السلوك الإنشائي للجوائز البيتونية المسلحة المعرضة للهب النار المباشر

اسم الباحث : عمار طواشي-دكتوراه هندسة إنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث.

موبايل:0956125924، أيميل: atawashi@albaath-univ.edu.sy

المشرف: د.م سليمان العامودي-أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث.

موبايل:0944880263 ، أيميل: dr.s.amoudi.1@gmail.com

Structural Behavior of RC Beams Subjected to the Direct Fire Flame

Researcher Name: Ammar Tawashi – PhD in Structural Engineering – Faculty of Civil Engineering – AL-Baath University.

Mobile: 0956125924, E: mail atawashi@albaath-univ.edu.sy

Supervisor: Dr. Soleman Al-Amoudi -Assistant Professor at the Faculty of Civil Engineering - Al-Baath University.

Mobile: 0944880263, E: mail dr.s.amoudi.1@gmail.com

السلوك الإنشائي للجوائز البيتونية المسلحة المعرضة للهب النار المباشر

ملخص:

إن الغرض من البحث هو قياس السلوك الإنشائي لجوائز بيتونية مسلحة تم تصنيعها مخبرياً باستخدام البيتون التقليدي من خلال إخضاعها للهب نار يتم توليده بنظام تطبيق لهب خاص، عن طريق شلمون حراري يعمل باستخدام الغاز المنزلي البيوتان "الغاز البترولي المسال" لإنتاج الطاقة موضوع ضمن حيز خاص لإجراء هذا النوع من التجارب.

تم إنتاج ست عينات من الجوائز البيتونية المسلحة باستخدام البيتون التقليدي وعيار للإسمنت (550 kg/m3)، حيث تم كسر عينتين مرجعيتين لدراسة الخصائص الميكانيكية وتمثيل منحنيات قوة–انتقال (P,Δ)، ومن ثم اخضاع العينات المتبقية للهب النار لمدتين زمنيتين نصف ساعة وساعة (0.5h , 1h)، وباستخدام طريقتين للتبريد، التبريد التدريجي بالهواء والتبريد المفاجئ باستخدام المياه، وبعد ذلك القيام باجراء مقارنة سلوكية بينها وبين العينات المرجعية.

بينت النتائج زيادة بقيم انتقالات الجوائز البيتونية بحالتي التبريد، وانخفاض بقيمة المقاومة تصل حتى 2.48% بحالة التبريد التدريجي، و يصل حتى 7.70% بحالة التبريد المفاجئ للعينات المعرضة لمدة نص ساعة، وانخفاض بقيمة المقاومة تصل حتى 5.23% بحالة التبريد التدريجي، ويصل حتى 7.74% بحالة التبريد المفاجئ للعينات المعرضة لمدة ساعة.

الكلمات المفتاحية:

(البيتون المسلح، الجوائز، انتقال–قوة، قوى الانعطاف، لهب النار)

Structural Behavior of RC Beams Subjected to the Direct Fire Flame

Abstract:

The purpose of the research is to define the structural behavior of RC beams that were produced in the laboratory using the classic concrete by subjecting them to a fire flame generated by special thermal system that works using domestic gas butane "liquefied petroleum gas" to produce energy, placed in a special space to conduct this type of experiment.

Six samples of RC beams were produced using classic concrete, the cement grade (550 kg/m3). Two reference samples were fractured to study the mechanical properties with Load-Deflection curves (P,Δ), and the remaining samples were subjected to fire flame for two periods time of half an hour and an hour (1h and 0.5h), using two methods of cooling, gradual cooling with air and sudden cooling using water, and then procced a behavioral comparison between them and the reference samples.

The results showed an increase in the beams deflection in both two cases of cooling, and a decrease in the value of the resistance up to **2.48**% in the case of gradual cooling, a decrease of up to **7.70%** in the case of sudden cooling of the samples exposed for 0.5 hour, and a decrease in the value of the resistance up to **5.23%** in the case of gradual cooling, and a decrease of up to **7.74%** in the case sudden cooling of exposed samples for 1 hour.

key words:

(Reinforced Concrete, Beam, Load-Deflection, Flexure, Fire Flame)

1- المقدمة:

المنشآت البيتونية المسلحة هي النظام الهيكلي الأكثر استخداماً في سورية وجميع أنحاء العالم تقريباً، حيث تمت دراسة سلوك هذه المنشآت وأنماط فشلها بشكلٍ واسع تحت تأثير العديد من العوامل الداخلية منها أو الخارجية.

إن تدهور مقاومة العناصر البيتونية بسبب التعرض قصير الأمد لدرجات الحرارة المرتفعة (لهب النارFire Flame) جذب الانتباه في السنوات الماضية، حيث إن سلوك البيتون المعرض للحريق يعتمد على المكونات الداخلة في تركيبه ويتحدد بالتفاعلات المعقدة أثناء عملية الحريق، وتختلف حالات فشل البيتون المعرض للحريق وفقًا لطبيعة الحريق ونظام التحميل ونوع الهيكل الإنشائي. علاوة على ذلك، يمكن أن يحدث الفشل نتيجة أسباب مختلفة مثل انخفاض مقاومة الإنعطاف أو الشد، وفقدان قوى القص أو قوى الضغط.

إن إحدى مزايا البيتون المسلح على مواد البناء الأخرى هي خصائصها المتأصلة لمقاومة الحريق [4]، ومع ذلك، يوصى بأن تكون المنشآت البيتونية المسلحة مصممة لتأثير الحريق، مما يحقق بقاء تلك العناصر الإنشائية المعرضة للحريق قادرة على تحمل الأحمال الميتة والحية دون الانهيار على الرغم من أنَّ ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى انخفاض في مقاومة وصلابة البيتون المسلح.

توصي دلائل تصميم الأبنية وقواعد البناء ببعض المتطلبات الهيكلية المقاومة للحريق، وذلك لضمان بقاء السلامة لفترة معينة في ظل ظروف الحريق، بما يسمح بإجلاء السكان بأمان ووصول رجال الإطفاء. ومع ذلك، فإن سلوك المبنى بعد الحريق، وتقييم الحالة باستحقاقها للإصلاح أم لا، هو نقطة اهتمام أخرى تحتاج إلى مزيد من البحث.

قام العديد من الباحثين حول العالم بإجراء أبحاث لدراسة أثر الحريق على العناصر البيتونية المسلحة منها التجريبي ومنها من اهتم بالعمليات الحسابية لدراسة الأثر:

قدم كل من Zahraa Hussien AL-Dulffy-Dr. Amer Farouk Izzet- في جامعة بغداد في العراق عام2018 [5]، بدراسة تأثير درجة الحرارة العالية (لهب النار) على سلوك الجوائز البيتونية لاحقة الجهد، حيث لوحظ عند التعرض الى درجات الحرارة (300، 500، و700) سيليزي، فإن المتبقي من التحمل للنماذج المبردة بصورة تدريجية (84، 72، 60) % بالتوالي، بينما للتي بردت بالطريقة السريعة كانت (80، 64، 52) % بالتوالي لنفس درجات الحرارة.

ونشر كل من Mahmoud E. Kamara- David N. Bilow من جمعية الأسمنت البروتلاندي في الولايات المتحدة الأمريكية عام 2008 بحث بعنوان النار والمنشآت البيتونية، هدف البحث دراسة تأثير النار على مواد البناء (البيتون-التسليح) [3]، توصل لمنحنيات توصف العلاقة بين معامل المرونة، إجهاد الضغط، وإجهاد الخضوع لفولاذ التسليح مع درجة الحرارة على التوالي وكلٌ على حدى.

كما قدم M. PETRU من جامعة أياسي التقنية في رومانيا عام 2008 بتقديم طريقة مبسطة لتصميم العناصر البيتونية المسلحة تحت أثر النار [7]، وأعطى منحنيات حرارية تقريبية لتوزع الحرارة ضمن المقطع البيتوني.

