تأثير الزمن على الانحراف في الجوائز الخرسانية المسلحة هل يعكس الكود هذا التأثير بدقة؟

وائل منير صقر

فرع الدراسات والإشراف الهندسي، ص.ب. ١٢٦٧٠ دمشق – سوريا
saker@yahoo.com

المستخلص . الهدف من هذه الدراسة هو بيان مدى تأثير التشوهات المتعلقة بالزمن (الزحف والانكماش) على الانحراف في الجوائز الخرسانية المسلحة ومن ثم ايجاد المعادلات اللازمة لتحديد الانحراف بشكل دقيق وفعال في عناصر المنشآت الخرسانية المسلحة اعتمادا على نظرية الزحف الخطية. وقد تمت مقارنة ومناقشة الطريقة المقترحة لحساب الانحراف المباشر والانحراف طويل الأمد مع طرق عديدة منها الطريقة المعتمدة في الكود الأمريكي.

وقد تبين أن الطريقة المقترحة سهلة الاستخدام ويمكن برمجتها بسهولة باستعمال حواسب يدوية صغيرة وتنسجم بشكل كبير مع نتائج القياسات المخبرية، لذلك ننصح باعتماد هذه المعادلات واستخدامها عند حساب الانحراف في عناصر المنشآت الخرسانية المسلحة.

١- المقدمة

إن استعمال طرق تصميم أكثر دقة وكفاءة، واستعمال خرسانة وحديد تسليح بمقاومات عالية في الفترة الأخيرة أدى إلى استعمال مقاطع أصغر للعناصر

الانشائية، وهذا أدى بدوره إلى حدوث انحرافات (deflection) أكبر وبالتالي إلى الحاجة إلى تأمين طرق فعالة تأخذ بعين الاعتبار العوامل التي تجعل من الصعب جدا تحديد الانحراف بدقة، ومن أهم هذه العوامل :

١- وجود كمية غير متساوية من حديد التسليح في أعلى وأسفل المقطع العرضي للعنصر الانشائي تؤدي بسبب الانكماش الحاصل في الخرسانة إلى حدوث الانحراف كظاهرة طبيعية، كذلك فإن الزحف في الخرسانة يؤدي إلى زيادة تدريجية في الانحراف للأجزاء المعرضة إلى أحمال.

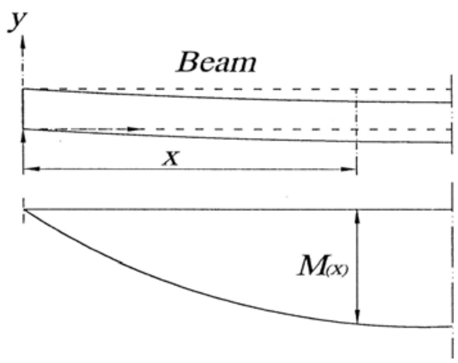
٢- صعوبة تحديد المرحلة التي تبدأ عندها الخرسانة المسلحة في التشقق تحت تأثير أحمال التشغيل (Service loads) ، وكذلك فإن الرطوبة والحرارة وظروف المعالجة ونسبة الإجهاد المؤثر إلى المقاومة وعمر الخرسانة عند تطبيق الحمل تؤثر كلها من خلال ماذكر آنفا على زيادة الانحراف.

وبالنظر للأسـباب التي أشـير لها آنفًا يتبين لنا مدى صعوبة تحديد مقدار الانحراف المتشـكل بدقة وخـاصة التغير في الانحراف مع مـرور الزمن (Long-Term deflection) الناتج عن تأثير التشوهات المتعلقة بالزمن (الزحف والانكماش) ولكن يمكن تقديرها فقط عن طريق استخدام علاقات تجريبية لا تأخذ بعين الاعتبار سوى تأثير عدد محدد من العوامل المؤثرة على زيادة الانحراف كما هو الحال في الكـود الأمريكي[١]. وتكفي نظرة سريعة على العلاقة المعتمدة في الكود الأمريكي كي نتبين مدى أهمية استخدام طرق فعالة تأخذ بعين الاعتبار التشوهات المتعلقة بالزمن (الزحف والانكماش) لتحديد مقدار التغير في الانحراف مع مرور الزمن بدقة والذي يمكن أن يكون أكبر بمرة أو مرتين من الانحراف الأولي أو المباشر (Short- Term Deflection)، وبالتالي قد تتجاوز القيمة الكلية للانحراف مع مرور الزمن الحد المسموح به مما يسئ إلى مظهر المنشأة، وقد يعطي فكرة خاطئة عن سلامة المنشأة وأمانها.

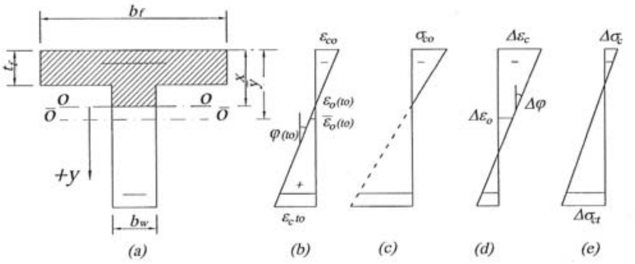
إن الهدف من هذه الـدراسة هو إيجاد المعادلات اللازمـة لتحديد التغير في الانحراف مع مـرور الزمن بدقة بحيث يتم الأخذ بعين الاعتبار بأغلب العوامل المؤثرة على التغير في الانحراف وأهمها الزحف والانكماش (Creep and Shrinkage)، وذلك في الجوائز الخرسانية المسلحة اعتمادا على نظرية الزحف الخطية والعلاقات المقدمة في المرجعين [٢و٣] التي تحدد التغير في الإجهادات والتشوهات مع مرور الزمن في عناصر المنشآت الخرسانية المسلحة، بحيث نحصل على علاقات سهلة الاستخدام والبرمجة، ومن أجل تقدير درجة الدقة والخطأفي نتائج التحليل الرياضي المقترح ستتم مقارنة النتائج مع عدة طرق، منها الطريقة المقترحة في الكود الأمريكي [١،٤،٥] ، ومع نتائج قياسات تجارب مخبرية [٦،٧] .

