل وسوية إجهاد $\sigma_c = 0.6 f'_c$ وفق الكود CEB-99



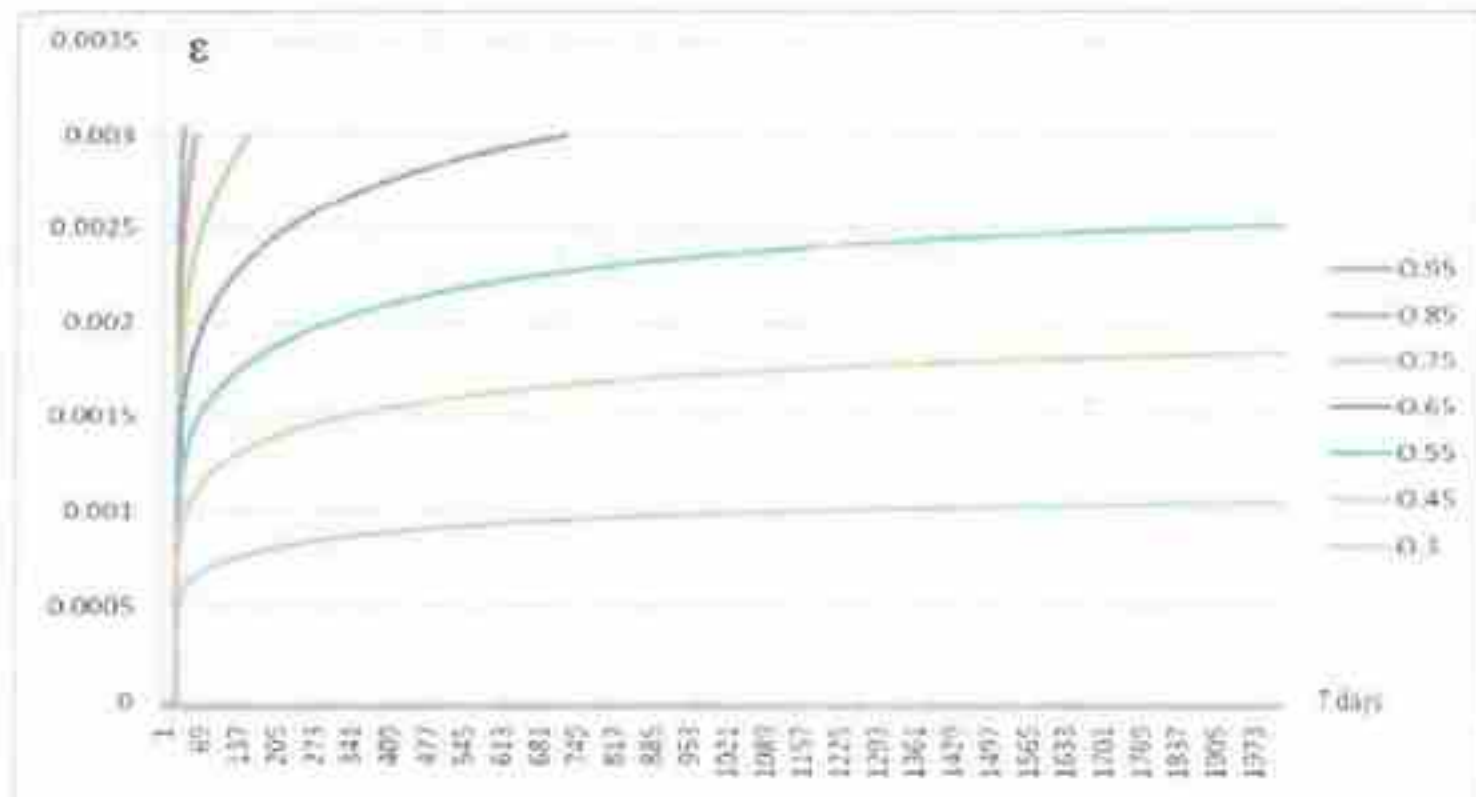
الشكل (١١) تأثير الزمن عند بدء التحميل $\mu=0.01$ $\sigma_c = 0.6 f'_c$ $f'_c = 200 \text{ kgs / cm}^2$

يبين الشكل (١٢) تأثير نسبة التسليح حيث نلاحظ في الشكل تشوهات الزحف في أعمدة بيتونية مسلحة بنسب تسليح مختلفة وسوية إجهاد $\sigma_c = 0.6 f'_c$ وصر بدء التحميل $T_0=28$



الشكل (١٢) تأثير نسبة التسليح $\sigma_c = 0.6 f'_c$ $T_0=28$ $f'_c = 200 \text{ kg / cm}^2$

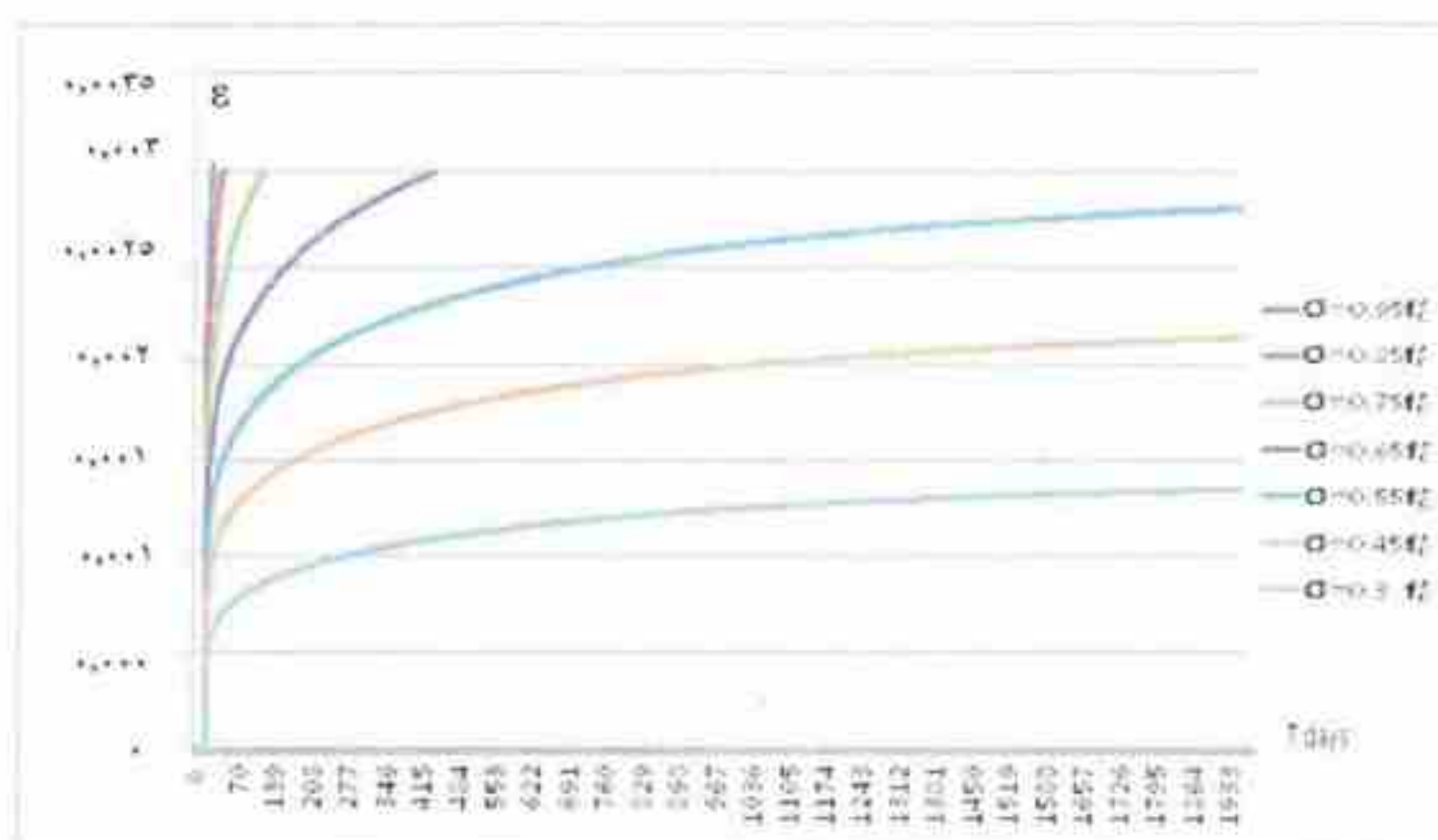
يبين الشكل (١٣) تأثير مستويات المختلفة من الإجهاد دون اعتبار تشوهات الإنكماش حيث نلاحظ في الشكل تشوهات الزحف في أعمدة بيتونية مسلحة معرضة لمستويات مختلفة من الإجهاد بدء التحميل $T_0=28 \text{ Days}$ والمقاومة المميزة $f'_c = 400 \text{ kg / cm}^2$ وفق الكود CEB-99