إن ما يميز بحثنا هو القيام بتجارب واقعية لكارثة الحريق من خلال تطبيق لهب نار مباشر على الجوائز البيتونية يتم توليده من مصدر غاز منزلي ومعرض لظروف تهوية حقيقية، حيث يتم تبريدها تدريجياً، وبشكل مفاجئ باستخدام المياه مما يحاكي وصول رجال الاطفاء لموقع الكارثة.

2- أهمية البحث

يكتسب بحثنا هذا أهمية من خلال ايجاد أسلوب حقيقي متبع لدراسة تأثير الحريق (لهب النار المباشر) على الجوائز البيتونية المسلحة، ومعرفة سلوك العنصر الإنشائي تحت هذا الأثر، باستخدام متغيرات محددة، وذلك من خلال مناقشة بعض حالات الدراسة التجريبية وتقييم أثر الحريق على العناصر البيتونية المسلحة ومحاكاة كارثة الحريق بأن تكون قريبة من الظروف العملية قدر الإمكان، التي تحصل عادة في المباني السكنية أو أشكال المباني المختلفة المصنوعة من البيتون المسلح العادي.

3- هدف البحث:

إن بحثنا هذا يهدف إلى اجراء دراسة تجريبية، للسلوك الإنشائي للجوائز البيتونية المسلحة المصنوعة من البيتون التقليدي والمعرضة للهب النار المباشر من خلال:
دراسة التغيير في السلوك الإنعطافي للجوائز المجهدة استثمارياً، والتحقق من شكل الانهيار للجوائز البيتونية المسلحة المصنوعة من البيتون التقليدي والمعرضة للحريق (لهب النارFire Flame) تحت تأثير قوى الانعطاف.

4- الدراسة المرجعية:

تُعتبر النار ظاهرة فيزيائية وكيميائية تتفاعل بشدة مع الطبيعة،[7] يمكن أن تكون العلاقة بين اللهب وزمنه ومحيطه غير خطية بشكلٍ دائم، وغالباً ما يكون التقدير الكمي للعمليات هذه معقداً، يتم التعبير عن سلوك النار بمتغيرات عدة من بينها:

- **الخصائص الهندسية للمبنى.**
- **الخصائص الحرارية لجدران وأسقف المبنى.**
- **كثافة حمل النار و ظروف التهوية.**

وتشمل الجوانب الأخرى لسلوك الحريق في المباني المتأثرة، المسائل الهامة التالية:

- **سلوك احتراق المواد، بما في ذلك فقدان الكتلة ومعدلات إطلاق الطاقة.**
- **مراحل تطور النار.**
- **الحرائق مكتملة الاشتعال ودور التهوية وتطور درجة الحرارة والزمن.**

4-1 سلوك احتراق المواد:

بمجرد إشعال مادة ما، ينتشر الحريق عبر جسم المادة إلى أن يصبح مشتعلاً بشكلٍ كامل، حيث يعتمد انتشار الحريق الذي ينتقل وفقه اللهب إلى سطح المادة على مكَون الوقود، اتجاه اللهب، نسبة السطح إلى الكتلة، الحرارة المنعكسة وإمدادات الهواء.

4-2 مراحل تطور الحريق:

بشكلٍ عام تبدأ الحرائق من مصدر الاشتعال وينتقل الدخان الناتج من الجسم المحترق بواسطة عمود دخاني ويتجمع في الجزء العلوي من النموذج كطبقة عائمة،

يَنقِل عمود الدخان أيضاً الحرارة الناتجة عن الحريق إلى طبقة الدخان، مما يتسبب في زيادة طبقة الدخان في الأعلى ودرجة الحرارة أيضاً، تشع طبقة الدخان هذه الطاقة إلى الوقود غير المحترق في المقصورة، مما يؤدي إلى زيادة درجة الحرارة.

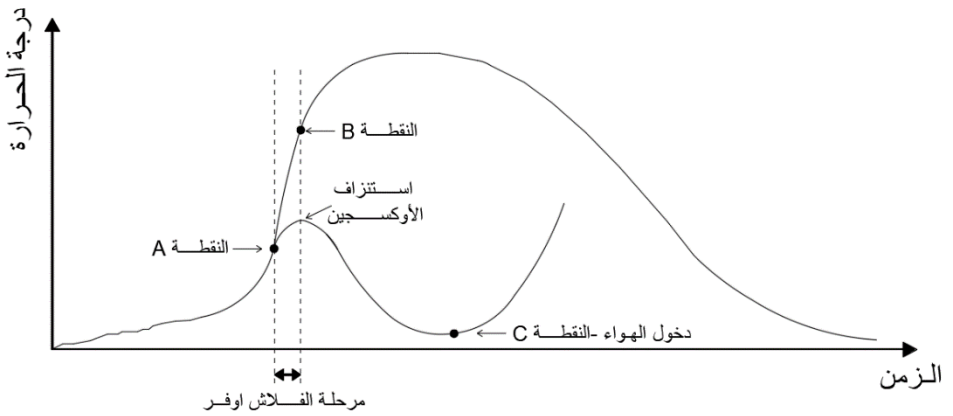
ينتشر الحريق إلى عناصر أخرى إما عن طريق الإشعاع الناتج عن اللهب المتصل بالعنصر المحترق أو عبر طبقة الدخان، عندما تشتعل العناصر الأخرى، تزداد درجة حرارة طبقة الدخان أكثر، مشعةً مزيدًا من الحرارة، يشار إلى هذه المرحلة بأسم "*Flashover*" الفلاش أوفر، من المرجح أن تشتعل العناصر بالتتابع، حيث يعتمد تتابع الإشتعال على مكون وتوزع مصدر الوقود والتهوية.

3-4 الحرائق مكتملة الاشتعال ودور التهوية وتطور درجة الحرارة والزمن:

الحريق مكتمل الاشتعال هو الذي يصل إلى مرحلة حرق مستقرة، حيث يكون معدل فقدان كتلة النموذج ثابتًا نسبيًا خلال تلك الفترة، قد يحدث التوازن نتيجة لإمداد التهوية المحدود (في حرائق التحكم في التهوية) أو بسبب خصائص الوقود (الحرائق التي يتم التحكم فيها بالوقود).

عموماً العمليات التي تعبر عن الحريق بشكلٍ أساسي هي تدفقات الحرارة من الوقود إلى المناطق المحيطة به، وغالباً ما تتم المناقشة من حيث تطور درجة الحرارة في النموذج حيث تنقسم إلى مراحل مختلفة، يُظهر الشكل رقم (1) تبايناً مثالياً لدرجة الحرارة مع مرور الزمن، في حالة عدم وجود محاولة للسيطرة على الحريق، المراحل الرئيسية لظاهرة لهب النار هي: الاشتعال، النمو، الفلاش أوفر، النار مكتملة الاشتعال، انتهاء الكارثة، يمكن اعتبار الاشتعال عملية تتميز بزيادة في درجة الحرارة أعلى بكثير من المحيط، يمكن أن يحدث إما عن طريق الإشعال التجريبي أو عن طريق الإشعال اللاإرادي.

بعد الاشتعال، قد تنمو النار بمعدل بطيء أو سريع، وهذا يتوقف على نوع الاحتراق ونوع الوقود والتفاعل مع البيئة المحيطة ومعدل التهوية.



الشكل رقم (1) المراحل الرئيسية في عملية الاحتراق

5- الاستجابة الإنشائية للحريق

تُعرَّف مقاومة الحريق بأنها قدرة المبنى لردع الحريق، أو توفر الحماية منه (*ASTM 2001a*) [1] ، والمشمل أولاً: في تعريف مقاومة الحريق هي قدرة العنصر على الحفاظ على سلامته الانشائية واستقراره رغم تعرضه للنيران، ثانياً: بالنسبة لبعض العناصر مثل الجدران والعناصر المستوية كالأسقف، فإن مقاومة الحرايق تنطوي أيضاً على العمل كحاجز لحد ومنع انتشار لهب الحريق.

