Developing A Reliable Analytical Model Using ANSYS Software To Demonstrate The Structural And Thermal Behavior Of Flat Slabs Under Fire Exposure

Dr. Abd al-Rahman Issa*

Ahmad al-Sayyed**

(Received 27 / 9 / 2024. Accepted 4 / 12 / 2024)

□ ABSTRACT □

This study presents a clear, reliable, and experimentally consistent method for developing an analytical model for flat slabs using the finite element method. A numerical platform was established using ANSYS software, enabling the analysis of additional parameters specific to flat slabs, such as fire exposure side, concrete characteristic strength, and support conditions.

The study also demonstrated a good agreement between the analytical results obtained using the finite element method and the experimental results. Based on the assumptions of the completed analytical research, a reliable and accurate numerical model was developed in comparison to experimental models. This approach helps save time and costs while enabling the investigation of numerous variables with a high degree of reliability in the results.

Keywords : Flat slabs, fire , ANSYS

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Professor- Department of Constructional Engineering- Faculty of Civil Engineering- Al-Baath University- Homs- Syria.**

** **Ph.D. Student- Department of Constructional Engineering- Faculty of Civil Engineering- Al-Baath University- Homs- Syria.**

وضع نموذج تحليلي موثوق باستخدام برنامج ANSYS يبين السلوك الإنشائي والحراري للبلاطات الفطرية عند تعرضها للحريق

د. عبد الرحمن عيسى*

احمد السيد**

(تاريخ الإيداع 27 / 9 / 2024. قُبِل للنشر في 4/ 12 / 2024)

□ ملخّص □

يقدم البحث طريقة واضحة و موثوقة لبناء نموذج تحليلي للبلاطات الفطرية باستخدام طريقة العناصر المحدودة وإيجاد منصة عددية باستخدام برنامج ANSYS مما يمكن من دراسة تغير البارامترات الإضافية الخاصة بالبلاطات الفطرية (جهة التعرض للحريق ، المقاومة المميزة للبيتون ، شروط الاستناد).

و قد أظهرت الدراسة توافقا جيدا بين نتائج الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة مع النتائج التجريبية بشكل عام، حيث تم الحصول وفق افتراضات البحث التحليلي المنجز على نموذج عددي دقيق مقارنة مع النماذج التجريبية ، مما يساعد في توفير الوقت والتكاليف ويعطي امكانية لدراسة العديد من المتغيرات بدرجة جيدة من الموثوقية للنتائج.

الكلمات المفتاحية: بلاطات فطرية – حريق – المقاومة المميزة للبيتون .

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* أستاذ – قسم الهندسة الإنشائية –كلية الهندسة المدنية–جامعة البعث – حمص– سورية.

**طالب دكتوراه –قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية–جامعة البعث– حمص– سورية.

مقدمة:

إن مسألة الحفاظ على المنشآت البيتونية المسلحة القائمة أو المخطط إنشاؤها وحماية عناصرها الإنشائية المختلفة كالبلاطات الفطرية من تأثير الحرائق ذات أهمية كبيرة وخاصة أنها كانت من أكثر عوامل الخطر المهددة لعناصر المنشآت المختلفة ، و بسبب ندرة الدراسات التي شملت التحليل الحراري للبلاطات الفطرية لقلة استخدامها في أنظمة البناء السورية القائمة .

كما وجب الاستفادة من تطور العمل الحاسوبي وطرق التحليل المتقدم للحريق وتأثيره على العناصر الإنشائية بطريقة العناصر المحدودة من خلال إجراء التحليل الحراري والإنشائي للبلاطات الفطرية.

أهمية البحث وأهدافه:

تتأثر المنشآت القائمة والموضوعة في الخدمة بالعوامل الطارئة وخاصة في حالة الحروب ، كتعرضها أو تعرض عناصرها الإنشائية ومن ضمنها البلاطات البيتونية المسلحة (ومنها البلاطات الفطرية) للحرائق الناتجة عن الانفجارات أو حوادث كهربائية عادية تسبب احتراق المواد الموجودة تحتها مما يضعف من قدرة تحملها ويجعلها أحياناً تتجاوز حدود الاستثمار لدرجة حرجة أو قد تصل للانهيار عند حمولات أقل من الحمولات الحدية التصميمية بالتالي تبرز أهمية هذا البحث في :

- الاستفادة من تطور العمل الحاسوبي وطرق التحليل المتقدم للحريق وتأثيره على العناصر الإنشائية بطريقة العناصر المحدودة لدراسة هذه الحالات .
- يقدم البحث طريقة واضحة و موثوقة ومنسجمة مع النتائج التجريبية لبناء نموذج تحليلي للبلاطات الفطرية باستخدام طريقة العناصر المحدودة وإيجاد منصة عددية ببرنامج ANSYS مما يمكن من دراسة تغير المتغيرات الإضافية الخاصة بالبلاطات الفطرية (جهة التعرض للحريق ، المقاومة المميزة للبيتون ، شروط الاستناد).
- بناء نموذج تحليلي باستخدام برنامج ANSYS للبلاطات المختبرة من أجل إجراء مقارنة مع النتائج التجريبية ودراسة تأثير تغير بعض البارمترات على سلوك الثقب في البلاطات الفطرية.

الدراسات المرجعية:

1- سلوك البلاطات البيتونية المسلحة المسطحة المعرضة للحريق تجريبياً وعددياً باستخدام برنامج ANSYS " Behavior of Reinforced Concrete Flat Slab Exposed To Fire Experimentally And Numerically By (ANSYS)" [2]

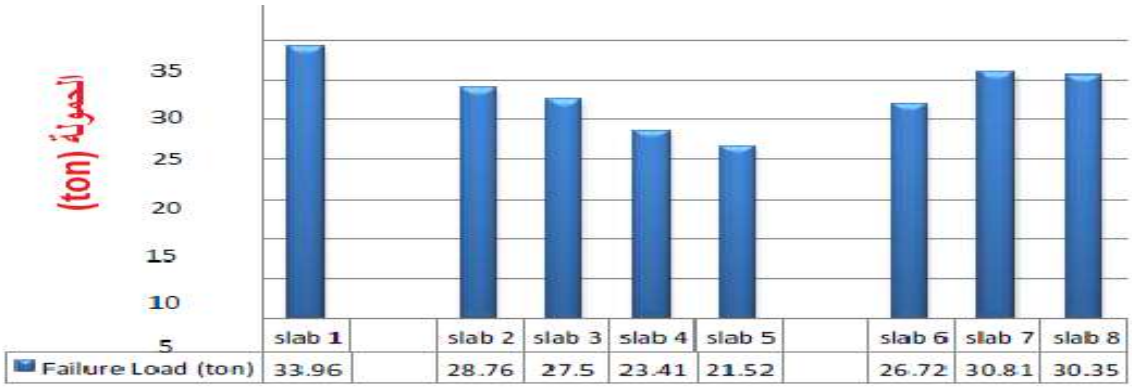
قام الباحثون (Gouda Ghanem , Tarek Ali, Mohamed Nooman and Mohamed Kadry) بإجراء دراسة عددية و تجريبية لثمان بلاطات بيتونية مسطحة معرضة للحريق من الوجه السفلي وبدرجة حرارة أعظمية ثابتة لجميع البلاطات 600^{o} ، وقسمت البلاطات لمجموعتين وكانت متغيرات البحث تثبيت سماكة طبقة التغطية البيتونية (25mm) مع تغيير مدة التعرض للحريق من (1 الى 4) ساعات وذلك لبلاطات المجموعة (A) ، وتغيير سماكة التغطية البيتونية (30,35,40mm) مع تثبيت مدة التعرض للحريق والبالغة (4) ساعات .

ويوضح الشكل (3-1) تسليح البلاطات المدروسة، ويوضح الشكل (3-2) نموذج تحميل البلاطات وطريقة إجراء التجربة والفرن المستخدم لحرق العينات.

الشكل (3-1) تسليح البلاطات المدروسة

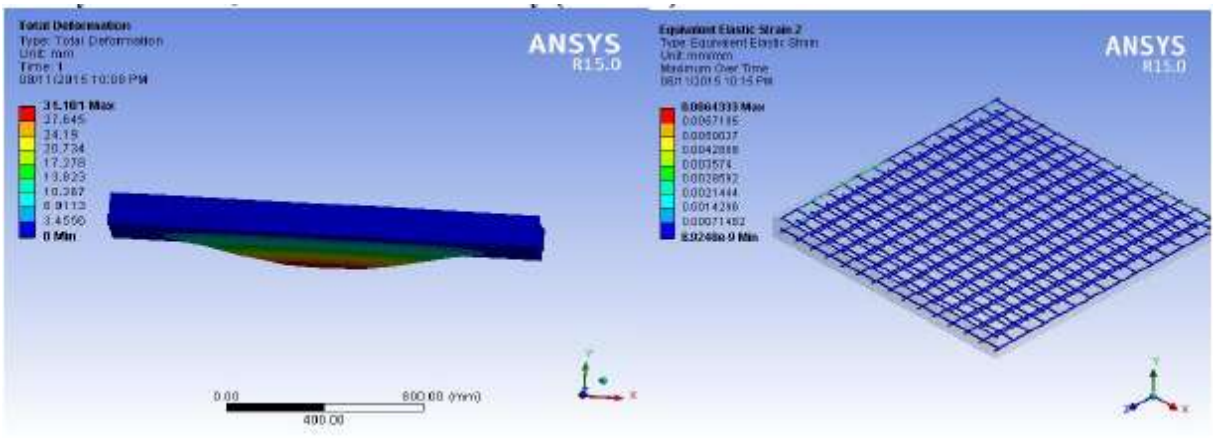
الشكل (3-2) نموذج تحميل البلاطات وطريقة إجراء التجربة والفرن المستخدم لحرق العينات

يوضح الشكل (3-3) لنتائج التجريبية لحمولات الانهيار للبلاطات المجربة المختلفة .



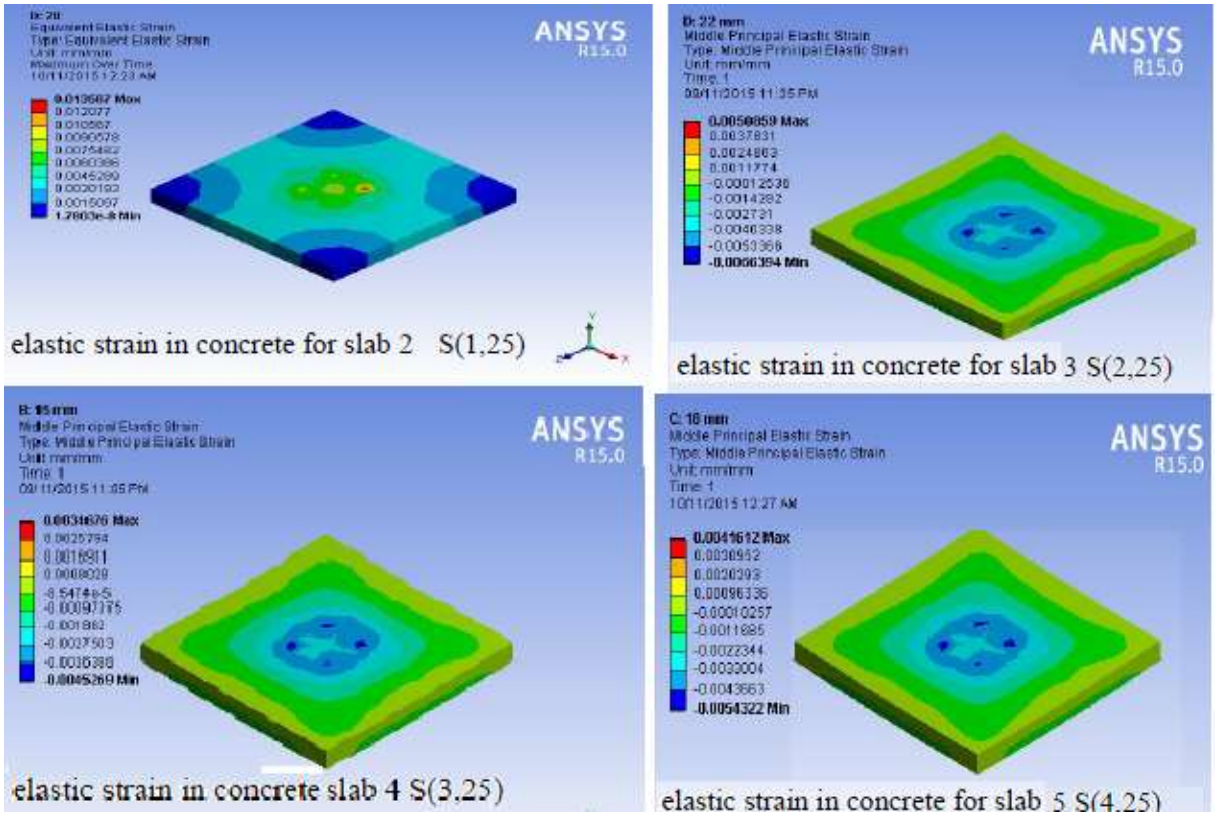
الشكل (3-3) النتائج التجريبية لحمولات الانهيار للبلاطات المجربة

تم إنشاء نماذج عددية للبلاطات المجربة لاستخدام برنامج ANSYS-15 لاختبار إمكانية البرنامج على تمثيل تأثير الحريق على البلاطات المسطحة المجربة ، ويوضح الشكل (3-4) نتائج الانتقال الكلي للنموذج العددي الخاص بالبلاطة المرجعية S1 .

