

Volume (1) Number (1)

Available at: <https://wpu.edu.sy/wpuij/index.php/wpuh/en>

## **An Analytical Study of the Reinforcement of Fungal Slabs with CFRP Sheets after Creating Service Openings in them**

Dr. Ihssan AL Tarsha <sup>1</sup>, Prof. Dr. Turath Gharib <sup>1</sup>, Mohammed Nour Alomar <sup>1,\*</sup>

### **ABSTRACT**

When constructing modern buildings, openings are often used in reinforced concrete slabs to serve as corridors for various building services, but at the same time they are considered a weak source for the slabs, as they lead to a decrease in durability and rigidity unless they are strengthened with reinforcement to compensate for the reinforcement cut off as a result of the opening, whether it was specified before or after pouring. The research included an analytical study, and an analytical model was built according to the finite element method using the safe[7] program for the samples to be studied, and its validity and reliability were verified. The analytical model was also used to study the contribution of the external reinforcement of the openings in several ways to bearing the loads applied to these slabs. The results showed the effectiveness of the reinforcement of the opening area using steel plates and CFRP plates, and the great convergence between the analytical and experimental results in the reference study, where the average relative difference between them reached 5.59%. They also demonstrated the reliability of the analytical model used.

**KEYWORDS:** Flat Slab, Openings in the Slabs, CFRP Plats, Steel Plats, Nonlinear Analysis, Slabs Strengthening.

Submitted on March 14, 2023; Revised on May 31, 2023; Accepted on June 19, 2023.

© 2023 Al-Wataniya Private University. This work is licensed under the Creative Commons Attribution–NonCommercial–NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0) license.

---

<sup>1</sup> Faculty of Civil Engineering, Homs University, Homs, Syria.

\* Corresponding author. E-mail address: [AlNour-2017-2011@gmail.com](mailto:AlNour-2017-2011@gmail.com)

## دراسة تحليلية لتدعيم البلاطات الفطرية بصفائح CFRP بعد إحداث فتحات الخدمات فيها

د. إحسان الطرشة، أ.د. تراث غريب، محمد نور العمر

### الملخص

عند إنشاء الأبنية الحديثة تستعمل غالباً الفتحات في البلاطات الفطرية البيتونية المسلحة لتكون ممرات لخدمات البناء المختلفة، لكنها تعد بنفس الوقت مصدراً ضعيفاً للبلاطات فهي تؤدي إلى انخفاض في المتانة والصلابة مالم يتم تقويتها بالتسليح لتعويض التسليح المقطوع نتيجة الفتحة سواء أكانت محددة قبل الصب أم بعده.

تضمن البحث دراسة تحليلية، وتم بناء نموذج تحليلي وفق طريقة العناصر المحدودة باستخدام برنامج safe للعينات المراد دراستها، والتحقق من صحته وموثوقيته. تم استخدام النموذج التحليلي أيضاً في دراسة مساهمة التدعيم الخارجي للفتحات بعدة طرق في تحمل الحمولات المطبقة على هذه البلاطات. أظهرت النتائج فعالية التدعيم لمنطقة الفتحة باستخدام الصفائح الفولاذية و صفائح CFRP، والتقارب الكبير بين النتائج التحليلية والتجريبية في الدراسة المرجعية حيث بلغ الفارق النسبي الوسطي بينها 5.59%، كما بينت وثوقية النموذج التحليلي المستخدم.

**الكلمات المفتاحية:** بلاطة فطرية، الفتحات في البلاطات، صفائح ألياف الكربون، صفائح فولاذية، التحليل اللاخطي، تقوية البلاطات.

## 1. مقدمة

في بعض التطبيقات العملية، قد تبرز الحاجة إلى وجود فتحة في بلاطة فطرية مسلحة من البيتون المسلح، لتؤمن ممراً لقناة تهوية، أو أنابيب التزود بالمياه، الكهرباء، الهاتف. يؤثر وجود هذه الفتحة على مقاومة وصلابة البلاطة تبعاً لعدة متغيرات كالشكل الهندسي للفتحة، أبعاد الفتحة، موقع الفتحة، شروط الاستناد، كمية التسليح وترتيبه حول الفتحة.

تعد صفائح ال CFRP من أهم المواد المستخدمة في تدعيم العناصر والمنشآت البيتونية على قوى الشد، أو عزوم الانعطاف، أو على القص والانعطاف معاً، نظراً لميزاتها وفعاليتها في استعادة نسبة عالية من المقاومة للعنصر الإنشائي.

خصصت العديد من الأبحاث لدراسة سلوك البلاطات البيتونية المسلحة مع فتحات محدثة ومدعمة بمواد ونماذج مختلفة، لكن مازالت معايير ومتطلبات تصميم التدعيم الخارجي غير واضحة في حالة الفتحة المنفذة بعد الصب، فجاء هذا البحث متضمناً اختبارات تحليلية ليكون جزءاً رديفاً لهذه الدراسات، ويساعد المصممين في فهم أكثر عمقاً لسلوك البلاطات مع فتحات محدثة ومدعمة.

## 2. هدف البحث

تظهر أهمية البحث من خلال المساهمة في مساعدة المصممين والباحثين على فهم سلوك البلاطات البيتونية المسلحة، بوجود فتحة مستطيلة متغيرة الأبعاد حيث تعد الفتحات في البلاطات صغيرة كما هو وارد في الكود العربي السوري إذا كانت نسبتاً بعديها في الاتجاهين لمجازي البلاطة في الاتجاهين الموازيين لا تتعدى  $1/4$  أما إذا كانت أكبر من  $1/4$  فتصنف الفتحة كبيرة وكانت مختلفة الموقع أيضاً بين داخلية وطرفية مقواة أو غير مقواة بصفائح ال CFRP، وطرق استناد البلاطة لحالة ذات المجاز البسيط مرة وحالة ذات الاستمرارية من طرف مرة أخرى.

وحالات أخرى مثل بلاطة ركنية، أو طرفية أو داخلية، والمقدار المكتسب من المقاومة، والمساهمة في تطوير معايير وتعليمات التدعيم باستخدام صفائح ال CFRP كتسليح خارجي للفتحات المحدثة في البلاطات البيتونية المسلحة.

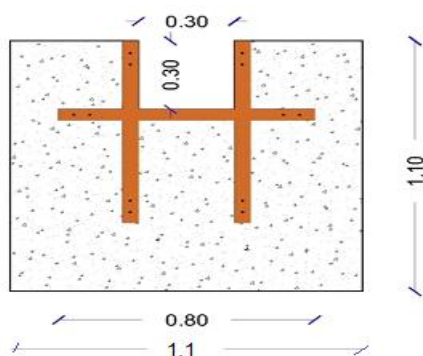
### 1.2. الأبحاث والدراسات المنجزة حول تدعيم منطقة الفتحة في بلاطة بيتونية منفذة

#### 1.1.2. دراسة "تدعيم البلاطات الفطرية الحاوية على فتحات طرفية" [1]

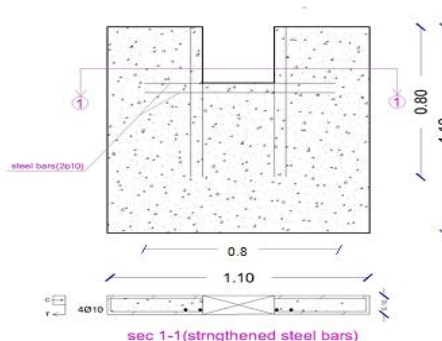
النتائج المقدمة في هذه الدراسة هي لبرنامج تجريبي منجز في مخبر جامعة القاهرة في مصر لتحري كفاءة استخدام الألياف الكربونية في الحد من الشقوق الموضعية حول فتحة طرفية في بلاطة، واستعادة مقاومة البلاطة التي تم فقدانها نتيجة لإحداث الفتحة.

تم اختبار البلاطات بأبعاد  $(1100 \times 1100 \times 100)$  mm تحت تأثير حمولة موزعة وكان التسليح لكافة البلاطات كتسليح سفلي وبالاتجاهين  $10\phi 10/m$  وتسليحها  $8\phi 10/m$  كتسليح علوي وبالاتجاهين ، وأخذ عدة متغيرات للدراسة متضمنة أبعاد الفتحة وطرق تدعيمها، حيث تم اختبار ست بلاطات بيتونية مسلحة، أربع منها مدعمة بأربع طرق مختلفة حول الفتحة، وواحدة من دون تدعيم، وواحدة بقيت مرجعية دون فتحة، وتمت دراسة تأثير التدعيم على السهم والانفعال والتشقق وحمولة الانهيار القصوى، وقد تم دراسة أربع طرق للتدعيم:

الطريقة الأولى: إضافة قضبان فولاذية على محيط الفتحة: الطريقة الثانية: إضافة صفائح فولاذية على محيط الفتحة:

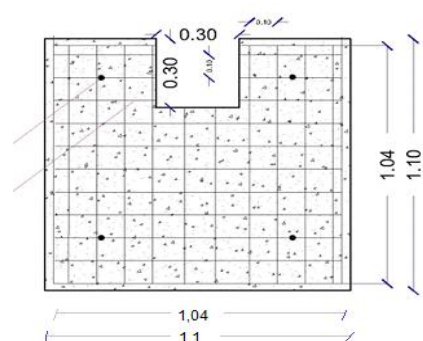


الشكل (2) التدعيم بإضافة صفائح فولاذية [1]

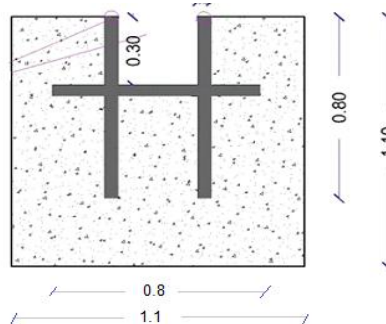


الشكل (1) التدعيم بإضافة قضبان فولاذية [1]

الطريقة الثالثة: إضافة صفائح CFRP على محيط الفتحة: الطريقة الرابعة: إضافة شبك معدني في منطقة الشد مع تغليفه بمونة اسمنتية عالية المقاومة:



الشكل (4) التدعيم بإضافة شبك معدني (فيروسمنت) [1]



الشكل (3) التدعيم بإضافة صفائح CFRP [1]

ظهرت في البلاطات غير المدعمة شقوق واسعة عند منطقة الفتحة، بالإضافة إلى ازدياد شقوق الانعطاف في منتصف المجاز، وكان نمط الانهيار لهذه البلاطات وفق نمط الانهيار بالانعطاف.

خفض وجود الفتحة في البلاطة من مقاومة البلاطة القصوى بشكل ملحوظ، حيث كانت الحمولة القصوى للبلاطة مع الفتحة بقيمة أقل بمقدار 20% من الحمولة القصوى للبلاطة دون فتحة.

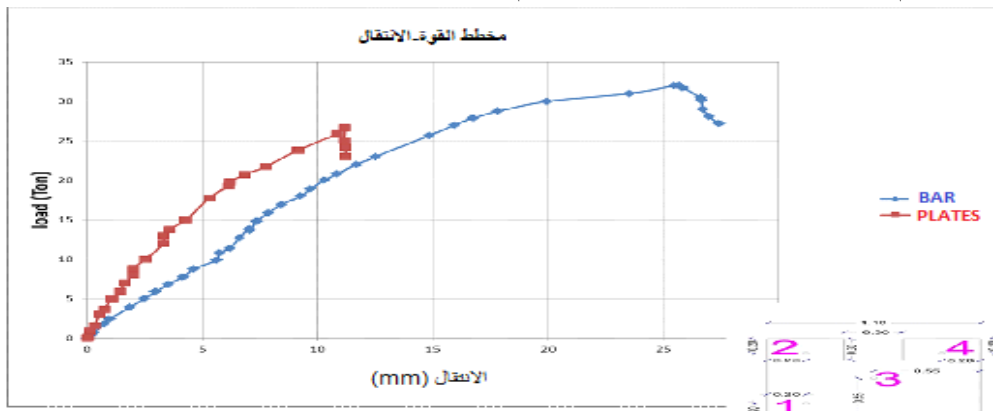


الشكل (5): آلية تطبيق الاختبار للبلاطة في دراسة [1]



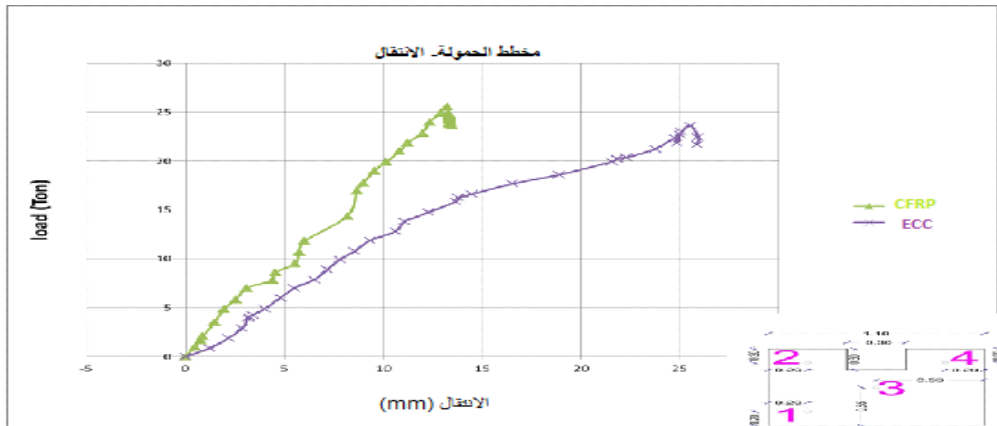
الشكل (6): تفاصيل البلاطات المختبرة: التسليح الداخلي والخارجي المختبرة [1]

