Contribution to the Study and Evaluation of Progressive Collapse for an Earthquake-resistant RC Frame Building According to Specific Vertical Load-bearing Elements Removal

Dr. Bassam HWAIJA[*]
Dr. Nazih MANSOUR[**]
Hasan Abdulhadi[***]

(Received 6 / 4 / 2022. Accepted 5 / 1 / 2023)

□ ABSTRACT □

Extreme events (terrorist attacks, earthquakes, fires, explosions, ...) pose a serious threat to the various types of important and private buildings that may be subject to such events ,, each of them may cause local failure, which in turn causes a chain of failure and thus collapse The entire structure or a large part of it and it is associated with great human and material losses, and this is called the progressive collapse.

It is difficult to predict the amount or probability of such events, and therefore it is not practical and available to design facilities against such events by traditional methods as well as with conventional loads, as design standards at the present time seek to reduce risks and provide a minimum level of control to progressive collapse by incorporating the concept of insensitivity Establishments for localized damage with design concepts in codes, so the goal is to control consequences and not take action against the extreme event itself.

The main objective of the research is to test the resistance of the special frames designed according to the Syrian Arab Code on the progressive collapse according to the standards set by DOD by removing columns in specific locations according to the recommendations and evaluating the results.

Keywords: Progressive collapse ; Local failure ; Alternative load path .

[*] **Professor, Department Of Structural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. e:bassamhasanhwaiji@tishreen.edu.sy**

**** Assistant Professor, Department Of Structural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. e: n-mansour@tishreen.edu.sy**

***** Master student , Department Of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. e:hasan.abdulhadi@tishreen.edu.sy**

مساهمة في دراسة و تقييم الانهيار المتتابع لمبنى إطاري من البيتون المسلح مقاوم للزلازل وفق مواقع إزالة محددة للعناصر الشاقولية الحاملة

د. بسام حويجة*

د. نزيه منصور**

حسن عبد الهادي***

(تاريخ الإيداع 6 / 4 / 2022. قُبِل للنشر في 5/ 1 / 2023)

□ ملخّص □

إن الأحداث القصوى (هجمات إرهابية ، زلازل ، حرائق ، انفجارات ،..) تشكل تهديداً خطيراً على مختلف أنواع المباني المهمة والخاصة والتي من الممكن أن تخضع لمثل هذه الأحداث حيث أن كل حدث منها قد يسبب فشل موضعي والذي يسبب بدوره سلسلة من الفشل وبالتالي انهيار كامل المنشأ أو جزء كبير منه مترافق مع خسائر بشرية ومادية كبيرة وهذا ما يسمى بالانهيار المتتابع .

من الصعب التنبؤ بمقدار او احتمالية مثل هذه الاحداث وبالتالي ليس من العملي والمتاح تصميم المنشآت ضد مثل هذه الاحداث بالطرق التقليدية وكذلك بالأحمال التقليدية ،حيث ان معايير التصميم في الوقت الحاضر تسعى لتخفيض المخاطر وتوفير مستوى من التحكم بالحد الادنى بالانهيار المتتابع من خلال دمج مفهوم عدم حساسية المنشآت للضرر الموضعي مع مفاهيم التصميم في الكودات وبالتالي الهدف يكمن في السيطرة على العواقب وليس اتخاذ اجراءات ضد الحدث المتطرف نفسه.

الهدف الرئيس للبحث هو اختبار مقاومة الإطارات العزمية المقاومة للزلازل المصممة وفق الكود العربي السوري على الانهيار المتتابع وفق المعايير الموضوعة من قبل DOD عن طريق ازالة أعمدة حسب التوصيات وتقييم النتائج .

الكلمات المفتاحية: الانهيار المتتابع – الفشل الموضعي– المسار البديل.

* **أستاذ – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**
e:bassamhasanhwaiji@tishreen.edu.sy

** **مدرس – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**
e:n-mansour@tishreen.edu.sy

*** **طالب دراسات عليا (ماجستير)– قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.**
e:hasan.abdulhadi@tishreen.edu.sy

مقدمة:

يزداد الاهتمام بالانهيار المتتابع بعد الخسائر البشرية والمادية الكبيرة التي تعرضت لها العديد من المباني ،حيث كانت البداية من مبنى Alfred Murrah Federal Building في مدينة Oklahoma عام 1995 الذي كان هدفاً لهجوم عندما تم تفجير شاحنة مفخخة أمام الجانب الشمالي للمبنى.

المبنى مؤلف من تسع طوابق من الإطارات البيتونية المسلحة والمسافة بين أعمدة الطابق الأرضي تساوي ضعف المسافة بينها في الطوابق الأعلى ،بعد الهجوم تدمرت ثلاث أعمدة على الفور مما سبب انهيار جميع الطوابق التي تعلوها وذلك بسبب أن الإطارات لم تستطيع مقاومة العزوم المتزايدة وجهود القص بعد فشل الأعمدة الثلاث.

ومن الأمثلة أيضاً مبنى Ronan Point شيد في لندن 1966 مؤلف من 22 طابق نظامه الإنشائي مؤلف من جدران بيتونية مسلحة مسبقة الصنع و كذلك الأرضيات و الأدراج ، وفي مايو 1968 انفجرت جرة غاز في الطابق 18 مما تسبب في دفع الجدار الخارجي الحامل وجعل الطوابق العليا 19,20,21,22 تنهار وتتساقط مما تسبب بالانهيار تدريجياً حتى الطابق الأرضي تاركاً البناء مجرد من أحد أركانه.

يعزى الانهيار إلى عدم قدرة البلاطات على مقاومة الانعطاف بسبب استنادها المباشر على جدران الطابق الأسفل منها مما حرم المبنى من أي قدرة على مقاومة الفشل الموضعي وإعادة توزيع الإجهادات أو بمعنى أخر توفير مسار بديل.

والعديد من الأمثلة الأخرى :

Marine barracks (Beirut,1983) ، The world Trade Center(Newyork,2001)

بعد ذلك أصبحت الفكرة بشكل عام القبول بمباني قوية قادرة على استيعاب الفشل الموضعي دون أن يسبب انهيار غير متناسب مع الضرر الأولي حسب Jose [1] وخاصةً في حالة المباني التي تشكل جزء هام من البنى التحتية مثال (مستشفيات – محطات الطاقة – محطات انتظار المسافرين) أو المباني التي يشغلها عدد كبير من الناس (مدارس – مراكز تجارية) حيث يجب أن تكون مرنة قادرة على امتصاص مثل هذه الأحداث مع الحفاظ على الوظيفة والتشغيل أي قادرة على استرداد الأداء قبل الحدث بسرعة أو تحسينه.

لمنع الانهيار المتتابع يجب توفير مسارات بديلة للأحمال المنقولة الى العمود المتضرر ونقلها الى العناصر المجاورة ، واذا كانت هذه المسارات غير متوفرة لابد من تطبيق تدابير تصميم اخرى (عنصر تصميم رئيسي ، طريقة قوى الربط ، طريقة تحسين المقاومة الموضعية ،التقسيم) حسب و(DoD,2009) (GSA,2013) .

تناولت العديد من الكودات والابحاث موضوع الانهيار المتتابع في محاولة لربط التصميم المقاوم للزلازل مع متطلبات التصميم المقاوم للانهيار المتتابع وبالتالي الربط بين مطاوعة الاطارات ومفاهيم تبديد الطاقة وبين المتانة والمقاومة والقدرة على مقاومة أي فشل موضعي كي لا يتسبب بسلسلة من الفشل المتلاحق(ASCE,2016)(IBC,2009).

أهمية البحث و أهدافه:

تتنوع المخاطر وتزداد ومنها الزلازل والتهديدات الارهابية والاخطاء البشرية وغيرها التي من الممكن حدوثها خلال العمر الافتراضي للمنشأ وبالتالي فإن الحاجة الحالية والمستقبلية تستدعي تنفيذ ابنية قوية.

يزداد الاهتمام بالنهج التصميمي المباشر المقاوم للانهيار المتتابع عالميا ولكن حتى يومنا القليل جدا من الابحاث والدراسات عنه في المناطق الزلزالية، مما يستدعي البحث والتحري لإيجاد طريقة تصميم مشتركة لكلتا الحالتين وخصوصا في الابنية المهمة واماكن التجمعات العامة .

يمكن تلخيص أهداف البحث بما يلي:

1- التحقق من أن التصميم المقاوم للزلازل وفق الكود العربي السوري الأساس لعام 2012 وملحقه الثاني [6] يساهم في التخفيف من مخاطر الانهيار المتتابع.

2- دراسة وتقييم سلوك الاطارات العزمية من البيتون المسلح والمصممة وفق الكود العربي السوري الأساس لعام 2012 وملحقه الثاني [6] في مقاومة الانهيار المتتابع حسب متطلبات (UFC,2016)

الدراسة المرجعية :

تتعدد وتتنوع تعاريف الانهيار المتتابع ،ومن المواضيع المثيرة للاهتمام هو الاختلاف بين الانهيار المتتابع والانهيار غير المتجانس.

الانهيار المتتابع يبدأ من ضرر موضعي محلي لاحد او بعض المكونات الانشائية ويتطور خلال النظام الانشائي ليؤثر على باقي المكونات ،اشكال الانهيار كانت مطابقة لستة انواع للانهيار المتتابع وهي (Pancake – Zipper – Domino – Section – Instability – Mixed) حيث يتميز كل نوع حسب طريقة انتشار الفشل .

تم تصنيف (Pancake,Domino) في مجموعة حيث انتشار الفشل ناجم عن تحويل الطاقة الكامنة الى حركية من خلال سقوط العناصر وانقلابها وتأثيرها على بعضها البعض.

تم تصنيف (Zipper,Section) في مجموعة اخرى وذلك لان انتشار الفشل بسبب اعادة توزيع القوى الناجمة عن فشل عنصر على باقي العناصر.

يعتمد النهج الكمي والعقلاني على التخفيف من عواقب الانهيار المتتابع او غير المتجانس وبالتالي الحد من المخاطر من خلال المتانة الانشائية والتي تتيح اما بنية جديدة او قائمة لتلبية اهداف الاداء الاضافي المتمثل في منع الانهيار المتتابع تحت التحميل غير الطبيعي.

