

# Thermal Analysis due Standard Fire

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

## **Abstract**

Calculation of fire resistance for any structural member divided in two independent steps . The first step involves predicting the temperature distribution inside the structural members, referred to as '*thermal analysis*'. The second step of the analysis, termed the '*structural analysis*', is carried out for the main purpose of determining the response of the structure due to static and thermal loading. The first stages of analysis are discussed in this paper.

using finite element method by a structural analysis program " ANSYS "

Keywords : Thermal Analysis , Standard fire ,Thermal Diffusivity,  
ANSYS, Conduction , Convection .

# التحليل الحراري تحت تأثير حريق قياسي

دم إحسان الطرشة

أستاذ بكلية الهندسة المدنية

في جامعة البعث

## ملخص البحث :

إن حساب مقاومة أي عنصر إنشائي للحريق يتم وفق مرحلتين مستقلتين ، تتضمن المرحلة الأولى التنبؤ بشكل توزيع الحرارة داخل العنصر الإنشائي وتسمى بالتحليل الحراري " *thermal analysis* " ، ثم تليها المرحلة الثانية وهي التحليل الإنشائي " *Structural analysis* " ، والتي تجرى لهدف أساسي هو تعيين استجابة العنصر الإنشائي تحت تأثير الحمولات الستاتيكية وغيرها والحمولات الحرارية .

إن التحليل الحراري باستخدام برنامج البرنامج " ANSYS " الذي يعتمد طريقة العناصر المحدودة هو هدف هذا البحث .

الكلمات المفتاحية : التحليل الحراري ، الحريق القياسي ، انتشار الحرارة ، التوصيل الحراري ، الحمل الحراري .

## هدف البحث :

لقد تم إجراء العديد من التجارب في مراكز بحثية عالمية لدراسة توزيع الحرارة داخل القطاعات البيتونية أو الفولاذية أو المركبة " بيتون وفولاذ " تحت تأثير حرائق قياسية ، كما تم تعيين سرعة انتشار الحرارة وكيفية توزيعها داخل مختلف تلك القطاعات وكيفية تقدير درجات الحرارة على أعماق مختلفة داخل القطاع إذا علمت مدة الحريق ، وذلك لعناصر إنشائية مختلفة " عمود - بلاطة- جائر .. " ورسمت مخططات تبين التدرج الحراري في أعماق مقاطع تلك العناصر تحت تأثير حرائق قياسية ، حيث وجد اختلاف ملحوظ في تلك المخططات ويعزى هذا إلى الاختلاف في النتائج التجريبية

لتلك المراكز من حيث الاختلاف في منحنى الحريق المستخدم وأبعاد العنصر المدروس والمواصفات القياسية للاختبار والعمق الذي يمكن قياس الحرارة فيه [9] .

في بحثنا هذا سوف ندرس توزيع الحرارة ضمن أربعة مقاطع هي : مقطع بيتوني ، الشكل (1) ، مقطع فولاذي ، الشكل (2) ، مقطع مركب من الفولاذ والبيتون Composite section ، الشكل (3) ، ومقطع صندوق فولاذي مليء بالبيتون Concrete encased ، الشكل (4) ، معرضة لحريق قياسي ISO 834 معادلته :

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

حيث :

t - الزمن مقدراً بالدقيقة .

T<sub>0</sub> - درجة حرارة الوسط المحيط مقدرة بالدرجة المئوية Celsius (C°) .

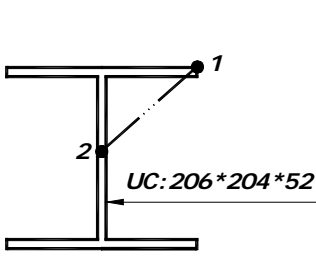
ولقد تم أخذ الخواص الحرارية للمواد المستخدمة ( من البيتون والفولاذ ) كقيم ثابتة للتبسيط حيث لم يؤخذ تغير تلك الخواص مع تغير درجات الحرارة وذلك وفقاً لما جاء في EC 3-4 ، وقد أدرجت هذه الخواص في الجدول (1) .

الجدول (1) : الخواص الحرارية للمواد [6] .

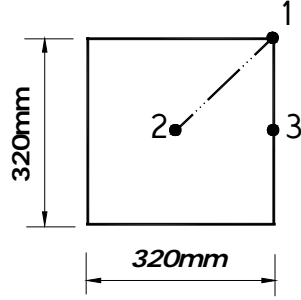
الفولاذ	البيتون	الوحدة	
45	1.6	W/ m °C	معامل التوصيل الحراري λ Thermal Conductivity Coefficient
600	1000	J / kg °C	الحرارة النوعية C Specific Heat
25	25	W/ m <sup>2</sup> °C	معامل الحمل او النقل الحراري α Convection Coefficient
0.50	0.50	-----	معامل الانبعاث أو الاطلاق أو الإشعاع ε <sub>res</sub> Emissivity Coefficient
5,6703.10 <sup>-8</sup>		W/m <sup>2</sup> .k <sup>4</sup>	ثابت ستيفان - بولتزمان σ Stefan- Boltzmann constant
20		°C	حرارة الوسط المحيط T <sub>0</sub> Ambient Temperature
7850	2500	kg / m <sup>3</sup>	الكثافة ρ Mass Density

ملاحظة (1):

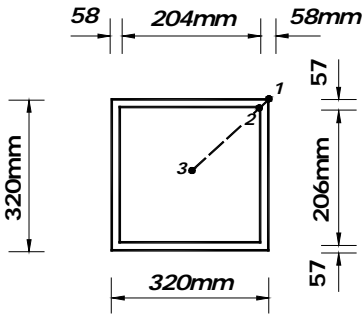
إن المعاملات الحرارية المدرجة في الجدول السابق هي للبيتون ذي الوزن الحتمي الاعتيادي (NC) وليست للبيتون الخفيف light-weight . (LC)



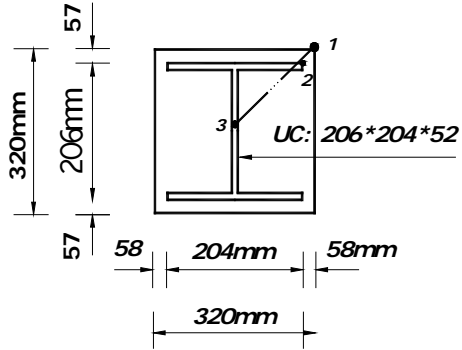
الشكل (2)



الشكل (1)



الشكل (4)



الشكل (3)

التحليل الحراري :

