

# The Effect Of Fire Modeling on heat Distributions In Composite columns

**Dr. Eng. IHSSAN TARSHA**  
**CIVIL ENG.**  
**AL-BAATH UNIVERSITY**

## **Abstract**

The Using of composite columns " steel – concrete " in structural civil engineering constructions has been increased, because its good capacity to bearing loads and on the other hand his advantage to fire resistance when the concrete cased the steel section which called Concrete Cased Columns .

The safely and economically design of these columns under fire is relating to determine fire modeling which produce sever heat at composite column, and so to calculate temperature in composite steel – concrete columns to employ fire modeling for the safely and economically design .

temperature distribution in a composite steel-concrete column is studied using ANSYS program which finite element employed.

**Keywords :** Composite Columns , Fire Modeling , Temperature distribution , ANSYS , Cased Columns

# تأثير موديل الحريق على توزيع الحرارة في الأعمدة المركبة

د.م إحصان الطرشة  
أستاذ بكلية الهندسة المدنية  
في جامعة البعث

## ملخص البحث :

إن استخدام الأعمدة المركبة " بيتون - فولاذ " في المنشآت الهندسية قد تزايد بسبب قدرة تحملها للحمولات من جهة ، ومقاومتها للحريق من جهة ثانية ، خاصة عندما يكون البيتون مغلفاً للمقطع الفولاذي ، والتي تسمى بالأعمدة المغلفة بالبيتون Concrete Cased Columns .

إن التصميم الآمن والاقتصادي لهذه الأعمدة عند تعرضها لحريق يتعلق بتحديد نموذج الحريق الذي يؤدي إلى حرارة عالية في العمود ، وبالتالي فإن معرفة توزيع الحرارة في الأعمدة المركبة ذات أهمية كبيرة في تحديد نموذج الحريق الذي يتم التصميم الآمن وفقه .

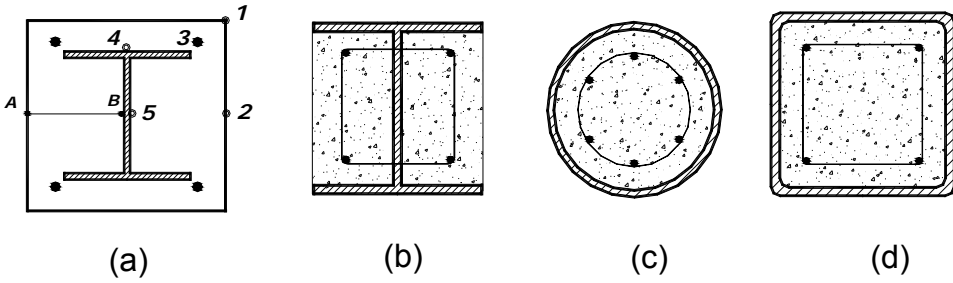
إن تقدير شدة انتشار الحرارة وبالتالي التحليل الحراري للعمود المركب سيتم باستخدام برنامج " ANSYS " الذي يعتمد طريقة العناصر المحدودة .

الكلمات المفتاحية : الأعمدة المركبة ، نموذج الحريق ، توزيع الحرارة ، الأعمدة المغلفة .

## هدف البحث :

إن معظم الدراسات الإنشائية تُعطي الأعمدة أهمية خاصة بالمقارنة مع بقية العناصر الإنشائية ، وذلك لما تشكله من خطورة إذ بانهيار أحدها يمكن أن ينهار منشأه بكامله ، ويمكن أن يكون تعرض العمود لحريق هو أحد الأسباب المؤدية لذلك الانهيار ، ومن هنا جاءت أهمية البحث عن نموذج الحريق الذي يفضل تصميم العمود المركب عليه ليكون أكثر أمناً واقتصاداً .

لقد تم تصنيف الأعمدة المركبة ، وفق معظم الكودات العالمية ، إلى عدة أصناف منها : الأعمدة المغلفة كلياً بالبيتون concrete encased section ، والمغلطة جزئياً بالبيتون partially concrete encased section ، والأعمدة المعدنية المفرغة والمملوءة بالبيتون الدائرية والمربعة concrete filled rectangular or circular steel tubes ، ويبين الشكل (1) الأنواع السابقة ، وقد اعتمدت الكودات تطبيق حريق قياسي مخبرياً وذلك للحصول على العلاقات اللازمة لتصميم الأعمدة المركبة لمقاومة الحريق .



الشكل (1)

- a - الأعمدة المغلفة كلياً بالبيتون .
- b - الأعمدة المغلفة جزئياً بالبيتون .
- c - الأعمدة المعدنية الدائرية المفرغة والمملوءة بالبيتون .

## مراحل تطور الحريق الفعلي أو الطبيعي natural fire :

إن أهم الظروف المحيطة والتي تؤثر في الحريق الفعلي وتطوره ، هي :

1- نوع وكمية المواد القابلة للاشتعال في الحجرة compartment المعرضة للحريق.

2- خصائص حمل الحريق " يمكن العودة للملحق E من EU4 " [6].

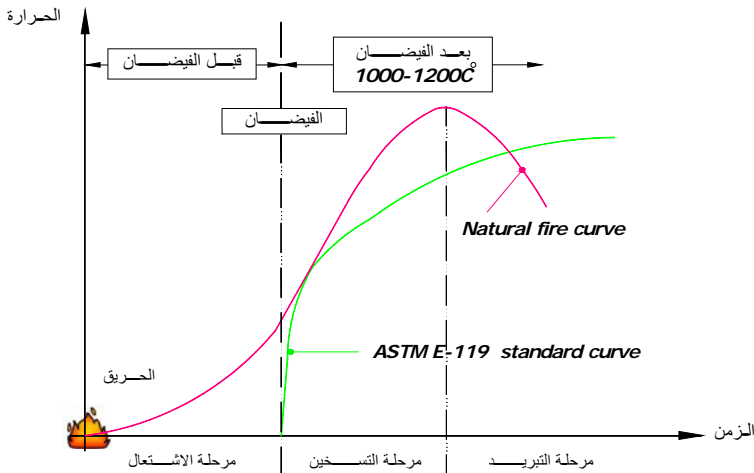
3- توزع أحمال الحريق في الحجرة المعرضة للحريق .