تناولت العديد من الكودات العالمية الانهيار المتتابع ومنها الكود الاميركي (ASCE,2007) الذي عرف الانهيار المتتابع على انه انتشار فشل موضعي من عنصر إلى عنصر مما يؤدي في النهاية إلى انهيار كامل المنشأ او جزء كبير منه مما يستوجب تصميم البناء لتكبد الفشل الموضعي بحيث يبقى النظام الإنشائي متوازن ومستقر ولا ينهار بسبب الامتداد غير المتجانس للفشل الموضعي البدائي.

واعتمد الكود الاميركي نهجين للتصميم :

1- نهج التصميم المباشر :

أ- طريقة المسار البديل Alternative Path method (AP method): تتطلب أن يظهر المنشأ قدرة على الاستمرار رغم العنصر المفقود.

ب- مقاومة محلية محددة Specific Local Resistance (SLR) : تتطلب من المبنى أو جزء منه توفير مقاومة كافية لحمل أو تهديد معين.

2- نهج التصميم غير المباشر :

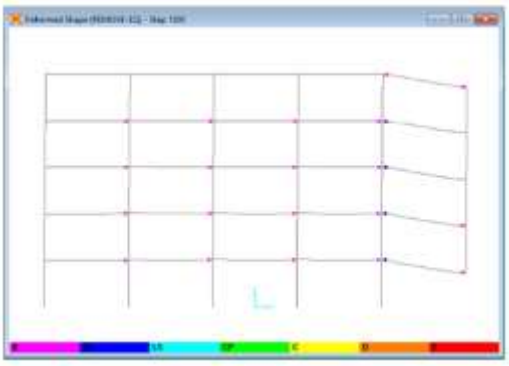
يتم مقاومة الانهيار المتتابع بشكل ضمني من خلال اتخاذ احتياطات خاصة تضمن الحد الأدنى من المتانة والاستمرارية والمطاوعة بهدف تحسين السلامة الإنشائية، بمعنى تشكيل خطة تصميمية جيدة مع نظام متكامل من الربط الشاقولي والأفقي مع نظام إنشائي مطاوع بالإضافة الى سلوك الـ Catenary action للبلاطات وغيرها...

عرف كل من إدارة الخدمات العامة (GSA,2003) بالإضافة إلى وزارة الدفاع الاميركية(UFC,2009) الانهيار المتتابع بأنه الحالة التي يؤدي فيها فشل مكون رئيسي إلى انهيار العناصر المجاورة مما يؤدي إلى انهيار إضافي وبالتالي يكون إجمالي الضرر غير متناسب مع السبب الرئيس.

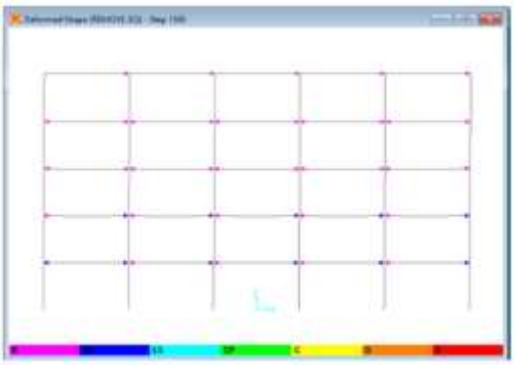
قامت الباحثة Yara [9] بتقييم الانهيار المتتابع لمبنى من الإطارات الفولاذية، مصممة وفق الكود المصري المحلي عند فشل احد أعمدة الطابق الارضي بفعل الحمولة الزلزالية.

قاموا بتشكيل مكون من خمس طوابق ، التباعد بين الاطارات 6 م والارتفاع الطابقي 3.5م ، الاطارات الخارجية مقاومة للأحمال الشاقولية والافقية اما الاطارات الداخلية مقاومة للأحمال الشاقولية.

قامت الباحثة بدراسة استجابة المنشأ تحت تأثير فقدان عمود بشكل مفاجئ وذلك عن طريق التحليل الديناميكي اللاخطي لدراسة تأثير فقدان عمود خلال الحدث الزلزالي ، بافتراض ان المبنى في القاهرة حيث PGA=0.15g وبالاستناد الى طيف الاستجابة المعرف في ECP تم تشكيل السجل الزلزالي . تم استخراج قيم دورانات المفاصل اللدنة لحالات الازالة ومقارنتها مع معايير القبول الواردة في UFC وكانت جميعها ضمن الحدود المسموحة والمنشأ يعتبر امن.



الشكل (1) :المفاصل المتلدنة بعد ازالة عمود زاوية (Y=0) [9]

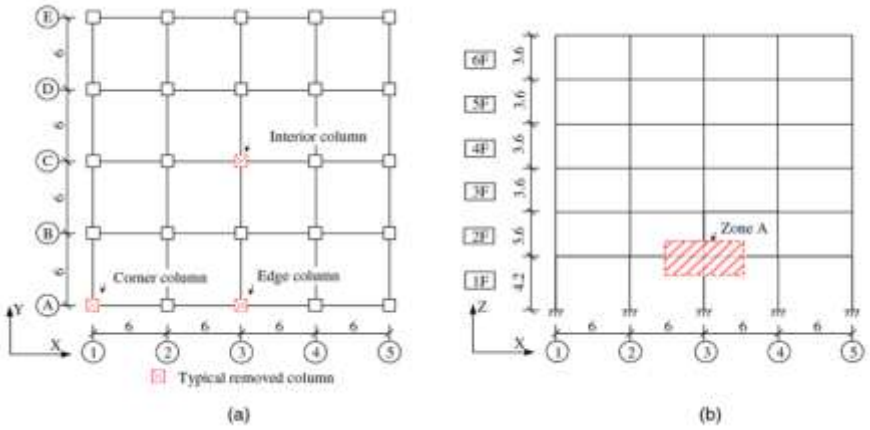


الشكل (2) : المفاصل المتلدنة بعد ازالة عمود زاوية (Y=3) [9]

قام الباحث Kaiqi [10] بإجراء دراسة عن تأثير التصميم الزلزالي التصميم المقاوم للانهيار المتتابع على استجابة الابنية الإطارية من البيتون المسلح. تم اخذ اطار مكون من 6 طوابق مصمم وفق شدتين زلزاليتين مختلفتين وفق الكود الصيني التصميمي الصيني (MOHURD, 2010b)

(RC6-PGA=0.05g , RC8-PGA=0.20g)

تم تقييم احتمالية الانهيار المتتابع حسب توصيات(GSA,2013) و (DOD,2009) وتبين ان احتمال انهيار الاطار RC6 وصل حتى 83% بينما كانت احتمالية انهيار الإطار RC8 معدومة وبالتالي كانت النتيجة ان التصميم وفق شدة زلزالية اعلى ساعد في تحسين مقاومة الانهيار المتتابع.

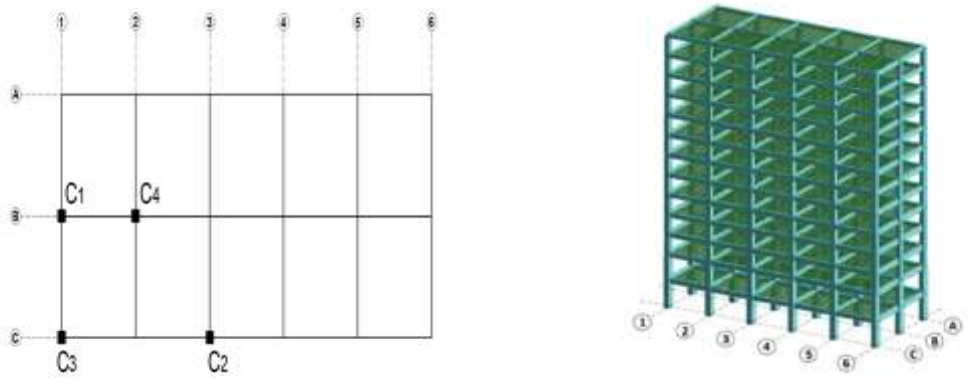


الشكل (3) : مبنى اطاري من 6 طوابق (a- مسقط افقي b- مقطع شاقولي) [10]

بالاستناد إلى التحليل الستاتيكي الخطي قام الباحث Moladovan [11] بتقييم احتمالية الانهيار المتتابع لمبنى اطاري نموذجي مكون من 13 طابق .

المبنى يقع في منطقة زلزالية عالية الشدة (بوخارست,0.24g) مصمم وفق الكود الزلزالي الروماني اعوام 1992,2006,2008.

وتم ازالة الاعمدة بالاستناد الى توصيات GSA لمواقع الازالة حسب الشكل (4) مع اعتماد التراكب 2(DL+0.25LL) .



الشكل (4) : (a) نموذج مكون من 13 طابق من الاطارات (b) مواقع إزالة الأعمدة [11]

تم حساب نسب DCR للنماذج الثلاث وحالات الازالة الاربعة .النماذج الثلاث لا تملك احتمالية للانهيار المتتابع عند سيناريو فقدان أحد الأعمدة، وباستثناء بعض الجوائز فإن سلوك المنشأ يعتبر مرن ويرضي معايير القبول حسب GSA .

الجدول (1): مقارنة بين قيم DCR للنماذج الثلاث

Damaged model	Maximum DCR values for flexure				Maximum DCR values for shear			
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_1	C_2	C_3	C_4
P100-92	0.82	0.93	1.07	1.02	0.58	0.67	0.53	0.79
	Low risk for progressive collapse				*No risk for progressive collapse*			
P100-2006	0.85	1.10	0.84	0.95	0.73	0.77	0.69	0.92
	Low risk for progressive collapse				*No risk for progressive collapse*			
EC-8	0.75	0.82	0.74	0.85	0.62	0.72	0.60	0.85
	No risk for progressive collapse				*No risk for progressive collapse*			

الكودات الحديثة تزيد القوة الزلزالية بمقدار 5.2% ، 21% على الترتيب مما يزيد من استطاعة الجوائز وبالتالي تنخفض DCR بمقدار 7% ، 17% على الترتيب، بالمحصلة تطور الكود الزلزالي ساهم في تحسين المقاومة ضد الانهيار المتتابع .

طرائق البحث ومواده:

المباني المدروسة تقع في مناطق زلزالية مختلفة الشدة (0.25g – 0.3g) مكونة من خمس طوابق من الاطارات البيتونية المسلحة المقاومة للزلازل [12] بتباعد ثابت 5 م بالاتجاهين ، صنف التربة S_d . تم التصميم وفق الكود العربي السوري وملحقه الثاني [6] وذلك بعد القيام بتشكيل نموذج ثلاثي الابعاد على برنامج ال ETABS2016 ، يتضمن تأثيرات P–Δ.

