

## Spacing Size Effect between Columns on the Blast Load Response of Reinforced Concrete Frames

Sofyan Yonis Ahmed

Riyadh Muauaid Malallah

*Civil engineering department, College of Engineering, Mosul University, Mosul, Iraq*

[Dr.sofyan@yahoo.com](mailto:Dr.sofyan@yahoo.com)

[alriyadh81@yahoo.com](mailto:alriyadh81@yahoo.com)

Submission date:- 2/12/2019

Acceptance date:- 31/1/2020

Publication date:- 20/2/2020

### Abstract

The present research focuses on studying the effect of the geometric shape of the redistribution of spaces between the internal columns on the behavior of reinforced concrete structural frames exposed to explosive load, and the evaluation of the damage caused by that load on the structures. The eight-story reinforced concrete structure and three bays are designed according to the American Code ACI-14. SAP2000 (V.20) was used for analysis, design and study of the elastic – plastic structural response under the blast loads, through several variables, including the maximum lateral and plastic displacements, the number and condition of the formed plastic hinges, and index damage. The two-dimensional structural element was represented by a three-degree of freedom (beam-column) model, where the interaction between the axial force and the moment was used as a yield surface to follow the transition from elastic to plastic behavior for the columns, while the yield moment was defined as a yield criterion for the same behavior according to the principle of accumulated plasticity (Plastic Hinge) at the end of element. The uniformity in the column spacing, for a geometrical shape considerations, having a clear effect on reducing the deformations and plastic displacements of the structure and reducing the damage index with respect to the energy dissipated after the structural response. As a result, the distance between the mass and stiffness centers of the structural members affect the response of frame, the least distance between these two centers results in least damage to the structural elements compared to other symmetrical cases.

**Keywords:** Blast load, Plastic hinges, Damage index, Ductility, Reinforced concrete, Plasticity.

## تأثير حجم الفضاءات بين الاعمدة على استجابة الهياكل الخرسانية المسلحة للحمل الانفجاري

سفيان يونس احمد كشمولة

رياض مؤيد مال الله الاعرجي

قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة الموصل، الموصل، العراق

[alriyadh81@yahoo.com](mailto:alriyadh81@yahoo.com)

[Dr.sofyan@yahoo.com](mailto:Dr.sofyan@yahoo.com)

### الخلاصة

تركز البحث الحالي على دراسة تأثير الشكل الهندسي المتمثل بإعادة توزيع الفضاءات بين الاعمدة الداخلية على سلوك الهياكل الانشائية الخرسانية المسلحة المعرضة للحمل الانفجاري وتقييم الضرر الناتج عن ذلك الحمل على المنشآت (الهياكل الخرسانية المسلحة). تم تصميم الهيكل من الخرسانة المسلحة والمكون من ثمانية طوابق وثلاثة فضاءات حسب المدونة الامريكية ACI-14. استخدم برنامج SAP2000(V.20) لأغراض التحليل والتصميم ودراسة استجابة المنشأ للسلوك (المرن - اللدن) تحت تأثير الحمل الانفجاري وذلك من خلال عدد من المتغيرات منها الازاحة الجانبية العظمى واللينة أعلى المنشأ، عدد وحالة المفاصل اللدنة المتكونة وعددها، ودليل الضرر. مثل العنصر الانشائي ثنائي الابعاد بنموذج (عتبة - عمود) ذي الثلاث درجات حرية، حيث اعتمد مخطط التداخل بين القوة المحورية والعزم كسطح للخضوع للانتقال من السلوك المرن الى السلوك اللدن بالنسبة للاعمدة بينما حدد عزم الخضوع التصميمي كمعيار في الاعتبار لنفس السلوك وطبقاً لمبدأ اللدونة المتجمعة (المفاصل اللدنة) نهاية كل عنصر. عُد الشكل المنظم والمتناظر انشائياً من حيث توزيع فضاءات الاعمدة وصلابتها له تأثير واضح على تقليل التشوهات والازاحات اللدنة للمنشأ وتقليل دليل الضرر المقاس بالنسبة للطاقة المتبددة بعد استجابة المنشأ. على وفق هذه الدراسة فان المسافة بين مركزي الكتلة والصلابة تؤثر بشكل كبير على استجابة المنشأ، فاذا قلت هذه المسافة بين المركزين كانت استجابة المنشأ بأقل نسبة ضرر للعناصر الانشائية مقارنة بالحالات الاخرى غير المتناظرة.

**الكلمات الدالة:** الحمل الانفجاري، المفاصل اللدنة، دليل الضرر، المطيلية، الخرسانة المسلحة، اللدونة.

### 1: المقدمة

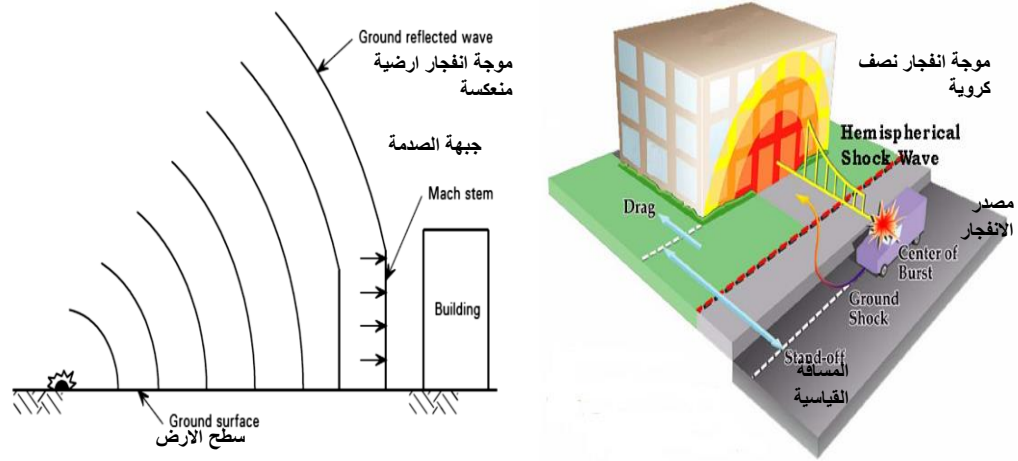
مع تزايد الاعمال العسكرية وحوادث الانفجارات بشكل ملفت للنظر في بعض مدن العالم ظهر توجه جديد في علوم الهندسة الإنشائية، هو تحليل وتصميم المنشآت الهندسية المعرضة للكوارث الطارئة غير المتوقعة مثل الانفجارات. وفي بلدنا (العراق) تعرضت العديد من المدن والمنشآت الحيوية العامة والخاصة فيها لأضرار كبيرة، منها ما تم تدميره بشكل كامل ومنها ما تضرر جزئياً، حيث يعد المصدران [1]، [2] من المصادر الهامة في طريقة التعامل مع تلك المنشآت وتقييم الضرر فيها.