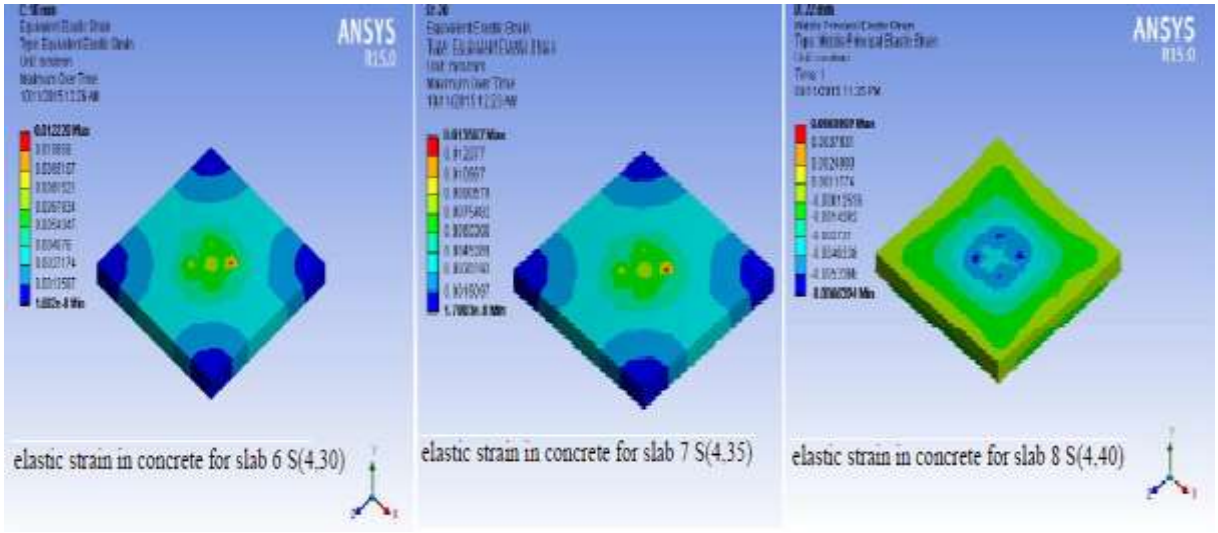


الشكل (3–4) نتائج الانتقال الكلي للنموذج العددي الخاص بالبلاطة المرجعية S1

ويوضح الشكلان (3-5) ، (3-6) نتائج التشوهات المرنة للبلاطات المجربة عند الانهيار تحت تأثير التحليل الحراري–الإنشائي باستخدام برنامج ANSYS، ويوضح الجدول (3–4) مقارنة النتائج التجريبية مع العددية للبلاطات المجربة



الشكل (3–5) نتائج التشوهات المرنة لبلاطات المجموعة A تحت تأثير التحليل الحراري– الإنشائي



الشكل (3-6) نتائج التشوهات المرنة لبلاطات المجموعة B تحت تأثير التحليل الحراري– الإنشائي

الجدول (3–1) مقارنة نتائج حمولة الانهيار العددية والتجريبية لمجموعتي البلاطات المسطحة

المجموعة	رمز البلاطة	مدة الحريق (ساعة)	سماكة التغطية البيتونية (mm)	حمولة الانهيار العددية(ton)	حمولة الانهيار التجريبية (ton)	النتائج العددية/التجريبية
A	1 S(0,25)	0	25	35	33.96	1.03
	2 S(1,25)	1	25	29	28.76	1.01
	3 S(2,25)	2	25	28	27.50	1.02
	4 S(3,25)	3	25	25	23.41	1.07
	5 S(4,25)	4	25	22.5	21.52	1.05
B	6 S(4,30)	4	30	27.5	26.72	1.03
	7 S(4,35)	4	35	32	30.81	1.04
	8 S(4,40)	4	40	31.8	30.65	1.05

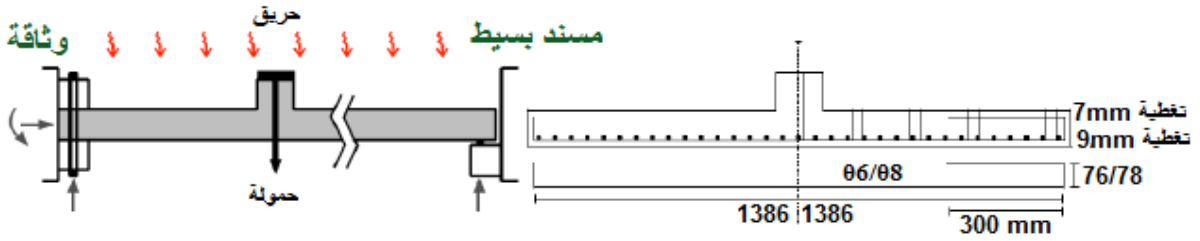
ومن خلال مقارنة نتائج القياسات للبلاطات المجربة يمكن تلخيص النتائج التي توصل لها الباحثون بما يلي :

- إن زيادة مدة التعرض للنار من ساعة إلى أربع ساعات مع تثبيت سماكة التغطية والبالغة 25mm سبب تناقص قدرة التحمل التجريبية بنسب تراوحت بين (15.31%) إلى (36.63%) مقارنة مع البلاطة المرجعية S1 غير المعرضة للحريق وذات سماكة تغطية 25mm .
- إن زيادة سماكة الغطاء الخرساني بالقيم التالية (30 mm، 35، 40) تسبب زيادة حمولة الانهيار للبلاطات المعرضة للحريق لمدة ثابتة قدرها أربع ساعات بنسبة (24.16 %، 43.17، 42.43) على التوالي مقارنة بالبلاطة S5(4,25).
- تتقارب النتائج العددية مع التجريبية بنسبة تتراوح بين (1–7 %) ويبدي النموذج العددي نتائج أعلى من التجريبي.

2 - أداء البلاطات البيتونية المسطحة المعرضة للحريق :

"Fire Performance of Concrete Flat Slabs"

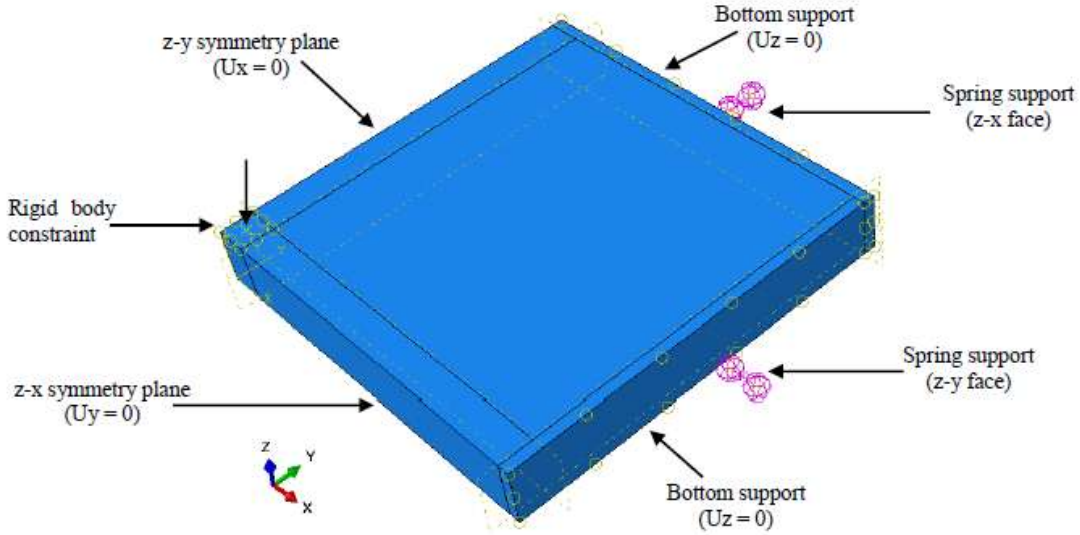
قام الباحثون (Pasindu Weerasinghe, Priyan Mendis, Kate Nguyen, Tuan Ngo) بإجراء دراسة عددية باستخدام طريقة العناصر المحدودة لنموذج حقيقي لبلاطة بيتونية مستوية مربعة الشكل أبعادها (1.4m x 1.4m x 0.1m) وأبعاد العمود المربع المركز في وسطها (0.25m x 0.25m x 0.1m) وخواص موادها معتمدة على النموذج التجريبي المرجعي المختبر من قبل الباحث Smith [8] والموضح في الشكل (3-7) وهي مسلحة 6ϕ8 بالاتجاه الرئيسي و 6ϕ8 بالاتجاه المعامد.



الشكل (3-7) نموذج البلاطة التجريبية المرجعية المختبرة من قبل الباحث

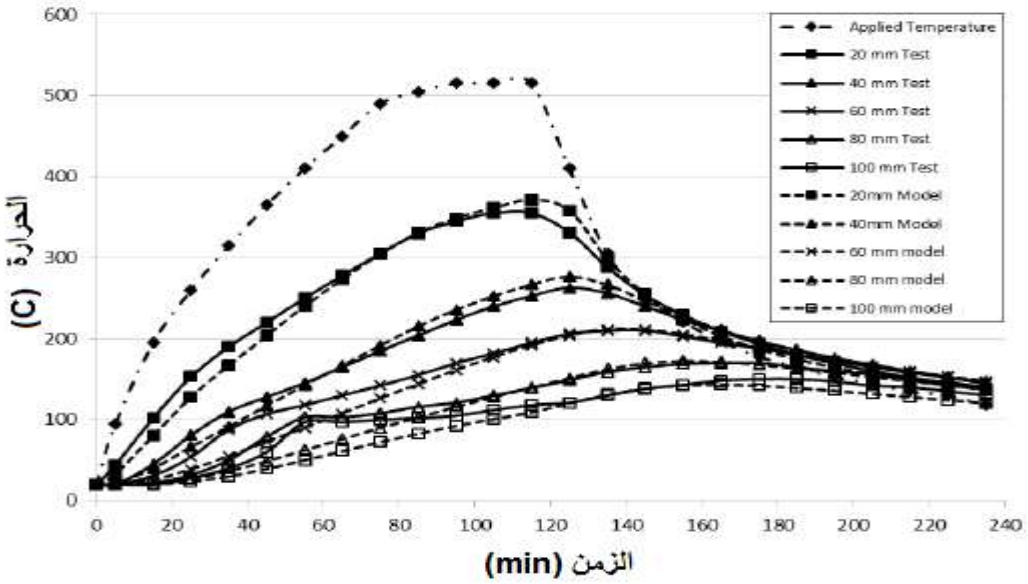
وكانت المقاومة المكعبية المميزة للخرسانة 51 MPa وإجهاد الخضوع للفولاذ 549MPa واعتمدت توصيات الكود الأوروبي لتحديد الخواص الحرارية للبيتون .

بالاستفادة من خواص التناظر قام الباحثون ببناء نموذج عددي لربع البلاطة كما هو موضح في الشكل (3-8)



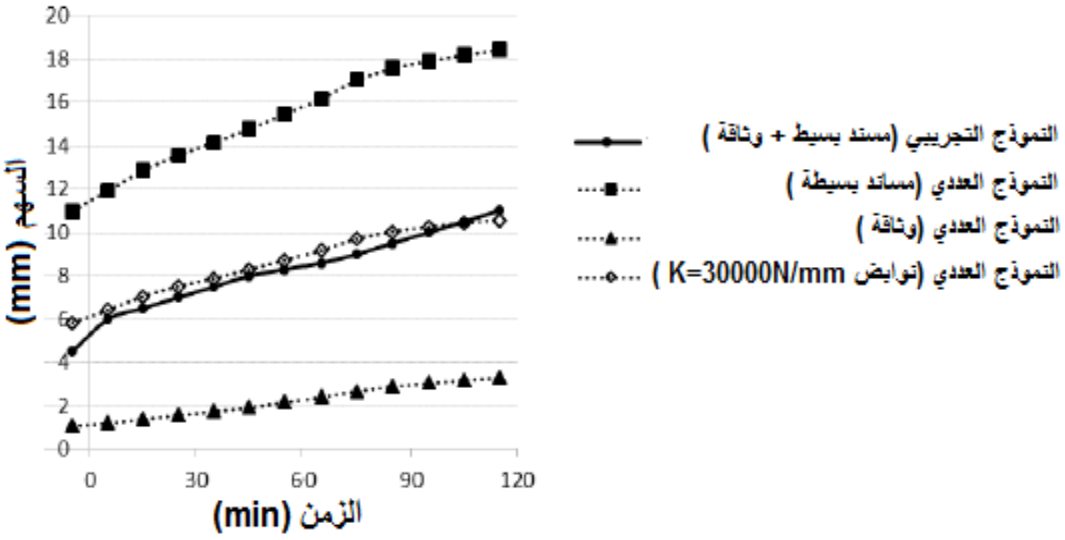
الشكل (3-8) النموذج العددي المنجز لربع البلاطة مع توضيح الشروط الطرفية

قام الباحثون تجريبيا بدراسة انتشار الحرارة خلال مرحلتي التسخين والتبريد باستخدام حساسات حرارية زرعت عند الأعماق التالية من المقطع العرضي (101mm, 82, 65, 33 , 10) وتم مقارنتها مع النتائج العددية للنموذج المدروس وكانت النتائج متوافقة كما هو موضح في الشكل (3-9) .



الشكل (3-9) مقارنة انتشار الحرارة عبر ارتفاع البلاطة عددياً وتجريبياً

كما درس الباحثون عددياً تأثير تغير نوع المساند على سلوك البلاطة (مساند بسيطة ، وثاقتين ، مساند نابضية) بنفس شروط التجربة للبلاطة المرجعية التجريبية (مسند بسيط + وثاقة) على السهم الأعظمي في وسط البلاطة في مرحلة التسخين فقط كما هو موضح في الشكل (3-10) .



