لة جامعة الملك عبد العزيز: العلوم الهندسية, م **١٦**, ع **٢**, ص ص: ٦٥- ٩٣ (٢٠٠٦م/١٤٢٧هـ)

التأثيرات المعتمدة على الزمن في العتبات المستمرة ذات المقاطع المركبة "خرسانة- خرسانة"

د. وائل منير صقر

فرع الدراسات، ص.ب. ١٢٦٧٠ دمشق - سوريا

المستخلص: تقدم هذه الورقة طريقة لتحليل سلوك العتبات المستمرة ذات المقاطع المركبة "خرسانة-خرسانة " المنفذة من خرسانة مسلحة على فترات زمنية مختلفة، وبالتالي سيكون لكل جزء من أجزاء مقطعها العرضي عمر مختلف ومقاومة مختلفة عند تطبيق حمولات التشغيل طويلة الأمد، ومعامل زحف وانكماش مختلف عند إدخال تأثير الزحف والانكماش.

و تتألف العتبة المدروسة من بلاطة خرسانية مسلحة مرتبطة مع عتبة خرسانية مسلحة، وقد اعتمد التحليل على نظرية الزحف الخطية لإظهار تأثير التشوهات طويلة الأمد (الزحف والانكماش) على العتبات المستمرة ذات المقاطع المركبة وعلى التغير الذي يحصل للقوى الداخلية فيها مع مرور الزمن.كما تحتوي الورقة على مثال يوضح الأفكار المطروحة وسهولة استخدامها، ولتقدير درجة الدقة و الخطأ في نتائج النموذج الرياضي تم إجراء تجربة اختبار لنموذج عتبة مستمرة من الخرسانة المسلحة لها نفس أبعاد ومواصفات المثال المحلول.

١- المقدمة

في العقدين الماضيين اهتم المهندسون الانشائيون في تصاميمهم بموضوع استقرار المنشآت الهندسية تحت تأثير الحمولات الخارجية حيث إن لهذا الموضوع أهمية كبيرة وذلك لأن فقدان استقرار المنشأة مرتبط بقدرة تحمل مادتها للتشوهات الناتجة عن تطبيق الحمولات الخارجية. غير أنه لا يكفي أن تتمتع المنشأة الهندسية بعامل أمان كاف ضد الانهيار بل يجب أيضاً أن تؤمن الأداء السليم طيلة فترة الاستثمار، وهذا يقود الى ضرورة التحقق من الاجهادات و التشوهات خلال هذه الفترة. و من أهم مؤشرات الأداء السليم للمنشأة الهندسية عدم ظهور انعطاف Deflection وبالتالي تشققات Crack غير مسموحة من تأثير الحمولات المطبقة أو حركة المساند أو التغيرات الحرارية. و بتأثير التشوهات المتعلقة بالزمن (الزحف والانكماش) في البيتون فان الاجهادات في البيتون وحديد التسليح تتغير مع مرور الزمن في المنشآت المحددة وغير المحددة ستاتيكياً حيث تحدث إعادة لتوزيع القوى و الاجهادات في عناصر هذه المنشآت .

إن التحديد الدقيق لمقدار هذا التغير مع مرور الزمن يعتمد على إمكانية استخدام طرق فعالة تأخذ بعين الاعتبار التشوهات المتعلقة بالزمن (الزحف و الانكماش) و تزداد عملية التحليل صعوبة في المنشآت ذات المقاطع العرضية المركبة .

إن فكرة تطوير الطرق الحسابية التي تحدد التغير في الاجهادات و التشوهات في عناصر المنشآت الخرسانية المسلحة من تأثير التشوهات المتعلقة بالزمن تم تناولها بشكل كاف في عدد من المقالات الحديثة المنشورة، وبالرغم من ذلك فان

[1] مركبتين للتشوه الناتج عن زحف البيتون، المركبة الأولى متعلقة بالزمن Static Creep والمركبة الثانية دورية Cyclic Component، وذلك على العتبات الخرسانية المركبة المسلحة بتسليح مسبق الاجهاد جزئي أو كلي, تحت تأثير الحمولات طويلة الأمد والحمولات الدورية. واعتمد [٢-٤] في التحليل على التأثير اللاخطي للزحف والانكماش، باستخدام معامل المرونة الفعال المتعلق بالـ زمن (AEMM) على الأعمدة و العتبات ذات المقاطع المركبة وذلك عكس التأثير الخطي للزحف والانكماش المعتمد في [٥]، كذلك استخدم [٦] التحليل اللاخطي لحساب التشوهات في عناصرالخرسانة المسلحة بتسليح عادي ومسبق الاجهاد .

أما غالي [٧-١٠] فقد قدم طريقة مناسبة لحساب الاجهادات والتشوهات مع مرور الزمن في الخرسانة، وحديد التسليح العادي، و المسبق الإجهاد وذلك للمقاطع الخرسانية المسلحة المتشققة و الغيرمتشققة، وقد اعتمد في تحليله على التأثير الخطي للزحف والانكماش باستخدام معامل المرونة الفعال المتعلق بالزمن. وقدم رشيدات [١١] وسمارة [١٢-١٤] عرضا طريقة سهلة الاستخدام لحساب الاجهادات والتشوهات في العتبات (المتشققة) والأعمدة الخرسانية المسلحة من تأثير الزحف و الانكماش، و ذلك باستخدام معامل المرونة المخفض .

أما Dezi وLeoni و Tarantino [١٥] فقد ركزوا اهتمامهم على دراسة المقاطع المركبة المكونة من بلاطة خرسانية مسلحة بتسليح مسبق الاجهاد

FRP) في مناطق الشد، فقد عمل Plevris و Triantafillou [١٦] على تطوير المفهوم الأساسي لتأثير الزحف والانكماش على هذا النوع من المقاطع المركبة، باستخدام معامل المرونة الفعال المتعلق بالزمن...

إن الهدف من هذه الدراسة هو إيجاد المعادلات اللازمة لدراسة التغير في القوى الداخلية، وبالتالي التغير في الاجهادات والتشوهات مع مرور الزمن بسبب تأثير التشوهات المتعلقة بالزمن (الزحف والانكماش) في العتبات الخرسانية المستمرة ذات المقاطع العرضية المؤلفة من بلاطة و عتبة من الخرسانة المسلحة تم تنفيذهما في فترات زمنية مختلفة، و بالتالي سيكون لكل جزء من أجزاء المقطع العرضي عمر مختلف ومقاومة مختلفة عند تطبيق حمولات التشغيل طويلة الأمد، ومعاملات زحف مختلفة عند إدخال أثر التشوهات اللدنة و ذلك اعتماداً على نظرية الزحف الخطية. كذلك سيتم الأخذ بعين الاعتبار تأثير التغير في عزم العطالة على كامل طول العتبة المستمرة المدروسة و ذلك باستخدام عزم العطالة الفعال [١٧-١٩] .

