

تقييم عامل التضخيم الديناميكي للإطارات المقاومة للزوم في الانهيار المتتالي

م. سامي العزو⁽¹⁾

د. م. ربيع الصفدي⁽²⁾

الملخص

أضحى الانهيار التدريجي موضوع بحثٍ سائدٍ منذ انفجار غاز تسبب في انهيار مبنى رونان بوينت السكني عام 1968، حيث يحدث الانهيار التدريجي نتيجةً للفقد الفوري لعنصر داعم مما يتسبب في فشل الأعضاء المجاورة والذي يؤدي بدوره إلى انهيار واسع النطاق للمنشأ. قدمت كل من إدارة الخدمات العامة الأمريكية GSA ووزارة الدفاع الأمريكية DOD إرشادات تصميم تهدف إلى تخفيف آثار هذا النوع من الانهيار. هذه الإرشادات تتضمن متطلبات لتطبيق كل من التحليل الاستاتيكي الخطي واللاخطي وكذلك التحليل الديناميكي الخطي واللاخطي، حيث يوصى باستخدام عامل تضخيم ديناميكي DAF مساوٍ لـ 2 بهدف أخذ التأثيرات الديناميكية عند إجراء تحليل الاستاتيكي [K, F] حددت الدراسات الحديثة أن إرشادات GSA وUFC توفر عامل تضخيم ديناميكي محافظ بشكل كبير. في هذه الأطروحة، تم تحليل عدة إطارات باستخدام برنامج SAP2000 الإصدار V20.2.0 وفق طرق التحليل الأربعة المذكورة، واستخدمت النتائج لتقديم توصيات بشأن عامل تضخيم ديناميكي أكثر ملاءمة، وبالإضافة لذلك، تمت ملاحظة دور كل من التأثيرات الديناميكية واللاخطية ومقارنتها بين طرق التحليل الأربعة المختلفة. بالنظر إلى نتائج التحليل لعدة إطارات مختلفة، وُجد أنّ عامل التضخيم الديناميكي كان دائماً أقل من 2، باستثناء الإطار 2×2 عند إزالة عمود داخلي، إذ كانت قيمته مساويةً لـ 2، كما يجدر الذكر بأنّ عوامل التضخيم الديناميكي المحسوبة من الانتقالات أكبر بكثير من تلك المحسوبة من الزوم.

الكلمات المفتاحية: عامل التضخيم الديناميكي، الانهيار المتتالي، الإطارات المعدنية، التحليل الديناميكي، التحليل الاستاتيكي.

(1) طالب ماجستير في قسم الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية- جامعة دمشق.

(2) مدرس في قسم الهندسة الإنشائية كلية الهندسة المدنية- جامعة دمشق.

Evaluation of Dynamic Amplification Factor for Moment Resisting Frames in Progressive Collapse

Eng. Sami Al-Ezzo⁽¹⁾

Dr. Eng. Rabee AL- Safadi⁽²⁾

ABSTRACT

Progressive collapse has been a prevalent research topic since a gas explosion caused the collapse of the Ronan Point apartment building in 1968. Progressive collapse occurs when an instantaneous loss of a supporting element causes failure in adjacent members leading to a large-scale collapse of the structure.

The General Services Administration GSA and the Department of Defense DoD have provided design guidelines regarding progressive collapse mitigation.

The guidelines provide requirements for setting up static and dynamic, linear and nonlinear analyses. In particular, a dynamic amplification factor DAF of 2 is recommended to account for the dynamic effects when performing a static analysis. Recent studies have determined that the GSA and the UFC guidelines provide an overly conservative dynamic amplification factor.

In this thesis, various frames were analyzed using SAP2000 for all four analysis methods and the results were used to make recommendations regarding a more appropriate dynamic amplification factor. Additionally, the role of dynamic and nonlinear effects was observed and compared for the four different analysis methods.

By looking at the different frames, it is evident that the dynamic amplification is consistently less than 2, this is true for all the frames analyzed except for the 2x2 span frame with an interior column removed where the DAF is exactly 2. It is reasonable for the dynamic amplification to be higher for a frame with two spans because when a column is damaged and removed in this frame, there are only two columns remaining to take all the load.

Also, the DAF is significantly larger for the deflections than the moments.

Keywords: Dynamic Amplification Factor, Progressive Collapse, Steel Frames, Dynamic Analysis, Static Analysis

⁽¹⁾Engineer Student in the Structural Engineering Department – Damascus university

⁽²⁾Lecturer in the Structural Engineering Department – Damascus university

مقدمة البحث:

أبراج التجارة العالمية:

في شهر أيلول عام 1200، قامت طائرتين من نوع بوينغ بصدم البرجين التوأمين، حيث تسببت هذه الصدمة بأضرار إنشائية وكذلك حريق في الطوابق التي صدمت، حيث أدى الحريق إلى تسخين الجوائز الشبكية الحاملة للبلاطات مما أدى إلى انهيارها وبالتالي فإن الأقسام الموجودة فوق مكان الصدمة وقعت على الهيكل أسفل مكان الصدمة واستمر هذا الانهيار حتى الوصول إلى الأرض [11].

مشكلة البحث:

إن كل من الإرشادات التوجيهية (GSA-) (General Services Administration) و (UFC-) (Facilities Criteria) توصي بتطبيق عامل تضخيم ديناميكي مساوٍ للقيمة (2) ليطبق على كل حالات التحميل الستاتيكي للانهيار المتتالي، إن عامل التضخيم هذا محافظ جداً ويمكن أن يؤدي إلى منشآت مبالغ بتصميمها [8].

عند استخدام التحليل الستاتيكي الخطي يكون الحمل المسموح به عند تشكل أول مفصل لدن، أما عند استخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي، فإنه يسمح بتشكيل المفاصل اللدنة وبالتالي يكون الحمل المسموح به هو حمل الانهيار، ومع ذلك يتم استخدام نفس عامل التضخيم لكلا الإجراءين وهذا أيضاً قد يؤدي إلى تصميم منشآت مبالغ في تصميمها ولكن من وجهة النظر الاقتصادية من المرغوب فيه عدم المبالغة بتصميم المنشآت [4].

الغاية:

تقييم عامل التضخيم الديناميكي للإطارات المعدنية المقاومة للعزوم في حالة الانهيار المتتالي عند إزالة أحد الأعمدة.