تأثير التدعيم: تبين المخططات التالية تأثير التدعيم على البلاطات المذكورة سابقاً



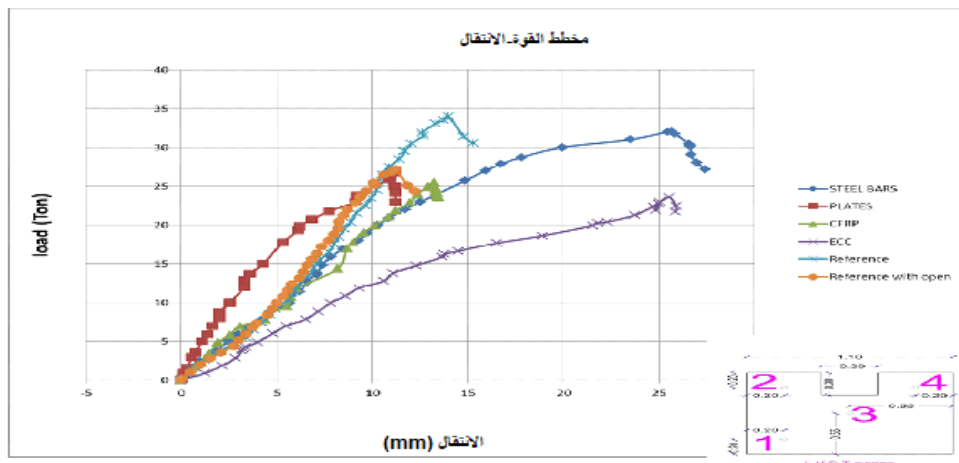
الشكل (7): مخطط ( الحمولة - السهم ) للبلاطات •

S-3 and S-4 ( at point no.3 ) : [1]



الشكل (8): مخطط (الحمولة - السهم) للبلاطات •

S-6 and S-5 (at point no.3) : [1]



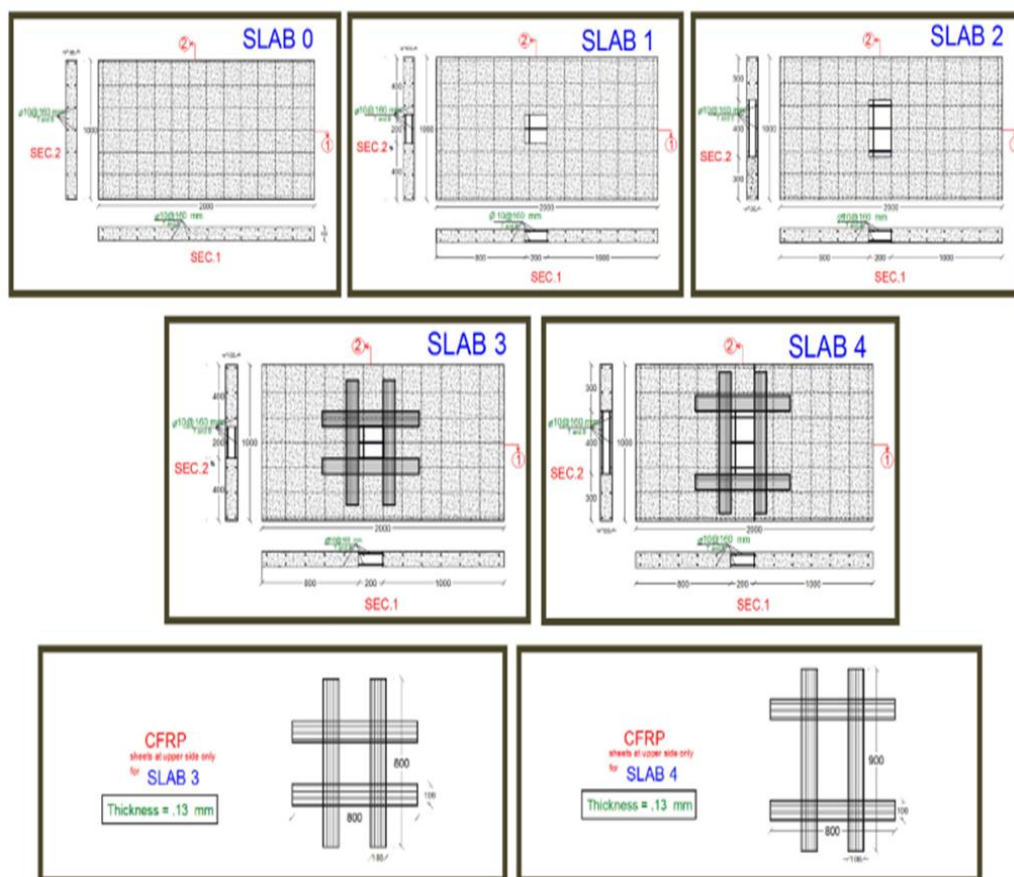
الشكل (9): مخطط (الحمولة - السهم) للبلاطات [1]

### نتائج الدراسة :

1. استخدام أساليب تدعيم مختلفة تعطي استطاعة التحميل الحدية للبلاطات المدعمة.
2. التشوهات تزداد في النقطة القريبة من الفتحة في البلاطة، واستطاعة البلاطة لتحمل الحمولات تتناقص بمقدار 21% بعد إحداث الفتحة.
3. كان تشوه العينات (S3 و S6) أكبر من تشوه العينة (S1) بنسبة 46%، 48% على التوالي. لكن التشوه للعينات (S4 و S5) كانت أصغر من تشوه العينة (S1) بنسبة 9% و 4% على التوالي.
4. التدعيم باستخدام صفائح CFRP هي الطريقة الأسرع وهي الطريقة التي تعطي مقاومة أعلى من التدعيم بصفائح فولاذية بمقدار 15% ولكن بكلفة تدعيم عالية مقارنة بباقي الطرق.

### 2.1.2. تدعيم البلاطات الحاوية على فتحات محدثة باستخدام صفائح CFRP [2]

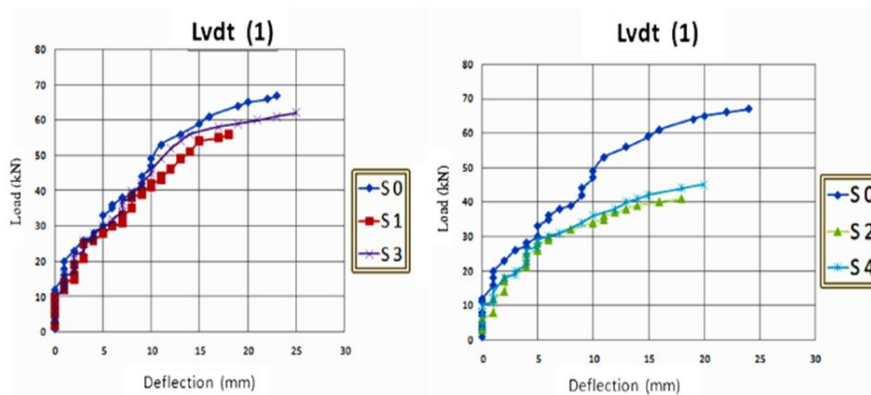
وهي دراسة لكفاءة تدعيم البلاطات الحاوية على فتحة كبيرة وصغيرة محدثة، وذلك باستخدام البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية CFRP، تضمن البرنامج التجريبي خمس بلاطات، الأولى مرجعية دون فتحة، والبلاطات الباقية فيها فتحة واقعة ضمن البلاطة. وقسمت البلاطات إلى مجموعتين تختلف بأبعاد الفتحة (200\*200) mm للمجموعة 1/، (200\*400) mm للمجموعة 2/، وكل مجموعة تضمنت بلاطة مع فتحة بلا تدعيم، وبلاطة مع فتحة مدعمة بالألياف الكربونية. يبين الشكل (10) البلاطة المختبرة مع تفاصيل التسليح، ويوضح أيضاً الإجراء المتخذ لمحاكاة حالة إحداث فتحة في بلاطة منفذة، من خلال اقتطاع التسليح المار بمقطع الفتحة لتأخذ الشكل U أثناء تشكيل قصص التسليح.



الشكل (10): تفاصيل البلاطات المختبرة [2]

الجدول (1): قيم الحمولات الحدية وحالات الانهيار بالبلاطات المدروسة

| المجموعات | العينات | الحمولة الحدية (kN) | أسلوب الانهيار       |
|-----------|---------|---------------------|----------------------|
| Reference | S0      | 67                  | الانعطاف             |
| 1         | S1      | 56                  | الانعطاف             |
|           | S2      | 41                  | الانعطاف             |
| 2         | S3      | 62                  | انقطاع في صفائح CFRP |
|           | S4      | 45                  | انقطاع في صفائح CFRP |



الشكل (11): مخطط (الحمولة - سهم) للبلاطات المختبرة [2]

### نتائج الدراسة:

- 1- انهيارت البلاطة المرجعية والبلاطات غير المدعمة بالانعطاف بينما انهارت البلاطات المدعمة نتيجة انقطاع في صفائح CFRP
- 2- الحمولات الحدية زادت بنسبة حوالي % (9.7 و 10.7) زيادة قليلة ومتواضعة للمجموعتين 1 و 2 على التوالي مقارنة مع البلاطة المرجعية خاصة عندما تم تطبيق التدعيم باستخدام صفائح ال CFRP، نقصت التشوهات حوالي % (23 و 17) للمجموعتين 1 و 2 على التوالي خاصة عندما تم تطبيق التدعيم باستخدام صفائح CFRP.

### خلاصة البحثين السابقين:

- لابد من تقوية منطقة الفتحة عند إحداثها في أي بلاطة بيتونية مسلحة .
- استخدام الألياف الكربونية أو الصفائح الفولاذية فعال جداً في استعادة كامل مقاومة البلاطة الأصلي في حالة الفتحات المحدثة في هذه البلاطات، كونها متجانسة ومتساوية الخواص في

- جميع الاتجاهات، وأصبح استخدامها أكثر فعالية بعد توفر مواد لاصقة متطورة مما أدى إلى انتشارها على نطاق واسع في الأعمال الإنشائية.
- **لوحظ في هذه الأبحاث** نقص المعطيات والتوصيات الخاصة باستخدام الصفائح الفولاذية وال CFRP في منطقة الفتحة، من حيث الأبعاد ونموذج التدعيم، لذلك كان
- **الهدف من هذا البحث هو:**
- دراسة سلوك البلاطات البيتونية المسلحة بوجود فتحة متغيرة الأبعاد كبيرة أم صغيرة وشكل استمرارية البلاطة وطريقة التدعيم، بفتحة محدثة ضمن هذه البلاطات، ومدعمة بنماذج وأبعاد مختلفة من الصفائح الفولاذية وال CFRP، للوصول إلى نتائج وتوصيات، والتي تضمن استعادة البلاطة لقدرة تحملها التصميمية وبقاء تشوهاتها ضمن الحدود المسموحة، وعدم ظهور شقوق مبكرة فيها كما تضمن صلاحية استثماره وديمومة أطول لها.

### 3. منهجية البحث

تم استخدام برنامج SAFE 16.02 [7] لتحديد سلوك وقدرة تحمل البلاطات البيتونية المسلحة باستخدام طريقة العناصر المحدودة، مع فتحة أو بدونها، المدعمة منها أو غير المدعمة بصفائح CFRP، حيث تم اعتماده بسبب مقارنة النتائج الذي يعطيها بأحد الدراسات المرجعية الموثوقة، ومن ثم المقارنة بين متغيرات نتائج الدراسة التحليلية وذلك للحصول على نموذج تحليلي صحيح وموثوق، والتي تضمن الأمان واستمرارية الاستثمار في حال إحداث فتحة في جسم البلاطة.

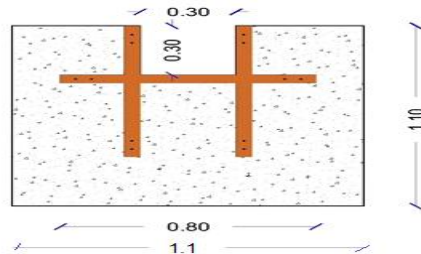
### 4. مواد وطرق البحث

#### 1.4. وصف عام للنماذج المدروسة (المواصفات البعدية والتسليح)

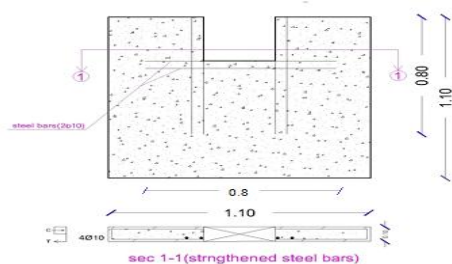
تمت نمذجة البلاطات التالية الموجودة بالدراسة المرجعية وذلك للتحقق من دقة النموذج التحليلي وإثبات وثوقيته وإمكانية استخدامه في دراستنا :

- 1- بلاطة بيتونية مسلحة من دون فتحة لمحاكاة البلاطة المرجعية [1] المطروقة سابقاً بأبعاد  $(1100*1100*100)\text{mm}$  .
  - 2- بلاطة بيتونية مسلحة مع فتحة بدون تدعيم لمحاكاة البلاطة المرجعية التجريبية [1] المطروقة سابقاً بأبعاد  $(1100*1100*100)\text{mm}$  .
  - 3- بلاطة بيتونية مسلحة مع فتحة وتدعيم بصفائح CFRP لمحاكاة البلاطة المرجعية التجريبية [1] المطروقة سابقاً بأبعاد  $(1100*1100*100)\text{mm}$  .
- في هذه النماذج تمت محاكاة سلوك كل من البيتون المسلح، فولاذ التسليح، و صفائح التدعيم.