تصل درجات الحرارة أثناء الحريق داخل المباني - وهي الدرجات التي سجلت فعلاً - إلى 900 درجة مئوية وقد تصل إلى  $1000\text{ C}^0$  حسب حمل الحريق ولكن لحسن الحظ فإن معامل انتشار الحرارة في البيتون Thermal Diffusivity [قابلية التوصيل الحراري أو سرعة المادة في نقل الحرارة من المنبع الحراري بالاتجاه الآخر] لا تزيد عن  $1\text{ m}^2/\text{sec}$  ، وذلك دون أخذ مقاومته المميزة ومحتوى الرطوبة فيه وطبيعة المواد الحصوية واكتنازه وأبعاد مقطعه وعدد الوجوه المعرضة للحريق ... وغير ذلك من العوامل

بعين الاعتبار ، ولهذا لا تنتشر الحرارة السطحية العالية جداً بشكل متساوٍ في كامل المقطع العرضي للعنصر الإنشائي حيث يمكن أن ترتفع حرارة السطح إلى  $900\text{ C}^0$  ويتحول لونها إلى اللون الكريمي [ الأصفر البرتقالي buff - حسب نوعية المواد الحصوية ] ، أما درجة حرارة البيتون على عمق سنتيمترات قليلة فقد لا تصل إلى  $300\text{ C}^0$  ، وبذلك لا يحدث تدهور خطير في حالتها ، ولكن يلاحظ أن معامل انتشار الحرارة يقل إلى النصف عندما ترتفع درجة الحرارة إلى  $500\text{ C}^0$  ، وفي الحرائق التي تدوم مدة قصيرة جداً قد يظهر اللون الكريمي على طبقات البيتون السطحية لكن البيتون على عمق ملليمترات قد لا يتحول لونه إلى اللون الوردي ، وهذا يعني أن تأثير الحرائق القصيرة - مهما ارتفعت درجة حرارتها - يكاد يكون محصوراً في الطبقات السطحية . فخلال تعريض العنصر لحريق ما تتحرك خطوط تساوي درجات الحرارة temperature contours من السطح المعرض للحرارة باتجاه الجزء الأبرد أي باتجاه الداخل [10] [11].

إن سرعة انتشار الحرارة داخل مقطع أي عنصر إنشائي تختلف تبعاً للمادة الإنشائية المصنوع منها ذلك العنصر وذلك وفقاً لخواصها الميكانيكية والحرارية التي تتغير بتغير درجات الحرارة وما يرافق ذلك من انخفاض في مقاومته تبعاً لارتفاع درجات الحرارة مع الزمن والأحمال الفعلية المطبقة وعلاقتها بالأحمال التصميمية وشكل الاستناد وعدد الوجوه المعرضة للحريق ... وغير ذلك من العوامل ، حيث إن انتشار الحرارة في مقاطع العناصر الإنشائية الفولاذية سيكون سريعاً مقارنة بانتشار الحرارة ضمن مقطع البيتون وسيكون أبطء فيما لو تم عزل المقطع الفولاذي بمادة عازلة حرارياً مثل اللباد ، الصوف الزجاجي ، الصوف الصخري ، البيتون الرغوي وغيره.

#### • طرق التحليل الحراري :

لحساب القيمة المتوقعة لارتفاع درجة حرارة سطح عنصر فولاذي معرض لحريق نظامي تستخدم طرق حسابية عديدة تعتمد على مبادئ نظرية انتقال الحرارة " Spreadsheet method " ومنها الطريقة الجدولية " heat transfer theory "

المقترحة من قبل " Buchanan 1999 " [7]. وكذلك الطريقة التي أوصي باستخدامها في المؤتمر الأوروبي للمنشآت الفولاذية (ECCS) عام 1983 ، والتي تم تعديلها مرات عدة لتأخذ بعين الاعتبار وجود عزل حراري خفيف أو ثقيل " light or heavy heat protection " للعنصر الفولاذي المدروس .

ويعطي الكود الأوروبي : EC3 , 1-2 ENV 1993 & EC4 , 1-2 ENV 1994 ، معادلات لتعيين تغير درجة حرارة العناصر الفولاذية المركبة المحمية وغير المحمية " protected or un protected " في خطوات زمنية محددة يوافقها تغير في درجة حرارة المنبع الحراري والذي يمكن أن يكون أحد أنواع الحرائق المذكورة سابقاً .

من محاسن هذه الطرق سهولة نمذجة معادلاتها ببرنامج الجداول Excel ، ومن عيوبها أنها تعطي الحرارة المتوقعة لسطح العنصر المعرض للحريق ولا تبين كيفية انتشار الحرارة داخل مقطع العنصر المدروس ، ولا تأخذ بعين الاعتبار تأثير الأبعاد الهندسية الحقيقية للمقطع ذلك لأنها تعتمد على طريقة تجمع الكتلة " lumped mass approach " ، ولا تدرس تأثير تغير الخواص الحرارية لمادة العنصر المدروس مع ارتفاع درجة حرارته [8] .

ومن الطرق ذات الانتشار الواسع ، والتي أدت إلى الحد من استخدام الطرق السابقة ، هي الطرق المعتمدة على استخدام العناصر المحدودة في برامج حاسوبية متطورة نستطيع من خلالها نمذجة أي حريق قياسي أو حقيقي ومعرفة كيفية انتشار الحرارة في أي مقطع عرضي لأية مادة ذات خواص ميكانيكية وحرارية ثابتة أو متغيرة مع ارتفاع درجة الحرارة .

إن نتائج التحليل الحراري التي تولدها هذه البرامج يمكن حفظها في ملفات قياسية SACII ، وبالتالي نستطيع استخدامها من قبل برامج أخرى .

ومن البرامج التي تقوم بالتحليل الحراري نذكر على سبيل المثال برنامج الـ SAFIR و Firecale و ABAQUS و ANSYS ، وهذا الأخير سوف نعتمده في بحثنا .

#### • أنماط التحليل الحراري :

يدعم برنامج ANSYS نمطين من التحليل الحراري هما التحليل باستخدام :  
- الحالة الثابتة **steady-state** : الذي يستخدم لتعيين درجات الحرارة ، الميول الحرارية ( معدل التغيرات الحرارية ) **thermal gradients** ، معدل التدفق الحراري **heat flow rates** ، والجريان الحراري **heat fluxes** [ الذي يعرف بأنه تدفق الطاقة الحرارية على وحدة المساحة خلال واحدة الزمن ويقدر بـ  $W/m^2$  ] في العنصر المدروس من تأثير الحملات الحرارية الثابتة مع الزمن والمؤثرة عليه [5].

ومن الحملات الحرارية نذكر الحرارة **temperature** ، الحمل **convection** ، الإشعاع **radiation** ، التدفق الحراري **heat flow** ، الجريان الحراري **heat flux** ، معدل توليد الحرارة **Heat generation rates** [ التدفق الحراري في واحدة الحجم خلال وحدة الزمن  $W/m^3$  ] ، الحرارة الثابتة للوسط المحيط **Constant temperature boundaries** .

