

دراسة تأثير تطويق الأعمدة باستخدام ألياف الكربون على السلوك الزلزالي للإطارات

طالب الدراسات العليا: م. مضر عبيدو كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث

إشراف الدكتورة: تراث غريب

ملخص البحث:

يتضمن البحث دراسة السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية ذات الأعمدة المطوقة باستخدام ألياف الكربون (CFRP) في الأبنية السكنية غير المصممة لمقاومة الزلازل، عن طريق التحليل الستاتيكي اللاخطي (تحليل الدفع المتتالي pushover analyses) للنماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج (Diana).

تمّ في هذا البحث معايرة مجموعة نماذج لدراسات تجريبية مرجعية بغاية الوصول إلى دقة مقبولة في توصيف سلوك المواد المدروسة، ثم تم تصميم نماذج إطارات بيتونية مسلحة اعتماداً على الكود العربي السوري تحت تأثير الأحمال الشاقولية المفترض وجودها في الأبنية السكنية، حيث تمت دراسة النماذج تحت تأثير عدة متغيرات وهي: عدد الطوابق (1-2-3)، عدد الفتحات (1-2)، وعدد لفات ألياف الكربون (1-2-3). أثبتت الدراسة أن تطويق الأعمدة باستخدام ألياف الكربون قادر على تحسين السلوك الزلزالي للإطارات غير المصممة زلزالياً، حيث تزداد فعالية التطويق بازدياد عدد اللفات المستخدمة، كما أنه كلما ازداد عدد الطوابق ازدادت الحاجة لاستخدام عدد أكبر من اللفات للوصول لسلوك مقبول عند المنطقة الزلزالية المدروسة، أما بالنسبة للنماذج ذات الفتحتين فقد كان تطويق أعمدتها ذو فعالية أكبر من النماذج ذات الفتحة الواحدة.

الكلمات المفتاحية: الأعمدة المطوقة، ألياف الكربون، السلوك الزلزالي.

The effect of column confinement using CFRP upon the seismic behaviour of frames

Eng.MODAR ABEDOW

Dr.Eng.TURATH GHAREEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

This research includes an analytical study using nonlinear static analysis (Pushover), to evaluate the seismic performance of the old-designed frames (without seismic considerations) after confining their columns using CFRP sheets.

Several experiments were modelled and verified using (DIANA) software, in order to achieve acceptable accuracy in describing the behaviour of the studied materials, and then, 16 non-seismically designed frames with the following parameters: (storey number, bay number, and CFRP sheets number), were analysed using the pushover procedures.

The study showed that the confinement has a significant impact on the seismic behaviour of the models, where the efficiency of the confinement increases by increasing the number of CFRP sheets and the number of bays, however, the higher storey number requires higher number of CFRP sheets to approach the acceptable behaviour.

Key Words: Confined columns, CFRP, seismic behaviour.

1. مقدمة البحث:

الجمال الإنشائية التي تم تصميمها وفق الكودات القديمة على الأحمال الشاقولية فقط بدون الأخذ بعين الاعتبار حمولات الزلازل وما تزال بحالة اشغال وظيفي لابد من تدعيمها للوصول إلى سلوك أفضل عند التعرض للحمولات الزلزالية.

تعتبر ألياف الكربون من المواد التي أصبح من الشائع استخدامها في تدعيم العناصر البيتونية مؤخرًا، وذلك لما تمتلكه من مقاومة عالية على الشد مقارنة بوزنها الحجمي الصغير، إضافة إلى سهولة التعامل معها.

هناك العديد من الدراسات التجريبية والتحليلية التي أجريت بغرض التنبؤ بسلوك الأعمدة البيتونية المطوقة باستخدام ألياف الكربون تحت تأثير الحمولات الشاقولية فقط أو تحت تأثير الحمولات الشاقولية والجانبية معًا، ولكن معظم هذه الدراسات هو على مستوى العنصر كأن تتم دراسة عمود ظفري أو عقدة من إطار، وإن كان هناك من الدراسات التجريبية ما أجري على مستوى الإطار فإنه محدود بالقيود البعدية للمختبر حيث يتم تصغير الإطار المدروس بمقياس معين.

النمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام البرمجيات التي تتبع طريقة العناصر المحدودة توفر الإمكانية للحصول على عدد مقبول من النماذج التي تتيح لنا فرصة دراسة كافة المتغيرات المطلوبة.

منهج البحث هو المنهج التحليلي، حيث تم استخدام برنامج DIANA في التحليل لقدرته على تحليل النماذج ثلاثية الأبعاد إضافة لقدرته على اجراء التحليل اللاخطي للمواد وإدخال اجهادات التماسك بين حديد التسليح والبيتون كما يمكّننا من أخذ تأثير اللاخطية الهندسية أثناء التحليل.

تم تقسيم مراحل البحث إلى أربعة مراحل:

A. الدراسات المرجعية.

B. المعايرة: حيث تم في هذه المرحلة معايرة مجموعة من النماذج التجريبية المرجعية بهدف الوصول إلى نموذج تحليلي ذو معايير مقبولة من حيث الدقة في توصيف الإطارات ذات الأعمدة المطوقة بألياف الكربون.

C. تصميم نماذج الدراسة وتحليلها: حيث تم تصميم مجموعة من النماذج بناءً على الكود العربي السوري ثم تم تحليلها قبل وبعد تطويقها بألياف الكربون حيث أجري تحليل كل نموذج بعد تطويقه بعدد مختلف من اللفات (1,2,3)

D. مناقشة النتائج وتحليلها.

2. هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة تأثير اختلاف عدد لفات التطويق بألياف الكربون باختلاف عدد الطوابق والفتحات للإطارات المصممة على الأحمال الميئة والحية وفق الكود العربي السوري وذلك من خلال إجراء تحليل الدفع المتتالي (Push over analysis).

الدراسة المرجعية:

1. الدراسة المرجعية الأولى: عمود ظفري مستطيل مطوق بألياف الكربون ومعرض لانزياح جانبي دوري وحمولة ضغط محوري:

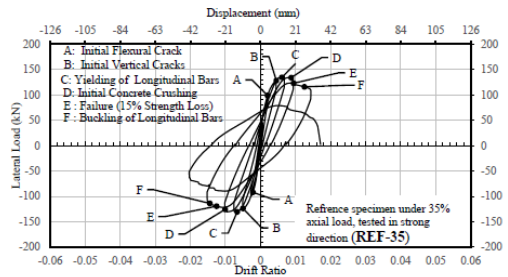
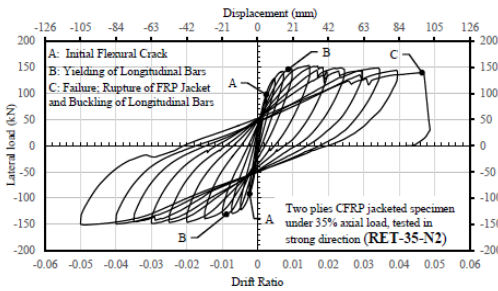
قام الباحثون [5] Cem ،Mustafa Comert ،Hamid Farrokh Ghatte و Demir، و Alper Ilki (2016)، بإجراء اختبار على 5 نماذج من الأعمدة البيتونية

الظفرية المستطيلة الشكل بأبعاد (300x600mm) غير المصممة لمقاومة الزلازل، حيث تمّ تطويق ثلاث عينات بألياف الكربون في منطقة المفصل اللدن.

تمّ اختبار النماذج تحت تأثير ضغط محوري ثابت وانزياح جانبي دوري، حيث تمّ تعريض عينة (مطوقة) لانزياح جانبي باتجاه المحور الضعيف للعمود وعينتين (مطوقتين) باتجاه المحور القوي للعمود أما العينتين المرجعيتين (الغير مطوقتين) فقط تمّ تعريض احدهما لانزياح دوري باتجاه المحور القوي للعمود والأخرى باتجاه المحور الضعيف.

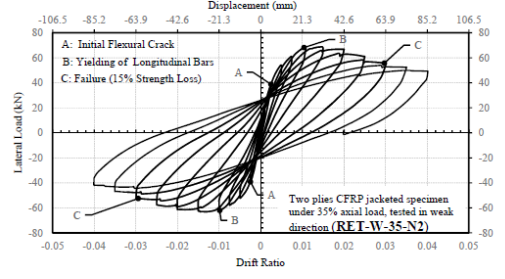
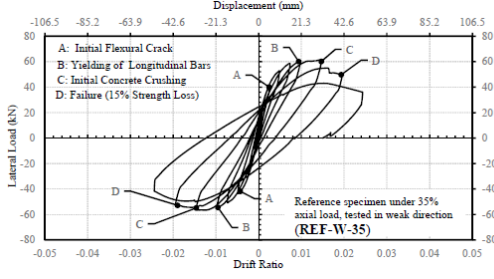
متغيرات الدراسة: اتجاه تطبيق الحمولة الجانبيّة، عدد لفّات ألياف الكربون (1،2).

أظهرت نتائج الدراسة أنّ تقنيّة التطويق بألياف الكربون للعينات ذات الأعمدة المستطيلة المقطع العرضي بنسبة استطالة (2) ذات فاعليّة جيّدة في تحسين المطاوعة وسعة تبديد الطاقة. كما أن العينات المطوقة بلفتين من ألياف الكربون أبدت تحسّناً بالمطاوعة بنسبة 90% بالنسبة للعينات المعرّضة لانزياح جانبي باتجاه المحور القوي و 50% بالنسبة للعينات المعرّضة لانزياح جانبي باتجاه المحور الضعيف، الأشكال (1) و (2) تبيّن المخططات الهستيريّة للعينات المدروسة.



الشكل (1) مخططات (قوة-انزياح) الدورية للعينات المختبرة بالاتجاه القوي (REF-35: غير مطوقة، RET-35-N2: مطوقة بلفتين)

دراسة تأثير تطويق الأعمدة باستخدام ألياف الكربون على السلوك الزلزالي للإطارات



(REF-W-35: غير مطوقة، RET-W-35-N2: مطوقة بلفتين)

ii. الدراسة المرجعية الثانية: إطار بفتحتين وطابقين مطوق بألياف الكربون في مناطق العقد (جائز-عمود) ومعرض لحمولة ضغط محوري على الأعمدة وانزياح جانبي دوري في الجوائز:

قام الباحثون [7] Weihong Chen و Weirong Shou و Zehui Qiao (2019) بإجراء دراسة تجريبية على نموذجين من الإطارات: الأول غير مصمم زلزاليا وغير مطوق والآخر مطابق له بالتفاصيل الانشائية ولكن مطوق في مناطق العقد. النماذج المختبرة ذات عدد طوابق: 2 و ارتفاع طابقي: 1500mm وعدد فتحات: 2، عرض الفتحة: 2000mm.

تمّ تصميم النماذج على اعتبار أنها جزء من إطار بفتحتين وخمس طوابق حيث تمّ تقدير الحمولات الشاقوليّة المنقولة إلى الأعمدة كما يلي: 191.08 KN للعمودين الطرفين و 269.24 KN للعمود الوسطي، وكانت مقاطع الأعمدة المعتمدة هي مقاطع مربعة (200*200) mm بتسليح طولي 8Ø10mm، ومقاطع الجوائز مستطيلة (200*150) mm بتسليح طولي 4Ø10mm.

