ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/337367619

Determination of failure load for structural elements exposed to fire and comparison it to the design load according to isotherm 500 method

Article · July 2019

CITATIONS
0

READS
14

2 authors:

Ihssan Tarsha
Al-Baath University
30 PUBLICATIONS **25** CITATIONS

SEE PROFILE

Manar Takla
Al-Baath University
8 PUBLICATIONS **9** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Strengthening of RC Beams Containing Large Opening at bending and torsion with steel plate View project

Effect of fire on confined concrete columns under axial loading View project

All content following this page was uploaded by Manar Takla on 28 November 2019.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Determination of failure load for structural elements exposed to fire and comparison it to the design load according to isotherm500 method

Manar Takla[(1)]

Ihssan Tarsha[(2)]

(1) PhD student at Structural Engineering Depart. Engineering Faculty of AL-Baath University.
(2) Professor at Structural Engineering Depart. Engineering Faculty of AL-Baath University.

Abstract

The exposure of concrete structures to fire is one of the most dangers challenges that lead to great destruction and failure the structural in addition to loss of life. Great efforts have been made in many previous studies to study the behavior of elements exposure to fire. Since columns are an important structural component, studying the impact of fire on them is an important subject. The study is performed on columns, under axial loading with cross-section (200 × 200 × 800) mm, and exposed to a standard fire (External Fire) from the four sides, at different time using the Finite Element program ANSYS Workbench, to determine the carrying capacity of columns when exposed to standard fire, and to determine the thermal distribution, in the cross section for the model. In addition, determination of the design load according to the isotherm500 method by taking advantage of the thermal analysis of the analytical model and the conclusion of a safety factor for the collapse load of the model studied.The results showed the effectiveness of the analytical model when compared with the experimental results, where the difference between the value of the analytical and experimental failure load (0.68%), ie, The analytical model is capable of characterizing any experimental model and this saves time, effort and cost. After the

coupled (structural-thermal) analysis, column carrying capacity decreased from 8.9% to 19.6% after standard fire exposure from the four sides at times of 20 to 90 minutes. A safety factor (The ratio between the design load given in the code according to isotherm500 method and the failure load of the analytical model) of 1.09-2.27 was obtained in this study. Thus, the connection between the isotherm500 method and thermal analysis using the ANSYS Workbench program helps the design engineer to predict the value of the failure load of the structural elements when exposed to fire.

Keyword: Finite Element, standard fire, ANSYS Workbench, isotherm500.

تحديد حمولة انهيار العناصر الإنشائية المعرضة للحريق ومقارنتها بالحمولة التصميمية وفق طريقة الـ isotherm500

م. منار تقلا طالبة دكتوراه بقسم الهندسة الإنشائية–كلية الهندسة المدنية
أ.د إحسان الطرشة أستاذ بقسم الهندسة الإنشائية–كلية الهندسة المدنية

الملخص

يُعدّ تعرض المنشآت الخرسانية للحريق من أخطر التحديات التي تؤدي إلى دمار كبير وانهيار للمنشأة بالإضافة لخسارة الأرواح. بُذلت جهود كبيرة في الكثير من الأبحاث السابقة لدراسة سلوك العناصر المعرضة للحريق، وبما أنّ الأعمدة تشكل عنصراً إنشائياً هاماً، فإن دراسة تأثير الحريق عليها يُعدُّ من المواضيع الهامة. تمّت في هذه الدراسة نمذجة أعمدة خرسانية محورية التحميل ومعرضة لحريق قياسي (External fire) من الجهات الأربع عند أزمنة مختلفة باستخدام برنامج العناصر المحدودة ANSYS Workbench، وذلك لتحديد قدرة تحمل الأعمدة الخرسانية عند تعرضها للحريق القياسي، وتحديد الحمولة التصميمية وفق طريقة الـ isotherm500 من خلال الاستفادة من ملف التحليل الحراري للنموذج التحليلي واستنتاج عامل الأمان لحمولة الانهيار للنموذج المدروس. وقد أبرزت النتائج فعالية النموذج التحليلي عند المقارنة مع النتائج التجريبية، حيث بلغ الفرق بين قيمة حمولة الانهيار التحليلية والتجريبية (0.68%). بعد إجراء التحليل الثنائي (إنشائي–حراري) انخفضت قدرة تحمل الأعمدة بنسبة 8.9% إلى 19.6% وذلك عند التعرض للحريق القياسي من الجهات الأربع عند أزمنة من 20 حتى 90 دقيقة. وقد تم في هذا البحث استنتاج عامل أمان (النسبة بين الحمولة التصميمية المعطاة في الكود وفق طريقة الـisotherm500 وبين حمولة الانهيار للنموذج التحليلي) يتراوح بين (1.09–2.27)، وبالتالي فإن الربط بين طريقة الـ isotherm500 والتحليل الحراري باستخدام برنامج ANSYS Workbench، يساعد المهندس المصمم على توقع قيمة حمولة الانهيار للعناصر الإنشائية المعرضة للحريق.

الكلمات المفتاحية: العناصر المحدودة، الحريق القياسي، ANSYS Workbench، isotherm500.

تحديد حمولة انهيار العناصر الإنشائية المعرضة للحريق ومقارنتها بالحمولة التصميمية وفق طريقة الـ isotherm500

1. مقدمة:

تعتبر الخرسانة المسلحة المادة الأساسية للإنشاء والتي تدخل في تركيب معظم المنشآت الهندسية في جميع أنحاء العالم، ويعتبر تعرض هذه المنشآت للحريق من أخطر التحديات التي تؤدي أحياناً لدمار كبير وانهيارات جزئية للمنشأة بالإضافة لخسارة الأرواح. إن المحاولات العلمية الأولى لاختبار مقاومة عناصر المنشآت للحرائق، ترجع لبداية القرن العشرين، ومن ثم تطورت بشكل مستمر، إلى أن أثمرت عن وضع مواصفات قياسية لاختبار المواد والعناصر على حد سواء. ومع تطور نظريات المحاكاة باستعمال الحاسوب لدراسة سلوك العناصر والمنشآت تحت تأثير الأحمال المختلفة (ستاتيكية، ديناميكية، حرارية... إلخ)، أصبح بالإمكان دراسة سلوك الأعمدة الخرسانية تحت تأثير الأحمال الإنشائية الرأسية المحورية واللامحورية، ودراسة تأثير الحريق وارتفاع درجة الحرارة عليها. إذ يمكن باستخدام نظرية العناصر المحدودة Finite Element Theory أن نقوم بنمذجة تصرف الخرسانة بطريقة لاخطية، آخذين بعين الاعتبار أسباب الانهيار كتشكل التشققات أو تحطم الخرسانة، أو خضوع فولاذ التسليح. كما أنه يمكن الدمج بين أنواع مختلفة من التحليل، كالتحليل الإنشائي (الستاتيكي والديناميكي) مع التحليل الحراري والحصول على نتائج موافقة للنتائج التي يمكن الحصول عليها من خلال التجارب المخبرية وبدقة مقبولة. في هذه البحث تمّت دراسة تأثير الحريق القياسي (External fire) الذي يختلف عن الحريق الطبيعي، حيث أن الحريق القياسي ترتفع درجة الحرارة فيه بقيم كبيرة مع الزمن ويحافظ على درجة حرارة ثابتة بعد فترة زمنية، على عكس الحريق الطبيعي الذي نلاحظ فيه هبوطاً في منحني حرارة – زمن بعد الوصول إلى درجة الحرارة الأعظمية نتيجة المرور بمرحلة إخماد الحريق وبرودة العناصر المعرضة له [2,7].