٢- الانحراف المباشر (Short-Term Deflection)

ليكن لدينا جائز يستند استنادا بسيطًا مقطعه العرضي بشكل حرف T ، المقطع متناظر بالنسبة للمحور المار بمستوي الانعطاف وخاضع لعزم انعطاف (انحناء) M (كما في الشكل ١)، إن مخطط الإجهادات والتشوهات والرموز والأبعاد موضحة في الشكل (٢).



شكل (١). جائز يستند استنادا بسيطًا معرض لعزم انعطاف.



شكل(٢): (أ) مقطع عرضي في جائز معرض للانعطاف.

(ب) و (ج) مخطط الإجهادات والتشوهات للزمن (t_0).

(د) و (هـ) التغير في الإجهاد والتشوه مع مرور الزمن (t , t_0) .

إن المعادلة الأساسية لتحديد الانحراف في عناصر المنشآت الخرسانية المسلحة تمثل العلاقة بين زاوية الانحناء (Curvature) وعزم الانعطاف(M):

$$\varphi = \frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \qquad (١)$$

يمكن كتابة العلاقة السابقة (١) بالشكل التالي:

$$f = y = \iint \varphi_x dx \qquad (٢)$$

حيث :

y أو(f) هوالانتقال (الانحراف) على مسافة (x) من منطقة الإسناد (الشكل ١).

φ_x هي زاوية الانحناء وتعطى للزمن (t_0) مباشرة بعد تطبيق الحمل المؤثر بالعلاقة التالية[٣] (الشكل٢):

$$\varphi(t_o) = \frac{M}{E_c(t_o) I_{red}} \qquad (٣)$$

حيث:

M هو عزم الانعطاف في المقطع المدروس والناتج عن تأثير الحمولات المطبقة.

t_0 هو عمر الخرسانة عند تطبيق الحمل المؤثر.

$E_c(t_o)$ هو معامل مرونة الخرسانة للزمن (t_0).

I_{red} هو عزم عطالة المقطع المكافئ حول المحور المحايد *O-O* الذي يمر بمركز ثقل المقطع المكافئ transformed section .

وبتعويض العلاقة (٣) في (٢) نحصل على المعادلة التالية بشكلها العام لحساب الانحراف للزمن (t_0) مباشرة بعد تطبيق الحمل المؤثر:

$$f(t_o) = \beta_a \frac{ML^2}{E_C(t_o)I_{red}} = \beta_a.\varphi(t_o).L^2 \qquad (٤)$$

حيث:

L هو طول العنصر المدروس.

β_a هو ثابت يتعلق بطبيعة الإسناد وشكل الحمولات المؤثرة ...، ويعطى عادة في مراجع خاصة (مثلا : $\beta_a = \frac{5}{48}$ لجائز بسيط معرض لحمولة موزعة بانتظام ، $\beta_a = \frac{1}{4}$ لجائز ظفري معرض لحمولة موزعة بانتظام).

إن عزم عطالة مقطع الخرسانة المسلحة لا يمكن أن يبقى ثابتًا على كامل طول الجائز حيث إن ارتفاع المنطقة المعرضة لاجهاد الضغط وبالتالي ارتفاع منطقة الجزء المتشقق من المقطع يتأثر باختلاف قيم عزوم الانعطاف على طول المجاز مما يؤدي إلى اختلاف عزم العطالة للمقطع المكافئ، وكذلك فإن مساحات التسليح تتغير في معظم الحالات على طول الجائز مما يؤدي أيضا إلى تغير الخواص الهندسية للمقطع المكافئ بما فيها عزم العطالة، لذلك اقترح المعادلة التالية لحساب الانحراف المباشر والمعدلة عن معادلة (Bilinear equation):

$$f(t_o) = f_1 + \gamma f_2 \qquad (5)$$

$$f_1 = \beta_a . \frac{M_{cr}.L^2}{E_c.I_g}$$
(٦)
$$f_2 = \beta_a . \frac{(M - M_{cr}).L^2}{E_c.I_{cr}}$$
$$f(t_o) = \beta_a . \frac{M.L^2}{E_c.I_g} \quad \text{for } M \le M_{cr}$$

حيث:

$$\gamma = \frac{2+\lambda}{2}$$
(٧)
$$\lambda = \frac{I_{cr}}{I_g}$$

I_{cr} هو عزم عطالة المقطع المكافئ المتشقق.

I_g هو عزم عطالة المقطع المكافئ غير المتشقق .