يُعرَّف معدل مقاومة الحريق (أو تصنيف مقاومة الحرائق)، على أنه المدة الزمنية التي يمكن أن تتحمل فيها مجموعة (سقف أو أرضية أو جوائز أو جدار أو عمود) "حريق قياسي".

ونظراً لأن المقصود من الحريق القياسي هو أن يكون اختباراً مقارناً وليس المقصود منه التنبؤ بالأداء الفعلي، لذا فإن معدل مقاومة الحريق مع الزمن التي يتم الحصول عليها من الاختبارات المخبرية يجب عدم الاعتماد عليها للإشارة إلى المدة المحددة التي سيصمد فيها المبنى أمام الانهيار من حريق فعلي.

6- تقييم مقاومة الحريق:

تستند متطلبات كود الأبنية للحماية من الحرائق الإنشائية على الاختبارات المخبرية المعتمدة وفقًا لـ *ASTM E119*، " كود طرق الاختبار القياسي لتجارب الحريق الخاصة بتشييد الأبنية ومواد البناء (2000) "[2] ، في هذه التجارب تتعرض مجموعة عناصر

البناء مثل الأسقف والجوائز والأرضيات والأعمدة والجدران لظروف حرارية يتم إنشاؤها في فرن خاص، حيث وضعت معايير للأداء وفقاً للوظائف التي يؤديها العنصر الإنشائي [8] وهي:

- وظيفة مقاومة الأحمال فقط: المقاومة الميكانيكية (المعيار R).
- وظيفة الفصل فقط: السلامة (المعيار E)، والعزل (المعيار I).
- وظيفة الفصل ومقاومة الأحمال: المعايير R وE والمعيار I.

فعند التعرض للحريق القياسي، يجب على العناصر الامتثال للمعايير I,R,E.

كما حدد الكود العربي السوري ثلاثة شروط يجب أخذها بالحسبان أثناء التصميم [9] ، وهي:

- المحافظة على المقاومة الإنشائية.
- مقاومة انتشار اللهب.
- مقاومة انتقال الحرارة.

يتم تطبيق الشرط الأول على جميع العناصر الإنشائية، بينما الشرطان الثاني والثالث، يتم تطبيقهما على الأسقف والجدران، لأن لهما وظيفة الفصل بين الفراغات.

7- الدراسة التجريبية في مخبر البيتون المسلح بكلية الهندسة المدنية

تلعب الجوائز البيتونية المسلحة دوراً أساسياً وفعالاً في النظام الإنشائي البيتوني، من خلال تحمل ونقل الأحمال الشاقولية المطبقة على البلاطات إلى الأعمدة، وبتحمل القوى الجانبية التي يمكن أن تتعرض لها عند تصميمها كإطارات بيتونية خاصة لمقاومة الأحمال الجانبية كالزلازل.

يعتمد تصميم الجوائز البيتونية المسلحة على عدة عوامل وأهمها الغرض من استخدام العنصر، المواد المصنع منها، موقع الجائز وطبيعة الاستناد، والأحمال المعرض لها.

أما بالنسبة للغرض من استخدام الجائز فهي تعتمد على النظام الإنشائي المراد استخدامه، والذي يشمل جملة العناصر السطحية والخطية والحجمية، والتي يمكن أن تتضمن النظام الهيكلي البيتوني بشكل كامل أو النظام الفولاذي أو حتى النظام الهيكلي المختلط.

ولما كانت الجوائز هي صلة الوصل بين العناصر السطحية الممثلة بالبلاطات والعناصر الخطية الأخرى الممثلة بالأعمدة، فاستخدامها يرتبط أيضاً بشكلٍ أساسي بالبلاطات والأعمدة ونوع وآليه عمل كل منها على حدى.

7-1 تصميم الجوائز البيتونية المسلحة:

نموذج التصميم:

عند تصميم الجوائز البيتونية المسلحة في بحثنا تم مراعاة النقاط الواردة أدناه:

- أن تتعرض لقوى الانعطاف الصافي $(\frac{L}{h} \geq 10)$.
- نظام الاستناد بسيط.
- المقطع العرض الأدنى لمقاومة حمل الحريق.
- تحقيق سماكة التغطية الأدنى لمقاومة حمل الحريق[9].
- تحقيق نسب التسليح الدنيا والعظمى.

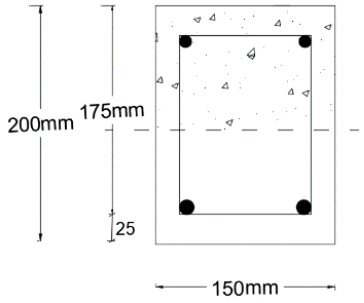
قوى الانعطاف الصافي: يتعرض الجائز البيتوني المسلح للانعطاف الصافي من خلال تطبيق قوى خارجية (موزعة او مركزة) [6]، تؤدي لانثناء في منتصف العنصر دون حدوث شكل آخر للقوى الداخلية في العنصر، يرافق ذلك تَسَهُم وتَشَكل للشقوق على كامل طول وارتفاع المقطع، ويترافق بتوليد إجهادات شادة وضاغطة ضمن المقطع البيتوني، حيث تتوزع الإجهادت الشادة على الليف السفلي من الجائز والضاغطة على الليف العلوي منه.

نظام الاستناد البسيط: يتم تثبيت الجائز على دعامات فولاذية عند الأطراف، لتمنع حركة الجائز الشاقولية فقط، وبذلك تلعب دور المسند الأحادي البسيط كما هو موضح بالشكل رقم(2).

الشكل رقم(2) نظام الاستناد البسيط

المقطع العرضي الأدنى لمقاومة الحريق: من أجل محاكاة الحالة الحرجة عند تصميم المقطع العرضي للجوائز تم استخدام البعد الأدنى للمقطع لمقاومة حمل الحريق، كما هو مدرج في اشتراطات الكود العربي السوري[9]، فقد تم اعتماد الأبعاد *(b=150,h=200mm)* **ممثلة لأبعاد الجائز الحرجة على الحريق، كما هو موضح بالشكل ادناه رقم (3) .**

تحقيق سماكة التغطية الأدنى لمقاومة حمل الحريق: تم اعتماد سماكة التغطية الأدنى للجوائز البيتونية المسلحة بفرض أن البيتون دون حماية إضافية ومعرض لحريق لا تقل مدته الزمنية عن ساعة[9]، وبذلك تكون سماكة طبقة التغطية للوجه المعرض للهب النار المباشر لا تقل عن *25mm* **عن حافة الأسوارة الخارجي الشكل رقم (3).**



الشكل رقم(3) أبعاد المقطع البيتوني وسماكة طبقة التغطية

تحقيق نسب التسليح الدنيا والعظمى: تم توزيع قضبان التسليح ضمن المقطع العرضي بما يحقق نسب التسليح المطلوبة وفق الاشتراطات التالية:

- **لا تقل مساحة تسليح الشد الرئيسي في كلِّ قطاع عن:**

$$\mu_{s\min} \geq \frac{0.9}{f_y}$$

- **لا تزيد مساحة تسليح الشد الرئيسي في القطاعات الأحادية التسليح على نصف المساحة التوازنية** $(0.5 \cdot A'_{sb})$ **.**

متطلبات التسليح العرضي:

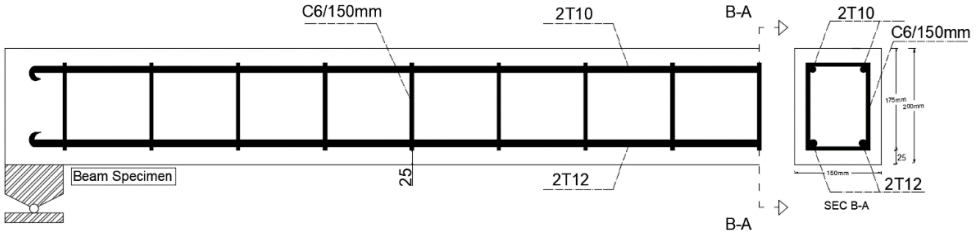
- **يجب أن لا يقل التسليح العرضي المستخدم في الجوائز المعرضة لأحمال زلزالية عن (8mm).**
- **توضع أول إسوارة على مسافة لا تزيد عن (50mm) من وجه المسند.**
- **يجب أن لا يتجاوز التباعد بين عناصر التسليح العرضي والأساور S_t عن القيم التالية :**

$\frac{d}{2}$

- **نصف الارتفاع الفعال للجائز .**
- **25 مرة قطر عناصر التسليح العرضي ϕ_t.**
- **12 مرة من أكبر قطر تسليح طولي مربوط بالإسوار ϕ_l.**
- $250mm$.

