Studying the Effectiveness of Steel Frames Using Different Bracing Systems under Earthquake Loads by Nonlinear Static Analysis

Hiba Ibraheem*
Dr. Naeel Hassan**

(Received 13 / 6 / 2025. Accepted 9 / 9 / 2025)

□ ABSTRACT □

Traditional methods used in designing earthquake-resistant structures do not adequately account for performance levels and seismic risk. This has necessitated the development of alternative approaches that provide a more accurate representation of a structure's actual behavior during an earthquake. Performance-Based Engineering has emerged as a method that ensures precision and efficiency in the analysis, evaluation, and design processes. The significant drifts and displacements observed in steel frames require the application of strengthening techniques to control these displacements and ensure stability under lateral loads. Bracing has proven effective in enhancing performance by providing high stiffness and resistance while simultaneously reducing displacements. In this study, a three-dimensional analysis was conducted on two steel structures: Structure A (four stories) and Structure B (eight stories), both reinforced with four types of central bracing systems (X-bracing, V-bracing, IV-bracing, and Diagonal (D) bracing), using nonlinear static analysis. The results indicated that adding bracing significantly improved performance by increasing elastic stiffness, lateral stiffness, and resistance while reducing relative drifts and displacements. For structure A, Diagonal (D) bracing was identified as the most efficient pattern, offering the highest resistance, lowest drift, and superior elastic and lateral stiffness. For structure B, X-bracing proved to be the most resistant, exhibiting the least drift while providing high stiffness.

Keywords: Performance-Based Analysis, Nonlinear Static Analysis, Performance level, Bracing systems, Performance enhancement.

Copyright **:**Latakia University journal-Syria (Formerly Tishreen), The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

***Postgraduate Student (Master), Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Lattakia University (Formerly Tishreen), Lattakia, Syria. hebahibraheem@gmail.com.**
****Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Lattakia University (Formerly Tishreen), Lattakia, Syria.**

دراسة كفاءة الإطارات الفولاذية باستخدام أنظمة تربيط مختلفة تحت تأثير الأحمال الزلزالية باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي

هبة محمد ابراهيم *

الدكتور نايل حسن**

(تاريخ الإيداع 13 /6 / 2025. قُبِل للنشر في 9 / 9 / 2025)

ملخّص

لا تأخذ الطرائق التقليدية المستخدمة في تصميم المنشآت المقاومة للزلازل بالاعتبار مستويات الأداء والخطر الزلزالي المؤثر. لذلك دعت الحاجة إلى طريقة أخرى تعطي تصوراً دقيقاً عن سلوك المنشأ الفعلي أثناء الزلزال، فكانت الهندسة القائمة على الأداء الطريقة التي وفرت الدقة والكفاءة في عمليات التحليل والتقييم والتصميم. تُحتِّم انزياحات الإطارات الفولاذية وانتقالاتها الكبيرة تطبيق طرائق وأساليب تدعيم لضمان التحكم بالانزياحات وتأمين الاستقرار عند تأثير الحمولات الجانبية، وقد أثبت التربيط فعاليته في تحسين الأداء من خلال تأمين صلابة ومقاومة كبيرة كذلك تقليل الانزياحات. تم في هذا البحث القيام بتحليل فراغي لمنشأين فولاذيين، (المنشأ A) بارتفاع أربعة طوابق و(المنشأ B) بارتفاع ثمانية طوابق، مدعمين بأربعة أنماط من التربيط المركزي (التربيط المتصالب X– التربيط V– التربيط (IV)– التربيط القطري D)، وذلك بالاستعانة بالتحليل الستاتيكي اللاخطي.

بينت النتائج أن إضافة التربيط لعب دوراً هاماً في تحسين الأداء من خلال زيادة الصلابة المرنة والصلابة الجانبية والمقاومة كذلك التقليل من الانزياحات النسبية والانتقالات. لأجل المنشأ A تم اختيار التربيط D كنمط التربيط الأكثر كفاءة، فهو الأكثر مقاومة والأقل انزياحاً كما أنه أعطى صلابة مرنة وجانبية عالية للمنشأ. أما المنشأ B فقد كان التربيطX هو الأكثر مقاومةً والأقل انزياحاً وأعطى صلابة عالية.

الكلمات المفتاحية: التحليل القائم على الأداء، التحليل الستاتيكي اللاخطي، مستوى الأداء، أنظمة التربيط، تحسين الأداء.

حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

* طالبة دراسات عليا (ماجستير) – كلية الهندسة المدنية – قسم الهندسة الإنشائية – جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) – اللاذقية – سوريا.

**أستاذ – كلية الهندسة المدنية – قسم الهندسة الإنشائية – جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) – اللاذقية – سوريا.

مقدمة:

حققت المنشآت الفولاذية في العقود القليلة الماضية انتشاراً واسعاً في الكثير من المنشآت العامة والصناعية كذلك الجسور، وانطلاقاً من واقع انتشارها الواسع كان من الضروري تصميم منشآت فولاذية ذات أداء جيد عند تأثير الزلزال، بحيث يضمن المصمم أداء مطاوع يشتت كمية كافية من الطاقة الزلزالية بالإضافة إلى تأمين صلابة ومقاومة كافيين. الإطارات الفولاذية المقاومة للعزوم(moment resisting frame (MRF تؤمن مطاوعة جيدة عند وصولها لمرحلة الخضوع إلا أن حساسيتها الكبيرة للانتقالات جعلتها غير قادرة على تحقيق صلابة إنشائية كافية في حالة الشدات الزلزالية العالية. تقدم إضافة الأربطة الفولاذية فعالية كبيرة في زيادة صلابة المنشأ وتبديد الطاقة الزلزالية كذلك التقليل من الطلب المفروض على الأعمدة والجوائز، تم تقسيم التربيط إلى قسمين: تربيط مركزي concentric braced frames (CBF) وتربيط لامركزي eccentrically braced frames (EBF). هناك الكثير من أنماط التربيط المستخدمة في تدعيم المنشآت وتقويتها، وقد اقتصر هذا البحث على استخدام تربيط مركزي وفق أربعة أنماط: التربيط المتقاطع X- التربيط على شكل حرف V- التربيط على شكل حرف V مقلوب (IV)- التربيط القطري D.

إن اختيار نمط التربيط المناسب الذي يحقق المتطلبات الزلزالية يتطلب القيام بتحليل لاخطي، فأنظمة التربيط تُستخدم لمقاومة تأثير الزلازل من خلال تشغيل المنشأ بالمرحلة المرنة اللدنة. بالاستناد إلى كفاءة وبساطة التحليل الستاتيكي اللاخطي في توقع الأداء اللاخطي للمنشأ، أصبح الأداة الأكثر شيوعاً للقيام بالتحليل القائم على الأداء Performance Based Analysis (PBA). تم في هذا البحث تقييم أداء عشرة نماذج من المنشآت الفولاذية المتناظرة في كلا الاتجاهين xوy، ودراسة تأثير إضافة التربيط المركزي إلى الإطارات المحيطية في تحسين الأداء الزلزالي وإمكانية التحكم بقيم الانزياحات وتقليلها لترضي معايير الأداء الواردة في [1] FEMA 356 (2000).

أهمية البحث وأهدافه:

تهدف هذه الرسالة إلى ما يلي:

- تقييم سلوك منشآت فولاذية قائمة معدة للاستخدام السكني ذات ارتفاعات منخفضة ومتوسطة ومعرضة لخطر زلزالي محدد، وتقدير الأداء المحتمل ومن ثم تقييمه من خلال مقارنته مع الطلب المتوقع عند مستوى أداء محدد وفق معطيات الكود.
- تدعيم هذه المنشآت من خلال اقتراح إضافة أنظمة تربيط واستخدام تحليل pushover للتأكد من كفاءة التربيط المضاف ومن ثم مقارنة بارامترات الاستجابة واقتراح نمط التربيط الأكثر كفاءة لكل منشأ من المنشآت المدروسة.

تأتي أهمية هذا البحث من النقاط التالية:

- أن محاكاة سلوك المنشآت الفعلي أثناء مقاومة الزلزال أصبح حاجة وضرورة خصوصاً أن التحليل الخطي بشقيه الستاتيكي والديناميكي لا يستطيع التنبؤ بالسلوك الفعلي وآليات الانهيار تحت تأثير الزلازل.
- تدعيم المنشآت القائمة ذو أهمية كبيرة وحاجة ملحة لتجنب الانهيار الكامل أو الجزئي بما يحفظ السلامة ويقلل من أضرار العناصر الإنشائية وغير الانشائية.

طرائق البحث ومواده:

المنهج المتبع في هذه الدراسة هو المنهج التحليلي الوصفي، حيث استخدم المنهج التحليلي لدراسة مدى فاعلية أنماط التربيط المضافة إلى منشأين فولاذيين، واستخدم المنهج الوصفي للتعريف بالتحليل القائم على الأداء performance based analysis أولاً ثم تطبيقه ثانياً، كذلك التعريف بالتحليل الستاتيكي اللاخطي أو ما يعرف بتحليل الدفع المتتالي pushover كأداة للقيام بالتحليل القائم على الأداء وتقييم أداء النماذج المدروسة في هذا البحث.