وقد تم اختيار العتبات الخرسانية المستمرة كموضوع لهذه الورقة لأنها من أكثر العناصر الانشائية استخداماً في منشآت الخرسانة المسلحة و هي تحقق توفيراً لايستهان به في مواد البناء مقارنة مع العتبات البسيطة ، كما أن لاستخدامها

٢- العلاقات الأساسية

الفرضيات الأساسية المعتمدة:

- إهمال الخرسانة في منطقة الشد وتحميل كامل اجهادات الشد على تسليح الشد.
- العلاقة بين الاجهادات والتشوهات بالنسبة للخرسانة والتسليح خطية حسب قانون هوك، وهذا سيسمح باستخدام مبدأ التجمي [٢١-٢٢].
- المقاطع المستوية قبل التشوه تبقى مستوية بعد التشوه.
- الانزلاق في منطقة اتصال البلاطة بالعتبة مهمل، وبالتالي فإن التشوه سيكون خطيا على كامل ارتفاع المقطع العرضي .
- يتم أخذ تأثير الزحف Creep والانكماش Shrinkage عن طريق استعمال معامل المرونة الفعال المتعلق بالزمنAEMM [٢٧،٢٠].

- وجود تماسك تام بين الخرسانة وحديد التسليح.

ليكن لدينا عتبة مستمرة مقطعها العرضي على شكل حرف T، وهي مكونة من عتبة وبلاطة من الخرسانة المسلحة منفذتين في فترات زمنية مختلفة وبالتالي سيكون لكل منهما عامل مرونة مختلف $E_{ci}(t_o)$ وذلك بسبب اختلاف عمر كل جزء من أجزاء المقطع العرضي عند بدء التحميل. المقطع متناظر بالنسبة للمحور المار بمستوي الانعطاف وخاضع لعزم انعطاف M (الشكل ١)، إن مخطط الاجهادات والتشوهات والرموز والأبعاد موضحة على نفس الشكل.

يتم الحصول على ارتفاع منطقة الضغط (x) الموافقة للزمن (t_o) لحظة تطبيق الحمل المؤثر وذلك من شرط $B=0$ (العزم الستاتيكي للمقطع المكافئ بالنسبة للمحور المحايد *O-O* يساوي الصفر) حيث يتم اعتماد أحد عاملي مرونة المقطع الخرساني المركب كمعامل مرونة مرجعي E_{cr} وبالتالي:

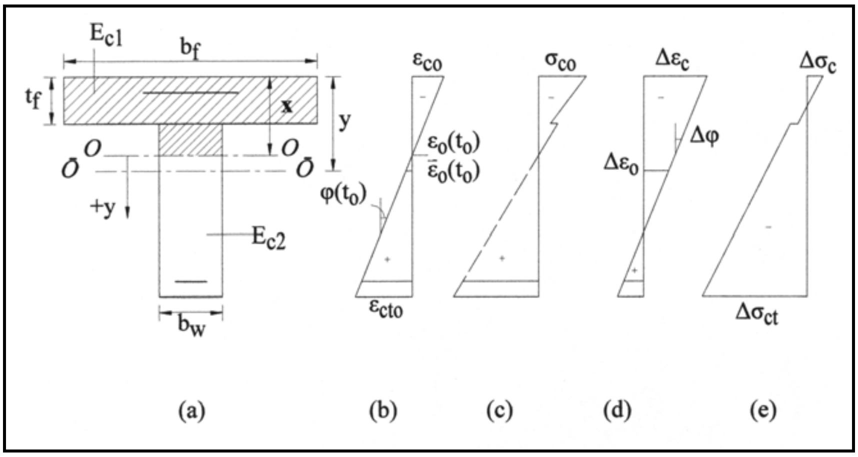
$$n = \frac{E_s}{E_{cr}}\ ,\ k = \frac{E_{ci}}{E_{cr}}$$

حيث: E_s – معامل مرونة حديد التسليح.

E_{ci} -معامل مرونة الخرسانة للجزء i .

E_{cr} -معامل مرونة الخرسانة المرجعي Reference modulus .

t_o –عمر الخرسانة عند تطبيق الحمل المؤثر.



شكل (١): (a)- مقطع عرضي مركب في عتبة معرضة للانعطاف،
(b)و(c)- مخطط الإجهادات و التشوهات للزمن (t_o)،
(d)و(e)- التغير في الإجهاد و التشوه مع مرور الزمن (t , t_o).

استناداً إلى قانون هوك فإن التشوه و الاجهاد في أي ليف على مسافة y من المحور المحايد يعطى بالشكل التالي:

$$\varepsilon = \varepsilon_o + \varphi y \;,\;\; \sigma = E_i(\varepsilon_o + \varphi y)$$
(١)

كذلك لدينا:

$$N = \int \sigma dA$$
$$M = \int \sigma . y dA$$
(٢)

بتعويض المعادلات (١) في (٢) ينتج لدينا:

$$N = \varepsilon_o \sum_{i=1}^{m} E_i \int dA + \varphi \sum_{i=1}^{m} E_i \int y dA$$
(٣)

$$M = \varepsilon_o \sum_{i=1}^{m} E_i \int y dA + \varphi \sum_{i=1}^{m} E_i \int y^2 dA$$
(٤)

حيث: E_i - معامل مرونة الخرسانة للجزء i من المقطع المدروس.

y- البعد بين الليف المدروس والمحور المحايد *O-O* .

m – عدد الأجزاء الخرسانية في المقطع المدروس.

φ - زاوية الانحناء ($\varphi = d\varepsilon / dy$).

يمكن كتابة العلاقتين السابقتين (٣) و (٤) بالشكل التالي:

$$N = E_{cr}\left(A_{red}\varepsilon_o + B_{red}\varphi\right)$$
(٥)

$$M = E_{cr}\left(B_{red}\varepsilon_o + I_{red}\varphi\right) \quad (٦)$$

حيث:

$$A_{red} = \sum_{i=1}^{m}\left(\frac{E_i}{E_{cr}}A_i\right)$$
$$B_{red} = \sum_{i=1}^{m}\left(\frac{E_i}{E_{cr}}B_i\right)$$
$$I_{red} = \sum_{i=1}^{m}\left(\frac{E_i}{E_{cr}}I_i\right)$$
(٧)

A_{red} ,B_{red} ,I_{red} – هي بالترتيب مساحة المقطع العرضي المكافئ، العزم الستاتيكي و عزم العطالة المكافئ حول المحور المحايد *O-O* .

A_i ,B_i ,I_i – هي بالترتيب مساحة الجزء i من المقطع العرضي، العزم الستاتيكي و عزم العطالة المكافئ حول المحور *O-O*.

