دراسة تأثير أبعاد الفتحة على الجوائز البيتونية المقواة بالمونة الاسمنتية المدعمة بالشبكة المعدنية الملحومة

د. نزيه منصور*

د. علي تريكية**

ذو الفقار نديم حمود ***

(تاريخ الإيداع 8 / 10 / 2020. قُبِل للنشر في 7/ 12 / 2020)

□ ملخّص □

يعد وجود الفتحات في الجوائز البيتونية المسلحة من أكثر العوامل ذات التأثير السلبي على سلوكها، قمنا في هذا البحث بمعالجة إحدى وسائل تحسين سلوك الجوائز البيتونية المسلحة الحاوية على فتحات، أنها تتمثل بتغليف الجائز بشبكة معدنية ملحومة رقيقة وبالمونة الاسمنتية (Ferrocement)، لدراسة تأثير طبقة التقوية قمنا بإجراء التحليل العددي على برنامج (ABAQUS) لـ 7 جوائز بيتونية مسلحة حاوية على فتحات مربعة الشكل في منطقة القص بأبعاد مختلفة منسوبة لارتفاع الجائز، حيث تبين لنا أن الانتقال وسط المجاز في الجوائز المدعمة قد انخفض عما الحال عليه في الجوائز غير المدعمة، كما تحسن الأداء تحسناً كبيراً في مقاومة إجهاد القص الأعظمي في الجوائز البيتونية المسلحة المدعمة، نتيجة وجود طبقة التقوية (Ferrocement)، والتي أدت إلى تحسنٍ ملحوظٍ تحسناً ملحوظاً في سلوك هذه الجوائز المدعمة الحاوية فتحات.

الكلمات المفتاحية: جائز، فتحات، تقوية، Ferrocement.

* **مدرس – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

** **أستاذ مساعد – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

*** **طالب دراسات عليا (ماجستير) – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

Study of the Effect of Open Dimensions on Concrete Reinforced Beams Strengthened with Ferrocement

Dr. Nazeh Mansour[*]
Dr. Ali Turekie[**]
Zoalfekar Nadem Hammoud[***]

(Received 8 / 10 / 2020. Accepted 7 / 12 / 2020)

□ ABSTRACT □

Openings have a considerable negative effect on the behavior of reinforced beams. This paper presents a technique to improve the overall performance of concrete beams with openings. The proposed strengthening technique is called "ferrocement", and it implements a fine metal mesh covered with cement mortar to envelop the beam. This technique is affordable and easy to apply. In order to study the effect of the ferrocement, a numerical simulation was carried out, using ABAQUS software, on 7 reinforced beams with square openings. The studied variables were: the dimensions of the openings taken as a ratio of the beam depth. It was found that the mid-span displacements were smaller in the beams strengthened with the ferrocement compared to the beams without ferrocement. Moreover, there was a significant increase in maximum shear stress values in the strengthened beams. Overall, the ferrocement improved the performance of concrete beams with openings.

Keywords: concrete beams, openings, strengthened, ferrocement

[*]**Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[**]**Assistant Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[***]**Master Degree Student, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

الجوائز عبارة عن عناصر إنشائية خطية تقوم على نقل الحمولات الآتية إليها من البلاطات إلى الأعمدة أو الجدران التي تستند إليها. في الواقع إن تحديد مقاومة جملة حاملة ما واستقرارها يعتمد على المساهمة المقدمة من كل عنصر في هذه الجملة [1].

يتطلب إجراء التمديدات من قنوات وأنابيب تحت الجوائز ارتفاعاً زائداً في كل طابق مسبباً بذلك هدراً كبيراً، لذا يتم السعي إلى إمرار هذه القنوات والتمديدات ضمن فتحات محضرة في الجوائز للتقليل من الارتفاع الطابقي ما أمكن [2]، إلا أن هذا التغيير في مقطع الجائز سيؤدي إلى:

1. تركيز الإجهادات عند زوايا الفتحات.
2. تقليل الصلابة وازدياد التشوه.

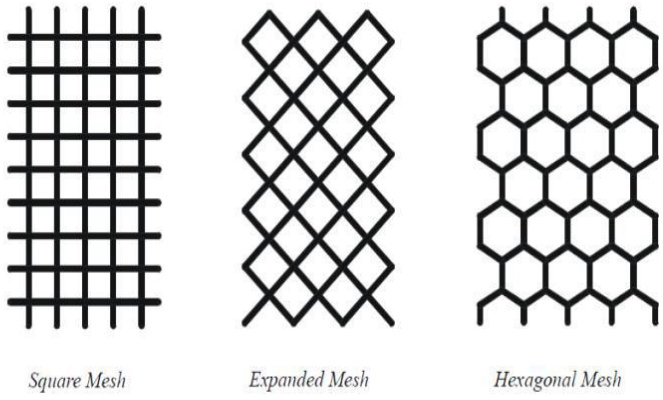
يمكن للفتحات أن تشغل حيزاً كبيراً أو صغيراً من الجائز بحسب الوظيفة المطلوبة منه وبالشكل المرغوب هندسياً، والذي يمكن أن تكون :(دائرية، مستطيلة، مربعة، شبه منحرفة، مثلثي، أو حتى غير منتظمة وغيرها من الأشكال) [3].

