مجلة جامعة دمشق لبحوث الزلازل والكوارث
المجلد 2 العدد(1) – 2025: 77-97

Damascus University Journal of Earthquake and Disaster Research
Vo 2 number (1) -2025: 97-77

دراسة الاستجابة الزّلزالية للمباني البيتونية المسلّحة المُدعّمة خارجياً باستخدام إطار بيتونيِ الصّنع مسلح بصفيحة فولاذيّة

ماري جورج جبلي*[1] ريم سلمان الصحناوي[2]

*[1]. طالبة ماجستير، مهندسة، قسم الهندسة الإنشائيّة الزّلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزّلزالية، جامعة دمشق. Mary.jabaly1996@dammascusuniversity.edu.sy

[2]. دكتورة، مهندسة، مدرسة، قسم الهندسة الإنشائيّة الزّلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزّلزالية، جامعة دمشق. Reem1.salman@dammascusuniversity.edu.sy

الملخّص:

تعتبر معظم المباني التي تم إنشاؤها قبل اعتماد الكود العربي السوري عام 1995 والملحق (2) عام 2005 منشآت هيكلية غير مقاومة للأحمال الزلزالية، ولا يزال هناك عدد كبير من هذه المباني القائمة قيد الاستخدام، مع مستويات متفاوتة من أوجه القصور الزلزالي. لذلك تم في هذا البحث طرح أهمية تحسين الأداء الزلزالي للمباني الإطارية من خلال استخدام إحدى طرائق التدعيم ورفع الكفاءة عن طريق زيادة مقاومة المبنى القائم باستخدام إطارات بيتونية مسبقة الصنع مسلحة بصفيحة فولاذية. تناول البحث دراسة السلوك الزلزالي لمبنى إطاري متوسط الإرتفاع مؤلف من 10 طوابق باستخدام برنامج ABAQUS. في البداية تم تحقيق السلوك لإطار التدعيم البيتوني مسبق الصنع المسلح بصفيحة فولاذية PBSPC مع شبكة تربيط بشكل V مقلوبة، من خلال إنشاء نموذج تحليلي باستخدام برنامج العناصر المحدودة ABAQUS حيث تم تطبيق برتوكول التحميل، ومن ثم إضافة إطار التدعيم على الإطار الخارجي للبناء بتوضعات مختلفة في فتحات الإطار (عند الفتحات الطرفية فقط – عند الفتحات الطرفية والوسطية – بشكل هرمي – بشكل متدرج). تم تقييم كفاءة التدعيم من خلال تطبيق عدة هزات أرضية على إطار المبنى ومقارنة الاستجابة الزلزالية من خلال مقارنة قيم الدور والتسارعات أعلى الإطار والإزاحات الطابقية وقوى القص القاعدي قبل وبعد التدعيم. أظهرت النتائج سلوك متقارب في الحلقات الهستيرية بين النموذج والتجربة المخبرية، كما بينت أن آلية التدعيم الخارجي باستخدام إطار بيتوني مسبق الصنع ذات كفاءة عالية في تحسين السلوك الزلزالي للمبنى بجميع التوضعات، حيث تبين أن التدعيم بشكل هرمي أعطى نتائج جيدة مقارنة بالتوضعات الأخرى، حيث انخفض الانتقال الجانبي أعلى الإطار بنسبة 58.8%، أما بالنسبة للإزاحات الجانبية أعطت طريقة التدعيم بشكل هرمي أكبر قيم للفرق النسبي وفي جميع الطوابق، بنسب تتراوح بين 65.69% في الطابق الخامس و 83.11% في الطابق الرابع، بينما انخفض الدور بنسبة 67.91%، وازداد التسارع أعلى الإطار بنسبة 8.03%، كما ازدادت قوى القص القاعدي بنسبة 194.25%.

الكلمات المفتاحية: رفع الكفاءة الزلزالية، إطار بيتوني مسبق الصنع، مباني متوسطة الارتفاع، توضعات إطار التدعيم، استجابة زلزالية.

تاريخ الإيداع: 2024/10/29
تاريخ القبول: 2025/2/9

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب **CC BY-NC-SA**

Study the seismic response of Reinforced Concrete Buildings Retrofitted with a Precast Concrete Frame Reinforced with a Steel Plate

Received: 29/10/2024

Accepted: 9/2/2025

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Mary George JABALY*[1] Reem SulmanALSEHNAWI[2]

*[1]. Master Student in Department of Seismic Structural Engineering, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, University of Damascus, Damascus, Syria. Mary.jabaly1996@dammascusuniversity.edu.sy

[2]. Assistant Professor in Department of Seismic Structural Engineering, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, University of Damascus, Syria. Reem1.salman@dammascusuniversity.edu.sy

Abstract:

Most of the buildings that have been built prior to the adoption of the Syrian Arab Code in 1995 and its Annex (2) in 2005 are structurally inadequate to withstand seismic loads. Many of these buildings are still in use with varying levels of seismic deficiencies. This research highlights the importance of improving the seismic performance of frame buildings by using one of the retrofit methods to increase efficiency by increasing the resistance of existing buildings by using precast concrete frames reinforced with steel plate. The research investigates the seismic behavior of a 10-story mid-rise frame building using ABAQUS software. Firstly, the behavior of the precast concrete frame PBSPC, armed with inverted V-shaped, reinforced with steel plates, was obtained by creating an analytical model using the finite element software ABAQUS. A load protocol (displacement control) was applied. The efficiency of the retrofit was evaluated by applying several earthquakes to the building frame and comparing the seismic response by comparing the period, accelerations, floor displacements, and base shear forces before and after the retrofit. The results between the model and the laboratory experiment showed similar hysteresis loops. The results also indicated that the external retrofit mechanism using a precast concrete frame is highly efficient in improving the seismic behavior of the building in all placements. It was observed that the best results were obtained with the pyramidal method compared to other methods, where the lateral displacement at the top of the frame decreased by 58.8%, the acceleration at the top of the frame increased by 8.03%, and the base shear forces increased by 194.25%, while the period decreased by 67.91%. Regarding max story drifts, the pyramidal method provided the highest values of relative differences across all stories, ranging between 65.69% on the fifth story and 83.11% on the fourth story.

Keywords: Seismic performance enhancement, precast concrete frame, mid-rise buildings, retrofitting frame placements, seismic response

المقدّمة:

أدى تطور المعارف والتقنيات المتعلقة بمقاومة الزلازل ورفع كفاءة المباني الإطارية من البيتون المسلح، للوصول الى كودات أكثر دقة، ومتطلبات إنشائية أكثر دقة تؤخذ بعين الاعتبار أثناء التصميم الزلزالي. وبالرغم من ذلك لا يزال هناك عدد كبير من المباني القديمة القائمة قيد الاستخدام، مع مستويات متفاوتة من أوجه القصور الزلزالي، مما يشكل خطر على سلامة الأفراد أثناء حدوث الهزات الأرضية. حيث كان لزلزال 6 شباط 2023 أثر كبير ومدمر على مثل هذه المباني في سوريا وتركيا، فضلاً عما أحدثه من انهيارات جزئية أو كلية للمباني، وهذا ما أدى الى خسائر بشرية ومادية كبيرة. لذلك تم طرح أهمية تحسين الأداء الزلزالي لهذه المباني باستخدام إحدى طرائق التدعيم ورفع الكفاءة من خلال زيادة مقاومة المبنى. حيث أثبتت آلية التدعيم الخارجي باستخدام إطار بيتوني مسبق الصنع مسلح بصفيحة فولاذية (Precast Bolt-connected Steel Plate–reinforced Concrete Frame (PBSPC)) كفاءة في تحسين السلوك الزلزالي للمبنى. (Cao et al, 2019)

تهدف طرائق إضافة إطار التدعيم PBSPC إلى رفع الكفاءة الزلزالية للبناء بأكمله ، وتحسين نمط القوة - انتقال للإطار بعد التدعيم ونقل الأحمال المطبقة على المنشأ من الاطار المدعم إلى إطار التدعيم الخارجي.

