

## تقييم سلوك مبنى إطاري مقاوم للزلازل من البيتون المسلم تحت تأثير أحمال الانفجارات

أ. د عصام ملحم\* م. عاصم خليل\*\*

### □ ملخص □

في ظل التزايد المستمر للأعمال الإرهابية في الكثير من دول العالم مستهدفة المنشآت الهامة التي يشغلها عدد كبير من الناس، أصبح أحمال الانفجارات موضع اهتمام المهندسين والباحثين للتخفيف من آثارها وتوفير مستوى من التحكم بالانهيار المتوقع حصوله في العناصر الإنشائية؛ للحيلولة دون وقوع خسائر بشرية ومادية كبيرة. تم دراسة نماذج من الإطارات العزمية المقاومة للزلازل من البيتون المسلح، ودراسة تأثير حمولة الانفجارات عليها لتقييم السلوك الإنشائي لهذه الاطارات، وتقديم أفضل الحلول لتجنب الفشل الموضعي الذي قد يتسبب بانهيار كامل المنشأ أو جزء كبير منه، وذلك لضمان استمرار وظيفة المنشأ بعد الانفجار. وقد أظهرت النتائج أن الإطارات الخاصة المقاومة للعزوم من البيتون المسلح ذات سلوك جيد نسبياً تحت تأثير أحمال الانفجارات، وبالتالي يمكن البناء على هذا الأمر للوصول إلى آلية تصميم مشترك ضد الزلازل والانفجارات معاً.

الكلمات المفتاحية: الإطارات العزمية، أحمال الانفجارات، الزلازل، المفاصل اللدنة، المتانة.

\* أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سورية  
\*\* طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سورية

# Evaluation of blast load for an earthquake-resistant RC frame building

Prof. Issam Molhem\*  
Eng. Assem Khalil\*\*

## □ ABSTRACT □

Because of continuous increase of terrorist acts in many countries of the world targeting important facilities and occupied by a large number of people, it made the explosion loads a subject of interest to engineers and researchers to mitigate their effects and provide a level of control over the collapses expected to occur in the structural elements to prevent human and material losses.

Models of earthquake-resistant moment frames made from reinforced concrete were studied under the impact of the explosions load to evaluate the structural behavior of the Frames and to provide the best solutions to avoid local failure, which may cause the collapse of the entire structure or a large part of it in order to ensure the continuity of the function of the structure after the explosion.

The results showed that the special moment resistant frames of reinforced concrete have a relatively good behavior under the influence of explosions, and therefore it is possible to build on this matter to reach a joint design mechanism against earthquakes and explosions together.

Keywords: Moment Frame ; Blast Load ; Earthquake ; Plastic Hinges ; Robustness .

\* Professor, Department Of Structural Engineering, Albaath University, Homs, Syria

\*\*Master Degree student , Department Of Civil Engineering, Albaath University, Homs, Syria

## 1- المقدمة:

إن استخدام المتفجرات من قبل الجماعات الإرهابية لاستهداف الأبنية والمنشآت أصبحت مشكلة حقيقية في المجتمعات الحديثة، حيث أن المتفجرات أصبحت أصغر في الحجم وأكثر قوة، وذلك بسبب زيادة قدرة المواد المتفجرة والتأثيرات الكبيرة المرتبطة بها. إن أعداد الضحايا والوفيات بعد حدوث الانفجار عادة ليس مرتبطاً بالانفجار فقط، وإنما بالفشل الإنشائي الذي يمكن أن يحدث في الهيكل الحامل للمنشأ، والذي يبدأ من عنصر أو عدة عناصر ليستمر أفقياً أو شاقولياً خلال الهيكل مسبباً انهيار كامل المبنى أو جزء كبير منه.

تعددت الهجمات الإرهابية وتتنوع، ومنها ما تعرض له برج التجارة العالمي (WTC) عام 2001، وأيضاً مبنى ألفريد مورا الحكومي في مدينة أوكلاهوما عام 1995. في كلا النموذجين تسبب الفشل الإنشائي بضحايا وإصابات أكثر من موجة الانفجار.

بعد أحداث 11 أيلول عام 2001 التي تسببت بانهيار برج التجارة العالمي، تم إعطاء أهمية إلى احتمالية أن تكون المباني المدنية والحكومية والمناطق ذات الإشغال السكاني الكبير (محطات القطارات، مترو، الملاعب) أهدافاً للجماعات الإرهابية، وبذلك أصبحت المتانة الإنشائية تحت تأثير أحمال الانفجارات قيد الدراسة والاهتمام لسنوات عديدة وخاصة في المجمعات العسكرية، ولهذا السبب فإن معظم الدراسات ليست متاحة للعامة، وإنما فقط متاحة للاستخدام العسكري.

وتسمح بعض الوثائق بالتنبؤ بتأثير أحمال الانفجارات لاستخدامها من قبل مهندسي التصميم؛ مثلاً في EUROCODE EN 1991 – 1 – 7<sup>[1]</sup> أعطى اهتماماً بالأحمال العرضية والانفجارات، ولكن ركز بشكل أساسي على فعل الصدم مثل الصدم الناجم عن العربات، القطارات، السفن، الغازات والمركبات بأنواعها، إلا أن نهجاً إجمالياً للتصميم تحت تأثير أحمال الانفجارات الخارجية ما زال غير موجود.

بعض نهج التصميم واستراتيجيتها تعتمد على ضمان زيادة المقاومة في المنشآت لمقاومة الفشل الموضعي ولكن على أية حال لا يوجد توجيهات متوفرة لحساب أحمال الانفجارات.

وتتطور الإجراءات التي تعطي حلول تصميم عملية ضرورية للتصميم للمنشآت الجديدة والقائمة حتى تستطيع مقاومة تأثيرات أحمال الانفجارات؛ حيث يحتاج المهندس لحساب القوى المؤثرة وفق سيناريو انفجار معين والذي يتضمن نوعية ووزن المتفجر المستخدم، المسافة وهندسية المنطقة المحيطة.

هذه القوى يجب أن تطبق على النظام الإنشائي لتصميم العناصر الإنشائية والوصلات مما يضمن صلابة كافية للمبنى لمقاومة الأفعال العرضية.

## 2- أهمية البحث و أهدافه:

تتنوع المخاطر وتزداد ومنها الزلازل والتهديدات الإرهابية، والأخطاء البشرية وغيرها التي من الممكن حدوثها خلال العمر الافتراضي للمنشأ.

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

ومن هنا، يجب الاهتمام في مرحلة إعادة الإعمار بموضوع التصميم المقاوم للانفجارات بهدف الحصول على مباني قوية؛ وذلك لتجنب الخسائر البشرية الفادحة، خصيصاً أن الأعمال الإرهابية في ازدياد كبير.

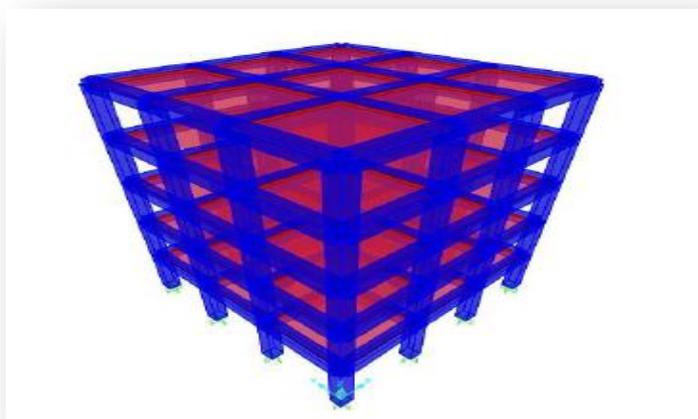
يمكن تلخيص أهداف البحث بما يلي:

دراسة تأثير الحمولات النبضية الانفجارية على الأبنية ذات الجمل الإنشائية المختلفة بشحنات TNT لمعرفة وتقييم مقاومتها وتأثر عناصرها الإنشائية بعد عملية الانفجار بما يسمح بإدخال حمولة الانفجار في تصميم المنشآت الهامة والاستراتيجية والأبنية العالية والمرافق العامة؛ لتخفيف آثار الانفجارات عليها لما

في ذلك من أهمية اجتماعية واقتصادية تتجلى في حماية الأشخاص والتقليل من الخسائر الاقتصادية.

### 3- الدراسة المرجعية:

- قام الباحثان (Mahavir et al.,2015) [2] بإجراء دراسة عن تأثير حمولة الانفجار على مبنى من الإطارات البيتونية المسلحة. المبنى مكوّن من خمسة طوابق، كما يظهر الشكل (1)، التباعد بين محاور الأعمدة 4m، الارتفاع الطابقي 3m. أبعاد مقاطع الأعمدة 60.60cm، أمّا أبعاد مقاطع الجوائز 30.60cm، سماكة البلاطة 12.5cm ، والمقاومة المميزة للبيتون المسلّح 30Mpa.



الشكل (1): نموذج ثلاثي الأبعاد للمبنى المدروس [2]

- تم حساب حمولة الانفجار بالاستناد إلى (IS 4991 – 1968) ، بالتالي تم تشكيل سجلّ زمني (ضغط- زمن) لحمولة الانفجار، وتقسيم الواجهة إلى نقاط محددة، وحساب مقدار الدفع لكل نقطة منها حيث تم تحميل عقد جائز- عمود في الواجهة الأمامية للمبنى.

- تم أخذ شحنة بمقدار 100kg وشحنة أخرى بمقدار 500kg تؤثران على مسافة 30m من المبنى، وكانت بارامترات حمولة الانفجار لكلتا الشحنتين كما تظهر الجداول (1,2).

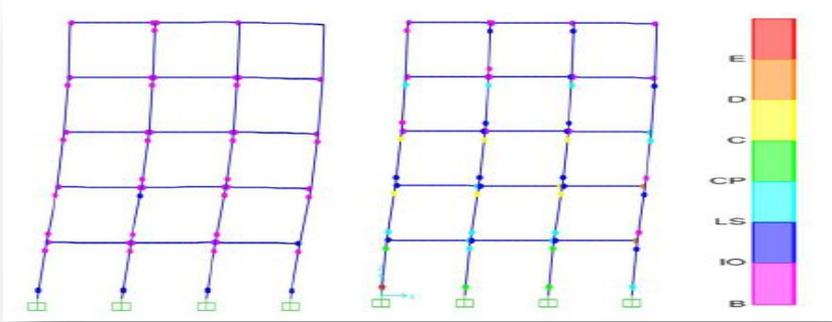
الجدول (1): بارامترات الناتجة عن شحنة الانفجار 100kg [2]

Floor	Point	R (m)	Z(m)	T <sub>d</sub> (ms)	Pr	A	P (kN)
1	1	30.69	66.13	13.367	75.24	6	451.45
	2	30.16	64.99	13.126	9.461	12	953.53
	3	30.16	64.99	13.126	79.46	12	953.53
	4	30.69	66.13	13.367	75.24	6	451.45
2	1	3.084	66.96	13.423	73.86	6	443.21
	2	30.55	65.83	13.321	77.4	12	928.8
	3	30.55	65.83	13.321	77.4	12	928.8
	4	31.08	66.96	13.423	73.86	6	443.24
3	1	31.75	68.40	13.507	72.10	6	432.61
	2	31.23	67.3	12.996	73.57	12	882.9
	3	31.23	67.3	12.996	73.57	12	882.9
	4	31.75	68.40	13.507	72.10	6	432.61
4	1	32.68	70.41	13.72	68.67	6	412.02
	2	32.18	69.33	13.599	71.18	12	854.05
	3	32.18	69.33	13.599	71.18	12	854.05
	4	32.68	70.41	13.72	68.67	6	412.02
5	1	33.85	72.94	13.994	64.25	3	192.76
	2	33.37	71.90	13.855	66.21	6	397.30
	3	33.37	71.90	13.855	66.21	6	397.30
	4	33.85	72.94	13.994	64.25	3	192.76

الجدول (2): البارامترات الناتجة عن شحنة الانفجار 500kg [2]

Floor	Point	R (m)	Z(m)	T <sub>d</sub>	Pr	A	P (kN)
1	1	30.69	38.674	15.15	225.6	6	1353.7
	2	30.16	38.008	14.9	238.3	1	2860.5
	3	30.16	38.008	14.9	238.3	1	2860.5
	4	30.69	38.674	15.15	225.6	6	1353.7
2	1	30.08	39.163	15.27	220.7	6	1324.3
	2	30.55	38.501	15.14	226.6	1	2719.3
	3	30.55	38.501	15.14	226.6	1	2719.3
	4	31.08	39.163	15.27	220.7	6	1324.3
3	1	31.75	40	15.47	213.8	6	1283.1
	2	31.23	39.357	15.31	217.7	1	2613.3
	3	31.23	39.357	15.31	217.7	1	2613.3
	4	31.75	40	15.47	213.8	6	1283.1
4	1	32.68	41.177	15.87	201.1	6	1206.6
	2	32.18	40.549	15.63	207.9	1	2495.6
	3	32.18	40.549	15.63	207.9	1	2495.6
	4	32.68	41.177	15.87	201.1	6	1206.6
5	1	33.85	42.655	16.27	186.3	3	559.17
	2	33.37	42.048	16.03	193.2	6	1159.5
	3	33.37	42.048	16.03	193.2	6	1159.5
	4	33.85	38.674	15.15	225.6	6	1353.7

أظهرت النتائج تغير في قيم الانتقالات بشكل غير منتظم على كامل ارتفاع المبنى بشكل يختلف عن الانتقالات الناتجة عن أحمال الزلازل أو الرياح؛ أي أن المبنى لم يتصرف بشكل ظفري تحت تأثير أحمال الانفجارات. المبنى تصرف بشكل عادي تحت تأثير الشحنة الأولى بدون انهيار، بينما كان السلوك حرجاً تحت تأثير الشحنة الأكبر، حيث تشكلت المفاصل اللدنة في أغلب الجوائز والأعمدة كما يُظهر الشكل (2).



