

## محاكاة عددية لسلوك جدار قص معرض لحريق

### مسبق -حمولة جانبية باستخدام Ansys

### Workbench

الدكتورة: هالة حسن

المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية- جامعة دمشق

#### الملخص:

ركزت البحوث السابقة على التحميل الزلزالي والتحميل الحراري لجدران القص بشكل مستقل، دون أخذ الأثر المشترك بينهما، حيث أن أثر الضرر الإنشائي الناتج عن الحرائق على مقاومة الحمل الجانبي للمنشآت الخرسانية المسلحة وخاصة جدران القص ليس مفهوماً كثيراً، ولكن قد يكون حاسماً في حالة تأثير حمل متتالي من الحريق والزلازل، حيث أنه في كودات التصميم العالمية يتم التعامل مع الزلازل والحرائق كأحداث مستقلة.

والذي قد يحدث وفق أحد الاحتمالين:

الاحتمال الأول : حدوث حريق نتيجة زلزال يليه هزة ارتدادية قوية.

الاحتمال الثاني : حدوث حريق كبير قبل وقت قصير من وقوع زلزال.

وبسبب أهمية جدران القص كحاجز ضد الحريق وكأنظمة مقاومة للقوى الجانبية، فمن الضروري إجراء دراسة تحليلية لدراسة مدى تأثير الحريق على الأداء الزلزالي لجدار القص في حال وقوع الحريق قبل وقت قصير من الزلزال، باستخدام برنامج ANSYS Workbench16.1، وذلك لتقييم أثر الحريق المسبق على الأداء الزلزالي لجدار القص.

من خلال البحث تمت مقارنة نتائج التحليل مع نتائج التجربة الواردة في الدراسة المرجعية لجدار قص تعرض لحريق ثم حمولة جانبية وذلك للتأكد من محاكاة النموذج التجريبي

محاكاة عددية لسلوك جدار قص معرض لحريق مسبق-حمولة جانبية باستخدام Ansys  
Workbench

بشكل دقيق، ولتقييم أثر الحريق المسبق على الأداء الزلزالي لجدار القص تم تعريض الجدار لحمولة جانبية فقط دون تعريضه لحريق مسبق، ومن خلال المقارنة أعطت نتائج الدراسة التحليلية انخفاض في مقاومة القوى الجانبية بمقدار 14%، وانخفاض القدرة على تبديد الطاقة بمقدار 28% نتيجة تعرض الجدار لحريق مسبق، حيث كانت الحلقات المتبقية للسلوك اللاخطي للجدار المعرض للحريق تلاه زلزال أقل اتساعاً وقدرة على تبديد الطاقة.

**الكلمات المفتاحية:** حريق ناتج عن وقوع زلزال، محاكاة عددية لجدار القص، ANSYS Workbench.

## **Numerical simulation of behavior for shear wall subjected to Post Fire – Lateral load using ANSYS Workbench**

---

### **Abstract:**

Previous research focused on seismic loading and thermal loading of shear walls independently, without taking the common effect between them, as the effect of structural damage resulting from fires on the resistance to the lateral load of reinforced concrete structures, especially shear walls, is not well understood, but it may be decisive in the case of the load bearing effect. sequence of fire and earthquake, since in the global design codes earthquakes and fires are treated as independent events.

Which may happen according to one of two possibilities:

The first possibility: the occurrence of a fire as a result of an earthquake followed by a strong aftershock.

The second possibility: a large fire occurred shortly before an earthquake.

Because of the importance of shear walls as a barrier against fire and as systems that resist lateral forces, it is necessary to procedure an analytical analysis to study the effect of fire on the seismic performance of the shear wall in the case of a fire occurring shortly before the earthquake, using ANSYS Workbench16.1 software, to evaluate the effect of post-fire on the seismic performance of the shear wall.

Through this research, the results of the analysis were compared with the results of the experiment in the reference study of a shear wall that was exposed to a post-fire lateral load in order to ensure the simulation of the experimental model accuracy, and to evaluate the effect of the post-fire on the seismic performance of the shear wall, the wall was exposed to a lateral load only without exposing it

to fire previously, and through the comparison, the results of the analytical study showed a decrease in the resistance of lateral forces by 14%, and decrease in the ability to dissipate energy by 28% as a result of the wall being exposed to a post-fire, as the hysteresis rings of the wall exposed to Fire – Lateral load were less extensive and the ability to dissipate and disperse energy.

**Keywords:** Fire caused by an earthquake, Numerical simulation for shear wall, Ansys Workbench.

## 1- مقدمة:

تعتبر الإجهادات الحرارية ذات دور كبير في تخفيض مقاومة العناصر الرئيسية الداخلة في الإنشاء، ولكن مازال تأثير الحريق ليس مفهوماً جيداً في حالة وجود أحمال متتالية مثل حدوث حريق زلزال، وقد تنتج مثل هذه المخاطر نتيجة حدوث حريق كبير قد استمر لفترة زمنية ومن ثم حدث زلزال، حيث يكون الحريق قد أدى إلى تغيير في خصائص العناصر الإنشائية وانخفاض في مقاومتها، وبسبب الدور الرئيسي لجدران القص في مقاومة الأحمال الجانبية فدراسة تأثير الحريق على مقاومتها الجانبية وقدرتها على تبديد الطاقة يُعد من المواضيع الهامة.

## 2- سلوك البيتون المعرض للحريق:

تعد الحرائق ظاهرة منتشرة بكثرة في المنشآت الصناعية والأبنية السكنية، وقد ترتفع درجة الحرارة فيها إلى حدود  $1000^{\circ}\text{C}$ ، وفي حال استمر الحريق لفترة من 1-2 ساعة، وتتعلق درجة حرارة سطح المنشأ على موقع حدوث الحريق وشدة النيران وموقع العنصر الإنشائي من الحريق.

تعد مقاومة البيتون الجيدة للحريق وقدرته على تحمل درجة الحرارة العالية من أهم مميزات البيتون المسلح مقارنة بمواد البناء الأخرى، ومع ذلك فالتعرض لدرجات الحرارة العالية يمكن أن يؤدي إلى تغيير في الخواص الميكانيكية، حيث أن ارتفاع درجات حرارة البيتون إلى  $95^{\circ}\text{C}$  يحدث تغيرات قليلة في الخواص الميكانيكية للبيتون، أما إذا ارتفعت درجة الحرارة عن  $95^{\circ}\text{C}$  فإن البيتون يعاني من التشقق نتيجة الجفاف ويحدث تباعد بين الحصى التي تؤدي إلى حدوث ضعف في مقاومة البيتون، ومن العوامل التي تؤثر على مقاومة البيتون على الضغط (درجة الحرارة القصوى، سماكة طبقة التغطية للعنصر

الإنشائي، مدة تعرض البيتون للحرارة، نوعية الركام، ونسبة الماء إلى الإسمنت في الخلطة).