عندما يمر المحور المحايد من مركز ثقل المقطع المكافئ transformed section (كما في حالتنا) فان العزم الستاتيكي سيكون مساوياً للصفر ($B_{red}=0$) وبالتالي فان المعادلات (٥) و (٦) ستأخذ الشكل التالي:

$$N = E_{cr}A_{red}\varepsilon_o \qquad (٨)$$

$$M = E_{cr}I_{red}\varphi \qquad (٩)$$

من خلال العلاقتين (٨) و (٩) نستطيع تحديد التشوه axial stain at *O-O* وزاوية الانحناء curvature مباشرة بعد تطبيق الحمل :

$$\varepsilon_o(t_o) = \frac{N}{E_{cr}(t_o)A_{red}} \ (\text{if } N = 0 \rightarrow \varepsilon_o(t_o) = 0 \text{ at } O\text{-}O) \qquad (١٠)$$

$$\varphi(t_o) = \frac{M}{E_{cr}(t_o) I_{red}}$$
(١١)

وهكذا نستطيع حساب الإجهاد والتشوه للزمن t_o في أي ليف خرساني من خلال العلاقتين التاليتين:

$$\varepsilon_c(t_o) = \varepsilon_o(t_o) + \varphi(t_o) y \quad (١٢)$$

$$\sigma_c(t_o) = [E_c(t_o)]_i (\varepsilon_o(t_o) + \varphi(t_o) y) \quad (١٣)$$

أما الإجهاد في التسليح فيحدد من خلال العلاقة التالية:

$$\sigma_s(t_o) = E_s(\varepsilon_o(t_o) + \varphi(t_o) y)$$
(١٤)

٣- التغير في الإجهاد والتشوه مع مرور الزمن

بافتراض أن الترابط كامل بين جزئي المقطع العرضي (وهذا يتطلب في الواقع تأمين روابط ذات مقاومة وصلابة كبيرتين) فإن تأثير التشوهات المتعلقة بالزمن

t الى t_o حيث

$t > t_o$ الشكل (١) يحدد عن طريق التزايد الذي يحصل لهذا التشوه $\Delta\varepsilon_0$، ولزاوية الانحناء $\Delta\varphi$ وذلك بسبب تأثير التشوهات المتعلقة بالزمن والتي تشمل الزحف والانكماش ، فبسبب تأثير الزحف في الخرسانة والناتج عن الحمولات طويلة الأمد فإن التشوه وزاوية الانحناء للزمن t_o سيزدادان بمقدار $\phi(t,t_o)\varepsilon_o(t_o)$ و $\phi(t,t_o)\varphi(t_o)$ حيث $\phi(t,t_o)$ هو معامل الزحف (الملحق ١) فإذا كان الانكماش غير مقيد ومنتظما على كامل ارتفاع المقطع العرضي فسيكون التشوه الكلي عند الزمن t مساوياً لمجموع مركبتي التشوه الناتج عن تأثير الزحف والانكماش $\phi(t,t_o)\varepsilon_o(t_o)+\varepsilon_{sh}$ ، وبالتالي لتحديد $\Delta\varepsilon_0$ و $\Delta\varphi$ سيتم اعتماد نفس الخطوات التي أجريت لإيجاد $\varepsilon_o(t_o)$ و $\varphi(t_o)$ بعد أن يتم استبدال معامل المرونة الخرسانة $E_c(t_o)$ بمعامل المرونة الفعال المتعلق بالزمن $\bar{E}_c(t,t_o)$ (الملحق ١) وذلك لإدخال تأثير التشوهات المتعلقة بالزمن (الزحف والانكماش)وبالتالي فان خواص المقطع سوف تتغير نتيجة لتغير النسبة n لـ : $\bar{n}=E_s/\bar{E}_c(t,t_o)$

$$\Delta\varepsilon_o=-\frac{\Delta N}{\bar{E}_{cr}(t,t_o)\bar{A}_{red}} \qquad (١٥)$$

$$\Delta\varphi=-\frac{\Delta M}{\bar{E}_{cr}(t,t_o)\bar{I}_{red}} \qquad (١٦)$$

حيث:

$\bar{E}_{cr} = \bar{E}_{cr}(t, t_o)$ - معامل المرونة الفعال المرجعي المتعلق بالزمن Reference .AAEM

$\Delta M, \Delta N$ -القوى التي يجب أن تمنع استمرار حدوث أو تطور التشوهات الناتجة من تأثير الزحف و الانكماش.

$\bar{I}_{red}, \bar{A}_{red}$ -هي بالترتيب المساحة و عزم عطالة المقطع المكافئ المتعلق بالزمن age-adjusted transformed section حول المحور $\bar{o}-\bar{o}$ الذي يمر بمركز ثقل المقطع المكافئ المتعلق بالزمن وبالتالي فإن العزم الستاتيكي للمقطع المكافئ المتعلق بالزمن حول نفس المحور سيكون مساوياً للصفر أي $\bar{B}_{red} = 0$.

$$\bar{A}_{red} = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\bar{E}_i}{\bar{E}_{cr}}\bar{A}_i\right) \qquad (١٧)$$
$$\bar{I}_{red} = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\bar{E}_i}{\bar{E}_{cr}}\bar{I}_i\right)$$

$$\Delta N = -\sum_{i=1}^{n}\bar{E}_{ci}\left\{\phi_i\left[\bar{A}_{ci}\bar{\varepsilon}_o(t_o) + \bar{B}_{ci}\varphi(t_o)\right] + \varepsilon_{sh}\bar{A}_{ci}\right\}$$
(١٨)

$$\Delta M = -\sum_{i=1}^{n}\bar{E}_{ci}\left\{\phi_i\left[\bar{B}_{ci}\bar{\varepsilon}_o(t_o) + \bar{I}_{ci}\varphi(t_o)\right] + \varepsilon_{sh}\bar{B}_{ci}\right\} \qquad (١٩)$$

بتعويض العلاقتين (١٨) و (١٩) في (١٥) و (١٦) نحصل على :

$$\Delta\varepsilon_o = \sum_{i=1}^{n}\left[\bar{\psi}_{icr}\phi_i\varphi(t_o) + \bar{\psi}_{ish}\varepsilon_{sh}\right] \qquad (٢٠)$$

$$\Delta\varphi = \sum_{i=1}^{n}\left[\bar{\omega}_{icr}\phi_i\varphi(t_o) + \bar{\omega}_{ish}\varepsilon_{sh}\right] \qquad (٢١)$$

حيث:

$\varepsilon_{sh}(t, t_o) = \varepsilon_{sh}$ - التشوه الذي يحدث في الفترة الزمنية t_o الى t من تأثير الانكماش غير المقيد (Free shrinkage).

$\phi(t, t_o) = \phi$ - معامل الزحف Creep Coefficient .

$\bar{A}_{ci}, \bar{B}_{ci}$ و $\bar{I}_{ci}$ - هي بالترتيب المساحة، العزم الستاتيكي وعزم العطالة للجزء i من الخرسانة الواقعة في منطقة الضغط فقط حول المحور $\bar{o}-\bar{o}$ الذي يمر بمركز ثقل المقطع المكافئ المتعلق بالزمن .

$$\bar{\varepsilon}_o(t_o) = \varphi(t_o)(\bar{y} - x)$$

$$\bar{\psi}_{icr} = \bar{k}_i\left(\frac{\bar{A}_{ci}(\bar{y} - x) + \bar{B}_{ci}}{\bar{A}_{rea}}\right)$$

$$\bar{\psi}_{ish} = \bar{k}_i\left(\frac{\bar{A}_{ci}}{\bar{A}_{red}}\right)$$

$$\bar{\omega}_{icr} = \bar{k}_i\left(\frac{\bar{B}_{ci}(\bar{y} - x) + \bar{I}_{ci}}{\bar{I}_{red}}\right)$$

$$\bar{\omega}_{ish} = \bar{k}_i \left(\frac{\bar{B}_{ci}}{\bar{I}_{red}} \right)$$

$$\bar{k}_i = \frac{\bar{E}_{ci}(t, t_o)}{\bar{\bar{E}}_{cr}(t, t_o)}$$

يحسب التغير في الاجهادات للفترة الزمنية t_o الى t من خلال العلاقة التالية:

-للخرسانة في أي ليف من ألياف المقطع المركب

$$\Delta\sigma_c = \bar{E}_{ci}(t, t_o)\left[-\phi_i(t, t_o)\left[\bar{\varepsilon}_o(t_o) + \varphi(t_o)\bar{y}_i\right] - \varepsilon_{sh}(t, t_o) + \Delta\varepsilon_o + \bar{y}_i\Delta\varphi\right]$$
(٢٢)

-لفولاذ التسليح

$$\Delta\sigma_s = E_s\left(\Delta\varepsilon_o + \bar{y}_i\Delta\varphi\right) \quad (٢٣)$$

تحسب الاجهادات النهائية للزمن t وذلك عن طريق جمع الاجهادات المحسوبة بالعلاقات (١٣) و (١٤) والعلاقات (٢٢) و (٢٣):

$$\sigma_c(t) = \sigma_c(t_o) + \Delta\sigma_c \quad (٢٤)$$

$$\sigma_s(t) = \sigma_s(t_o) + \Delta\sigma_s$$
(٢٥)

أما الانحناء النهائي final curvature للزمن t فيحسب أيضا بنفس الطريقة:

$$\varphi(t)=\varphi(t_o)+\Delta\varphi$$
(٢٦)

يمكن كتابة العلاقة السابقة بالشكل التالي وذلك بعد تعويض العلاقة (١١) و (٢١) في العلاقة (٢٦) :

$$\varphi(t)=\frac{M}{E_\omega(t)I_{red}}+\sum_{i=1}^{n}\bar{\omega}_{ish}\varepsilon_{sh} \qquad (٢٧)$$

حيث:

$$\frac{M}{E_\omega(t)I_{red}}=\varphi(t_o)+\Delta\varphi_{creep}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\bar{\omega}_{ish}\varepsilon_{sh}=\Delta\varphi_{shrinkage}$$

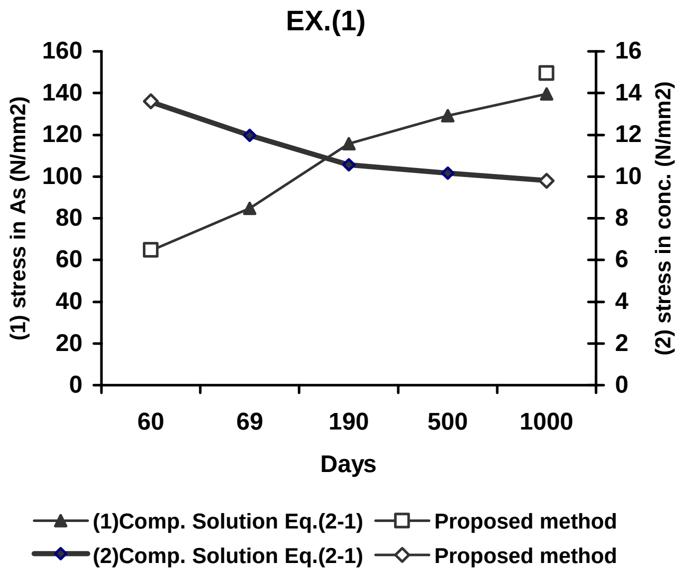
$$E_\omega(t)=\frac{E_{cr}(t_o)}{1+\sum_{i=1}^{n}\bar{\omega}_{icr}\phi_i}$$
(٢٨)

نلاحظ أن للعلاقة الأخيرة نفس شكل العلاقة (١-٥) (الملحق) والتي تمثل معامل المرونة الفعال المتعلق بالزمن حيث تتعلق قيمة $\bar{\omega}_{icr}$ بخواص المقطع المكافئ المتعلق بـ الزمن (age-adjusted transformed section) $\bar{B}_{ci}, \bar{I}_{ci}$ و $\bar{I}_{red}$ وتمثل هذه العلاقة معامل المرونة المتعلق بالزمن عند الزمن المعتبر (t) .

ولغرض المقارنة يبين الشكل (٢) التغير في الاجهاد لليف العلوي للخرسانة ولحديد التسليح المضغوط $As^{\prime}$ الذي يحدث خلال فترة زمنية مقدارها ١٠٠٠ يوم من بدء تحميل عتبة من الخرسانة المسلحة مقطعها العرضي بشكل حرف T : $b_f= 1450, t_f= 100, b_W=250$ $h=600mm$ وقد تم الاعتماد على الكود الأوروبي [٢٢] لحساب معامل الزحف والمرونة علماً بأن:

, B25, t_0= 60 days , H. M=600 kN.m , $E(t_0) = 3159$ N/mm^2 , =70% , $\phi(t,t_o)=1.44$, $\varepsilon_{sh}=0$ ، وقد تم الحساب باستخدام التحليل المقترح في هذه الورقة و طريقة الحساب خطوة بخطوة (Step-by-Step) اعتمادا على المعادلة (١-٢) المبينة في الملحق (١) ونلاحظ من خلال النتائج المبينة في الشكل (٢) مدى التطابق في النتائج الحسابية حيث إن الفرق في القيمة النهائية للاجهاد في الليف العلوي للخرسانة الذي يتناقص مع مرور الزمن من تأثير الزحف لايتجاوز 0.23% ، كذلك فإن الفارق في القيمة النهائية للاجهاد في حديد التسليح المضغوط الذي يزداد مع مرور الزمن هو ٧ % ، ونتيجة لنفس التأثيرات فإن ارتفاع منطقة الضغط يزداد مع مرور الزمن وذلك للمحافظة على توازن القوى الداخلية في المقطع العرضي.

إن من أهم ميزات التحليل الرياضي المقترح في هذه الورقة هو سهولة استخدامه حيث اجريت كافة الحسابات يدوياً على عكس الطريقة الثانية (Step-by-Step) التي اجريت حساباتها بمساعدة الحاسب الالكتروني حيث تم اعداد برنامج بلغة Turbo Pascal .



شكل(٢): التغ الإجهاد مع مرور الزمن ا رسانة وحديد التسليح ا ضغوط .

٤- عزم العطالة الفعال I_e

أن عزم عطالة مقطع الخرسانة المسلحة لايمكن أن يبقى ثابتاً على كامل طول العتبة حيث إن ارتفاع المنطقة المعرضة لاجهاد الضغط، وبالتالي ارتفاع منطقة الجزء المتشقق المهمل من المقطع، يتأثر باختلاف قيم عزوم الانعطاف على طول المجاز مما يؤدي الى اختلاف المقطع المكافئ وعزم العطالة للمقطع، ففي المناطق المعرضة لعزوم موجبة يكون الشد في الأسفل والضغط في الأعلى ويصمم المقطع عندها بشكل حرف T، أما في المناطق المعرضة لعزوم سالبة

b_w، وكذلك

فإن مساحات التسليح تتغير في معظم الحالات على طول العتبة مما يؤدي أيضاً إلى تغير الخواص الهندسية للمقطع المكافئ بما فيها عزم العطالة. لذلك سيتم استخدام عزم العطالة الفعال للمقطع المعرض للانعطاف والذي يعطى بالعلاقة التالية [٢٥،٢٦] (والمعتمدة أيضاً في الكود ACI 318-99) :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}}\right)^3\right] I_{cr} \le I_g$$

(٢٩)

حيث:

I_{cr} – عزم عطالة المقطع المكافئ المتشقق.