إن التحليل الحراري بالحالة الثابتة يمكن أن يكون خطياً **linear** عند ثبات خواص المادة المستخدمة ( فيزيائية - ميكانيكية ) ، أي عند عدم تغير تلك الخواص بتغير درجات الحرارة ، أو يمكن أن يكون غير خطي **nonlinear** حيث يأخذ بعين الاعتبار تغير خواص المادة مع تغير درجات الحرارة ، وبما أن معظم المواد تتغير خواصها بتغير درجات الحرارة لذلك يفضل أن يكون التحليل لا خطياً خاصة إذا أخذنا التأثير الإشعاعي للحرارة بعين الاعتبار .

وننوه إلى أن التحليل الحراري في الحالة الثابتة يتجاهل الحرارة النوعية **Specific heat** وكثافة **density** مادة العنصر المدروس .

- الحالة العابرة **Transient Thermal Analysis** : إن الخطوات الأساسية المتبعة في التحليل الثابت هي نفسها المتبعة هنا أيضاً لكن بفارق رئيسي هام هو أن معظم المقادير **quantities** التي يمكن تعيينها [ نواتج الحل ] والحملات المطبقة وخواص المادة [ مدخلات المسألة ] يمكن أن تكون تابعة للزمن في التحليل العابر [5] .

ويمكن تعريف مدخلات المسألة المرتبطة بالزمن باستخدام أداة التابع Function Tool المعرفة بالبرنامج وذلك لنمذجة تغير تلك المدخلات مع الزمن وفقاً للمعادلة أو المنحني المحدد الذي يصف ذلك التغير .

وتجدر الإشارة إلى أن الحمولة المذكورة أعلاه في كلتا حالتها التحليل الحراري يمكن أن تطبق على النموذج الهندسي للجسم الصلب Solid Model أي المؤلف من نقاط أو خطوط أو مساحات (Keypoints, Lines, and Areas) أو على شبكة العناصر المحدودة والمكونة من عقد وعناصر محدودة (Nodes and Elements) والمشكلة للنموذج ، حيث يقوم البرنامج بشكل تلقائي بنقل الحمولات فيما لو طبقناها على النموذج الهندسي إلى شبكة العناصر المحدودة المكونة لهذا النموذج .

هذا ويمكن إجراء التحليل بالحالة الثابتة أولاً ثم التحليل بالحالة العابرة وذلك بغية المساعدة في تحديد الشروط الأولية للتحليل العابر . ويمكن أيضاً أن يكون تحليل الحالة الثابتة هو الخطوة الأخيرة للتحليل العابر حيث تكون كافة التأثيرات العابرة قد نقصت . تحفظ نتائج التحليل الحراري في ملف قياسي خاص ذي لاحقة (.RTH) والذي يستخدم كمدخلات في التحليل الإنشائي structural analyses لتقدير الإجهادات ، الانتقالات ، وغيرها ، الناتجة في العنصر الإنشائي المدروس من تأثير الحرارة والحمولات المختلفة التي يمكن أن تطبق عليه .

### طرق انتقال الحرارة :

تنتقل الطاقة الحرارية بالطرق الثلاث التالية [9] :

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

$$H_1 = \lambda \cdot A_{\text{contact}} \cdot \Delta T / L$$

2- الطاقة الحرارية المنتقلة بالحمل ( Convection ) : حيث يتم انتقال الحرارة بانتقال جزيئات المادة على شكل تيارات تدعى بتيارات الحمل .

$$H_c = \alpha \cdot (T_e - T_r)$$



3- الطاقة الحرارية المنتقلة بالإشعاع ( Radiation ) : حيث انتقال الحرارة لا يتطلب وسطاً مادياً للانتشار .

$$H_r = \epsilon_{res} \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_e^4 - T_r^4)$$

حيث :

- $\Delta T$  - الفرق بين درجتي حرارة السطحين المتلامسين بمساحة تلامس  $A_{contact}$  .
- $T_e$  - درجة حرارة السطح الباعث emitting للحرارة ، حرارة الحريق مثلاً .
- $T_r$  - درجة حرارة السطح المتلقي receiving للحرارة ، البيتون والفولاذ مثلاً .
- $A$  - مساحة السطح المُتلقى للحرارة .

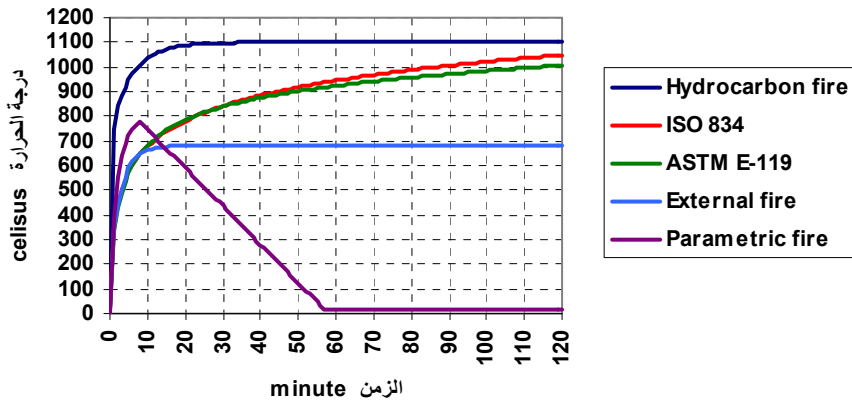
إن فلسفة اختبار الحريق القياسي ( الذي يقيس زمن ارتفاع درجة حرارة الوجه غير المقابل للحريق أو انهيار العينة المختبرة ) هي أن الحريق ينتشر بالتوصيل ، أي ينتقل خلال الحاجز إلى الجهة الأخرى أو ينتشر عندما ينهار هذا الحاجز أو يتصدع تصدعاً شديداً ، ولكن في الواقع يتم انتشار الحريق إما بالحمل أو بالإشعاع عبر الأبواب والنوافذ ونادراً ما ينتقل خلال الحوائط والأسقف بالتوصيل .

#### الحرائق القياسية :

إن المحاولات العلمية الأولى لاختبار مقاومة عناصر المنشآت للحرائق ترجع إلى بداية القرن التاسع عشر و ثم تطورت بشكل مستمر إلى أن أثمرت عن وضع مواصفات قياسية لاختبار المواد والعناصر على حد سواء نذكر منها [4-7] :

(ASTM-E119) و (ISO 834) و (DIN 4102-4) و (BS 476) وغيرها وتجدر الإشارة إلى أن لكل من هذه الاختبارات منحي حريق محدد ( تغير درجة حرارة الحريق مع الزمن ) ونظراً لاختلاف شدة الحرائق الفعلية في الواقع والتي يمكن أن تتأثر بـ :

- 1- نوع وكمية وتوزع المواد القابلة للاشتعال .
- 2- حجم وأبعاد المكان والخصائص الحرارية ونسبة مساحة الفتحات إلى مساحة الحوائط المحيطة بالمكان .
- 3- ظروف التهوية والتي تتمثل بحجم الهواء الداخل وسرعة واتجاه الرياح أثناء الحريق .



