# الإجهادات المتبقية في الصفائح الخرسانية المسلحة بعد التسخين والتبريد

المهندس المدني/ تحسين طه عبدالكريم

رقم الانتساب / 5247

الخلاصـــة

**تتضمن الدراسة الحالية استخدام نموذج رياضي لتحليل الصفائح الخرسانية المسلحة السميكة في أثناء تعرضها لدرجات حرارة عالية ومن ثم استقصاء تغير سلوك تلك الصفائح بعد تبريدها الى درجات الحرارة الاعتيادية ، وقد تم استخدام طريقة الفروقات المحددة وتقنية الاسترخاء الديناميكي في حساب انتشار وتدرج الحرارة المؤثرة ضمن سمك الصفيحة المقسمة الى مجموعة شرائح وبتأثير قوى الانضغاط ثنائي المحور واعتماد نظرية Reissner's للازاحات الصغيرة والطريقة المعدلة للزيادات المحددة في التحليل لغرض تمثيل السلوك اللاخطي للصفيحة بتاثير درجات الحرارة العالية والذي يتضمن التشقق والتهشم في الخرسانة والخضوع في الحديد . وتم اختبار اختلاف تاثر سلوك الصفيحة مع موقع الحرارة المؤثرة بالنسبة لسطح نطاق الانضغاط وسطح نطاق الشد ، ومقاومة الانضغاط الاصلية للخرسانة المستخدمة ( اعتيادية المقاومة وعالية المقاومة ) ، وكمية ونوع حديد التسليح ، وسمك الصفيحة والغطاء الخرساني ، اضافة الى تأثير مختلف المستويات الحرارية ومدة التعرض لها .**

**الكلمات الدالة : صفائح ، خرسانة مسلحة ، تحليل لاخطي ، حرارة عالية .**

## المقدمـــة Introduction

**على الرغم من اعتبار الخرسانة وحديد التسليح من المواد غير القابلة للاحتراق الا انه عند التعرض لدرجات حرارة عالية وبعد التبريد الى درجات الحرارة الاعتيادية تحدث تغيرات وقتية ودائمية في خواصهما الفيزياوية والهندسية فضلاً عن الخطورة المتوقعة من سلوكهما الانشائي على المدى البعيد ،**

**استخدم الباحثان (Park et al.,1999 ) طريقة العناصر المحددة في التحليل المتضمن للسلوك اللاخطي المادي والهندسي في دراستهما التحليلية للتعرف على سلوك الصفائح الخرسانية المنبسطة (R.C. Plate )**

**قدم الباحث ( Mohamedbhai 1986) دراسة تناول فيها تأثير معدل ومدة التسخين والتبريد على مقاومة الانضغاط المتبقية للخرسانة بعد تعرضها لدرجات حرارة عالية مستخدماًخلطات خرسانية بنسب مختلفة وقد وجد أن زيادة مدة التسخين عن ساعة واحدة كان له تأثير مهم على المقاومة المتبقية للخرسانة ولكن هذا التأثير يقل كلما ارتفعت درجة الحرارة المؤثرة ، كما تبين ان الجزء الاكبر من فقدان مقاومة الانضغاط يحصل عند مدة تعرض للحرارة العالية تقدّر بساعتين ، وان تأثير معدل التسخين والتبريد كان واضحاً عند درجات الحرارة التي تقل عن $600C^{o}$ ويقل تأثيره عندما تتجاوز درجة الحرارة المؤثرة $600C^{o}$ فاكثر.**

**وقد ذكر الباحث (Holmes et al., ) في دراستهم ان نسبة الفقدان في مقاومة الشد القصوى واجهاد الخضوع لحديد التسليح الاعتيادي تصل الى 50% من قيمتها الاصلية عند التعرض لدرجات حرارة تزيد عن $500C^{o}$ وان الحديد مسبق الاجهاد يبدي حساسية اكبر عند تعرضه لدرجات الحرارة العالية حيث تبين ان هنالك تغيراً ملحوظاً في خواصه بعد التعرض لدرجة حرارة $100C^{o}$.**

**استخدم الباحث (Huang et al.,1999 ) اسلوب التحليل اللاخطي باستعمال طريقة شرائح العناصر المحددة (Layered Finite Element) للتعرف على سلوك الصفائح الخرسانية المسلحة المعرضة لدرجات حرارة عالية وبتأثير التحميل ثنائي المحور .**

**توصل الباحث (Said 1999) في دراسته النظرية عن سلوك الصفائح الخرسانية المسلحة اثناء تعرضها لدرجات الحرارة العالية باستخدام طريقة الفروقات المحددة الى ان مقاومة الصفيحة تعتمد بالاساس على شدة الحرارة المؤثرة ومدة التعرض لها ، وان التعرض لدرجات الحرارة العالية يؤثر بصورة كبيرة على اداء الصفائح الخرسانية المسلحة من خلال اتلاف المواد المكونة للصفيحة**

## الحرارة المؤثرة Effectual Heat

يعد فحص الحريق القياسي (StandardFireTest) والمسمى بـ ISO834 (أو ASTM 119 ) والمستخدم في تحليل وتصميم مقاومة الوحدات البنائية للحرائق من اهم الفحوصات المقبولة عالمياً لواقع التعرض الفعلي للحرارة العالية . ولصياغة توازن الطاقة الحرارية بصيغة الرموز ، تم تأشير عدد الزيادات في الوقت بالرمز (t) والموقع بالرمز (n) . وتكون الصيغة الجبرية لتوازن الحرارة (Krieth 1973) بالشكل الآتي :

$$T_n^{t+1} = T_n^t\left[1 - 2\frac{\Delta\theta k}{C_p\rho\Delta x^2}\right] + \frac{\Delta\theta k}{C_p\rho\Delta x^2}\left(T_{n-1}^t + T_{n+1}^t\right) \qquad \text{..... (1)}$$

وتشمل حالة التحديد (Boundary Condition) حرارة السطح غير المعرض للحرارة المؤثرة وسلوك انتقال الحرارة بين سطح النموذج والمحيط الخارجي عند درجة الحرارة $T_\infty$ خلال وحدة السطح ,مع فرضيات ان السطح تعرض الى دفق حراري (Heat Flux) لكل وحدة مساحة ، عندها يمكن التعبير عن درجة حرارة السطح غير المعرض للحرارة المباشرة المؤثرة بالصيغة الآتية :

$$T_o^{t+1} = T_o^t\left[1 - \Delta\theta\left(\frac{2k}{C_p\rho\Delta x^2} + \frac{2h'}{C_p\rho\Delta x}\right)\right] + \frac{2h'\Delta\theta}{C_p\rho\Delta x}T_\infty^t + \frac{2k\Delta\theta}{C_p\rho\Delta x^2}T_1^t + Q_o^t\frac{2\Delta\theta}{C_p\rho\Delta x} \qquad \text{.....(2)}$$

