

عامل التضخيم الديناميكي لإطارات معدنية

بإزالة عمود

طالب الماجستير: المهندس سامي العزو

قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

إشراف الدكتور: ربيع الصفدي

المخلص:

كان الانهيار التدريجي موضوع بحث سائد منذ انفجار غاز تسبب في انهيار مبنى رونان بوينت السكني في عام 1968. يحدث الانهيار التدريجي عندما يتسبب الفقد الفوري لعنصر داعم في فشل الأعضاء المجاورة مما يؤدي إلى انهيار واسع النطاق للمنشأ.

قدمت إدارة الخدمات العامة الأمريكية (GSA – General Services Administration) وقسم معايير المرافق الموحدة في وزارة الدفاع الأمريكية (UFC – Unified Facilities Criteria) إرشادات تصميم بشأن التخفيف التدريجي من الانهيار. توفر هذه الإرشادات متطلبات لتطبيق التحليل الستاتيكي والديناميكي الخطي واللاخطي على وجه الخصوص، إذ يوصى باستخدام عامل تضخيم ديناميكي DAF مساو لـ 2 لأخذ التأثيرات الديناميكية عند إجراء التحليل الستاتيكي، وقد حددت الدراسات الحديثة أن الإرشادات المذكورة توفر عامل تضخيم ديناميكي محافظ بشكل كبير.

في هذه الأطروحة، تم تحليل عدة إطارات باستخدام برنامج SAP2000V20.2.0 وفق أربعة طرق (ستاتيكي خطي، ستاتيكي لاخطي، ديناميكي خطي، ديناميكي لاخطي) واستخدمت النتائج لتقديم توصيات بشأن عامل تضخيم ديناميكي أكثر ملاءمة، كما تمت ملاحظة دور التأثيرات الديناميكية واللاخطية ومقارنتها لكل من طرق التحليل المذكورة.

عامل التضخيم الديناميكي لإطارات معدنية بإزالة عمود

بالنظر إلى عدة إطارات مختلفة، نجد أن عامل التضخيم الديناميكي يكون دائماً أقل من 2. وهذا صحيح بالنسبة لجميع الإطارات التي تم تحليلها باستثناء الإطار 2x2 مع إزالة عمود داخلي حيث يكون DAF بالضبط 2، ومن المعقول أن يكون التضخيم الديناميكي كبير للإطار ذو الفتحتين لأنه عند تضرر العمود وإزالته من هذا الإطار، لا يتبقى سوى عمودين لتحمل كل الحمل.

كذلك فإن عوامل التضخيم الديناميكي المحسوبة بناءً على انتقالات العقدة الحرة مكان العمود المزال كانت أكبر بكثير من تلك المحسوبة بناءً على عزم الانعطاف المتولد في الجائر فوق العمود المزال.

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

Dynamic Amplification Factor for Steel Frames for Column Removal

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 were 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

عامل التضخيم الديناميكي لإطارات معدنية بإزالة عمود

1-مقدمة البحث:

إدارة الخدمات العامة (GSA): عرفت الانهيار المتتالي على أنه الحالة التي تحدث عندما يؤدي الفشل المحلي لأحد العناصر الحاملة الرئيسية إلى انهيار العناصر المجاورة، مما يؤدي بالمقابل إلى انهيار إضافي وبالتالي فإن إجمالي الضرر الحاصل يكون غير متناسب مع المسبب الأصلي[7].

كود الأحمال الأمريكي (ASCE7): عرف الانهيار المتتالي على أنه انتشار الفشل المحلي الأولي من عنصر إلى عنصر مما يؤدي في النهاية إلى انهيار جزء كبير من المنشأ غير متناسب مع المسبب الأصلي [1].

كذلك تم تعريف عامل التضخيم الديناميكي DAF على أنه قيمة الانتقال الديناميكي أو قوة النابض أو الإجهاد في أي وقت من استجابة المنشأ، منسوبةً للانتقال أو قوة النابض أو الإجهاد الذي كان سيحصل نتيجة التطبيق الثابت للحمل [8].

1-1- أمثلة عن الانهيار المتتالي:

1-1-1. 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 مما تسبب بانهيار جزئي لـ 22 طابق في من المبنى، حيث أن انهيار الطوابق العلوية تسبب بصدمة على الطوابق السفلية مما تسبب بانهارها [9].



1-1-2. مبنى ألفريد مورا في أو كلاهوما:

في شهر نيسان عام 1995، في مدينة أو كلاهوما، 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 21.3م من عرض المبنى [10].

1-1-3. أبراج التجارة العالمية:

الشكل (1): انهيار جزئي لمبنى شقق رونان بوينت [9].

التواء. في سبب من انهيار الجدران الخارجية، مما أدى إلى انهيار الجدران الخارجية. صدمت، وأدى 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].

2- مشكلة البحث:

إن كل من الإرشادات التوجيهية (GSA-General Services Administration) و (UFC- the Department of Defense Unified Facilities Criteria) توصي بتطبيق عامل تضخيم ديناميكي مساو 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].

3-الغاية:

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

4-الهدف الرئيسي للبحث:

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

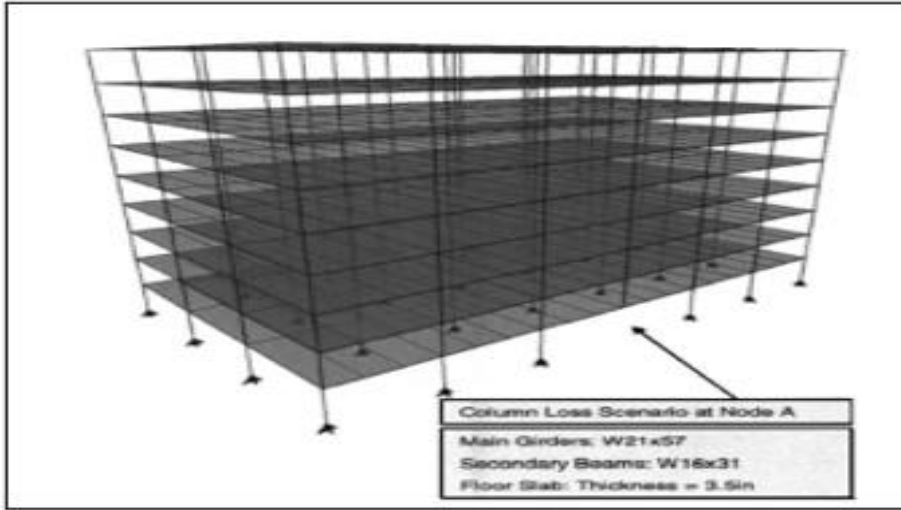
5-الدراسات السابقة:

لقد قام كل من الباحثان (Marjanishvili and Agnew) وآخرون عام 2006 بدراسة تحليليه على مبنى إطاري 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.