1. التحليل القائم على الأداء:

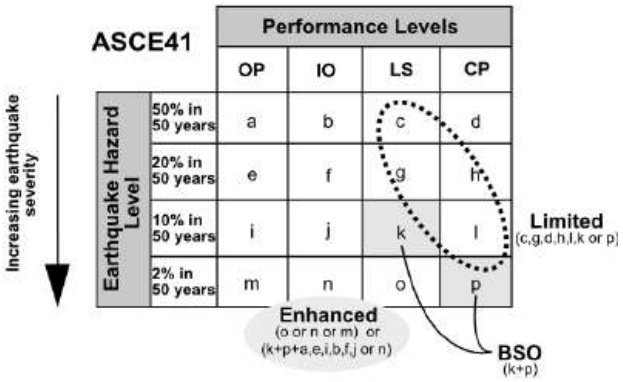
شكلت النتائج الكارثية التي حصدتها الزلازل المدمرة حول العالم كزلزال Northridge وزلزال Kobe، وعدم قدرة المهندسين على توقع الأضرار الكبيرة التي حصلت بالمنشآت، انطلاقة لفجر جديد في عالم الهندسة الزلزالية وتبلورت فكرة الهندسة القائمة على الأداء (PBEE) منذ حوالي ثلاثة عقود من الزمن، وقد تم تبنيها في العديد من الكودات العالمية والمبادئ التوجيهية مثل ATC 40 , FEMA 356 , FEMA 273/274, ASCE41-06, ASCE 41-13, ASCE 41-17. [5,1,2,3,4] على الترتيب. التحليل القائم على الأداء هي طريقة تجمع بين التحليل اللاخطي وتقدير الخطر الزلزالي seismic hazard. التحليل اللاخطي يقسم إلى تحليل ديناميكي لاخطي Nonlinear Dynamic Analysis (NDA) وتحليل ستاتيكي لاخطي Nonlinear static Analysis (NSA). التحليل الديناميكي اللاخطي أكثر أنواع التحليل دقة وموثوقية إلا أنها تتطلب الكثير من البيانات والمعطيات والدقة والقدرات البرمجية لذلك لا تعتبر طريقة عملية لكنها ضرورية في حالة الزلازل عالية الشدة وفي حال تأثير أنماط الاهتزاز الأخرى غير نمط الاهتزاز الأساسي في السلوك الديناميكي للمنشأ، لذلك تم اعتماد التحليل الستاتيكي اللاخطي كإجراء بديل وأكثر تبسيطاً يعطي نتائج ذات دقة جيدة في تقدير التشوهات وتقييم أداء المنشآت المدروسة، وقد أثبت الباحثون[6] Mark A. Ascheim,Mehmet Inel ,Tjen Tjhin دقة التحليل الستاتيكي اللاخطي بإجراء عملية التحليل الستاتيكي اللاخطي والتحليل النمطي modal pushover analysis(MPA) لأربع منشآت باستخدام خمس أنماط تحميل (1–النمط الأول للاهتزاز –2–المثلث المقلوب –3 – المستطيل الموزع بانتظام على كامل الارتفاع – 4– الشكل القطعي لأجل الدور 52.5- s– نمط تحميل يتوافق مع النمط الأول للاهتزاز) ومن ثم مقارنة استجابة أنماط التحميل مع الاستجابة باستخدام التحليل الديناميكي. تم التوصل إلى نتيجة مفادها أن التحليل النمطي والتحليل الستاتيكي اللاخطي اعطى قيم متقاربة للانتقالات وبدقة جيدة بالمقارنة مع التحليل الديناميكي اللاخطي.

1.1 تحديد الأداء المستهدف Target performance:

الأداء المستهدف هو تحقيق لمستوى الأداء عند أكثر من مستوى هزة أرضية، بمعنى آخر يجمع ما بين مستوى الأداء ومستوى الخطر الزلزالي. يتم اختيار أداء المنشأ تبعاً لحالة التضرر التي يسمح للمنشأ بالوصول إليها بعد حصول الزلزال. شمل اختيار مستوى الأداء المستهدف للمنشأ تحديد مستوي الأداء للعناصر الإنشائية وللعناصر غير الإنشائية. بينما مستويات الخطر الزلزالي فقد قسمت إلى أربع مستويات [1,2,17]:

- الزلازل متكررة الحدوث frequent earthquake: احتمالية تجاوز 50% كل خمسين عام (73 سنة عودة).
- الزلازل المتباعدة occasional earthquake: احتمالية تجاوز 30% كل خمسين عام (225 سنة عودة).
- الزلازل نادرة الحدوث rare earthquake: احتمالية تجاوز 10% كل خمسين عام (475 سنة عودة).
- الزلازل النادرة جداً very rare earthquake: احتمالية تجاوز 2% كل خمسين عام (2475 سنة عودة).

الشكل (1) يوضح العلاقة بين مستويات الأداء ومستويات الخطر كما في [17]ASCE 41-06.



الشكل (1) مستويات الأداء المستهدف وفق معايير [17] ASCE 41-06.

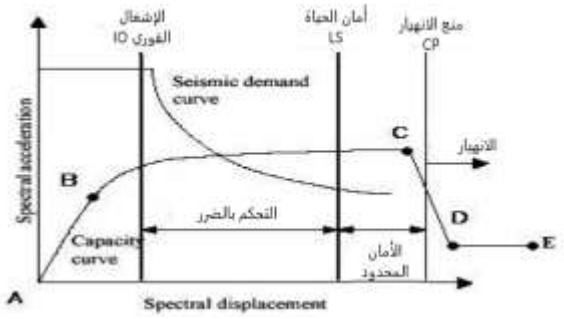
الوكالة الفيدرالية لإدارة الكوارث FEMA والجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين ASCE والعديد من الجهات الحكومية المعنية بالكوارث الطبيعية قد ضمنت في مواصفاتها وتعليماتها التوجيهية ثلاث مستويات للأداء المستهدف: enhanced rehabilitation، limited rehabilitation، basic safety objective .

يتم الاختيار من قبل المالك أو المهندس المشرف للأداء الهدف المناسب تبعاً لأهمية المنشأ ووظيفته ومستوى الهزة التي سيتم دراسة المنشأ وفق تأثيرها. أكثرها شيوعاً هو هدف السلامة العامة basic safety objective (BSO) الذي يهدف إلى تقريب المخاطر الناجمة عن الزلزال إلى مستوى الأداء LS. من المتوقع للمباني التي تحقق هدف السلامة العامة تعرضها لأضرار طفيفة نسبياً عند تأثير زلازل متكررة ومتوسطة الشدة، وعند تأثير الزلازل القوية ونادرة الحدوث فمن المتوقع حصول ضرر أكبر بعناصر المنشأ وخسائر مادية وبشرية. الشكل يوضح أن تحقيق هدف السلامة العامة يكون بتحقيق مستوى أداء مزدوج، CP لأجل زلازل باحتمالية تجاوز 2% كل 50عام (توافق مستوى الزلزال المعتبر الأعظمي maximum considered earthquake (MCE)) ومستوى الأداء LS لأجل زلزال باحتمالية تجاوز 10% كل 50عام (توافق مستوى الزلزال التصميمي design basic earthquake (DBE)) [1].

الأداء الهدف المطلوب تحقيقه في هذا البحث هو هدف السلامة العامة. وبالعودة على الخارطة الزلزالية للجمهورية العربية السورية نجد ان التسارعات الزلزالية وضعت لأجل حدث زلزالي باحتمالية تجاوز 10% كل 50 عام أي مستوى الزلزال التصميمي DBE لذلك فإن مستوى الأداء الهدف المطلوب تحقيقه هو LS.

2.1 مستويات الأداء performance levels:

مستويات الأداء هي توصيف لحالة العناصر الإنشائية وغير الإنشائية ومقدار ضررها المتوقع بعد حدوث الزلزال. الشكل (2) يوضح مستويات الأداء للمنشأ اعتماداً على التشوهات اللدنة أثناء عملية التحميل.



الشكل (2) مستويات الأداء [15]

1.2.1 مستويات الأداء المتعلقة بالعناصر الإنشائية Structural Performance Levels [1]:

- Immediate Occupancy Performance Level(S-1): تحتفظ العناصر المقاومة للقوى الشاقولية أو العناصر المقاومة للقوى الجانبية بمقاومتها وصلابتها. قد تحتاج بعض هذه العناصر لعمليات ترميم بسيطة.
- Life Safety Performance Level (S-3): حدوث ضرر في عناصر المنشأ مع احتمال حصول انهيار كلي أو جزئي، نسبة الخسائر البشرية بفعل انهيار العناصر الإنشائية قليلة بالمقارنة مع المساحة الواسعة المتأثرة بالزلزال.
- Collapse Prevention Performance Level (S-5): يكون المنشأ على حافة الانهيار. قد يحدث انهيار بالعناصر المقاومة للقوى الجانبية، تشوهات دائمة كبيرة بالمنشأ وأيضا في مراحل أسوء قد يحصل فشل بعناصر ناقلة للحمولات الشاقولية لكن النظام الانشائي يبقى مستمراً في أداء وظيفته في نقل حمولات الثقالة.
- Damage Control range (S-2): وهو المجال الواقع بين IO و LS يسمح للمهندس بتصنيف المنشأ وفق معايير تجمع بين توصيف الأداء لكلا مستويي الأداء IO و LS وقد وضع لتقليل وقت وكلفة الترميم.
- Limited Safety range(S-4): البارامترات التصميمة بين LS و CP ومعايير التشوهات هي دمج بين مستويي الأداء LS و CP.
- Not Considered (S-6): للحالات التي يتم فيها إدراج بعض العناصر غير الإنشائية في عمليات التقييم والتدعيم بسبب أهميتها (دعامات الدرابزين– حاويات تخزين المواد الخطرة)، هذا المستوى يدخل احتمالية حدوث فشل إلى مستوى الأداء IO.

2.2.1 مستويات الأداء المتعلقة بالعناصر غير الإنشائية Nonstructural Performance Levels [1]:

- Operational Performance Level (N-A): فيه كل العناصر الغير إنشائية صالحة للاستخدام العملي.
- Immediate Occupancy Level (N-B): بعد حدوث الزلزال يحصل ضرر محدود في المعدات وأجهزة الأمان وأنظمة الوصول ضمن المنشأ كالأبواب والسلالم والمصاعد. على اعتبار المنشأ آمن من الناحية الإنشائية فمن الممكن البقاء فيه مع ترميم بعض العناصر.
- Life Safety Level (N-C): يحصل ضرر كبير و مكلف للعناصر غير الإنشائية مع ضمان عدم سقوطها وتهديدها لحياة الناس لتقليل الخطر على حياة الناس. ممرات الخروج سالكة. أنظمة التكييف وإخماد الحرائق كذلك مواسير نقل الماء تفقد وظيفتها.
- Hazards Reduced Level (N-D): يحصل ضرر كبير للعناصر غير الإنشائية دون وقوعها (درابزين – الواح تغطية – سقوف مستعارة). في هذا المستوى تم إهمال أداء أنظمة إخماد الحرائق وأنظمة الأمان المماثلة.
- Not Considered Level (N-E): مستوى أداء يهمل فيه تضرر العناصر غير الإنشائية عدا بعض العناصر النافرة خارج حدود المبنى يعاد ترميمها بالتالي يكون رفع الكفاءة من خارج البناء دون الأخذ بالحسبان لتضرر العناصر غير الإنشائية.

3.2.1 مستويات الأداء العامة [1]: وتعبر عن مستوى الأداء للمنشأ ككل وهم عبارة عن دمج بين مستويات أداء العناصر الإنشائية ومستويات أداء العناصر غير الإنشائية.