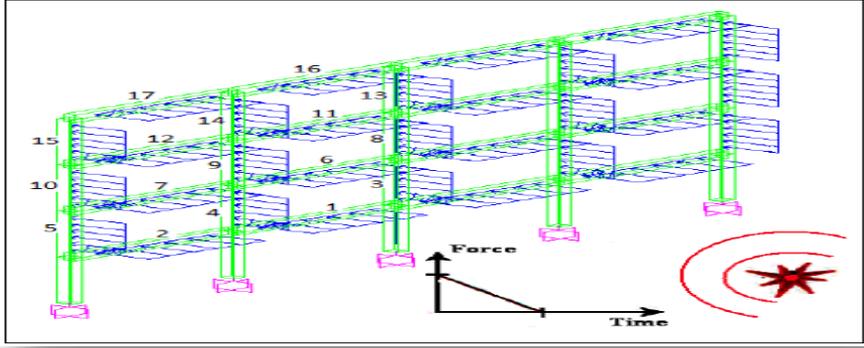
الشكل (2) : المفاصل اللدنة المتشكلة في المبنى [2]

قام الباحثان (Shifferaw et al.,2015) [3] بإجراء دراسة عن تأثير حمولة الانفجار على مبنى من الإطارات الببتونية المسلحة. المبنى مكون من أربعة طوابق، والتباعد بين محاور الأعمدة 6m، الارتفاع الطابقي 3m، أبعاد مقاطع الأعمدة والجوائز موضحة في الجدول (3).

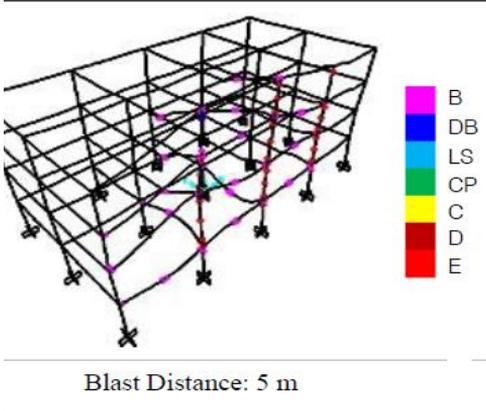
الجدول (3): أبعاد مقاطع الأعمدة والجوائز مع التسليح [3]

Member Group	Dimensions	Top Reinforcement	Bottom Reinforcement
Beams	0.3m × 0.5m	1500 mm <sup>2</sup>	1500 mm <sup>2</sup>
Columns	0.4m × 0.4m	2800 mm <sup>2</sup>	

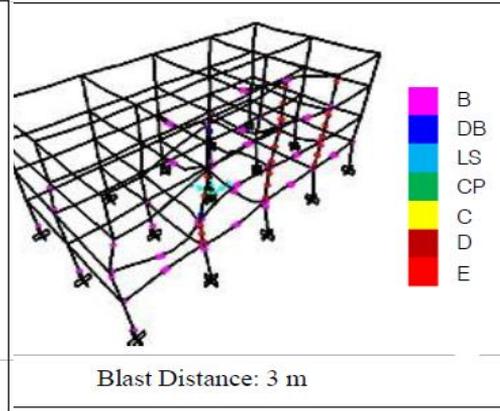
تم تصميم المبنى على حمولة ميتة 3.23kPA وحمولة حية 2kPA مع الأخذ بعين الاعتبار للأحمال الأفقية، أما بالنسبة لوزن المادة المتفجرة فقد تم افتراضها 113.5kg من TNT تؤثر على مسافات مختلفة من المبنى (3,5,7,10)m وتمت النمذجة الحاسوبية باستخدام برنامج SAP2000، الشكل (3).



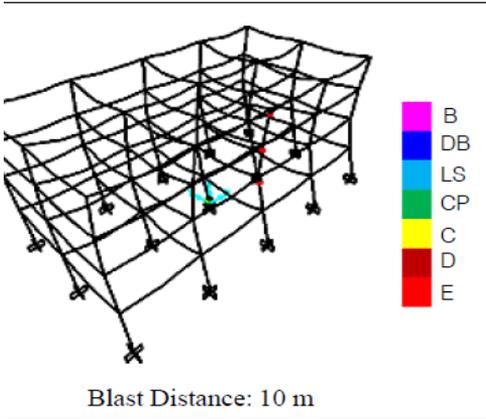
- الشكل (3): تطبيق حمولة الانفجار على الإطار الخارجي للمبنى [3]
- تم الأخذ بعين الاعتبار العزم ( $M_3$ ) كمفصل لدن في العناصر المنعطفة، وكذلك التأثير المشترك ناظمي وانعطافي ( $P-M_2-M_3$ ) كمفاصل لدنة في الأعمدة.
  - أظهرت النتائج أن المبنى آمن عندما تكون الشحنة على بعد 10m، يزداد عدد المفاصل اللدنة والمنهارة المتشكلة كلما اقتربت الشحنة من المبنى، وبالتالي تزداد احتمالية الانهيار.



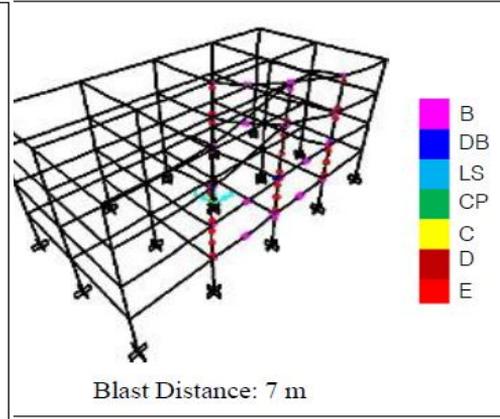
الشكل (5): المفاصل اللدنة المتشكلة في المبنى (الانفجار على بعد 5m) [3]



الشكل (4): المفاصل اللدنة المتشكلة في المبنى (الانفجار على بعد 3m) [3]



الشكل (7) : المفاصل اللدنة المتشكلة في المبنى (الانفجار على بعد 10m) [3]

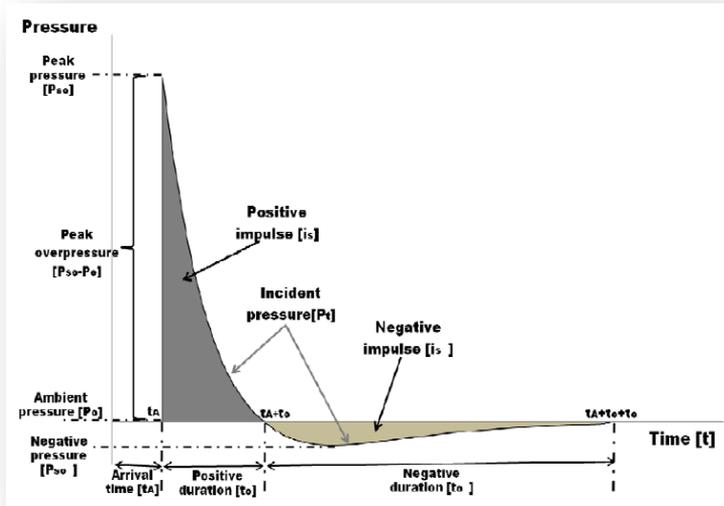


الشكل (6) : المفاصل اللدنة المتشكلة في المبنى (الانفجار على بعد 7m) [3]

#### 4- طرائق البحث:

يعرّف الانفجار بأنه تفاعل كيميائي يحدث خلاله انطلاق للغازات وتحرر للطاقة بشكل سريع، وهي ظاهرة تحدث خلال أجزاء من الثانية مسببةً حرارة وضغط عالين خلال الانفجار، الغازات الساخنة المتشكلة تتوسع لتشغل المساحة المتاحة مما يؤدي إلى انتشار موجة بشكل كروي في الوسط المحيط.

إلى جانب الغازات المتشكلة، يكون الهواء المحيط بالانفجار قد بدأ بالتوسع والجزئيات تتراكم مسببة ما يُعرف بموجة الضغط أو الصدمة الأمامية، التي تحوي كمية كبيرة من الطاقة التي تتحرر خلال الانفجار بسرعة أكبر من سرعة الصوت. يظهر الشكل (8) التعريف المثالي لعلاقة (الضغط - زمن) في حالة موجة الانفجار في الهواء والتي تصل إلى نقطة على بعد مسافة معينة من الانفجار<sup>[4]</sup>.



الشكل (8): السجل الزمني لموجة الانفجار [4]

$(t_A)$ : زمن وصول الموجة (Arrival Time)	$(P_o)$ : الضغط المحيط (ambient pressure)
$(P_{so}^-)$ : ذروة الضغط السالب (Negative Peak pressure)	$(P_{so})$ : ذروة الضغط الموجب (Positive peak pressure)
$(t_0^-)$ : زمن الطور السالب (Negative duration)	$(t_0)$ : زمن الطور الموجب (Positive duration)

الضغط البدائي يسمى الضغط المحيط  $(P_0)$  ambient pressure؛ حيث يزداد فورياً حتى يصل إلى ضغط الذروة  $(P_{so})$  peak pressure خلال زمن  $t_A$  عندها يصل الانفجار إلى النقطة المعتبرة. الزمن الذي يحتاجه الضغط حتى يصل إلى الذروة زمن صغير جداً يمكن افتراضه مساوياً للصفر.

يعرف ضغط الذروة ب  $(P_{so})$

$side\ on\ over\ pressure / peak\ pressure$ ، إن قيمة  $(P_{so})$  وكذلك سرعة انتشار موجة الصدمة تتناقص بزيادة المسافة عن مركز الانفجار، بعد ذلك يتناقص  $P_{so}$  بمعدل متسارع حتى يصل إلى الضغط المحيط  $P_0$  عند زمن  $t_0 + t_A$ .

$t_0$  تشير إلى فترة الطور الموجب من الانفجار، بعد المرحلة الموجبة الضغط أصغر مقارنة بالقيمة البدائية  $P_0$  ليبدأ بعدها الطور السالب من موجة الانفجار. قيمة ذروة الضغط السالب تدعى  $P_{so}^-$ ، والفترة الزمنية المرتبطة بالطور السالب ترمز  $t_0^-$ ، وهي أطول من الفترة المرتبطة بالطور الموجب للموجة.

المعامل الأكثر حرجاً عند حساب حمولة الانفجار هو المسافة بين نقطة الانفجار و المنشأ المدروس، حيث أن ضغط الذروة وسرعة موجة الضغط يتناقصان بسرعة بزيادة المسافة بين مصدر الانفجار والسطح الخارجي المستهدف.

يؤخذ تأثير المسافة بالحسبان من خلال قانون هو كنجيري و بول ماش [5] وهو القانون الأشهر والأكثر شيوعاً؛ حيث تم الحصول على البارامترات من خلال التجارب:

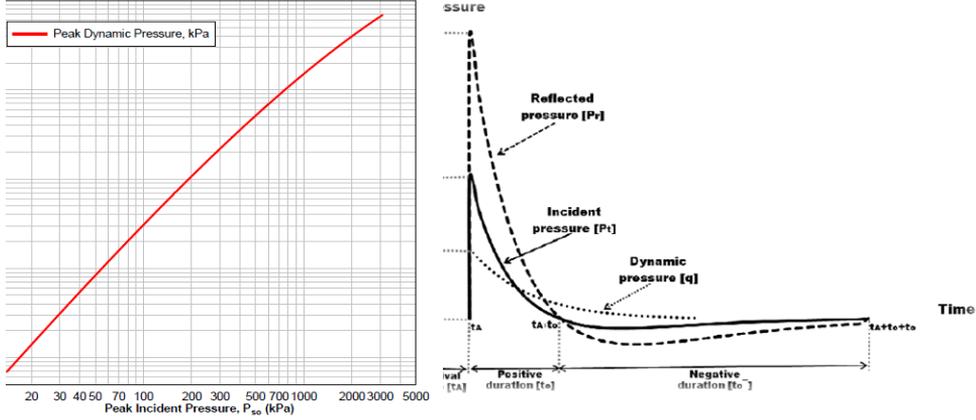
$$Z = R / W^{1/3}$$

$R$  : المسافة بين مصدر الانفجار والنقطة المعتبرة مقدراً ب المتر.