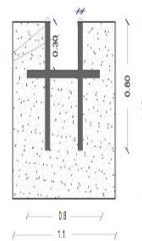
- كافة البلاطات كانت بأبعاد (1100\*1100) mm وبسماكة (100)mm تم تسليح البلاطات على الانعطاف بتسليح سفلي 10T10/m' وبتسليح علوي 8T10/m' وبالاتجاهين وصفائح CFRP بأبعاد (800x50x1.2) mm .



الشكل (13) البلاطة المرجعية مع فتحة وبدون تدعيم.



الشكل (12) البلاطة المرجعية من دون فتحة

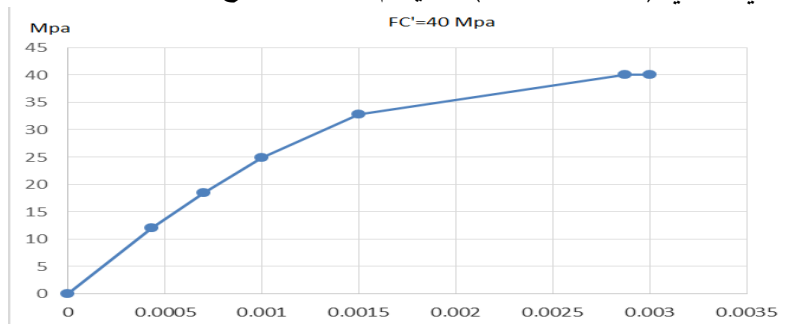


الشكل (14) البلاطة المرجعية مع فتحة وبدعم بصفائح ال CFRP المستخدمة (800\*50\*1.2)MM.

## 2.4. المواصفات الميكانيكية للنموذج المدروس

### 1.2.4. البتوت

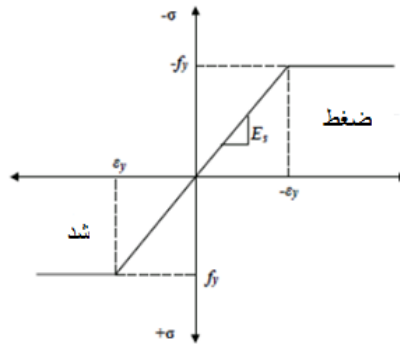
يبين الشكل التالي منحنى (الاجهاد-الانفعال) والذي تم إدخاله للبرنامج.



الشكل(15): منحنى (الاجهاد-الانفعال) للبتوت المدخل للبرنامج

#### 2.2.4. فولاذ التسليح

من أجل فولاذ التسليح تم اعتماد نموذج براندل المعدل الذي يفترض أن الفولاذ مادة مرنة - تامة اللدونة، حيث يعتبر أن التسليح نحيفاً نسبياً ويفترض أن يكون قادراً على نقل الحمولة المحورية فقط، لذلك تعتبر علاقة (الاجهاد المحوري - الانفعال) كافية للاستخدام العام، ويبين الجدول التالي خصائص فولاذ التسليح المدخلة للقضبان الطولية (علوية وسفلية) والتي تم استخدامها في النمذجة.



الشكل (16): منحنى (الاجهاد المحوري - الانفعال) لفولاذ التسليح

الجدول (2): خصائص فولاذ التسليح المدخلة للقضبان الطولية

|                              |                |
|------------------------------|----------------|
| <b>E = 210000 Mpa</b>        | معامل المرونة  |
| <b>78.5 KN/m<sup>3</sup></b> | الوزن الحجمي   |
| <b>Fy=400 Mpa</b>            | إجهاد الخضوع   |
| <b>Fu=500 Mpa</b>            | إجهاد الإنقطاع |

#### 3.2.4. صفائح التدعيم CFRP

يعتبر سلوك صفائح CFRP مرناً - تام اللدونة، والخواص المطلوب إدخالها للبرنامج مدرجة في الجدول المبين التالي. تم استخدام معيار الانهيار فون- ميسس (Von-Misses failure criterion) لتحديد خضوع صفائح CFRP , واعتبرنا أنه يوجد تلاصق تام بين صفائح CFRP والبلاطة.

الجدول (3): خصائص صفائح التدعيم CFRP

|                       |                        |
|-----------------------|------------------------|
| <b>E = 165000 Mpa</b> | معامل المرونة          |
| <b>μ =0.3</b>         | معامل بواسون           |
| <b>Fy=3100 Mpa</b>    | إجهاد الخضوع للفولاذ   |
| <b>Fu=3800 Mpa</b>    | إجهاد الإنقطاع للفولاذ |



الشكل (18): أشكال صفائح CFRP

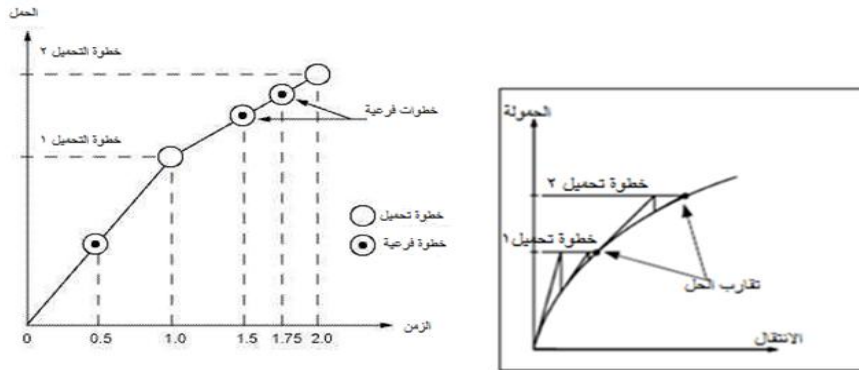
### 3.4. الدراسة النظرية

#### 1.3.4. التحليل اللاخطي

لا يمكن تمثيل السلوك اللاخطي للعناصر مباشرة بمجموعة من المعادلات الخطية، وإنما يجب إدخال تقريب وتصحيح متكرر، وإحدى أهم طرق التحليل اللاخطي طريقة التحميل التدريجي والتوازن التكراري Increment Loading and Equilibrium (Iteration)، حيث يتم في هذه الطريقة تجزئة الحمولة ضمن مجموعات متسلسلة وبخطوات متعددة رئيسية تدعى خطوات تحميل، وقد تم اعتماد خيار التجزئة وفق طريقة نيوتن - رافسون المعدلة (Modified Newton-Raphson)، ويمكن هذه الطريقة من تجزئة الخطوات الرئيسية والفرعية ضمنها أيضاً، وذلك لتلافي تراكم الخطأ في تطبيق خطوة الحمولة، ومن ثم تصبح النتائج الأخيرة أقرب للتوازن، حيث قبل كل حل، يتم تقييم شعاع القوى الناتج عن التوازن، والذي هو الفرق بين القوى الناتجة (القوى الموافقة لإجهادات العنصر) وبين القوى المطبقة، وبناء عليه توجه نتائج التحليل نحو الدقة الأكبر.

والجدير بالذكر أن البرنامج يقوم بتحديث مصفوفة الصلابة للعناصر المحدودة في نهاية كل خطوة تحميل، ليعكس بذلك التغيرات اللاخطية في القساوة الإنشائية (Structural Stiffness)، وذلك قبل المضي في تطبيق الخطوة التالية، هذه التغيرات في القساوة الإنشائية سببها وجود التشققات في العنصر وخضوع فولاذ التسليح. يؤمن التكرار في معادلة نيوتن رافسون التقارب عند نهاية كل خطوة تحميل (تزايد الحمولة) ضمن حدود التسامح tolerance limits [3-6].

ويبين الشكل (19) إجراء نيوتن - رافسون في تحليل لاخطي بدرجة حرية واحدة .



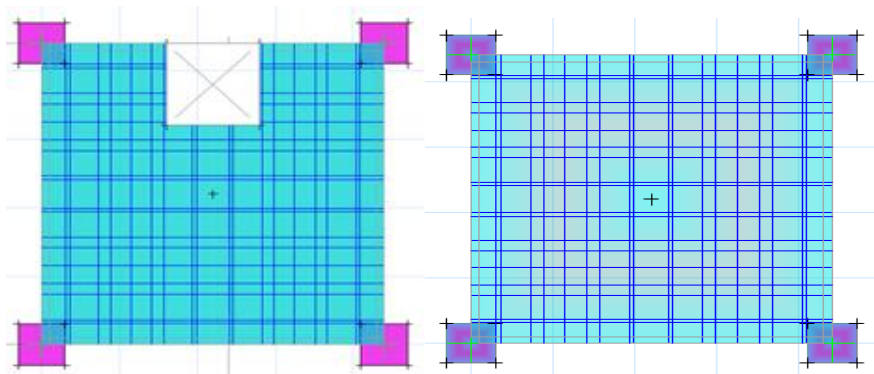
الشكل (19): الحل بطريقة نيوتن - رافسون المعدلة

في هذه الدراسة من أجل عناصر البيتون المسلح الصلبة فإن معاملات التقارب اعتمدت على القوة والانتقال،

#### 4.4. المواد والطرق التجريبية للبحث

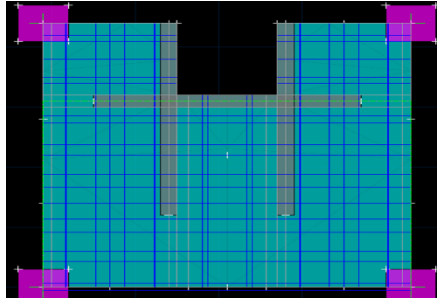
##### 1.4.4. التأكد من صحة البرنامج التحليلي ومدى مطابقته للدراسة المرجعية

- تمت نمذجة العينات التجريبية للدراسة المرجعية [1] المعتمدة في برنامج SAFE [7].  
كخطوة أولية، يتطلب التحليل بطريقة العناصر المحدودة تقسيم العنصر إلى شبكة من العناصر المحدودة، بمعنى آخر يقسم النموذج إلى عدد كبير من العناصر الصغيرة وبعد التحليل تحسب الاجهادات والتشوهات في النقاط التكاملية لهذه العناصر.  
وتبين الأشكال (20-21-22-23) نماذج البلاطات التي تم بناؤها بطريقة العناصر المحدودة في البرنامج:

الشكل (21): البلاطة المرجعية مع فتحة  $30 \times 30$  CM

الشكل (20): البلاطة المرجعية بدون فتحة

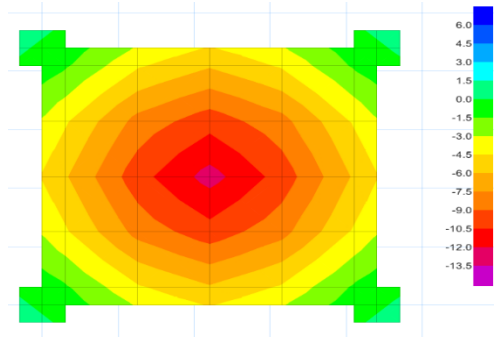
بدون تدعيم



الشكل (22): البلاطة المرجعية مع فتحة  $CM(30 \times 30)$  وبتدعيم بصفائح ال  $CFRP$  المستخدمة  $MM(800 \times 50 \times 1.2)$ .

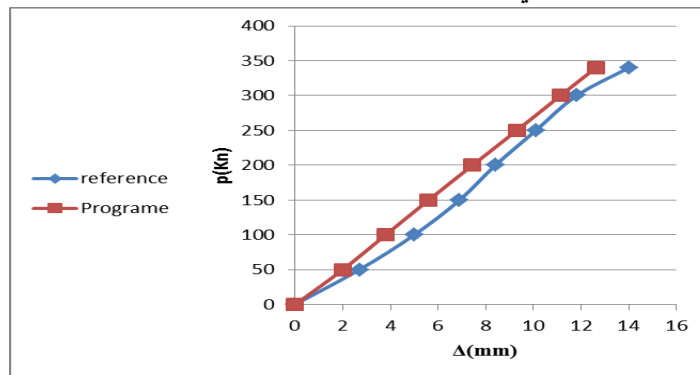
تمت مقارنة منحنيات (الحمولة - الانزياح الشاقولي) التي تم الحصول عليها تحليلياً مع [1] في مواقع عدة، وهي الانزياح الشاقولي لمقطع البلاطة عند منتصف البلاطة، وهي مبينة في الأشكال التالية:

- يبين الشكل التالي نمذجة البلاطة المرجعية بدون فتحة .