### 3- مراجعة تاريخية للأبحاث السابقة ذات الصلة:

هناك بعض الأبحاث التي تناولت السلوك الزلزالي للعناصر الإنشائية والتي تعرضت سابقاً لأحمال حرارية ونذكر منها:

اختبر [11] Xiao J.Z. et al.، في العام 2005، أداء ما بعد الحريق لثلاثة إطارات خاصة مقاومة للعزوم من البيتون المسلح تحت تأثير الأحمال الدورية العكسية وتبين أن الحريق حول (عمود قوي - جائر ضعيف) في الإطار إلى (جائر قوي - عمود ضعيف)، اختبر [6] Liu G.، في العام 2010، خمسة عشر جدار تحت تأثير الحريق ومن ثم تم تطبيق الأحمال الجانبية في أعلى الجدران، وتوصل إلى خلاصة أن الأضرار الناجمة عن الحرائق تقلل من صلابة الجدران والقدرة على تحمل الأحمال الجانبية ، واختبر [3] EIMohandes F. et al، في العام 2013، أداء الأعمدة البيتونية المعرضة لحريق ومن ثم لحمل جانبي، حيث وجد أن القدرة المتبقية للأعمدة والمطاوعة تنخفض بشكل ملحوظ نتيجة تعرضها لحريق سابق، بينما اختبر Mueller K. et al. [8]، في العام 2017، سلوك خمسة عينات لجدران خرسانية مسلحة بعد التسخين مباشرة وكذلك بعد تبريدها، وكشفت الدراسة أنه نتيجة التسخين حدث انخفاض (مقارنة مع الظروف المحيطة) في المقاومة الجانبية خارج مستوى الجدران في حالي الضغط والشد، ومع تبريد الجدران لوحظ المزيد من فقدان المقاومة وزيادة في الانحناء في الشكل والذي يؤدي إلى عدم الاستقرار الهيكلي، وقام [10] Ni S. et al.، في العام 2018، بدراسة تحليلية لتقديم طريقة لمحاكاة تأثير حريق مسبق \_ زلزال على مجموعة من جدران القص، باستخدام كل من برنامج SAFIR و Opensees، حيث تم إجراء التحليل الحراري أولاً

باستخدام برنامج SAFIR، ومن ثم التحليل الزلزالي باستخدام برنامج Opensees، الذي يعد نظام مفتوح المصدر لمحاكاة الهندسة الزلزالية، وتحليل الاستجابة غير الخطية للإطارات الهيكلية المعرضة للإثارة الزلزالية، حيث أن نموذج OpeenSees يقوم بعمل أفضل من SAFIR في محاكاة القوة، والسلوك اللاخطي للجدار البيتوني المسلح، وتبديد الطاقة وانهيار الجدار، وللقيام بالتحليل الزلزالي في مرحلة ما بعد الحريق للجدران البيتونية المسلحة فمن الضروري الجمع بين OpeenSees وبرامج أخرى تمكن التحليل الحراري، وناقش [9] Mueller K. et al، في العام 2014، في هذه الدراسة التجريبية السلوك الميكانيكي الحراري لاثنتين من الجدران الخرسانية المسلحة تحت تأثير حمولة الحريق، وتم تصميم فرن غاز لتسخين وجه واحد من كل جدار وفق منحنى الحريق القياسي ASTM E119، وتم تسخين العينات من جهة واحدة فقط أي أنها لم تكن محاطة بالفرن، مما سمح بإجراء عمليات فحص بصرية ومراقبة السلوك خارج المستوي للأسطح غير المعرضة للحريق، وكلتا العينتين المختبرتين كانت مثبتة من القاعدة وحررة الحركة من الأعلى، كما تم تطبيق حمولة محورية ثابتة في الاتجاه الجانبي بالإضافة إلى حمولة شاقولية في الجزء العلوي، وتم النقاط الاستجابة باستخدام تقنية ارتباط الصورة الرقمية DIC والأشعة الحرارية تحت الحمراء.

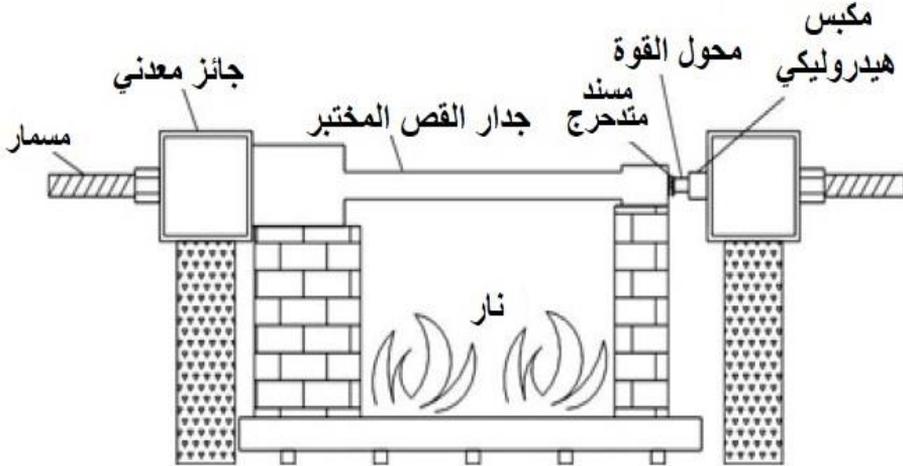
#### 4- منهجية البحث:

تم في هذا البحث استخدام برنامج ANSYS Workbench 16.1 ضمن بيئة العمل (Transient Thermal-static structural) لإجراء دراسة تحليلية لخطية، حيث تمت معايرة النموذج الوارد وفق الدراسة المرجعية مع الدراسة التحليلية للتأكد من دقة المحاكاة، ومن ثم تمت نمذجة جدار القص دون تعريضه لحريق مسبق لتقييم أثر الحريق على المقاومة الجانبية للجدار والقدرة على تبديد الطاقة.

## 5- النمذجة والمعايرة:

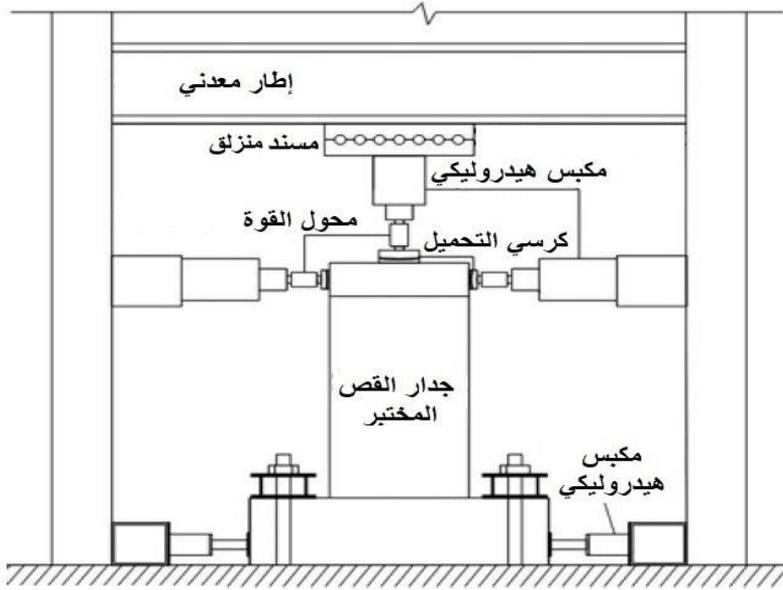
### 5-1 النمذجة التجريبي المستخدم في النمذجة العددية [5]:

تم الاعتماد على النموذج التجريبي (Gui-rong et al, 2010)، لمعايرة نموذج البحث وتقييم أداء سلوك جدران القص البيتونية المعرضة لحريق مسبق وحمولة جانبية، من خلال العمل التجريبي تعرض الجدار إلى درجة حرارة مرتفعة عن طريق احتراق الغاز السائل، وتم وضع الجدار بشكل أفقي، كما يبين الشكل (1)، مع تعرض الجدار للحريق من جانب واحد، وأثناء الاختبار خضع الجدار لحمل محوري ثابت يساوي 400 KN، لمحاكاة الأحمال الرأسية من طابق أعلى، تم تسخين العينة لمدة 90 دقيقة، حيث وصلت درجة الحرارة القصوى للبيتون المقاسة على بعد 5 mm من سطح الجدار إلى 531 درجة مئوية، وبعد ذلك ترك الجدار لمدة 90 دقيقة أخرى قبل تطبيق الحمولة الجانبية.