إدارة الخدمات العامة (GSA): عرفت الانهيار المتتالي بأنه الحالة عندما الفشل المحلي للمكونات الحاملة الرئيسية للمنشأ يؤدي الى انهيار العناصر المجاورة والتي بالمقابل تؤدي الى انهيار إضافي وبالتالي فإن اجمالي الضرر غير متناسب مع المسبب الأصلي [7].

كود الأحمال الأمريكي (ASCE7): عرف الانهيار المتتالي بأنه انتشار الفشل المحلي الاولي من عنصر الى عنصر مما يؤدي في النهاية الى انهيار جزء كبير غير متناسب من [1].

تم تعريف عامل التضخيم الديناميكي DAF على أنه نسبة الانحراف الديناميكي، أو قوة النابض، أو الإجهاد في أي وقت من استجابة المنشأ على الانحراف، وقوة النابض، والإجهاد التي كانت ستحصل نتيجة التطبيق الثابت للحمل [8].

أمثلة عن الانهيار المتتالي:

مبنى رونان بوينت السكني في لندن:

في شهر أيار عام 1968 في مدينة نيوهام، بريطانيا تسبب انفجار الغاز في الطابق الثامن عشر في فشل أحد الجدران الحاملة مسبقة الصنع حيث تسبب بانهيار جزئي لـ 22 طابق من المبنى، حيث أن انهيار الطوابق العلوية تسبب بصدمة على الطوابق السفلية مما تسبب بانهيارها [9].

مبنى ألفريد مورا في أوكلاهوما:

في شهر نيسان عام 1995، في مدينة أوكلاهوما، تعرض البناء لانفجار شاحنة حيث تسبب هذا الانفجار بتضرر ثلاثة أعمدة محيطية مما أدى إلى فشل العارضة الناقلة في الطابق الثالث، مما تسبب بانهيار الطوابق العليا، حيث انتشر الضرر إلى مسافة 21.3 م من عرض المبنى [10].

الهدف الرئيسي للبحث:

تقييم قيمة عامل التضخيم الديناميكي المستخدم في حالة التحليل الستاتيكي الخطي لحالة الانهيار المتتالي.

الدراسات السابقة:

لقد قام كل من الباحثان (Marjanishvili and Agnew) وآخرون عام 2006 بدراسة تحليلية على مبنى إيطالي فولاذي مقاوم للعزوم مكون من تسعة طوابق وستة فتحات بالاتجاه الطويل للمبنى وثلاثة فتحات بالاتجاه القصير للمبنى، الهدف من الدراسة هو تقديم مفهوم واضح ووصف للإجراءات المختلفة لتحليل الانهيار المتتالي خطوة بخطوة حيث تمت دراسة المبنى بأربع طرق تحليلية (LS-NLS-LD- NLD) باستخدام برنامج SAP2000، وكانت أهم النتائج: إن الانتقالات الأعظمية المحسوبة من طريقة التحليل الستاتيكي الخطية والديناميكية الخطية هي 165مم و153مم على الترتيب وهي نتائج متقاربة وهذا يقود إلى أن استخدام عامل تضخيم ديناميكي بقيمة 2 من أجل التحليل الستاتيكي الخطي هو تقدير جيد.

قام الباحث روث وأصدقائه بإجراء تحليل ستاتيكي وديناميكي على إطارات معدنية ثنائية البعد وثلاثية البعد، حيث تمت دراسة 11 نموذج، حيث قام باستبدال عامل التضخيم الديناميكي بمضاعف تضخيم ديناميكي متغير من القيمة 1 إلى 2. إن البيانات التي تم جمعها من كل نموذج تتألف من: العدد الكلي للمفاصل اللدنة، الدوران اللدن الكلي (لكل المفاصل اللدنة)، متوسط الدوران اللدن، وأقصى دوران لدن في كل مفصل، وانتشار المفاصل اللدنة، وأقصى انحراف رأسي، حيث كانت نتائج البحث: إن المضاعفات الديناميكية لم تصل أبداً إلى قيمة قريبة من القيمة 2، حيث كان أعلى عامل ديناميكي تم تسجيله هو 1.41 وهو انخفاض في تضخيم الحمل بنسبة 59% من المضاعف 2، حيث كانت التوصية الأساسية التي

دعماً لهذا البحث هي تخفيض عامل التضخيم الديناميكي إلى القيمة 1.5 من أجل التحليل الستاتيكي اللاخطي للمنشآت المعدنية على وجه التحديد الإطارات المقاومة للعزوم، وأن العامل 1.5 أفضل لإدخال التأثيرات الديناميكية عند إجراء التحليل الستاتيكي وسيؤدي إلى تصاميم أكثر اقتصادية. ومع ذلك، ذكر الباحثون أنه لم يكن سلوك المواد من اللدن المرن تماماً، وإذا كانت المواد تتصلب بعد السيلان، وإذا كانت مطاوعة المنشأ عالية، فقد يكون استخدام عامل الحمولة 2 أكثر ملاءمة، نتيجة لذلك، اقترح بحثهم أنه يجب استخدام عامل تحميل 2 للمنشآت الهامة و1.5 للمنشآت الأخرى.

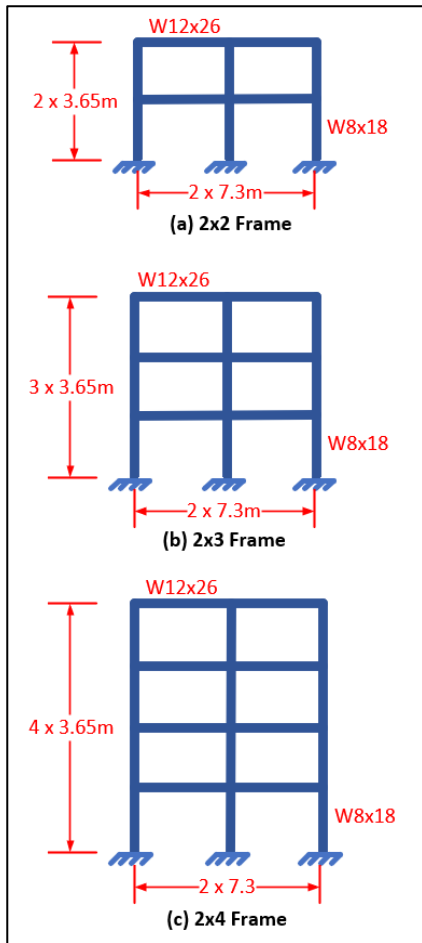
الدراسة التحليلية:

تم استخدام الإطارات الموضحة في الشكل (1). يمكن رؤية الأبعاد في الأشكال أدناه. تم عمل العديد من الافتراضات من أجل الحصول على نماذج متسقة ومن أجل تبسيط التحليل. تم اعتبار أن جميع الإطارات مقاومة للعزوم. تم نمذجة الوصلات مع الأساس كوصلات موثوقة. تم استخدام خصائص المفاصل اللدنة الافتراضية في برنامج SAP2000 والتي تتوافق مع تعريف المفاصل اللدنة في FEMA 356 من أجل التحليلات اللاخطية. تم افتراض أن نسبة التخميد هي 1%. لجميع التحليلات الديناميكية. تم استخدام خطوة تحليل زمنية قدرها 0.001 ثانية لضمان التقاط التأثير الديناميكي بالكامل. تم استخدام وقت إزالة العمود 0.05 ثانية. تم اختيار طريقة نيو مارك للتكامل الزمني (The Newmark time integration method) مع استخدام القيم الشائعة 0.5 لغاما و0.25 بيتا. طريقة تكامل نيو مارك تعطي بشكل عام نتائج وزمن تطابق جيدة [4].

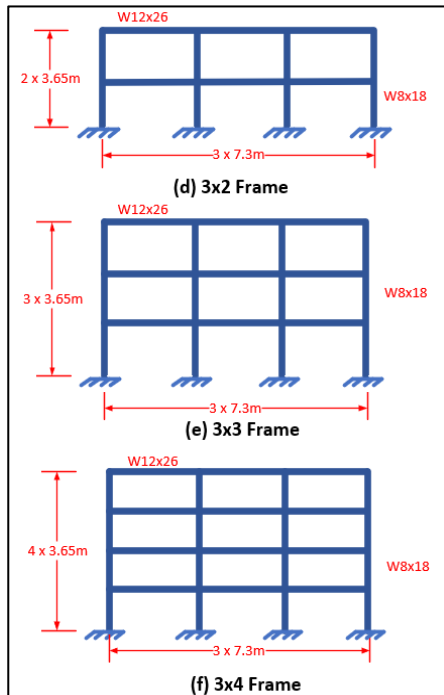
وكان للفولاذ الإنشائي المستخدم معامل مرونة

$$E_s = 29000Ksi \text{ طولاني}$$

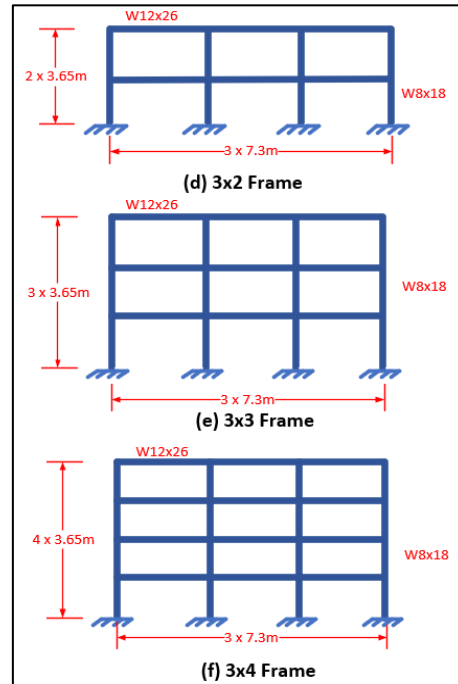
$$f_y = 50Ksi \text{ وإجهاد خضوع أصغري}$$



الشكل (2) نماذج الإطارات المعدنية بثلاث فتحات.



الشكل (3) نماذج الإطارات المعدنية بأربعة فتحات.



الشكل (1) نماذج الإطارات المعدنية بفتحتين.

حالات التحميل من أجل التحليل:

تم إجراء التحليل باستخدام تراكيب الأحمال المذكورة في المعادلتين الموضحتان أدناه. تم توليد الوزن الذاتي للجوائز والأعمدة تلقائيًا بناءً على حجم العنصر وكثافة المواد بواسطة SAP2000.

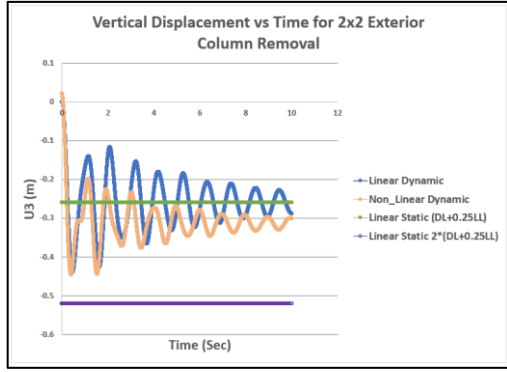
حمولة ميتة $DL=7.3 \text{ KN/m}$

حمولة حية $LL=14.6 \text{ KN/m}$

$$=9806.65 \text{ mm/sec}^2$$

Static Analysis: $P_u = 2 * (DL + 0.25LL)$

Dynamic Analysis: $P_u = DL + 0.25LL$



الشكل (4) الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بفتحتين وثلاثة طوابق. الجدول (1): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بفتحتين وثلاثة طوابق.

DAF for 2x2 Frame with Exterior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.236	-775.543
Linear Dynamic	-0.399	-992.994
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.236	-775.543
Non-Linear Dynamic	-0.445	-1213.185
DAF-NLD/LS	1.89	1.56
DAF-LD/LS	1.69	1.28
DAF-NLD/NLS	1.89	1.56

إزالة العمود الداخلي: يبلغ الحد الأقصى للانحراف الديناميكي الخطي (-232mm) ويستقر الإطار عند (-126mm) وهو الانحراف الستاتيكي الخطي غير المضخم. إن أقصى انحراف ديناميكي لاخطي هو (-239mm) وانحرافه الدائم المستقر هو (-162mm). الانحراف الستاتيكي الخطي المضخم أكبر من الانحراف الديناميكي الخطي والانحراف الديناميكي غير الخطي في نفس العقدة. يوضح هذا أن التحليل الستاتيكي الخطي مع عامل التضخيم الديناميكي (2) متحفظ في تقدير الانحراف في العمود المتضرر.

نتائج التحليل:

تم رسم منحنيات استجابة الانتقال ومنحنيات استجابة العزوم والنظر فيها لتحديد عوامل التضخيم الديناميكي. تمت مقارنة الانتقال والعزوم للتحليل الستاتيكي الخطي المضخم وغير المضخم والتحليل الديناميكي الخطي بالتحليل الديناميكي غير الخطي لتحديد DAF.