قدم الباحثون [3] دراسة عن آثار الانفجار على الهياكل الخرسانية، حيث قاموا بتفصيل آلية انتقال موجات الانفجار في الهواء لتقدير الأحمال على الهياكل الخرسانية المسلحة. كذلك أجرى الباحثون [4] دراسة لتحليل الانهيار التدريجي لمنشأ خرساني متعدد الطوابق تحت تأثير الحمل الانفجاري، وذلك بحذف اجزاء حساسة من البنية لغرض تقييم ذلك الانهيار مع ازدياد شدة الانفجار وزمن تأثيره على المنشأ. اعتمد الباحثون [5] قيم متغيرة من الاحمال الانفجارية في دراسة استجابة الجدران الخرسانية ولمسافات مختلفة، حيث استخدم الباحثون اجهزة خاصة لقياس الضغط الانفجاري المؤثر على الجدران. استنتج الباحثون ان الضغط الجوي وطبيعة الارض لها تأثير واضح على قيمة الحمل الانفجاري. كذلك أجرى الباحثون [6] دراسة عن الاحمال الانفجارية والمنشآت المقاومة لهذه للأحمال، واكدوا على فرضية تطبيق حذف الاعمدة الناتجة عن شدة الانفجار وتوزيع احمال تلك الاعمدة المفقودة على الاعمدة الداخلية الاخرى ودراسة تحملها بعد توزيع القوى. في حين درس الباحثون [7] دراسة عملية ونظرية على هيكل خرساني مسلح مكون من ثلاثة طوابق تحت تأثير الحمل الانفجاري، واطهرت النتائج تطابقاً مقبولاً من حيث الاستجابة والتشوهات للمنشأ بالنسبة للنتائج العملية والنظرية. أجرى الباحثون [8] دراسة نظرية وعملية على اداء الاعتاب الخرسانية المسلحة تحت تأثير الحمل الانفجاري المتغير، اظهرت نتائج التجربة العملية ان لموقع الشحنة الانفجارية اثر كبيراً في نسبة الضرر والتشوهات اللدنة فيها. استخدم الباحثون [9] نظامين لدراسة استجابة الهياكل الخرسانية المسلحة، الاول تكون فيه الاعمدة الخارجية من الخرسانة المسلحة والثاني تكون فيه الاعمدة نفسها من نوع الاعمدة المركبة (Composite Column)، قارن الباحثون بين النظامين واستنتجوا ان للاعمدة المركبة تأثيراً واضحاً في تقليل ضرر المنشأ للحمل الانفجاري. اما في البحث الحالي فيتم التركيز على دراسة تأثير إعادة توزيع الفضاءات بين الاعمدة الداخلية على استجابة الهياكل الخرسانية المسلحة المصممة بحسب مدونة ACI-14 [10] واستخدم

برنامج SAP2000(V.20) [11] لأغراض التحليل والتصميم ودراسة استجابة المنشأ للسلوك (المرن - اللدن) تحت تأثير الحمل الانفجاري، حيث تضمن البحث تغيير توزيع الفضاءات بين الاعمدة الداخلية لتغيير مركز الصلابة للمنشأ والمقارنة بين استجابة الحالات المقترحة المعرضة للحمل الانفجاري مع الحالة المثالية وذلك من خلال متغيرات منها الازاحة الجانبية العظمى واللدنة اعلى المنشأ ، ونوع المفاصل اللدنة المتكونة وعددها ودليل الضرر للمنشأ.

## 2: الاحمال الانفجارية السطحية

يحدث هذا النوع من الاحمال على سطح الارض مباشرة فيسمى بالانفجار السطحي، وتعدّ الموجات الانفجارية التي تصل الى المنشأ هي موجات انعكاسية وتعتمد قيمتها على جيولوجية الارض وطبيعتها، وكما موضح في الشكل (1) [2]، [12]، [13] .



الشكل (1): صيغة الانفجار السطحي [2]

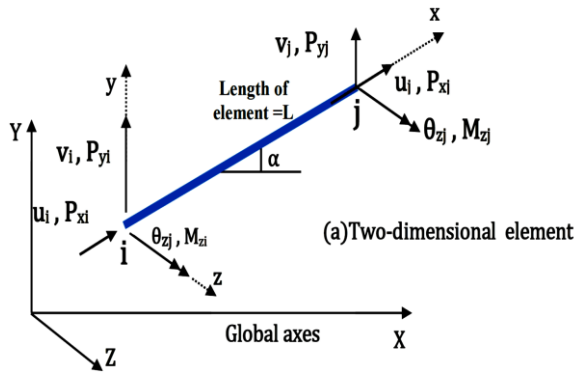
يُعدّ قانون التحجيم أحد المحددات المهمة لحساب الحمل الانفجاري المسلط على المنشأ، وحسب قانون Hopkinson-Cranz يمكن التعبير عن المسافة القياسية (Z) اعتماداً على المسافة بين مصدر الانفجار والمنشأ (R) وكتلة الشحنة الانفجارية (W) وذلك من خلال المعادلة التالية [2]، [12] :-