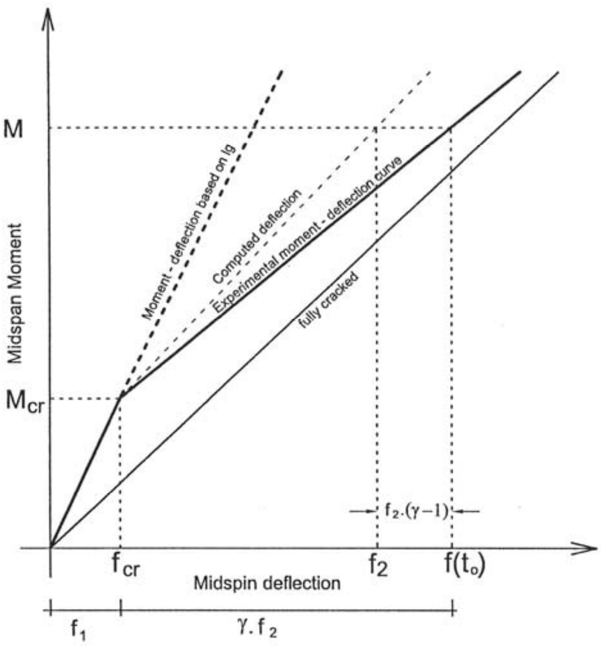
M_{cr} هو عزم الانعطاف عند بداية ظهور التشققات ويعطى بالعلاقة التالية:

(٨)
$$M_{cr} = \frac{\left(0.7\sqrt{f'_c}\right) I_g}{y_t} \quad (\text{where } f'_c \text{ in MPa})$$

M هو عزم الانعطاف في المقطع المدروس والناتج عن تأثير الحمولات المطبقة.

إن الجزء الأول (f_1) من المعادلة (٥) يمثل الانحراف المباشر للمقطع غير المتشقق من تأثير M_{cr} أما الجزء الثاني (γf_2) من نفس المعادلة فيمثل الانحراف المباشر للمقطع المتشقق مضروبا بعامل تصحيح تجريبي (γ) تم اعتماده من أجل تخفيض ميل منحني العلاقة بين العزم و الانحراف في هذه المرحلة عن طريق ضرب $E_c.I_{cr}$ بالعامل ($1/\gamma$) كما هو مبين في الشكل(٣)، ومن أجل تقدير درجة الدقة والخطأ في نتائج هذه المعادلة فقد تمت مقارنتها مع النتائج التجريبية المقاسة من قبل الزيد وآخرون (Al-Zaid, Al-shaikh and Abu-Hussein) على جائزين بسيطين من الخرسانة المسلحة (BU and BC) طول كل منهما٢,٥ متر، ومقطعهما العرضي مربع ٢٠٠ مليمتر[٨]، ومع

الكـود الأمريكي[١] والكود الأوربي[٩]، وقد تم تنظيم النتائج في الجدول (١). ومن خلال المقارنة تبين مدى انسجام نتائج العلاقة المقترحة وعلاقة الكود الأوربي (CEB-FIP) مع بعضهما ومع النتائج المختبرية المقاسة، أما الكود الأمريكي(ACI 318 – 95) فهو يعطي قيما أكبر قليلا من القيم المقاسة مختبريا في الجائز المعرض لحمولة مركزة (BC).



شكل (٣). العلاقة بين العزم والانحراف.

٣- الانحراف طويل الأمد (Long-Term deflection)

إن التغير الذي يحدث للانحراف في الفترة الزمنية من t إلى t_o حيث $t > t_o$ يحدد عن طريق التزايد الذي يحصل لزاوية الانحناء $\Delta\varphi$ كما في الشكل(٢)، وذلك من تأثير التشوهات المتعلقة بالزمن (الزحف والانكماش Creep and Shrinkage) ، فبسبب تأثير الزحف في الخرسانة والناتج عن الحمولات طويلة

الأمد فإن زاوية الانحناء للزمن t_o ستزداد بمقدار $\phi(t,t_o)\varphi(t_o)$ حيث $\phi(t,t_o)$ هو معامل الزحف (الملحق١)، فإذا اعتبرنا أن التشوه الناتج من تأثير الانكماش ε_{sh} غير مقيد ومنتظم على كامل ارتفاع المقطع العرضي، فإننا نستطيع تحديد $\Delta\varphi$ وفقًا لنفس الخطوات التي أجريت لإيجاد $\varphi(t_o)$ بعد أن يتم استبدال معامل مرونة 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 فإن خواص المقطع سوف تتغير نتيجة لتغير النسبة n لـ $\bar{n}=E_s/\bar{E}_c(t,t_o)$ [٢،٣] :

$$\Delta\varphi=-\frac{\Delta M}{\bar{E}_c(t,t_o)\bar{I}_{red}} \qquad (٩)$$

الجدول(١). مقارنة بين العلاقة المقترحة وعلاقة الكودين الأمريكي والأوربي.

حمولة مركزة، الجائز BC					حمولة موزعة بانتظام، الجائز BU				
الانحراف، مم				M/M_{cr}	الانحراف، مم				M/M_{cr}
$f(t_0)$ ACI[1]	$f(t_0)$ الطريقة المقترحة: المعادلة(٥)	$f(t_0)$ CEB-FIP[٩]	$f(t_0)$ نتائج مخبرية [٨]		$f(t_0)$ ACI[1]	$f(t_0)$ الطريقة المقترحة: المعادلة(٥)	$f(t_0)$ CEB-FIP[٩]	$f(t_0)$ نتائج مخبرية [٨]	
١,١	١,٠٩	١,١	١,١	١,١٥	١,٢	١,٢٠	١,١	١,٣	١,١١
٢,٥	٢,٣٧	٢,٠	٢,٠	١,٦١	٢,٠	٢,٠٥	٢,٠	٢,١	١,٣٦
٤,٠	٣,٦٥	٣,٥	٣,١	٢,٠٧	٣,٠	٢,٩٠	٢,٩	٢,٩	١,٦٠
٥,٤	٤,٩٣	٤,٩	٤,٢	٢,٥٣	٤,٥	٤,٢٠	٤,١	٤,٣	١,٩٨
٦,٨	٦,٢١	٦,١	٥,٤	٢,٩٩	٦,٣	٥,٨٤	٦,٠	٥,٩	٢,٤٧
٧,٤	٦,٨٥	٦,٧	٦,٠	٣,٢٢	٧,٢	٦,٧٢	٦,٨	٦,٨	٢,٧٢
٨,٦	٨,١٤	٨,٠	٧,٣	٣,٦٨	٨,٩	٨,٣٨	٨,٥	٨,٤	٣,٢١
٩,٨	٩,٤٢	٩,٢	٨,٥	٤,١٤	١٠,٦	١٠,٠٥	١٠,١	١٠,١	٣,٧٠
E_c= 29.6 GPa; M_{cr}= 5.3 kN.m I_g= 140x10^6; I_{cr}= 38x10^6 mm^4[٨]					E_c= 29.6 GPa; M_{cr}= 5.2 kN.m I_g= 140x10^6; I_{cr}= 38x10^6 mm^4[٨]				

حيث:

$\bar{E}_c = \bar{E}_c(t, t_o)$ هو معامل المرونة الفعال المتعلق بالزمن AAEM (Age-Adjusted Effective Modulus Method).

