مجلة جامعة دمشق لبحوث الزلازل والكوارث
المجلد 2 العدد(1) – 2025: 29-45

Damascus University Journal of Earthquake and Disaster Research
Vo 2 number (1) -2025: 29-45

استخدام عناصر التربيط الممنوعة من التحنيب في تحسين السلوك الديناميكي للإطارات المعدنية متوسطة الارتفاع

زينب عزيز لوحو [1*] ريم سلمان الصحناوي [2]

[1*]. طالبة ماجستير، مهندسة، قسم الهندسة الإنشائيّة الزّلزاليّة، المعهد العالي للبحوث والدّراسات الزّلزاليّة، جامعة دمشق. zeinab.loho@damascusuniversity.edu .sy

[2]. مدرسة، دكتورة، مهندسة، قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق reem1.salman@damascusuniversity.edu. sy

الملخص:

استخدمت عدة طرق لرفع كفاءة الإطارات المعدنية زلزالياً وتعد عناصر التربيط الممنوعة من التحنيب(BRBs) من أهم وأحدث الطرق لرفع كفاءة هذه الإطارات زلزالياً. ونظراً للاستخدام الواسع لعناصر التربيط الممنوعة من التحنيب وأهميتها في مقاومة القوى الجانبية، جاءت أهمية البحث في دراسة تأثير تزويد الإطارات المعدنية بمثل هذه العناصر في سبيل تحسين الاستجابة الزلزالية لها.

تم في هذا البحث القيام بدراسة تحليلية بالاستعانة ببرنامج(ABAQUS19) للتحري عن السلوك الديناميكي لعنصر التربيط الممنوع من التحنيب. ومن ثم تمت دراسة السلوك الديناميكي لإطار معدني متعدد الطوابق مزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب تحت تأثير عدة هزات أرضية. وبهدف تحسين السلوك الديناميكي تم تغيير عدة بارامترات كارتفاع الإطار، تغيير مكان وجود عنصر التربيط. تم تقييم الاستجابة للإطار المعدني من خلال مقارنة التسارعات والإزاحات الطابقية وقوى القص القاعدية وكمية الطاقة المبددة. أظهرت النتائج فعالية استخدام عناصر التربيط الممنوعة من التحنيب في الإطارات المعدنية متوسطة الارتفاع، حيث نقصت التسارعات والإزاحات الطابقية وقوى القص القاعدية بينما زادت كمية الطاقة المبددة.

الكلمات المفتاحية: عنصر تربيط ممنوع من التحنيب، إطار مزود لا مركزياً بعنصر تربيط ممنوع من التحنيب، ارتفاع الإطار، مكان وجود عنصر التربيط، الطاقة المبددة.

تاريخ الإيداع: 2023/12/5
تاريخ القبول: 2024/2/20

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

Using buckling restrained braces to improve the dynamic behavior of steel frames medium- height

Zeinab Aziz LOHO*[1] Reem Salman ALSEHNAWI[2]

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

[2]. Assistant Professor in Department of Seismic Structural Engineering, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, University of Damascus, Syria.
reem1.salman@damascusuniversity.edu.sy

Received: 5 /12/2023
Accepted: 20 /2/2024

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

Abstract:

The use of buckling restrained braces (BRBs) has significantly enhanced the seismic efficiency of steel frames, a recent and significant technique in the construction Industry. The study emphasizes the widespread adoption of buckling restrained braces and their role in resisting lateral stresses by examining their abilities to modify the seismic response of steel frames. The dynamic behavior of these braces is analyzed by the study using (Abaqus 19 software). The study examined the dynamic behavior of a multi - story steel frame with eccentric buckling restrained braces (BRBFES) under earthquake motions. Parameters like BRB location and frame height were adjusted to improve dynamic behavior. The response was evaluated by comparing acceleration, story drifts, base shear forces and dissipated energy. The outcomes demonstrated the efficiency of buckling restrained braces in medium - height steel frames, where the dissipated energy was raised and the acceleration, the story “drifts, and base shear forces were reduced.

Key words: BRB, BRBFE, Frame height, BRB position, dissipated energy.

المقدّمة:

تناولت العديد من الدراسات التجريبية والتحليلية أثر ومزايا إضافة عناصر التربيط الممنوعة من التحنيب (BRBs) إلى الإطارات المعدنية من حيث زيادة مقاومة وقساوة هذه الإطارات عند تعرضها لحمولات زلزالية أو دورية، حيث أن معظم المنشآت المعدنية المزودة بعناصر تربيط تقليدية قد انهارت بشكل كامل بسبب التدهور الكبير في القساوة والمقاومة. نظراً لذلك اتجهت الأبحاث إلى تزويد الإطارات المعدنية بعناصر التربيط الممنوعة من التحنيب (BRBs) في سبيل تحقيق الاستجابة المرجوة، والتي أثبتت فعاليتها في تحسين الاستجابة الزلزالية. تتألف عناصر التربيط الممنوعة من التحنيب(BRBs) من نواة فولاذية وغلاف بيتوني يوجد بينهما مادة مانعة للالتصاق وفي المحيط يوجد غلاف فولاذي يحيط بالغلاف البيتوني، حيث يتميز هذا المخمد بمقاومته المتميزة والمتماثلة على الشد والضغط، بالإضافة إلى كلفته الاقتصادية المنخفضة، وقدرته الكبيرة على تخميد الطاقة.

قدم (Lin et al .,2012) بحثاً تجريبياً استعرض فيه عنصر التربيط الممنوع من التحنيب وتم عرض مجموعة من التحديثات لهذا العنصر في تايوان. احتوت هذه التحديثات على أبحاث وتحريات عن المادة المانعة للالتصاق (unbonding material) ونمذجة إطار مزود بهذا العنصر نمذجة دقيقة. أثبتت النتائج أن عيوب (BRB) يمكن تجنبها إذا تم تصميم طبقة التغطية بشكل جيد، وبخصوص التصميم الزلزالي فإن الإطار المزود بعنصر التربيط الممنوع من التحنيب BRBF أعطى سلوكاً مستقراً في الحلقات الهيستيرية لجميع مكونات الإطار.

قامت (الملحم، 2020) بدراسة تحليلية للتحري عن السلوك الديناميكي لعنصر التربيط الممنوع من التحنيب(BRB) المزود بوصلات اتصال مختلفة تحت تأثير الأحمال الدورية. هدفت الدراسة إلى إضافة عنصر التربيط(BRB) إلى الإطارات المعدنية تحت تأثير أحمال زلزالية، حيث أظهرت النتائج أهمية التربيط الجانبي الممنوع من التحنيب في تحسين السلوك الزلزالي للإطارات المعدنية وفي زيادة مقاومتها وتخفيض انتقالاتها وفعاليتها الكبيرة في تخفيض الاستجابة للإجهادات الناظمية، وبالتالي حماية المنشآت المعدنية المزودة بهذه العناصر من الانهيار الكلي عند تعرضها للحمولات الزلزالية.

قدم (Bahrami et al., 2020) دراسة تجريبية وتحليلية وعددية لعنصر التربيط الممنوع من التحنيب (BRB)، ومن ثم تصميم إطار مزود بعنصر التربيط الممنوع من التحنيب (BRBF) وتحليله ديناميكياً تحت ثلاثة سجلات زلزالية أساسية. تم التوصل في هذه الدراسة إلى استجابة هيكلية أفضل بحالة عناصر التربيط الممنوعة من التحنيب (BRBF) مقارنةً بعناصر التربيط التقليدية (EBF)، وذلك بحالة قوى القص القاعدي وتبديد الطاقة وفي معظم حالات الإزاحة الجانبية ودورانات روابط القص، وبالتالي فإن إطار (BRBF) يكون خيار فعال عملياً لمقاومة القوى الجانبية الكبيرة.

كما قام(Shete et al., 2022) بإجراء دراسة تحليلية وعددية لعنصر تربيط ممنوع من التحنيب وللتحقق من صحة النموذج تمت المقارنة مع نموذج تجريبي، ومن ثم تم إجراء دراسة بارامترية بتغيير طول النواة ضمن مجال يتراوح منm (1−3) وتغيير معامل الاحتكاك من (0−1). حيث لوحظ أنه مع زيادة معامل الاحتكاك بين النواة الفولاذية والبيتون كانت الاستجابة الهستيرية غير متناظرة مع انخفاض في تبديد الطاقة. كما وجد أن الصلابة المحورية تزداد بنقصان الطول المتلدن من النواة الفولاذية. كما تبين أن طول النواة المتلدنة والاحتكاك يؤثران على الاستجابة الدورية لـ (BRB).