لتقييم احتمالية الانهيار المتتابع لمبنى نموذجي ، تم ازالة العمود القريب من المنتصف في الاتجاه الطويل، عمود من زاوية البناء و عمود داخلي من الطابق الارضي وكذلك من الطابق الثالث باستخدام طريقة المسار البديل وبالاعتماد على التحليل الستاتيكي غير الخطي للتحقق من قدرة العناصر الانشائية على منع الانهيار المتتابع.

نوع التحليل المستخدم : سيتم اجراء تحليل ستاتيكي لا خطي مع ادخال تأثيرات P–Δ

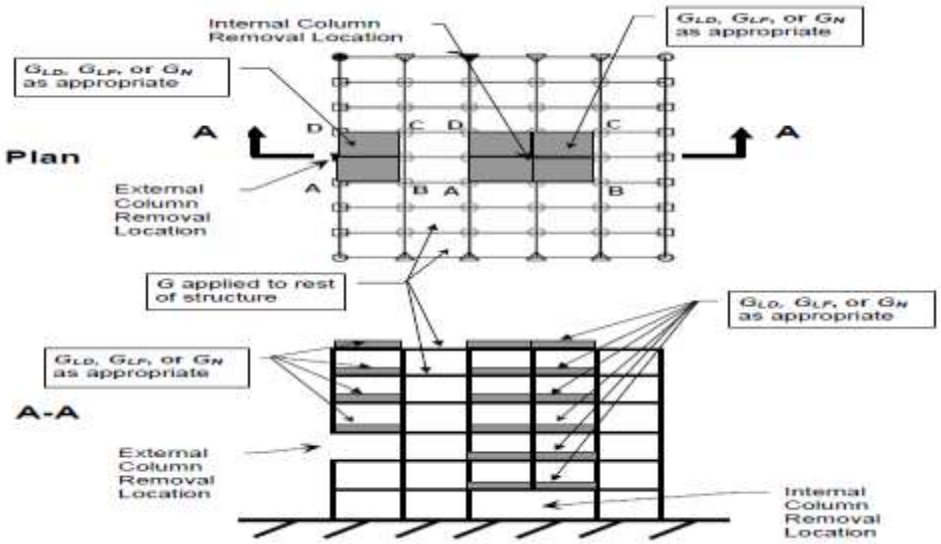
الاحمال المطبقة وتراكيب الاحمال المستخدمة في الانهيار المتتابع :

يتم تطبيق تراكب الاحمال Increased Gravity Loads GN بشكل مباشر على البلاطات المجاور للعنصر المزال وعند كل الطوابق فوق العنصر المزال .

$$GN = \Omega N\ [1.2\ D + (0.5\ L \text{ or } 0.2\ S)]$$

ΩN : معامل التضخيم الديناميكي DIF deformation-controlled and force-controlled actions للتحليل الستاتيكي اللاخطي مع استخدام القيم المناسبة للمنشأ الإطاري اما بالنسبة لباقي البلاطات البعيدة عن موقع العمود المزال:

$$G = 1.2\ D + (0.5\ L \text{ or } 0.2\ S)$$



الشكل (5) : طريقة تحميل البلاطات عند ازالة احد الاعمدة وفق توصيات UFC [7]

الجدول(2) : معامل الزيادة الديناميكي الوارد والمعتمد في UFC [7]

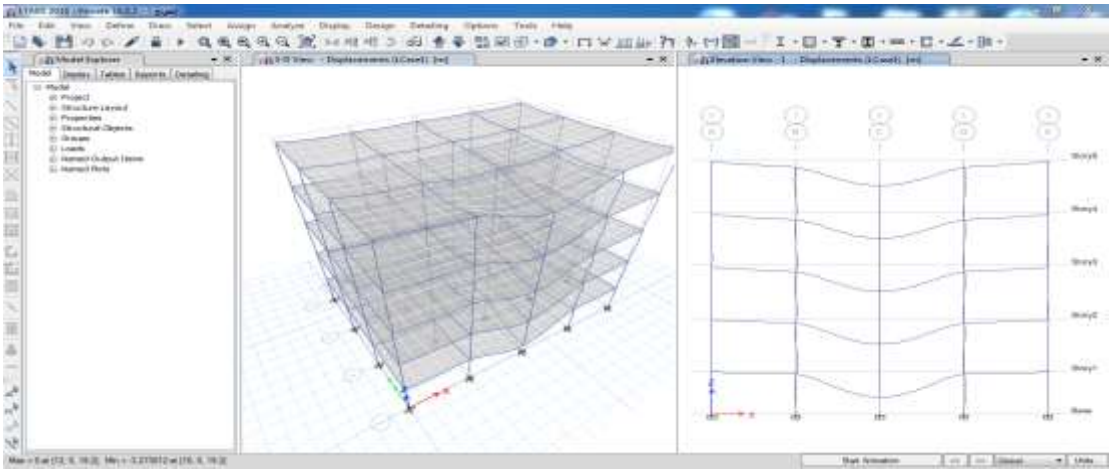
Material	Structure Type	Ω_N
Steel	Framed	$1.08 + 0.76/(\theta_{pra}/\theta_y + 0.83)$
Reinforced Concrete	Framed	$1.04 + 0.45/(\theta_{pra}/\theta_y + 0.48)$
	Load-Bearing Wall	2
Masonry	Load-bearing Wall	2
Wood	Load-bearing Wall	2
Cold-formed Steel	Load-bearing Wall	2

θpra : زاوية الدوران اللدن معطاة في جدول معايير القبول في ASCE 41 وفي UFC بحسب مستوى الاستجابة الانشائية المناسب (منع الانهيار ، سلامة الأرواح ، كما هو محدد في Ch4…8 في UFC)

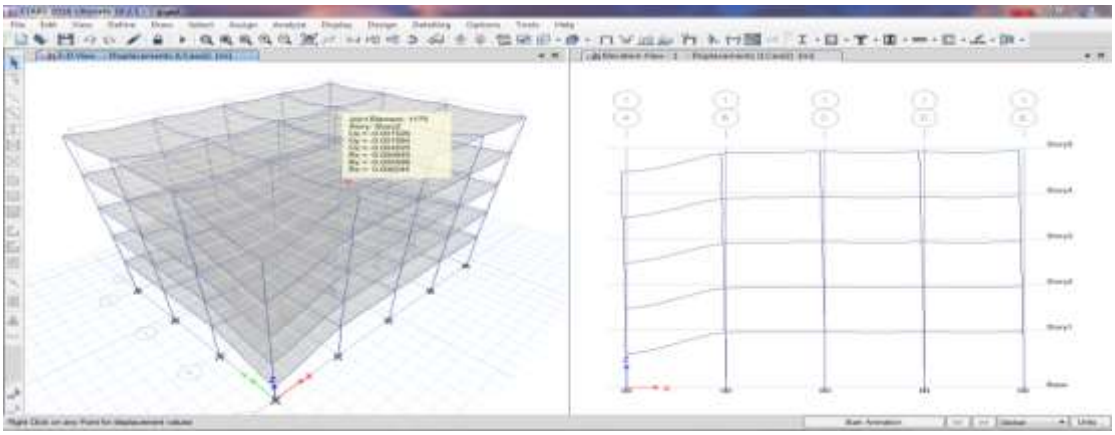
θy: زاوية الدوران عند الخضوع

من أجل البيتون المسلح θy محددة وفق قيم الصلابة الفعالة المتوفرة في الجدول 5−10 في ASCE 41

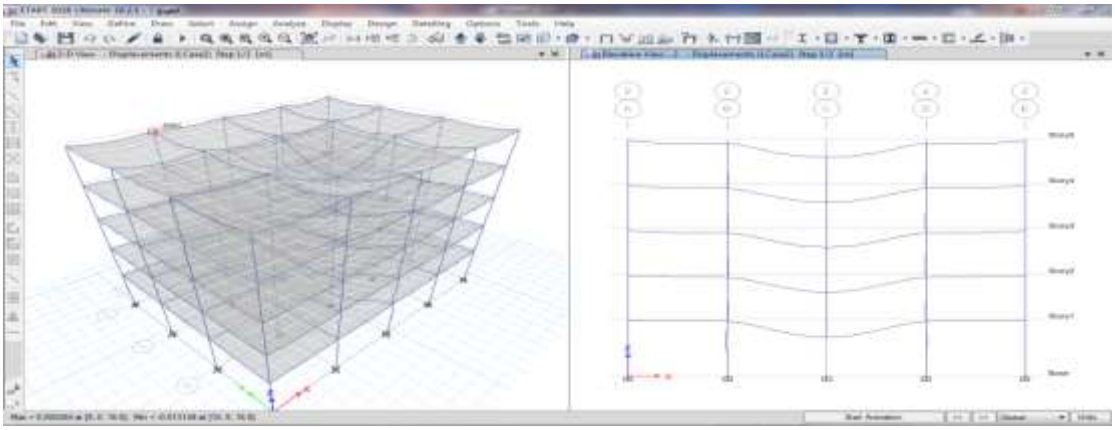
تحديد مواقع الاعمدة المزالة : قمنا بإزالة العمود الواقع على تقاطع المحورين (C،1) ، والاعمدة الواقعة على تقاطع المحورين (A،1) (C،2) من الطابق الارضي والثالث .