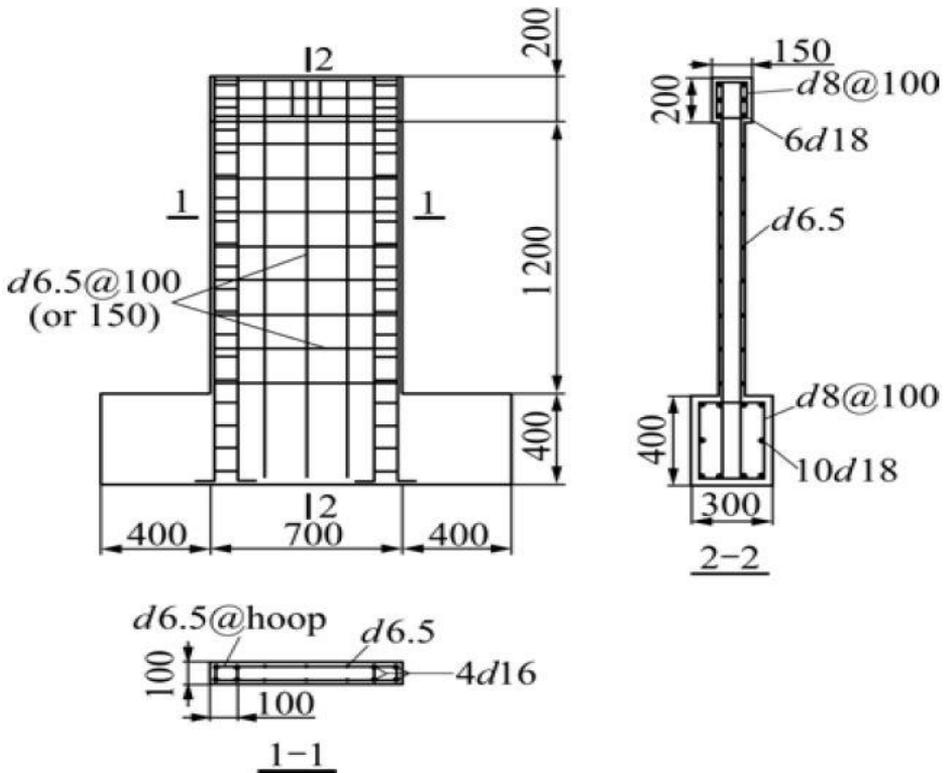


الشكل (1): التجربة عند تطبيق الحمل الحراري. [5]

يبين الشكل (2) تطبيق حمل دوري جانبي عن طريق مكابس هيدروليكية تعمل بالتناوب على الجدار المتضرر من الحريق، كما يوضح الشكل (3) أبعاد الجدار وتفاصيل التسليح للجدار.



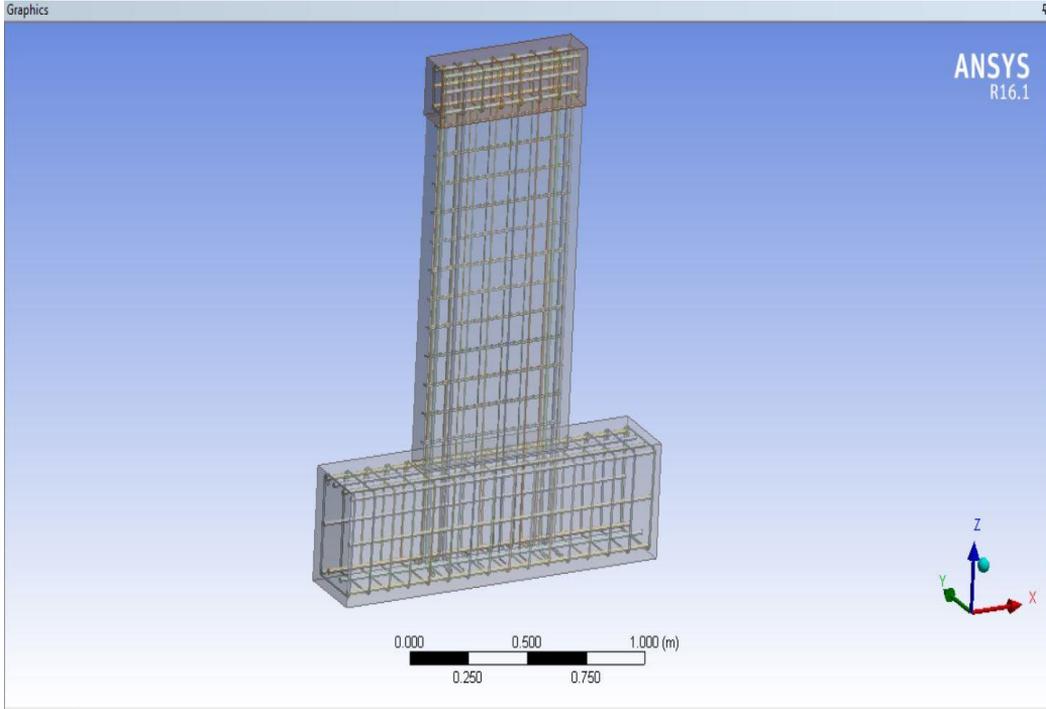
الشكل (2): التجربة عند تطبيق الحمل الدوري. [5].



الشكل (3): أبعاد الجدار وتفصيل التسليح. [5].

### 2-5 نمذجة الشكل الهندسي:

تم في هذه المرحلة استخدام تطبيق mechanical design modeler لإجراء عملية التشكيل والتصميم الهندسي لعناصر النموذج، ويبين الشكل (4) نموذج فراغي ثلاثي الأبعاد لكل من الجدار وفولاذ التسليح.

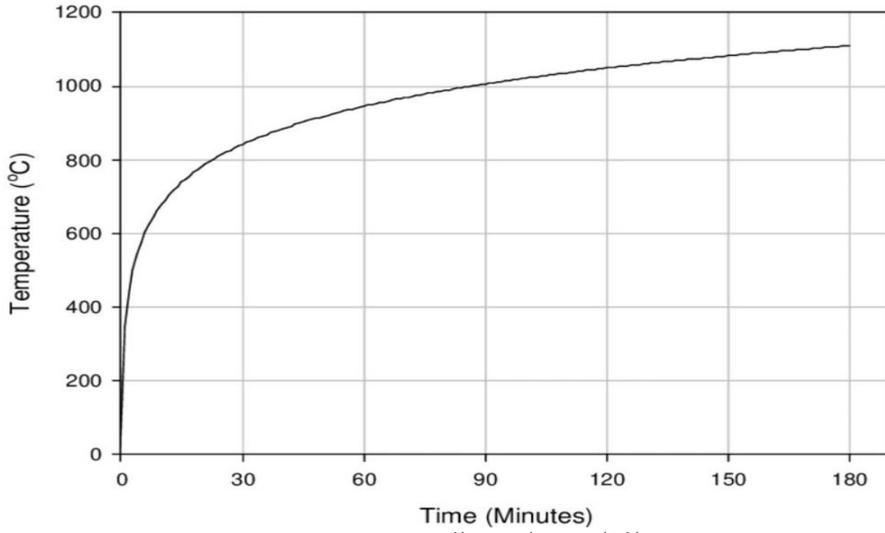


الشكل (4): نموذج فراغي ثلاثي الأبعاد لكل من الجدار وفولاذ التسليح ببرنامج Ansys workbench.