للفتحات المنفذة في الجوائز فائدة كبيرة تنعكس في التوفير من وزن وأبعاد التمديدات المارة بها نتيجة الاختصار من أطوالها الفعلية فيما لو اتبعت مسارات أخرى لها [4].

تتزايد حاجة هندسة البناء اليوم لإجراء عمليات التدعيم وتقوية المنشآت القائمة فعلاً من أجل الحؤول دون انهيارها، أو لرفع كفاءتها لتحمل الحمولات الوظيفية الجديدة التي يمكن أن تتعرض عليها.

هناك العديد من الطرق المتبعة في التدعيم منها التقوية بالألياف الكربونية والألياف الزجاجية والقميص البيتوني.

لقد تم إجراء دراسات عددية لتقوية الأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام طبقة الـ Ferrocement ومنها ما قام به الباحث علي في جامعة دمشق [5]، مستخدماً في ذلك الشبكة المعدنية الملحومة المبينة في الشكل(1):



الشكل (1): أنواع الشبكات المعدنية ضمن طبقة الـ Ferrocement [5].

سنقوم في هذا البحث بتقوية الجوائز البيتونية الحاوية على الفتحات باستخدام المونة الاسمنتية المدعمة بشبكة معدنية ملحومة Ferrocement حيث تعتبر هذه الطريقة مفيدة لإيقاف الشقوق المتشكلة ولمساعدة الجائز بتحمل قوى خارجية أكبر ولتعويض الضعف الحاصل نتيجة وجود فتحات في الجائز [6].

تعد الـ Ferrocement نوعاً من أنواع البيتون المسلح شائع الاستخدام مكوناً من طبقة مونة اسمنتية رقيقة مقواة بشبكة تسليح ذات قطر صغير نسبياً وتتميز بتكلفتها المنخفضة كما أشارت إلى ذلك العديد من الدراسات فيها ما ذكر في المرجع [7].

أهمية البحث وأهدافه:

1. نظراً إلى حاجة استخدام الفتحات في الجوائز البيتونية لتأمين عبور المستلزمات الخدمية الضرورية، وبالتالي تدعيم القائم منها عند الضرورة.
2. إبراز دور طبقة الـ Ferrocement في تقوية الجيزان وتحسين سلوك النظام الإنشائي لها.
3. يمكن لشبكة التسليح أن تأخذ الشكل الهندسي (مربع، دائري، ..... الخ) لأي مقطع مطلوب تدعيمه.

وتكمن أهداف البحث بالنقاط التالية:

1. دراسة تقوية جائز حاوي على فتحات مقوى بالـ Ferrocement.
2. دراسة تأثير أبعاد الفتحة في الجوائز المقواة على سلوك ومقاومة الجيزان البيتونية المسلحة الحاوية على هذه الفتحات، خصوصاً المتعلق منها بقيمة السهم وإجهاد القص الأعظمي للجوائز.
3. إيجاد نموذج حاسوبي لمحاكاة سلوك الجوائز البيتونية الحاوية على فتحات والمقواة بالـ Ferrocement.

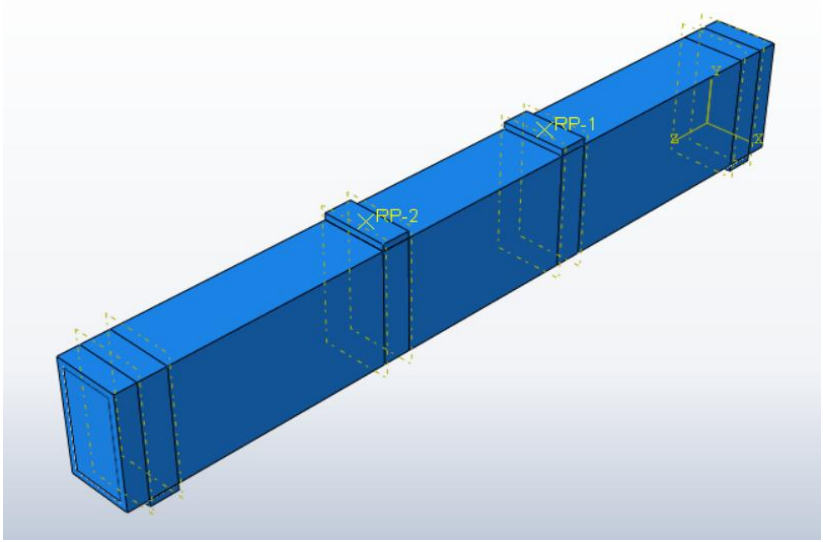
طرائق البحث ومواده:

يعتمد هذا البحث المنهج التحليلي، حيث سيتم إنشاء نموذج عددي للجوائز البيتونية المسلحة المدعمة بالـ Ferrocement باستخدام برنامج العناصر المنتهية ABAQUS، بعد التحقق من صحة النموذج من خلال معايرته ومحاكاته بدراسات تجريبية متوفرة. ستحلل هذه الجوائز تحليلاً ستاتيكياً لا خطياً وسيتم تحديد الانتقال الأعظمي وسط الجائز وإجهاد القص الأعظمي على مقاطعه.