قام (Ostovar et al.,2023) بإجراء دراسة تحليلية وتجريبية لتقييم أداء عنصر التربيط الممنوع من التحنيب باستخدام بيتون فائق الأداء (UHPFRC) ومكونات مطاطية عالية المرونة بين النواة الفولاذية والبيتون. وتم دراسة السلوك الهيستيري للعنصر تحت تاثير الأحمال الدورية. أظهرت نتائج

التحليل تحسنًا ملحوظًا في سعة التحميل وتبديد الطاقة لعنصر RBRB مقارنةً بعنصر BRB التقليدي.

سيتم في هذا البحث القيام بدراسة تحليلية لعنصر التربيط الممنوع من التحنيب ومن ثم إضافته لا مركزياً لإطار معدني مقاوم للعزوم تحت تأثير عدة هزات زلزالية وإجراء الدراسة البارامترية.

1- أهمية وهدف البحث:

أظهرت الدراسات والأبحاث السابقة مقدار التدهور الكبير في القساوة والمقاومة الذي تعاني منه عناصر التربيط التقليدية نتيجة التحنيب المبكر عند الضغط، بالإضافة إلى محدودية المطاوعة والقدرة على تبديد الطاقة التشوهية لعنصر التربيط التقليدي، وبالتالي ظهرت الحاجة إلى استبدال هذه العناصر بعد تعرض المنشآت المزودة بها للحمولات الزلزالية. كما أغفلت كافة الدراسات السابقة أثر استخدام التربيط على شكل حرف (v) مقلوبة في إطار متعدد الطوابق بالإضافة لتغيير مكان وجوده ضمن الإطار. نظراً للاستخدام الواسع لعناصر التربيط الممنوعة من التحنيب في رفع كفاءة المنشآت الواقعة في مناطق نشطة زلزالياً، وأهميتها في مقاومة القوى الجانبية. جاءت أهمية البحث في دراسة تأثير تزويد الإطارات المعدنية متوسطة الارتفاع بعناصر التربيط الممنوعة من التحنيب ودراسة الموقع الأفضل لتموضعها ضمن الإطار في سبيل تحسين الاستجابة الزلزالية لها.

يهدف البحث إلى تقييم الاستجابة الزلزالية للإطارات المعدنية المستوية المزودة لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب من خلال:

- دراسة سلوك عنصر التربيط الممنوع من التحنيب(BRB) تحت تأثير حمل دوري.
- دراسة سلوك إطار معدني مستوي مقاوم للعزوم مزود لامركزياً بعنصر تربيط ممنوع من التحنيب تحت تأثير عدة هزات أرضية مع أخذ أثر تغيير:

– موقع عناصر(BRB) ضمن الإطار المدروس.

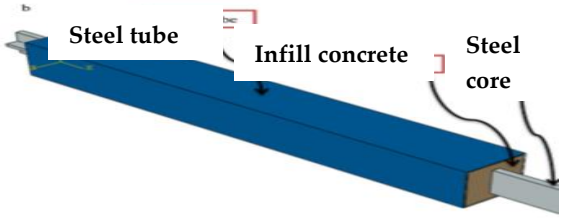
– ارتفاع الإطار المزود لامركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب (BRBFE) ومقارنتها مع إطار مزود لامركزياً بعناصر تربيط تقليدية (EBF).

سيتم في هذا البحث دراسة السلوك الديناميكي لعنصر التربيط الممنوع من التحنيب تحت تأثير حمل دوري باستخدام برنامج (ABAQUS19)، ومن ثم إضافته لإطار معدني مستوي مقاوم للعزوم متعدد الطوابق وإجراء الدراسة البارامترية تحت تأثير ثلاث هزات زلزالية.

2-معايرة عنصر التربيط الممنوع من التحنيب:

2-1- توصيف المخمد المدروس:

تم في هذا البحث إجراء دراسة تحليلية لعنصر BRB الذي اختبر من قبل(Bahrami et al.,2020) اعتمد هذا المخمد في المعايرة ومن ثم تم إضافته لإطار معدني مستوي مقاوم للعزوم، وإجراء الدراسة البارامترية للحصول على السلوك الأفضل. يبين الشكل (1) أقسام المخمد المدروس، حيث الطول والمساحة العرضية للنواة الفولاذية 100cm، $6.4cm^2$ على التوالي.



الشكل (1) العينة المدروسة[10]

2-2-المواد المستخدمة في الدراسة:

يبين الجدول(1) خصائص المواد المستخدمة، حيث استخدمت خصائص المواد ذاتها في الدراسة المرجعية (Bahrami et al., 2020) تم أخذ سلوك الفولاذ مرن تقسية تشوهية كما تم نمذجة البيتون كمادة مرنة.

الجدول (1) خصائص المواد المستخدمة

إجهاد الضغط للبيتون	MPa30F`c=
معامل مرونة البيتون	MPa30000Ec=
معامل بواسون للبيتون	18νconcret=0.
الوزن الحجمي للبيتون	ɤc=24kN/m^3
حد السيلان لفولاذ النواة	MPa297.5Fy=
حد السيلان لفولاذ الغلاف	MPa370Fy=
معامل مرونة الفولاذ	E_{st} =200000MPa
الوزن الحجمي للفولاذ	γ_{st} =78kN/m^3
معامل بواسون الفولاذ	ν_{steel} =0.3

سلوك النواة الفولاذية كان باستخدام نموذج ثنائي الخطية Bilinear Kinematic Hardening

وذلك من أجل أخذ التقسية التشوهية للفولاذ ما بعد مرحلة المرونة(جابر وآخرون،2022).

تم اعتبار الغلاف البيتوني مرن نظراً لأن المهمة الرئيسية له هي منع النواة من التحنيب فقط.

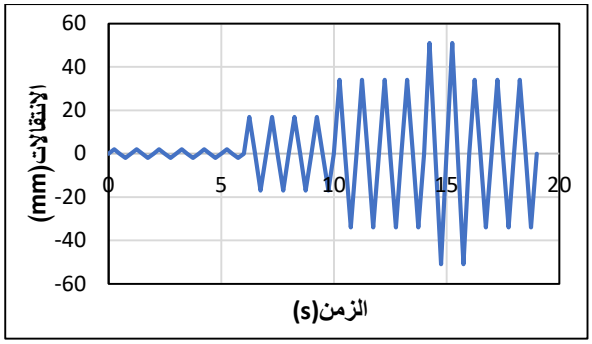
2-3-توصيف العناصر المستخدمة بالنمذجة:

تم إنشاء نموذج تحليلي لعنصر التربيط الممنوع من التحنيب (BRB) باستخدام برنامج العناصر المحدودة ABAQUS.19 نمذجت العناصر البيتونية باستخدام عناصر خطية أما العناصر الفولاذية فنمذجت باستخدام عناصر حجمية. تم الربط بين النواة والغلاف البيتوني عن طريق تماس مع غلاف قاسي على محيط النواة لا يسمح بتحنيبها بعد تشوه جانبي صغير نسبياً.

تم تمثيل التفاعل ما بين النواة والغلاف القاسي عن طريق Interactions (Surface to surface)

مع استخدام معامل احتكاك 0.017 [10]

تم تطبيق بروتوكول تحميل كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل(2) بروتوكول التحميل المطبق[10]

2-4-السلوك الهيستيري للنموذج المدروس:

تمت مقارنة السلوك الهيستيري الناتج عن الدراسة التحليلية لهذه الدراسة مع السلوك الهيستيري الذي أوجده الباحث(Bahrami et al., 2020) تجريبياً كما هو مبين في الشكل (3).

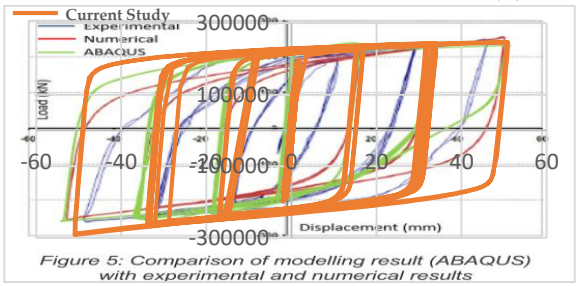


Figure 5: Comparison of modelling result (ABAQUS) with experimental and numerical results

الشكل(3) الحلقة الهيستيرية الناتجة عن النموذج التحليلي والحلقة الهيستيرية الناتجة عن النموذج التجريبي للدراسة المرجعية.