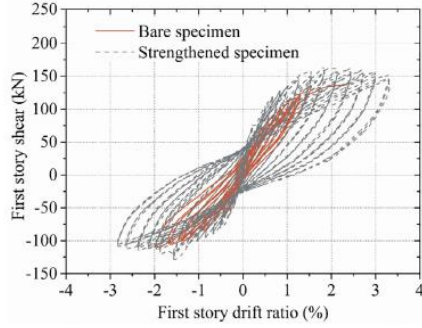
أما بالنسبة لأماكن التطويق في النموذج المطوق فقد تمّ استخدام ألياف الكربون على شكل لفات مطوقة لنهايات الأعمدة والجوائز وعقد اتّصالهم.

تمت التجربة بتطبيق قوة جانبية في مستوي كل طابق كمحاكاة لقوى الطور الديناميكي الأول من الاهتزاز (بشكل مثلث مقلوب)، وتمت مكافأة القوى المنقولة من الطوابق العليا إلى الطابق الثاني باعتبار أن القوة الجانبية تزداد بمقدار $1F$ مع ازدياد عدد الطوابق، مما يؤدي إلى أن القوة المنقولة من الطوابق الثالث والرابع والخامس تساوي $(5F+4F+3F=12F)$ لتصبح نسبة القوة المطبقة على الطابق الثاني إلى القوة المطبقة على الطابق الأول: $14/1$ ، وهذا ما تم اعتماده في نظام الحمولة الجانبية المطبقة بواسطة المكابس الهيدروليكية.

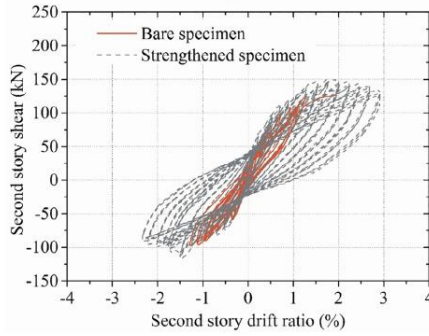
وقد أظهرت نتائج الدراسة ما يلي:

1. الشقوق التي ظهرت بالعينة المطوقة صغيرة عند انزياحات طابقية نسبية كبيرة مقارنة بالشقوق التي ظهرت بالعينة الغير مطوقة عند نفس الانزياحات مما يؤكد على أن التطويق بألياف الكربون يخفف الضرر الناتج عند وصول العناصر إلى المرحلة اللدنة.
2. تأثير التطويق على زيادة الصلابة الجانبية للإطار ضئيل في حين أنه قد زاد قوة القص القاعدي للإطار بنسبة 20%.
3. معاملات تراجع قدرة التحمل للعينة المطوقة كانت قيمها بين 0.949 و 0.991 وهي قريبة من الواحد مما يدل على أن العينة المطوقة تمتلك قدرة تحمل مستقرة.
4. مؤشر اللدونة للعينة المطوقة ازداد بنسبة 14% عن العينة الغير مطوقة.
5. أبدت العينة المطوقة تحسنا واضحا في سعة تبديد الطاقة حيث كانت تساوي 3.1 أضعاف سعة تبديد الطاقة للعينة الغير مطوقة.

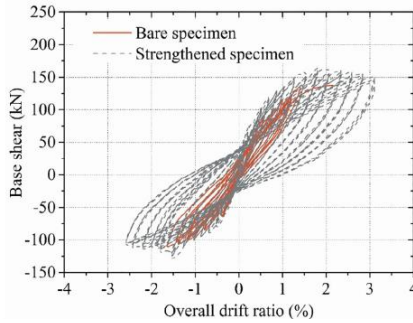
الأشكال (3 و 4 و 5) تبين المخططات الهستيرية على شكل مقارنة بين النموذجين المطوق والغير مطوق.



الشكل (3) مقارنة المخطط الهستيرتي (قوة طابقيّة-انزياح طابقي) عند مستوي الطابق الأول للعينتين المطوّقة والغير مطوّقة



الشكل (4) مقارنة المخطط الهستيرتي (قوة طابقيّة-انزياح طابقي) عند مستوي الطابق الثاني للعينتين المطوّقة والغير مطوّقة



الشكل (5) مقارنة المخطط الهستيرتي (قوة القص القاعدي-انزياح الطابق الثاني) للعينتين المطوّقة والغير مطوّقة

3. مواد وطرق البحث:

3-1 مقدمة:

البرنامج المعتمد في الدراسة هو برنامج DIANA الذي يعتمد طريقة العناصر المحدودة في التحليل كما يتيح امكانية التحليل اللاخطي وذلك من خلال ادخال أثر اللاخطية الفيزيائية والهندسية.

النماذج التي تمت دراستها هي نماذج ثلاثية الأبعاد 3D وذلك للحصول على أكبر دقة ممكنة من خلال مراقبة السلوك اللاخطي لكافة عناصر النموذج، كملاحظة التلدن في قضبان التسليح وانهيار الضغط أو الشد في البيتون وعلاقة التماسك ما بين قضبان التسليح والبيتون المحيط بها وتمزق ألياف الكربون.

الخطوة الأولى في الدراسة التحليلية هي بناء نموذج حاسوبي دقيق باستخدام العلاقات المناسبة لتوصيف سلوك كافة المواد المدروسة في النموذج، ولتحقيق ذلك لابد من التحقق من صحة العلاقات من خلال المقارنة مع نماذج تجريبية موثوقة.

تم في هذا البحث معايرة أربعة نماذج تجريبية من أبحاث مختلفة تشمل عدة حالات: (عمود ظفري مربع، عمود ظفري مستطيل، عقدة طرفية، وإطار).

3-2 العلاقات المستخدمة لتوصيف سلوك المواد:

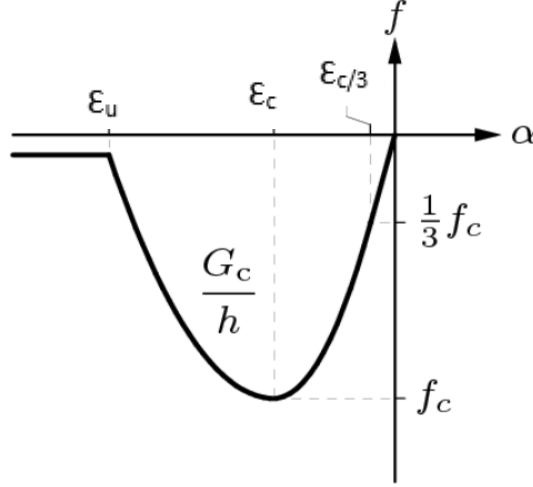
1. سلوك البيتون تحت تأثير اجهاد الضغط:

تم استخدام نموذج [12] parabolic المتوقر في برنامج DIANA، وهو عبارة عن علاقة تعتمد على طاقة الانكسار بالضغط ويعبر عنها بالعلاقة (1) و الشكل (6).

حيث نلاحظ أن المنحني يتكون من ثلاثة أجزاء:

(1) الجزء الأول ينتهي بالوصول إلى ثلث المقاومة الأعظمية للبيتون على الضغط.

- (2) الجزء الثاني ينتهي بالوصول إلى المقاومة الأعظمية للبيتون على الضغط.
 (3) الجزء الثالث يصف سلوك انهيار البيتون على الضغط وهو مرتبط بطاقة الإنكسار.



الشكل (6) منحنى Parabolic النموذجي لسلوك البيتون المضغوط

$$f = \begin{cases} -f_c \frac{1}{3} \frac{\epsilon_j}{\epsilon_{c/3}} & \text{if } \epsilon_{c/3} > \epsilon_j > 0 \\ -f_c \frac{1}{3} \left(1 + 4 \left(\frac{\epsilon_j - \epsilon_{c/3}}{\epsilon_c - \epsilon_{c/3}} \right) - 2 \left(\frac{\epsilon_j - \epsilon_{c/3}}{\epsilon_c - \epsilon_{c/3}} \right)^2 \right) & \text{if } \epsilon_c > \epsilon_j > \epsilon_{c/3} \\ -f_c \left(1 - \left(\frac{\epsilon_j - \epsilon_c}{\epsilon_u - \epsilon_c} \right)^2 \right) & \text{if } \epsilon_u > \epsilon_j > \epsilon_c \\ 0 & \text{if } \epsilon_j > \epsilon_u \end{cases}$$

$$\alpha_{c/3} = \frac{1}{3} \frac{f_c}{E} \quad \alpha_c = \frac{5}{3} \frac{f_c}{E} = 5 \alpha_{c/3} \quad \alpha_u = \alpha_c - \frac{3}{2} \frac{G_c}{h f_c}$$

العلاقة (1) 'الذ' بمنحنى Parabolic النموذجي لسلك البيتون المضغوط

$\epsilon_{c/3}$

ϵ_c

$\epsilon_{c/3}$

ϵ_u

ϵ_c

حيث:

f_c : مقاومة البيتون الاسطوانية على الضغط.

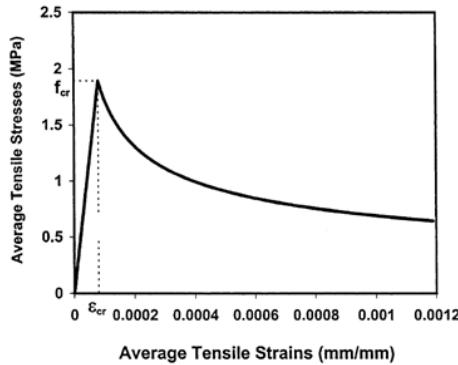
ϵ_c : التّشوه الطولي للبيتون عند الوصول لمقاومة الضغط الأعظمية f_c .

G_c/h : طاقة الانكسار على الضغط تتراوح بين $10-25 \text{ N.mm/mm}^2$.

h : طول العنصر المدروس.

II. سلوك البيتون تحت تأثير اجهاد الشّد:

تمّ استخدام علاقة [10] Belarbi and Hsu 1994 التي تصف سلوك الشّد في البيتون، حيث يتكون منحنى الشّد من قسمين: الأول خطّي صاعد ينتهي بالوصول إلى اجهاد التّشقق في البيتون f_{cr} ، والثاني لاخطي يمثّل التدهور في مقاومة البيتون على الشّد، الشكل (7).



الشكل (7) منحنى Belarbi and Hsu لوصف سلوك الشد في البيتون

$$\sigma_1 = E_c \varepsilon_1 \quad \varepsilon_1 \leq \varepsilon_{cr}$$

$$\sigma_1 = f_{cr} \left(\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_1} \right)^{0.4} \quad \varepsilon_1 > \varepsilon_{cr}$$

$$f_{cr} = (0.31 \sim 0.62) \sqrt{F'c}$$

العلاقة (2) الخاصة بمنحني Belarbi and Hsu لوصف سلوك الشد في البيتون

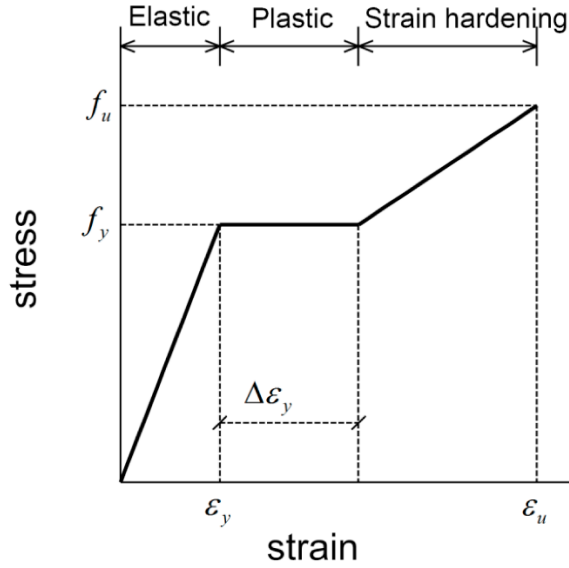
حيث:

f_{cr} : مقاومة الشد الأعظمية للبيتون.