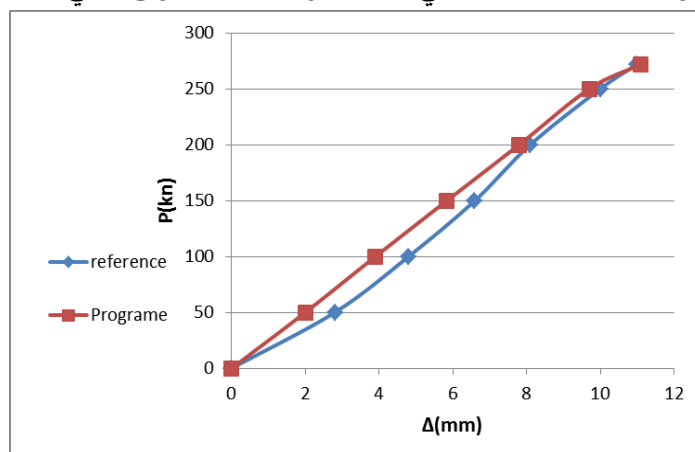
الشكل (23): كونتور الانتقالات للبلاطة المدروسة

وبالمقارنة مع الدراسة المرجعية تبين أن مخطط الحمل - الانتقالات للنقطة في منتصف وأسفل البلاطة وفق مايلي:



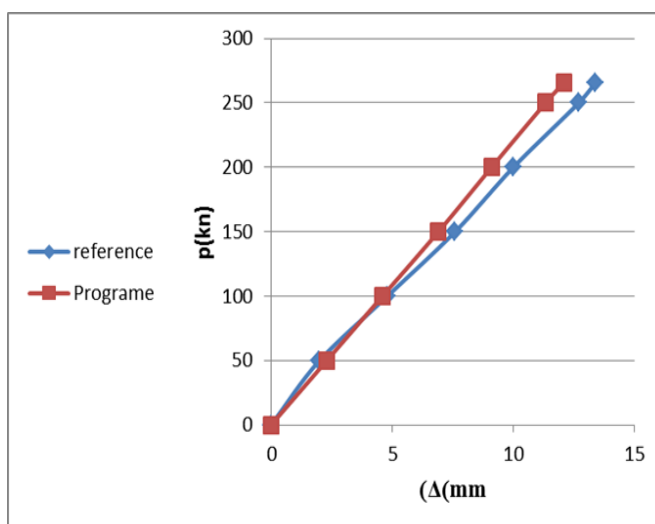
الشكل (24): المقارنة بين انتقالات البلاطة المدروسة مع البلاطة المرجعية

- وبمنزجة البلاطة المرجعية مع فتحة وبدون تدعيم وبالمقارنة مع الدراسة المرجعية تبين أن مخطط الحمولة - الانتقالات للنقطة في منتصف وأسفل البلاطة وفق مايلي:



الشكل (25): المقارنة بين انتقالات البلاطة المدروسة مع البلاطة المرجعية

- وبمنزجة البلاطة المرجعية مع فتحة وبدعيم بصفائح ال CFRP وبالمقارنة مع الدراسة المرجعية تبين أن مخطط الحمولة - الانتقالات للنقطة في منتصف وأسفل البلاطة وفق مايلي :



الشكل (26): المقارنة بين انتقالات البلاطة المدروسة مع البلاطة المرجعية

- مما سبق وبعد استعراض كافة المقارنات بين نتائج الدراستين التجريبية والتحليلية وجد أن هناك تقارباً كبيراً بينهما.

#### 2.4.4. الخلاصة

- باستخدام النموذج التحليلي تم الحصول على مستوى مقبول من الدقة بنسبة فارق أعظمية بحدود 10% بالاعتماد على طريقة العناصر المحدودة، تمت من خلاله نمذجة ومحاكاة سلوك كلٍ من البيتون المسلح، فولاذ التسليح، صفائح التدعيم، وبالتالي يمكن استخدامه كأداة عددية موثوق بها لتحري سلوك البلاطات الفطرية البيتونية المسلحة مع فتحة أو دونها المدعمة أو غير المدعمة بالصفائح الفولاذية و صفائح CFRP، أي أن هذه المحاكاة يمكن استخدامها كمنصة عمل تجريبية لدراسة متغيرات نموذج التدعيم الخارجي حيث تم نمذجة 210 نماذج وفق المتغيرات المدروسة في هذا البحث.

#### 3.4.4. المتغيرات المأخوذة في البحث

تم إنشاء جدول يبين رموز المنحنيات للنماذج التي تمت النمذجة لها. حيث أن: الرمز M يشير إلى موقع الفتحة في وسط المجاز. الرمز R يشير إلى موقع الفتحة في طرف المجاز. الرمز S يشير إلى البلاطة. الرمز 0 يشير إلى البلاطة بمجاز بدون استمرارية. الرمز 1 يشير إلى البلاطة بمجاز باستمرارية من طرف واحد. الرمز C يشير إلى بلاطة ركنية. الرمز E يشير إلى بلاطة طرفية. الرمز M يشير إلى بلاطة داخلية. الرمز CFRP يشير إلى التدعيم بألياف الكربون. الرمز % يشير إلى نسبة الفتحة من بعد البلاطة.

الجدول (4): رموز المنحنيات للنماذج

| S-0-REF  |            |             |            |         |
|----------|------------|-------------|------------|---------|
| S0-M-25% | S0-M-20.8% | S0-M-16.67% | S0-M-12.5% | S0-M-8% |
| S0-R-25% | S0-R-20.8% | S0-R-16.67% | S0-R-12.5% | S0-R-8% |
| S-1-REF  |            |             |            |         |
| S1-M-25% | S1-M-20.8% | S1-M-16.67% | S1-M-12.5% | S1-M-8% |
| S1-R-25% | S1-R-20.8% | S1-R-16.67% | S1-R-12.5% | S1-R-8% |
| S-C-REF  |            |             |            |         |
| SC-M-25% | SC-M-20.8% | SC-M-16.67% | SC-M-12.5% | SC-M-8% |
| SC-R-25% | SC-R-20.8% | SC-R-16.67% | SC-R-12.5% | SC-R-8% |
| S-E-REF  |            |             |            |         |
| SE-M-25% | SE-M-20.8% | SE-M-16.67% | SE-M-12.5% | SE-M-8% |
| SE-R-25% | SE-R-20.8% | SE-R-16.67% | SE-R-12.5% | SE-R-8% |
| S-M-REF  |            |             |            |         |
| SM-M-25% | SM-M-20.8% | SM-M-16.67% | SM-M-12.5% | SM-M-8% |
| SM-R-25% | SM-R-20.8% | SM-R-16.67% | SM-R-12.5% | SM-R-8% |

|               |                 |                  |                 |              |
|---------------|-----------------|------------------|-----------------|--------------|
| S0-M-25%-CFRP | S0-M-20.8%-CFRP | S0-M-16.67%-CFRP | S0-M-12.5%-CFRP | S0-M-8%-CFRP |
| S0-R-25%-CFRP | S0-R-20.8%-CFRP | S0-R-16.67%-CFRP | S0-R-12.5%-CFRP | S0-R-8%-CFRP |
| S1-M-25%-CFRP | S1-M-20.8%-CFRP | S1-M-16.67%-CFRP | S1-M-12.5%-CFRP | S1-M-8%-CFRP |
| S1-R-25%-CFRP | S1-R-20.8%-CFRP | S1-R-16.67%-CFRP | S1-R-12.5%-CFRP | S1-R-8%-CFRP |
| SC-M-25%-CFRP | SC-M-20.8%-CFRP | SC-M-16.67%-CFRP | SC-M-12.5%-CFRP | SC-M-8%-CFRP |
| SC-R-25%-CFRP | SC-R-20.8%-CFRP | SC-R-16.67%-CFRP | SC-R-12.5%-CFRP | SC-R-8%-CFRP |
| SE-M-25%-CFRP | SE-M-20.8%-CFRP | SE-M-16.67%-CFRP | SE-M-12.5%-CFRP | SE-M-8%-CFRP |
| SE-R-25%-CFRP | SE-R-20.8%-CFRP | SE-R-16.67%-CFRP | SE-R-12.5%-CFRP | SE-R-8%-CFRP |
| SM-M-25%-CFRP | SM-M-20.8%-CFRP | SM-M-16.67%-CFRP | SM-M-12.5%-CFRP | SM-M-8%-CFRP |
| SM-R-25%-CFRP | SM-R-20.8%-CFRP | SM-R-16.67%-CFRP | SM-R-12.5%-CFRP | SM-R-8%-CFRP |

|               |                  |                 |                 |               |
|---------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| S0-M-46%-CFRP | S0-M-41.67%-CFRP | S0-M-37.5%-CFRP | S0-M-33.3%-CFRP | S0-M-29%-CFRP |
| S0-R-46%-CFRP | S0-R-41.67%-CFRP | S0-R-37.5%-CFRP | S0-R-33.3%-CFRP | S0-R-29%-CFRP |
| S1-M-46%-CFRP | S1-M-41.67%-CFRP | S1-M-37.5%-CFRP | S1-M-33.3%-CFRP | S1-M-29%-CFRP |
| S1-R-46%-CFRP | S1-R-41.67%-CFRP | S1-R-37.5%-CFRP | S1-R-33.3%-CFRP | S1-R-29%-CFRP |
| SC-M-46%-CFRP | SC-M-41.67%-CFRP | SC-M-37.5%-CFRP | SC-M-33.3%-CFRP | SC-M-29%-CFRP |
| SC-R-46%-CFRP | SC-R-41.67%-CFRP | SC-R-37.5%-CFRP | SC-R-33.3%-CFRP | SC-R-29%-CFRP |
| SE-M-46%-CFRP | SE-M-41.67%-CFRP | SE-M-37.5%-CFRP | SE-M-33.3%-CFRP | SE-M-29%-CFRP |
| SE-R-46%-CFRP | SE-R-41.67%-CFRP | SE-R-37.5%-CFRP | SE-R-33.3%-CFRP | SE-R-29%-CFRP |
| SM-M-46%-CFRP | SM-M-41.67%-CFRP | SM-M-37.5%-CFRP | SM-M-33.3%-CFRP | SM-M-29%-CFRP |
| SM-R-46%-CFRP | SM-R-41.67%-CFRP | SM-R-37.5%-CFRP | SM-R-33.3%-CFRP | SM-R-29%-CFRP |

#### 4.4.4. الأبعاد المأخوذة للنماذج المراد دراستها

تم اعتماد أبعاد لبلاطة نموذجية واقعية ذات مجاز بسيط بأبعاد  $6 \times 6$  m لبلاطة فطرية بدون جوائز

$$\frac{L_1}{L_2} = 1 < \frac{4}{3} \dots OK \text{ وبالتالي}$$

ومن ثم تم حساب السماكة للبلاطة الأخطر والتي هي بدون استمرارية وفق شرط السهم كما هو موضح بالجدول رقم (27) :

الجدول (5): معاملات K لحساب السماكة [8]

| بلاطة داخلية |           | بلاطة طرفية |           | الاستناد |
|--------------|-----------|-------------|-----------|----------|
| مع سقوط      | بدون سقوط | مع سقوط     | بدون سقوط |          |
| 40           | 36        | 36          | 32        | L/t      |

حيث : (L) المتوسط الحسابي للمسافتين بين محاور الأعمدة في الاتجاهين المتعامدين، وبالتالي :  $15 \text{ cm} < 18.75 \text{ cm} = \frac{600}{32} = t$  وقد تم اعتماد سماكة كافة البلاطات 20 cm أما بالنسبة لأبعاد العمود

تم أخذ مقطعه مربع بأبعاد  $20 \text{ cm} = \frac{600}{30} = L$

#### 5.4.4. خصائص المواد المستخدمة في النماذج

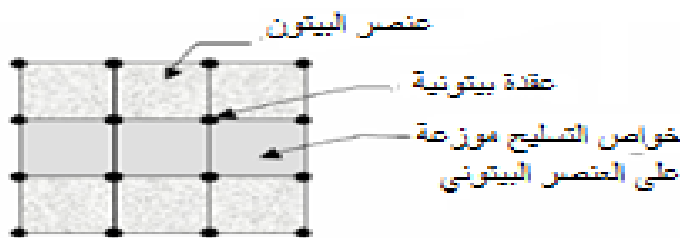
##### 1.5.4.4. فولاذ التسليح

من أجل فولاذ التسليح تم اعتماد نموذج براندل المعدل ويبين الجدول (6) خصائص فولاذ التسليح المدخلة للقضبان الطولية (علوية وسفلية) والأساور والتي تم استخدامها في النمذجة.

الجدول (6): خصائص مادة فولاذ التسليح

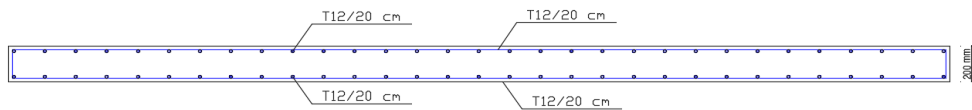
|                              |                        |
|------------------------------|------------------------|
| <b>E = 210000 Mpa</b>        | معامل المرونة          |
| <b>78.5 KN/m<sup>3</sup></b> | الوزن الحجمي           |
| <b>Fy=400 Mpa</b>            | إجهاد الخضوع للفولاذ   |
| <b>Fu=500 Mpa</b>            | إجهاد الإنقطاع للفولاذ |

- تم استخدام النموذج الضمني (المنتشر) في دراستنا.



الشكل (27): نموذج محاكاة التسليح

تم تصميم البلاطة وحساب التسليح واعتماد شبكتي تسليح علوية وسفلية وبالاتجاهين بقيمة أصغرية للتسليح 5T12/m.



الشكل (28): مقطع عرضي يبين التسليح في البلاطة المستخدمة

##### 2.5.4.4. صفائح التدعيم CFRP

يعتبر سلوك صفائح CFRP مرناً - تام اللدونة، والخواص المطلوب إدخالها للبرنامج مدرجة في الجدول (8)، واعتبرنا أنه يوجد تلاصق تام بين صفائح CFRP والبلاطة، وقد تم اعتماد مقطع عرضي ثابت لكافة البلاطات المنمذجة والمدمعة بصفائح CFRP أبعادها 50\*1.2mm وتم تطبيق التدعيم حول حواف الفتحة المحدثة.

الجدول (8): الخواص المدخلة لصفائح CFRP

|                |                         |
|----------------|-------------------------|
| E = 165000 Mpa | معامل المرونة           |
| $\mu = 0.3$    | معامل بواسون            |
| Fy=3100 Mpa    | إجهاد الخضوع للفلولاذ   |
| Fu=3800 Mpa    | إجهاد الإنقطاع للفلولاذ |

## 5. تحليل النتائج

بعد معرفة مدى دقة النموذج التحليلي الممثل للبلاطات المرجعية التي تمت المقارنة بين النتائج العددية والمرجعية، وذلك من ناحية : العلاقة بين الحمولة - الانزياح الشاقولي أو السهم بما تتضمنها من قيم للحمولة القصوى الحدية وقيم الانزياح الشاقولي الموافق .