ΔM هو العزم الذي يجب أن يمنع استمرار حدوث أو تطور التشوهات الناتجة من تأثير الزحف و الانكماش.

$\bar{I}_{red}$ هو 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 مساويا للصفر أي $\bar{B}_{red} = 0$.

$$\Delta M = -\bar{E}_c \left\{ \phi \left[\bar{B}_c \bar{\varepsilon}_o(t_o) + \bar{I}_c \varphi(t_o) \right] + \varepsilon_{sh} \bar{B}_c \right\} \qquad (١٠)$$

بتعويض العلاقة (١٠) في (٩) نحصل على[٣]:

$$\Delta\varphi = \frac{\phi \left[\bar{B}_c \bar{\varepsilon}_o(t_o) + \bar{I}_c \varphi(t_o) \right]}{\bar{I}_{red}} + \frac{\varepsilon_{sh} \bar{B}_c}{\bar{I}_{red}} \qquad (١١)$$

من الشكل (٢) نجد أن :

$$\bar{\varepsilon}_o(t_o) = \varphi(t_o)(\bar{y} - x) \qquad (١٢)$$

بتعويض العلاقة (١٢) في العلاقة (١١):

$$\Delta\varphi = \frac{\left[\bar{B}_c(\bar{y} - x) + \bar{I}_c \right]}{\bar{I}_{red}} \phi \varphi(t_o) + \frac{\bar{B}_c}{\bar{I}_{red}} \varepsilon_{sh} \qquad (١٣)$$

وبالتالي يمكن كتابة العلاقة السابقة (١٣) بالشكل التالي:

$$\Delta\varphi = \bar{\omega}_{cr} \phi \varphi(t_o) + \bar{\omega}_{sh} \varepsilon_{sh}$$
or
$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{cr} + \Delta\varphi_{sh} \qquad (١٤)$$

حيث:

$$\Delta\varphi_{cr} = \bar{\omega}_{cr} \phi(t, t_o) \varphi(t_o) \qquad (١٥)$$

$$\Delta\varphi_{sh} = \bar{\omega}_{sh} \varepsilon_{sh} \qquad (١٦)$$

$\varepsilon_{sh}(t,t_o)=\varepsilon_{sh}$ هو التشوه الذي يحدث في الفترة الزمنية t_0 إلى t من تأثير الانكماش الحر غير المقيد Free Shrinkage.

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

$\bar{B}_c$ و $\bar{I}_c$ هما العزم الاستاتيكي وعزم العطالة للخرسانة في منطقة الضغط فقط حول المحور $\bar{o}-\bar{o}$ الذي يمر بمركز ثقل المقطع المكافئ المتعلق بالزمن .

$$\bar{\omega}_{cr}=\frac{\bar{B}_c(\bar{y}-x)+\bar{I}_c}{\bar{I}_{red}} \qquad (١٧)$$

$$\bar{\omega}_{sh}=\frac{\bar{B}_c}{\bar{I}_{red}} \qquad (١٨)$$

وبالتالي فإن التغير في الانحراف الذي يحدث في الفترة الزمنية من t_0 إلى t يعطى بالعلاقة التالية بشكلها العام:

$$f(t,t_o)=f_{cr}(t,t_o)+f_{sh}(t,t_o) \qquad (١٩)$$

حيث:

$$f_{cr}(t,t_o)=\bar{\omega}_{cr}\phi(t,t_o)f(t_o) \qquad (٢٠)$$

$$f_{sh}(t,t_o)=\alpha\bar{\omega}_{sh}\varepsilon_{sh}L^2 \qquad (٢١)$$

حيث: α هو عامل يتعلق بطبيعة الإسناد ويمكن اعتماده على النحوالتالي[٤]:

جائز ظفري α = ٠,٥ ، جائز بسيط الإسناد α = ٠,١٢٥ ، جائز مستمر من طرف واحد α = ٠,٠٨٦

جائز مستمر من طرفين α = ٠,٠٦٣ .

L هو طول الجائز المدروس.

وبجمع الانحراف المباشر المحسوب بالعلاقة (٥) مع التغير في الانحراف مع مرور الزمن من تأثير التشوهات طويلة الأمد المحسوب بالعلاقة (١٩) نحصل على الانحراف النهائي للزمن (t) :

$$f(t)=f(t_o)+f(t,t_o) \qquad (٢٢)$$

٤- طريقة الكود الأمريكي والطريقة البديلة لحساب الانحراف طويل الأمد

تبين الطريقة المقترحة في الكود الأمريكي $ACI\,318-95$ [١] بأن الزيادة في الانحراف من تأثير الزحف والانكماش في العناصر المعرضة للانعطاف تساوي حاصل ضرب الانحراف المباشر $f(t_0)$ الذي يسببه الحمل طويل الأمد بالمعامل:

$$\lambda = \frac{\xi}{1+50\rho'} = k_r\xi \qquad (٢٣)$$

حيث: ξ هو معامل تجريبي يتعلق بمدة التحميل للأحمال طويلة الأمد وتتراوح قيمته بين (١-٢).