- Operational Level (1-A): يجمع بين مستويي الأداء Immediate Occupancy (S1) للعناصر الإنشائية و Operational (N-A) للعناصر غير الإنشائية. أغلب المنشآت يجب أن تحقق هذا المستوى تحت تأثير الزلازل الخفيفة إلا أنه من غير الاقتصادي تصميم المباني لتحقق هذا المستوى عند تأثير الزلازل القوية.
- Immediate Occupancy Level (1-B): يجمع بين مستويي الأداء Immediate Occupancy (S1) للعناصر الإنشائية و Immediate Occupancy Level (N-B) للعناصر غير الإنشائية. هو مستوى تحققه المنشآت المدنية في حال تأثير الزلازل المتوسطة. كما ان بعض المنشآت الهامة والخاصة والمعرضة لزلازل قوية تصمم لتحقق هذا المستوى.
- Life Safety Level (3-C): يجمع بين مستويي الأداء Life Safety (S3) للعناصر الإنشائية و Life Safety Level (N-C) للعناصر غير الإنشائية. هذا المستوى يجب على المنشأ الوصول إليه عند تعرضه لزلازل قوية الشدة.
- Collapse Prevention Level (5-E): يجمع بين مستويي أداء Collapse Prevention (S5) للعناصر الإنشائية و Not Considered Level (N-E) للعناصر غير الإنشائية. المنشآت التي تحقق هذا المستوى من الممكن أن تسبب خطراً على حياة الناس جراء حصول انهيار بالعناصر غير الإنشائية. هذا المستوى يعتبر الأساس في عمليات إعادة تأهيل المنشآت بحيث تخفف من المخاطر على حياة الناس وبكلفة مالية منخفضة.

2. التحليل الستاتيكي اللاخطيNonlinear Static Analysis:

أحد أنماط التحليل اللاخطي حيث يُطبق تحميل جانبي متزايد تدريجياً وفق نمط تحميل معرّف مسبقاً ومع كل خطوة يقوم البرنامج بإعادة حساب النموذج الرياضي وتعديل مصفوفة الصلابة حتى يصل المنشأ لنقطة الانتقال الهدف target displacement أو تشكل ميكانزيم انهيار للمنشأ يؤدي إلى توقف التحليل[13].

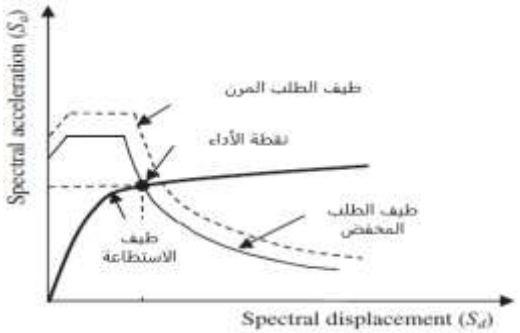
التحليل الستاتيكي اللاخطي أو ما يعرف بتحليل الدفع المتتالي (pushover) ليس له أسس نظرية، تم ابتكاره عام 1970 وقد انتشر في العقدين الأخيرين بشكل واسع إذ التمس المهندسون الكثير من المميزات التي تميزه عن التحليل الخطي الذي يستخدم منحنيات إجهاد تشوه ويدخل عليها تعديلات مرتبطة بتشوه المنشأ وسلوك المواد.

يعتمد بشكل أساسي على فرضية دراسة سلوك منشأ بنظام متعدد درجات الحرية MDOF من خلال مكافئته بنظام أحادي درجة الحرية (SDOF) مما يعني أن الاستجابة محكومة بنمط واحد هو نمط الاهتزاز الأساسي والذي يبقى ثابتاً حتى بعد دخول المنشأ بمرحلته اللدنة [20].

2.1 طرائق التحليل الستاتيكي اللاخطي:

1.2.1 طريقة طيف الاستطاعة [5] Capacity spectrum method (CSM):

تعتمد هذه الطريقة على إيجاد تقاطع منحني السعة مع منحني الطلب كما في الشكل باستخدام طيف استجابة تسارع–انتقال Acceleration displacement response spectrum (ADRS) والذي نحصل عليه من خلال تحويل منحني الاستطاعة المعطى كقوة مقابل انتقال إلى طيف استطاعة ممثل كتسارع طيفي مقابل انتقال طيفي، وتحويل طيف الطلب المعطى كتسارع مقابل زمن إلى طيف استجابة ممثل_ كما طيف الاستطاعة_ كتسارع طيفي مقابل انتقال طيفي، الشكل (3).



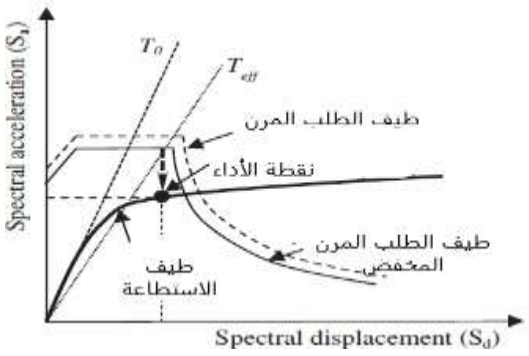
الشكل (3) تحديد نقطة الأداء باستخدام طريقة CSM (ATC 40) [5].

2.2.1 طريقة عامل الانتقال [1] Displacement coefficient method (DCM):

في هذه الطريقة لا داعي لتحويل منحني الاستطاعة إلى الاحداثيات الطيفية، سيتم تقدير طلب الانتقال اللدن الأعظمي من خلال تعديل التوقعات المرنة لطلب الانتقال من خلال استخدام عدة معاملات تأخذ بالاعتبار تأثير السلوك الهستيري، تأثير P-Δ كذلك التحويل من جملة متعددة درجات الحرية multi degree of freedom (MDOF) إلى جملة أحادية درجة الحرية signal degree of freedom (SDOF).

3.2.1 الطريقة الخطية المكافئة [14] Equivalent linearization procedure (EL):

جاءت كتعديل على طريقة CSM الواردة في ATC 40 جعلتها طريقة أكثر دقة، خصَّ التعديل طريقة حساب الدور الفعال T_{eff} والتخامد الفعال β_{eff} فأصبحت معادلاتهما تابع لعامل المطاوعة μ مع إدخال تأثير السلوك الهستيري وصلابة النظام بعد الخضوع وأصبحت نقطة الأداء هي النقطة التي تحقق مسقط تقاطع طيف الطلب مع شعاع الدور الفعال T_{eff} على طيف الاستطاعة، كما في الشكل (4).



الشكل (4) تحديد نقطة الأداء باستخدام الطريقة الخطية المكافئة [14]

4.2.1 طريقة الانتقالات المعدلة [14] Displacement coefficient modification:

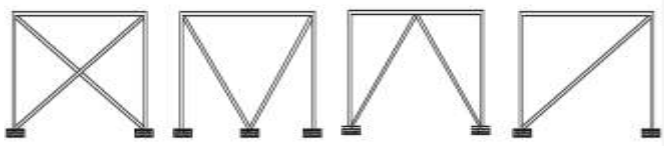
هذه الطريقة تضمنت إدخال تعديلات على المعاملات المستخدمة في حساب الانتقال الهدف لأجل طريقة DCM كإدخال تأثير التربة كما تم استبدال تأثير P-Δ بفرض حد للمقاومة الجانبية لمنع حدوث عدم استقرار ديناميكي من خلال فرض قيم ة لعامل R لا يمكن تجاوزها.

ويبقى السؤال أي من هذه الطرائق تعتبر الأكثر دقة في التحليل الستاتيكي اللاخطي؟ جاء الباحث POWELL) [7] (2006بالإجابة من خلال إجراء دراسة تحليلية لأربع منشآت فولاذية باستخدام طرائق التحليل الأربعة وذلك لأجل نمطين للتناقص في الحلقة الهستيرية وتمت مقارنة الانتقالات الحاصلة مع التحليل الديناميكي الذي استخدم فيه ست

حركات أرضية وقد تبين أن الطريقة الخطية المكافئة هو الإجراء الأكثر دقة بالتالي سيتم الاعتماد عليها في هذا البحث عند إجراء التحليل اللاخطي وتحديد إحداثيات نقطة الأداء.

3. تدعيم المنشآت باستخدام أنظمة تربيط:

إن تحقيق الاستقرار الإنشائي يعتبر هدف هام خاصة في المناطق ذات الشدات الزلزالية العالية. يعتبر الساحل السوري منطقة نشطة زلزالياً. وجهة النظر الإنشائية الحديثة خصوصاً في المناطق ذات الشدات الزلزالية العالية تتجه نحو تقوية المنشآت بطريقة تزيد صلابتها ومقاومتها كذلك تأمين مطاوعة بحيث تصبح هذه المنشآت قادرة على تبديد طاقة الزلزال مع الحفاظ على سعة تحملها لحمولات الزلزال المؤثر. تؤمن إضافة عناصر تربيط العديد من المزايا التي تجعل منه حل مثالي لرفع أداء المنشأ: زيادة مقاومة وصلابة المنشأ – تبديد الطاقة الزلزالية – تخفيف الأحمال عن الجوائز والأعمدة مما يسهم في تحسين الفائضية redundancy. لذلك فإن تحسين أداء المنشأ يكون بتصميم نظام تربيط يحقق أي من هذه المزايا أو أي تجميع بين ميزتين أو أكثر. منذ سنوات وقد قسِّم التربيط إلى تربيط مركزي CBF وتربيط لامركزي EBF. التربيط المركزي CBF يمتلك صلابة جانبية عالية وانزياح منخفض، كما انه يخفف من الطلب الزلزالي المؤثر على الأعمدة بقوى قص وانعطاف ويزيد من الضغط المحوري. يعتمد هذا النوع من التربيط في نقل الأحمال إلى الأعمدة على القوى المحورية المتشكلة في عنصر التربيط. يؤمن التربيط المركزي استجابة مطاوعة تتمثل بتشوهات لدنة في عنصر التربيط. إلا أن مطاوعته وقدرته على تشتيت الطاقة تتأثر بالتشوهات الحاصلة في عنصر الضغط بشكل تحنيب موضعي مكان المفصل اللدن. حسب AISC 341 [16] (2005) تم تصنيف الإطارات المربطة إلى إطارات عادية مربطة Ordinary Concentric Braced Frames (OCBF) ذات مطاوعة محدودة وتعتمد في أدائها على المقاومة. وإطارات خاصة مربطة(Special Concentric Braced Frames (SCBF يعتمد على المطاوعة العالية في تحقيق انزياحات لدنة كبيرة. التربيط اللامركزي EBF يمتلك تربيط صلابة كافية وقدرة جيدة على تشتيت الطاقة الزلزالية. ينقل التربيط اللامركزي الأحمال الزلزالية على شكل حمولات قص وانعطاف تتشكل في الرابط والذي يصمم بشكل دقيق وفق معايير الكود المعتمد، وبالعموم تصميم الرابط يقوم على مبدأ تأخير الانهيار الغير مطاوع كالتحنيب ليتيح فرصة حدوث دورانات لدنة كبيرة في الرابط. وعلى سبيل الحصر سنقتصر في هذا البحث على استخدام التربيط المركزي وفق أربعة انماط: تربيط متصالب X، تربيط على شكل V، تربيط على شكل Vمقلوب (IV)، تربيط قطري D.