الشكل (3-10) السهم التجريبي والعددي وسط البلاطة تبعاً لشروط الاستناد

الدراسة العددية باستخدام طريقة العناصر المحدودة

1- مقدمة:

يعتبر تمثيل السلوك اللاخطي الحقيقي للبيتون المسلح المعرض للحريق أحد التحديات الصعبة في مجال الهندسة الإنشائية ، وخاصة عندما يتعلق الأمر بنمذجة الخواص الحرارية والخواص اللاخطية لمواد مركبة وغير متجانسة

كالبيتون المسلح، بالإضافة لصعوبة تعريف الترابط بين فولاذ العناصر الإنشائية وبين البيتون ، وقد ساهمت طريقة العناصر المحدودة في الآونة الأخيرة بشكل فعال في نمذجة وحل الكثير من المنشآت الهندسية المتنوعة ، وأصبحت الطريقة أداة فعالة في عملية التحليل و التصميم ، وفي صيانة وتدعيم المنشات القائمة، وغدت ضرورة أساسية من ضرورات التحليل الإنشائي ، حيث تكون النتائج المستخلصة منها واضحة على المصمم لفهم آلية عمل وسلوك المنشأ المدروس.

يكمن النجاح في عملية النمذجة التحليلية في الاختيار الصحيح لنوع العناصر، و النمذجة الصحيحة للمواد، وأيضاً في اختيار طريقة التحليل الصحيحة، ويعتبر برنامج ANSYS من أكثر البرامج شهرة وفعالية حيث تم استخدامه من اجل عملية النمذجة و التحليل الإنشائي للجوائز البيتونية المسلحة، وذلك بهدف دراسة سلوك هذه الجوائز عند مراحل مختلفة من تطبيق الحمولة.

تم في هذا البحث استخدام برنامج ANSYS للنمذجة و التحليل الحراري والإنشائي للبلاطات الفطرية البيتونية المسلحة للمجموعة السادسة (FS-2-D) كونها الحالة التجريبية الأخطر وهي تعرضها للحريق لمدة ساعتين وبدون تبريد بالإضافة لنمذجة بلاطات المجموعة المرجعية (RS)

2- منهجية النمذجة الحاسوبية:

سنعتمد في هذا البحث التحليل الحراري– الإنشائي للبلاطات الفطرية وفق المنهجية التالية :

1– وضع النموذج الهندسي للبلاطات.

2– تحديد شروط استنادها وتحميلها.

3– إجراء التحليل الحراري: ويتضمن (تعريف عناصر محدودة لتمثيل الحالة الحرارية للبيتون والفولاذ و إدخال المواصفات الحرارية و الحصول على نتائج التحليل الحراري).

4– إجراء التحليل الإنشائي : ويتضمن (تعريف العناصر المحدودة الممثلة للبيتون والفولاذ ، تعريف الخواص الميكانيكية للبيتون والفولاذ في الحريق وفي حرارة الغرفة، تحديد شروط الاستناد ، تعريف خواص المواد الانشائية في درجة حرارة الغرفة وفي درجة حرارة اللهب التي حصلنا عليها من التجارب والعلاقات النظرية الكودية ،وتعريف الحمولات ،و الحصول على نتائج التحليل الإنشائي).

5– إجراء المقارنات اللازمة مع النتائج التجريبية والنظرية .

3- العناصر المحدودة المستخدمة لنمذجة مكونات البلاطات في التحليل الحراري والإنشائي :

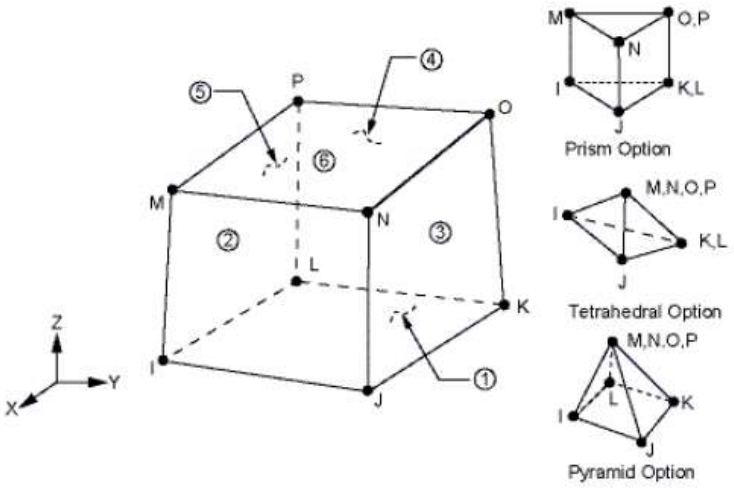
تختلف العناصر المحدودة المستخدمة لنمذجة السلوك الحراري عن تلك المستخدمة لنمذجة السلوك الإنشائي من حيث عدد العقد ودرجات الحرية فيها .

3-1- العناصر المستخدمة في النمذجة لإجراء التحليل الحراري:

نحتاج في دراستنا لنمذجة السلوك الحراري للفولاذ والبيتون وهذا يتم عبر الخطوة الأهم وهي اختيار العناصر المحدودة المناسبة كما يلي :

3-1-1- العنصر المحدود المستخدم لمحاكاة سلوك البيتون في التحليل الحراري :

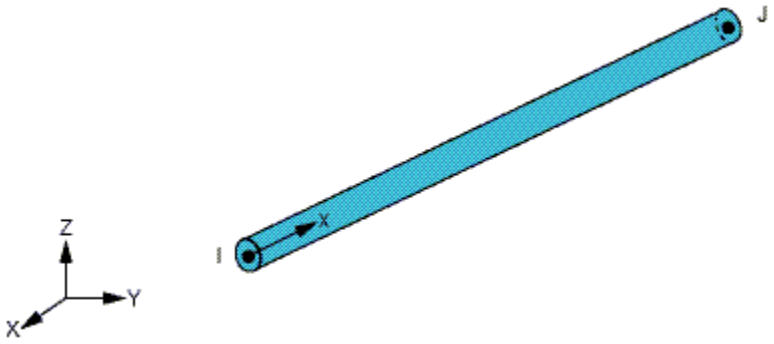
استخدم العنصر الحجمي (Solid70) لمحاكاة سلوك البيتون في التحليل الحراري, هو العنصر الشائع الاستخدام لهذا الغرض في برنامج ANSYS حيث يملك ثمان عقد ولكل عقدة درجة حرية واحدة هي درجة الحرارة في كل عقدة وهو موضح في الشكل (4 -1) .



الشكل (4 -1) العنصر المحدود (Solid 70) المستخدم لنمذجة السلوك الحراري للبيتون

3-1-2- العنصر المحدود المستخدم لمحاكاة سلوك الفولاذ في التحليل الحراري :

استخدم العنصر الخطي (Link33) لمحاكاة سلوك الفولاذ في التحليل الحراري, حيث يملك العنصر عقدتان ولكل عقدة درجة حرية واحدة هي درجة الحرارة وهو موضح في الشكل (4 -2) .



الشكل (4 -2) العنصر المحدود (Link33) المستخدم لنمذجة السلوك الحراري للفولاذ

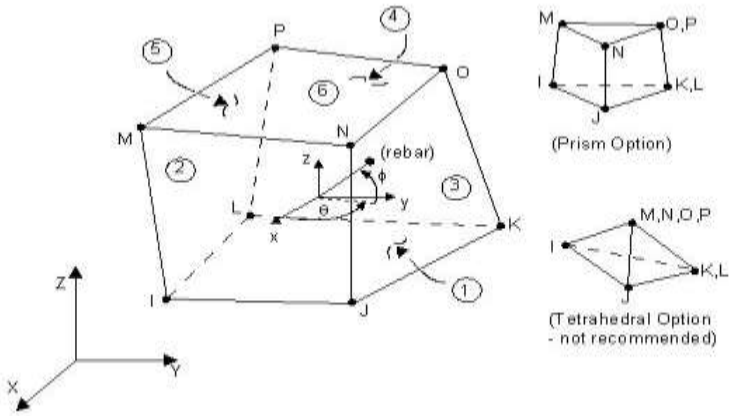
3-2- العناصر المستخدمة في النمذجة لإجراء التحليل الانشائي:

تختلف العناصر المحدودة اللازمة لنمذجة البلاطات الفطرية المختبرة كما يلي :

3-2-1- العنصر المحدود المستخدم لنمذجة البيتون:

تمت نمذجة البلاطات البيتونية الفطرية كعناصر حجمية فراغية (Three-Dimensional Solid Part) حيث استخدم العنصر المحدود (Solid Concrete 65) لنمذجة البيتون كما هو موضح في الشكل (4–3)، ويتألف هذا العنصر من ثمانية عقد متوضعة عند زوايا العنصر وكل عقدة تتمتع بثلاثة درجات حرية وهي انتقالات في الاتجاهات (X,Y,Z) ويمتاز هذا العنصر بقدرته على تمثيل التشقق (Cracking) في منطقة الشد والتهشم (Crushing) في منطقة

الضغط، ويعتبر ذو أهمية كبيرة في مجال التحليل اللاخطي ،و يمتاز بقدرته على تمثيل الزحف (Creep) و التشوه اللدن(Plastic Deformation) [3,7] .



الشكل (4 -3) العنصر المحدود (Solid Concrete 65) المستخدم لنمذجة العناصر البيتونية

تم في هذه الدراسة نمذجة قضبان التسليح ضمن البلاطات البيتونية باعتبارها (Discrete Element) أي عناصر منفصلة تتصل مع العناصر البيتونية في العقد لذلك تكون جميع الثوابت الخاصة بالعنصر(Solid 65) مساوية للصفر كما هو مبين بالجدول (4–1).

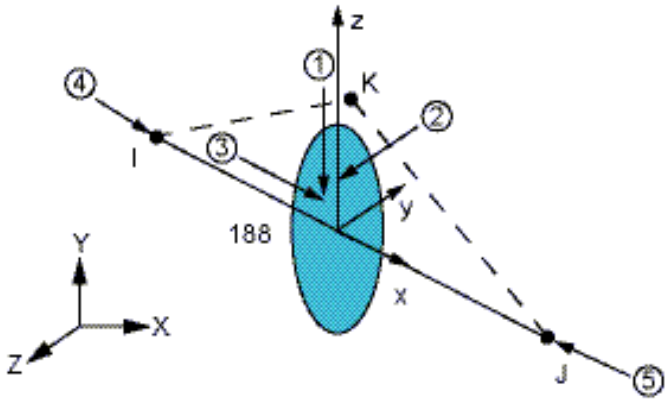
الجدول (4–1) ثوابت العنصر (Solid Concrete 65)

Real Constant Set	Element Type			Real Constants For Rebar 1	Real Constants For Rebar 2	Real Constants For Rebar 3
1	Solid Concrete 65	Material Number		0	0	0
		Volume Ratio		0	0	0
		Orientation Angle	THETA	0	0	0
			PHI	0	0	0

3-2-2 - العنصر المحدود المستخدم لنمذجة قضبان التسليح الفولاذية:

تم استخدام العنصر(Beam188) والموضح في الشكل (4–4) لنمذجة قضبان التسليح المختلفة الأقطار، وهذا العنصر من النوع 3-D ويتألف من عقدتين على طرفيه ، وكل عقدة تتمتع بست درجات حرية وهي ثلاثة انتقالات في الاتجاهات الثلاثة (X,Y,Z) ، وثلاثة دورانات حول المحاور (X,Y,Z) ، وهذا العنصر مناسب جداً لنمذجة الحالات الخطية ، والدورانات الكبيرة وتطبيقات الانفعال اللاخطي الكبير، .و يمتاز هذا العنصر بقدرته على التمثيل الجيد لكل من مسائل الانعطاف ، والانحناء الجانبي وحالات عدم الاستقرار نتيجة الفتل ، كما يمتاز هذا العنصر بقدرته على التشوه المرن واللدن والزحف وكافة النماذج اللاخطية الأخرى.

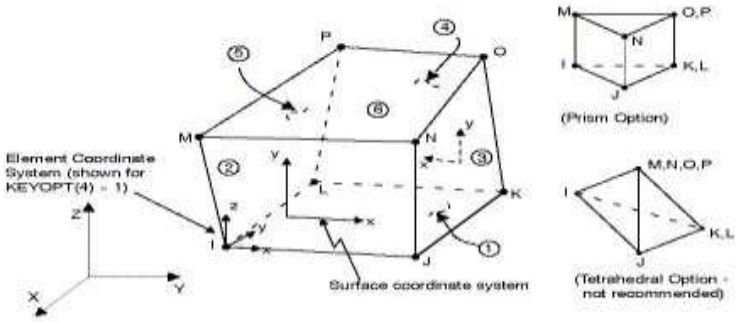
لا يملك العنصر (Beam188) أية ثوابت حقيقية والمتغير الوحيد له هو مقطعه العرضي الذي يجب تحديد مواصفاته من نافذة المقاطع العرضية الشائعة (Common sections) المتعلقة بالعنصر المحدود (Beam188) في برنامج ANSYS .



الشكل (4 -4) العنصر المحدود (Beam188) المستخدم لنمذجة فولاذ التسليح وأسلاك الشبك الفولاذي

3-2-3 - العنصر المحدود المستخدم لنمذجة الصفائح المعدنية:

تم استخدام العنصر(Solid45) والموضح بالشكل (4–5) لنمذجة الصفائح المعدنية المستخدمة في منطقة الاستناد ومنطقة تطبيق الحمولة فوق العمود من أجل توزيع الإجهادات ومنع الانهيار الموضعي للبيتون نتيجة تركيز الحمولة ، ويتألف العنصر من ثمانية عقد بثلاثة درجات حرية عند كل عقدة وهي انتقالات في الاتجاهات (X,Y,Z) ولا يملك ثوابت حقيقية .



