

تقييم الانهيار المتتابع لمبنى اطاري مقاوم للزلازل عند فقدان عمود بالاعتماد على نسب طلب - استطاعة

أ.د. بسام حويجة*

د.م. نزيه منصور**

م. حسن عبد الهادي***

(تاريخ الإيداع 2022/ 4/26 . قُبِلَ للنشر في 31 2022/7/)

□ ملخص □

الانهيار المتتابع حدث نادر نسبياً وهو ينتج عن حالة تحميل غير عادية تسبب انهيار أولي موضعي يؤدي بدوره إلى سلسلة من الانهيارات بسبب افتقار المنشأ لمتطلبات الإستمرارية الكافية والمطاوعة لمقاومة إنتشار هذا الفشل مما يسبب انهيار المبنى أو جزء كبير منه وبالتالي خسائر بشرية ومادية كبيرة .
ليس من العملي والإقتصادي تصميم المنشآت لمقاومة الأحمال العرضية والكوارث والانفجارات بالطرق التقليدية، ولكن يجب توفير مستوى من التحكم بالانهيار المتتابع من خلال توصيات مبينة على الحساسية الإنشائية والخبرة الإنشائية للمهندسين عن طريق تأمين مسارات بديلة عند تضرر أحد العناصر الرئيسية الحاملة أو تقوية عناصر معينة تساهم في منع انتشار الفشل الموضعي البدائي.
الهدف الرئيس للبحث هو اختبار مقاومة الإطارات العزمية المقاومة للزلازل المصممة وفق الكود العربي السوري على الانهيار المتتابع عن طريق التحليل الستاتيكي الخطي الموصى به وفق المعايير الموضوعة من قِبَل DOD [1] عن طريق إزالة أعمدة حسب التوصيات وتقييم النتائج .
الكلمات المفتاحية: الانهيار المتتابع - الفشل الموضعي - المسار البديل.

* أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

** مدرس - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

Evaluation of progressive collapse for an earthquake-resistant frame building under column removal according to demand-capacity ratios

Prof. Bassam HWAIJA*
Dr. Nazih MANSOUR**
Eng. Hasan Abdulhadi***

(Received 26/4/ 2022 . Accepted 31/7/ 2022)

□ ABSTRACT

Progressive collapse is a relatively rare event. This event requires an abnormal loading condition to cause a localized primitive collapse, which in turn causes a series of collapse due to the structure's lack of sufficient continuity requirements and compliance to resist the spread of this collapse, which causes the collapse of the building or a large part of it, and thus big human and material losses.

It is not practical and economical to design facilities to resist accidental loads, disasters and explosions by traditional methods, but a level of control of progressive collapse must be provided through recommendations based on structural sensitivity and structural experience for engineers by securing alternative paths when one of the main bearing elements is damaged or strengthening certain elements that contribute to preventing Prevalence of primitive local failure.

The main objective of the research is to test the resistance of earthquake-resistant moment frame designed according to Syrian Arab Code to progressive collapse through the recommended linear static analysis according to the standards set by DOD [1] when removing columns according to the recommendations and evaluate the results.

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

* Professor, Department Of Structural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria

** Lecturer, Department Of Structural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria

*** Master Degree student , Department Of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

1- المقدمة:

تتعدد وتتنوع تعريف الانهيار المتتابع ، فالانهيار المتتابع يبدأ من ضرر موضعي محلي لأحد أو بعض المكونات الإنشائية ويتطور خلال النظام الإنشائي ليؤثر على باقي المكونات [2] .
ورد في (ASCE 7-05) [3] (الحد الأدنى للأحمال التصميمية للأبنية والمنشآت الأخرى) مناقشة واسعة عن متطلبات السلامة الإنشائية وتتص أحكامها على أن عناصر المنشأ يجب أن تكون متصلة مع بعضها بشكل جيد لتأمين سلامة المنشأ والأرواح ، ويطلب من المهندسين اتباع ما يلي اثناء عملية التصميم :

- i. وضع مخطط مناسب
- ii. تصميم عقد قوية من أجل نقل الأحمال عبر مسارات بديلة
- iii. استخدام بلاطات تعمل بالاتجاهين لتوفير مسارات نقل الأحمال

وينص على أن الأبنية والمنشآت الأخرى يجب أن تصمم بحيث تتحمل أي ضرر محلي في الهيكل الإنشائي وتظل مستقرة ولا يصل الضرر لمنطقة كبيرة غير متناسبة مع الضرر الأصلي ويمكن تحقيق ذلك من خلال ترتيب العناصر الإنشائية بحيث توفر الاستقرار لكامل النظام الهيكلي وتأمين المطاوعة والاستمرارية الكافية للتسليح وبذلك تنتقل أحمال المنطقة المتضررة الى المناطق المجاورة والتي من المفترض أن تكون قادرة على تحملها دون حصول الانهيار .

تعرف المتانة بأنها قدرة المنشأ على تجنب العواقب التي لا تتناسب مع الحدث الذي يسبب الفشل وبالتالي القدرة بالحد الأدنى للحفاظ على الوظيفة بعد أي تغيير في المنشأ (فشل موضعي بدائي) (ASCE 7-16) [4]، والمتانة الإنشائية تعتمد على الاستمرارية وقدرة المنشأ على إعادة توزيع الأحمال بعد تضرر عنصر أو بضع عناصر ، وبالتالي توفير بنية قوية وقادرة على توفير مسارات بديلة عن طريق روابط إنشائية والقوة والمطاوعة ، أما اذا كانت المسارات البديلة غير متوفرة فإنه من الممكن التحكم في انتشار الانهيار والضرر عن طريق ادخال انقطاعات في المنشأ (التجزئة) أو تصميم عنصر رئيسي لمقاومة الحدث الاستثنائي (عنصر مفتاحي) .

2- أهمية البحث و أهدافه:

تتنوع المخاطر وتزداد ومنها الزلازل والانفجارات وأيضاً الاخطاء التنفيذية و التي من الممكن أن تتسبب بمشاكل كبيرة خلال العمر الافتراضي للمنشأ .

من غير المعقول التصميم بشكل منفصل (زلازل - انهيار متتابع) لأن ذلك قد يتسبب بهدر كبير في المواد والكلفة وعدم القدرة على التوفيق بين الصلابة ضد الانهيار المتتابع والمطاوعة ضد الزلازل وخصوصاً أن التصميم ضد أحد المخاطر قد لا يتناسب مع المخاطر الأخرى.

يمكن تلخيص أهداف البحث بما يلي:

1- التحقق من أن التصميم المقاوم للزلازل وفق الكود العربي السوري الأساس لعام 2012 وملحقه

الثاني [5] 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 [5] في مقاومة الانهيار المتتابع حسب توصيات المعتمدة في معايير

المراقف الموحدة (UFC,2016) [1]