$W$  : وزن المتفجرات مقدراً ب الكيلو غرام.

عندما تصطدم موجة الانفجار مع سطح صلب تنعكس بشكل أكبر مقارنةً مع ضغط الذروة الخارجي  $P_{So}$ ، حيث أنه عندما تنتقل الموجة وتصطدم مع السطح عند الوصول وفي الحالة المثالية ( الخطية ) ينبغي أن ترتدّ جزيئات الهواء بحرية مسببةً ضغطاً منعكساً مساوياً للضغط  $P_{So}$  ، وبالتالي سيخضع السطح لضغط مضاعف، ولكن في حالة موجة الضغط القوية والتي هي ظاهرة لا خطية، فإن انعكاس جزيئات الهواء سيكون مواجه للجزيئات اللاحقة مما يسبب قيم ضغط منعكس أكبر من الحالة الأولى. الشكل (9) يظهر الفرق بين الضغط  $P_{So}$  والضغط المنعكس  $P_R$  ، الضغط المنعكس  $P_R$  قد يكون أكبر عدّة مراتٍ من الضغط  $P_{So}$  ، وهذا يعتمد على هندسة المنشأ، نمط ووزن الشحنة بالإضافة إلى المسافة والعقبات بين المنشأ والمادة المتفجرة.

تنتشر موجة الضغط في الهواء مع تناقص مستمر في السرعة والتي هي أكبر من سرعة الصوت وبالتالي يتحرّك الهواء خلف مقدمة موجة الضغط بنفس الاتجاه ولكن بسرعة أقل. هذا الهواء خلف مقدمة موجة الضغط مسؤول عن تحميل السطح خلال كامل الطور الموجب وأيضاً بزمن صغير بعد ذلك. والضغط الناتج يعرف بالضغط الديناميكي ( $q_t$ ). القيمة البدائية  $q_0$  والتي هي أقل من  $P_{So}$  أو  $P_R$  في حال الضغوط الصغيرة والمتوسطة. قد يبقى الضغط الديناميكي لفترة أطول (2 - 3 sec)؛ يُظهر الشكل (10) تغيّر ذروة الضغط الديناميكي كتابع لقيمة  $P_{So}$ .



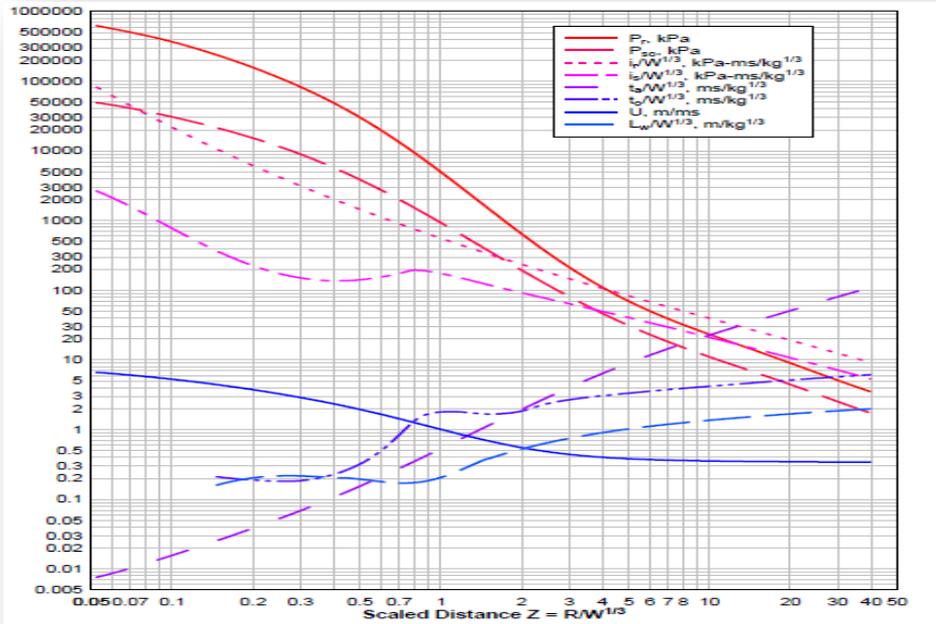
الشكل (10): تغير قيم الضغط

الشكل (9): السجل الزمني للضغط

الديناميكي  $q_t$  كتابع للضغط  $P_{SO}$  [4]

الديناميكي والانعكاسي [4]

تم الحصول على مجموعة كاملة من العلاقات التحليلية التي تعطي بارامترات الانفجار كتابع لوغاريتمي كثير الحدود، وهذه العلاقات تمت برمجتها؛ حيث يظهر الشكل (11) مخططات للحصول على بارامترات المرحلة الموجبة لحالة الانفجار الأرضي، وهي شاملة وتم رسمها من أجل  $Z = 0.05 - 40 \text{ m/kg}^3$ . من هذه المخططات وللحصول على القيم الحقيقية لهذه البارامترات يتم مضاعفة القيمة المستخرجة من المخططات بالقيمة  $W^{1/3}$  حتى يؤخذ الحجم الفعلي للشحنة بعين الاعتبار (تعفى السرعة والضغط من العملية وتكون القيم كما هي واردة من المخططات).



الشكل (11): بارامترات الطور الموجب للموجة الكروية من الانفجار الهوائي [4]

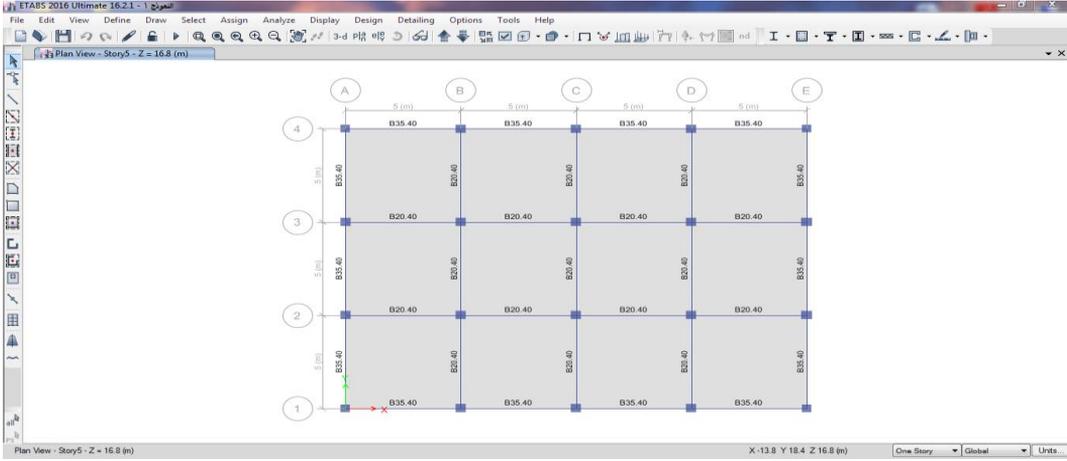
### نماذج الأبنية المدروسة:

تقع المباني المدروسة في مناطق زلزالية مختلفة الشدة؛ حيث المبنى الأول مصمّم وفق الشدة (0.3g) من الإطارات الخاصة المقاومة للعزوم، والمبنى الثاني مصمّم وفق الشدة (0.25g) من الإطارات المتوسطة المقاومة للعزوم [6]، المباني مكوّنة من سبعة طوابق مصمّمة وفق الكود العربي السوري وملحقه الثاني [7].

المباني المدروسة متطابقة من حيث عدد الطوابق والتباعد بين المحاور وكذلك الارتفاع الطابقي وخصائص المواد المستخدمة، ولكن مختلفة من حيث المنطقة الزلزالية

## تقييم سلوك مبنى إداري مقاوم للزلازل من الببتون المسلح تحت تأثير أحمال الانفجارات

وبالتالي الطلب الزلزالي مختلف مما تسبب باختلاف في أبعاد وتسليح بعض العناصر الإنشائية.



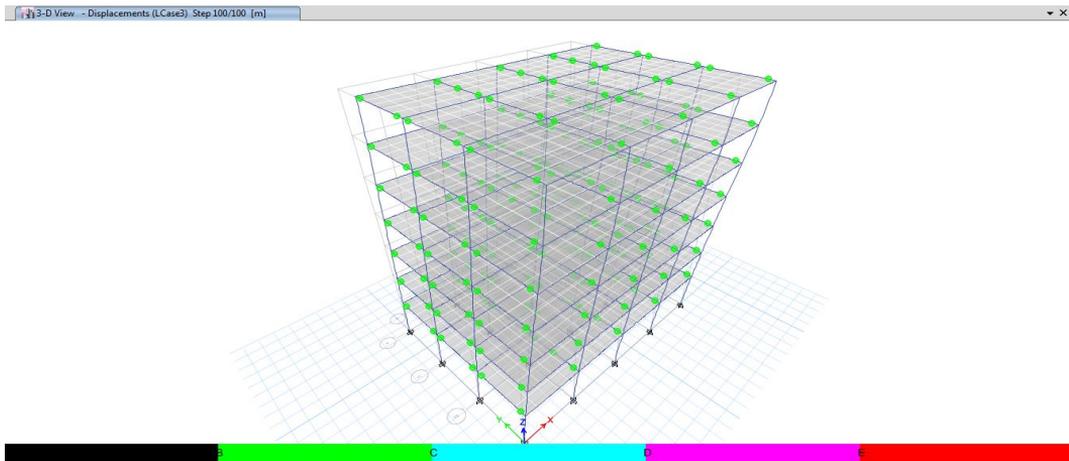
الشكل (12) : مسقط أفقي للمبنى المدروس

المرحلة الأولى: اختبار حمولة 100kg من مادة TNT على بعد 15m من المبنى.

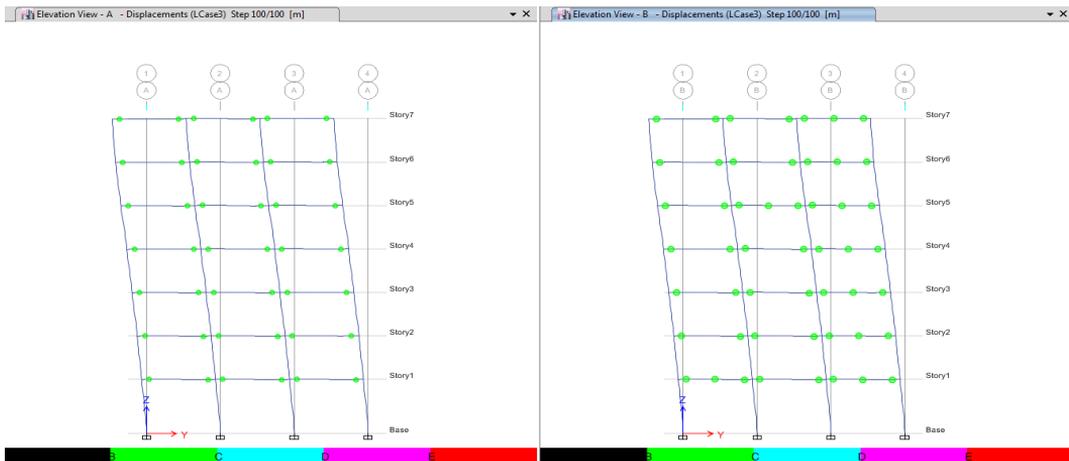
الجدول (4): بارامترات حمولة الانفجار للشحنة 100kg للمبنى المكون من سبعة طوابق

Story	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7
$Z$	3.3	3.5	3.8	4.3	4.7	5.4	6
$P_r$	260	220	160	150	120	80	70
$P_{so}$	110	100	70	60	50	30	25
$i_r$	210	200	160	150	130	100	120
$i_s$	85	90	70	60	50	50	40
$t_A$	4.1	4.2	5	6	7	9	10
$t_o$	3.1	3.2	3.8	4	4.2	4	4.2
$t_{rf}$	9.5	10.6	11.7	11.8	12	12	16
$q_o$	32	25	15	11	9	18	20
$t_{of}$	8.7	10.6	11.7	11.8	12	15.5	15.6
$P_{so} + C_D q_0$	140	125	85	71	59	48	45