4- حجم وأبعاد الحجرة .

5- الخصائص الحرارية لحوائط ونوافذ هذه الحجرة .

6- ظروف التهوية وهي تحدد حجم الهواء الداخل إلى الحجرة أثناء الحريق .

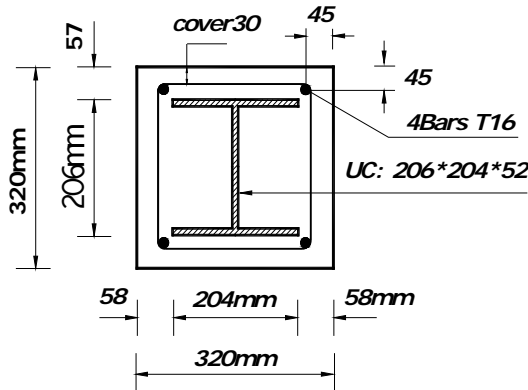
يمكن أن نتصور تطور حريق طبيعي وسرعة انتشاره في غرفة في المنزل - حيث غرفة enclosure or compartment أو حجرة تعني غرفة مغلقة أو منطقة من مساحة مفتوحة مثل ركن غرفة المعيشة أو الصالون مثلاً ، وهذه الغرف هي ما نقصده بغرفة الحريق أو حجرة الحريق - فهو يتم وفقاً لمرحلتين رئيسيتين مختلفتين في طبيعتهما ، الشكل (2) ، مرحلة ما قبل فيضان الحريق Pre-Flashover : ويحدث فيها اشتعال ignition بطيء لحمل الحريق ، وامتصاص للطاقة الحرارية من قبل أسطح الحجرة ومحتوياتها ، وانطلاق لنار داخنة بدون لهب smouldering .



الشكل (2)

مرحلة ما بعد فيضان الحريق **Post-Flashover** : والتي يمكن بدورها تقسيمها لطورين، حيث يحدث في الطور الأول انطلاق للطاقة من الأسطح المحيطة القابلة للاحتراق نتيجة الاحتراق الشديد للغازات المنبعثة من هذه الأسطح ، وبوجه عام فإن درجة الحرارة تبلغ قيمتها القصوى ، ويسمى هذا الطور التسخين heating . وبلي ذلك انخفاض في مستوى الأوكسجين في الحجرة ، وتزايد في كميات ثاني أكسيد الكربون ، وتصبح الطاقة الحرارية المتولدة غير قادرة على رفع درجة الحرارة أو على الأقل المحافظة عليها ثابتة فيبدأ الحريق بالتخامد، وتبدأ العناصر المعرضة له بالتبريد وهو الطور الثاني لهذه المرحلة أو ما يدعى التبريد Cooling [10].

يفصل بين المرحلتين السابقتين ظاهرة فيضان الحريق Flashover التي ترتفع فيها درجة الحرارة فجأة بضعة مئات من الدرجات وتشتعل الحجرة كلها باللهب .



الشكل (3)

في بحثنا هذا سندرس انتشار الحرارة في مقطع عمود مركب ، مقطعه العرضي

مبين على الشكل (3) ، ويمكن تعريضه لنماذج الحرائق fire model التالية :

- حرائق قياسية standard fire : وهي أبسط نماذج الحرائق ، حيث يتم التعبير عن الحريق بعلاقات بسيطة تربط بين الحرارة والزمن ، ومن مآخذ هذه الحرائق أنها لا تعبر بشكل أمثل عن الحرائق الحقيقية real fires حيث أن هذا الاختلاف في نسبة التسخين heating rate وشدة الحريق ومدته يمكن أن يؤدي إلى اختلاف في سلوك العنصر الإنشائي المدروس ، فتعرض العنصر لتأثير حرارة عالية خلال فترة قصيرة يمكن أن يؤدي إلى انفصال spalling البيتون المغلف للفولاذ مما يعرضه لصدمة تحت تأثير

الحرارة ، بينما تعرض العنصر الإنشائي لحرارة منخفضة ولمدة طويلة يتسبب في ارتفاع أكثر في معدل حرارة تلك العناصر مما يؤدي إلى انخفاض في مقاومتها .

إن الحرائق القياسية لا تعتبر بشكل عام أخطر الحرائق التي يمكن أن يتعرض لها العنصر ، فيمكن أن تنهار العناصر الإنشائية ، التي كانت قد صممت تحت تأثير حريق قياسي ، إذا تعرضت لحريق حقيقي . فعلى سبيل المثال ، تحتوي المكاتب الحديثة على كميات كبيرة من المواد الهيدروكربونية hydrocarbon " الزينة ، الإكساء ، الأثاث ، حاسبات ، أدوات كهربائية ، بلاستيك ، جلود اصطناعية ، ... " وجميعها تعتبر وقوداً جيداً للنار، حيث تصبح شدة الحريق في هذه المكاتب أكبر من شدة الحرائق القياسية التقليدية التي صممت عليها العناصر الإنشائية أصلاً .