وتنصح لجنة الكود الأمريكي[٥،٤] باستخدام الطريقة البديلة Alternate Procedures لحساب الانحراف طويل الأمد من تأثيركل من الزحف والانكماش بشكل مستقل باستعمال العلاقات التالية استنادا إلى Branson [١٠] :

$$f(t,t_o) = f_{cr}(t,t_o) + f_{sh}(t,t_o) \qquad (٢٤)$$

حيث:

$$f_{cr}(t,t_o) = k_r\phi(t,t_o)\,f(t_o) \qquad (٢٥)$$

$$f_{sh}(t,t_o) = \alpha k_{sh}\varepsilon_{sh}L^2 \qquad (٢٦)$$

حيث:

α-معامل (انظر العلاقة ٢١).

k_r –معامل حديد الانضغاط ويعطى بالعلاقة[٥، ١١]:

$$k_r = \frac{0.85}{1+50\rho'} \qquad (٢٧)$$

K_{sh} هو معامل يعطى بالعلاقات التجريبية التالية[٥،١٠]:

$$k_{sh} = \frac{1}{h} \quad \text{for}\,(\rho - \rho') > 3\% \qquad (\text{أ-٢٨})$$

$$k_{sh} = 0.7\frac{(\rho-\rho')^{\frac{1}{3}}}{h}.\left(\frac{\rho-\rho'}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{for } (\rho - \rho') \le 3\% \qquad (٢٨\text{-ب})$$

ونحصل على الانحراف النهائي للزمن(t) بجمع الانحراف المباشر المحسوب باستخدام عزم العطالة الفعال I_e (Effective Moment of Inertia) مع التغير في الانحراف مع مرور الزمن من تأثير التشوهات طويلة الامد المحسوب بالعلاقة (٢٤):

$$f(t) = f(t_o) + f(t, t_o) \qquad (٢٩)$$

لابد هنا من الإشارة إلى مدى التشابه الكبير بين العلاقات (٢٦،٢٥) المنصح باستخدامها من قبل لجنة الكود الامريكي (ACI Committee) التي تعتمد على عوامل تجريبية والعلاقات التحليلية الرياضية (٢١،٢٠) المستخرجة في هذه الورقة والتي تعتمد على عوامل رياضية تحليلية .

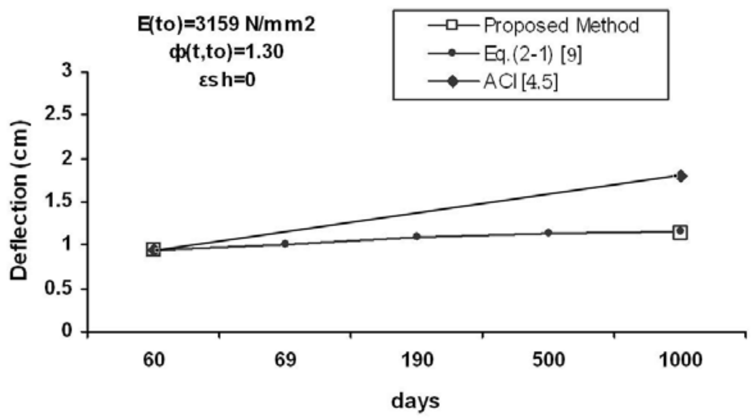
٥- مقارنة بين نتائج الطريقة المقترحة وطرق حسابية أخرى

لغرض المقارنة يبين الشكل (٤) التغير في الانحراف الذي يحدث خلال فترة زمنية مقدارها ١٠٠٠ يوم من بدء تحميل جائز من الخرسانة المسلحة يستند اسـتنادا بـسيطًا مقطعه العرضي بشكل حرف T:

$$t_f = 100,\ b_w = 250\ ,b_f = 1450, h = 600mm, M = 600kN.m\ ,$$

[٣] $A_s = 40cm^2, A_s{}' = 6cm^2$

وقد تم الحساب باستخدام التحليل المقترح في هذه الورقة وطريقة الحساب خـطوة بخطوة (Step-by-Step) اعتمادا على المعادلة (١-٢)[٩] المبينة في الملحق (١) والطريقة البديلة[٤، ٥] ويلاحظ من خلال النتائج المبينة في الشكل (٤) مدى التطابق في النتائج بين الطريقة المقترحة والمعادلة (١-٢) حيث إن الفرق في القيمة النهائية للانحراف f(t=1000 days) الذي يزداد مع مرور الزمن من تأثير الزحف لايتجاوز ١,٤٦٪، إلا أن هذا الفارق يصل إلى ٥٨٪ عند المقارنة مع الطريقة البديلة كما هو مبين على نفس الشكل.

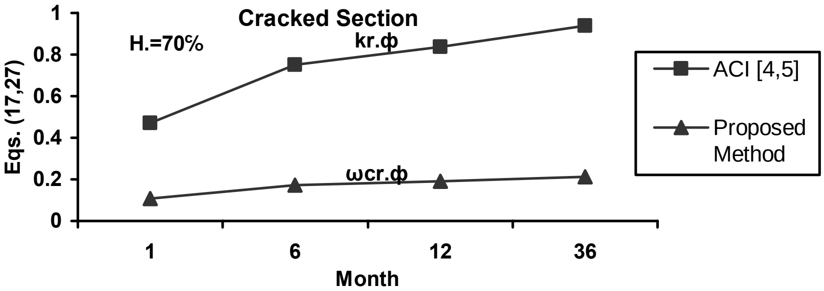


شكل(٤). التغير في السهم خلال فترة زمنية مقدارها ١٠٠٠ يوم .