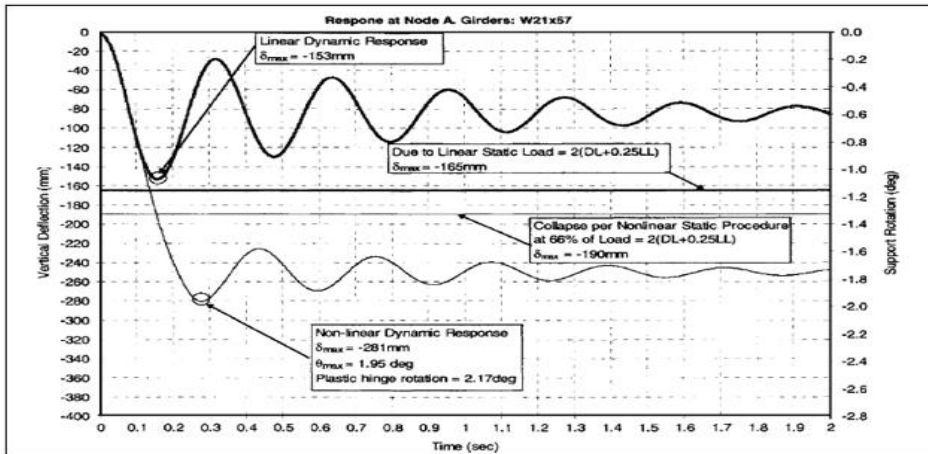
وكانت أهم النتائج:

إن الانتقالات الأعظمية المحسوبة من طريقة التحليل الستاتيكي الخطية والديناميكية الخطية هي 165 مم و153 مم على الترتيب وهي نتائج متقاربة وهذا يقود إلى أن

استخدام عامل تضخيم ديناميكي بقيمة 2 من أجل التحليل الستاتيكي الخطي هو تقدير جيد.

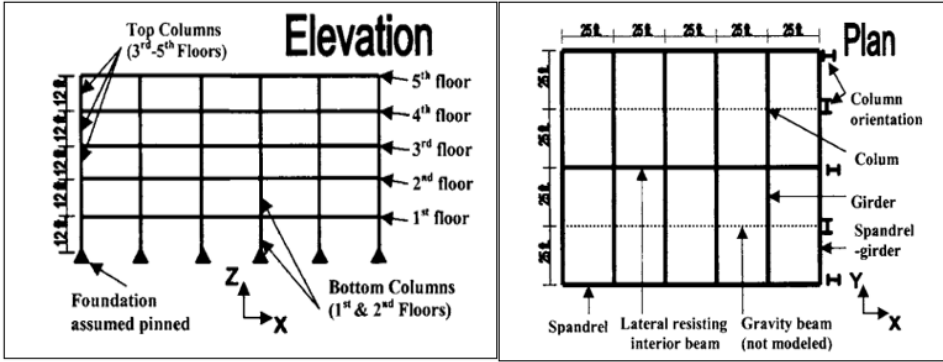


الشكل (2): النموذج التحليلي المستخدم [5].



الشكل (3): السجل الزمني للانتقالات الشاقولية لعقدة العمود المزال الحرة [5].

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 [8].



الشكل (4): النموذج التحليلي ثلاثي الأبعاد [8].

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.

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 دعمها هذا 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 المرن اللدن تمامًا، 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.

6- الدراسة التحليلية:

6-1- خصائص النماذج المدروسة:

تم استخدام الإطارات الموضحة في الشكل (5) بالأبعاد المبينة أدناه، وتم عمل العديد من الافتراضات من أجل الحصول على نماذج متسقة ومن أجل تبسيط التحليل، إذ 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 $\gamma = 0.5$ و $\beta = 0.25$ ، وبشكل عام فإن طريقة تكامل نيو مارك تعطي نتائج وزمن تطابق جيدة [4].

وكان للفولاذ الإنشائي المستخدم معامل مرونة طولاني $E_s = 200000 \text{ Mpa}$

وإجهاد خضوع أصغري $f_y = 345 \text{ Mpa}$

6-2- حالات التحميل من أجل التحليل:

تم إجراء التحليل باستخدام تراكيب الأحمال المذكورة في المعادلتين 1,2 أدناه، وتم توليد الوزن الذاتي للجوائز والأعمدة تلقائيًا بناءً على حجم العنصر وكثافة المواد بواسطة .SAP2000

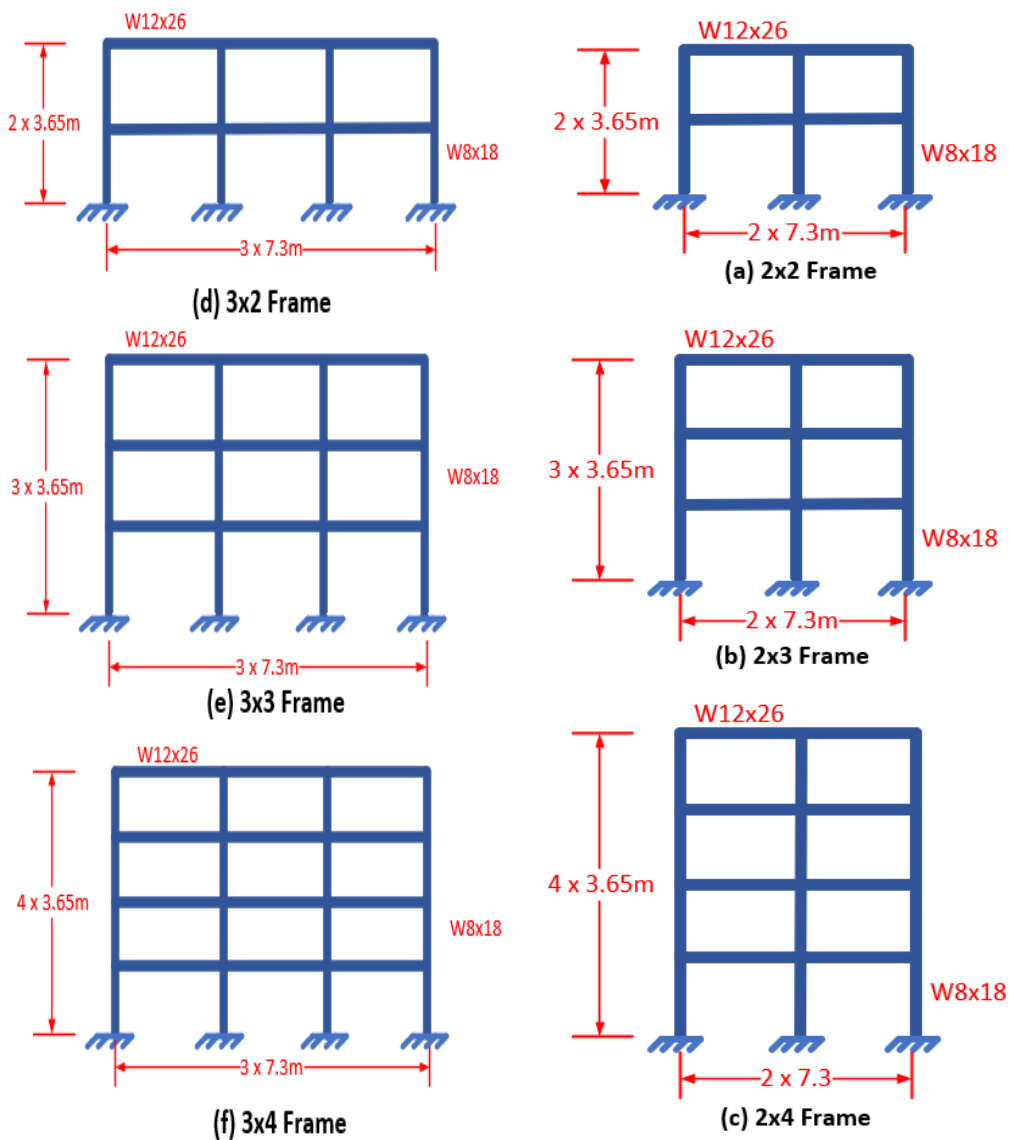
○ حمولة ميتة $DL=7.3 \text{ KN/m}$

○ حمولة حية $LL=14.6 \text{ KN/m}$

○ $g=9806.65 \text{ mm/sec}^2$

Static Analysis: $P_u = 2 * (DL + 0.25LL) \dots(1)$

Dynamic Analysis: $P_u = DL + 0.25LL \dots(2)$



الشكل (5): نماذج الإطارات المعدنية المدروسة.