بالمقـ ـي الذي أوجدناه والتجريبي للباحث(Bahrami et al., 2020) نلاحظ وجود تقارب في السلوك بين النموذج التحليلي والتجريبي كما هو مبين في الشكل (3)، حيث كان أكبر فرق نسبي بين الدراستين التحليلية والتجريبية بحدود12.6% نتج هذا الفرق في القيم نتيجة نقص بارامترات تعريف مادة الفولاذ في الدراسة السابقة.

3-السلوك الديناميكي للإطار المعدني المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب:

3-1-توصيف النموذج والهزات المستخدمة:

تم اعتماد إطار معدني مقاوم للعزوم 2D متعدد الطوابق بثلاث فتحات. مجاز الفتحة الواحدة 7.32m، ارتفاع الطابق

الأرضي5.49m، وارتفاع الطابق المتكرر3.66m. مزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب تحت تأثير عدة هزات زلزالية.

تم استخدام عناصر تربيط ممنوعة من التحنيب بمساحةmm^2(55*10). إجهاد الخضوع لفولاذ الجوائز والأعمدة Fy=250 MPa .

تم نمذجة الإطار المعدني ودراسة السلوك الديناميكي مع أخذ البارامترات التالية بعين الاعتبار:

1. تغيير مكان وجود عنصر التربيط الممنوع من التحنيب باقتراح ثلاث توضعات لعنصر التربيط في الإطار المعدني بارتفاع عشرة طوابق تحت تأثير ثلاث هزات زلزالية.
2. تغيير ارتفاع الإطار المعدني المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب بأخذ ثلاثة ارتفاعات مختلفة (10 – 13 – 16) طابق وذلك تحت تأثير ثلاث هزات زلزالية ومقارنتها مع إطار معدني مزود لا مركزياً بعناصر تربيط تقليدية تحت تأثير هزة كوشيرو.

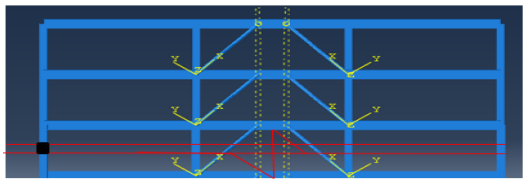
تم استخدام هزات تاباس وكوجالي وكوشيرو بشدات مختلفة كماهو مبين في الجدول(3).

الجدول (2) الهزات الزلزالية المطبقة

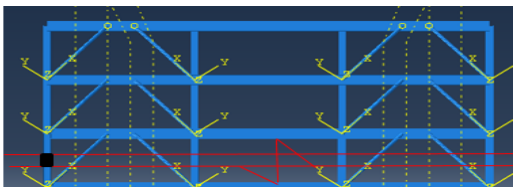
Earthquake name	Year	Earthquake Magnitude	PGA (g)	دور الهزة
tabas	1878	7.4	0.32	0.2s
kocaeli	1999	7.5	.310-	0.38s
kushiro	1993	7.6	1.06	0.32s

3-2- تحديد مكان عنصر التربيط الممنوع من التحنيب:

- لتحديد المكان الأنسب لتوضع عنصر التربيط الممنوع من التحنيب تمت بداية دراسة تغيير مكان وجود عنصر التربيط (BRB) لإطار معدني مؤلف من عشر طوابق تحت تأثير هزة تاباس. حيث تمت مقارنة الاستجابة الديناميكية للإطار المعدني المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الفتحة الوسطية للإطار المبين في الشكل(4-a) مع الإطار المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الفتحتين الطرفيتين المبين في الشكل (4-b) والمتمثلة في (التسارع الزلزالي، الإزاحة الطابقية، القص القاعدي، الطاقة المبددة) وتمت مقارنة النتائج.



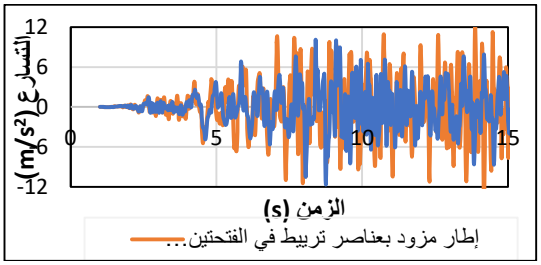
(a)



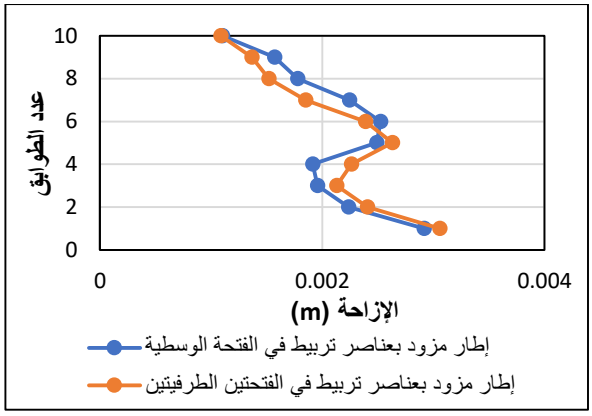
(b)

الشكل(4) إطار معدني مزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الفتحة الوسطية (a) والفتحتين الطرفيتين(b) .

تم إيجاد أن التسارع الأعظمي في الطابق الأخير 1.53g في الإطار المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الفتحتين الطرفيتين و1.19g في الإطار المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الفتحة الوسطية كما هو مبين في الشكل (5) أي انخفض بفرق نسبي 22% وبالنسبة لقيم الإزاحة كانت القيمة الأعظمية 0.305cm في الإطار المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الفتحتين الطرفيتين و0.291cm في الإطار المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الفتحة الوسطية كما هي مبينة الشكل (6) أي انخفضت بفرق نسبي 4.6%.

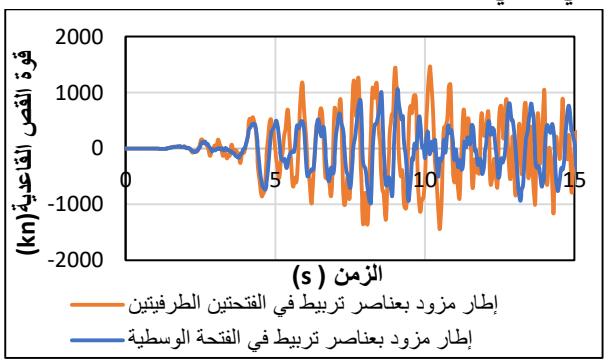


الشكل (5) التسارع الزلزالي للإطار ذو العشرة طوابق تحت تأثير هزة تاباس.

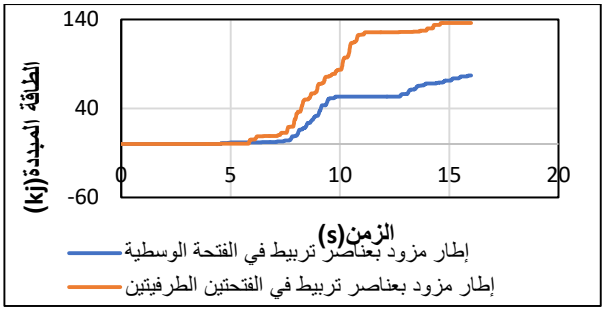


الشّكل (6) الإزاحات الطابقية للإطار ذو العشرة طوابق تحت تأثير هزة تاباس.

يظهر الشكل (7) قوى القص القاعدية حيث تم أخذ القيمة الأعظمية في الحالتين حيث بلغت قيمة القص القاعدي الأعظمية 1470Kn في حالة الإطار المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الفتحتين الطرفيتين و1061.6Kn في حالة الإطار المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الفتحة الوسطية أي انخفضت بفرق نسبي حوالي 27.8% ويظهر الشكل (8) الطاقة المبددة اللدنة حيث تم أخذ القيمة الأعظمية في الحالتين حيث بلغت قيمة الطاقة المبددة 136Kj في حالة الإطار المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الفتحتين الطرفيتين و76.8Kj في حالة الإطار المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الفتحة الوسطية أي انخفضت بفرق نسبي حوالي 43.5%.



الشّكل (7) قوى القص القاعدية للإطار ذو العشرة طوابق تحت تأثير هزة تاباس.



الشّكل (8) الطاقة المبددة اللدنة للإطار ذو العشر طوابق تحت تأثير هزة تاباس.