ونذكر من أنواع الحرائق القياسية standard fire والمتعارف عليها عالمياً في

كودات البناء BSEN1991-1-2 و PD7974-1 [11] :

- الحريق القياسي ASTM E119 [4] : وهو حريق قياسي وفقاً للمواصفات الأمريكية لقياس أداء المواد والعناصر الإنشائية المختبرة بواسطة قياس مدة تحملها لهذا الحريق قبل الوصول إلى أول نقطة حرجة في تصرف تلك المواد أو العناصر المختبرة ويعطى بالعلاقة :

$$T_g = 750.[1 - e^{(-3,79533\sqrt{t})}] + 170,41.\sqrt{t} + T_0 \quad (1)$$

- الحريق القياسي ISO 834 [8] : وهو يعبر تماماً عن تطور حريق الحجرة compartment fire ، ومعادلته :

$$T_g = 345. \text{Log}_{10}(8.t+1) + T_0 \quad (2)$$

- الحريق الخارجي external fire : هو حريق قياسي يمكن تطبيقه على الجدران الخارجية للحجرة عند تعرضها لحريق من خارج المبنى ، ويعطى بالعلاقة :

$$T_g = 660.(1 - 0,687.e^{-0,32t} - 0,313.e^{-3,8t}) + 20 \quad (3)$$

- الحريق الهيدروكربوني hydrocarbon fire : ويعبر عن الحرائق التي وقودها الأساسي هو مواد هيدروكربونية أو سائلة ، ومعادلته :

$$T_g = 1080.(1 - 0,325.e^{-0,167t} - 0,675.e^{-2,5t}) + 20 \quad (4)$$

ولابد من الإشارة إلى أن الكود PD7974-1 اعتمد الحريق القياسي ISO 834 السابق لكنه استعاض عن الحريق الهيدروكربوني بحريقين قياسييين آخرين هما :

- حريق هيدروكربوني ذو حوض كبير large pool hydrocarbon fire :

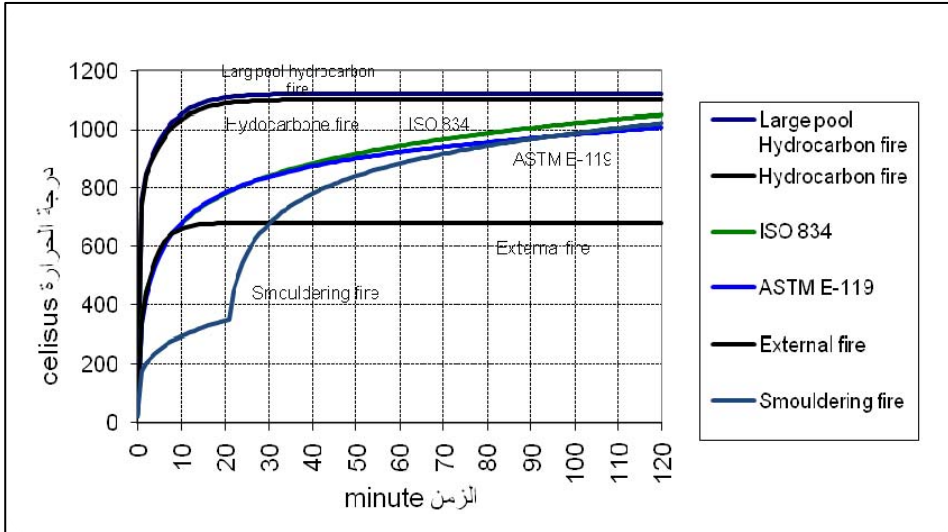
$$T_g = 1100.(1 - 0,325.e^{-0,167t} - 0,204.e^{-1,417t} - 0,471.e^{-15,833t}) + 20 \quad (5)$$

- حريق داخن بدون لهب smouldering fire ويسمى أحياناً الحريق المتزايد ببطء slow growing fire ، ويعطى بالعلاقة :

$$T_g = \begin{cases} 154.t^{0,25} + 20 & \text{for } 0 < t \leq 21 \text{ min} \\ 345.\log_{10}[B.(t - 20) + 1] + 20 & \text{for } t > 21 \text{ min} \end{cases} \quad (6)$$

حيث :

- $T_g$  - درجة حرارة حجرة الحريق أو الحرارة قرب العنصر المختبر °C .
- $T_0$  - درجة حرارة الوسط المحيط مقدرة بالدرجة المئوية Celsius ( °C ) .
- $t$  - الزمن مقدراً بالدقيقة في العلاقات (6 → 2) وبالساعة في العلاقة (1) .
- وللمقارنة بين تلك الحرائق القياسية فقد تم رسم المنحنيات البيانية لها في الشكل (4) .

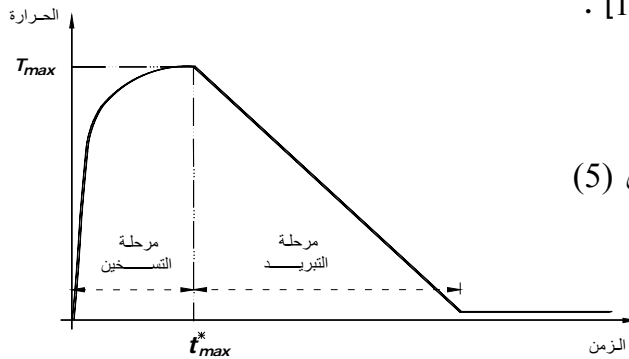


الشكل (4)

إن لارتفاع درجة الحريق مع الزمن ، الشكل (4) ، أهمية بالغة في تصميم العناصر الإنشائية ، وبالتالي وبالنظر إلى منحنيات الحريق القياسية السابقة يمكننا استبعاد الحريق الخارجي حيث أن دراستنا تقتصر على عمود مركب ، وكذلك يمكن استبعاد الحريق الداخن لضعف تأثيره وعدم خطورته ، وبسبب عدم وجود العمود ضمن مبنى سكني أو عام يمكن أن نستبعد الحرائق الهيدروكربونية بالرغم من شدتها ، كما نلاحظ أيضاً تقارباً ملحوظاً بين الحريقين القياسيين ISO 834 و ASTM E-119 وسنعمد الأخير منهما في البحث .