2. هدف وأهمية البحث:

نشط البحث العلمي في مجال دراسة الحريق وخاصة بعد أحداث 11 ايلول 2001، وبذلت جهود كبيرة في الكثير من الأبحاث السابقة لدراسة سلوك العناصر المعرضة للحريق. وبما أن الأعمدة تشكل عنصراً إنشائياً هاماً، فإن دراسة تأثير الحريق عليها يُعدُّ من المواضيع الهامة. لذلك تم في هذا البحث إعداد دراسة تحليلية باستخدام برنامج ANSYS Workbench والذي يعتمد طريقة العناصر المحدودة لدراسة تأثير الحريق القياسي الخارجي (External fire) على قدرة تحمل الأعمدة الخرسانية ومقارنة نتائج حمولة الانهيار مع الحمولة التصميمية للحريق وفق علاقات الكود الأوروبي EC2 [5] للتوصل إلى عامل أمان يمكن الاستفادة منه أثناء تصميم العناصر الإنشائية ضد الحريق.

3. منهجية البحث:

1- نمذجة العمود التجريبي باستخدام برنامج ANSYS Workbench وتحليله إنشائياً.

2- مقارنة النتائج التجريبية مع النتائج التحليلية للتأكد من دقة النموذج التحليلي.

3- تطبيق الحريق القياسي الخارجي على العمود الخرساني من الجهات الأربع عند أزمنة مختلفة.

4- تحديد قدرة تحمل العمود الخرساني بعد التعرض للحريق القياسي.

5- استخدام طريقة الـ 500 isotherm الواردة في الكود الأوروبي EC2 وتحديد مساحة المقطع العرضي المحصور ضمن خط كنتور بدرجة حرارة 500ºC وذلك من خلال تصدير نتائج التحليل الحراري من برنامج ANSYS Workbench إلى برنامج AutoCAD Land.

6- مقارنة نتائج التحليل لحمولة الانهيار مع القيم التصميمية للكود الأوروبي EC2 وتحديد عامل الأمان.

4. أنواع الحرائق:

يعتمد تحقيق التقدم في التصميم العلمي للمنشآت المقاومة للحريق بشكل أساسي على الفهم الدقيق للعلاقة بين طبيعة الحريق القياسي الذي سيتمّ الاعتماد عليه في البحث وبين الحريق الطبيعي. حيث تعتبر الحرائق القياسية أبسط نماذج الحرائق. ويتم التعبير عن الحريق بعلاقات بسيطة تربط بين الحرارة والزمن. من سلبيات هذه الحرائق أنها لا تعبر بشكل أمثل عن الحرائق الطبيعية ولا 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.

نذكر من الحرائق القياسية والمتعارف عليها عالمياً في الكودات **BS EN 1991 1-2، PD 7974-1:**

1. الحريق القياسي ASTM E119 [2]: وهو حريق قياسي وفقاً للمواصفات الأمريكية لقياس أداء المواد والعناصر الانشائية المختبرة بوساطة قياس مدة تحملها لهذا الحريق قبل الوصول إلى أول نقطة حرجة في تصرف تلك المواد أو العناصر المختبرة، ويعطى بالعلاقة (1):

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

2. الحريق القياسي ISO 834 [4]: وهو يعبر تماماً عن تطور حريق الحجرة compartment fire، ومعادلته موضّحة بالعلاقة (2):

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

3. الحريق الخارجي external fire: ويعطى بالعلاقة (3):

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

4. الحريق الهيدروكربوني hydrocarbon fire: ومعادلته موضحة بالعلاقة (4):

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

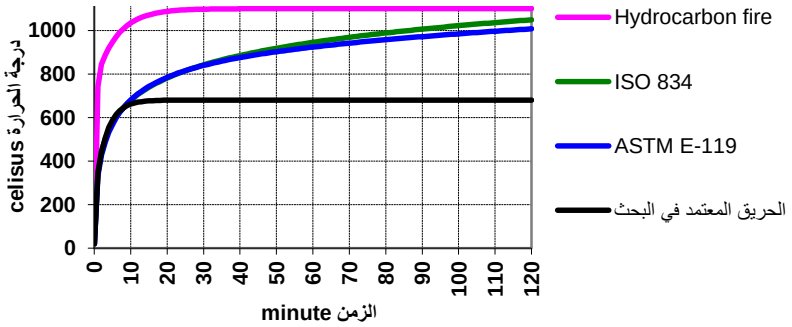
حيث:

T_g – درجة حرارة حجرة الحريق أو الحرارة قرب العنصر المختبر ^{o}C.

T_0 – درجة حرارة الوسط المحيط مقدرة بالدرجة المئوية Celsius ^{o}C.

t – الزمن مقدراً بالدقيقة في العلاقات (4) $\rightarrow$ (2).

وللمقارنة بين تلك الحرائق القياسية فقد تمّ رسم المنحنيات البيانية لها في الشكل (1):



الشكل (1): أنواع الحرائق القياسية

5. الخصائص الحرارية Thermal Properties [5,7,9]:

1.5 معامل التوصيل الحراري Thermal Conductivity:

إن معامل التوصيل الحراري (الناقلية الحرارية للمادة) $[\lambda_a \ W/mK]$ هو مقياس لقدرة المادة على نقل الحرارة خلالها بالتوصيل، ويمكن التعبير عنه كعلاقات تابعة لدرجة الحرارة وفقاً للكود الأوروبي [5,7] وذلك لمادتي الفولاذ الإنشائي والخرسانة كما يأتي:

<u>فولاذ التسليح</u>: Reinforcing steel، الشكل (2):

تتناقص قيمة معامل التوصيل الحراري بشكل خطي حتى 800 درجة مئوية وبعدها يأخذ قيمة ثابتة بارتفاع درجة الحرارة العلاقة (5):

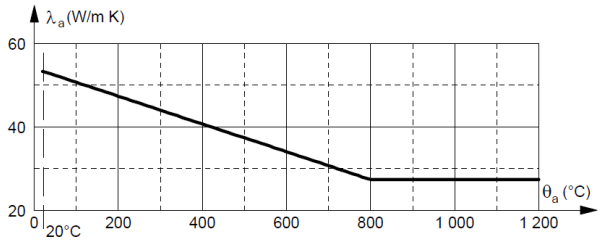
$$20\,^{\circ}C \le T_a < 800\,^{\circ}C \quad \Rightarrow \quad \lambda_a = 54 - 3{,}33.10^{-2}.T_a \quad [W/mK] \qquad (5)$$

$$800\,^{\circ}C \le T_a \le 1200\,^{\circ}C \quad \Rightarrow \quad \lambda_a = 27{,}3 \quad [W/mK]$$

حيث:

λ_a – معامل التوصيل الحراري للفولاذ.