حيث ان : حيث ان :

T : درجة حرارة الفرن ($C^o$) عند الوقت t — $T_o$ : درجة حرارة الفرن الابتدائية ($C^o$)

t : الوقت بالدقائق . — $\delta$ : معامل الانتشار الحراري

k : معامل التوصيل الحراري ($W/m.C^o$) — $C_p$ : الحرارة النوعية ($J/kg\,.\,C^o$)

$\theta$ : الوقت بالساعات — $\rho$ : الكثافة ($kg/m^3$)

$T_o^{t+1}$ : درجة الحرارة اللاحقة عند السطح ( $C^o$ ) — $T_\infty$ : درجة حرارة الجو الاعتيادية ($C^o$)

$h'$ : معامل التوصيل الحراري لوحدة السطح ( $W/m.C^o$ ) — $Q_o$ : الدفق الحراري ($W/m^2$)

تستخدم المعادلتان (1) و (2) في ايجاد توزيع الحرارة ضمن سمك الصفيحة وعند السطح غير المعرض للحرارة العالية على التوالي مع مرونة استخدام مختلف الحدود والظروف عند السطح غير المعرض .

## العلاقات التكوينية للمادة Materials Constitutive Relationships

تتأثر مقاومة الانضغاط والشد ومعامل المرونة للخرسانة ألإعتيادية والخرسانة عالية المقاومة (H.S.C) كثيراً بتغير درجات الحرارة ، حيث ان ارتفاع درجات الحرارة يؤثر غالباً بشكل سلبي على القيمة المتبقية لمقاومة انضغاط الخرسانة ، وتنخفض هذه القيم كثيراً في اثناء تعرض الخرسانة الى درجات حرارة عالية

اما بعد تبريد الخرسانة الى درجات الحرارة الاعتيادية فان القيمة المتبقية لمقاومة الانضغاط والشد ومعامل المرونة تنخفض عما هي عليه في اثناء مرحلة التسخين (Weigler et al., 1972) كما موضح في ألأ شكال (1 ,2,3) ويلاحظة ان النسبة المتبقية من مقاومة ألإنضغاط ومقاومة الشد ومعامل المرونة للخرسانة عالية المقاومة تكون اكثر ( Habeeb et al., 2000).

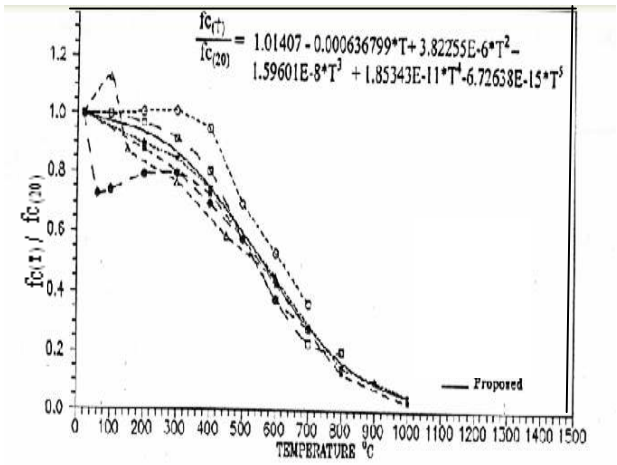
في الدراسة الحالية ، تم اقتراح نماذج المنحنيات ألأشكال (1,2,3) لتمثيل نسبة الانخفاض الحاصلة في مقاومة ألإنضغاط والشد ومعامل المرونة في اثناء التعرض لدرجات الحرارة العالية ، وبعد التبريد الى درجات الحرارة الاعتيادية لنوعي الخرسانة اعتيادية المقاومة وعالية المقاومة وفق اقتراح الباحثين السابقين بهذا الشأن .

وتم تطوير مغلف الفشل المقترح من قبل ( Liu et al., 1972 ) بحيث يتضمن ادخال تأثير درجات الحرارة العالية على الخرسانة اعتيادية المقاومة في أثناء مدة التعرض للحرارة العالية ، والخرسانة اعتيادية المقاومة وعالية المقاومة بعد التبريد الى درجات الحرارة الاعتيادية كما موضح في الشكل (4) ، وان الابعاد بين هذه المستويات محكومة بنسب الانخفاض في مقاومة انضغاط الخرسانة بسبب التأثر بدرجات الحرارة العالية ، ويمكن التعبير عن مغلف الفشل عند أي درجة حرارة بصيغ المعادلات الرياضية الآتية :

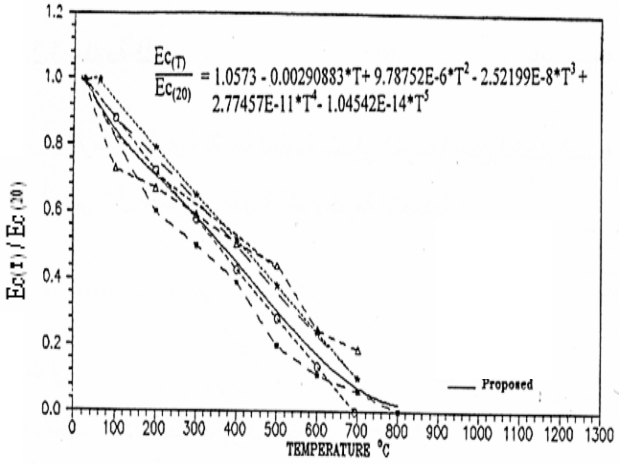
$\alpha < 0.2$ $\qquad \dfrac{\sigma_p}{\sigma_{oT}} = 1 + \dfrac{\alpha}{1.2 - \alpha}$

$0.2 \le \alpha \le 1.0 \quad ; \quad \dfrac{\sigma_p}{\sigma_{oT}} = 1.2$ ..... (3)