1- الدراسة التحليلية Numerical Study:

1-1- إعداد النموذج العددي Finite Element Model:

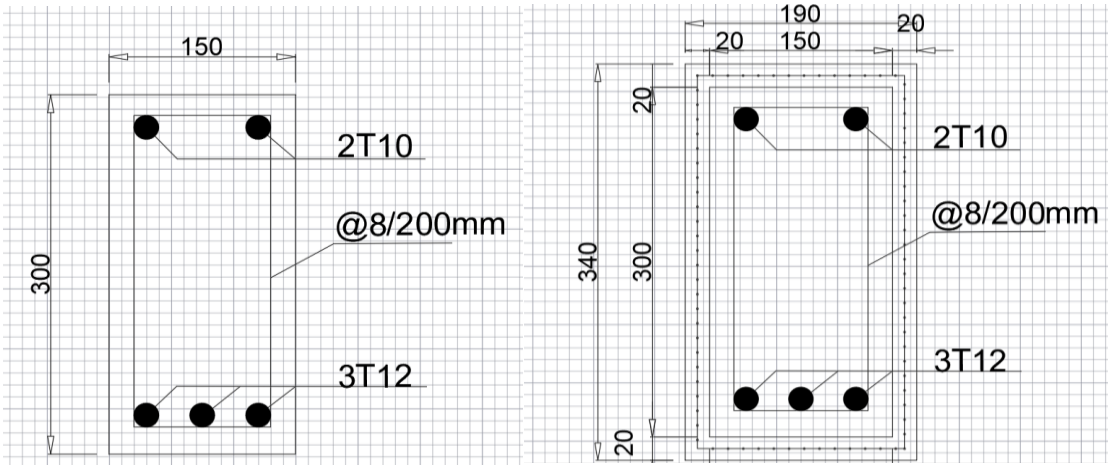
تم استخدام برنامج العناصر المنتهية ABAQUS في محاكاة الجائز البيتوني المسلح المغلف بطبقة الـ Ferrocement بشكل كامل، والموضح بالشكل (1).



الشكل (2): نموذج الجائز البيتوني المسلح المدعم بالـ Ferrocement بشكل كامل.

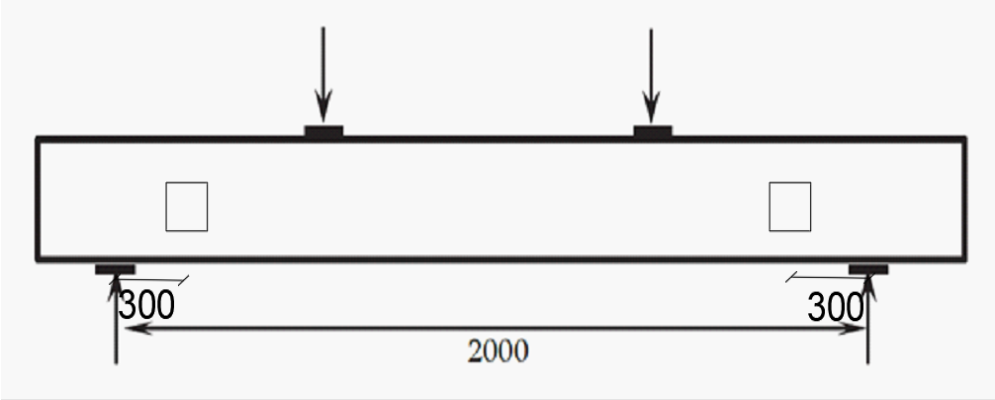
لقد بينا في دراستنا الأبعاد والبارامترات نفسها التي تم اعتمادها في المرجع [8] حيث للجائز مقطع عرضي بأبعاد (b*h = 150 * 300) mm، ومجاز بطول L=2200mm، مسلح بتسليح رئيسي 3T12 وتسليح تعليق 2T10 وتسليح عرضي ø8/200 mm كما هو موضح بالشكل (2).

يظهر الشكل (3) تفاصيل الجائز المقوى بشكل كامل بطبقة الـ Ferrocement بسماكة 20 mm من كل جهة، حيث يوجد ضمن طبقة التقوية الشبكة المعدنية المستخدمة بقطر 0.7 mm ذات فتحات مربعة أبعاد الفتحة فيها 12.5*12.5 mm، كما هو موضح بالشكل (5).



الشكل (3):تفاصيل المقطع العرضي للجائز غير المقوى. **الشكل (4):تفاصيل المقطع العرضي للجائز المقوى.**

جميع الجوائز المدروسة ذات استناد بسيط ومحملة بقوتين متماثلتين، وتبعد مركز الفتحة عن مركز المسند مسافة 300 mm كما في الشكل (4).

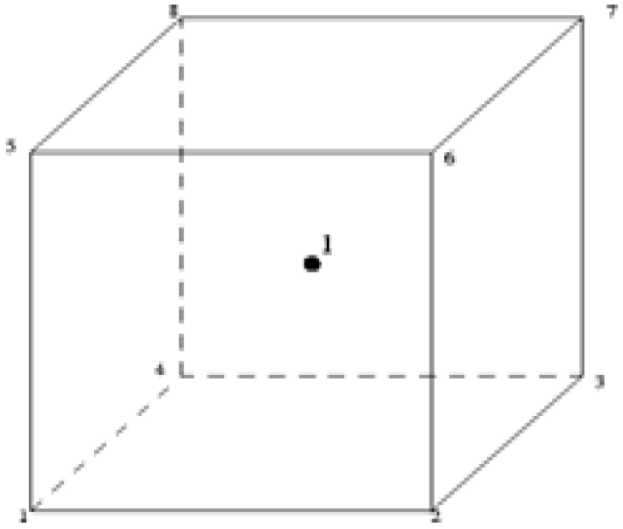


الشكل (5): الجائز البيتوني المسلح بدون تدعيم.