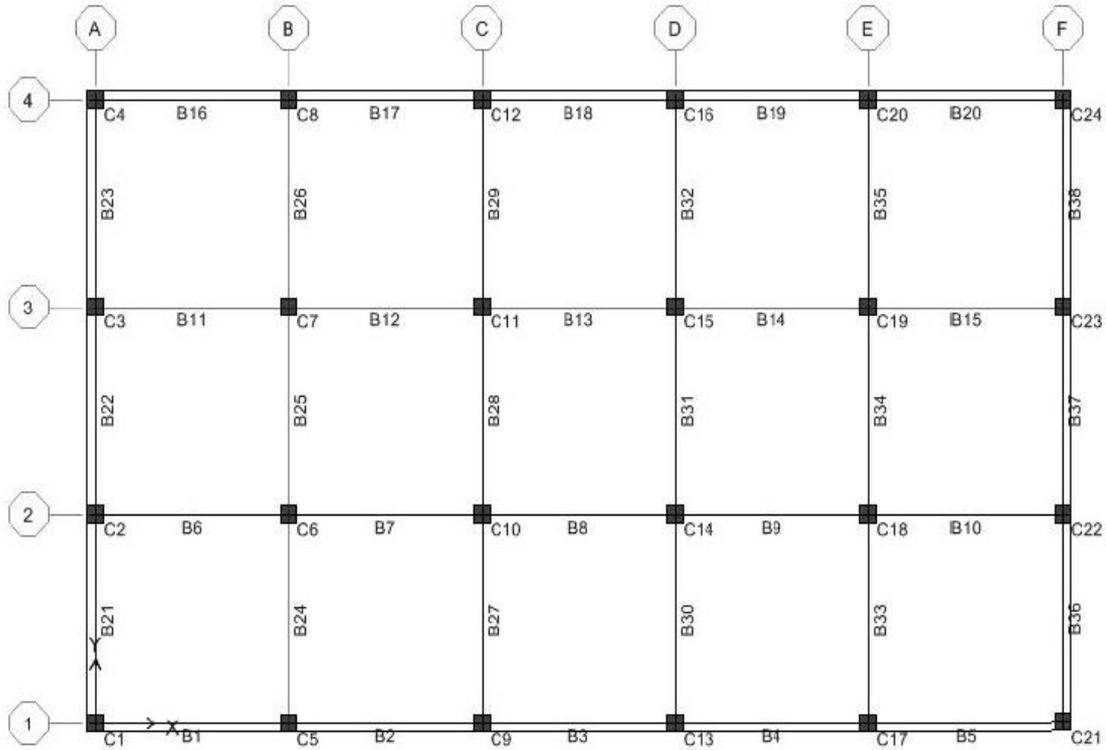
3- الدراسة المرجعية :

قام الباحث (David N et al., 2018) [6] بإجراء دراسة لمبنى مكون من 12 طابق من الإطارات العزمية من البيتون المسلح حيث تم تشكيل ثلاثة نماذج تنتمي الى فئات زلزالية مختلفة ، A , C , D حسب الكود (IBC-2009) [7] وكانت البارمترات الزلزالية وفق ما هو مبين في الجدول التالي :

الجدول (1): البارمترات الزلزالية للمناطق الثلاث A,C,D [6]

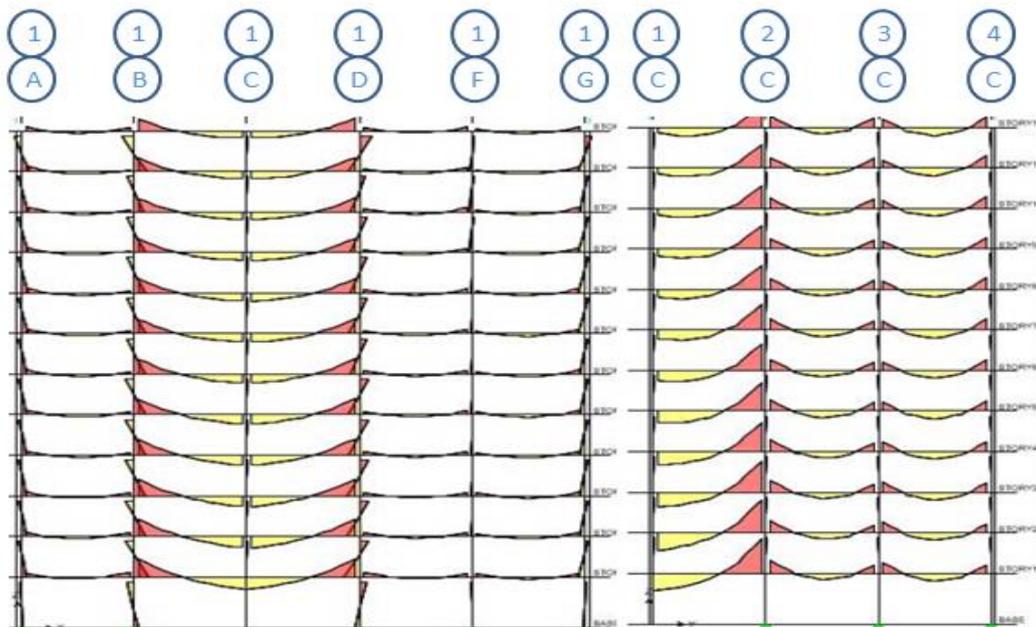
	SDC A Ordinary Moment Frame	SDC C Intermediat e Moment Frame	SDC D Special Moment Frame
Zip Code	33122	10013	94105
Response acceleration Ss	0.065g	0.424g	1.50g
Response acceleration S1	0.024g	0.094g	0.61g
Seismic use group	I	I	I
Site class	D	D	D
Fa	1.6	1.4608	1
Fv	2.4	2.4	1.5
Response modification R	3	5	8

❖ بعد ذلك قام بإزالة أعمدة وفق توصيات إدارة الخدمات العامة (GSA,2013) General Services Administration [8] و حساب قيم الطلب - استطاعة (DCR) Demand Capacity Ratio وذلك بتقسيم القوى الداخلية الناتجة عن التحليل بعد إزالة العمود (عزوم انعطاف و قوى قص) على المقاومات المتوقعة لجميع العناصر الانشائية من جوائز وأعمدة .

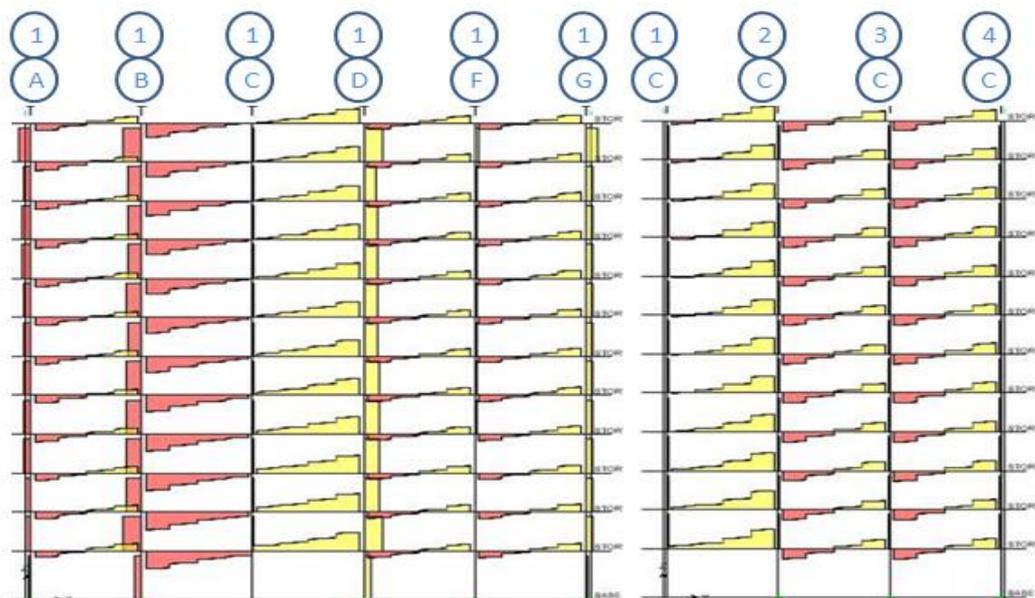


الشكل (1) : مسقط المبنى المدروس مع الأبعاد [6]