الشكل (5)

## ملاحظة (2):

نظراً لعدم إمكانية الطباعة الملونة فقد تعمدنا أن يكون تسلسل وسيلة الإيضاح متوافقاً مع تسلسل الخطوط البيانية ( أي التدرج من الأعلى إلى الأسفل ) وذلك لكافة المخططات المدرجة في البحث .

فقد ظهرت عدة نماذج للحرائق ( حرارة - زمن ) نذكر منها :

1- النماذج القياسية EC1-03 ; ISO -834 ; ASTM-119 ( BS EN 1365-1-5 ) أو الهيدروكربونية hydrocarbon fire curve والتي تفترض أن العنصر موجود في حجرة الاحتراق ، الشكل (5) .

2- النماذج الإضافية التي حددها الكود الأوربي EC1-03 ومنها منحنى الحريق الخارجي external fire curve وهو لاختبار العناصر الواقعة خارج حجرة الحريق ، ومعادلة توليد منحنى حريق متغير parametric fire curve وفقاً لمتغيرات أساسية تأخذ بعين الاعتبار حمل الحريق " fuel loads " ، التهوية " ventilation openings " ، المادة المبطنة للجدران " wall lining materials " والذي نستطيع من خلاله الاقتراب الأمثل من واقع الحريق مما يسمح بتصميم ذي أداء أفضل .

3- نموذج حاسوبي وفقاً لكود الكمبيوتر Ozone V2 ، يولد نموذجاً حاسوبياً لحريق بمنطقة واحدة أو منطقتين one or two zone model ، والتي تعتمد عليها برامج حاسوبية مثل SolidWorks و CATIA-5 وغيرها [2] .

4- نموذج حاسوبي لديناميك السوائل Computational Fluid Dynamics ويعرف اختصاراً بـ CFD models يمكن تطبيقه في برنامج Workbench ببرنامجه الخاص CFX ، [1] .

## النمذجة باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) modeling :

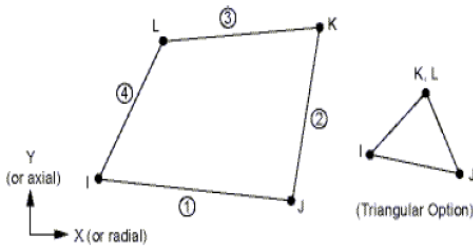
لقد تم تعيين انتشار الحرارة في المقاطع العرضية للحالات المدروسة بطريقة العناصر المحدودة باستخدام الحاسوب وبعتماد برنامج التحليل الإنشائي ANSYS نظراً لإمكانيته المتميزة في النمذجة والتحليل الإنشائي والحراري على حد سواء ، وتمت نمذجة تلك الحالات وفق المراحل التالية [5] :

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

• نمذجة الشكل الهندسي للجسم الصلب وفقاً لكل حالة من الحالات المدروسة المبينة بالأشكال (1 ← 4) .

• تعريف الخواص الحرارية للمواد المستخدمة من الجدول (1) .

• اختيار العنصر المحدود من مكتبة البرنامج ANSYS ، حيث تم اختيار العنصر المحدود (PLANE 55-2D thermal solid element) الذي يستعمل كعنصر مستوي الحراري في المستوي ، أي وفق المحورين  $x$  و  $y$  ، الشكل (6) ، وللتعرف على خواص هذا العنصر بالتفصيل يمكن العودة إلى مكتبة البرنامج [5] .

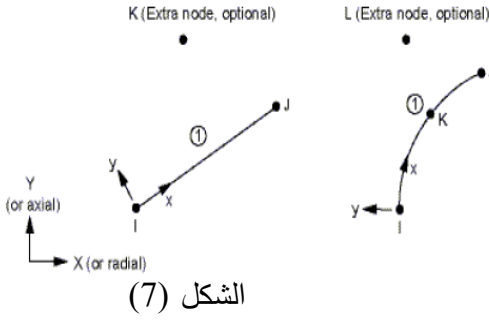


وهذا العنصر مُعرّف بثلاث أو بأربع عقد لكل منها درجة حرية واحدة للحرارة ، ويستعمل في حالتَي التحليل الحراري ، الحالة الثابتة " steady-state " والحالة العابرة " transient state " .

الشكل (6)

وتم أيضاً اختيار العنصر (SURF 151-2D thermal surface effect) والذي يمكن استعماله في التحليل الحراري المستوي من أجل حمولات مختلفة مؤثرة على السطح في وقت واحد ، ويمكن أن يغطي أو يكسو " overlaid " سطح العنصر PLANE 55

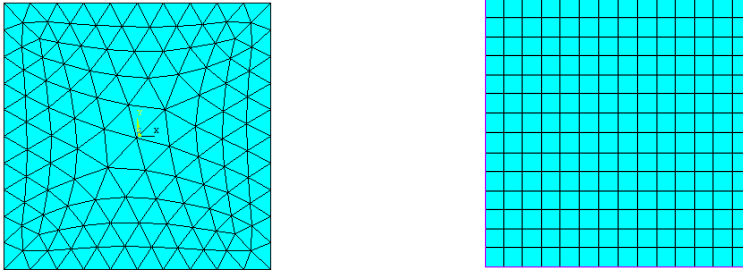
ليحاكي Simulate تأثير الحَمَل والإشعاع الحراري من الهواء المحيط أو الحريق على سطح المقطع المدروس [5] .



هذا العنصر يمكن تعريفه 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 (7) .

• توليد الشبكة " Mesh Generation " واختيار نعومتها وذلك بشكل تفاعلي في البرنامج ، حيث يتم تقسيم المقطع العرضي المدروس إلى مجموعة من العناصر المحدودة الرباعية والثلاثية الموضحة بالشكل (8) .



الشكل (8)

ومن خلال التحليل الحراري للحالات الأربع المدروسة وعند استخدام شبكتي العناصر الثلاثية والرباعية كانت الفروقات في نتائج التحليل بسيطة حيث لم تتجاوز الخمس درجات مئوية ، ونوضح في الجدول (2) نتائج التحليل الحراري للحالة الأولى فقط باستخدام الشبكتين الموضحتين في الشكل (8) .

الجدول (2) : الاستجابة الحرارية عند زمن 30 دقيقة للحريق القياسي ISO-834 .