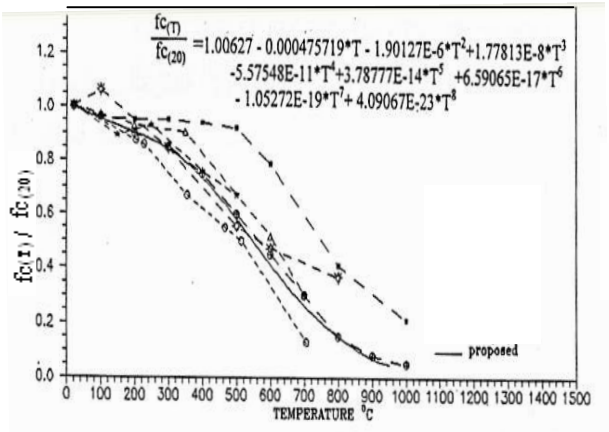
$1.0 \le \alpha \le 5.0 \quad ; \quad \dfrac{\sigma_p}{\sigma_{oT}} = \dfrac{1.2}{\alpha}$



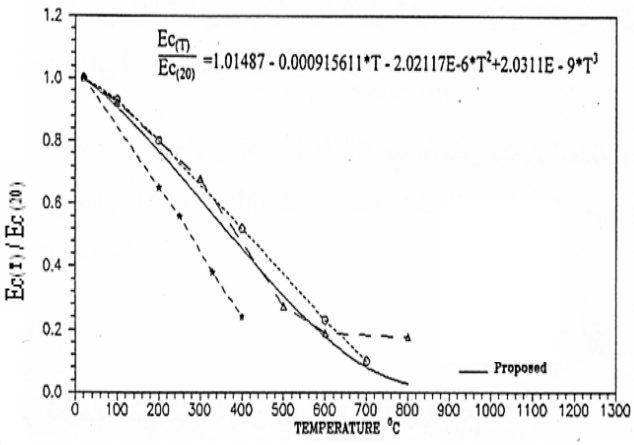

شكل (**1 – a**) تغير مقاومة انضغاط الخرسانة اعتيادية المقاومة مع الحرارة (اثناء التسخين)



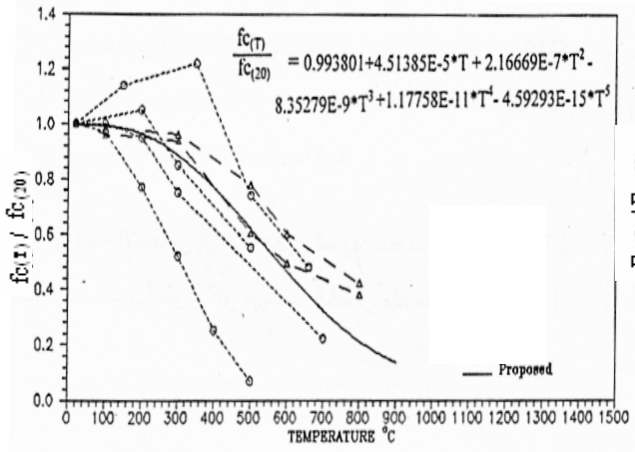

شكل (**2 – a**) تغير معاير المرونة الخرسانة اعتيادية المقاومة مع الحرارة (اثناء التسخين)



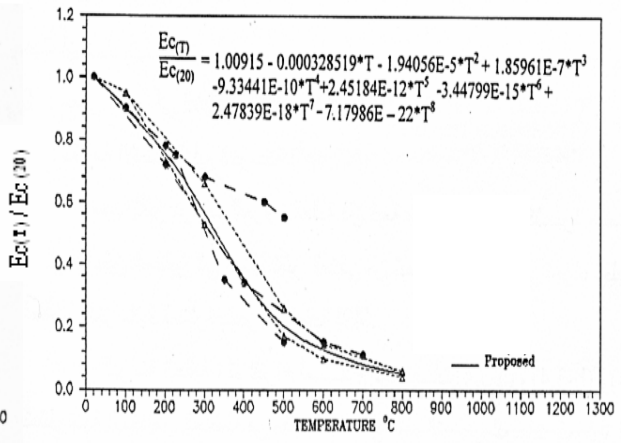

شكل (**1 – b**) تغير مقاومة انضغاط الخرسانة اعتيادية المقاومة مع الحرارة (بعد التبريد)



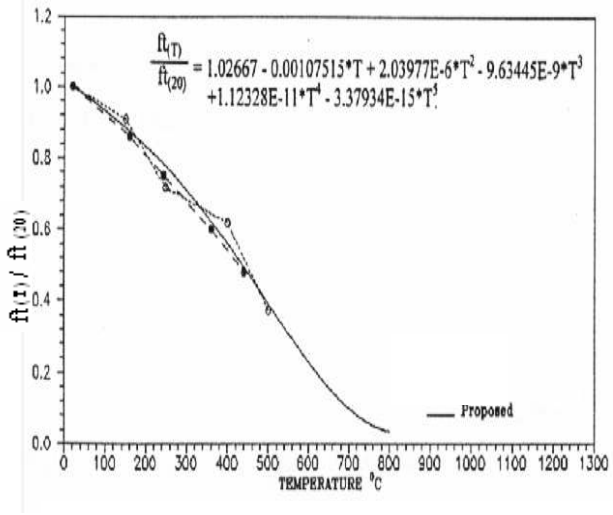

شكل (**2 – b**) تغير معاير المرونة الخرسانة اعتيادية المقاومة مع الحرارة (بعد التبريد)




شكل (**1 – c**) تغير مقاومة انضغاط الخرسانةعالية المقاومة مع الحرارة (بعد التبريد)

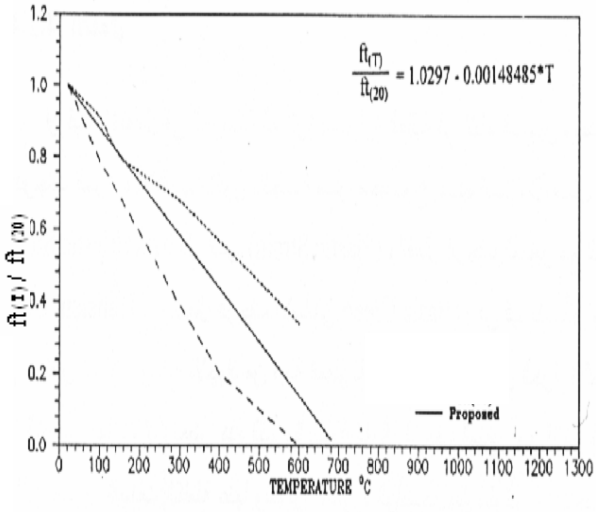



شكل (**2 – c**) تغير معاير المرونة الخرسانةعالية المقاومة مع الحرارة (بعد التبريد)