الشكل (5) أنماط التربيط المستخدمة (الباحث)

الدراسة المرجعية Literature Review:

قام الباحثون I Gede Adi Susila. et al [8] بتقييم منشأ مكتبي فولاذي مكون من سبعة طوابق للتحقق من أداء المنشأ زلزالياً في شروط المقاومة و الصلابة و المطاوعة، المسقط عبارة عن ثلاث فتحات في كل اتجاه طول كل فتحة 6m. تم استخدام برنامج ETABS 2015 لدراسة مدى فعالية إضافة تربيط بشكل X وتربيط بشكل V مقلوب. تم القيام بتحليل نمطي modal analysis وتحليل ستاتيكي لاخطي. قام بتقييم تأثير إضافة عناصر التربيط وفق نسبة

الإجهاد PMM بالإضافة لدراسة التشوهات لأجل التحليل الخطي وقد لاحظ ان إضافة التربيط لعب دور في رفع كفاءة الأداء المرن للمنشأ كما وقام الباحث ومن خلال التحليل اللاخطي بمقارنة منحنيات السعة والتي من خلالها تم توضيح قدرة نمطي التربيط في رفع مقاومة المنشأ (سعة) وصلابة المنشأ في شروط المرونة وأيضاً تم تقييم عامل المطاوعة. حدد الباحث الأداء في شروط الانزياحات العامة عند نقطة الانتقالات الهدف لكل نموذج وتوصل إلى أن جميع النماذج لها مستوى أداء LS.

قام الباحثون [9] Saloma et al بدراسة السلوك الزلزالي لخمس نماذج من المنشآت الفولاذية بارتفاع 10 طوابق والمؤلفة من ثلاث فتحات في كل اتجاه طول كل فتحة 6m. التحليل 2D والنماذج عبارة عن تربيط بشكل V مقلوب وتربيط قطري D مطبقين بفتحات مختلفة لأجل كل نموذج. التحليل المستخدم هو التحليل الستاتيكي اللاخطي وقد تم تقييم النتائج وفق قيم القص القاعدي والانتقالات الجانبية والانزياح الطابقي النسبي كما تم تقييم منحنيات السعة لكل نمط تربيط بالنهاية تم دراسة آلية التلدن وتقييم المنشأ وفق عدد المفاصل في كل نمط. توصل الباحث أن النموذج الثالث هو الأكثر قدرة على تحمل القص والأقل انتقالا وانزياحاً ويمتلك أكبر مقاومة.

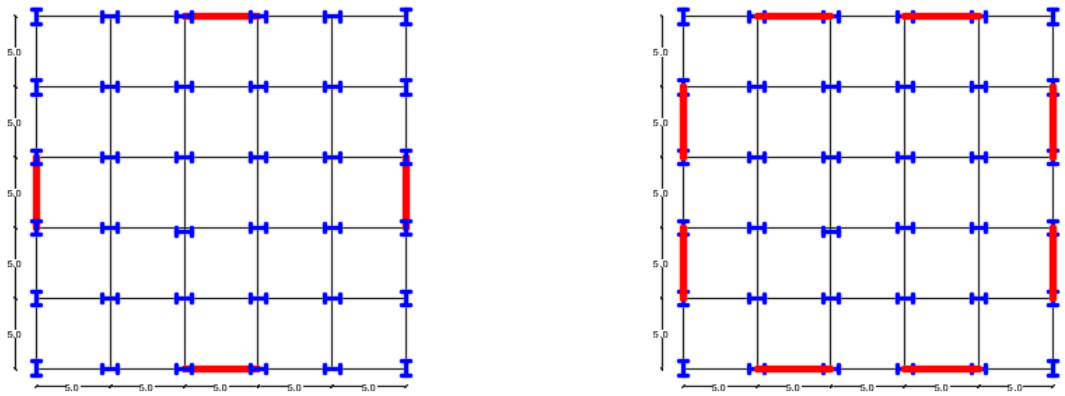
قام الباحث MOHAMMAD ALKHATTAB [10] بدراسة زلزالية لمنشأ فولاذي من خمسة طوابق G+4 وآخر من عشر طوابق G+9 يقع في مدينة جنوب قبرص، وتقييم تأثير إضافة عدد من اشكال التربيط V مقلوب INVERTED V على الأداء الزلزالي للمبنى (IV مركزي (CIV)، IV لامركزي (EIV)، IV مع تربيط ركني (KIV)) بالاستعانة ببرنامجETABS 2016. تم وضع التربيط الركني لتوازي عناصر التربيط (KIV1) ومرة ليوازي قطر الفتحة (KIV2). تم اعتماد مسقطين أحدهما منتظم في كلا الاتجاهين والآخر يحوي عدم انتظام في المسقط. قام الباحث بأنماط التحليل التالية: تحليل خطي باستخدام الطريقة الستاتيكية المكافئة (ELFM)، تحليل ستاتيكي لاخطي، تحليل التاريخ الزمني. اعتمد الباحث بارامترات الاستجابة التالية لمقارنة السلوك الزلزالي: مقارنة قوة القص وانتقال المنشأ بالطابق العلوي كذلك قيم الانزياح الطابقي ووزن المنشأ وذلك لأجل التحليل الخطي. مقارنة قيمة القص عند نقطة الانتقال الهدف Target Displacement كذلك الصلابة الجانبية وعدد المفاصل اللدنة التي وصلت للمستوى CP لأجل كل مستوى أداء. تمت مقارنة قيم عامل المطاوعة μ لأجل التحليل الستاتيكي اللاخطي. مقارنة قيم القص والانتقالات في مستوى الطابق العلوي وذلك لأجل التحليل الديناميكي اللاخطي time history analysis. من وجهة نظر الباحث يعتبر التربيط KIV2 هو التربيط الأمثل فهو الأقل كلفة وذو أداء أفضل مقارنة بباقي أنماط التربيط من حيث المقاومة كما أنه أكثر مطاوعة مقارنة بالتربيط CIV.

قام الباحث [11] Scott Michael Adams بنمذجة بناء من ستة طوابق أبعاده (180x150) ft التربيط المعتمد هو SCBFs. ستتم نمذجة المبنى باستخدام برنامج ETABS عند القيام بالتحليل الستاتيكي الخطي والديناميكي الخطي والستاتيكي اللاخطي. وبرنامج PERFORM 3D version 4، عند القيام بالتحليل الستاتيكي اللاخطي والديناميكي اللاخطي. مستويي الضرر الزلزالي المعتمدين في هذا البحث هما BSE1 لمستوى الزلزال التصميمي والمطلوب تحقيق مستوى أداء LS وBSE2 لمستوى الزلزال الأعظمي والمطلوب تحقيق مستوى أداء CP. قام الباحث بمقارنة نسبة Demand Capacity Ratio (DCR) للانتقال اللدن لمفصل عنصر التربيط وذلك في الطرائق التحليلية الأربعة (الستاتيكي الخطي، الديناميكي الخطي، الستاتيكي اللاخطي، الديناميكي اللاخطي) مع القيم الحدية الموضحة في الكود لكل مستوى أداء وتحديد مستوى الأداء وفق هذه النسبة، كذلك استعرض الباحث الانزياحات الطابقية النسبية.

توصل الباحث إلى نتيجة مفادها أن الانزياحات لا تتعلق بدرجة تضرر عنصر التربيط وأن عنصر التربيط يعاني من تشوه كبير تحت تأثير قوى صغيرة. بالنهاية لم يتم تحقيق الأداء الهدف لأجل المستوى الزلزالي BSE1 كذلك BSE2.

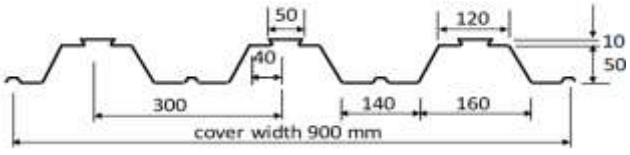
4. الوصف المعماري للنماذج المدروسة وخصائصها الهندسية وخصائص النمذجة:

تم اعتماد نموذجين بارتفاعين مختلفين الأول مكون من أربع طوابق (المنشأ A) والثاني من ثمانية طوابق (المنشأ B). المنشأ متناظر مسقطه عبارة عن خمس فتحات في كل اتجاه كما في الشكل (6). ارتفاع كل طابق 3m. لتحسين أداء المنشأ تم استخدام أربعة أنماط من التربيط المركزي (متقاطع بشكل X، بشكل V، بشكل Vمقلوب (IV)، قطري (D)، الإطارات المربطة هي إطارات خاصة SCBF، عدد الفتحات المربطة في كلا الاتجاهين متساو كما في الشكل (6). عملية التصميم تحت تأثير الحمولات الشاقولية واختيار مقاطع عناصر المنشأ تمت بالاعتماد الكود الأوروبيEC3. تم اختيار مقاطع الجوائز IPE والأعمدة HEB والتربيط مقاطع صندوقية TUBE. الفولاذ المستخدم , S235(Fy=235 Mpa (Fu=360، البيتون C25. البلاطة المستخدمة من النوع deck مستخدمة من قبل [17] A. Ghaebelrahmat (2017)، والموضحة بالشكل (7). إسناد الحمولات الشاقولية الميتة والحية كما جاء في الكود العربي السوري، كذلك تم تحديد الخصائص الزلزالية المرتبطة بالمنطقة التي يقع فيها المنشأ (محافظة طرطوس) حيث تم اعتماد قيم التسارعات الزلزالية عند الادوار القصيرة 0.2s مساوية إلى S_s=0.367 وتسارعات عند الأدوار الطويلة 1s مساوية إلى S_1=1.471



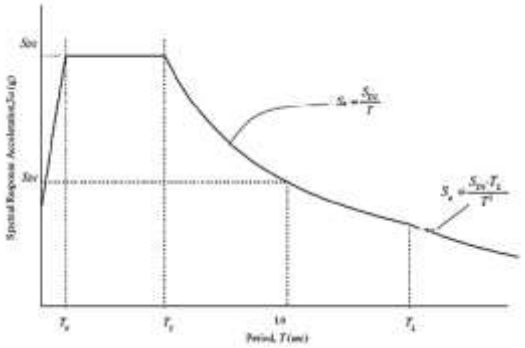
(b) (a)

الشكل (6) المسقط المعماري وأماكن توضع التربيط a) المنشأ من ثمانية طوابق b) المنشأ من أربعة طوابق



الشكل (7) أبعاد المقطع العرضي للبلاطة deck [17].