### النموذج الأول المصمم وفق الشدة $0.3g$

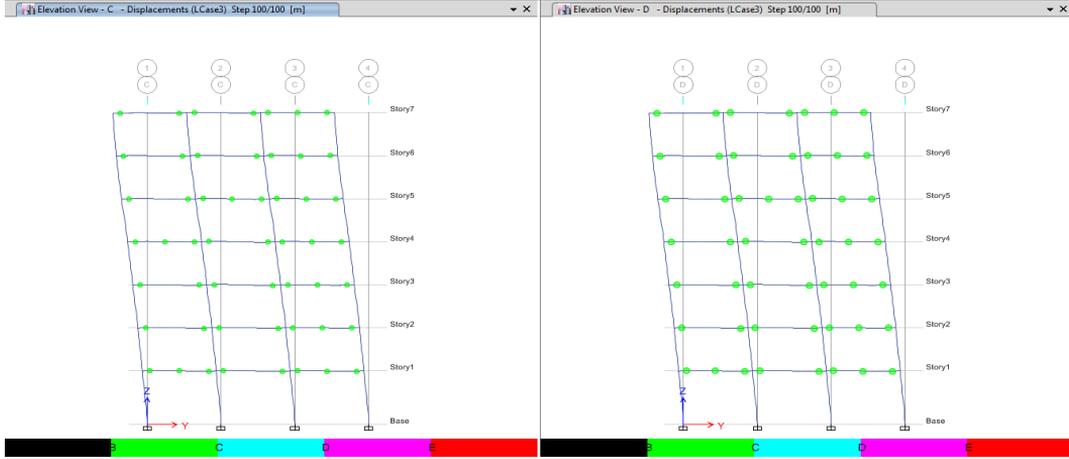


الشكل ( 13 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الأول المصمم وفق الشدة  $0.3g$

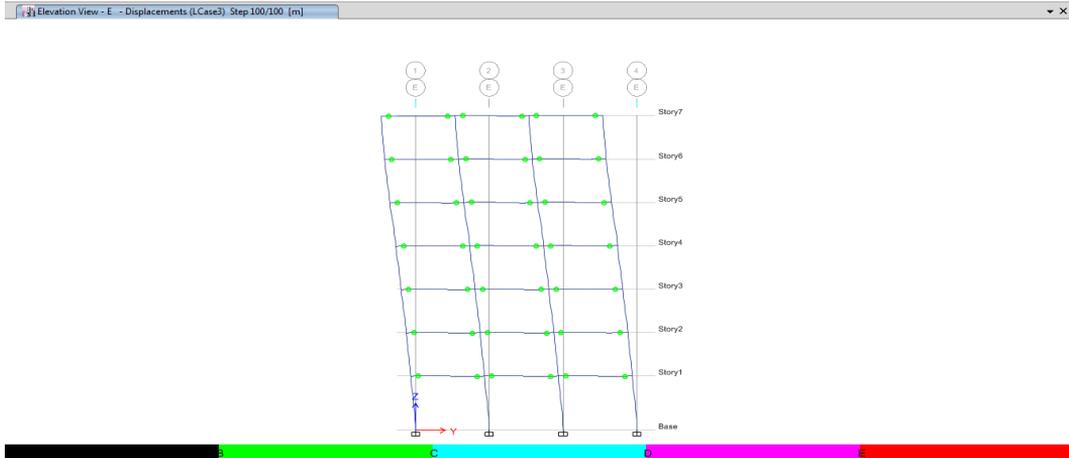


الشكل ( 14 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الأول وفق المحاور A,B

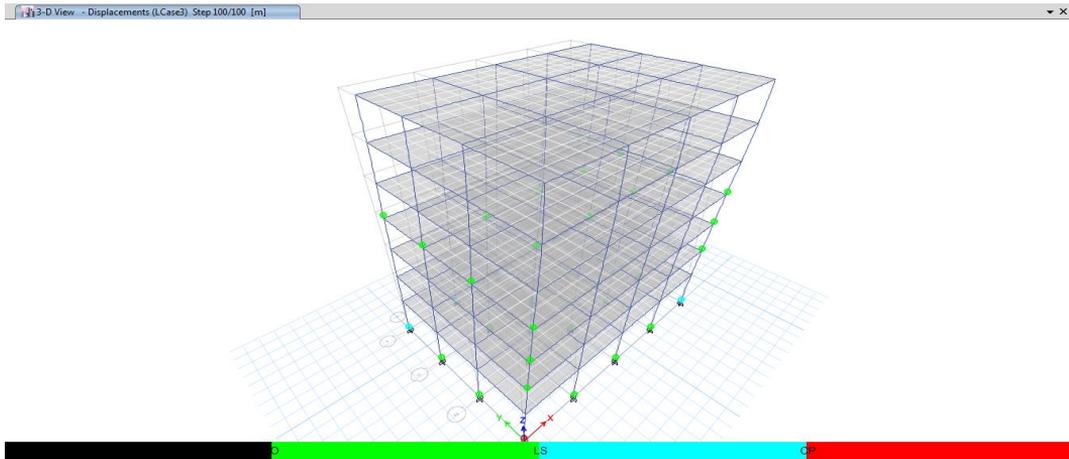
## تقييم سلوك مبنى إداري مقاوم للزلازل من الببتون المسلح تحت تأثير أحمال الانفجارات



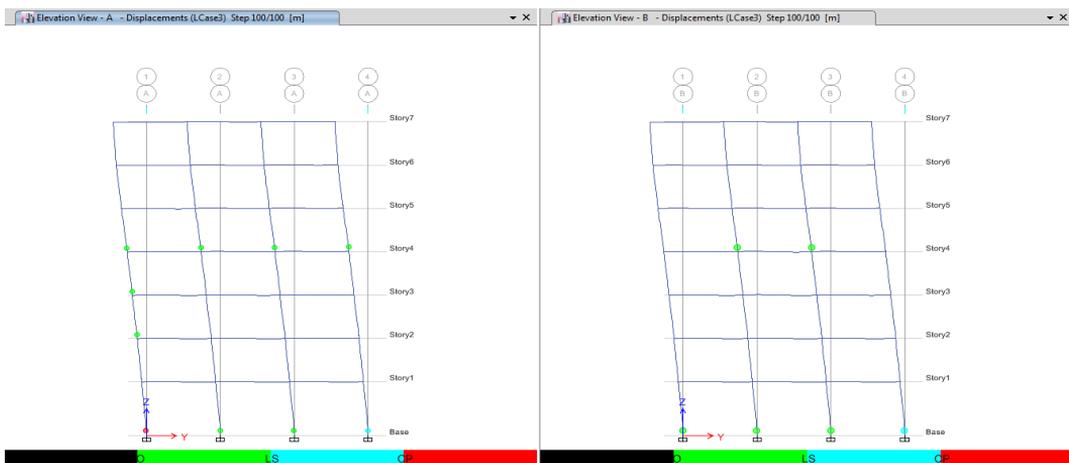
الشكل ( 15 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الأول وفق المحاور C,D



الشكل ( 16 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الأول وفق المحور E

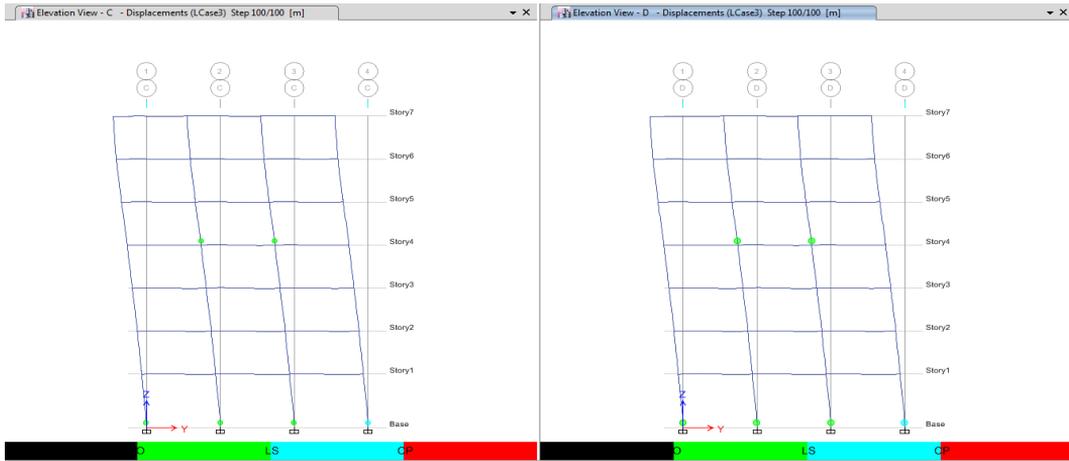


الشكل ( 17 ): المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الأول المصمم وفق الشدة 0.3g

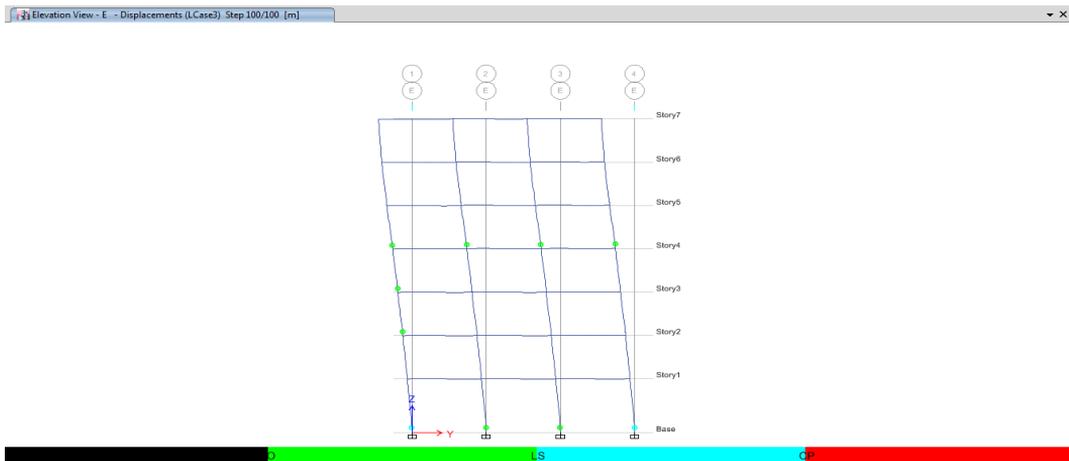


الشكل ( 18 ): المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الأول وفق المحاور A,B

## تقييم سلوك مبنى إطاري مقاوم للزلازل من الببتون المسلح تحت تأثير أحمال الانفجارات

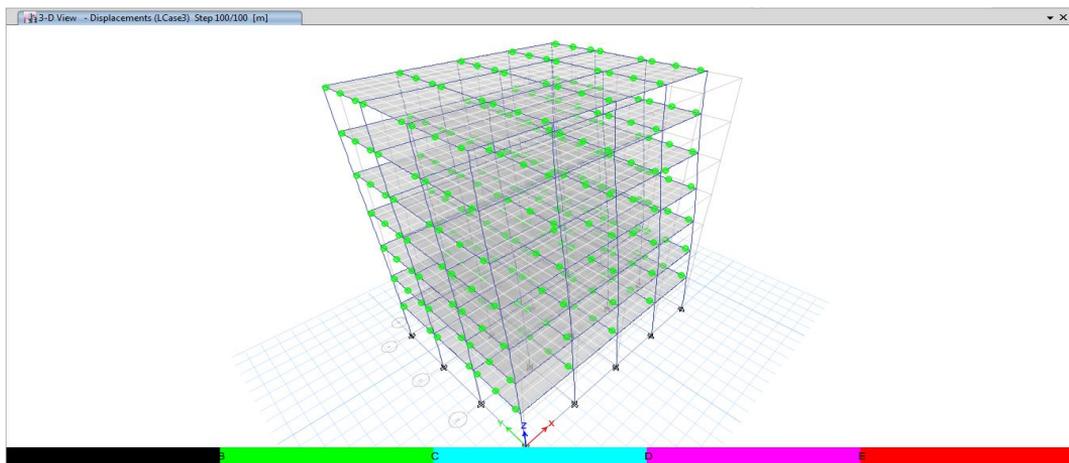


الشكل ( 19 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الأول وفق المحاور C,D