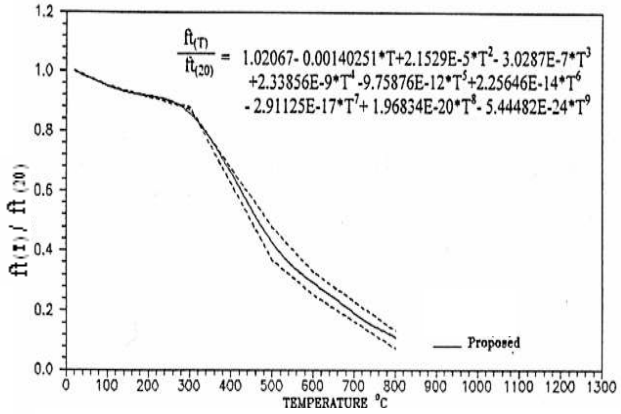

شكل (**3– b**) تغير مقاومة الشد في الخرسانة اعتيادية المقاومة

(بعد التبريد)



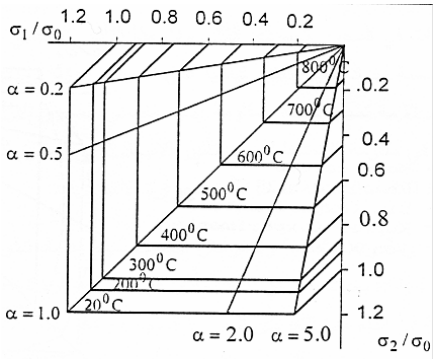

شكل (**3– a**) تغير مقاومة الشد في الخرسانة اعتيادية المقاومة

(اثناء التسخين)

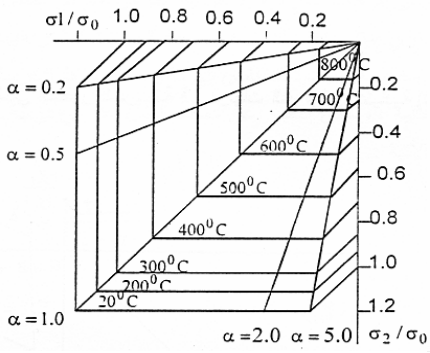



شكل (**3–c**) تغير مقاومة الشد في الخرسانة عالية المقاومة

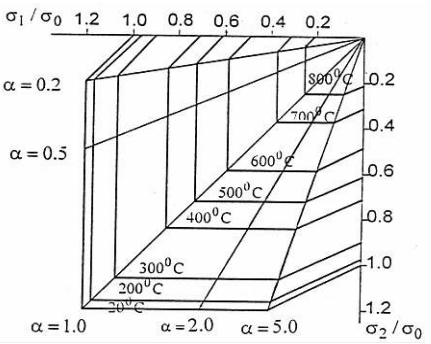
(بعد التبريد)




**N.S.C. (during heating)**




**N.S.C. (after cooling)**




**H.S.C. (after cooling)**

شكل (**4**) مغلف الفشل ثنائي المحور المقترح للخرسانة المتاثرة بدرجات الحرارة العالية

حيث ان :

$\sigma_{oT}$ : المقاومة القصوى للانضغاط احادي المحور في الخرسانة عند درجة الحرارة $(N/mm^2)$ T

$\alpha$ : النسبة بين قيمتي الاجهاد الرئيسة .

غرض ايجاد الانفعال المتأثر بمختلف مستويات درجات الحرارة العالية عند ذروة الاجهاد تم اعتماد البيانات التي حصل عليها (Liu et al., 1972 ) في درجات الحرارة الاعتيادية . ولغرض ادخال تأثير الحرارة العالية باختلاف مستوياتها ، تم اقتراح اجراء تعديل مناسب بصيغة تتلائم مع واقع تأثر الخرسانة بالحرارة العالية وكما يأتي :

$\epsilon_p = -0.0025\ \xi$ ( major direction) .....(4)

$\epsilon_p=(500+\xi_1.\sigma_p)10^{-6}$ (minor direction ) .....(5)

حيث ان :

$\xi = \frac{\epsilon_T}{\epsilon_{20}}$ معامل زيادة الانفعال المتأثر بالحرارة العالية $\xi_1=0.0266(500+\epsilon_p(major)*10^6)$

ان المعادله (5) مبنية على اساس ان قيمة مقاومة الانضغاط للخرسانة الناتجة من فحص الاجهاد ثنائي المحور تساوي 31.33MPa ، ومن اجل ان يصبح بالامكان تطبيقها على انواع اخرى من الخرسانة وبقيم مقاومة انضغاط مختلفة صار من الضروري اجراء التعديل الآتي (ACI -216R-81)

$$\epsilon_p = (500 + \xi_1 * \sigma_p * \frac{-31.33}{\sigma_o}) * 10^{-6} \quad \text{.....(6)}$$

$\sigma_o$ : قيمة مقاومة الانضغاط للخرسانة والتي تزيد او تقل عن 31.33MPa

ان علاقة الاجهاد – الانفعال للمادة إتجاهية الخواص ( Orthotropic ) الواقعة تحت تأثير الاجهادات ثنائية المحور تكون بالصيغة :

$$\begin{bmatrix}\sigma_1\\ \sigma_2\\ \tau_{12}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\lambda' E'_{1b}/E'_{2b} & \lambda'\upsilon_1 & 0\\ \lambda'\upsilon_1 & \lambda' & 0\\ 0 & 0 & E'_{1b}E'_{2b}/(E'_{1b}+E'_{2b}+2E'_{2b}\upsilon_2)\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\epsilon_1\\ \epsilon_2\\ \gamma_{12}\end{bmatrix} \quad \text{...(7)}$$

$$\begin{bmatrix}\tau_{13}\\ \tau_{23}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}E'_{1b}E_c/(E'_{1b}+E_c+2E_c\upsilon_1) & 0\\ 0 & E'_{2b}E_c/(E'_{2b}+E_c+2E_c\upsilon_2)\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\gamma_{13}\\ \gamma_{23}\end{bmatrix} \quad \text{.....(8)}$$