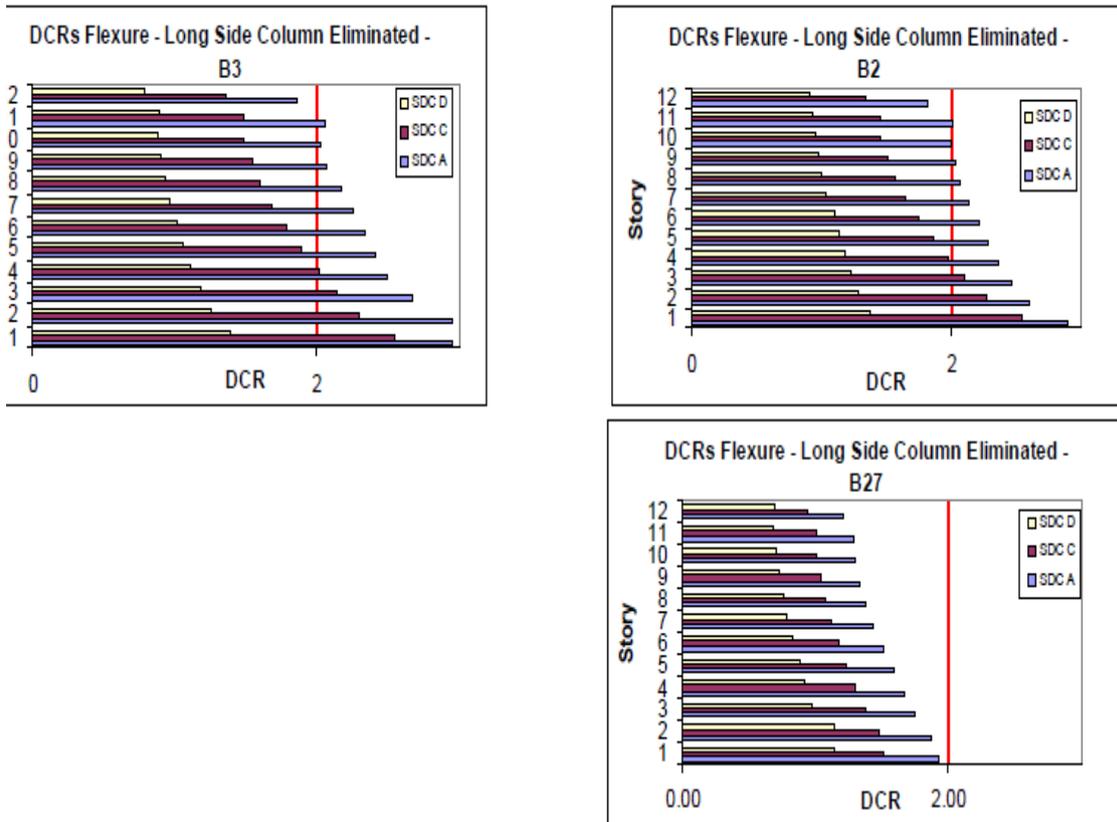
تم إزالة العمود القريب من منتصف المجاز الطويل C9 مما تسبب بإعادة توزيع العزوم في الجوائز وكانت الجوائز الحرجة هي تلك التي تتقاطع مع العمود المزال B2,B3,B27 . يظهر الشكلان نتائج العزوم وقوى القص بعد عملية الازالة للإطارين المتقاطعين في العمود C9 .



الشكل (2) : عزوم الانعطاف في الإطارين حيث موقع العمود المزال [6]



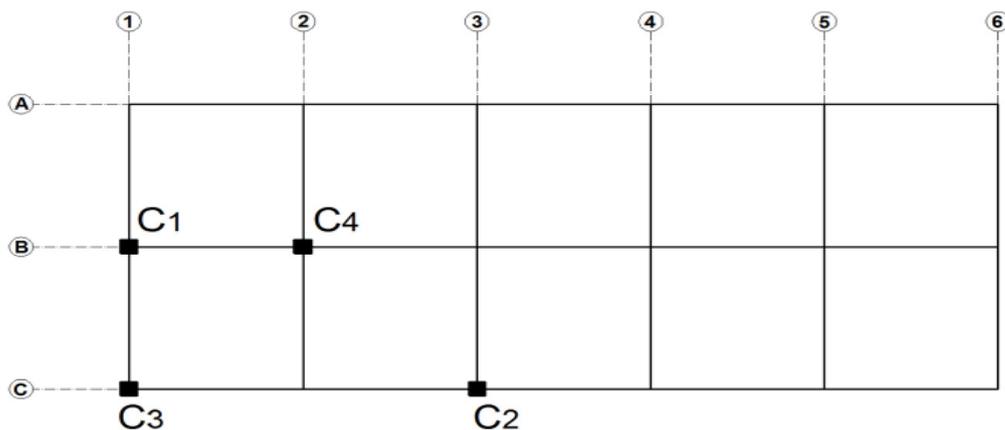
الشكل (3) : قوى القص في الإطارين حيث موقع العمود المزال [6]



الشكل (4) : نتائج قيم DCR الإنعطافية لحالة إزالة العمود C9 في الجوائز B3 , B2 , B27 [6]

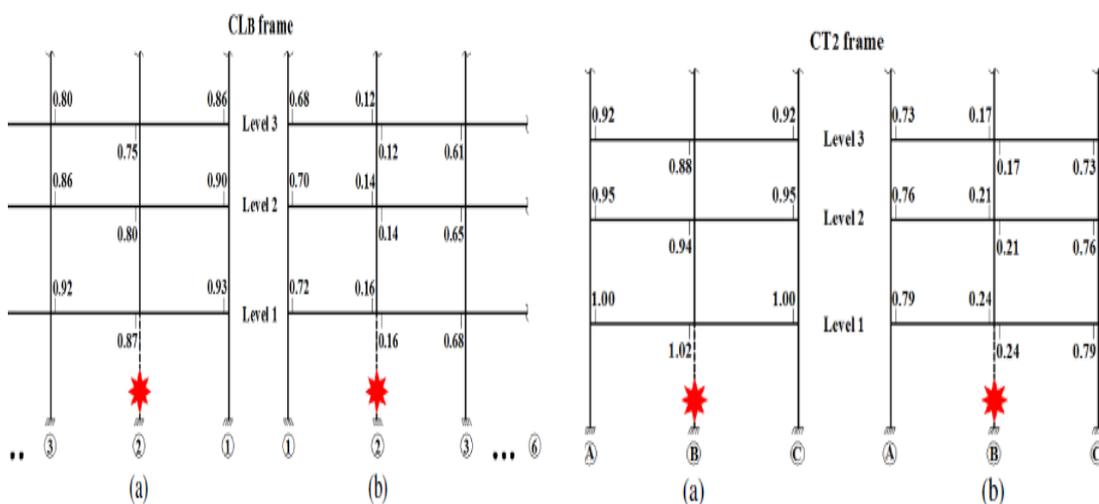
توصل الباحثون إلى أن المبنى المصمم وفق الفئة الزلزالية D لا يحتاج أي تسليح إضافي لمقاومة الانهيار المتتابع لأن جميع قيم DCR أقل من 2 ، بينما تجاوزت قيم DCR الحد المسموح في الجوائز B2,B3 في الطوابق الأربعة الأولى للمبنى المصمم وفق الفئة الزلزالية C ، وأما بالنسبة للمبنى المصمم وفق الفئة الزلزالية A تجاوزت قيم DCR الحد المسموح في الجائزين B2,B3 في جميع الطوابق عدا الأخير.

