

مساهمة أشكال التقوية الزلزالية في رفع كفاءة الأعمدة لمقاومة أمواج الانفجارات

*أ.د.م عصام ملحم **م.أعيد الزناوي

الملخص

إن التطور التقني لأدوات ووسائل صناعة المتفجرات جعلت منها أشد فتكا وأصغر في الحجم، وأضاف إليها السهولة في الإخفاء، مما أدى الى تنامي ظاهرة التفخيخ والتفجير ونجاحها في استهداف المنشآت الحيوية والهامة. وعادةً ما تكون الخسائر الكبيرة الناجمة عن التفجيرات غير مرتبطة فقط نتيجة الإطلاق المباشر للطاقة، ولكن بشكل أكبر إلى الانهيارات الإنشائية المتلاحقة، التي قد تحدث بعد الصدمة موقعة خسائر كبيرة في الأرواح. يقوم البحث على فكرة إمكانية رفع درجة الأمان الإنشائي للأعمدة البيتونية في مقاومة أمواج الانفجارات الأرضية من خلال أشكال التقوية المعروفة، التي تحسن أداء المنشآت القائمة لمقاومة القوة الأفقية الناتجة عن الزلازل وهي: التريبط بشكل حرف X / التريبط بشكل حرف V / القمصان المعدنية.

وذلك بدراسة مبنى مكون من خمسة طوابق. واتباع تحليل ديناميكي لاخطي وفق تابع السجل الزمني للضغط المطبق على الواجهة المقابلة للانفجار، وفق طريقة الكود الأمريكي UFC3-340-02 الخاص بالانفجارات لحساب المتغيرات اللازمة كذروة الضغط، مدة المرحلة الإيجابية، الضغط الديناميكي، ورسم مخطط (قوة - زمن) وذلك عند شحنات مختلفة من مادة الـ تي أن تي.

ثم مناقشة النتائج بعد دراسة (الانتقال الجانبي الأعظمي للطوابق والدورانات الحاصلة في عقد الأعمدة - قيم العزوم الحاصلة في أعمدة الواجهة الخاضعة لأعظم ضغط وموقع هذه العزوم على منحني الترابط وفق القوة الناظمية المرافقة لها- اجهادات القص- الشحنة المتفجرة التي تبدأ عندها الأعمدة بالانهيار). وذلك قبل وبعد إضافة التقوية.

نتيجة البحث: قامت أشكال التقوية المدروسة في رفع كفاءة الأعمدة لمقاومة موجة الصدمة الناتجة عن الانفجار وذلك عند كافة الشحنات المدروسة وساهمت في تخفيف الآثار المترتبة عنها من خلال تخفيض الانتقالات والقوى الداخلية في الأعمدة إضافة الى رفع حجم الشحنة المتفجرة اللازمة لحدوث بداية انهيار الأعمدة وجاءت أفضل النتائج عند استخدام طريقة التريبط بشكل حرف X.

الكلمات المفتاحية: التحليل الديناميكي، السجل الزمني، التريبط بشكل حرف X، التريبط بشكل حرف V، القمصان المعدنية، موجة الانفجار.

*أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، حمص، سورية.

** طالب دراسات عليا في قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، حمص، سورية.

the contribute of seismic reinforcement to increase the efficiency of columns to resist the explosion waves

Dr.mLHEM I, E.Albaznaw A

abstract

The technical development of the tools and means of manufacturing explosives made them more lethal and smaller in size and added to them the ease of concealment, the large losses resulting from explosions are not related only as a result of direct energy release.

The research is based on the idea of the possibility of raising the degree of structural safety of concrete columns in resisting earthquake waves through well-known forms of reinforcement, which improve the performance of existing structures to resist horizontal force resulting from earthquakes, namely: X-shaped strapping / V-shaped strapping / metal

where this model was adopted according to a field study that included a real explosion, and the results were calibrated according to this field study, and the second was an entire building consisting of five floors. And follow a nonlinear dynamic analysis according to the time record function of the pressure applied to the interface opposite the explosion, according to the method of the American code UFC3-340-02 for explosions to calculate the necessary variables such as peak pressure, positive phase duration, dynamic pressure) and drawing a diagram (force – time) for different shipments From TNT.

Then discussing the results after studying the factors (deformation of the column – values of speed and acceleration at the end of the column) in the first model, while the second model was studied (the maximum lateral transfer of floors and rotations occurring in the nodes of columns – the values of the moments in the facade columns subject to the greatest pressure and the location of these moments on Correlation curve according to the accompanying normal force – shear stresses – the explosive charge at which the columns begin to collapse).

As a result of the research, the studied forms of reinforcement have raised the efficiency of the columns to resist the shock resulting from the explosion at all the studied shipments contributed to mitigating the effects of them by reducing the internal movements and forces in the columns The best results came at The use of the binding method in the form of theX

Keywords: dynamic analysis, time record, X-link, V-link, metallic shirts,

.blast wave

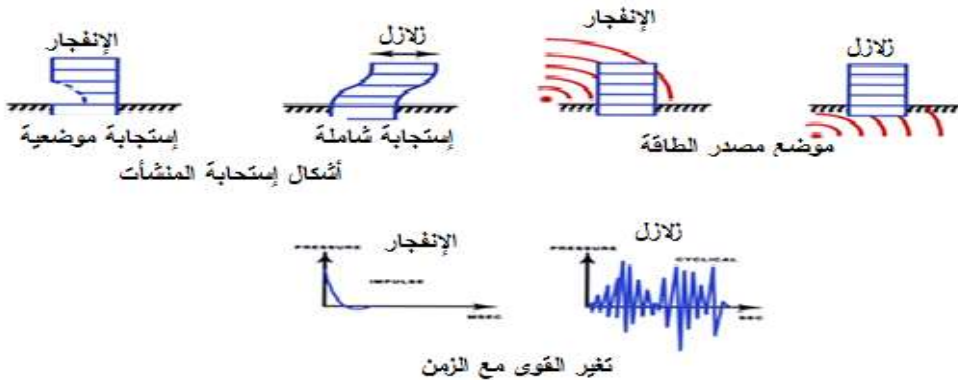
1-مقدمة :

تتشترك مقاومة الزلازل ومقاومة الانفجارات في عدة نقاط من حيث المتطلبات اللازم توفرها في الهيكل، فالميزات المرغوبة لمقاومة الزلازل التي توفر ليونة لاستجابة العناصر وتفاصيل عقد الاتصال، والقدرة على إعادة توزيع الأحمال القصوى على العناصر الأقل تحملاً وبالتالي زيادة قدرتها بمنع تشكل المفاصل اللدنة وتحمل الدورانات الكبيرة هذه الميزات مرغوب فيها في مقاومة أمواج الانفجارات [2] وبالتالي ويمكن أن يتم تقليل أضرار الانفجار إذا تم الالتزام ببعض المعايير "المشابهة للزلازل". إلا أنه لا ينبغي أن تكون من الثوابت الإنشائية إن الهيكل المصمم لمقاومة آثار الحركات الأرضية القوية سيكون جيداً في الاستجابة للتحميل المتفجر.

ويمكن الفرق الأساسي بين التحميلين هو المنطقة التي يتم توزيع الحمل عليها، وبالتالي استجابة الهيكل نظراً لأن الأحمال الزلزالية تشكل تأثيراً على القاعدة وتكون القوى المتشكلة موزعة على كامل الكتلة ومتناسبة معها فإنها تشغل الهيكل بأكمله، وتتطلب استجابة الجملة الإنشائية كاملةً لمقاومة القوى في حين أن تحميل الانفجار لا يؤثر على الهيكل بأكمله بشكل موحد بل تتلقى العناصر الخارجية المقابلة لمصدر الانفجار ضغط أكثر بكثير من باقي العناصر البعيدة عن المصدر ولا يتم توزيع القوى الأفقية في كل طابق من المبنى من خلال أغشية الدياترامات بما يتناسب مع صلابتها.

الجدول (1) أوجه المقارنة بين أثر الزلازل والانفجارات على المنشآت

الانفجارات	الزلازل
موجة ضغط عالية جداً خلال أجزاء ميلي ثانية	قوى على شكل اهتزازات خلال عدة ثواني
الانفجارات تطبق القوى على الواجهات الخارجية	تطبق الزلازل قوتها على قاعدة المباني
تسبب ضرر شديد في مكان الذي طبق الضغط	تسبب إستجابة عامة على كامل المنشأة



الشكل (1) المقارنة بين أثر الزلازل والانفجارات على المنشآت

وقد ساهمت العديد من الأبحاث في تحديد أشكال لتقوية الهياكل، يتم من خلالها رفع كفاءة المنشآت القائمة لمقاومة القوى الأفقية التي قد تتعرض لها نتيجة حدوث هزة أرضية ومن أبرز تلك الأشكال التبريط المعدني، والقمصان المعدنية للأعمدة. ونتيجة لوجود أوجه شبه كبيرة بين تحميل الزلازل وموجة الانفجار من حيث اتجاه القوة، وزوالها مع الزمن، ووجود اختلافات تكمن في موقع تطبيق هذه القوة، وزمن تأثيرها. كان لابد من إجراء دراسة تحليلية للتحقق من إمكانية الاستفادة من أشكال التقوية الزلزالية في مقاومة أمواج الانفجارات.

1-2 أثر الانفجارات على المنشآت [3] :

لمعرفة كيفية سلوك المنشآت بفعل حمولات الانفجارات ينبغي لنا معرفة العوامل التدميرية الناجمة عن هذا الضغط وتعتبر أهم الآثار هي:

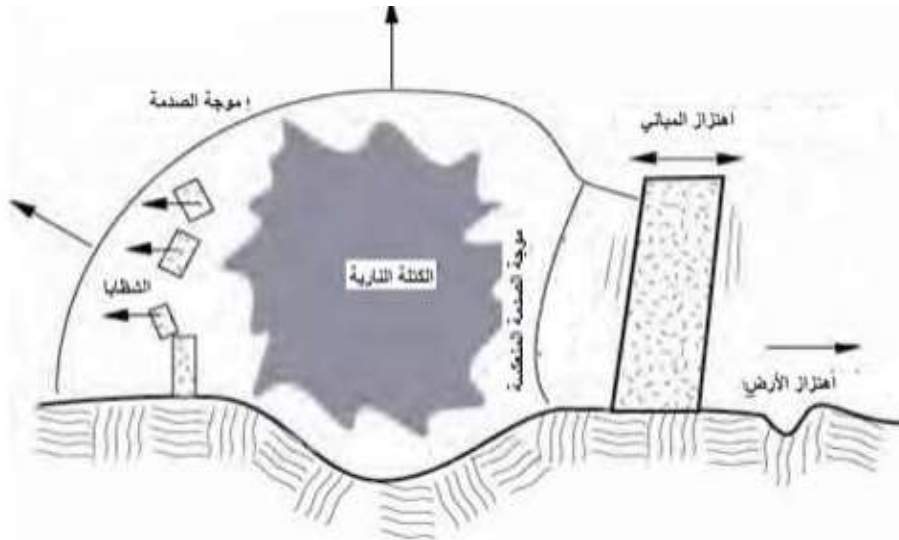
(a) موجة الصدمة :

وهي عبارة عن انضغاط كبير في الهواء يؤثر على الأشياء بشكل موجة ضغط ذات قوة كبيرة جداً، يتبعها تخلخل في الدائرة القريبة من موقع الانفجار ، حيث تؤدي لتطاير الأشياء والمواد ورميها في الهواء وحتى بعض الأشخاص بينما تؤدي لتصدعات في العناصر الإنشائية أو غير الإنشائية والإكساءات (تكسر في الزجاج والأبواب والنوافذ) للمباني (وتمثل موجة الصدمة العامل الأهم في آثار الانفجارات).