### • منحنيات الحريق المتغيرة Parametric Fire Curves

إن التمثيل الأفضل للحريق الطبيعي يتم بإدخال معظم المتغيرات والظروف المحيطة التي تؤثر في الحريق الفعلي ، بعلاقات رياضية ومنحنيات تعبر عن ارتفاع درجات الحرارة مع الزمن ، و بالتالي الحصول على منحنيات تتغير بتغير العوامل المؤثرة في الحريق والحصول على حريق أقرب ما يكون إلى الحريق الفعلي ، وهذا ما عبر عنه الكود Parametric Fire BSEN1991-1-2 بعلاقات تعطي منحنيات الحريق المتغير heating Curves وهي تتألف من مرحلتين ، المرحلة الأولى تسمى مرحلة التسخين phase ، وقد مثلت بمنحنٍ أسي حتى درجة الحرارة القصوى ( $T_{max}$ ) ، تليها مرحلة التبريد cooling phase والتي ترافق تناقصاً خطياً في درجة الحرارة حتى تستقر عند حرارة الهواء المحيط ambient temperature ، كما في الشكل (5) . إن شدة الحريق ( $T_{max}$ ) fire intensity ومدته ( $t_{max}^*$ ) عاملان مهمان يؤثران بشكل مباشر على سلوك العنصر خلال الحريق لذلك يعتبر هذان العاملان متغيرين أساسيين في علاقات الحريق المتغير [1] .





إن علاقات تصميم أو تمثيل الحريق المتغير هي علاقات بسيطة يمكن استخدامها ببرنامج Excel ، لكن ينبغي الأخذ بعين الاعتبار الاشتراطات التالية المحددة لصلاحيه استخدامها :

- 1- مساحة أرضية حجرة الحريق لا تزيد عن  $500m^2$  .
- 2- لا توجد فتحات في سقف الحجرة .
- 3- ارتفاع الحجرة لا يزيد عن  $4m$  .
- 4- وقود النار مؤلف بشكل أساسي من مواد سلولوزية cellulose مثل الخشب .
- 5- العطالة الحرارية thermal inertia لحجرة الحريق المبطنة هي ضمن المجال  $100 \text{ and } 2200 \text{ J/m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}$

\*\* - تعطى منحنيات الحريق المتغير مع الزمن في مرحلة التسخين بالعلاقة التالية :

$$T_g = 20 + 1325.(1 - 0,324.e^{-0,2t^*} - 0,204.e^{-1,7t^*} - 0,472.e^{-19t^*}) \quad (7)$$

حيث :

$T_g$  - هي حرارة الهواء في حجرة الحريق  $[C^\circ]$  .

$t$  - الزمن  $[H]$  .

$$t^* = t.\Gamma$$

$$\Gamma = [O/b]^2 / (0,04/1160)^2$$

$$b = \sqrt{(\rho.C.\lambda)} \quad ; \quad 100 \leq b \leq 2200 \quad [J/m^2s^{0,5}K]$$

$\rho$  - كثافة مادة جدران حجرة الحريق  $[kg/m^3]$  .

$C$  - الحرارة النوعية لمادة جدران حجرة الحريق  $[J/kgK]$  .

$\lambda$  - الناقلية الحرارية لمادة جدران حجرة الحريق  $[W/mK]$  .

$O$  - معامل الفتحات  $[m^{1/2}]$  ، ويعطى بالعلاقة :  $A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t$  ، وقيمته تحدد ضمن

المجال :  $0,02 \leq O \leq 0,20$  .

$A_v$  - المساحة الإجمالية لفتحات جدران الحجرة  $[m^2]$  .

$h_{eq}$  - الارتفاع الوسطي لتلك الفتحات  $[m]$  .

$A_t$  - المساحة الإجمالية للحجرة " سطح ، أرضية ، جدران بما فيها الفتحات " .

ملاحظة :

- قيم  $b$  ,  $\rho$  ,  $C$  ,  $\lambda$  تؤخذ وفقاً لحرارة الوسط المحيط Ambient Temperature .

- عندما :  $\Gamma = 1$  ، تتطابق العلاقة (7) مع منحي الحريق القياسي (2) .

إن درجة الحرارة العظمى في مرحلة التسخين  $T_{\max} [h]$  تحدث عندما يكون  $t^* = t_{\max}^*$  ،  
حيث :  $[H]$   $t_{\max}^* = t_{\max} \cdot \Gamma$  ، أما  $t_{\max}$  فهي :

$$t_{\max} = \max[(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O) ; t_{\lim}]$$

حيث :

$q_{t,d}$  - شدة حمل الحريق التصميمية المرتبطة بالمساحة الإجمالية للحجرة  $A_t$  ، وتعطى  
بالعلاقة :

$$q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t \quad [MJ/m^2]$$

وقيما محصورة ضمن المجال :  $50 \leq q_{t,d} \leq 1000 \quad [MJ/m^2]$

$q_{f,d}$  - شدة حمل الحريق التصميمية المرتبطة بمساحة أرضية الحجرة  $A_f$  ، وتعطى  
بالعلاقة :  $[MJ/m^2]$   $q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n$  [ المدرجة في الملحق E من  
[ EU4 part 1-2

$t_{\lim}$  - درجة الحرارة الحدية ، وتأخذ إحدى القيم التالية :  $15 - 20 - 25 \text{ min}$   
في حالة نمو الحريق بشكل سريع ومتوسط وبطيء على التوالي .

\*\* - أما مرحلة التبريد فتعطى بالعلاقات التالية :

$$T_g = T_{\max} - 625 \cdot (t^* - t_{\max}^* \cdot x) \quad \text{for} \quad t_{\max}^* \leq 0,5$$

$$T_g = T_{\max} - 250 \cdot (3 - t_{\max}^*) \cdot (t^* - t_{\max}^* \cdot x) \quad \text{for} \quad 0,5 < t_{\max}^* \leq 2$$

$$T_g = T_{\max} - 250 \cdot (t^* - t_{\max}^* \cdot x) \quad \text{for} \quad t_{\max}^* \geq 2$$

حيث :

$$x = 1,0 \quad \text{if} \quad t_{\max} > t_{\lim} \quad \text{or} \quad x = t_{\lim} \cdot \Gamma / t_{\max}^* \quad \text{if} \quad t_{\max} = t_{\lim}$$

أثناء التطبيق العملي لهذا البحث تم أخذ معطيات الحريق المتغير وإدراجها في الجدول  
(1) ، ثم تم إدخال كافة المتغيرات في ورقة Excel بعد الأخذ بعين الاعتبار كافة  
الشروط التي نص عليها الكود EU4 part 1-2 ، بعد تطبيق هذه العلاقات حصلنا على  
مخطط تغير الحرارة مع الزمن الشكل (6) وهو يمثل منحنى الحريق المتغير الذي سنجري  
الدراسة عليه .