ε_{cr} : التشوه الطولي للبيتون عند التشقق.

III. سلوك فولاذ التسليح:

منحي اجهاد-تشوه الخاص بحديد التسليح يتألف من ثلاثة أجزاء: الأول خطي ويعبر عن مرحلة المرونة، والثاني يعبر عن مرحلة الخضوع حيث يزداد التشوه مع ثبات الاجهاد، أما الجزء الثالث فيعبر عن مرحلة التقسية حيث تزداد الاجهادات مع زيادة التشوهات حتى الوصول الى اجهاد الانهيار وهي مرحلة غير خطية. بشكل عام يمكن أثناء استخدام النمذجة للعناصر المحدود مكافأة هذا المنحني بمنحني مكافئ ثلاثي الخطية [13] Crisfield, M.A حيث يتم التعبير عن المرحلة الثالثة (مرحلة التقسية) بمستقيم يحدّد بنقطتين: الأولى هي نهاية مرحلة الخضوع أما الثانية فهي نقطة بلوغ اجهاد الانهيار، يبين الشكل (8) المنحني المكافئ المستخدم للتعبير عن سلوك قضبان حديد التسليح.



الشكل (8) المنحني المكافئ لوصف سلوك حديد التسليح

حيث:

F_y : اجهاد الخضوع.

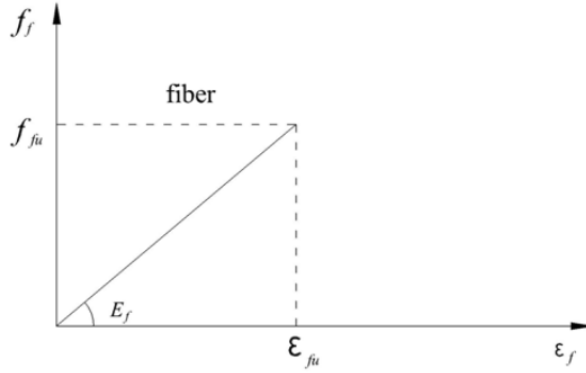
F_u : اجهاد الانقطاع.

ϵ_y : التشوه الطولي عند الخضوع.

ϵ_u : التشوه الطولي النهائي عند الانقطاع.

IV. سلوك ألياف الكربون FRP:

تعتبر ألياف الكربون مادة غير متماثلة الخواص حيث أن معامل المرونة والمقاومة لإجهادات الشد تختلف في الاتجاهين، ويعدّ سلوك ألياف الكربون قسيفاً، حيث أن انهيار الشد يحدث على شكل تمزق لحزمة الألياف عند الوصول إلى اجهاد الشدّ الأعظمي، يبين الشكل (9) سلوك الشد لحزم ألياف الكربون.



الشكل (9) سلوك الشد لألياف الكربون

حيث:

F_{fu} : اجهاد التمزق (الانقطاع).

ϵ_{fu} : التّشوه النهائي عند الانقطاع.

E_f : معامل مرونة ألياف الكربون.

7. سلوك البيتون المطوّق بألياف الكربون:

طوّر الباحثان [2] Fahmy and Wu (2010) علاقة تصف سلوك البيتون المضغوط المطوق بألياف الكربون اعتماداً على حقيقة أن سلوك البيتون المطوق باستخدام أي نوع من ألياف الكربون يجب أن يكون نفسه عندما تكون الصلابة الجانبية لألياف الكربون نفسها، كما أكدا على أن النقطة الأخيرة من منحنى (اجهاد-تشوه) الخاص بالبيتون المطوق تعتمد على سعة التشوه لألياف الكربون المستخدمة.

شملت العلاقة التأثير المشترك للتطويق تحت تأثير ألياف الكربون وحديد التسليح في منطقة النواة (المنطقة البيتونية داخل قضبان التسليح العرضي) مما أعطى توصيف السلوك دقة أكبر في النتائج.

يتكون المنحني من جزئين: الأول من الدرجة الثانية والثاني من الدرجة الأولى، كما قسم الباحثان المقطع العرضي للعمود لمنطقتين:

a. الأولى: منطقة التغطية: وهي المنطقة التي تتعرض لتأثير التطويق بألياف الكربون فقط.

b. الثانية: منطقة النواة: وهي المنطقة المطوّقة بألياف الكربون وحديد التسليح معاً.

الشكل (10) والعلاقة (3) تبيّنان منحنى سلوك البيتون المضغوط المطوق بألياف الكربون.

$$f_c = E_c \varepsilon_c - \frac{(E_c - E_2)^2 \varepsilon_c^2}{4f_o} \quad \text{if } 0 < \varepsilon_c < \varepsilon_{ct}$$

$$f_c = f_o + E_2 \varepsilon_c \quad \text{if } \varepsilon_{ct} < \varepsilon_c < \varepsilon_{cc}$$

$$E_{2,0} = k_e m_2 (245.61 f_{co}^{m_1} + 0.6728 E_l)$$

$$\varepsilon_{ct} = 2f_o / (E_c - E_2) \quad \varepsilon_{cc} = \frac{f_{cc} - f_o}{E_2}$$

$$f_{cc,o} = f_{co} + k_1 f_{l,f} + 4.1 \times f_{ls} \times \left(\frac{A_g}{A_{cc}} \right) + \Delta f_{cc,i}$$

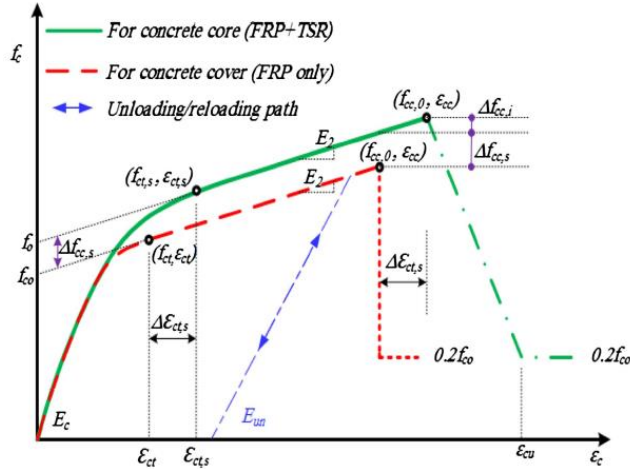
$$\Delta f_{cc,i} = E_2 \varepsilon_{cts} = E_2 (\varepsilon_{cts} - \varepsilon_{ct})$$

$$f_{l,f} = \frac{2t_f f_f}{\sqrt{b^2 + h^2}}$$

$$f_{ls} = K_v \times K_h (0.5 f_y \times \rho_{st})$$

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{cc} + \frac{0.9 \rho_s f_y}{300}$$

العلاقة (3) لوصف منحنى (اجهاد_تشوه) Fahmy and Wu



الشكل (10) منحنى (اجهاد_تشوه) Fahmy and Wu للأعمدة المستطيلة المطوقة بألياف الكربون

حيث:

- f_{cc} : مقاومة الضغط الأعظمية للبيتون المطوق.
- f_{1s} : مقاومة الضغط المكتسبة في بيتون النواة نتيجة تطويق أساور التسليح العرضية.
- f_{1f} : مقاومة الضغط المكتسبة في البيتون نتيجة التطويق بألياف الكربون.
- $E_{2,0}$: ميل الفرع الثاني من مخطط الضغط ويتعلق بمقاومة الضغط للبيتون الغير مطوق
- f_{c0} ، ومعامل مرونة ألياف الكربون E_{1} .
- ϵ_{ct} : التشوه الطولي للبيتون المطوق عند نهاية الفرع الأول.
- ϵ_{cc} : التشوه الطولي للبيتون المطوق عند نهاية الفرع الثاني.
- ϵ_{cu} : التشوه الطولي النهائي لبيتون النواة المطوق بألياف الكربون وأساور التسليح.
- Ke : معامل يدخل تأثير استطالة المقطع العرضي.
- m_1 و m_2 : معاملان لإدخال تأثير نوع البيتون (عالي المقاومة أو عادي المقاومة).
- A_{cc} و A_g : مساحة المقطع الكلية ومساحة مقطع النواة على الترتيب.

K_h و K_v : معاملي ادخال فعالية حديد التسليح في التطويق شاقوليا وأفقيا على الترتيب.

3-3 معايرة النماذج التجريبية:

تم في هذا البحث معايرة 7 نماذج تجريبية من أبحاث مختلفة تشمل الحالات التالية:

1. نموذج عمود ظفري مربع غير مطوّق وغير مصمّم زلزالياً [4] (N4C0A45)
2. نموذج عمود ظفري مستطيل غير مطوّق وغير مصمّم زلزالياً [5] (REF-35)
3. نموذج عمود ظفري مستطيل مطوّق وغير مصمّم زلزالياً [5] (RET-35-N1)
4. نموذج عقدة طرفية غير مصمّمة زلزالياً وغير مطوّقة [6] (ND)
5. نموذج عقدة طرفية غير مصمّمة زلزالياً ومدعّمة باستخدام ألياف الكربون وشرائح الكربون المتموضعة قريباً من السطح [6] (NDSB2)
6. نموذج إطار بفتحتين وطابقين غير مصمّم زلزالياً وغير مطوّق (Bare Specime) [7]
7. نموذج إطار بفتحتين وطابقين غير مصمّم زلزالياً ومطوّق في نهايات الجوائز والأعمدة وعقد اتصالهم: [7] (Strengthened Specimen)

3-3-1 تفاصيل ونتائج المعايرة رقم 5:

نموذج عقدة طرفية غير مصمّمة زلزالياً ومدعّمة باستخدام ألياف الكربون وشرائح الكربون المتموضعة قريباً من السطح [6] (NDSB2) :

• وصف النموذج:

يتألف النموذج من عقدة (عمود-جائز)، مقطع العمود والجائز mm (300*200)، طول الجائز mm (1500)، وارتفاع العمود mm (2100)، الشكل (11).

التسليح الطولي لكل من الجائز والعمود نفسه وهو: 6T16 والتسليح العرضي نفسه أيضا: R6.5/150mm وسماكة طبقة التغطية $t=30\text{mm}$ ماعدا التغطية الجانبية للجائز $t=46\text{mm}$ لتجنب اصطدام تسليح الجائز بتسليح العمود.

تمّ تطويق طرفي العمود في منطقة اتصاله مع الجائز بلفّتين من ألياف الكربون، كما تمّ حفر 4 خنادق (أثلام) بعمق 20mm وعرض 18mm على وجهي العقدة بشكل موازي للجائز وتستمر حتى مسافة 150mm بعيدا عن وجه العمود، الشكل (12).

• خواص المواد المستخدمة:

مقاومة الضغط لعينات البيتون الأسطوانية بعد 28 يوم: $F_c=35.31\text{ Mpa}$.