قام(Takeda et al.) عام 2013 بتقييم أداء مدرستين في ميياجي – اليابان تم تدعيمهما باستخدام إطار بيتوني مسبق الصنع مسلح بصفيحة فولاذية PBSPC قبل حدوث زلزال توهوكو 2011، حيث تم فحص هذه المباني بعد الزلزال الذي بلغت شدته 9.0 على مقياس Mw ولم يلاحظ أي ضرر فيما عدا بعض الشقوق الصغيرة وتبين أنها سليمة انشائياً.(Takeda et al.2013)

أما (.Nour Eldin et al) فقد قاموا بدراسة تجريبية عام 2019 أجروا فيها اختبار التحميل الدوري لإطار بيتوني مسلح قبل و بعد تدعيمه باستخدام إطار خارجي SC-PC (Self-Centering – Precast Concrete) طابق واحد ومجاز واحد حيث تم استخدام كابل مسبق الشد. تم ملاحظة أن الصلابة الأولية للإطار تزداد بشكل ملحوظ بعد التدعيم، وأن المقاومة الإجمالية للإطار المدعم أكبر بحوالي 40% منها للإطار غير المدعم. (NourEldin, 2019)

وفي دراسة أخرى قام (.Nour Eldin et al) في عام 2019 بدراسة تجريبية وتحليلية باستخدام برنامجSAP2000، أجروا فيها اختبار التحميل الدوري لإطار بيتوني مسلح قبل و بعد تدعيمه باستخدام إطار خارجي SC-PC وبإضافة مخمد احتكاكي عند زوايا الإطار مسبق الصنع، كما تم استخدام كابلين مسبقي الشد. تبين بالنتيجة أن الصلابة الأولية للإطار تزداد بشكل ملحوظ بعد التدعيم، وأن المقاومة الإجمالية للإطار المدعم أكبر بحوالي 40% منها للإطار غير المدعم. كما أن علاقة (الإجهاد – تشوه) للكابل مسبق الشد PT بقيت ضمن المجال المرن. (NourEldin, 2019)

بينما قام (.Cao et al) عام 2019 بدراسة تجريبية لثلاث إطارات، إطار من البيتون المسلح (RCF) وإطار-(RCF-V)هو عبارة عن إطار RCF مضاف إليه إطار التدعيم PBSPC مع شبكة التربيط بشكل V، والإطار الثالث (RCF-IV)هو عبارة عن إطارRCF مضاف إليه إطار PBSPC مع شبكة التربيط بشكل V مقلوبة. وفقاً للتجربة بلغ الحمل الأعظمي للإطار المدعم ما يقارب 3.6 مرة من الحمل في حالة عدم التدعيم في كلا الاتجاهين حيث لم يكن هناك اختلافات واضحة بين الإطار RCF-V وRCF-VI .

وبالرغم من عدم الاستقرار على الضغط عند حد معين (التحنيب خارج المستوي) لشبكة التربيط، إلا أنّها قد حسنت من قدرة التحمل والصلابة الجانبية للهيكل بكامله مما أدى إلى انخفاض كبير في الإزاحة الجانبية.(Cao et al, 2019) وتم تطوير هذه الطريقة من قبل الباحثين (Cao et al.) عام 2020 حيث قام بدراسة تحليلية باستخدام برنامج Opensees لإطار التدعيم SC-PBSPC BRBF وهو الإطار PBSPC ولكن باستخدام عقد مسبقة الإجهاد مسبقة الصنع وتم استبدال شبكة التربيط مسبقة الصنع بعناصر ممنوعة من التحنيبBRB . تم إجراء الدراسة التحليلية و البارامترية لـ 21 نموذج إطار بيتوني مسلح مؤلف من 5 طوابق و 3 مجازات، حيث تم تدعيم المجاز الوسطي فقط بإطاراتSC-PBSPC BRBF . بشكل عام إضافة إطار التدعيم الخارجي يحسن بوضوح الصلابة الأولية وقدرة التحمل مقارنة بالإطار غير المدعم، والتغيرات في الصفيحة الفولاذية ضمن عنصر ABRB تُحسّن قدرة التّحمل وتزيد بشكل كبير الصلابة الأولية، والحلقات الهستيرية مستقرة نوعاً ما. بينما زيادة مقاومة البيتون حسنت الحلقات الهستيرية بشكل طفيف، والكابلات مسبقة الإجهاد قلّلت من الانتقالات المتبقية بشكل جيد(Cao et al,2020). لم تتناول الأبحاث السابقة أثر تغيير مكان توضع الإطار مسبق الصنع المسلح بصفيحة فولاذية حيث سيتناول هذا البحث توضعات مختلفة لإطار التدعيم في فتحات إطار المبنى.

1- منهجية البحث:

1- تحقيق السلوك لإطار التدعيم البيتوني مسبق الصنع المسلح بصفيحة فولاذية PBSPC المزود بشبكة تربيط بشكل v مقلوبة من خلال إنشاء نموذج تحليلي باستخدام برنامج العناصر المحدودة ABAQUS و تطبيق برتوكول التحميل (تحكم بالانتقال) (Cao et al,2019) والتحقق من صحة النتائج.

2- تحليل إطار بيتوني مسلح من مبنى إطاري (بدون تدعيم) تحليل ديناميكي لاخطي تحت تأثير ثلاث هزات أرضية مختلفة ودراسة سلوكه الزلزالي.

3- ربط إطار التدعيم البيتوني مسبق الصنع المسلح بصفيحة فولاذية بإطار المبنى بتوضعات مختلفة وإعادة التحليل الديناميكي اللاخطي مع تغيير في أماكن تطبيق إطار التدعيم بالنسبة للإطار من المبنى، ودراسة الاستجابة الزلزالية وتحليل النتائج.

2- مشكلة وأهمية البحث:

معظم المباني البيتونية المسلحة التي شُيّدت قبل اعتماد الكود العربي السوري والملحق رقم (2) تُعدّ منشآت هيكلية غير مقاومة للأحمال الزلزالية، وبالتالي تكون معرضة لأضرار جسيمة عند حدوث الزلازل، مع ارتفاع كبير في احتمال الانهيار، مما يُسبب أضراراً هائلة. وعند تدعيم إطارات هذه المباني بإضافة شبكات التربيط مباشرة إليها، فإن العقد قد تنهار قبل أوانها نتيجة للقوى الكبيرة المنقولة إليها من شبكة التربيط المضافة، إذ لم تُصمم لتحمل هذه الحمولات. بناءً على ذلك، يصبح من الضروري إضافة إطارات خارجية لتحمل القوى المنقولة من شبكات التربيط. وعليه تُعتبر طريقة التدعيم باستخدام إطارات PBSPC من بين أفضل الطرائق نظراً لسهولة تطبيقها، حيث يتم استخدام عناصر بيتونية مسبقة الصنع متوفرة محلياً، مما يتطلب فقط عمليات النقل والتركيب في موقع المنشأ المراد تدعيمه. كما تُنفذ جميع أعمال التّدعيم خارجياً دون الحاجة لإخلاء المبنى أو إيقاف وظيفته، وهذا مايقدم فوائد اقتصادية كبيرة للمؤسسات الهامة مثل المدارس والمستشفيات التي لا يمكن إيقاف عملياتها. تهدف طرائق إضافة الإطار الخارجي إلى رفع الكفاءة الزلزالية للبناء بأكمله وتحسين نمط القوة–الانتقال للمبنى.

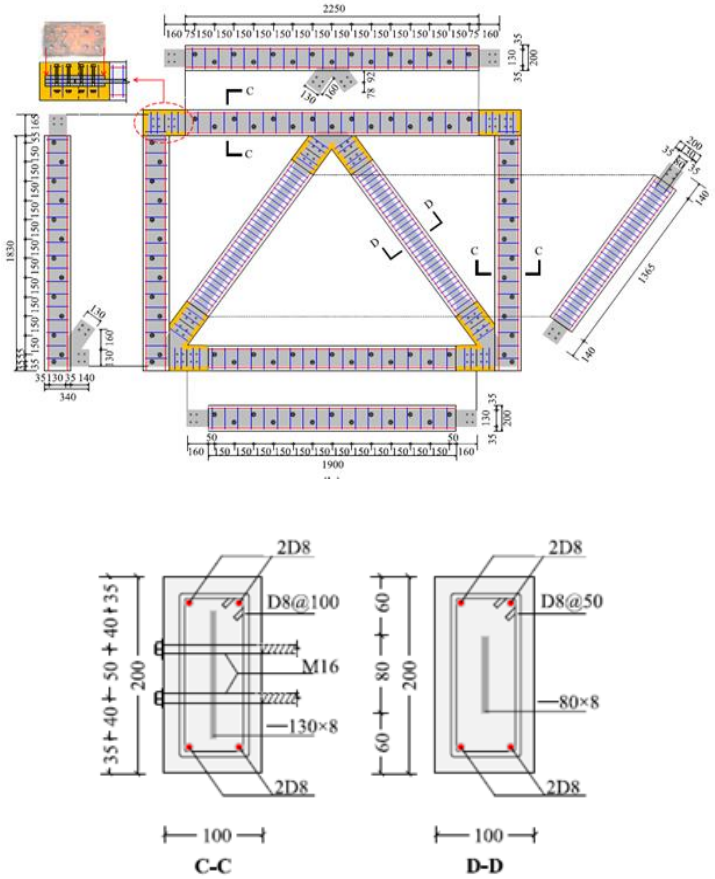
3- هدف البحث:

رفع الكفاءة الزلزالية للمباني الإطارية القائمة من البيتون المسلح باستخدام إطار البيتوني مسبق الصنع المسلح بصفيحة فولاذية وذلك من خلال تطبيقه على إطار من مبنى بيتوني مسلح منتظم وفق توضعات مختلفة لإطار التدعيم.

4- تحقيق سلوك إطار التدعيم:

5-1- مواصفات الإطار:

يتألف إطار التدعيم (PBSPC) من جائز وأعمدة وشبكة تربيط وجميعها عناصر بيتونية مسبقة الصنع مسلحة بصفيحة فولاذية ممتدة على كامل طول العنصر يتم وصل العناصر مسبقة الصنع مع بعضها البعض بواسطة الصفيحة الفولاذية التي تمتد من نهاية كل عنصر ويتم تغطية الوصلات ببيتون مصبوب في المكان لحماية الصفيحة الفولاذية. يتم تصنيع العناصر في المعمل وتنقل الى الموقع حيث يتم تجميعها لتشكيل إطار التدعيم وربطه بإطار المبنى بواسطة براغي التثبيت Anchors ، ويُملأ الفراغ بين إطار التدعيم وإطار المبنى بمونة ربط (Cao et al, 2019). غالباً مايتم استخدام أساسات جديدة لإطار التدعيم منفصلة عن أساسات المبنى القائم، وفي حال إمكانية استخدام أساسات المبنى القائم فمن الممكن تدعيمها، ويعتمد ذلك على شروط التربة ونوع الأساسات حيث لكل حالة ظروف محيطية مختلفة. يبين الشكل (1) إطار التدعيم مع تفاصيل التسليح.