الشكل (١٣) تأثير مستويات المختلفة من الإجهاد دون اعتبار تشوهات الإنكماش

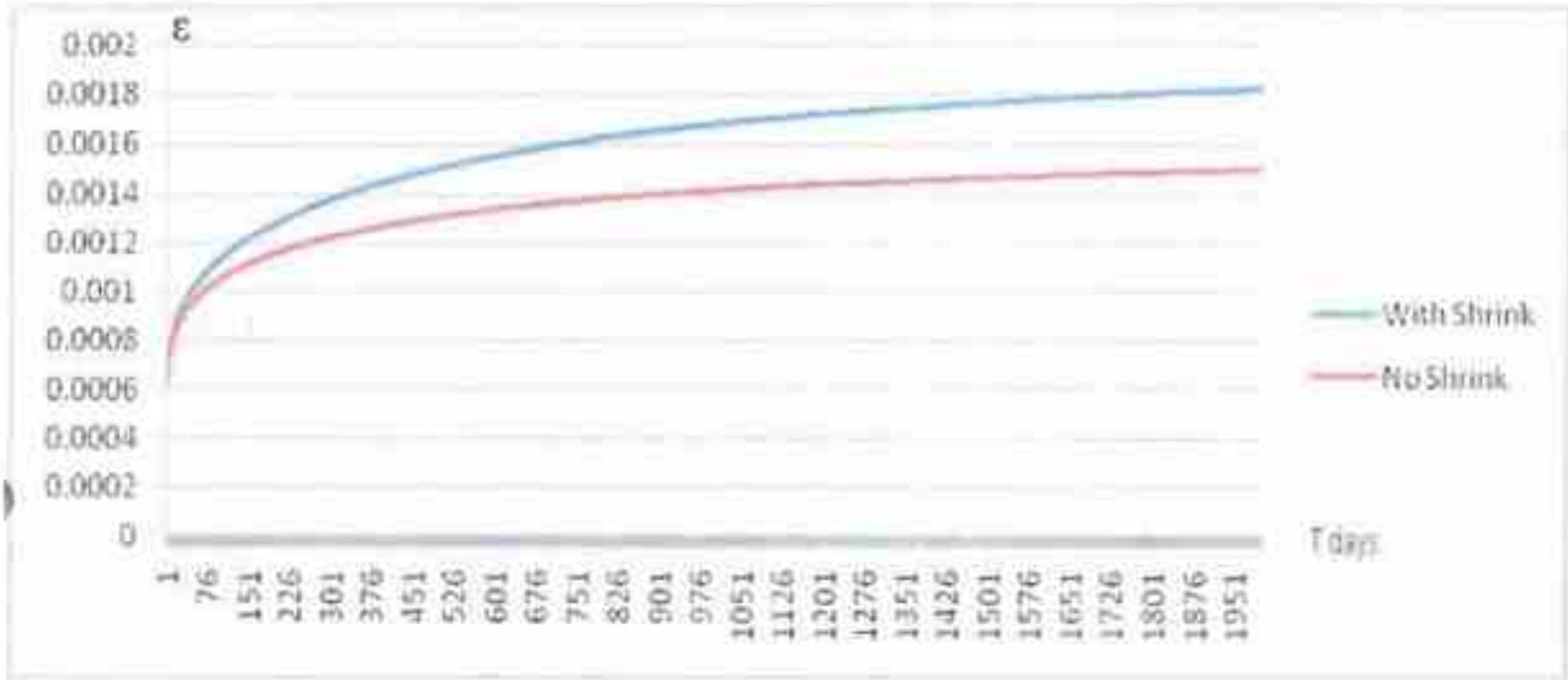
$$f'_c = 400 \text{ kg / cm}^2 \quad T_0=28 \text{ Days} \quad \text{No Shrinkage} \quad \mu=0.01$$

يبين الشكل (١٤) تأثير مستويات المختلفة من الاجهاد مع اعتبار تشوهات الإنكماش حيث نلاحظ في الشكل تشوهات الزحف في أصدة بيتونية مسلحة معرضة لمستويات مختلفة من الإجهاد بدء التحميل $T_0=28$ Days والمقاومة المميزة $f'_c = 400 \text{ kg / cm}^2$ وفق الكود CEB-99



الشكل (١٤) تأثير مستويات المختلفة من الاجهاد دون اعتبار تشوهات الإنكماش
 $f'_c = 400 \text{ kg / cm}^2$ $T_0=28$ Days $\mu=0.01$ With Shrinkage