6-3-نتائج التحليل:

تم رسم منحنيات استجابة الانتقال وإيجاد عوامل التضخيم الديناميكي، وتمت مقارنة الانتقال والعزوم للتحليل الستاتيكي الخطي المضخم وغير المضخم والتحليل الديناميكي الخطي بالتحليل الديناميكي غير الخطي لتحديد DAF.

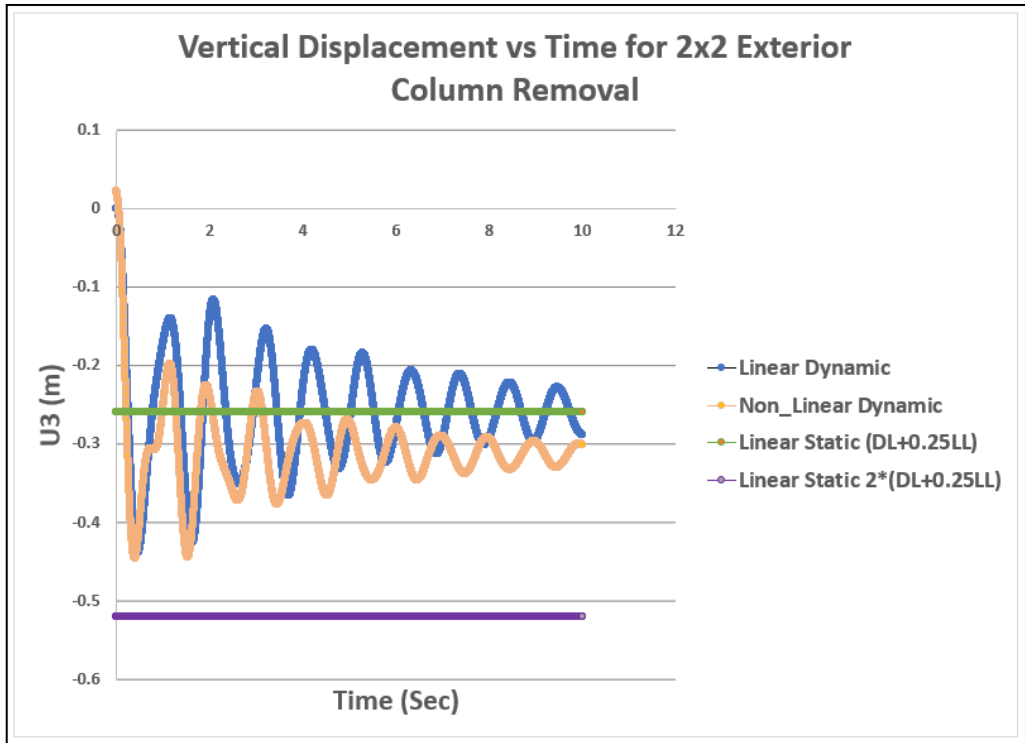
6-3-1- الإطار ذو الفتحتين وطابقين (Frame 2x2):

□ إزالة العمود الطرفي (Exterior Column Removed):

يوضح الشكل (6) الانحراف الرأسي في العقدة حيث تمت إزالة العمود. كما ذكرنا سابقاً، تم إجراء التحليل الستاتيكي الخطي بدون عامل التضخيم الديناميكي. تم رسم نتائج التحليل الستاتيكي الخطي المضخم على الرسم البياني أيضاً. الانتقال الستاتيكي الخطي للعقدة الحرة بلغ (-236mm) والانتقال الستاتيكي الخطي المضخم بلغ (-520mm).

يُظهر التحليل الديناميكي الخطي أن الإزالة الأولية للعمود تتسبب في التضخيم ولكنها تستقر في النهاية عند الانتقال الستاتيكي 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 الستاتيكي 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 بفتحيتين وطابقين.

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

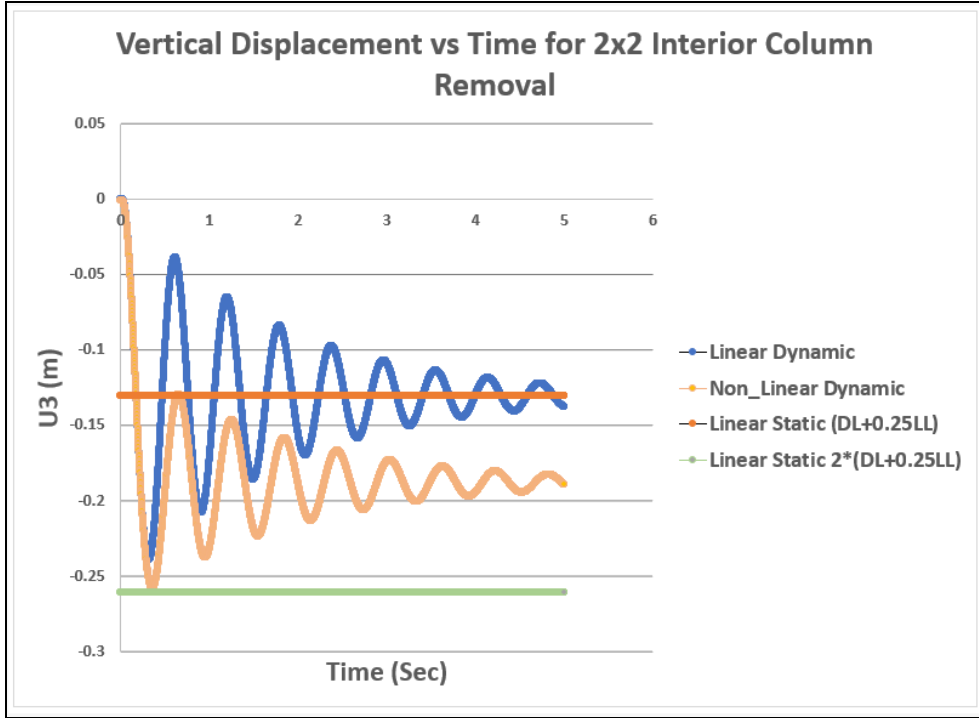
عامل التضخيم الديناميكي لإطارات معدنية بإزالة عمود

DAF-LD/LS	1.69	1.28
DAF-NLD/NLS	1.89	1.56

الجدول (1): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بفتحتين وطابقين.

□ إزالة العمود الداخلي (Interior Column Removed):

يوضح الشكل (7) الانحراف في مكان العمود الداخلي الذي تمت إزالته، كان الانحراف الستاتيكي الخطي الغير مضخم (-130mm) والانحراف الستاتيكي المضخم (-261mm)، والانتقال الديناميكي الخطي الأعظمي في منتصف المجاز كان (-231mm) واستقر على الانحراف الستاتيكي الخطي غير المضخم. وكان الانحراف الديناميكي اللاخطي الأعظمي (-258mm) . وهذا مطابق للانحراف الناتج من التحليل الستاتيكي الخطي باستخدام عامل تضخيم ديناميكي مساو إلى القيمة (2). تظهر حالة التحليل الديناميكي اللاخطي تشوه دائم مقداره (-188mm) والذي هو أكبر من التشوه الناتج من حالة التحليل الديناميكي الخطي. ويرجع ذلك إلى تشكل مفاصل لدنة في التحليل اللاخطي.



الشكل (7): الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بفتحتين وطابقين.

يوضح الجدول (4) الانحرافات والعزوم العظمى للمنطقة المرصودة. كما يظهر أيضاً عامل التضخيم الديناميكي لحالات التحليل المختلفة.