T_a – درجة حرارة الفولاذ.



الشكل (2): معامل التوصيل الحراري للفولاذ بتغير درجة الحرارة [5]

<u>الخرسانة</u>: Concrete الشكل (3):

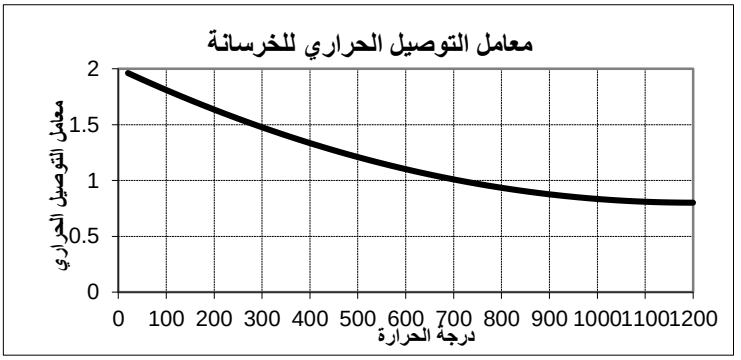
تتناقص قيمة معامل التوصيل الحراري للخرسانة بشكل قطع مكافئ تقريباً، ويتم التعبير عن ذلك بالعلاقة (6):

$$\lambda_c = 2 - 0{,}2451.\left(\frac{T_c}{100}\right) + 0{,}0107.\left(\frac{T_C}{100}\right)^2 \qquad (6)$$

حيث:

λ_c – معامل التوصيل الحراري للخرسانة.

T_c – درجة حرارة الخرسانة.



الشكل (3): معامل التوصيل الحراري للخرسانة بتغير درجة الحرارة [5]

2.5 الحرارة النوعية – Specific Heat:

وهي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 كيلو غرام من المادة بمقدار درجة كلفن واحدة، واحدتها J/ [Kg].[K] ويتم التعبير عنها بالرمز C ويتم تحديدها حسب الكود الأوروبي EC2 [5,7] كما يأتي:

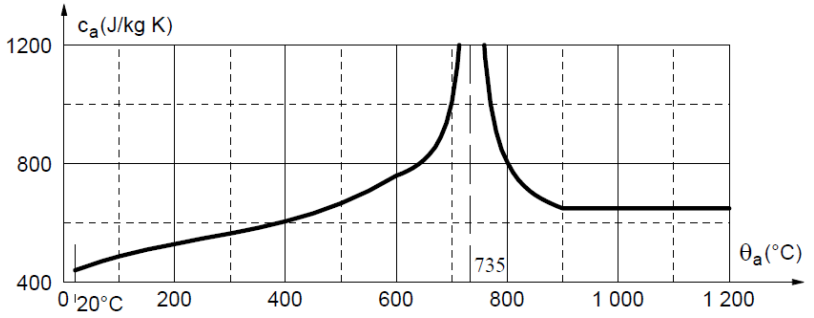
<u>للفولاذ C_a</u>: يبين الشكل (4)، تغير الحرارة النوعية للفولاذ مع تغير درجة الحرارة ويتم التعبير عن ذلك بالعلاقة (7):

$$20^\circ C \le T_a < 600^\circ C \Rightarrow C_a = 425 + 7{,}73.10^{-1}.T_a - 1{,}69.10^{-3}.T_a^2 + 2{,}22.10^{-6}.T_a^3 \quad (7)$$

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

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

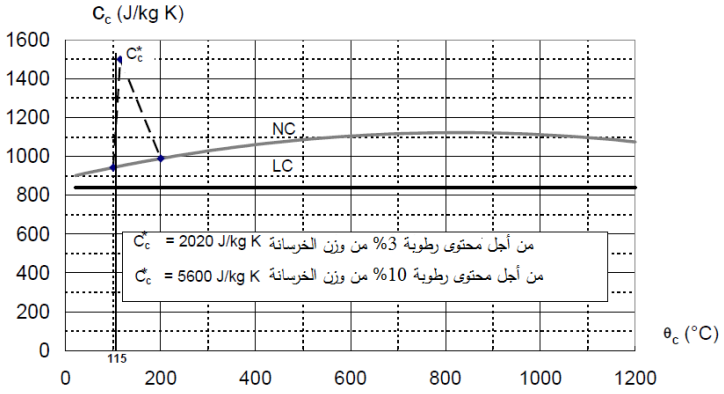
$$900^\circ C \le T_a < 1200^\circ C \Rightarrow C_a = 650$$



الشكل (4): الحرارة النوعية للفولاذ مع تغير درجة الحرارة [5]

<u>للخرسانة C_c</u>: يتم أخذ الحرارة النوعية كقيم ثابتة عند محتوى رطوبة معين، وعند تغير درجة الحرارة الشكل (5)، يتم التعبير عن الحرارة النوعية للخرسانة بالعلاقة (8).

$$C_c = 890 + 56{,}2.\left(\frac{T_c}{100}\right) + 3{,}4.\left(\frac{T_c}{100}\right)^2 \quad (8)$$



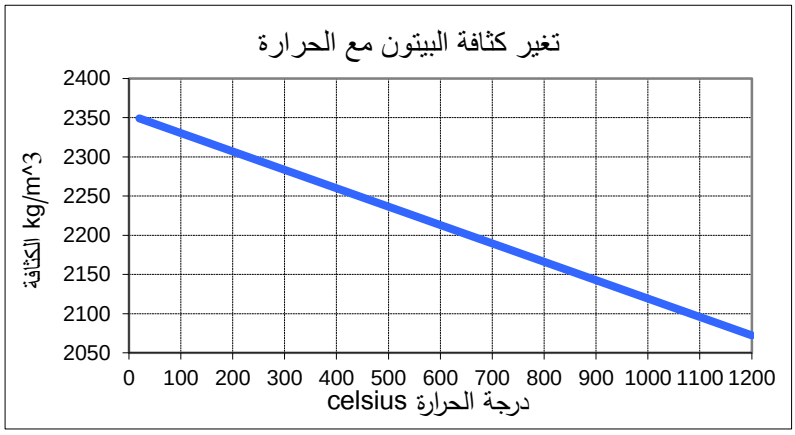
الشكل (5): الحرارة النوعية للخرسانة مع تغير درجة الحرارة [5]

3.5 الكثافة – Density:

تُعدّ الكثافة قيمة ثابتة غير مرتبطة بتغير درجة الحرارة للفولاذ، أما للخرسانة، الشكل (6)، فيتم تحديدها حسب الكود الأوروبي [5,7]، وفق المعادلة (9):

للفولاذ : $\rho_a = 7850\ [\mathrm{kg/m3}]$

للخرسانة: $\rho_c = 2354 - 23.47\ \theta_c/100\ [\mathrm{kg/m3}]$ (9)



الشكل (6): تغير كثافة البيتون مع تغير درجة الحرارة [5]

6. الخصائص الميكانيكية:

فولاذ التسليح: تم تعريف منحني الإجهاد–التشوه للفولاذ بأنه تام اللدونة مع الأخذ بعين الاعتبار تغير قيمة معامل المرونة مع تغير الحرارة وفق الجدول (1) الوارد في الكود الأوروبي EC2 [5].