(b) الحرارة العالية

(c) الشظايا

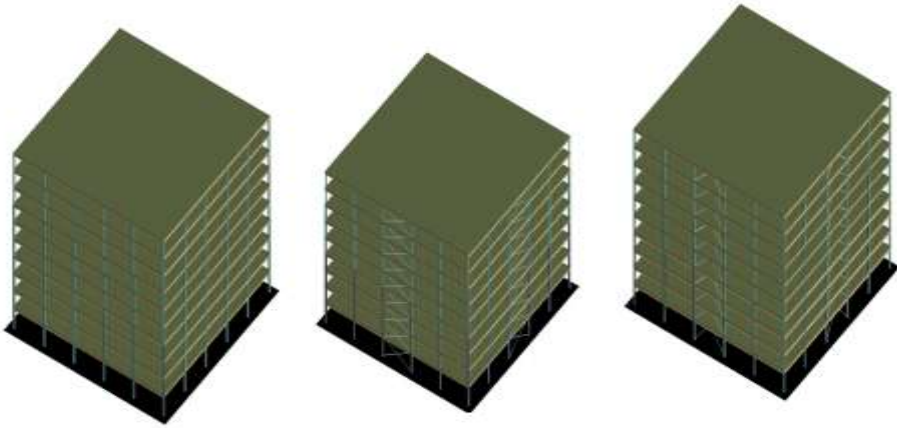
(d) موجة الصوت



الشكل (2) الآثار السلبية للإنفجار

2-الدراسات المرصعية

قامت الباحثة Amy Coffield [4] بدراسة مبنى إطارى مقاومة للعزم بارتفاع 10 طوابق وذلك دون أية إضافة ثم بعد إضافة روابط متصلة بشكل حرف X وروابط بشكل حرف V معرضة لانفجارين بشدة $(9-18)$ kN على اعتبار الانفجار من مسافة 5m وحساب معاملات الانفجار بالاعتماد على الكود الأمريكي. وقامت بمقارنة المفاصل اللدنة والعناصر التي إنهارت في الجوائز والأعمدة إضافة الى تشوه السقف والانتقالات وخلصت الى أن الإطارات المربطة مع روابط متصلة X يتمتع بمقاومة أعلى من حيث عدد العناصر التي إنهارت والمفاصل اللدنة يليها روابط غير متصلة V حيث بلغت نسبة التخفيض في الانتقالات الأعظمية بعد إضافة الروابط بشكل حرف X 21% في حين بلغت مع روابط بشكل حرف V 12% . أما عدد المفاصل اللدنة في كامل المنشأة بدون تربيط 53 مفصل ومع استخدام الروابط بشكل حرف X 45 مفصل في حين بلغت مع روابط بشكل حرف V 49 مفصل .



الشكل (3) تمثيل ثلاثي الأبعاد للنماذج المدروسة

قام الباحث K P Thejasw [5] بدراسة مبنى إطارى مكون من سبعة طوابق خاضع لتأثير شحنة متفجرة أرضية وزنها 100Kg من مسافة 10m وذلك بعد إضافة ثلاثة أشكال من طرق التربيط المختلفة:

- 1- تربيط بشكل حرف X 2 - تربيط بشكل حرف V 3- تربيط قطري مائل

وذلك بالإعتماد على برنامج etabs وفق تحليل ديناميكي لاخطي لتابع السجل الزمني للضغط المطبق وفق الكود الأمريكي وقام بمقارنة الانتقالات الأفقية الحاصلة والانزياحات النسبية بين الطوابق عند كل حالة وخلص أن كافة طرق التربيط ساهمت في تخفيض الإنتقالات الأفقية الحاصلة في الطوابق و بلغت كما هو موضح بالجدول التالي

الجدول (2) الانتقالات الحاصلة في طوابق المنشأة عند كل حالة مدروسة

الطابق	إنتقالات المبنى	إنتقالات عند التربيط	إنتقالات عند التربيط	إنتقالات عند التربيط
--------	-----------------	----------------------	----------------------	----------------------

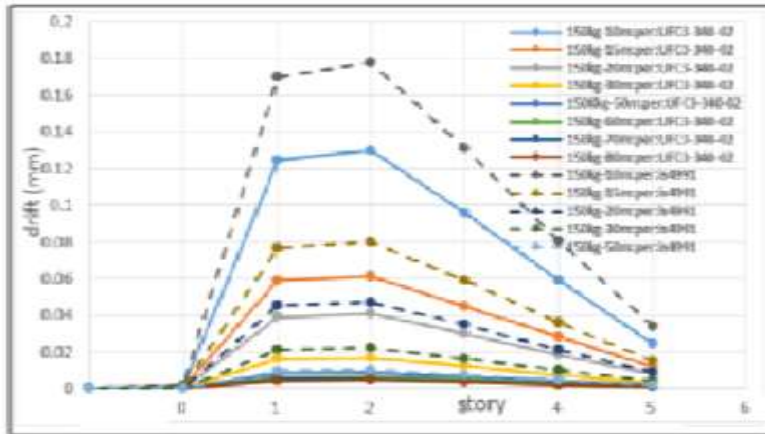
مساهمة أشكال التقوية الزلزالية في رفع كفاءة الأعمدة لمقاومة أمواج الانفجارات

	دون إضافة	بشكل حرف X	قطري	بشكل حرف V
7	44.60	34.07	40.89	38.16
6	42.60	32.56	38.07	35.87
5	38.80	30.17	36.21	33.80
4	32.70	22.10	26.51	24.75
3	24.10	16.57	19.88	18.56
2	13.50	11.70	14.05	13.11
1	2.90	2.03	2.44	2.27

بلغت نسبة التخفيض الحاصل في الإنتقالات الحاصلة بعد إضافة التبريط عند كل حالة الى قيم الإنتقالات الحاصلة في المبنى الطبيعي دون أي تبريط تربيط بشكل حرف X 18% وعند التبريط بشكل حرف V 14 %، أما في التبريط قطري مائل 12%.

- قامت الباحثة ردينا شاهين [6] بالبحث عن مسافة الأمان اللازم لحماية المنشآت من شحنات متوسطة بوزن 150 Kg فقامت بدراسة سلوك هيكل خرساني زلزالي عبارة عن إطار مكون من خمسة طوابق عرضة لإنفجار أرضي بشحنة ثابتة 150 kG من مادة الت إن تي وفق مسافات (10-15-20-30-50-70-80)m، وكان الإطار منتظم هندسيا ومصمم على الزلازل لمنطقة مدينة حلب، وقد تم حساب معاملات الانفجار وفق الكود الأمريكي UFC3-340-02 [1]، ثم وفق الكود الهندي IS:4991-19 واستخدام برنامج etabs وخلصت إلى:

1. أعطى الكود الأمريكي نتائج أدق وكان الاختلاف بين الكودين 29 % وفق بعض الثوابت
2. الأعمدة في الطوابق السفلية الأول والثاني تعرضت لضغط عالي أكثر من الطوابق الأخرى
3. بلغت الانزياحات الطابقية النسبية قيم أعظمية في الطوابق السفلية .



الشكل (4) الانزياحات الطابقية عند كل شحنة

3هدف البحث ومنهج البحث

3-1 هدف البحث

يهدف البحث إلى دراسة امكانية رفع كفاءة الأعمدة البيتونية لمقاومة أمواج الانفجارات في المنشآت الإطارية القائمة وذلك من خلال بعض أشكال التقوية المعروفة التي تحسن أداء المنشآت القائمة لمقاومة الزلزال وهي:

أ- التبريط بشبكات معدنية ب- القمصان المعدنية للأعمدة .
وتحديد الطريقة الأكثر جدوى التي يمكن استخدامها في حالة الانفجار وفق تحليل ديناميكي لا خطي باستخدام تابع السجل الزمني time history للضغط المطبق على واجهة المبنى عند تعرضها لإنفجارات من شحنات متغيرة الكتل علما أن حساب متغيرات الانفجار وفق الدليل الأمريكي UFC3-340-02 [1]

3-2 منهج البحث:

منهج البحث هو المنهج التحليلي حيث تم استخدام البرنامج الإنشائي (sap 2000 pro) في تحليل الجمل الإنشائية لسهولة النمذجة والتحليل والتصميم فيه، أضيف إلى ذلك قدرته على إنجاز التحليل الديناميكي اللاخطي لتابع السجل الزمني وفق علاقة قوة- زمن . ورسم توابع الانتقالات المرتبطة بالزمن.

4-النموذج المدروس :

هو عبارة عن مبنى إطاري مكون من خمسة طوابق على شكل مستطيل منتظم يتألف من ثلاثة فتحات بالاتجاه X وست فتحات بالاتجاه Y أبعاده في المسقط الأفقي 12*24)m طول الفتحة 4 m. يوضح الجدول (5-2) المواصفات الإنشائية للمبنى:

الجدول (3) المواصفات الإنشائية لمبنى النموذج المدروس

24MPa	المقاومة المميزة للبيتون على الضغط f_c
400MPa	إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح F_y
مصممة سماكة 14cm	نوع البلاطة
(35*55) cm	أبعاد الأعمدة
8T20	التسليح الطولي للأعمدة
1.3%	نسبة التسليح الطولي للأعمدة μ
1C Q 10mm /10cm	التسليح العرضي للأعمدة
(30*50)cm	أبعاد الجوائز
3kN/m ²	الأحمال الحية
2kN/m ²	الأحمال الميتة
5kN/m	أحمال الجدران على الجوائز

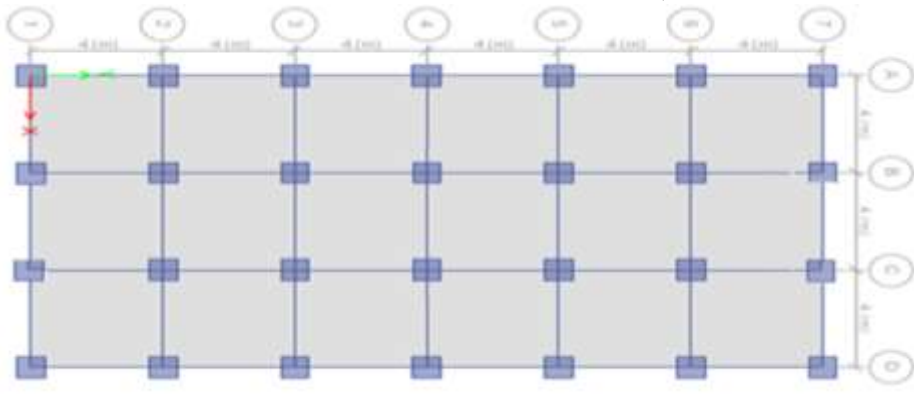
سيتم تحليل النموذج تحت تأثير حمولات ناجمة عن انفجارات ارضيات خارجية من شحنات بأوزان مختلفة من مادة الـ تي أن تي من مسافة 5 متر، على اعتبار أن مركز الشحنة المتفجرة تقع على امتداد المحور رقم 4 المركزي وسط الواجهة الأمامية. توضح الأشكال (3-5) (4-5) و(5-5) المسقط الأفقي والشكل العام للمبنى إضافة الى أشكال التقوية المستخدمة. وسوف يتم في بحثنا التطرق الى النوعين من خلال الحالات التالية:

أولاً على مستوى الهيكل :

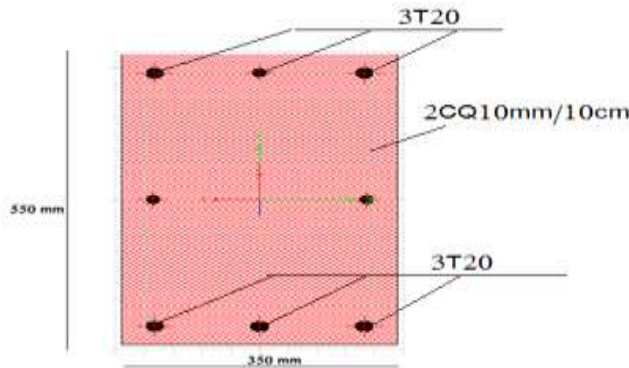
- التريبط بشكل حرف X باستخدام تيوب مفرغ أبعاد $(10*10*1)Cm$
- التريبط بشكل حرف V باستخدام تيوب مفرغ أبعاد $(10*10*1)Cm$

ثانياً على مستوى العنصر :

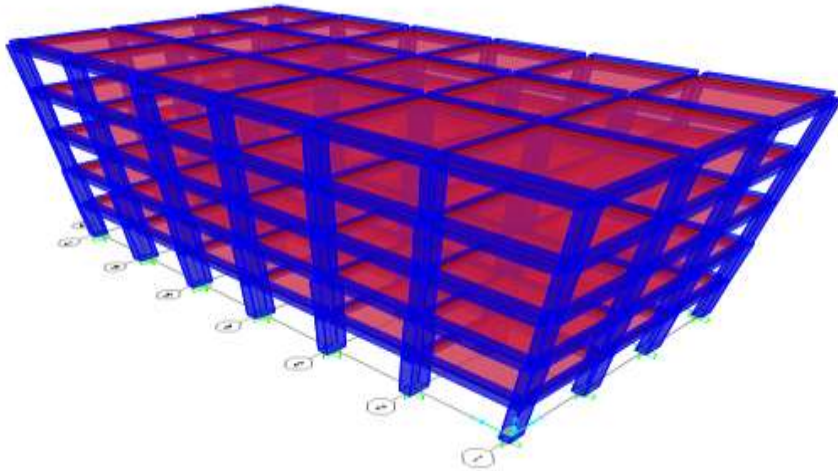
عبر إضافة القميص المعدني jacket steel باستخدام زوايا $(10*10*1)Cm$



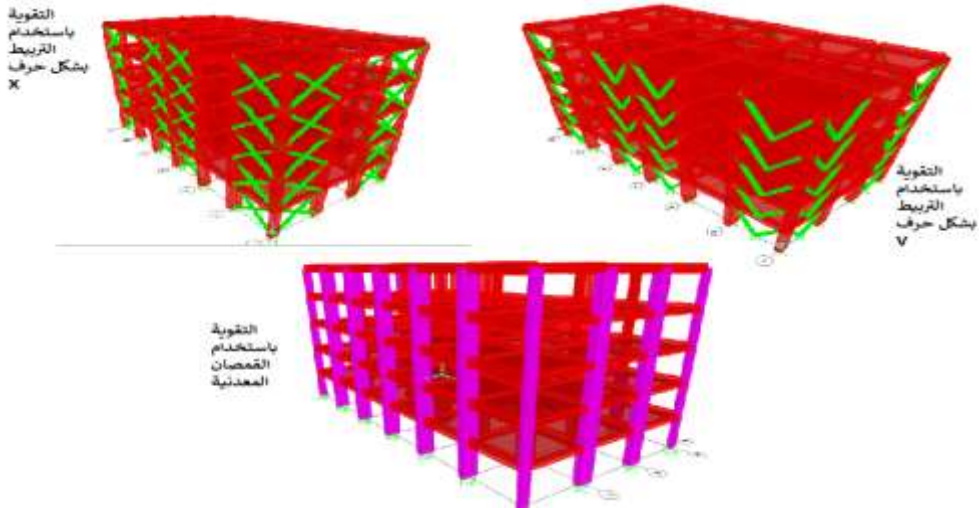
الشكل (5) المسقط الافقي المعماري للنموذج الثاني



الشكل (6) مقطع العمود البيتوني



الشكل (7) الشكل العام للنموذج الثاني



الشكل (8) الشكل العام للنموذج الثاني بعد إضافة التقوية عليه

وسوف يتم مقارنة النتائج وفقا لـ:

- الانتقال الجانبي الأعظمي للطوابق.
- دورنات عقد الأعمدة عند كل طابق.
- عزوم الانعطاف في مقاطع الأعمدة والقوة الناظرية المرافقة لها.
- اجهادات القص المتشكلة في مقاطع الأعمدة.
- الشحنة المتفجرة التي ينهار عندها أول عمود في المبنى.