الشكل (1) تفاصيل تسليح إطار التدعيم والمقاطع العرضية ضمن العناصر (Cao et al, 2019)

5-2- خصائص المواد المستخدمة وسلوكها:

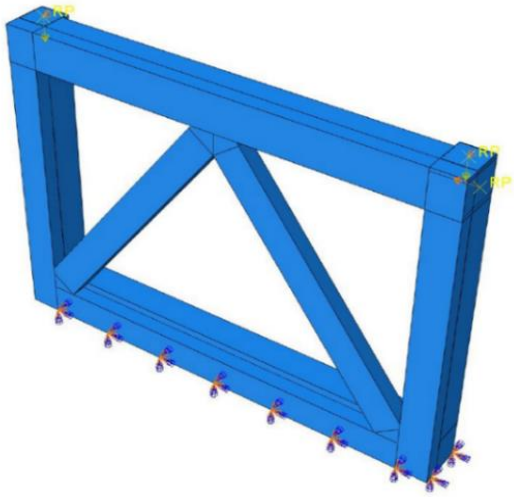
يوضح الجدول (1) خصائص مواد الإطار المُدعّم والجدول (2) يبين خصائص مواد إطار التدعيم مسبق الصنع المسلح بصفيحة فولاذية. ويبين الشكل (3) سلوك المواد المستخدمة (البيتون العادي والبيتون مسبق الصنع وفولاذ التسليح والصفيحة الفولاذية).

5-3- النمذجة:

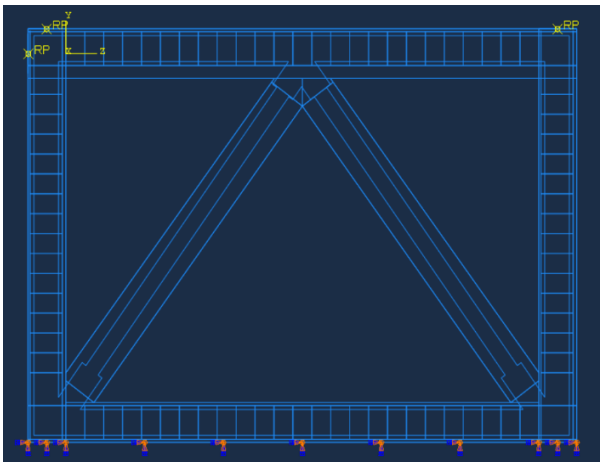
تم نمذجة إطار بيتوني مسلّح عادي RCF وإطار التدعيم البيتوني مسبق الصنع المسلح بصفيحة فولاذية PBSPC الشكل (a-2)، ويبين الشكل (b-2) توضع الصفيحة الفولاذية والتسليح ضمن إطار التدعيم.

استُخدمت عناصر حجمية لنمذجة المقاطع البيتونية (Solid Elements) و عناصر خطية في نمذجة قضبان التسليح (Wire Elements) و عناصر مستوية في نمذجة الصفيحة الفولاذية (Shell Elements). تم ربط التسليح والصفيحة الفولاذية مع البيتون مسبق الصنع باستخدام Constraint (Embedded region) لتشكيل إطار التدعيم البيتوني مسبق الصنع ومن ثم تم ربط إطار التدعيم بالإطار RCF باستخدام Constraint (Tie).

وتم تمثيل استناد الإطارات بشكل وثاقة من الأسفل.



الشكل (a-2) النموذج التحليلي



الشكل (b-2) توضع الصفيحة الفولاذية والتسليح ضمن إطار التدعيم

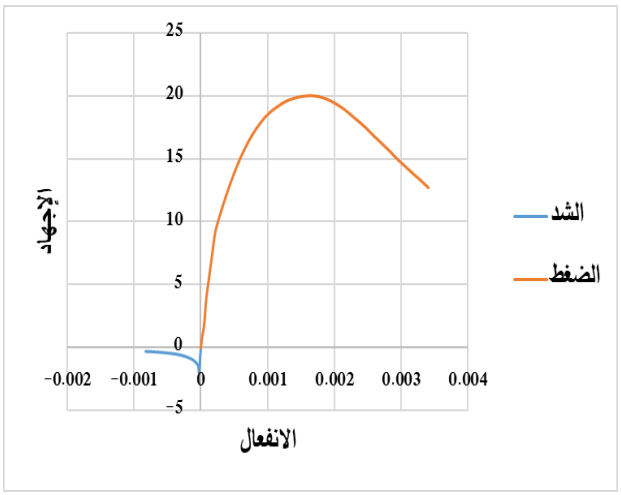
الشكل (2) النموذج المدروس ضمن Abaqus

الجدول (1) خصائص مواد الإطار المُدعّم

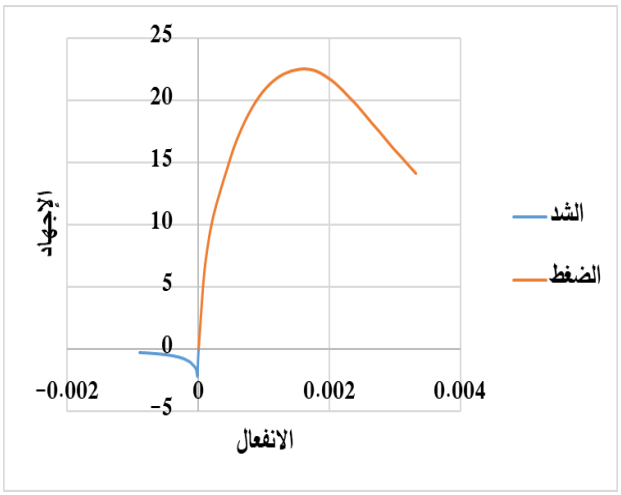
إجهاد الضغط للبيتون	$f'_c = 20$ MPa
معامل المرونة للبيتون	$E_c = 22000$ MPa
معامل بواسون للبيتون	$\nu_{concrete} = 0.18$
الوزن الحجمي للبيتون	$\gamma_c = 23$ kN/m^3
حد السيلان لفولاذ التسليح الطولي بقطر 14mm	$F_y = 435$ MPa
حد السيلان لفولاذ التسليح الطولي بقطر 18mm	$F_y = 366$ MPa
حد السيلان لفولاذ التسليح العرضي 8mm	$F_y = 450$ MPa
معامل المرونة للفولاذ	$E_{steel} = 200000$ MPa
الوزن الحجمي للفولاذ	$\gamma_s = 78$ kN/m^3
معامل بواسون للفولاذ	$\nu_{steel} = 0.3$

الجدول (2) خصائص مواد إطار التدعيم مسبق الصنع

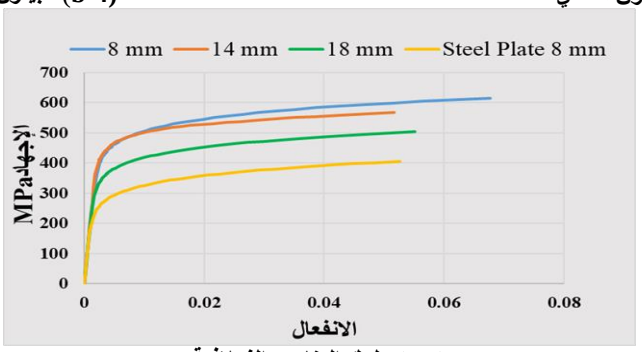
إجهاد الضغط للبيتون مسبق الصنع	$f'_{pcc} = 22.5$ MPa
معامل المرونة للبيتون	$E_{pcc} = 30400$ MPa
معامل بواسون للبيتون	$\nu_{pcc} = 0.18$
الوزن الحجمي للبيتون	$\gamma_{pcc} = 23$ kN/m^3
حد السيلان لفولاذ التسليح الطولي (الانشائي) والعرضي بقطر 8mm	$F_y = 450$ MPa
حد السيلان للصفيحة الفولاذية	$F_{y-plate} = 275$ MPa
معامل المرونة للتسليح الطولي والعرضي	$E_{steel} = 196000$ MPa
معامل المرونة للصفيحة الفولاذية	$E_{steel} = 189000$ MPa
الوزن الحجمي للفولاذ	$\gamma_s = 78$ kN/m^3
معامل بواسون للفولاذ	$\nu_{steel} = 0.3$



(a-4)البيتون العادي



(b-4) البيتون مسبق الصنع

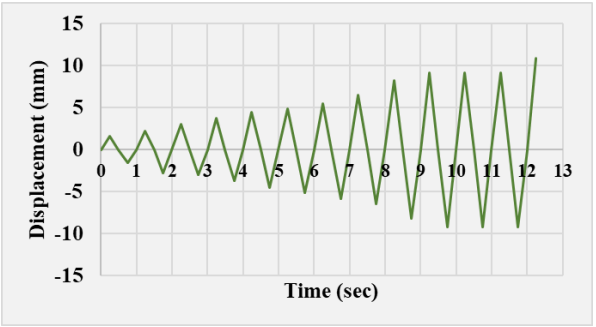


(c-4)سلوك العناصر الفولاذية

الشكل (4) سلوك المواد المستخدمة

5-4- الحمولات المطبقة:

تم تطبيق حمولة محورية في كل عمود قيمتها 200 kN، ثم تم تطبيق برتوكول التحميل (تحكم بالانتقال) عند طرف الجائز موضح في الشكل (4). (Cao et al, 2019)

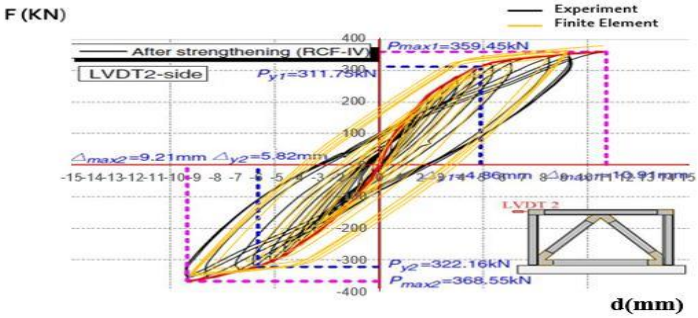


الشكل (4) بروتوكول التحميل

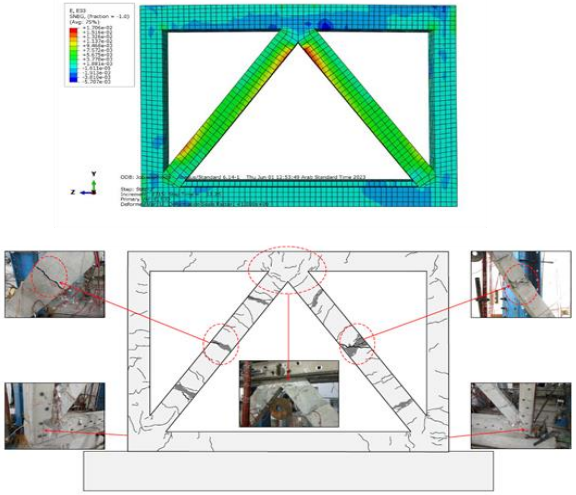
5-5- نتائج التحليل:

بعد إجراء التحليل تبين وجود تقارب واضح في الحلقات الهستيرية بين النموذج التحليلي و التجربة المخبرية بالإضافة الى التقارب في شكل الإنهيار والموضح في الشكل (5)، كما بينت النتائج والمبينة في الجدول (3)، أن الفرق النسبي بين نتائج الدراسة التحليلة ونتائج التجربة المخبرية لم تتجاوز 13.7%، ويعود سبب هذا الفرق إلى أن بارامترات العلاقة التحليلية لسلوك البيتون التي يجب إدخالها ضمن البرنامج لا

يمكن الحصول عليها تجريبياً، بالإضافة إلى أن الظروف المخبرية تعتبر سبب رئيسي لوجود هذا الفرق البسيط، وذلك لأن التحليل البرمجي يتم باعتبار الظروف مثالية، بينما التجربة المخبرية لا تتم بنفس الظروف المثالية.



الشكل (a-5) مقارنة الحلقات الهستيرية للنموذج والتجربة



الشكل (b-5) مقارنة شكل الانهيار بين التجربة المخبرية (Cao et al, 2019) والنموذج التحليلي، Abaqus

الشكل (5) نتائج التحليل والتحقق من السلوك

الجدول (3) النتائج التجريبية والنتائج التحليلية والفرق النسبي بينهما

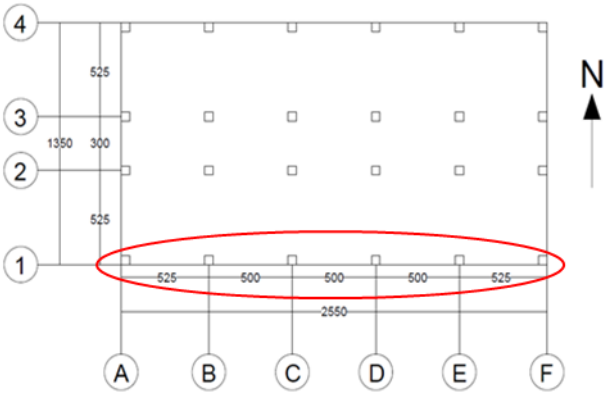
Cyclic load D (mm)	F_{exp} (kN)	F_{FE} (kN)	$\frac{F_{exp} - F_{FE}}{F_{exp}}$
10.91	359.45	374.54	-4.2%
9	348	361.056	-3.75%
8	345	332.846	3.5%
6.5	335	309.365	7.65%
5	280	282.153	-0.77%
4	275	273.339	0.06%
3	220	232.081	-5.5%
2	200	172.703	13.6%
1	110.3	108.722	1.43%
-1	-100	-102.391	-2.4%
-2	-154	-149.197	3.12%
-3	-215	-185.605	13.7%
-4	-250	-234.43	6.22%
-5	-300	-273.562	8.8%
-6.5	-340	-303.426	10.75%
-8	-350	-326.523	6.7%
-9	-355	-340.65	4.04%

6- دراسة سلوك إطار المبنى:

6-1- توصيف المبنى وإطار التدعيم:

المبنى عبارة عن مبنى إطاري افتراضي منتظم من البيتون المسلح مؤلف من 10 طوابق، يبين الشكل (6) المسقط الأفقي للطابق المتكرر حيث تم اعتماد الإطار الذي يقع على المحور 1-1 في الدراسة، والمؤلف من 5 مجازات. يوضح الجدول (1) خصائص المواد المستخدمة للمبنى المدروس، أما بالنسبة لأبعاد المقاطع العرضية لعناصر الإطار البيتوني المسلح فإن المقطع العرضي للأعمدة 50×50 cm في الطوابق الثلاث الأولى ، 40×40 cm في الطوابق من الرابع وحتى السابع، 30×40 cm في الطوابق

الثلاث الأخيرة. الجوائز ساقطة بأبعاد 30×50 cm. يتألف إطار التدعيم البيتوني مسبق الصنع المسلح بصفيحة فولاذية من جائز وأعمدة وشبكة تربيط بشكل V مقلوبة، والمقاطع العرضية لهذه العناصر جميعها 20*20 cm. ويوضح الجدول (2) خصائص مواد إطار التدعيم .

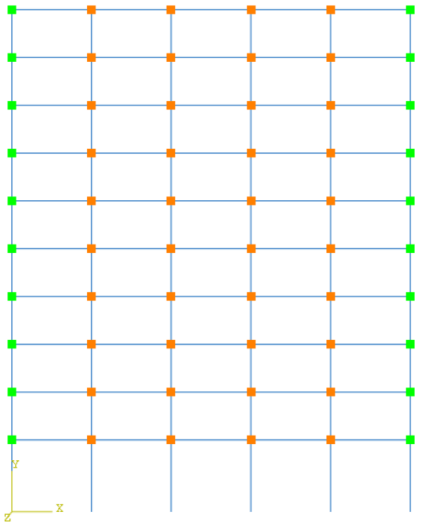


الشكل (6) المسقط الأفقي للمبنى المدروس

6-2- النمذجة:

تم نمذجة الإطار البيتوني المسلح باستخدام برنامج العناصر المحدودة ABAQUS ضمن مستوي ثنائي البعد XY، حيث تم نمذجة الأعمدة والجوائز باستخدام العنصر الخطي Wire وتم تمثيل الحمولة المنتقلة من البلاطات بشكل كتلي mass ضمن العقد والموضحة في الشكل (7).

تم نمذجة إطار التدعيم البيتوني مسبق الصنع ضمن برنامج ABAQUS بشكل مماثل لإطار المبنى، حيث تم استخدام العنصر الخطي Wire لنمذجة الأعمدة والجوائز وشبكة التربيط، وبما أن تثبيت إطار التدعيم بإطار المبنى يتم باستخدام براغي تثبيت Anchors بحيث تملك الصلابة والمقاومة الكافية لتبقى مرنة وبعدد كافي يضمن عدم حدوث قص في البراغي أو انزياح نسبي بين الإطارين تم تمثيل الارتباط بينهما ارتباطاً تاماً وتم تمثيل ارتباط الإطارات بالأساسات ارتباطاً وثيقاً.