الشكل (4 -5) العنصر المحدود (Solid45) المستخدم لنمذجة الصفائح الفولاذية

4– الخصائص الحرارية والميكانيكية لمكونات البلاطات في النمذجة العددية:

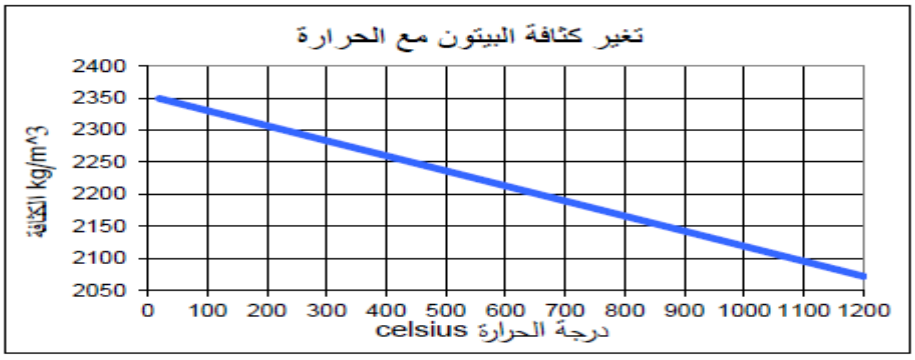
سيتم تحديد الخصائص الحرارية والميكانيكية لمادتي البيتون وفولاذ التسليح بأقطاره المختلفة اعتماداً على النتائج التجريبية والعلاقات الحسابية اللازمة لتعيين بعض المواصفات كي نتمكن من إدخالها في برنامج ANSYS

4–1– الخصائص الحرارية والميكانيكية للبيتون :

4–1–1– الخصائص الحرارية للبيتون :

❖ **كثافة البيتون :**

تعتبر الكثافة قيمة متغيرة وتابعة للحرارة حيث يوضح الشكل (4 -6) تغير كثافة البيتون مع تغير درجة الحرارة وفقاً للكود الأوروبي .



الشكل (4 –6) تغير كثافة البيتون تبعاً لتغير درجة الحرارة

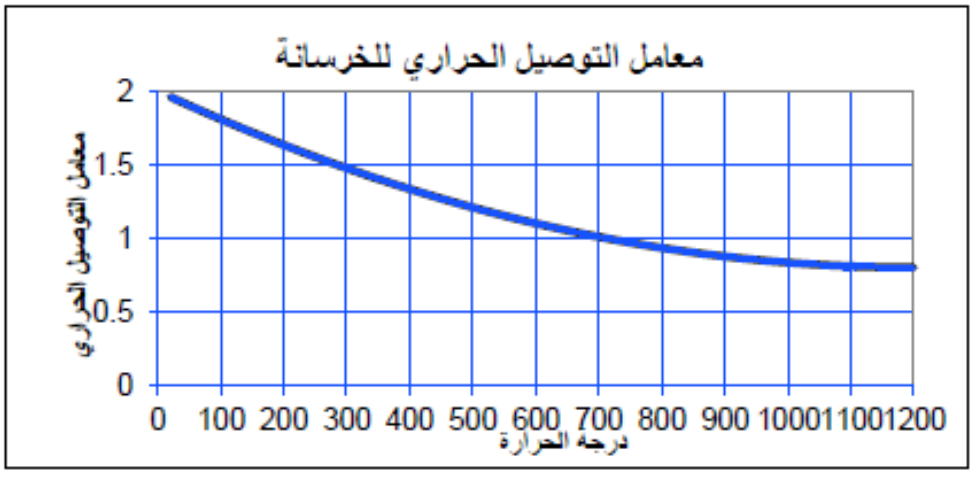
تم اعتماد الكثافة للبيتون وفق ما هو موضح في الجدول (4–4) تبعاً لدرجات الحرارة المسجلة تجريبياً.

الجدول (4–4) كثافة البيتون المستخدم

درجة الحرارة C^o	مجموعة البلاطات الموافقة لدرجة الحرارة	كثافة البيتون Kg/m^3
25	RS	2348
564	(FS-2-D)	2222

❖ **معامل التوصيل الحراري (Thermal Conductivity) للبيتون :**

يعتبر معامل التوصيل الحراري $[\lambda a(W/m.K)]$ قيمة متغيرة وتابعة للحرارة حيث تتناقص قيمة معامل التوصيل الحراري للخرسانة بشكل قطع مكافئ تقريباً كما هو موضح في الشكل (4 -7) الذي يوضح تغير قيمة التوصيل الحراري للخرسانة تبعاً لدرجة الحرارة وفقاً للكود الأوروبي .



الشكل (4 -7) معامل التوصيل الحراري للبيتون بتغير درجة الحرارة

تم اعتماد قيم معامل التوصيل الحراري $[\lambda a]$ اللازم لنمذجة البيتون حرارياً وفق ما هو موضح في الجدول (4–5) وذلك تبعاً لدرجات الحرارة المسجلة تجريبياً.

الجدول (4-5) معامل التوصيل الحراري البيتون المستخدم

درجة الحرارة C^o	مجموعة البلاطات الموافقة لدرجة الحرارة	قيم معامل التوصيل الحراري W/m.K
25	RS	1.94
564	(FS-2-D)	1.39

❖ **الحرارة النوعية للبيتون :**

تعطى الحرارة النوعية للبيتون عند تغير درجة الحرارة وفقاً للكود الأوروبي [6,8] بالعلاقة :

$$Cc = 890 + 56.2\left[\frac{Tc}{100}\right] + 3.4\left[\frac{Tc}{100}\right]^2 \qquad (1-4)$$

تم اعتماد الحرارة النوعية للبيتون وفق ما هو موضح في الجدول (4–6) تبعاً لدرجات الحرارة المسجلة تجريبياً.

الجدول (4–6) الحرارة النوعية للبيتون المستخدم

درجة الحرارة C^o	مجموعة البلاطات الموافقة لدرجة الحرارة	الحرارة النوعية للبيتون $(J/Kg.C^o)$
25	RS	893.73
564	(FS-2-D)	1315.12

4-1-2- الخصائص الميكانيكية للبيتون :

من أجل البيتون فإن البيانات المطلوبة للإدخال هي الخواص التالية :

1- <u>المقاومة القصوى الاسطوانية على الضغط $(f'c)$ وعلى الشد (fr)</u>:

تم الاعتماد على النتائج التجريبية للمقاومة الاسطوانية المميزة على الضغط لعينات اسطوانية و مكعبية موافقة لحالة البلاطات التي سيتم نمذجتها في درجات الحرارة المختلفة وتم اعتبار مقاومة البيتون على الشد حوالي 10% من مقاومة الضغط وهي موضحة في الجدول (4–7) .

الجدول (4–7) قيم المقاومة المميزة للبيتون المستخدم في التجارب عند درجات الحرارة المختلفة

درجة الحرارة C^o	مجموعة البلاطات الموافقة للعينات المكسورة	المقاومة المميزة الاسطوانية (MPa)	مقاومة البيتون على الشد (MPa)
25	RS	22.14	2.21
564	(FS-2-D)	7.90	0.79

2- <u>معامل مرونة البيتون</u> (E_c):

يحسب معامل المرونة في درجات الحرارة العادية بالعلاقة التالية :

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \qquad (2-4)$$

ويوضح الجدول (4−8) قيم معامل المرونة للبيتون اعتماداً على قيم f_C' الوسطية التجريبية للحالة المدروسة .

الجدول (4−8) قيم معامل المرونة للبيتون المستخدم في التجارب عند درجات الحرارة المختلفة

مجموعة البلاطات الموافقة للعينات المكسورة	درجة الحرارة C^o	المقاومة المميزة الاسطوانية (MPa)	معامل المرونة (MPa)
RS	25	22.14	22115
(FS-2-D)	564	7.90	13210

3− معامل بواسون (υ):

تقل تدريجياً نسبة بواسون مع ارتفاع درجة الحرارة و يصل النقصان فيه إلى حوالي 40% من قيمته الأصلية بوصول درجة الحرارة لـ ($300C^o$) .

ويوضح الجدول (4−9) قيم معامل بواسون للبيتون اعتماداً على درجة الحرارة العظمى التجريبية للحالة المدروسة

الجدول (4−9) قيم معامل بواسون للبيتون المستخدم في التجارب عند درجات الحرارة المختلفة

مجموعة البلاطات الموافقة للعينات المكسورة	درجة الحرارة C^o	معامل بواسون
RS	25	0.20
(FS-2-D)	564	0.11

4− علاقة الإجهاد التشوه للبيتون :

يتطلب برنامج ANSYS إدخال علاقة الإجهاد – التشوه للبيتون في حالة الضغط ويوجد عدة تقريبات مختلفة أشهرها علاقات التقريب المبسط (Simplified) المبينة في الشكل (4−8) وهي تستخدم العلاقات التالية لبنائها :

$$\sigma = \frac{E_C \times \varepsilon}{1 + (\varepsilon/\varepsilon_0)^2} \qquad (3-4)$$

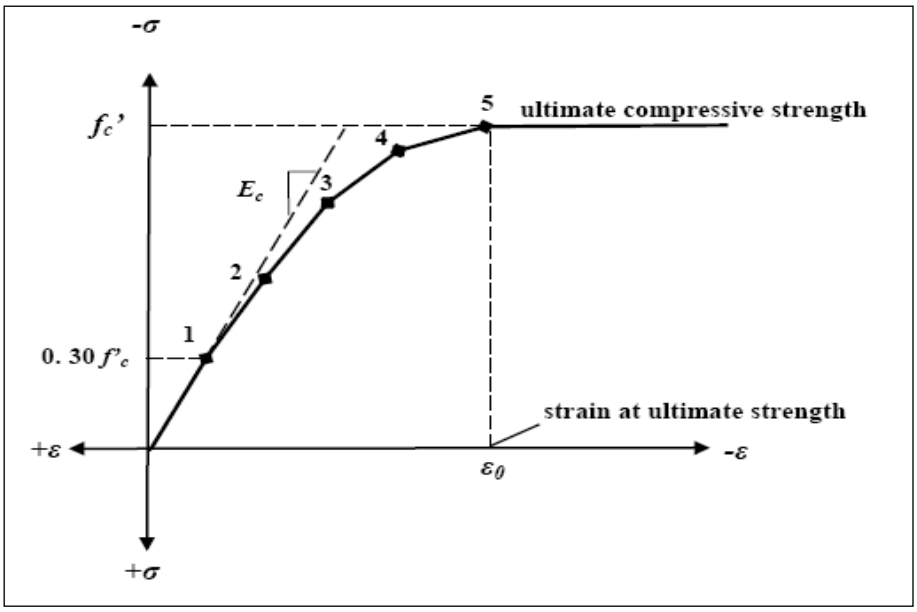
$$\varepsilon_0 = \frac{2 \times f_C^{'}}{E_C} \qquad (4-4)$$

$$E_C = \frac{\sigma}{\varepsilon} \qquad (5-4)$$

حيث : σ: الإجهاد عند أي قيمة للتشوه ε

ε_0: التشوه عند القيمة القصوى لإجهاد الضغط f_C' .

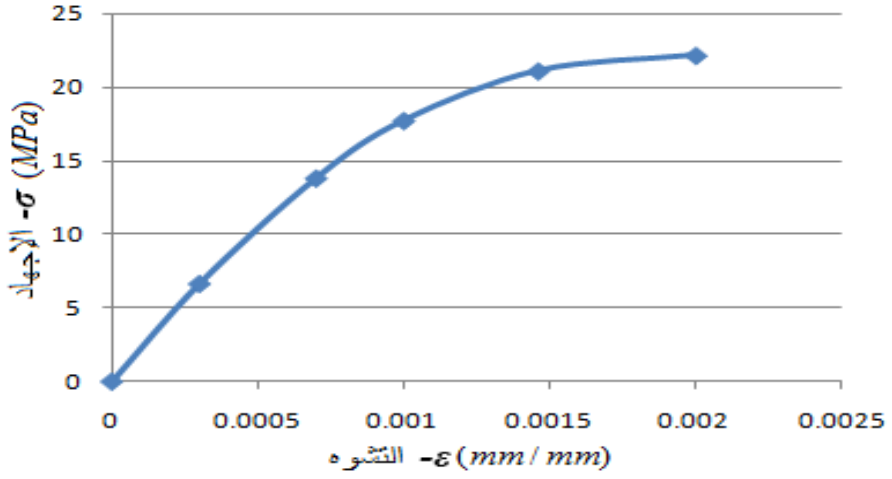
E_C : معامل المرونة عند درجة حرارة التجربة .



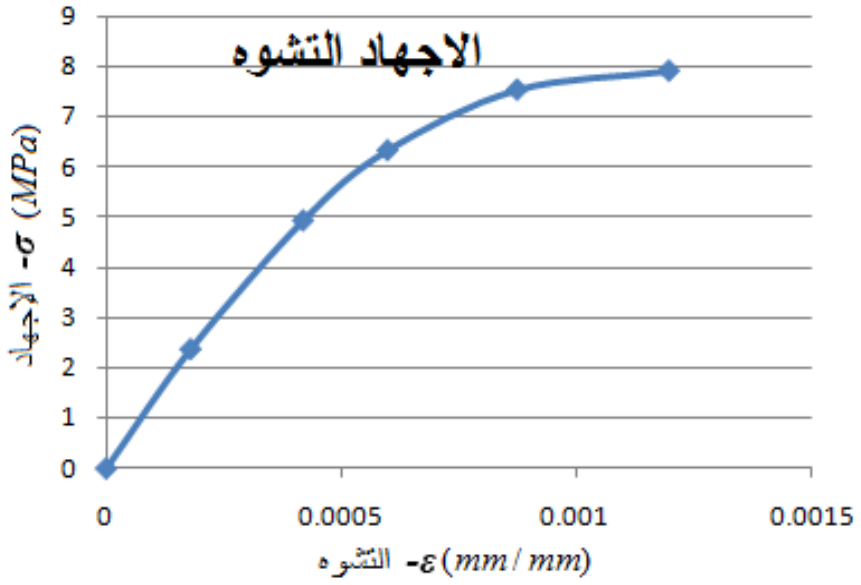
الشكل(4–8) منحني الإجهاد – التشوه للبيتون في مرحلة الضغط وفق التقريب المبسط (Simplified)

يلاحظ من الشكل السابق ان منحني الإجهاد – التشوه يبدأ من قيمة الصفر عند بداية التحميل ، بزيادة الحمولة تزداد الإجهادات والتشوهات تدريجيا حتى النقطة (1) من المنحني، حيث تكون قيمة الإجهاد مساوية ل $(0.3f\acute{c})$ باعتبار سلوك البيتون حتى هذه القيمة عبارة عن سلوك خطي مرن ،وتحسب قيمة التشوه المقابل لهذا الإجهاد من المعادلة (3–4) اعتمادا على قانون هوك باعتبار قيمة معامل المرونة للبيتون معروفة، أما النقاط(2,3,4) فيتم الحصول عليها من المعادلتين (4–4) و (4–5) . وتحسب النقطة رقم (5) المقابلة لقيمة $(f\acute{c})$و (ε_0) أي لكل من الإجهاد الحدي والتشوه على التوالي.