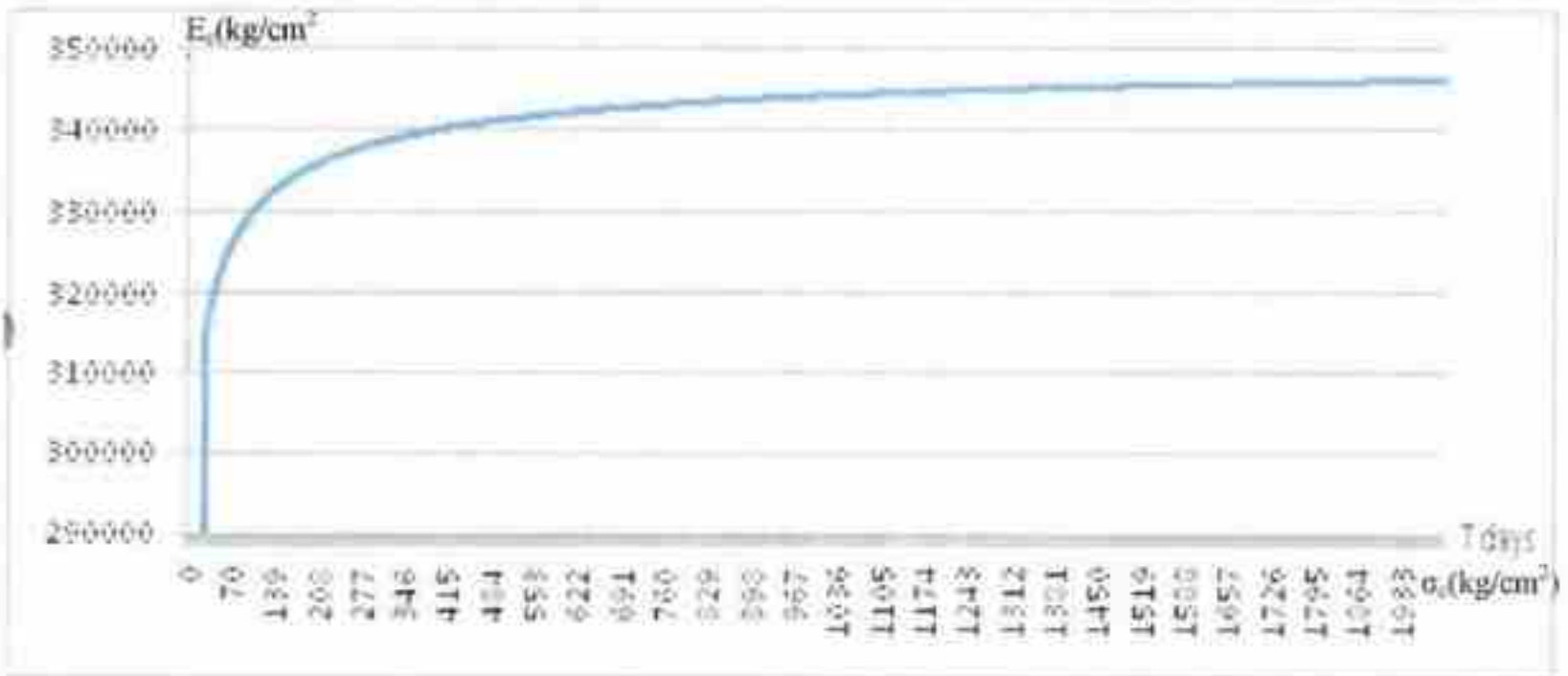
يبين الشكل (١٥) تأثير تشوهات الانكماش حيث نلاحظ في الشكل تشوهات الزحف في أعمدة بيتونية مسلحة معرضة لمسوية إجهاد $\sigma_c = 0.6 f'_c$ بدء التحميل $T_0 = 28$ Days والمقاومة المميزة $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ وفق الكود CEB-99 مع وبدون اعتبار تشوهات الانكماش



شكل (١٥) تأثير تشوهات الانكماش

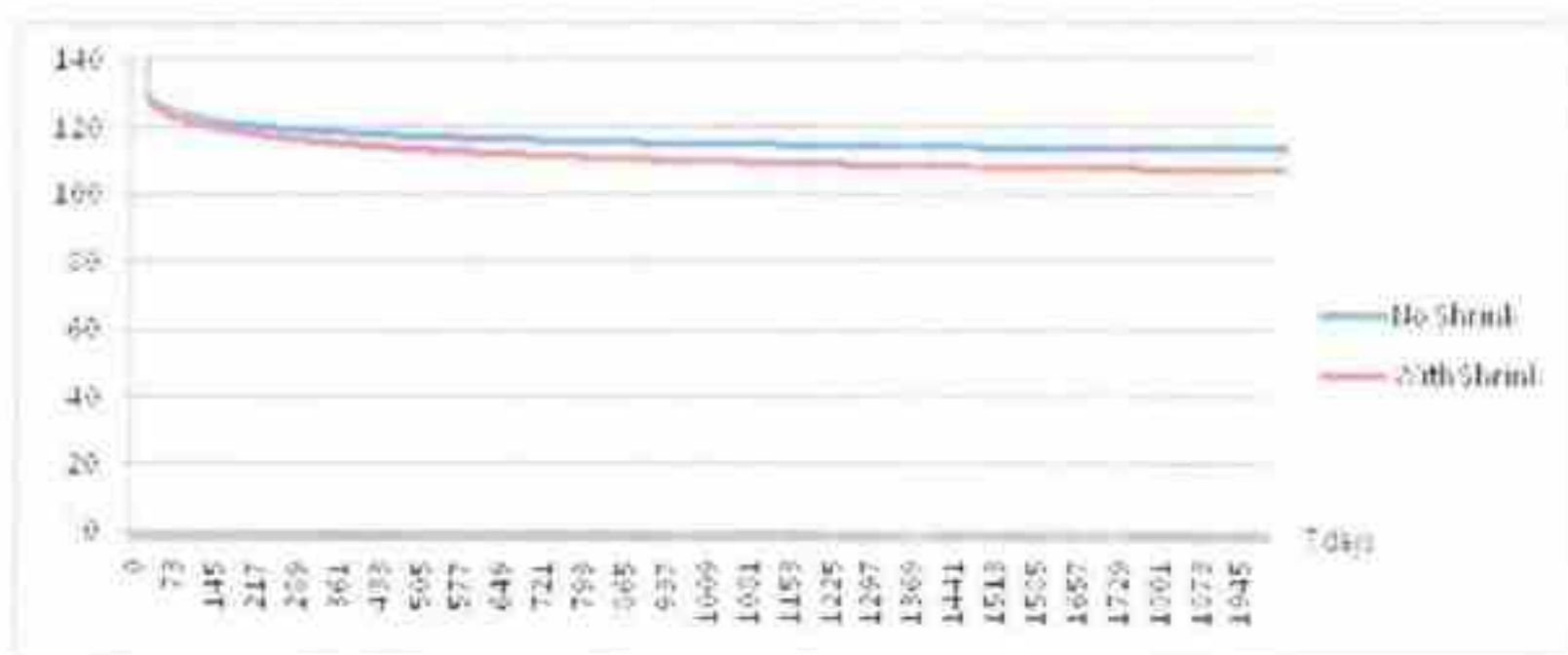
$$f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2 \quad T_0 = 28 \text{ Days} \quad \mu = 0.01 \quad \sigma_c = 0.45 f'_c$$

يبين الشكل (١٦) تزايد عامل المرونة مع الزمن مع ثبات المقاومة المميزة $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$



شكل (١٦) تزايد عامل المرونة مع الزمن

بين الشكل (١٧) تأثير تشوهات الانكماش على تطور الإجهادات في البيتون في عمود بيتوني مسلح



الشكل (١٧) تأثير تشوهات الانكماش على تطور الإجهادات في البيتون في عمود بيتوني مسلح