اجهاد الخضوع لحديد التسليح: الطولي: $F_y=518\text{ Mpa}$ ، العرضي: $F_y=400\text{ Mpa}$

سماكة ألياف الكربون المستخدمة لتطويق العمود: $t=0.334\text{ mm}$ واجهاد الشّد الأعظمي الذي تتحمّله: $F_r=3600\text{ Mpa}$ ، ومعامل المرونة: $E_r=240\text{ Gpa}$.

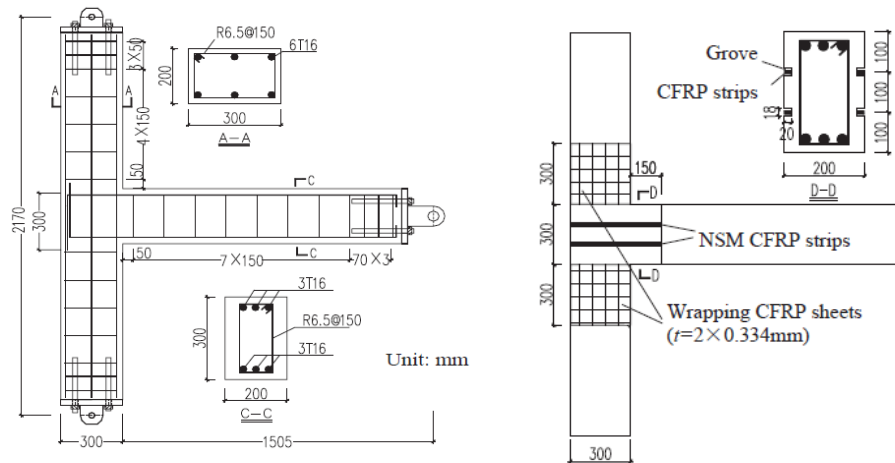
شرائح الكربون المستخدمة ذات سماكة 2mm وعرض 16mm، حيث يتوضّع في كل خندق ثلاث شرائح مكونة قضيب كربون بسماكة 8mm (عرض شرائح الكربون 6mm + سماكة الغراء المحيط بها 2mm).

اجهاد الشّد الأعظمي لشرائح الكربون المتموضعة قريبا من السطح (ضمن الخندق):
 $F_r=2461\text{ Mpa}$ ، ومعامل المرونة لها: $E_r=148\text{ Gpa}$.

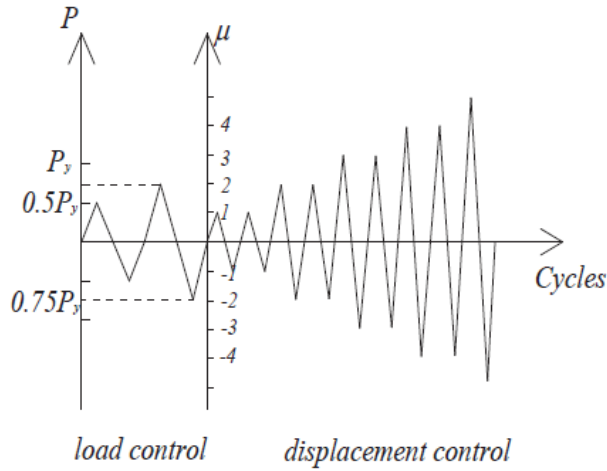
• القوى المطبّقة:

قوة ضغط محوريّة على العمود بنسبة 10% من قدرة تحمّل المقطع البيتوني على الضغط، وهي ثابتة وتساوي: $P=200\text{ KN}$ ، مطبّقة بواسطة مكبس هيدروليكي.

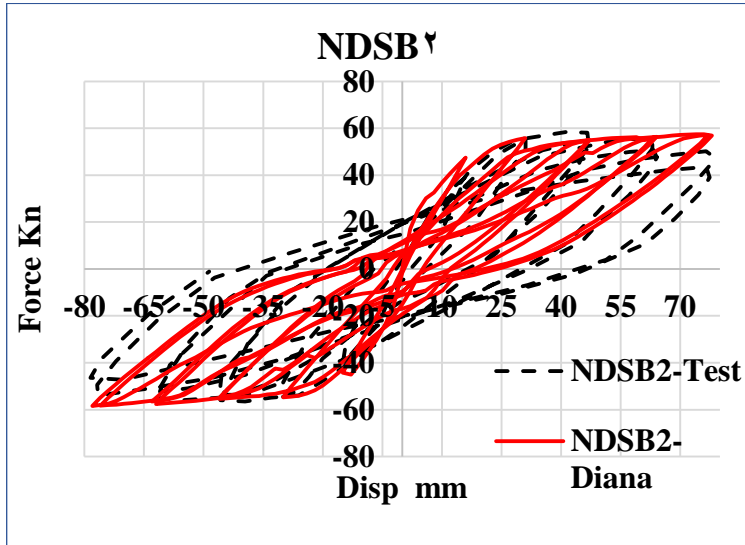
انزياح جانبي دوري مطبق بوساطة مكبس هيدروليكي مثبت على النهاية الحرة للجائز، حيث تمّ اعتماد نظام التحكم بالانزياح بغية تقدير التناقص في مقاومة العينة للقوى الجانبية بعد الوصول إلى ذروة المقاومة، الشكل (12) يظهر نظام الانزياح الدوري المتّبع في التجربة.



الشكل (11) أبعاد وتفاصيل تسليح وتدعيم النموذج NDSB2



الشكل (12) نظام الحمولة الدورية الجانبية المطبقة على النموذج NDSB2



الشكل (13) معايرة مخطط (قوة-انزياح) الدوري للنموذج (NDSB2)

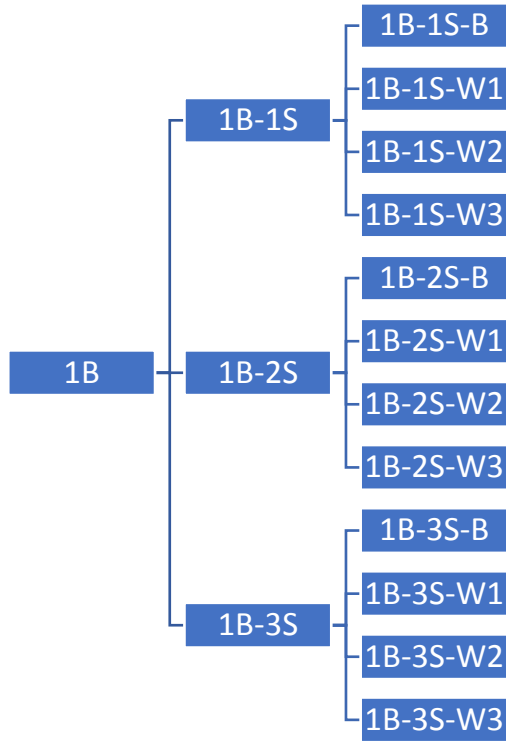
3-3-2 نسب مطابقة المعايرة مع النماذج التجريبية:

يبين الجدول التالي نسب المطابقة بين قوة القص الأعظمية (باتجاه الدفع الموجب) للنموذج التجريبي والتحليلي كنسبة من قيمة القوة في النموذج التجريبي:

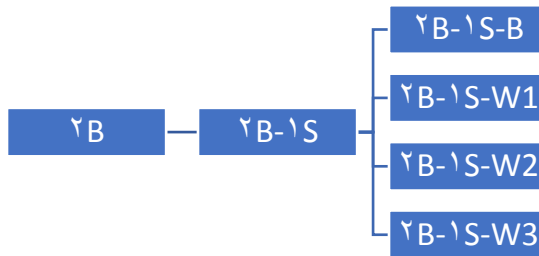
Model	P(DIANA)/P(Test)
N4C0A45	1.05
REF35	0.99
RET35N1	0.99
ND	1.06
NDSB2	0.98
Bare Specimen S2	0.78
Bare Specimen S1	0.77
Bare Specimen Overall	0.76
Strengthened Specimen S2	0.85
Strengthened Specimen S1	0.87
Strengthened Specimen Overall	0.86

3-4 نماذج الدراسة:

تم تقسيم نماذج البحث إلى مجموعتين رئيسيتين: المجموعة الأولى (1B) وهي إطارات بفتحة واحدة مع تغيير عدد الطوابق (1-2-3) وعدد اللفات، والمجموعة الثانية (2B) هي إطارات بفتحتين وطابق واحد مع تغيير عدد اللفات، يبين الشكلان (14) و (15) أسماء وتصنيف النماذج المستخدمة حيث يتكوّن اسم النموذج من ثلاثة حقول، يرمز الحقل الأول إلى عدد الفتحات (B) والحقل الثاني إلى عدد الطوابق (S) والحقل الثالث إلى حالة التدعيم (غير مطوق=B، ومطوق بعدد X من اللفات=Wx).



الشكل (14) أسماء وتصنيف نماذج المجموعة الأولى ذات الإطارات بفتحة الواحدة

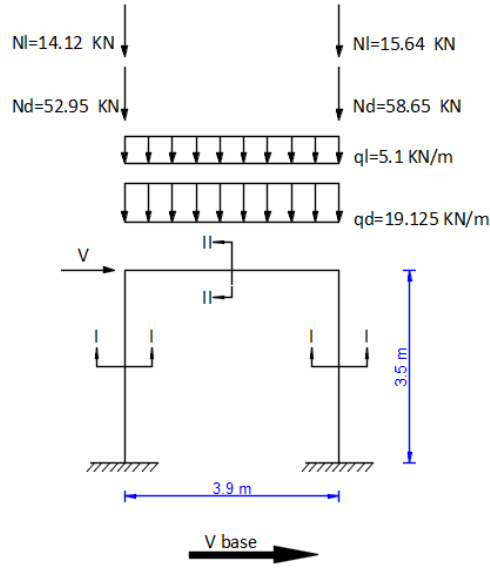


الشكل (15) أسماء وتصنيف نماذج المجموعة الثانية ذات الإطارات بفتحتين

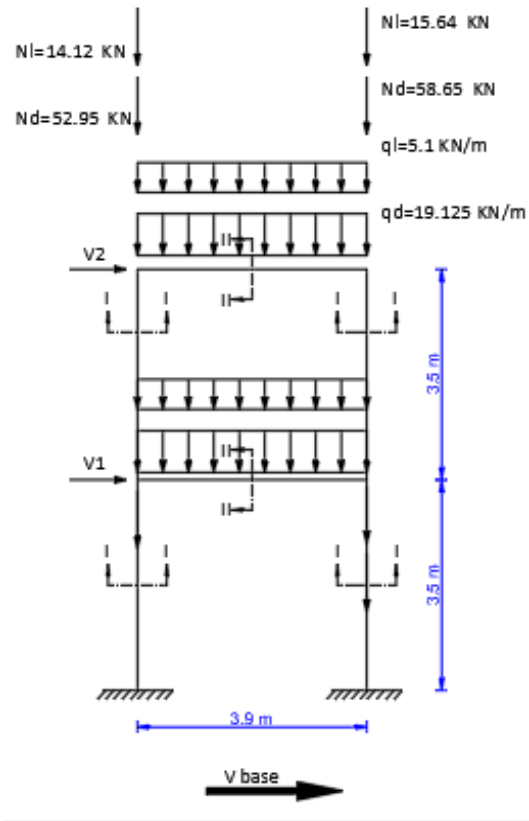
تمّ تصميم النماذج وفق الكود العربي السوري [14] تحت تأثير الأحمال الشاقوليّة فقط، ثمّ تمّ تحليل هذ النماذج وفق طريقة الدّفع المتتالي (pushover analysis).