## 1.5. العلاقة بين الحمولة والانزياح الشاقولي

تم حساب الإنتقال المسموح كما هو وارد بالكود العربي السوري [8] كما في الجدول في البند (2-7) (1) من العلاقة  $L/180$  فكانت قيمة هذا الإنتقال 33.3mm وتم استخراج الحمولة الموافقة للإنتقال المسموح من البرنامج فكانت القيمة 16.1 kN/m2 وكانت حمولة الانهيار 64 kN/m2، حيث تم التحميل حتى الوصول إلى 70% من حمولة الانهيار، وهي مبينة في الجداول رقم [9]:  
الجدول رقم (9) تبيين انتقالات جميع حالات البلاطات المدروسة تحت تأثير الحمولات المطبقة عليها وفق المتغيرات المأخوذة بالبحث

## 1.1.5. قيم الانتقالات في البلاطات غير المدعمة ذات الفتحات الصغيرة

الجدول (9-1): الانتقالات في البلاطات ذات المجاز الواحد وذات الفتحات الصغيرة غير المدعمة

| الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m2) |            |              |              |       | الانتقالات الموافقة للحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m2) |              |              |             |  |
|--------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|-------|---------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--|
| %                                                                  | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | %     | حالة السهم                                                          | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | اسم النموذج |  |
| -----                                                              | غير محقق   | 1.5558       | 93.35        | ----- | محقق                                                                | 0.5556       | 33.39        | S-O-REF     |  |
| 2.36                                                               | غير محقق   | 1.5190       | 91.14        | 2.34  | محقق                                                                | 0.5435       | 32.61        | S0-M-8%     |  |
| 1.58                                                               | غير محقق   | 1.5312       | 91.87        | 1.55  | محقق                                                                | 0.5479       | 32.87        | S0-M-12.5%  |  |
| 0.87                                                               | غير محقق   | 1.5422       | 92.53        | 0.84  | محقق                                                                | 0.5518       | 33.11        | S0-M-16.67% |  |
| 0.42                                                               | غير محقق   | 1.5493       | 92.96        | 0.39  | محقق                                                                | 0.5543       | 33.26        | S0-M-20.8%  |  |
| 0.31                                                               | غير محقق   | 1.5510       | 93.06        | 0.28  | محقق                                                                | 0.5549       | 33.30        | S0-M-25%    |  |
| 3.36                                                               | غير محقق   | 1.5035       | 90.21        | 1.11  | محقق                                                                | 0.5503       | 33.02        | S0-R-8%     |  |
| 3.06                                                               | غير محقق   | 1.5082       | 90.49        | 3.05  | محقق                                                                | 0.5395       | 32.37        | S0-R-12.5%  |  |
| 1.84                                                               | غير محقق   | 1.5272       | 91.63        | 1.83  | محقق                                                                | 0.5463       | 32.78        | S0-R-16.67% |  |
| 0.79                                                               | غير محقق   | 1.5682       | 94.09        | 0.77  | غير محقق                                                            | 0.5608       | 33.65        | S0-R-20.8%  |  |
| 4.82                                                               | غير محقق   | 1.6345       | 98.07        | 4.84  | غير محقق                                                            | 0.5848       | 35.09        | S0-R-25%    |  |

الجدول (9-2): الانتقالات في البلاطات ذات المجازين وذات الفتحات الصغيرة غير المدعمة

| الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m2) |            |              |              |       | الانتقالات الموافقة للحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m2) |              |              |             |  |
|--------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|-------|---------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--|
| %                                                                  | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | %     | حالة السهم                                                          | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | اسم النموذج |  |
| -----                                                              | غير محقق   | 1.3842       | 83.05        | ----- | محقق                                                                | 0.4952       | 29.71        | S-1-REF     |  |
| 2.10                                                               | غير محقق   | 1.3552       | 81.31        | 2.15  | محقق                                                                | 0.4845       | 29.07        | S1-M-8%     |  |
| 1.55                                                               | غير محقق   | 1.3627       | 81.76        | 1.58  | محقق                                                                | 0.4873       | 29.24        | S1-M-12.5%  |  |
| 1.10                                                               | غير محقق   | 1.3690       | 82.14        | 1.14  | محقق                                                                | 0.4895       | 29.37        | S1-M-16.67% |  |
| 1.00                                                               | غير محقق   | 1.3703       | 82.22        | 1.04  | محقق                                                                | 0.4900       | 29.40        | S1-M-21.8%  |  |
| 1.29                                                               | غير محقق   | 1.3663       | 81.98        | 0.98  | محقق                                                                | 0.4903       | 29.42        | S1-M-25%    |  |
| 2.96                                                               | غير محقق   | 1.3432       | 80.59        | 3.03  | محقق                                                                | 0.4802       | 28.81        | S1-R-8%     |  |
| 2.85                                                               | غير محقق   | 1.3447       | 80.68        | 2.86  | محقق                                                                | 0.4810       | 28.86        | S1-R-12.5%  |  |
| 1.79                                                               | غير محقق   | 1.3595       | 81.57        | 1.85  | محقق                                                                | 0.4860       | 29.16        | S1-R-16.67% |  |
| 0.65                                                               | غير محقق   | 1.3932       | 83.59        | 0.64  | محقق                                                                | 0.4983       | 29.90        | S1-R-21.8%  |  |
| 4.86                                                               | غير محقق   | 1.4548       | 87.29        | 4.90  | محقق                                                                | 0.5207       | 31.24        | S1-R-25%    |  |

الجدول (9-3): الانتقالات في البلاطات الركنية وذات الفتحات الصغيرة غير المدعمة

| الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m2) |            |              |         |              |              | الانتقالات الموافقة للمسيبة للانتقال المسموح به (16.1kn/m2) |            |              |         |              |              |
|--------------------------------------------------------------------|------------|--------------|---------|--------------|--------------|-------------------------------------------------------------|------------|--------------|---------|--------------|--------------|
| %                                                                  | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | المسموح | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | %                                                           | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | المسموح | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ |
| -----                                                              | غير محقق   | 1.2410       | 74.46   | -----        | محقق         | 0.4398                                                      | 0.4398     | 26.39        | 26.39   | 0.4398       | 26.39        |
| 2.30                                                               | غير محقق   | 1.2125       | 72.75   | 1.44         | محقق         | 0.4335                                                      | 0.4335     | 26.01        | 26.01   | 0.4335       | 26.01        |
| 1.80                                                               | غير محقق   | 1.2187       | 73.12   | 0.91         | محقق         | 0.4358                                                      | 0.4358     | 26.15        | 26.15   | 0.4358       | 26.15        |
| 1.35                                                               | غير محقق   | 1.2242       | 73.45   | 0.48         | محقق         | 0.4377                                                      | 0.4377     | 26.26        | 26.26   | 0.4377       | 26.26        |
| 1.25                                                               | غير محقق   | 1.2255       | 73.53   | 0.37         | محقق         | 0.4382                                                      | 0.4382     | 26.29        | 26.29   | 0.4382       | 26.29        |
| 1.62                                                               | غير محقق   | 1.2209       | 73.25   | 0.39         | محقق         | 0.4381                                                      | 0.4381     | 26.29        | 26.29   | 0.4381       | 26.29        |
| 0.83                                                               | غير محقق   | 1.2307       | 73.84   | 0.03         | محقق         | 0.4399                                                      | 0.4399     | 26.40        | 26.40   | 0.4399       | 26.40        |
| 2.92                                                               | غير محقق   | 1.2048       | 72.29   | 2.02         | محقق         | 0.4310                                                      | 0.4310     | 25.86        | 25.86   | 0.4310       | 25.86        |
| 2.07                                                               | غير محقق   | 1.2153       | 72.92   | 1.22         | محقق         | 0.4345                                                      | 0.4345     | 26.07        | 26.07   | 0.4345       | 26.07        |
| 0.59                                                               | غير محقق   | 1.2484       | 74.90   | 1.50         | محقق         | 0.4465                                                      | 0.4465     | 26.79        | 26.79   | 0.4465       | 26.79        |
| 5.40                                                               | غير محقق   | 1.3119       | 78.71   | 6.32         | محقق         | 0.4695                                                      | 0.4695     | 28.17        | 28.17   | 0.4695       | 28.17        |

الجدول (9-4): الانتقالات في البلاطات الطرفية وذات الفتحات الصغيرة غير المدعمة

| الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m2) |            |              |         |              |              | الانتقالات الموافقة للمسيبة للانتقال المسموح به (16.1kn/m2) |            |              |         |              |              |
|--------------------------------------------------------------------|------------|--------------|---------|--------------|--------------|-------------------------------------------------------------|------------|--------------|---------|--------------|--------------|
| %                                                                  | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | المسموح | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | %                                                           | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | المسموح | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ |
| -----                                                              | غير محقق   | 1.0967       | 65.80   | -----        | محقق         | 0.3833                                                      | 0.3833     | 23.00        | 23.00   | 0.3833       | 23.00        |
| 2.79                                                               | غير محقق   | 1.0661       | 63.97   | 0.57         | محقق         | 0.3812                                                      | 0.3812     | 22.87        | 22.87   | 0.3812       | 22.87        |
| 0.00                                                               | غير محقق   | 1.0891       | 65.35   | 1.58         | محقق         | 0.3895                                                      | 0.3895     | 23.37        | 23.37   | 0.3895       | 23.37        |
| 0.00                                                               | غير محقق   | 1.0904       | 65.42   | 1.68         | محقق         | 0.3899                                                      | 0.3899     | 23.39        | 23.39   | 0.3899       | 23.39        |
| 0.41                                                               | غير محقق   | 1.0859       | 65.15   | 1.28         | محقق         | 0.3883                                                      | 0.3883     | 23.30        | 23.30   | 0.3883       | 23.30        |
| 0.97                                                               | غير محقق   | 1.0752       | 64.51   | 0.66         | محقق         | 0.3859                                                      | 0.3859     | 23.15        | 23.15   | 0.3859       | 23.15        |
| 0.00                                                               | غير محقق   | 1.0856       | 65.14   | 1.23         | محقق         | 0.3881                                                      | 0.3881     | 23.29        | 23.29   | 0.3881       | 23.29        |
| 0.45                                                               | غير محقق   | 1.0807       | 64.84   | 0.84         | محقق         | 0.3866                                                      | 0.3866     | 23.19        | 23.19   | 0.3866       | 23.19        |
| 0.00                                                               | غير محقق   | 1.0888       | 65.33   | 1.51         | محقق         | 0.3892                                                      | 0.3892     | 23.35        | 23.35   | 0.3892       | 23.35        |
| 1.23                                                               | غير محقق   | 1.1103       | 66.62   | 3.48         | محقق         | 0.3972                                                      | 0.3972     | 23.83        | 23.83   | 0.3972       | 23.83        |
| 4.53                                                               | غير محقق   | 1.1487       | 68.92   | 6.75         | محقق         | 0.4111                                                      | 0.4111     | 24.67        | 24.67   | 0.4111       | 24.67        |

الجدول (9-5): الانتقالات في البلاطات الداخلية وذات الفتحات الصغيرة غير المدعمة

| الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m2) |            |              |         |              |              | الانتقالات الموافقة للمسيبة للانتقال المسموح به (16.1kn/m2) |            |              |         |              |              |
|--------------------------------------------------------------------|------------|--------------|---------|--------------|--------------|-------------------------------------------------------------|------------|--------------|---------|--------------|--------------|
| %                                                                  | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | المسموح | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | %                                                           | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | المسموح | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ |
| -----                                                              | غير محقق   | 0.9092       | 54.55   | -----        | محقق         | 0.3220                                                      | 0.3220     | 19.32        | 19.32   | 0.3220       | 19.32        |
| 0.49                                                               | غير محقق   | 0.9047       | 54.28   | 20.61        | محقق         | 0.3234                                                      | 0.3234     | 19.41        | 19.41   | 0.3234       | 19.41        |
| 1.26                                                               | غير محقق   | 0.9208       | 55.25   | 18.45        | محقق         | 0.3293                                                      | 0.3293     | 19.76        | 19.76   | 0.3293       | 19.76        |
| 1.19                                                               | غير محقق   | 0.9201       | 55.21   | 17.92        | محقق         | 0.3290                                                      | 0.3290     | 19.74        | 19.74   | 0.3290       | 19.74        |
| 0.78                                                               | غير محقق   | 0.9163       | 54.98   | 17.62        | محقق         | 0.3277                                                      | 0.3277     | 19.66        | 19.66   | 0.3277       | 19.66        |
| 0.11                                                               | غير محقق   | 0.9081       | 54.49   | 17.61        | محقق         | 0.3259                                                      | 0.3259     | 19.55        | 19.55   | 0.3259       | 19.55        |
| 2.20                                                               | غير محقق   | 0.9296       | 55.77   | 18.27        | محقق         | 0.3323                                                      | 0.3323     | 19.94        | 19.94   | 0.3323       | 19.94        |
| 1.75                                                               | غير محقق   | 0.9254       | 55.52   | 17.79        | محقق         | 0.3310                                                      | 0.3310     | 19.86        | 19.86   | 0.3310       | 19.86        |
| 1.95                                                               | غير محقق   | 0.9272       | 55.63   | 17.63        | محقق         | 0.3315                                                      | 0.3315     | 19.89        | 19.89   | 0.3315       | 19.89        |
| 2.57                                                               | غير محقق   | 0.9331       | 55.99   | 18.07        | محقق         | 0.3338                                                      | 0.3338     | 20.03        | 20.03   | 0.3338       | 20.03        |
| 3.96                                                               | غير محقق   | 0.9467       | 56.80   | 19.40        | محقق         | 0.3388                                                      | 0.3388     | 20.33        | 20.33   | 0.3388       | 20.33        |

- نستنتج من الجداول السابقة:

- أدى إحداث الفتحات الصغيرة في البلاطات ذات المجاز الواحد وذات المجازين غير المدعمة لزيادة الانتقالات فقط في النماذج ذات الفتحات الطرفية
- أدى إحداث الفتحات الصغيرة في البلاطات الركنية غير المدعمة لزيادة الانتقالات فقط في النماذج ذات الفتحات الركنية والطرفية وذات فتحة بنسبة 20.8% و 25%.
- أدى إحداث الفتحات الصغيرة في البلاطات الداخلية غير المدعمة لزيادة الانتقالات فقط في النماذج ذات الفتحات الطرفية، كما أن إحداثها في البلاطات أدى لبقاء قيم الانتقالات ضمن الحدود المسموحة من أجل الحمولة 16.1KN/m2 بينما تجاوزت قيم الانتقالات القيم المسموح بها عند الحمولة الموافقة ل 70% من حمولة الانهيار.