<u>المواد المستخدمة في تصميم الجوائز البيتونية المسلحة:</u>

تم إنتاج الجوائز البيتونية المسلحة باستخدام مواد البناء الأساسية بدءً من فولاذ التسليح، حيث تم استخدام فولاذ ذو نتوءات مسحوب على الساخن ومطابق للمواصفات القياسية السورية، بأقطار مختلفة $(12,10,6)mm$ لتشكيل القفص الفولاذي للجوائز، فقد تم اختيار فولاذ تسليح منطقة الشد (2T12) وفولاذ تسليح منطقة الضغط (2T10) بالإضافة لأساور فولاذية (C6/15cm) كما هو موضح بالشكل(4).



الشكل رقم (4) تفاصيل القفص الفولاذي للجوائز

وباستخدام مواد البناء الأخرى (الحصويات الخشنة، الحصويات الناعمة، الإسمنت والماء) لإنتاج الجوائز البيتونية المسلحة بأبعاد (b=150,h=200,L=2000)mm ، **كما موضح بالشكل رقم (5) أدناه:**

الشكل رقم (5) يوضح الجوائز البيتونية المختبرة

7-2 تحميل الجوائز البيتونية المسلحة:

<u>نموذج التحميل:</u>

تم اعتماد نموذج تحميل الجوائز البيتونية من خلال تطبيق حمولة خارجية عبارة عن قوة مركزة يتم توليدها من مشغل هيدروليكي يعمل بضغط زيتي وبسرعة تحميل محددة تساوي (0.25kN/s)**، تتوزع تلك القوة إلى قوتين مركزتين على عرض المقطع البيتوني تمكننا من توليد الانعطاف الصافي، من خلال وضع جائز فولاذي لتوزيع القوة المركزة المتولدة من جهاز الكسر إلى قوتين مركزتين تقعان ضمن الثلث الوسطي من الجائز البيتوني، بما يضمن لنا قياس سلوك الجائز البيتوني أثناء مرحلة التحميل حتى حدوث الانهيار على الانعطاف الصافي، كما هو موضح بالشكل رقم(6).**

7-3 تحليل الجوائز البيتونية المسلحة:

<u>نموذج التحليل:</u>

من أجل تحليل سلوك الجوائز البيتونية عادة مايتم استخدام أجهزة القياس الخاصة بقياس حدود الاستثمار (سهوم وشقوق)، من خلال تثبيت الحساسات في أماكن تسهم

الجائز وتحديد قيم انتقال العنصر بالتوازي مع زيادة الحمولة المطبقة ومنه يتم استنتاج منحنيات قوة–انتقال (P,Δ).

في بحثنا قمنا باستخدام نموذج تحليل للعنصر البيتوني يتيح لنا تحديد قيم السهوم المتولدة بتثبيت حساسات على السطح السفلي عند مناطق انحناء العنصر، وبالتحديد في منتصف العنصر وعند أماكن تركز القوتين المؤثرتين كما هو موضح بالشكل رقم(6)، وبالاضافة لتثبيت حساسات عند مناطق استناد العنصر لتحديد حركة المسند المحتملة مع تطبيق الحمولة، وذلك من أجل أخذ أثر حركة المسند بعين الاعتبار.

كما تم تثبيت حساسات قياس التشوهات على السطح الجانبي للعنصر البيتوني في منتصف العنصر، عند مناطق تولد قوى الانعطاف الصافي من أجل تحديد قيم التشوهات الشادة والضاغطة ضمن العنصر البيتوني.

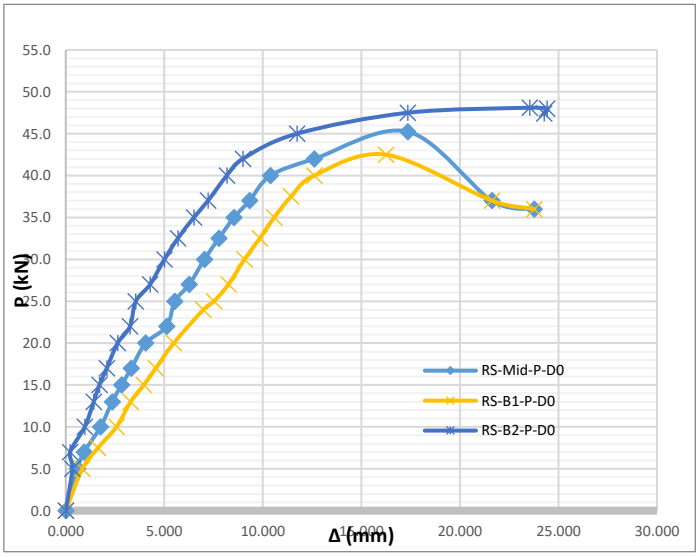
الشكل رقم (6) تطبيق الحمولة وتموضع الحساسات

8–كسر العينات المرجعية والتحميل الأستثماري للجوائز البيتونية المسلحة:

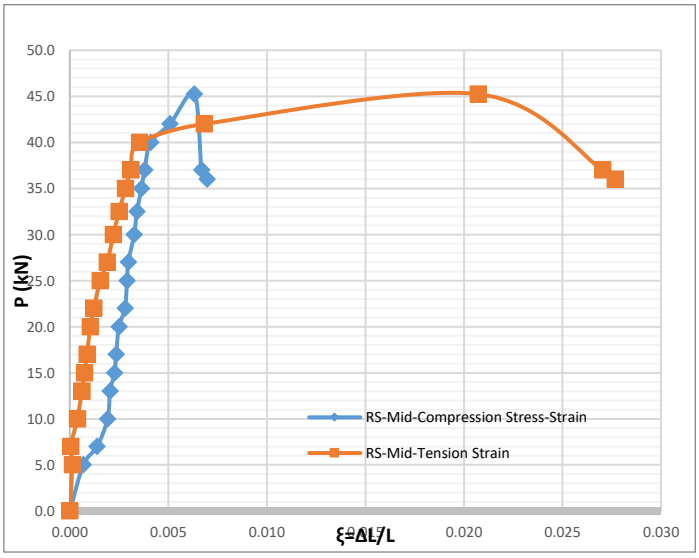
قبل البدء بإجراء التجارب المتعلقة بالحريق المتولد باستخدام لهب النار، تم وضع الجائز على جهاز الكسر وتثبيت الحساسات على الجوائز، ومن ثم قمنا بكسر عينتين مرجعيتين (RS) لتحديد المقاومة العظمى للجوائز البيتونية المسلحة على الانعطاف الصافي، والتحقق من السلوك الإنشائي للعينات ممثلة بحدود الاستثمار، وذلك بمراقبة التسهم الحاصل في الجائز وتوزع الشقوق على طول العنصر، ومن ثم رسم منحنيات قوة–انتقال (P,Δ)، ومنحنيات قوة–تشوه (P,ε) كما هو موضح بالشكل (7) أدناه:

الشكل رقم (7) إجراء التجربة وكسر العينات المرجعية

تم أخذ نتائج كسر العينتين المرجعيتين وتمثيلها بيانياً وفق المنحنيات المذكورة أدناه، وكانت النتائج وفق الشكلين رقم (8،9) أدناه:



الشكل رقم (8) منحنيات قوة–انتقال (P,Δ) للعينتين المرجعيتين والوسطي بينهما



الشكل رقم (9) منحنيات إجهاد–تشوه (P,ξ) لوسطي العينتين

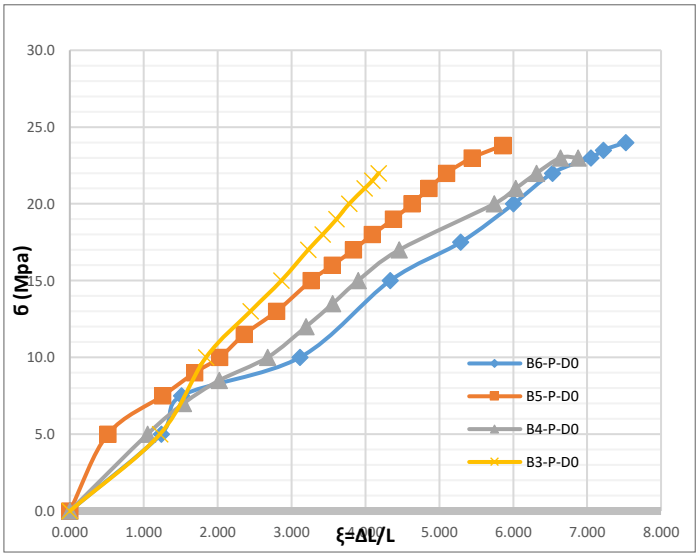
المناقشة: مما هو موضح بالمنحنيات أعلاه نجد بأن قيمة قدرة التحمل الوسطية على الانعطاف قد بلغت (45.25 kN) وقيمة السهوم بلغت(23mm) وهي قيمة تقابل النسبة ($\frac{L}{86.9}$) مقارنة مع النسبة المسموحة ($\frac{L}{180}$) وقيمة التشوهات العظمى كانت على الضغط تساوي (0.006)، وعلى الشد يساوي (0.021).

التحميل الاستثماري للجوائز البيتونية المسلحة:

وفقاً للقيم التحليلية الناتجة وللرسوم البيانية الموضحة أعلاه نجد بأن قيم الحمولة الخارجية المطبقة والتي يكون عندها المقطع البيتوني بحالة التشوه الحدي تتراوح من (22 kN) حتى (30 kN)، وهي قيم تقابل النسبة من (48.6%) حتى (66.3%) من حمولة الانهيار القصوى للجائز البيتوني.

ومنه قمنا بتحميل الجوائز البيتونية والتي سيتم دراسة سلوكها على لهب النار المباشر استثمارياً بنسبة (60%) من حمولة الانهيار، بما يضمن محاكاة حقيقية للجائز البيتوني الموجود ضمن هيكل إنشائي مستثمر ومعرض لمختلف أنواع القوى الخارجية المحتملة.

يعطى الشكل رقم(10) الموضح أدناه منحنيات قوة–انتقال (P,Δ)، للتحميل الاستثماري المعرضة له الجوائز البيتونية المسلحة.



الشكل رقم (10) منحنيات قوة–انتقال (P,Δ) للتحميل الإستثماري

9- تجارب لهب النار:

9-1 الأجهزة والمعدات :

من أجل إخضاع الجوائز البيتونية المحلمة استثمارياً للهب النار المباشر، قمنا بتصميم نظام تطبيق لهب خاص لهذا النوع من التجارب، الشكل رقم (11) بأبعاد m(2,1.2) وارتفاع (1.4m)، عبارة عن قاعدة من مقاطع معدنية مثبت عليها جدران من جهاته من الصاج المعدني بثخانة (2.8mm)، سماكة الجدران (10cm) تحوي بداخلها صوف زجاجي يضمن لنا العزل الحراري على محيط العينة المختبرة وسلامة الدارس من المواد المحتمل تطايرها أثناء التجربة، وقد تم تصميم الجداران بالاتجاه الطويل على أنها قابلة للحركة وفقاً لأبعاد العينة المختبرة (جائز أو بلاطة)، كما أن الجزء السفلي والعلوي من الفرن بقيت مفتوحة للجو المحيط ومعرضة للتهوية، لكي نكون أقرب للحالة الفعلية لكارثة الحريق عند حدوثها، ومما يسمح لنا بمراقبة العينة المختبرة أثناء التجربة.

تم تزويد هذا النظام بحرَّاقين عبارة عن Pipe من الحديد المزيبق، مزود بصمام أمان ويخرج منها شلمونات حرارية تحوي أيضاً كل منها على صمام أمان موزعة على كامل طول الفرن، يتم توصيل الحرَّاق بمصدر الطاقة والذي هو الغاز المنزلي"الغاز البترولي المسال".

الشكل رقم (11) النظام الخاص بتجارب لهب النار

أجهزة قياس درجة الحرارة:

لتحديد درجة حرارة العينة المختبرة ومعرفة درجة حرارة المصدر الحراري أثناء مدة التجربة، تم استخدام نوعين من مقاييس درجة الحرارة كما هو موضح بالشكلين (12,13) وهي:

- **مقياس درجة حرارة ليزري.**
- **مجس حراري.**

أما بالنسبة لمقياس درجة الحرارة الليزري فقد تم استخدام المخصص منه للأعمال الصناعية، الشكل (12)، والتي يعطي درجة حرارة تصل حتى $550C^{o}$، ومما يوفر لنا بقياس درجة حرارة أسطح العينة.

الشكل رقم (12) المقياس الليزري

وأما المجس الحراري موصول باستخدام كابلات كهربائية مع شاشة تعطي القراءات الحرارية، يوفر قياسات تصل حتى $1200C^{o}$ الشكل رقم (13)، وقد استخدم لقياس درجة حرارة المصدر الحراري للهب النار والجو المحيط خلال فترة التجربة كاملةً.

الشكل رقم (13) المجس الحراري

بعد الانتهاء من تحضير كافة المتطلبات اللوجستية لإجراء التجربة، قمنا بتحديد الجوائز البيتونية التي سيتم إجراء تجارب لهب النار عليها وفق الجدول رقم (1) التالي:

الجدول رقم (1) متغيرات تجربة الحريق

رمز العنصر	نوع العنصر	مادة العنصر	مدة التعرض للهب النار	نوع التبريد
B6	جائز	بيتون مسلح تقليدي	0.5 h	تدريجي
B4	جائز	بيتون مسلح تقليدي	0.5 h	مفاجئ "مياه"
B3	جائز	بيتون مسلح تقليدي	1 h	تدريجي
B5	جائز	بيتون مسلح تقليدي	1 h	مفاجئ "مياه"

9-2 العناصر المعرضة للهب النار لمدة نصف ساعة 0.5h:

وضعت العناصر البيتونية ضمن نظام تطبيق اللهب وتم اخضاع نقاط محددة من السطح السفلي (منطقة الانعطاف الصافي) للجائز للهب النار المباشر لمدة نصف ساعة بشكل موضعي دون تغيير نقاط تطبيق اللهب خلال مدة التجربة كما هو موضح بالشكل رقم (14)، وهي النقاط التي تعطي الحالة الأخطر والحرجة لاستقرار العنصر، بحيث تقع على امتداد مناطق تطبيق القوى الخارجية على السطح العلوي للجائز.