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \quad (1)$$

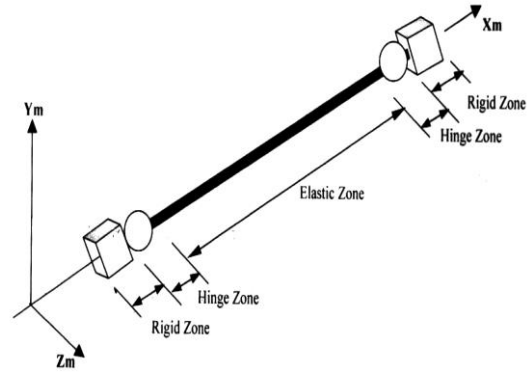
هناك مجموعة من المنحنيات اللوغاريتمية المعتمدة على المسافة القياسية في حالة الانفجارات السطحية، وقد تم رسم هذه الاشكال لمسافة قياسية (Z) تتراوح بين (40-0.05 m/kg<sup>1/3</sup>) لمادة TNT [2]، [12]. حيث تم الاعتماد عليها في حساب الاحمال الانفجارية المسلطة على المنشأ في الدراسة الحالية.

## 3: النموذج التحليلي والرياضي

استخدم عنصر (عتبة - عمود) الموضح في الشكل (2-a) لتمثيل العناصر الإنشائية للهيكل الخرساني، والذي يحتوي على مفصل لدن Plastic Hinge في كلا نهايتيه لتمثيل السلوك غير المرن والخاضع لنموذج اللدنة المتجمعة Clustered Plasticity، بينما الشكل (2-b) يوضح النموذج الرياضي المستخدم في هذه الدراسة للعناصر الإنشائية مثبتاً عليها القوى والانتقالات لكل عنصر [14].



الشكل (ب): الانموذج الرياضي  
الهيكل الخرساني المسلح



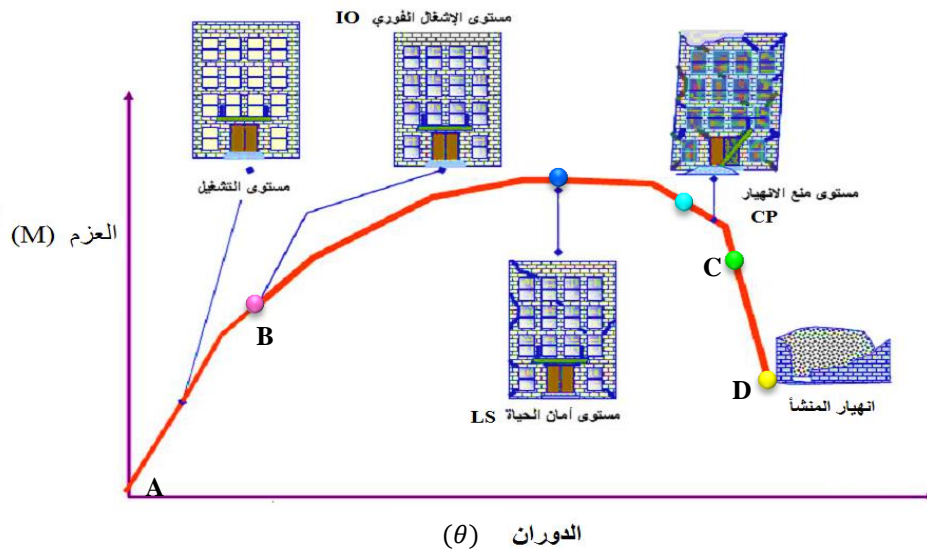
الشكل (ا): الانموذج التحليلي  
الهيكل الخرساني المسلح

الشكل (2): الانموذج التحليلي والرياضي للعنصر الانشائي [14].  
الهيكل الخرساني المسلح

يحتفظ العنصر الانشائي بالتصرف المرن بين نقاط العقد، في حين ينحصر سلوك (المرونة - اللدونة) في كلتا نهايتي العنصر وبمسافة تقترب من الصفر من العقد، وتعبير آخر فإن السلوك غير المرن يتمركز تماماً في المفصل اللدن عند العقد بحسب مبدأ اللدونة المتجمعة [15].

#### 4: سلوك المفصل اللدنة

يعتمد سلوك المفصل اللدن بعد تكوُّنه في العنصر الانشائي على اساس العلاقة بين العزم - الدوران ( $M-\theta$ ) لذلك العنصر الانشائي والموضحة في الشكل (3). حيث توجد جداول خاصة مذكورة في مدونة ATC-40، FEMA-356، حيث تحدد قيم هذه العلاقة ( $M-\theta$ ) ضمن حدود المرونة واللدونة اعتماداً على خواص المقطع الانشائي والمتضمنة أبعاد المقطع ونسبة حديد التسليح بالإضافة الى قيم تحليلية اخرى [16]، [17]. تم الاخذ بالحسبان تقليل صلابة العناصر الانشائية (الاعمدة والاعتاب) اعتماداً على ما مذكور في مدونة FEMA-356، حيث عُدَّت الصلابة للأعمدة ( $0.7 I$ ) والاعتاب ( $0.4 I$ )، كون ان العناصر الانشائية مصممة بطريقة المقاومة.