الشكل (6): شبكة التسليح المستخدمة بالتدعيم ضمن طبقة الـ Ferrocement [9].

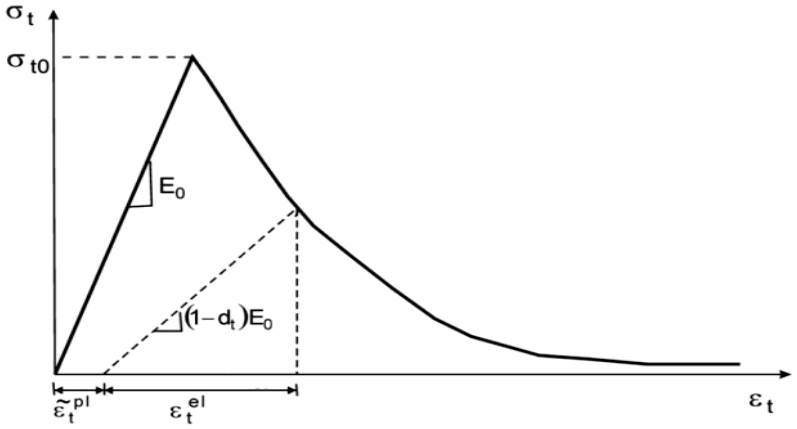
1-2- نمذجة البيتون Concrete Modeling:

تم استخدام العنصر C3D8 لنمذجة البيتون وهو عنصر حجمي صلب (SOLID ELEMENT) مؤلف من ثماني عقد وكل عقدة تمتلك ثلاث درجات حرية (3 انتقالات)، وهو من مجموعة العناصر ثلاثية الإجهاد والتشوهات المنتظمة والأبعاد الخطية، يبين الشكل (7) العنصر الفراغي المستخدم، وهو النموذج نفسه المستخدم من قبل الباحث [Barbero,2013] [10]:

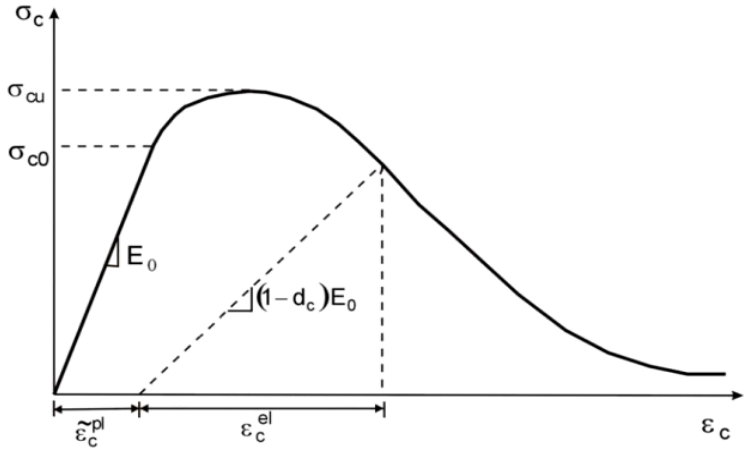


الشكل (7): العنصر C3D8 [10].

تم استخدام النموذج Concrete Damaged Plasticity (CDP) لتوصيف السلوك اللامرن لمادة البيتون على الشد والضغط، أو يمكن من خلاله تمثيل السلوك اللاخطي للبيتون مع الأخذ بالحسبان التناقص التدريجي في الصلابة المرنة (Elastic Stiffness) الناجم عن حدوث التشوه النسبي اللدن (Plastic Straining) في كل من الشد والضغط. يظهر الشكلان (8) و (9) مخطط الإجهاد–تشوه المعتمد للبيتون في حالتي الشد والضغط.



الشكل (8) مخطط الإجهاد–تشوه للبيتون على الشد [8].



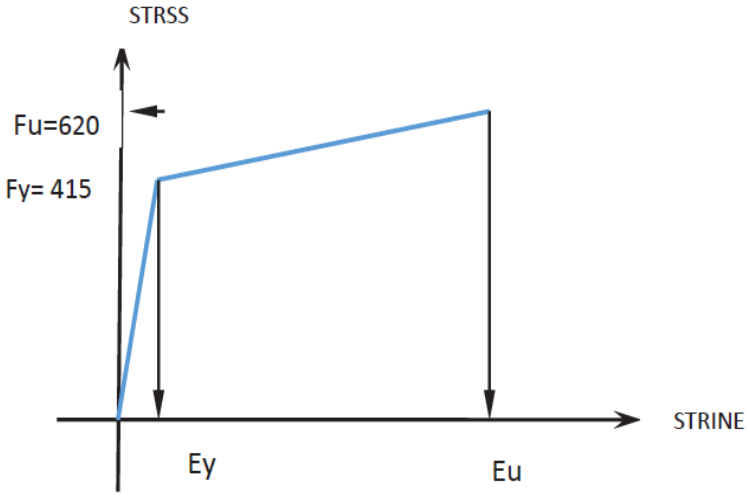
الشكل (9) مخطط الإجهاد–تشوه للبيتون على الضغط [8].