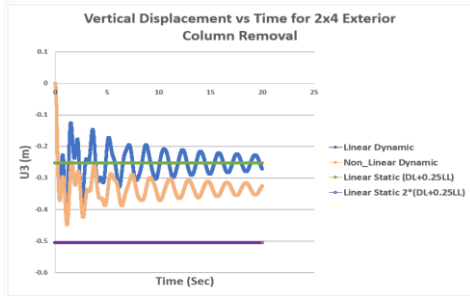
9-1. الإطار ذو الفتحتين وطابقين:

إزالة العمود الطرفي:

يوضح الشكل (4) الانحراف الرأسي في العقدة حيث تمت إزالة العمود. كما ذكرنا سابقاً، تم إجراء التحليل الاستاتيكي الخطي بدون عامل التضخيم الديناميكي. تم رسم نتائج التحليل الاستاتيكي الخطي المضخم على الرسم البياني أيضاً. الانتقال الاستاتيكي الخطي للعقدة الحرة بلغ (-236mm) والانتقال الاستاتيكي الخطي المضخم بلغ (-520mm).

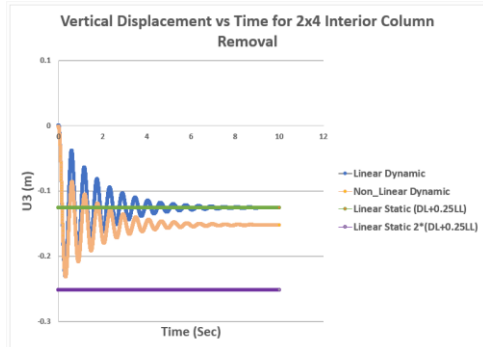
يُظهر التحليل الديناميكي الخطي أن الإزالة الأولية للعمود تتسبب في التضخيم ولكنها تستقر في النهاية عند الانتقال الاستاتيكي الخطي غير المضخم. الانتقال الأعظمي للتحليل الديناميكي الخطي كان (-399mm) والانحراف المستقر كان (-232mm).

الانتقال الناتج عن حالة التحليل الديناميكي اللاخطي تجاوز الانتقال الموضح للتحليل الديناميكي الخطي. والسبب في ذلك هو تشكل مفاصل لدنة في الإطار. بمجرد تشكل المفاصل اللدنة، يجب على القوى إعادة التوزيع إلى العناصر المجاورة لنقل الحمولة. الانتقال الأعظمي للتحليل الديناميكي اللاخطي هو (-445mm). في هذه الحالة، نلاحظ أن الانتقالات العظمى الناتجة من التحليل الديناميكي الخطي واللاخطي أقل بكثير من الانتقال الاستاتيكي الخطي المضخم. يمكن إيجاد قيم عوامل التضخيم الديناميكي لحالات التحليل في الجدول (3) أدناه.



الشكل (6) الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بفتحتين وأربعة طوابق. إزالة العمود الداخلي:

يبلغ الحد الأقصى للانحراف الديناميكي الخطي القيمة المساوية لـ (-230mm) ويستقر عند الانحراف الستاتيكي الخطي البالغ (-126mm). أقصى انحراف ديناميكي غير خطي هو مساوٍ للقيمة (-231mm) وهو أعلى قليلاً من انحراف التحليل الديناميكي الخطي. يُظهر التحليل الديناميكي اللاخطي أن المنشأ قد استقر عند انحراف نهائي قدره (-152mm).



الشكل (7) الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بفتحتين وأربعة طوابق. الجدول (4) عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بفتحتين وأربعة طوابق.

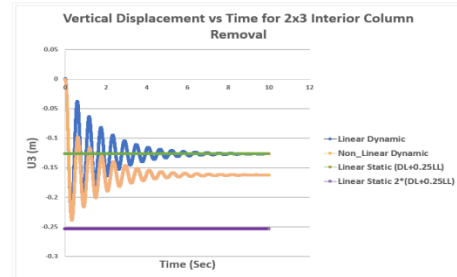
DAF for 2x3 Frame with Interior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.127	536.634
Linear Dynamic	-0.232	1097.603
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.127	536.634
Non-Linear Dynamic	-0.239	908.260
DAF-NLD/LS	1.88	1.69
DAF-LD/LS	1.83	2.00
DAF-NLD/NLS	1.88	1.69

الجدول (2) عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بفتحتين وثلاثة طوابق.

DAF for 2x2 Frame with Interior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.130	574.319
Linear Dynamic	-0.231	1163.090
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.130	574.319
Non-Linear Dynamic	-0.258	923.544
DAF-NLD/LS	1.97	1.61
DAF-LD/LS	1.77	2.00
DAF-NLD/NLS	1.97	1.61

الجدول (3) عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بفتحتين وأربعة طوابق.

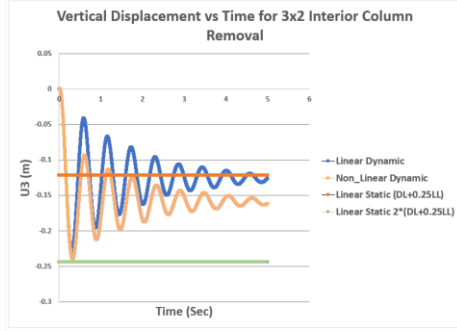
DAF for 2x3 Frame with Exterior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.254	-666.184
Linear Dynamic	-0.385	-1042.121
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.254	-666.184
Non-Linear Dynamic	-0.413	-935.047
DAF-NLD/LS	1.63	1.4
DAF-LD/LS	1.52	1.56
DAF-NLD/NLS	1.63	1.4



الشكل (5) الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بفتحتين وثلاثة طوابق. الإطار ذو الفتحتين وثلاثة طوابق: إزالة العمود الطرفي:

إن استخدام عامل التضخيم الديناميكي (2) يبالغ في تقدير الانحراف والعزم لهذا الإطار. يقلل التحليل الديناميكي الخطي من تقدير الانحراف ويبالغ في تقدير العزم مقارنة بالتحليل الديناميكي غير الخطي. الحد الأقصى للإزاحة الديناميكية الخطية هو (-420mm) والإطار استقر عند انحراف (-271mm) وهو أكبر قليلاً من الانحراف الستاتيكي الخطي.