وهنا لابد أن ننوه إلى أنه في منحنى الحريق المتغير تم أخذ ما يلي بعين الاعتبار :

- سطح الحجرة enclosure surface مؤلف من طبقة من مادة واحدة وليس من عدة طبقات من مواد مختلفة .
- للجدران نفس المادة الإنشائية وهي مكونة من طبقة واحدة ، وبالتالي لها نفس المعاملات الحرارية ( $\rho ; C ; \lambda$ ) ، مما يعني أن المعامل  $b$  ثابت .

الجدول (1) : مدخلات منحنى الحريق المتغير .

القيمة	الوحدة	Parameter	المتحول
0.10717	$[m^{0.5}]$	Opening Factor	معامل التهوية ( $O$ )
1135	$[MJ/m^2]$	Fire Load	حمل الحريق ( $q_{f,d}$ )
1200	$[J/m^2.S^{0.5}.K]$	Thermal Inertia	العطالة الحرارية للجدران ( $b$ )
150	$[m^2]$	Floor Area	مساحة أرضية الحجرة ( $A_f$ )
400	$[m^2]$	Total Area	المساحة الكلية للحجرة ( $A_t$ )



الشكل (6)

## الخواص الحرارية للمواد المستخدمة [6] :

### الفولاذ :

• معامل الناقلية الحرارية Thermal Conductivity Coefficient  $[\lambda_a \text{ W / m K}]$  لحديد التسليح والفولاذ الإنشائي يمكن اعتبارها واحدة وتحدد بالعلاقات :

$$20^\circ \text{C} \leq T_a < 800^\circ \text{C} \Rightarrow \lambda_a = 54 - 3,33 \cdot 10^{-2} \cdot T_a \quad [\text{W / m K}]$$

$$800^\circ \text{C} \leq T_a \leq 1200^\circ \text{C} \Rightarrow \lambda_a = 27,3 \quad [\text{W / m K}]$$

حيث :

$T_a$  - درجة حرارة الفولاذ .

• الحرارة النوعية Specific Heat  $[C_a \text{ J / kg K}]$  لحديد التسليح والفولاذ الإنشائي وتحدد بالعلاقات التالية :

$$20^\circ \text{C} \leq T_a < 600^\circ \text{C} \Rightarrow C_a = 425 + 7,73 \cdot 10^{-1} \cdot T_a - 1,69 \cdot 10^{-3} \cdot T_a^2 + 2,22 \cdot 10^{-6} \cdot T_a^3$$

$$600^\circ \text{C} \leq T_a < 735^\circ \text{C} \Rightarrow C_a = 666 + 13002 / (738 - T_a)$$

$$735^\circ \text{C} \leq T_a < 900^\circ \text{C} \Rightarrow C_a = 545 + 17820 / (T_a - 731)$$

$$900^\circ \text{C} \leq T_a < 1200^\circ \text{C} \Rightarrow C_a = 650$$

### البيتون :

- معامل الناقلية الحرارية  $[\lambda_c \text{ W / m K}]$  للبيتون الطبيعي normal weight المستخدم في العمود المركب يعين من العلاقات التالية والتي تعطي الحد الأعلى :

$$\lambda_c = 2 - 0,2451 \cdot \left( \frac{T_c}{100} \right) + 0,0107 \cdot \left( \frac{T_c}{100} \right)^2$$

وذلك من أجل :  $0^\circ \text{C} \leq T_c \leq 1200^\circ \text{C}$

حيث :

$T_c$  - درجة حرارة البيتون .

- الحرارة النوعية  $[C_c \text{ J / kg K}]$  للبيتون الطبيعي يمكن تحديدها وفقاً لتغير درجة الحرارة بالعلاقات التالية :

$$C_c = 890 + 56,2 \cdot \left( \frac{T_c}{100} \right) + 3,4 \cdot \left( \frac{T_c}{100} \right)^2$$

أما بقية الخواص الحرارية للبيتون المستخدم والفولاذ فقد اعتبرت ثابتة أي لا تتغير بغير درجات الحرارة وهي مدرجة في الجدول (2) .

الجدول (2) : الخواص الحرارية للمواد [6] .

الفلواز	البيتون	الوحدة	
0.50	0.70	-----	معامل الانبعاث أو الإشعاع $\epsilon_{res}$ Emissivity Coefficient
5,6703.10 <sup>-8</sup>		W/m <sup>2</sup> .k <sup>4</sup>	ثابت ستيفان - بولتزمان $\sigma$ Stefan- Boltzmann constant
20		°C	حرارة الوسط المحيط $T_0$ Ambient Temperature
7850	2300	kg / m <sup>3</sup>	الكثافة $\rho$ Mass Density
ASTM E-119 : 25		W/ m <sup>2</sup> .k	معامل الحمل $\alpha$ Convection Coefficient
Parametric fire : 35			

### طرق انتقال الحرارة :

تنتقل الطاقة الحرارية بالطرق الثلاث التالية [9] :

1- التوصيل ( Conduction ) : حيث يتم انتقال الحرارة في المادة من ذرة إلى أخرى مع بقاء الذرات في أماكنها .

$$Q_1 = \lambda . A_{contact} . \Delta T / L$$

2- الحمل ( Convection ) : وفيه يتم انتقال الحرارة على شكل تيارات تدعى بتيارات الحمل .

$$Q_c = \alpha . (T_g - T_s)$$

3- الإشعاع ( Radiation ) : انتقال الحرارة وفقه لا يتطلب وسطاً مادياً للانتشار .

$$Q_r = \epsilon_{res} . \sigma . A . (T_g^4 - T_s^4)$$

حيث :

$\Delta T$  - الفرق بين درجتي حرارة السطحين المتلامسين بمساحة تلامس  $A_{contact}$  .

$T_g$  - درجة حرارة الحريق .

$T_s$  - درجة حرارة السطح المتلقي للحرارة ، البيتون والفولاذ مثلاً .