يوضح الشكل (8) طيف الاستجابة التصميمي المرن الذي يحدد حركة الأرض بما يوافق طيف الاستجابة الموجود في الكود ASCE 7-10 [18].



الشكل (8) طيف الاستجابة التصميمي المرن وفق [18] ASCE 7-10

تم إدخال اللاخطية الهندسية ولاخطية المادة في التحليل. وتم إسناد ديافرامات صلبة للبلاطات وذلك لمحاكاة تحويل الطابق على كتلة نقطية تتركز في مركزه. تم اعتماد نتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي باستخدام برنامج ETABS 2022. تم اعتبار نقطة الانتقال الهدف حوالي 4% من الارتفاع الكلي للمنشأ. بأغلب النماذج تم تكرار التحليل اللاخطي الفراغي عدد كبير من المرات للوصول لمقاطع تربيط كافية وتموضع تربيط مناسب لتحمل الحمولات الزلزالية المفروضة. لوحظ أن أي تغيير في التربيط بالاتجاه x تؤثر على نتائج التربيط بالاتجاه y بالرغم من أن الأخير يكون محقق، لذلك فقد طُبق التحميل الجانبي بالاتجاهين x وy. بالنسبة للمفاصل اللدنة تم تركيز المفاصل في نهايتي الجوائز والأعمدة على بعد 5% من عقدة اتصال الجائز مع العمود حيث أسندت مفاصل انعطافيه M3 إلى الجوائز، ومفاصل تعتمد تراكب القوى المحورية مع العزوم PM2M3 في بداية ونهاية الأعمدة، بينما مفاصل التربيط فقد أسندت مفاصل محورية P وضعت في متصف عنصر التربيط، جميع المفاصل اعتمد فيها النموذج المفروض في البرنامج ومعايير القبول لأجل مستويات الأداء حسب معايير [4] ASCE 41-17. تقييم نتائج التحليل بالاستناد إلى المعايير الموجودة في [17] ASCE 41–06.

تقييم أداء النماذج وفق بارامترات الاستجابة التالية:

- ❖ قوة القص عند نقطة الأداء base shear.
- ❖ منحنيات السعة Capacity curves. وهو تمثيل لآلية تصرف المنشأ خارج حدود المرونة تحت تأثير التحميل الزلزالي.
- ❖ الانزياحات الطابقية النسبية Interstorey drift ratio. وهي نسبة الانتقال الطابقي مقسوماً على ارتفاع الطابق، قامت بعض الكودات والمواصفات الزلزالية مثل [1] FEMA 356 بربط قيم الانزياحات بمستويات الأداء.

جدول (1) الانزياحات النسبية ووصف التضرر الموافق لمستوى الأداء لأجل الإطارات المدعمة

الإطارات المربطة بشكل مركزي			
	IO	LS	CP
الحالة	خضوع أو تحنيب قليل بعناصر التربيط	تعرض العديد من عناصر التربيط للخضوع أو التحنيب لكن لا وجود للانهيار، فشل العديد من الوصلات	تعرض عناصر التربيط لخضوع أو تحنيب كبير فشل العديد من هذه العناصر كذلك الوصلات وانهيارها
قيمة الانزياح النسبي	0.5%	1.5%	2%

- ❖ شكل الإطار المتشوه والمفاصل اللدنة المتشكلةPlastic hinges.
- ❖ نسبة Demand Capacity ratio (D/C ratio). يمثل الطلب demand مقدار الانتقال اللدن لمفصل عنصر التربيط بينما تمثل السعة capacity القيمة الحدية للانتقال اللدن الموافقة لمستوى الأداء المدروس والمأخوذة من جداول ومعايير الكود المستخدم في تعريف المفاصل [4] (ASCE 41-17).
- ❖ الصلابة الجانبية Lateral stiffness. وتعرف بأنها مقدار القوة الجانبية المطلوبة لإحداث انتقال واحدي في المنشأ وتُحسب بتقسيم قوة القص عند كل خطوة تحمي على الانتقال الموافق لها.
- ❖ موقع نقطة الأداء وتحديد الأداء وفق شروط الانتقالات العامة. يمكن الاستفادة من منحني السعة في تحديد الحمولة والانتقال لمستويات الأداء المختلفة وبالتالي معرفة مستوى أداء المنشأ لأجل قيم الانتقال والحمولة الموافقة لنقطة الأداء.

5. نتائج التحليل الإنشائي Structural Analysis Results:

1.5 قوى القص والانتقالات الموافقة عند نقطة الأداء:

جدول (2) القص القاعدي للنموذج المكون من أربعة طوابق

المنشأ A:

	X direction			Y direction		
	القص القاعدي (KN)	الانتقالات (mm)	%*	القص القاعدي (KN)	الانتقالات (mm)	%*
MRF	1001.58	267.58		1671.6	257.727	
X brace	2914.34	73.989	191	3461.242	72.123	107
V brace	2230.14	77.888	122.7	2280.63	72.575	36.4
IV brace	1494.19	64.1	49.2	1587.86	62.837	−5
D brace	3229	55.5	222.4	3270.36	53.989	95.6

* $\frac{V_{MRF}-V_{brace}}{V_{MRF}} * 100$

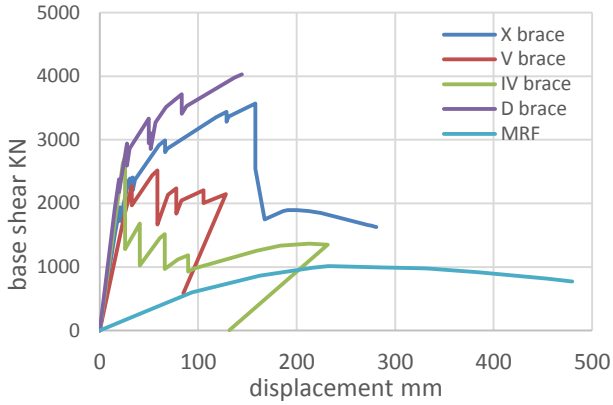
جدول (3) القص القاعدي للنموذج المكون من ثمانية طوابق

المنشأ B:

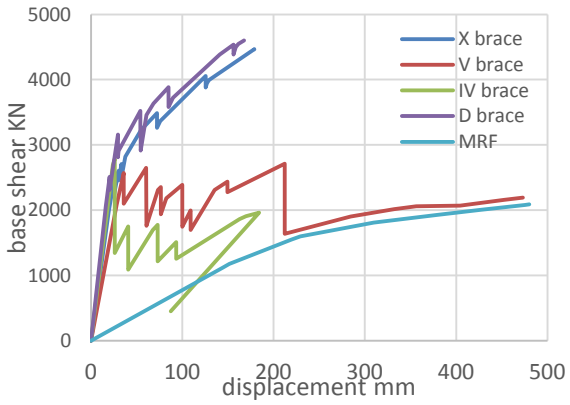
	X direction			Y direction		
	القص القاعدي (KN)	الانتقالات (mm)	%*	القص القاعدي (KN)	الانتقالات (mm)	%*
MRF	3983.24	387.67		3631	425.34	
X brace	8700.7	184.4	118.4327	8329	165.42	129.3858
V brace	6552.75	162	64.50804	5935.4	146.36	63.46461
IV brace	4361.75	204.9	9.502566	4035.6	230.672	11.14294
D brace	7218.35	264.23	81.21805	6890.5	238.8	89.76866

* $\frac{V_{MRF}-V_{brace}}{V_{MRF}} * 100$

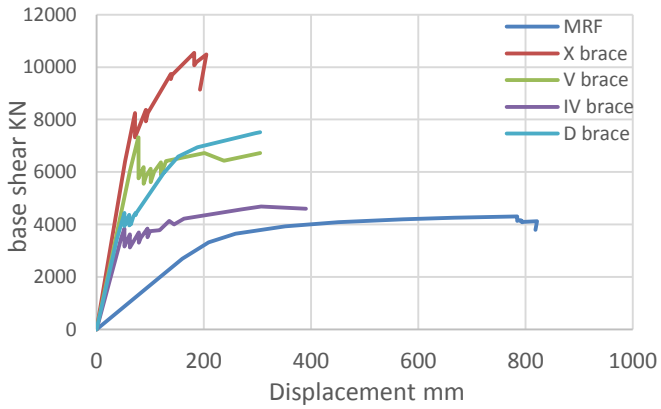
2.5 منحنيات السعة:



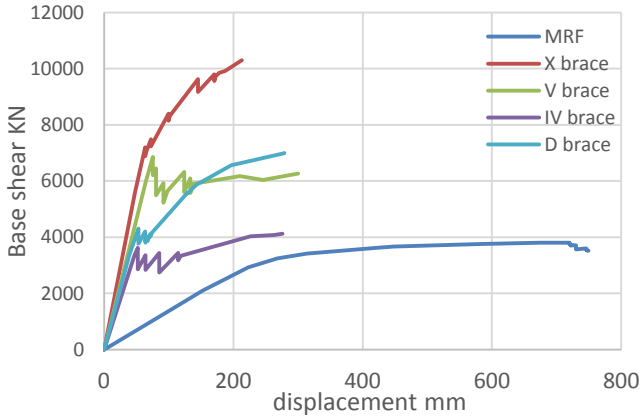
الشكل (9) منحنيات السعة للمنشأ A بالاتجاه x