3-1- نمذجة فولاذ التسليح Steel Reinforcing Modeling:

أُستخدم العنصر T3D2 نفسه المستخدم في المرجع [10]، وهو من النوع الشبكي الفراغي (Truss Element) مؤلف من عقدتين وكل عقدة تحوي ثلاث درجات حرية (3 انتقالات)، حيث يبين الشكل (10) نموذج العنصر T3D2.

الشكل (10) العنصر T3D2 [10].

لاستيعاب سلوك مادة الفولاذ وقضبان التسليح تم الاستفادة من مخططات الإجهاد– التشوه المستخدمة من قبل الباحثين وإدخالها في نماذج العناصر المنتهية، يبين الشكل (11) مخطط إجهاد–تشوه لمادة فولاذ التسليح.



الشكل (11) مخطط إجهاد–تشوه لفولاذ التسليح [8].

1-4- نمذجة شبكة التسليح ضمن طبقة الـ Ferrocement:

تمت نمذجة شبكة التسليح باستخدام عنصر احادي المحور له ثلاث درجات حرية عند كل عقدة وهي الانتقالات باتجاه x,y,z ويمتلك القدرة على تحمل التشوهات الكبيرة واللدونة.

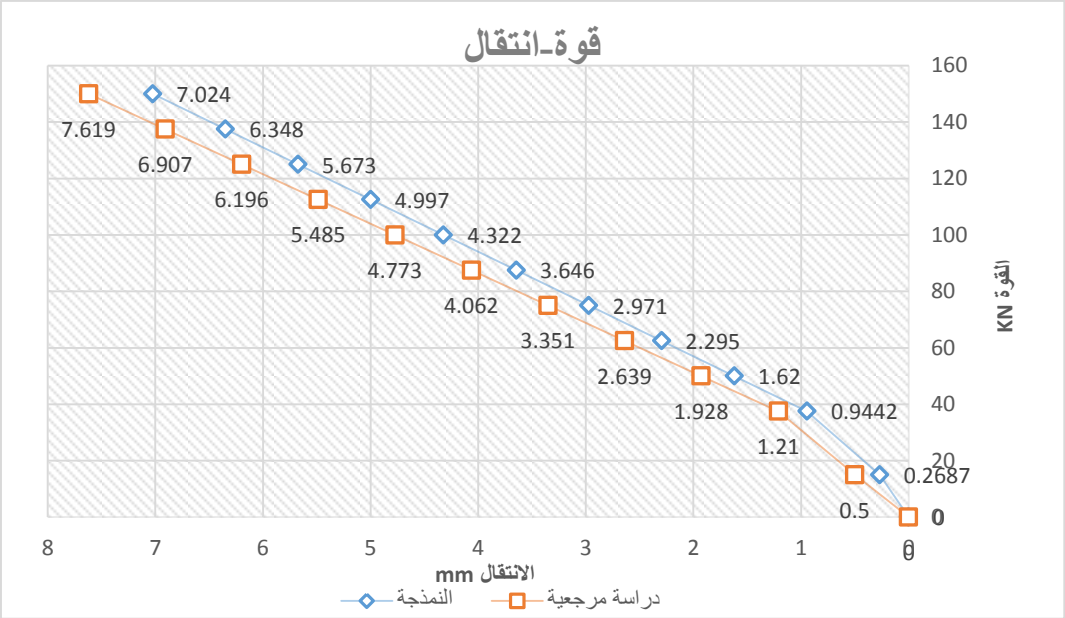
1-5- بارامترات الدراسة Study Parameters:

قمنا بدراسة تأثير أبعاد الفتحة المربعة التي يبعد مركزها 300 mm عن مركز المسند حيث أجرينا تغييراً في أبعاد الفتحة المنسوبة لارتفاع الجائز (H)، إذ شمل هذا التغيير ثلاثة قيم هي: (0.25*H , 0.5*H , 0.75*H)

1-6- التحقق من النمذجة Model Verification:

قمنا باعتماد الجائز البيتوني المسلح من الدراسة [8]، [11]، وتمت مقارنة الانتقال الذي توصل إليها الباحث وسط الجائز مع الانتقال التي تم التوصل إليها باستخدام برنامج ABAQUS.

لقد أظهرت المقارنة تقارباً جيداً في النتائج التي تم التوصل إليها، حيث تطابق الانتقال بنسبة 92% عند القوة الحدية 150 KN كما هو موضح في الشكل (12).



الشكل (12) المخطط البياني القوة–الانتقال للجيزان في الدراسة المرجعية والنمذجة على برنامج ABAQUS.