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

عامل التضخيم الديناميكي لإطارات معدنية بإزالة عمود

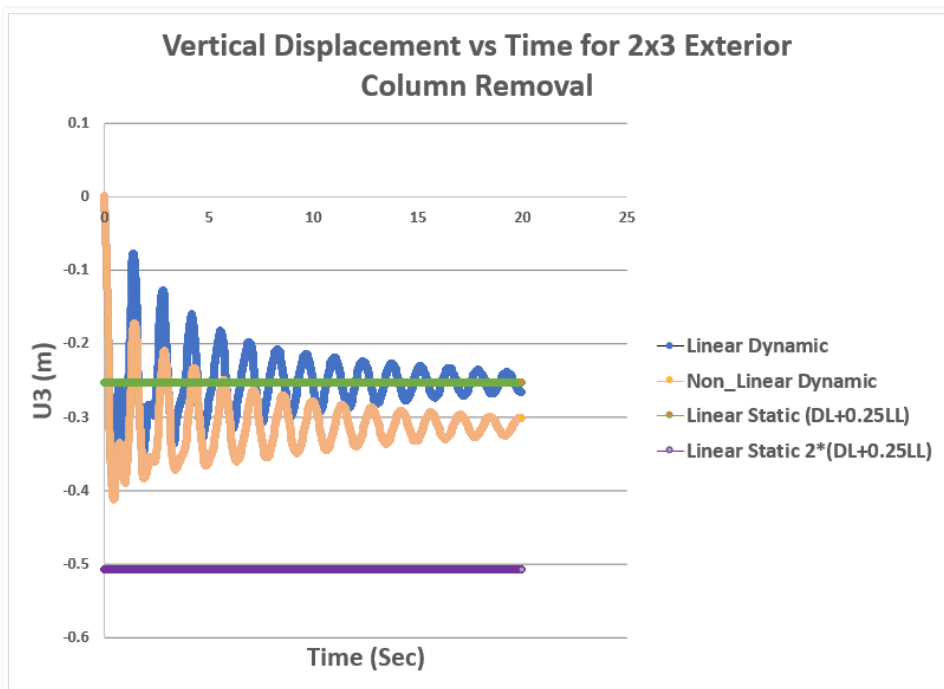
DAF-NLD/LS	1.97	1.61
DAF-LD/LS	1.77	2.00
DAF-NLD/NLS	1.97	1.61

الجدول (2): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بفتحتين وطابقين.

6-3-2- الإطار ذو الفتحتين وثلاثة طوابق (Frame 2x3):

□ إزالة العمود الطرفي (Exterior Column Removed):

من خلال النظر إلى منحنيات استجابة الإزاحة لحالات التحليل، من الواضح أن التحليل الستاتيكي الخطي مع عامل التضخيم الديناميكي يبالغ في تقدير الانحراف وأن التحليل الديناميكي الخطي يقلل من قيمة الانحراف. الحد الأقصى للإزاحة الديناميكية الخطية هو (-385mm) وانحرافها الدائم المستقر هو (-267mm). إن أقصى إزاحة ديناميكية لا خطية هي (-413mm) وإن انحرافها الدائم هو (-303mm). يمكن رؤية أقصى انحرافات لحالات التحليل المختلفة في الجدول (3).



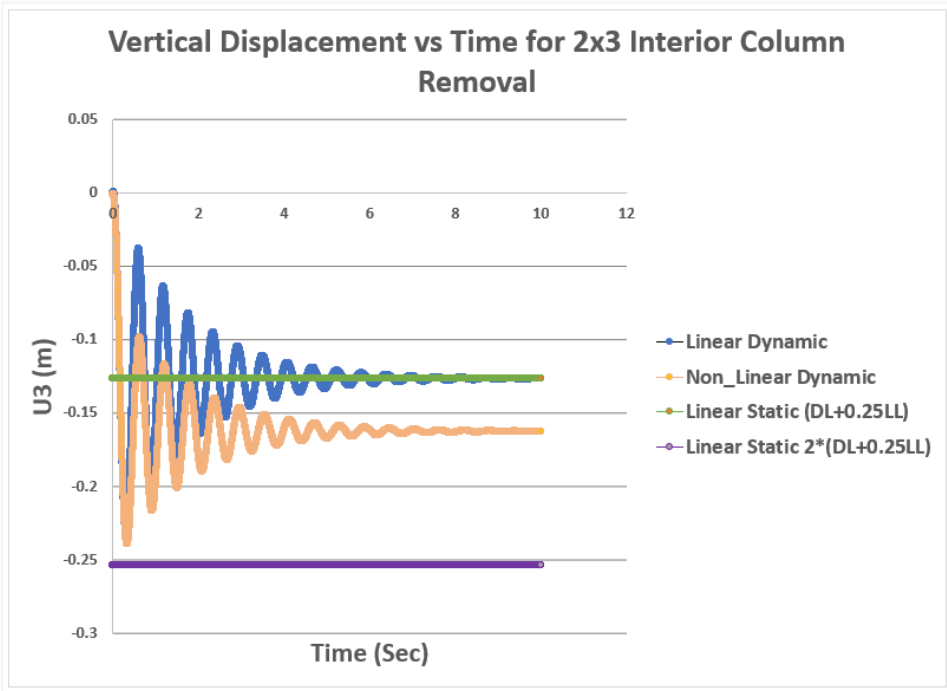
الشكل (8): الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بفتحتين وثلاثة طوابق.

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

الجدول (3): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بفتحيتين وثلاثة طوابق.

□ إزالة العمود الداخلي (Interior Column Removed):

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.



الشكل (9): الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بفتحيتين وثلاثة 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

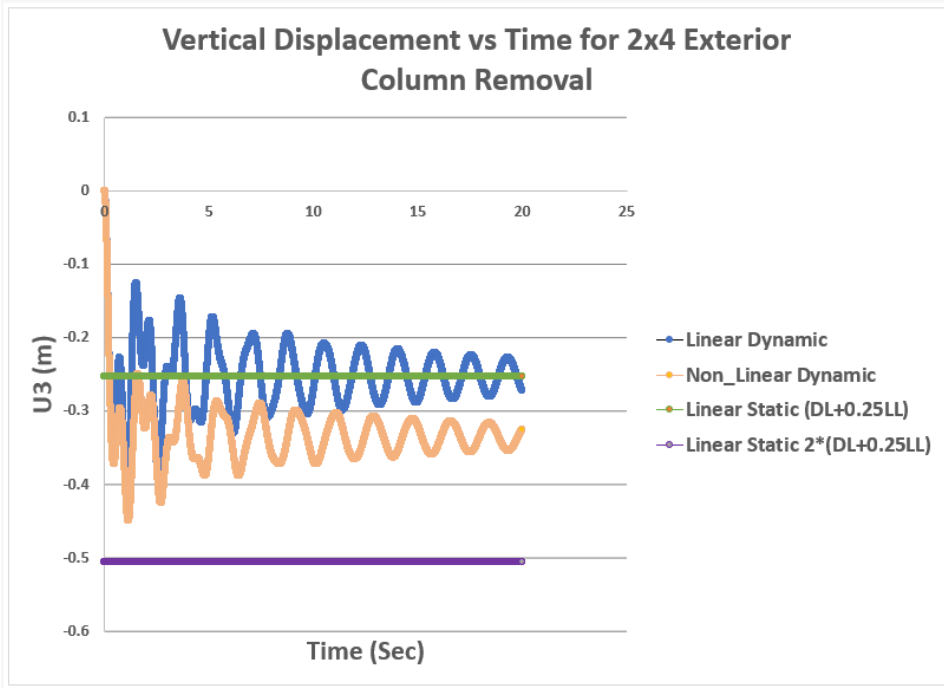
الجدول (4): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بفتحتين وثلاثة طوابق.

6-3-3- الإطار ذو الفتحتين وأربعة طوابق (Frame 2x4):

□ إزالة العمود الطرفي (Exterior Column Removed):

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.