الطريقة العددية في تعيين الوضعية الإجهادية في العناصر البيتونية المسلحة والنااتجة عن الزحف والإنكماش والمعرضة للضغط اللا مركزي:

تتم هذه الدراسة وفق المخطط التدفقي المبين في الشكل (٣) وتتجزأ الدراسة وفق المراحل التالية :

- ١- إدخال شكل المقطع العرضي ويمكن أن تعتمد مجموعة من النماذج للمقاطع العرضية المعروفة
- ٢- إدخال أبعاد المقطع العرضي
- ٣- إدخال مقاطع ومواقع التسليح العادي وعامل مرونته ومواقع التسليح مسبق الإجهاد وعامل مرونته في حال المقطع مسبق إجهاد
- ٤- إدخال مواصفات البيتون f'_c ، عمر البيتون عند التحميل
- ٥- إدخال القوى المطبقة M و N
- ٦- حساب الخواص الهندسية للمقطع العرضي
- ٧- حساب الإجهادات الناعمية في المقطع العرضي
و في حال وجود إجهادات شد تزيد عن مقاومة المقطع المنشق يعاد حساب الخواص الهندسية للمقطع العرضي وتعين الإجهادات في المقطع العرضي المار من الشق
- ٨- تعيين تشوهات الزحف والإنكماش في المرحلة الزمنية الأولى Δt باعتبار القوى الداخلية ثابتة في هذه المرحلة
- ٩- تطبيق تشوهات الزحف والإنكماش كتشوهات قسرية على المقطع
 - في حال زيادة الإجهاد الناعمي في المقطع العرضي المدروس عن $0.4 f'_c$ فإن تشوهات الزحف اللاحقة تعين مع اعتماد الصيغة (٥)
 - في حال وجود تشوهات زحف لا خطية فإن هذه التشوهات القسرية تؤول الى توزيع لا خطي للإجهادات في المقطع العرضي ونعين N_{fix} قوة التثبيت وعزم التثبيت M_{fix} الناتج عن التشوهات القسرية. ومن ثم نعين تزايد الإجهادات الإضافية في البيتون والفولاذ والنااتجة عن الزحف والإنكماش في المرحلة الزمنية المدروسة
 - يتم التأكد من أن تزايد القوى الداخلية في الفولاذ والتسليح والنااتجة عن الزحف والإنكماش متوازنة
 - تحسب الضياعات في نهاية الفترة الزمنية المدروسة Δt وتحسب الإجهادات في المقطع العرضي في نهاية Δt مع اعتبار الضياعات وقوى سبق الإجهاد والقوى الخارجية المطبقة
 - ننقل الى مرحلة زمنية جديدة Δt_i
 - يتوقف البرنامج وتطبع النتائج في إحدى الحالات التالية :
- ١- زيادة تشوهات في المرحلة Δt متناهية في الصغر وكذلك فإن تغير الإجهادات صغير جداً وهذا يعني تخامد تشوهات الزحف دون انهيار في العنصر (في المنطقة المضغوطة)
- ٢- تزايد الإجهادات في الفولاذ حتى حد الزحف في الفولاذ المستخدم $f_y = 2100 \text{ kg / cm}^2$ للفولاذ الأملس و $f_y = 4200 \text{ kg / cm}^2$ للفولاذ المحلزن (في المقطع المضغوط)

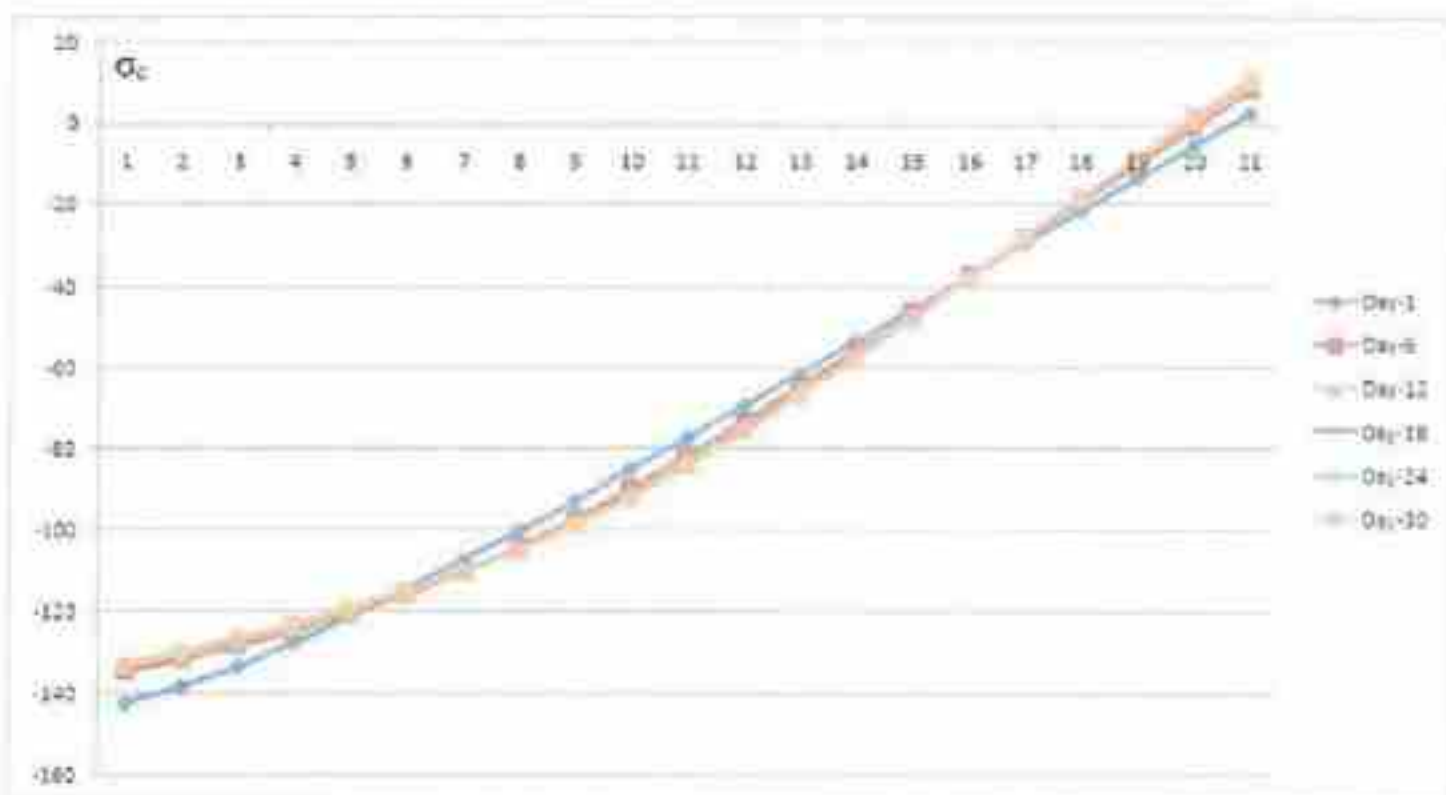
٣- بلوغ تشوهات الزحف والإنكماش في المقطع العرضي الحد الأعظمي لتشوهات البيتون ٠,٠٠٣

واعتبار البيتون منهاراً في الشريحة الطرقية المضغوطة

إن مخطط الإجهادات يتحول من مستقيم إلى منحنى وندرج في الشكل (١٨) تطور مخطط الإجهادات في عنصر بيتوني مسلح معرض لضغط لامركزي نتيجة الزحف.