الفرضيات التصميميّة للنماذج:

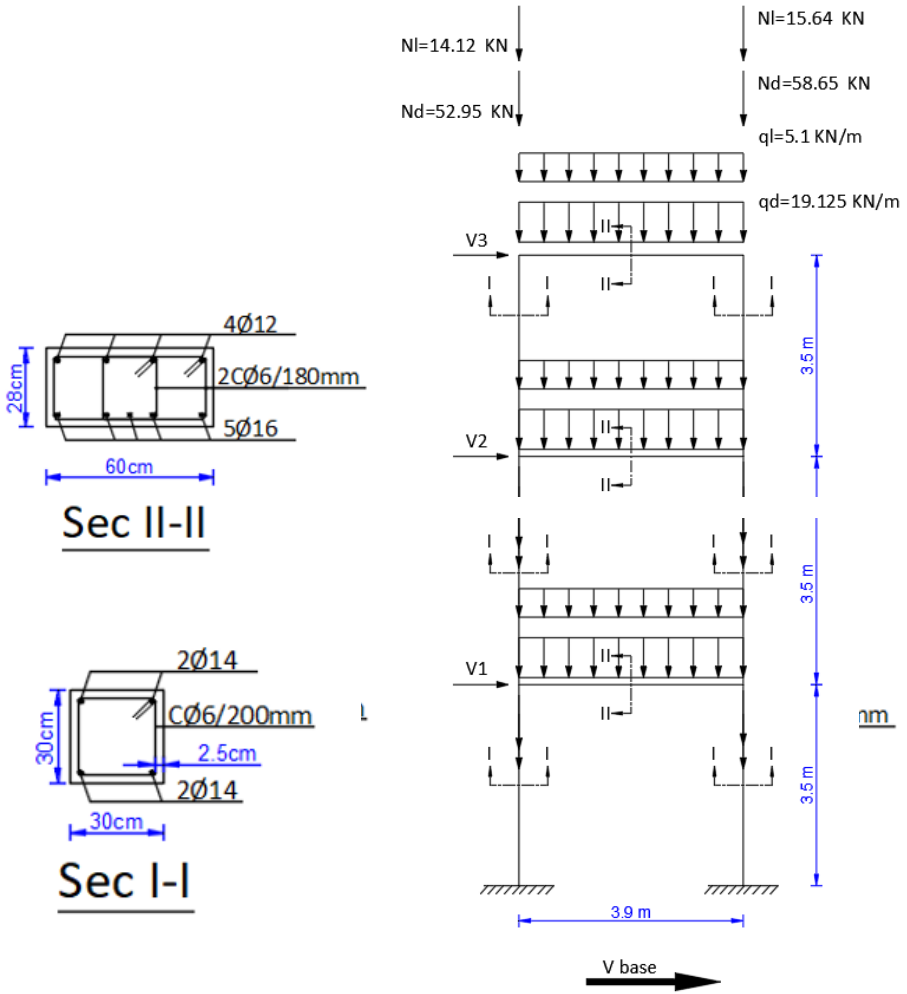
- المقاومة الاسطوانيّة للبيتون على الضغط: $f_c=20$ Mpa
- اجهاد خضوع فولاذ التسليح الطولي: $F_y=360$ Mpa، والعرضي: $F_{yt}=245$ Mpa، ومعامل مرونتهما $E=210$ Gpa.
- سماكة ألياف الكربون $t=0.167$ mm ومقاومة الشّد الأعظمية لها: $F_r=4340$ Mpa ومعامل مرونتها: $E=240$ Gpa.
- تمّ حساب حديد التسليح تحت تأثير الحمولات الشاقوليّة فقط حسب التركيب الأساسي للكود العربي السوري: $1.4DL + 1.7 LL$
- الحمولة الحية المفروضة تساوي $(2 KN/m^2)$ والحمولة الميتة المفروضة هي حمولة الوزن الذاتي للبلاطة + حمولة التغطية التي تساوي $(2 KN/m^2)$.
- تمّ اعتبار أن زوايا الأعمدة تمّ تدويرها بنصف قطر 30 درجة قبل التطويق
- تمّ اعتبار أن الأعمدة مطوقة بألياف الكربون على كامل ارتفاعها في النماذج المطوقة



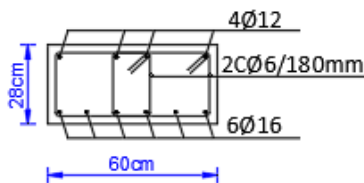
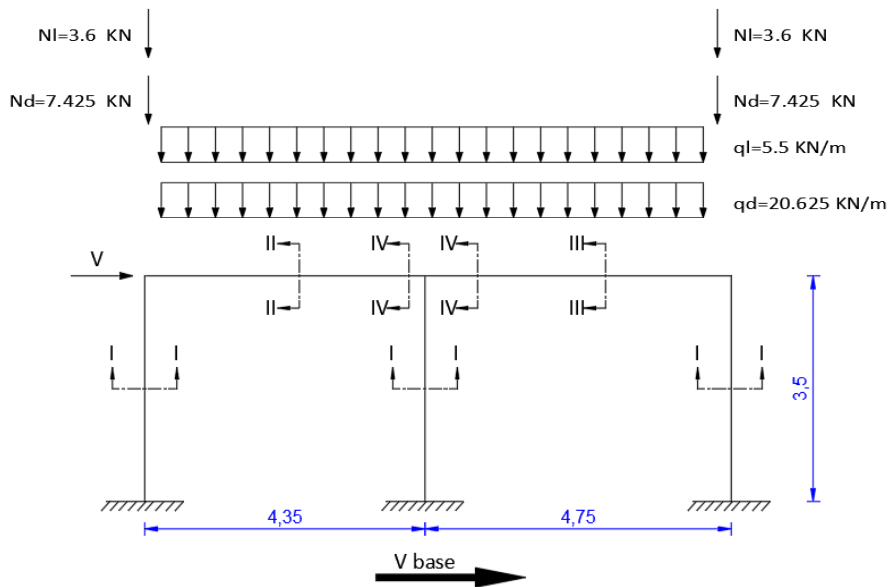
الأشكال من (16) وحتى (19) تبين التفاصيل الإنشائية للنماذج المدروسة:



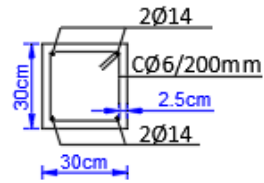
الشكل (16) التفاصيل الانشائية لنماذج الإطارات بطابق وفتحة واحدة وبطاقين وفتحة واحدة



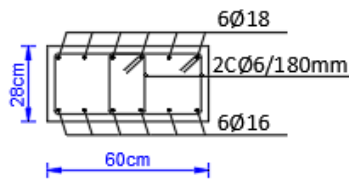
الشكل (17) التفاصيل الإنشائية لنماذج الاطارات بثلاث طوابق وفتحة واحدة



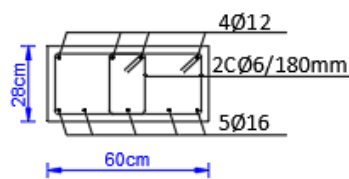
Sec III-III



Sec I-I

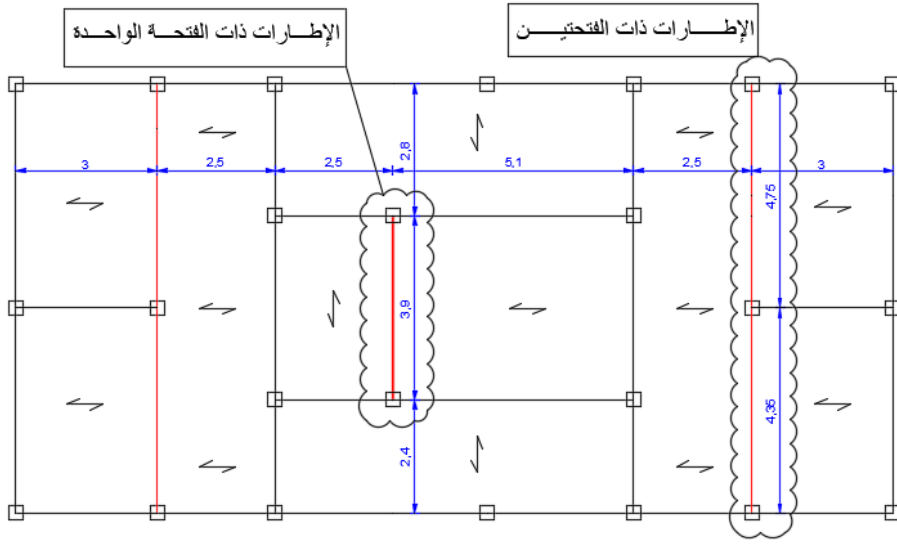


Sec IV-IV

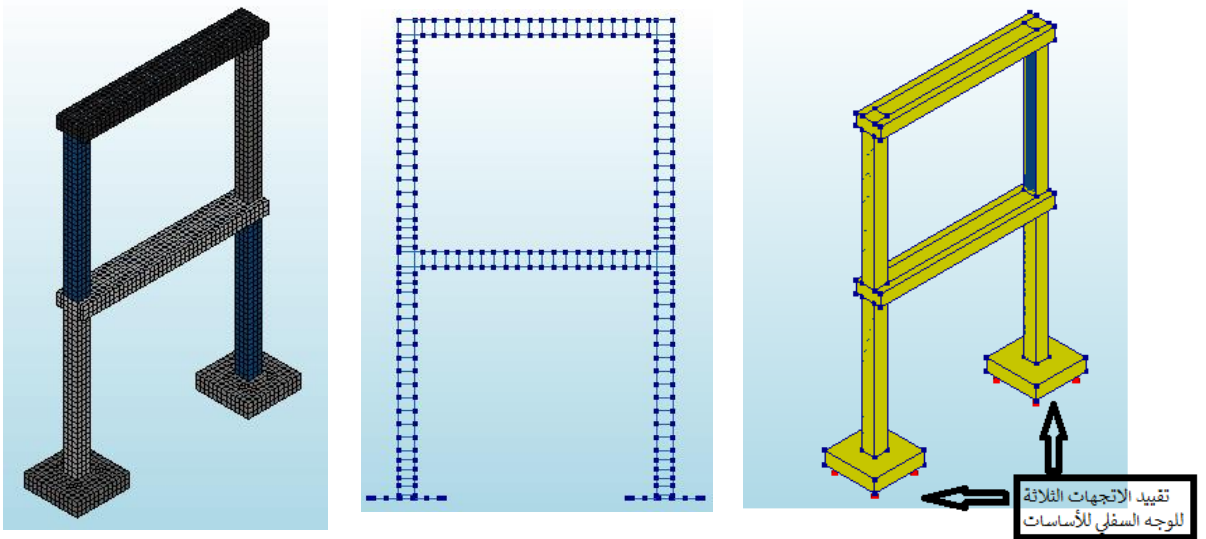


Sec II-II

الشكل (18) التفاصيل الانشائية لنماذج الاطارات بطابق واحد وفتحتين



الشكل (19) يبيّن موقع الإطارات المدروسة ضمن المسقط واتجاه فرش الهوردي وبالتالي اتجاه نقل الحمولات