النتائج والمناقشة:

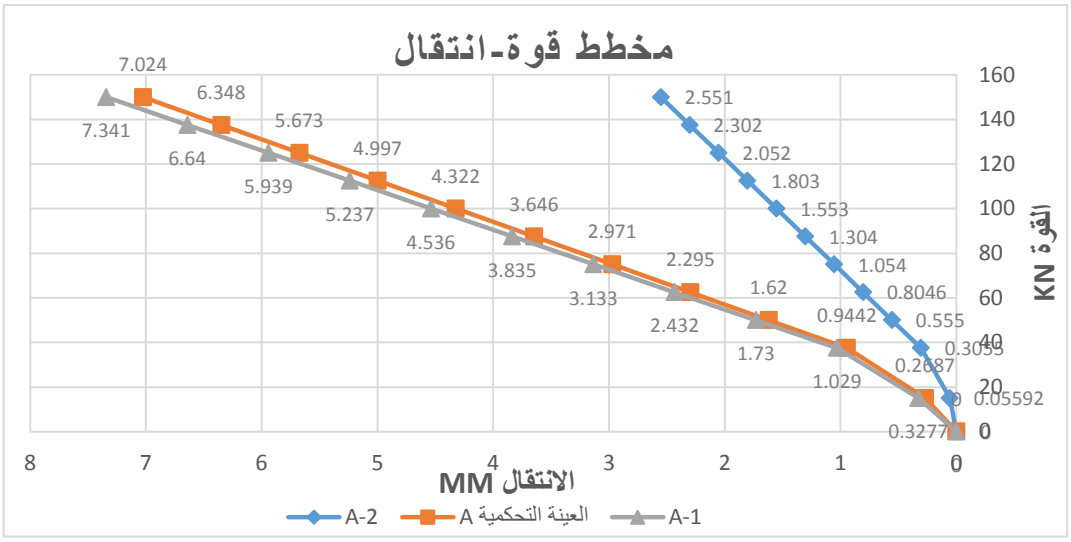
1- النتائج:

جميع الجوائز المدروسة تحوي فتحتين في منطقة القص حيث تم تغيير أبعاد الفتحة الواحدة بالنسبة لارتفاع الجائز الموضحة في الجدول (1) الجوائز المدروسة بتدعيم أو بدونه وقيمة الانتقال الأعظمي وإجهاد القص الأعظمي.

الجدول (1): تفاصيل الجوائز المدروسة ونتائجها.

اسم الجائز	أبعاد الفتحة mm	القوة المطبقة KN	الانتقال mm	اجهاد القص الأعظمي Mpa
A (عينة معيارية)	لا تحوي فتحات	150	7.024	2.46
A-1 (جائز غير مدعم)	0.25*H=75	150	7.341	2.44
A-2 (جائز مدعم)	0.25*H=75	150	2.551	2.53
A-3 (جائز غير مدعم)	0.5*H=150	115	7.734	1.762
A-4 (جائز مدعم)	0.5*H=150	150	2.691	2.51
A-5 (جائز غير مدعم)	0.75*H=225	10	8.492	0.117
A-6 (جائز مدعم)	0.75*H=225	150	6.047	2.517

كما يوضح الشكل (13) مقارنة مخطط قوة – انتقال للجوائز A–1,A–2 والعينة المعيارية.

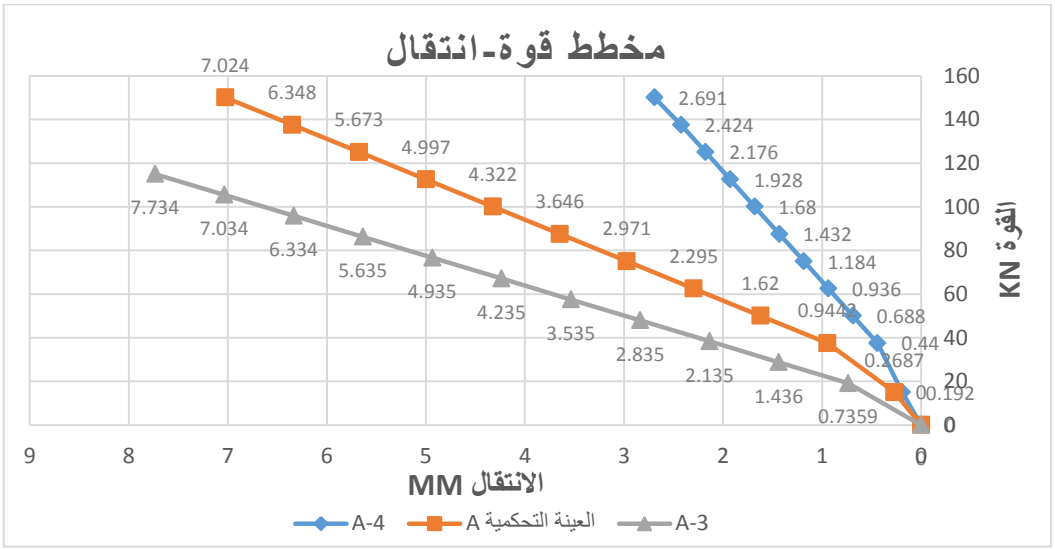


الشكل (13) المخطط البياني القوة–انتقال للجوائز A–1,A–2 والعينة المعيارية.