الشكل (10) منحنيات السعة للمنشأ A بالاتجاه y

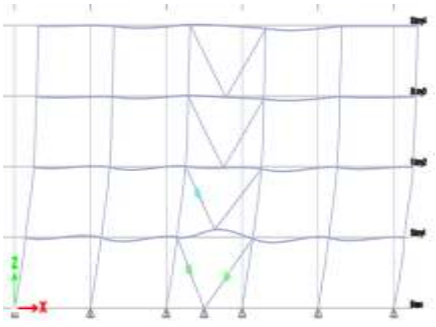


الشكل (11) منحنيات السعة للمنشأ B بالاتجاه x

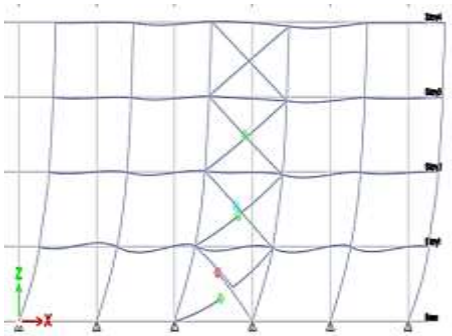


الشكل (12) منحنيات السعة للمنشأ B بالاتجاه y

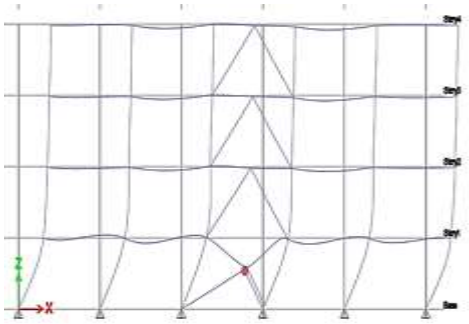
3.5 شكل الإطار المتشوه وآلية تلدن المفاصل:



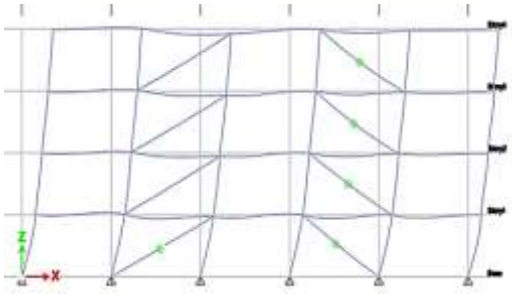
الشكل (13) تشكل المفاصل المنشأ A تربيط V تحت تأثير حالة التحميل push X



الشكل (14) تشكل المفاصل المنشأ A تربيط X تحت تأثير حالة التحميل push X

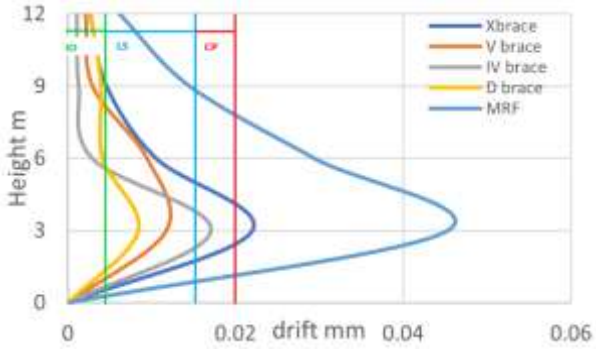


الشكل (15) تشكل المفاصل للمنشأ A تربيط IV تحت تأثير حالة التحميل push X

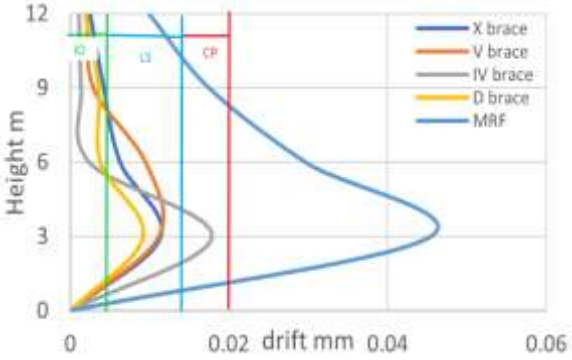


الشكل (16) تشكل المفاصل للمنشأ A تربيط D تحت تأثير حالة التحميل push X

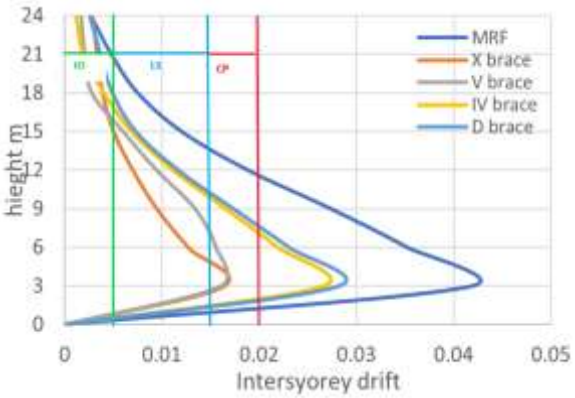
4.5 الانزياحات الطابقية النسبية:



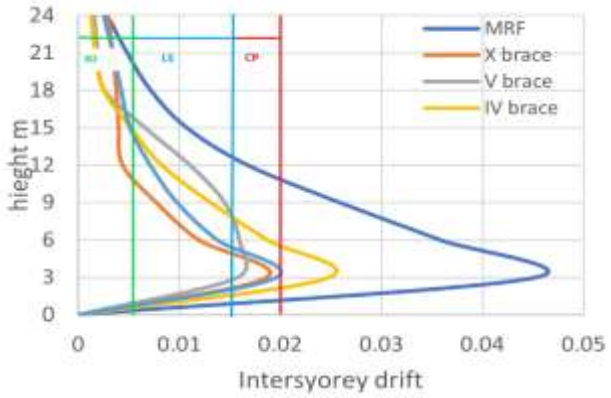
الشكل (17) الانزياحات النسبية المنشأ A تحت تأثير حالة التحميل push X



الشكل(18) الانزياحات النسبية المنشأ A تحت تأثير حالة التحميل push Y

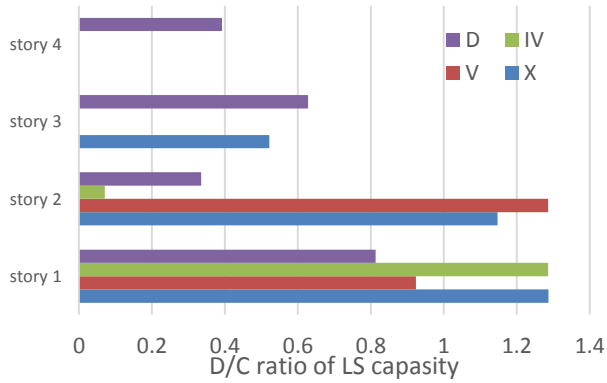


الشكل (19) الانزياحات النسبية للمنشأ B تحت تأثير حالة التحميل pushX

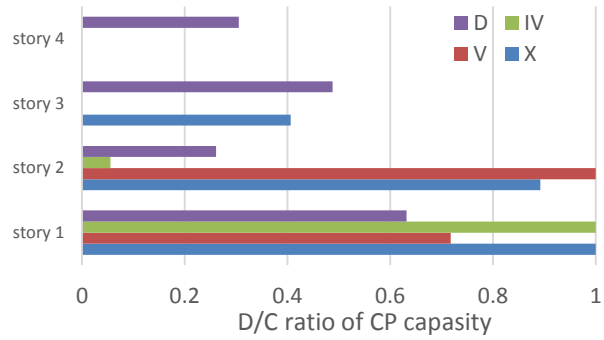


الشكل (20) الانزياحات النسبية للمنشأ B تحت تأثير حالة التحميل push Y

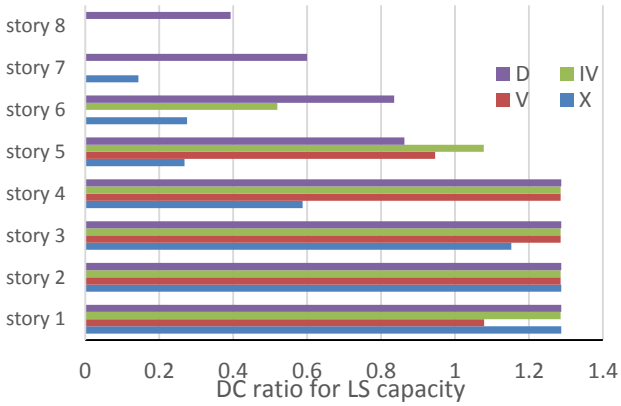
5.5 نسبة (Demand Capacity ratio (D/C ratio:



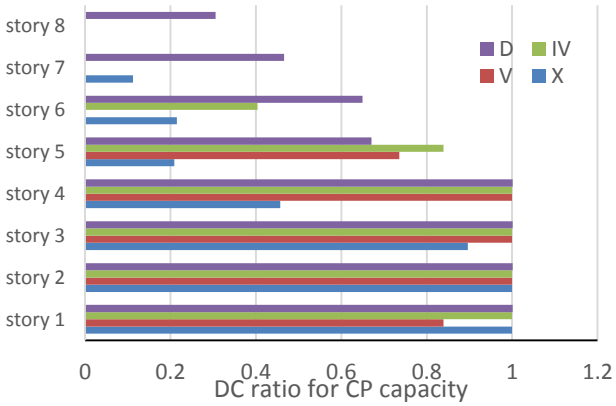
الشكل (21) نسبة D/C المنشأ A لأجل مستوى الأداء LS



الشكل (22) نسبة D/C المنشأ A لأجل مستوى الأداء CP

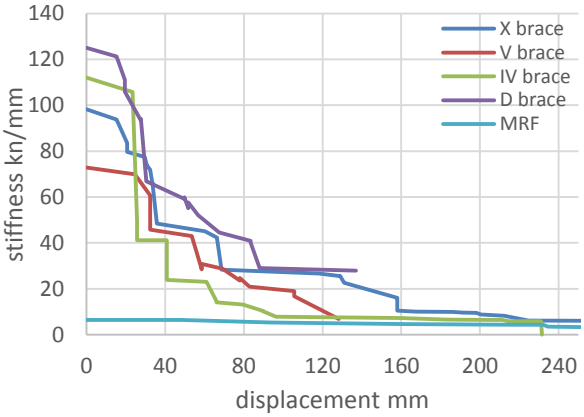


الشكل (23) نسبة D/C للمنشأ B لأجل مستوى الأداء LS

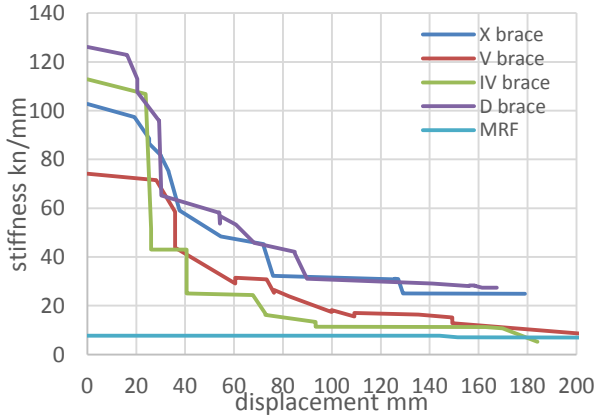


الشكل (24) نسبة D/C للمنشأ B لأجل مستوى الأداء CP

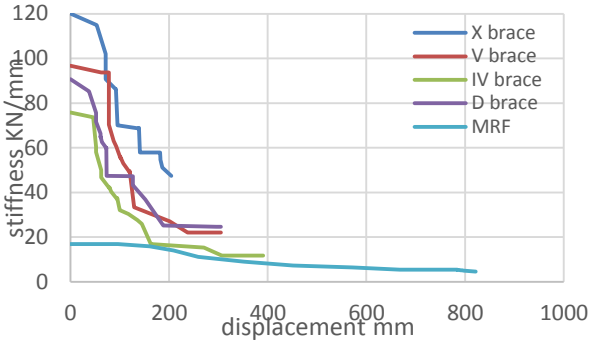
6.5 الصلابة الجانبية:



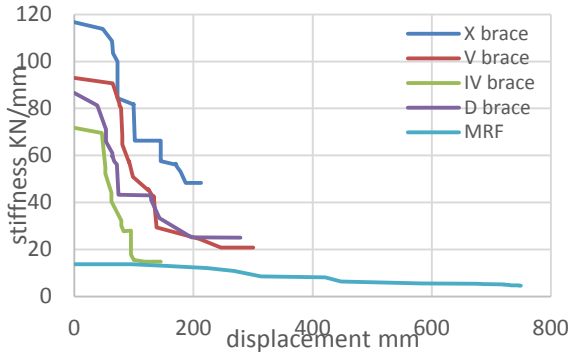
الشكل (25) الصلابة الجانبية المنشأ A بالاتجاه x



الشكل (26) الصلابة الجانبية المنشأ A بالاتجاه y

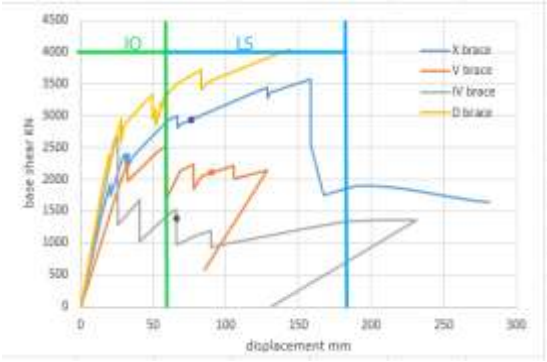


الشكل (27) الصلابة الجانبية للمنشأ B بالاتجاه x

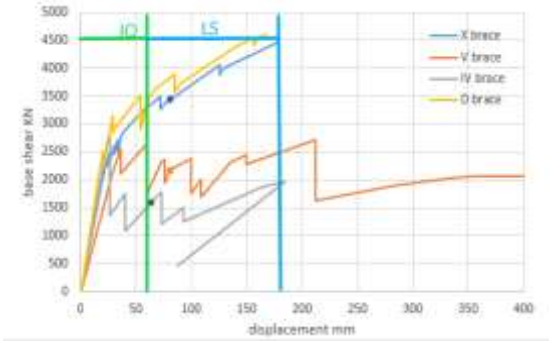


الشكل (28) الصلابة الجانبية للمنشأ B بالاتجاه y

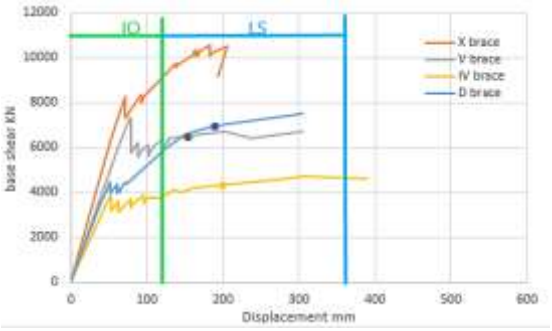
7.5 تحديد الأداء وفق شروط الانتقالات العامة:



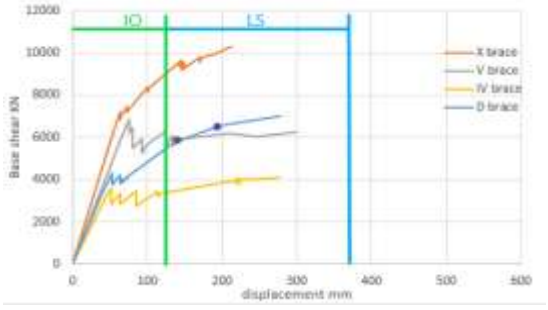
الشكل (29) نقطة الأداء المنشأ A بالاتجاه x



الشكل (30) نقطة الأداء المنشأ A بالاتجاه y



الشكل (31) نقطة الأداء للمنشأ B بالاتجاه x



الشكل (32) نقطة الأداء للمنشأ B بالاتجاه y

النتائج والمناقشة:

6. مناقشة نتائج التحليل:

1.6 القص القاعدي عند نقطة الأداء:

- المنشأ A: من الجدول (2) قيمة القص القاعدي بالاتجاه y أكبر من الاتجاه x. بالاتجاه x التربيط D رفع من قيمة القص بشكل أكبر من باقي أنماط التربيط بمعنى آخر أنه أعطى المنشأ مقاومة أعلى من باقي أنماط التربيط،

بينما في الاتجاه y نجد أن التربيط X رفع قيمة القص بنسبة أكبر من التربيط D. يعود انخفاض مقاومة التربيط X في الاتجاه x إلى اختلاف مقاطع التربيط المستخدمة بكلا الاتجاهين. أقل تربيط رفع من قيمة القص هو التربيط IV.

- المنشأ B: من الجدول (3) قوى القص بالاتجاه x أكبر من الاتجاه y. التربيط X رفع من قيمة القص القاعدي بنسبة أكبر من باقي أنماط التربيط يليه التربيط Dومن ثم التربيط V وفي النهاية التربيط IV بأقل قيمة قص. التربيط IV أعطى أقل قيمة لقوى القص بين أنماط التربيط.

2.6 منحنيات السعة:

- المنشأ A: الشكل (9) و (10)، التربيط D هو التربيط الأكثر صلابة ومقاومة بين أنماط التربيط حيث نلاحظ أن منحني السعة ارتفع أعلى من باقي منحنيات الأنماط الأخرى. التربيط IV هو الأكثر مطاوعة والأقل مقاومة، نلاحظ الانحدار في مقاومة التربيط IV بعد الوصول إلى حمولة الخضوع عكس التربيط X والتربيط D حيث نلاحظ تحسن في المقاومة بعد تجاوز حمولة الخضوع مما يدل على أنه يبدي سلوك جيد بالمرحلة اللدنة. التربيط V والتربيطIV يعانيان من انكسارات عديدة في منحني السعة والناتجة عن فقدان في المقاومة. مطاوعة التربيط V بالاتجاه x أعلى من المطاوعة بالاتجاه y.
- المنشأ B: الشكل (11) و (12)، التربيط X ارتفع فوق كل المنحنيات مما يعني أنه التربيط الأكثر مقاومة وصلابة بين أنماط التربيط المدروسة. تزداد مقاومة التربيط D بعد الوصول لنقطة الخضوع مما يدل على أنه يبدي سلوك جيد بالمرحلة اللدنة كما في المنشأ A. منحني السعة لأجل التربيط V والتربيط IV متشابه إلا أن التربيط V له مقاومة أكبر للحمولات الجانبية. منحني السعة لأجل التربيط IV هو أخفض من باقي المنحنيات. منحني السعة لأجل التربيط V والتربيط IV يبدي انكسارات في منحني السعة ناتجة عن حدوث انخفاض في مقاومة المنشأ أثناء التحميل كما في المنشأ A. التربيط D أكثر مقاومة من التربيط IV.

3.6 شكل الإطار المتشوه وآلية تلدن المفاصل:

ازداد عدد المفاصل المتشكلة في عناصر التربيط عند إضافة التربيط للمنشأ غير المربط ، في المنشأ A تركزت المفاصل بمستوى الطابق الأول عند استخدام التربيط IV وبمستوى الطابق الثاني عند استخدام التربيطV، وتوزعت بشكل جيد على كامل الارتفاع عند استخدام التربيط X والتربيطD، لازالت جميع الجوائز والأعمدة في المجال المرن. في المنشأ B تشكلت مفاصل في بعض جوائز الطابق الأول عند استخدام التربيط V والتربيطIV، بسبب العزوم الإضافية المطبقة على الجوائز والناتجة عن طبيعة اتصال التربيط مع الجائز. كما تشكلت المفاصل في جوائز الطابق الأول عند استخدام التربيط D وهذا لم نلاحظه عند إضافة التربيط X. حافظ التربيط X على العناصر الإنشائية (الجوائز والأعمدة) مرنة. مفاصل عناصر التربيط توزعت بشكل أفضل من المنشأ A وشملت الطوابق الخمس الأولى.

4.6 الانزياحات الطابقية النسبية:

- المنشأ A: التربيط الأقل انزياحاً بين كل أنماط التربيط هو التربيط القطري D ولم تتجاوز انزياحاته القيم الموافقة لمستوى الأداء LS كما في الجدول (1). التربيط الأعلى انزياحاً بالاتجاه x هو التربيط X حيث تجاوزت قيم انزياحاته القيم الموافقة لمستوى الأداء CP، الشكل (17). أما بالاتجاه y نلاحظ الانزياح الكبير لأجل التربيط IV إلا أن الانزياح لم يصل للقيمة التي توافق مستوى الأداء CP، الشكل (18). نلاحظ أن إضافة التربيط X بالاتجاه x أعطى قيم انزياحات أعلى من قيم الانزياحات الناتجة عن إضافته بالاتجاه الآخر. التربيط V لم تتركز انزياحاته بمستوى الطابق الأول فقط على خلاف باقي أنماط التربيط حيث نلاحظ أن قيم الانزياحات للطابقين الأول والثاني متقاربة.