الجدول (1): عامل التخفيض k من أجل تغير قيمة معامل المرونة للفولاذ تبعاً لدرجة الحرارة θ

درجة حرارة الفولاذ θ_s[°C]	$K_{E,\theta} = \frac{E_{s,\theta}}{E_s}$
20	1
100	1
200	0.87
300	0.72
400	0.56
500	0.4
600	0.24
700	0.08
800	0.06
900	0.05
1000	0.03
1100	0.02
1200	0

الخرسانة: يعرف مخطط الإجهاد – التشوه للخرسانة بالمتغيرات الآتية [5]:

- مقاومة الضغط للخرسانة $f_{c,\theta}^{'}$ عند درجة حرارة θ.
- التشوه $\varepsilon_{cu,\theta}$ المقابل لمقاومة الضغط $f_{c,\theta}^{'}$.

ويعبّر عن العلاقة بين الإجهاد والتشوه كالآتي:

$$\sigma_{c,\theta} = f'_{c,\theta}\left[3\left(\frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{cu,\theta}}\right)/\left\{2+\left(\frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{cu,\theta}}\right)^3\right\}\right] \qquad (10)$$

يبين الجدول (2) عوامل تخفيض مقاومة الضغط $K_{c,\theta}$ وقيم $(\varepsilon_{cu,\theta})$ تبعاً لدرجة الحرارة θ، مع التنويه إلى أن قيمة $\varepsilon_{cu,\theta}$ للخرسانة الخفيفة يتم الحصول عليها من الاختبار، أما للخرسانة العادية فيتم تحديدها من الجدول الآتي:

الجدول (2): عوامل تخفيض مقاومة الضغط $K_{c,\theta}$ وقيم $(\varepsilon_{cu,\theta})$ تبعاً لدرجة الحرارة θ

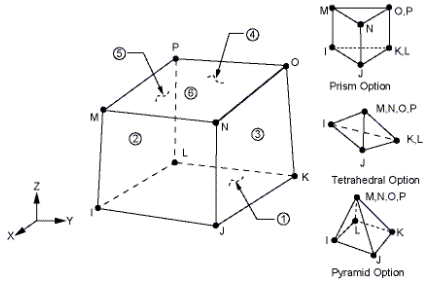
درجة حرارة الخرسانة θ_c [°C]	$K_{c,\theta} = f_{c,\theta}/f'_c$		$\varepsilon_{cu,\theta} \times 10^{-3}$
	NC	LC	NC
20	1	1	2,5
100	1	1	4
200	0,95	1	5,5
300	0,85	1	7
400	0,75	0,88	10
500	0,6	0,76	15
600	0,45	0,64	25
700	0,3	0,52	25
800	0,15	0,4	25
900	0,08	0,28	25
1000	0,04	0, 16	25
1100	0,01	0,04	25
1200	0	0	–

7. طريقة الـ isotherm500:

إن مبدأ طريقة الـ isotherm500 الواردة في الكود الأوروبي EC2 [5]، تعتمد على تخفيض أبعاد المقطع العرضي بعد التعرض للحريق، حيث يعتبر أن مساحة المقطع البيتوني المحصورة ضمن خط الكنتور 500ºC تحتفظ بمقاومتها على الضغط، وتحديد قيمة الانخفاض الحاصل في إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح تبعاً لدرجة حرارة هذه القضبان. وإن هذه الطريقة تفيد في تصميم العناصر الإنشائية المعرضة للحريق القياسي فقط، لذلك تم في هذا البحث تحديد المقاومة التصميمية للحريق، عن طريق رسم خط الكنتور لدرجة الحرارة 500ºC، وحساب المقاومة التصميمية من العلاقة البسيطة في التصميم (إجهاد×مساحة) –المساحة المحصورة ضمن خط الكنتور 500ºC –ومقارنة المقاومة التصميمية مع حمولة الانهيار التحليلية وفق برنامج ANSYS Workbench لتحديد عامل الأمان.

8. العناصر المستخدمة في النمذجة لإجراء التحليل الحراري[3,7,8] :

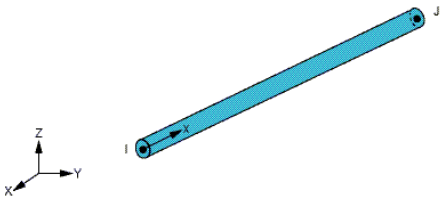
العنصر Solid70: استخدم العنصر الحجمي Solid70، الشكل (7)، لمحاكاة سلوك البيتون في التحليل الحراري. يمكن استعماله في الحالة الثابتة (steady state) أو الحالة العابرة (Transient). العنصر له ثمان عقد ولكل عقدة درجة حرية واحدة هي درجة الحرارة في كل عقدة.



الشكل (7): العنصر Solid70

العنصر Link33: العنصر الخطي Link33، الشكل(8)، له القدرة على نقل الحرارة بين عقده، لديه درجة حرية واحدة في كل عقدة وهي درجة الحرارة. يمكن استعمال العنصر

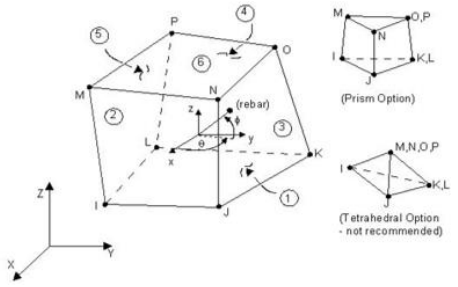
Link33 في الحالة الثابتة (steady state) أو الحالة العابرة (Transient)، ويتم محاكاة فولاذ التسليح باستخدام هذا العنصر.