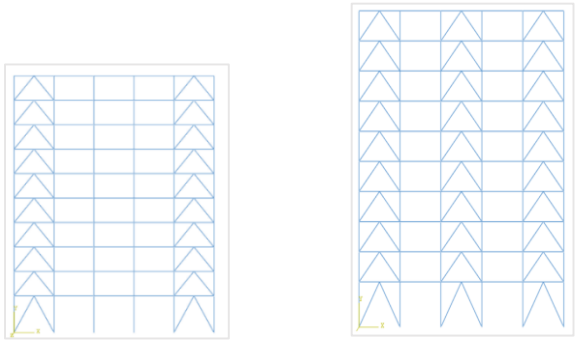


الشكل (7) إطار الدراسة بدون التدعيم

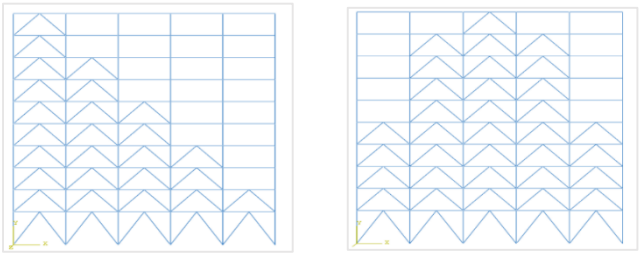
6-3- توضعات إطار التدعيم بالنسبة لإطار المبنى:

تم ربط إطار التدعيم البيتوني مسبق الصنع المسلح بصفائح فولاذية بإطار المبنى بتوضعات مختلفة موضحة في الشكل (8) وفق مايلي:

1. تدعيم الفتحات الطرفية فقط، الشكل (a-8)
2. تدعيم الفتحات الطرفية والوسطية، الشكل(b-8)
3. تدعيم بشكل هرمي، الشكل (c-8)
4. تدعيم بشكل متدرج، الشكل (d-8)



(a-8) **(b-8)**



(c-8) **(d-8)**

الشكل (8) توضعات إطار التدعيم بالنسبة لإطار المبنى:
(a-8) تدعيم الفتحات الطرفية فقط ، (b-8) تدعيم الفتحات الطرفية والوسطية،(c-8) تدعيم بشكل هرمي ، (d-8) تدعيم بشكل متدرج

6-4- الحمولات المطبقة:

تم إجراء تحليل ديناميكي لاخطي باستخدام ثلاث هزات أرضية مختلفة، موضحة في الجدول (4)، حيث تم تطبيق الهزات على إطار المبنى قبل التدعيم، ثم إعادة التحليل بعد التدعيم في التوضعات المختلفة للإطار.

الجدول (4) الهزات الأرضية المستخدمة في التحليل الديناميكي اللاخطي

No	Earthquake name	Station Name	Earthquake Magnitude	PGA-E (g)
1	Imperial Valley 1940	El Centro Array	7	0.281-
2	Kobe, (Japan) 1995	Nishi-Akashi	6.9	0.483-
3	Tabas, (Iran) 1978	Dayhook	7.4	0.323

6-5- نتائج التحليل:

6-5-1- إطار المبنى قبل التدعيم:

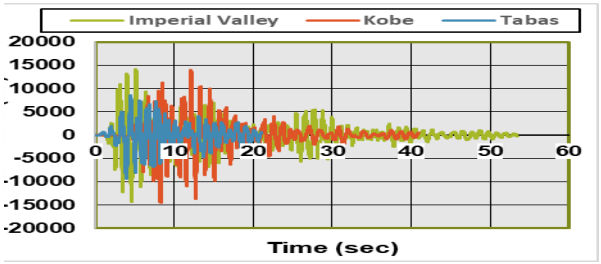
تم تحليل إطار المبنى تحت تأثير الهزات الأرضية الثلاث الموضحة في الجدول (4)

الاستجابة الزلزالية للإطار بدون التدعيم موضحة في الأشكال ((a̤-9)،(b̤-9)،(c̤-9)) والتي تبين التسجيلات الزمنية لقوى القص القاعدي، التسارعات أعلى الإطار والانتقالات أعلى الإطار على التوالي، كما يبين الشكل (d-9) الإزاحات الطابقية الأعظمية، وفي الجدول (5) القيم الأعظمية للاستجابة الزلزالية لإطار المبنى قبل التدعيم تحت تأثير الهزات الأرضية الثلاث.

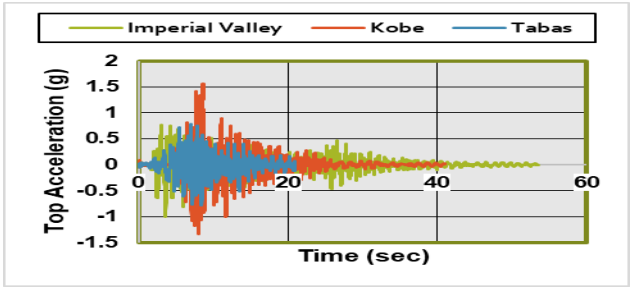
نلاحظ من الجدول (5) والشكل (d-9) أن زلزال Kobe أعطى نتائج أعظمية مقارنة بزلزال Imperial Valley و زلزال Tabas.

الجدول (5) القيم الإعظمية للاستجابة الزلزالية للإطار قبل التدعيم

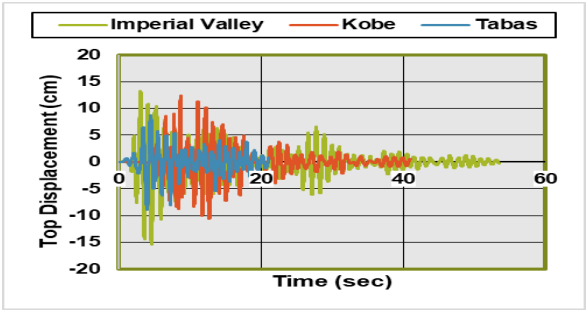
	Imperial Valley	Kobe	Tabas
Max Base Shear (kN)	14384.43	14444.5	9311.37
Max Top Acceleration (g)	1.005	1.556	0.785
Max Displacement (cm)	15.43	12.37	8.94



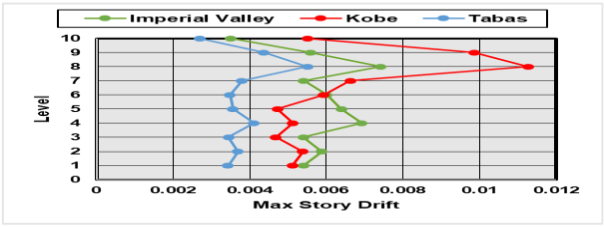
(a-9)



(b-9)



(c-9)



(d-9)

الشكل (8) استجابة الإطار بدون تدعيم تحت تأثير الهزات الأرضية الثلاث: (a-9) قوى القص القاعدي، (b-9) التسارعات أعلى الإطار، (c-9)الانتقالات أعلى الإطار، (d-9) الإزاحات الطابقية الأعظمية

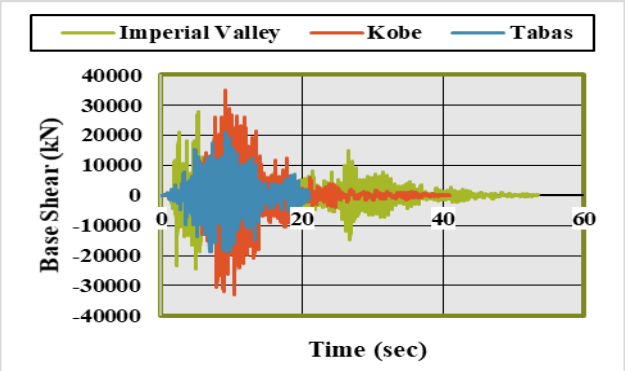
6-5-2- إطار المبنى مع التدعيم بتوضعات مختلفة:

6-5-2-1- الإطار مع تدعيم الفتحات الطرفية فقط:

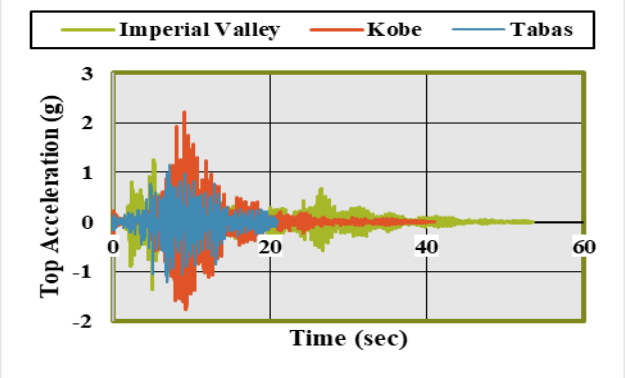
تبين الأشكال((a-10)،(b-10)،(c-10)) التسجيلات الزمنية لقوى القص القاعدي والتسارعات أعلى الإطار والانتقالات أعلى الإطار على التوالي، كما يبين الشكل (d-10) الإزاحات الطابقية الأعظمية، و الجدول (6) يبين القيم الأعظمية للاستجابة الزلزالية لإطار المبنى مع تدعيم الفتحات الطرفية فقط. نلاحظ من الجدول (6) والشكل (d-10) أن زلزال Kobe أعطى نتائج أعظمية مقارنة بزلزال Imperial Valley و زلزال Tabas

الجدول (6) القيم الإعظمية للاستجابة الزلزالية للإطار مع تدعيم الفتحات الطرفية فقط

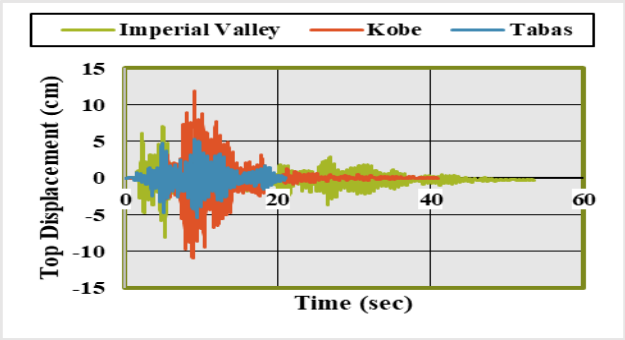
	Imperial Valley	Kobe	Tabas
Max Base Shear (kN)	27991.66	35096.68	20952.79
Max Top Acceleration (g)	1.362	2.21	1.226
Max Displacement (cm)	8.08	11.84	5.39