### 3-5 حمولة الحريق:

تم تطبيق منحنى الحريق القياسي ISO 834، كما هو مبين في الشكل (5) على وجه الجدار وهو يعبر تماماً عن تطور حريق الحجرة compartment fire، ومعادلته موضحة بالعلاقة التالية:

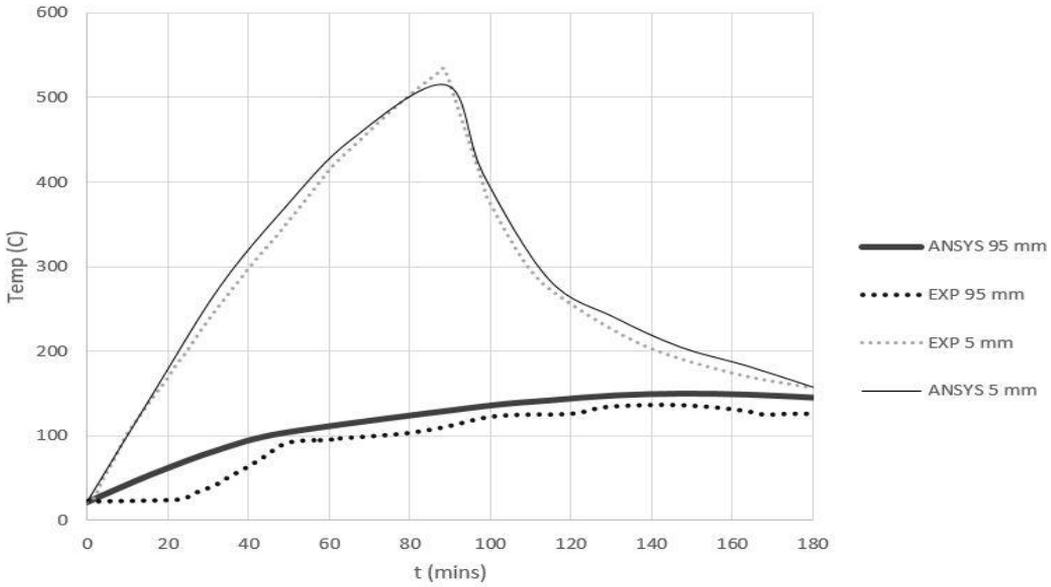
$$T_g = 345 * \log_{10}(8 * t + 1) + T_0$$



الشكل (5): الحريق القياسي ISO 834. [7]

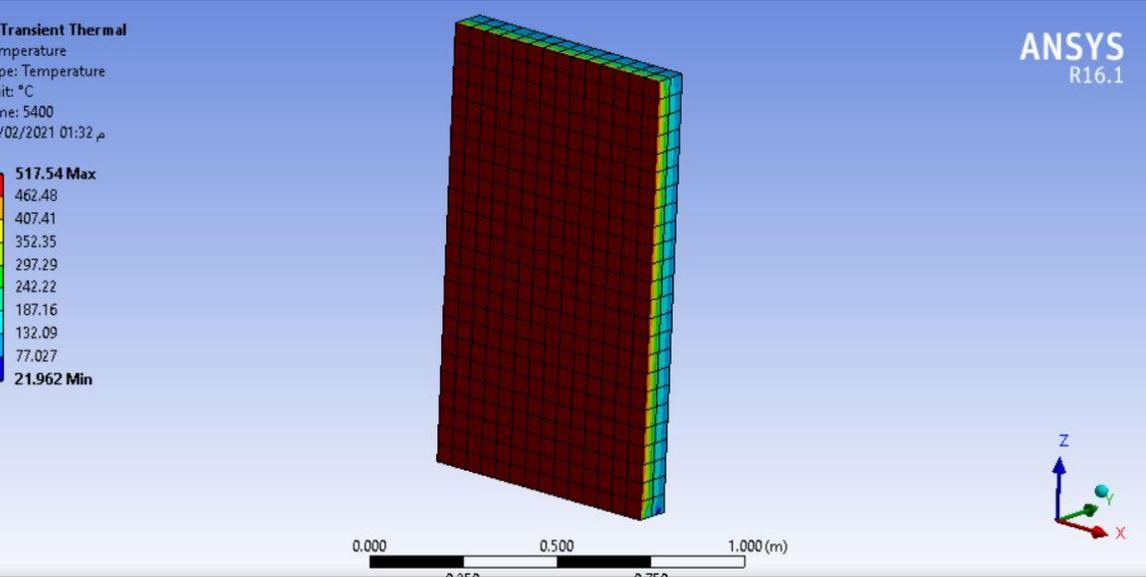
#### 4-5 نتائج التحليل الحراري:

نلاحظ من الشكل (6) التقارب الواضح بين السجل الزمني الحراري للجدار على مسافة  $5\text{mm}, 95\text{mm}$  من الجانب المعرض للحريق تجريبياً وتحليلياً، حيث أن أعلى قيمة درجة حرارة مسجلة تجريبياً 531 درجة مئوية بينما في الدراسة التحليلية 517 درجة مئوية، وبالتالي كان الفرق بين النتيجتين 3%، وهذا يؤكد على دقة النموذج المستخدم ببرنامج Ansys workbench وصلاحيته لإجراء التحليل الإنشائي عليه ومن ثم متابعة الدراسة لتقييم أثر الحريق على الأداء الزلزالي لجدار القص.



الشكل (6): المقارنة بالسجل الزمني الحراري للجدار تجريبياً وتحليلياً.

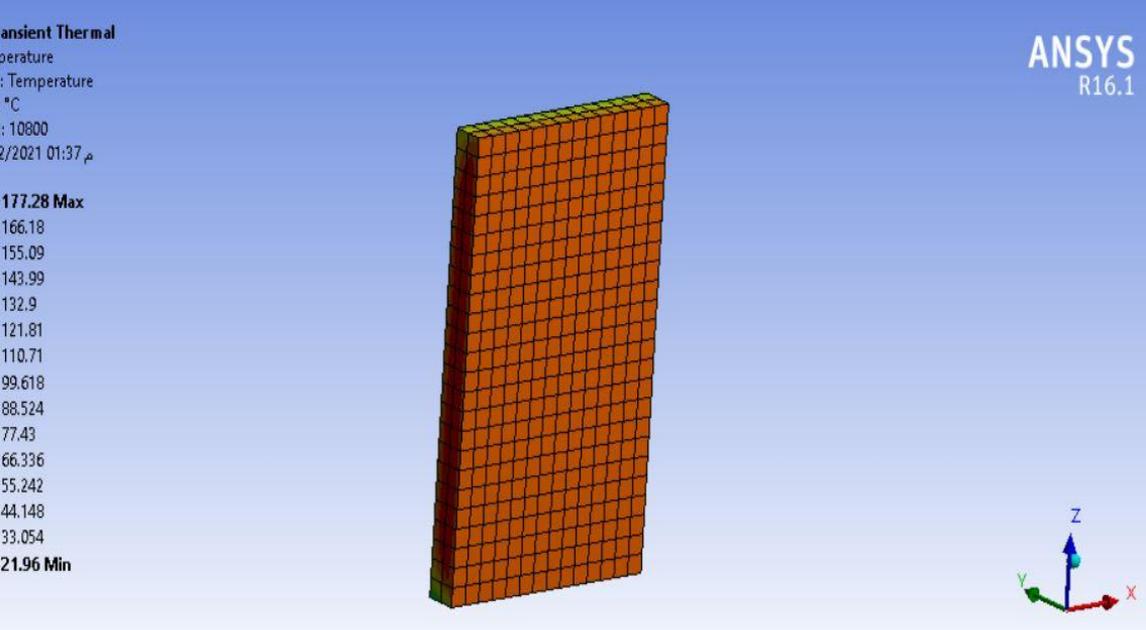
نلاحظ من الشكل (7) تغير في درجة حرارة الجدار عبر مقطعه و فرق واضح بين درجة الحرارة لوجهي الجدار وذلك لأن الجدار معرض للحمل الحراري من جانب واحد فقط، حيث كانت درجة حرارة وجه الجدار المقابل للحريق عند الزمن 90 دقيقة 517 درجة مئوية بينما الوجه غير المقابل للحريق 133 درجة مئوية.



الشكل (7): التوزيع الحراري في المقطع العرضي للجدار عند 90 دقيقة.

نلاحظ من الشكل (8) انخفاض الفرق بين درجتي الحرارة المسجلة لكل من وجه الجدار المعرض للحريق والغير المعرض للحريق في نهاية التحليل الحراري عند الزمن 180 دقيقة، ويفسر ذلك أنه تم إخماد الحريق في الدقيقة 90 ومن ثم حدث تبادل حراري عبر الجدار أدى لانخفاض الفرق الحراري بين وجهي الجدار، حيث كانت درجة حرارة وجه الجدار المقابل للحريق عند الزمن 180 دقيقة 177 درجة مئوية بينما الوجه غير المقابل للحريق 150 درجة مئوية.