قام الباحث (T.S. Moldovan et al., 2012) [9] بتقييم احتمالية الانهيار المتتابع لمبنى إطاري نموذجي مكون من 13 طابق بالاعتماد على نسب الطلب – استطاعة ، المبنى مصمم وفق الكود الزلزالي الروماني اعوام 1992,2006,2008 ، بتسارع $a=0.24g$. وتم إزالة الأعمدة بالاستناد الى توصيات GSA لمواقع الإزالة حسب الشكل (5) مع اعتماد التراكب $2(DL+0.25LL)$.



الشكل (5) : مسقط افقي للمبنى يوضح مواقع الأعمدة المزالة [8]

بعد حساب نسب DCR للنماذج الثلاث وحالات الإزالة الأربعة. النماذج الثلاث لا تملك احتمالية للانهار المتتابع عند سيناريو فقدان أحد الأعمدة، وباستثناء بعض الجوائز فإن سلوك المنشأ يعتبر مرن (عندما تكون القيمة اقل من 1) ويرضي معايير القبول حسب GSA (عندما تكون القيمة اقل من 2) .



الشكل (7) : نتائج قيم DCR لحالة إزالة العمود C4 وفق المحور B (a- حالة الانعطاف b- حالة القص)

الشكل (6) : نتائج قيم DCR لحالة إزالة العمود C4 وفق المحور 2 (a- حالة الانعطاف b- حالة القص)

الجدول (2): مقارنة بين قيم DCR للنماذج الثلاث [8]

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
	<i>Low risk for progressive collapse</i>				<i>No risk for progressive collapse</i>			
P100-2006	0.85	1.10	0.84	0.95	0.73	0.77	0.69	0.92
	<i>Low risk for progressive collapse</i>				<i>No risk for progressive collapse</i>			
EC-8	0.75	0.82	0.74	0.85	0.62	0.72	0.60	0.85
	<i>No risk for progressive collapse</i>				<i>No risk for progressive collapse</i>			

عندما زادت القوة الزلزالية بمقدار 5.2% ، 21% على الترتيب ادى ذلك الى انخفاض DCR بمقدار 7% ، 17% على الترتيب ، بالمحصلة زيادة الطلب الزلزالي والمرتبطة بتطور الكود الزلزالي الروماني ساهمت في زيادة استطاعة الجوائز وبالتالي ساهمت في تحسين المقاومة ضد الانهيار المتتابع .

4- طرائق البحث :

حساب DCR في المنشآت الاطارية أو غيرها [1]، يتم إنشاء نموذج خطي للبناء، وهذا النموذج يحتوي كل المكونات الرئيسية باستثناء العمود المزال ، عندما تكون القيمة أقل من 1 يعتبر السلوك مرن وعندما تكون القيمة أقل من 2 يعتبر مقاوم للانهار المتتابع ، أما عندما تتجاوز قيمة 2 يعتبر المبنى غير مقاوم للانهار المتتابع من وجهة نظر UFC

تعرف الأفعال الناتجة (قوى داخلية وعزوم) ب QUD lim .

$$DCR = QUDLim / QCE$$

وفيها : QCE المقاومة المتوقعة للمكونات والعناصر

أنواع الاحمال Loads :

لدينا حالتين تحميل منفصلتين :

i. QUD deformation-controlled actions الأفعال التي يتحكم بها التشوه

ii. QUF force-controlled actions الأفعال التي تتحكم بها القوة

ونناقش حالتين التحميل :

1- حالة تحميل QUD Deformation-Controlled Actions:

يتم تطبيق تراكب الأحمال على كل البلاطات المجاورة للعنصر المزال وفي كل البلاطات فوق العمود

المزال كما هو مبين في الشكل (8) وفق التراكب التالي:

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

حيث :

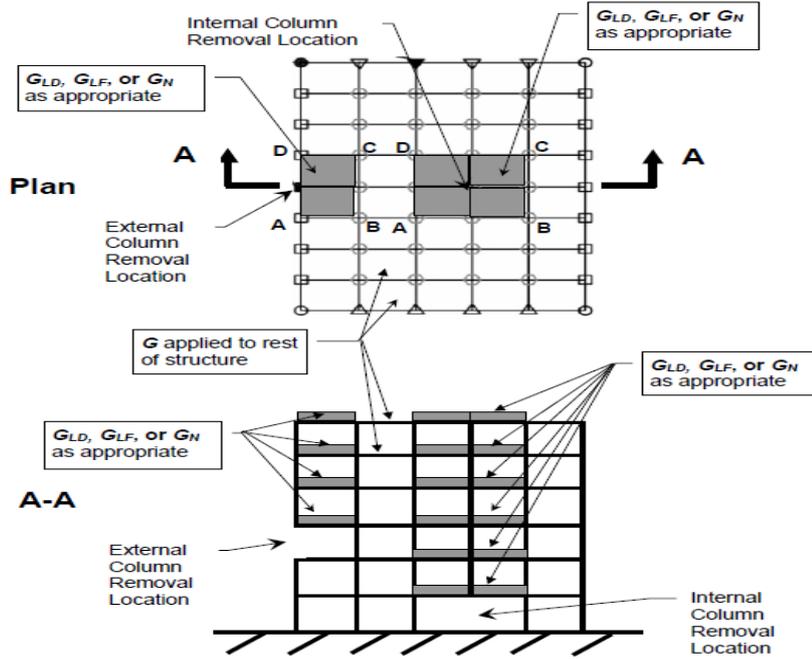
GLD : أحمال الجاذبية المتزايدة لحالة التحميل Deformation-Controlled Actions

ΩLD : معامل تصعيد الحمولة لحساب Deformation-Controlled

أما بالنسبة لبقية البلاطات البعيدة عن العمود المزال والغير محملة ب GLD يتم تطبيق التراكب التالي

:

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



الشكل (8) : اماكن تطبيق تراكيب الأحمال المختلفة على البلاطات [1]

2- حالة تحميل QUF Force-Controlled Actions :

في البلاطات المجاور للعنصر المزال و في كل البلاطات التي تعلوه يتم تطبيق التراكب التالي

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

GLF : أحمال الجاذبية المتزايدة لحالة تحميل Force-Controlled Actions

ΩLF : معامل تصعيد الحمولة لحساب Force-Controlled Actions لحالة Linear Static

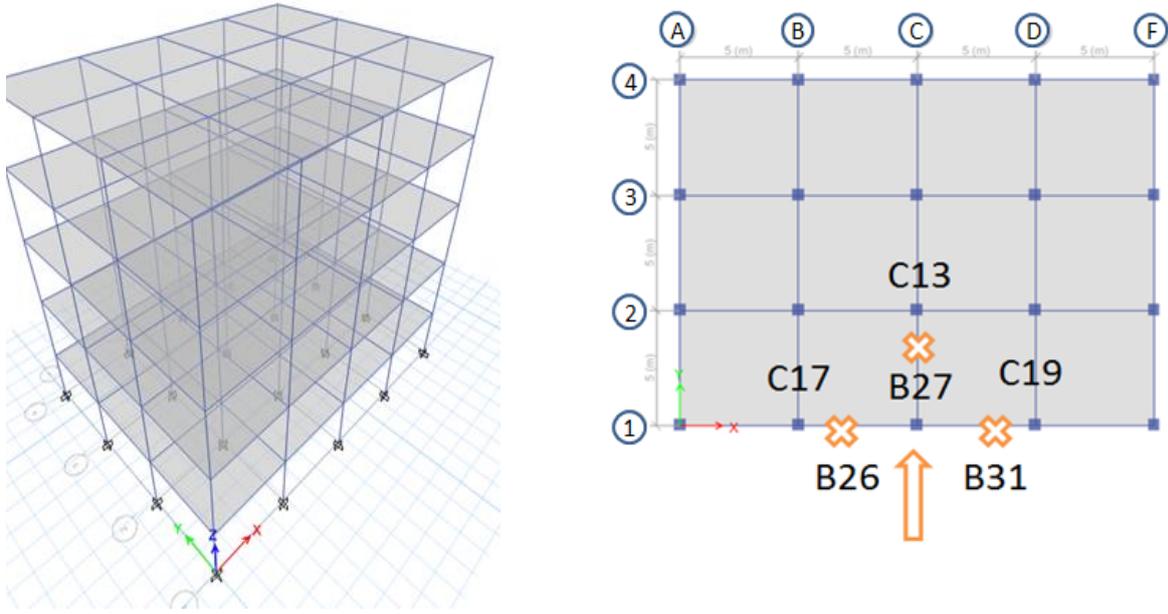
في باقي البلاطات غير المحملة بال GLF يتم تطبيق التراكب التالي :