122mm) والذي يتطابق مع الانتقال الستاتيكي الخطي. بلغ أقصى انحراف ديناميكي لخطي القيمة (-240mm)، وكان الانتقال الديناميكي للاخطي المستقر مساوياً للقيمة (-158mm).



الشكل (9) الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بثلاثة فتحات وطابقين.

الجدول (6) عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بفتحتين وأربعة طوابق.

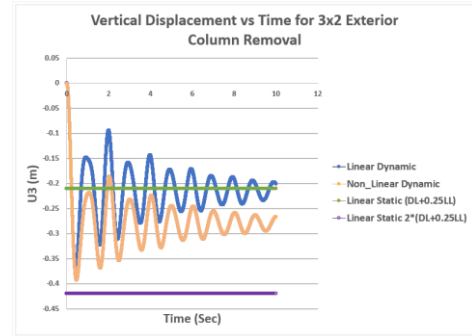
DAF for 2x4 Frame with Interior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.126	524.290
Linear Dynamic	-0.230	1048.276
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.126	524.290
Non-Linear Dynamic	-0.231	899.782
DAF-NLD/LS	1.84	1.72
DAF-LD/LS	1.83	1.99
DAF-NLD/NLS	1.84	1.72

الإطار ذو الثلاث فتحات وطابقين:
إزالة العمود الطرفي:

يوضح الشكل (10) الإزاحة الرأسية عند الطرف الحر للإطار. الحد الأقصى للإزاحة الديناميكية الخطية لهذا الإطار هو (-371mm) وهو قريب جداً من أقصى انحراف ديناميكي غير خطي (-393mm). على الرغم من أن القيم القصوى لحالات التحليل الديناميكي الخطي وغير الخطي متشابهة، يختلف الانحراف الدائم النهائي للحالتين. بالنسبة لحالة التحليل الديناميكي الخطي، يكون الانحراف المستقر (-201mm) ولحالة التحليل الديناميكي غير الخطي، يكون الانحراف المستقر (-266mm). يشبه الانحراف

الإطار ذو الفتحتين وأربعة طوابق:
إزالة العمود الطرفي:

يوضح الشكل (8) الإزاحة الرأسية عند الطرف الحر للإطار. الحد الأقصى للإزاحة الديناميكية الخطية لهذا الإطار هو (-371mm) وهو قريب جداً من أقصى انحراف ديناميكي غير خطي (-393mm). على الرغم من أن القيم القصوى لحالات التحليل الديناميكي الخطي وغير الخطي متشابهة، يختلف الانحراف الدائم النهائي للحالتين. بالنسبة لحالة التحليل الديناميكي الخطي، يكون الانحراف المستقر مساوياً للقيمة (-201mm) ولحالة التحليل الديناميكي غير الخطي، يكون الانحراف المستقر (-266mm). يشبه الانحراف الديناميكي الخطي الدائم حالة التحليل الستاتيكي الخطي.



الشكل (8) الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بثلاثة فتحات وطابقين.
الجدول (5) عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بثلاثة فتحات وطابقين.

DAF for 2x4 Frame with Exterior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.253	-660.992
Linear Dynamic	-0.420	-1071.354
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.253	-660.992
Non-Linear Dynamic	-0.450	-935.288
DAF-NLD/LS	1.77	1.41
DAF-LD/LS	1.66	1.62
DAF-NLD/NLS	1.77	1.41

إزالة العمود الداخلي:

يظهر الشكل (9) الانتقال الشاقولي للعقدة في منتصف مجاز الجائز فوق العمود الذي تمت إزالته. بلغ أقصى انتقال ديناميكي خطي (-222mm) وكان الانتقال النهائي الذي استقر عليه الإطار (-

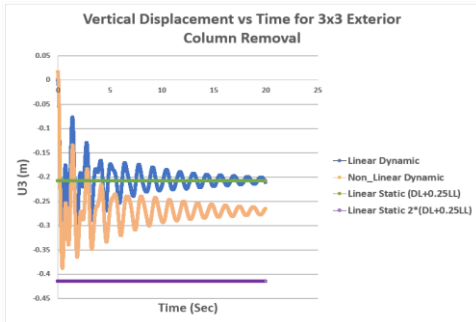
الإطار ذو الثلاث فتحات وثلاثة طوابق:

إزالة العمود الطرفي:

تم الحصول على تأثيرات العمود الذي تم إزالته على الإطار من خلال 4 حالات تحليل مختلفة. أقصى انحراف لوحظ في حالة التحليل الديناميكي الخطي هو (-331mm) والانحراف الدائم للنهاية الحرة هو (-211mm) وهو ما يشبه الانحراف الستاتيكي الخطي البالغ (-208mm). كانت الإزاحة العظمى للحالة الديناميكية غير الخطية هو (-388mm) وموضع الراحة الأخير هو انحراف (-264mm).

الجدول (8): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بثلاثة فتحات وطابقين.

DAF for 3x2 Frame with Interior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.126	527.114
Linear Dynamic	-0.222	1025.315
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.126	530.673
Non-Linear Dynamic	-0.240	807.352
DAF-NLD/LS	1.90	1.53
DAF-LD/LS	1.76	1.95
DAF-NLD/NLS	1.90	1.52

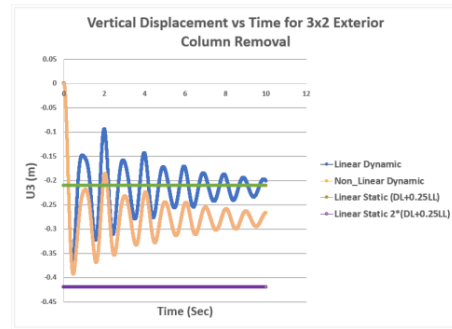


الشكل (12) الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بثلاثة فتحات وثلاثة طوابق.

الجدول (9) عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بثلاثة فتحات وثلاثة طوابق.

DAF for 3x3 Frame with Exterior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.208	-556.473
Linear Dynamic	-0.331	-919.447
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.208	-553.804
Non-Linear Dynamic	-0.388	-775.325
DAF-NLD/LS	1.87	1.39
DAF-LD/LS	1.59	1.65
DAF-NLD/NLS	1.87	1.40

الديناميكي الخطي الدائم حالة التحليل الستاتيكي الخطي.