مع الاعتماد على منحنى الترابط لمقطع العمود الذي يتم رسمه بالبرنامج sap pro2000 من خلال خاصية section designer، ومقارنة العزم الأعظمي المتشكل في العمود والقوة الناظمية المرافقة له مع هذا المنحنى للتحقق من انهيار العمود على الضغط اللامركزي. إضافة الى التحقق من إجهادات القص مع الإجهادات التي يتحملها مقطع العمود.

4-2 التحقق من الأعمدة لمقاومة الأحمال الزلزالية:

سوف يتم التحقق من مقاطع الأعمدة مع التسليح الذي تم اعتماده على مقاومة الأحمال الزلزالية علماً، أنه تم تصميم هذه الأعمدة لمقاومة الأحمال الشاقولية الستاتيكية. تم تعريف الحمولات الزلزالية للمبنى الواقع في المنطقة الزلزالية 2C حيث معامل المنطقة الزلزالية $Z=0.25$ ، ونموذج المقطع الشاقولي للتربة SB وبالتالي المعاملات الزلزالية :

$$Ca=0.25$$

$$Cv=0.25$$

$$I=1$$

مع اعتماد تراكيب الأحمال وفق التراكيب الواردة في الكود العربي السوري ضمن الباب السادس الفقرة 6-3-2 تحديد الأفعال القصوى. بعد تحليل المبنى وفق الطريقة الستاتيكية الثانية تم حساب قوة القص القاعدة والقوى الداخلية ضمن الأعمدة. بلغت قيمة قوة القص القاعدية

$$V=2490 \text{ k.N}$$

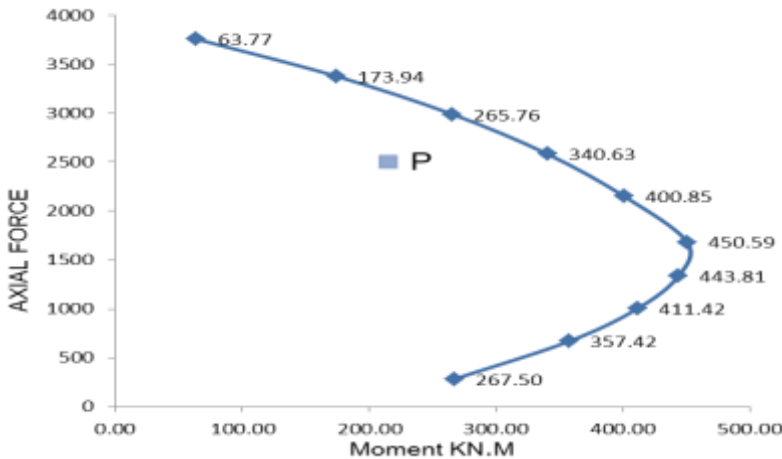
أما القوى الداخلية والإجهادات الأعظمية ضمن أعمدة الطابق الأرضي فقد بلغت :

$$M_{max} = 215 \text{ kN.m} \quad \text{أعظم عزم في أعمدة الطابق الأرضي:}$$

$$t_{max} = 1.47 \text{ MPa} \quad \text{إجهاد القص الأعظمي:}$$

$$Nu = 2500 \text{ k.N} \quad \text{القوة الناظمية المرافقة للعزم الأعظمي:}$$

يوضح الشكل (9) منحنى الترابط لمقطع العمود وموقع النقطة $P(M_{max}, Nu)$



الشكل (9) منحنى الترابط لمقطع العمود وموضع حالة اللامركزية الأعظمية للتحليل الزلزالي

اجهاد القص الأعظمي الذي يتحمله المقطع البيتوني المسلح قبل الانهيار:

$$t_{cu} = 0.23 * \sqrt{24} = 1.13 \text{ MPa}$$

$$t_{su} = \frac{Ast * fy}{s * d} = 1.61 \text{ MPa}$$

وبالتالي الإجهاد الكلي المسموح

$$t_u = 2.74 \text{ MPa}$$

3-4-1 دراسة وتقدير قيمة الضغط الناجم عن الانفجار وفق طريقة الكود الأمريكي

[1] UFC3-340-02

عند حدوث الانفجار ترتفع قيمة الضغط الجوي بشكل فوري وتنتج موجة الصدمة التي تؤثر على الهياكل بشكل نبضة مكونة من طورين، حيث إن الهواء يندفع بعيداً عن مركز الانفجار بقوة شديدة تحت تأثير ضغط الانفجار المباشر incident peak pressure ويتسبب في تكوين موجة سرعتها أكبر من سرعة الصوت ينتج عنه إنضغاط كبير في الهواء مسبباً ما يدعى بالضغط الزائد أو المنعكس reflected pressure ومع تقدم هذه الموجة في الوسط ينشأ مكان تموضع الشحنة الأساسي فراغ مسبباً دفع على السطوح الجانبية Side pressure والخلفية Rear pressure وضغط على الأسقف العلوية roof pressure وهي تعمل في الإتجاه المعاكس للضغط المنعكس وتعرف محصلة الضغط المنعكس مع الضغوط الجانبية والخلفية بمعامل الضغط الديناميكي للانفجار coefficient dynamic وعليه يكون الطور الموجب هي المرحلة التي يكون فيها الضغط أكبر من الضغط الجوي والطور السالب هي المرحلة التي يكون فيها الضغط أصغر من الضغط الجوي، كما إن الضرر الهيكلي مرتبط بالمرحلة الإيجابية بشكل رئيسي بالإضافة إلى ذلك فإن الضغوط التي تنتج من المرحلة السلبية صغيرة نسبياً مقارنة بتلك التي في المرحلة الإيجابية ولذلك فإن المرحلة السلبية من الموجة المتفجرة لا تؤخذ في الاعتبار عادةً.

تعتبر أحمال موجة الانفجار من الحمولات المتغيرة مع الزمن ونظراً للسرعة الهائلة التي يتم فيها زوال هذه الشحنة حيث أنها لا تتجاوز عدة ميليمات من الثانية إضافة إلى الضغط الهائل المطبق خلال هذا الزمن اللحظي فإن دراسة المنشآت تحت تأثير هذه الأحمال دون أخذ تأثير الزمن بعين الاعتبار أمر غير مجدي. وقد وضعت الأكواد عدة طرق لحساب التابع الزمني لهذه الحمولة وأشهر هذه الأكواد الكودين الهندي والأمريكي وسيتم في بحثنا هذه اعتماد طريقة الكود الأمريكي على إعتبار أنه أكثر استخداماً ضمن الدراسات المرجعية.

3-4-2 حساب منحني السجل الزمني النموذجي في الانفجارات الأرضية السطحية

أولاً يعتمد حساب السجل الزمني عند نقطة معلومة على مبدأ المجال الموزون Z ، وهو العلاقة بين وزن الشحنة المتفجرة وبعد النقطة المدروسة عن هذه الشحنة :

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{We}}$$

Z : المجال الموزون $m/kg^{1/3}$

R : المسافة بين النقطة المدروسة و الشحنة m

We : الوزن المكافئ للمادة المتفجرة من الـ TNT. kg

$$we = Wexp \frac{H_{exp}^d}{H_{tnt}^d}$$

H_{exp}^d حرارة التفجير الخاصة بمادة التفجير الحقيقية MJ/Kg

H_{tnt}^d حرارة التفجير الخاصة بمادة ال تي إن اي MJ/Kg

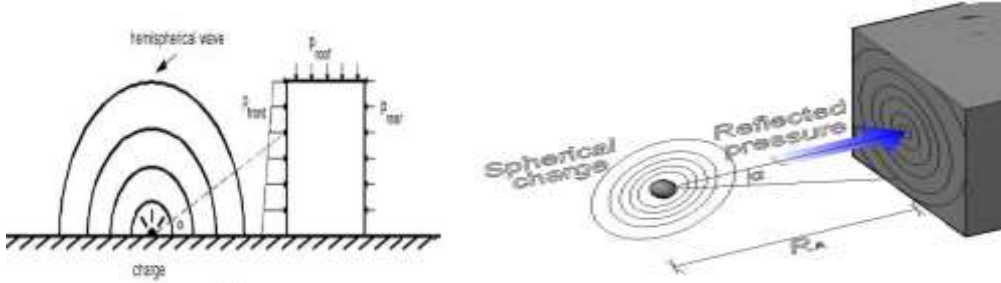
$Wexp$ وزن الشحنة الحقيقية من المادة المتفجرة Kg

يوضح الجدول (4) حرارة التفجير الخاصة بأشهر المواد المستخدمة في صنع المتفجرات عالمياً.

الجدول (4) حرارة التفجير الخاصة بالمواد المتفجرة [1]

Name of explosive	Heat of detonation [MJ/kg]
TNT	4.10-4.55
C4	5.86
RDX	5.13-6.19
PETN	6.69
PENTOLITE 50/50	5.86
NITROGLYCERIN	6.30
NITROMETHANE	6.40
NITROCELLULOSE	10.60
AMON./NIT. (AN)	1.59

ثانياً: حساب زاوية α بين المستقيم الواصل النقطة المدروسة ومصدر التفجير مع المحور المار الموازي لخط الأرض والمار من الشحنة المتفجرة.



الشكل (10) موضع الزاوية α

ثالثاً : حساب بارمترات الانفجار الأساسية

لقد وضعت سابقاً عدة معادلات أساسية يتم من خلالها حساب الضغط المباشر P_{so} والضغط المنعكس P_r للطور الموجب الناتج عن الانفجار وذلك اعتماداً على قيمة المجال الموزون Z والزاوية α كانت بارمترات موجة الانفجار محور عدد من الدراسات في العقود الماضية. وتم الوصول إلى العديد من العلاقات والأساليب لتحديد قيمة ضغط الذروة الحاصل على مسافة محددة من الانفجار. جميع العلاقات المقترحة تستند إلى حساب المجال الموزون أو قانون هوبكنسون-كرانز، والتي تعتمد على وزن الكتلة المتفجرة والمسافة الفعلية من مركز الانفجار الكروي، من أشهر هذه العلاقات معادلة كيني [Kinney][2] وقد تم استخدامها على نطاق واسع لأغراض النمذجة الحاسوبية:

$$P_{so} = P_o \frac{808 \left[1 + \left(\frac{Z}{4.5} \right)^2 \right]}{\left\{ \left[1 + \left(\frac{Z}{0.048} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{0.32} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{1.35} \right)^2 \right] \right\}^{0.5}}$$

حيث P_{so} : ضغط الذروة المطبق من الانفجار kN/m^2

p_o الضغط الجوي kN/m^2

Z المجال الموزون $\text{m/kg}^{1/3}$

من العلاقات الأخرى لحساب ضغط الذروة علاقات برود [Brode][2]، حيث اقترح

طريقتين لحساب الضغط المطبق، المعادلة (a) وذلك عندما تكون ذروة الضغط أعلى من 10

بار (= 1 ميجا باسكال) (انفجارات المجال القريب)، والمعادلة (b) لقيم الضغط بين 0.1 بار

و 10 بار (0.01 ميجا باسكال - 1 ميجا باسكال) (متوسط وانفجارات بعيدة المدى).