I_g - عزم عطالة كامل المقطع غير المتشقق مع إهمال حديد التسليح.

M_{cr}- عزم الانعطاف عند بداية ظهور التشققات.

M_{max}- عزم الانعطاف المطبق في المقطع المدروس.

وسيتم استعمال العلاقة السابقة لإيجاد عزم عطالة المقطع الفعال لمنطقتي العزم الموجب و السالب في العتبة المستمرة كل على حدة بحيث يتم الأخذ بعين الاعتبار تأثير التغير في عزم العطالة على كامل طول العتبة من أجل جعل عملية التحليل أكثر دقة.

٥- تغير القوى الداخلية مع مرور الزمن

هناك طرق إنشائية عديدة لتحديد القوى والانتقالات في الجمل أو العناصر غير المحددة ستاتيكياً Indeterminate Structures وقد اعتمد في هذا البحث لإيجاد التغير في القوى الداخلية مع مرور الزمن من تأثير التشوهات طويلة الأمد الزحف و الانكماش طريقة العمل الافتراضي Virtual Work .

ليكن لدينا عتبة مستمرة من الخرسانة المسلحة غير مقررة من الـ درجة الأولى، تتعرض العتبة لحمولة موزعة بانتظام (تشمل الـ وزن الـ ذاتي) q

(شكل ٣)، ويتكون مقطعها العرضي من عتبة وبلاطة من الخرسانة المسلحة تم تنفيذهما في فترتين زمنيتين مختلفتين، وبالتالي سيكون لهما أعمار مختلفة t_i عند تطبيق الحمل الموثر وكذلك سيكون لهما معاملات زحف مختلفة $\phi_i(t, t_o)$ عند إدخال أثر التشوهات طويلة الأمد.

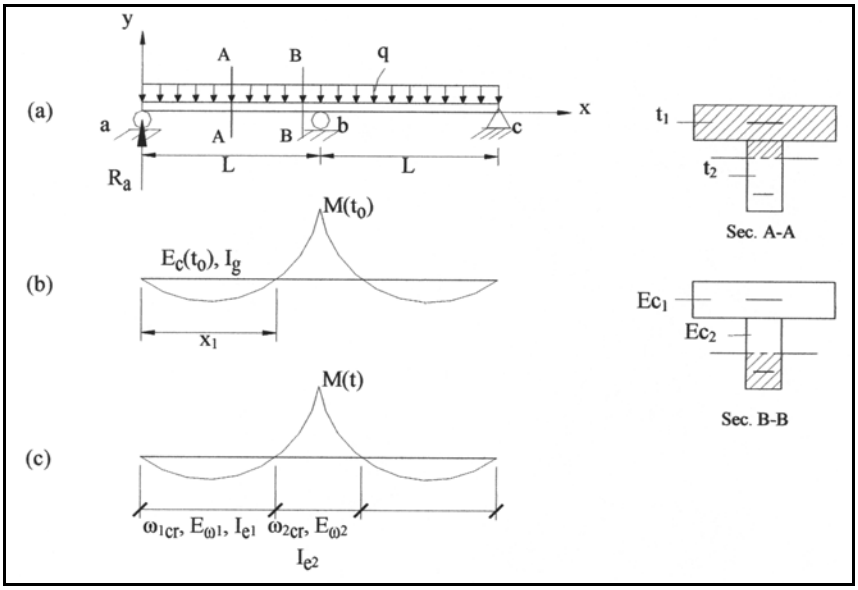
إن العزم الكلي المؤثر في مقطع يبعد مسافة (x) من المسند (a) يعطى بالشكل التالي:

$$M(x) = R_a . x - \frac{q.x^2}{2} \qquad \text{where} \quad 0 < x \le L$$

(٣٠)

حيث :

R_a هو رد الفعل في المسند الطرفي (a) و x هي المسافة بين المقطع المدروس والمسند (a).



شكل(٣): (a)-عتبة مستمرة من مقطعها العرضي مكون من جزئ منفذين فترات زمنية تلفة t_1 وt_2 ،
(b)- ططط عزم الانعطاف للزمن t_o بعد تطبيق ا حمل ا ؤثر مباشرتاً،
(c)- ططط عزم الانعطاف للزمن t (الزمن ا دروس).

وكما هو واضح على الشكل (٣) فإن عزم الانعطاف يكون معدوماً ($M(x)=0$) عندما تكون $x = x_1$ وبالتعويض في العلاقة (٣٠) نجد:

$$x_1 = \frac{2R_a}{q} \qquad (٣١)$$

لإيجاد رد الفعل في المسند (a) أي $R_a(t_o)$ مباشرة بعد تطبيق الحمل المؤثر q سنستخدم المعادلة التالية التي تعطي الانتقال في أية نقطة، والذي يساوي بالطبع الصفر عندما تكون ($x = L$). وقد تم اعتماد قيمة ثابتة لـ EI على كامل الطول L على افتراض أن الخرسانة لم تصل بعد لمرحلة التشقق بعد تطبيق الحمل مباشرة :

$$y_{(x)} = \int \varphi_{(x)} . x . dx \qquad (٣٢)$$

بالتعويض نجد:

$$y_{(L)} = \frac{1}{E(t_o)I} \int_0^L \left(R_a . x^2 - \frac{q . x^3}{2} \right) dx = 0 \qquad (٣٣)$$

وبإجراء التكامل نحصل على رد الفعل R_a للزمن (t_o):

$$R_a(t_o) = \frac{3}{8} q . L$$

(٣٤)

بعد إيجاد رد الفعل في المسند (a) للزمن (t_O) نستطيع رسم مخطط عزم الانعطاف المرن Elastic Moment Diagram من خلال العلاقة (٣٠) شكل (٣ - b).

بعد مرور الزمن ($t- t_O$) فإن تغيراً سيحصل في القوى الداخلية نتيجة لتأثير التشوهات المتعلقة بالزمن (الزحف والانكماش) ونتيجة لتغير عزم العطالة على طول العتبة بسبب ظهور التشققات في مناطق الشد وتغير شكل المقطع العرضي في منطقة الضغط الذي يكون بشكل حرف T في المناطق المعرضة لعزوم موجبة وبشكل مستطيل في المناطق المعرضة لعزوم سالبة، لذلك سيتم إدخال تأثير عزم العطالة الفعال لمنطقة العزم الموجب I_{e1} ولمنطقة العزم السالب I_{e2} كما هو مبين في الشكل (٣ - c) أما تأثير الزحف و الانكماش فسيؤخذ باستخدام المعامل $E_{\omega}(t)$ المعطى بالعلاقة (٢٨) والمعامل $\bar{\omega}_{ish}$ أيضاً لمنطقتي العزم الموجب و السالب.