الشكل (8): العنصر Link33

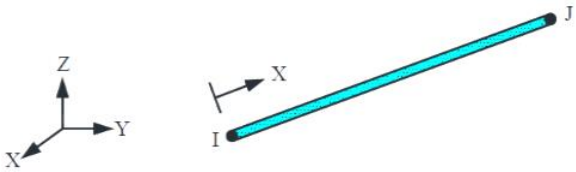
1. العناصر المستخدمة في النمذجة للتحليل الإنشائي [3,7,8]:

1- العنصر Solid65: يتم استخدام هذا العنصر لنمذجة البيتون. له ثماني عقد، لكل عقدة ثلاث درجات حرية، وهي انتقالات في الاتجاهات الثلاثة X,Y,Z. العنصر قادر على توقع التشوه اللدن، الزحف، التشقق في الشد وفق الاتجاهات الثلاثة المتعامدة، والتحطم في الضغط. ويبين الشكل (9) المواصفات الهندسية للعنصر المحدود Solid65.



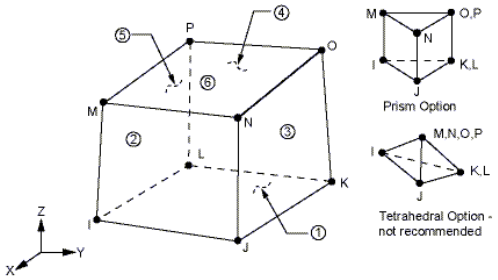
الشكل (9): العنصر Solid65

2- العنصر Link180: تمّ استخدام هذا العنصر لنمذجة فولاذ التسليح، حيث يُعدّ الفولاذ نحيفاً وقادراً على نقل القوى المحورية فقط، لذلك تمّ استخدام هذا العنصر في النمذجة. لهذا العنصر عقدتان، ولكل عقدة ثلاث درجات حرية، وهي انتقالات وفق المحاور الثلاثة X,Y,Z ، العنصر قادر على توقع التشوه اللدن، الشكل (10).



الشكل (10): عنصر فولاذ التسليح Link180-3D spar

3- **العنصر Solid185:** تمّ استخدام هذا العنصر، الشكل(11)، لتجنب مشاكل تركيز الإجهادات ومنع التحطم الموضعي للعناصر البيتونية بالقرب من نقاط الاستناد ونقاط تطبيق الحمولة، مما يؤمن توزيعاً أكثر انتظاماً للإجهادات (حسب مبدأ سان فينان) هذا العنصر يحدد بثماني عقد، لكل عقدة ثلاث درجات حرية وهي انتقالات وفق المحاور الثلاثة X,Y,Z.



الشكل (11): العنصر Solid185

9. الانتشار الحراري:

من أهم ميزات برنامج ANSYS Workbench أنه يدعم نوعين من التحليل معاً فيمكن إجراء تحليل حراري وإنشائي. حيث يتم إجراء التحليل الحراري أولاً ومعرفة التوزع الحراري ودرجة حرارة العقد، وبعدها تتم الاستفادة من نتائج التحليل لتكون مدخلات تطبق على النموذج الإنشائي. إن طريقة حساب توزع درجة الحرارة هي طريقة تعتمد على منهجية تطبيق مبادئ حفظ الطاقة، حيث يتناسب معدل انتقال الحرارة بالتوصيل في اتجاه ما، تناسباً مباشراً مع ميل درجة الحرارة، أو ما يسمى بالتدرج الحراري (مقدار التغير في درجة الحرارة لكل مقدار واحد من الطول في ذلك الاتجاه). حيث صاغ العالم فوريه عام 1822 معادلة التدفق الحراري الآتية [13]

$$q_x = -k\frac{dT}{dx} \qquad (11)$$

تعبر هذه المعادلة على أن التدفق الحراري q_x يساوي معدل انتقال الحرارة في الاتجاه x في مقدار واحد من المساحة المتعامدة مع اتجاه انتقال الحرارة. وأضيفت الإشارة السالبة لجعل انتقال الحرارة في الاتجاه x موجباً. ويعبر $\frac{dT}{dx}$عن التدرج الحراري. المعادلة السابقة هي لمقدار واحدة المساحة، أما معدل انتقال الحرارة بالتوصيل خلال سطح A فيعطى بالمعادلة (12):

$$Q_x = q_x . A \qquad (12)$$
$$Q_x = -K . A \frac{\Delta T}{L}$$

حيث:

K – معامل التوصيل الحراري [K].[m]/[W].

أما الشكل العام لمعادلة الانتشار الحراري فتعطى بالمعادلة (13):

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k \frac{\partial T}{\partial z}\right) + q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \qquad (13)$$

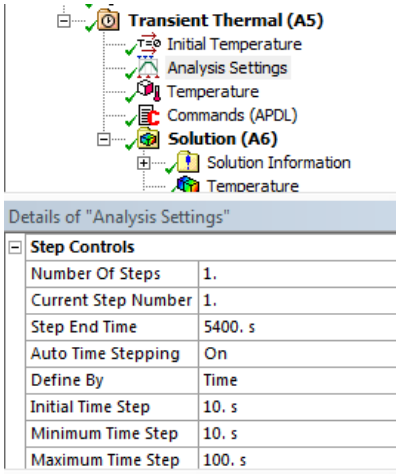
حيث:

ρ– الكثافة [Kg/m3].

c – الحرارة النوعية [K].[Kg] /[J] .

q – معدل التدفق الحراري $J/ m^3 . s$

إن الخطوات الأساسية المتبعة في التحليل هي طريقة التحليل العابر Transient Thermal Analysis حيث أن معظم المقادير quantities التي يمكن تعيينها [نواتج الحل] والحمولات المطبقة وخواص المادة [مدخلات المسألة] يمكن أن تكون تابعة للزمن في التحليل العابر. حيث تم التحليل بشكل مشابه لأهم طرق التحليل اللاخطي طريقة (Newton–Raphson)، حيث يمكن في هذه الطريقة تجزئة الخطوات الرئيسة والفرعية ضمنها أيضاً، [8,11]. وتمّ الاعتماد على هذه الحالة عند القيام بالتحليل الحراري للنماذج المدروسة في بحثنا وتجزئة خطوات الزمن كما هو موضح في الشكل (12).