$$P_{so} = \begin{cases} \frac{6.7}{Z^3} + 1 & , \text{for } P_{so} > 10 \text{ bar} & \text{(a)} \\ \frac{0.975}{Z} + \frac{1.455}{Z^2} + \frac{5.85}{Z^3} - 0.019 & , \text{for } 0.1 < P_{so} < 10 \text{ bar} & \text{(b)} \end{cases}$$

حيث P_{so} : ضغط الذروة المطبق من الانفجار kN/m²
 Z المجال الموزون m/kg^{1/3}

وفي العام 1961 تم التوصل إلى صيغة جديدة من قبل العالم نيو مارك لتحديد الضغط الأعظمي المطبق على السطوح والنتاج عن الانفجارات الأرضية [2]:

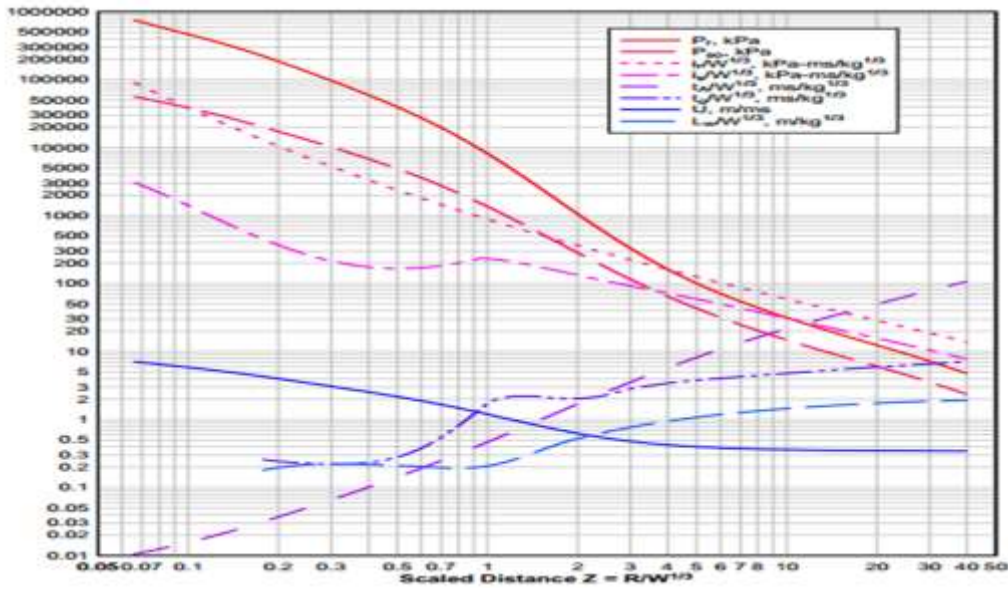
$$P_{so} = 6784 \frac{W}{R^3} + 93 \sqrt{\frac{W}{R^3}}$$

حيث P_{so} : ضغط الذروة المطبق من الانفجار bar
 W وزن الشحنة المتفجرة Tons
 R المسافة عن الشحنة المتفجرة m

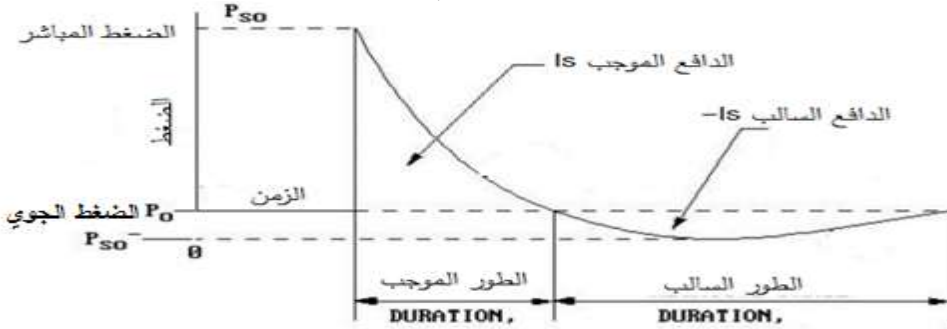
قدم ميلس [2] معادلته الشهيرة لحساب الضغط الناجم عن شحنة متفجرة في العام 1987:

$$P_{so} = \frac{1772}{Z^3} - \frac{114}{Z^2} + \frac{108}{Z}$$

ولكن حديثاً تعد الطريقة الأكثر استخداماً لتحديد بارمترات الانفجار، هي التي تمت من قبل العالمين كينجري-بولماش، التي جاءت ضمن الكود الأمريكي UFC3-340-02 [1] الخاص بالانفجارات. تتضمن نتائجهم مجموعة مخططات ومنحنيات تمكن كافة البارمترات المطلوبة كالدافع للطور الموجب Is ، الزمن اللازم لوصول موجة الضغط Ta ، سرعة موجة الصدمة، زمن الطور الموجب الكلي To ، إضافة إلى قيم الضغط الزائد والضغوط المنعكسة. وهي صالحة لمسافات تفجير ضمن مجال من (0.05 إلى 40) m. ويوضح الشكل (3-4) منحنيات كينجري-بولماش، لحساب بارمترات موجة الصدمة للطور الموجب الناجم عن انفجار أرضي [1].



الشكل (11) مخطط حساب بارمترات الانفجار للإنفجارات السطحية الطور الموجب بعد حساب البارمترات الأساسية يمكن رسم السجل الزمني الناتج عند الشحنة والمسافة المحددة



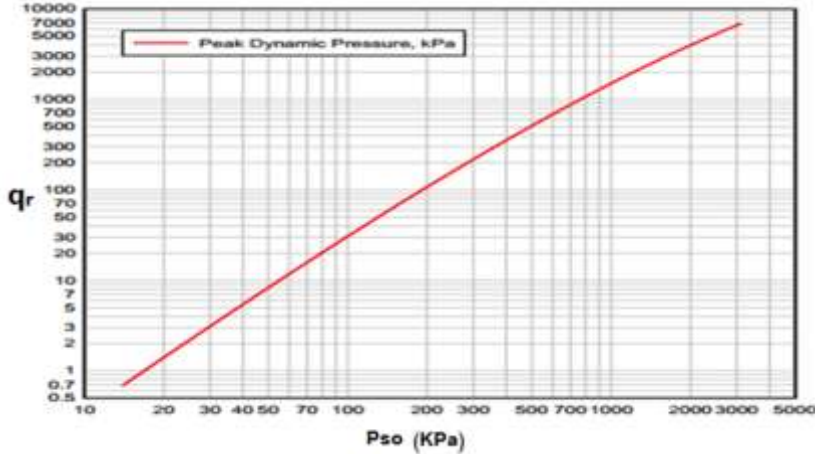
الشكل (12) منحنى (الضغط - زمن) النموذجي

4-3-4 السجل الزمني التصميمي المثلي

عند تحليل العناصر أو الهياكل تحت تأثير أمواج الانفجار يتم اللجوء إلى ما يعرف بالمنحنى الزمني التصميمي الذي يأخذ شكل مثلث قائم، حيث يتم حساب الضغط المباشر incident peak pressure الناتج عن الانفجار عند النقطة المدروسة ثم إضافة العامل الديناميكي للإنفجار الذي هو المحصلة بين الضغط المنعكس والضغوط الجانبية والخلفية ويتم حساب هذا العامل الديناميكي من خلال ضرب قيمة الضغط الديناميكي الزائد بمعامل السحب

$$P_r = P_{so} + C_d q$$

حيث: P_{so} الضغط المباشر المطبق من الانفجار
 C_d هو معامل السحب وقيمته 1 في حالة الواجهة المقابلة للإنفجار قائمة مع الأرض
 q_r هو الضغط الديناميكي ويحسب من الشكل (13) بالاعتماد الى قيمة الضغط
 مباشر KPa



الشكل (13) مخطط حساب الضغط الديناميكي

كما أن زمن الضغط المطبق على السطوح من تأثير موجة الصدمة لا يمثل فترة الطور الموجب كاملة في السجل التصميمي وذلك لوجود فترة تدعى طور الراحة للإنتقال بين الطور الموجب والسالب لذلك يتم إعتماد الزمن الوهمي للطور الموجب في تحليل المنشآت

$$T_{of} = 2 \frac{t_s}{p_{so}}$$

حيث: t_s الدافع للطور الموجب $KPa - ms/kg^{1/3}$

P_{so} الضغط المباشر المطبق من الانفجار KPa



الشكل (14) السجل الزمني التصميمي

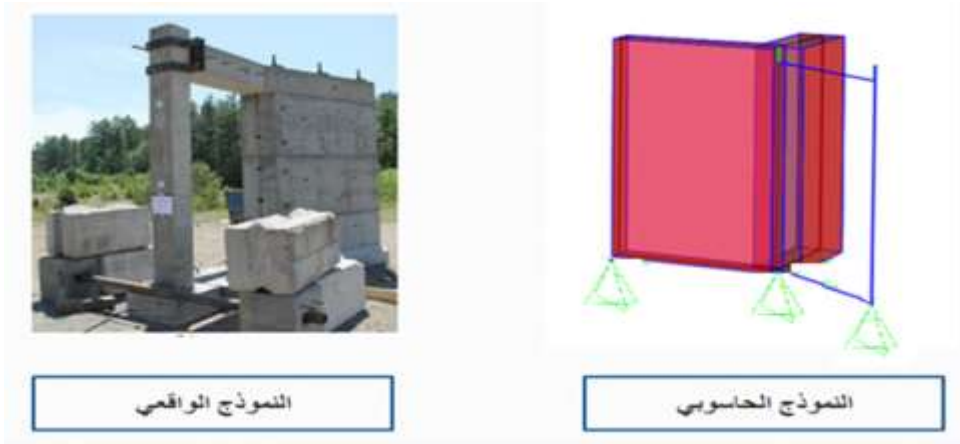
4-4 الدراسة المعيارية: قام الباحث Farouk Siba [7] بإجراء دراسة حقلية على أرض الواقع من خلال اختبار 16 عموداً من البيتون المسلح في قاعدة القوات الكندية في "أونتاريو"، وذلك من خلال تنفيذ نموذج بيتوني لعمود بارتفاع 3m وزرع مجسات على وجه العمود لقياس الضغط المنعكس المطبق والانتقالات الحاصلة في العمود وسوف يتم معايرة النتائج الميدانية التي حصل عليها الباحث للتحقق من طريقة حساب الضغط المطبق والنمذجة وفق الكود المعتمد. مواصفات العمود التي تم تجربته:

- الأبعاد $(30 \times 30 \times 300)$ Cm، الغطاء البيتوني 4 Cm

- التسليح الطولي 4T25mm ومقاومة البيتون على عمر 28 يوم 41 MPa.

- إجهاد الخضوع للفولاذ المستخدم 400 MPa.

وقام بتقييد العمود من الأعلى والأسفل، من خلال جدارين متصلين من البيتون المسلح سماكة 15cm، تفصل بينهما زاوية 30 درجة. وتوضح الأشكال، نموذج التجربة وأماكن المجسات والتجوير. ووفق هذه المعطيات، تم بناء نموذج حاسوبي وحساب المجال الموزون Z الناتج عن هذا التجبير عند بداية ومنتصف ونهاية العمود، وتقدير قيمة الضغط المباشر المطبق إضافة إلى الضغط الديناميكي وزمن تطبيق هذا الضغط. علماً تم اعتماد منحنيات الكود الأمريكي في حساب بارمترات الانفجار اللازمة.



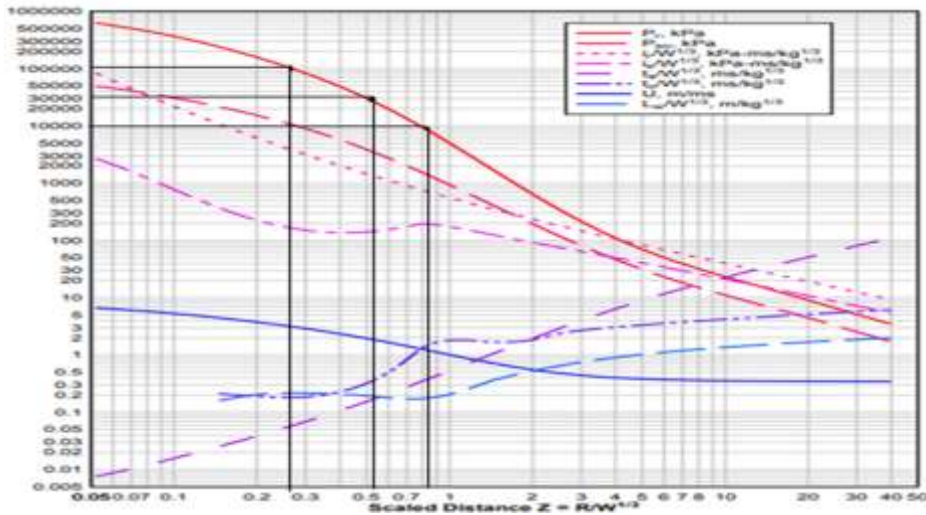
الشكل (15) يوضح الشكل الحاسوبي والشكل الواقعي للتجربة الحقلية

وقد بلغت قيم المجال الموزون عند الارتفاعات المدروسة وفق الجدول (5):

الجدول (5) قيم المجال الموزون للعمود المدروس

المجال الموزون $m/Kg^{\frac{1}{3}}$	المسافة m	وزن الشحنة Kg
0.60	2.60	80
0.70	3.00	80
0.92	3.97	80

بعد حساب قيم المجال الموزون يتم حساب قيم البرامترات اللازمة لرسم منحنى السجل الزمني الناتج عند هذا المجال ومن خلال منحنيات الأمريكي يتم استخراج (قيم الضغط المباشر Pso، الدافع للطور الموجب IS، زمن الوصول لموجة الضغط Ta،.....) ويوضح الجدول (4-2) قيم البرامترات الأساسية اللازمة.