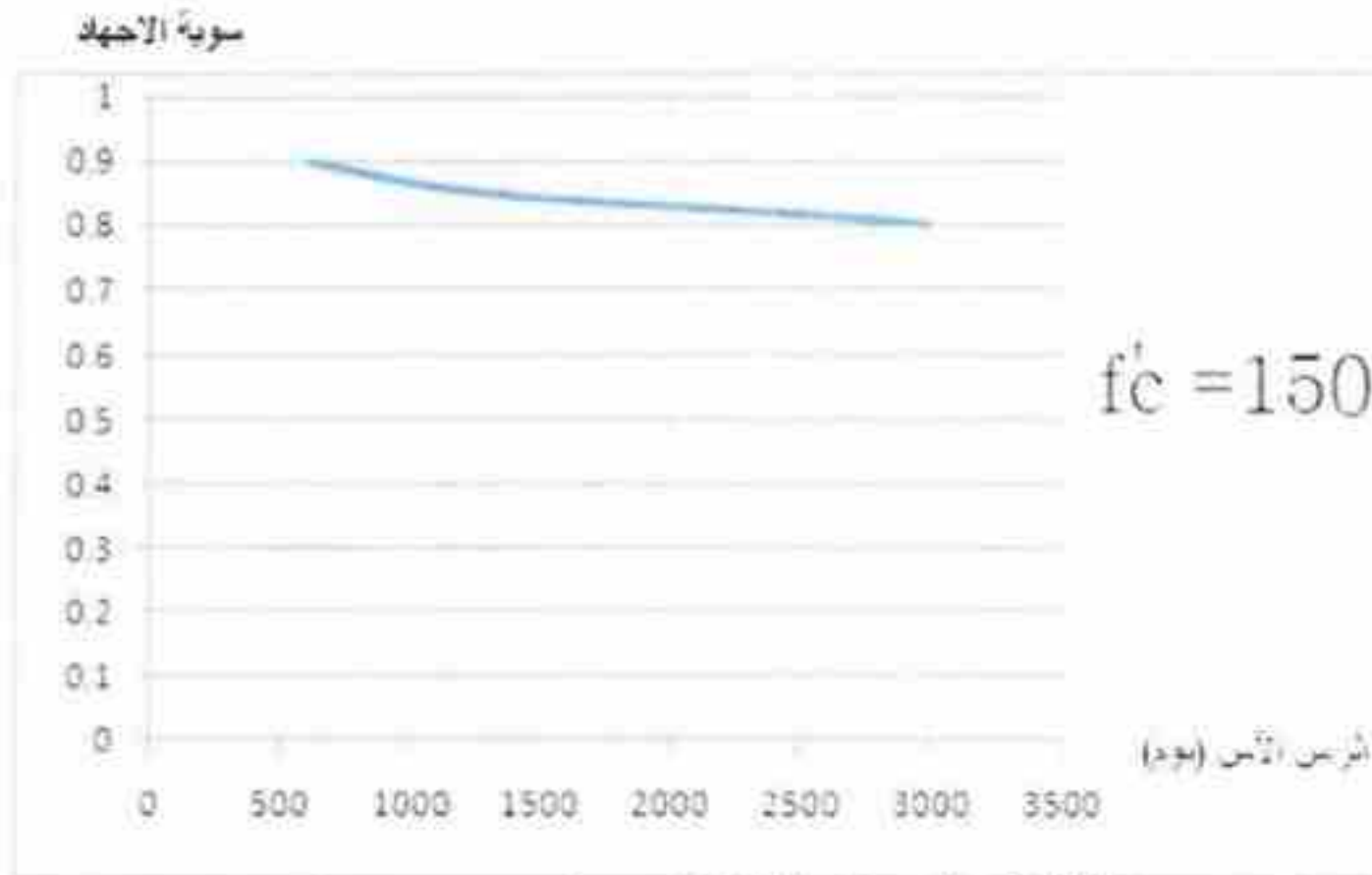
و لقد اعتمد في حساب تشوهات الزحف الخطية العلاقة (٤) وتشوهات الزحف اللا خطية العلاقة (٥).

يبين الشكل (١٨) تطور مخطط الإجهادات في عنصر بيتوني مسلح معرض لضغط لامركزي نتيجة الزحف