محاكاة عددية لسلوك جدار قص معرض لحريق مسبق-حمولة جانبية باستخدام Ansys Workbench

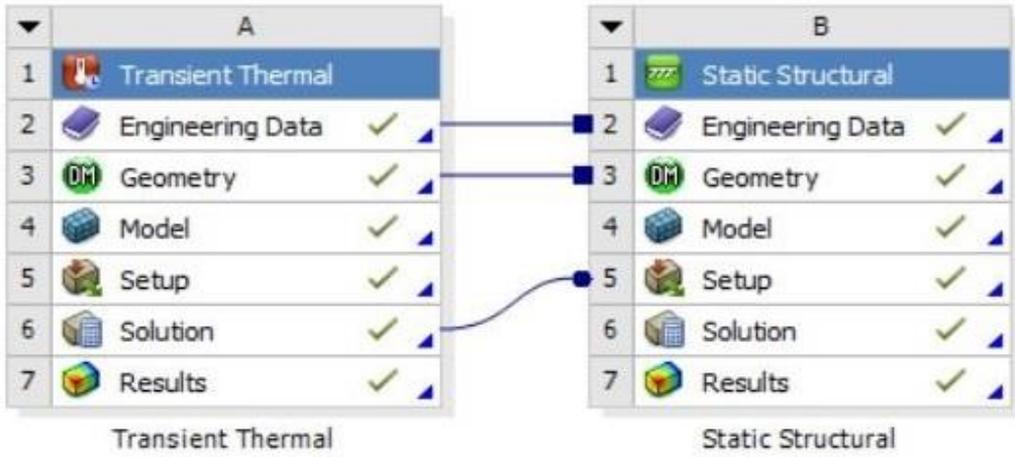


الشكل (8): التوزيع الحراري في المقطع العرضي للجدار عند 180 دقيقة.

### 5-5 تصدير نتائج التحليل الحراري إلى التحليل الإنشائي:

من خلال الشكل (6) نلاحظ التقارب في النتائج الحرارية بين العمل التجريبي والنمذجة باستخدام برنامج ANSYS Workbench، وبالتالي يمكن اعتماد النموذج الحراري وإجراء التحليل الإنشائي على نفس النموذج.

حيث تم استخدام طريقة التحليل الإنشائي الستاتيكي ANSYS Static Structural، وهي إحدى بيئات النمذجة باستخدام Ansys workbench v16.1 في تحليل المسائل الخطية واللاخطية، والتي تعتمد على الحركة والانتقال الزمني، إن هذه البيئة تمكننا من إجراء التحليل المرن واللدن للعناصر نفسها لمعرفة الإجهادات الداخلية المتشكلة و الناجمة عن الحمولات الخارجية أو الانتقالات المطبقة على النموذج الرياضي.

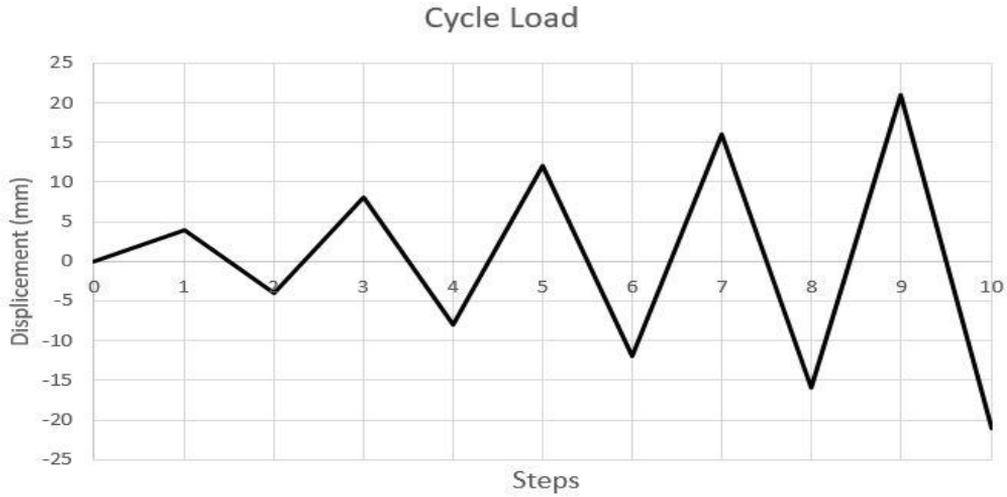


الشكل (9): تصدير نتائج التحليل الحراري إلى التحليل الإنشائي.

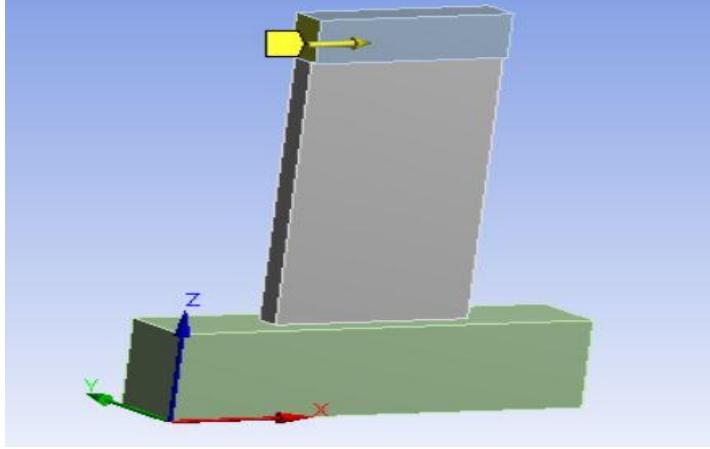
### 5-6 تطبيق الحملات الجانبية الدورية على الجدار:

تم تطبيق حمولة دورية Cyclic load بفواصل زمنية ثابتة الشكل (10)، طبقت الحمولة

أعلى الجدار كما في الشكل (11):

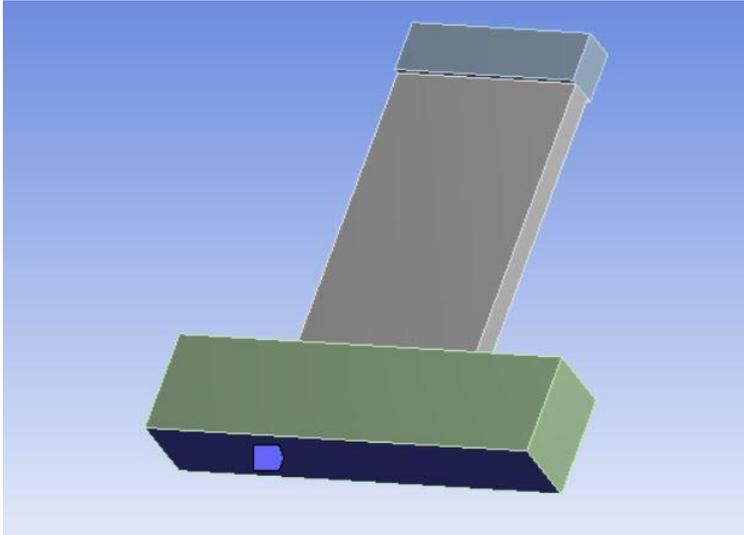


الشكل (10): شكل تابع تحميل الحمولة الدورية المطبقة على الجدار.



الشكل (11): الحمولات الجانبية المطبقة على الجدار.

أما بالنسبة للشروط الطرفية تم تقييد قاعدة الجدار من الناحية السفلية بشكل كلي على الانتقال  $(U_x, U_y, U_z=0)$ ، كما يبين الشكل (12).