الاستجابة الحرارية للنقطة المدروسة $C^0$			نوع عناصر
3	2	1	الشبكة
859.168	294.958	1088	ثلاثية
864.448	293.968	1093	رباعية

ونشير إلى أن الشبكة الناعمة fine mesh مناسبة للمواد ذات الاستجابة السريعة للحرارة high thermal gradient بينما تستخدم شبكة أخشن coarser mesh للمواد ذات الاستجابة البطيئة للحرارة ، وفي حال استخدامنا في نفس المقطع مواد ذات خواص حرارية مختلفة من حيث استجابتها للحرارة ، فإن العنصر المحدود المستخدم ونعومة الشبكة المختارة يجب أن يعكسا الخواص الحرارية للمادة ، ومن ثم يجب ربط عناصر تلك المواد مع بعضها البعض لتشكل موديل المقطع المدروس ، فمثلاً في حالة المقطع المركب composite section من فولاذ وبيتون يتم نمذجة البيتون بعناصر وشبكة تعبر عن خواص البيتون في الجزء الموجود فيه في المقطع المدروس وكذلك تأخذ هذه العناصر ونعومتها خواص الفولاذ في الجزء الموجود فيه الفولاذ ومن ثم يتم ربط هذه العناصر مع بعضها البعض لتعبر عن المقطع المدروس بشكل كامل . هذا وتجدر الإشارة إلا أنه يمكن استخدام العنصر PLANE-55 بشكله الرباعي rectangular أو المثلثي triangular في المقطع نفسه ، فمثلاً في منطقة اتصال الجناح بالجسد بالمقاطع المدلفنة rolled sections والتي تأخذ نصف قطر انحناء ما يتم استخدام الشكل المثلثي للعناصر فيها بينما في الجسد والجناح إذا كانت حوافه قائمة يمكن تأخذ العناصر الشكل الرباعي .

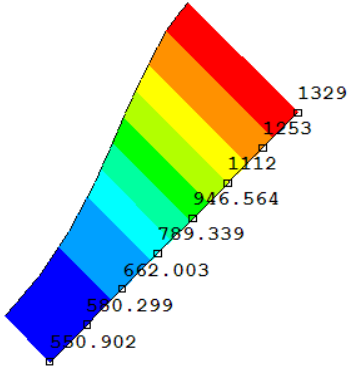
2. مرحلة المعالجة " processing " : في هذه المرحلة يقوم البرنامج بتجميع المعادلات الجبرية الحاكمة بشكل مصفوفي وحلها بتقنياته الخاصة للحصول على قيم النتائج المطلوبة ، حيث تم التحليل باستخدام الحالة العابرة Transient state .
3. مرحلة ما بعد المعالجة " post-processing " : وهي المرحلة التي يقوم البرنامج فيها بإظهار النتائج المختلفة وبطرق عدة وفقاً لرغبة المستثمر .

## نتائج الحل الحاسوبي :

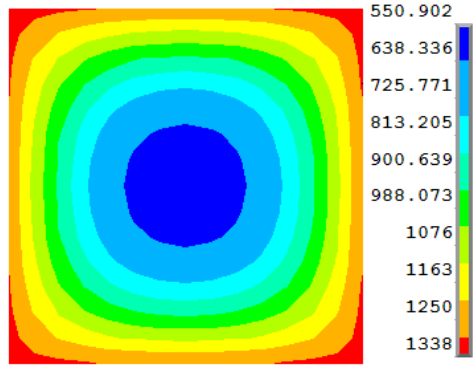
لقد تمت معالجة الحالات الأربع المدروسة في هذا البحث ، ونعرض نتائج التحليل لكل حالة على حدة :

### 1- الحالة الأولى :

إن انتشار الحرارة في المقطع العرضي المدروس بعد مرور (130) دقيقة من تطبيق الحريق القياسي يوضحه الشكل (9) ، والذي يظهر بأن النقطة (1) هي النقطة الأكثر حرارة في المقطع العرضي ويعزى هذا إلى أنها تقع على الفصل المشترك لسطحين معرضين للحرارة ، أما الشكل (10) فيمثل تغير درجة حرارة وفق المسار 1-2.



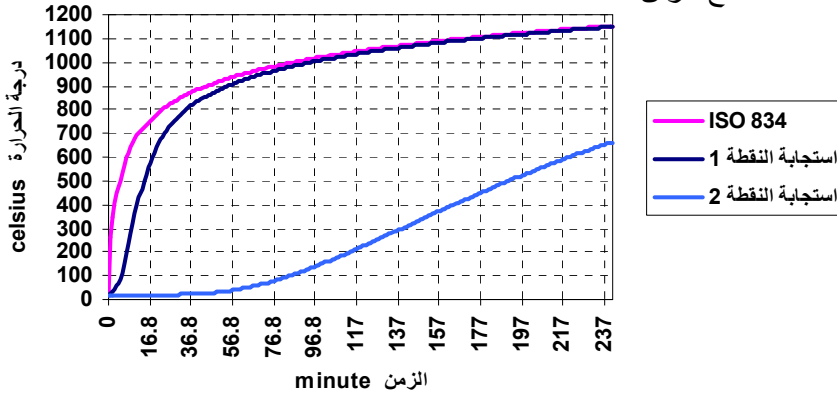
الشكل (10)



الشكل (9)

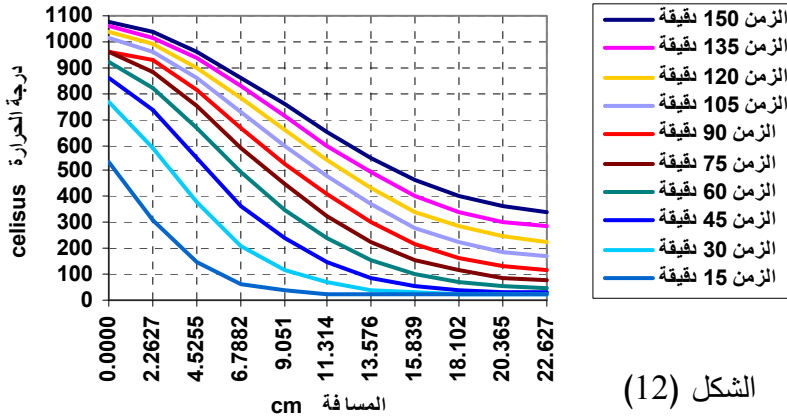
وكذلك الشكل (11) يمثل استجابة النقطتين 1 و 2 عند تغير درجة حرارة الحريق

القياسي ISO834 مع الزمن .



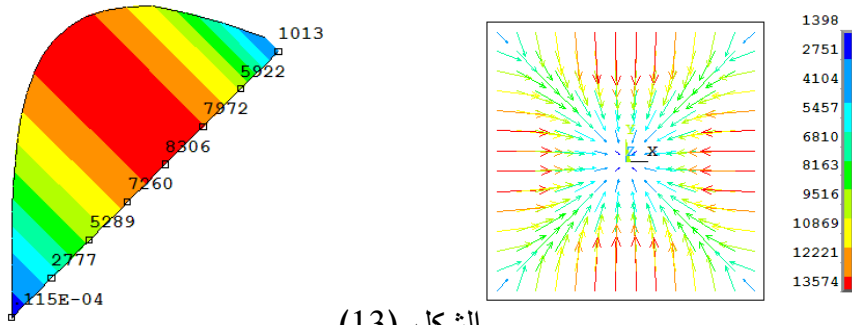
الشكل (11)

إن تغير درجة الحرارة وفق المسار المدروس 1-2 مع الزمن تم تمثيله تخطيطياً في الشكل (12) ، حيث النقطة 1 اعتمدت كمبدأ لقياس المسافة .