الشكل (6) : نموذج 3-D – مقطع شاقولي لحالة ازالة العمود C1 من الطابق الارضي

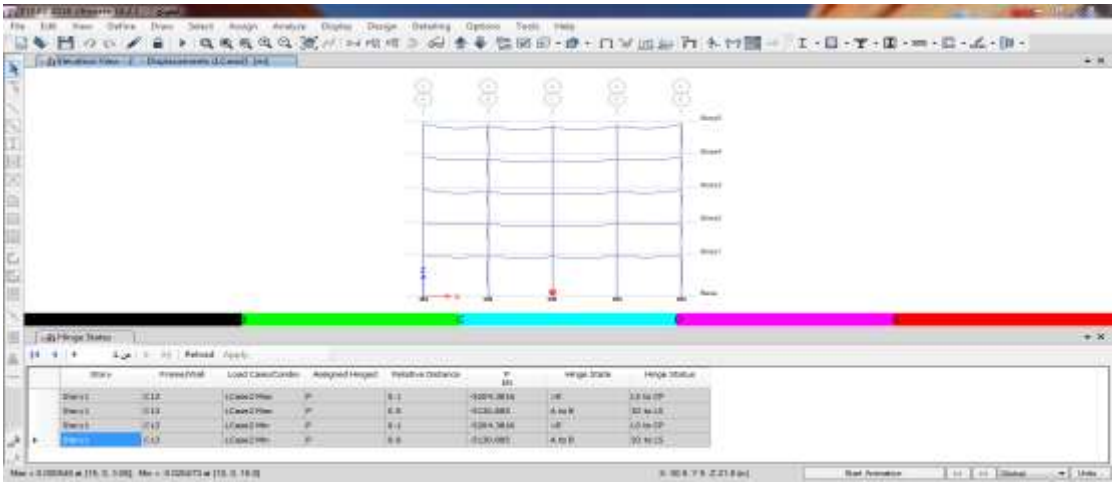


الشكل (7) : نموذج 3-D – مقطع شاقولي لحالة ازالة العمود A1 من الطابق الارضي

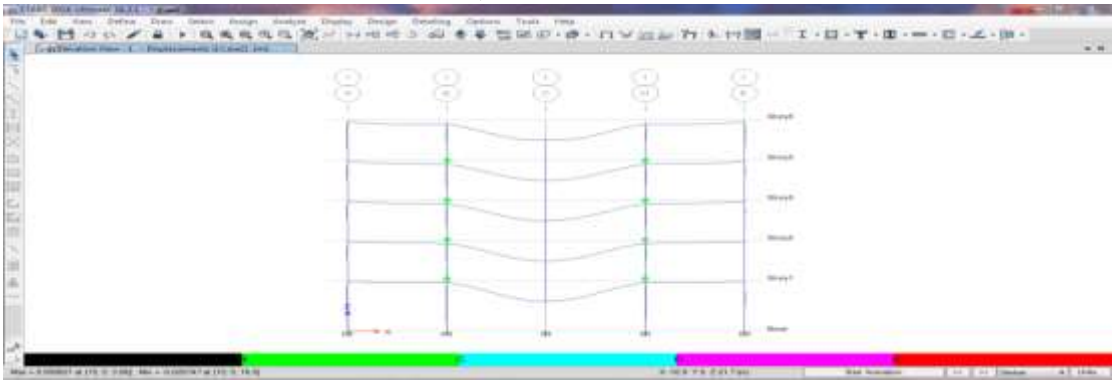


الشكل (8) : نموذج 3-D – مقطع شاقولي لحالة ازالة العمود C2 من الطابق الارضي

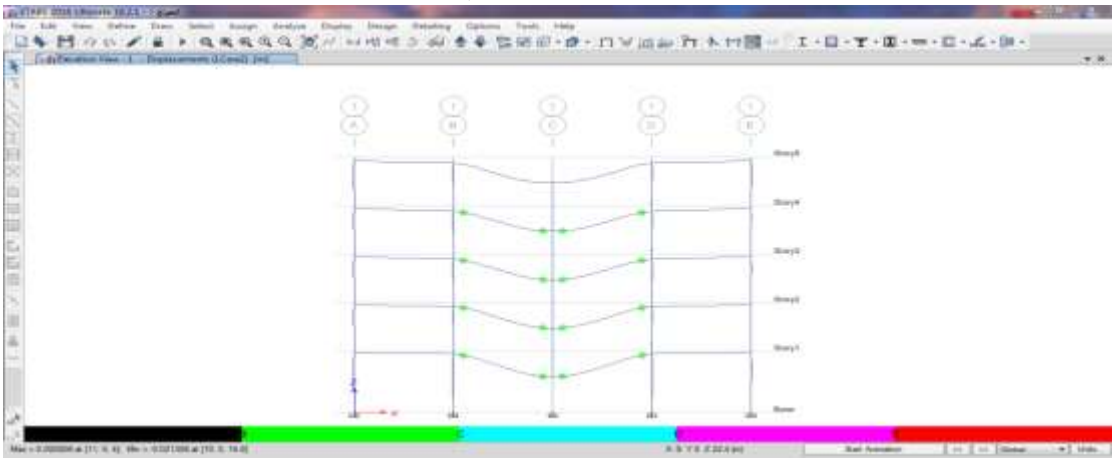
المبنى الاول A المصمم وفق الشدة الزلزالية /0.3g/ : ازالة عمود من الطابق الارضي



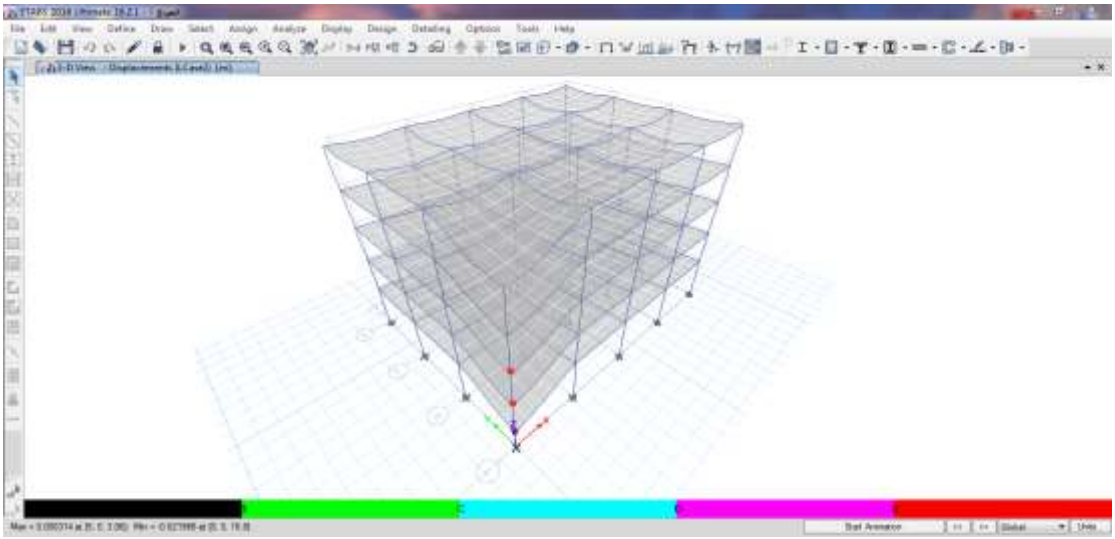
الشكل (9) : المفاصل المنهارة على الضغط في الاعمدة لحالة الازالة C1



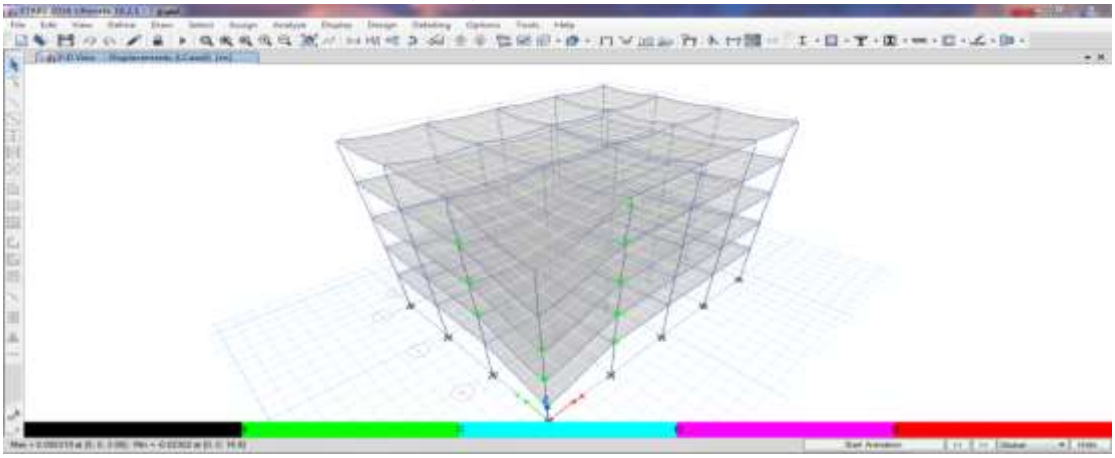
الشكل (10) : المفاصل المتلدنة بفعل العزوم في الاعمدة لحالة الازالة C1



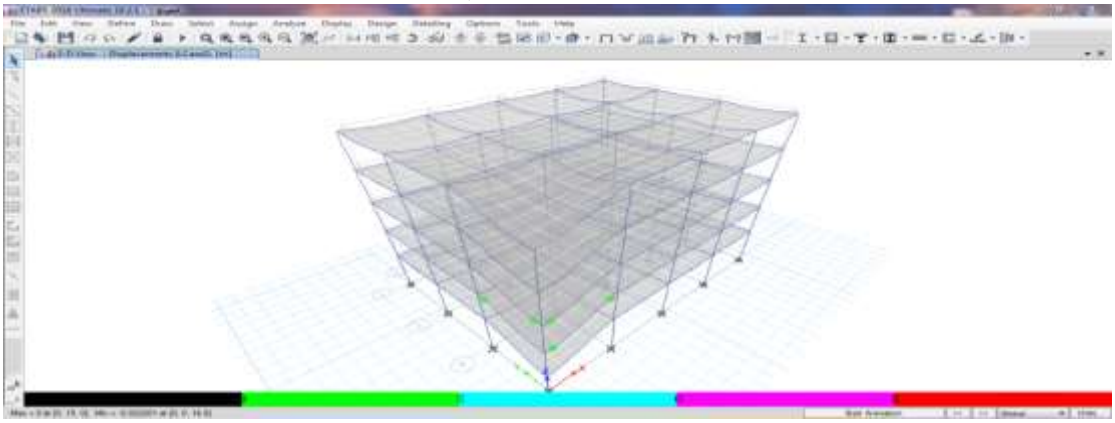
الشكل (11) : المفاصل المتلدنة بفعل العزوم في الجوائز لحالة الازالة C1