## 2.1.5. قيم الانتقالات في البلاطات غير المدعمة ذات الفتحات الكبيرة

الجدول (9-6): الانتقالات في البلاطات ذات المجاز الواحد وذات الفتحات الكبيرة غير المدعمة

| الانتقالات الموافقة لحمولة المقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m <sup>2</sup> ) |            |              |              |        | الانتقالات الموافقة للحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m <sup>2</sup> ) |              |              |             |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--|
| %                                                                                 | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | %      | حالة السهم                                                                       | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | اسم النموذج |  |
| -----                                                                             | غير محقق   | 0.5556       | 93.35        | 1.5558 | محقق                                                                             | 0.5556       | 33.39        | S-0-REF     |  |
| 0.49                                                                              | غير محقق   | 0.5556       | 92.89        | 1.5482 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 34.09        | S0-M-29%    |  |
| 0.72                                                                              | غير محقق   | 0.5556       | 92.67        | 1.5445 | محقق                                                                             | 0.5556       | 33.15        | S0-M-33.3%  |  |
| 0.73                                                                              | غير محقق   | 0.5556       | 92.66        | 1.5443 | محقق                                                                             | 0.5556       | 33.15        | S0-M-37.5%  |  |
| 0.19                                                                              | غير محقق   | 0.5556       | 93.17        | 1.5528 | محقق                                                                             | 0.5556       | 33.33        | S0-M-41.67% |  |
| 1.09                                                                              | غير محقق   | 0.5556       | 94.37        | 1.5728 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 33.77        | S0-M-46%    |  |
| 9.85                                                                              | غير محقق   | 0.5556       | 103.55       | 1.7258 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 35.80        | S0-R-29%    |  |
| 15.44                                                                             | غير محقق   | 0.5556       | 110.39       | 1.8398 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 39.53        | S0-R-33.3%  |  |
| 21.24                                                                             | غير محقق   | 0.5556       | 118.52       | 1.9753 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 42.47        | S0-R-37.5%  |  |
| 27.27                                                                             | غير محقق   | 0.5556       | 128.34       | 2.1390 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 46.02        | S0-R-41.67% |  |
| 27.91                                                                             | غير محقق   | 0.5556       | 129.49       | 2.1582 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 46.44        | S0-R-46%    |  |

الجدول (9-7): الانتقالات في البلاطات ذات المجازين وذات الفتحات الكبيرة غير المدعمة

| الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m <sup>2</sup> ) |            |              |              |        | الانتقالات الموافقة للحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m <sup>2</sup> ) |              |              |             |  |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--|
| %                                                                               | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | %      | حالة السهم                                                                       | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | اسم النموذج |  |
| -----                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 83.05        | 1.3842 | محقق                                                                             | 0.5556       | 29.71        | S-1-REF     |  |
| 2.14                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 81.27        | 1.3545 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 34.03        | S1-M-29%    |  |
| 2.93                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 80.62        | 1.3436 | محقق                                                                             | 0.5556       | 28.84        | S1-M-33.3%  |  |
| 3.47                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 80.17        | 1.3361 | محقق                                                                             | 0.5556       | 28.68        | S1-M-37.5%  |  |
| 3.38                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 80.25        | 1.3374 | محقق                                                                             | 0.5556       | 28.71        | S1-M-41.67% |  |
| 2.41                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 81.05        | 1.3508 | محقق                                                                             | 0.5556       | 29.00        | S1-M-46%    |  |
| 8.28                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 90.55        | 1.5091 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 37.78        | S1-R-29%    |  |
| 12.92                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 95.37        | 1.5895 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 34.14        | S1-R-33.3%  |  |
| 17.43                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 100.58       | 1.6763 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 36.02        | S1-R-37.5%  |  |
| 21.55                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 105.87       | 1.7645 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 37.93        | S1-R-41.67% |  |
| 22.91                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 107.73       | 1.7955 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 38.60        | S1-R-46%    |  |

الجدول (9-8): الانتقالات في البلاطات الركنية وذات الفتحات الكبيرة غير المدعمة

| الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m <sup>2</sup> ) |            |              |              |        | الانتقالات الموافقة للحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m <sup>2</sup> ) |              |              |             |  |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--|
| %                                                                               | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | %      | حالة السهم                                                                       | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | اسم النموذج |  |
| -----                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 74.46        | 1.2410 | محقق                                                                             | 0.5556       | 26.39        | S-C-REF     |  |
| 4.67                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 70.98        | 1.1831 | محقق                                                                             | 0.5556       | 29.72        | SC-M-29%    |  |
| 4.58                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 71.05        | 1.1841 | محقق                                                                             | 0.5556       | 25.42        | SC-M-33.3%  |  |
| 7.35                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 68.98        | 1.1497 | محقق                                                                             | 0.5556       | 24.68        | SC-M-37.5%  |  |
| 9.20                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 67.61        | 1.1268 | محقق                                                                             | 0.5556       | 24.19        | SC-M-40.67% |  |
| 8.67                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 68.01        | 1.1334 | محقق                                                                             | 0.5556       | 24.33        | SC-M-46%    |  |
| 4.09                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 71.41        | 1.1902 | محقق                                                                             | 0.5556       | 29.80        | SC-R-29%    |  |
| 24.69                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 98.86        | 1.6477 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 35.39        | SC-R-33.3%  |  |
| 17.73                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 90.50        | 1.5084 | محقق                                                                             | 0.5556       | 32.41        | SC-R-37.5%  |  |
| 17.70                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 90.48        | 1.5079 | محقق                                                                             | 0.5556       | 32.42        | SC-R-40.67% |  |
| 27.08                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 102.11       | 1.7019 | غير محقق                                                                         | 0.5556       | 36.59        | SC-R-46%    |  |

الجدول (9-9): الانتقالات في البلاطات الطرفية وذات الفتحات الكبيرة غير المدعمة

| الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m <sup>2</sup> ) |            |              |              |        | الانتقالات الموافقة للحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m <sup>2</sup> ) |              |              |             |  |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--|
| %                                                                               | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | %      | حالة السهم                                                                       | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | اسم النموذج |  |
| -----                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 65.80        | 1.0967 | محقق                                                                             | 0.5556       | 23.00        | S-E-REF     |  |
| 6.88                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 61.27        | 1.0212 | محقق                                                                             | 0.5556       | 25.66        | SE-M-29%    |  |
| 1.12                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 60.54        | 1.0090 | محقق                                                                             | 0.5556       | 21.66        | SE-M-33.3%  |  |
| 3.56                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 58.20        | 0.9699 | محقق                                                                             | 0.5556       | 20.82        | SE-M-37.5%  |  |
| 2.26                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 56.71        | 0.9452 | محقق                                                                             | 0.5556       | 20.29        | SE-M-40.67% |  |
| 0.02                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 56.70        | 0.9450 | محقق                                                                             | 0.5556       | 20.29        | SE-M-46%    |  |
| 0.00                                                                            | غير محقق   | 0.5556       | 60.78        | 1.0129 | محقق                                                                             | 0.5556       | 25.36        | SE-R-29%    |  |
| 16.36                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 78.67        | 1.3112 | محقق                                                                             | 0.5556       | 28.16        | SE-R-33.3%  |  |
| 17.95                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 71.70        | 1.1951 | محقق                                                                             | 0.5556       | 25.68        | SE-R-37.5%  |  |
| 15.66                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 78.02        | 1.3003 | محقق                                                                             | 0.5556       | 27.95        | SE-R-40.67% |  |
| 16.03                                                                           | غير محقق   | 0.5556       | 76.21        | 1.2701 | محقق                                                                             | 0.5556       | 27.30        | SE-R-46%    |  |

الجدول (9-10): الانتقالات في البلاطات الداخلية وذات الفتحات الكبيرة غير المدعمة

| الانتقالات الموافقة لحمولة مسبقا 70% من حمولة الانهيار (45kn/m2) |            |              |              | الانتقالات الموافقة للحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m2) |            |              |              |
|------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|---------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|
| %                                                                | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | $\Delta/L\%$ | %                                                                   | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | $\Delta/L\%$ |
| -----                                                            | غير محقق   | 0.9092       | 54.55        | -----                                                               | محقق       | 0.3220       | 19.32        |
| 9.78                                                             | غير محقق   | 0.8202       | 49.21        | 0.1850                                                              | محقق       | 0.1850       | 11.10        |
| 5.46                                                             | غير محقق   | 0.8595       | 51.57        | 0.1922                                                              | محقق       | 0.1922       | 11.53        |
| 8.18                                                             | غير محقق   | 0.8348       | 50.09        | 0.1904                                                              | محقق       | 0.1904       | 11.42        |
| 9.71                                                             | غير محقق   | 0.8209       | 49.25        | 0.1898                                                              | محقق       | 0.1898       | 11.39        |
| 9.80                                                             | غير محقق   | 0.8201       | 49.21        | 0.1880                                                              | محقق       | 0.1880       | 11.28        |
| 19.74                                                            | غير محقق   | 0.7297       | 43.78        | 0.2065                                                              | محقق       | 0.2065       | 12.39        |
| 8.90                                                             | غير محقق   | 0.8283       | 49.70        | 0.2133                                                              | محقق       | 0.2133       | 12.80        |
| 9.77                                                             | غير محقق   | 0.8203       | 49.22        | 0.2182                                                              | محقق       | 0.2182       | 13.09        |
| 7.53                                                             | غير محقق   | 0.8407       | 50.44        | 0.2234                                                              | محقق       | 0.2234       | 13.40        |
| 0.74                                                             | غير محقق   | 0.9024       | 54.15        | 0.2250                                                              | محقق       | 0.2250       | 13.50        |

-نستنتج من الجداول السابقة:

- أدى إحداث الفتحات الكبيرة في البلاطات ذات المجاز الواحد والمجازين والبلاطات الركنية والطرفية ذات الفتحات الكبيرة غير المدعمة لزيادة الانتقالات فقط في النماذج ذات الفتحات الطرفية.
- لم يؤد إحداث الفتحات الكبيرة في البلاطات ذات الفتحات الداخلية غير المدعمة لزيادة الانتقالات
- إن إحداث الفتحات الكبيرة في البلاطات أدى لتجاوز قيم الانتقالات قيم الحدود المسموحة من أجل الحمولة  $16.1\text{KN/m}^2$  وهي الحمولة المسببة للسهم المسموح في البلاطة بدون فتحة.

## 3.1.5. قيم الانتقالات للبلاطات ذات الفتحات الصغيرة المدعمة بالصفائح الكربونية CFRP

الجدول (9-11): الانتقالات في البلاطات ذات المجاز الواحد وذات الفتحات الصغيرة المدعمة بصفائح CFRP

| الانتقالات الموافقة لحمولة مسبقا 70% من حمولة الانهيار (45kn/m2) |            |              |              | الانتقالات الموافقة للحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m2) |            |              |              |
|------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|---------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|
| %                                                                | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | $\Delta/L\%$ | %                                                                   | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | $\Delta/L\%$ |
| -----                                                            | غير محقق   | 1.5558       | 93.35        | -----                                                               | محقق       | 0.5556       | 33.39        |
| 70.66                                                            | محقق       | 0.3977       | 23.86        | 0.1560                                                              | محقق       | 0.1560       | 9.36         |
| 70.66                                                            | محقق       | 0.3998       | 23.99        | 0.1572                                                              | محقق       | 0.1572       | 9.43         |
| 70.67                                                            | محقق       | 0.4015       | 24.09        | 0.1582                                                              | محقق       | 0.1582       | 9.49         |
| 70.66                                                            | محقق       | 0.4020       | 24.12        | 0.1588                                                              | محقق       | 0.1588       | 9.53         |
| 70.57                                                            | محقق       | 0.4022       | 24.13        | 0.1587                                                              | محقق       | 0.1587       | 9.52         |
| 75.36                                                            | محقق       | 0.4253       | 25.52        | 0.1544                                                              | محقق       | 0.1544       | 9.26         |
| 76.15                                                            | محقق       | 0.4388       | 26.33        | 0.1547                                                              | محقق       | 0.1547       | 9.28         |
| 77.14                                                            | محقق       | 0.4515       | 27.09        | 0.1558                                                              | محقق       | 0.1558       | 9.35         |
| 78.41                                                            | محقق       | 0.4618       | 27.71        | 0.1587                                                              | محقق       | 0.1587       | 9.52         |
| 78.79                                                            | محقق       | 0.4578       | 27.47        | 0.1673                                                              | محقق       | 0.1673       | 10.04        |