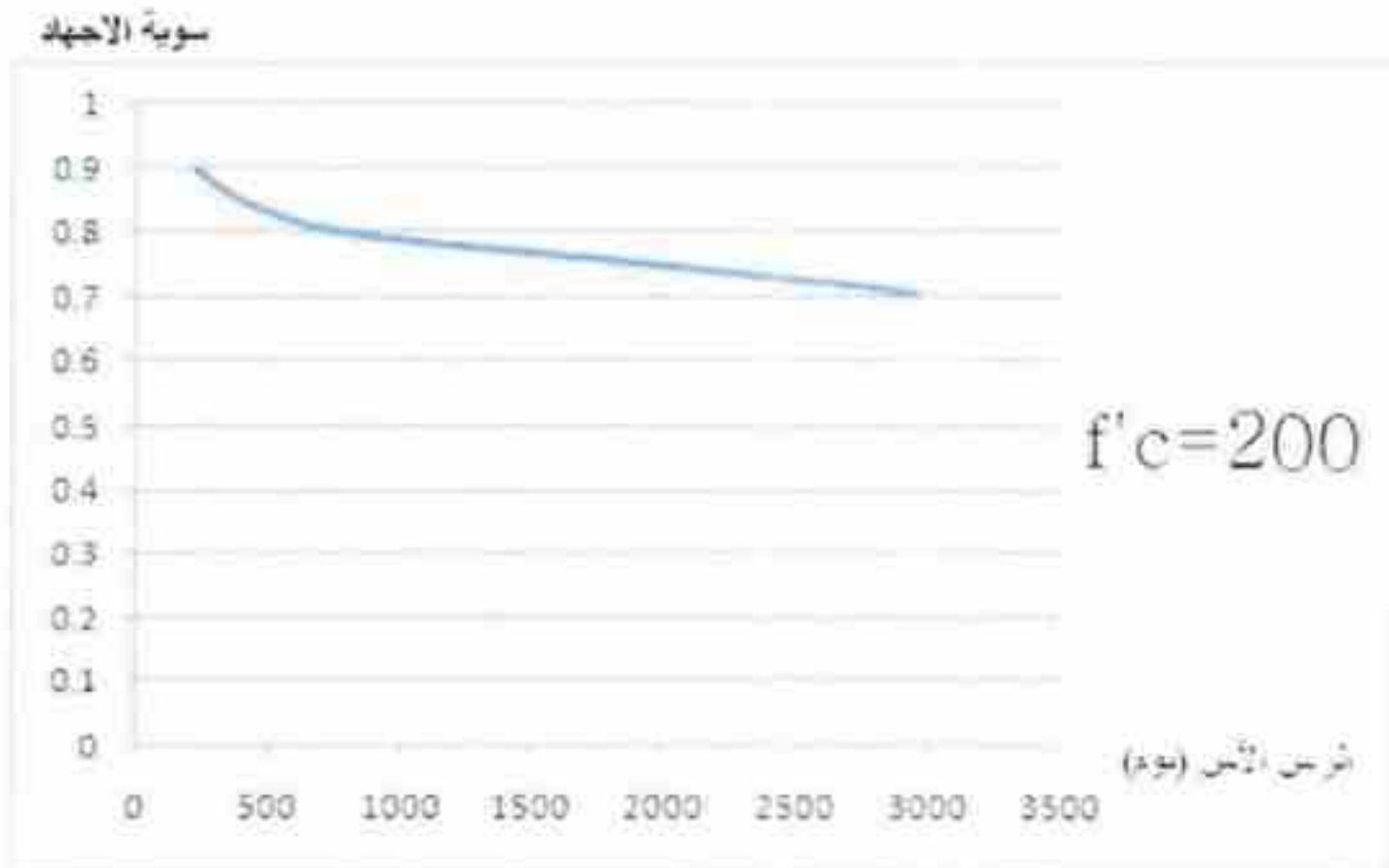


الشكل (١٨) تطور مخطط الإجهادات في عنصر بيتوني مسلح معرض لضغط لامركزي نتيجة الزحف

تدرج فيما يلي منحنيات تبين الزمن الآمن بالإيام مع مستويات الاجهاد لمختلف المقاومات المستخدمة