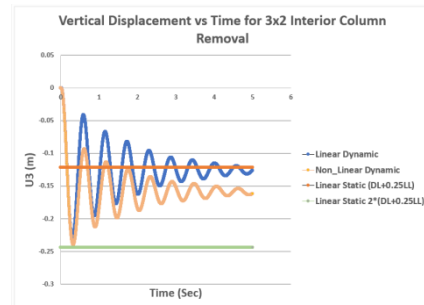


الشكل (10) الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بثلاثة فتحات وطابقين. الجدول (7): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بثلاثة فتحات وطابقين.

DAF for 3x2 Frame with Exterior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.215	-592.503
Linear Dynamic	-0.371	-957.257
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.215	-589.834
Non-Linear Dynamic	-0.393	-788.225
DAF-NLD/LS	1.82	1.33
DAF-LD/LS	1.73	1.62
DAF-NLD/NLS	1.82	1.34

إزالة العمود الداخلي:

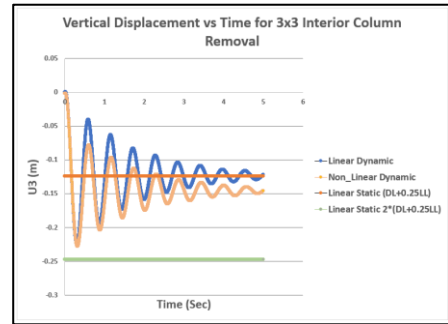
يظهر الشكل (11) الانتقال الشاقولي للعقدة في منتصف مجاز الجانز فوق العمود الذي تمت إزالته. بلغ أقصى انتقال ديناميكي خطي (-222mm) وكان الانتقال النهائي الذي استقر عليه الإطار (-122mm) والذي يتطابق مع الانتقال الستاتيكي الخطي. بلغ أقصى انحراف ديناميكي لاخطي القيمة (-240mm)، وكان الانتقال الديناميكي اللاخطي المستقر مساوي للقيمة (-158mm).



الشكل (11) الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بثلاثة فتحات وطابقين.

إزالة العمود الداخلي:

يوضح الجدول (10) القيم العظمى للانتقالات والعزوم في إطار 3x3 مع إزالة عمود داخلي. الانتقال الأعظمي لحالة التحليل الديناميكي غير الخطي مساوي للقيمة (-228mm) والانتقال الأعظمي لحالة التحليل الديناميكي الخطي هو (-225mm). تُظهر الحالة الديناميكية الخطية أن الإطار قد استقر عند حوالي (-124mm) وهو ما يطابق الانحراف الستاتيكي الخطي. الشكل (13) يوضح السجل الزمني لجميع حالات التحليل المختلفة.



الشكل (13) الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بثلاثة فتحات وثلاثة طوابق. الجدول (10) عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بثلاثة فتحات وثلاثة طوابق.

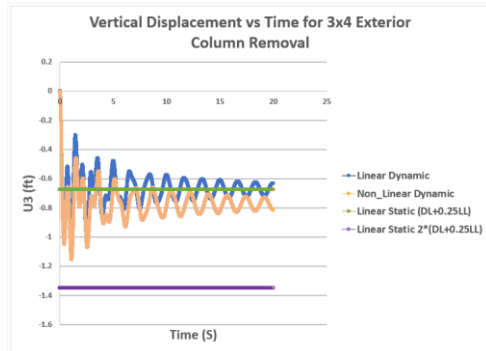
DAF for 3x3 Frame with Interior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.124	404.788
Linear Dynamic	-0.225	717.943
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.124	401.230
Non-Linear Dynamic	-0.228	800.235
DAF-NLD/LS	1.84	1.98
DAF-LD/LS	1.82	1.77
DAF-NLD/NLS	1.84	1.99

6-9. الإطار ذو الثلاث فتحات وأربعة طوابق:

إزالة العمود الطرفي:

يوضح الجدول (11) الانتقالات العظمى والعزوم العظمى لحالات التحليل المختلفة لإطار 3x4 عند إزالة العمود الخارجي. الحد الأقصى للإزاحة الديناميكية غير الخطية هو (-) وهو ما يتوافق مع أقصى إزاحة ديناميكية خطية تبلغ (-). يستقر التحليل الديناميكي اللاخطي عند انحراف دائم قدره (-). يستقر

التحليل الديناميكي الخطي عند انحراف (-) والذي يتوافق مع انحراف التحليل الستاتيكي الخطي (-).



الشكل (14) الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بثلاثة فتحات وأربعة طوابق. الجدول (11) عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بثلاثة فتحات وأربعة طوابق.

DAF for 3x4 Frame with Exterior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.205	-516.439
Linear Dynamic	-0.331	-874.076
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.205	-513.325
Non-Linear Dynamic	-0.352	-770.877
DAF-NLD/LS	1.72	1.49
DAF-LD/LS	1.61	1.69
DAF-NLD/NLS	1.72	1.50

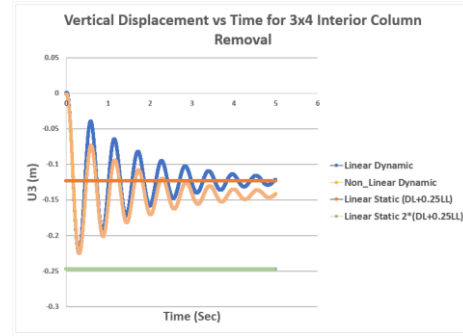
إزالة العمود الداخلي:

لوحظ الحد الأقصى للانحرافات والعزوم في الإطار لحالات التحليل المختلفة. أظهر الإطار بتحليله باستخدام التحليل الديناميكي غير الخطي أقصى انحراف (-225mm) وانحرافاً دائماً مساوياً للقيمة التالية (-142mm). أظهر التحليل الديناميكي الخطي أقصى انحراف (-225mm) مع انحراف نهائي مستقر بلغ (-124mm). يتوافق الانحراف الديناميكي الخطي النهائي مع الانحراف الستاتيكي الخطي غير المضخم. الشكل (17) يوضح قيم الانتقال الشاقولي للعقدة الحرة فوق العمود المزال لحالات التحليل المختلفة.

لتنفيذها لتقييم الانهيار التدريجي للمنشآت. يأخذ التحليل الديناميكي اللاخطي في الاعتبار السلوك الديناميكي وكذلك لاختية المادة مما يؤدي إلى نتائج أكثر واقعية. ومع ذلك، فهو أيضاً الأكثر استهلاكاً للوقت. اعتماداً على خصائص نظام الحاسب الذي يتم عمل التحليل عليه، يمكن أن تستغرق حالة التحليل هذه أكثر من ساعتين لتحليل كامل الأمثلة التي تمت مناقشتها في هذه الأطروحة. سيستغرق الأمر وقتاً أطول للنماذج ثنائية الأبعاد الأكبر وخاصة النماذج ثلاثية الأبعاد.