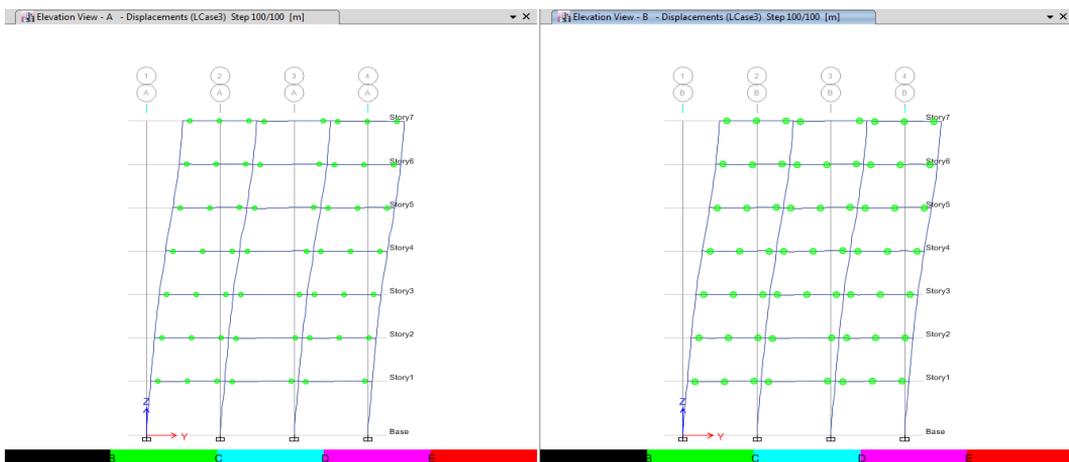


الشكل ( 20 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الأول وفق المحور E

### النموذج الثاني المصمم وفق الشدة 0.25g

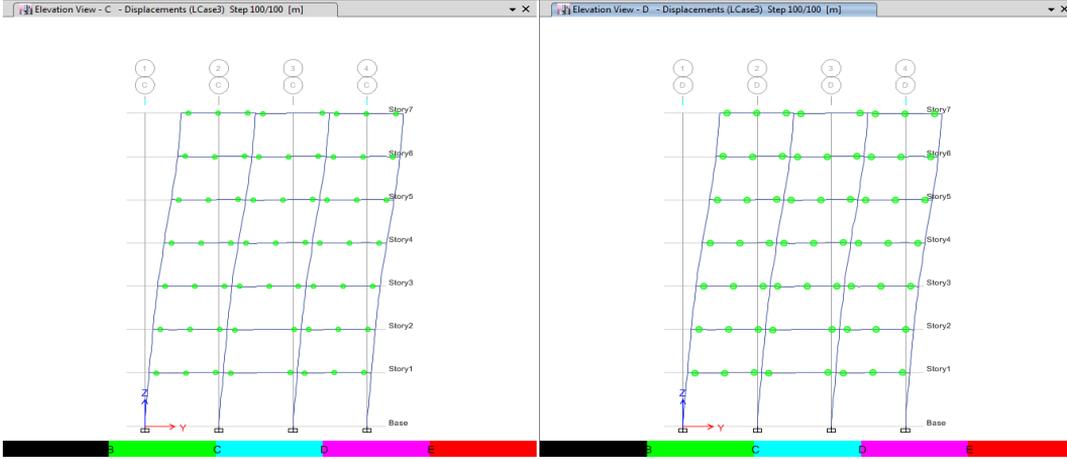


الشكل ( 21 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الثاني المصمم وفق الشدة 0.25g

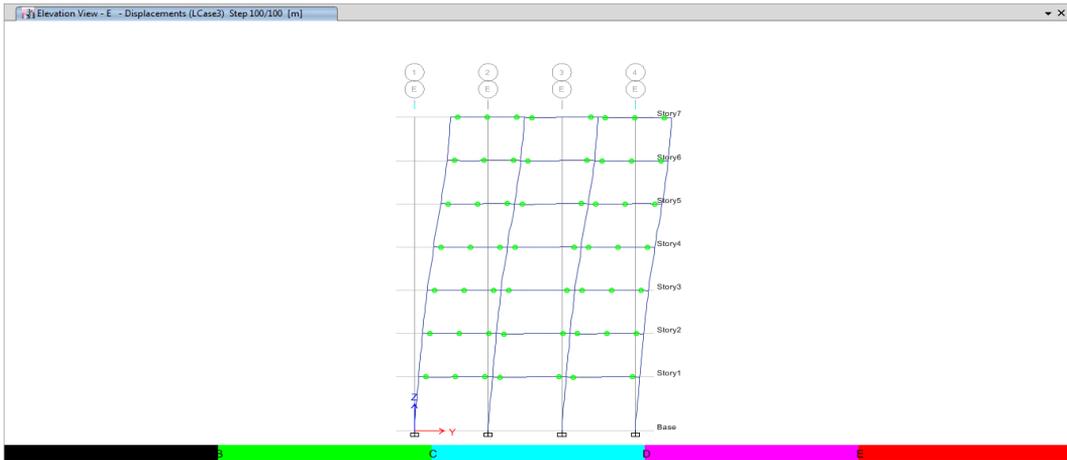


الشكل ( 22 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الثاني وفق المحاور A,B

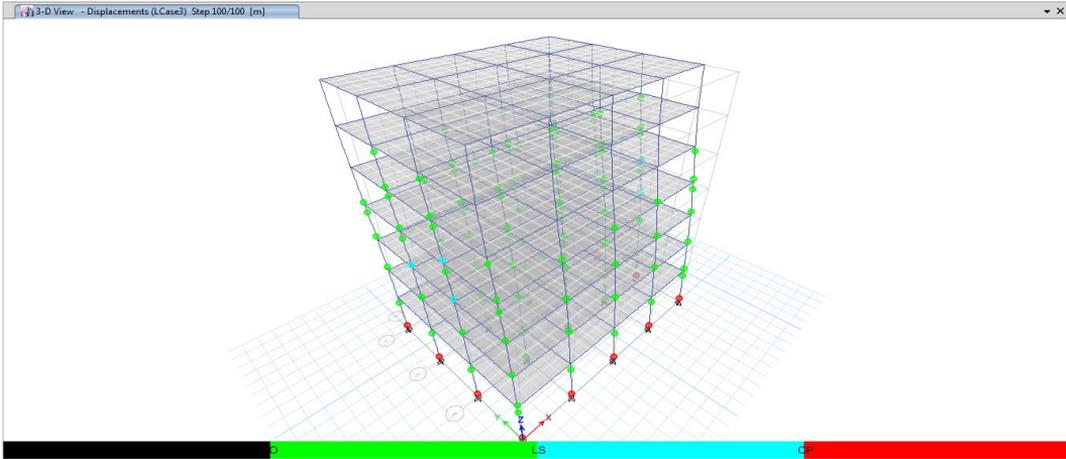
## تقييم سلوك مبنى إداري مقاوم للزلازل من الببتون المسلح تحت تأثير أحمال الانفجارات



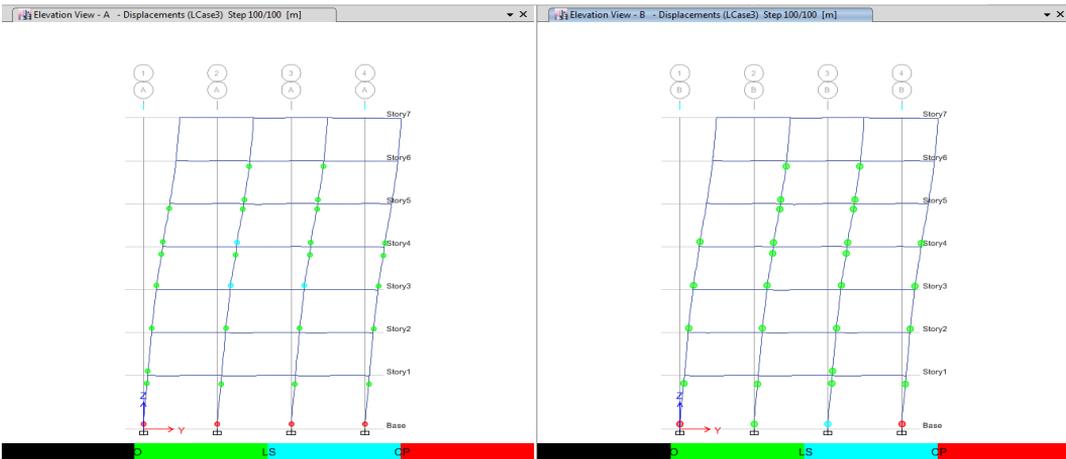
الشكل ( 23 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الثاني وفق المحاور C,D



الشكل ( 24 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الثاني وفق المحور E

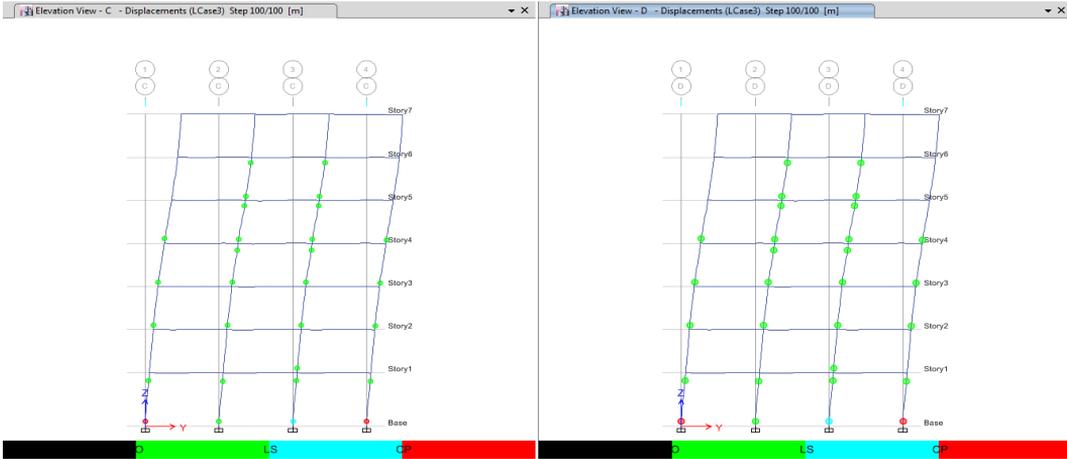


الشكل ( 25 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الثاني المصمم وفق الشدة  $0.25g$

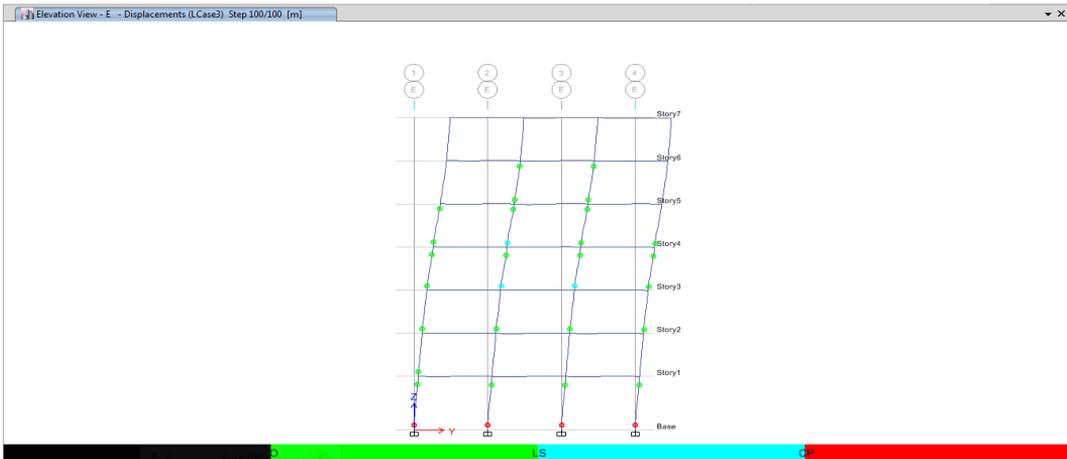


الشكل ( 26 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الثاني وفق المحاور A,B

## تقييم سلوك مبنى إطاري مقاوم للزلازل من الببتون المسلح تحت تأثير أحمال الانفجارات



الشكل ( 27 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الثاني وفق المحاور C,D



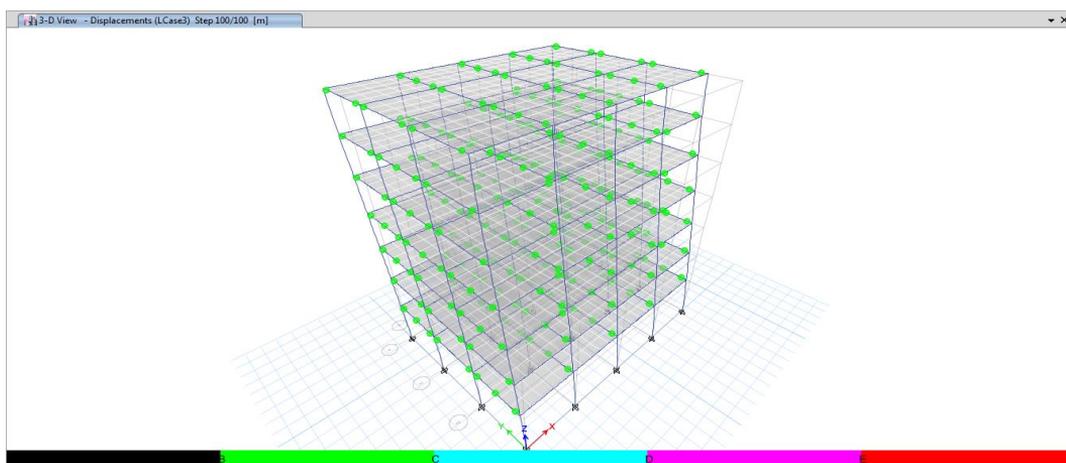
الشكل ( 28 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الثاني وفق المحور E

المرحلة الثانية: اختبار حمولة 200kg من مادة TNT على بعد 15m من المبنى.