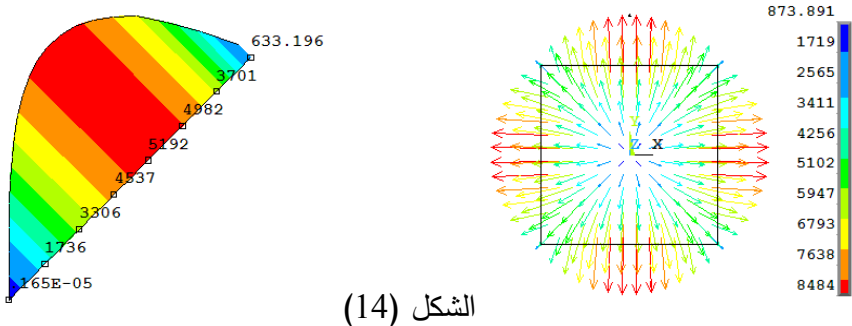


الشكل (12)

أما الشكلان (13) و (14) فيمثلان محصلة التدفق والتدرج أو الميلان الحراري وفق المحورين  $(x; y)$  على سطح المقطع شعاعياً vectors ، وفي النقاط الواقعة على المسار 2-1 هندسياً geometry ، وذلك عند زمن مقداره 130 دقيقة .

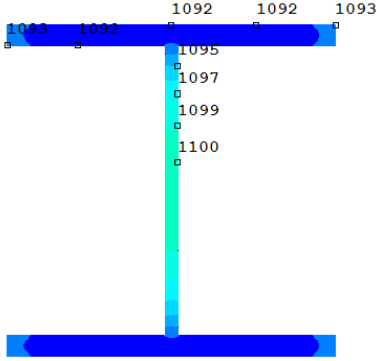


الشكل (13)



الشكل (14)

## 2- الحالة الثانية :

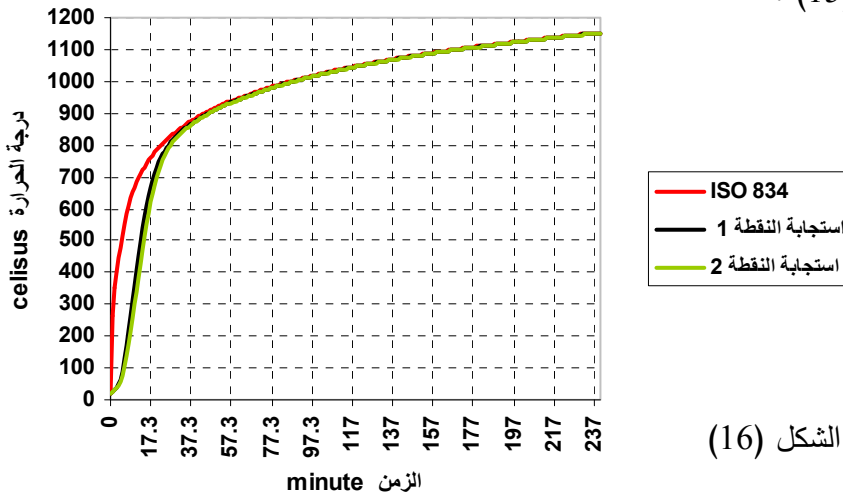


لقد تم التحليل الحراري لهذه الحالة ، حيث يظهر الشكل (15) انتشار الحرارة في المقطع العرضي وقيمة درجة الحرارة في نقاط مختلفة واقعة على محيط هذا المقطع وذلك عند زمن 30 دقيقة ، حيث تتناقص درجات الحرارة بازياد بعد النقاط عن مركز تناظر الجسد حيث أن النقطة 1 هي النقطة الأكثر حرارة في

الشكل (15)

الجسد . أما على الجناح فإن درجات الحرارة تتناقص بازياد بعد النقاط عن الفصل المشترك للسطوح المعرضة للحريق ، وتمثل النقطة 2 النقطة الأكثر حرارة في الجناح . كما يظهر من الشكل (15) أن حرارة الجسد أعلى من حرارة الجناح ويعزى هذا إلى سماكة الجسد الأقل .

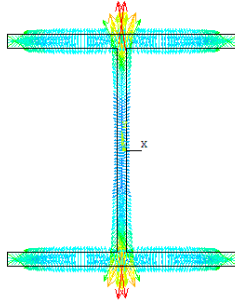
ويبين الشكل (16) استجابة النقطتين 1 و2 عند تغير درجة حرارة الحريق المطبق مع الزمن ، حيث أن الفرق بين استجابة هاتين النقطتين بسيط جداً ، فبعد مرور 30 دقيقة على تطبيق الحريق كان الفرق بحدود 7 درجات مئوية كما هو واضح على الشكل (15) .



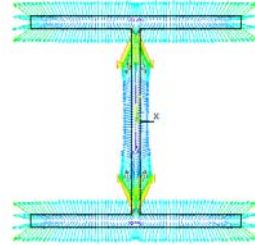
الشكل (16)



أما الشكلان (17) و (18) فيمثلان المحصلة الشعاعية للتدفق والتدرج الحراري وفق المحورين  $(x; y)$  على سطح المقطع وذلك عند زمن مقداره 130 دقيقة .



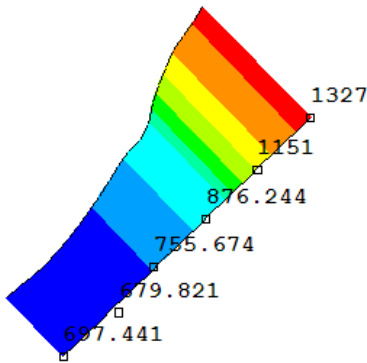
الشكل (18)



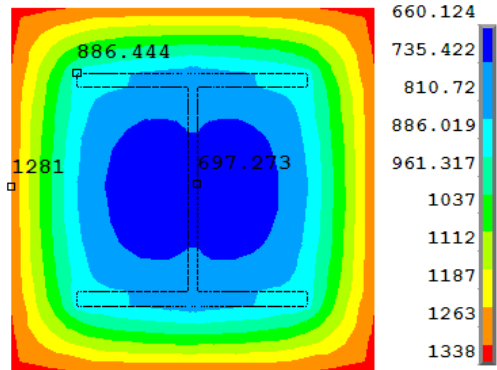
الشكل (17)

### 3- الحالة الثالثة :

بعد مرور (130) دقيقة من تطبيق الحريق القياسي يوضح الشكل (19) انتشار الحرارة في المقطع العرضي المدروس ، ويظهر الشكل (20) تغير درجة الحرارة وفق المسار 1-2 ، حيث يبدي انكساراً وعدم انسيابية نتيجة الاختلاف في الخواص الحرارية بين مادتي المقطع العرضي .