وفقاً لبعض الإرشادات، فإن حالة التحليل الستاتيكي الخطي وحالة التحليل الستاتيكي غير الخطي تنفذ حالياً مع نفس عامل التضخيم الديناميكي. ومع ذلك، هذا غير ضروري لأن عامل التضخيم الديناميكي مدرج في التحليل الستاتيكي الخطي للتعويض عن عدم قدرته على التنبؤ بالتأثيرات الديناميكية أو غير الخطية على المنشأ. يتم تضمين عامل التضخيم الديناميكي في الحالة الاستاتيكية غير الخطية للتعويض عن عدم قدرتها على التنبؤ بأي تأثيرات ديناميكية. لذلك، من المفرد استخدام نفس التضخيم الديناميكي لكلا حالتَي التحليل. من المثير للاهتمام ملاحظة أن حالة التحليل الديناميكي الخطي لا تتطلب أي عامل تضخيم على الرغم من أن التحليل لا يلتقط أيضاً من التأثيرات غير الخطية للانهيار التدريجي.

من الصعب تقييم عامل تضخيم ديناميكي لحالة التحليل الستاتيكي غير الخطي. عند إجراء تحليل ستاتيكي غير خطي بدون عامل التضخيم الديناميكي، ينتج عن التحليل نتائج مماثلة بشكل أساسي لحالة التحليل الستاتيكي الخطي غير المضخم. هذا هو الحال لأن الأحمال ليست كبيرة بما يكفي لإنتاج عزوم كبيرة بما يكفي لتشكيل مفاصل لدنة في الإطار. بالنسبة لمعظم الحالات التي تمت ملاحظتها، أظهرت الحالة الاستاتيكية غير الخطية ذات عامل التضخيم

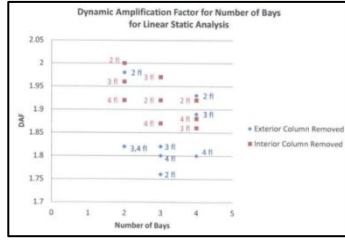


الشكل (15) الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بثلاثة فتحات وأربعة طوابق. الجدول (12) عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بثلاثة فتحات وأربعة طوابق.

DAF for 3x4 Frame with Interior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.123	475.515
Linear Dynamic	-0.225	917.668
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.123	477.739
Non-Linear Dynamic	-0.225	769.098
DAF-NLD/LS	1.82	1.62
DAF-LD/LS	1.82	1.93
DAF-NLD/NLS	1.82	1.61

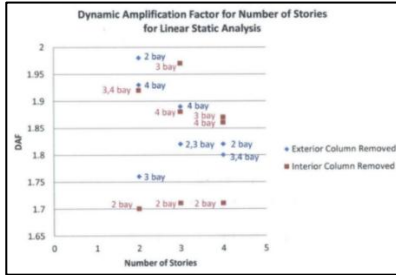
المناقشة:

حالات التحليل الأربع المختلفة التي يمكن استخدامها لتقدير الانهيار التدريجي للمنشأ لكل منها مزاياها وعيوبها. حالة التحليل الستاتيكي الخطي هي أسرع وأبسط حالة للتحليل. يمكن لحالة التحليل الديناميكي الخطي النظر في الوقت الفعلي للإزالة لمكونات المنشأ الأساسية ومراعاة التأثيرات الديناميكية للإزالة. ومع ذلك، فإن حالة التحليل هذه لا تأخذ في الحسبان السلوك غير الخطي للمواد والذي يمكن أن يتسبب في تضخيم ديناميكي محسوب بشكل غير صحيح للهياكل التي تظهر تشوهات لدنة كبيرة. نظراً لأن السلوك غير الخطي لا يؤخذ في الاعتبار في هذه الحالة، فإن وقت التحليل سريع. تأخذ حالة التحليل الستاتيكي اللاخطي في الاعتبار السلوك غير الخطي للمادة ولكنها لا تأخذ في الاعتبار أي تأثيرات تخامد. هذا التحليل متحفظ للغاية وقد يستغرق وقتاً طويلاً بسبب نوع التحليل غير الخطي الذي يحسب مصفوفة صلابة جديدة في كل خطوة زمنية. حالة التحليل الديناميكي غير الخطي هي حالة التحليل الأكثر دقة



الشكل (16) عامل التضخيم الديناميكي مع تغير عدد المجازات.

يوضح الشكل (16) عامل التضخيم الديناميكي المحدد للحالة الاستاتيكية الخطية لعدد مختلف من المجازات. بإزالة العمود الداخلي، يقل عامل التضخيم الديناميكي مع زيادة عدد المجازات. هذا متوقع لأنه عندما يحتوي الإطار على المزيد من الأعمدة، يكون هناك المزيد من المسارات لنقل الحمل. بالنسبة للعمود الخارجي الذي تمت إزالته، من غير الواضح كيف يؤثر عدد المجازات على عامل التضخيم الديناميكي. يوضح الشكل (17) تغير عامل التضخيم الديناميكي مع عدد الطوابق للإطار. ومع ذلك، لا يوجد ارتباط واضح بين عدد الطوابق وعامل التضخيم الديناميكي ضروري لجعل التحليل الستاتيكي الخطي دقيقاً مثل حالة التحليل الديناميكي غير الخطي.



الشكل (17) عامل التضخيم الديناميكي مع تغير عدد الطوابق.

من خلال النظر إلى الإطارات المختلفة، يتضح أن التضخيم الديناميكي باستمرار أقل من 2. وهذا صحيح بالنسبة لجميع الإطارات التي تم تحليلها باستثناء الإطار 2x2 مع إزالة عمود داخلي حيث يكون DAF بالضبط 2. من المعقول أن يكون التضخيم الديناميكي كبير للإطار ذو الفتحتين لأنه عند تضرر العمود وإزالته من هذا الإطار، لا يتبقى سوى عمودين لتحمل كل الحمل.

الديناميكي 2 انحرافات وعزوم أعلى من الحالة الديناميكية غير الخطية. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت الحالة الاستاتيكية غير الخطية أحياناً أن المفاصل اللدنة تتجاوز الإشغال الفوري ومعايير قبول سلامة الحياة في الوقت نفسه، وأظهرت حالة التحليل الديناميكي غير الخطي أن تلك المفاصل نفسها قد تلدنت فقط. من الواضح أن حالة التحليل الستاتيكي غير الخطي متحفظة للغاية.