الجدول (9-12): الانتقالات في البلاطات ذات المجازين وذات الفتحات الصغيرة المدعمة بصفائح CFRP

| الانتقالات الموافقة لحمولة مسبقا 70% من حمولة الانهيار (45kn/m2) |            |              |              | الانتقالات الموافقة للحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m2) |            |              |              |
|------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|---------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|
| %                                                                | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | $\Delta/L\%$ | %                                                                   | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | $\Delta/L\%$ |
| -----                                                            | غير محقق   | 1.5558       | 93.35        | -----                                                               | محقق       | 0.5556       | 33.39        |
| 70.66                                                            | محقق       | 0.3977       | 23.86        | 0.1560                                                              | محقق       | 0.1560       | 9.36         |
| 70.66                                                            | محقق       | 0.3998       | 23.99        | 0.1572                                                              | محقق       | 0.1572       | 9.43         |
| 70.67                                                            | محقق       | 0.4015       | 24.09        | 0.1582                                                              | محقق       | 0.1582       | 9.49         |
| 70.66                                                            | محقق       | 0.4020       | 24.12        | 0.1588                                                              | محقق       | 0.1588       | 9.53         |
| 70.57                                                            | محقق       | 0.4022       | 24.13        | 0.1587                                                              | محقق       | 0.1587       | 9.52         |
| 75.36                                                            | محقق       | 0.4253       | 25.52        | 0.1544                                                              | محقق       | 0.1544       | 9.26         |
| 76.15                                                            | محقق       | 0.4388       | 26.33        | 0.1547                                                              | محقق       | 0.1547       | 9.28         |
| 77.14                                                            | محقق       | 0.4515       | 27.09        | 0.1558                                                              | محقق       | 0.1558       | 9.35         |
| 78.41                                                            | محقق       | 0.4618       | 27.71        | 0.1587                                                              | محقق       | 0.1587       | 9.52         |
| 78.79                                                            | محقق       | 0.4578       | 27.47        | 0.1673                                                              | محقق       | 0.1673       | 10.04        |

الجدول (9-13): الانتقالات في البلاطات الركنية وذات الفتحات الصغيرة المدعمة بصفائح CFRP

| الانتقالات الموافقة لحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m <sup>2</sup> ) |              |              |            | الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m <sup>2</sup> ) |              |              |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|------------|
| اسم النموذج                                                                     | $\Delta(mm)$ | $\Delta/L\%$ | حالة السهم | %                                                                               | $\Delta(mm)$ | $\Delta/L\%$ | حالة السهم |
| S-C-REF                                                                         | 26.39        | 0.4398       | محقق       | -----                                                                           | 74.46        | 1.2410       | غير محقق   |
| SC-M-8%-CFRP                                                                    | 7.56         | 0.1261       | محقق       | 70.92                                                                           | 21.16        | 0.3527       | 70.91      |
| SC-M-12.5%-CFRP                                                                 | 7.61         | 0.1269       | محقق       | 70.89                                                                           | 21.26        | 0.3544       | 70.92      |
| SC-M-16.67%-CFRP                                                                | 7.59         | 0.1265       | محقق       | 71.10                                                                           | 21.21        | 0.3535       | 71.13      |
| SC-M-20.8%-CFRP                                                                 | 7.57         | 0.1262       | محقق       | 71.21                                                                           | 21.14        | 0.3523       | 71.25      |
| SC-M-25%-CFRP                                                                   | 7.57         | 0.1262       | محقق       | 71.20                                                                           | 21.15        | 0.3526       | 71.12      |
| SC-R-8%-CFRP                                                                    | 7.43         | 0.1238       | محقق       | 71.86                                                                           | 20.76        | 0.3459       | 71.89      |
| SC-R-12.5%-CFRP                                                                 | 7.41         | 0.1236       | محقق       | 71.33                                                                           | 20.72        | 0.3453       | 71.34      |
| SC-R-16.67%-CFRP                                                                | 7.48         | 0.1247       | محقق       | 71.29                                                                           | 20.93        | 0.3489       | 71.29      |
| SC-R-20.8%-CFRP                                                                 | 7.63         | 0.1272       | محقق       | 71.51                                                                           | 21.38        | 0.3563       | 71.46      |
| SC-R-25%-CFRP                                                                   | 7.97         | 0.1329       | محقق       | 71.70                                                                           | 22.28        | 0.3713       | 71.70      |

الجدول (9-14): الانتقالات في البلاطات الطرفية وذات الفتحات الصغيرة المدعمة بصفائح CFRP

| الانتقالات الموافقة لحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m <sup>2</sup> ) |              |              |            | الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m <sup>2</sup> ) |              |              |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|------------|
| اسم النموذج                                                                     | $\Delta(mm)$ | $\Delta/L\%$ | حالة السهم | %                                                                               | $\Delta(mm)$ | $\Delta/L\%$ | حالة السهم |
| S-E-REF                                                                         | 23.00        | 0.3833       | محقق       | -----                                                                           | 65.80        | 1.0967       | غير محقق   |
| SE-M-8%-CFRP                                                                    | 6.53         | 0.1089       | محقق       | 71.44                                                                           | 18.27        | 0.3045       | 71.44      |
| SE-M-12.5%-CFRP                                                                 | 6.55         | 0.1092       | محقق       | 71.97                                                                           | 18.30        | 0.3050       | 71.99      |
| SE-M-16.67%-CFRP                                                                | 6.52         | 0.1086       | محقق       | 72.13                                                                           | 18.21        | 0.3035       | 72.16      |
| SE-M-20.8%-CFRP                                                                 | 6.39         | 0.1065       | محقق       | 72.57                                                                           | 17.85        | 0.2975       | 72.61      |
| SE-M-25%-CFRP                                                                   | 6.46         | 0.1076       | محقق       | 72.11                                                                           | 18.04        | 0.3007       | 72.03      |
| SE-R-8%-CFRP                                                                    | 6.41         | 0.1069       | محقق       | 72.46                                                                           | 17.92        | 0.2987       | 72.49      |
| SE-R-12.5%-CFRP                                                                 | 6.41         | 0.1068       | محقق       | 72.37                                                                           | 17.90        | 0.2984       | 72.39      |
| SE-R-16.67%-CFRP                                                                | 6.44         | 0.1073       | محقق       | 72.43                                                                           | 18.01        | 0.3001       | 72.44      |
| SE-R-20.8%-CFRP                                                                 | 6.50         | 0.1083       | محقق       | 72.74                                                                           | 18.19        | 0.3032       | 72.70      |
| SE-R-25%-CFRP                                                                   | 6.64         | 0.1106       | محقق       | 73.10                                                                           | 18.54        | 0.3090       | 73.10      |

الجدول (9-15): الانتقالات في البلاطات الداخلية وذات الفتحات الصغيرة المدعمة بصفائح CFRP

| الانتقالات الموافقة لحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m <sup>2</sup> ) |              |              |            | الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m <sup>2</sup> ) |              |              |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|------------|
| اسم النموذج                                                                     | $\Delta(mm)$ | $\Delta/L\%$ | حالة السهم | %                                                                               | $\Delta(mm)$ | $\Delta/L\%$ | حالة السهم |
| S-M-REF                                                                         | 19.32        | 0.3220       | محقق       | -----                                                                           | 54.55        | 0.9092       | غير محقق   |
| SM-M-8%-CFRP                                                                    | 4.86         | 0.0810       | محقق       | 74.97                                                                           | 13.59        | 0.2265       | 74.97      |
| SM-M-12.5%-CFRP                                                                 | 4.87         | 0.0811       | محقق       | 75.37                                                                           | 13.59        | 0.2266       | 75.39      |
| SM-M-16.67%-CFRP                                                                | 4.82         | 0.0803       | محقق       | 75.60                                                                           | 13.46        | 0.2243       | 75.62      |
| SM-M-20.8%-CFRP                                                                 | 4.77         | 0.0795       | محقق       | 75.75                                                                           | 13.32        | 0.2219       | 75.78      |
| SM-M-25%-CFRP                                                                   | 4.72         | 0.0786       | محقق       | 75.88                                                                           | 13.18        | 0.2197       | 75.81      |
| SM-R-8%-CFRP                                                                    | 4.82         | 0.0804       | محقق       | 75.82                                                                           | 13.47        | 0.2245       | 75.85      |
| SM-R-12.5%-CFRP                                                                 | 4.81         | 0.0802       | محقق       | 75.77                                                                           | 13.45        | 0.2241       | 75.78      |
| SM-R-16.67%-CFRP                                                                | 4.81         | 0.0802       | محقق       | 75.80                                                                           | 13.46        | 0.2244       | 75.80      |
| SM-R-20.8%-CFRP                                                                 | 4.81         | 0.0802       | محقق       | 75.99                                                                           | 13.47        | 0.2244       | 75.95      |
| SM-R-25%-CFRP                                                                   | 4.83         | 0.0805       | محقق       | 76.23                                                                           | 13.50        | 0.2250       | 76.23      |

كما سبق ومن خلال دراسة النماذج ذات الفتحات الصغيرة والكبيرة تبين أن:

- نلاحظ أن التدعيم بصفائح CFRP بالنسبة للفتحات الصغيرة أعطى فعالية تدعيم جيدة، حيث انخفضت الانتقالات في النقطة المرجعية وسط البلاطة بمقدار (76.2%) في النموذج (SM-R-25%-CFRP)
- إن قيمة الانتقال للبلاطات ذات الفتحات الصغيرة والمدعمة بصفائح CFRP نقل بزيادة استمرارية البلاطات، ففي البلاطة ذات المجاز البسيط كانت قيمة الانتقال (L/191=31.75mm)، أما بالبلاطة ذات المجاز المستمر من طرف فكانت (L/237=25.34mm)، بينما بالبلاطات الداخلية المستمر من طرفين ومن جهتين (L/441=13.59mm).

#### 4.1.5. قيم الانتقالات للبلاطات ذات الفتحات الكبيرة المدعمة بالصفائح الكربونية CFRP

الجدول (9-16): الانتقالات في البلاطات ذات المجاز البسيط وذات الفتحات الكبيرة المدعمة بصفائح CFRP

| الانتقالات الموافقة للحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m <sup>2</sup> ) |       |        |              |            | الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m <sup>2</sup> ) |       |        |              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------|------------|
| اسم النموذج                                                                      | Δ(mm) | Δ/L%   | Δ/L% المسموح | حالة السهم | %                                                                               | Δ(mm) | Δ/L%   | Δ/L% المسموح | حالة السهم |
| S-O-REF                                                                          | 33.39 | 0.5556 | 0.5556       | محقق       | -----                                                                           | 93.35 | 1.5558 | 0.5556       | غير محقق   |
| S0-M-29%-CFRP                                                                    | 9.48  | 0.1580 |              | محقق       | 72.19                                                                           | 26.48 | 0.4413 |              | محقق       |
| S0-M-33.3%-CFRP                                                                  | 9.41  | 0.1568 |              | محقق       | 71.61                                                                           | 26.29 | 0.4382 |              | محقق       |
| S0-M-37.5%-CFRP                                                                  | 9.33  | 0.1554 |              | محقق       | 71.87                                                                           | 26.05 | 0.4342 |              | محقق       |
| S0-M-41.67%-CFRP                                                                 | 9.24  | 0.1541 |              | محقق       | 72.27                                                                           | 25.82 | 0.4303 |              | محقق       |
| S0-M-46%-CFRP                                                                    | 9.16  | 0.1527 |              | محقق       | 72.87                                                                           | 25.58 | 0.4263 |              | محقق       |
| S0-R-29%-CFRP                                                                    | 10.20 | 0.1700 |              | محقق       | 71.51                                                                           | 28.43 | 0.4738 |              | محقق       |
| S0-R-33.3%-CFRP                                                                  | 10.68 | 0.1780 |              | محقق       | 72.98                                                                           | 29.66 | 0.4943 |              | محقق       |
| S0-R-37.5%-CFRP                                                                  | 11.19 | 0.1865 |              | محقق       | 73.65                                                                           | 30.94 | 0.5157 |              | محقق       |
| S0-R-41.67%-CFRP                                                                 | 11.53 | 0.1922 |              | محقق       | 74.95                                                                           | 31.75 | 0.5291 |              | محقق       |
| S0-R-46%-CFRP                                                                    | 11.33 | 0.1888 |              | محقق       | 75.60                                                                           | 31.20 | 0.5200 |              | محقق       |

الجدول (9-17): الانتقالات في البلاطات ذات المجازين وذات الفتحات الكبيرة المدعمة بصفائح CFRP

| الانتقالات الموافقة للحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m <sup>2</sup> ) |       |        |              |            | الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m <sup>2</sup> ) |       |        |              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------|------------|
| اسم النموذج                                                                      | Δ(mm) | Δ/L%   | Δ/L% المسموح | حالة السهم | %                                                                               | Δ(mm) | Δ/L%   | Δ/L% المسموح | حالة السهم |
| S-1-REF                                                                          | 29.71 | 0.4952 | 0.5556       | محقق       | -----                                                                           | 83.05 | 1.3842 | 0.5556       | غير محقق   |
| S1-M-29%-CFRP                                                                    | 8.48  | 0.1413 |              | محقق       | 75.08                                                                           | 23.69 | 0.3948 |              | محقق       |
| S1-M-33.3%-CFRP                                                                  | 8.38  | 0.1396 |              | محقق       | 70.95                                                                           | 23.40 | 0.3900 |              | محقق       |
| S1-M-37.5%-CFRP                                                                  | 8.26  | 0.1377 |              | محقق       | 71.20                                                                           | 23.07 | 0.3845 |              | محقق       |
| S1-M-41.67%-CFRP                                                                 | 8.15  | 0.1358 |              | محقق       | 71.61                                                                           | 22.76 | 0.3794 |              | محقق       |
| S1-M-46%-CFRP                                                                    | 8.06  | 0.1343 |              | محقق       | 72.22                                                                           | 22.47 | 0.3746 |              | محقق       |
| S1-R-29%-CFRP                                                                    | 9.15  | 0.1525 |              | محقق       | 75.78                                                                           | 25.52 | 0.4253 |              | محقق       |
| S1-R-33.3%-CFRP                                                                  | 9.47  | 0.1578 |              | محقق       | 72.26                                                                           | 26.33 | 0.4388 |              | محقق       |
| S1-R-37.5%-CFRP                                                                  | 9.77  | 0.1628 |              | محقق       | 72.88                                                                           | 27.09 | 0.4515 |              | محقق       |
| S1-R-41.67%-CFRP                                                                 | 10.01 | 0.1668 |              | محقق       | 73.61                                                                           | 27.71 | 0.4618 |              | محقق       |
| S1-R-46%-CFRP                                                                    | 9.34  | 0.1557 |              | محقق       | 75.80                                                                           | 27.47 | 0.4578 |              | محقق       |