وبمقارنة استجابة الإطارين نلاحظ زيادة نسبة تخميد الطاقة في الإطار المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الفتحتين الطرفيتين وهذا يعود لمضاعفة عدد عناصر التربيط المستخدمة. في حين أن التسارع الزلزالي، الإزاحات الطابقية، القص القاعدي قد نقصت. وبالتالي نستنتج أن وضع عناصر التربيط الممنوعة من التحنيب في الفتحة الوسطية ذات فعالية أكبر من وضعها في الفتحات الطرفية في الحالة المدروسة ولذلك تم اعتمادها لتغيير أماكن وضع المخمد في المراحل اللاحقة.

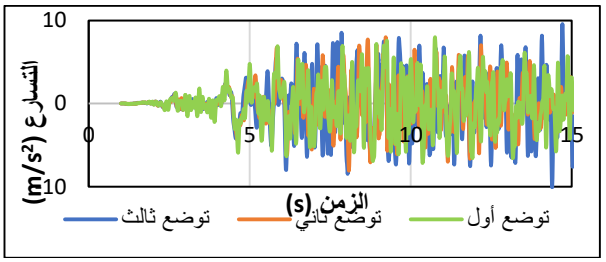
5-تغيير مكان وجود عناصر التربيط الممنوعة من التحنيب:

تم اعتماد ثلاث توضعات لعناصر التربيط الممنوعة من التحنيب ضمن الفتحة الوسطية للإطار المعدني المكون من عشرة طوابق تحت تأثير ثلاث هزات زلزالية.

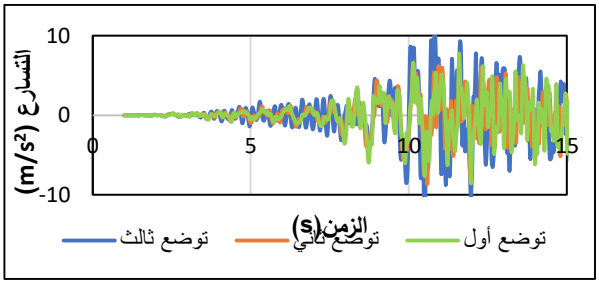
- التوضع الأول، تم وضع عناصر التربيط الممنوعة من التحنيب على كامل ارتفاع الإطار.
- التوضع الثاني تم وضع عناصر التربيط الممنوعة من التحنيب للطوابق السبعة الأولى وعناصر تربيط تقليدية للطوابق الثلاثة الأخيرة، حيث تم اختيار التوضع الثاني بناء على حساب الطاقة التخميدية للإطار المعدني المكون من عشرة طوابق التي كانت معدومة في الطوابق الثلاثة الأخيرة.
- التوضع الثالث تم وضع عناصر تربيط ممنوعة من التحنيب وعناصر تربيط تقليدية في الطوابق مثنى مثنى.

تم إيجاد نتائج الاستجابة الزلزالية للتوضعات الثلاثة تحت تأثير الهزات الزلزالية الثلاث (تاباس- كوجالي-كوشيرو)،

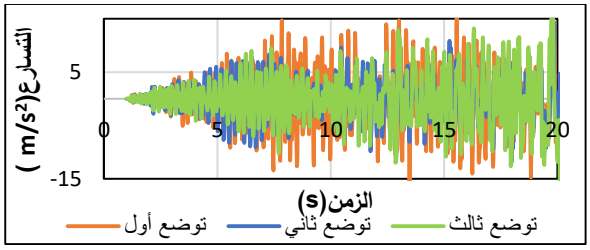
حيث تم إظهار التسارعات الزلزالية في الشكل (9) للتوضعات الثلاثة تحت تأثير الهزات الزلزالية الثلاث المطبقة. يظهر الشكل (9– a) أن القيمة الأعظمية للتسارع الزلزالي تحت تأثير هزة تاباس بلغت قيمته 0.814g في التوضع الأول و0.821g في التوضع الثاني وكان في التوضع الثالث 1.02g، ويظهر الشكل (9-b) أن القيمة الأعظمية للتسارع الزلزالي تحت تأثير هزة كوجالي بلغت قيمته في التوضع الأول 0.876g و0.885g في التوضع الثاني وفي التوضع الثالث1.189g ويظهر الشكل (9-c) أن القيمة الأعظمية للتسارع الزلزالي تحت تأثير هزة كوشيرو بلغت قيمته 1.760g في التوضع الأول وفي التوضع الثاني1.482g وفي التوضع الثالث كان2.394g.



(a)



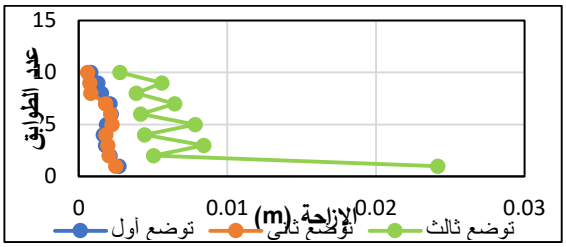
(b)



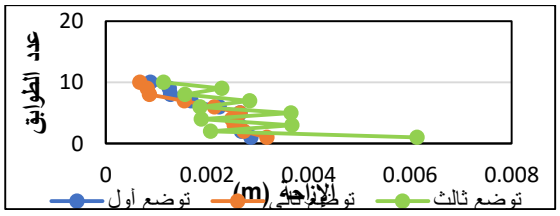
(c)

الشكل (9) التسارع الزلزالي تحت تأثير الهزات الثلاث تاباس(a)، كوجالي(b)، كوشيرو(c).

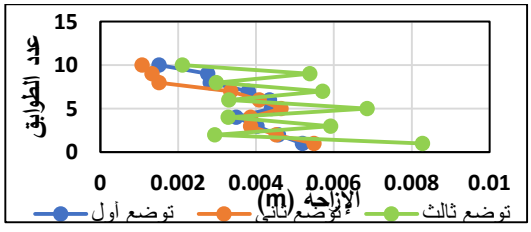
أما بالنسبة للإزاحات الطابقية للتوضعات الثلاثة تحت تأثير الهزات الثلاث تم إظهارها في الشكل (10)، حيث يبين الشكل (10-a) الإزاحات الطابقية لكل من التوضعات الثلاثة تحت تأثير هزة تاباس حيث بلغت قيمة الإزاحة الطابقية الأعظمية في الطابق الأول0.27cm في التوضع الأول، 0.25cm في التوضع الثاني، 2.4cm في التوضع الثالث، ويبين الشكل (10-b) الإزاحات الطابقية لكل من التوضعات الثلاثة تحت تأثير هزة كوجالي وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت قيمتها في التوضع الأول 0.28cm و0.3cm في التوضع الثاني و 0.6cm في التوضع الثالث، ويبين الشكل(10-c) الإزاحات الطابقية لكل من التوضعات الثلاثة تحت تأثير هزة كوشيرو، وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت قيمتها 0.51cm في التوضع الأول و0.55cm في التوضع الثاني و0.82cm في التوضع الثالث.



(a)



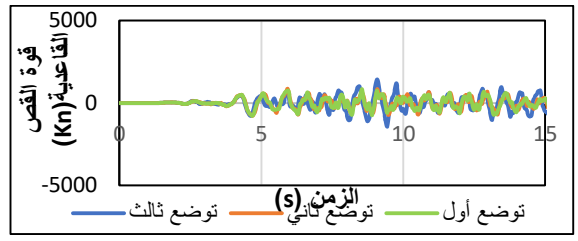
(b)



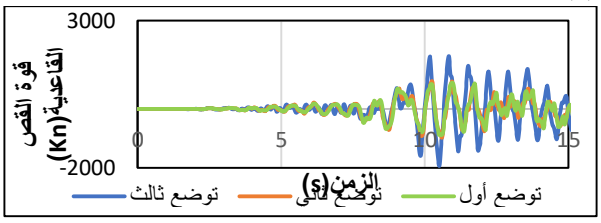
(c)

الشّكل (10) الإزاحات الطابقية تحت تأثير الهزات الثلاث تاباس(a)، كوجالي(b)، كوشيرو(c).