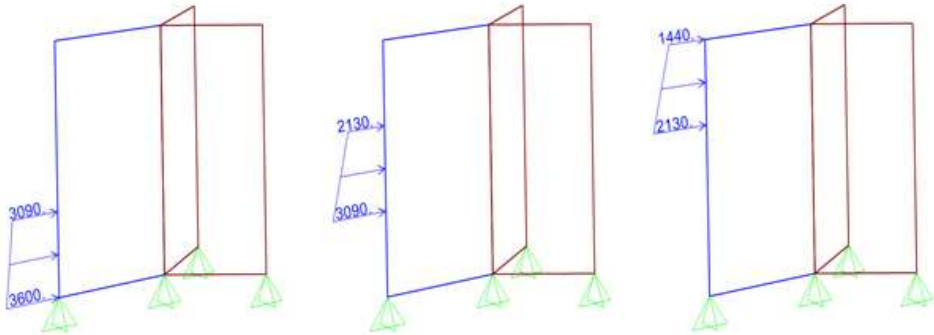
الشكل (16) حساب قيم الضغط المطبق عند قيم المجال الموزون وفق الكود الأمريكي

الجدول (6) قيم المجال الموزون للعمود المدروس

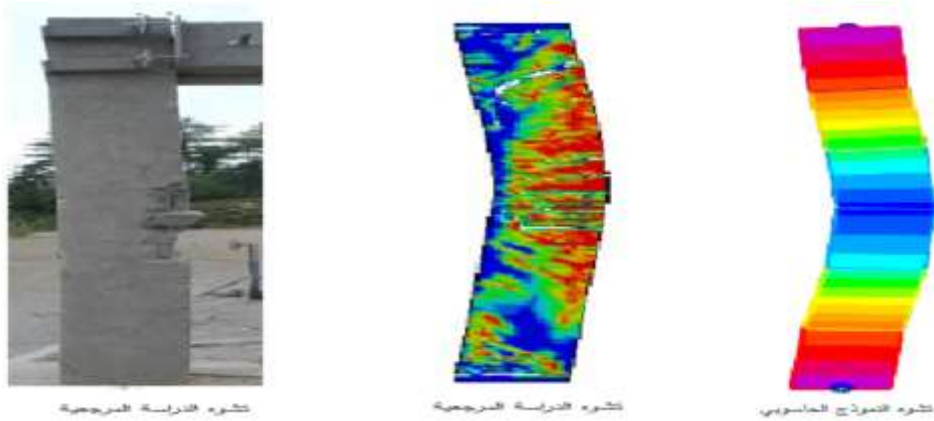
ارتفاع (m)	المجال الموزون $m/Kg^{\frac{1}{3}}$	الضغط المباشر KN/m^2	الزمن الوهمي (ms)	الضغط الديناميكي KN/m^2	الضغط التصميمي KN/m^2	شدة النبضة KN/m
0.0	0.520	3000	0.420	6000	9000	2700
1.5	0.600	2000	0.600	4000	6000	1800
3.0	0.800	1000	1.330	1500	2500	750

- ولحساب الإنتقالات وفق برنامج sap2000 ومقارنتها مع الإنتقالات على أرض الواقع تمت نمذجة النموذج المعتمد وإختيار حالة الشحنة 80Kg من مسافة 2.6m حيث يتم إعتبار طول النبضة الواحدة 1m وحساب الضغط التصميمي والزمن عند بداية ونهاية هذه النبضة وتطبيقها ك قوة موزعة مرتبطة بالزمن على طول النبضة ومنه سوف يتم تعريف ثلاثة

حمولات مع ثلاثة سجلات زمنية كل واحدة منها تمثل النبضة وفق منطقة تأثيرها فالنبضة الأولى من أسفل العمود حتى إرتفاع 1m والثانية من إرتفاع 1m حتى 2m....



الشكل (17) القوة المطبقة على كامل العمود بتأثير كل نبضة



الشكل (18) التثؤوه الحاصل في النموذج الحاسوبي والدراسة المرجعية

الجدول (7) قيم الإنتقالات الناتج حقلياً وحاسوبياً والفرق النسبي

الارتفاع	الانتقال في النموذج	الانتقال في الدراسة الحقلية	الفرق النسبي %
1	10.37	11.2	4.2
1.5	13.87	14.3	3.1
2	10.23	9.9	3.3

5 تحليل المبنى:

تم تقسيم مراحل العمل الى ست مجموعات في هذا النموذج وفق الجدول (8):

المسافة m	الشحنة kg	حالة المبنى	المجموعة
5	40	المبنى دون أية تقوية	المجموعة الأولى
		إضافة الروابط بشكل حرف X	
		إضافة الروابط بشكل حرف V	
		استخدام القمصان المعدنية	
5	60	المبنى دون أية تقوية	المجموعة الثانية
		إضافة الروابط بشكل حرف X	
		إضافة الروابط بشكل حرف V	
		استخدام القمصان المعدنية	
5	75	المبنى دون أية تقوية	المجموعة الثالثة
		إضافة الروابط بشكل حرف X	
		إضافة الروابط بشكل حرف V	
		استخدام القمصان المعدنية	
5	90	المبنى دون أية تقوية	المجموعة الرابعة
		إضافة الروابط بشكل حرف X	
		إضافة الروابط بشكل حرف V	
		استخدام القمصان المعدنية	
5	100	المبنى دون أية تقوية	المجموعة الخامسة
		إضافة الروابط بشكل حرف X	
		إضافة الروابط بشكل حرف V	
		استخدام القمصان المعدنية	

5-1 المجموعة الأولى الشحنة 40kg والمسافة 5M:

5-1-1 حساب بارمترات الانفجار والضغط التصميمي المطبق على الأعمدة :

بلغت قيم الضغوط المطبقة على العمود المركزي C4 وزمن تطبيق هذا الضغط

الجدول (9) قيم بارمترات الانفجار المطبق على كامل العمود C4 عند الشحنة 40Kg

العمود	ارتفاع المقطع (m)	المحال الموزون $m/Kg^{\frac{1}{3}}$	الضغط المباشر (KN/m ²)	الدافع للطور الموجب (ms)	الزمن الوهمي (ms)	الضغط التصميمي (KN/m ²)
C 4	0	1.46	587.58	458.27	1.56	1197.58
	1.5	1.53	520.11	441.17	1.70	1120.11
	3	1.70	381.65	410.39	2.15	581.65
	4.5	1.97	258.30	321.47	2.49	408.30
	6	2.28	174.21	285.22	3.27	234.21
	7.5	2.64	121.35	254.44	4.19	171.35
	9	3.01	88.24	221.61	5.02	128.24
	10.5	3.40	66.96	198.35	5.92	81.96
	12	3.80	52.78	171.00	6.48	60.78
	13.5	4.21	42.98	147.06	6.84	47.98
15	4.62	35.96	136.80	7.61	39.96	

5-1-2 تعريف موجة الضغط المطبقة وحالة التحليل:

بعد حساب قيم الضغط المطبق وزمن تطبيق هذا الضغط لكل عمود، يتم تعريف القوى والسجل الزمني المرافق لها حيث كل واحدة منها تمثل نبضة بارتفاع 1.5m، وتكون شدة النبضة هي الضغط التصميمي الناتج عن موجة الانفجار المدروسة. يتم التحليل الديناميكي اللاخطي باستخدام تابع السجل الزمني للضغط المطبق على المبنى وفق علاقة (قوة - زمن) على إعتبار الزمن الكلي هو 10 ثانية وطول الخطوة 1 ميلي ثانية وبالتالي عدد خطوات التحليل 10000 خطوة على أن يبدأ هذا التحليل بعد الانتهاء من تحليل الحمولات الميتة.

5-1-3 الانتقالات الأفقية الطابقية:

يوضح الجدول (10) قيم الانتقالات الأفقية الطابقية الحاصلة عند كل حالة تحت تأثير

الجدول (10) الانتقالات الأفقية ب mm الحاصلة عند الشحنة 40Kg

الطابق	المبنى بدون تقوية	روابط بشكل حرف V	روابط بشكل حرف X	القمصان المعدنية
1	3.43	2.74	2.26	3.27
2	7.72	6.14	4.97	6.47
3	10.87	8.01	6.90	9.33
4	12.81	9.23	8.10	11.18
5	14.10	9.94	8.76	12.17

الشكل (19) الانتقالات الأفقية الطابقية لكل حالة عند الشحنة 40KG



4-1-5 العزوم الأعظمية المتشكلة والقوى الناظمية المرافقة لها:

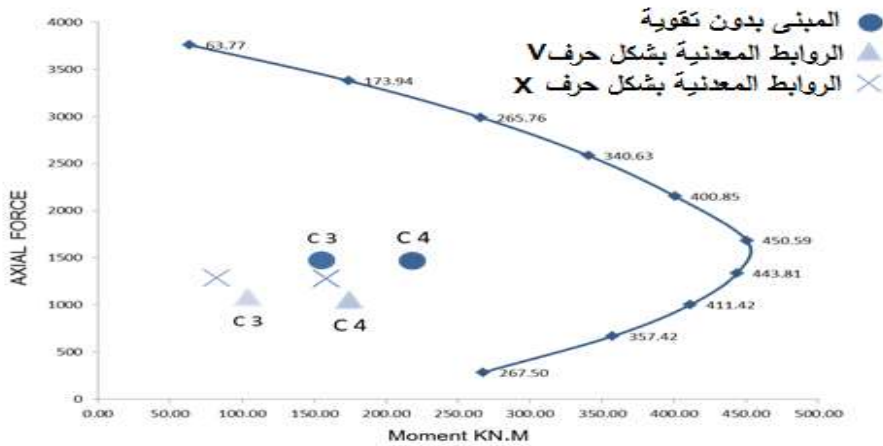
يظهر الجدول (11)، قيم عزوم الانعطاف الأعظمية الناتجة عن الضغط مع القوة الناظمية المرافقة لها في التحليل الناتجة عن ضغط الانفجار عند الشحنة 40 KG
الجدول (11) العزوم الأعظمية والقوى الناظمية عند الشحنة 40Kg

العمود	القوى الداخلية	المبنى بدون تقوية	روابط حرف V	روابط حرف X	القمصان المعدنية
C 4	M max (kN.m)	223	195	179	219
	N (kN)	1462	1053	1275	1487
C 3	M max (kN.m)	164	125	102	166
	N (kN)	1469	1081	1283	1498
C 2	M max (kN.m)	135	68	42	122
	N (kN)	1438	1034	1261	1456

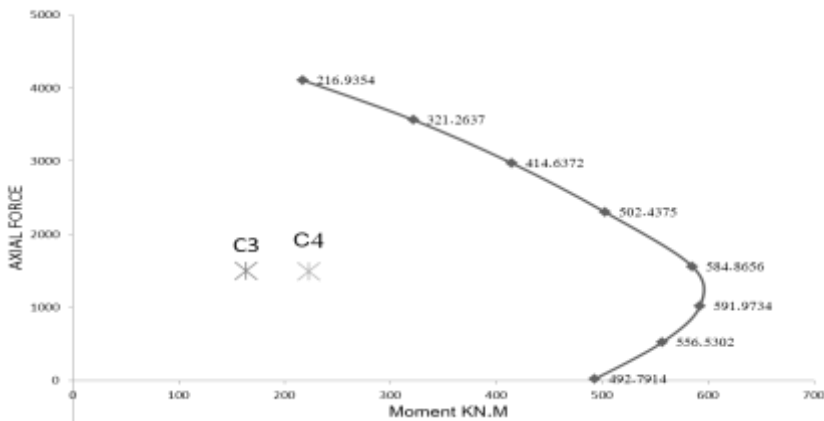
بعد حساب العزوم الأعظمية والقوى الناظمية لكافة الحالات، يتم التحقق من حالة العمودين C3،C4 الخاضعين لأكبر ضغط من خلال منحنى الترابط لمقطع العمود ودراسة إمكانية حصول الانهيار على الضغط اللامركزي، وتجدر هنا الإشارة الى أن مقاطع الأعمدة التي تم تقويتها باستخدام الزوايا المعدنية تملك منحنى ترابط مختلف القيم ولذلك تم وضعها ضمن مخطط مستقل علماً أنه تم استخراج منحنيات الترابط من البرنامج sap 2000 .