حيث ان في حالة الانضغاط ثنائي المحور :

$$E'_{1b}=\frac{E\left[1-(\epsilon_1/\epsilon_p)^2\right]}{\left[1+\left(\frac{E}{E_s(1-\upsilon\alpha)}-2\right)\left(\frac{\epsilon_1}{\epsilon_p}\right)+\left(\frac{\epsilon_1}{\epsilon_p}\right)^2\right]^2} \quad \text{.....(9)}$$

$$E'_{2b}=\frac{E\left[1-(\epsilon_2/\epsilon_p)^2\right]}{\left[1+\left(\frac{E}{E_s(1-\upsilon\alpha)}-2\right)\left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_p}\right)+\left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_p}\right)^2\right]^2} \quad \text{.....(10)}$$

$$\lambda' = E'_{1b}/\left(E'_{1b}/E'_{2b}-\upsilon^2\right) \quad \text{.....(11)}$$

وفي حالة الشد ثنائي المحور وحالة الشد - الانضغاط فان :

$$E'_{1b}=E'_{2b}=E=uniaxial\ \mathrm{mod}\,ulus\ of\ Elasticity$$

## Stress-Strain Relations for Cracked Concrete — علاقات الاجهاد-الانفعال للخرسانة المتشققة

يتم فرض ان الشقوق تتشكل في المستوي العمودي على اتجاه اجهاد الشد الرئيس الاعلى (Maximum principal Tensile Stress) عندما تصل قيمة هذا الاجهاد الى قيمة مقاومة الشد في الخرسانه ( $\sigma_t$ ) .

ونتيجة لهذه الشقوق فان الخرسانة تعامل كمادة اتجاهية الخواص بمحاور موازية وعمودية على اتجاه الشق في الخرسانة ، لذا فان قيمة معاير المرونة ونسبة بوسون ستنخفض الى الصفر في الاتجاه العمود على المستوي المتشقق مع تقليل معاير القص الى قيمة $G'_{ij}$ ، عندها ستكتب علاقة الاجهاد –الانفعال للخرسانة المتشققة بالصيغة :

$$\begin{bmatrix}\sigma_1\\ \sigma_2\\ \tau_{12}\\ \tau_{13}\\ \tau_{23}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & C_1E & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & G'_{12} & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & G'_{13} & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & G'_{23}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\in_1\\ \in_2\\ \gamma_{12}\\ \gamma_{13}\\ \gamma_{23}\end{bmatrix} \qquad \text{.....(12)}$$

حيث ان $C_1$=1.0 في حالة حدوث الشقوق باتجاه واحد ، و (0.0) في حالة حدوث الشقوق باتجاهين .ان قيمة معاير القص $G'_{ij}$ للسطح المتشقق تخفض بمعامل مقداره ( β ) يسمى بمعامل استبقاء القص . وفي هذه الدراسة سيتم اعتماد قيمة ثابتة لهذا المعامل (β=0.4) (Hand et al 1973 ) وكما يلي :

للخرسانة المتشققة بالاتجاه الاول $G'_{12}=0.4G \quad ; \quad G'_{13}=0.4G \quad ; \quad G'_{23}=G$

للخرسانة المتشققة بالاتجاه الثاني $G'_{12}=0.4G \quad ; \quad G'_{13}=G \quad ; \quad G'_{23}=0.4G$

للخرسانة المتشققة بكلا الاتجاهين $G'_{12}=0.4G \quad ; \quad G'_{13}=0.4G \quad ; \quad G'_{23}=0.4G$

## Tension Stiffening — جساءة الشد

ان جساءة الشد (Gilbert et al.,1978 ) هي احدى الخواص الحقيقة للمواد ، وتعبر عن مدى قدرة الخرسانة السليمة بين الشقوق (Intact Concrete ) لنقل قوى الشد الداخلية بين شقين متجاورين ، وان قيمة جساءة الشد تعتمد على خواص الارتباط بين الخرسانة وحديد التسليح ، ومقاومة الشد للخرسانة ، والمسافات بين الشقوق ، اضافة الى قطر حديد التسليح والزاوية بين الشقوق وحديد التسليح .

في الدراسة الحالية سيتم اعتماد منحن من الدرجة الثانية للتعبير عن تأثير جساءة الشد كما موضح في شكل (5) ، ويمكن كتابة معادلة هذا المنحني بالصيغة الآتية :

$$\sigma = A(A_1 + A_2 \in + A_3 \in^2) \qquad \text{.....(13)}$$

حيث ان :

$A_3,A_2,A_1$ قيم ثابتة يمكن ايجادها بوساطة استخدام قيمتين للاجهاد والانفعال .

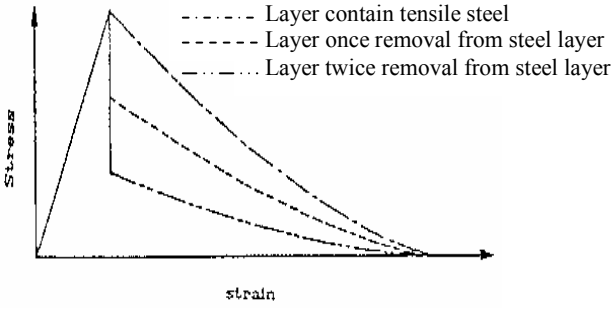
A : معامل يتحكم بتأثير جساءة الشد اعتمادا على موقع الطبقات المتشققة بالنسبة لحديد التسليح .

وكما يأتي :

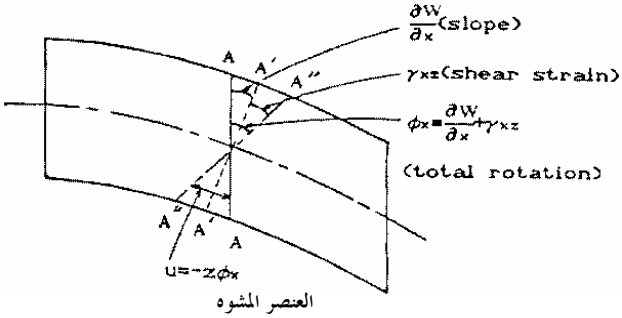
A=1.0 للطبقة الحاوية على حديد الشد (Tensile steel) .

A=2/3 للطبقة التالية لطبقة الحديد.

A=1/3 للطبقة ما بعد الطبقة التالية لطبقة الحديد.