بناءً على الحالات المختلفة التي تم تحليلها، من الواضح أن عامل التضخيم الديناميكي 2 هو قيمة متحفظة. سيكون من المفيد تحديد عامل تضخيم ديناميكي أكثر دقة لاستخدامه مع حالة التحليل الستاتيكي الخطي. يمكن أن يؤدي عامل التضخيم الديناميكي الأقل تحفظاً إلى تصميمات أكثر دقة تمنع الانهيار التدريجي مع الحفاظ على وقت التحليل عند الحد الأدنى. لم يتم تحديد عامل تضخيم ديناميكي ثابت من نطاق هذا التحليل. يجب إجراء مزيد من البحث لتحديد القيمة الفعلية لعامل تضخيم ديناميكي أقل تحفظاً.

11. الاستنتاجات:

عامل التضخيم الديناميكي (Dynamic Amplification Factor):

الإجراء الستاتيكي الخطي هو حالة التحليل الأكثر استخداماً في الواقع العملي لتحليل الانهيار التدريجي. حالياً، يستخدم الإجراء الستاتيكي الخطي تضخيماً ديناميكياً بمقدار 2 وهو تضخيم متحفظ. إذا أمكن تحديد عامل تضخيم ديناميكي أكثر دقة، فقد يؤدي ذلك إلى عدد أقل من المنشآت المبالغ في تصميمها لمنع الانهيار التدريجي. نظراً لتنوع تصميمات المباني، من المثير للاهتمام النظر في كيفية اختلاف عامل التضخيم الديناميكي مع عدد الطوابق وعدد المجازات.

Reference

- a. ASCE (2006). Minimum design loads for buildings and other structures (ASCE7-05) including Supplement No.2, American Society of Civil Engineers, Reston, VA
- b. International Code Council (IBC). (2003). International Building Code, Falls Church, VA.
- c. Lew, H.S. "Analysis Procedures for Progressive Collapse of Buildings." 2003.
- d. Marjanishvili, S. M. "Progressive Analysis Procedure for Progressive Collapse." Journal of Performance of Constructed Facilities 18.2 (2004):79-85.
- e. Marjanishvili, Shalva, and Elizabeth Agnew (2006). "Comparison of Various Procedures for Progressive Collapse Analysis." Journal of Performance of Constructed Facilities 20(4), pp. 365-374.
- f. Mckay, Aldo, Matt Gomez, and Kirk Marchand. Non-linear Dynamic Alternate Path Analysis for Progressive Collapse: Detailed Procedures Using UFC 4-023-03. July 2009.
- g. GSA. (2003). Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects. US General Service Administration Washington, DC.
- h. Ruth, Peter, Kirk A. Marchand, and Eric B. Williamson. "Static Equivalency in Progressive Collapse Alternate Path Analysis: Reducing Conservatism While Retaining Structural Integrity." Journal of Performance of Constructed Facilities 20.4 (2006):349-64.
- i. Pearson, Cynthia, and Norbert Delatte. "Ronan Point Apartment Tower Collapse and Its Effect on Building Codes." Journal of Performance of Constructed Facilities 19.2 (2005): 172-77.Print.
- j. Ruparelia, Ketul. " An Overview of Progressive Collapse." Structural Engineering Digest.2013.Web.
- k. Seffen. K. A. " Progressive Collapse of the World Trade Center: Simple Analysis. " Journal of Engineering Mechanics 134.2 (2008): 125. Print.
- l. Ellingwood, B. R., Smilowitz, R., Dusenberry, D. O., Duthinh, D., Lew, H. S.,

عوامل التضخيم الديناميكي المحددة من الانتقالات هي الحالة الحاكمة لهذه الإطارات. عوامل التضخيم الديناميكي المحسوبة من الانتقالات أكبر بكثير من تلك المحسوبة من العزوم. قيمة DAF المحسوبة بالاعتماد على العزم أقل من 1.71 لجميع الإطارات التي تمت مناقشتها في هذه الأطروحة باستثناء الإطار 3x3 مع إزالة العمود الداخلي حيث يكون عامل التضخيم الديناميكي هو (1.98). من المرجح أن يكون عامل التضخيم الديناميكي لعزم الانحناء مناسباً لمنع الانهيار عندما تحكم المقاومة على القساوة. في الحالة التي تكون فيها المقاومة أكثر أهمية من الانحراف، فإن عامل التضخيم الديناميكي المساوي للقيمة 2 كبير جداً لتطبيقات التصميم.

التوصيات:

نقترح التوصيات التالية لأبحاث مستقبلية:

سيكون من الضروري النظر في كيفية اختلاف عامل التضخيم الديناميكي بين الإطارات العزمية والإطارات المربطة.

سيكون من الضروري حساب عوامل التضخيم للمباني ذات الارتفاعات المختلفة، من شأن مقارنة عوامل التضخيم للمباني المنخفضة إلى المتوسطة أن تساعد في تحسين تحفظ العامل.

سيكون من المفيد النظر في المباني ثلاثية الأبعاد لأنه في مثل هذه الحالة، إذا تمت إزالة أحد الأعمدة، فهناك عدد كبير من المسارات الأخرى التي يمكن نقل الحمولة من خلالها.

الأخذ بعين الاعتبار نوع الوصلات هل هي من النوع الصلبة كلياً (Fully Rigid) أم جزئياً (Partially Rigid).

الأخذ بعين الاعتبار قساوة Panel Zone.

محاولة دراسة الأبنية القائمة وتقويتها ضد الانهيار التدريجي.

تقييم عامل التضخيم الديناميكي للانهيار المتتالي بتغيير موقع العمود المزال ضمن الطوابق المختلفة.

- & Carino, N. J. (2007). Best practices for reducing the potential for progressive.
- m. World Trade Center. N.d. In Wikipedia. Retrieved February 3,2017, from [https://en.Wikipedia.or/wiki/Collapse of the World Trade Center](https://en.Wikipedia.or/wiki/Collapse_of_the_World_Trade_Center).
- n. Hamburger, Ronald, William Baker, Jonathan Barnett, Christopher Marrion, James Mike, and Harold Nelson. "World Trade Center Building Performance Study: Data Collection, Preliminary Observations, and Recommendations." Federal Emergency Management Agency FEMA.403 (2002): 72-73. Web.