حيث يوضح الشكل (20) منحنى الترابط لمقطع العمود وأماكن تموضع حالة اللامركزية الناتجة عن العزم الأعظمي والقوة الناظمية المرافقة له، في حالات المبنى بدون تقوية وحالتي الترابط بشكل حرف V, X

أما الشكل (21) فهو لمنحنى ترابط مقطع العمود بعد إضافة الزوايا المعدنية، وأماكن تموضع حالة اللامركزية الناتجة عن العزم الأعظمي والقوة الناظمية المرافقة له، وذلك في الطابقين الأول والثاني.



الشكل (20) منحنى الترابط ووضعية العمودين C4-C3 لحالات المبنى بدون تقوية ومع الروابط



الشكل (21) منحنى الترابط ووضعية العمودين C4-C3 عند إضافة الزوايا المعدنية

5-1-5 دراسة إجهادات قوى القص المطبقة على الأعمدة :

يبين الجدول (12)، قيم الإجهادات القاصة الأعظمية الحاصلة ضمن أعمدة المبنى الناتجة عن ضغط الانفجار عند الشحنة 40 kg، علماً أن الاجهادات التي يتحملها مقطع

العمود بدون زوايا معدنية $t_u = 2.74 \text{ MPa}$

أما بعد إضافة الزوايا المعدنية تصبح قيمة الاجهادات المسموحة $t_u = 3.18 \text{ MPa}$

وتم حساب الاجهاد المسموح في حالة إضافة الزوايا المعدنية بالاعتماد الى قوة القص الأعظمية التي يتحملها المقطع وفق تصميم البرنامج sap pro2000، ومقارنتها مع قوة القص الأعظمية دون الزوايا.

الجدول (12) إجهادات القص الأعظمية ب MPa عند الشحنة 40Kg

مساهمة أشكال التقوية الزلزالية في رفع كفاءة الأعمدة لمقاومة أمواج الانفجارات

نوع التقوية	العمود C4	العمود C3	العمود C2
المبنى بدون تقوية	1.808	1.109	0.545
روابط بشكل حرف V	1.331	0.629	0.257
روابط بشكل حرف X	1.263	0.560	0.194
القمصان المعدنية	1.619	0.838	0.432

2-5 المجموعة الثانية الشحنة 60kg والمسافة 5m:

5-2-1 حساب بارمترات الانفجار والضغط التصميمي المطبق على الأعمدة :

بلغت قيم الضغوط المطبقة وزمن تطبيقها الناتجة عن شحنة بوزن 60 kg على العمود المركزي C4 وفق الجدول:

الجدول (13) قيم بارمترات الانفجار المطبق على كامل العمود C4 عند الشحنة 60Kg

العمود	ارتفاع المقطع (m)	المحال الموزون $m/Kg^{\frac{1}{3}}$	الضغط المباشر (KN/m ²)	دافع للطور الموجب (ms)	الزمن الوهمي (ms)	الضغط التصميمي (KN/m ²)
C4	0	1.28	865.23	598.97	1.38	2140.23
	1.5	1.33	764.30	575.48	1.51	1914.30
	3	1.49	557.41	516.76	1.85	1157.41
	4.5	1.72	373.53	465.86	2.49	713.53
	6	2.00	248.65	356.25	2.87	398.65
	7.5	2.30	170.57	324.93	3.81	253.07
	9	2.63	122.01	292.05	4.79	167.01
	10.5	2.97	91.03	257.99	5.67	118.03
	12	3.32	70.58	233.32	6.61	88.58
	13.5	3.68	56.57	205.92	7.28	66.57
	15	4.04	46.65	177.73	7.62	53.65

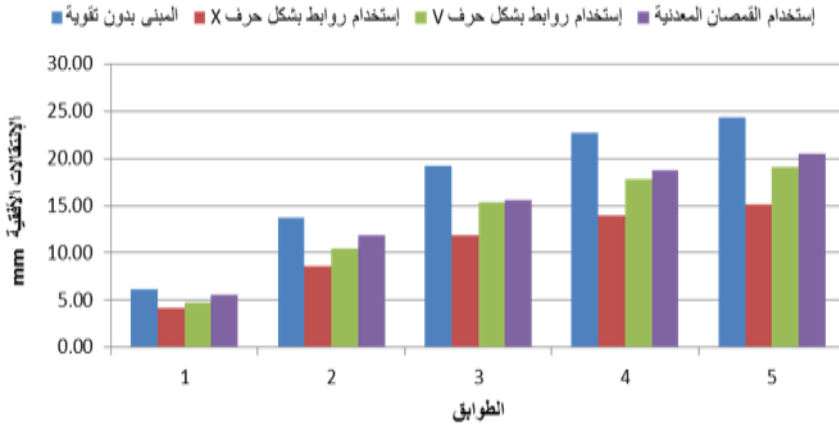
5-2-2 الانتقالات الأفقية الطابقية:

بلغت قيم الانتقالات الأفقية الحاصلة في عقد الأعمدة عند كل حالة تحت تأثير الضغط

الجدول (14) الانتقالات الأفقية بmm الحاصلة عند الشحنة 60Kg

الطابق	المبنى بدون تقوية	روابط بشكل حرف V	روابط بشكل حرف X	القمصان المعدنية
1	6.11	4.76	4.12	5.58
2	13.67	10.43	8.65	11.81
3	19.20	15.30	11.83	15.62

4	22.64	17.74	13.92	18.73
5	24.38	19.82	16.77	21.11



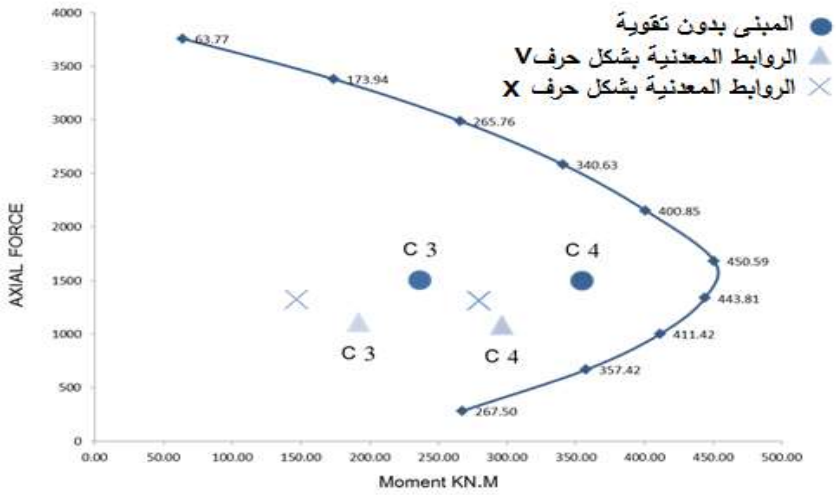
الشكل (22) الانتقالات الأفقية الطابقية لكل حالة عند الشحنة 60kg

3-2-5 العزوم الأعظمية المتشكلة والقوى الناظمية المرافقة لها:

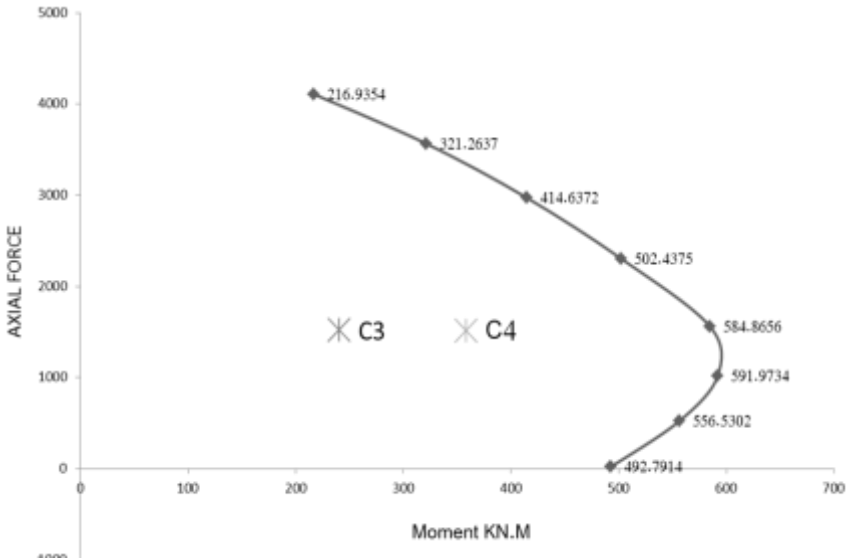
يبين الجدول (15) ، قيم عزوم الانعطاف الأعظمية الناتجة عن الضغط مع القوة الناظمية

الجدول (15) العزوم الأعظمية والقوى الناظمية عند الشحنة 60Kg

العمود	القوى الداخلية	المبنى بدون تقوية	روابط حرف V	روابط حرف X	القمصان المعدنية
C 4	M max (kN.m)	359	296	280	355
	N (kN)	1491	1082	1311	1512
C 3	M max (kN.m)	240	160	147	237
	N (kN)	1499	1111	1320	1519
C 2	M max (kN.m)	189	94	83	185
	N (kN)	1463	1061	1283	1479



الشكل (23) منحنى الترابط ووضعية العمودين C4-C3 لحالات المبنى بدون تقوية ومع إضافة الروابط



الشكل (24) منحنى الترابط ووضعية العمودين C4-C3 عند إضافة الزوايا المعدنية

4-2-5 دراسة إجهادات قوى القص المطبقة على الأعمدة :

يوضح الجدول (16)، قيم الإجهادات القصية القصوى ضمن أعمدة المبنى الناتجة عن انفجار شحنة 60 kg :

الجدول (16) إجهادات القص الأعظمية ب MPa عند الشحنة 60Kg

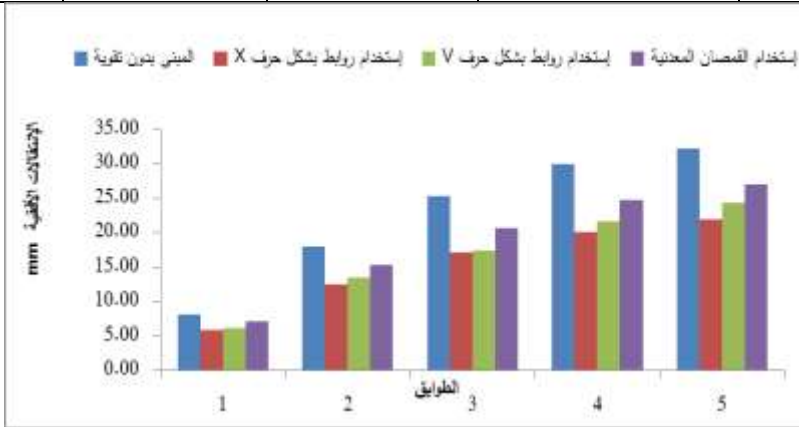
نوع التقوية	العمود C4	العمود C3	العمود C2
المبنى بدون تقوية	2.891	1.916	1.445
روابط بشكل حرف V	2.017	1.286	0.897
روابط بشكل حرف X	1.863	1.114	0.600
القمصان المعدنية	2.760	1.829	1.384

3-5 المجموعة الثالثة الشحنة 75kg والمسافة 5m:

1-3-5 الانتقالات الأفقية الطابقية:

بلغت قيم الانتقالات الأفقية الحاصلة في عقد الأعمدة عند كل حالة تحت تأثير الضغط الجدول (17) الانتقالات الأفقية بـ mm الحاصلة عند الشحنة 75Kg

الطابق	المبنى بدون تقوية	روابط بشكل حرف V	روابط بشكل حرف X	القمصان المعدنية
1	8.07	6.15	5.95	7.15
2	18.07	13.51	12.49	15.39
3	25.38	17.41	17.11	20.65
4	29.93	21.61	20.17	24.76
5	32.25	24.40	21.97	27.01



الشكل (25) الانتقالات الأفقية الطابقية لكل حالة عند الشحنة 75KG

2-3-5 العزوم الأعظمية المتشكلة والقوى الناظمية المرافقة لها:

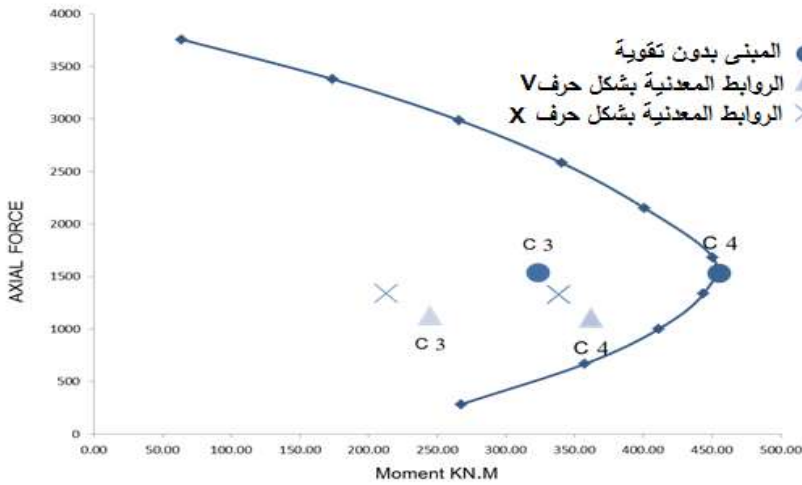
يظهر الجدول (18)، قيم عزوم الانعطاف الأعظمية الناتجة عن الضغط مع القوة