$A$  - مساحة السطح المُتلقى للحرارة .

وفي مسألتنا هذه سيتم انتقال حرارة الحريق عبر السطح الخارجي للعمود المركب بالحمل والإشعاع نظراً لتعرض العمود المركب المدروس للحريق مباشرة وبالتالي ستكون نسبة تدفق الحرارة في واحدة السطح من العمود هي :

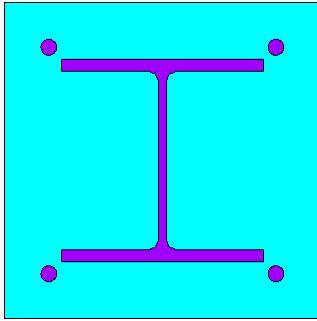
$$Q = Q_r + Q_c = \varepsilon_{res} \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_g^4 - T_s^4) + \alpha \cdot (T_g - T_s)$$

### النمذجة :

لقد تم تعيين انتشار الحرارة في المقطع العرضي للعمود المدروس باستخدام برنامج التحليل الإنشائي ANSYS الذي يعتمد العناصر المحدودة Finite Elements وهو مؤهل لحل مثل هذه المسائل بدقة موثقة بالتجارب المخبرية ، نظراً لإمكانيته المتميزة في النمذجة والتحليل الإنشائي والحراري على حد سواء ، وتمت نمذجة المسألة المدروسة وفق المراحل التالية [5] :

1. مرحلة ما قبل المعالجة " pre-processing " : في هذه المرحلة تم بناء نموذج

عددي وتضمنت بشكل أساسي :



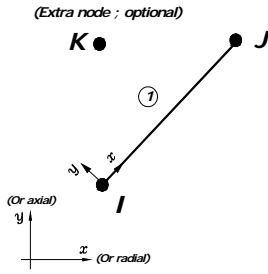
• نمذجة الشكل الهندسي للعمود المركب المدروس ، الشكل (7) ، حيث تمت نمذجة حديد التسليح 4T16mm والحديد الإنشائي والبيتون بشكل كامل بشبكة من العناصر الثلاثية تعبر عن كامل الشكل الهندسي للعمود المدروس .

الشكل (7)

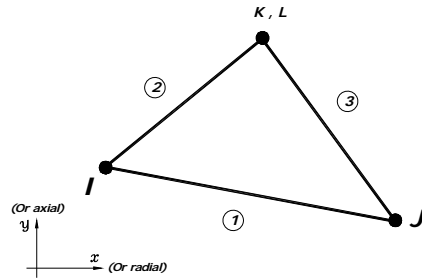
• تعريف الخواص الحرارية للمواد المستخدمة ، الناقلية الحرارية والحرارة النوعية ، وقد تم إدخالها كتوابع لتغير درجة الحرارة مع الزمن . أما بقية الخواص فقد أهمل تغييرها بتغير درجة الحرارة وهي مدرجة في الجدول (2) .

• اختيار العنصر المحدود من مكتبة البرنامج ANSYS ، حيث تم اختيار العنصر المحدود (PLANE 55-2D thermal solid element) الذي يستعمل كعنصر مستوي plane element له القدرة على النقل الحراري في المستوي ، أي وفق المحورين  $x$  و  $y$  ، الشكل (8) ، وللتعرف على خواص هذا العنصر بالتفصيل يمكن العودة إلى مكتبة البرنامج [5] . وهذا العنصر استخدم بأربع عقد لكل منها درجة حرية واحدة . وتم أيضاً اختيار العنصر (SURF 151-2D thermal surface effect) بشكله الخطي والذي يمكن استعماله في التحليل الحراري المستوي من أجل حمولات مختلفة مؤثرة على السطح في وقت واحد ، ويمكن أن يغطي " overlaid " سطح العنصر PLANE 55 ليحاكي Simulate انتقال حرارة الحريق بالحمل والإشعاع [5] .

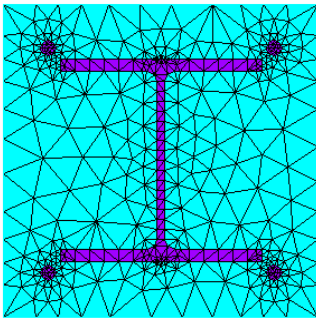
يمكن تعريف هذا العنصر أو تحديده بعقدتين إلى أربع عقد ، وبخواص المادة الحرارية ( الكثافة - القدرة الإشعاعية للسطح ) ( density-Emissivity) . هذا ويمكن استعمال عقدة إضافية Extra node بعيدة عن العنصر الأساسي لدراسة تأثيرات انتقال الحرارة بالحمل والإشعاع ، الشكل (9) .



الشكل (9)



الشكل (8)



الشكل (10)

• توليد الشبكة " Mesh Generation " واختيار نعومتها وذلك بشكل تفاعلي في البرنامج ، حيث يتم تقسيم المقطع العرضي المدروس إلى مجموعة من العناصر المحدودة الثلاثية PLANE-55 triangular ، الشكل (10) .

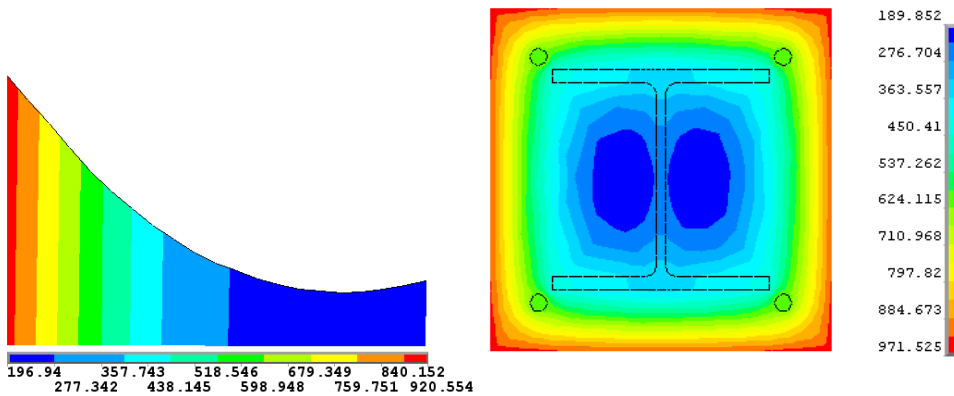
2. مرحلة المعالجة processing : في هذه المرحلة تم استخدام التحليل الحراري العابر للاختي nonlinear transient thermal analysis من أجل تعيين توزيع وانتشار الحرارة في المقطع العرضي للعمود المركب المدروس .
3. مرحلة ما بعد المعالجة " post-processing " : وهي المرحلة التي يقوم البرنامج فيها بإظهار النتائج بأشكال مختلفة وبطرق عدة وفقاً لرغبة المستثمر .