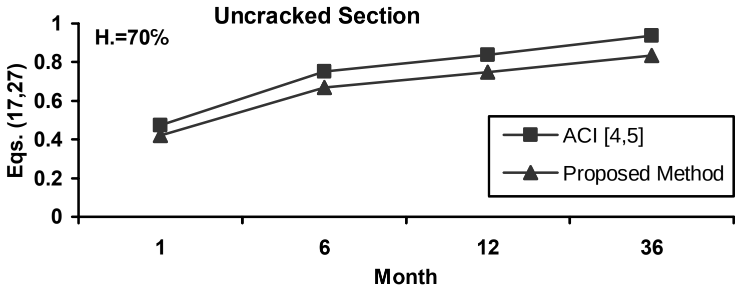
ولمناقشة هذا الفارق سيتم اجراء مقارنة بين العوامل التجريبية المعتمدة من قبل لجنة الكود الامريكي [٤،٥] k_r و k_{sh} لحساب الانحراف طويل الأمد (العلاقتان ٢٨،٢٧) والعوامل المقترحة في هذه الورقة $\bar{\omega}_{cr}$ و $\bar{\omega}_{sh}$ (العلاقتان ١٧ و١٨)، وذلك اعتمادا على نفس معطيات الجائز الخرساني المعتمد في الشكل(٤). وقد تمت المقارنة لحالتي المقطع المتشقق والمقطع غير المتشقق.

ويبين الشكلان (٥) و (٦) أن قيم العامل التجريبي k_r ثابتة لحالتي المقطع المتشقق والمقطع غير المتشقق، وذلك لكون المتحول الوحيد هو (ρ') وهي بشكل واضح أكبر من قيم العامل المقترح $\bar{\omega}_{cr}$ لحالة المقطع المتشقق، والذي يأخذ بعين الاعتبار تأثير كافة العوامل الأساسية المؤثرة على التغير في الانحراف مع مرور الزمن ($\rho, \rho', \phi(t, t_o)$ and Age - adjusted transformed section ...)، إلا أن هذا الفارق يتضاءل عند المقارنة مع $\bar{\omega}_{cr}$ في حالة المقطع غير المتشقق ويصل الفرق إلى حوالي ١٢٪، وبالتالي نستطيع القول إن قيم العامل k_r وبالتالي الكود[٥،٤] يعطي نتائج مقبولة في حالة المقطع غير المتشقق Uncracked section، أما في حالة المقطع المتشقق cracked section فإن الكود لايعكس

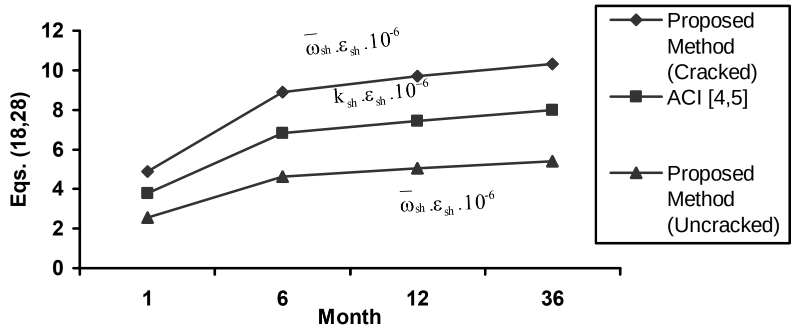
التأثير الفعلي للزحف ويعطي قيما كبيرة. كذلك يبين الشكل (٧) التغير الذي يحصل خلال فترة زمنية مقدارها ٣٦ شهرا للعامل التجريبي k_{sh} الذي يعتمد على (ρ, ρ') وللعامل $\bar{\omega}_{sh}$ المقترح في هذه الورقة في حالتي المقطع المتشقق والمقطع غير المتشقق حيث يلاحظ أن قيمة العامل k_{sh} ثابتة لكلتا الحالتين وهي أقرب لقيمة العامل المقترح $\bar{\omega}_{sh}$ في حالة المقطع غير المتشقق كما هو مبين على الشكل.



شكل (٥). مقارنة بين العاملين $\bar{\omega}_{cr}$ و k_r - حالة مقطع متشقق.



شكل (٦). مقارنة بين العاملين $\bar{\omega}_{cr}$ و k_r - حالة مقطع غير متشقق.



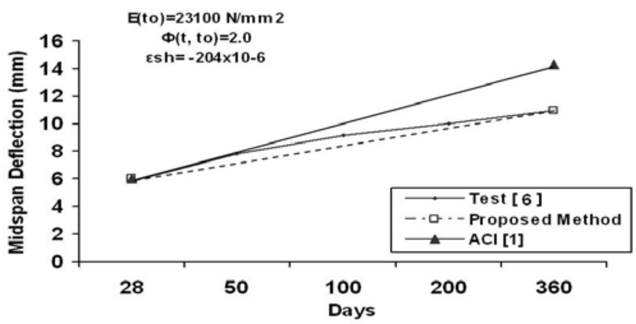
شكل (٧). مقارنة بين العاملين k_{sh} و $\bar{\omega}_{sh}$ لحالتي المقطع المتشقق والمقطع غير المتشقق.

إن من أهم ميزات العلاقات المقدمة في هذه الورقة (العلاقتان ٢٠ و٢١) هو سهولة استخدامها يدويا ويمكن برمجتها بسهولة باستعمال حاسبات صغيرة وتأخذ بعين الاعتبار أغلب العوامل المؤثرة على الانحراف طويل الأمد من تأثير التشوهات المتعلقة بالزمن (الزحف والانكماش) .