وبالتالي لحساب رد الفعل في المسند (a) للزمن t والذي يمثل عمر الخرسانة عند الزمن المدروس (at moment considered) تأخذ العلاقة (٣٢) الشكل التالي:

$$y_{(L)} = \int_0^{x_1} \varphi_x(t).x.dx + \int_{x_1}^{L} \varphi_x(t).x.dx = 0$$

(٣٥)

حيث:

$$\varphi(t)=\varphi(t_o)+\Delta\varphi$$
$$\Delta\varphi=\Delta\varphi_{creep}+\Delta\varphi_{shrinkage}$$

بحل هذه المعادلة نحصل على $R_a(t)$ رد الفعل في المسند (a) للزمن t والذي يساوي:

$$R_a(t)=R_C(t)=R_a(t_o)+\Delta R_a(t,t_o)=\frac{3q}{8}\bar{\gamma}-1.5E_{\omega 2}(t).I_{e2}.\bar{\alpha}$$
$$\bar{\gamma}=\frac{\left[\bar{\lambda}.x_1^4+\left(L^4-x_1^4\right)\right]}{\left[\bar{\lambda}.x_1^3+\left(L^3-x_1^3\right)\right]}$$
$$\bar{\lambda}=\frac{E_{\omega 2}(t).I_{e2}}{E_{\omega 1}(t).I_{e1}} \qquad (٣٦)$$
$$\bar{\alpha}=\frac{\left[x_1^2.\omega_{sh1}+\left(L^2-x_1^2\right)\omega_{sh2}\right]}{\left[\bar{\lambda}.x_1^3+\left(L^3-x_1^3\right)\right]}$$
$$\omega_{shi}=\bar{\omega}_{ish}.\varepsilon_{shi}$$

بعد إيجاد مخطط عزم الانعطاف للزمن t يصبح من السهل إيجاد توزع الاجهادات والتشوهات والتغير الذي يطرأ عليها من تأثير الزحف والانكماش في أي مقطع من مقاطع العتبة المستمرة باستخدام العلاقات (١٠)-(٢٨) .

في عملية التحليل السابقة تم افتراض أن ارتفاع منطقة الضغط في المقطع المتشقق ثابت غير متغير في الفترة ($t-t_o$) من تأثير الزحف والانكماش وذلك لتسهيل عملية التحليل وخاصة مبدأ التجميع المعتمد في عملية التحليل Principle of Superposition. إن الخطأ المرتكب من هذا الافتراض صغير ومهمل و هذا واضح من خلال نتائج المقارنة المبينة في المثال المحلول (الشكل ٢).

٦- مثال

كخطوة نحو تقييم نتائج النموذج الرياضي فقد تمت دراسة مثال لعتبة مستمرة من الخرسانة المسلحة مقطعها العرضي بشكل حرف T وهي مؤلفة من عتبة وبلاطة تم تنفيذهما في فترات زمنية مختلفة كما هو مبين بالشكل(٤)، وقد تم صنع نموذج لهذا المثال من الخرسانة المسلحة بمقياس كامل لاختباره وذلك لاجراء المقارنة بين نتائج النموذج الرياضي المقترح و النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها خلال فترة زمنية مقدارها 300 يوم للمثال نفسه، تتعرض العتبة لحمولة موزعة بانتظام (تشمل الوزن الذاتي) q=3.875kN/m` والمطلوب: إيجاد مخطط عزم الانعطاف بعد ٣٠٠ يوم من بدء التحميل علماً بأن:

عمر العتبة عند تطبيق الحمل $t_2(t_o)$=56 days، وعمر البلاطة عند تطبيق الحمل $t_1(t_o)$=28 days ، وقد تم فك القالب (قالب البلاطة و العتبة معاً) عند تطبيق الحمل المؤثر باستخدام طريقة الانشاء المدعم Propped Construction، $f`_{c1}$=24 N/mm$^2$ (للبلاطة)، $f`_{c2}$=27 N/mm^2(للعتبة)، f_y=240 N/mm^2 ، وقد تم تأمين الترابط في مستوي السطح المشترك بين جزئي المقطع العرضي (لمقاومة قوى القص الأفقية

4)، علماً بأن مقدار اجهاد القص على السطح المشترك للعتبة المدروسة $\vartheta_{nh} = 0.22 \angle 0.55\ N/mm^2$ [25] و بالتالي فإن الاحتكاك يتكفل بنقل قوى القص الأفقية عبر السطح المشترك :

$E_{c2}(56)$=25442 N/mm^2, $E_{c1}(28)$=23025 $N/mm^2=E_{cref}$ [23,25].

$\phi_1(t,t_o)=1.494$, $\phi_2(t,t_o)=1.363$ [23,25].
$\chi=0.8$, $\varepsilon_{sh1}(t,t_o)=-148.10^{-6}$, $\varepsilon_{sh2}(t,t_o)=-114.10^{-6}$ [22] (Free Shrinkage).
$\overline{E}_{c1}(t,t_o)=10489\ N/mm^2$ (Eq. 5-1), $\overline{E}_{c2}(t,t_o)=12171\ N/mm^2=\overline{E}_{cref}$.

وبالتالي فان المعامل $E_{\omega i}$ (العلاقة ٢٨) و المعامل $\overline{\omega}_{shi}$:

$E_{\omega 1}$=9046.8 N/mm^2, $E_{\omega 2}$=10071 N/mm^2 , $\overline{\omega}_{sh1}=-4.67$, $\overline{\omega}_{sh2}=4.8$.

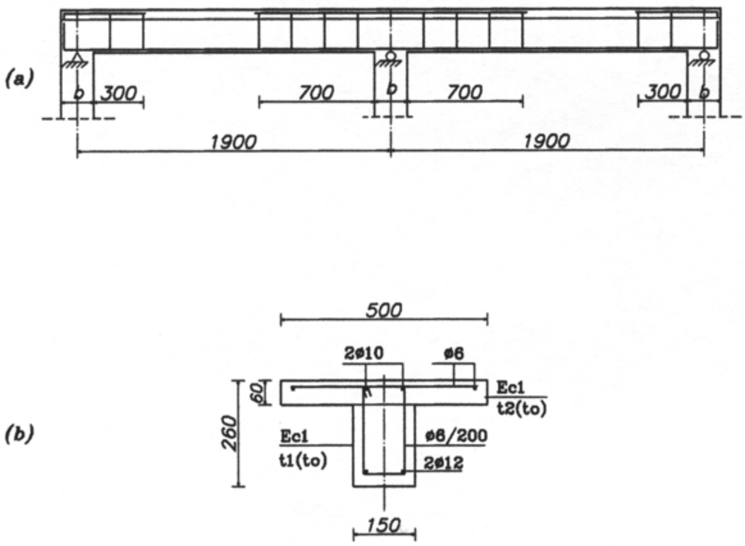
حيث:

$E_{ci}(t_o)$- معامل مرونة الخرسانة للجزء i من المقطع العرضي حيث: i=1 للبلاطة و i=2 للجائز .

$\bar{E}_{ci}(t, t_o)$ -معامل المرونة الفعال للخرسانة المتعلق بالزمن للجزء i من المقطع العرضي .