### نتائج الحل الحاسوبي :

لقد تمت معالجة المسألة المدروسة بتطبيق حمولة كل من الحريقين كتابعين يعبران عن منحنيي الحريقين ASTM E119 و Parametric Fire Curves ، على المحيط الخارجي المغلف لمقطع العمود المركب المدروس ، أي على العنصر -151 (SURF 2D) . وحصلنا على النتائج التي تم ترتيبها كما يلي :

#### 1- توزيع الحرارة في المقطع العرضي للعمود المركب من تأثير ASTM E119 :

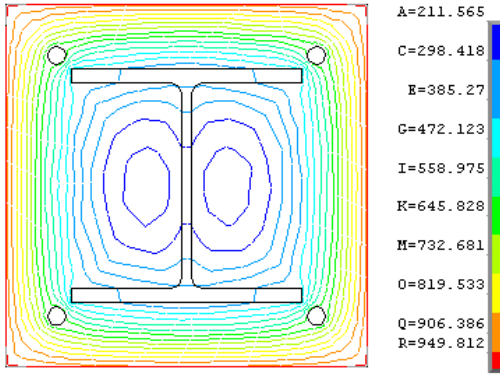
إن توزيع الحرارة في المقطع العرضي المدروس بعد مرور (90) دقيقة من تطبيق الحريق ASTM E119 يوضحه الشكل (11) ، أما الشكل (12) فيمثل توزيع الحرارة وفق المسار A-B ، المبين في الشكل (a-1) ، عند الزمن (90) دقيقة .



الشكل (12)

الشكل (11)

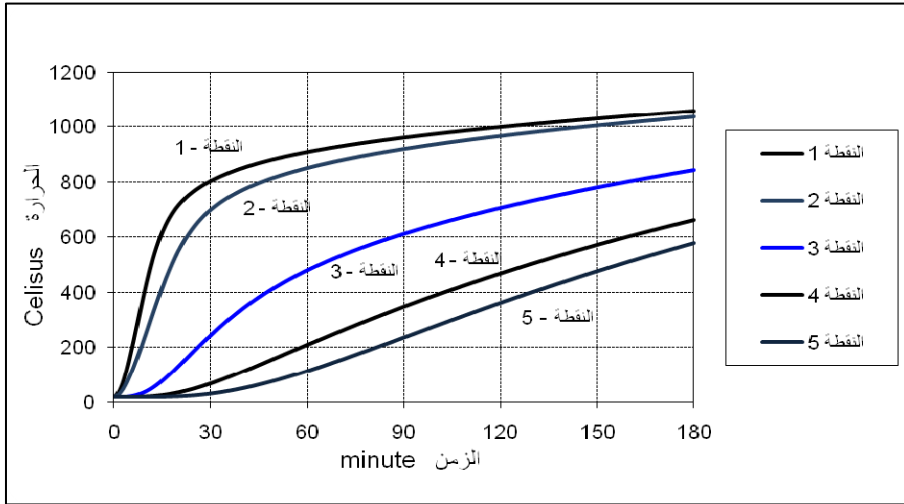




أما مسارات تساوي الحرارة في المقطع العرضي للعمود ، بعد (90) دقيقة من تطبيق الحريق ، فهي مبينة في الشكل (13) .

الشكل (13)

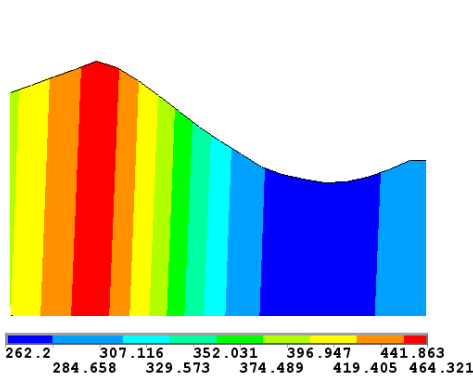
وكذلك الشكل (14) يمثل استجابة النقاط (5 → 1) عند تغير درجة حرارة الحريق القياسي ASTM E-119 مع الزمن حتى 180 دقيقة .



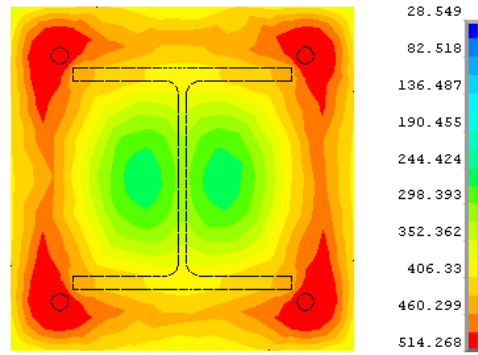
الشكل (14)

2- توزيع الحرارة في المقطع العرضي للعمود المركب من تأثير Parametric Fire Curves :

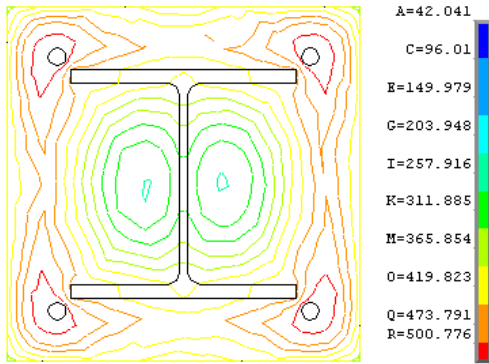
يوضح الشكل (15) انتشار الحرارة في المقطع العرضي المدروس بعد مرور (90) دقيقة من تطبيق الحريق Parametric Fire Curves ، أما الشكل (16) فيمثل تغير درجة حرارة وفق المسار A-B ، المبين في الشكل (a-1) ، عند الزمن (90) دقيقة .