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

نماذج الأبنية المدروسة :

المباني المدروسة تقع في مناطق زلزالية مختلفة الشدة ($0.25g - 0.3g$) مكونة من خمس طوابق من الإطارات 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 الأبعاد على برنامج ETABS ، يتضمن تأثيرات $P-\Delta$.

المباني المدروسة متطابقة من حيث عدد الطوابق والتباعدات بين المحاور وكذلك الارتفاع الطائفي وخصائص المواد المستخدمة ولكن مختلفة من حيث المنطقة الزلزالية وبالتالي الطلب الزلزالي مختلف مما تسبب باختلاف في أبعاد وتسليح بعض العناصر الإنشائية. قمنا بإزالة العمود C18 الواقع على تقاطع المحورين (1 ، C) ، عملية الإزالة تسببت بإعادة توزيع القوى الداخلية من عزوم وقوى قص وقوى ناظمية ، كون الجوائز المتصلة بالعنصر المزال (B26-B27-B31) بالإضافة الى الأعمدة المجاورة (C17-C13-C19) هي العناصر الأكثر حرجاً سيتم حساب DCR لهذه العناصر وتحقيق اشتراطات UFC.



الشكل (9) : نموذج ثلاثي الابعاد للمبنى - مسقط افقي للمبنى

الجدول (3): نماذج الأبنية المدروسة

قيم ال DCR		الأعمدة المدروسة لتحديد القوى النظامية	الجوائز المدروسة لتحديد العزم والقص	الشدة الزلزالية		النماذج المدروسة
0.3g	0.25g					
أول طابق ثاني طابق ثالث طابق رابع طابق خامس طابق	أول طابق ثاني طابق ثالث طابق رابع طابق خامس طابق	C13-C17-C19	B31-B26-B27	0.3g	0.25g	مبنى من خمس طوابق قبل إزالة العمود C18
أول طابق ثاني طابق ثالث طابق رابع طابق خامس طابق	أول طابق ثاني طابق ثالث طابق رابع طابق خامس طابق	C13-C17-C19	B31-B26-B27	0.3g	0.25g	مبنى من خمس طوابق بعد إزالة العمود C18

بعد إجراء التحليل باستخدام برنامج ETABS وتحديد قيم العزوم وقوى القص والقوى النظامية تم تنظيم

النتائج وفق ما يلي :

يبين الجدول (4) مقدار الزيادة في القوة الزلزالية بين النموذجين المصممين وفق الشدتين الزلزاليتين

المختلفتين (0.25g - 0.3g) .

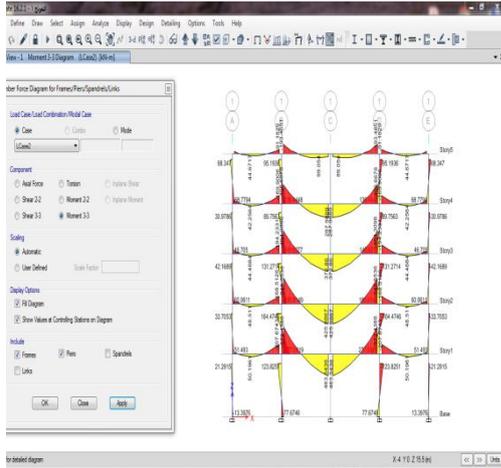
يبين الشكلان (10-11) توزيع العزوم في الجائر B26 قبل وبعد إزالة العمود على الترتيب.

يبين الشكلان (12-13) توزيع العزوم في الجائز B27 قبل وبعد إزالة العمود على الترتيب.
يبين الشكلان (14-15) توزيع القص في الجائز B26 والجائز B27 والناتج عن اخطر تراكب حمولات زلزالية على الترتيب.

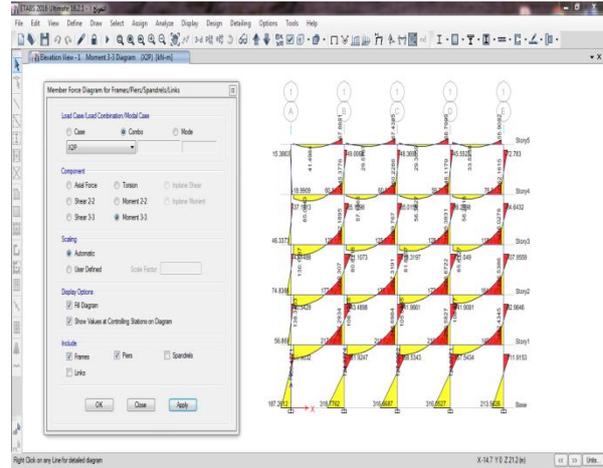
يبين الشكلان (16-17) توزيع العزوم في الجائز B26 والجائز B27 بعد إزالة العمود على الترتيب.
يبين الشكلان (18-19) توزيع القوى الناظمية في الاعمدة المدروسة قبل وبعد إزالة العمود على الترتيب.

الجدول (4) : توزيع القص القاعدي على الطوابق في النموذجين (0.25g - 0.3g)

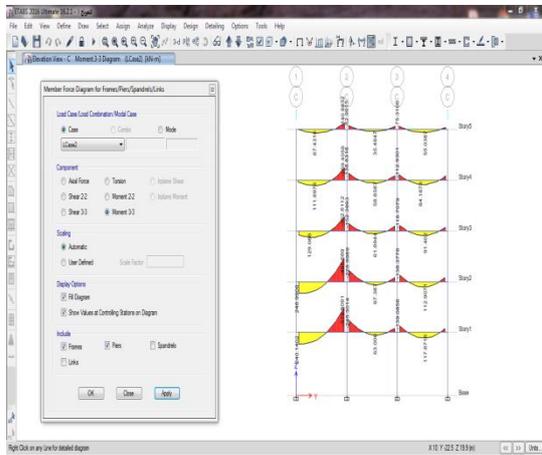
الزيادة في القوة الزلزالية %	z = 0.25g			z = 0.3g		
	القوة الزلزالية	الارتفاع الطابقي	الطابق	القوة الزلزالية	الارتفاع الطابقي	الطابق
	kN	m		kN	m	
12.96	756.14	19.20	الطابق الخامس	868.75	19.20	الطابق الخامس
12.96	630.63	15.20	الطابق الرابع	724.56	15.20	الطابق الرابع
12.96	464.68	11.20	الطابق الثالث	533.89	11.20	الطابق الثالث
12.96	298.72	7.20	الطابق الثاني	343.21	7.20	الطابق الثاني
12.96	131.42	3.20	الطابق الاول	150.99	3.20	الطابق الاول
12.96	2281.59			2621.40		