الناظمية المرافقة لها الناتجة عن ضغط الانفجار عند الشحنة 75 KG

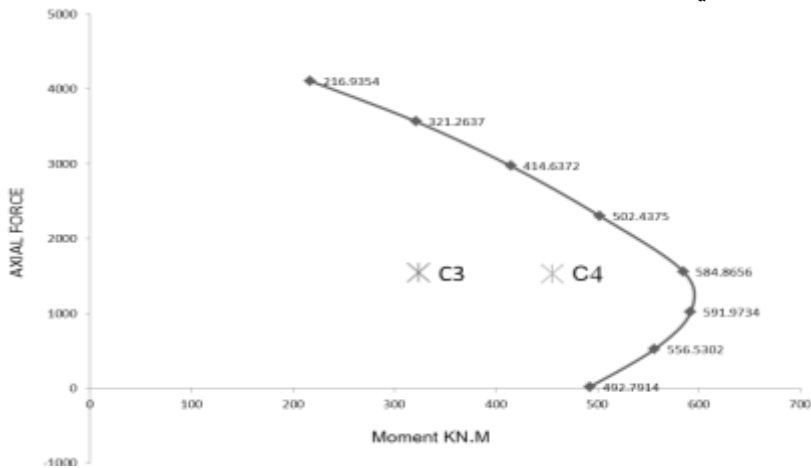
الجدول (18) العزوم الأعظمية والقوى الناظمية في أعمدة الطابق الأول عند الشحنة 75Kg

العمود	القوى الداخلية	المبنى بدون	روابط حرف V	روابط حرف X	القمصان
--------	----------------	-------------	-------------	-------------	---------

		تقوية			المعدنية
C 4	M max (kN.m)	456	362	339	447
	N (kN)	1525	1107	1327	1526
C 3	M max (kN.m)	324	245	213	316
	N (kN)	1529	1126	1338	1543
C 2	M max (kN.m)	255	185	166	247
	N (kN)	1476	1061	1297	1489



الشكل (26) منحنى الترابط ووضعية العمودين C4-C3 لحالات المبنى بدون تقوية ومع الروابط



الشكل (27) منحنى الترابط ووضعية العمودين C4-C3 عند إضافة الزوايا المعدنية

3-3-5 دراسة إجهادات قوى القص المطبقة على الأعمدة :

يبين الجدول (19)، قيم الإجهادات القاصة الأعظمية الحاصلة ضمن أعمدة المبنى الناتجة عن ضغط الانفجار عند الشحنة 75 kg:

الجدول (19) إجهادات القص الأعظمية ب MPa في الطابقين الأول عند الشحنة 75Kg

نوع التقوية	العمود C4	العمود C3	العمود C2
المبنى بدون تقوية	3.314	2.185	1.681
روابط بشكل حرف V	2.457	1.600	1.137
روابط بشكل حرف X	2.269	1.314	0.771
القمصان المعدنية	3.257	2.222	1.619

4-5 المجموعة الرابعة الشحنة 90kg والمسافة 5m:

1-4-5 حساب بارمترات الانفجار والضغط التصميمي المطبق على الأعمدة :

بلغت قيم الضغوط المطبقة على العمود المركزي C4 وزمن تطبيق هذا الضغط الناتج عن شحنة بوزن 90 kg وفق الجدول (20)

الجدول (20) قيم بارمترات الانفجار المطبق على كامل العمود C4 عند الشحنة 90Kg

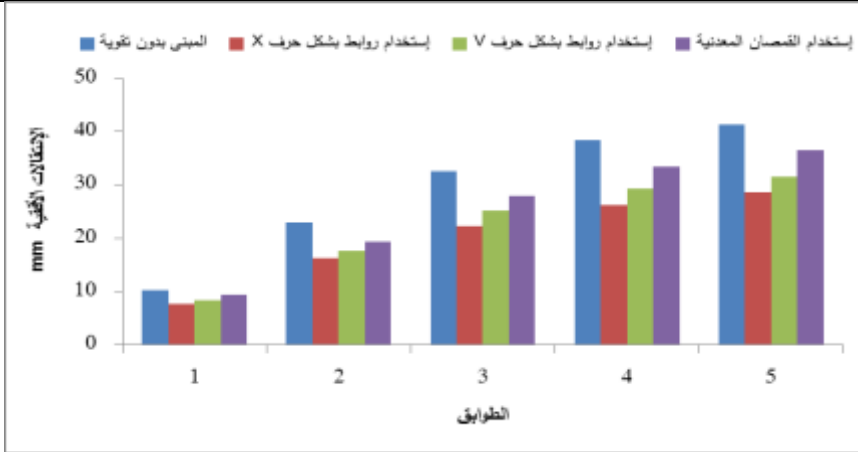
العمود	ارتفاع المقطع (m)	المحال الموزون $m/Kg^{\frac{1}{3}}$	الضغط المباشر (KN/m^2)	دفع للطور الموجب (ms)	الزمن الرهومي (ms)	الضغط التصميمي (KN/m^2)
C 4	0	1.12	1281.06	757.35	1.18	3081.06
	1.5	1.16	1129.83	734.94	1.30	2829.83
	3	1.30	820.10	672.20	1.64	1920.10
	4.5	1.50	545.29	582.57	2.14	1145.29
	6	1.74	359.18	519.84	2.89	659.18
	7.5	2.01	243.27	402.42	3.31	393.27
	9	2.30	171.54	372.85	4.35	241.54
	10.5	2.60	126.08	337.89	5.36	166.08
	12	2.90	96.27	304.73	6.33	126.27
	13.5	3.21	76.02	276.95	7.29	96.02
	15	3.53	61.80	249.16	8.06	79.80

4-5-2 الانتقالات الأفقية الطابقية:

يوضح الجدول (21) الانتقالات الأفقية الحاصلة في عقد الأعمدة عند كل حالة تحت تأثير الضغط المطبق

الجدول (21) الانتقالات الأفقية ب mm الحاصلة عند الشحنة 90kg

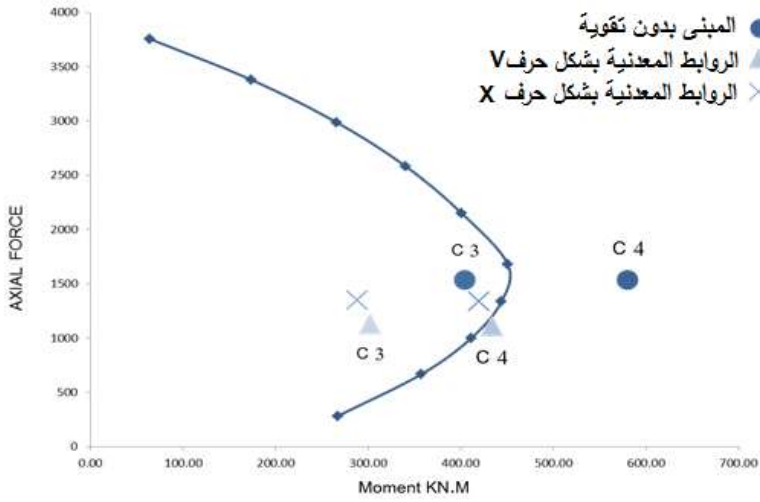
الطابق	مبنى بدون تقوية	روابط بشكل V	روابط بشكل X	لقمصان المعدنية
1	10.21	8.35	7.63	9.42
2	23.04	17.59	16.21	19.31
3	32.50	25.13	22.31	27.90
4	38.36	29.24	26.32	33.46
5	41.39	31.52	28.69	36.50



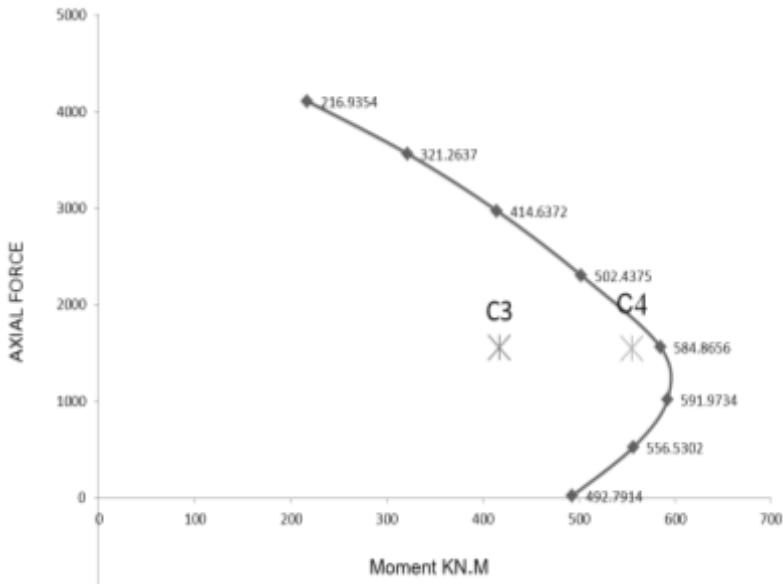
الشكل (28) الانتقالات الأفقية الطابقية لكل حالة عند الشحنة 90KG

3-4-5 العزوم الأعظمية المتشكلة والقوى الناظمية المرافقة لها:
يوضح الجدول (22)، قيم عزوم الانعطاف الأعظمية الناتجة عن الضغط مع القوة الناظمية المرافقة الناتجة عن ضغط الانفجار عند الشحنة 90 KG.
الجدول (22) العزوم الأعظمية والقوى الناظمية في أعمدة الطابق الأول عند الشحنة 90Kg

العمود	القوى الداخلية	المبنى بدون تقوية	روابط حرف V	روابط حرف X	القمصان المعدنية
C 4	M max (kN.m)	581	434	420	563
	N (kN)	1533	1112	1339	1541
C 3	M max (kN.m)	405	302	288	401
	N (kN)	1529	1126	1350	1553
C 2	M max (kN.m)	370	280	245	352
	N (kN)	1482	1069	1304	1502



الشكل (29) منحنى الترابط ووضعية العمودين C4-C3 لحالات المبنى بدون تقوية ومع الروابط



الشكل (30) منحنى الترابط ووضعية العمودين C4-C3 في الطابق مع إضافة الزوايا المعدنية

4-4-5 دراسة إجهادات قوى القص المطبقة على الأعمدة :

يبين الجدول (23)، قيم الإجهادات القاصة الأعظمية الحاصلة ضمن أعمدة المبنى

الناتجة عن ضغط الانفجار عند الشحنة 90 kg:

الجدول (23) إجهادات القص الأعظمية ب MPa في الطابقين الأول عند الشحنة 90Kg

نوع التقوية	العمود C4	العمود C3	العمود C2
المبنى بدون تقوية	4.202	2.545	2.050
روابط بشكل حرف V	2.834	1.943	1.343
روابط بشكل حرف X	2.671	1.657	1.131
القمصان المعدنية	4.006	2.241	1.410

5-5 المجموعة الخامسة الشحنة 100kg والمسافة 5m:

5-5-1 حساب بارمترات الانفجار والضغط التصميمي المطبق على الأعمدة :
بلغت قيم الضغوط المطبقة على العمود المركزي C4 وزمن تطبيق هذا الضغط الناتج عن شحنة بوزن 100 kg وفق الجدول (24):

الجدول (24) قيم بارمترات الانفجار المطبق على كامل العمود C4 عند الشحنة 100Kg

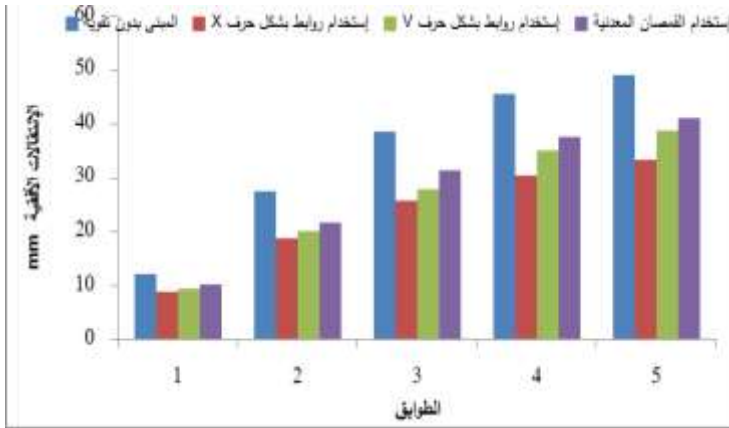
العمود	ارتفاع المقطع (m)	المحال الموزون $\frac{1}{3}$ m/Kg	الضغط المباشر (KN/m ²)	الدافع للطور الموجب (ms)	الزمن الوهمي (ms)	الضغط التصميمي (KN/m ²)
C4	0	1.08	1419.62	802.98	1.13	3769.62
	1.5	1.12	1251.60	779.77	1.25	3251.60
	3	1.26	907.54	719.44	1.59	2207.54
	4.5	1.45	602.40	631.25	2.10	1302.40
	6	1.68	395.86	561.62	2.84	775.86
	7.5	1.94	267.34	445.59	3.33	447.34
	9	2.22	187.89	393.60	4.19	292.89
	10.5	2.51	137.60	366.68	5.33	197.60
	12	2.80	104.68	329.55	6.30	134.68
	13.5	3.10	82.36	292.42	7.10	102.36
15	3.41	66.71	269.21	8.07	81.71	