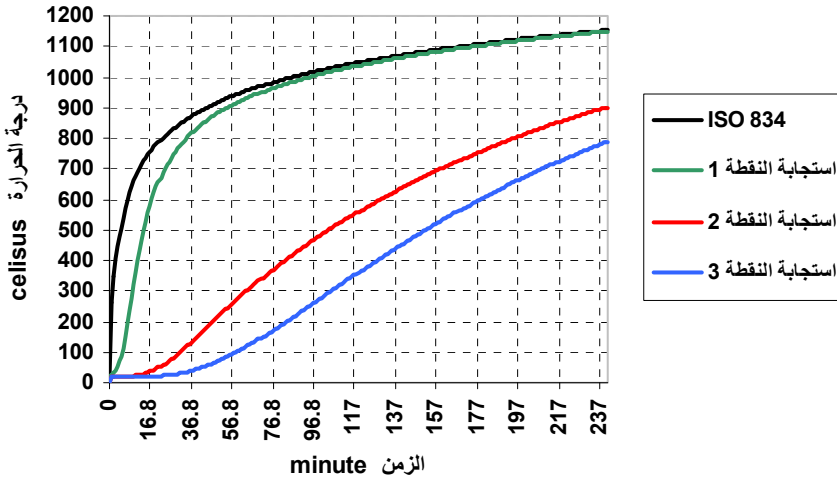


الشكل (20)



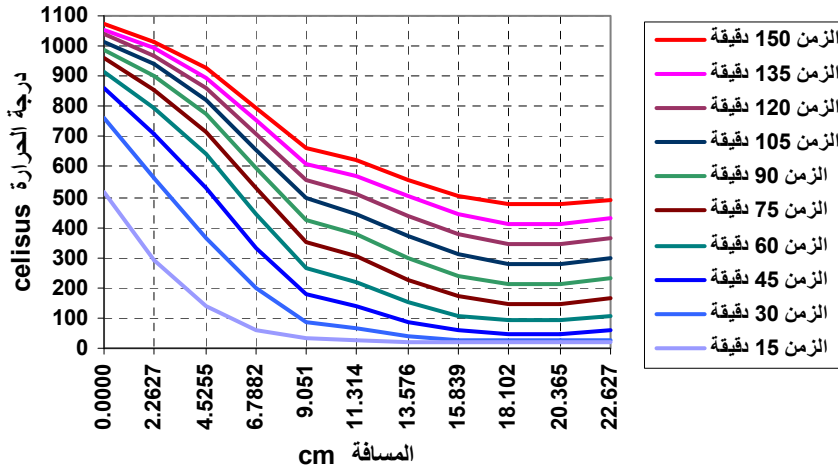
الشكل (19)

وبين الشكل (21) استجابة النقاط 1 و 2 و 3 عند تغير درجة حرارة الحريق القياسي المطبق مع الزمن .



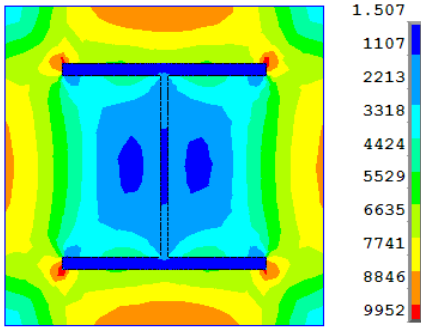
الشكل (21)

ولقد تم تمثيل تغير درجة الحرارة وفق المسار المدروس 1-3 مع الزمن تخطيطياً في الشكل (22) ، حيث النقطة 1 اعتمدت كمبدأ لقياس المسافة .

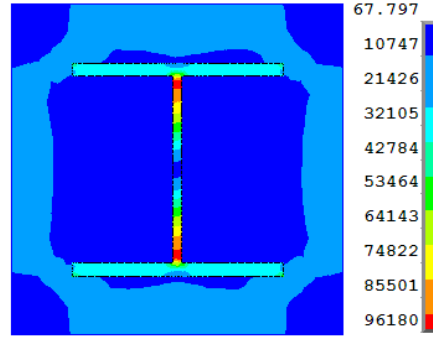


الشكل (22)

ويوضح كلاً من الشكلين (23) و(24) يمثلان التوزيع الهندسي لمحصول التدفق والتدرج الحراري وفق المحورين  $(x; y)$  ، على سطح المقطع العرضي وذلك عند زمن مقداره 130 دقيقة .



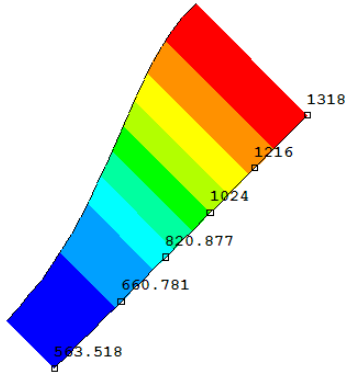
الشكل (24)



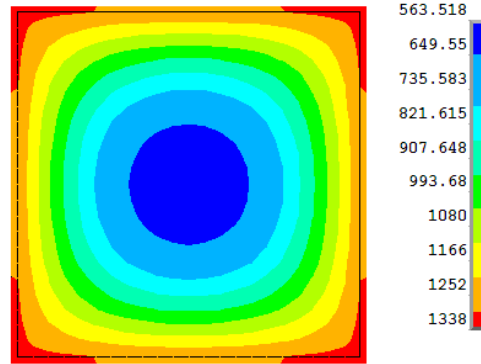
الشكل (23)

#### 4- الحالة الرابعة :

يظهر الشكل (25) انتشار الحرارة في المقطع العرضي عند زمن 130 دقيقة ، كما يظهر الشكل (26) تغير درجة الحرارة وفق المسار 1-3 ، وقيمة درجة الحرارة في نقاط مختلفة واقعة على هذا المسار مقدرة بالدرجة المئوية .