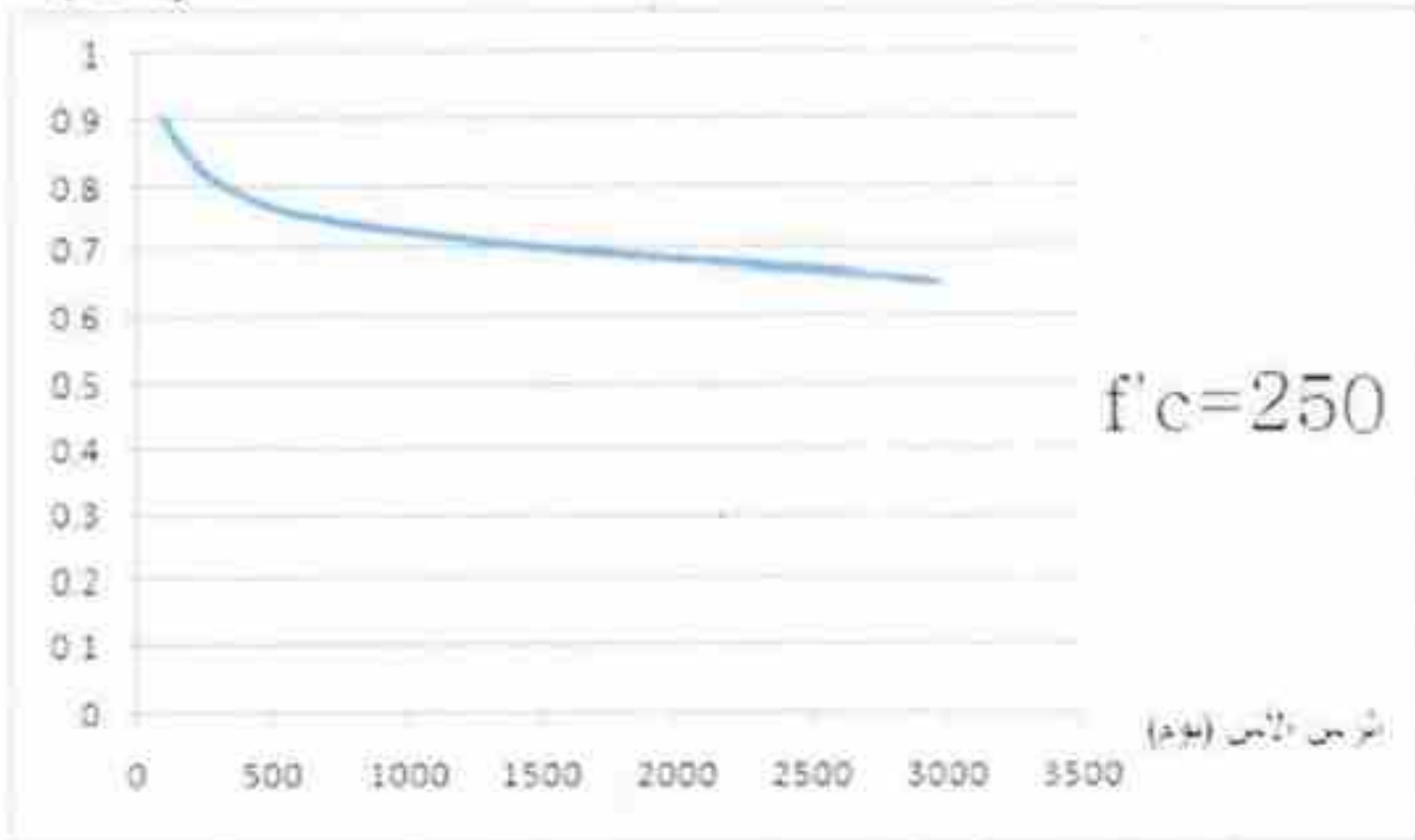


الشكل (١٩) الزمن الآمن للمقاومة المميزة $f'_c = 150 \text{ kg / cm}^2$



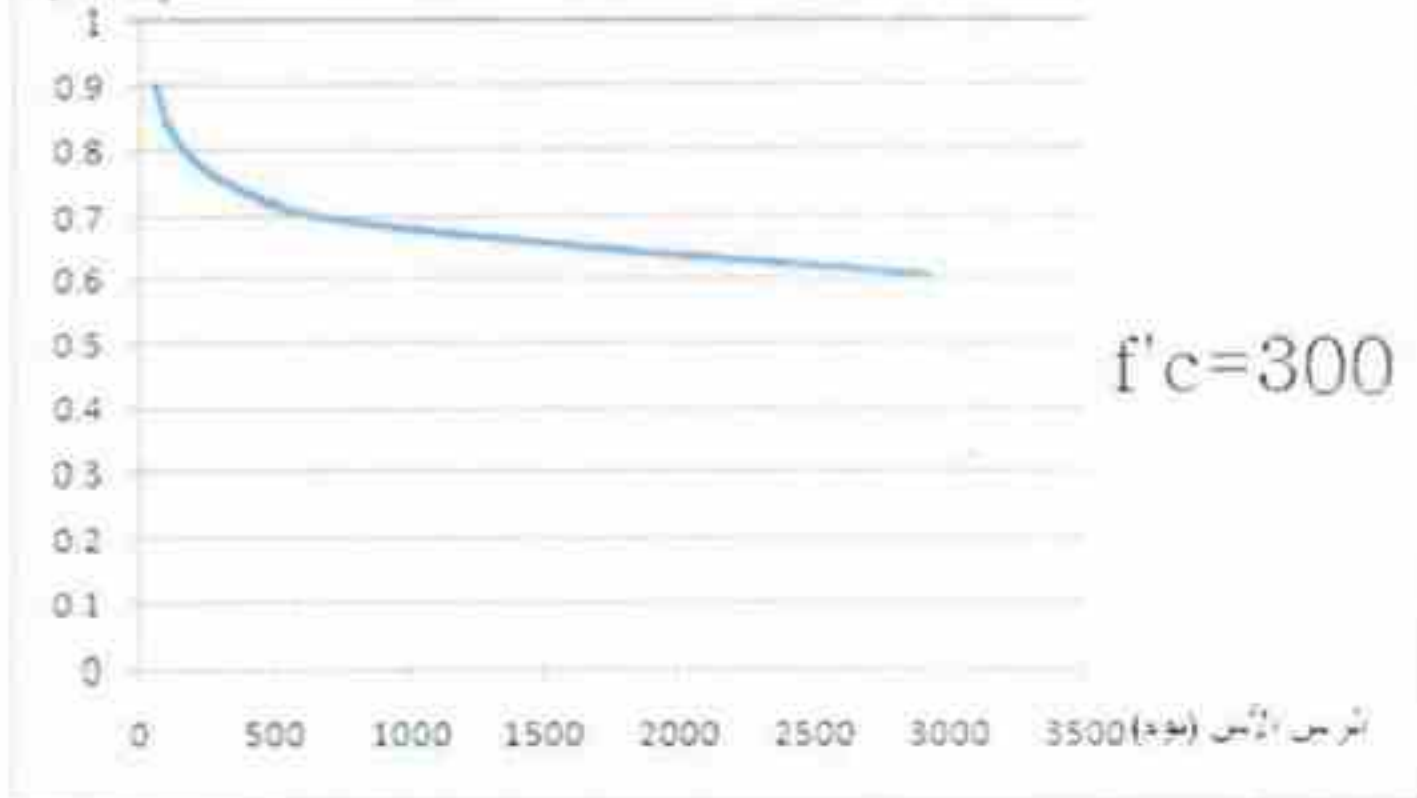
الشكل (٢٠) الزمن الآمن للمقاومة المميزة $f'_c = 200 \text{ kg / cm}^2$