الجدول (5): بارامترات حمولة الانفجار للشحنة 200kg للمبنى المكوّن من سبعة طوابق

Story	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7
Z	2.65	2.5	3	3.5	3.8	4.3	4.7
$P_r$	500	400	300	220	160	150	120
$P_{so}$	160	140	120	100	70	60	50
$i_r$	280	240	220	200	160	150	130
$i_s$	100	90	80	90	70	60	50
$t_A$	2.8	3.5	4	4.2	5	6	7
$t_o$	2.4	2.8	3	3.2	3.8	4	4.2
$t_{rf}$	6.5	7	8.5	10.6	11.7	11.8	12
$q_o$	60	50	40	25	15	11	9
$t_{of}$	7.3	7.5	7.8	10.6	11.7	11.8	12
$P_{so} + C_D q_0$	220	190	160	125	85	71	59

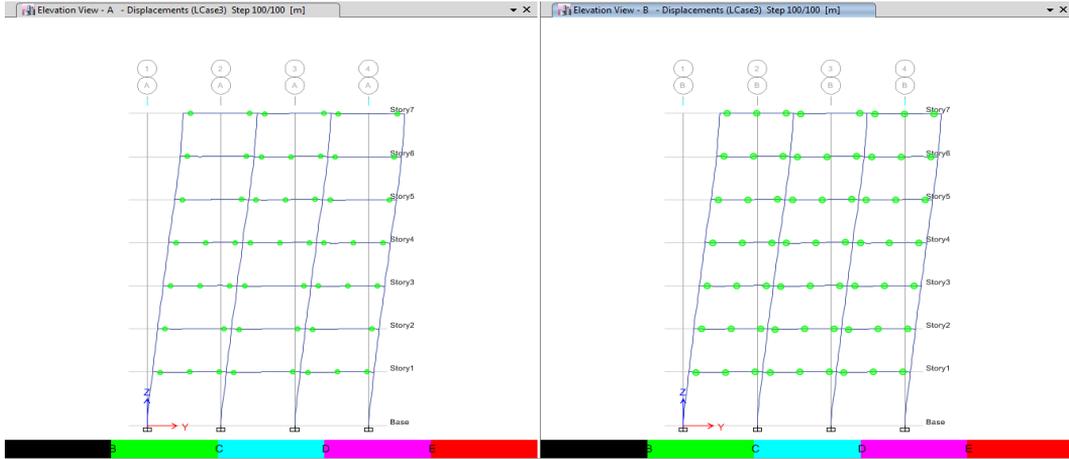
### النموذج الأول المصمّم وفق الشدّة 0.3g



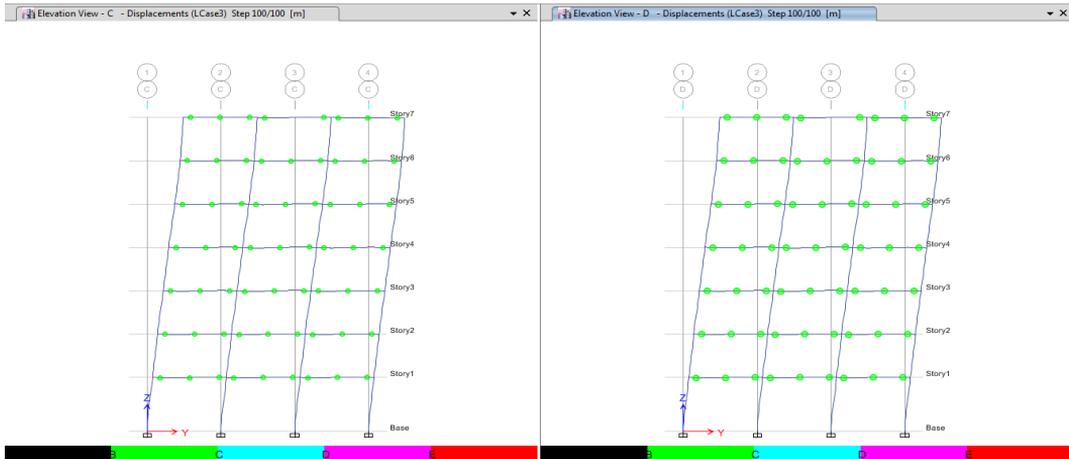
الشكل ( 29 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الأول المصمّم وفق الشدّة

0.3g

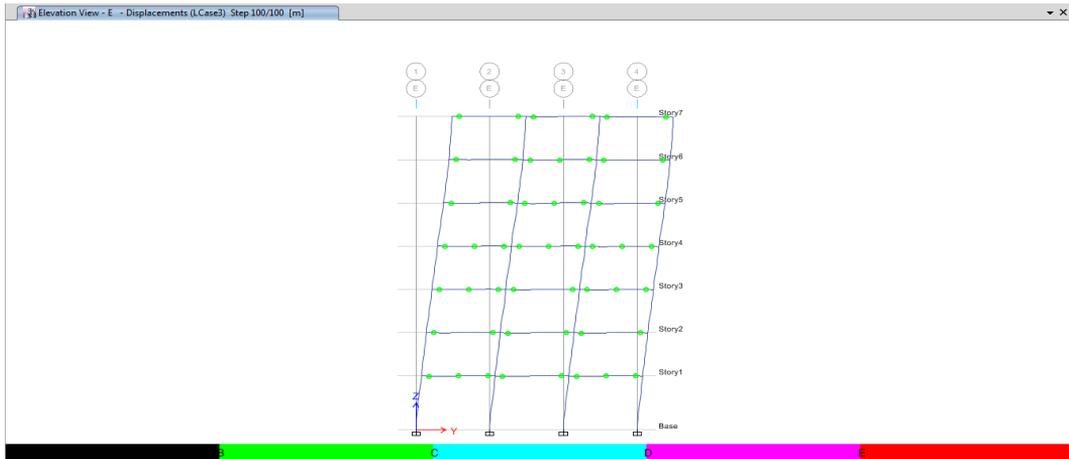
## تقييم سلوك مبنى إداري مقاوم للزلازل من الببتون المسلح تحت تأثير أحمال الانفجارات



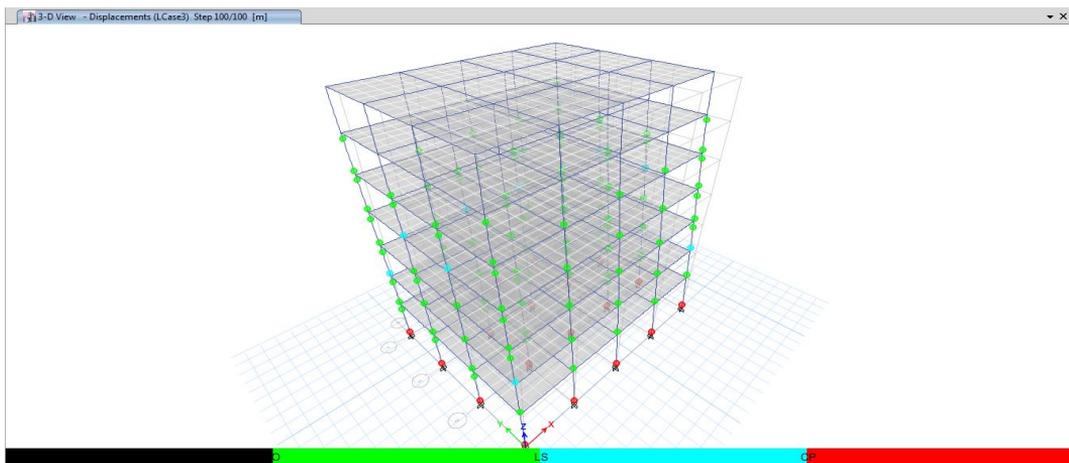
الشكل ( 30 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الأول وفق المحاور A,B



الشكل ( 31 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الأول وفق المحاور C,D



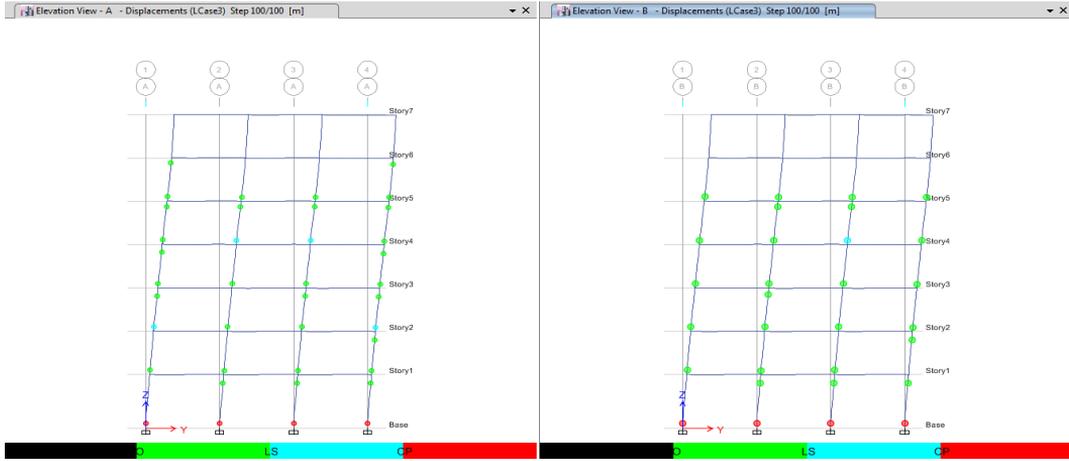
الشكل ( 32 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الأول وفق المحور E



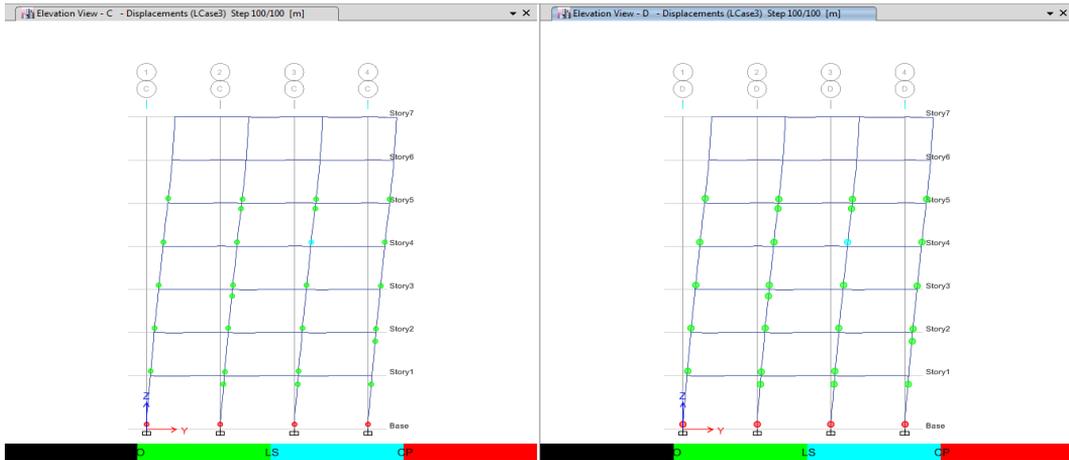
الشكل ( 33 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الأول المصمم وفق الشدة