ويظهر الشكلان (4–9)،(4–10) منحني الإجهاد – التشوه للبيتون في درجات الحرارة المختلفة والمعتمدين في النمذجة .



الشكل(4-9) منحني الإجهاد – التشوه للبيتون المعتمد في النمذجة عند درجة حرارة $25\ C^o$



الشكل(4-10) منحني الإجهاد – التشوه للبيتون المعتمد في النمذجة عند درجة حرارة $564\ C^o$

5- <u>معايير الانهيار للبيتون :</u>

يمكن من خلال النموذج التحليلي بطريقة العناصر المحدودة تحديد آليات انهيار العناصر البيتونية المدروسة على الضغط والشد ، ومن أجل تعريف سطوح الانهيار لهذه العناصر البيتونية لا بد من تعريف المقاومة الحدية لها على الضغط والشد ، حتى تتم محاكاة البيتون بالشكل الصحيح، وللحصول على استجابة واقعية لعنصر البيتون، وتحديد دقيق لحمل الانهيار، فإن النموذج يتطلب تحديد الخصائص المرنة الخطية المتساوية الخواص (الإيزوتروبية) ، والمتعددة الخطية متساوية الخواص (Multi-Linear Isotropic) ، لذلك تم استخدام معيار Von Misses مع نموذج Willam- Warnke لتحديد انهيار البيتون، وهذا المعيار هو مقدار شدة الإجهادات الرئيسية، أو بعبارة أخرى زيادة الإجهادات الشادة الرئيسية في الخرسانة عن متانة الشد القصوى، عندئذ يكون اتجاه الشق بالاتجاه المتعامد مع اتجاه الشد الرئيسي وموازياً لإجهادات الضغط الرئيسية ، وتم تجاهل تمثيل انهيار العناصر البيتونية على الضغط واعتبار التشققات التي تصيب العناصر البيتونية هي الانهيارات الحاكمة عند النمذجة بطريقة العناصر المحدودة في هذا البحث وذلك بسبب ارتفاع مقاومة البيتون على الضغط (انهيار العناصر البيتونية على الضغط نادراً ما يحدث) ولأن البيتون عموماً ضعيف المقاومة على الشد.

4-2- الخصائص الحرارية والميكانيكية لفولاذ التسليح :

4-2-1- الخصائص الحرارية للفولاذ :

❖ **كثافة الفولاذ :**

تعتبر الكثافة قيمة ثابتة غير مرتبطة بتغير درجة الحرارة للفولاذ وتبلغ $7850\ Kg/m^3$.

❖ **معامل التوصيل الحراري (Thermal Conductivity) للفولاذ :**

تتناقص قيمة معامل التوصيل الحراري للفولاذ بشكل خطي حتى الدرجة $800\ C^o$ ثم تبلغ قيمة ثابتة كما هو موضح في المعادلات :

$$20C^o \le Ta \le 800C^o \Rightarrow \lambda a = 54 - 3.33.10^{-2}.Ta\left(\frac{W}{m}.K\right) \quad (6-4)$$

$$800C^o \leq Ta \leq 1200C^o \Rightarrow \lambda a = 27.3\left(\frac{W}{m}.K\right) \qquad (7-4)$$

تم اعتماد قيم معامل التوصيل الحراري $[\lambda a]$ اللازم لنمذجة الفولاذ السفلي حرارياً تبعاً لدرجات الحرارة المسجلة تجريبياً.

الحرارة النوعية للفولاذ :

تعطى الحرارة النوعية للفولاذ عند تغير درجة الحرارة (في المجال الحراري لتجربتنا) وفقاً للكود الأوروبي بالعلاقة :

$$20C^o \leq Ta \leq 600C^o \Rightarrow$$

$$Ca = 425 + 0.773Ta - 1.69.10^{-3}.Ta^2 + 2.22.10^{-6}Ta^3\left(\frac{J}{Kg}.K\right) \qquad (8-4)$$

تم اعتماد الحرارة النوعية للفولاذ وفق ما هو موضح في الجدول (4-14) تبعاً لدرجات الحرارة المسجلة تجريبياً.

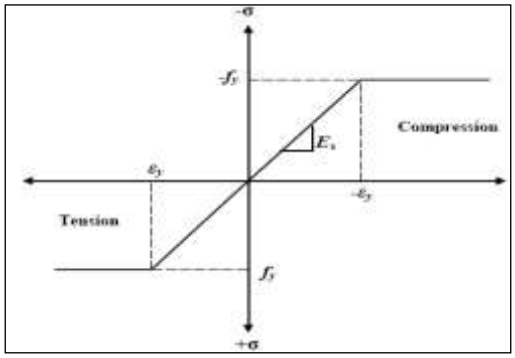
الجدول (4-14) الحرارة النوعية للفولاذ المستخدم

درجة الحرارة C^o	مجموعة البلاطات الموافقة لدرجة الحرارة	الحرارة النوعية $(J/Kg.K)$
25	RS	443.30
412	(FS-2-D)	611.84

4-2-2- الخصائص الميكانيكية للفولاذ :

عند النمذجة الإنشائية لقضبان التسليح الرئيسي والثانوي تم افتراض أن سلوك الفولاذ عبارة عن سلوك مادة مرنة – تامة اللدونة (Elastic-Perfect Plastic) ، وذلك في كل من المنطقة المشدودة والمنطقة المضغوطة كما هو موضح في الشكل (4-11).

ومن أجل تعريف هذا السلوك تم اللجوء إلى تعريف سلوك القضبان باستخدام خاصية (Bilinear Isotropic) مما يتطلب تحديد إجهاد الخضوع لهذه القضبان ، مع تحديد معامل قساوتها والذي يجب أن تكون قيمته اكبر من الصفر وأصغر من قيمة معامل المرونة الخاص بمادتها .



الشكل(4-11) منحني الإجهاد – التشوه لفولاذ التسليح المستخدم في مرحلة الضغط والشد

وأخذنا بعين الاعتبار تغير إجهاد الخضوع للفولاذ السفلي ذي القطر (12mm) نتيجة ارتفاع درجة حرارته والتي حصلنا عليها من الدراسة التجريبية والبالغة (412 Mpa) عند نمذجة البلاطة (FS-2-D) المعرضة للحرارة لمدة

ساعتين كما تم تخفيض معامل المرونة وفق القيم الواردة في الجدول (4-15) اعتماداً على الكود الأوروبي EC3 و يوضح الجدول (4-16) تعريف سلوك مادة فولاذ التسليح المستخدم في الدراسة العددية باستخدام برنامج ANSYS وذلك في درجة الحرارة الطبيعية ($25C^o$) ، ويتم تعديل القيم اللازمة كما سبق ذكره عند دراسة تأثير الحريق.

الجدول (4-15) تغير الخواص الميكانيكية للفولاذ بتغير درجات الحرارة

درجة حرارة الفولاذ $\theta_a[C^O]$	معامل تخفيض معامل المرونة $K_{E,\theta}=\frac{E_{a,\theta}}{E_a}$
100-20	1
200	0.9
300	0.8
400	0.7
500	0.6
600	0.31
700	0.13
800	0.09
900	0.0675
1000	0.045
1100	0.0225
1200	0

الجدول (4-16) توصيف سلوك مادة العنصر (Beam188) باستخدام برنامج ANSYS لتسليح البلاطة والعمود عند درجة الحرارة العادية ($25C^o$)

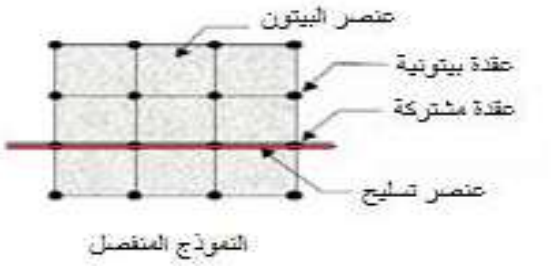
قطر قضيب التسليح	Material Model Number	Element Type	Material properties AT ($25C^o$)	
12	6	Beam188	Linear Isotropic - موحدة الخواص -خطية	
			EX	$2.1*10^5\ N/mm^2$
			PRXY	0.3
			Bilinear Isotropic- موحدة الخواص -ثنائية الخطية	
			Yield Stss	$4.708*10^2\ N/mm^2$
			Tang Mod	0
8	8	Beam188	Linear Isotropic - موحدة الخواص -خطية	
			EX	$2.1*10^5\ N/mm^2$
			PRXY	0.3
			Bilinear Isotropic- موحدة الخواص -ثنائية الخطية	
			Yield Stss	$4.169*10^2\ N/mm^2$
			Tang Mod	0

10	7	Beam188	Linear Isotropic - موحدة الخواص -خطية	
			EX	$2.1*10^5\ N/mm^2$
			PRXY	0.3
			Bilinear Isotropic- موحدة الخواص -ثنائية الخطية	
			Yield Stss	$4.483*10^2\ N/mm^2$
			Tang Mod	0
6	9	Beam188	Linear Isotropic - موحدة الخواص -خطية	
			EX	$2.1*10^5\ N/mm^2$
			PRXY	0.3
			Bilinear Isotropic- موحدة الخواص -ثنائية الخطية	
			Yield Stss	$3.25*10^2\ N/mm^2$
			Tang Mod	0

ملاحظة : *سيتم الاعتماد على نتائج التحليل الحراري لاستنتاج التغيرات في قيم مواصفات الفولاذ وفق الأقطار المختلفة بسبب اختلاف درجات الحرارة بين مواضع التسليح المختلفة بعد التعرض للحريق .*

4-3- نمذجة اتصال قضبان التسليح مع البيتون وسلك الشبك مع المونة الاسمنتية:

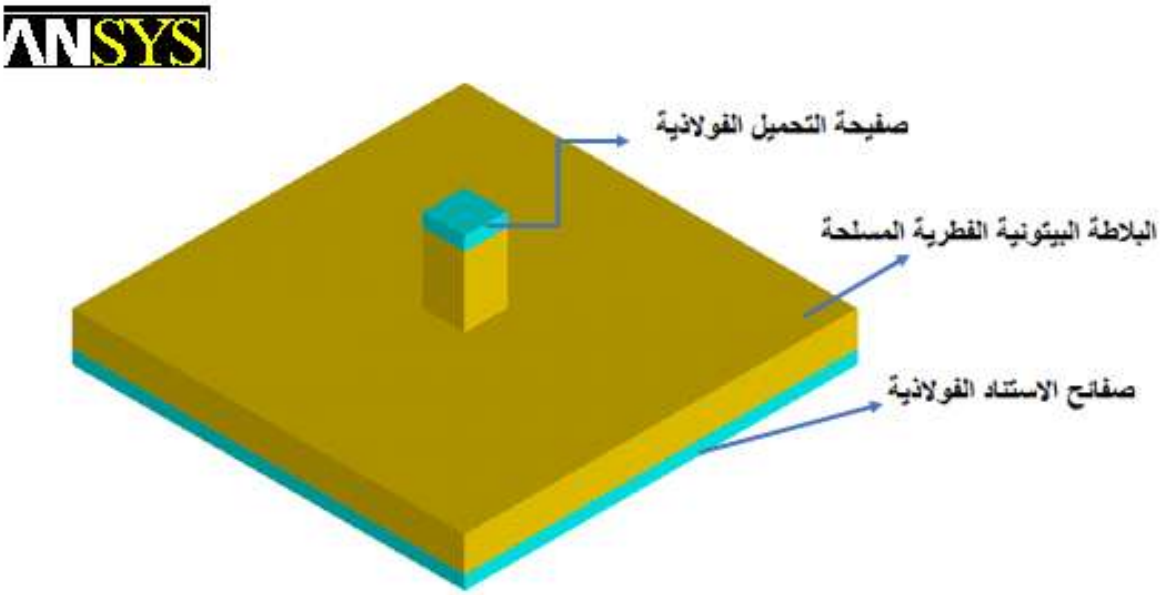
تم في دراستنا الحالية اعتماد النموذج المنفصل (Discrete Model) الموضح في الشكل (4–12) كونه أفضل طريقة لمحاكاة اتصال فولاذ التسليح مع البيتون لنمذجة اتصال فولاذ التسليح مع البيتون عند تمثيل العنصر المحدود، حيث يستخدم عناصر(Bar, Beam) التي تتصل مع عقد شبكة البيتون، ليتشارك التسليح و البيتون العقد نفسها، ويشغل البيتون المناطق التي يشغلها التسليح نفسها ، ويفترض الارتباط التام بين البيتون والتسليح وبين مكونات البيتون ليدل على توافق التشوهات.