شكل (5) منحني علاقة الاجهاد – الانفعال للخرسانة في حالة الشد




العنصر المشوه

شكل (6) التوزيع المفترض للانفعال ضمن سمك الصفيحة

## تطبيق طريقة الفروقات المحددة Finite-Difference Method Application

يتلخص اسلوب التحليل اولاً حساب قيم الأود بالاعتماد على معادلة التوازن للصفائح :

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2\frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} = -q \qquad \ldots(14)$$

وباستخدام تقنية الاسترخاء الديناميكي و بدلاً من حل المعادلات الآنية بصورة مباشرة يتم اقتراح صيغ ديناميكية مناظرة ، ان الطريقة مبنية على إفتراض ان العنصر الانشائي بتأثير القوى المستقرة المؤثرة يهتز بشكل حر في مانع لزج ، الى ان يستقر في النهاية بوضع متوازن جديد تحت تأثير القوى المسلطة ، بذلك تدعو الحاجة الى اضافة حدود التعبير عن التعجيل والسرعة ومعامل اخماد اللزوجة (Viscous Damping Factor) الى معادلة التوازن المستقرة للصفيحة ، وهذا يعطي صيغ معادلات بالشكل الديناميكي وان الحل يتم بالاسلوب التكراري لحين تحقيق التوصل الى حالة التوازن المستقر ، لذا فان صيغة المعادلة (14) تصبح بصيغة المعادلة الديناميكية الآتية :

$$-\frac{\partial^2 \mathrm{M_x}}{\partial \mathrm{x}^2} - 2\frac{\partial^2 \mathrm{M_{xy}}}{\partial \mathrm{x}\partial \mathrm{y}} - \frac{\partial^2 \mathrm{M_y}}{\partial \mathrm{y}^2} + \mathrm{D_f}\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{t}} + \mathrm{m}\frac{\partial^2 \mathrm{w}}{\partial \mathrm{t}^2} = \mathrm{q} \qquad \ldots..(15)$$

حيث ان :

$D_f$ : معامل الاخماد  $\frac{\partial w}{\partial t}$ : السرعة  m : معامل الكتلة  $\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$ : التعجيل

وباستخدام صيغة الفروقات المحددة يمكن التعبير عن السرعة عند كل زيادة وقت كما يأتي :

$$w^{o}_{(i)j} = \frac{1}{1+0.5Dv}\left[(1-0.5Dv)w^{o}_{(i)j-1} + \frac{\Delta t}{m}\left(\left(\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2}\right)_i + 2\left(\frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y}\right)_i + \left(\frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2}\right)_i + q_i\right)\right] \qquad \ldots(16)$$

كما يمكن التعبير عن قيمة الأود عند الحالة المستقرة (Static Condition) بالصيغة الآتية :

$$\sum_{k=1}^{k=j+0.5} w_{(i)k} = \sum_{k=1}^{k=j-0.5} w_{(i)k} + w^{o}_{(i)j}\Delta t \qquad \ldots..(17)$$

حيث ان :

$\overline{D}v$ : معامل اخماد اللزوجة = $\frac{D_f \Delta t}{m}$ ,  i : رقم النقطة  . j : الزيادة في الوقت  , $w^o$ : السرعة

يمكن تمثيل محددات الاسناد في الصفائح بالتعبير عن معادلات التوازن الرياضية في نقاط الاسناد والتي تتغير مع مختلف اشكال الاسناد ، بما يناظرها من صيغ الفروقات المحددة في تلك النقاط وبالاستفادة من واقع سلوك الصفيحة واسلوب تثبيتها. في حالة الصفائح ذات الإسناد البسيط تكون محددات الاسناد كما يلي .

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{w} &= 0 \\ \mathrm{M_x} &= 0 \\ \phi_{\mathrm{y}} &= 0 \end{aligned}\right] \text{ for x is constant} \qquad \left.\begin{aligned} w &= 0 \\ M_y &= 0 \\ \phi_x &= 0 \end{aligned}\right] \text{ for y is constant} \quad \ldots\ldots\ldots (18)$$

## النتائج والمناقشة Results and Discussion

تم تعريض صفيحة خرسانية مربعة الشكل ( $S_4$) بطول 2m وسمك 130mm محملة بحمل موزع بانتظام على مدى مساحة الصفيحة ، الى تأثير مستوي حراري ثابت بمقدار $600C^o$ وبمُدد تعرض مختلفة لغرض اختبار مدى تأثير مدة التعرض للحرارة العالية على تحمل الصفيحة ($S_4$) في اثناء تعرضها للحرارة العالية وبعد تبريدها الى درجات الحرارة الاعتيادية ، شكل (7) يوضح علاقة الحمل –الأود عندما يكون سطح نطاق الشد للصفيحة معرض لتأثير الحرارة العالية .

ولغرض التأكد من ان الزيادة في تحمل الصفيحة جاءت بالاساس بسبب تأثير الاكتساب في بعض خواص حديد التسليح تم اختبار الصفيحة ($S_4$) ولكن بدون تسليح وذات خرسانة اعتيادية المقاومة بنفس الخواص ومُدد التعرض للحرارة القياسية العالية ، وكما موضح في شكل (8) فقد تبين ان تحمل الصفيحة بعد التبريد ينخفض وبشكل مستمر بدون حصول اكتساب عند أي مستوي من مستويات مُدد التعرض المختلفة .

ولاختبار سلوك الصفيحة باسلوب الفحص نفسه وبمستويات الحرارة المؤثرة ونسبة التسليح نفسها ولكن باستخدام خرسانة عالية المقاومة ، تم اختبار الصفيحة( $S_5$) بخواص عالية المقاومة والموضحة في الجدول (1) ، ويبين الشكل (9) علاقات الحمل الأود لتلك الصفيحة بعد تبريدها الى درجات الحرارة الاعتيادية ، ويلاحظ ان سلوكها مشابه لسلوك الصفيحة المسلحة اعتيادية المقاومة.

**تأثير الحرارة العالية على الحمل الاقصى وحمل التشقق**

يوضح الشكل (10) تأثر الحمل الاقصى وحمل التشقق للصفيحة ($S_5$) عند التأثر بمختلف مستويات الحرارة ولثلاث حالات ، الاولى حالة الصفيحة باستخدام خرسانة اعتيادية المقاومة في اثناء مرحلة التسخين ، والثانية حالة الصفيحة باستخدام خرسانة اعتيادية المقاومة بعد التبريد الى درجات الحرارة الاعتيادية ، والثالثة حالة الصفيحة باستخدام خرسانة عالية المقاومة ايضاً بعد تبريدها الى درجات الحرارة الاعتيادية ، ويمكن بوضوح ملاحظة التناقص المستمر في قوة التحمل القصوى للحالة الاولى والاكتساب الذي يصل اعلى قيمة عند درجة حرارة $300C^0$ لكلا الحالتين الثانية والثالثة ، اما عن حمل التشقق فيلاحظ تناقص قيمته في الحالات الثلاث لكونه يعتمد على مقاومة الشد في الخرسانة والتي تنخفض بازدياد درجات الحرارة ولا يتأثر بسلوك الحديد وبالتالي لا يتأثر بنسبة الاكتساب الحاصلة في بعض خواص حديد التسليح للصفيحة المبردة الى درجات الحرارة الاعتيادية .