0.3g

## تقييم سلوك مبنى إطاري مقاوم للزلازل من الببتون المسلح تحت تأثير أحمال الانفجارات



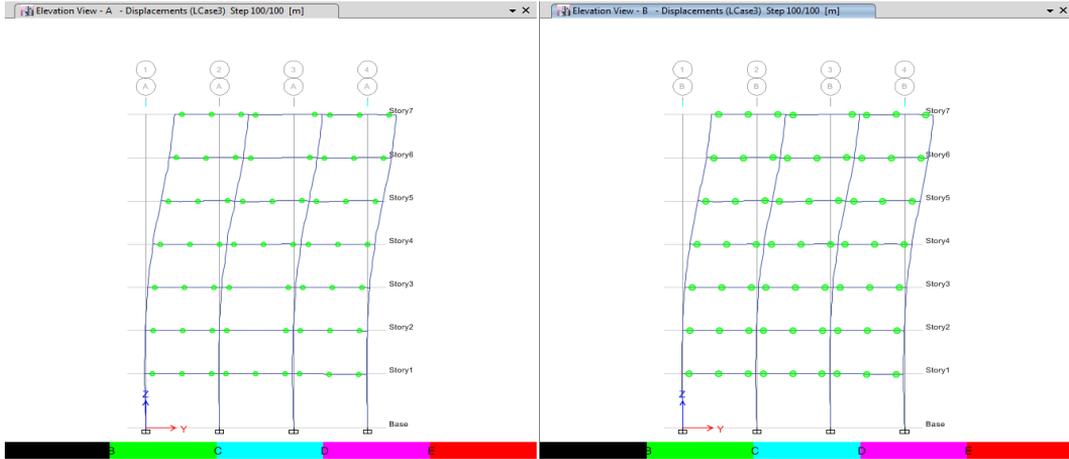
الشكل ( 34 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الأول وفق المحاور A,B



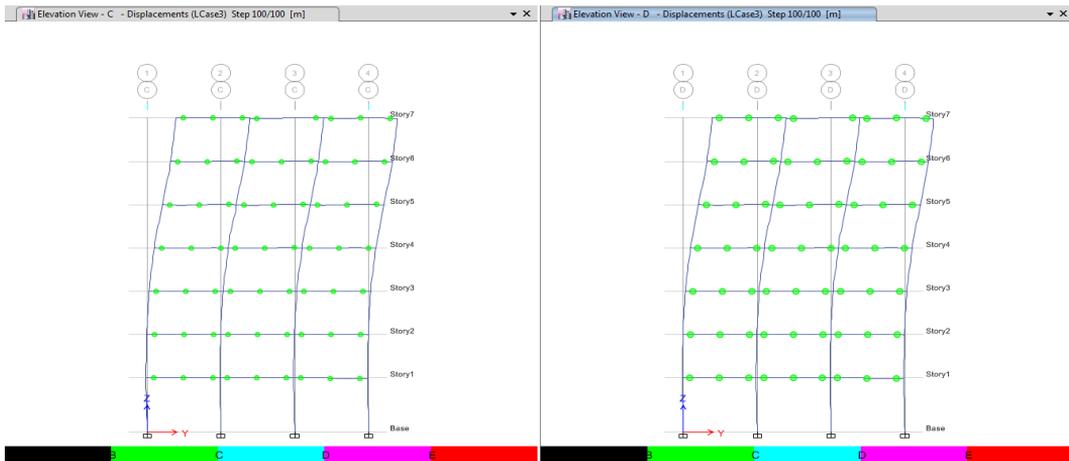
الشكل ( 35 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الأول وفق المحاور C,D



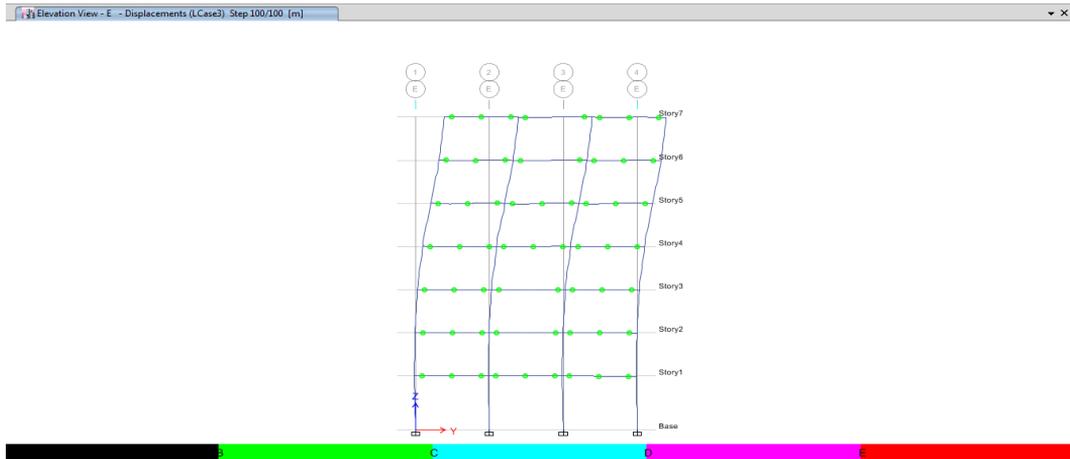
## تقييم سلوك مبنى إطاري مقاوم للزلازل من الببتون المسلح تحت تأثير أحمال الانفجارات



الشكل ( 38 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الثاني وفق المحاور A,B

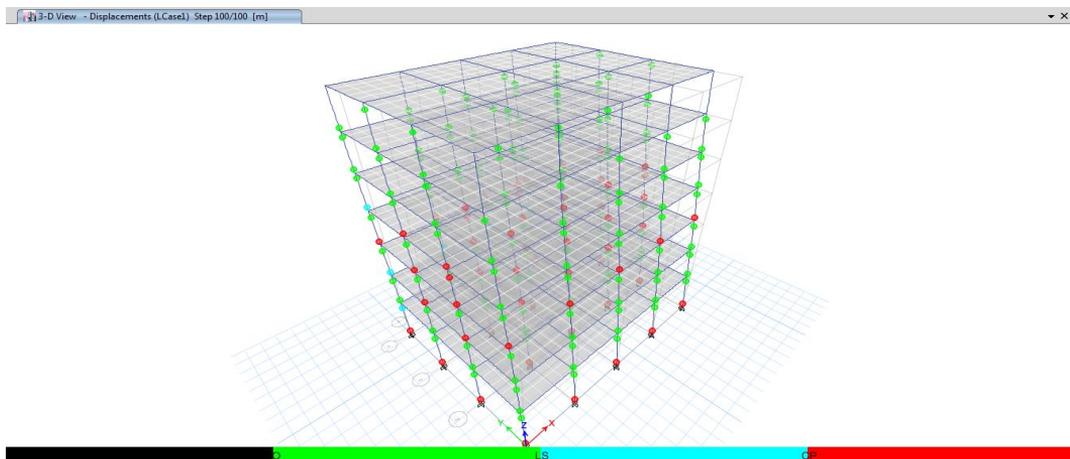


الشكل ( 39 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الثاني وفق المحاور C,D



الشكل ( 40 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في جوائز النموذج الثاني وفق المحور E

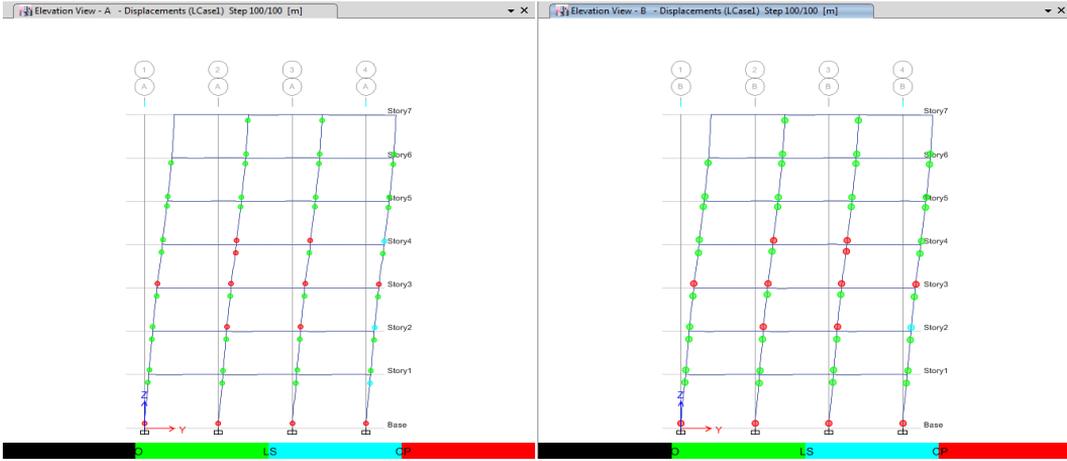
### النموذج الثاني المصمم وفق الشدة 0.25g



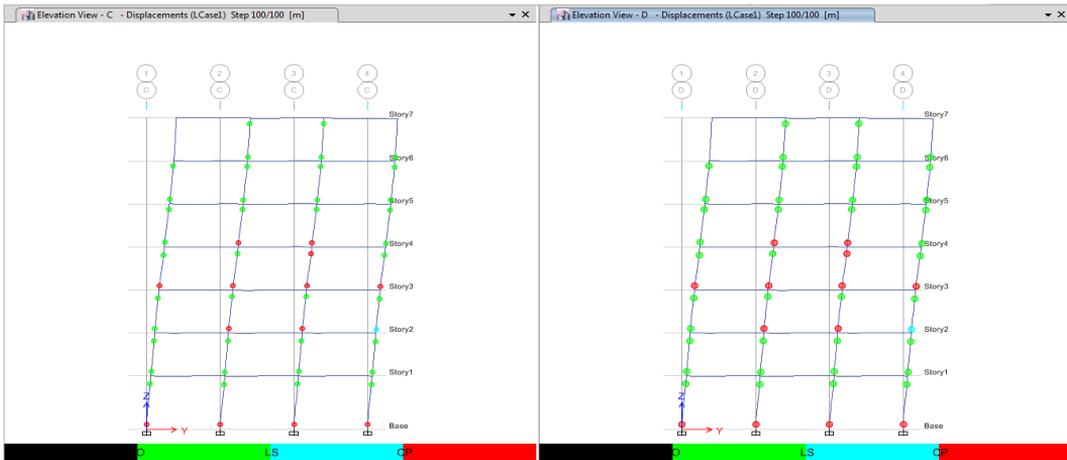
الشكل ( 41 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الثاني المصمم وفق الشدة

0.25g

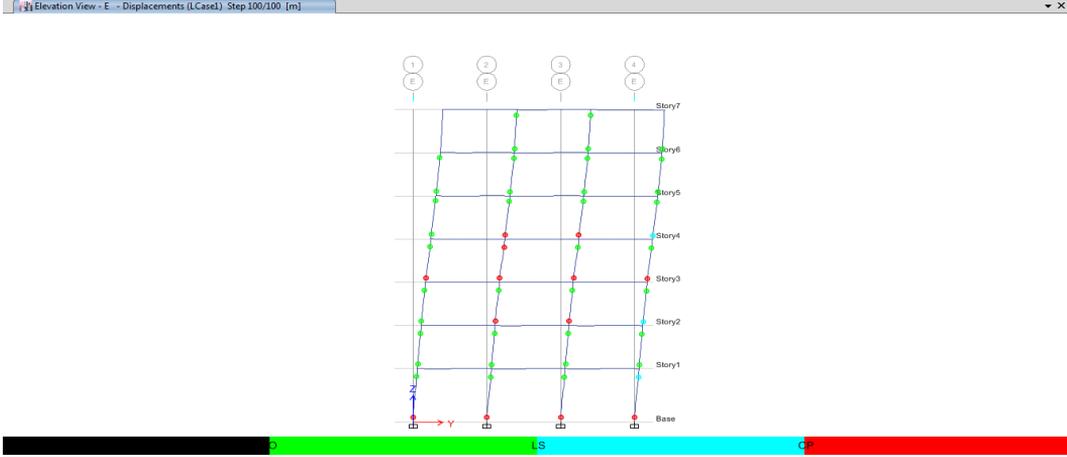
## تقييم سلوك مبنى إطاري مقاوم للزلازل من الببتون المسلح تحت تأثير أحمال الانفجارات



الشكل ( 42 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الثاني وفق المحاور A,B



الشكل ( 43 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في أعمدة النموذج الثاني وفق المحاور C,D



الشكل ( 44 ) : المفاصل اللدنة المتشكلة في اعمدة النموذج الثاني وفق المحور E

## 5- النتائج و المناقشة:

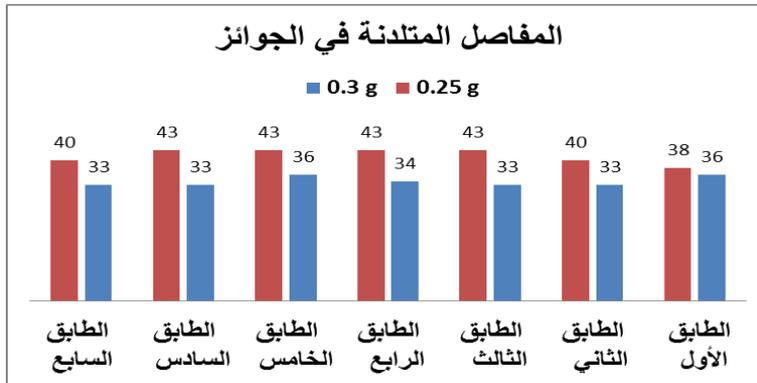
### المرحلة الأولى: اختبار حمولة 100kg من مادة TNT على بعد 15m من المبنى:

يظهر الشكل (45) مقارنة بين المفاصل المتلدنة في الجوائز بين النموذجين (0.3g, 0.25g) عند مستوي كل طابق.