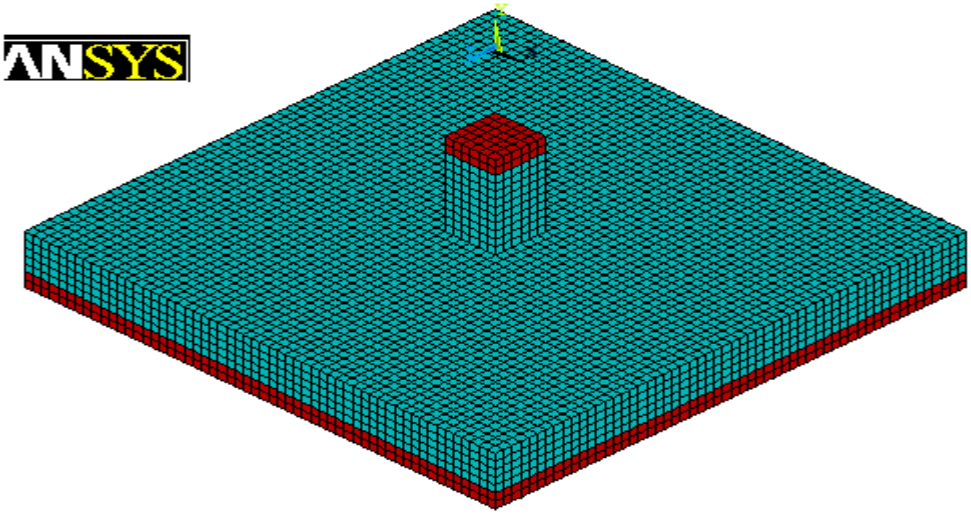
الشكل (4–12) تقنيات نمذجة اتصال فولاذ التسليح مع البيتون [14]

4-5- النمذجة الهندسية (Modeling Geometry):

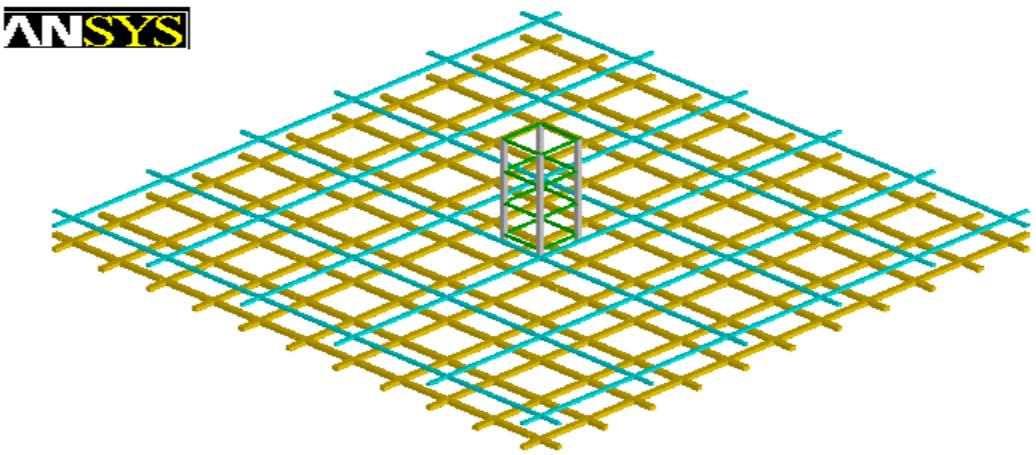
تمت نمذجة البلاطات المختبرة في برنامج ANSYS حجميا كما هو موضح في الشكل (4 -13) ، وتم تقسيمها لعناصر محدودة بحيث تتوافق العقد لجميع أجزاء البلاطة والعمود والصفائح الفولاذية كما هو موضح في الشكل (4 -14) ، ويوضح الشكل (4 -15) نمذجة قضبان التسليح ومكونات البلاطة البيتونية الفطرية باستخدام برنامج ANSYS.



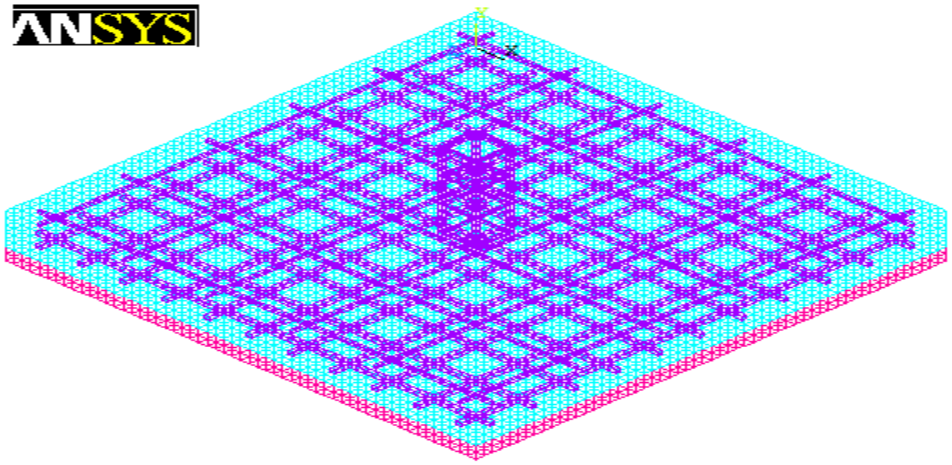
الشكل (4 -13) نموذج ثلاثي الأبعاد للبلاطة المنمذجة في ANSYS



الشكل (4 -14) تقسيم البلاطة والعمود والصفائح الفولاذية إلى عناصر محدودة في ANSYS



نموذج ثلاثي الأبعاد لتسليح البلاطة والعمود



توضع التسليح العلوي والسفلي وتسليح العمود ضمن البيتون

الشكل (4 -15) نموذج العناصر المحدودة لقضبان التسليح ضمن البلاطة والعمود

النتائج والمناقشة:

4-6- التحليل والنتائج العددية باستخدام ANSYS :

تم دراسة النموذج العددي للبلاطات التالية :

1- نموذج مجموعة البلاطات المرجعية RS .

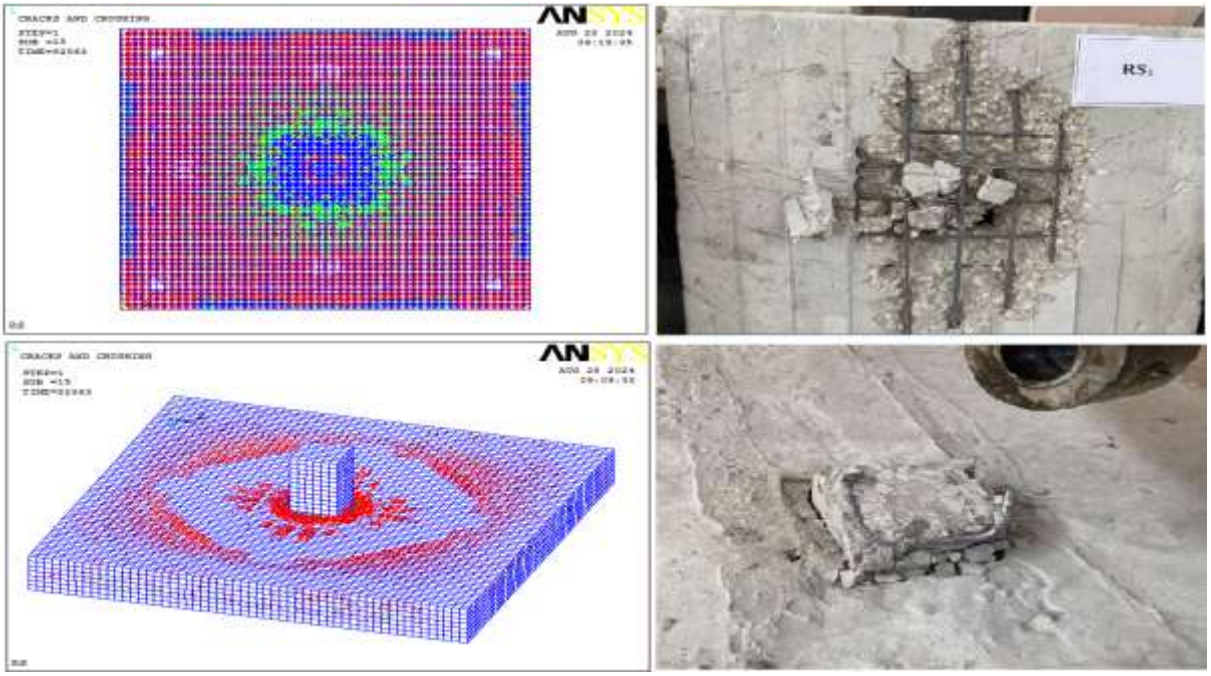
2- نموذج مجموعة البلاطات (FS-2-D) المعرضة للحريق لمدة ساعتين وخضعت للثقب بدون تبريد .

وقمنا بمقارنة النتائج العددية (حمولة الانهيار ، نمط الانهيار ، مخطط الحمولة – سهم وسط البلاطة) مع مثيلتها التجريبية للتحقق من كفاية وصحة النموذج العددي لتمثيل الحالات المختلفة .

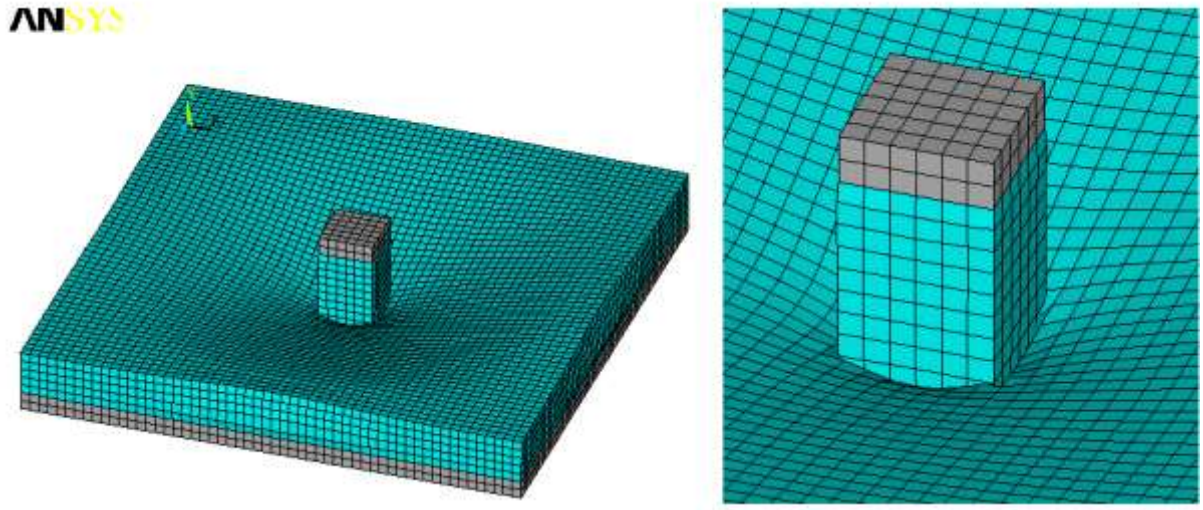
6-1- مقارنة نتائج التحليل العددي مع النتائج التجريبية لمجموعة البلاطات المرجعية RS باستخدام برنامج ANSYS:

يجب تطبيق الشروط الطرفية عند المساند لضمان سلوك النموذج التحليلي كالعنصر التجريبي ، حيث جرى تقييد الانتقالات وفق بقية المحاور X,Y,Z لعقد الصفائح المسندية كما هو في الشكل (4 -17) ، وتم تطبيق حمولة المكبس بشكل حمولات عقدية مركزة على عقد الصفيحة الفولاذية أعلى العمود لضمان عدم حدوث انهيار موضعي وتوقف التحليل كما هو موضح في الشكل (4 -18) ، ويوضح الشكل (4 -19) تشابه أنماط التشقق بين النمذجة العددية والنتائج التجريبية على الوجهين العلوي والسفلي لبلاطات المجموعة المرجعية RS ، ويوضح الشكل (4 -20) شكل اختراق العمود والتشوه في النموذج العددي لبلاطة المجموعة المرجعية ، كما يوضح الشكل (4 -21) شكل التشوه في فولاذ النموذج العددي لبلاطة المجموعة المرجعية RS.

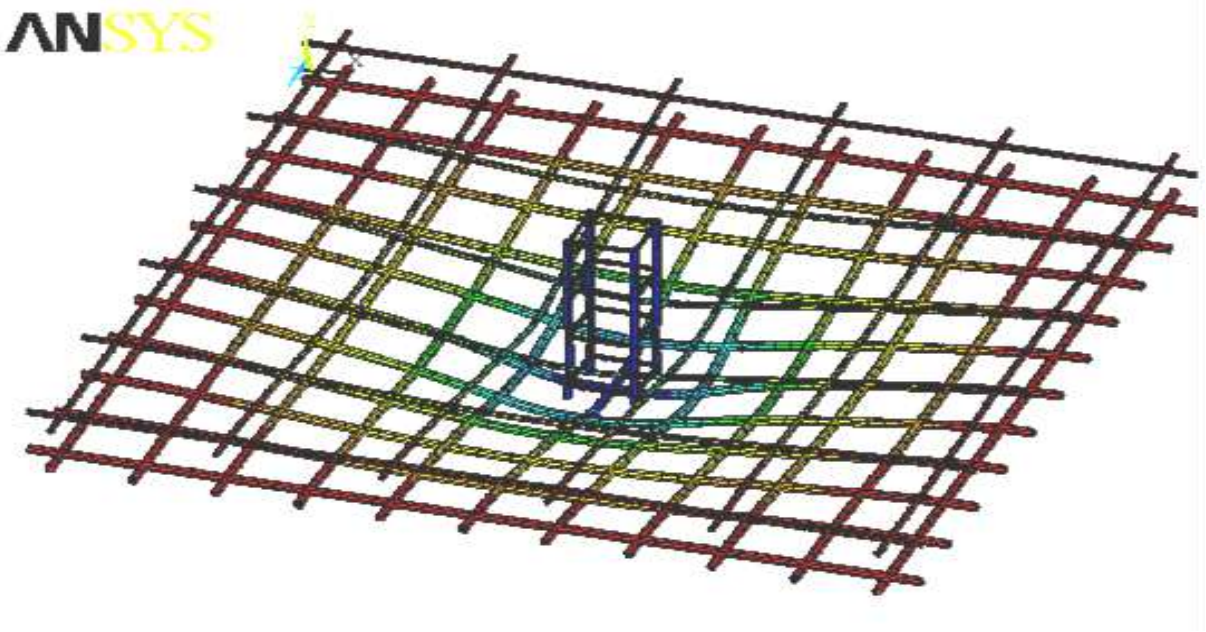
الشكل (4 -17) تطبيق شروط الاستناد باستخدام برنامج Ansys