وبالتالي فان رد الفعل في المسند (a) للزمن t =300 days (العلاقة ٣٦) يساوي:

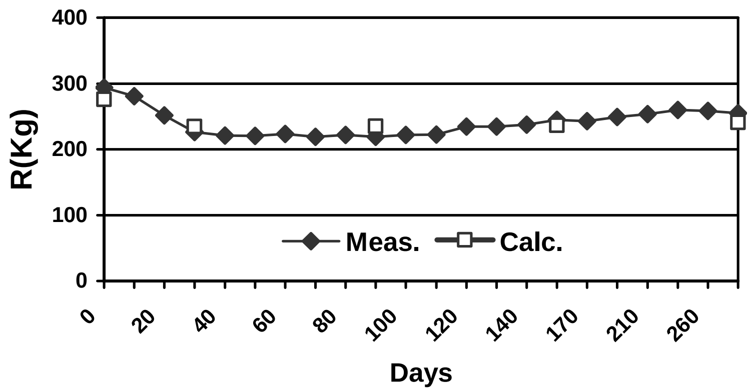
$$R_a(t) = R_C(t) = R_a(t_o) + \Delta R_a(t, t_o) = 2.41\,Kn$$



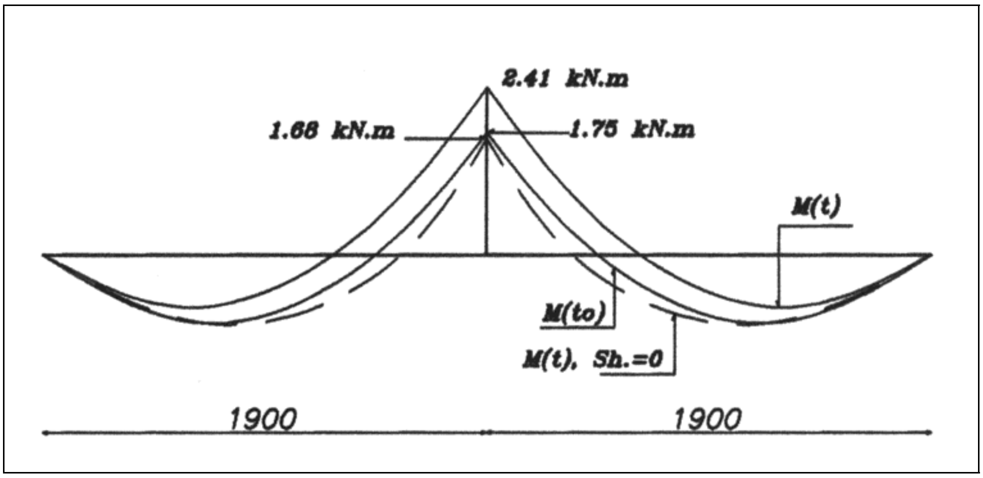
شكل(٤): ا قطع الطو والعرضي للمثال ا دروس.

يبين الشكل (٥) نتائج النموذج الرياضي المقترح في هذه الورقة والنتائج التجريبية المقاسة لنفس العتبة المستمرة حيث أخذت قراءات لرد الفعل عند

a خلال فترة زمنية مقدارها t=300 days ونلاحظ أن هناك انسجاما كبيرا في النتائج. كذلك يبين الشكل (٦) مخطط عزم الانعطاف للزمن t_O مباشرةً بعد تطبيق الحمل وعزم الانعطاف النهائي للزمن t=300 days و يبين الشكل نفسه مخطط عزم الانعطاف النهائي عند اهمال تأثير الانكماش.



الشكل (٥): رد فعل ا سند الطر   حسابياً و ريبياً.



الشكل (٦): ططط عزم الانعطاف الأو $M(t_o)$ والنهائي $M(t=300)$ للعتبة ا دروسة حيث ثل ا ط ا نقط ططط عزم الانعطاف للزمن $t=300$ days عند إ ال تأث الانكماش.

٧- خاتمة

تضمنت هذه الورقة المعادلات اللازمة لإيجاد التغير في القوى الداخلية مع مرور الزمن وبالتالي التغير في الاجهادات والتشوهات من تأثير التشوهات المتعلقة بالزمن (الزحف و الانكماش) في العتبات الخرسانية المسلحة التي تتكون مقاطعها العرضية من خرسانة منفذة في فترات زمنية مختلفة مثل:

-البلاطات الخرسانية المسلحة المنفذة بطريقة بلاطة مسبقة الصنع ومصبوبة بالمكان

(Pre-cast slab with cast-in-situ slab)

-العتبات الخرسانية المسلحة التي تتكون مقاطعها العرضية من عتبة مسبقة الصنع و بلاطة مصبوبة بالمكان

(Pre-cast beam with cast-in-situ slab)

-العناصر الخرسانية المسلحة المدعمة أو المقواة بخرسانة مسلحة تحيط بمقطعها العرضي بشكل كلي أو جزئي.

Strengthening of reinforced concrete member (beams, columns …)

بالإضافة إلى التنفيذ السريع و التوفير الكبير في تكاليف التدعيم فإن الإنشاء باستخدام العناصر المركبة يمثل حلاً مثالياً في حالات عديدة مثل اقامة الجسور فوق طرق قيد الاستعمال حيث يكون من المطلوب تنفيذ الجسور دون عرقلة استمرار الحركة على الطريق.

إن العلاقات المستخرجة في هذه الورقة سهلة الاستخدام ويمكن برمجتها بسهولة وتصلح للمقاطع المركبة والعادية وقد تضمنت بالإضافة لتأثير الزحف والانكماش، تأثير تغير عزم العطالة على كامل طول العنصر المدروس، وقد تبين أن النتائج الحسابية تنسجم بشكل جيد مع النتائج المخبرية المجراة على عتبة خرسانية مسلحة لها نفس المقياس الحقيقي وكافة المواصفات الأخرى ، كذلك أظهرت النتائج مدى تأثير تشوهات الانكماش على الخرسانة مع مرور

t=300 days عند إدخال تأثير

تشوهات الانكماش بمقدار 43 % .

المراجع

[1] **Al-zaid,R.,Naaman,A.,E.** and **Nowak,A.,S.**, "Partially prestressed composite beams under sustained and cyclic load" *J. Struct. Engrg.*,114, No.2, Mar., (1988).

[2] **Bradford, M.A.** and **Gilbert, R.I.**, "Non-linear time-dependent behaviour of slender concrete-filled rectangular steel columns" *J. Proc.Inst.Civ.Engrs struets & bldgs*, **94**, May, (1992).

[3] **Bradford, M.A.** and **Gilbert, R.I.,** "Time-dependent analysis and design of composite columns" *J. Struct. Engrg.*,**116**, No.**12**, Mar. (1990).

[4] **Gilbert, R.I.** and **Bradford, M.A.,** "Time-dependent behaviour of continuous composite beams of service load" *J. Struct. Engrg*.,**121**, No. **2**, Mar. (1995).

[5] **Bradford, M.A.** and **Gilbert, R.I.,** "Time-dependent stresses and deformations in propped composite beams" *Proc.Inst.Civ.Engrs struets & bldgs,Aug.* (1992).

[6] **Moustafa, S.,E.,** " Non-linear analysis of reinforced and prestressed concrete members" *Prest. Conc. Inst. J.*, **31**(**5**), (1986).

[7] **Ghali, A.,** "A unified approach for serviceability design of prestressed and nonprestressed reinforced concrete structres" *PCI J*.,**31**, No.**2**, Mar.-Apr. (1986).

[8] **Ghali, A.** and **Tadros, M.K.,** "Partially prestressed concrete structures" *J. Struct. Engrg*.,**111**, No. **8**, Mar. (1985).

[9] **Ghali, A.,** "Stress and strain analysis in prestressed concrete : A critical review" *PCI J*.,**31**,No.**2**, Nov.-Dec. (1989).

[10] **Kawakami, M.** and **Ghali, A.,** "Stress and strain in curved noncracked concrete members" *J. Struct. Engrg*.,**120**, No.**2**, Feb. (1994).