- المنشأ B: الانزياحات في كلا الاتجاهين متقاربة. انزياحات التربيط X منخفضة. أعلى قيم للانزياحات بالاتجاه x كانت لأجل التربيط القطري D الشكل (19)، وبالاتجاه y التربيط IV الشكل (20)، بقيم الانزياحات تجاوزت القيم الموافقة لمستوى الأداء CP. الانزياحات لأجل التربيط V تركزت بمستوى الطوابق الثلاث الأولى وبقيم متقاربة. بمقارنة قيم الانزياحات مع المعايير الموجودة في ASCE 41-06 نجد أن انزياحات كل أنواع التربيط وصلت للقيم التي توافق مستوىCP عدا التربيط V والتربيط X الذي لم يتجاوز فيه مستوى الأداء في شروط الانزياحات الطابقية المستوى LS.

5.6 نسبة الطلب إلى السعة Demand Capacity Ratio (D/C ratio):

- المنشأ A: الشكل (21) و (22) أقل أنماط التربيط تضرراً كانت التربيط القطري D. عند استخدام التربيط V والتربيط IV نلاحظ تركز الضرر بمستوى الطابقين الأول والثاني، التضرر بمستوى الطابق الأول لأجل التربيط V أقل من باقي أنماط التربيط والسبب هو طبيعة اتصال التربيط مع الأرض. لأجل التربيط X نلاحظ الانزياحات القليلة بمستوى الطابق الثاني والتي لم تصل للقيم الموافقة لمستوى الأداء LS يقابلها تضرر كبير لعنصر التربيط وصل للمستوى CP،يمكن القول إنه لا علاقة بين قيم الانزياحات الطابقية ونسبة التضرر لمفصل عنصر التربيط وأن انزياح قليل للمنشأ قابله تضرر كبير لمفصل عنصر التربيط وهذا يوافق مع النتيجة التي توصل إليها الباحث Scott Michael Adams [11].

- المنشأ B: الشكل (23) و (24) المفاصل المسندة لعناصر التربيط X هي الأقل تضرراً، بينما المفاصل المسندة لعناصر التربيط القطريD أكبر تضرراً من باقي أنماط التربيط. انزياحات التربيط V لم تصل للمستوى CP وبقيت ضمن حدود الانزياحات الموافقة لمستوى الأداء LSلكننا نلاحظ تضرر في مفاصل التربيط وصل للمستوى CP. وهذا يتوافق مع النتيجة التي توصلنا إليها في المنشأ A، والتي نصت على أن تضرر عنصر التربيط لا يتعلق بمقدار الانزياح وأن انزياح قليل أحدث تضرر كبير في مفصل عنصر التربيط.

6.6 الصلابة الجانبية:

- المنشأ A: الشكل (25) و (26)، التربيط IV له أعلى صلابة جانبية لكنه يعاني من انحدار كبير في الصلابة بعد تجاوز حمولة الخضوع. التربيط القطريD حافظ على صلابة جانبية اعلى من باقي أنماط التربيط. تسلسل الانخفاض بقيم صلابته الجانبية لأجل التربيط X بالاتجاه y أكثر انسيابية من باقي أنماط التربيط، الشكل (25). التربيط V هو التربيط الذي حافظ على صلابته ثابتة لأجل انتقالات أكبر قبل بلوغ إجهاد الخضوع.
- المنشأ B: الشكل (27) و (28)، تعاني كل أنماط التربيط من انحدار كبير في صلابتها بعد تجاوز حمولة الخضوع. حافظ التربيط X على قيم صلابة أعلى من باقي أنماط التربيط، التربيط IV هو الأقل صلابة بين أنماط التربيط.

7.6 تحديد الأداء وفق شروط الانتقالات العامة:

- المنشأ A: الشكل (29) و (30)، أنَّ جميع النقاط تقع في مستوى الأداء IO-LS عدا نقطة الأداء لأجل التربيط القطري D لم تتجاوز مستوى الأداءIO وله أعلى نقطة أداء (أعلى قص وأقل انتقال). التربيط IV له أخفض نقطة أداء.
- المنشأ B: الشكل (31) و (32)، جميع نقاط الأداء تقع في المجال بين IO-LS .نقطة الأداء لأجل التربيط X هي الأعلى بين جميع أنماط التربيط. التربيط IV له نقطة أداء منخفضة وذات انتقالات عالية.

الاستنتاجات والتوصيات:

في هذا البحث تم دراسة تأثير إضافة أربعة أنماط من التربيط المركزي (متقاطع بشكل X، بشكل V، بشكل V مقلوب (IV)، قطري D)، لمبنيين فولاذيين الأول بارتفاع أربعة طوابق والثاني بارتفاع ثمانية طوابق وتقييم الأداء الزلزالي من خلال السير على نهج التحليل القائم على الأداء وتم استخدام برنامج ETABS 2022 للقيام بتحليل Pushover المستخدم لأجل تقييم أداء النماذج المعتمدة. بالنتيجة تم التوصل إلى النتائج التالية:

1. حقق كلا النموذجين مستوى الأداء الهدف والذي هو LS.
2. الصلابة المرنة للمنشأ تؤثر في مطاوعته اللدنة فمن خلال منحنيات الصلابة الجانبية نلاحظ أن المنشأ الذي حافظ على صلابته المرنة ثابتة لأجل انتقالات عالية يكون عامل مطاوعته منخفض.
3. التربيط IV يُكسب المنشأ مطاوعة عالية وقدرة على التلدن إلا أن مقاومته منخفضة ويتعرض لتدهور كبير في الصلابة الجانبية بعد الخضوع، لذلك يُعتبر التربيط الأقل كفاءة بين أنماط التربيط لأجل كل من النموذجين.
4. يتحسن أداء التربيط V والتربيط IV مع زيادة الارتفاع حيث أن تكسرات منحني السعة الناتجة عن انخفاض المقاومة أثناء التحميل يصبح اقل عند زيادة عند زيادة عدد الطوابق.
5. في المنشأ A، من خلال مقارنة قيم الانزياحات والتي تعبر عن مستوى التضرر الطابقي نجد أن التربيط القطري D لم يصل القيم الموافقة للمستوى LS، وعند مقارنة نسبة DCR لعناصر التربيط والتي تعبر عن مستوى تضرر العنصر نجد أن التربيط D هو الأقل تضرراً، وعند مقارنة مستوى الأداء العام نجد أن مستوى الأداء لأجل التربيط D كان IO، وبالتالي يكون التربيط D هو التربيط الأكثر كفاءة. يمكن استخدام التربيط X مع مراعاة كلفة استبدال عناصر التربيط وترميم وصلاتها بسبب انزياحاته العالية بالاتجاه x.
6. في المنشأ B، التربيط X هو الأقل انزياحاً بين أنماط التربيط الأخرى، وعند مقارنة نسبة DCR لعناصر التربيط والتي تعبر عن مستوى تضرر العنصر نجد أن التربيط X هو الأقل تضرراً، وعند مقارنة مستوى الأداء العام نجد أن مستوى الأداء للتربيط X بين IO-LS وهو مستوى الأداء الهدف، بالتالي يكون التربيط X هو التربيط الأكثر كفاءة ويمتلك مقاومة أعلى من باقي أنماط التربيط، التربيط القطري D خيار جيد يضيف مطاوعة للمنشأ مع مراعاة كلفة استبدال عناصر التربيط وترميم وصلاتها بسبب انزياحاته العالية.
7. من الممكن إدخال التربيط اللامركزي وإعادة إجراء التحليل ومقارنة النتائج.
8. في هذا البحث تم الاقتصار على المسقط المنتظم وبالتالي من الممكن دراسة نفس النماذج لأجل حالات عدم انتظام أفقية أو شاقولية.

References:

[1] FEMA 356, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of building, Federal Emergency Management Agency FEMA, Washington, D.C. (2000).
[2] FEMA 273 Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Building, Federal Emergency Management Agency FEMA, Washington, D.C.(1997).
[3] ASCE SEI 41-13 Seismic Evaluation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers ASCE, Reston, V.A.(2014).
[4] ASCE SEI 41-17 Seismic Evaluation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers ASCE, Reston, V.A. (2017).
[5] ATC 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building, Applied Technology Council ATC 40, California. (1996).

[6] M.A ASHHEIM , M. INET, and T.TJHIN, The Significance of Lateral Load Pattern in Pushover Analysis, *The 5th National Conference on Earthquake Engineering*, Istanbul, Turkey. (2008).
[7] G.H. POWELL, Static Pushover Method: explanation comparison and implementation, Berkeley. (2009).
[8] G.A. SUSILA, I.A. BUDIWATI, N. BUDIARTHRA, and D.A. SEMADI, Structural Integrity Under Seismic Loading of Low Medium Rise Structure: Numerical Analysis of Steel Frames, *The 3th Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation*, Bali, Indonesia. (2016).
[9] A. SALOMA, Y. IDRIS, HANAFIAH, and N,OCTAVIANUS, Structural Behaviour of Steel Building with Diagonal and Chevron Braced CBF (concentrically Braced Frames) by Pushover Analysis, *International journal on Advanced Science Engineering*, Vol.7, No.2, Indonesia , 716-722, (2017).
[10] M. AlKHATTAB, Seismic Behavior Evaluation of Inverted-V Braced Frames, Master's thesis, Nicosia. (2019).
[11] S. Adams, Performance Based Analysis of Steel Buildings: Special Concentric Braced Frame, Master's thesis, California. (2010).
[12] S.V. VENKATESH, I.R. MITHANTHAYA, S. DEEPA, Performance Based Analysis of 10 Storeys 5x5 Bays Model with Fixed base subjected to different monitored displacement, *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education IJARIIE*, vol. 7, Issue. 5, India, 97-109, (2021).
[13] A. GHAEBELRAHMAT, Comparison of the Behavior of Steel Structure with Concentric and Eccentric Bracing Systems, master's thesis, North Cyprus. (2017).
[14] FEMA 440 Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency FEMA, USA. 2005.
[15] D.S, JAYARAMAPPA, Nonlinear static analysis of RC frame structure, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. 11, Issue. 2, India, 78-89, (2014).
[16] ANSI/AISC 341-10 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction AISC, Chicago, I.L, (2010).
[17] ASCE/SEI 41-06 Seismic rehabilitation of existing buildings, American Society of Civil Engineers ASCE, Reston, V.A, (2007).
[18] ASCE/SEI 7-10. (2010). Seismic Evaluation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers ASCE, Reston, V.A
[19] ETABS Integrated Building Design Software version 22.0.0 computer and structures. USA. (2022).
[20] S.Elkassas, Modified Force/Displacement-based Procedure for Performance-based Seismic Design of Regular RC Frames. *PHD Dissertation in The American University*, Cairo, Egypt.