الشكل (20) يبين نمذجة الإطار (1B-2S-W2) ضمن برنامج DIANA وشكل النموذج المقسم إلى عناصر بطول ضلع 100 mm

4. النتائج ومناقشتها:

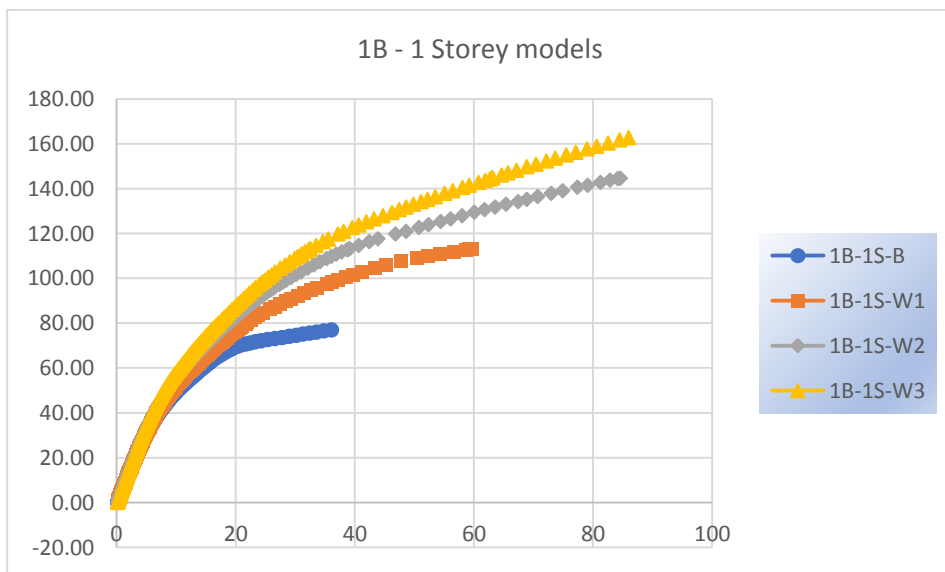
1-4 نتائج النماذج بالنسبة لتغير عدد اللفات:

1. نماذج طابق واحد وفتحة واحدة:

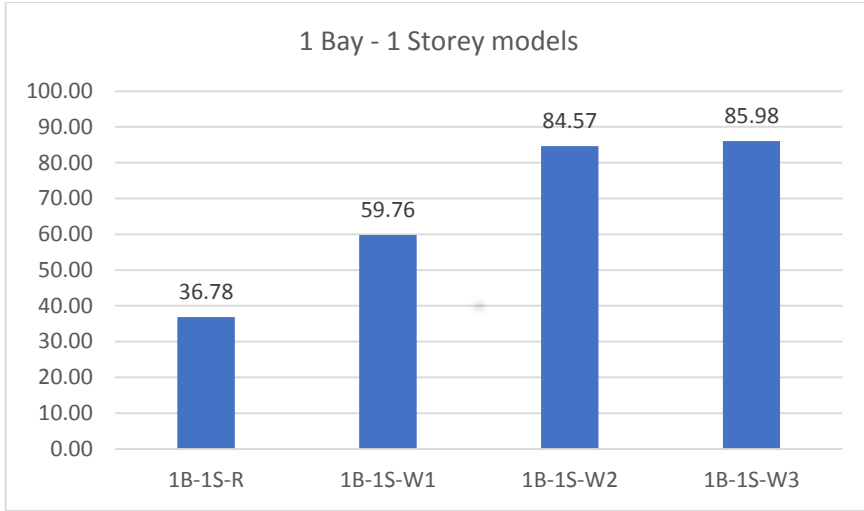
Model	D max	V max	T	Ds/Db	Vs/Vb	Ts/Tb
	mm	KN	Sec			
1B-1S-B	36.78	77.24	0.74	-	-	-
1B-1S-W1	59.76	113.28	0.73	1.62	1.47	0.99
1B-1S-W2	84.57	144.67	0.71	2.30	1.87	0.96
1B-1S-W3	85.98	162.75	0.70	2.34	2.11	0.95

جدول (1) مقارنة قوة القص القاعي V_{max} ، والانزياح الأعظمي D_{max} ، ودور

الاهتزاز T للنماذج بطابق واحد وفتحة واحدة



الشكل (21) مقارنة منحنيات الاستطاعة لنماذج الإطارات بطابق واحد وفتحة واحدة عند تغير عدد اللفات



الشكل (22) مقارنة الانزياح الطابقي لنماذج الإطارات بطابق واحد وفتحة واحدة عند تغيير عدد اللفات

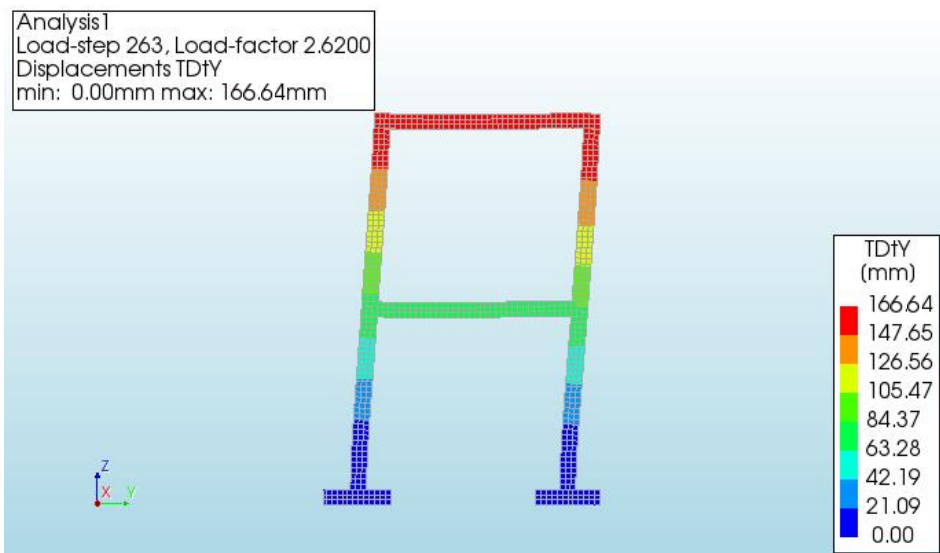
- نلاحظ أن تغيير عدد اللفات للنماذج بطابق واحد وفتحة واحدة أعطى ما يلي:
 - ✓ قوّة القص القاعدي للنماذج المطوّقة ازدادت عنها للنموذج الغير مطوّق بنسبة (46%-87%-110%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ الانتقال الأعظمي للنماذج المطوّقة ازداد عنه للنموذج الغير مطوّق بنسبة (62%-129%-133%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ دور الاهتزاز لم يتأثر بشكل كبير بتغيير عدد اللفات حيث بلغ نسبة (98%-95%-94%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب من دور الاهتزاز للنموذج الغير مطوّق.

2. نماذج طابقيين وفتحة واحدة:

Model	D max	V max	T	Ds/Db	Vs/Vb	Ts/Tb
	mm	KN	Sec			
1B-2S-B	96.51	76.64	1.46	-	-	-
1B-2S-W1	141.95	98.20	1.44	1.47	1.28	0.99
1B-2S-W2	166.64	108.83	1.42	1.73	1.42	0.97
1B-2S-W3	183.47	116.92	1.40	1.90	1.53	0.96

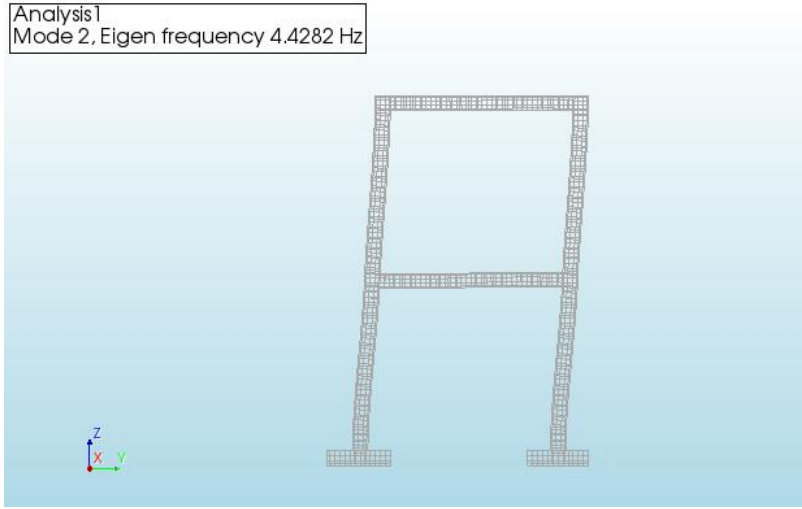
جدول (2) مقارنة قوة القص القاعدي V_{max} ، والانزياح الأعظمي D_{max} ، ودور

الاهتزاز T للنماذج بطابقيين وفتحة واحدة

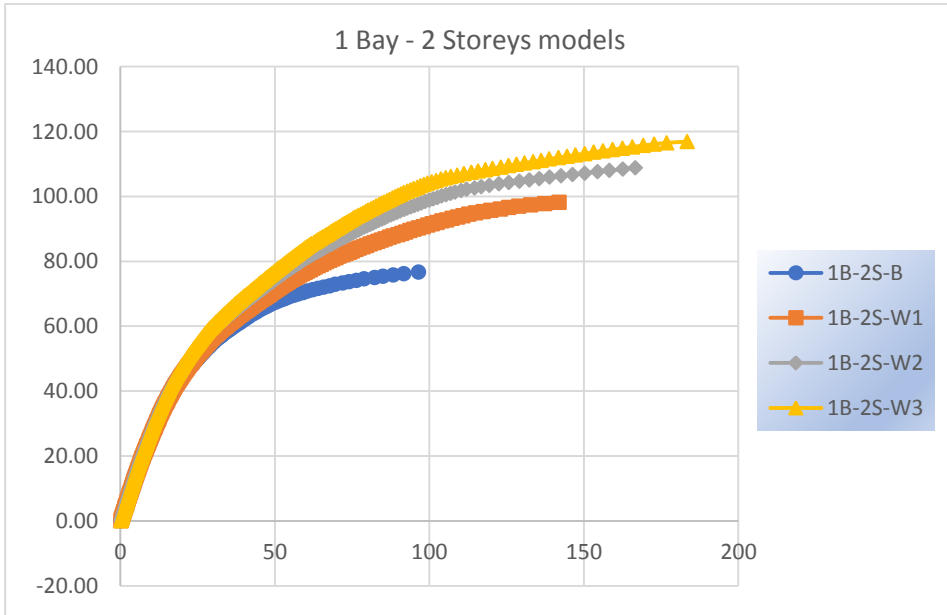


الشكل (23) يبين شكل التشوه للنموذج (1B-2S-W2) عند خطوة التحليل الأخيرة

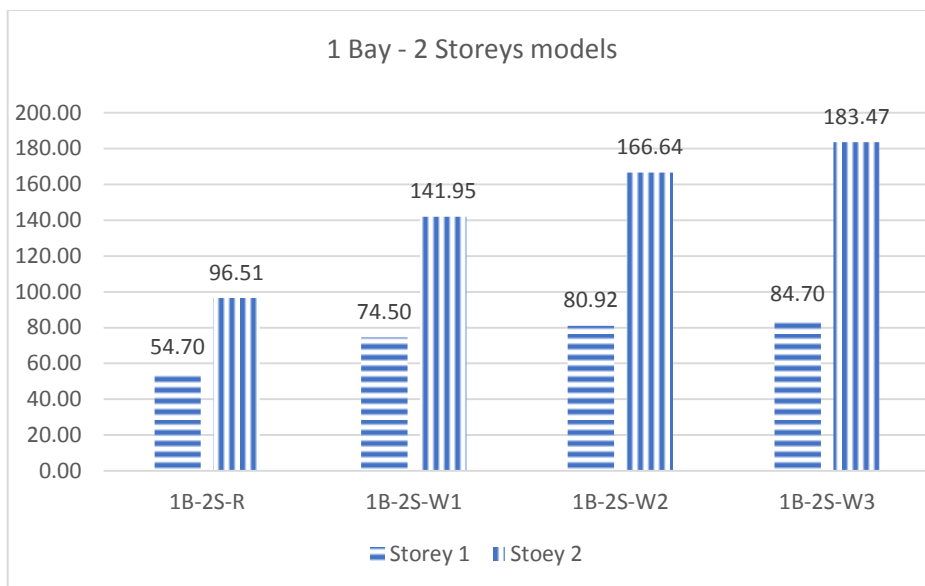
وقيم الإنزياحات الأفقية المرافقة في اتجاه الدفَع