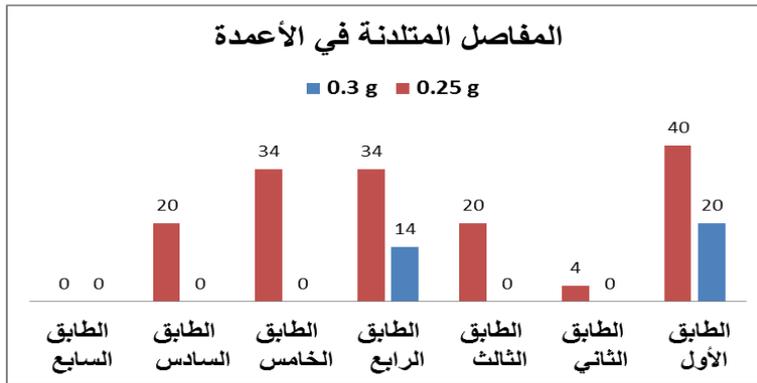
يظهر الشكل (46) مقارنة بين المفاصل المتلدنة في الأعمدة بين النموذجين (0.3g, 0.25g) عند مستوي كل طابق.

يظهر الشكل (47) مقارنة بين مستويات الأداء التي وصلت إليها المفاصل في الأعمدة بين النموذجين (0.3g, 0.25g).

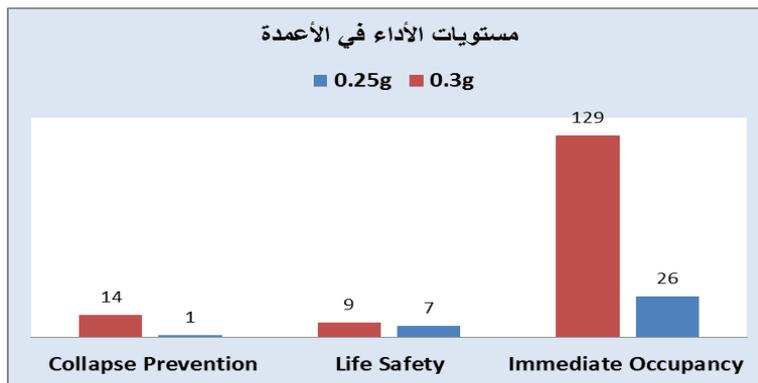
يظهر الشكل (48) مقارنة بين إجمالي عدد المفاصل المتلدنة في الأعمدة والجوائز بين النموذجين (0.3g, 0.25g) .



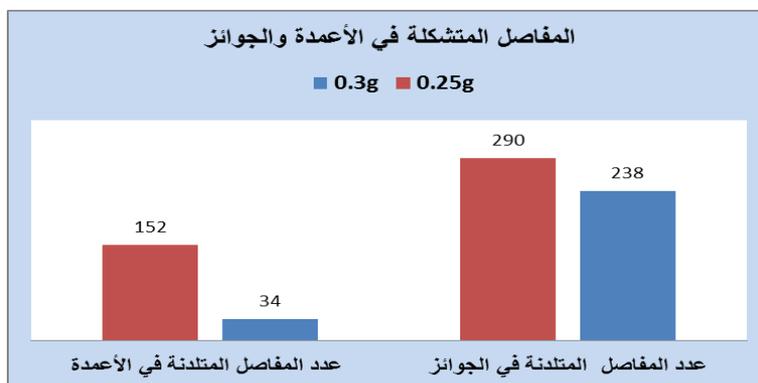
الشكل ( 45 ) : المفاصل المتلدنة في الجوائز للمبنى المكوّن من سبعة طوابق



الشكل ( 46 ) : المفاصل المتلدنة في أعمدة المبنى المكون من سبعة طوابق



الشكل ( 47 ) : مستويات الأداء في المفاصل المتشكلة للمبنى المكون من سبعة طوابق



الشكل ( 48 ) : إجمالي عدد المفاصل المتشكلة للمبنى المكون من سبعة طوابق

## نتائج المرحلة الثانية: اختبار حمولة 200kg من مادة TNT على بعد 15m من

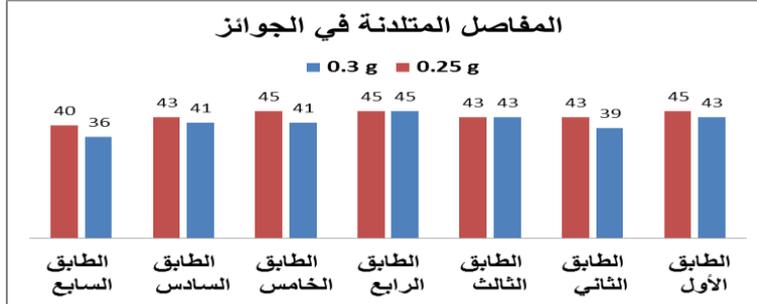
### المبنى:

يظهر الشكل (49) مقارنة بين المفاصل المتلدنة في الجوائز بين النموذجين (0.3g, 0.25g) عند مستوي كل طابق.

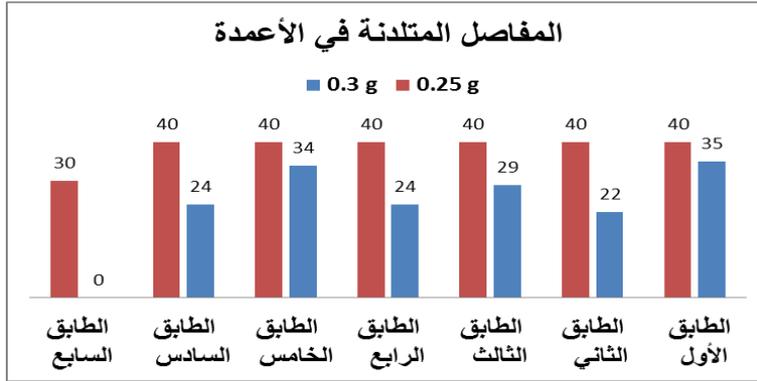
يظهر الشكل (50) مقارنة بين المفاصل المتلدنة في الأعمدة بين النموذجين (0.3g, 0.25g) عند مستوي كل طابق.

يظهر الشكل (51) مقارنة بين مستويات الأداء التي وصلت إليها المفاصل اللدنة في الأعمدة بين النموذجين (0.3g, 0.25g).

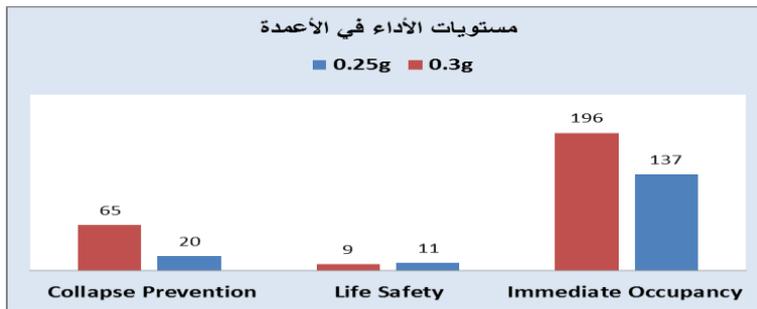
يظهر الشكل (52) مقارنة بين إجمالي عدد المفاصل المتلدنة في الأعمدة والجوائز بين النموذجين (0.3g, 0.25g).



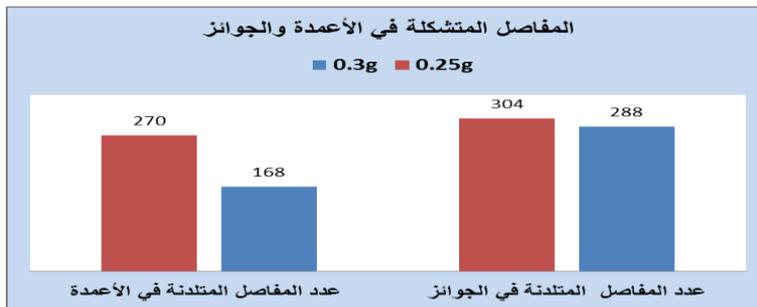
الشكل ( 49 ) : المفاصل المتلدنة في الجوائز للمبنى المكون من سبعة طوابق



الشكل ( 50 ) : المفاصل المتلدنة في أعمدة المبنى المكون من سبعة طوابق



الشكل ( 51 ) : مستويات الأداء في المفاصل المتشكلة للمبنى المكون من سبعة طوابق



الشكل ( 52 ) : إجمالي عدد المفاصل المتشكلة للمبنى المكون من سبعة طوابق

## 6- الاستنتاجات والتوصيات:

- إن سلوك المبنى الأول المصمّم وفق الشدة الزلزالية  $0.3g$  والمكوّن من الإطارات الخاصة أفضل من سلوك المبنى الثاني المصمّم وفق الشدة  $0.25g$  ذي الإطارات المتوسطة؛ أي أن زيادة الطلب الزلزالي ساهمت في تحسين استجابة المنشأ تحت تأثير أحمال الانفجارات.
- تشكلت مفاصل لدنة على الانعطاف في معظم الجوائز وفي كلا النموذجين ولكن جميعها مقبولة ولم تنهار تحت تأثير أحمال الانفجار المعتمدة.
- تشكلت العديد من المفاصل المتلدنة في الأعمدة وفي كلا النموذجين تحت التأثير المشترك للحمولة الناظمية و الانعطافية.
- في المرحلة الأولى ( $100kg/15m$ ) كان المبنى المصمّم وفق الشدة  $0.3g$  مقاوم للانفجار ويحتاج الى تعديلات بسيطة جداً مقارنة مع كلفة الإنشاء حيث تشكلت مفاصل منهارة في عمودين فقط في مستوي الطابق الأرضي بينما تشكلت مفاصل منهارة في العديد من أعمدة النموذج الثاني المصمّم وفق الشدة  $0.25g$ .
- في المرحلة الثانية ( $200kg/15m$ ) تشكلت العديد من المفاصل المنهارة في جميع الأعمدة في النموذج الثاني المصمّم وفق الشدة  $0.25g$  بينما تشكلت في

أعمدة محددة فقط في مستوى الطابق الأرضي للنموذج الأول المصمم وفق الشدة 0.3g .

- لم تتشكل مفاصل متلدنة على القص في النموذج الأول المصمم وفق الشدة 0.3g ، بينما تلدنت بعض المفاصل على القص في النموذج الثاني 0.25g وذلك بسبب ترتيبات التسليح العرضي في الإطارات الخاصة والمتوسطة وفق الكود العربي السوري.
- تفاوت عدد المفاصل المتشكلة باختلاف الطابق يشير إلى ضرورة الاهتمام بجميع العناصر الإنشائية وفي مختلف الطوابق؛ لأن أي فشل أولي قد يسبب انهيار المبنى أو جزء كبير منه.
- يجب الاهتمام بالأعمدة في مستوى الطابق الأرضي عن طريق تحسين المقاومة وزيادة المتانة، كون المفاصل المنهارة محصورة في أعمدة الطابق الأرضي.

### التوصيات:

- يجب دراسة الاستجابة الإنشائية للمباني ذات حمل جدران القص والمختلطة تحت تأثير أحمال الانفجارات.
- الاهتمام بدراسة الأبنية الهامة القائمة والمباني غير المؤهلة على الزلازل تحت تأثير الانفجارات.

7- المراجع:

- [1] European Committee for Standardization (CEN) Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-7: pr EN 1991-1-7: “General Actions-Accidental actions”, 2006.
- [2] Varma M. B., (2014) “Effect of Blast on G+4 RCC Frame Structure”, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 4, Issue 11.
- [3] Shifferaw T ., (2015) “ Quality of computerized blast load simulation for non-linear dynamic response analysis of framed structures”, Journal of EEA, Vol. 33,.
- [4] Unified Facilities Criteria (2008), “UFC 3-340-02 Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions “, U.S. Army Corps of Engineers, Naval Facilities Engineering Command, Air Force Civil Engineer Support Agency.
- [5] Kingery C. N., Bulmash G., (1984) “Technical report ARBRL-TR-02555: Air blast parameters from TNT spherical air burst and hemispherical burst”, AD-B082 713,U.S. Army Ballistic Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD.
- [6] ACI 318-08. Building Code requirement for structural concrete and commentary .Detroit;2008.
- [7] Syrian Arab Code for design and implementation of the facilities in the reinforcement concrete .Fourth Edition ,Damascus,2012.