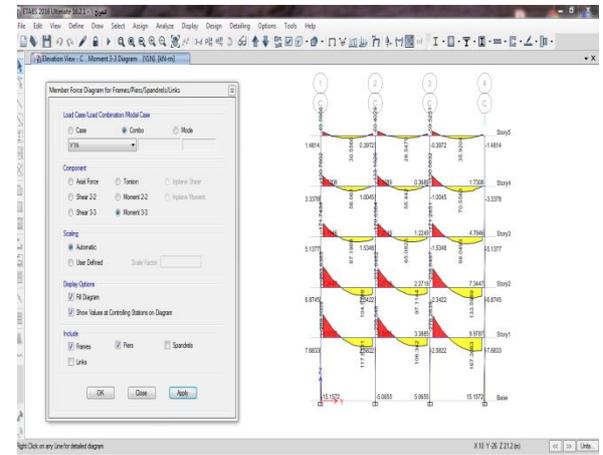
الشكل (11) : توزيع العزوم في الجائر B26 بعد إزالة العمود والناتج عن التراكب GLD



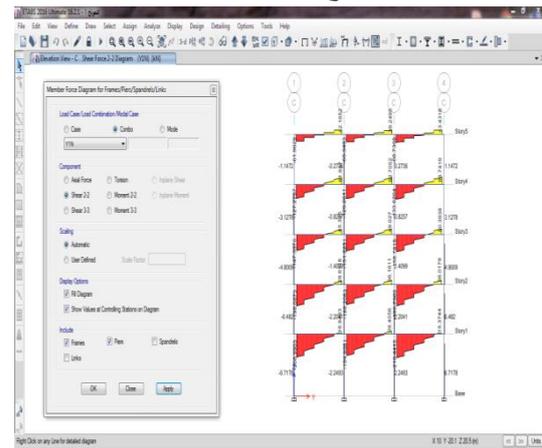
الشكل (10) : توزيع العزوم في الجائر B26 والناتج عن اخطر تركيب زلزالي X2P



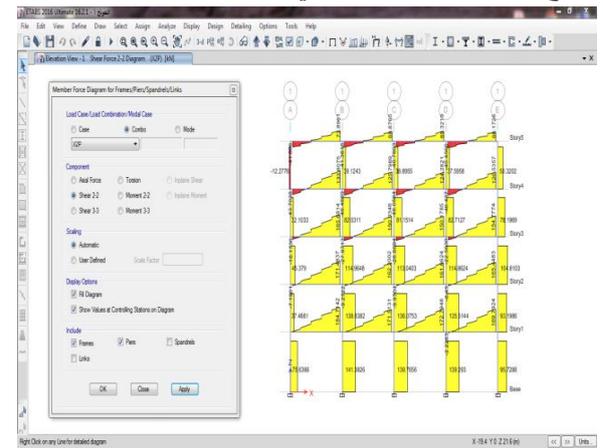
الشكل (13) : توزيع العزوم في الجائر B27 بعد إزالة العمود والناتج عن التراكب GLD



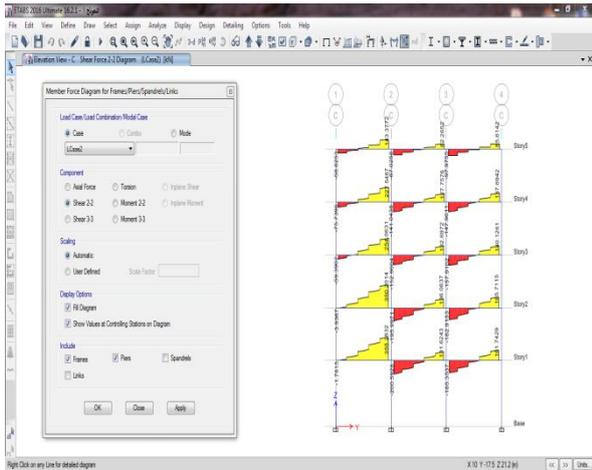
الشكل (12) : توزيع العزوم في الجائر B27 والناتج عن اخطر تركيب زلزالي Y1N



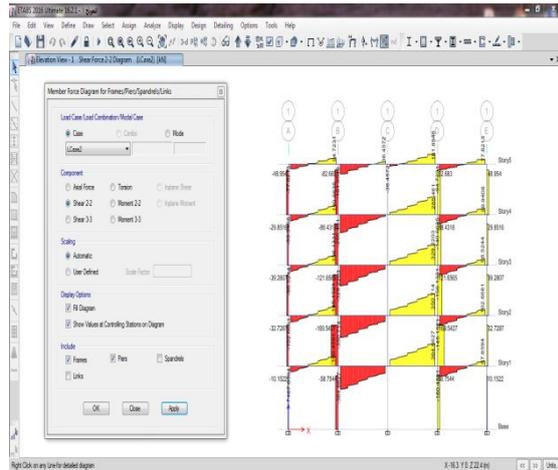
الشكل (15) : توزيع القص في الجائر B27 والناتج عن اخطر تركيب زلزالي Y1N



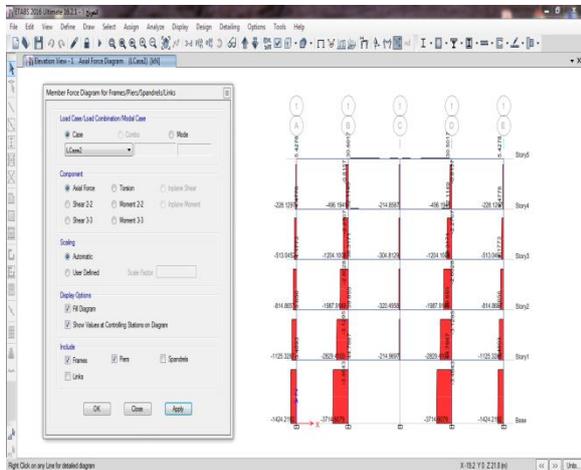
الشكل (14) : توزيع القص في الجائر B26 والناتج عن اخطر تركيب زلزالي X2P



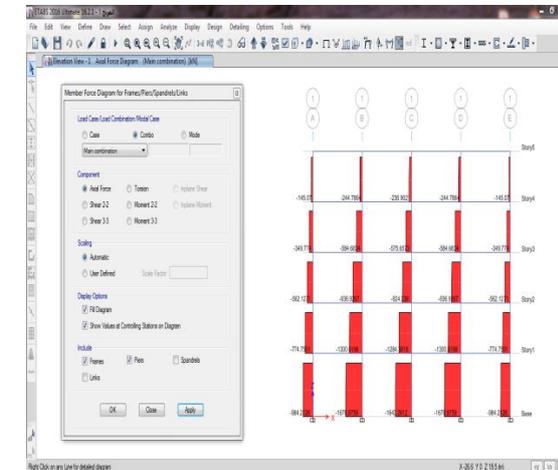
الشكل (17) : توزيع القص في الجانز B27 بعد إزالة العمود والناتج عن التراكب GLF



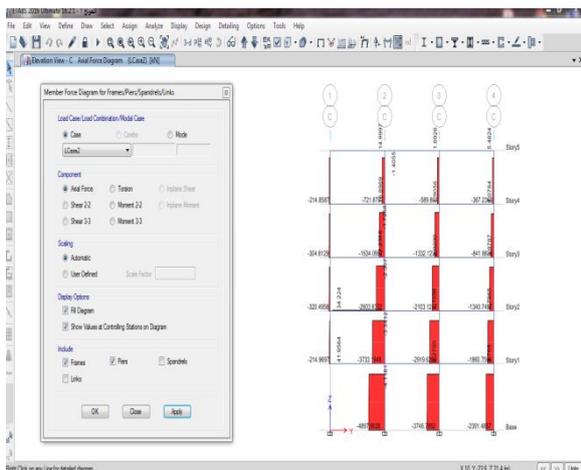
الشكل (16) : توزيع القص في الجانز B26 بعد إزالة العمود والناتج عن التراكب GLF