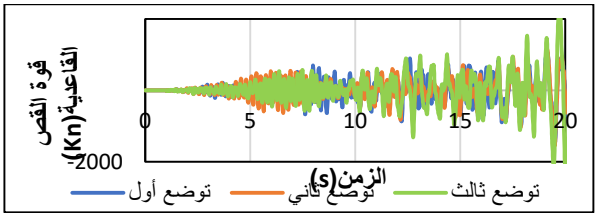
وبالنسبة لقوى القص القاعدية للتوضعات الثلاثة تحت تأثير الهزات الثلاث تم إظهارها في الشكل (11)، حيث يظهر الشكل (11-a) قوى القص القاعدية لكل من التوضعات الثلاثة تحت تأثير هزة تاباس وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت قيمتها في التوضع الأول 869.5Kn، وفي التوضع الثاني844Kn وفي التوضع الثالث كانت 1442.6Kn، ويبين الشكل (11-b) قوى القص القاعدية لكل من التوضعات الثلاثة تحت تأثير هزة كوجالي وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت قيمتها 893.6Kn في التوضع الأول و976.2Kn في التوضع الثاني وفي التوضع الثالث 1799Kn، ويظهر الشكل (11-c) قوى القص القاعدية تحت تأثير هزة كوشيرو وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت قيمتها 1465.6Kn في التوضع الأول و 1568.4Kn في التوضع الثاني وفي التوضع الثالث كانت 2566.7Kn.



(a)



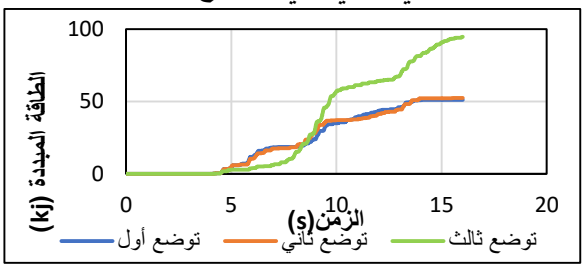
(b)



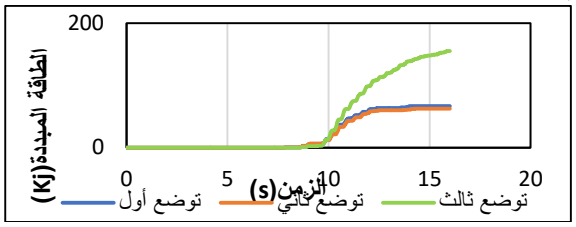
(c)

الشّكل (11) قوى القص القاعدية للتوضعات الثلاثة تحت تأثير الهزات الثلاث تاباس(a)، كوجالي(b)، كوشيرو(c).

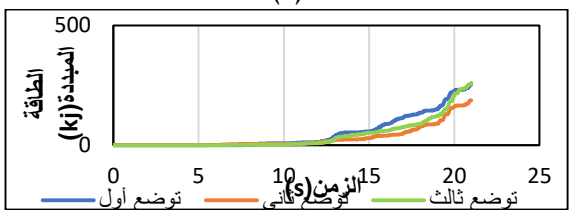
بالانتقال للطاقة المبددة للتوضعات الثلاثة تحت تأثير الهزات الثلاث تم إظهارها في الشكل (12)، حيث يظهر الشكل (12-a) الطاقة المبددة مع الزمن لكل من التوضعات الثلاثة تحت تأثير هزة تاباس وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت قيمتها 51Kj في التوضع الأول و52.4Kj في التوضع الثاني وفي التوضع الثالث 94.5Kj، ويبين الشكل (12-b) الطاقة المبددة اللدنة مع الزمن لكل من التوضعات الثلاثة تحت تأثير كوجالي وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت قيمتها 62.7Kj في التوضع الأول و66.9Kj في التوضع الثاني وفي التوضع الثالث 155Kj، ويظهر الشكل (12-c) الطاقة المبددة اللدنة مع الزمن لكل من التوضعات الثلاثة تحت تأثير هزة كوشيرو وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت قيمته 252.4Kj في التوضع الأول و186.8Kjفي الثاني وفي التوضع الثالث 260Kj.



(a)



(b)



(c)

الشّكل (12) الطاقة المبددة اللدنة للتوضعات الثلاثة تحت تأثير الهزات الثلاث تاباس(a)، كوجالي(b)، كوشيرو(c).

الجدول(3) قيم الاستجابة الأعظمية للتوضعات الثلاثة الناتجة عن الهزات الثلاثة.

القيم الأعظمية	توضع أول	توضع ثاني	فرق نسبي	توضع ثالث	فرق نسبي%
تسارع (m/s^2)	1.76	1.48	15.9	2.39	−36
إزاحة(cm)	0.51	0.55	−7.8	0.82	−60.7
قص قاعدي(Kn)	1465	1568	−7	2566	−75
طاقة مبددة(Kj)	252	186	26	260	−3

تمت إيجاد الفروق النسبية بالمقارنة مع التوضع الأول نلاحظ عدم فعالية التوضع الثالث حيث أعطى قيم أعظمية في جميع حالات التسارع والإزاحة والقص والطاقة المبددة تحت تأثير الهزات الثلاث. سيتم اعتماد التوضع الثاني للإطار المؤلف من عشر طوابق عند تغيير ارتفاع الإطار المعدني، حيث كانت نتائجه معظمها أفضل مقارنة بالتوضع الأول تحت تأثير الهزات الثلاث بالإضافة لاقتصادية التوضع الثاني مقارنة بالتوضع الأول. وبمقارنة القيم الأعظمية للهزات الثلاث نلاحظ أن القيم الأعظمية للتوضعات الثلاثة كانت تحت تأثير هزة كوشيرو.

5-تغيير ارتفاع الإطار المعدني المزود بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب:

تم اعتماد ثلاثة ارتفاعات (10−13−16) طابق للإطار المعدني المزود لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب وفق التوضع الثاني ودراسة سلوكه تحت تأثير ثلاث هزات زلزالية (تاباس، كوجالي، كوشيرو). ومن ثم تمت مقارنة سلوكه مع سلوك إطار معدني مزود لا مركزياً بعناصر تربيط تقليدية تحت تأثير هزة كوشيرو.

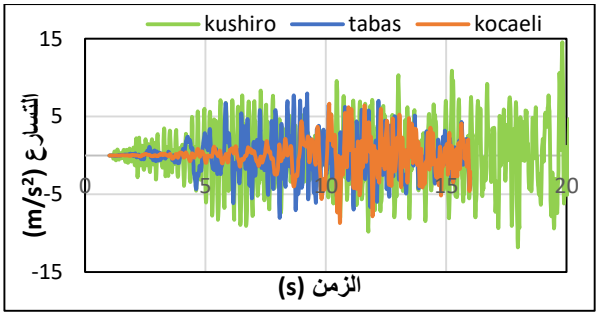
الإطار ذو 10 طوابق: تم استخدام عناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الطوابق السبعة الأولى وعناصر تربيط تقليدية في الطوابق الثلاثة الأخيرة لأن تبديد الطاقة في الطوابق الثلاثة الأخيرة كان معدوم.

الإطار ذو 13 طابق: تم استخدام عناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الطوابق العشرة الأولى وعناصر تربيط تقليدية في الطوابق الثلاثة الأخيرة لأن تبديد الطاقة في الطوابق الثلاثة الأخيرة كان معدوم.

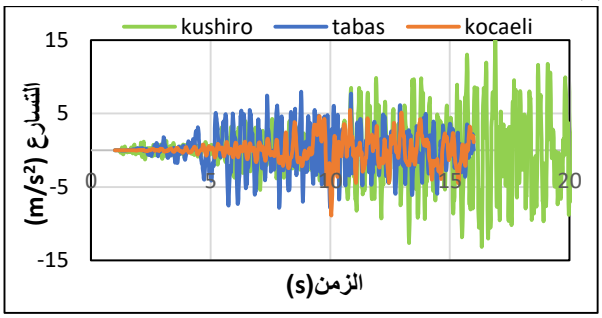
الإطار ذو 16 طابق: تم استخدام عناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الطوابق الإحد عشر الأولى وعناصر تربيط تقليدية في الطوابق الخمسة الأخيرة، كان تبديد الطاقة في الطوابق الخمسة الأخيرة شبه معدوم مقارنة بالطوابق الأولى لذلك تم استخدام عناصر تربيط تقليدية في الطوابق الخمسة الأخيرة.