سوية الإجهاد

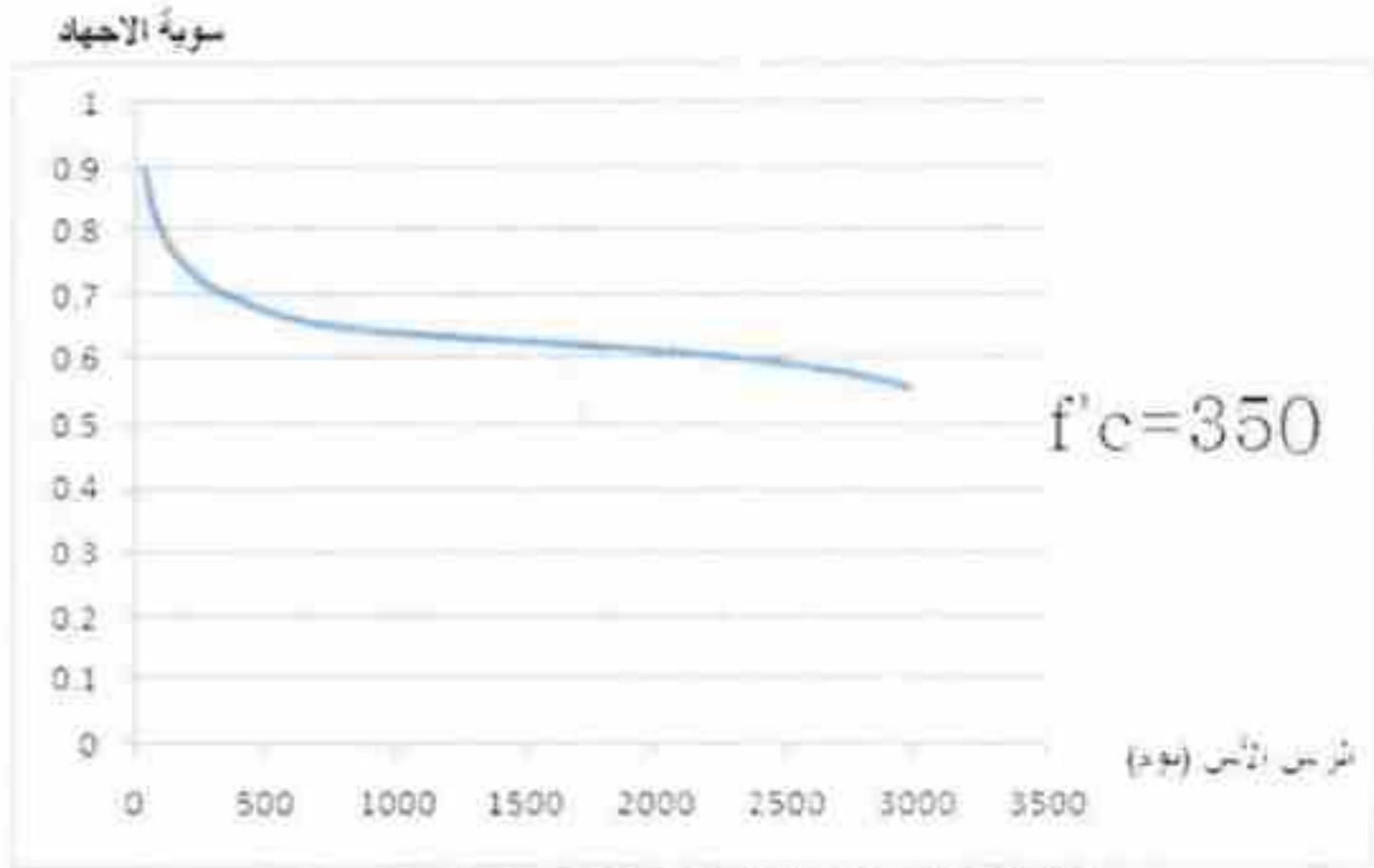


الشكل (٢١) الزمن الآمن للمقاومة المميزة $f'c = 250 \text{ kg / cm}^2$

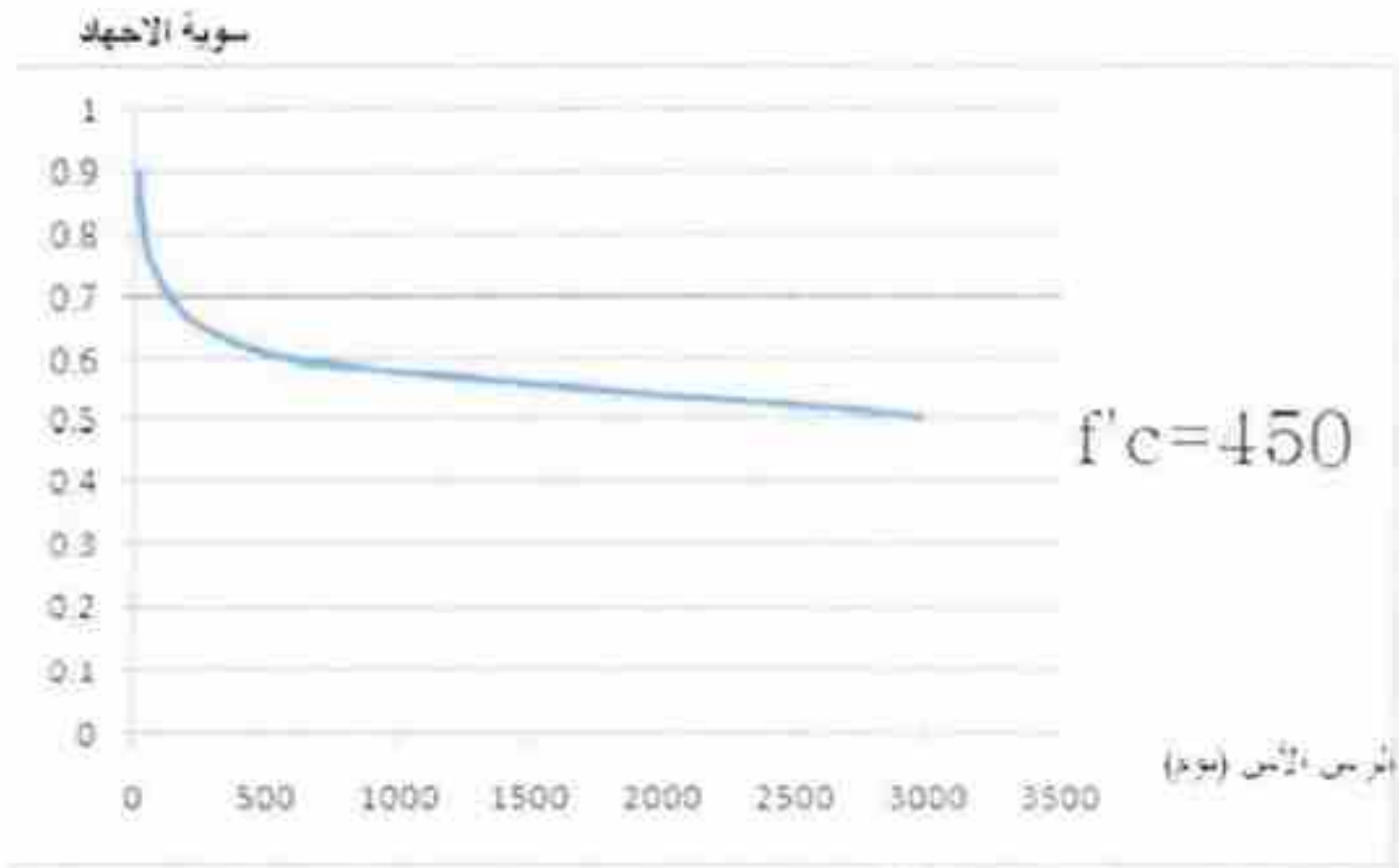
سوية الإجهاد



الشكل (٢٢) الزمن الآمن للمقاومة المميزة $f'c = 300 \text{ kg / cm}^2$



الشكل (٢٣) الزمن الأسن للمقاومة المميزة $f'_c = 350 \text{ kg / cm}^2$



الشكل (٢٤) الزمن الأسن للمقاومة المميزة $f'_c = 450 \text{ kg / cm}^2$

النتائج والتوصيات:

١. إن تشوهات السيلان تؤدي الى انهيار في الأعمدة المعرضة لاجهادات عالية بعد فترة زمنية محدودة. ويتزايد هذا الخطر مع العوامل التالية :
 - ▶ تحميل البيتون في عمر مبكر
 - ▶ تزايد في قيمة الاجهادات الفعلية أكبر من المقاومة المميزة للبيتون
 - ▶ تناقص نسبة التسليح
٢. إن تشوهات السيلان اللاخطية المرافقة لاجهادات عالية $\frac{\sigma_c}{f_{c1}} \geq 0.6$ غير معينة في الكودات العالمية وتتطلب دراسة تحريبيه موسعة لاعتماد صيغ رياضية تجريبية للتنبؤ بقيمتها.
٣. إن تشوهات السيلان اللا خطية تسبب تطوراً في الوضعية الاجهادية للعناصر المعرضة للضغط اللامركزي يؤدي الى تحول توزيع الاجهادات في المقطع العرضي من خطي الى لا خطي.
٤. إن تشوهات السيلان والانكماش تؤدي الى وضعية اجهادية متغيرة مع الزمن يرافقها تناقص الاجهادات في البيتون وتزايدها في الفولاذ
٥. إن دراسة الوضعية الاجهادية الناتجة عن السيلان والانكماش بالطريقة العددية هي الأمثل والأبسط ويمكن اعتماد أي نموذج رياضي للتنبؤ بالسيلان والانكماش مهما بلغ تعقده.
٦. إن المنشآت المتصدعة والتي تزيد فيها الاجهادات عن $\frac{\sigma_c}{f_{c1}} \geq 0.75$ هي منشآت آيلة للسقوط ويجب إخلؤها والإكتفاء بمراقبتها عن بعد
٧. إن الطرائق الرياضية الحالية في حل المعادلات التكاملية الواصفة للوضعية الاجهادية الناتجة عن السيلان والانكماش غير كافية لاعتماد النماذج الرياضية المعتمدة في الكودات العالمية للتنبؤ بالسيلان والانكماش

المراجع الأجنبية :

- 1- A. Al Manaseer, B. Espion, F.J. Olm., 1994- **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, 15-19 P.
- 2- ACI committee209 , 2008- **ACI209.2R-08 Guide for modeling and calculating shrinkage and creep in hardened concrete** —May 2008.
- 3- Baweja S., Dvorak G.J., Bazant Z.P. Triaxial.,1998- **Composite Model for Basic Creep of Concrete**. Journal of Engineering Mechanics, Vol. 124, No. 9, September 1998, 959-965 P.
- 4- Comité Euro-International du Béton., 1990- **CEB-FIP Model Code 1990**. CEB Bulletin d'Information, No. 213/214, Lausanne, Switzerland.
- 5- GHALI, A., FAVRE, R., 1986-**Concrete Structures: Stresses and Deformations**,Chapman and Hall
- 6- Kawano Akihiko, Warner R.F.,1995- **Model Formulations for Numerical Creep Calculations for Concrete**. //Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 7, No. 2, May 1995, 284-290 P.
- 7- MÜLLER, H.S., KÜTTNER C.H., 1995- **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, 145-162 P.
- 8- OLITSKI, I. I., Mear Publisher 1998-**Theory and Calculation of Reinforced Concrete due to long time effect**. 1967.
- 9- Yamamoto T.,1990- **Creep and shrinkage of high-strength reinforced concrete columns**. //Transactions of Japan concrete Institute, Vol. 12, 101-106 P.

المراجع العربية :

- 10 - نقابة المهندسين ، ٢٠٠٤ - الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة. المطبعة الثالثة، الجمهورية العربية السورية دمشق.