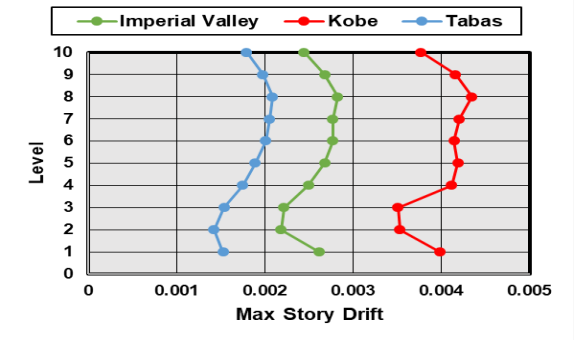
(a-10)



(b-10)



(c-10)



(d-10)

الشكل (10) استجابة الإطار مع تدعيم الفتحات الطرفية تحت تأثير الهزات الأرضية الثلاث : (a-10) قوى القص القاعدي، (b-10) التسارعات أعلى الإطار، (c-10) الانتقالات أعلى الإطار،(d-10) الإزاحات الطابقية العظمى

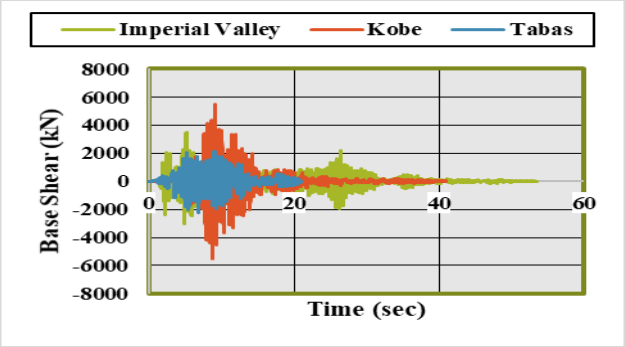
6-5-2-2- الإطـار مـع تـدعيم الفتحـات الطرفيـة والوسطية: تبين الأشكال ((a̤-11)،(b̤-11)،(c̤-11)) التسجيلات الزمنيـة لقـوى القـص القاعـدي والتسـارعات أعلـى الإطـار

والانتقالات أعلى الإطار على التوالي، كما يبين الشكل (11-d) الإزاحات الطابقية الأعظمية، و الجدول (7) يبين القيم الأعظمية للاستجابة الزلزالية لإطار المبنى مع تدعيم الفتحات الطرفية والوسطية.

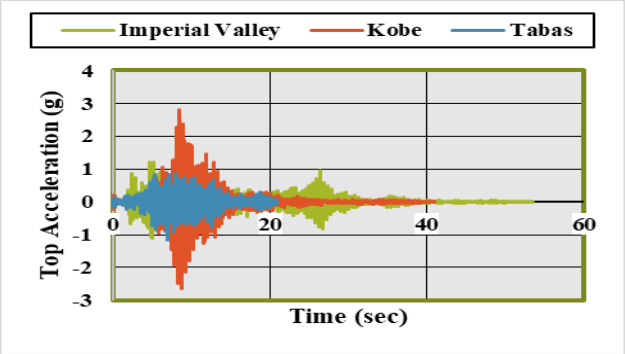
حيث نلاحظ من الجدول (7) والشكل (11-d) أن زلزال Kobe أعطى نتائج أعظمية مقارنة بزلزال Imperial Valley و زلزال Tabas

الجدول (7) القيم الإعظمية للاستجابة الزلزالية للإطار مع تدعيم الفتحات الطرفية والوسطية

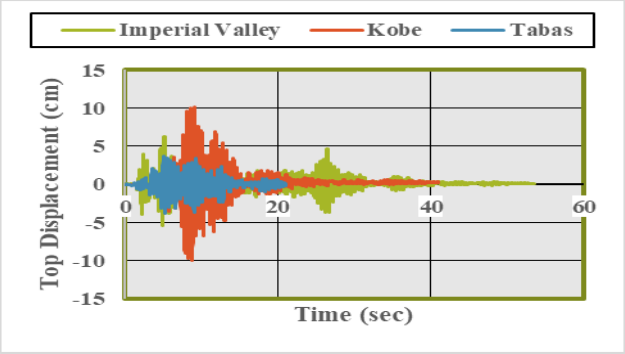
	Imperial Valley	Kobe	Tabas
Max Base Shear (kN)	34318.52	54061.05	21688.24
Max Top Acceleration (g)	1.209	2.799	1.1337
Max Displacement (cm)	6.28	10.21	3.85



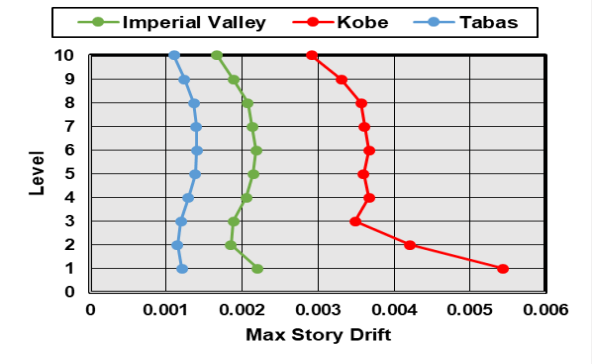
(c-11)



(d-11)



(a-11)



(b-11)

الشكل (11) استجابة الإطار مع تدعيم الفتحات الطرفية والوسطية تحت تأثير الهزات الأرضية الثلاث: (11-a) قوى القص القاعدي، (11-b) التسارعات أعلى الإطار، (11-c) الانتقالات أعلى الإطار، (11-d) الإزاحات الطابقية العظمى

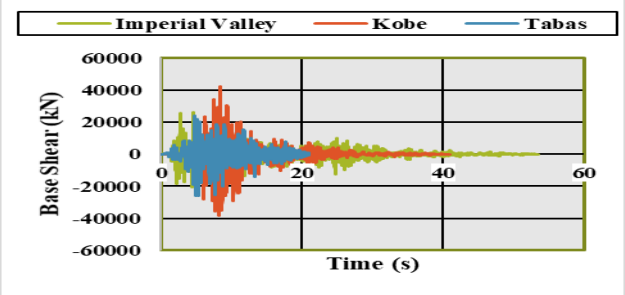
6-5-2-3- نتائج تحليلات الإطار مع تدعيم بشكل هرمي:

تبين الأشكال ((a-12)،(b-12)،(c-12)) التسجيلات الزمنية لقوى القص القاعدي والتسارعات أعلى الإطار والانتقالات أعلى الإطار على التوالي، كما يبين الشكل (d-12) الإزاحات الطابقية الأعظمية، و الجدول (8) يبين القيم الأعظمية للاستجابة الزلزالية لإطار المبنى مع تدعيم بشكل هرمي.

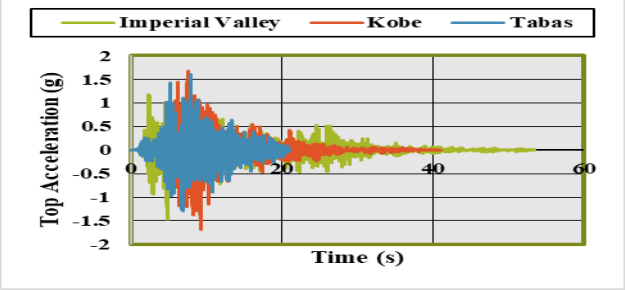
حيث نلاحظ من الجدول (8) والشكل (d-12) أن زلزال Kobe أعطى نتائج أعظمية مقارنة بزلزال Imperial Valley و زلزال Tabas

الجدول (8) القيم الإعظمية للاستجابة الزلزالية للإطار مع تدعيم بشكل هرمي

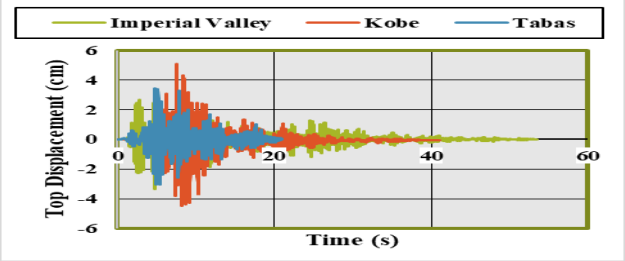
	Imperial Valley	Kobe	Tabas
Max Base Shear (kN)	26019.7	42504.3	26179.18
Max Top Acceleration (g)	1.447	1.68	1.613
Max Displacement (cm)	3.37	5.097	3.42



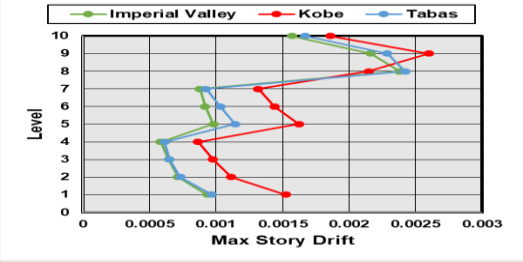
(a-12)