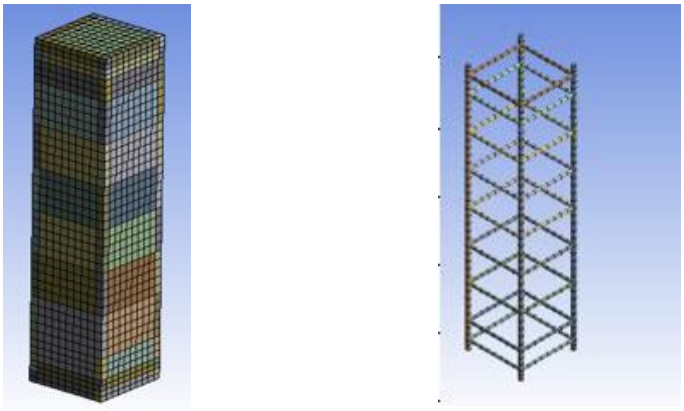
الشكل (12): ضبط شروط التحليل الحراري وتقسيم خطوات الزمن

10. نتائج التحليل:

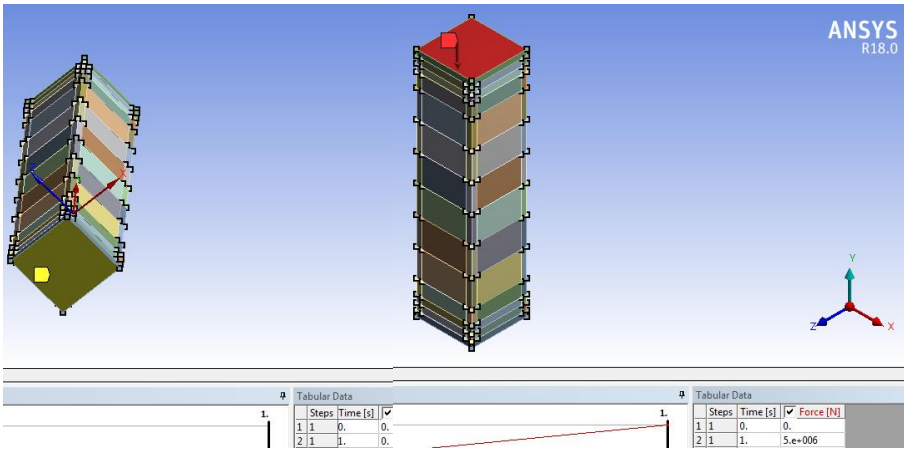
تم نمذجة العمود الخرساني الوارد في البحث التجريبي [6] إنشائياً الموضح في الشكل (13) بمواصفات موضحة في الجدول (3)، ويوضح الجدول (4) نتائج التحليل الإنشائي للنموذج، والشكل (14) يوضح تطبيق الحمولة، والشكل (15) يبين تطبيق شروط الاستناد، أما الشكل (16) يوضح قيمة حمولة الانهيار .

الجدول (3): مواصفات النموذج المدروس

مواصفات النموذج المدروس وفق معطيات البحث التجريبي [6]	
أبعاد المقطع العرضي (mm)	$(200 \times 200 \times 800)$
مقاومة الضغط للخرسانة (MPa)	79.5
سماكة طبقة التغطية (mm)	20
إجهاد الخضوع للتسليح الطولي (MPa)	564
إجهاد الخضوع للتسليح العرضي (MPa)	516
قطر التسليح الطولي (mm)	12
قطر التسليح العرضي (mm)	8



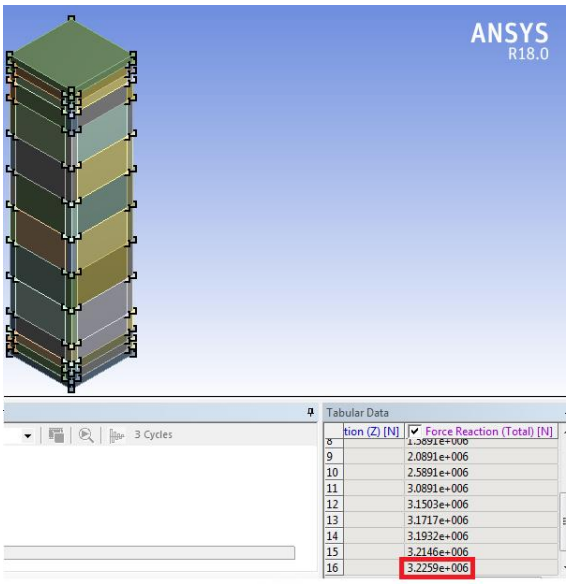
الشكل (13): نمذجة الشكل الهندسي والتقسيم لعناصر محدودة



الشكل (14): تطبيق الحمولة الشكل (15): تطبيق شروط الاستناد

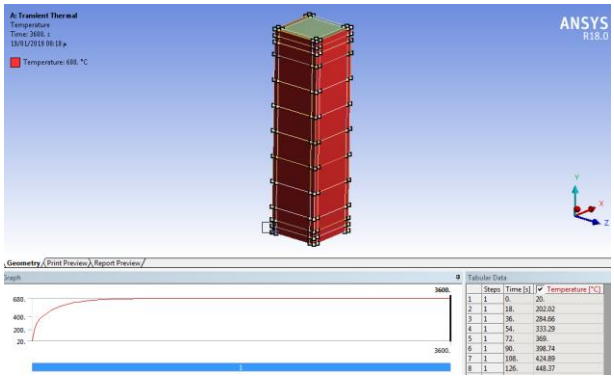
الجدول (4): نتائج التحليل الإنشائي

	النموذج المرجعي OCO [6]	النموذج التحليلي باستخدام ANSYS Workbench
حمولة الانهيار (KN)	3248	3225.9