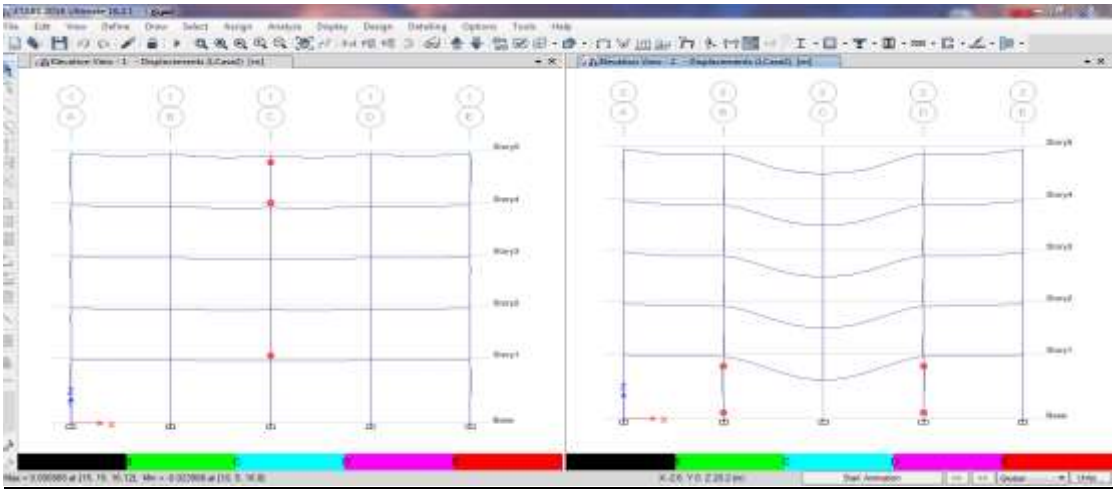
الشكل (12) : المفاصل المنهارة على الضغط في الاعمدة لحالة الازالة A1



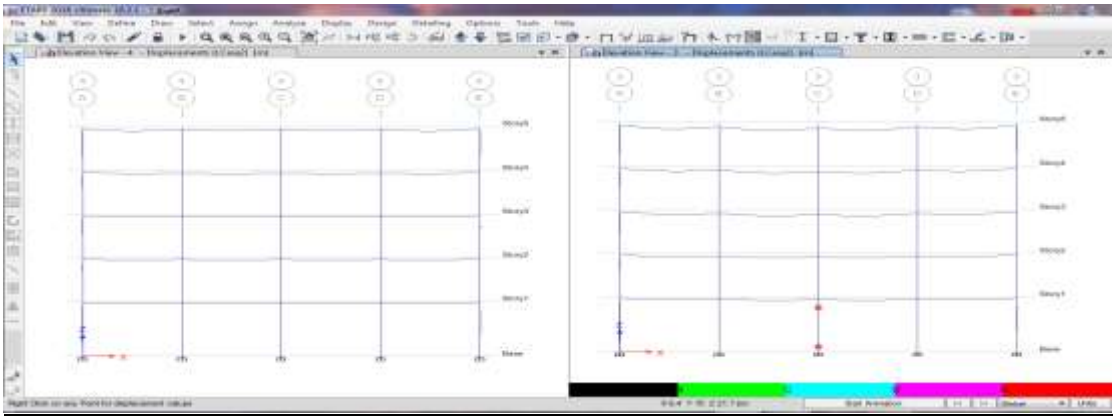
الشكل (13) : المفاصل المتلدنة بفعل العزوم في الاعمدة لحالة الازالة A1



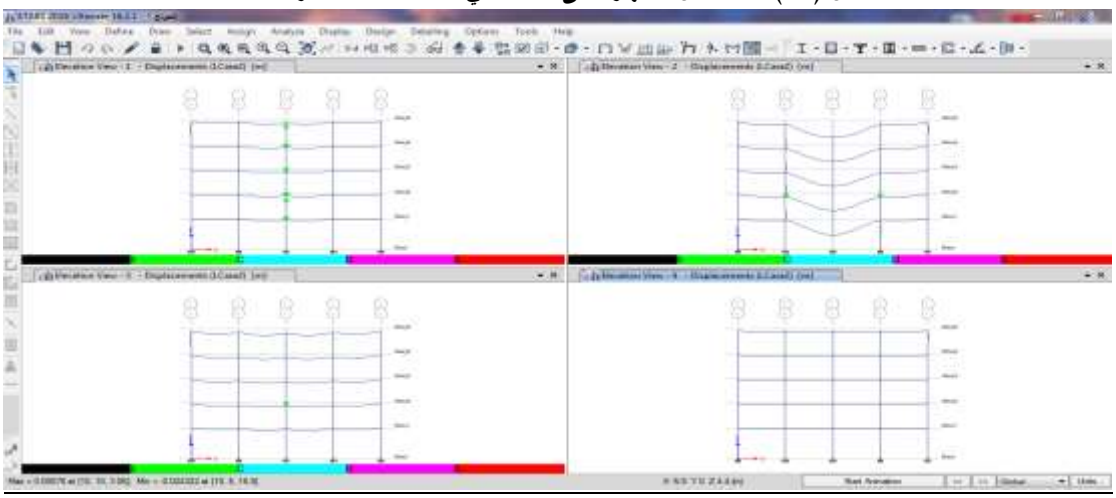
الشكل (14) : المفاصل المتلدنة بفعل العزوم في الجوائز لحالة الازالة A1



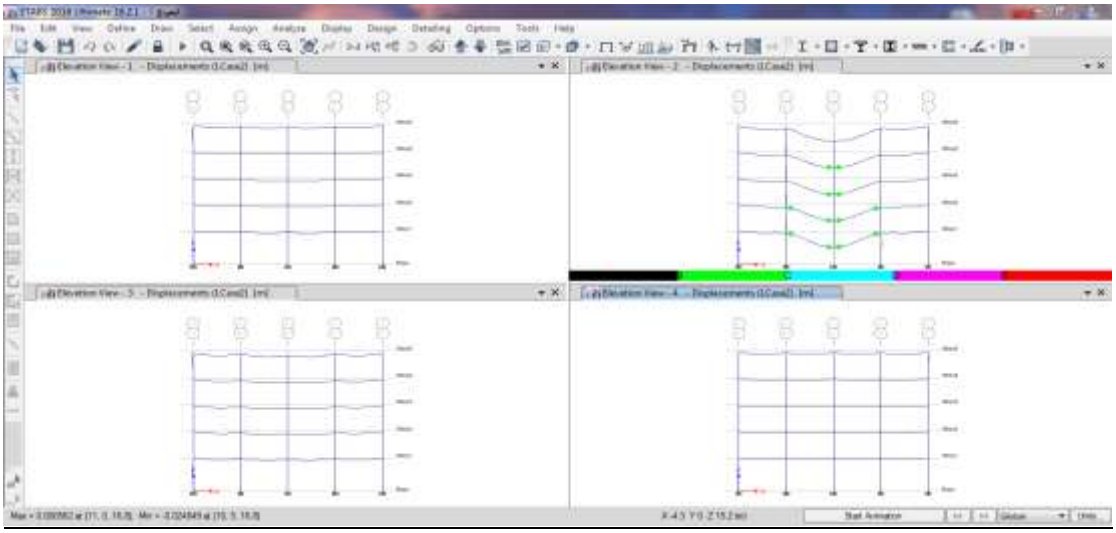
الشكل (15) : المفاصل المنهارة على الضغط في الاعمدة لحالة الازالة C2