الشكل (4 -19) تشابه أنماط التشقق بين النمذجة العددية باستخدام برنامج ANSYS والنتائج التجريبية على الوجهين العلوي والسفلي لبلاطات المجموعة المرجعية RS

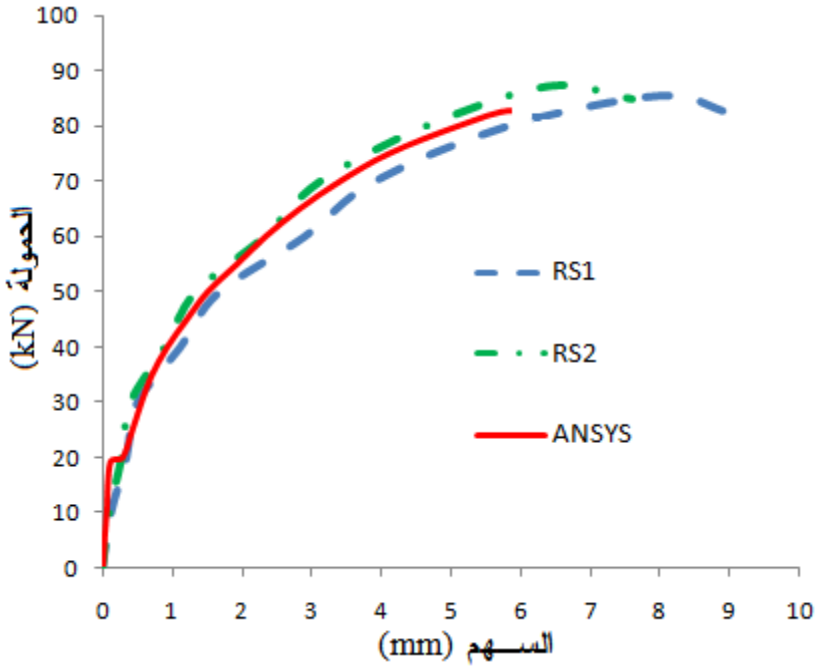


الشكل (4 -20) شكل التشوه البلاطة واختراق العمود من خلال النمذجة العددية ببرنامج ANSYS.



الشكل (4 -21) شكل التشوه في فولاذ النموذج العددي ببرنامج ANSYS لبلاطة المجموعة المرجعية RS

يبين الشكل(4 -22) مخطط الحمولة – سهم التجريبي والعددي باستخدام برنامج ANSYS لبلاطات المجموعة (RS) المرجعية ويظهر منه تقارب جيد في سلوك النموذج العددي لبلاطة المجموعة المرجعية RS مع مثيلاته من البلاطات التجريبية اعتباراً من بداية التحميل وحتى الانهيار و يظهر النموذج الحاسوبي صلابة أعلى من مثيلاته التجريبية حتى حمولة التشقق ثم يعود لينطبق عليها تقريباً .



الشكل(4 -22) مخطط الحمولة – سهم التجريبي والعددي باستخدام برنامج ANSYS لبلاطات المجموعة المرجعية (RS)

يضم الجدول (4-17) مقارنة بين النتائج التي تم الحصول عليها من النموذج الحاسوبي باستخدام برنامج ANSYS مع وسطي النتائج لبلاطات المجموعة المرجعية (RS) من البحث التجريبي .

الجدول (4–17) مقارنة بين النتائج الوسطية التجريبية و النمذجة العددية لبلاطات المجموعة المرجعية (RS)

البلاطة المرجعية	وسطي البلاطات التجريبية	ANSYS	الفارق النسبي %
حمولة الانهيار kN	86.48	82.76	4.3
حمولة التشقق kN	20.67	19.74	9.64
السهم وسط البلاطة عند الحمولة المشتركة(80kN) mm	5.20	4.93	5.19

من النتائج في الجدول السابق نجد توافقاً جيداً بين النتائج العددية مع التجريبية وفق مايلي :

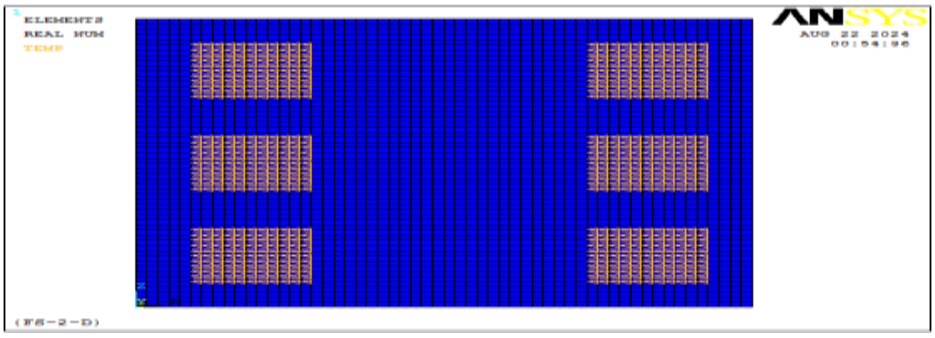
1– انخفضت حمولة الانهيار العددية بنسبة (4.3%) مقارنة مع وسطي حمولة الانهيار التجريبية لبلاطات المجموعة المرجعية RS .

2– انخفضت حمولة ظهور أول شق للنموذج العددي بنسبة (9.64 %) مقارنة مع وسطي حمولة ظهور أول شق التجريبية لبلاطات المجموعة المرجعية RS .

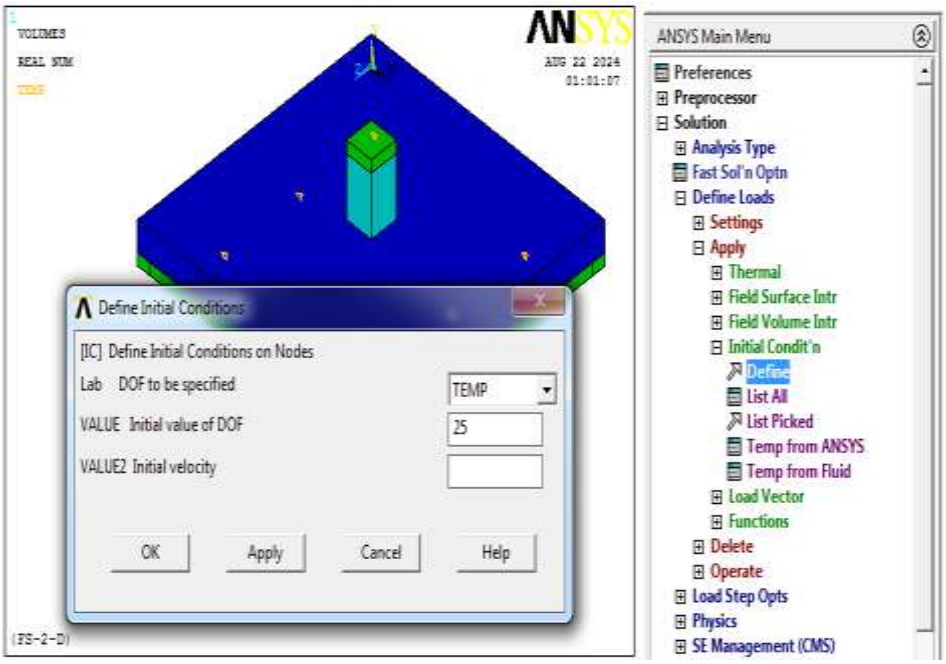
3- انخفض السهم وسط البلاطة للنموذج العددي بنسبة (5.19 %) مقارنة مع وسطي السهم التجريبي لبلاطات المجموعة المرجعية RS .

4-6-2- مقارنة نتائج التحليل العددي مع النتائج التجريبية لمجموعة البلاطات (FS-2-D) باستخدام برنامج ANSYS :

تم تطبيق الحمولة الحرارية ($564\ C^o$) الموافقة لنتائج الدراسة التجريبية لبلاطات المجموعة (FS-2-D) المعرضة للحريق لمدة ساعتين وبدون تبريد بشكل موزع على مساحة محددة من البلاطة في مواقع اللهب الستة على الوجه السفلي كما هو موضح في الشكل (4 -23) ، وتم تعريف حمولة حرارية داخلية بدائية قدرها ($25\ C^o$) لجميع العناصر المحدودة باعتبارها درجة حرارة الغرفة عند التجريب كما هو موضح في الشكل (4 -24) .



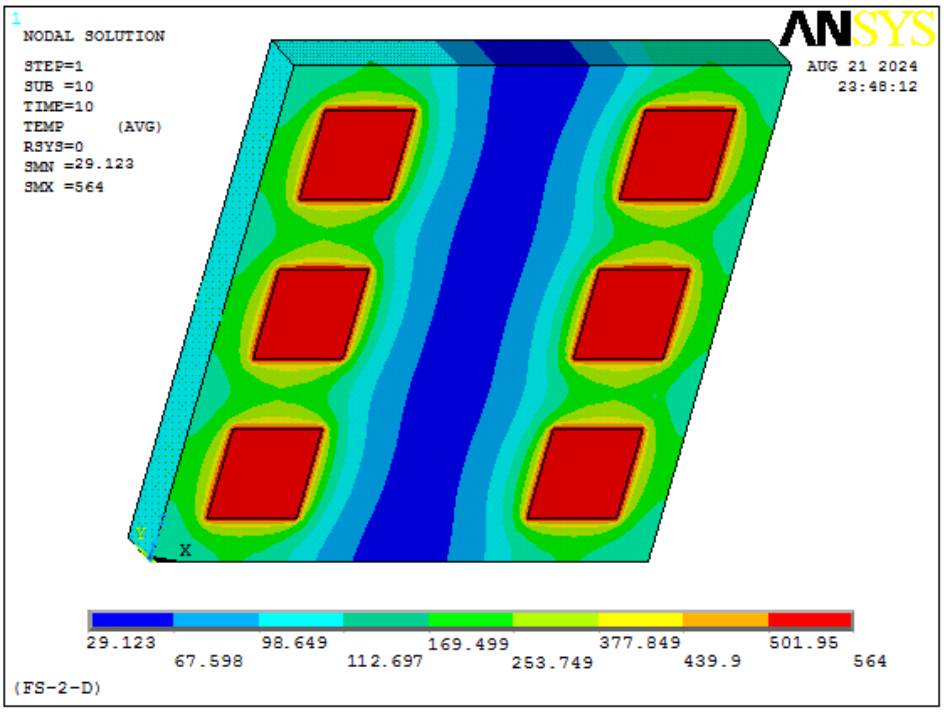
الشكل(4 -23) تطبيق الحمولة الحرارية في مواقع اللهب الستة لبلاطات المجموعة (FS-2-D)



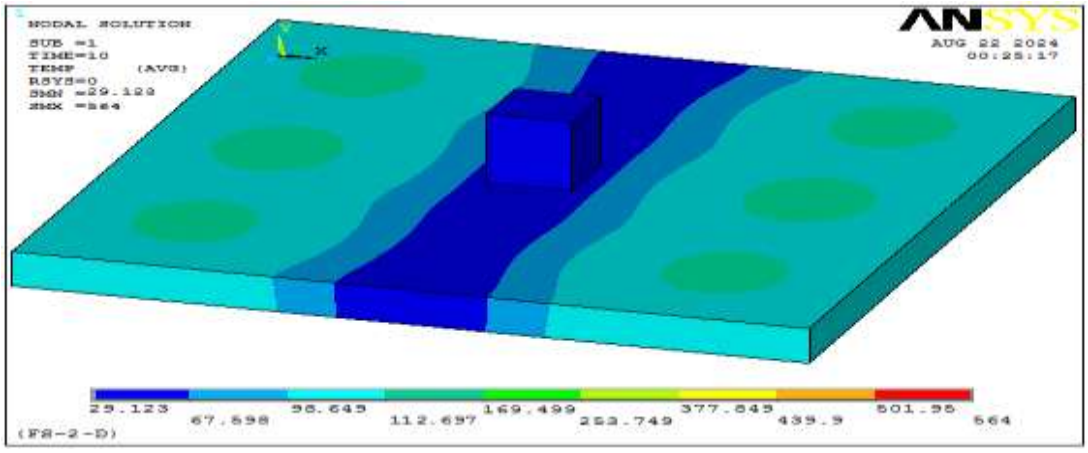
الشكل(4 -24) تعريف حمولة حرارية داخلية بدائية ($25\ C^o$) لجميع العناصر

تم إجراء التحليل الحراري للبلاطة (FS-2-D) بعد تعريف الخصائص الحرارية للفولاذ والبيتون ويوضح الشكل (4 -25) التدرج الحراري للبلاطة على الوجه السفلي المشدود المعرض للهب ويوضح الشكل (4 -26) التدرج الحراري

للبلاطة على الوجه العلوي البعيد عن اللهب وتم مقارنة النتائج العددية مع النتائج التجريبية الوسطية لمجموعة البلاطات (FS-2-D) والنتائج موضحة في الجدول(44-18).