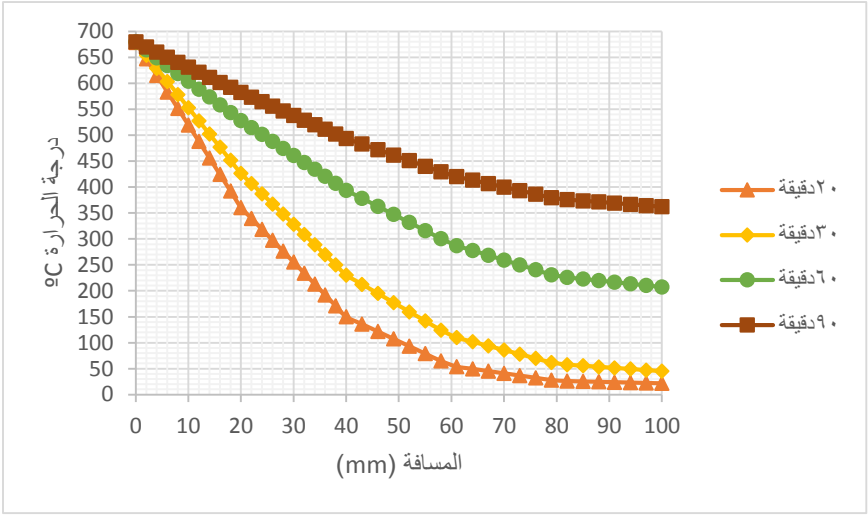


الشكل (16): قيمة حمولة الانهيار للنموذج الإنشائي

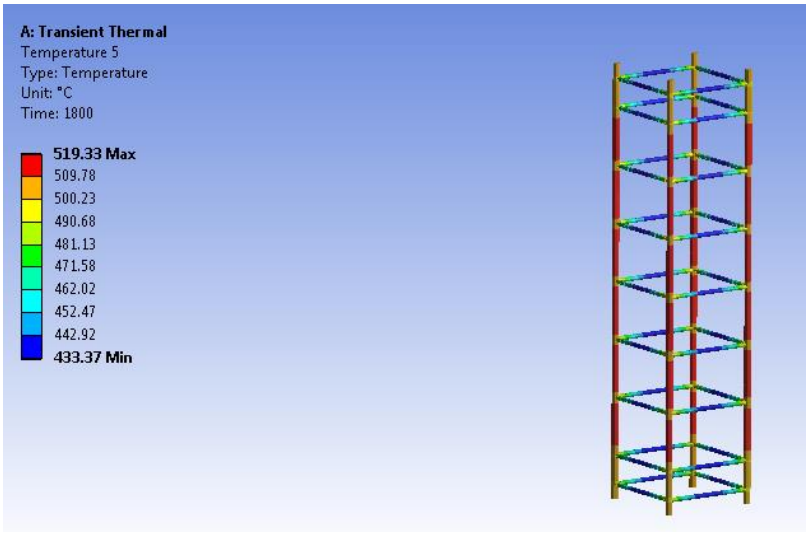
من الجدول (4) نلاحظ دقة النتائج التحليلية حيث بلغ الفرق بين قيمة حمولة الانهيار التحليلية والتجريبية (0.68%)، وبالتالي يمكن الاعتماد على النموذج التحليلي وإجراء التحليل الحراري عليه أيضاً. حيث تم تطبيق الحريق القياسي وفق العلاقة (3) من الجهات الأربعة على النموذج السابق كما هو موضح في الشكل (17)، أما الشكل (18) يبين التوزع الحراري في مقطع عرضي بمنتصف النموذج المدروس عند الأزمنة (30–60–90–120) دقيقة على التوالي، حيث أن المحور الأفقي للمخطط البياني في الشكل (18) يمثل المسافة من السطح الخارجي للنموذج وحتى المركز. أما الأشكال (19–20–21) تبين التوزع الحراري لفولاذ التسليح عند الزمن (30 دقيقة) من التعرض للحريق.



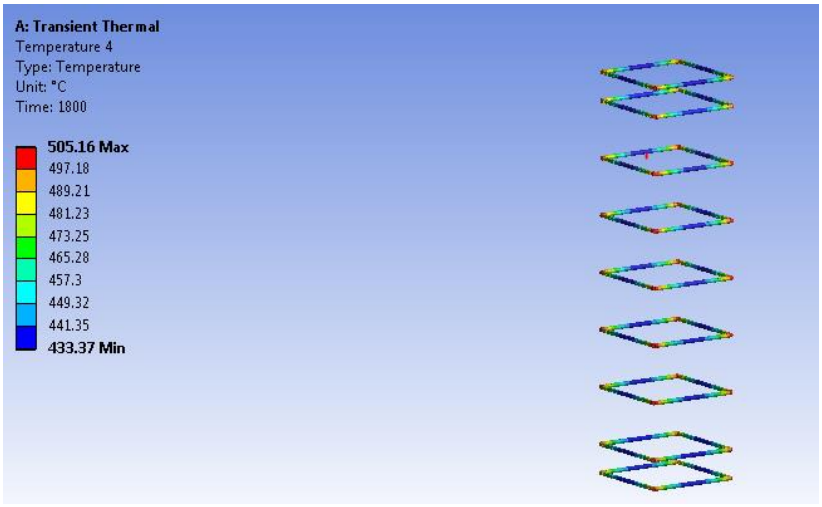
الشكل (17): تطبيق الحريق القياسي الخارجي من الجهات الأربع



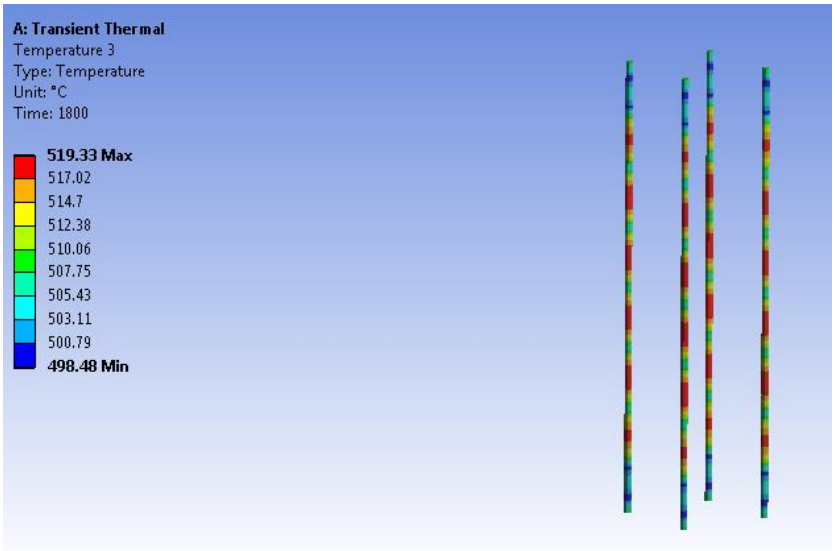
الشكل (18): التوزع الحراري في المقطع العرضي عند الأزمنة (20–30–60–90) دقيقة



الشكل (19): التوزع الحراري لفولاذ التسليح الطولي والعرضي عند 30 دقيقة



الشكل (20): التوزع الحراري لفولاذ التسليح العرضي عند 30 دقيقة



الشكل (21): التوزع الحراري لفولاذ التسليح الطولي عند 30 دقيقة

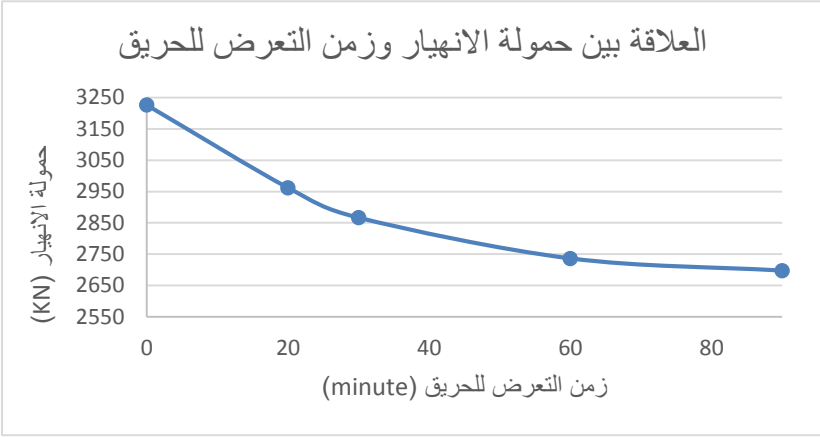
من الأشكال (19–20–21) نلاحظ أن درجة حرارة قضبان التسليح الطولي والعرضي ليست ثابتة على كامل المقطع حيث يحدث تبادل حراري عند نقطة التقاء التسليح الطولي مع العرضي، أي أماكن توضع الأساور، بسبب الاختلاف في درجة حرارة كل منهما حيث أن القضبان الطولية ترتفع درجة حرارتها أكثر من القضبان العرضية لأنها تأخذ الحرارة من جهتين أما العرضية فمن جهة واحدة ، ولكن الاتصال فيما بينهما يسبب انتقال في الحرارة من التسليح الطولي الى العرضي مما يسبب انخفاض في درجة حرارة الطولي في منطقة الاتصال ، وهذا ما يفسر أيضاً اختلاف درجة الحرارة على طول الأسوارة.