[11] **Resheidat, M.R.,** "Creep and shrinkage of structural concrete sections" *ACI, SP*, **117**(**12**), pp. 251-266.

[12] **Samra, R.M.,** "Creep model for reinforced concrete columns" ACI, *Structural Journal,* Jan-Feb, (1989).

[13] **Samra, R.M.,** "New analysis for creep behavior in concrete columns" *J. Struct. Engrg.*, **121**, No.**3**, March.(1995).

[14] **Samra, R.M.,** "Predicting deflection of reinforced concrete beams analytically" *J. Struct.Engrg.*, **115**, No.**5**, May. (1989).

[15] **Dezi, L., Leoni, G.** and **Tarantino, A.,M.,** "Time-dependent analysis of prestressed composite beams" *J. Struct.Engrg*., **121**, No.**4**, April. (1995).

[16] **Plevris, N.** and **Triantafillou, T.,** "Time-dependent behavior of RC members strengthened with FRP laminates" *J. Struct. Engrg*.,**120**, No.**3**, Mar. (1994).

[17] **Saker, W.** and **Barakov, T.,** "Alteration over time of the stresses and strains of multilayered structures under bending"*J.Const.*,No.**4**, (1995).

[18] **Saker, W.,** and **Barakov, T.,** "Rheological changes of stresses and deformations in elements under pressure" *The roads J.*, No.**4**, (1995).

[19] **Saker, W.,** "Change of deflection in the time for multilayer reinforced concrete structures" *The roads J.*, No.**5**, (1999).

[20] **Bazant, z.p.,** "Predication of concrete creep effects using age-adjusted effective modules method", *ACI J*.,**69**, Apr. (1972).

[21] **CEB-FIP** Model code 1990. CEB Comite Euro-international du beton, No.195.

[22] **Eurocode** No.**2**: Design of concrete structures, (1990).

[23] **ACI Committee 209**." Prediction of creep, shrinkage, and Temperature Effects in concrete structures" Detroit, *ACI*, (1971).

[24] **ACI Committee 435**." Proposed revisions By committee 435 to ACI Building code and commentary provisions on Deflections" *ACI. J, Proceeding*, **75**, June (1978).

[25] Commentary of building code Requirements for reinforced concrete (*ACI* **318-89**) Detroit, (1989).

[26] **Dan E. Branson.,** ”Instantaneous and Time-dependent deflections of simple and continuous reinforced concrete beams” Part 1 , Report No.7, Bureau of Public roads, Aug. (1963).

[27] **Trost, H.,** ”Implications of the superposition principle in creep and relaxation problems for concrete and prestressed concrete ” Beton und stahlbeton (Berlin – Wilmersdorf), **62** (**10**), (1967) (in German).

ملحق - العلاقة بـ الاجهاد والتشوه ا رسانة

تعتبر العلاقة خطية بين الاجهاد والتشوه عادة في العناصر الخرسانية المسلحة تحت ظروف أحمال التشغيل الاعتيادية عندما تكون الاجهادات المتولدة أقل من $0.4\ f`_{cm}(t_o)$ ومن أجل اجهاد ثابت مطبق في الزمن t_o نحصل على [١-١] شكل (٧):

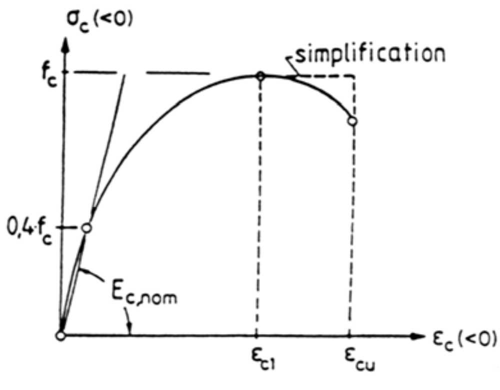
$$\varepsilon_c(t,t_o)=\frac{\sigma_c(t_o)}{E_c}\phi(t,t_o)$$ (١-١)

حيث:

$\phi(t,t_o)$ - معامل الزحف والذي يساوي للتشوهات من تأثير الزحف تحت تأثير اجهاد ثابت مطبق في الزمن t مقسمة على التشوه المرن الأولي في الزمن t_o .

E_c –معامل مرونة الخرسانة بعمر ٢٨ يوم.

ويعتمد من أجل قيم مختلفة للإجهاد والتشوه مبدأ التجميع Principle of Superposition.



شكل(٧): العلاقة بـ الإجهاد والتشوه ا رسانة.

بالاستناد الى الافتراضات والتعاريف الواردة أعلاه نستطيع كتابة العلاقة الأساسية للإجهاد والتشوه في الخرسانة [21] :

$$\varepsilon_c(t_o)=\sigma_c(t_o)J(t,t_o)+\int_{t_o}^{t}J(t,\tau)\frac{\partial\sigma_c(\tau)}{\partial(\tau)}d\tau+\varepsilon_{sh}(t) \qquad (١-٢)$$

ويمكن استخدام العلاقة التالية (age- adjusted effective modulus method) عوضاً عن العلاقة السابقة :

$$\varepsilon_c(t)=\frac{\sigma_c(t_o)}{E_{c,ef}(t,t_o)}+\frac{\sigma_c(t)-\sigma_c(t_o)}{\bar{E}_c(t,t_o)}+\varepsilon_{sh}(t) \qquad (١-٣)$$

حيث:

$\varepsilon_{sh}(t)$ - الانكماش غير المقيد الذي يحدث في الفترة الزمنية t_o الى t (Free shrinkage)
.

$J(t,t_o)$ - وظيفة الزحف creep function .

$E_{c,ef}(t,t_o)$ -معامل المرونة الفعال.

$$E_{c,ef}(t,t_o)=\frac{1}{J(t,t_o)}=\frac{E_c(t_o)}{1+\left(\frac{E_c(t_o)}{E_c}\right)\phi(t,t_o)}$$ (١-٤)

$\overline{E}_c(t,t_o)$ -معامل المرونة الفعال المتعلق بالزمن.

$$\overline{E_c}(t,t_o)=\frac{E_c(t_o)}{1+\chi(t,t_o)\left(\frac{E_c(t_o)}{E_c}\right)\phi(t,t_o)}$$ (١-٥)

$E_c(t_o)$ – معامل مرونة الخرسانة للزمن t_o .

χ _ معامل الشيخوخة aging coefficient وتتراوح قيمته بين 0.6-0.9 ويؤخذ في الحسابات العملية مساويا لـ 0.8 .

Time-Dependent Effects in Continuous Composite "Concrete-Concrete" Beams

Dr. Wael Mounir Saker,
Studies Branch, P.O.BOX. 12670, Damascus, Syria.

This paper presents a method for the analysis of the behavior of continuous composite concrete-concrete beams, performed by concrete at different age, *i.e.* with different creep coefficients and deferent age at loading, under sustained service loads, based on linear creep theory. The beam consists of a reinforced concrete beam acting compositely with a reinforced concrete slab. The analysis is used to demonstrate the effects of creep and shrinkage on time-dependent behavior of continuous composite beams, including the change in internal forces with time. The simplicity of the proposed method is illustrated by an example and demonstrated by a comparison with experimental results.