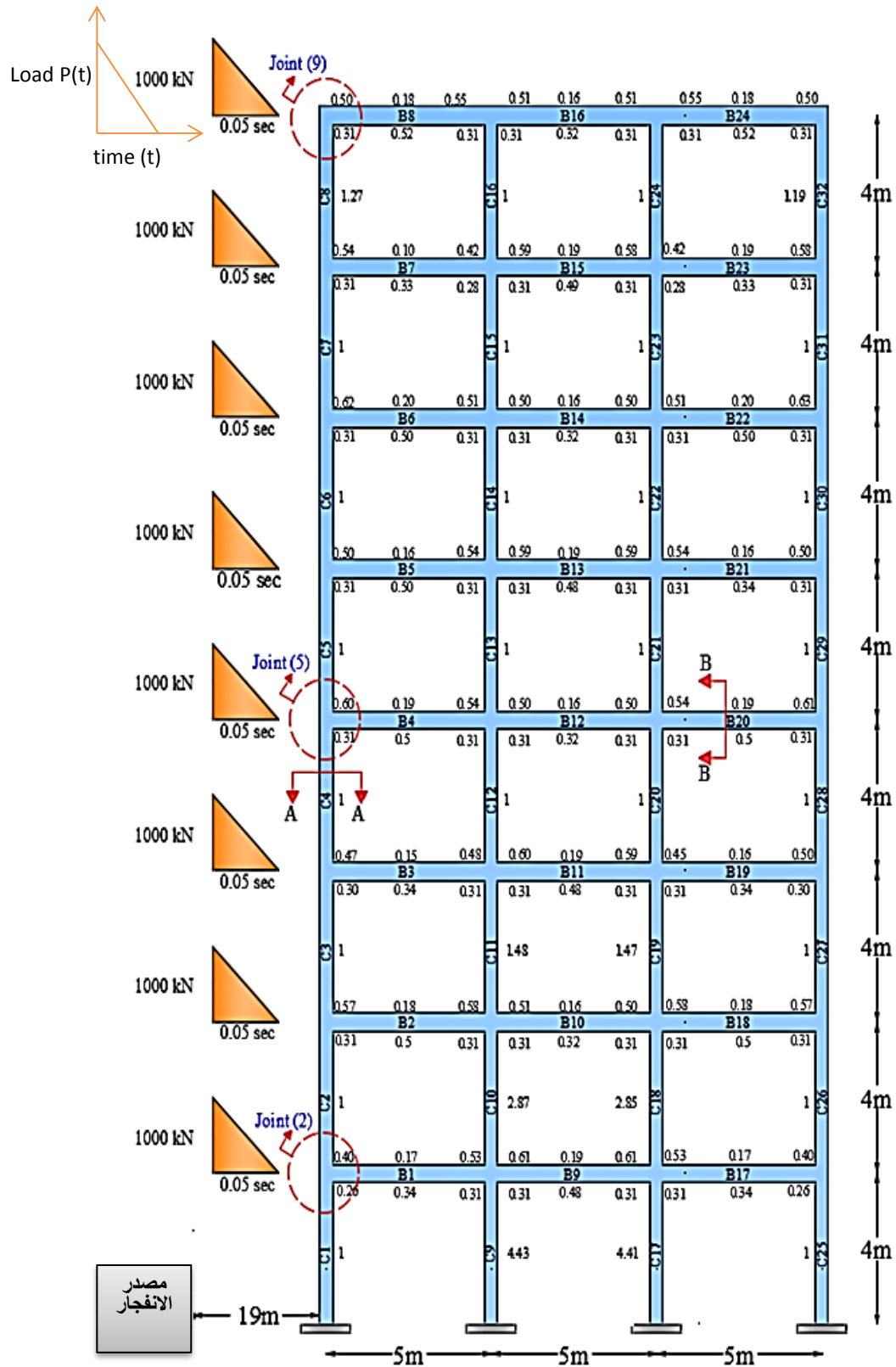
الشكل (3): العلاقة بين العزم والدوران في المفصل اللدن لمستويات اداء مختلفة للهيكل الخرساني [17].

## 5: المثال التحليلي

تم تصميم الهيكل الخرسانى المسلح والموضح في الشكل (4) بدسب مدونة ACI-14 [10] في حين ان الخصائص الهندسية للمقاطع الانشائية وتفصيل الحمل السكوني التصميمي مبينة في الجدول (1). الخصائص الديناميكية للمنشأ والتي تتضمن قيمة الاخماد الكلية للمنشأ 5% حيث تم حسابها بالاعتماد على نمط الاستجابة الشكلية نمط (1) و(2) والناجمة عن تحليل الاهتزاز الحر للمنشأ. تم الاعتماد على طريقة نيومارك (Newmark) المصححة المتنبئة في التحليل الديناميكي كما استخدم حجم الخطوة الزمنية (0.002 sec.) واستخدمت ايضا محددات التحليل غير الخطي الموجودة في البرنامج لأجراء خطوات ذلك التحليل [18].

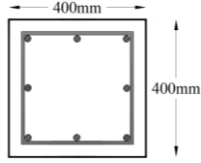
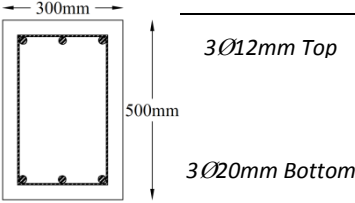
الشكل (5) يبين الحالات المقترحة لتغيير الشكل الهندسي في هذه الدراسة مع الحالة المرجعية (A) وتأثيرها في عدد من المتغيرات منها الازاحة الجانبية العظمى للمنشأ، الازاحة اللدنة المتبقية نهاية التحليل، دليل الانهيار او الضرر (DI) [19]، عدد وحالة المفاصل اللدنة المتكونة نهاية التحليل، تغيير قيم القوى المحورية، وحساب دليل المطيلية ( $\mu$ ) [20].