تم تعريض الإطارات السابقة ذات الارتفاع (10−13−16) طابق للهزات الثلاث المذكورة سابقاً تاباس وكوجالي وكوشيرو وكانت نتائج الاستجابة كما يلي:

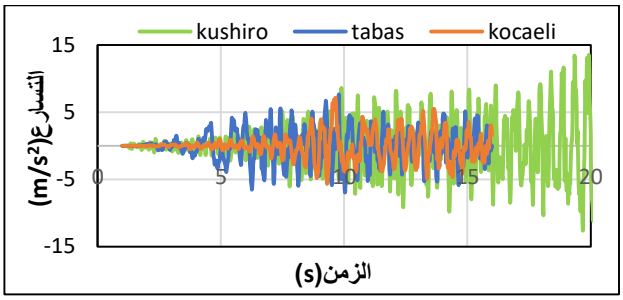
حيث تم إظهار التسارعات الزلزالية للإطارات ذات الارتفاع (10−13−16) طابق تحت تأثير الهزات الثلاث في الشكل (13)، حيث يظهر الشكل (13−a) أن القيمة الأعظمية للتسارعات الزلزالية في الطابق الأخير للإطار ذو العشرة طوابق تحت تأثير الهزات الثلاث بلغت 0.821g وتحت تأثير هزة تاباس و0.885g تحت تأثير هزة كوجالي وتحت تأثير هزة كوشيرو1.482g ويظهر الشكل (13-b) أن القيمة الأعظمية للتسارعات الزلزالية في الطابق الأخير للإطار ذو الثلاثة عشر طابق تحت تأثير الهزات الثلاث بلغت 0.814g تحت تأثير هزة تاباس 0.906g وتحت تأثير هزة كوجالي وتحت تأثير هزة كوشيرو1.674g، ويظهر الشكل (13-c) أن القيمة الأعظمية للتسارعات الزلزالية في الطابق الأخير للإطار ذو الستة عشر طابق تحت تأثير الهزات الثلاث بلغت 0.779g تحت تأثير هزة تاباس و0.725g تحت تأثير هزة كوجالي وتحت تأثير هزة كوشيرو1.641g.



(a)



(b)

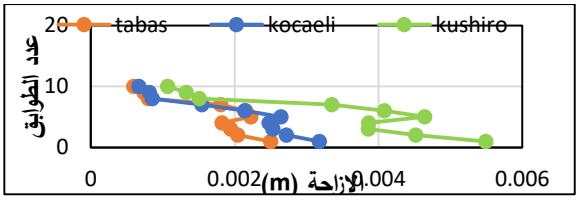


(c)

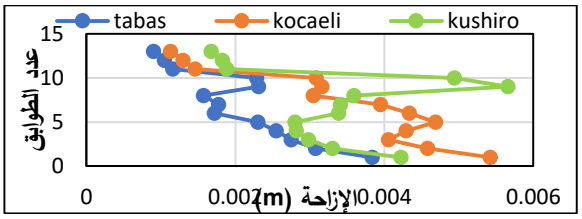
الشكل (13) التسارعات الزلزالية للإطارات ذات الارتفاع (10-13-16) طابق تحت تأثير الهزات الثلاث 10(a)، 13(b)، 16(c).

بالنسبة للإزاحات الطابقية للإطارات ذات الارتفاع (10-13-16) طابق تحت تأثير الهزات الثلاث تم إظهارها في الشكل(14)، حيث يظهر الشكل(14-a) الإزاحات الطابقية للإطار ذو العشرة طوابق تحت تأثير الهزات الثلاث حيث بلغت القيمة الأعظمية تحت تأثير هزة تاباس 0.25cm وتحت تأثير هزة كوجالي 0.31cm و تحت تأثير هزة كوشيرو0.55cm.

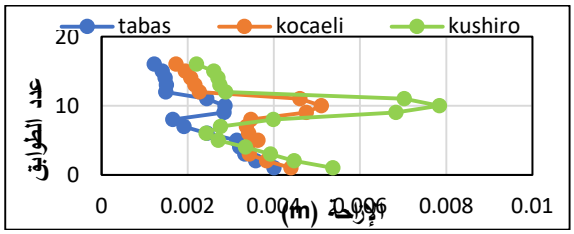
ويظهر الشكل (14-b) الإزاحات الطابقية للإطار ذو الثلاثة عشر طابق تحت تأثير الهزات الثلاث حيث بلغت القيمة الأعظمية تحت تأثير هزة تاباس0.23cm وتحت تأثير هزة كوجالي 0.31cm وتحت تأثير هزة كوشيرو0.56cm ويظهر الشكل (14-c) الإزاحات الطابقية للإطار ذو الستة عشر طابق تحت تأثير الهزات الثلاث حيث بلغت القيمة الأعظمية تحت تأثير هزة تاباس0.28cm وتحت تأثير هزة كوجالي0.51cm و تحت تأثير هزة كوشيرو0.78cm.



(a)



(b)

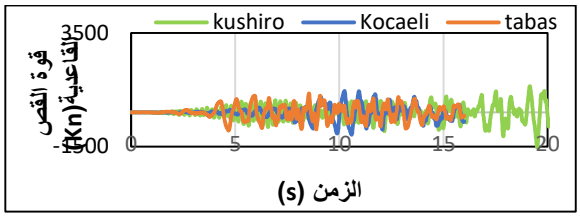


(c)

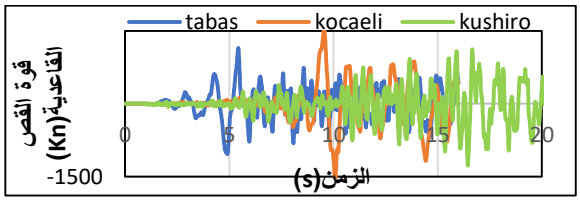
الشكل (14) الإزاحات الطابقية للإطارات ذات الارتفاع (10-13-16) طابق تحت تأثير الهزات الثلاث 10(a)، 13(b)، 16(c).

بالنسبة لقوى القص القاعدية للإطارات ذات الارتفاع (10-13-16) طابق تحت تأثير الهزات الثلاث تم إظهارها في الشكل (15)، حيث يظهر الشكل (15-a) قوى القص القاعدية للإطار ذو العشرة طوابق تحت تأثير الهزات الثلاث وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت 844Kn تحت تأثير هزة تاباس و976Kn وتحت تأثير هزة كوجالي وتحت تأثير هزة كوشيرو1568Kn، ويبين الشكل (15-b) قوى القص القاعدية للإطار ذو الثلاثة عشر طابق تحت تأثير الهزات الثلاث

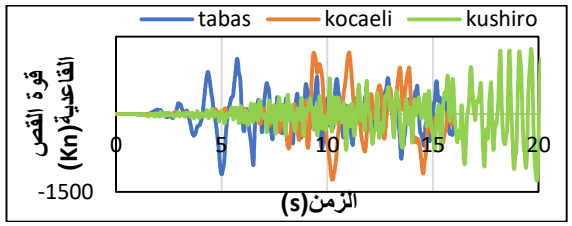
وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت 1147.7Kn تحت تأثير هزة تاباس، 1542.9kn تحت تأثير هزة كوجالي، 1276.4Kn تحت تأثير هزة كوشيرو، ويظهر الشكل (15-c) قوى القص القاعدية للإطار ذو الستة عشر طابق تحت تأثير الهزات الثلاث وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت 1160.3Knتحت تأثير هزة تاباس، 12270Kn تحت تأثير هزة كوجالي وتحت تأثير هزة كوشيرو1514Kn.



(a)



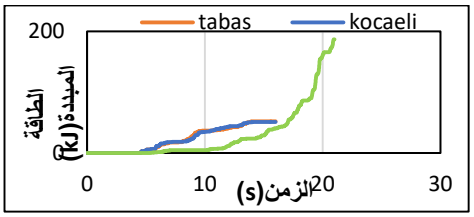
(b)



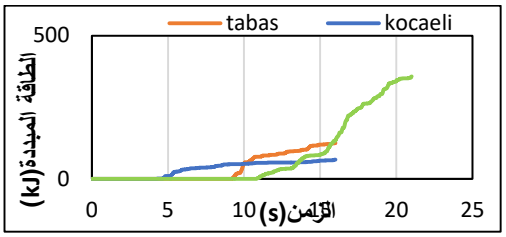
(c)

الشكل (15) قوى القص القاعدية للإطارات ذات الارتفاع (10-13-16) طابق تحت تأثير الهزات الثلاث10(a)، 13(b)، 16(c).