الشكل (24) يبين تواتر الإهتزاز الجيبي للنموذج (1B-2S-W2)



الشكل (25) مقارنة منحنيات الاستطاعة لنماذج الإطارات بطابقين وفتحة واحدة عند تغيير عدد اللفات



الشكل (26) مقارنة الانزياح الطائفي لنماذج الإطارات بطابقين وفتحة واحدة عند تغيير عدد اللفات

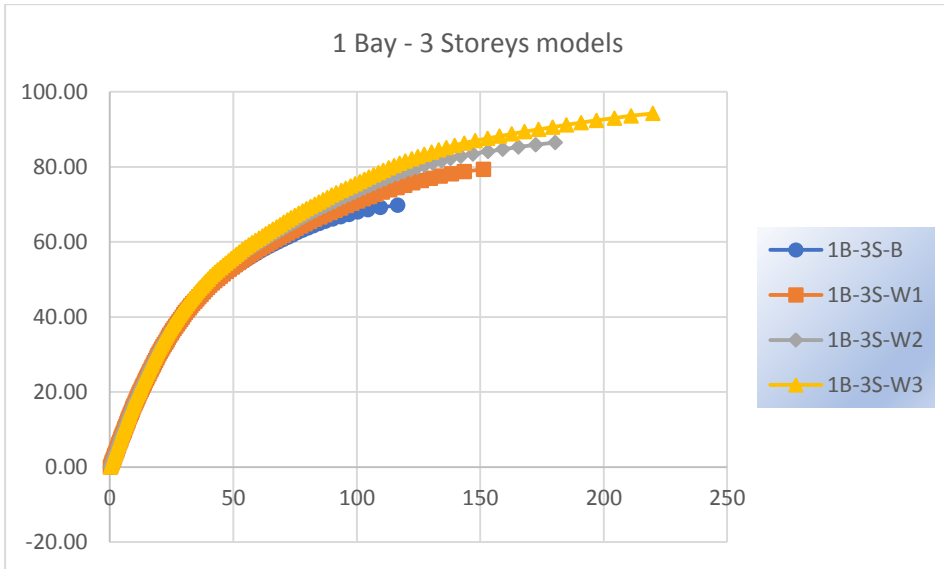
- نلاحظ أن تغيير عدد اللفات للنماذج بطابقين وفتحة واحدة أعطى ما يلي:
 - ✓ قوة القص القاعدي للنماذج المطوّقة ازدادت عنها للنموذج الغير مطوّق بنسبة (28%-42%-52%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ الانتقال الأعظمي للنماذج المطوّقة ازداد عنه للنموذج الغير مطوّق بنسبة (47%-72%-90%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ دور الاهتزاز لم يتأثر بشكل كبير بتغيير عدد اللفات حيث بلغ نسبة (98%-97%-96%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب من دور الاهتزاز للنموذج الغير مطوّق.

3. نماذج ثلاث طوابق وفتحة واحدة:

Model	D max	V max	T	Ds/Db	Vs/Vb	Ts/Tb
	mm	KN	Sec			
1B-3S-B	116.58	69.78	2.23	-	-	-
1B-3S-W1	151.41	79.36	2.20	1.30	1.14	0.99
1B-3S-W2	180.35	86.49	2.17	1.55	1.24	0.97
1B-3S-W3	219.94	94.22	2.15	1.89	1.35	0.96

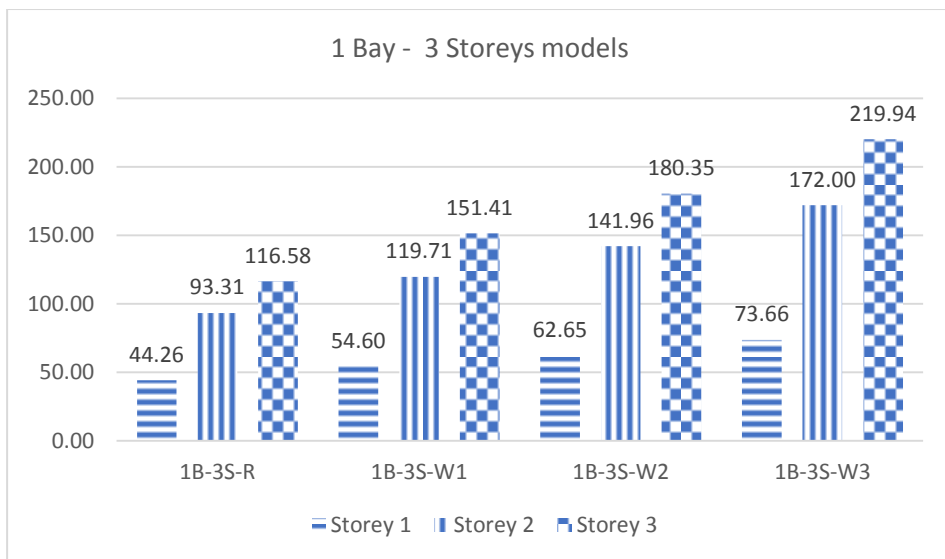
جدول (3) مقارنة قوة القص القاعدي V_{max} ، والانزياح الأعظمي D_{max} ، ودور

الاهتزاز T للنماذج بثلاث طوابق وفتحة واحدة



الشكل (27) مقارنة منحنيات الاستطاعة لنماذج الإطارات بثلاث طوابق وفتحة واحدة

عند تغيير عدد اللفات



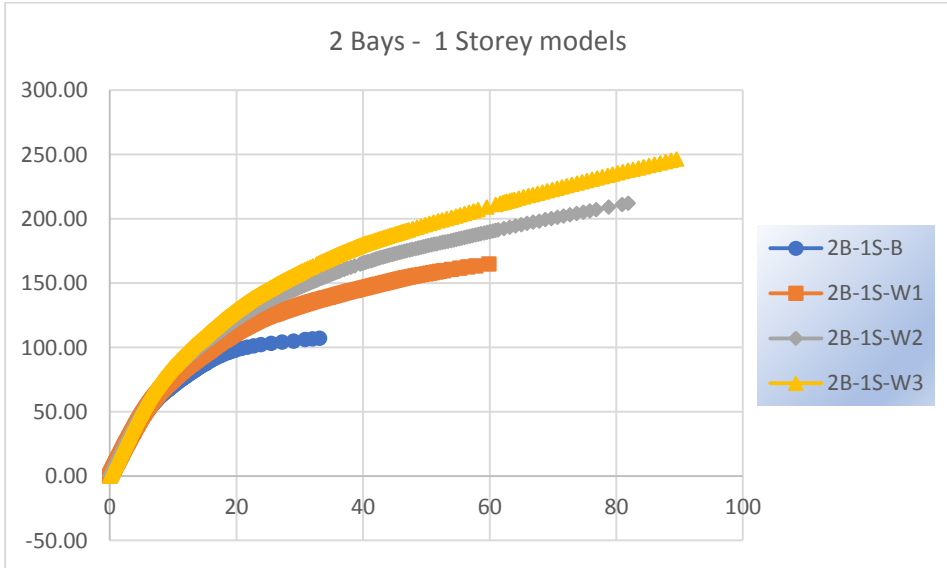
الشكل (28) مقارنة الانزياح الطائفي لنماذج الإطارات بثلاث طوابق وفتحة واحدة عند تغيير عدد اللفات

- نلاحظ أن تغيير عدد اللفات للنماذج بثلاث طوابق وفتحة واحدة أعطى ما يلي:
 - ✓ قوّة القص القاعدي للنماذج المطوّقة ازدادت عنها للنموذج الغير مطوّق بنسبة (14%-24%-35%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ الانتقال الأعظمي للنماذج المطوّقة ازداد عنه للنموذج الغير مطوّق بنسبة (30%-55%-89%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ دور الاهتزاز لم يتأثر بشكل كبير بتغيير عدد اللفات حيث بلغ نسبة (98%-97%-96%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب من دور الاهتزاز للنموذج الغير مطوّق.

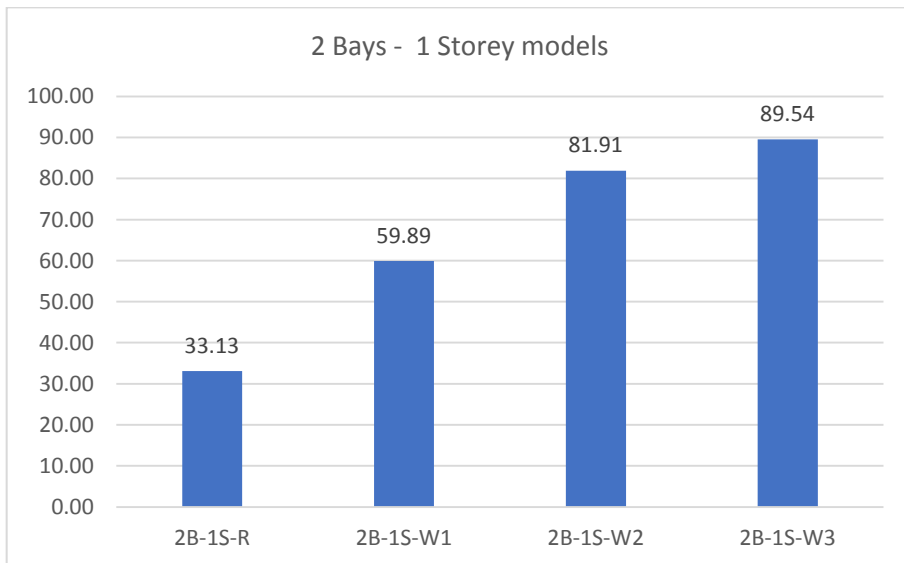
4. نماذج طابق واحد وفتحيتين:

Model	D max	V max	T	Ds/Db	Vs/Vb	Ts/Tb
	mm	KN	Sec			
2B-1S-B	33.13	107.05	0.87	-	-	-
2B-1S-W1	59.89	164.97	0.86	1.81	1.54	0.99
2B-1S-W2	81.91	212.05	0.84	2.47	1.98	0.97
2B-1S-W3	89.54	246.48	0.83	2.70	2.30	0.95

جدول (4) مقارنة قوة القص القاعدي V_{max} ، والانزياح الأعظمي D_{max} ، ودور الاهتزاز T للنماذج بطابق واحد وفتحيتين



الشكل (29) مقارنة منحنيات الاستطاعة لنماذج الإطارات بطابق واحد وفتحيتين عند تغيير عدد اللفات



الشكل (30) مقارنة الانزياح الطائفي لنماذج الإطارات بطابق واحد وفتحيتين عند تغيير عدد اللفات

- نلاحظ أن تغيير عدد اللفات للنماذج بطابق واحد وفتحيتين أعطى ما يلي:
 - ✓ قوّة القص القاعدي للنماذج المطوّقة ازدادت عنها للنموذج الغير مطوّق بنسبة (54%-98%-130%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ الانتقال الأعظمي للنماذج المطوّقة ازداد عنه للنموذج الغير مطوّق بنسبة (80%-147%-170%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.