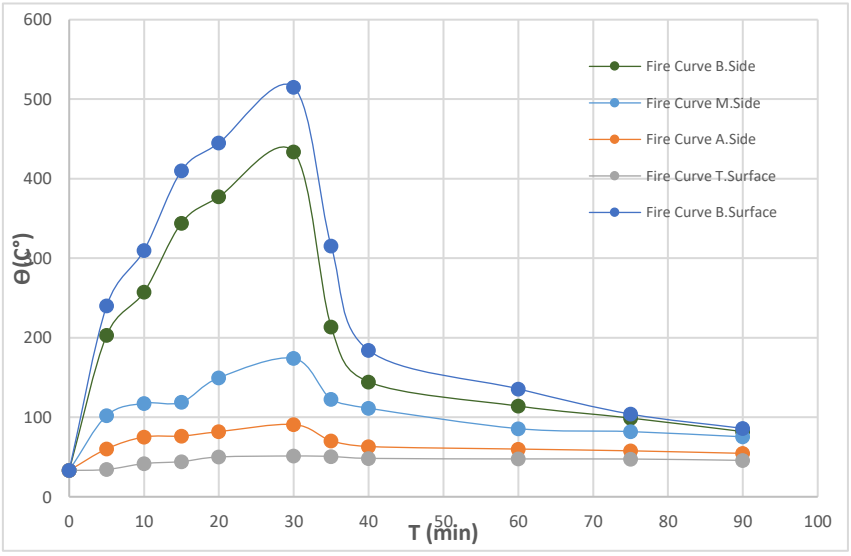
الشكل رقم (14) تعرض الجائز البيتوني للهب النار

أثناء التجربة قمنا بإعداد تقرير يوضح معلومات ومراحل إجراء التجربة وأهم الملاحظات وفق التالي:

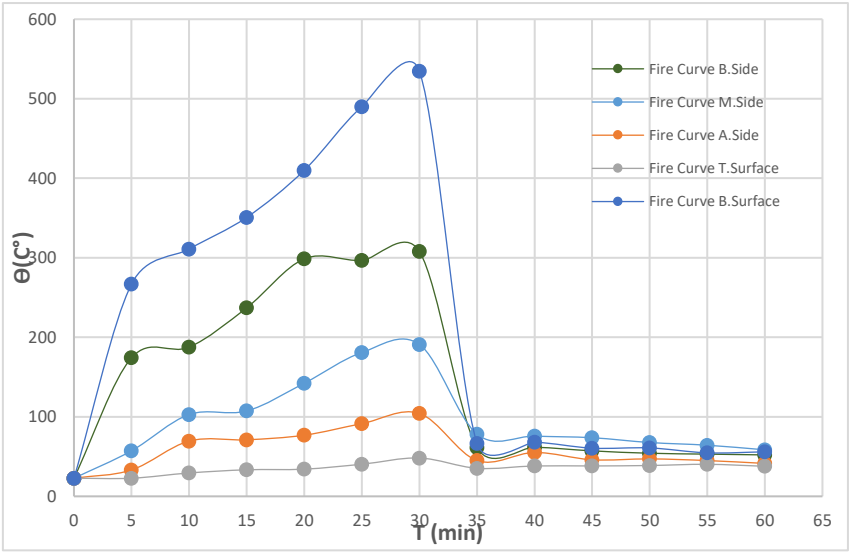
- **المدة الزمنية للتجربة 30 دقيقة، وقطر انتشار لهب النار 20 سم عند ملامسته للسطح السفلي الجائز البيتوني.**
- **مراقبة تعرض الجائز للهب النار وتسجيل درجة الحرارة مع تغير الزمن.**

- تسجيل درجة حرارة الجو المحيط وحرارة السطح السفلي والجانبي والعلوي للعينة في عدة نقاط من الجائز (عند مصدري اللهب ونقطة بينهم).
- تمثيل سجلات درجة الحرارة–الزمن بيانياً لجميع الأسطح والنقاط المعرضة للهب.
- تمثيل سجلات درجة الحرارة–ارتفاع العنصر لجميع النقاط المعرضة للهب.
- إختيار نوع التبريد (تدريجي أم مفاجئ).

يوضح الشكلان رقم (16,15) سجلات درجة الحرارة–الزمن لجميع الأسطح عند أحد مصدري اللهب بحالتي التبريد التدريجي والمفاجئ.

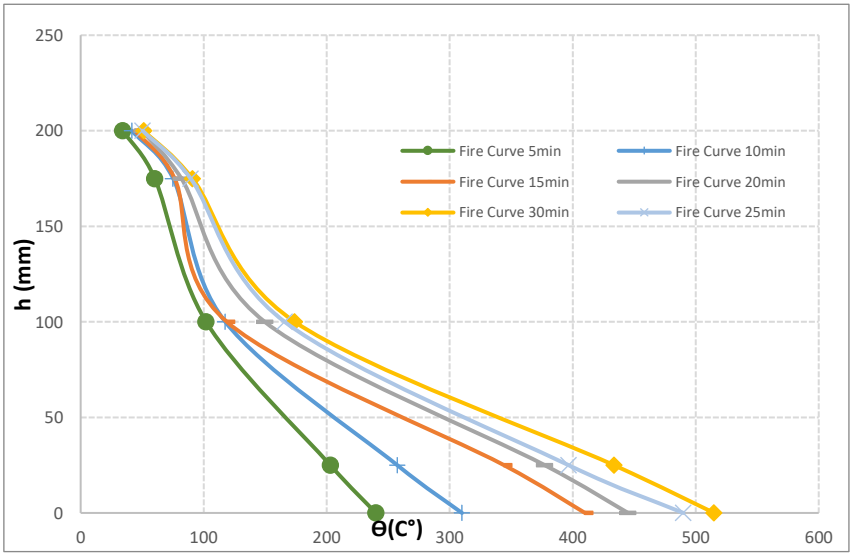


الشكل رقم (15) سجلات درجة الحرارة–الزمن بحالة التبريد التدريجي لمدة 0.5h

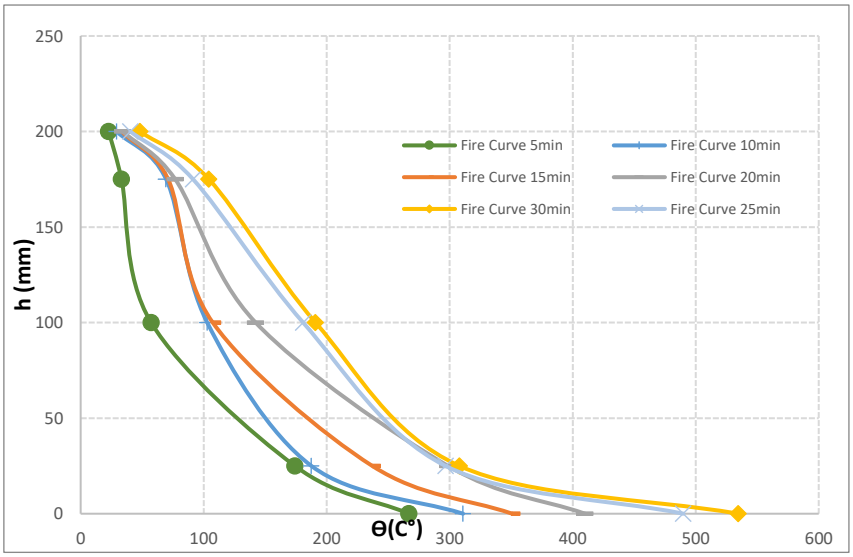


الشكل رقم (16) سجلات درجة الحرارة–الزمن بحالة التبريد المفاجئ لمدة 0.5h

كما تم تمثيل سجلات درجة الحرارة–ارتفاع العنصر لجميع الأسطح عند مصدر اللهب بحالتي التبريد التدريجي والمفاجئ كما هو موضح بالشكلين رقم (18,17) أدناه:



الشكل رقم (17) سجلات درجة الحرارة–ارتفاع العنصر بحالة التبريد التدريجي لمدة 0.5h

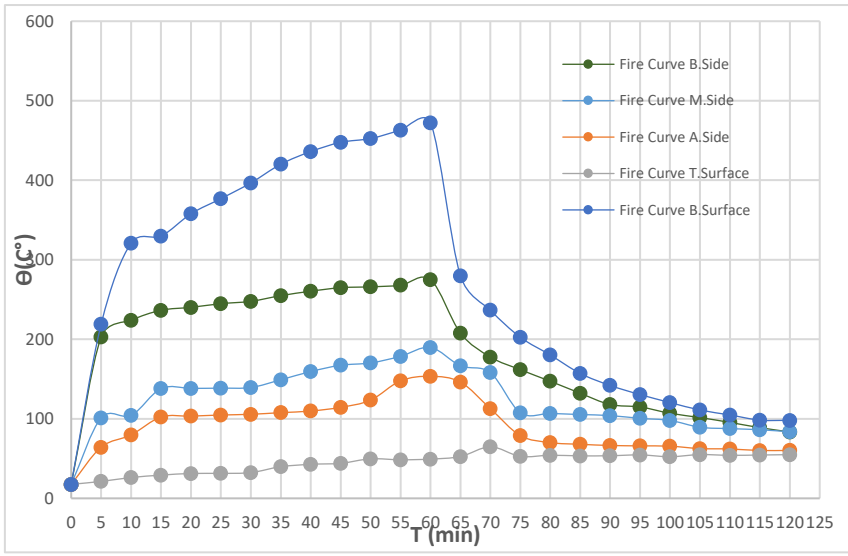


الشكل رقم (18) سجلات درجة الحرارة– ارتفاع العنصر بحالة التبريد المفاجئ لمدة لمدة 0.5h

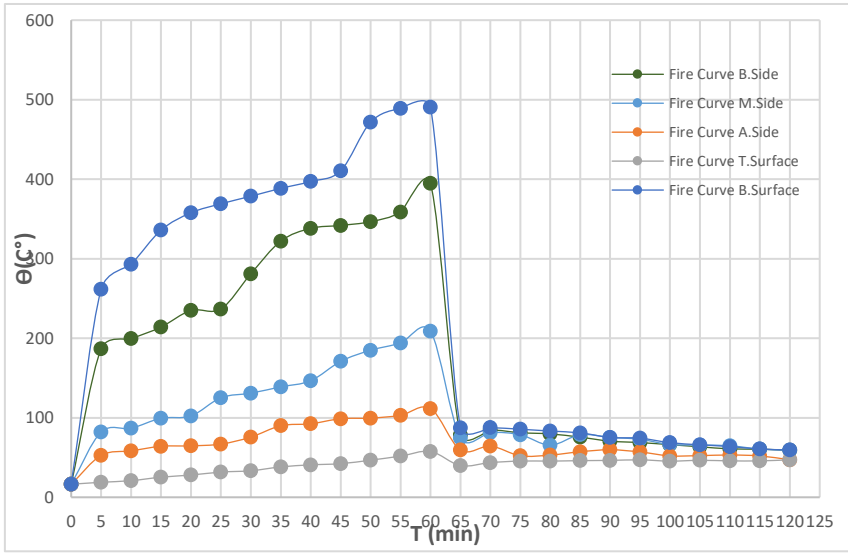
المناقشة: نلاحظ تقارب بقيم الجزء الصاعد من منحنيات درجة الحرارة– الزمن بحالتي التبريد التدريجي والمفاجئ، إلا أن التغيير يكون واضح بالجزء الهابط منه، حيث تنخفض درجة الحرارة بحالة التبريد المفاجئ حتى نسبة (25%) من قيمة التبريد التدريجي خلال الخمس دقائق الأولى من التبريد، كما أن توزع درجات الحرارة على ارتفاع المقطع البيتوني يبقى متناسق بفارق لا يزيد عن (10%) أثناء التعرض للهب.

3-9 العناصر المعرضة للهب النار لمدة ساعة 1h:

بنفس شروط التجربة السابقة تم إخضاع الجوائز البيتونية لمدة زمنية أطول وهي ساعة واحدة، ومن ثم اجراء مراحل التجربة المذكورة بالفقرة السابقة ومن ثم تمثيل السجلات بيانياً رقم (20,19) وفق التالي:

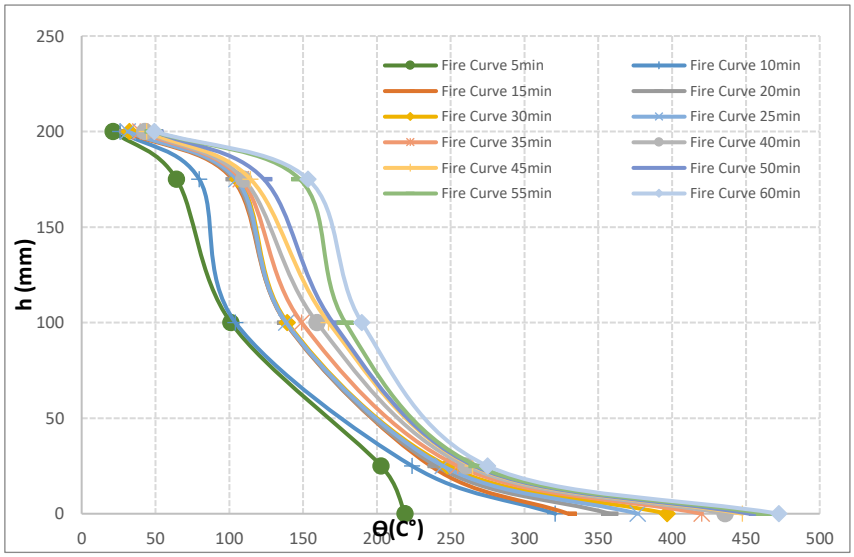


الشكل رقم (19) سجلات درجة الحرارة–الزمن بحالة التبريد التدريجي لمدة 1h



الشكل رقم (20) سجلات درجة الحرارة–الزمن بحالة التبريد المفاجئ لمدة 1h

كما تم تمثيل سجلات درجة الحرارة–ارتفاع العنصر لجميع الأسطح عند مصدر اللهب بحالتي التبريد التدريجي والمفاجئ لمدة 1h كما هو موضح بالأشكال رقم (22,21)



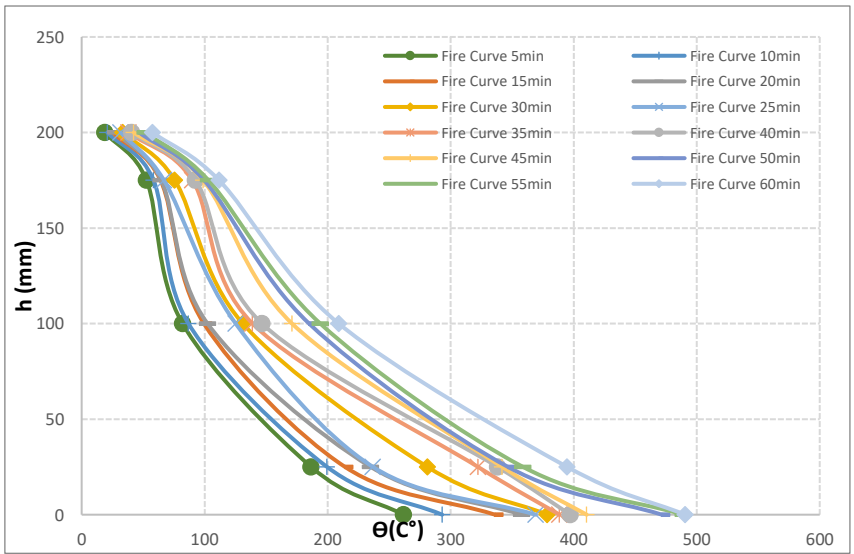
أدناه:

الشكل رقم (21) سجلات درجة الحرارة–ارتفاع العنصر بحالة التبريد التدريجي لمدة 1h

الشكل رقم (22) سجلات درجة الحرارة–ارتفاع العنصر بحالة التبريد المفاجئ لمدة لمدة 1h

10– المناقشة والاستنتاجات:

- ملاحظة تغيير لون سطح البيتون المعرض للهب النار المباشر وتجمره وازدياد درجة حرارته بشدة أكبر من باقي النقاط، وبقاء هذا التغيير باللون دائم الى



مابعد انتهاء التجربة.