بعد ذلك تم إجراء التحليل الإنشائي–الحراري وأدرجت النتائج في الجدول (5)، وقد تم توضيح قيمة الانخفاض الحاصل بقيمة حمولة الانهيار من خلال تمثيل نتائج التحليل بمخطط بياني مبين في الشكل (22).

الجدول (5): نتائج التحليل الحراري– الإنشائي

النموذج المدروس	حمل الانهيار N_{cr} (KN) عند مدة زمنية t (min) من التعرض للحريق External fire				
	$t = 0\,\text{min}$	$t = 20\,\text{min}$	$t = 30\,\text{min}$	$t = 60\,\text{min}$	$t = 90\,\text{min}$
C79.5-L12-S8	3225.9	2961.9	2866.5	2736.4	2697.5

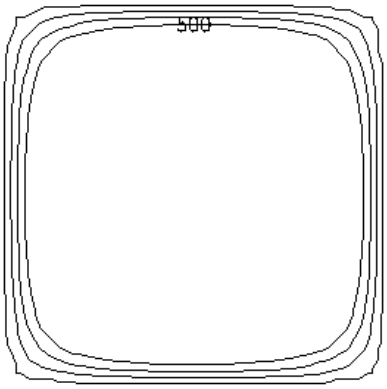
C –concrete; L – longitudinal reinforcement; S – stirrups reinforcement
C–البيتون; L – التسليح الطولي; S – التسليح العرضي



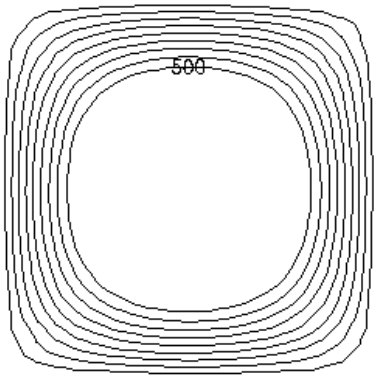
الشكل (22): العلاقة بين حمولة الانهيار وزمن التعرض للحريق

11.نتائج التحليل وفق طريقة الـ isotherm:

تم تصدير نتائج ملف التحليل الحراري لبرنامج AutoCAD Land، حيث تم رسم خطوط الكنتور لدرجات الحرارة وتحديد خط الكنتور عند درجة حرارة 500°C، كما هو موضح في الأشكال (23–24)، بعد التعرض للحريق القياسي عند(20–90) دقيقة على التوالي. حيث تم تحديد المساحة المحصورة ضمن خط الكنتور 500°C وتحديد موقع قضبان التسليح، ودرجة حرارتها، من أجل إدخال إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح تبعاً لدرجة الحرارة. أما بالنسبة لمقاومة الضغط للخرسانة، فتؤخذ بقيمتها الأصلية دون إجراء أي تخفيض عليها. والجدول (6) يوضح نتائج الحساب وفق طريقة الـ 500 isotherm، وتحديد عامل الأمان الذي تم استنتاجه.



الشكل (23): خطوط الكنتور عند 20 دقيقة



الشكل (24): خطوط الكنتور عند 90 دقيقة

الجدول (6): نتائج التحليل وفق isotherm 500

عامل الأمان	حمولة الانهيار وفق برنامج ANSYS Workbench	حمولة التصميم حسب isotherm 500	زمن التعرض للحريق (دقيقة)
1.09	2961.9	2703.11	20
1.17	2866.5	2438.76	30
1.51	2736.4	1809.6	60
2.27	2697.5	1188.24	90

12.النتائج

1- بلغ الفرق بين قيمة حمولة الانهيار التحليلية والتجريبية عند إجراء التحليل إنشائياً 0.68% أي أن النموذج التحليلي قادر على توصيف العمود المختبر تجريبياً.

2- انخفضت قدرة تحمل الأعمدة بنسبة 8.9% إلى 19.6% بعد التعرض للحريق القياسي من الجهات الأربعة عند أزمنة من 10 حتى 90 دقيقة.

3- تم استنتاج معامل أمان يتراوح بين (1.09-2.27)، وبالتالي فإن الربط بين طريقة الـ isotherm500 والتحليل الحراري باستخدام برنامج ANSYS Workbench، يساعد المهندس المصمم على توقع قيمة حمولة الانهيار للعناصر الإنشائية المعرضة للحريق القياسي.

13.التوصيات

1- إجراء دراسات تحليلية باستخدام برنامج ANSYS Workbench لتعيين الانتشار الحراري في مقطع مستوٍ بدلاً من دراسة النموذج الحجمي، لتوفير الوقت والجهد.

2- في هذه الدراسة تمّ تعريض الأعمدة للحريق القياسي من الجهات الأربع. وننصح بإجراء دراسات لاحقة توضح سلوك الأعمدة عند تعرضها لحريق من جهة أو جهتين أو ثلاث.

References

1- (ACI), Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary, Farmington Hills, MI: IHS, 2008.

2- A. International, "Building Construction," vol. 04.11, p. E119, 2004.

3- ANSYS. Manuals, 2015.

4- Bernhart,D.,(2004).The Effect of support conditions on the fire Resistance of a Reinforced Concrete Beam. Degree of Diplom-Bauingenieurin University of Karlsuruhe,PP:10-31.

5- Eurocode2, Design OF concrete structures, part 1-2:General rules-structural fire design, 2004.

6- Hadi,M.,(2012). Axial and flexural performance of square RC columns wrapped with CFRP under eccentric loading.Journal of Composites for Construction ,16(6):640-649.

7- Ihssan Tarsha, Manar Takla, Ultimate load for composite column Subjected to ISO 834 fire, Journal of Al- Baath University, Vol.38, 2016.

8- Ihsan Tarsha, Manar Takla, Effect of Fire on Confined Concrete Columns under Axial Loading, IISTE: International Knowledge Sharing Platform, Vol.9, No.9, 2017.

9- Ihssan Tarsha, The Effect of Fire Modeling on heat Distributions in Composite columns, Journal of Al Baath University, VO.32, 2010.

10-Structural Steelwork Eurocodes – Development of a Trans-National Approach Fire Engineering Design of Composite Structures,2001.

11-p. konhke, "ANSYS,Theory Reference," 2004.

12-Manar Takla, Behavior of Concrete Columns subjected to ASTM-E119 fire, Journal of Al- Baath University, Vol.39, No, 2017.

13-أ.د.علي العبدالله،"انتقال الحرارة"،منشورات جامعة البعث،2014.

View publication stats