✓ دور الاهتزاز لم يتأثر بشكل كبير بتغيير عدد اللفات حيث بلغ نسبة (99%-) في النماذج المطوقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب من دور الاهتزاز للنموذج الغير مطوق.

4-2 تقييم السلوك الزلزالي:

- التحقق من قدرة النماذج على تحقيق الطلب الزلزالي عند تغيير صنف الموقع: من أجل الوصول إلى تقييم شامل لفعالية التطويق باستخدام الياق الكربون عند مختلف أصناف التربة، تم حساب الطلب الزلزالي (الاستجابة) ممثلًا بقيمة التسارع $mm/s^2 * g$ في مدينة حمص لأصناف الموقع (A,B,C,D,E) حسب الملحق (2) للكود العربي السوري [15] ومقارنته مع التسارع الأعظمي الذي يمكن لكل نموذج الوصول إليه والمحسوب من علاقة الانتقال الهدف الواردة في الكود [9] FEMA 356، حيث تم تعويض قيمة الانتقال الهدف بقيمة الانتقال الأعظمي لمنحني استطاعة كل نموذج. تبين الجداول التالية مقارنة التسارع الأعظمي للنماذج (Max Acceleration) مع التسارع المطلوب (Demand Acceleration) عند كل صنف من أصناف الموقع:

Model	Max Acceleration	Demand Acceleration according to site class $mm/s^2 * g$									
	$mm/s^2 * g$	Sa	Status	Sb	Status	Sc	Status	Sd	Status	Se	Status
1B-1S-B	0.257	0.25	OK	0.313	N OK	0.454	N OK	0.533	N OK	0.715	N OK
1B-1S-W1	0.414	0.254	OK	0.317	OK	0.46	N OK	0.541	N OK	0.715	N OK
1B-1S-W2	0.602	0.261	OK	0.326	OK	0.473	OK	0.556	OK	0.715	N OK
1B-1S-W3	0.621	0.265	OK	0.33	OK	0.48	OK	0.564	OK	0.715	N OK

جدول (5) يبين حالة تحقيق النماذج ذات الطابق الواحد والفتحة الواحدة

Model	Max Acceleration	Demand Acceleration according to site class $mm/s^2 * g$									
	$mm/s^2 * g$	Sa	Status	Sb	Status	Sc	Status	Sd	Status	Se	Status
1B-2S-B	0.134	0.127	OK	0.158	N OK	0.23	N OK	0.27	N OK	0.415	N OK

1B-2S-W1	0.189	0.129	OK	0.161	OK	0.233	N OK	0.274	N OK	0.419	N OK
1B-2S-W2	0.23	0.131	OK	0.163	OK	0.237	N OK	0.278	N OK	0.425	N OK
1B-2S-W3	0.258	0.132	OK	0.165	OK	0.24	OK	0.282	N OK	0.431	N OK

جدول (6) يبين حالة تحقيق النماذج ذات الطابقين والفتحة الواحدة

Model	Max Acceleration	Demand Acceleration according to site class mm/s ² * g									
	mm/s ² * g	Sa	Status	Sb	Status	Sc	Status	Sd	Status	Se	Status
1B-3S-B	0.069	0.083	N OK	0.104	N OK	0.151	N OK	0.177	N OK	0.271	N OK
1B-3S-W1	0.094	0.084	OK	0.105	N OK	0.153	N OK	0.179	N OK	0.275	N OK
1B-3S-W2	0.112	0.085	OK	0.107	OK	0.155	N OK	0.182	N OK	0.278	N OK
1B-3S-W3	0.136	0.086	OK	0.108	OK	0.156	N OK	0.184	N OK	0.281	N OK

جدول (7) يبين حالة تحقيق النماذج ذات الثلاث طوابق والفتحة الواحدة

Model	Max Acceleration	Demand Acceleration according to site class mm/s ² * g									
	mm/s ² * g	Sa	Status	Sb	Status	Sc	Status	Sd	Status	Se	Status
2B-1S-B	0.154	0.213	N OK	0.266	N OK	0.386	N OK	0.454	N OK	0.694	N OK
2B-1S-W1	0.286	0.216	OK	0.269	OK	0.391	N OK	0.459	N OK	0.702	N OK
2B-1S-W2	0.41	0.221	OK	0.275	OK	0.4	OK	0.47	N OK	0.715	N OK
2B-1S-W3	0.444	0.223	OK	0.279	OK	0.41	OK	0.476	N OK	0.715	N OK

جدول (8) يبين حالة تحقيق النماذج ذات الطابق الواحد والفتحتين

- نلاحظ أن تقييم الأداء يختلف باختلاف صنف الموقع عند نفس المنطقة الزلزالية:
 ✓ فعالية التطويق أعظمية للنماذج بطابق واحد وفتحة واحدة حيث أنها فشلت في تحقيق الطلب الزلزالي عند صنف الموقع E فقط.
 ✓ النماذج ذات الطابقين وفتحة واحدة لم تحقق الطلب الزلزالي عند صنف الموقع E,D.

- ✓ النماذج ذات الثلاث طوابق وفتحة واحدة لم تحقق الطلب الزلزالي عند أصناف الموقع E,D,C.
- ✓ النماذج بطابق واحد وفتحتين لم تحقق الطلب الزلزالي عند صنف الموقع E,D.
- ✓ كافة النماذج لم تحقق الطلب الزلزالي عند صنف الموقع E وهذا دليل على عدم فعالية التطويق بعدد لفات حتى ثلاثة على السلوك الزلزالي عند هذا الصنف.

5. الاستنتاجات والتوصيات:

5-1 ملخص النتائج:

1. تزداد فعالية التطويق بازدياد عدد اللفات بشكل عام حيث أن النماذج المطوّقة أبدت تحسّنا في السلوك الزلزالي من حيث ازدياد قوة القص الأعظمية والانزياحات الطابقيّة الأعظمية في كافة النماذج.
2. تنقص فعالية التطويق بازدياد عدد الطوابق حيث أن النماذج ذات عدد الطوابق الأكبر تتطلّب عددا أكبر من اللفات لتحقيق طلب زلزالي معين مقارنة بالنماذج ذات عدد الطوابق الأقل.
3. تزداد فعالية التطويق بازدياد عدد الفتحات من حيث زيادة قوة القص القاعدي والانزياحات الطابقيّة الأعظمية.
4. تنقص فعالية التطويق بازدياد خطورة صنف الموقع حيث أن ازدياد خطورة صنف الموقع تتطلّب عددا أكبر من اللفات.
5. يحسّن التطويق من سلوك المفاصل اللدنة في العناصر المطوّقة حيث يقلّل من دوراناتها وذلك بسبب قدرة البيتون المضغوط على المحافظة على طاقة تحمّله حتّى قيم تشوّهات أكبر من البيتون غير المطوّق مما يرفع من القدرة العزمية للعناصر ويحسّن سلوكها الزلزالي.

5-2 التوصيات:

1. دراسة تدعيم العقد (جائز-عمود) بألياف الكربون واقتراح تقنيات جديدة من شأنها أن تساهم في تحسين السلوك الزلزالي.
2. دراسة تأثير تغيير نسبة الحمولة الشاقوليّة على فعالية التطويق أثناء العمل الزلزالي.

6. المراجع

- [1] Lam L, and Teng J, 2003b, “Design-Oriented Stress-Strain Model for FRP-Confined Concrete in Rectangular Columns”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 22, No. 13, pp. 1149-1186.
- [2] Fahmy M. F. M, and Z. Wu. 2010. “Evaluating and proposing models of circular concrete columns confined with different FRP composites”, *Composites Part B*, Vol. 41, No. 3, pp. 199–213.
- [3] ACI440.2R-08, 2008 – “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures”. American concrete institute, First printing, Farmington Hills, 80p.
- [4] Wang D.Y, Huang L, Yu T, Wang Z, 2017 – “Seismic performance of CFRP-retrofitted large-scale square RC columns with high axial compression ratios”, *J. Compos. Constr*, Vol. 21, No. 5.
- [5] Farrokh Ghatte H, M Comert, C Demir, and A Ilki, 2016 - “Evaluation of FRP confinement models for substandard rectangular RC columns based on full-scale reversed cyclic lateral loading tests in strong and weak directions”, *Polymers*, Vol. 8, No. 9, pp 323.
- [6] Wang G.L, Dai J.G, Bai Y.L, 2019 – “Seismic retrofit of exterior RC beam column joints with bonded CFRP reinforcement: An experimental study”, *Compos. Struct*, Vol. 224, No. 111018.
- [7] Chen WH, Shou WR, Qiao ZH, Cui SS, 2019 – “Seismic performance of non-ductile RC frames strengthened with CFRP”, *Compos Struct*, Vol. 221, No. 110870.
- [8] Alhaddad M, Binyahya A, Alrubaidi M, Abadel A, 2021 – “Seismic Performance of R.C Buildings with Beam-Column Joints Upgraded using FRP Laminates”, *King Saud University*, Vol. 33, No. 6, pp 386-395.

[9] FEMA 356, 2000 – “Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings”. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C, 518p.

[10] Belarbi A, Hsu TTC, 1994 – “Constitutive laws of concrete in tension and reinforcing bars stiffened by concrete”, Struct J Am concr Inst, Vol. 91, No. 4, pp 465-74.

[11] CEB-FIP, 2010 – “CEB-FIP Model Code 2010 final draft”, International federation for structural concrete, First printing, Switzerland, 318p.

[12] FEENSTRA, 1993 – “Computational Aspects of Biaxial Stress in Plain and Reinforced Concrete”, Delft University of Technology, Stevinweg1, 2628 CN Delft, pp159.

[13] MA Crisfield, JL Tassoulas, 1993- “Nonlinear Finite Element Analysis of Solids and Structures”, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 119, No. 7.

[14] الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة، 2012، الطبعة الرابعة، نقابة المهندسين، سورية، دمشق، 404 صفحة.

[15] الملحق رقم (2) للكود العربي السوري، تصميم وتحقيق المباني والمنشآت المقاومة للزلازل، 2013، الطبعة الثانية، نقابة المهندسين، سورية دمشق، 271 صفحة.