الشكل (10): الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بفتحتين وأربعة طوابق.

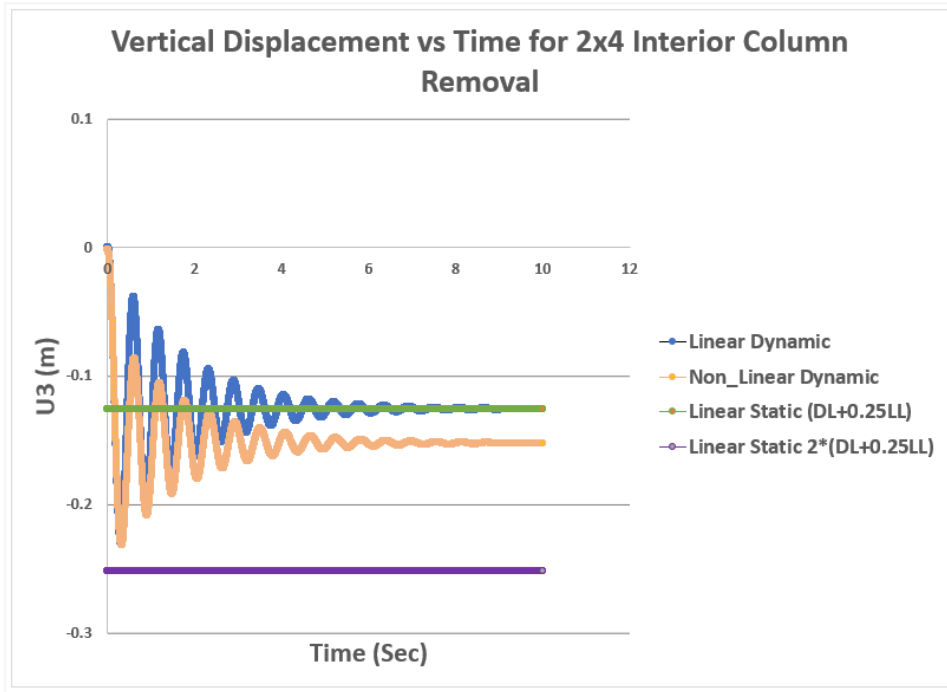
DAF for 2x4 Frame with Exterior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.253	-660.992
Linear Dynamic	-0.420	-1071.354
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.253	-660.992
Non-Linear Dynamic	-0.450	-935.288
DAF-NLD/LS	1.77	1.41

DAF-LD/LS	1.66	1.62
DAF-NLD/NLS	1.77	1.41

الجدول (5): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بفتحتين وأربعة طوابق.

□ إزالة العمود الداخلي (Interior Column Removed):

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



عامل التضخيم الديناميكي لإطارات معدنية بإزالة عمود

الشكل (11): الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة 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

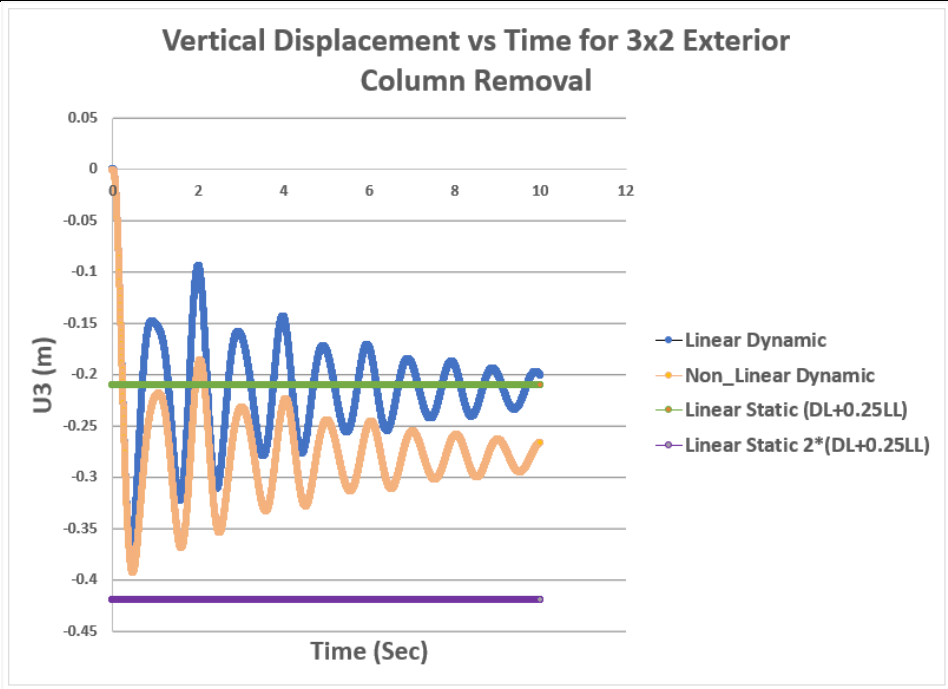
الجدول (6): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بفتحتين وأربعة طوابق.

6-3-4- الإطار ذو الثلاث فتحات وطابقين (Frame 3x2):

□ إزالة العمود الطرفي (Exterior Column Removed):

يوضح الشكل (28) الإزاحة الرأسية عند الطرف الحر للإطار. الحد الأقصى للإزاحة الديناميكية الخطية لهذا الإطار هو (-371mm) وهو قريب جدًا 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 الديناميكي الخطي الدائم حالة التحليل الستاتيكي الخطي.

عامل التضخيم الديناميكي لإطارات معدنية بإزالة عمود



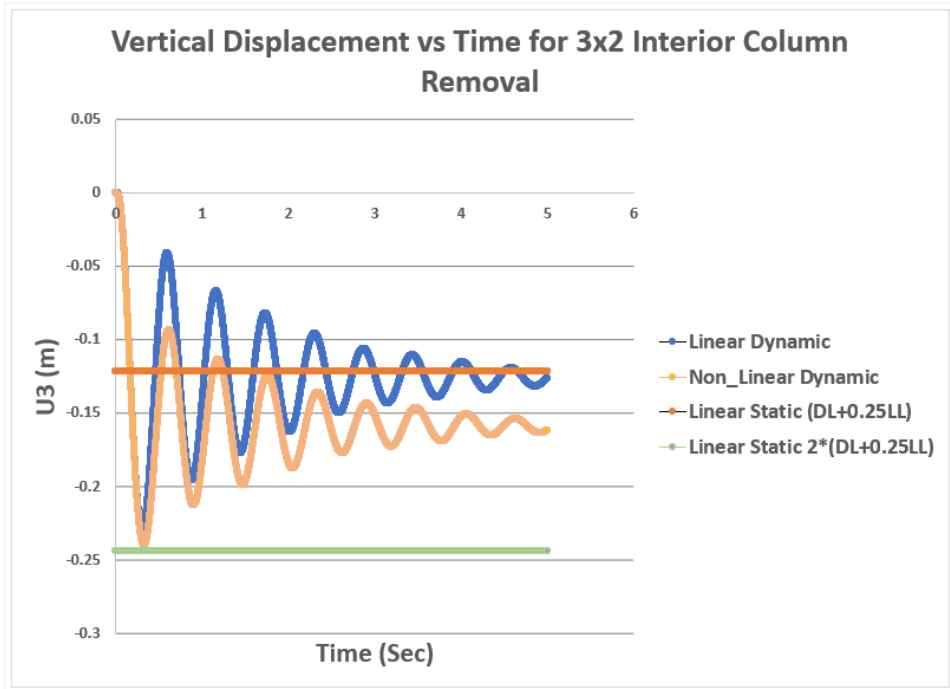
الشكل (12): الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بثلاثة فتحات وطابقين.