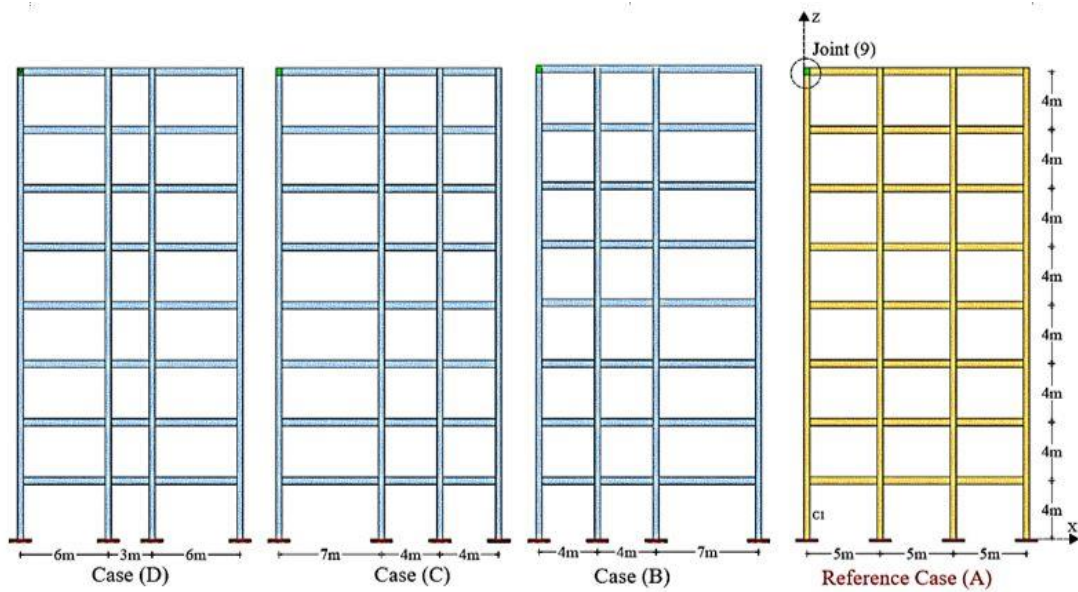
تعرض الهيكل الى شحنة انفجارية بقيمة (15Ton) من مادة TNT تبعد (19 m) عن البناية، حيث تم حساب الحمل المثلثي المكافئ عند منتصف ارتفاع البناية وسلط بشكل متساوٍ على عقد واجهة الانفجار.



الشكل (4): تفاصيل الهيكل الخرساني مع النسبة المئوية لتسليح الأعمدة والاعتاب.

## الجدول (1): الخصائص الهندسية للهيكل الخرساني للحالات (A, B, C, D)

الخصائص	القيمة العددية
مقطع (A-A) في العمود الخرساني المسلح .C4	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• حديد التسليح الرئيسي 8Ø16mm</li> <li>• تسليح كافة الأعمدة موضح في الشكل (4).</li> </ul>
مقطع (B-B) في العتب الخرساني المسلح B20	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• تسليح كافة الاعتاب موضح في الشكل (4).</li> </ul>
مقاومة الانضغاط للخرسانة $f'_c$	25.0 MPa
معامل المرونة	23650 MPa
كثافة الخرسانة	2350 kg/m <sup>3</sup>
إجهاد الخضوع لحديد التسليح $f_y$	414.0 MPa
Dead load	30.0 kN/m.
Live load	10.0 kN/m



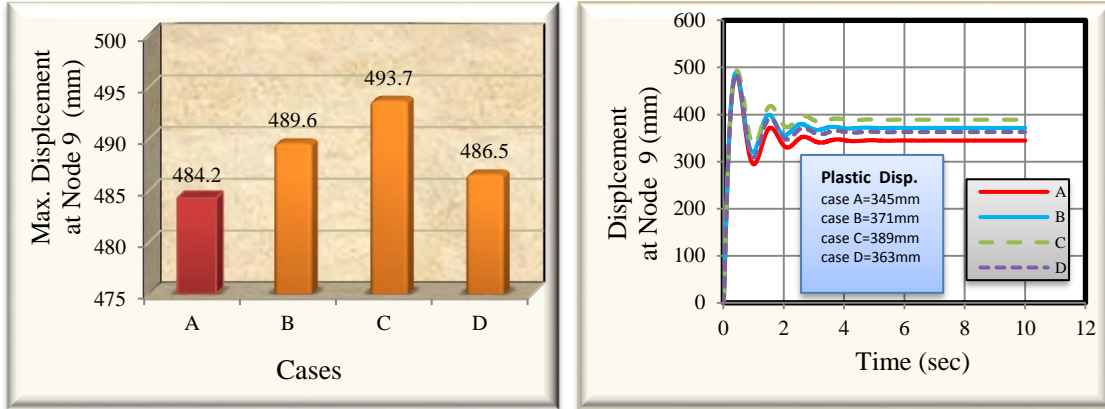
الشكل (5): الشكل الهندسي للهيكل الخرساني المسلح للحالات A,B,C,D



## 6: نتائج التحليل والمناقشة

## أ- الازاحة الجانبية العظمى والازاحة اللدنة:

جرت المقارنة بين قيم الازاحة الجانبية للحالة A مع الحالات B,C,D وكما موضح في الشكل (6). من ناحية شكل الاستجابة الديناميكية، حيث لوحظ فرق قليل نسبياً في الازاحة العظمى بداية الاهتزاز ولكن هناك اختلافاً واضحاً في الازاحة اللدنة المتبقية نهاية التحليل. تم اعداد مخطط بياني للمقارنة بين الازاحة العظمى للحالات A,B,C,D والموضحة في الشكل (7)، حيث يتضح من النتائج أن أقل ازاحة عندما يكون فضاء الاعمدة منتظماً كما في الحالة A، اما أعلى ازاحة للمدشاً عندما يكون الفضاء بين الاعمدة مساوياً لـ 7m والقريب الاحمال.



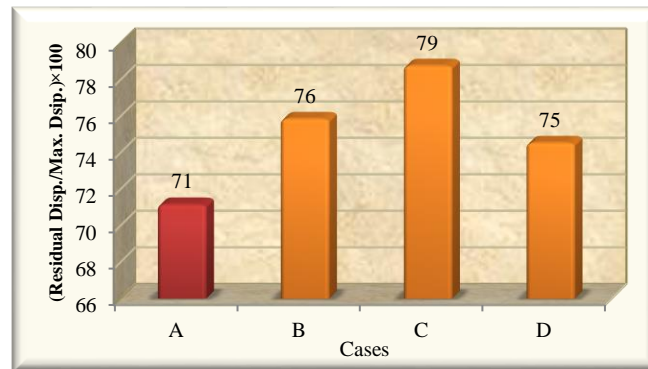
الشكل (6): العلاقة بين الازاحة الجانبية مع الزمن

الشكل (7): الازاحة العظمى أعلى المنشأ

عند العقدة (9) للحالات (A,B,C,D).