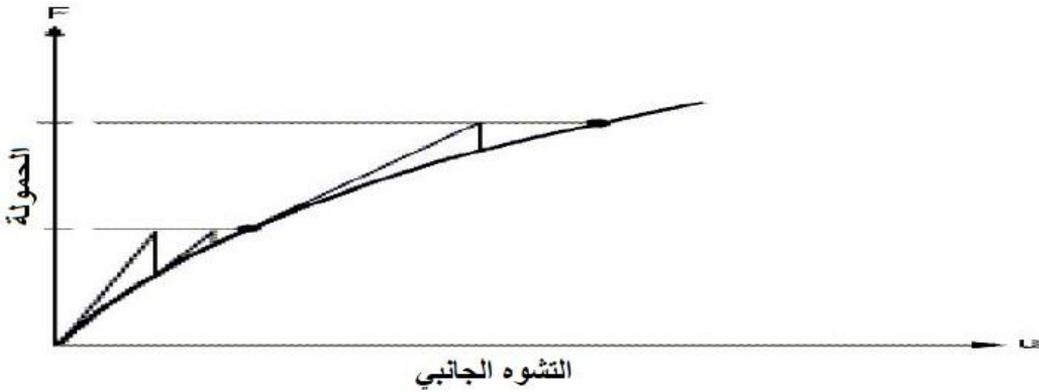


الشكل (12): تقييد الجدار من القاعدة.

### التحليل اللاخطي للنموذج:

تم تطبيق الحمولات في النموذج اللاخطي بشكل متدرج، حيث قسمت الحمولة إلى عدة حمولات مرحلية تسمى خطوات الحمولة (Load Steps)، ويقوم البرنامج بتعديل مصفوفة صلابة النموذج بعد كل خطوة تحميل لتعكس التغيرات اللاخطية على الصلابة

الإنشائية للعنصر ثم الانتقال إلى خطوة الحمولة التالية، مستخدماً طريقة (Newton-Raphson) التكرارية لتعديل صلابة النموذج تبعاً للتغيرات اللاخطية الحاصلة. يستخدم (Newton-Raphson) المنهج التكراري التوازني للوصول إلى تقارب الحل عند نهاية كل خطوة تحميل ضمن حدود التحميل، ويبين الشكل (13) هذا المنهج بالنسبة لدرجة حرية واحدة في التحليل اللاخطي. يقوم هذا المنهج على حساب شعاع قوى التوازن، وهو الفرق بين القوى الداخلية العائدة للإجهادات في العنصر والحمولات المطبقة ثم التحقق من معيار تقارب الحل فإذا لم يتحقق هذا المعيار يعاد حساب قوى التوازن، وتعديل مصفوفة الصلابة، وينتقل إلى التكرار التالي وهكذا يستمر التكرار حتى تحقيق معيار التقارب. [1]

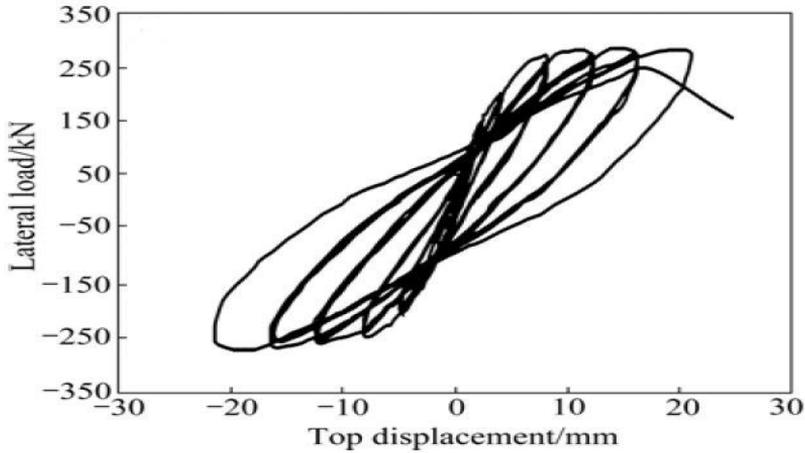


الشكل (13): طريقة نيوتن-رافسون لدرجة حرية واحدة [1]

#### 7-5 نتائج التحليل الإنشائي للجدار المتعرض لحريق مسبق:

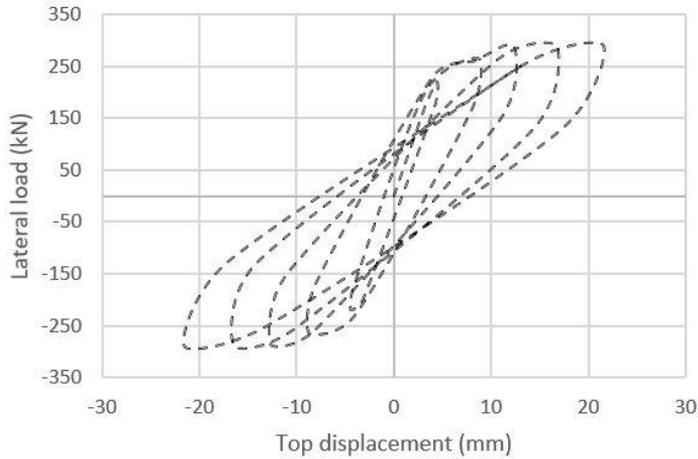
بلغت القوة الأفقية المقابلة للانتقال 21mm في نهاية دورة التحميل العاشرة 281kN تجريبياً، كما يبين الشكل (14)، بينما بلغت تحليلاً 286kN ، كما يبين الشكل (15)، ويلاحظ وجود توافق جيد بين الحلقات المتبقية للسلوك اللاخطي التجريبية والتحليلية الناتجة عن نموذج المحاكاة العددية، مما يدل على دقة نموذج المحاكاة العددية.

محاكاة عددية لسلوك جدار قص معرض لحريق مسبق-حمولة جانبية باستخدام Ansys Workbench



الشكل (14): الحلقات المتبقية للسلوك اللاخطي الناتجة عن الحمولة الدورية المطبقة تجريبياً. [6]

N4T9D

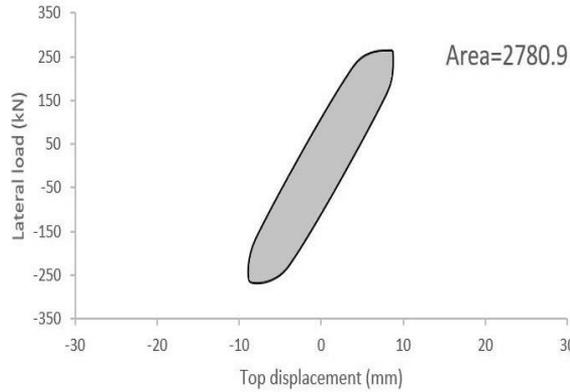
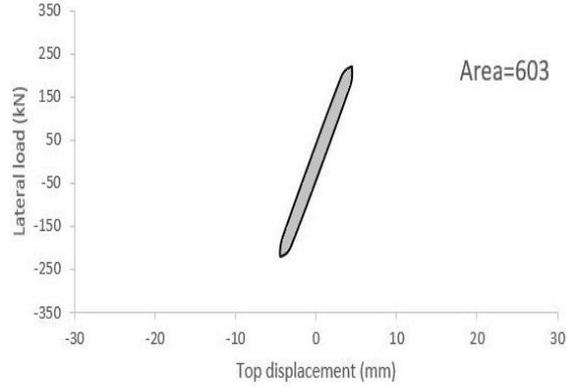


الشكل (15): الحلقات المتبقية للسلوك اللاخطي الناتجة عن الحمولة الدورية المطبقة تحليلياً باستخدام

.ANSYS WORKBENCH

باستخدام خيار new charts table في بيئة Ansys تمكنا من رسم مخطط القوة-انزياح للجدار، والذي يمثل hysteric loop، ثم تم تصدير النتائج إلى برنامج Origin lab، لحساب الطاقة المبددة في كل دورة من المساحة المغلقة الواقعة داخل الحلقة من منحنى القوة-انتقال حتى الحصول على الطاقة المبددة الكلية، وتبين الأشكال

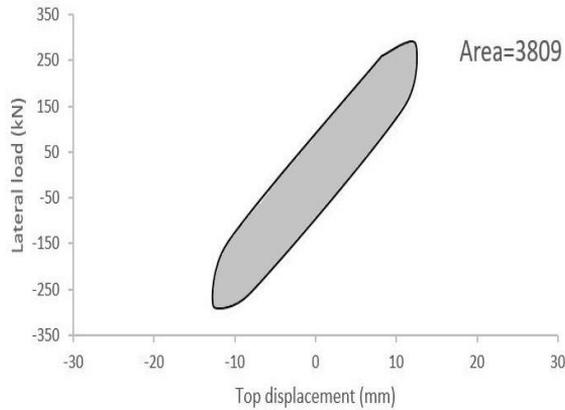
من (16) وحتى الشكل (21) الطاقة المبدة لكل حلقة، ومن خلال جمع مساحات الحلقات مع بعضها البعض نجد أن الطاقة المبدة الكلية بلغت 19254 جول.