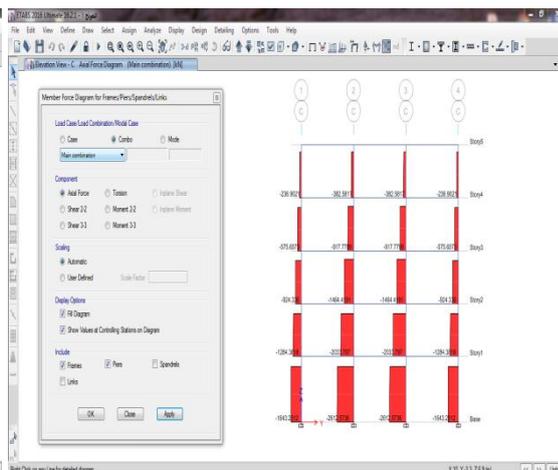
الشكل (19) : توزيع القوى الناضمية في الأعمدة بعد الازالة والناتج عن التراكب (C17-C19) GLF



الشكل (18) : توزيع القوى الناضمية في الأعمدة والناتج عن التركيب X2P (C17-C19)



الشكل (21) : توزيع القوى الناضمية في العمود بعد الازالة والناتج عن التراكب GLF (C13)



الشكل (20) : توزيع القوى الناضمية في العمود (C13) والناتج عن التركيب X2P

يبين الجدول (5) نتائج ال DCR لعزوم الانعطاف ، والجدول (6) نتائج ال DCR لقوى القص ، أما الجدول (7) فيبين قيم DCR للقوى الناظمية المجاورة للعمود المزال للمبنى A المصمم وفق الشدة الزلزالية (0.25g).

الجدول (5) : نتائج قيم DCR لعزم الأنعطاف للجوائز المتصلة مع العمود المزال

التحقق من قيم الطلب - استطاعة في الجوائز تحت تأثير العزم							
الجانز	الطابق	الابعاد	العزم المقاوم الموجب (t.m)	العزم المقاوم السالب (t.m)	العزم الموجب بعد الازالة (t.m)	العزم السالب بعد الازالة (t.m)	قيم DCR
							العزم الموجب
B26-B31	الاول	35*60	30.7	44.7	48.3	57.2	1.28
	الثاني	35*60	38.0	44.7	42.5	54.5	1.22
	الثالث	35*60	30.7	38.0	37.2	48.4	1.27
	الرابع	30*60	23.1	30.4	28.7	40.6	1.34
	الخامس	35*40	10.1	14.7	8.9	19.3	1.31
B27	الاول	35*60	30.7	44.7	24	51.9	1.16
	الثاني	35*60	30.7	38	24.8	49.5	1.30
	الثالث	30*50	15.4	24.7	12.9	30.2	1.22
	الرابع	25*50	12.40	18.6	11.1	26.9	1.45
	الخامس	20*40	7.30	8.0	6.7	14	1.75

الجدول (6) : نتائج قيم DCR لقوى القص للجوائز المتصلة مع العمود المزال

التحقق من قيم الطلب - استطاعة في الجوائز تحت تأثير القص					
الجانز	الطابق	الابعاد	الحد الادنى المقاوم على القص (t)	القص الناتج عن الازالة (t)	DCR
B26-B31	الاول	35*60	22.5	36.4	1.62
	الثاني	35*60	21.0	35	1.67
	الثالث	35*60	17.7	32.9	1.86
	الرابع	30*60	16.0	28.5	1.78
	الخامس	35*40	13.6	16.1	1.18
B27	الاول	35*60	22.5	35.5	1.58
	الثاني	35*60	18.2	35	1.92
	الثالث	30*50	16	25.4	1.59
	الرابع	25*50	13.60	22.7	1.67
	الخامس	20*40	10.30	14.3	1.39

الجدول (7) : نتائج قيم DCR للقوى الناظمية للأعمدة المجاورة للعمود المزال

التحقق من قيم الطلب - استطاعة في الاعمدة تحت تأثير الضغط المركزي					
الجانز	الطابق	الابعاد	الحد الادنى المقاوم على الضغط (t)	الضغط المركزي الناتج عن الازالة (t)	DCR
C17-C19	الاول	50*50	359.4	371.4	1.03
	الثاني	50*50	328.2	282.9	0.86
	الثالث	45*45	265.8	198.7	0.75
	الرابع	40*40	210.0	120.4	0.57
	الخامس	40*40	210.0	49.6	0.24
C13	الاول	45*45	276.3	489.7	1.77
	الثاني	45*45	265.8	373.3	1.40
	الثالث	40*40	265.8	260.3	0.98
	الرابع	40*40	210.00	163.4	0.78
	الخامس	40*40	210.00	72.1	0.34

يبين الجدول (8) نتائج ال DCR لعزوم الأنعطاف ، والجدول (9) نتائج ال DCR لقوى القص ، أما الجدول (10) فيبين قيم DCR للقوى الناظمية المجاورة للعمود المزال للمبنى B المصمم وفق الشدة الزلزالية (0.3g).

الجدول (8) : نتائج قيم DCR لعزم الأنعطاف للجوائز المتصلة مع العمود المزال

التحقق من قيم الطلب - استطاعة في الجوائز تحت تأثير العزم							
الجانز	الطابق	الإبعاد	العزم المقاوم الموجب (t.m)	العزم المقاوم السالب (t.m)	العزم الموجب بعد الإزالة (t.m)	العزم السالب بعد الإزالة (t.m)	قيم DCR
							العزم الموجب
B26-B31	الأول	35*60	41.9	57.2	44.2	56.5	1.06
	الثاني	35*60	41.9	49.7	41.1	54.2	0.98
	الثالث	35*60	34.1	41.9	37.3	51.1	1.09
	الرابع	30*60	33.8	33.8	29.7	43.3	0.88
	الخامس	35*40	16.3	16.3	8.8	19.7	0.54
B27	الأول	35*60	41.9	57.2	25.4	52.3	0.61
	الثاني	35*60	41.9	49.7	25.9	50	0.62
	الثالث	30*50	14	33.7	12.7	31.1	0.91
	الرابع	25*50	13.89	27.1	10.9	26.5	0.78
	الخامس	20*40	10.67	10.7	6.5	14.2	0.61

الجدول (9) : نتائج قيم DCR لقوى القص للجوائز المتصلة مع العمود المزال

التحقق من قيم الطلب - استطاعة في الجوائز تحت تأثير القص					
الجانز	الطابق	الإبعاد	الحد الأدنى المقاوم على القص (t)	القص الناتج عن الإزالة (t)	DCR
B26-B31	الأول	35*60	42.7	38	0.89
	الثاني	35*60	42.7	34.8	0.81
	الثالث	35*60	42.7	33.8	0.79
	الرابع	30*60	26.2	29.7	1.13
	الخامس	35*40	14.6	16.4	1.12
B27	الأول	35*60	42.7	36.1	0.85
	الثاني	35*60	42.7	35.6	0.83
	الثالث	30*50	26	25.9	1.00
	الرابع	25*50	20.20	23.4	1.16
	الخامس	20*40	11.30	14.5	1.28