- **سماع أصوات انفجارات داخلية ليست بكثيرة، تحصل في العينة المعرضة للهب النار عبارة عن غليان المياه وخروجه من سطح العينة.**
- **نتح المياه وخروجها من سطح العينة عند اماكن تواجد الشقوق الاستثمارية وبشكل أوضح وأكبر عند نقاط تطبيق لهب النار المباشر على العينة، حيث سلك المياه الطريق الأسهل وهي أماكن تواجد الشقوق الاستثمارية الدقيقة كما موضح بالشكل رقم (23).**

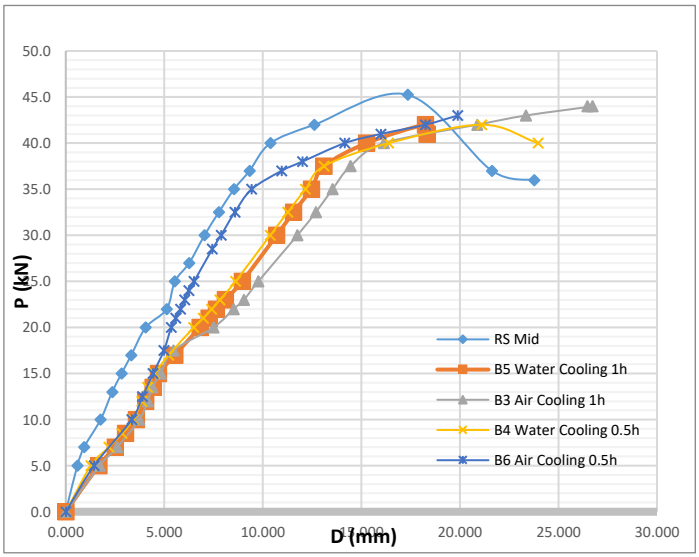
الشكل رقم (23) نتح المياه من سطح الجائز وتبخره

- **إن خروج المياه أثناء التعرض للهب النار عند الشقوق الاستثمارية الدقيقة في السطوح الجانية والسطح السفلي للعينة المختبرة أدى لتوسع عرض الشقوق حتى أصبح بامكانية رؤيته بالعين المجردة.**
- **درجة حرارة العينة المختبرة بقيت مرتفعة لفترة زمنية جيدة بعد نهاية مدة التجربة بحالة التبريد التدريجي بالهواء، بينما انخفضت بشكلٍ حادٍ وكبير بحالة التبريد المفاجئ بنسبة تصل حتى (25%) من حالة التبريد التدريجي.**
- **الفارق بتغيير درجة الحرارة على ارتفاع المقطع البيتوني تتراوح بين (10-30%) بحالتي التبريد التدريجي والمفاجئ.**

11- دراسة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة المستثمرة والمعرضة للهب النار المباشر:

من أجل التحقق من السلوك الإجهادي–التشوهي للجوائز المختبرة، تم إجراء مقارنة سلوكية تتمثل بمنحنيات قوة–انتقال (P,Δ)، للجوائز بعد التعرض للهب النار المباشر ومقارنتها مع العينات المرجعية، ودراسة التغير بالمقاومة والاختلاف بسلوك المادة التشوهي.

المنحني الوارد أدناه رقم (24) يبين سلوك الجوائز البيتونية بمرحلة التحميل الكلي للجائز حتى حدوث الانهيار، المرجعية والمعرضة للهب النار لمدتين زمنيتين (0.5,1)h والتي تم تبريدها بالحالتين التدريجي والمفاجئ.



الشكل رقم (24) منحنيات قوة–انتقال (P,Δ) للعينات المعرضة للهب النار والمرجعية

المناقشة: مما سبق نلاحظ بأن النسبة المئوية لإنخفاض المقاومة على الانعطاف الصافي تصل حتى 2.48% بحالة التبريد التدريجي، إلى 7.70% بحالة التبريد المفاجئ للعينات المعرضة لمدة نص ساعة، وانخفاض بقيمة المقاومة تصل حتى 5.23% بحالة التبريد التدريجي، ويصل حتى 7.74% بحالة التبريد المفاجئ للعينات المعرضة لمدة ساعة، ومن الملاحظ تغيير المقاومة ضئيل بحالة التبريد المفاجئ، يمكن أن يعود ذلك بمساهمة المياه بتقليل درجة حرارة العنصر بشكل أسرع، والحد من

تأثير الإجهادات الحرارية على تدهور التركيب الداخلي للعنصر ومما ينعكس على قدرة تحمله.

ومن ناحية الانتقالات فإن النسبة المئوية للزيادة بقيمها تصل حتى (25.22%) للجائز B6 و (44.1%) للجائز B4 و(70.3%) للجائز B3 و (35.1%) للجائز B5.

12- النتائج:

- التغيير بالخواص الفيزيائية وبالتركيب الجزيئي لمادة البيتون المعرض للهب النار المباشر متمثلة بنتح المياه منه والأثر المستمر له على سطح العنصر.
- تشكل شقوق حرارية دقيقة على سطح العينة وذلك نتيجة للإجهادات الحرارية الإضافية المتولدة ضمن المقطع البيتوني وبالتالي توسع بعرض الشقوق الاستثمارية.
- الانخفاض بقيمة قدرة التحمل على الانعطاف للجوائز البيتونية المسلحة والمعرضة للهب النار المباشر تصل وسطياً حتى (3.85%) بحالة التبريد التدريجي، وحتى (7.72%) بحالة التبريد المفاجئ.
- الحد من أثر لهب النار على العنصر بحالة التبريد المفاجئ، مما يفسر الفرق الضئيل في انخفاض قدرة التحمل على الانعطاف للجوائز البيتونية المسلحة عند التعرض للهب النار لمدتين زمنيتين h(0.5,1) عند تبريده بالمياه.
- التغيير بسلوك المادة على حدود الاستثمار متمثلة بزيادة ملحوظة بقيم السهوم تصل وسطياً حتى (34.66%) عند التعرض للهب لمدة نصف ساعة، وحتى (52.7%) عند التعرض لمدة ساعة.

13- المراجع العلمية:

[1] ASTM, 2001a-**Standard Terminology of Fire Standards**, ASTM E176, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, United States.

[2] ASTM. 2000, **Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials**, ASTM E119, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, United States.

[3] Bilow N.D. and Kamara M.E. 2008-**Fire and Concrete Structures,** Engineered Structures, Portland Cement Association 5420, Old Orchard Road, Skokie, United States, 2008 ASCE.

[4] CEMBUREAU, BIBM and ERMCO, 2007-**Comprehensive fire protection and safety with concrete**, The Irish Concrete Federation, Ireland, p:1-29.

[5] Izzet. A. F. and AL-Dulffy. Z. H., 2018-Effect of High Temperature (Fire Flame) on the Behavior of Post-tensioned Concrete Beams, **Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences**, Iraq, Vol. 25, NO. 3 (2018), P:49-68.

[6] Kadhum. M. M., 2013-Effect of Burning by Fire Flame on the Behavior of Reinforced Concrete Beam Models, **Journal of Babylon University,Engineering Sciences,** Iraq, Vol. 21, NO. 5 (2013), P:1486-1506.

[7] PETRU. M, 2008-**DESIGN OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS UNDER FIRE**, Gheorghe Asachi, Technical University, Jassy, Romania, Fasc. 3, 10p.

[8] Taerwe. L.R, 2008-**Fire Design of Concrete Structures According to the Eurocodes: A Review,** Ghent University, Ghent, Belgium, p:75-95.

[9] The Syrian Arab Code, 2012-**The design and implementation the construction by reinforced concrete**, Syrian Engineers Association, Fourth Edition, Damascus, Syria, 402p. (In Arabic)