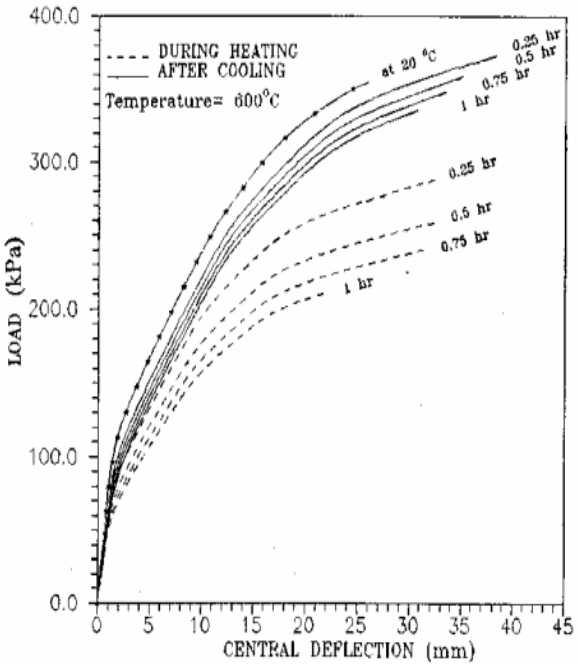
## الاستنتاجات Conclusions

من النتائج التحليلية التي تم الحصول عليها من البحث ، يمكن ادراج الاستنتاجات الآتية :-

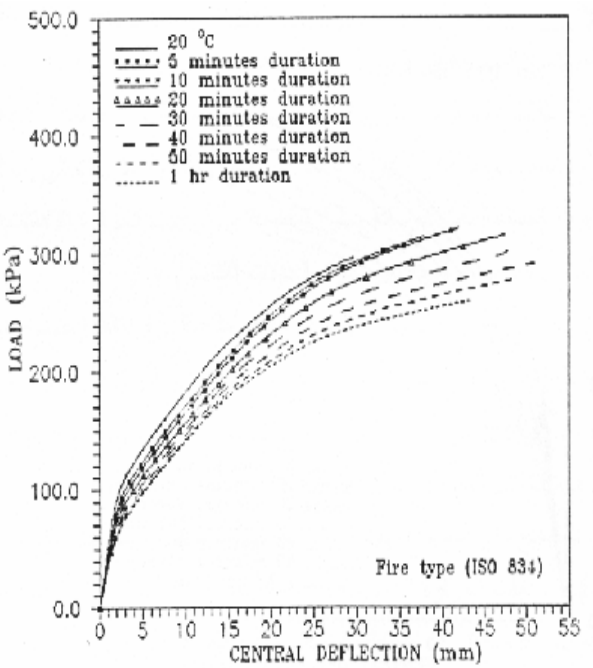
1. يستمر التناقص في تحمل الصفيحة عند تأثرها بالحرارة العالية في اثناء مرحلة التسخين بنسبة متزايدة مع زيادة مستويات الحرارة المؤثرة ومدة التعرض لها وذلك لتأثير ارتفاع درجات الحرارة السلبي على الخصائص الهندسية لمكونات الصفيحة .
2. بعد زوال الحرارة المؤثرة والتبريد الى درجات الحرارة الاعتيادية يتناقص تحمل الصفائح الخرسانية المسلحة المتأثرة بمستويات حرارة عالية عند سطح نطاق الشد ، واحياناً يحصل اكتساب نسبي في مقاومة الصفيحة وبقيمة لا تزيد عن 10% من مقاومتها الاصلية بسبب زيادة قيمة اجهاد الخضوع في الحديد تبعاً لمستوي الحرارة المؤثرة ومدة التعرض لها .
3. يكون تحمل الصفيحة بعد زوال الحرارة المؤثرة وتبريد الصفيحة الى درجات الحرارة الاعتيادية اعلى بالمقارنة مع تحملها في اثناء مرحلة التسخين بكافة مستويات الحرارة المؤثرة ومُدد التعرض لها .
4. لمقاومة الانضغاط الاصلية للخلطات الخرسانية المختلفة تاثير قليل على سلوك الصفيحة الخرسانية بعد زوال تاثرها بالحرارة العالية وتبريدها الى درجات الحرارة الاعتيادية .
5. لنوع وكمية حديد التسليح المستخدم تاثير كبير على سلوك الصفيحة الخرسانية المسلحة بعد زوال تاثرها بالحرارة العالية وتبريدها الى درجات الحرارة الاعتيادية .

**جدول (1) خصائص الصفائح**

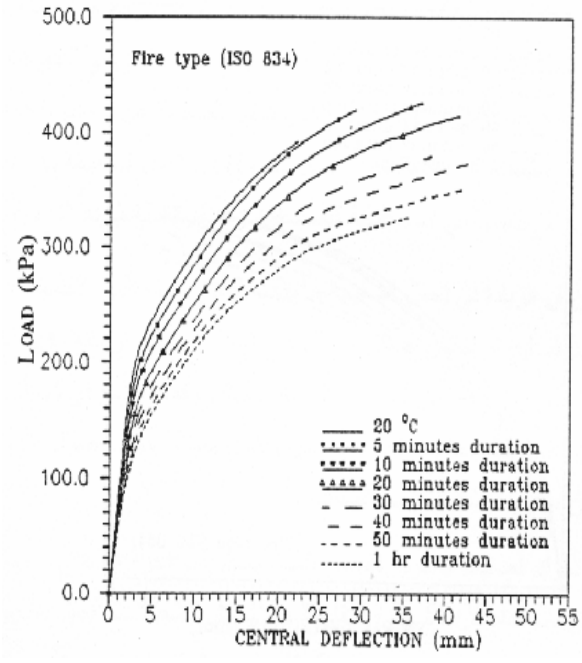
| Slab | B.C | Length (mm) | Aspect Ratio | Thick (mm) | Asx ($mm^2$) Asy ($mm^2$) | Dx(mm) Dy(mm) | Cover (mm) | Fcl (MPa) | Ec (MPa) | Ft (MPa) | No.of Layer | Mesh Size |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $S_4$ N.S.C | S.S | 2 | 1 | 130 | 1000 1000 | 108.4 108.4 | 20 | 30 | 27690 | 3.4 | 20 | 8×8 |
| $S_5$ H.S.C. | S.S | 2.4 | 1 | 140 | 1100 1100 | 118.25 118.25 | 20 | 75 | 46545 | 8.14 | 20 | 8×8 |