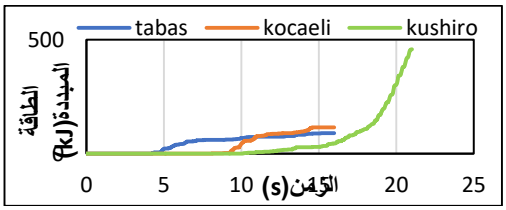
بالانتقال للطاقة المبددة للإطارات ذات الارتفاع (10-13-16) طابق تحت تأثير الهزات الثلاث التي تم إظهارها في الشكل (16)، حيث يظهر الشكل (16-a) الطاقة المبددة للإطار ذو العشرة طوابق تحت تأثير الهزات الثلاث وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت 52.4Kj تحت تأثير هزة تاباس و66.9Kj تحت تأثير هزة كوجالي وتحت تأثير هزة كوشيرو186.8Kj، ويظهر الشكل (16-b) الطاقة اللدنة المبددة للإطار ذو الثلاثة عشر طابق تحت تأثير الهزات الثلاث وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت 67.7Kj تحت تأثير هزة تاباس و 124.9Kj تحت تأثير هزة كوجالي وتحت تأثير هزة كوشيرو357.7Kj، ويظهر الشكل (16-c) الطاقة المبددة مع الزمن للإطار ذو الستة عشر طابق تحت تأثير الهزات الثلاث وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت 90.4Kj تحت تأثير هزة تاباس و 115.6Kj تحت تأثير هزة كوجالي وتحت تأثير هزة كوشيرو457.8Kj.



(a)



(b)



(c)

الشكل (16) الطاقة المبددة للإطارات ذات الارتفاع (10-13-16) طابق تحت تأثير الهزات الثلاث10(a)، 13(b)، 16(c).

الجدول(4) قيم الاستجابة الأعظمية للإطار ذو الارتفاعات الثلاثة تحت تأثير الهزات الثلاث.

القيم الأعظمية	10	13	16
تسارع(m/s^2)	1.482	1.674	1.641
إزاحة (cm)	0.55	0.56	0.78
قص قاعدي(kn)	1568.4	1542.9	1514.1
طاقة مبددة(KJ)	186.8	357.7	457.8

6-المقارنة بين إطارات (BRBFES) مع إطارات (EBFS) تحت تأثير هزة كوشيرو.

تم مقارنة الإطارات المزودة لا مركزياً بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب (BRBFES) مع إطارات مزودة لا مركزياً بعناصر تربيط تقليدية(EBFS) وذات الارتفاعات(10-13-16) طابق تحت تأثير هزة كوشيرو والتي أعطت القيم الأعظمية للاستجابة وذلك لتحقيق تحسين سلوك الإطارات ذات الارتفاعات المختلفة.

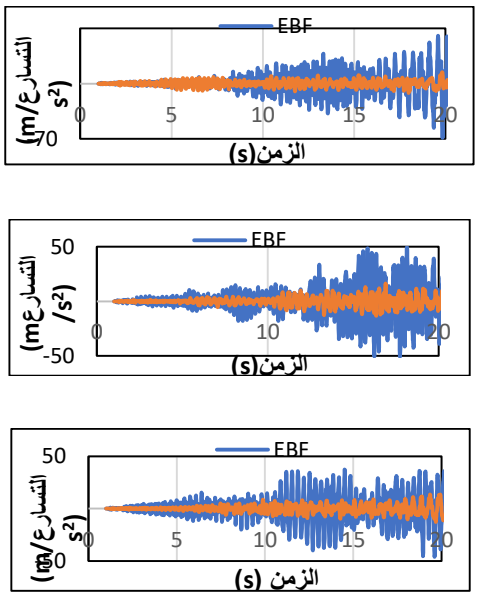
الإطار ذو 10 طوابق: تم مقارنة الإطار المزود بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الطوابق السبعة الأولى وعناصر تربيط تقليدية في الطوابق الثلاثة الأخيرة(BRBFE) وهو التوضع ذو السلوك الأفضل مع إطار مزود بعناصر تربيط تقليدية على كامل ارتفاعه(EBF) .

الإطار ذو 13 طابق: تمت مقارنة الإطار المزود بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الطوابق العشرة الأولى وعناصر تربيط تقليدية في الطوابق الثلاثة الأخيرة(BRBFE) مع إطار مزود بعناصر تربيط تقليدية على كامل ارتفاعه . (EBF)

الإطار ذو 16 طوابق: تمت مقارنة الإطار المزود بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب في الطوابق الإحد عشر الأولى وعناصر تربيط تقليدية في الطوابق الخمسة الأخيرة(BRBFE) مع إطار مزود بعناصر تربيط تقليدية على كامل ارتفاع (EBF) .

تم تعريض الإطارات ذات الارتفاع (10-13-16) طابق السابقة لهزة كوشيرو كانت نتائج الاستجابة كما يلي:

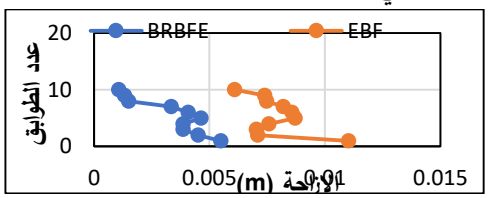
تم إظهار التسارعات الزلزالية للإطارات ذات الارتفاع (10-13-16) طابق تحت تأثير هزة كوشيرو في الشكل (17)، حيث يظهر الشكل (17-a) أن القيمة الأعظمية للتسارعات الزلزالية في الطابق الأخير للإطارين بارتفاع 10 طوابق تحت تأثير هزة كوشيرو 1.482g لإطار BRBFE و7.013g لإطار EBF أي انخفضت حوالي78.8% في حال إطار BRBFE، ويظهر الشكل (17-b) أن القيمة الأعظمية للتسارعات الزلزالية في الطابق الأخير للإطارين بارتفاع 13 طابق 1.675g لإطار BRBF و5.083g لإطار EBF أي انخفضت حوالي67% في حال إطار BRBFE، ويظهر الشكل (17-c) أن القيمة الأعظمية للتسارعات الزلزالية في الطابق الأخير للإطارين بارتفاع 16 1.641g لإطار BRBFE، 4.775g لإطار EBF أي انخفضت حوالي65.6% في حال إطار BRBFE.



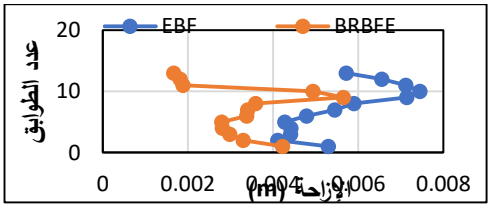
الشكل (17) التسارعات الزلالية للإطارات الثلاثة تحت تأثير هزة كوشيرو ذات الارتفاع 10 (a)، 13 (b)، 16 (c) طابق.

بالنسبة للإزاحات الطابقية للإطارات ذات الارتفاع (10-13-16) طابق تحت تأثير هزة كوشيرو تم إظهارها في الشكل (18)، حيث يظهر الشكل (18-a) الإزاحات الطابقية للإطارين بارتفاع 10 طوابق حيث بلغت القيمة الأعظمية 0.55cm لإطار BRBFE و1.1cm لإطار EBF أي انخفضت حوالي50% في حال إطار BRBFE، ويظهر الشكل (18-b) الإزاحات الطابقية للإطارين بارتفاع 13 طابق حيث بلغت القيمة الأعظمي 0.5cm لإطار BRBFE و0.75cm لإطار EBF أي انخفضت حوالي33% في حال إطار

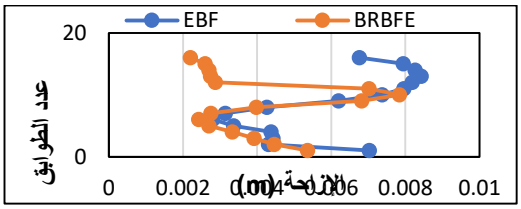
BRBFE، ويظهر الشكل(18-c) الإزاحات الطابقية للإطارين بارتفاع 16 طابق حيث بلغت القيمة الأعظمية 0.27cm لإطار BRBFE و0.84cm لإطار EBF أي انخفضت حوالي67.8% في حال إطار BRBFE.



(a)



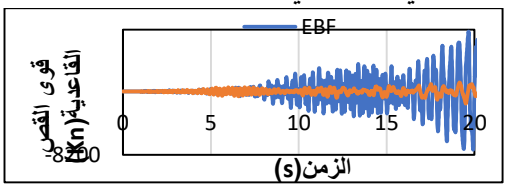
(b)



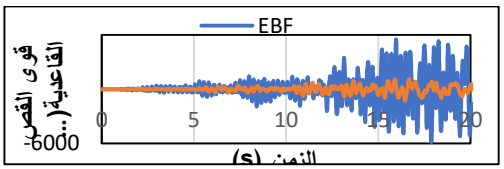
(c)

الشكل (18) الإزاحات الطابقية للإطارات الثلاثة تحت تأثير هزة كوشيرو ذات الارتفاع 10 (a)، 13 (b)، 16 (c) طابق.