الشكل (16) : المفاصل المنهارة على الضغط في الاعمدة لحالة الازالة C2

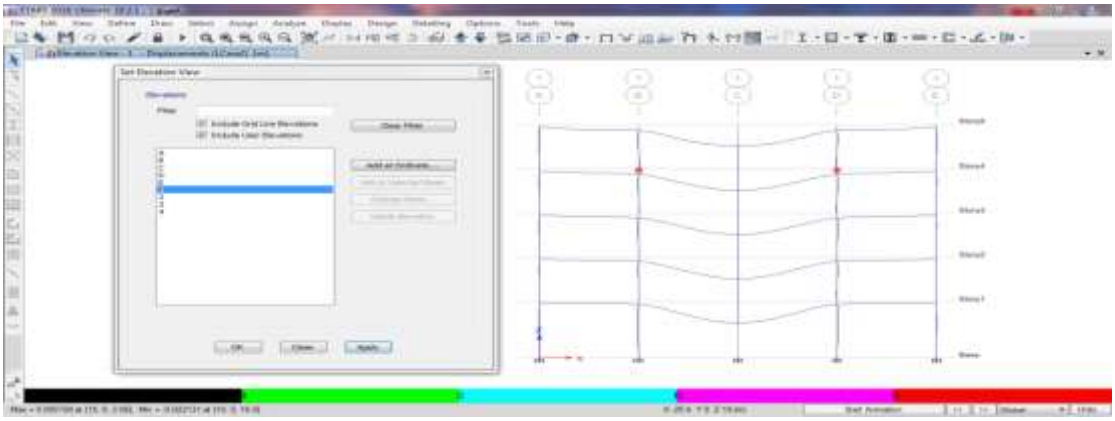


الشكل (17) : المفاصل المتلدنة بفعل العزوم في الاعمدة لحالة الازالة C2

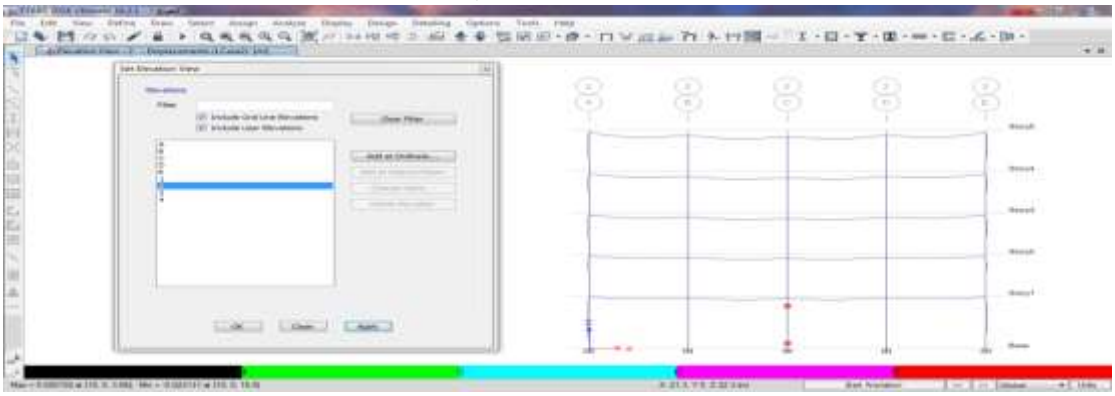


الشكل (18) : المفاصل المتلدنة بفعل العزوم في الجوائز لحالة الازالة C2

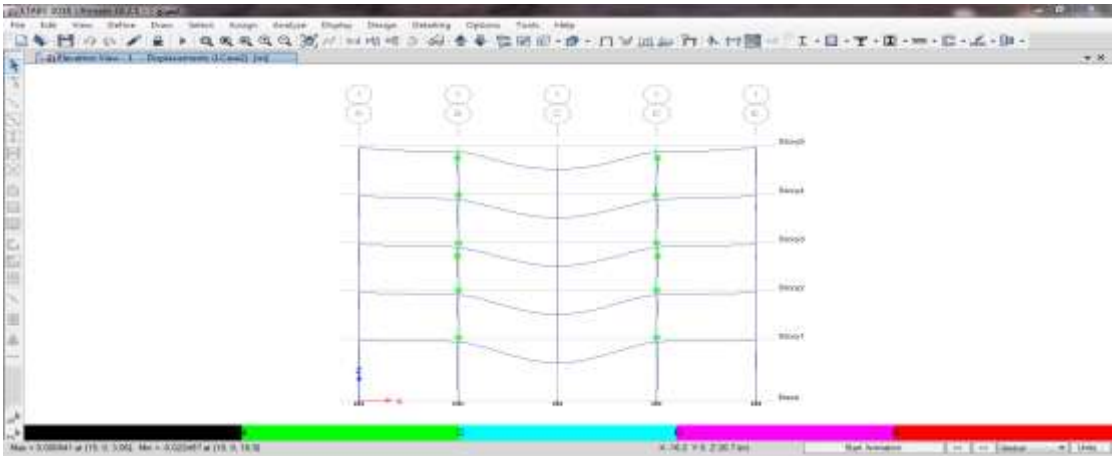
المبنى الثاني B المصمم وفق الشدة الزلزالية /0.25g/ : ازالة عمود من الطابق الارضي



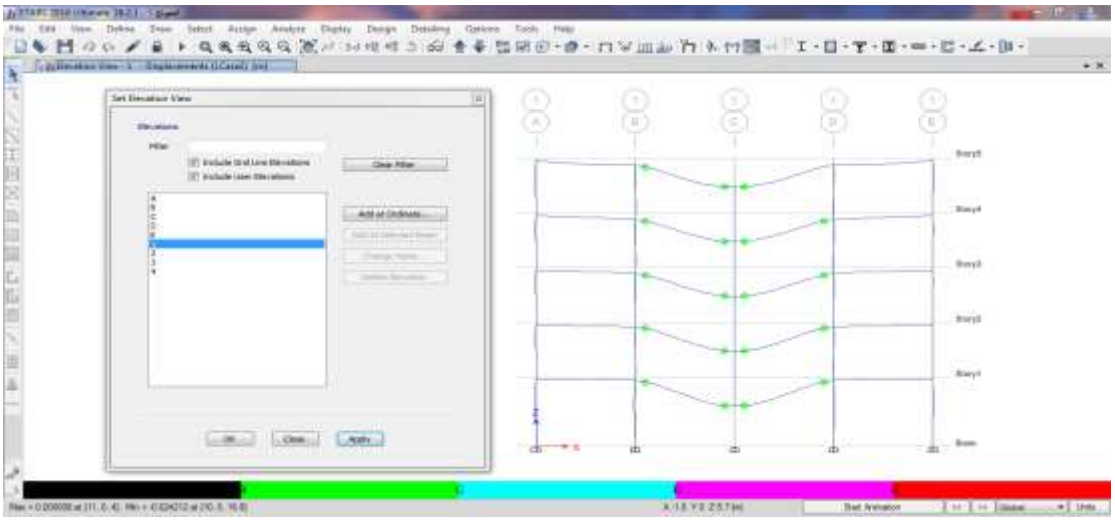
الشكل (19) : المفاصل المنهارة على الضغط في الاعمدة لحالة الازالة C1



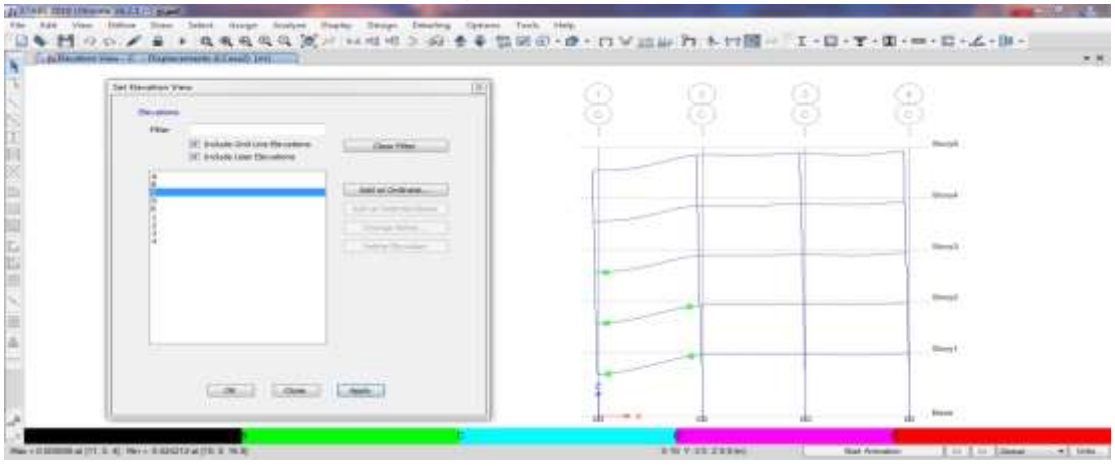
الشكل (20) : المفاصل المنهارة على الضغط في الاعمدة لحالة الازالة C1



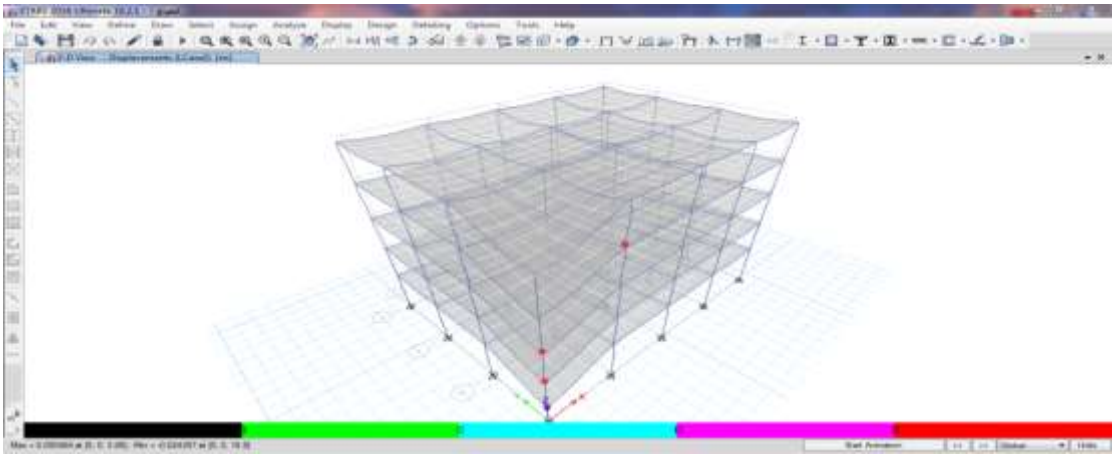
الشكل (21) : المفاصل المتلدنة بفعل العزوم في الاعمدة لحالة الازالة C1



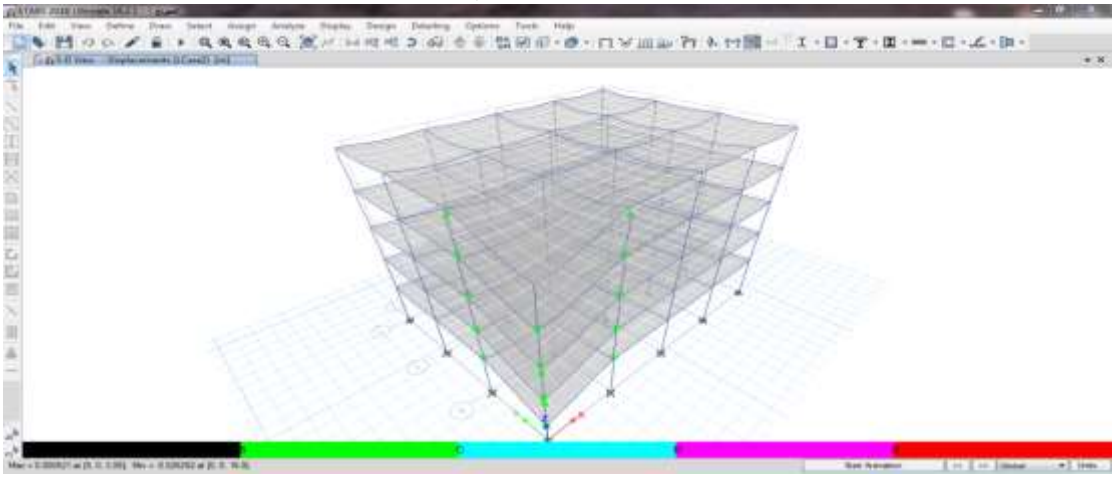
الشكل (22) : المفاصل المتلدنة بفعل العزوم في الجوائز لحالة الازالة C1