(b-12)



(c-12)



(d-12)

الشكل (12) استجابة الإطار مع تدعيم بشكل هرمي تحت تأثير الهزات الأرضية الثلاث: (a-12) قوى القص القاعدي، (b-12) التسارعات أعلى الإطار، (c-12) الانتقالات أعلى الإطار، (d-12) الإزاحات الطابقية العظمى

6-5-2-4- نتائج تحليلات الإطار مع تدعيم بشكل متدرج:

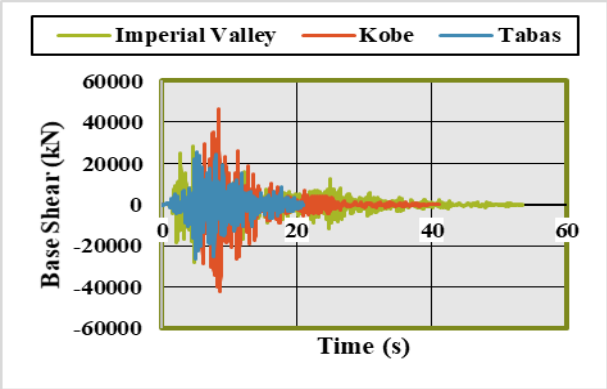
تبين الأشكال ((a-13)،(b-13)،(c-13)) التسجيلات الزمنية لقوى القص القاعدي والتسارعات أعلى الإطار والانتقالات أعلى الإطار على التوالي.

يبين الشكل (d-13) الإزاحات الطابقية الأعظمية، و الجدول (9) يبين القيم الأعظمية للاستجابة الزلزالية لإطار المبنى مع تدعيم بشكل متدرج.

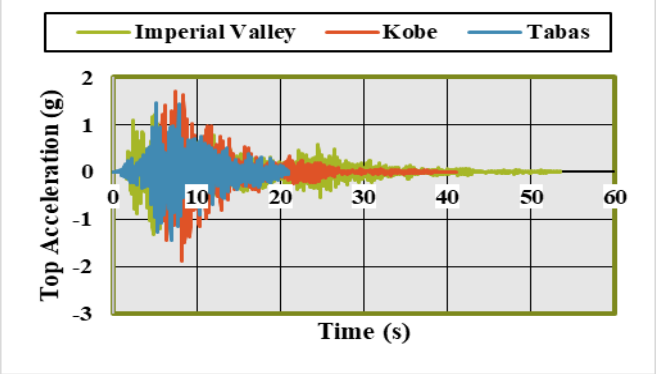
حيث نلاحظ من الجدول (9) والشكل (d-13) أن زلزال Kobe أعطى نتائج أعظمية مقارنة بزلزال Imperial Valley و زلزال Tabas

الجدول (9) القيم الإعظمية للاستجابة الزلزالية للإطار مع تدعيم بشكل متدرج

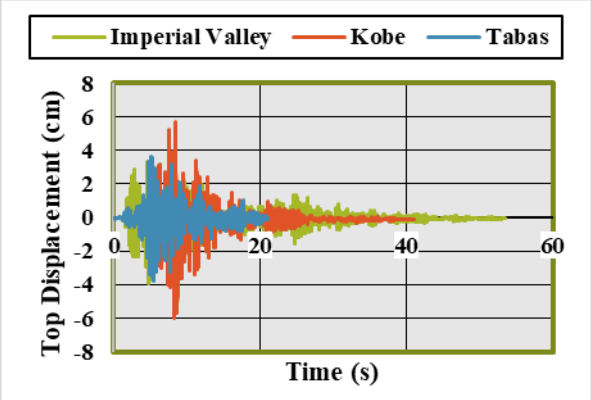
	Imperial Valley	Kobe	Tabas
Max Base Shear (kN)	28431.2	46292.5	26155
Max Top Acceleration (g)	1.326	1.884	1.467
Max Displacement (cm)	3.92	6.039	3.75



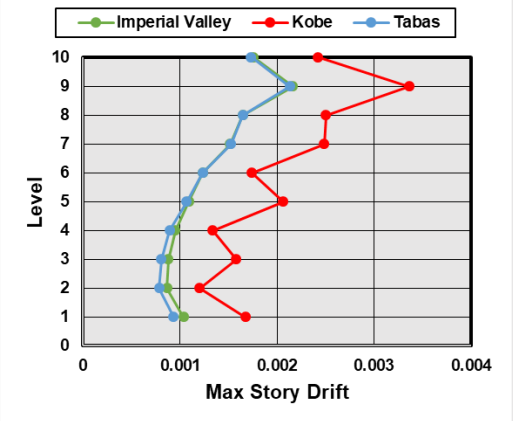
(a-13)



(b-13)



(c-13)



(d-13)

الشكل (13) استجابة الإطار مع تدعيم بشكل متدرج تحت تأثير الهزات الأرضية الثلاث: (a-13) قوى القص القاعدي، (b-13) التسارعات أعلى الإطار، (c-13) الانتقالات أعلى الإطار، (d-13) الإزاحات الطابقية العظمى

6-6- مناقشة النتائج:

نلاحظ من النتائج السابقة أن زلزال Kobe أعطى قيماً أعظمية وعليه تمت المقارنة بين نتائج تحليلات الإطارات المدعمة بالإطار البيتوني مسبق الصنع المسلح بصفيحة فولاذية بكافة التوضعات تحت تأثير زلزال Kobe، لنتمكن من الحصول على أفضل طريقة لتدعيم إطار المبنى.

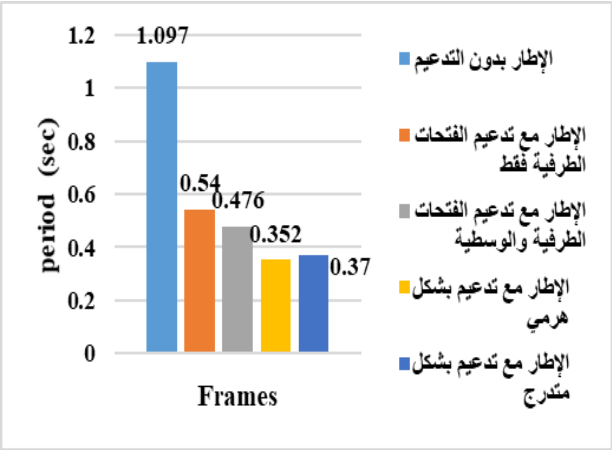
- نلاحظ من الشكل (14) الذي يبين أدوار الإطارات أن دور الإطار انخفض في كافة التوضعات عنه قبل التدعيم حيث انخفض دور الإطار قبل التدعيم من 1.097 sec الى 0.352 secعند استخدام طريقة التدعيم بشكل هرمي بنسبة 67.91%، أما التدعيم بشكل متدرج أدى الى انخفاض الدور بنسبة 66.27%، وفي حالة تدعيم الفتحات الطرفية والوسطية معاً كانت نسبة انخفاض الدور 56.61%، وانخفض الدور بنسبة 50.77% عند تدعيم الفتحات الطرفية فقط.

– يبين الشكل (15–a) الانتقالات الأعظمية أعلى الإطار للتوضعات الأربعة مقارنة بالإطار بدون التدعيم، أن الانتقالات انخفضت في كافة أشكال التدعيم عنها قبل التدعيم، حيث أعطى الإطار المدعم بشكل هرمي نتيجة أفضل مقارنة بالتوضعات الأُخرى، انخفض الانتقال بنسبة 58.75% في حالة التدعيم بشكل هرمي عنه في الإطار قبل التدعيم، بينما طريقة تدعيم الفتحات الطرفية فقط أدت لانخفاض الانتقال أعلى الإطار بنسبة 4.14% فقط، وكذلك بالنسبة لطريقة تدعيم الفتحات الطرفية والوسطية معاً حيث انخفضت بنسبة 17.41%، أما طريقة التدعيم بشكل متدرج أدت لانخفاض بنسبة 51.13%.

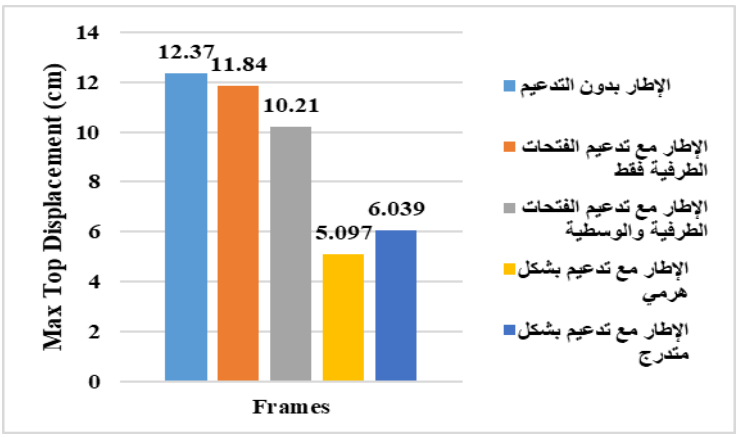
– بالنسبة للتسارعات الأعظمية أعلى الإطار الشكل (15–b)، فإنها ازدادت في كافة التوضعات مقارنة بها للإطار بدون التدعيم، لكن طريقة التدعيم بشكل هرمي أعطت أقل قيم لزيادة التسارعات التي حصلت بعد التدعيم بنسبة 7.99%.