ولتقدير درجة الدقة والخطأ في نتائج النموذج الرياضي المقترح فقد تمت مقارنته مع نتائج مخبرية لجائز يستند استنادا بسيطاً[٦] طوله يساوي $4.267m(14ft)$ ، يتعرض الجائز لحمولتين مركزتين متساويتين على مسافة ١,٨٣م من المساند (6 ft from supports) وأبعاد المقطع العرضي للـجائز: $h = 350.52(13.8in), d = 317.5(12.5in), b = 180.34(7.1in)$ ، وعمر الجائز عند تطبيق الحمولة $t_o = 28days$ ، $\rho = 1.42\,\%$ (deformed steel) ، والعزم الأعظمي المؤثر $M_{max} = 31.761kN.m$.

ويبين الشكل(٨) نتائج النموذج الرياضي المقترح والنتائج المخبرية المقاسة لنفس الجائز ونلاحظ مدى الانسجام في النتائج حيث إن الفرق في القيمة النهائية للانحراف للزمن t=360days صغير جدا ومهمل على عكس طريقة الكود الأمريكي (ACI 318 – 95) التي تعتمد على المعامل التجريبي λ لحساب الانحراف طويل الأمد من تأثيرتشوهات الزحف والانكماش معا، والذي يتعلق بنسبة حديد التسليح المضغوط وبالعامل التجريبي ξ (Eq.23) وتهمل بقية

العوامل المؤثرة مثل حجم العنصر (نسبة المساحة السطحية إلى الحجم)، الرطوبة النسبية، عمر الجائز عند التحميل وغير ذلك من العوامل التي تؤثر على الحساب الفعال للانحراف طويل الأمد[١٣،١٢] ، وبالتالي فإن النتائج لن تكون منسجمة بشكل جيد مع القيم الفعلية كما هو مبين على الشكل (٨) حيث إن الفارق في القيمة النهائية للانحراف الموافق للزمن t=360days أكبر بحوالي ٣٠ ٪ من النتائج القياسية المخبرية ومن نتائج النموذج الرياضي المقترح. ولنفس الغرض يبين الجدولان (٢ و ٣) نتائج مقارنة الطريقة المقترحة لحساب الانحراف المباشر والانحراف طويل الأمد مع كل من الكود الأمريكي ACI 318 – 95 [١] و الكود الأوروبي CEB-FIP[٩] (Ghali [١٤] - Samra and Azarnejad [١٣،١٥]) والنتائج المخبرية المقاسة خلال فترة زمنية t = 2.5years من قبل Washa and Fluck[٧] على جوائز خرسانية مسلحة تستند استنادا بسيطًا، وتبين النتائج أن الطريقة المقترحة تنسجم بشكل جيد مع الكود الأوروبي ومع النتائج المخبرية، أما عند استخدام طريقة الكود الأمريكي فإن متوسط نسبة الخطأ تصل إلى ٣٨٪ من القيمة الفعلية المقاسة مخبريا كما هو مبين في الجدول (٤) الذي يبين متوسط نسبة الخطأ بالقيمة المطلقة وذلك لنتائج كل طريقة من الطرق المبينة في الجدولين (٢و٣).



الشكل(٨). التغير في السهم حسابيا وتجريبيا.

جدول (٢). الانحراف المباشر للزمن (t_0) .

الانحراف $f(t_0)$، (مم)								
رقم الجائز	$f_c(28)$, MPa	ρ, Percent	ρ̀, Percent	Measured [٧]	CEP-FIP [٩]	ACI [١]	Samra [١٥،١٣]	الطريقة المقترحة المعادلة(٥)
A1/4	٢٨,٠	١,٦	١,٦	١٣,٥	١٤,٣	١٨,٢	١٤,٠	١٤,١
A2/5	٢٨,٠	١,٦	٠,٨	١٥,٧	١٥,١	١٨,٠	١٥,٢	١٤,٧
A3/6	٢٨,٠	١,٦	٠,٠	١٧,٠	١٦,٠	١٧,٣	١٧,٥	١٥,٥

جدول(٣). الانحراف النهائي للزمن (t= ٢,٥سنة).

الانحراف f(t) ، (مم)								
رقم الجائز	$f_c(28)$, MPa	ρ̀	Measured [٧]	Ghali+ Azarnejad [١٤]	CEP-FIP[٩]	ACI[١]	Samra [١٥,١٣]	الطريقة المقترحة المعادلة(٢٢)
A1/4	٢٨,٠	ρ	٢٣,٦	٢٣,٢	٢٣,٢	٣٨,٠	٢٥,٧	٢٥,٦
A2/5	٢٨,٠	(0.5ρ)	٣٢,٣	٣٠,٨	٢٨,٩	٤٣,٨	٣٤,٥	٣٠,٤
A3/6	٢٨,٠	(٠)	٤٤,٧	٤٩,١	٤١,٣	٥٢,٤	٤٨,٨	٤٧,٢

جدول (٤). متوسط نسبة الخطأ بالقيمة المطلقة لنتائج كل طريقة مستخدمة.

متوسط نسبة الخطـأ بالقيمة المطلقة لنتائج كل طريقة مستخدمة				
الطريقة	CEP-FIP[٩]	ACI[١]	Samra[١٥,١٣]	الطريقة المقترحة
الانحراف المباشر(الأولي)	٥,٢	١٧,٠	٣,٣	٦,٥
الانحراف للزمنt=٢,٥ سنة	٦,٦	٣٧,٩	٨,٣	٦,٦

٦- الخاتمة

تضمنت هذه الورقة المعادلات اللازمة لإيجاد الانحراف والتغير في الانحراف الذي يحصل مع مرور الزمن من تأثير التشوهات المتعلقة بالزمن في الجوائز الخرسانية المسلحة، ومن خلال مناقشة النتائج السابقة نتبين مدى أهمية

إيجاد طريقة فعالة لتحديد التغير الذي يحصل للانحراف مع مرور الزمن والذي لايمكن إهماله حيث تصل قيمته إلى حوالي ١٦٣٪ من قيمة الانحراف المباشر (انظر الجدولين٢و٣) خلال فترة زمنية مقدارها ٩٠٠ يوما.