نلاحظ من الشكل (13) مخطط (قوة–انتقال) للجائز المدعم الحاوي فتحات (A–2)، والعينة المعيارية(A) ، والجائز غير المدعم الحاوي فتحات (A–1) إن الانتقال عند القوة 150 KN قد بلغ القيم الآتية: 2.551 mm، 7.024 mm، 7.341 mm على التوالي.

نلاحظ أن الاختلاف بين قيم الجائز (A–1) والعينة المعيارية (A) كان صغيراً جداً لا يتجاوز 5%، أما الانتقال للجائز (A–2) فقد انخفض بنسبة 64% عما الحال عليه للعينة المعيارية، أي أن الانتقال قد انخفض بنسبة 65% في الجائز (A–2) عند ذلك الانتقال الحاصل في الجائز (A–1).

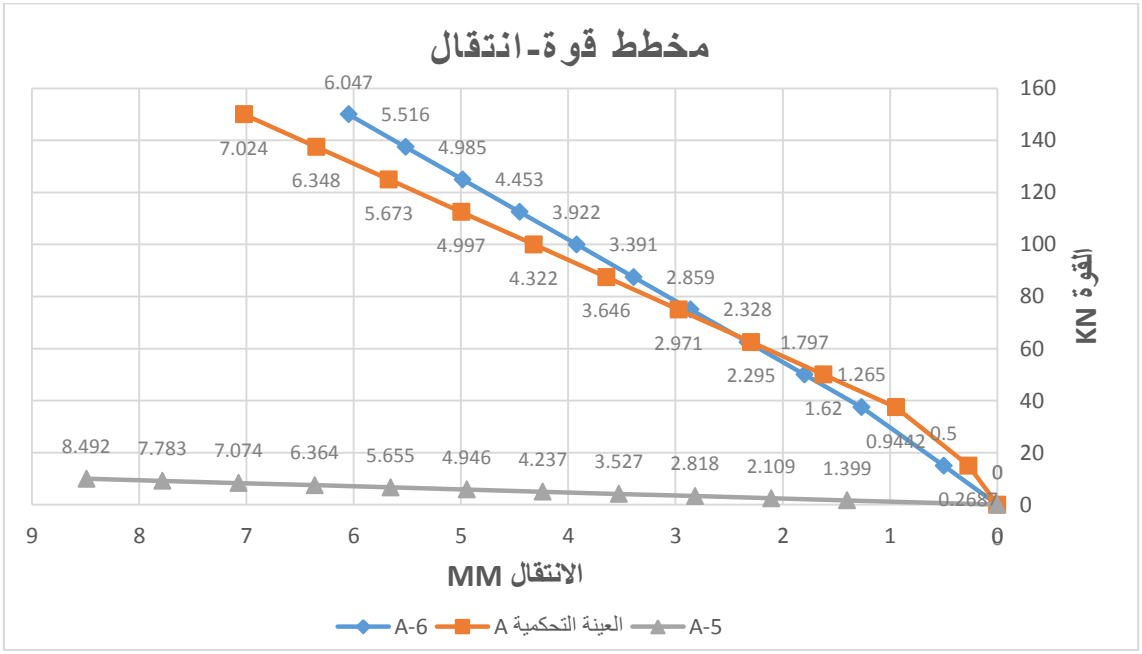
يوضح الشكل (14) مقارنة مخطط قوة – انتقال للجوائز A–3,A–4 والعينة المعيارية.



الشكل (14) المخطط البياني القوة–انتقال للجوائز A–3,A–4 والعينة المعيارية.

نلاحظ من الشكل (14) أن الانتقال قد بلغ 2.691 mm للجائز (A-4) المقوى والحاوي فتحات عند بلوغ القوة القيمة 150 KN، بينما كان الانتقال 7.024 mm في العينة المعيارية (A) لأجل القوة نفسها، أما الانتقال للجائز (A-3) غير المقوى والحاوي فتحات فقد وصلت قيمته 7.734 mm لأجل القوة 115 KN. القوة المطبقة على الجائز (A-3) قد انخفضت بنسبة 23%، بينما ازداد الانتقال بنسبة 10% مقارنة بالعينة المعيارية (A)، كذلك انخفض الانتقال في الجائز (A-4) بنسبة 62% مقارنة بالعينة المعيارية (A) ، وانخفض بنسبة 65% مقارنة مع الجائز (A-3).

يوضح الشكل (15) مقارنة مخطط قوة – انتقال للجوائز A-5,A-6 والعينة المعيارية.



الشكل (15) المخطط البياني القوة–انتقال للجوائز A-5,A-6 والعينة المعيارية.

نستنتج أيضاً من المخطط البياني في الشكل (15) أن قيمة القوة المطبقة على الجائز (A-5) قد انخفضت بنسبة 93%، وازداد الانتقال بنسبة 20% مقارنة بالعينة المعيارية (A)، بينما انخفض الانتقال في الجائز (A-6) بنسبة 14% مقارنة بالعينة المعيارية (A)، وبنسبة 29% مقارنة مع الجائز (A-5).