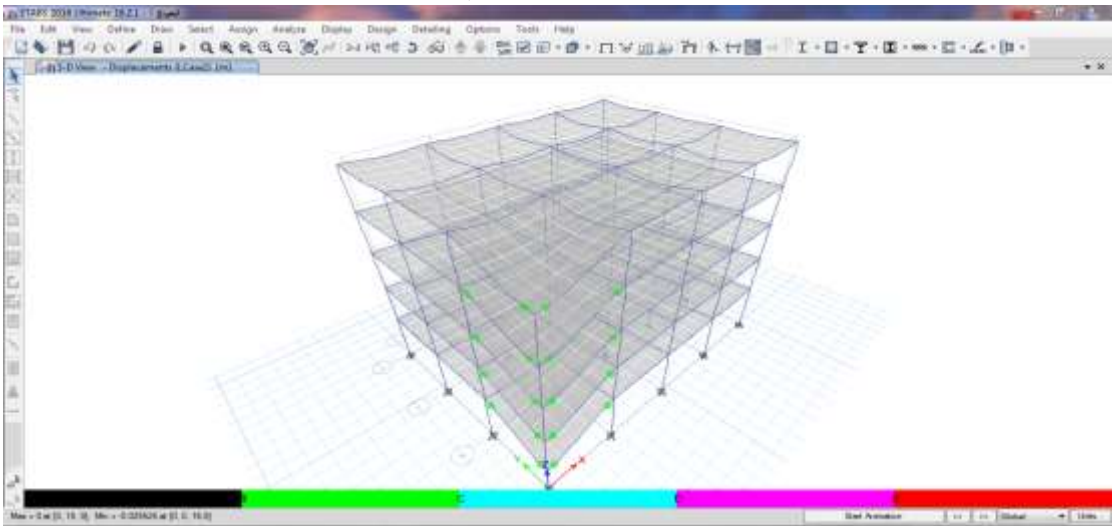
الشكل (23) : المفاصل المتلدنة بفعل العزوم في الجوائز لحالة الازالة C1



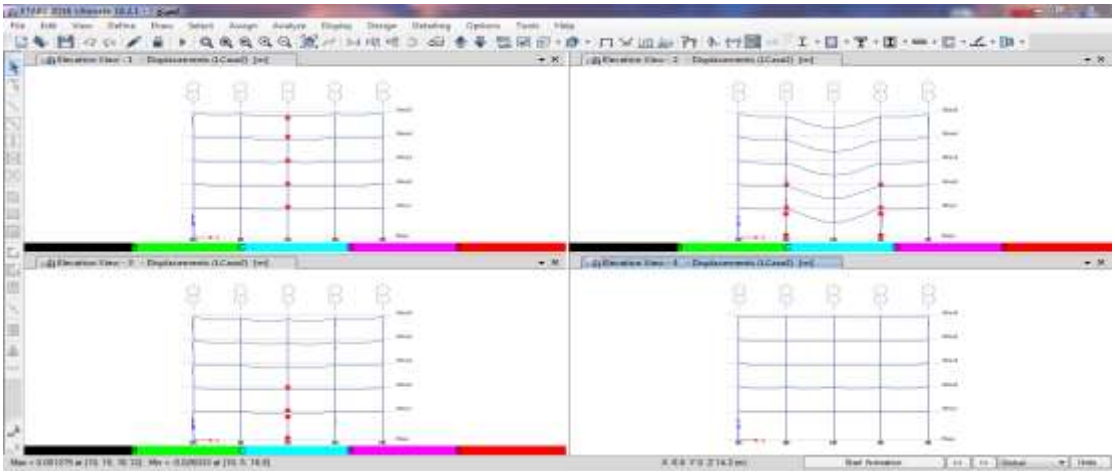
الشكل (24) : المفاصل المنهارة على الضغط في الاعمدة لحالة الازالة A1



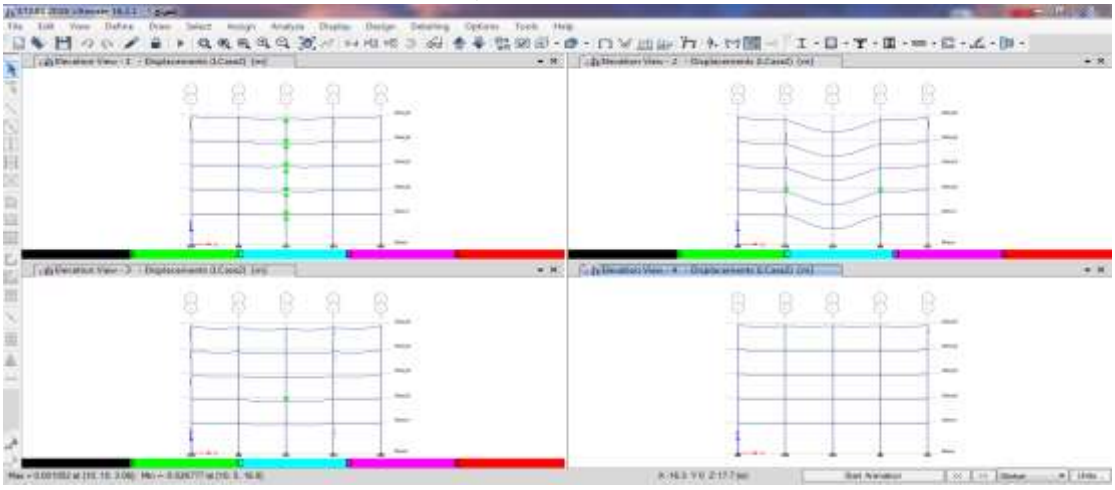
الشكل (25) : المفاصل المتلدنة بفعل العزوم في الاعمدة لحالة الازالة A1



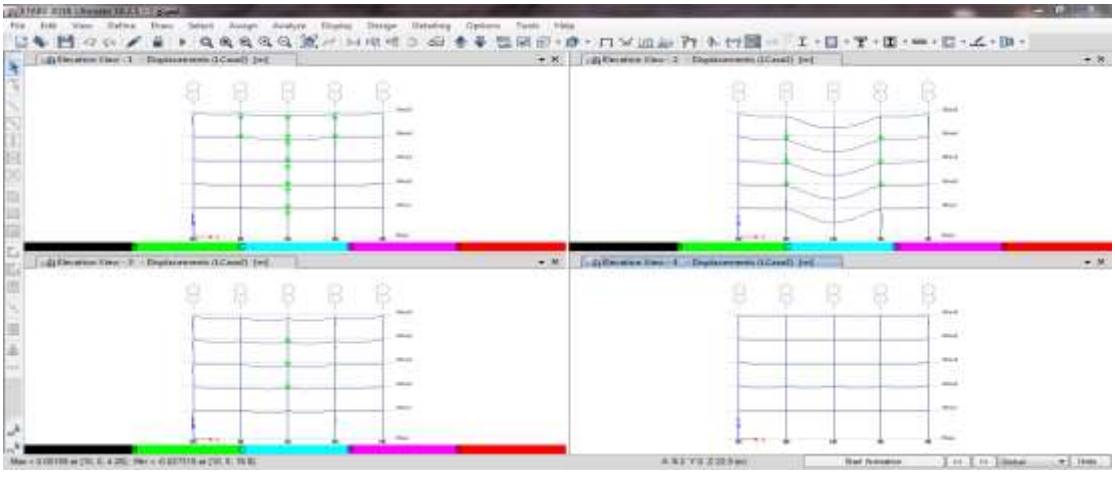
الشكل (26) : المفاصل المتلدنة بفعل العزوم في الجوائز لحالة الازالة A1



الشكل (27) : المفاصل المنهارة على الضغط في الاعمدة لحالة الازالة C2

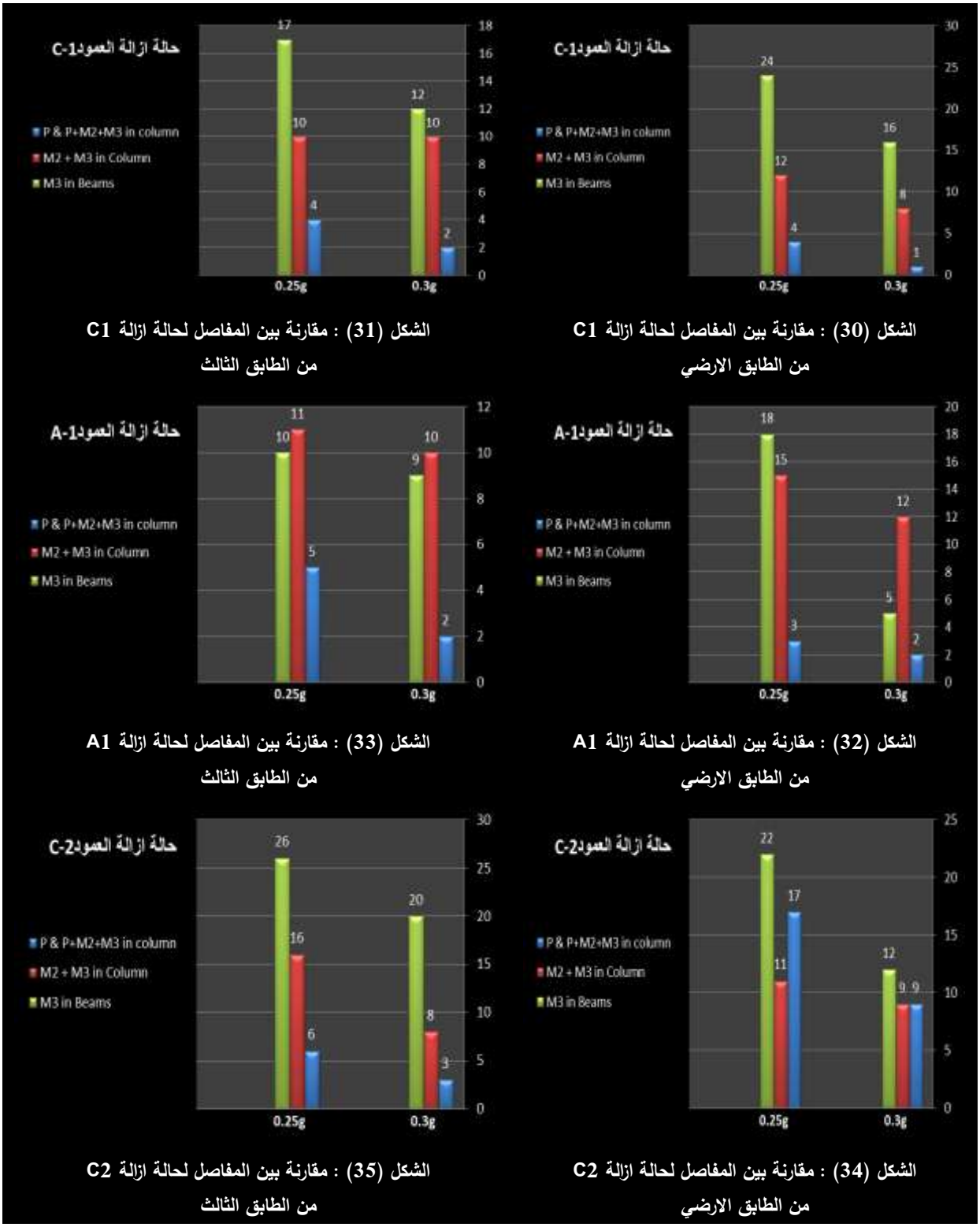


الشكل (28) : المفاصل المتلدنة بفعل العزوم في الاعمدة لحالة الازالة C2



الشكل (29) : المفاصل المتلدنة بفعل العزوم في الجوائز لحالة الازالة C2

النتائج و المناقشة:



الشكل (30) : مقارنة بين المفاصل لحالة ازالة C1 من الطابق الارضي

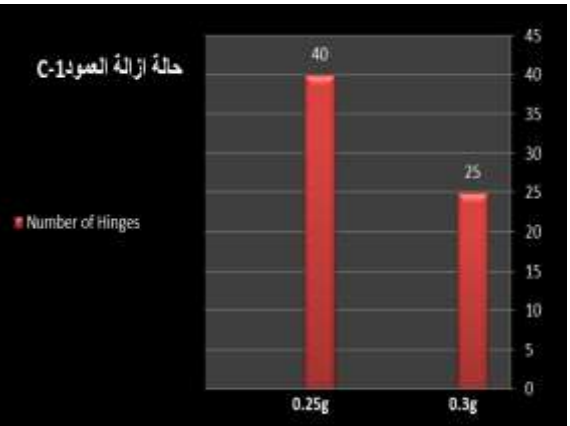
الشكل (31) : مقارنة بين المفاصل لحالة ازالة C1 من الطابق الثالث

الشكل (32) : مقارنة بين المفاصل لحالة ازالة A1 من الطابق الارضي

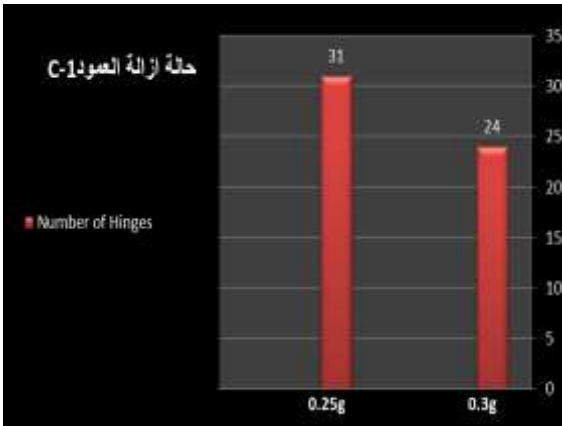
الشكل (33) : مقارنة بين المفاصل لحالة ازالة A1 من الطابق الثالث

الشكل (34) : مقارنة بين المفاصل لحالة ازالة C2 من الطابق الارضي

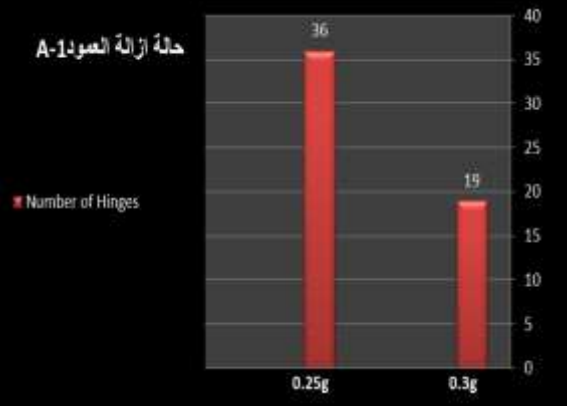
الشكل (35) : مقارنة بين المفاصل لحالة ازالة C2 من الطابق الثالث



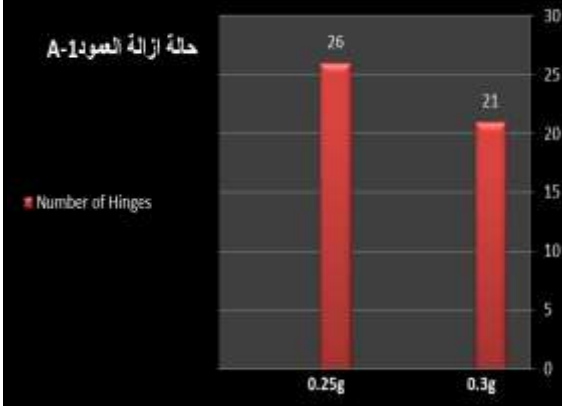
الشكل (36) : مقارنة بين المفاصل المتشكلة لحالة ازالة العمود C1 من الطابق الارضي



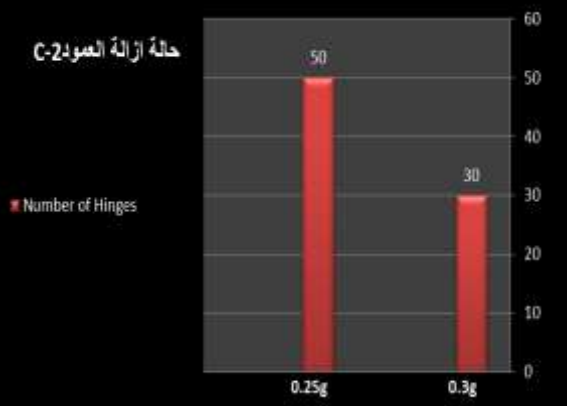
الشكل (37) : مقارنة بين المفاصل المتشكلة لحالة ازالة العمود C1 من الطابق الثالث



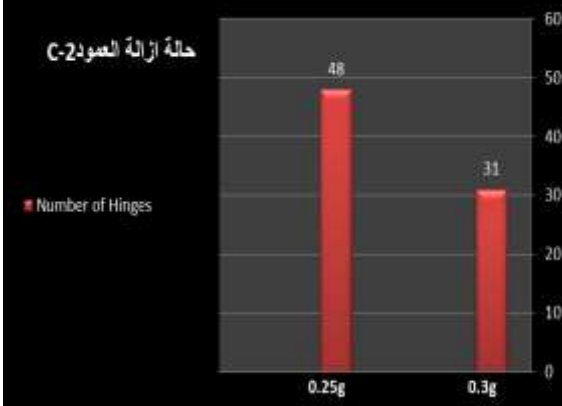
الشكل (38) : مقارنة بين المفاصل المتشكلة لحالة ازالة العمود A1 من الطابق الارضي



الشكل (39) : مقارنة بين المفاصل المتشكلة لحالة ازالة العمود A1 من الطابق الثالث



الشكل (40) : مقارنة بين المفاصل المتشكلة لحالة ازالة العمود C2 من الطابق الارضي



الشكل (41) : مقارنة بين المفاصل المتشكلة لحالة ازالة العمود C2 من الطابق الثالث

الاستنتاجات والتوصيات:

- عدد المفاصل المتشكلة في المبنى بعد ازالة اعمدة مختلفة من الطابق الارضي والثالث و المصمم وفق المنطقة الزلزالية 2C اكبر من العدد المتشكل في المبنى المصمم وفق المنطقة الزلزالية الثالثة 3 .
- لا يوجد اي مفاصل متشكلة بفعل القص في الاعمدة في كلا المنطقتين ولجميع حالات الازالة بسبب تفاصيل التسلح العرضي لأعمدة الاطارات الخاصة والمتوسطة وفق الكود العربي السوري.
- لا يوجد اي مفصل متشكل بفعل قوة القص V2 في جوائز المبنى المصمم وفق المنطقة الثالثة وذلك بسبب كون الاطارات خاصة ، بالمقابل تشكلت بعض المفاصل المتلدنة على القص في جوائز المبنى المصمم وفق المنطقة الثانية ولكن عددها قليل جدا ، وذلك بسبب كون الاطارات متوسطة بالإضافة الى ترتيبات التسليح العرضي في الاطارات الخاصة والمتوسطة وفق الكود العربي السوري .
- يوجد عدد كبير من المفاصل المتلدنة في الجوائز والاعمدة بفعل العزوم وفي كلا النموذجين وعند مختلف حالات الازالة ولكن جميعها مقبولة وفق معايير القبول المتوفرة في UFC.
- يوجد عدد قليل من المفاصل المنهارة بفعل الضغط المركزي واللامركزي وفي كلا النموذجين ومختلف حالات الازالة ... وحل هذه المشكلة بسيط جدا ويتطلب تكاليف زهيدة جدا في تعديل تسليح وابعاد بعض الاعمدة بالمقارنة مع تكاليف الانشاء وايضا مقارنة مع تحقيق الهدف في تصميم مقاوم للزلازل والانهيار المتتابع معا .

References:

{1} Jose M, A., Fulvio, P., Juan, S. and Xinzheng, L.(2018). Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century. *Engineering Structures*,173(2018) 122–149.

{2} Department of Defense (DoD). Design of buildings to resist progressive collapse (UFC 4-023-03). Washington, DC: Unified Facilities Criteria; 2009.

{3} International Code Council. 2009 International Building Code (IBC 2009).International Code Council; 2009.

{4} American Society of Civil Engineers (ASCE). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-16). Structural Engineering Institute of the ASCE; 2016.

{5} General Services Administration (GSA). Alternative path analysis and design guidelines for progressive collapse resistance. Washington, DC: Office of Chief Architects; 2013.

{6} Syrian Arab Code for designe and implementation of the facilities in the reinforcement concrete .Fourth Edition ,Damascus,2012

{7} Department of Defense (DoD). Design of buildings to resist progressive collapse (UFC 4-023-03). Washington, DC: Unified Facilities Criteria; 2016.

{8} General Services Administration (GSA). Progressive collapse analysis and design guidelines for new federal office buildings and major modernization projects. Washington, DC: Office of Chief Architects; 2003.

{9} Yara M, M., Maha M, H., Sherif A, M. and Hesham S,S.(2018) .Assessment of progressive collapse of steel structures under seismic loads. *Alexandria Engineering Journal*, Cairo.

{10} Kaiqi, L., Yi, L., Xinzheng, L. and Hong, G. (2016). "Effects of Seismic and Progressive Collapse Designs on the Vulnerability of RC FrameStructures.*J.Perform.Constr.Facil*.,10.1061/(ASCE)CF.1943 5509.0000942.
{11} T.S. Moldovan, L. Bredean, and A.M. Ioani.(2012). Earthquake and Progressive Collapse Resistance based on the Evolution of Romanian Seismic Design Codes. *Technical University of Cluj-Napoca, Romania*.
{12} UBC 97 ,Uniform Building Code , Volume 2,1997