عند العقدة (9) للحالات (A,B,C,D).

لوحظ أن أقل ازاحة لدنة متبقية في الحالة المرجعية A وأعلى ازاحة في الحالة C كما موضح في الشكل (6)، ال سبب لذلك يعود الى تولّد عزوم عالية في الاعتاب للفضاءات الكبيرة والقريبة من تسليط الحمل فتزداد بذلك الازاحة اللدنة الناتجة عن التشوّهات الكبيرة في عناصر المنشأ في تلك الفضاءات، مما يؤدي الى ظهور نسبة عالية من الضرر وخاصة للحالة C وكما موضح في الشكل (8).



الشكل (8): النسبة المئوية لـ (الازاحة اللدنة / الازاحة العظمى) أعلى المنشأ للحالات (A,B,C,D).

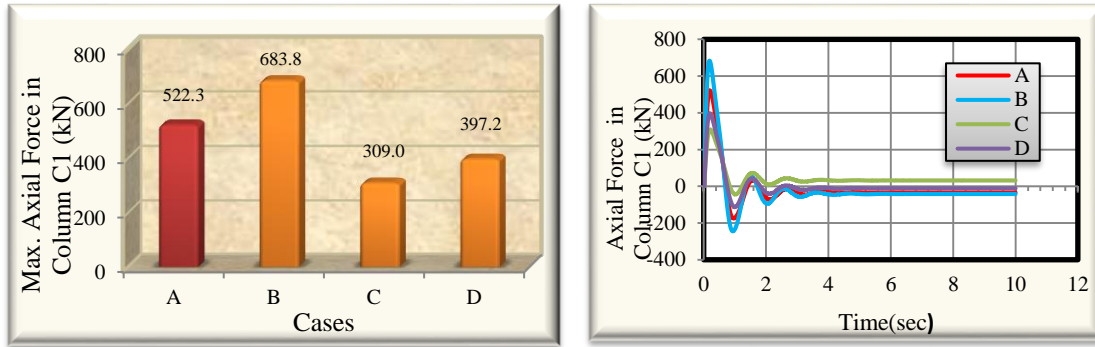
## القوة المحورية Axial Force:

الشكل (9) يوضح العلاقة بين القوة المحورية مع الزمن للعمود C1 القريب من جهة تسليط الحمل للحالات الموضحة مسبقاً في الشكل (5)، حيث يوضح الشكل (9) تبدّد للطاقة الحركية بشكل كبير خلال مدة الاستجابة الابتدائية (مدة 1 ثانية) اي مباشرة بعد انتهاء فترة تسليط الحمل الانفجاري وذلك بفعل الاخمد المقترض للمنشأ والبالغ قيمته (5%).

كما يوضح المخطط البياني في الشكل (10) أعلى قوة محورية داخلية متولدة في العمود C1 للحالة B والتي كانت فيها الفضاءات بين الاعمدة الداخلية القريبة من تسليط الحمل قليلة نسبياً. وبهذا تعدّ الحالة B من الاشكال الهندسية المقترحة للإدشاء



والتي تقوم فيها بعض العناصر الاذشائية القريبة من الحمل للبناءة بامتصاص واستيعاب معظم الطاقة وبالتالي تقليل التدهورات والضرر الى حد معين.



الشكل (9): العلاقة بين القوة المحورية مع الزمن للحالات (A,B,C,D)

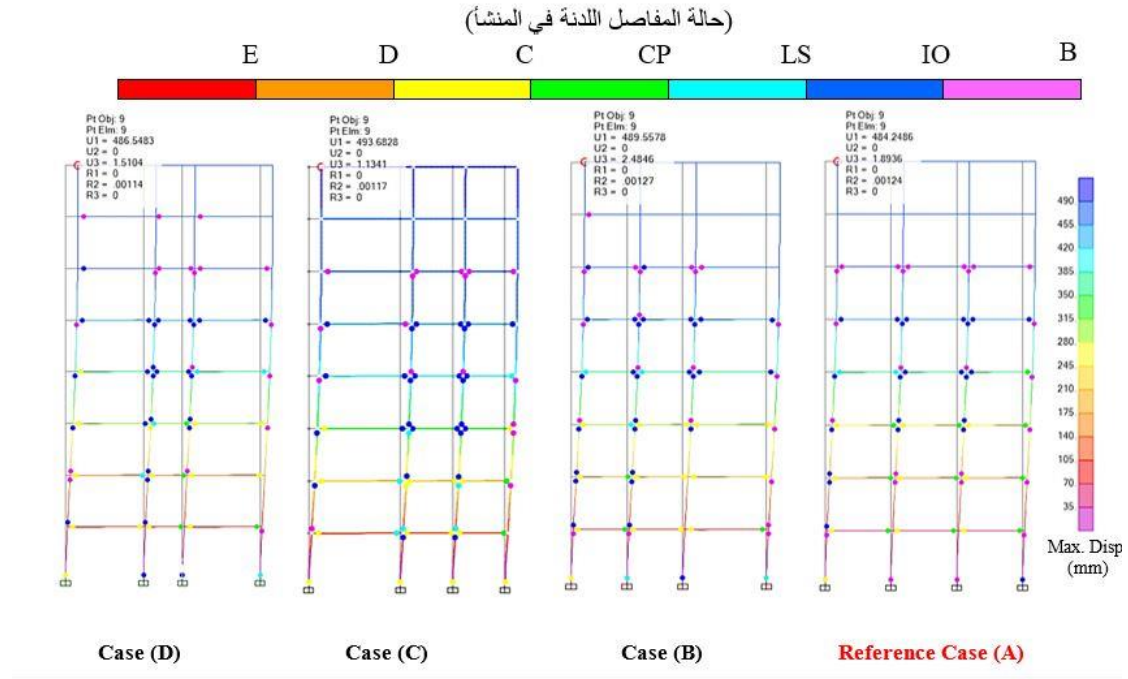
الشكل (10): القوى المحورية العظمى أعلى المنشأ للحالات (A,B,C,D).