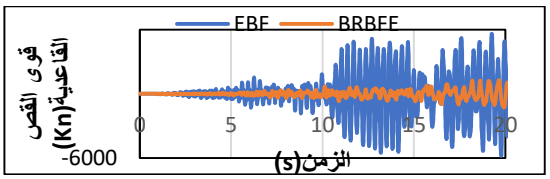
بالنسبة لقوى القص القاعدية للإطارات ذات الارتفاع (10-16-13) طابق تحت تأثير هزة كوشيرو المبينة في الشكل (19)، حيث يظهر الشكل (19-a) قوى القص القاعدية للإطارين بارتفاع 10 طوابق وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت قيمتها1568.4Kn لإطار BRBF، 7744.5Kn لإطار EBF أي انخفضت حوالي79.7% في حال إطار BRBFE، ويظهر الشكل (19-b) قوى القص القاعدية للإطارين بارتفاع 13 طابق وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت قيمتها1276.4Kn لإطار BRBFE، 5848.4Kn لإطار EBF أي انخفضت حوالي 78% في حال إطار BRBFE، ويظهر الشكل (19-c) قوى القص القاعدية للإطارين بارتفاع 16 طابق وعند أخذ القيمة الأعظمية بلغت قيمتها1514.1Kn لإطار BRBFE، 6480.9Kn لإطار EBF أي انخفضت حوالي76.6% في حال إطار BRBFE.



(a)



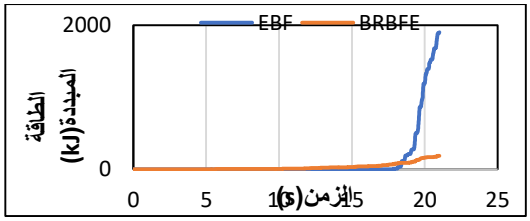
(b)



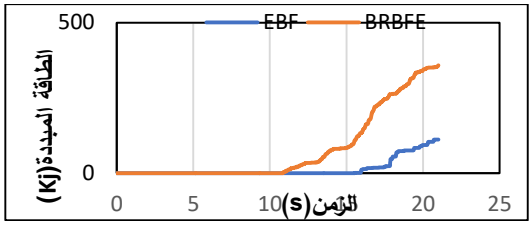
(c)

الشكل (19) قوى القص القاعدية للإطارات الثلاثة تحت تأثير هزة كوشيرو ذات الارتفاع 10 (a)، 13 (b)، 16 (c) طابق.

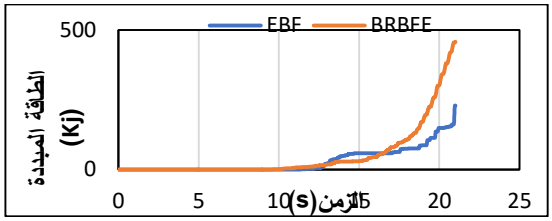
بالانتقال للطاقة المبددة اللدنة للإطارات ذات الارتفاع (10-13-16) طابق تحت تأثير هزة كوشيرو المبينة في الشكل (20)، حيث يظهر الشكل (20-a) الطاقة المبددة اللدنة للإطارين بارتفاع 10 طوابق بلغت القيمة الأعظمية 357.7Kj لإطار BRBFE و112.2Kj لإطار EBF أي زادت حوالي68.6% في حال إطار BRBFE، ويظهر الشكل (20-b) الطاقة المبددة اللدنة للإطارين بارتفاع 13 طابق حيث بلغت القيمة الأعظمية 186.8KJ لإطار BRBFE و1901.6KJ لإطار EBF أي انخفضت حوالي 90% في حال إطار BRBFE، ويظهر الشكل (20-c) الطاقة اللدنة المبددة للإطارين بارتفاع 16 طابق حيث بلغت القيمة الأعظمية 457.8Kj لإطار BRBFE، 229.9Kj لإطار EBF أي زادت حوالي49.7% في حال إطار BRBFE.



(a)



(b)



(c)

الشكل (20) الطاقة المبددة للإطارات الثلاثة تحت تأثير هزة كوشيرو ذات الارتفاع 10 (a)، 13 (b)، 16 (c) طابق.

نلاحظ زيادة نسبة تبديد الطاقة في إطار EBF مقارنة بإطار BRBF بسبب عدم وجود عناصر التربيط الممنوعة من التحنيب التي تحصر الأضرار والتشوهات فيها فأدى ذلك إلى ضرر كبير بالجوائز المرتبطة بعناصر التربيط التقليدية بينما في إطار BRBF كان تبديد الطاقة محصور في عناصر BRB.

كما أن دور الإطار ذو العشرة طوابق المزود بعناصر تربيط تقليدية كان 0.48s وهو في مجال التسارعات الأعظمية لزلزال كوشير وبالتالي تجاوب هذا الإطار مع زلزال كوشيرو.

7-الاستنتاجات:

1- اعتماد التوضع الثاني عند تغيير ارتفاع الإطار المعدني، حيث كانت نتائجه معظمها أفضل مقارنة بباقي التوضعات بالإضافة لاقتصادية هذا التوضع في الحالة المدروسة.

2- نقصت قيمة التسارع الأعظمي في الطابق الأخير والإزاحات الطابقية وقوى القص القاعدية بينما زادت كمية الطاقة المبددة في حالة إطارات BRBFES ذات الارتفاع 10-13-16 طابق مقارنة بإطاراتEBFS تحت تأثير هزة كوشيرو.

3- فعالية استخدام عناصر التربيط الممنوعة من التحنيب في إطارات متوسطة الارتفاع.

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

References:

[1] المنيني، لؤي. (2015) الأداء الزلزالي للإطارات المعدنية المزودة بعنصر تربيط ممنوع من التحنيب. درجة الماجستير. الهندسة الإنشائية الزلزالية. المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية. جامعة دمشق.

[2] الملحم، آلاء. (2020) دراسة تحليلية لوصلات اتصال مختلفة من عنصر تربيط ممنوع من التحنيب في إطار فولاذي تحت تأثير حمل دوري. درجة الماجستير. الهندسة الإنشائية الزلزالية. المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية. جامعة دمشق.

[3] مصطفى جابر & د. م. أمجد الحلواني. (2022). سلوك صفائح القص الفولاذية المختلطة الجدارية تحت تأثير تحميل دوري .مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية.(3)38.

[4] Mirtaheri, M., Gheidi, A., Zandi, A.P., Alanjari, P., Rahmani Samani, H. (2011). Experimental optimization studies on steel core lengths in buckling restrained braces. Journal of Constructional Steel Research, vol. 67, 1244-1253.

[5] Lin, S. L & MacRae, G .A. , Wu, A.C., Lin, P.C. &Tsai, K.C., (2012). Development and Implementation of Buckling Restrained Braces in Taiwan, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.

[6] Prinz, G.S and Richards,P.w.(2012). Seismic Performance of Buckling-Restrained Braced Frames with Eccentric Configurations. Journal of Structural Engineering, 138(3), 345-353.

[7] (2015). Comparative Analysis of Buckling-Restrained Braced Frames in Eccentric .[8] Vayda,P. T Configuration (BRBFEs) and Eccentrically Braced Frames (EBFs), University of Arkansas, ayetteville

[8] Bahrami, A., Yavari, M. (2019). Hysteretic assessment of steel-concrete composite shear walls. International Journal of Recent Technology and Engineering, vol. 8, no. 2, 5640-5645. 20.

[9] Bahrami, A and Heidari, M. (2020). Evaluation of structural response of composite steel-concrete eccentrically buckling restrained braced frames, Journal of Applied Engineering Science, 18(4): 591-600.

[10] Shete, P. S., Madhekar, S. N., & Ghowsi, A. F. (2022, December). Finite Element Parametric Studies on Buckling Restrained Brace. In ASPS Conference Proceedings (Vol. 1, No. 3, pp. 645-651).

[11] stovar, N., & Hejazi, F. (2023). Buckling-Restrained Bracing System with Ultra-High-Performance Fiber Concrete. Applied Sciences, 13(14), 825.