إن العلاقات المقترحة في هذه الورقة سهلة الاستخدام ويمكن برمجتها بسهولة وتأخذ بعين الاعتبار أغلب العوامل المؤثرة على تغير الانحراف مع مرور الزمن وتعطي نتائج فعالة ودقيقة تنسجم بشكل كبير مع النتائج المخبرية ومع الكود الأوروبي، وهي تصلح للمقاطع المتشققة وغير المتشققة على عكس الكود (ACI 318 – 95) الذي لايميز بين هذه المقاطع ويعتمد بشكل أساسي على عوامل تجريبية ، لذلك نقترح استخدام المعادلات المقترحة في هذه الورقة عند حساب الانحراف (Deflection) في عناصر المنشآت الخرسانية المسلحة نظرا لسهولة استخدامها ودقة نتائجها على عكس الكود الأمريكي الذي تعطي علاقاته نتائج أكبر بكثير من القيم الفعلية مما ينعكس سلبا على الكلفة الاقتصادية لعناصر هذه المنشآت.

المراجع

[١] **ACI Committee 318**, "*Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (318R-95),*"American Concrete Institute**,** Farmington Hills, Mich (1995).

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

[٣] **Saker,W**., Time-Dependent Effects in Continuous Composite "Concrete-Concrete" Beams, *J. King Abdulaziz University: Engineering Sciences*, (Under Publication).

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

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

[٦] **Neville. A.M.** and **Dilger, W.**, *Creep of Concrete : Plain, Reinforced, and*

Prestressed, North-Holland Publishing Company- Amsterdam (1970).

[٧] **Washa, G.W.** and **Fluck, P.G.,** Effect of Compressive Reinforcement on the Plastic Flow of Reinforced Concrete Beams", *ACI Structural Journal*, **49**(2): 1952.

[٨] **Al-zaid, R.Z**., **Al-shaikh, A.H.** and **Abu-hussein, M.**, Effect of Loading Type on the Effective Moment of Inertia of Reinforced Concrete Beams, *ACI Structural Journal*, **88**(2), Mar.-Apr. (1991).

[٩] CEB-FIP Model Code 1990, *Model Code for Concrete Structures (MC-90)*, **CEB**, Thomas Telfored, London (1993).

[١٠] **Dan E. Branson**, Instantaneous and Time-dependent deflections of simple and continuous reinforced concrete beams, *HPR Publication* **7**, Part 1 , Alabama Highway Dept., Bureau of Public roads, Ala., Aug. (1963).

[١١] **Dan E. Branson**, Compression Steel Effect on Long-Time Deflection", *ACI Journal*, **68**(Aug.): 1971.

[١٢] **Gilbert, R.I.,** Deflection Calculation for Reinforced Concrete Structure –Why Sometimes Get it Wrong, *ACI Structural Journal*, **96**(6) Nov.-Dec. (1999).

[١٣] **Samra, R.M.**, Predicting Deflections of Reinforced Concrete Beams Analytically, *Journal of Structural Engineering*, **115**(5): 1989.

[١٤] [14**]** **Ghali, A.** and **Azarnejad, A.**, Deflection Prediction of Members of Any Concrete Strength, ACI Structural Journal, **96**(5) Sept.-Oct. (1999).

[١٥] **Samra, R.M.**, Renewed Assessment of Creep and Shrinkage Effects in Reinforced Concrete Beams, *ACI Structural Journal*, **94**(6) Nov.-Dec. (1997).

الملحق (١)

العلاقة بين الإجهاد والتشوه في الخرسانة

Stress-Strain Relation of Concrete

تعتبر العلاقة خطية بين الإجهاد والتشوه عادة في العناصر الخرسانية المسلحة تحت ظروف أحمال التشغيل الاعتيادية عندما تكون الإجهادات المتولدة أقل من $0.4\ f'_{cm}(t_o)$ ومن أجل إجهاد ثابت مطبق في الزمن t_o نحصل على [٩]:

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

حيث:

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

E_c هو معامل مرونة الخرسانة بعمر ٢٨ يوما.

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

بالاستناد إلى الافتراضات والتعاريف الواردة أعلاه نستطيع كتابة العلاقة الأساسية للإجهاد والتشوه في الخرسانة [٩]:

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

ويمكن استخدام العلاقة التالية (age- adjusted effective modulus method) عوضا عن العلاقة السابقة [٩]:

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

حيث:

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

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

$E_{c,ef}(t,t_o)$ هو معامل المرونة الفعال:

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

$\overline{E}_c(t,t_o)$ هو معامل المرونة الفعال المتعلق بالزمن (age- adjusted effective modulus method):

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

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

χ هو معامل الشيخوخة aginig coefficient وتتراوح قيمته بين ٠,٦-٠,٩ويؤخذ في الحسابات العملية مساويا لـ ٠,٨.

Time Effects on Deflection of Reinforced Concrete Beams. Does the Code Reflect this Effect Precisely?

Wael Mounir Saker

Studies Branch, P.O.Box.12760, Damascus, Syria.
w_saker@yahoo.com

*Abstract***.** The aim of this work is to demonstrate the effects of creep and shrinkage on long-term deflection of reinforced concrete beams, and provide a practical equation for the calculation of deflection in reinforced concrete structures based on linear creep theory. To this end, the simplified equations used in the ACI code and in other methods are evaluated and compared.

The proposed method is found simple to use, can be programmed on small calculators, and agree well with experimental results. It is concluded that the proposed equations are suitable for adoption in practice.