الشكل (16)



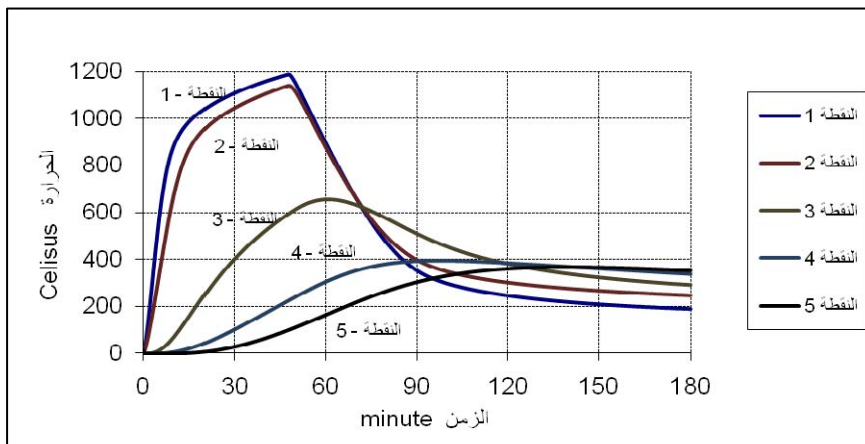
الشكل (15)



أما مسارات تساوي الحرارة في المقطع العرضي للعمود ، بعد (90) دقيقة من تطبيق الحريق ، فهي مبينة في الشكل (17) .

الشكل (17)

كما يمثل الشكل (18) استجابة النقاط (1 → 5) عند تغير درجة حرارة الحريق Parametric Fire Curves مع الزمن حتى 180 دقيقة أيضاً .



الشكل (18)

## النتائج :

النتائج الأساسية التي تم الحصول عليها يمكن تلخيصها بالتالي :

1. استخدام برنامج التحليل الإنشائي ANSYS الذي يعتمد العناصر المحدودة في بنيته وذلك في دراسة استجابة العناصر الإنشائية ويعطي تصوراً واضحاً لانتشار الحرارة في المقطع العرضي .

2. إمكانية نمذجة موديلات الحريق المختلفة باستخدام برنامج ANSYS ، حيث تمت نمذجة الحريقين Parametric Fire Curves و ASTM E-119 اللذين تم استخدامها في البحث .

3. من الشكلين (14) و (18) نجد أن الحرارة العظمى في المقطع العرضي عند الزمن (49) دقيقة هي (881) درجة مئوية من الحريق القياسي ASTM E-119 ، بينما من Parametric Fire Curves تبلغ (1170) درجة مئوية عند الزمن نفسه ، مما يؤدي إلى تفتت بيتون التغطية وبالتالي زيادة في تعرض الفولاذ للحريق وهذا ما يسبب انخفاضاً في قدرة تحمل العمود ، وبالتالي فإن تصميم الأعمدة على منحني قياسي يصبح تصميمياً محافظاً . لذلك يفضل التصميم على حريق Parametric Fire Curves .

4. إن تغير درجة الحرارة وفق المسار A-B ، الشكل (16) ، يظهر لنا بأن درجة الحرارة تصبح في النقاط الداخلية للمقطع أكبر منها في النقاط الواقعة على المحيط ، وذلك لأن منحنى الحريق يبدأ بمرحلة التبريد ، أي تبدأ درجات الحرارة في النقاط الواقعة على السطح بالانخفاض ، بينما تبدأ في الداخل بالتزايد باتجاه المركز بسبب انتقال الحرارة في مرحلة التسخين بالتلامس أو التوصيل Conduction بين جزيئات المادة .

## References

- 1- Tom Lennon, David Moore. The natural fire safety concept—full-scale tests at Cardington. Fire Safety Journal , 2003, 38(7): 623 – 643
- 2- P Schaumann. Improvements of fire design methods for composite construction based on general calculation models. Progress in Steel Building Structures, 2004, 6(3): 31-36(in Chinese)
- 3- Effect of support conditions on steel beams exposed of fire : Andrew H. Buchanan , A research project report presented Department of Civil Engineering University of Canterbury Christchurch, New Zealand, 2004 .
- 4- ASTM International (2004), Volume 04.11 Building Constructions (I):E 119.
- 5- ANSYS , Theory Reference . Release 5.4 Edited by Peter Konhke, PhD, 2004.
- 6- Eurocode 4, Structural Steelwork Eurocodes Development of a Trans-National Approach ,2001 .
- 7- FIRE DESIGN OF STEEL MEMBERS : Prof. Andrew H. Buchanan , A research project report presented Department of Civil Engineering University of Canterbury Christchurch, New Zealand, 2000 .
- 8- The Effect of Support Conditions on the Fire Resistance of a Reinforced Concrete Beam : Daniela Bernhart , report for the Degree of Diplom-Bauingenieurin at the University of Karlsruhe , 2004.
- 9- A HEAT TRANSFER RXTBOOK : Prof. John H. Lienhard IV & Prof. John H. Lienhard V , published by phlogiston press , Cambridge, Massachusetts, U.S.A. 2008 .
- 10- T T Lie, B Celikkol. Method to calculate the fire resistance of circular reinforced concrete columns. ACI, Material Journal, 1991, 88(1): 84-91.
- 11- Ihssan Tarsha, Thermal Analysis due Standard Fire, Journal of AL-Baath University, Vol.30,2008.

12 - حرائق المنشآت الخرسانية ، الحكم عليها وإصلاحها - تصميم المنشآت الآمنة من الحريق ، أ. د شريف أبو المجد ، أ. د حسن حسنى ، شركة الفتح للطباعة 1994 .