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

الجدول (7): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بثلاثة فتحات وطابقين.

□ إزالة العمود الداخلي (Interior Column Removed):

يظهر الشكل (13) 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 (-122mm) والذي يتطابق مع الانتقال الستاتيكي الخطي. بلغ أقصى انحراف ديناميكي لاخطي القيمة (-240mm) ، وكان الانتقال الديناميكي اللاخطي المستقر (-158mm) .



الشكل (13): الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بثلاثة فتحات وطابقين.

يظهر الجدول (8) لانتقالات العظمى والعزوم العظمى لهذا الإطار. تتشابه الإزاحة الناتجة من التحليل الديناميكي الخطي وغير الخطي، وبالتالي يمكن استخدام أي من هاتين الحالتين للتنبؤ بدقة بانحراف الإطار. عامل التضخيم الديناميكي اللازم لاستخدامه في التحليل الستاتيكي الخطي لإعطاء نتائج قريبة من التحليل الديناميكي غير الخطي تقريباً مساو للقيمة (2) .

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

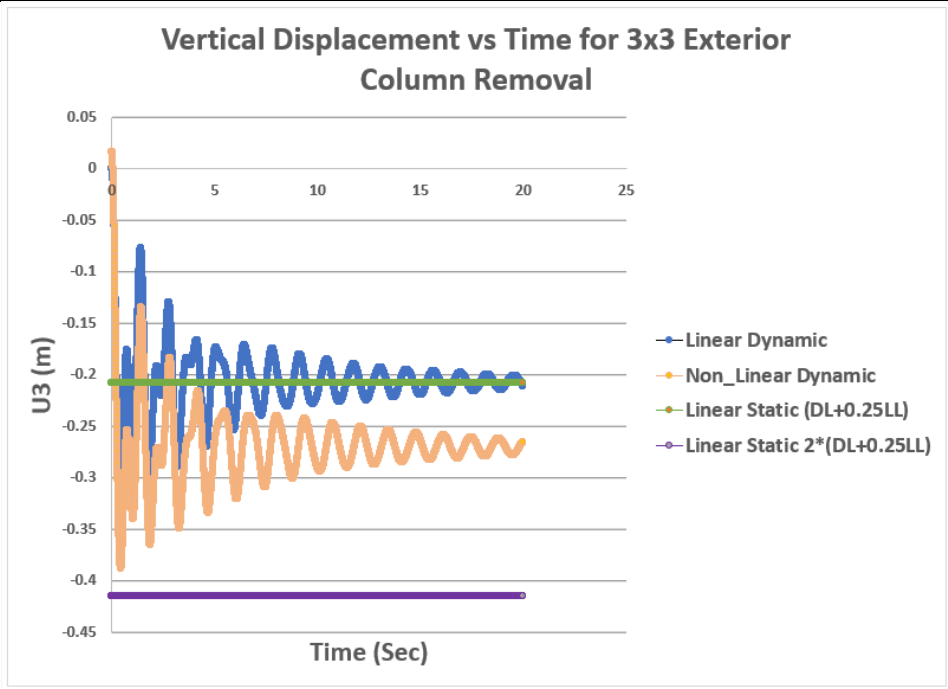
الجدول (8): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بثلاثة فتحات وطابقين.

6-3-5- الإطار ذو الثلاث فتحات وثلاثة طوابق (Frame 3x3):

□ إزالة العمود الطرفي (Exterior Column Removed):

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).

عامل التضخيم الديناميكي لإطارات معدنية بإزالة عمود



الشكل (14): الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بثلاثة فتحات وثلاثة طوابق.

يوضح الجدول (9) قيم الانتقالات العظمى والعزوم العظمى للإطار. يتم عرض قيم عوامل التضخيم الديناميكي في الجدول (9). نلاحظ أن عامل التضخيم الديناميكي 2 يعطي استجابة متحفظة لهذه المنشأة.

DAF for 3x3 Frame with Exterior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)

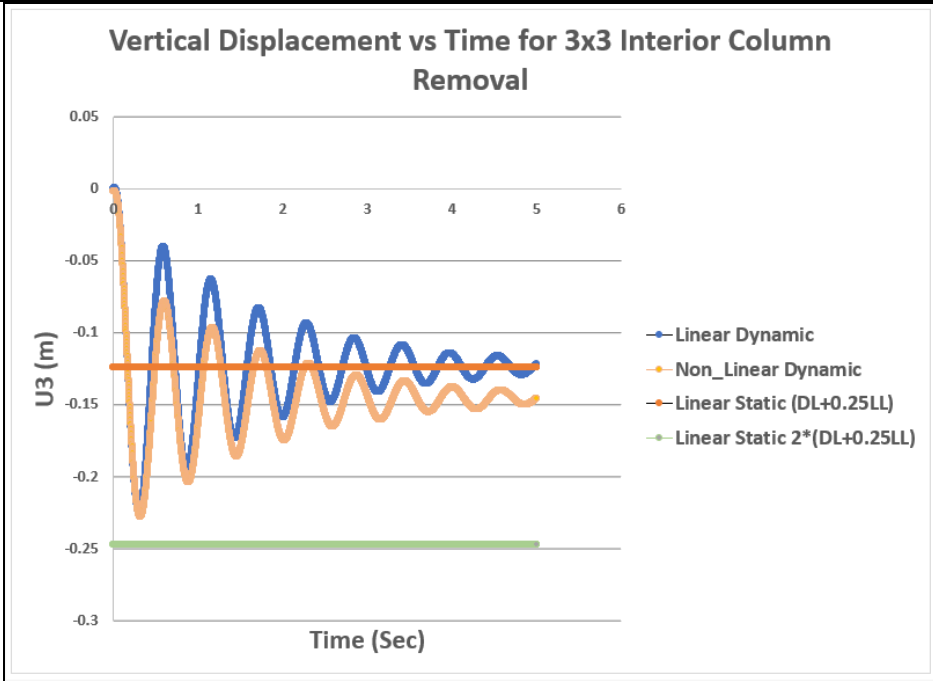
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.208	-556.473
Linear Dynamic	-0.331	-919.447
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.208	-553.804
Non-Linear Dynamic	-0.388	-775.325
DAF-NLD/LS	1.87	1.39
DAF-LD/LS	1.59	1.65
DAF-NLD/NLS	1.87	1.40

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

□ إزالة العمود الداخلي (Interior Column Removed):

يوضح الجدول (10) القيم العظمى للانتقالات والعزوم في إطار 3x3 مع إزالة عمود داخلي. الانتقال الأعظمي لحالة التحليل الديناميكي غير الخطي هو (-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 (15) يوضح السجل الزمني لجميع حالات التحليل المختلفة.

عامل التضخيم الديناميكي لإطارات معدنية بإزالة عمود



الشكل (15): الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بثلاثة فتحات وثلاثة طوابق.