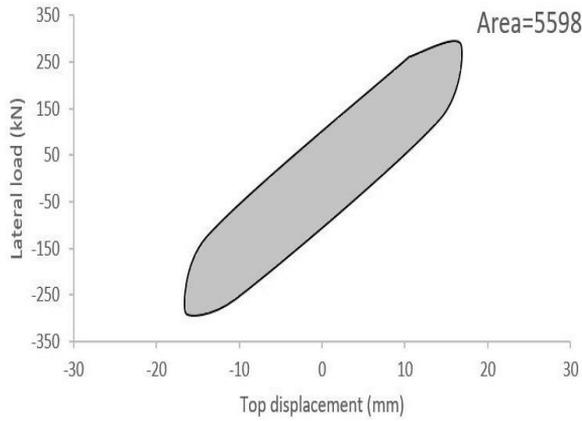
الشكل (17): الطاقة المبدة للحلقة

الشكل (16): الطاقة المبدة للحلقة الأولى.

الثانية.

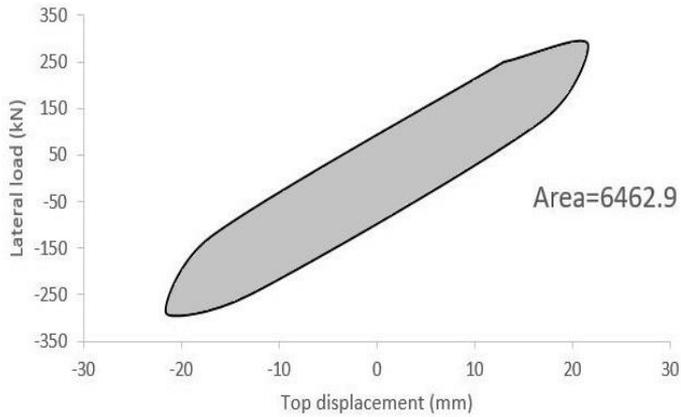


محاكاة عددية لسلوك جدار قص معرض لحريق مسبق-حمولة جانبية باستخدام Ansys Workbench

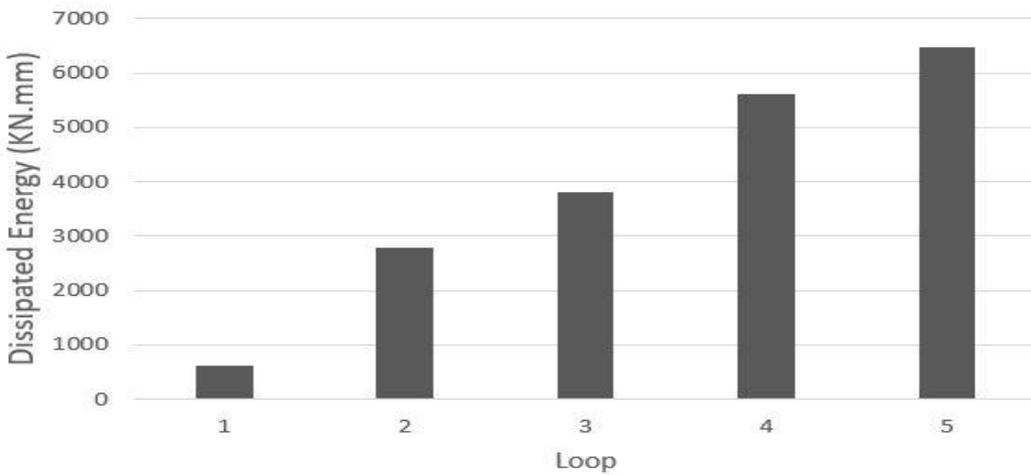


الشكل (19): الطاقة المبذولة للحلقة الرابعة.

الشكل (18): الطاقة المبذولة للحلقة الثالثة.

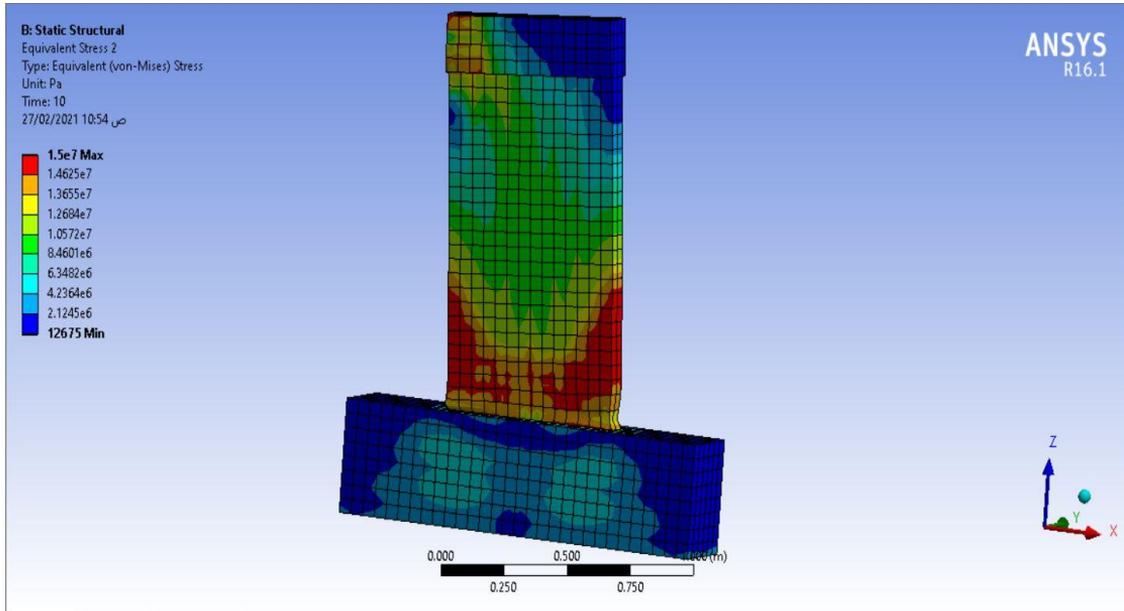


الشكل (20): الطاقة المبذولة للحلقة الخامسة.



الشكل (21): الطاقة المبذودة لكل حلقة.

تبين نتائج الدراسة التحليلية أن الانهيار الحاصل للجدار نتج بداية عن تطور قوى الشد، حيث مع تزايد الانزياح الجانبي ومع زيادة الحمولة تدريجياً تتولد قوى شد قطرية مع ازدياد قوى الشد الناتجة عن العزم على مسافة أكبر على طول منطقة اتصال الجدار مع الأساس، ومع ازدياد التحميل تزداد الإجهادات الضاغطة في زوايا الجدار السفلية كما يبين الشكل (22)، ثم يحصل الانهيار في الزوايا المضغوطة نتيجة انهيار البيتون فيها.