5-5-2 الانتقالات الأفقية الطابقية:

بلغت قيم الانتقالات الأفقية الحاصلة في عقد الأعمدة عند كل حالة وفق الجدول:

الجدول (31) الانتقالات الأفقية ب mm الحاصلة عند الشحنة 100Kg

الطابق	المبنى بدون تقوية	روابط بشكل حرف V	روابط بشكل حرف X	القمصان المعدنية
1	12.26	9.38	8.92	10.18
2	27.46	20.03	18.78	21.71
3	38.6	27.94	25.79	31.39
4	45.55	34.99	30.5	37.66
5	49.1	38.82	33.32	41.11

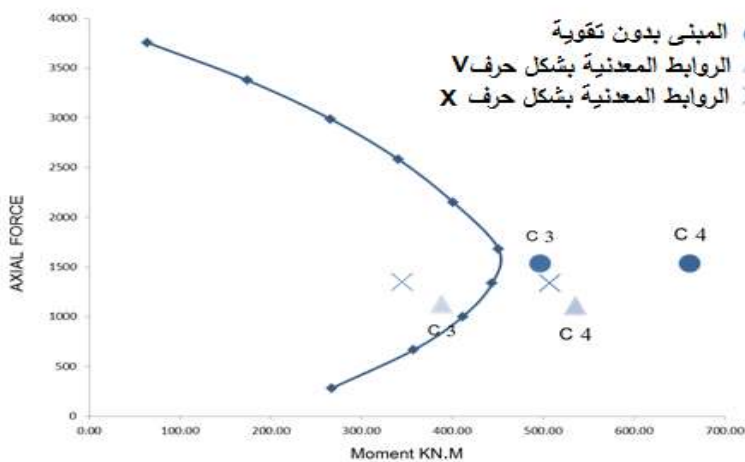


الشكل (32) الانتقالات الأفقية الطابقية لكل حالة عند الشحنة 100Kg

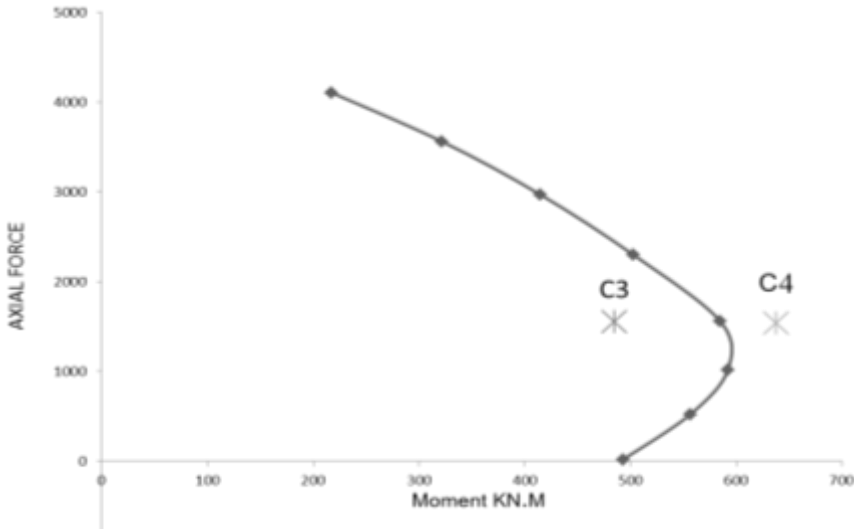
3-5-5 العزوم الأعظمية المتشكلة والقوى الناظمية المرافقة لها:

الجدول (26) العزوم الأعظمية والقوى الناظمية في أعمدة الطابق الأول عند الشحنة 100Kg

العمود	القوى الداخلية	المبنى بدون تقوية	روابط حرف V	روابط حرف X	القمصان المعدنية
C 4	M max (kN.m)	662	536	507	638
	N (kN)	1533	1112	1339	1541
C 3	M max (kN.m)	497	388	345	485
	N (kN)	1529	1126	1350	1553
C 2	M max (kN.m)	410	225	188	390
	N (kN)	1482	1069	1304	1502



الشكل (33) منحنى الترابط ووضعية العمودين C4-C3 لحالات المبنى بدون تقوية ومع الروابط



الشكل (34) منحنى الترابط ووضعية العمودين C4-C3 في الطابق مع إضافة الزوايا المعدنية
4-5-5 دراسة إجهادات قوى القص المطبقة على الأعمدة :

يبين الجدول (27)، قيم الإجهادات القاصة الأعظمية الحاصلة ضمن أعمدة المبنى الناتجة عن ضغط الانفجار عند الشحنة 100 kg:

الجدول (27) إجهادات القص الأعظمية ب MPa في الطابقين الأول عند الشحنة 100Kg

نوع التقوية	العمود C4	العمود C3	العمود C2
المبنى بدون تقوية	4.713	3.092	2.420
روابط بشكل حرف V	3.474	2.200	1.686
روابط بشكل حرف X	3.291	2.109	1.457
القمصان المعدنية	4.470	3.048	2.317

6 مقارنة ومناقشة النتائج:

6-1 شحنة الانهيار:

• في حالة المبنى بدون تقوية: حدث أول انهيار في العمود المركزي C4 عند الشحنة 60 kg، وذلك حيث تجاوزت إجهادات القص المطبقة الإجهادات المسموحة. في حين أن الانهيار على الضغط المركزي يحدث عند الشحنة 75kg أما في حالة الشحنة 100 kg فقد حدث الانهيار في العمودين C3 المجاور للعمود المركزي.

- في حالة المبنى مقواة بروابط حرف V: حدث أول انهيار للعمود المركزي عند حدود الشحنة 90kg على الضغط اللامركزي، والقص معاً.
- في حالة المبنى مقواة بروابط حرف X: سيحدث الانهيار للعمود المركزي عند حدود الشحنة 100kg على الضغط اللامركزي، والقص معاً.
- حالة المبنى مقواة بزوايا أو قميص معدني: إن حصول انهيار متوقع للعمود المركزي سيكون على القص أولاً عند الشحنة 75kg ، في حين أن الشحنة اللازمة لحصول انهيار على الضغط اللامركزي هي 100kg.

2-6 الانتقال الأفقي:

بلغ متوسط التخفيض في الانتقالات الجانبية للطوابق، وذلك بعد نسب قيم الانتقالات لكل حالة تقوية الى حالة المبنى بدون تقوية وفق ما يلي:

عند استخدام الروابط بشكل حرف X كانت قيمة النسبية في خفض الانتقالات الطابقية (30-32) %، أما عند استخدام الروابط بشكل حرف V فقد كانت النسبة (25-28) %، في حين بلغت هذه النسبة عند استخدام القمصان المعدنية (13-15) %.

3-6 الاجهادات المطبقة:

بلغ متوسط التخفيض في استهلاك المقطع: وهي النسبة بين الإجهادات المطبقة الى الاجهادات الأعظمية التي يتحملها المقطع العرضي للعمود، وذلك بعد نسب القيم لكل حالة تقوية الى حالة المبنى بدون تقوية وفق ما يلي:

□ للعمود المركزي C4 الخاضع لأكبر ضغط.

عند استخدام الروابط بشكل حرف X كانت نسبة التخفيض الحاصلة بحدود (32-37) %، أما عند استخدام الروابط بشكل حرف V فقد كانت النسبة (27-33) %، في حين بلغت كانت هذه النسبة منخفضة جداً عند استخدام القمصان المعدنية حيث لم تتجاوز (16-20) %.

□ للعمود C3 وهو العمود الأقرب للعمود المركزي.

عند استخدام الروابط بشكل حرف X كانت قيمة النسبية في خفض الانتقالات الطابقية (42-47) %، أما عند استخدام الروابط بشكل حرف V فقد كانت النسبة (38) %، في حين بلغت هذه النسبة منخفضة جداً عند استخدام القمصان المعدنية حيث لم تتجاوز (22) %.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. تعتبر منشآت البيتون المسلح عموماً من أفضل الهياكل في مواجهة أمواج الصدمة الناجمة عن الانفجارات مقارنة بالمنشآت الأخرى ويمكن للأعمدة البيتونية المصممة زلزالياً عند المنطقة 2 أن تقاوم موجات انفجارية من شحنات تقل عن 50KG عند مسافات لا تقل عن 5M .
2. قامت أشكال التقوية المدروسة في رفع كفاءة الأعمدة لمقاومة موجة الصدمة الناتجة عن الانفجار وذلك عند كافة الشحنات المدروسة، حيث أدت إلى رفع قيمة الشحنة اللازمة التي تتجاوز عندها القوى الداخلية والإجهادات القيم المسموحة.
3. بينت نتائج التحليل والمقارنة أن بداية إنهيار الأعمدة البيتونية تحت تأثير موجات الصدمة الانفجارية يكون على القص ثم يليها الانهيار على الضغط اللامركزي عند زيادة وزن الشحنات المتفجرة، وذلك في حالة المباني بدون تريبط، أما عند إضافة التريبط المعدني فقد ترافق الانهيار على القص مع الضغط اللامركزي.
4. منحت القمصان المعدنية المضافة الى الأعمدة زيادة في قيمة القوى والعزوم اللازمة لانهيار الأعمدة مما أتاح لهذه الأعمدة إمكانية لتحمل شحنة أكبر إلا أنها لم تلعب دوراً هاماً في تبديد الطاقة أو تخفيض هذه القوى والإجهادات الناتجة عن ضغط الانفجار.
5. إن استخدام التريبط المعدني بشكل عام ساهم في امتصاص موجة الصدمة وتخفيض الانتقالات والقوى الداخلية (عزوم الانعطاف - قوى القص) الحاصلة ضمن الأعمدة وبالتالي أعطى هذه الأعمدة القدرة على تحمل موجات صدمة ناتجة عن شحنات متفجرة أكبر.
6. تعد طريقة التريبط المتصالب المعدني X هو أفضل الطرق من حيث حجم الشحنات المتفجرة التي تبدأ عندها الأعمدة بالانهيار وأعطت أعلى نسب تخفيض في قيم الانتقالات الجانبية الناجمة عن موجة الصدمة.
7. أن استخدام التريبط المعدني بشكل حرف V ساهم في تخفيض الانتقالات والدورانات بشكل أكبر من القمصان المعدنية كما أدى الى زيادة وزن الشحنة التي يحدث أول انهيار فيها على القص، في حين أن استخدام القمصان المعدنية تحتاج الى شحنة أكبر للانهيار على الضغط الامركزي.
8. من المهم إجراء دراسة لحالات يكون مركز الشحنة المتفجرة مقابلة للأعمدة الركنية للمبنى، وبالتالي يكون الضغط المطبق على جانبي المبنى متفاوت ، مما قد يسبب حالة قتل لواجهة المبنى.

- [1] UFC 3-340-02 Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions Series: 3 _____, 2014 , USA .
- [2] SOLOMOS , G ؛ KARLOS , V , 2013 , Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components , European Laboratory for Structural Assessment , Italy .
- [3] MELHEM, I, 2015 , R.C Structures Evaluation And Behavior Analysis Due to Explosions and Accidental Hazards , SYRIA
- [4] COFFIELD , A 2014 , AN INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE FRAMING SYSTEMS in STRUCTURES SUBJECTED TO BLAST LOADING , JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING, Columbus, USA , VOL .20, 767-777.
- [5] THEJASWI , K.P؛ KULKARN, D.K, 2016, Effect of Different Bracing Systems on the Multi-story Building Subjected to Blast Loading, International Journal of Man Machine Interface, india, VOL .4 , 96 -102.
- [6] SHAHEEN, R , 2019 , Explosion-prone structural behavior, Master's thesis, Faculty of Civil Engineering, ALEEPO University
- [7] SIBA, F, 2014 , Effects of blast loading on seismically detailed reinforced concrete columns , Master's thesis , Carleton University Ottawa, Ontario , canada
- [8] SUDHEER, K, 2016, Behaviour of Reinforced Concrete Building Frame Subjected to Different Types of Blast Loading, Journal of Science, India, VOL .9, 1156 -11