### ج- المفاصل اللدنة Plastic Hinges:

إن زيادة قيمة الاراحة الجانبية اللدنة المتبقية في الحالات B,C,D مقارنة بالحالة A نتيجة طبيعية لعدد المفاصل اللدنة المتكونة ونوعها في الاعمدة والاعتاب. والجدول (2) يبين نوع المفاصل اللدنة وعددها في كل حالة ضمن مستويات الاداء الموضحة في الشكل (3)، كما يوضح الشكل (11) المفاصل اللدنة المتكونة نهاية التحليل الديناميكي للحالات (A,B,C,D). من الشكل (11) نلاحظ ان الحالة A ذات الفضاوات المتساوية بين الاعمدة هي الافضل والاقبل من حيث العدد الكلي للمفاصل اللدنة وحالتها بحسب تصنيف مدونة FEMA-356.

جدول (2): عدد وحالة المفاصل اللدنة المتكوّنة في كل من الحالات A,B,C,D

عدد المفاصل اللدنة في الاعتاب				عدد المفاصل اللدنة في الاعمدة				مستويات الاداء للمنشأ	نوع وحالة المفصل اللدن حسب تصنيف
D	C	B	A	D	C	B	A		
7	6	3	6	11	11	17	19	الاستمرار بإشغال المنشأ دون الحاجة لتأهيله	B-IO
11	14	12	9	16	13	16	14	الاستمرار بإشغال المنشأ مع الحاجة لتأهيله (أمن للحياة)	IO-LS
4	3	3	2	1	4	2	---	اخلاء المنشأ مع الحاجة لإعادة التأهيل (غير آمن للحياة)	LS-CP
4	2	3	10	---	---	---	---	انهيار المنشأ	CP-C
12	10	14	9	1	5	1	1		C-D
38	35	35	36	29	33	36	34	مجموع المفاصل اللدنة في المنشأ	



الشكل (11): حالة المفاصل اللدنة والازاحة العظمى للحالات A,B,C,D

#### د- مركز الكتلة ومركز الصلابة:

من البيانات المذكورة في الجدول (3) نستنتج أن هناك اختلافاً في الاستجابة بين الحالات الموضحة مسبقاً في الشكل (5) و سببه هو الاختلاف بين مركزي الكتلة والصلابة، فعندما يكون الفرق كبيراً بين هذين المركزين فإن التشوهات تزداد في المنشأ بسبب اللامركزية وهذا يقودنا إلى التنبؤ بسلوك المنشآت المعرضة إلى احتمالات ديناميكية مثل الانفجارات والزلازل والكوارث الأخرى.

جدول (3): مركزي الكتلة والصلابة وتأثيرها على استجابة المنشأ من خلال الزاحة

عدد المفاصل اللدنة ضمن حدود التشوهات الكبيرة FEMA-356 حسب تصنيف (C-D)			الازاحة اللدنة المتبقية (الازاحة الجانبية العظمى) %	المركز على محور (X)			الترتيب حسب الضرر
				(C.M.-C.S.) (سم)	C.S. (سم)	C.M. (سم)	
المجموع	الاعمدة	الاعتاب					
15	5	10	79	10	792	802	C
15	1	14	76	5	733	738	B
13	1	12	75	0	750	750	D
10	1	9	71	0	750	750	A

C.M.: مركز الكتلة Center of Mass: يحسب على اساس كثافة الخرسانة المسلحة للعناصر الانشائية وحسب مبادئ الميكانيك الهندسي.  
C.S.: مركز الصلابة: Center of Rigidity يحسب على اساس عزم القصور الذاتي لمقاطع العناصر الانشائية وحسب مبادئ الميكانيك الهندسي.

#### هـ - دليل الضرر Damage Index:

يمكن تقييم الضرر للمنشآت والنواتج من الكوارث، وذلك من خلال العديد من المعادلات التي اقترحها الباحثون [19] والمعتمدة على الطاقة الكامنة ( $E_p$ ) والطاقة الهيسستيرية المتبددة ( $E_h$ ) والتي تحسب بالاعتماد على معادلة الحركة في ديناميك المنشآت بالاعتماد على (الكتلة، الاخمد، والصلابة) للمنشأ والتي تعد أحد مخرجات برنامج SAP2000. وكذلك يد سب دليل الضرر من الازاحة العظمى ( $U_{max}$ ) أعلى المنشأ والازاحة اللدنة المتبقية ( $U_{residual}$ ) وحسب المعادلات الآتية:

$$DI_{Eg} = \frac{E_h}{2E_p + E_h} \quad (2)$$

$$D_{disp} = \frac{U_{residual}}{U_{max}} \quad (3)$$

هناك تطابق بين دليل الضرر المحسوب على أساس الطاقة ودليل الضرر المحسوب على أساس الازاحة الجانبية العظمى أعلى المنشأ. الجدول (4) يبين المقارنة بين الحالات A,B,C,D من خلال دليل الضرر ودليل المطيلية للمنشأ والتي تدسب من الازاحة الجانبية العظمى ( $U_{max}$ ) والازاحة عند الخضوع ( $U_{yield}$ ) والتي تُحدّد عند تكون أول مفصل لدن في المنشأ وكما يلي [20]:

$$\mu = \frac{U_{max}}{U_{yield}} \quad (4)$$

الجدول (4): المقارنة بين الحالات A,B,C,D من خلال دليل الضرر ودليل المطيلية

الحالات حسب الضرر	الطاقة الكامنة ( $E_p$ ) kN-m	الطاقة الهستيرية ( $E_h$ ) kN-m	دليل الضرر ( $DI_{Eg}$ ) %	دليل الضرر ( $DI_{disp}$ ) %	دليل المطيلية ( $\mu$ )
C	11.7	65.1	73	79	21
B	16.6	62.7	65	76	35
D	16.4	60.0	64	75	29
A	18.6	60.5	62	71	24