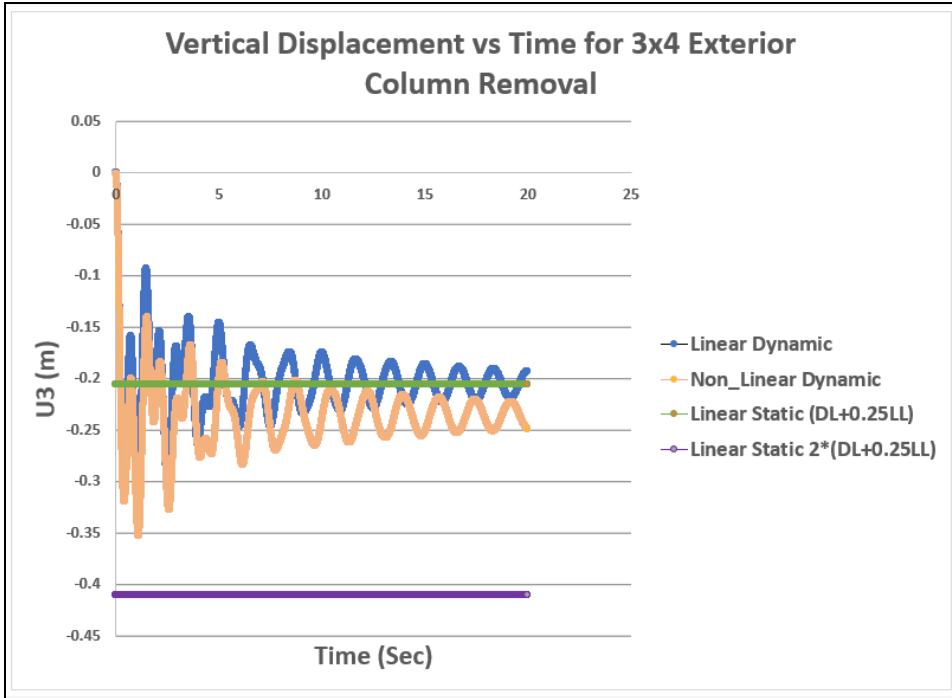
DAF for 3x3 Frame with Interior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.124	404.788
Linear Dynamic	-0.225	717.943
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.124	401.230
Non-Linear Dynamic	-0.228	800.235
DAF-NLD/LS	1.84	1.98
DAF-LD/LS	1.82	1.77
DAF-NLD/NLS	1.84	1.99

الجدول (10): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بثلاثة فتحات وثلاثة طوابق.

6-3-6- الإطار ذو الثلاث فتحات وأربعة طوابق (Frame 3x4):

□ إزالة العمود الطرفي (Exterior Column Removed):

يوضح الجدول (11) الانتقالات العظمى والعزوم العظمى لحالات التحليل المختلفة لإطار 3x4 عند إزالة العمود الخارجي. الحد الأقصى للإزاحة الديناميكية غير الخطية هو (-352mm) وهو ما يتوافق مع أقصى إزاحة ديناميكية خطية تبلغ (-331mm). يستقر التحليل الديناميكي اللاخطي عند انحراف دائم قدره (-250mm). يستقر التحليل الديناميكي الخطي عند انحراف (-198mm) والذي يتوافق مع انحراف التحليل الستاتيكي الخطي (-205mm).



الشكل (16): الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بثلاثة فتحات وأربعة طوابق.

نلاحظ أن قيم عامل التضخيم الديناميكي في الجدول (11) جميعها أقل من القيمة (2) المقترحة من قبل إدارة الخدمات العامة (GSA).

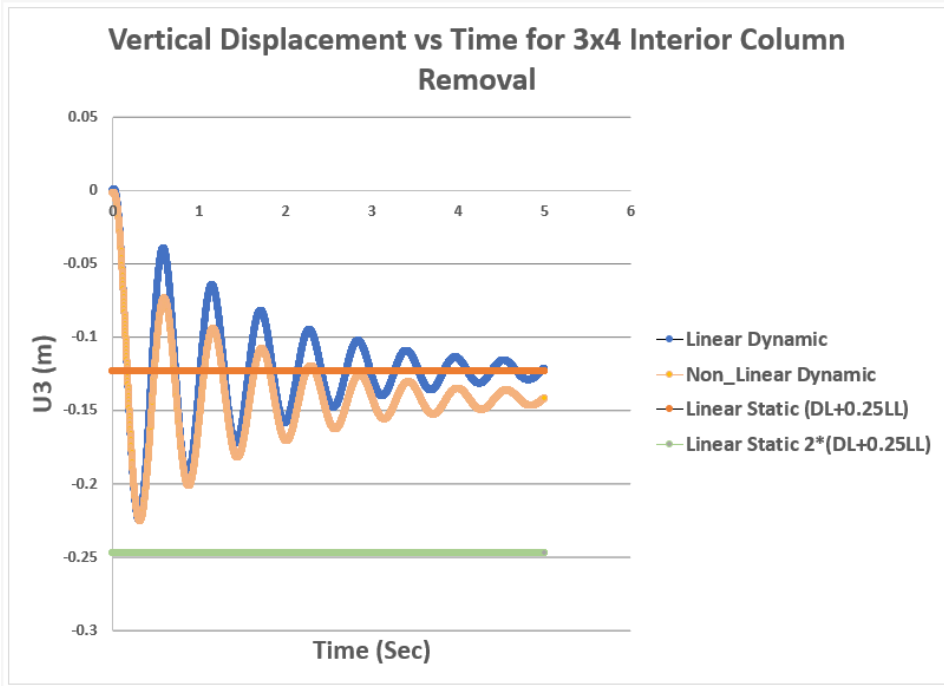
DAF for 3x4 Frame with Exterior Column Removal		
	U3 (m)	M3 (KN-m)
Linear Static (DL+0.25LL)	-0.205	-516.439
Linear Dynamic	-0.331	-874.076
Non-Linear Static (DL+0.25LL)	-0.205	-513.325
Non-Linear Dynamic	-0.352	-770.877
DAF-NLD/LS	1.72	1.49
DAF-LD/LS	1.61	1.69
DAF-NLD/NLS	1.72	1.50

الجدول (11): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الخارجي للإطار بثلاثة فتحات وأربعة طوابق.

□ إزالة العمود الداخلي (Interior Column Removed):

لوحظ الحد الأقصى للانحرافات والعزوم في الإطار لحالات التحليل المختلفة. أظهر الإطار بتحليله باستخدام التحليل الديناميكي غير الخطي أقصى انحراف (-225mm) وانحرافاً دائماً بمقدار (-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.



الشكل (17): الانحراف الشاقولي للعقدة الحرة 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

عامل التضخيم الديناميكي لإطارات معدنية بآزالة عمود

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

الجدول (12): عامل التضخيم الديناميكي نتيجة إزالة العمود الداخلي للإطار بثلاثة فتحات وأربعة طوابق.

7- 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 لتنفيذها لتقييم الانهيار التدريجي للمنشآت. يأخذ التحليل الديناميكي اللاخطي في الاعتبار السلوك الديناميكي وكذلك لإخطية 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 للإرشادات المذكورة سابقاً، فإن حالة التحليل الستاتيكي الخطي وحالة التحليل الستاتيكي اللاخطي تنفذ حالياً مع نفس عامل التضخيم الديناميكي، ولكن هذا الإجراء قد يكون غير دقيق، لأن عامل التضخيم الديناميكي مدرج في التحليل الستاتيكي الخطي بغرض التعويض عن عدم قدرته على التنبؤ بالتأثيرات الديناميكية إضافة إلى التأثيرات اللاخطية على المنشأ، بينما يتم تضمين عامل التضخيم الديناميكي في الحالة الستاتيكية اللاخطية بغرض التعويض عن عدم قدرتها على التنبؤ بالتأثيرات الديناميكية فقط، لذلك فإنه من المبالغة استخدام نفس قيمة عامل التضخيم الديناميكي لكلتا حالتا التحليل. ومما يستحق الملاحظة هو أنّ حالة التحليل الديناميكي الخطي لا تتطلب أي عامل تضخيم على الرغم من أن هذا التحليل لا يأخذ بعين الاعتبار أيًا من التأثيرات اللاخطية للانهياب 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 لإنتاج عزوم كبيرة بما يكفي لتشكيل مفاصل لدنة في الإطار. بالنسبة لمعظم الحالات التي تمت ملاحظتها، أظهرت الحالة الستاتيكية غير الخطية ذات عامل التضخيم الديناميكي 2 انحرافات وعزوم أعلى من الحالة الديناميكية غير الخطية. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت الحالة الستاتيكية 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