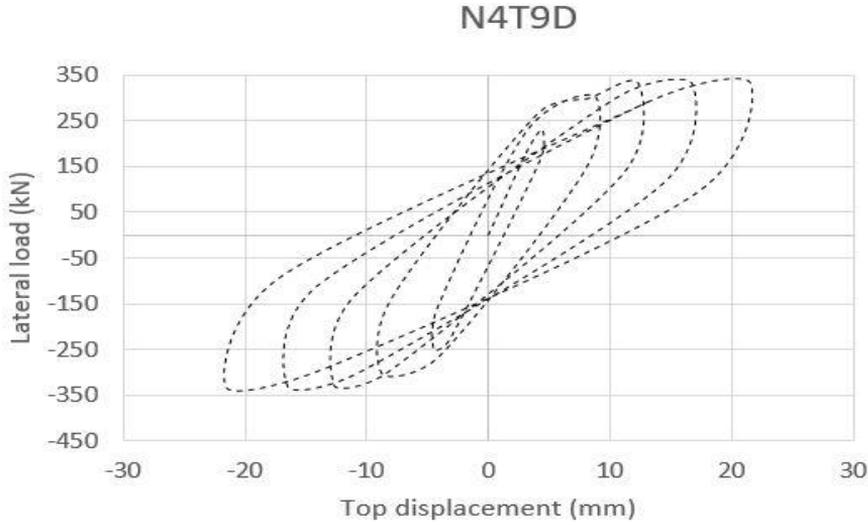


الشكل (22): إجهادات von mises المتشكلة في الجدار في نهاية تطبيق دورة التحميل العاشرة.

### 8-5 نتائج التحليل الإنشائي للجدار المعرض لحمولة جانبية فقط:

لتقييم أثر الحريق المسبق على الأداء الزلزالي لجدار القص تم تعريض الجدار السابق لحمولة جانبية فقط دون تعريضه لحريق مسبق، حيث تم تطبيق ذات الحمولة الجانبية وإسناد خصائص المواد والشروط المحيطة وضبط خيارات التحليل ذاتها، وبلغت القوة الأفقية المقابلة للانتقال 21mm في نهاية دورة التحميل العاشرة للجدار غير المعرض للحريق 334 kN، كما يبين الشكل (23)، وبالتالي انخفضت المقاومة الجانبية للجدار نتيجة التعرض للحريق بمقدار 14%، كما نلاحظ اتساع الحلقات المتبقية للسلوك اللاخطي للجدار غير المعرض للحريق.

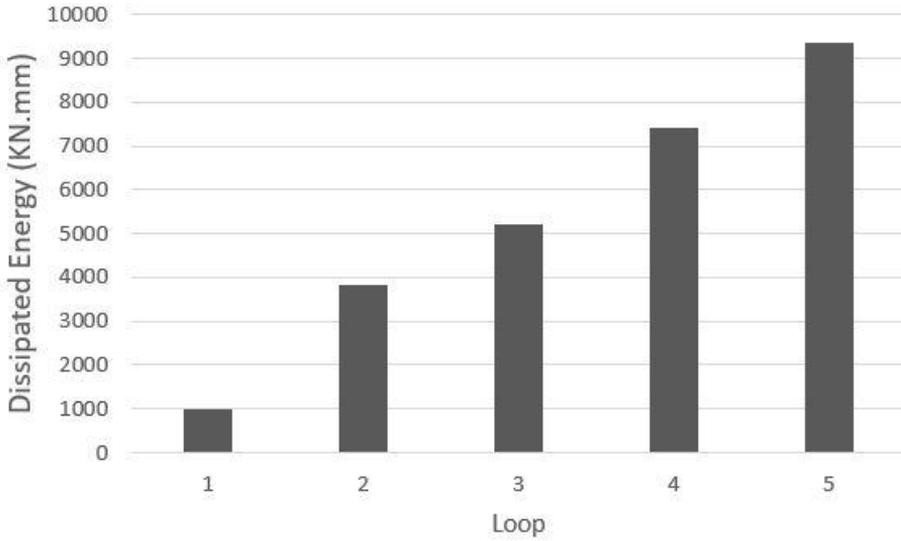
محاكاة عددية لسلوك جدار قص معرض لحريق مسبق-حمولة جانبية باستخدام Ansys Workbench



الشكل (23): الحلقات المتبقية للسلوك اللاخطي الناتجة عن الحمولة الدورية المطبقة للجدار غير المعرض للحريق تحليلياً

باستخدام ANSYS WORKBENCH.

تم تصدير النتائج إلى برنامج Origin lab، لحساب الطاقة المبددة الكلية في كل دورة من المساحة المغلقة الواقعة داخل الحلقة من منحنى القوة-انتقال، وبلغت الطاقة المبددة الكلية 26831 جول، ومنه نستنتج أن تعرض الجدار لحريق مسبق أدى لانخفاض في قدرة الجدار على تبديد الطاقة بمقدار 28%.



الشكل (24): الطاقة المبذولة لكل حلقة.

## 6- الاستنتاجات:

يمكن تلخيص النتائج الأساسية التي تم الحصول عليها:

1. يمكن اعتماد برنامج ANSYS WORKBENCH لإجراء محاكاة زلزال ما بعد الحريق، حيث تمكنا من التنبؤ بدقة بالسجل الزمني لدرجة حرارة الجدار تحت الحريق حيث كان الفرق بين أعلى قيمة درجة حرارة مسجلة تجريبياً وتحليلياً 3%، كما تم التحقق من سعة التحميل الجانبي للجدار المتضرر من الحريق تحت الأحمال

الجانبية العكسية الدورية من خلال التوافق بين الحلقات المتبقية للسلوك اللاخطي التجريبية والتحليلية الناتجة عن نموذج المحاكاة العددية، مما يدل على دقة نموذج المحاكاة العددية.

2. انخفضت المقاومة الجانبية للجدار نتيجة التعرض لحريق مسبق بمقدار 14%، حيث بلغت القوة الأفقية المقابلة للانتقال 21mm للجدار غير المعرض للحريق في نهاية دورة التحميل العاشرة 334 KN، بينما بينما بلغت قيمتها للجدار المعرض للحريق 286 KN.

3. انخفضت القدرة على تبديد الطاقة للجدار نتيجة التعرض لحريق مسبق بمقدار 28%، حيث كانت الحلقات المتبقية للسلوك اللاخطي للجدار غير المعرض للحريق أكثر اتساعاً وقدرة على تبديد وتشتيت الطاقة.

#### 7- التوصيات:

إجراء دراسات تحليلية باستخدام برنامج ANSYS WORKBENCH تأخذ متغيرات مثل مدة التعرض للحريق، الجدار معرض للحريق من الجانبين، وتأثيرها على المقاومة الجانبية لجدار القص.

## References:

- [1] ANSYS, ANSYS Users Manual Revision 11, Ansys, Inc., Canonsburg, Pennsylvania, 2005.
- [2] Chang Y.F., Chen Y.H., Sheu M.S., Yao G.C., Residual stress–strain relationship for concrete after exposure to high temperatures, *Cem. Concr. Res.* 36 (10) (2006) 1999–2005.
- [3] ElMohandes F., Vecchio F.J., User's Manual and B. Simple Coupled Thermal and Structural Analysis, Dept. of Civil Engineering, University of Toronto, 2013.
- [4] Eurocode2, Design OF concrete structures, part 1-2: General rules-structural fire design, 2004.
- [5] Gui-rong L., Yu-pu S., Fu-lai Q., Post-fire cyclic behavior of reinforced concrete shear walls, *J. Cent. South Univ. Technol.* (2010) 17: 1103–1108.
- [6] Liu G. R., Experimental study on fire resistance and post-fire seismic behavior of concrete shear wall, PhD Thesis. PhD dissertation, Dalian University of Technology, 2010.

- [7] Lim L., Wade C., Experimental Fire Tests of Two-Way Concrete Slabs, University of Canterbury, Fire Engineering Research Report 1173-5996, 2002.
- [8] Mueller K., Kurama Y., Out-of-plane behavior of reinforced concrete bearing walls after one-sided fire, ACI Struct. J. 114 (1) (2017) 149–160.
- [9] Mueller K., Kurama Y., McGinnis M., Out-of-plane behavior of two reinforced concrete bearing walls under fire: a full-scale experimental investigation. ACI Structural Journal, 2014, 111.5: 1101.
- [10] Ni S., Birely A.C., Simulation procedure for the post-fire seismic analysis of reinforced concrete structural walls, Fire Safety Journal 95 (2018) 101–112.
- [11] Xiao J.Z., Meng X., An experimental study on the seismic behavior of HPC frames after fire, China Civ. Eng. J. 38 (8) (2005) 36–42.