#### 7: الاستنتاج:

- نتائج البحث بينت ان الحالة المتناظرة والمنتظمة في توزيع الفضاءات للأعمدة الداخلية والتي تؤدي الى تقليل الفرق بين مركزي الكتلة والصلابة مقارنة مع الحالات الاخرى أفضل من ناحية الاستجابة وكما في النسب الاتية:
- نتيجة السلوك المرن - اللدن للأعضاء الانشائية فإن الازاحة اللدنة المتبقية نهاية التحليل في حالة التوزيع المنتظم للفضاءات بين الاعمدة كانت اقل من الحالات الاخرى بحدود (5% - 12%)
  - اقل عدد من المفاصل اللدنة المتكوّنة، لاسيما في الاعمدة، والواقعة ضمن التصنيف الاكثر تشوها (C-D) حسب محددات FEMA-356 كان في حالة التوزيع المنتظم للفضاءات بين الاعمدة.
  - دليل الضرر في حالة التوزيع المنتظم للفضاءات بين الاعمدة قلّ بنسبة 15% عن أسوأ حالة توزيع لتلك الفضاءات (والمحسوبة على أساس الطاقة الكامنة والمتبددة). أما دليل الضرر المحسوب على أساس الازاحة الجانبية العظمى اعلى المنشأ فقل بمقدار 6%.
  - الطاقة الكامنة في حالة التوزيع المنتظم للفضاءات بين الاعمدة زادت بقدر 60% عن أسوأ حالة توزيع لتلك الفضاءات والحالات الاخرى المذكور في نتائج البحث بنسب متفاوتة.

#### Conflicts of Interest

The author declares that they have no conflicts of interest.

#### References

#### 8: المصادر

- [1] Karlos, Vasilis, and George Solomos. "Calculation of blast loads for application to structural components." *Luxembourg: Publications Office of the European Union* 2013.
- [2] Yi, Weijian, Qingfeng He, and Yan Xiao. "Collapse performance of RC frame structure." *Jianzhu Jiegou Xuebao/Journal of Building Structures* 28, no. 5, 2007: 104-109.
- [3] Ngo, Tuan, Priyan Mendis, Anant Gupta, and J. Ramsay. "Blast loading and blast effects on structures—an overview." *Electronic Journal of Structural Engineering* 7, no. S1, 2007: 76-91.
- [4] King, Kim W., Johnny H. Wawlawczyk, and Cem Ozbey. "Retrofit strategies to protect structures from blast loading." *Canadian Journal of Civil Engineering* 36, no. 8-2009: 1345-1355.

- [5] Ahmad, Saeed, Mehwish Taseer, and Huma Pervaiz. "Effects of impulsive loading on reinforced concrete structures." *Tech. J., Univ. Eng and Technol. Taxila, Pakistan (Vibration analysis issue)*, 2012.
- [6] Mukherjee, Sourish, Rittik Bhowmik, Aparna Das, and Sulagno Banerjee. "Review Paper on Blast Loading and Blast Resistant Structures."
- [7] Heggelund, Solveig, Kristoffer Brekken, Petter Ingier, and Svein Olav Christensen. "Global Response of a Three-Story Building Exposed to Blast Loading." In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, vol. 2, no. 8, p. 386. 2018.
- [8] Liu, Yan, Jun-bo Yan, and Feng-lei Huang. "Behavior of reinforced concrete beams and columns subjected to blast loading." *Defence Technology* 14, no. 5, 2018: 550-559.
- [9] Ibrahim, Yasser E., Mostafa A. Ismail, and Marwa Nabil. "Response of reinforced concrete frame structures under blast loading." *Procedia engineering* 171, 2017: 890-898.
- [10] American Concrete Institute. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14): Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318R-14): an ACI Report*. American Concrete Institute. ACI, 2014.
- [11] CSI (Computers and Structures, Inc.). "CSI analysis reference manual for SAP2000, ETABS, SAFE, and CSiBridge.", 2011.
- [12] United States. Department of the Army. *Structures to resist the effects of accidental explosions*. Vol. 88, no. 22. Departments of the Army, Navy, and Air Force, 1991.
- [13] Jayasooriya, Jayasooriya Hevavitharanage Aruna Ruwan. "Vulnerability and damage analysis of reinforced concrete framed buildings subjected to near field blast events." PhD diss., Queensland University of Technology, 2010.
- [14] Kashmola, S. Y. , "Nonlinear Dynamic Analysis of Soil-Frame Interaction Problems", Ph.D. Thesis, Civil Engineering Department, Mosul University, Mosul, Iraq, 2007, pp.116
- [15] Hetherington, John, and Peter Smith. *Blast and ballistic loading of structures*. CRC Press, 2014.
- [16] Comartin, C., R. Niewiarowski, and C. Rojahn. "ATC-40 Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings." *SSC 96* 1, 1996.
- [17] Levy, Robert, Oren Lavan, and Avigdor Rutenberg. "Seismic design of friction-damped braced frames based on historical records." *Earthquake Spectra* 21, no. 3, 2005: 761-778.
- [18] Clough , R.W.,and Penzien, J., *Dynamics of Structures*,3rd Edition, University of California, Berkeley, Computers and Structures, Inc., USA, 2003,pp.234-245.
- [19] Cao, Vui V., Hamid R. Ronagh, Mahmud Ashraf, and Hassan Baji. "A new damage index for reinforced concrete structures." *Earthquakes and Structures* 6, no. 6, 2014: 581-609.
- [20] Llanes-Tizoc, Mario D., Alfredo Reyes-Salazar, Eden Bojorquez, Juan Bojorquez, Arturo Lopez-Barraza, J. Luz Rivera-Salas, and Jose R. Gaxiola-Camacho. "Local, Story, and Global Ductility Evaluation for Complex 2D Steel Buildings: Pushover and Dynamic Analysis." *Applied Sciences* 9, no. 1, 2019: 200.