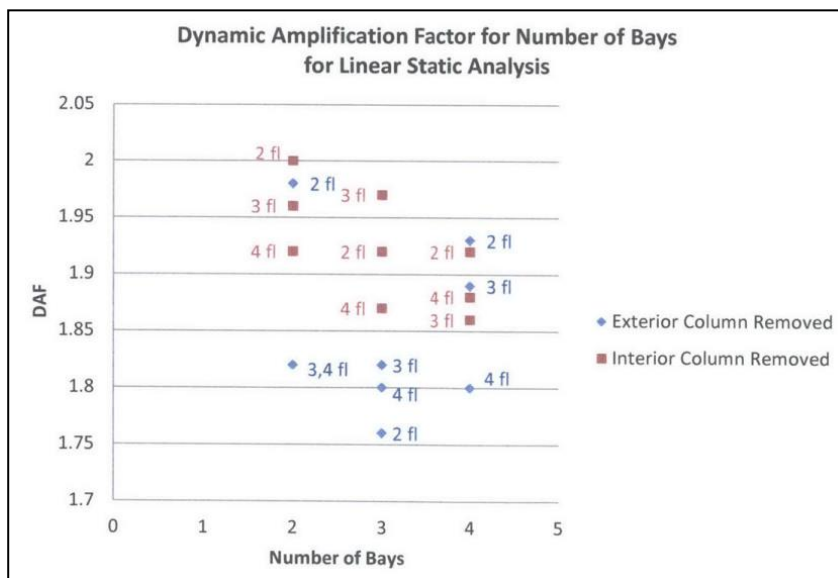
الديناميكي الأقل تحفظاً إلى تصميمات أكثر دقة تمنع الانهيار التدريجي مع الحفاظ على وقت التحليل عند الحد الأدنى. لم يتم تحديد عامل تضخيم ديناميكي ثابت من نطاق هذا التحليل. يجب إجراء مزيد من البحث لتحديد القيمة الفعلية لعامل تضخيم ديناميكي أقل تحفظاً.

8-الاستنتاجات:

عامل التضخيم الديناميكي (Dynamic Amplification Factor):

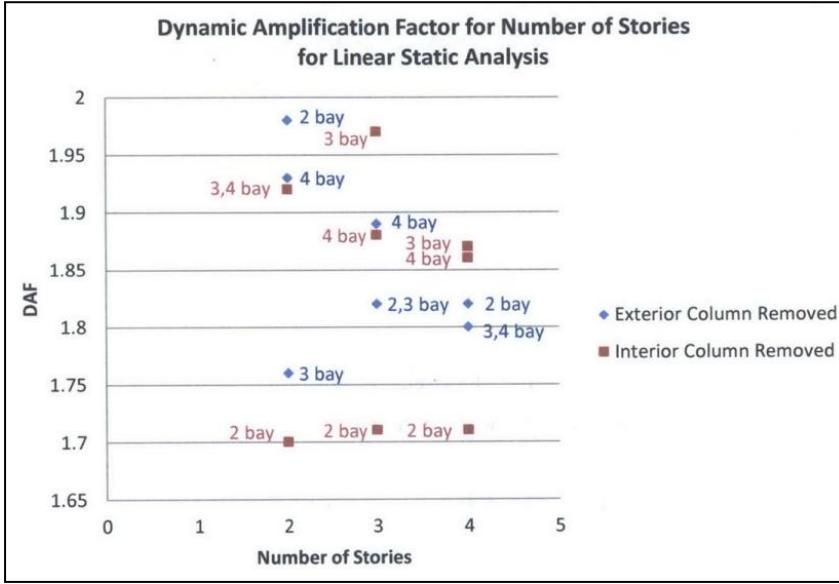
الإجراء الستاتيكي الخطي هو حالة التحليل الأكثر استخداماً في الواقع العملي لتحليل الانهيار التدريجي. حالياً، يستخدم الإجراء الستاتيكي الخطي تضخيماً ديناميكياً بمقدار 2 وهو تضخيم متحفظ. إذا أمكن تحديد عامل تضخيم ديناميكي أكثر دقة، فقد يؤدي ذلك إلى عدد أقل من المنشآت المبالغ في تصميمها لمنع الانهيار التدريجي.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

يوضح الشكل (18) عامل التضخيم الديناميكي المحدد للحالة الستاتيكية الخطية لعدد مختلف من المجازات. يقل عامل التضخيم الديناميكي مع زيادة عدد المجازات عند إزالة عمود داخلي. 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.



الشكل (18): عامل التضخيم الديناميكي مع تغير عدد المجازات.

يوضح الشكل (19) تغير عامل التضخيم الديناميكي مع عدد الطوابق للإطار. ومع ذلك، لا يوجد ارتباط واضح بين عدد الطوابق وقيمة عامل التضخيم الديناميكي اللازمة لجعل التحليل الستاتيكي الخطي دقيقاً مثل حالة التحليل الديناميكي اللاخطي.



الشكل (19): 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.

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 التساوية. في الحالة التي تكون فيها المقاومة أكثر أهمية من الانحراف، فإن عامل التضخيم الديناميكي المساوي للقيمة 2 كبير جداً لتطبيقات التصميم.

9-التوصيات:

نقترح التوصيات التالية لأبحاث مستقبلية:

- 1- النظر في كيفية اختلاف عامل التضخيم الديناميكي بين الإطارات العزمية والإطارات المربطة.
- 2- حساب عوامل التضخيم للمباني ذات الارتفاعات المختلفة، إذ أنه من شأن مقارنة عوامل التضخيم للمباني المنخفضة إلى المتوسطة أن تساعد في تحسين تحفظ العامل.
- 3- 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.
- 4- أخذ نوع الوصلات بعين الاعتبار أهي من النوع الصلب كلياً (Fully Rigid) أم جزئياً (Partially Rigid).
- 5- أخذ قساوة العقدة Panel Zone بعين الاعتبار.
- 6- محاولة دراسة الأبنية القائمة وتقويتها ضد الانهيار التدريجي.
- 7- تقييم عامل التضخيم الديناميكي للانهيار المتتالي بتغيير موقع العمود المزال ضمن الطوابق المختلفة.

- 1– ASCE (2006). Minimum design loads for buildings and other structures (ASCE7–05) including Supplement No.2, American Society of Civil Engineers, Reston, VA
- 2–International Code Council (IBC). (2003). International Building Code, Falls Church, VA.
- 3– Lew, H.S. “Analysis Procedures for Progressive Collapse of Buildings.” 2003.
- 4– Marjanishvili, S. M. “Progressive Analysis Procedure for Progressive Collapse.” Journal of Performance of Constructed Facilities 18.2 (2004):79–85.
- 5– 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.
- 6– 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.
- 7– GSA. (2003). Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects. US General Service Administration Washington, DC.
- 8– 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.

9– 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.

10– Ruparelia, Ketul. “ An Overview of Progressive Collapse.” Structural Engineering Digest.2013.Web.

11– Seffen. K. A. “ Progressive Collapse of the World Trade Center: Simple Analysis. “ Journal of Engineering Mechanics 134.2 (2008): 125. Print.

12– Ellingwood, B. R., Smilowitz, R., Dusenberry, D. O., Duthinh, D., Lew, H. S., & Carino, N. J. (2007). Best practices for reducing the potential for progressive.

13– World Trade Center. N.d. In Wikipedia. Retrieved February 3,2017, from <https://en.Wikipedia.or/wiki/Collapse> of the World Trade Center.

14– 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.