الشكل (4 -25) التدرج الحراري للبلاطة على الوجه السفلي المشدود المعرض للهب



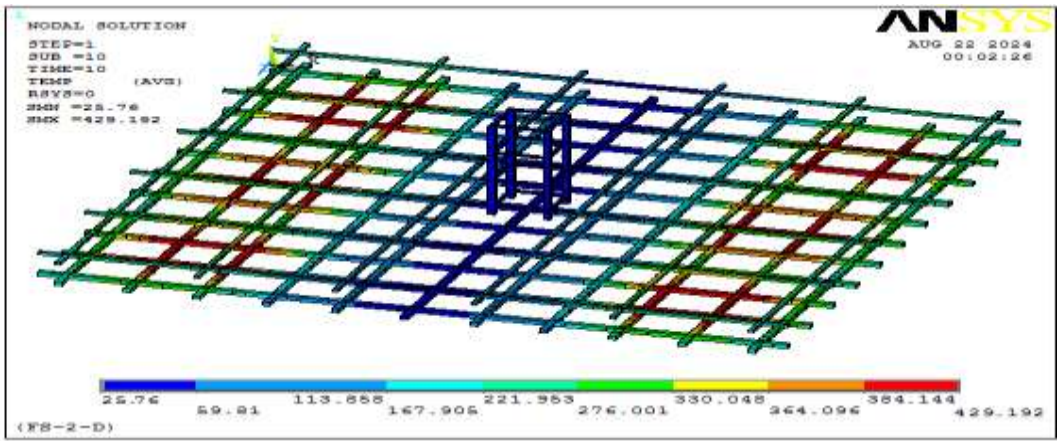
الشكل (4 -26) التدرج الحراري للبلاطة على الوجه العلوي البعيد عن اللهب

الجدول –18)4(مقارنة درجات الحرارة العددية مع التجريبية في مواضع اللهب وبينها

الوجه	درجة حرارة الوجه السفلي المشدود C^o			درجة حرارة الوجه العلوي المضغوط C^o		
موضع	التجريبي	ANSYS	الفرق%	التجريبي	ANSYS	الفرق%
في أماكن اللهب	564	564	-	118	112.7	4.49

بين أماكن اللهب	174	169.5	2.58	101	98.65	2.33

نلاحظ من النتائج في الجدول السابق تطابق قيم درجات الحرارة التجريبية مع العددية في نقاط القياس، ويوضح الشكل (4 -27) التدرج الحراري في قضبان التسليح الرئيسي السفلي القريب من اللهب والعلوي البعيد عن اللهب.

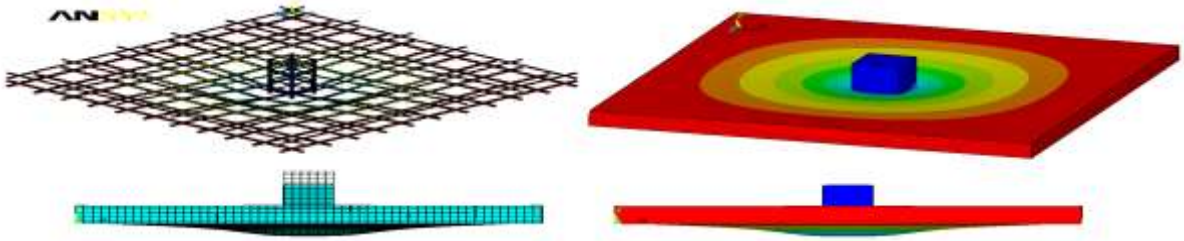


الشكل (4 -27) التدرج الحراري لتسليح البلاطة على الوجهين العلوي والسفلي

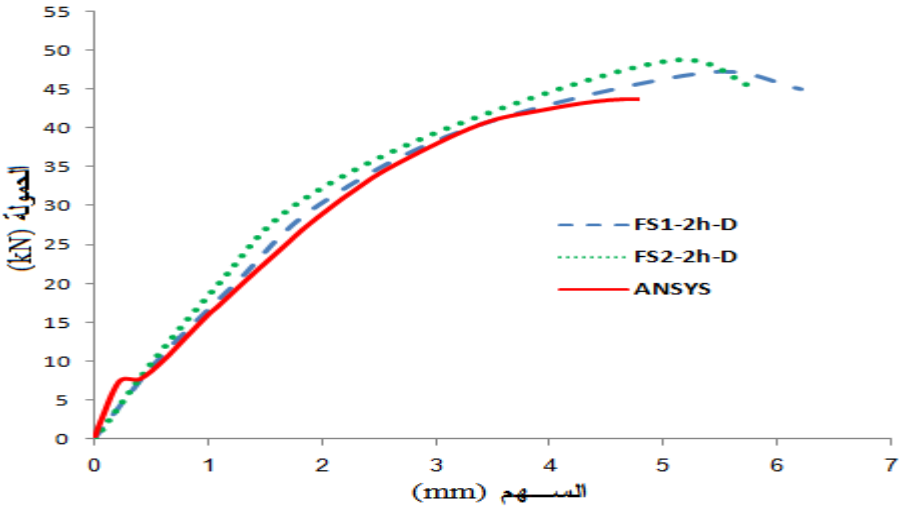
نلاحظ أن درجة الحرارة القصوى للتسليح السفلي ذي القطر 12mm والقريب من اللهب بلغت عددياً ($429.129\ C^o$) بزيادة 4.16% مقارنة مع القيمة التجريبية التي بلغت ($412\ C^o$).

قمنا بإعادة التحليل الإنشائي للنموذج السابق باستبدال العناصر المحدودة في النموذج الحراري بمقابلاتها في النموذج العددي المعتمد للتحليل الإنشائي وقمنا بإدخال مواصفات المواد الإنشائية المكونة للبلاطة بتغير مواصفاتها في درجات الحرارة العالية، وقمنا بتطبيق الشروط الطرفية عند المساند لضمان سلوك النموذج التحليلي مثل العنصر التجريبي بعين الاعتبار .

يوضح الشكل (4 -29) شكل اختراق العمود و شكل التشوه في فولاذ النموذج العددي لبلاطة المجموعة المرجعية (FS-2h-D) ، ويبين الشكل(4 -30) مخطط الحمولة – سهم التجريبي والعددي باستخدام برنامج ANSYS لبلاطات المجموعة (FS1-2h-D) ويظهر منه تقارب جيد في سلوك النموذج العددي مع مثيلاته من البلاطات التجريبية اعتباراً من بداية التحميل وحتى الانهيار ولكن النموذج الحاسوبي يظهر صلابة أعلى من مثيلاته التجريبية حتى حمولة التشقق ثم يعود لينخفض قليلاً مقارنة مع التجريبي.



الشكل (4 -29) شكل اختراق العمود و شكل التشوه في فولاذ النموذج العددي لبلاطة المجموعة المرجعية (FS-2h-D)



الشكل(4 -30) مخطط الحمولة – سهم التجريبي والعددي باستخدام برنامج ANSYS لبلاطات المجموعة (FS-2h-D)

يضم الجدول (4-19) مقارنة بين النتائج التي تم الحصول عليها من النموذج الحاسوبي باستخدام برنامج ANSYS مع وسطي النتائج لبلاطات المجموعة (FS-2h-D) من البحث التجريبي .

الجدول (4–19) مقارنة بين النتائج الوسطية التجريبية و النمذجة العددية لبلاطات المجموعة (FS-2h-D)

(FS-2h-D)	وسطي البلاطات التجريبية	ANSYS	الفارق النسبي %
حمولة الانهيار kN	47.86	43.75	8.59
حمولة التشقق kN	8.14	7.68	5.65
السهم وسط البلاطة عند الحمولة المشتركة(40kN) mm	3.20	3.32	3.75

من النتائج في الجدول (4–19) نجد توافقاً جيداً بين النتائج العددية مع التجريبية وفق مايلي :

1– انخفضت حمولة الانهيار العددية بنسبة (8.59 %) مقارنة مع وسطي حمولة الانهيار التجريبية لبلاطات المجموعة (FS-2h-D).

2– انخفضت حمولة ظهور أول شق للنموذج العددي بنسبة (5.65 %) مقارنة مع وسطي حمولة ظهور أول شق التجريبية لبلاطات المجموعة (FS-2h-D) .

3– ازداد السهم وسط البلاطة للنموذج العددي بنسبة (3.75 %) مقارنة مع وسطي السهم التجريبي لبلاطات المجموعة (FS-2h-D) عند الحمولة (40 kN).

3-6– النتائج المستخلصة من تحليل النماذج الأولية للبلاطات المرجعية RS وبلاطات المجموعة المعرضة للحريق لمدة ساعتين بدون تبريد (FS-2h-D) بطريقة العناصر المحدودة:

من المخططات والجداول السابقة نستنتج ما يلي:

1) تطابق قيم درجات الحرارة التجريبية مع العددية في نقاط القياس وبلغ أكبر اختلاف بين درجات الحرارة العددية باستخدام ANSYS (4.49%) مقارنة مع النتائج التجريبية المقابلة لبلاطات (FS-2h-D) ، مما يدل أن النموذج التحليلي قادر على التمثيل الدقيق للتوزع الحراري ضمن البلاطات البيتونية وتمثيل الحريق .

2) التوافق الجيد بين النتائج العددية والتجريبية لعلاقة (الحمولة–سهم) في كل مراحل التحميل حتى الانهيار، لذلك يمكن اعتبار النموذج التحليلي قادر على توقع الاستجابة الإنشائية للبلاطات التجريبية على مستو جيد ومقبول من ناحية الدقة.

3) بالمقارنة بين النتائج التجريبية والتحليلية لكافة البلاطات تراوحت نسبة الاختلاف بينهما في حمولة الانهيار بين القيمتين (4.3- 8.59)%، وتراوحت نسبة الاختلاف بينهما في حمولة التشقق بين القيمتين(5.65 – 9.64) % ، وتراوحت نسبة الاختلاف بينهما في السهم عند الحمولة المشتركة بين القيمتين (3.75 – 5.19) % ، وهذا يدل على الدقة الجيدة للنماذج العددية .

يمكننا مما سبق تلخيص ما يلي:

إن النموذج التحليلي ثلاثي الأبعاد المنجز والمعاير وفق افتراضات هذه الدراسة العددية ببرنامج ANSYS يعتبر قادراً على المحاكاة الدقيقة نسبياً للسلوك الحراري والإنشائي للبلاطات البيتونية المسلحة الفطرية التجريبية، مما يوفر لنا منصة عددية ذات دقة مقبولة لدراسة المتغيرات الأخرى التي لم تشملها الدراسة التجريبية.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

استنادا للدراسة التجريبية المجراة ، يمكننا استخلاص الاستنتاجات التالية:

1- نلاحظ توافقا جيدا بين نتائج الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة مع النتائج التجريبية بشكل عام، حيث تم الحصول وفق افتراضات البحث التحليلي المنجز على نموذج عددي موثوق ودقيق مقارنة مع النماذج التجريبية ، مما يساعد في توفير الوقت والتكاليف ويعطي امكانية لدراسة العديد من المتغيرات بدرجة حيدة من الموثوقية للنتائج.

2- يظهر تقارب جيد في سلوك النموذج العددي لبلاطة المجموعة (FS–2h–D) الموثوقة من الأطراف الأربعة مقارنة مع المتمفصلة اعتباراً من بداية التحميل وحتى الانهيار ولكن النموذج الحاسوبي يظهر صلابة أعلى للبلاطات الموثوقة من الجهات الأربعة بعد حمولة التشقق وحتى الانهيار ، وتنخفض قدرة التحمل للبلاطة (FS–2h–D) الموثوقة من جهاتها الأربعة وتنخفض السهوم وسط البلاطة مقارنة مع ذات البلاطة عند استنادها بشكل متمفصل .

3- تظهر منحنيات الحمولة – سهم العددية لبلاطات المجموعة المرجعية والمجموعة (fs1–2h–D) في النموذج الحاسوبي صلابة أعلى من مثيلاتها التجريبية حتى حمولة التشقق ثم تعود لتنطبق عليها تقريباً .

4- الطريقة التحليلية باستخدام برنامج Ansys أعطت بعض الفروق مع النتائج التجريبية ويمكن تبرير الاختلاف بين نتائج الطريقتين بمجموعة من العوامل والتي تتعلق بشكل رئيسي حول نمذجة السلوك الإنشائي للمواد الداخلة في تركيب البلاطات الفطرية المعتمدة في النمذجة .

التوصيات :

- دراسة تأثير تغير سماكة طبقة التغطية البيتونية، والمقاومة المميزة للبيتون على سلوك البلاطات اللاجائزية المعرضة للحريق تجريبياً وعددياً.

- دراسة تأثير تغير قطر ونسبة التسليح الرئيسي وإجهاد خضوعه على سلوك البلاطات اللاجائزية المعرضة للحريق تجريبياً.
- دراسة تأثير التحميل المسبق على سلوك البلاطات اللاجائزية المعرضة للحريق .
- إيجاد طريقة لحساب سهم البلاطات اللاجائزية المعرضة للحريق اعتماداً على النتائج التجريبية والعددية .

References:

[1]- Ihssan Tarsha, "Thermal Analysis due Standard Fire", Journal of AL-Baath University,Vol.30,2008.

[2]- Lie, T. T. (Eds.) (1992). "Structural Fire Protection". (Technical Report No. 78). New York: American Society of Civil Engineers.

[3]- Adam Levesque ,(2006), " Fire Performance of Reinforced Concrete Slabs"
A thesis submitted to the faculty of the Worcester Polytechnic Institute In Partial Fulfillment of the requirements for the degree of master of science in civil engineering may 2006.

[4]- Buchanan, A. H. (2001). "Structural Design for Fire Safety". Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

[5**]-** Ihssan Tarsha, Manar Takla,(2019)." Determination of failure load for structural elements exposed to fire and comparison it to the design load according to isotherm 500 method", July 2019.

[6] The Syrian Arab Code for Designing and Implementing the Reinforced Concrete Structures, Fourth Edition, Engineers Syndicate, Syrian Arab Republic, Damascus 2012.

[7] Kamal, M, M. *The Effect of Fire on the Concrete Structures*. Al-Manufiya University, 1999.

[8] Al- Tarsha, A. *The Thermal Analysis Under the Influence of a Standard Fire*. Al-Baath University, 2019.

[9] Abu al-Majd, Sh; Husni, H, *The Effect of Fires on Concrete Structures, Evaluating and fixing them and Designing Safe structures.* Publication House of Egyptian Universities, 2002.