الجدول (10) : نتائج قيم DCR للقوى الناعمة للأعمدة المجاورة للعمود المركزي

التحقق من قيم الطلب - استطاعة في الأعمدة تحت تأثير الضغط المركزي					
الجانز	الطابق	الإبعاد	الحد الأدنى المقاوم على الضغط (t)	الضغط المركزي الناتج عن الإزالة (t)	DCR
C17-C19	الأول	55*55	397.1	379	0.95
	الثاني	55*55	397.1	290	0.73
	الثالث	50*50	328.2	205.2	0.63
	الرابع	50*50	328.2	125.3	0.38
	الخامس	45*45	265.8	51.3	0.19
C13	الأول	55*55	397.1	497.3	1.25
	الثاني	55*55	397.1	379.3	0.96
	الثالث	50*50	328.2	265	0.81
	الرابع	50*50	328.20	167	0.51
	الخامس	45*45	265.80	73.3	0.28

5- النتائج و المناقشة:

بعد عرض فيما يلي مقارنة قيم ال DCR الناتجة عن التسارعين (0.25g و 0.3g) ، ففي الجدولين (11-12) نبين مقارنة قيم DCR للعزوم الموجبة والسالبة الحاصلة في الجوائز B26 و B27 على مختلف الطوابق وعلى

الترتيب . و في الجدولين (13-14) نبين مقارنة قيم DCR لقوى القص والقوى الناظمية الحاصلة في الجوائز B26 و B27 وفي العمودين C13 و C17 على الترتيب .

الجدول (11): مقارنة نتائج DCR لعزوم الأنعطاف الموجبة للنموذجين (0.25g - 0.3g)
الجدول (12): مقارنة نتائج DCR لعزوم الأنعطاف السالبة (- 0.3g) (0.25g)

0.25 g	0.3 g	Story	Beam	0.25 g	0.3 g	Story	Beam
1.28	0.99	1	B26-B31	1.57	1.06	1	B26-B31
1.22	1.09	2		1.12	0.98	2	
1.27	1.22	3		1.21	1.09	3	
1.34	1.28	4		1.24	0.88	4	
1.31	1.21	5		0.88	0.54	5	
1.16	0.91	1	B27	0.78	0.61	1	B27
1.3	1.01	2		0.81	0.62	2	
1.22	0.92	3		0.84	0.81	3	
1.45	0.98	4		0.9	0.78	4	
1.75	1.33	5		0.92	0.61	5	

الجدول (14): مقارنة نتائج DCR للقوى الناظمية
(0.3g - 0.25g)

الجدول (13): مقارنة نتائج DCR لقوى القص
(0.3g - 0.25g)

0.25 g	0.3 g	Story	Column
1.03	0.95	1	C17-C19
0.86	0.73	2	
0.75	0.63	3	
0.57	0.38	4	
0.24	0.19	5	
1.77	1.25	1	C13
1.4	0.96	2	
0.98	0.81	3	
0.78	0.51	4	
0.34	0.28	5	

0.25 g	0.3 g	Story	Beam
1.62	0.89	1	B26-B31
1.67	0.81	2	
1.86	0.79	3	
1.78	1.13	4	
1.18	1.12	5	
1.58	0.85	1	B27
1.92	0.83	2	
1.59	1	3	
1.67	1.16	4	
1.39	1.28	5	

من الجداول المبينة أعلاه و بالمقارنة يتبين ما يلي :

- 1- زادت قيم الطلب-استطاعة DCR في النموذج (0.25g) بمقدار 20% لعزوم الانعطاف و 40% لقوى القص و 20% للقوى الناظمية عن مقابلاتها في النموذج (0.3g)
- 2- إن الجوائز الداخلية المتصلة مع العمود المزال (B27) في كلا النموذجين تحقق شرط القبول ، بينما الجوائز الخارجية المتصلة مع العمود المزال (B26,B31) تحقق شرط القبول فقط في المبنى المصمم وفق الشدة 0.3g بينما لا تحقق الشرط في المبنى المصمم وفق الشدة 0.25g وذلك بالنسبة لعزوم الانعطاف الموجبة الناجمة عن اعادة توزيع الاحمال بعد ازالة العمود.

3- الجوائز الداخلية والخارجية المتصلة مع العمود المزال في كلا النموذجين لا تحقق شرط القبول ، باستثناء الجوائز في الطابق الارضي في كلا النموذجين والجائزين الداخليين المتصلين بالعمود المزال في مستوي الطابق الثالث والرابع في النموذج المصمم وفق الشدة $0.3g$ بالنسبة لعزوم الانعطاف السالبة الناجمة عن اعادة توزيع الاحمال بعد ازالة العمود ، ولكن لم تتعدى الزيادة المطلوبة في قدرة تحمل الجوائز 30% وهي نسبة مقبولة مقارنة بكلفة الإنشاء لكامل المبنى كونها تنحصر فقط بالجوائز المتصلة مع العنصر المزال والتي تشكل 10% فقط من جوائز المبنى ، أما بقية جوائز المبنى جميعها تحقق شرط القبول.

4- إن جميع الجوائز في المبنى المصمم وفق الشدة $0.3g$ تحقق شرط القبول بالنسبة للقص باستثناء جوائز المتصلة مع العمود في مستوي الطابقين الرابع والخامس ولكن الزيادة المطلوبة كانت بحدود 10% حتى 20% ، بينما لم تحقق الجوائز في المبنى الثاني شرط القبول ، ويعزى ذلك الى ترتيبات تسليح القص الموصي بها بالنسبة للإطارات الخاصة والتي تساهم بشكل كبير جدا في مقاومة قوى القص الناجمة عن إعادة توزيع الأحمال بعد إزالة عنصر شاقولي حامل.

5- جميع أعمدة النموذج المصمم وفق الشدة $0.3g$ تحقق شرط القبول باستثناء العمود الداخلي المجاور للعمود المزال وكانت الزيادة بحدود 25% وكذلك الامر بالنسبة للنموذج الثاني بإستثناء نفس العمود في مستوي الطابقين الاول والثاني والزيادة المطلوبة بحدود 40% , 80% على الترتيب .

6- الإستنتاجات والتوصيات:

- 1- عند زيادة القوة الزلزالية بمقدار 13% بين المنطقتين الزلزاليتين ($0.25g - 0.3g$) ادى ذلك إلى إنخفاض بقيم الطلب-استطاعة (20% للانعطاف- 40% للقص- 20% للقوى النازمية).
- 2- التصميم وفق الشدة الزلزالية الأعلى (زيادة الطلب الزلزالي) تساهم إلى حد بعيد في زيادة متانة المبنى ضد الانهيار المتتابع ، الإطارات الخاصة تساهم بشكل كبير جدا في مقاومة الانهيار المتتابع وبكلفة إضافية صغيرة جداً بالمقارنة مع كلفة إنشاء كامل المبنى، وبالتالي يمكن البناء على هذا الامر لإيجاد آلية تصميم مشتركة لكلا الحدين العرضيين مع الأخذ بعين الاعتبار بقاء شرط عمود قوي - جائز ضعيف محقق بعد اضافة التسليح المطلوب والتحقق من ذلك.

7- المراجع:

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

[2] 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.

[3] American Society of Civil Engineers (ASCE). Minimum design loads for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-05). Structural Engineering Institute of the ASCE; 2005.

[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] Syrian Arab Code for design and implementation of the facilities in the reinforcement concrete .Fourth Edition ,Damascus,2012

[6] David , N., and Kamara , M .(2004). U.S. General services administration progressive collapse design guidelines applied to concrete moment resisting frame. *ASCE Structures Congress Nashville* ,May 18-22, 2004.

[7] International Code Council. 2009 International Building Code (IBC 2009).International Code Council; 2009.

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

[9] 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*.