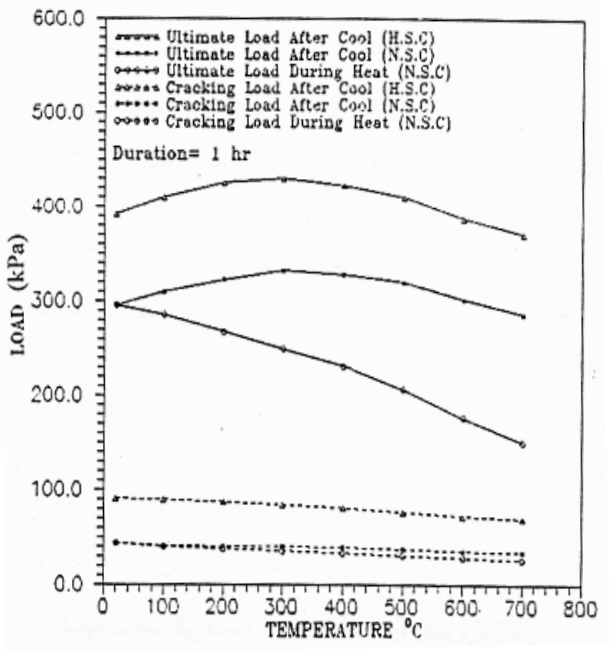

شكل (7) تاثير مدة الحريق عند سطح نطاق الشد على علاقة الحمل – الاود (S4)
(اثناء التسخين وبعد التبريد)




شكل (8) تاثير مستويات مخيلفة من الحرارة القياسية غلى حرارة الحمل – الاود
للصفيحة (S5) اعتيادية المقاومة (بعد التبريد)




شكل (9) تاثير مستويات مخيلفة من الحرارة القياسية غلى حرارة الحمل – الاود
للصفيحة (S5) عالية المقاومة (بعد التبريد)




شكل (10)علاقة الحمل – الحرارة للصفيحة (S5) اعتيادية المقاومة و عالية المقاومة (اثناء
التسخين و بعد التبريد)

## References

## المصـــادر


Park , H. and Kim , E.H. , "RC Flat Plate Under Combined In-Plane and Out-of-Plane Loads" , Journal of Structural Engineering , Vol.125, No. 10, October , 1999 , pp. 1136-1142

Mohamedbhai , G.T.G. , "Effect of Exposure Time and Rates of Heating and Cooling on Residual Strength of Heated Concrete" , Magazine of Concrete Research , Vol. 38 , No. 136 , September , 1986, PP. 151-158

Phan , L.T. and Carino , N.J. , "Review of Mechanical Properties of HSC at Elevated Temperature" Journal of Materials in Civil Engineering , February , 1998 , pp. 58-64.

Holmes , M., Anchor , R.D. , Cook , G.M.E. and Crook , R.N., "The Effect of Elevated Temperatures on the Strength Properties of Reinforcing and Prestressing Steels" , The Journal of the Institution of Structural Engineers , Vol. 60 B , No.1 , March , 1982 , pp. 7-13.

Huang , Z. , Burgess , L.W. and Plank , R.J. , " Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Slabs Subjected to Fire" , ACI Structural Journal, Vol. 96 , No.1 , July ,

Said , A.H. , "Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Thick Plates at Elevated Temperature" , M.Sc. Thesis , University of Mosul, 1999.

Krieth , F. , "Principle of Heat Transfere" Third Edition , Intext Press, 1973.

Weigler , H. and Fischer , R. , "Influence of High Temperature on Strength and Deformation of Concrete" , Concrete for Nuclear Reactors , SP-34 , American Concrete Institute , Detriot , 1972 , PP. 481-493.

Habeeb , G.M. , "Residual Mechanical Properties of High Strength Concrete Subjected to Elevated Temperatures" Ph.D. Thesis. Al-Mustansiriyah University , 2000

Liu , T.C.Y. , Nilson , A.H. and Slate , F.O. , "Biaxial Stress-Strain Relations for Concrete" , Journal of Structural Divinsion , ASCE , Vol.98 , No.ST5 , May , 1972 , pp. 1025-1034.

ACI Committee (216R-81) , "Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements" , Concrete International Design and Construction , Vol. 3 , No. 2 , February , 1981.

Hand ,F.R., Pecknold, D.A. and Schnobrich , W. C., "Nonlinear Layered Analysis of R.C. plates and Shells", Journal of the Structural Division , ASCE , Vol. 99 , No. ST7 , July , 1973 , pp. 1491-1505

Gilbert , R.I. and Warner , R.F. , "Tension Stiffening in Reinforced Concrete Slabs" , Journal of the Structural Division , ASCE , Vol.104, No.ST12 , December , 1978 , pp. 1885-1900.

Speare , P.R.S. and Kemp , K.O. , "Shear Deformation in Elastic Homogenous and Sandwich Plates" , Proc. Instu. Civ. Engrs. , Vol.61, Part2 , December , 1976 , pp. 697-710.

# RESIDUAL STRESSES OF REINFORCED CONCRETE PLATES AFTER HEATING AND COOLING

**Prof. Dr. A.H.AHMAD ***

**BAN AMEEN SHENDALA ****

**ABSTRACT**

In this study, a mathematical model simulating the behavior of reinforced concrete thick plate at elevated temperature is presented and the behavior of this plate after cooling to the ambient temperature is investigated. The modified incremental method for the nonlinear analysis in which cracking and crushing in concrete and yielding in steel is included, based on the small deflection Riessner's theory .A computer programs utilizing Finite – difference method with dynamic relaxation technique is presented to calculate the temperature distribution through out the Layered plate thickness . The program include the biaxial Loading in compression zone, and the deference effect of high temperature in tension and compression zone, as well as the original strength of concrete, area and type of reinforcement , plate thickness and concrete cover .

***Keywards: Plates , Reinforced concrete , Nonlinear analysis , High temperature***