الجدول (9-18): الانتقالات في البلاطات الركنية وذات الفتحات الكبيرة المدعمة بصفائح CFRP

| الانتقالات الموافقة للحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m <sup>2</sup> ) |       |        |              |            | الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m <sup>2</sup> ) |       |        |              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------|------------|
| اسم النموذج                                                                      | Δ(mm) | Δ/L%   | Δ/L% المسموح | حالة السهم | %                                                                               | Δ(mm) | Δ/L%   | Δ/L% المسموح | حالة السهم |
| S-C-REF                                                                          | 26.39 | 0.4398 | 0.5556       | محقق       | -----                                                                           | 74.46 | 1.2410 | 0.5556       | غير محقق   |
| SC-M-29%-CFRP                                                                    | 7.75  | 0.1291 |              | محقق       | 73.93                                                                           | 21.65 | 0.3608 |              | محقق       |
| SC-M-33.3%-CFRP                                                                  | 7.40  | 0.1234 |              | محقق       | 70.88                                                                           | 20.68 | 0.3446 |              | محقق       |
| SC-M-37.5%-CFRP                                                                  | 7.20  | 0.1200 |              | محقق       | 70.82                                                                           | 20.11 | 0.3352 |              | محقق       |
| SC-M-41.67%-CFRP                                                                 | 6.99  | 0.1165 |              | محقق       | 71.11                                                                           | 19.52 | 0.3253 |              | محقق       |
| SC-M-46%-CFRP                                                                    | 6.80  | 0.1134 |              | محقق       | 72.05                                                                           | 18.97 | 0.3162 |              | محقق       |
| SC-R-29%-CFRP                                                                    | 8.36  | 0.1393 |              | محقق       | 71.96                                                                           | 23.30 | 0.3883 |              | محقق       |
| SC-R-33.3%-CFRP                                                                  | 8.55  | 0.1425 |              | محقق       | 75.84                                                                           | 23.78 | 0.3963 |              | محقق       |
| SC-R-37.5%-CFRP                                                                  | 8.71  | 0.1451 |              | محقق       | 73.13                                                                           | 24.15 | 0.4025 |              | محقق       |
| SC-R-41.67%-CFRP                                                                 | 8.85  | 0.1476 |              | محقق       | 72.69                                                                           | 24.51 | 0.4085 |              | محقق       |
| SC-R-46%-CFRP                                                                    | 8.19  | 0.1365 |              | محقق       | 77.61                                                                           | 24.09 | 0.4016 |              | محقق       |

الجدول (9-19): الانتقالات في البلاطات الطرفية وذات الفتحات الكبيرة المدعمة بصفائح CFRP

| الانتقالات الموافقة للحمولة المسببة للانتقال المسموح به (16.1kn/m <sup>2</sup> ) |       |        |              |            | الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m <sup>2</sup> ) |       |        |              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------|------------|
| اسم النموذج                                                                      | Δ(mm) | Δ/L%   | Δ/L% المسموح | حالة السهم | %                                                                               | Δ(mm) | Δ/L%   | Δ/L% المسموح | حالة السهم |
| S-E-REF                                                                          | 23.00 | 0.3833 | 0.5556       | محقق       | -----                                                                           | 65.80 | 1.0967 | 0.5556       | غير محقق   |
| SE-M-29%-CFRP                                                                    | 6.26  | 0.1043 |              | محقق       | 75.60                                                                           | 17.49 | 0.2915 |              | محقق       |
| SE-M-33.3%-CFRP                                                                  | 5.84  | 0.0973 |              | محقق       | 73.05                                                                           | 16.30 | 0.2717 |              | محقق       |
| SE-M-37.5%-CFRP                                                                  | 5.81  | 0.0969 |              | محقق       | 72.07                                                                           | 16.24 | 0.2707 |              | محقق       |
| SE-M-41.67%-CFRP                                                                 | 5.62  | 0.0936 |              | محقق       | 72.32                                                                           | 15.69 | 0.2614 |              | محقق       |
| SE-M-46%-CFRP                                                                    | 5.41  | 0.0902 |              | محقق       | 73.33                                                                           | 15.10 | 0.2516 |              | محقق       |
| SE-R-29%-CFRP                                                                    | 6.83  | 0.1138 |              | محقق       | 73.09                                                                           | 19.03 | 0.3172 |              | محقق       |
| SE-R-33.3%-CFRP                                                                  | 6.87  | 0.1144 |              | محقق       | 75.62                                                                           | 19.09 | 0.3181 |              | محقق       |
| SE-R-37.5%-CFRP                                                                  | 6.89  | 0.1148 |              | محقق       | 73.18                                                                           | 19.10 | 0.3183 |              | محقق       |
| SE-R-41.67%-CFRP                                                                 | 7.01  | 0.1168 |              | محقق       | 74.93                                                                           | 19.40 | 0.3233 |              | محقق       |
| SE-R-46%-CFRP                                                                    | 7.09  | 0.1182 |              | محقق       | 74.02                                                                           | 20.86 | 0.3477 |              | محقق       |

الجدول (9-20): الانتقالات في البلاطات الداخلية وذات الفتحات الكبيرة المدعمة بصفائح CFRP

| الانتقالات الموافقة لحمولة مقدارها 70% من حمولة الانهيار (45kn/m2) |            |              |              |              |      | الانتقالات الموافقة للمسيبة للانتقال المسموح به (16.1kn/m2) |              |                  |              |             |  |
|--------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|------|-------------------------------------------------------------|--------------|------------------|--------------|-------------|--|
| %                                                                  | حالة السهم | $\Delta/L\%$ | $\Delta/L\%$ | $\Delta(mm)$ | %    | حالة السهم                                                  | $\Delta/L\%$ | $\Delta/L\%$     | $\Delta(mm)$ | اسم النموذج |  |
| -----                                                              | غير محقق   | 0.9092       | 54.55        | -----        | محقق | 0.3220                                                      | 19.32        | S-M-REF          |              |             |  |
| 73.70                                                              | محقق       | 0.2157       | 12.94        | 58.27        | محقق | 0.0772                                                      | 4.63         | SM-M-29%-CFRP    |              |             |  |
| 76.60                                                              | محقق       | 0.2011       | 12.07        | 62.54        | محقق | 0.0720                                                      | 4.32         | SM-M-33.3%-CFRP  |              |             |  |
| 77.41                                                              | محقق       | 0.1886       | 11.32        | 64.52        | محقق | 0.0675                                                      | 4.05         | SM-M-37.5%-CFRP  |              |             |  |
| 77.63                                                              | محقق       | 0.1836       | 11.02        | 65.36        | محقق | 0.0657                                                      | 3.94         | SM-M-4M.67%-CFRP |              |             |  |
| 78.20                                                              | محقق       | 0.1788       | 10.73        | 65.92        | محقق | 0.0641                                                      | 3.84         | SM-M-46%-CFRP    |              |             |  |
| 71.62                                                              | محقق       | 0.2071       | 12.42        | 64.04        | محقق | 0.0743                                                      | 4.46         | SM-R-29%-CFRP    |              |             |  |
| 76.19                                                              | محقق       | 0.1972       | 11.83        | 66.75        | محقق | 0.0709                                                      | 4.26         | SM-R-33.3%-CFRP  |              |             |  |
| 76.43                                                              | محقق       | 0.1933       | 11.60        | 68.05        | محقق | 0.0697                                                      | 4.18         | SM-R-37.5%-CFRP  |              |             |  |
| 77.65                                                              | محقق       | 0.1879       | 11.27        | 69.62        | محقق | 0.0679                                                      | 4.07         | SM-R-4M.67%-CFRP |              |             |  |
| 78.13                                                              | محقق       | 0.1973       | 11.84        | 70.18        | محقق | 0.0671                                                      | 4.03         | SM-R-46%-CFRP    |              |             |  |

- إن التدعيم بالصفائح الفولاذية STEEL PLATES بالنسبة للفتحات الصغيرة أعطى فعالية تدعيم جيدة، حيث انخفضت الانتقالات في النقطة المرجعية وسط البلاطة بمقدار 76.1% في النموذج (SM-R-25%-STEEL).
- وإن انتقال البلاطات بالفتحات الصغيرة المدعمة بالصفائح الفولاذية STEEL PLATES تقل بزيادة استمرارية البلاطات، ففي البلاطة ذات المجاز البسيط كانت قيمة الانتقال  $(L/219=27.35mm)$  ، وفي البلاطة ذات المجاز المستمر من طرف فكانت  $(L/237=25.34mm)$  ، بينما بالبلاطات الداخلية المستمر من طرفين ومن جهتين  $(L/443=13.55mm)$ .
- وكان التدعيم بصفائح CFRP التي بسماكة (0.12mm) وبمقاومة (3100 Mpa) وبالصفائح الفولاذية Steel Plates التي سماكتها (3mm) وبمقاومة (400 Mpa) بالنسبة للفتحات الصغيرة أعطت نفس الفعالية تقريباً، ففي البلاطات ذات المجاز زادت من مقاومة البلاطة بمقدار 72% ، وللبلاطة ذات المجازين كان التدعيم قد استعاد مقاومة للبلاطة بمقدار 71% ، وبالبلاطة ركنية بمقدار 72.5% ، أما بالبلاطة الطرفية أعاد بمقدار 73% ، بينما بالبلاطات الداخلية فإن التدعيم أعاد مقاومتها بحوالي 76%.

## 16. النتائج والتوصيات

### 1.16. النتائج

تختلف فعالية التدعيم في الحد من التشققات وتقليل السهوم واستعادة المقاومة الأصلية للبلاطة باختلاف استمرارية البلاطة وحسب أبعاد الفتحة ومكانها ونموذج التدعيم ، وقد تم التوصل إلى النتائج التالية:

- 1- أدى إحداث فتحات كبيرة في البلاطات لتجاوز قيم الانتقالات الحدود المسموحة من أجل حمولة  $16.1 \text{ kN/m}^2$  وهي حمولة مسببة للسهم المسموح في البلاطات بدون فتحة، وبقيت الانتقالات ضمن الحدود المسموحة لنفس الحمولة في الفتحات الصغيرة.
- 2- إن إحداث فتحة طرفية صغيرة أدى لزيادة الانتقال وتجاوز القيم المسموحة عند الحمولة  $70\%$  من حمولة الانهيار بقيمة  $5.4\%$  للنموذج (SC-R-25%) أن إحداث فتحة طرفية كبيرة أدى لزيادة بالانتقال بقيمة  $27.9\%$  في النموذج (S0-R-41.67%) عند حمولة  $70\%$  من حمولة الانهيار.
- 3- كان لموقع الفتحة أثر على قيم الانتقالات في النماذج، ويكون لموقع الفتحة أثر أكبر على الانتقالات بازدياد أبعاد الفتحة (فتحة كبيرة).
- 4- أدى تدعيم كافة النماذج بصفائح CFRP التي بسمكة  $(0.12 \text{ mm})$  وبمقاومة  $(3100 \text{ Mpa})$  ولكافة البلاطات ذات الفتحات إلى انخفاض قيم الانتقال في النقطة المرجعية إلى قيمة أقل من القيمة المسموحة للانتقال  $(L/180=33.3)$ ، وبفعالية متقاربة وفق نموذج التدعيم حول كافة حواف الفتحة.
- 5- أدى التدعيم بصفائح CFRP إلى فعالية تدعيم جيدة، فبلغت قيمتها الأعظمية بانخفاض الانتقالات بمقدار  $78.2\%$  للنموذج (SM-R-46%-CFRP).
- 6- تنخفض انتقالات البلاطات ذات الفتحات الصغيرة والكبيرة والمدعمة بـ CFRP بازدياد استمرارية البلاطة.
- 7- أدى التدعيم بصفائح CFRP للبلاطات ذات الفتحات الصغيرة إلى فعالية متقاربة.

## 2.16. التوصيات

لابد من متابعة البحث بهدف دراسة السلوك الإنشائي للبلاطات مع فتحة في حالات أخرى مثل حالة الفتحة ذات الشكل الدائري وغيرها، أو بشكل التدعيم بقضبان تسليح فولاذية وغيرها، أو بتغيير موقع البلاطة أو موقع الفتحة.

## المراجع

- [1] F. W. Hafez, "Strengthening of R.C. flat slabs with cut-out edge openings," M.Sc. thesis, Faculty of Engineering, Cairo University, 2019.
- [2] H. K. Shehab, A. S. Eisa, and K. A. El-Awady, "Strengthening of cutouts in existing one-way spanning R.C. flat slabs using CFRP sheets," *Int. J. Concr. Struct. Mater.*, vol. 11, no. 2, pp. 327–341, Jun. 2017, doi: 10.1007/s40069-017-0186-7.
- [3] J. G. MacGregor and J. K. Wight, *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, 5th ed. Pearson Prentice Hall, 2009.
- [4] W. Chen, *Plasticity in Reinforced Concrete*. J. Ross Publishing, 2007.

[5] ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95)*. American Concrete Institute, 1995.

[6] M. H. Ashur, "Nonlinear finite element analysis of RC beams strengthened with steel fiber-reinforced concrete (SFRC) overlays," M.Sc. thesis, Faculty of Engineering, Islamic University of Gaza, 2015.

[7] Computers and Structures, Inc., *SAFE 2016*, ver. 16.0.2, structural analysis and design software, 2017.

[8] Syrian Engineers Syndicate and Syrian Council of Ministers, *Syrian Arab Code for the Design and Implementation of Reinforced Concrete Structures*, 2018 ed., 2018 (in Arabic).