2- المناقشة:

لقد لوحظ عند كل من الجائز A-1 ازداد الانتقال بنسبة 5% مقارنة بالعينة المعيارية A عند القوة 150 KN ، وازداد الانتقال عند الجائز A-3 بنسبة 11% مقارنة بالعينة المعيارية A عند قوة 115 KN، وازداد الانتقال عند الجائز A-5 بنسبة كبيرة عند قوة أقل بكثير من العينة المعيارية A ويعود ذلك لازدياد أبعاد الفتحة بالنسبة لارتفاع الجائز دون وجود تدعيم، بينما نلاحظ انخفاض قيمة الانتقال في الجوائز المدعمة A-2 والجائز A-4 بنسبة كبيرة تصل إلى 64% و 62% على التوالي مقارنة بالعينة المعياريةA عند القوة 150 KN، بينما انخفض الانتقال في الجائز المدعم A-6 بنسبة 14% مقارنة بالعينة المعيارية A عند نفس القوة 150 KN، ويعود الانخفاض في قيمة الانتقال في الجوائز المدعمة لطبقة الـ Ferrocement.

أما بالنسبة لإجهاد القص الأعظمي فنلاحظ ازدياده نسبياً في الجوائز المدعمة A-2، A-4، A-6 مقارنة بالعينة المعيارية A إذ يعود ذلك الفضل لطبقة الـ Ferrocement، بينما نلاحظ انخفاض قيمته نسبياً في الجوائز غير المدعمة A-1، A-3، وانخفاضه بشكل كبير في الجائز غير المدعم A-5.

الاستنتاجات والتوصيات:

1- أظهرت الدراسة الحالية فعالية استخدام المونة الاسمنتية المدعمة بالفولاذ Ferrocement لتدعيم الجوائز البيتونية المسلحة الحاوية على فتحات.

2- يؤدي وجود فتحة في الجائز إلى انخفاض واضح في قدرة تحمل الجائز.

3- الجوائز الحاوية على فتحات أبعادها 0.25 من ارتفاع الجائز (فتحات صغيرة) لم يكن لها تأثير كبير على سلوك الجائز وشدة توزع إجهادات القص.

4- أظهرت الجوائز الحاوية فتحات والمدعمة بالـ Ferrocement قدرة تحمل أكبر من غير المدعمة بنسب متفاوتة تبعاً لأبعاد الفتحة.

5- أسهمت طبقة التقوية في خفض قيمة الانتقال الحاصل وسط الجائز بنسب متفاوتة تبعاً لأبعاد الفتحة.

6- أسهمت طبقة الـ Ferrocement إسهاماً ملموساً في مقاومة القص للجائز.

نوصي بما يلي:

1- استخدام أنواع وأعداد مختلفة لشبكات التسليح ضمن طبقة الـ Ferrocement.

2- استخدام مواصفات مختلفة للمونة الاسمنتية المدعمة وبيتون بمقاومات مختلفة.

3- دراسة تأثير وجود فتحات بأشكال مختلفة أخرى.

References:

1. Hwaija, Bassam. *"REINFORCED CONCRETE (2) "*. Syrian Arabic Republic, Tishreen University, Faculty of Civil Engineering, 697,

2. SAKSENA, N.H; PATEL, P.G. *"EXPERMENTAL STUDY OF REINFORCED CONCRETE BEAM WITH WEB OPENINGS"*. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, India, Vol. II/ Issue III/April-June, 2013/66-68

3. Al Allaf, Muneeb; Belal, Ali. *"THE EFFECT OF OPENINGS ON THE SHEAR RESISTANCE OF THE REINFORCEMENT CONCRETE BEAMS"*. Albaath University Jornal for Studies and Scientific Research- Engineering Science Series, Syrian Arabic Republic, Vol 37 – No 8, (2015), 1-5,.

4. Sheikh Ali, Ghassan; Essa, Nouman. *"A CONTRIBUTION TO STUDYING THE BEHAVIOR OF STEEL BEAMS WITH WEB OPENINGS"*. Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Science Series- Syrian Arabic Republic Vol. (28) No (2), (2006),.

5. Ali, Yamen. *"Repair Of Reinforced Concrete Columns Using Locally Available Welded Wire Meshes (WWMS)"*. Master Degree Letter, Damascus University, (2014),.

6. Ong, K.C.G؛ Paramasivam, P؛ Lim, C. T. E." *Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Ferrocement Laminates* ". Journal of Ferrocement. Vol (22), No (4), (1992).
7. Kumarasamy, S؛ Sudhahar, A؛ Venkatesh Babu, D.L." *Experimental and numerical analysis of ferrocement RC composite* ". GRAĐEVINAR 69 (2017) 10, 915-921.
8. AL-Dhabyani, A.A؛ AL-Ansi, A. *"Numerical Analysis for Reinforced Concrete Beams with Circular Openings in Flexural and Shear Zones Strengthened by Steel Plates"*. Journal of Science and Technology, Volume 23-(No.2), (2018).
9. EL-SAYED, TAHA; ERFAN, ABEER. "*Improving shear strength of beams using ferrocement composite* ", Benha University, Cairo, Egypt, (2018).
10. Barbero, E.J, *"Finite Element Analysis of Composite Materials Using Abaqus"*, (2013).
11. Suresh, J؛ Prabhavathy, R. *"Behaviour of Steel Fibre Reinforced Concrete Beams with Duct Openings Strengthened by Steel Plates"*. International Journal of Advanced Information Science and Technology (IJAIST), Vol (28), No (28), ISSN: 2319:2682, August (2014).