– ازدادت قوى القص القاعدي بعد التدعيم بكافة التوضعات وذلك بسبب زيادة الوزن بعد إضافة إطار التدعيم إلى إطار المبنى. مبين في الشكل (15–c) القيم الأعظمية لقوى القص القاعدي.

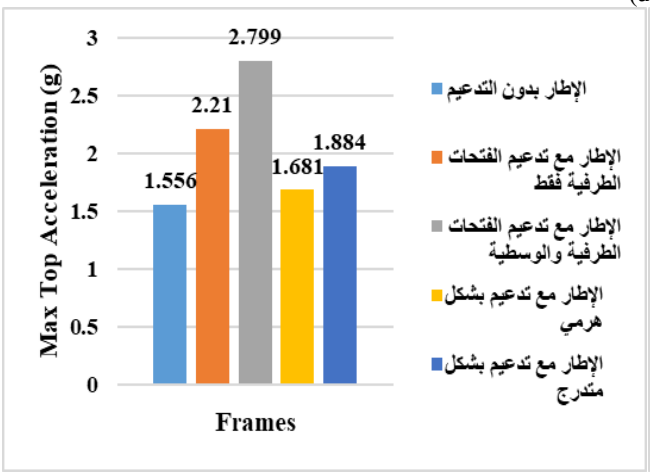
– انخفضت الإزاحات الطابقية الأعظمية في كافة الطوابق بعد استخدام التدعيم بكافة الأشكال كما هو موضح في الشكل (15–d)، لكن أظهرت طريقة التدعيم بشكل هرمي أفضل النتائج وفي كافة الطوابق.



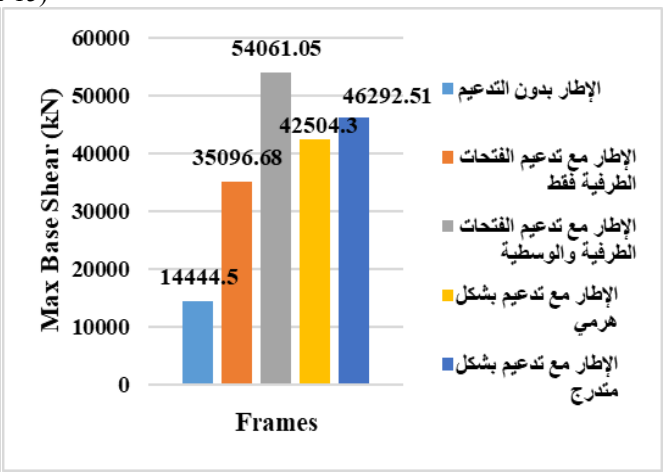
الشكل (14) أدوار الإطارات



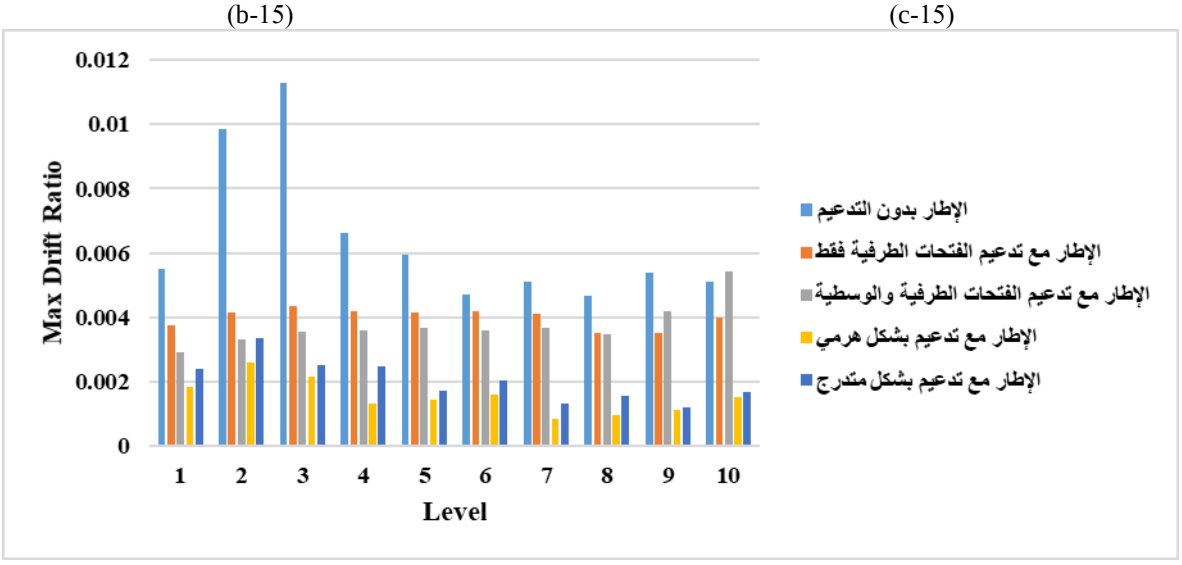
(a-15)



(b-15)



(c-15)



(d-15)

الشكل (15) مقارنة نتائج الاستجابة الزلزالية للإطارات تحت تأثير زلزال Kobe: (a-15) الانتقالات الأعظمية أعلى الإطار، (b-15) التسارعات الأعظمية أعلى الإطارات ، (c-15) قوى القص القاعدي الأعظمية ، (d-15) الإزاحات الطابقية الأعظمية

7- الاستنتاجات:

1) استخدام الإطارات مسبقة الصنع المسلحة بصفيحة فولاذية PBSPC في التدعيم الخارجي للمباني الإطارية يحسن بشكل كبير من الأداء الزلزالي مما يقلل من الأضرار المحتملة أثناء حدوث الزلازل .

2) إن أكبر قيم للاستجابة الزلزالية كانت بتطبيق زلزال Kobe حيث أعطى قيماً أعظمية مقارنة بكل من زلزال Imperial Valley وزلزال Tabas.

3) تحسنت الاستجابة الزلزالية للإطار باستخدام جميع أشكال التدعيم المقترحة (تدعيم الفتحات الطرفية فقط، تدعيم الفتحات الطرفية والوسطية، تدعيم بشكل هرمي، تدعيم بشكل متدرج)، حيث انخفض الانتقال الجانبي أعلى الإطار بنسبة تتراوح بين (4.28% – 58.8%)، وزاد التسارع أعلى الإطار بنسبة تتراوح بين (8.03% – 79.88%)، وازدادت قوى القص القاعدي بنسبة تتراوح بين (142.79% – 274.25%)، بينما انخفض الدور بنسبة تتراوح بين (50.77% - 67.91%)

4) إن التدعيم بشكل هرمي أعطى أفضل النتائج مقارنة بالتوضعات الأخرى، حيث انخفض الانتقال الجانبي أعلى الإطار بنسبة 58.8%، وازداد التسارع أعلى الإطار بنسبة 8.03%، كما ازدادت قوى القص القاعدي بنسبة 194.25%. أما بالنسبة للإزاحات الجانبية أعطت طريقة التدعيم بشكل هرمي أكبر قيم للفرق النسبي وفي جميع الطوابق، بنسب تتراوح بين 65.69% في الطابق الخامس و 83.11% في الطابق الرابع، كما انخفض الدور بنسبة 67.91%.

8- التّوصيات والأعمال المستقبليّة:

1) دراسة موضوع التدعيم بشكل جزئي ضمن المبنى لتحديد عدد الطوابق التي يكون الإطار فعال فيها (على كامل ارتفاع المبنى أو ضمن طوابق محددة) وارتفاع المبنى (منخفضة الارتفاع والعالية)

2) دراسة سلوك الصفيحة الفولاذية ضمن الإطار مسبق الصنع وتغيير البارامترات المتعلقة بها (سماكتها– عرضها)

3) دراسة سلوك براغي التثبيت Anchors المستخدمة لربط إطار التدعيم مسبق الصنع بإطار المبنى بشكل مفصّل.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

9-References:

[1] Cao XY،Wu G ،Feng DC ،Zu XJ (2019). Experimental and Numerical Study of Outside Strengthening with Precast Bolt-Connected Steel-Plate Reinforced Concrete Frame-Brace. Journal of Performance of Constructed Facilities; 33(6): 04019077.

[2] Cao XY،Wu G،Feng DC،Wang Z & Cui HR (2020). Research on the Seismic Retrofitting Performance of RC Frames Using SC-PBSPC BRBF Substructures. Earthquake Engineering & Structural Dynamics.

[3] NourEldin M ،Naeem Asad ،Kim Jinkoo (2019). Seismic retrofit of a structure using self-centering precast concrete frames with enlarged beam ends. Magazine of Concrete Research
ISSN 0024-9831 | E-ISSN 1751-763X Volume 72 Issue 22, November, 2020, pp. 1155-1170.

[4] NourEldin M ،Dereje A J ،Kim Jinkoo (2019). Seismic retrofit of RC buildings using self-centering PC frames with friction dampers. Engineering Structures Volume 208, 1 April 2020, 109925.

[5] Takeda K،Tanaka K،Someya T ،Sakuda A & Ohno Y (Summer 2013). Seismic retrofit of reinforced concrete buildings in Japan using external precast ،pre-stressed concrete frames. PCI Journal | summer 2013.