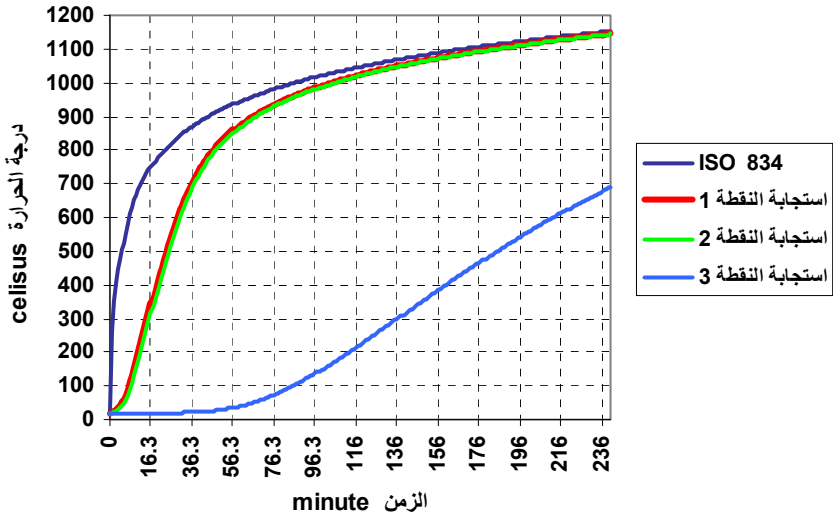


الشكل (26)



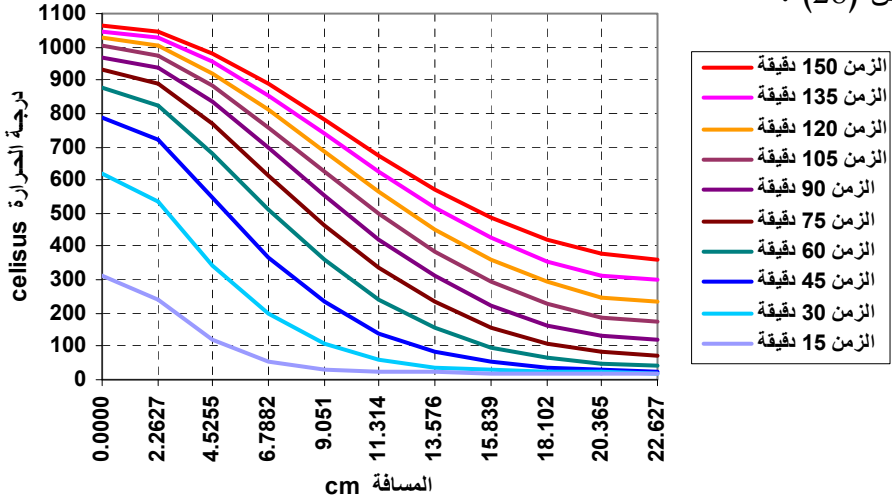
الشكل (25)

وتظهر استجابة النقاط 1 و 2 و 3 عند تغير درجة حرارة الحريق المطبق مع الزمن في الشكل (27) ، حيث تبدي النقطتين 1 و 2 تقارباً في الاستجابة الحرارية نتيجة لصغر سماكة المقطع الفولاذي .



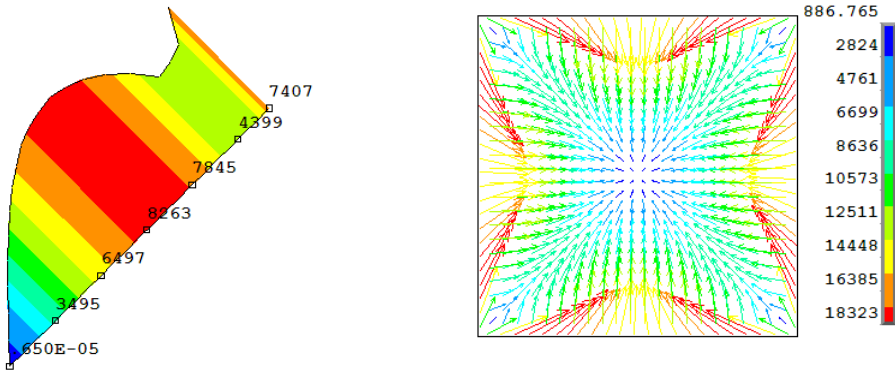
الشكل (27)

كما تم تمثيل تغير درجة الحرارة وفق المسار المدرس 1- 3 مع الزمن تخطيطياً في الشكل (28) .

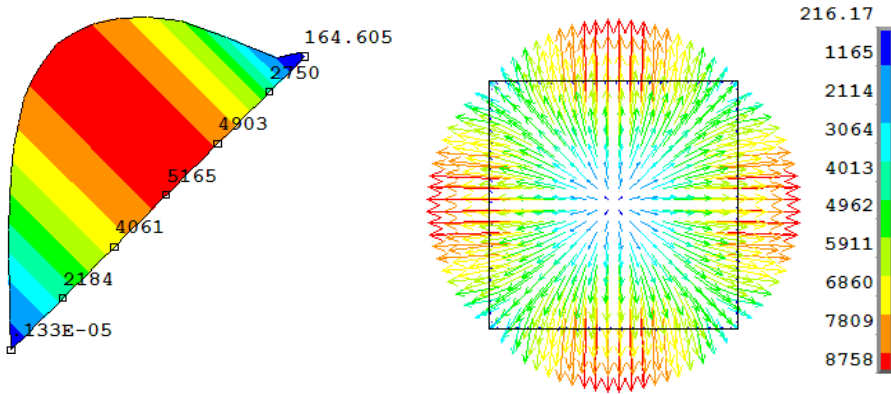


الشكل (28)

الشكلان (29) و (30) يمثلان محصلة التدفق والتدرج أو الميلان الحراري وفق المحورين  $(x; y)$  على سطح المقطع شعاعياً vectors ، وفي النقاط الواقعة على المسار 1- 3 هندسياً geometry ، وذلك عند زمن مقداره 130 دقيقة .



الشكل (29)



الشكل (30)

### النتائج :

- يمكن تلخيص النتائج الأساسية التي تم الحصول عليها على الشكل التالي :
1. استخدام برنامج العناصر المحدودة ANSYS في التحليل الحراري يعطي تصوراً واضحاً لانتشار الحرارة في مقطع أي عنصر ، حيث لا تستطيع طرق الحساب اليدوية أو الجدولية إنجاز ذلك .
  2. إن الاستجابة الحرارية في نقطة من الحالة الثانية تتعلق بسماكة السطح من جهة وبموقع النقطة من جهة أخرى ، وهذا ما يفسر اختلاف الاستجابة الحرارية للنقاط الموضحة على الشكل (15) .

3. استخدام شبكة العناصر الرباعية أو الثلاثية ليس له تأثير كبير على قيم نتائج التحليل الحراري ، الجدول (2) .
4. بالنظر إلى استجابة النقطة الخطرة 1 في الحالتين الأولى والرابعة نستطيع القول بأن الاستجابة في الحالة الأولى أسرع منها في الحالة الرابعة ، الشكلين (10) و (26) ، ويعزى هذا لاختلاف الخواص الحرارية للمادتين .

## References

- 1- Simulation of an experimental compartment fire by CFD : Raunaq Hasib , Rajiv Kumar, Shashi, Surendra Kumar , ELSEVIER , Building and Environment 42 (2007) 3149 – 3160 .
- 2- On the application field of OZone V2 : J-F. Cadorin , University de Liege – Department M&S– Rapport interne N°M&S/2002-003 .
- 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- Ihssan Tarsha, The Effect Of Fire Modeling on heat Distributions In Composite columns, Journal of AL-Baath University, Vol.32,2010.

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