

## دراسة استجابة وسلوك الأعمدة البيتونية المسلحة المعرضة لحمل انفجاري والمطوقة بشرائح البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية (CFRP)

جبران حمدان<sup>1</sup>، أ. د. هالة حسن<sup>2</sup>، د. سامر سليمان<sup>3</sup>

1طالب ماجستير في قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق.

2أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق.

3مدرس في كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، سوريا.

### الملخص

استدعى زيادة الخطر المرتبط بالهجمات الإرهابية على المنشآت زيادة الأبحاث العلمية المتعلقة بتقييم الاستجابة الديناميكية للمنشآت التي من الممكن أن تتعرض لهذا الخطر، والذي قد يؤدي إلى الانهيار المتتالي للمنشأة. تعتبر الشحنت الانفجارية الملاصقة للأعمدة، أو وضع حقائب متفجرة جانب الأعمدة من أخطر هذه الأعمال، لأنها تستهدف الأعمدة العنصر الرئيسي في نقل أحمال المنشآت، والذي سيخضع بدوره لحمل كبير يؤدي لاستجابة لاخطية للمواد المكونة له (الخرسانة وال فولاذ....)، يقدم البحث دراسة تحليلية باستعمال طريقة العناصر المحدودة لنمذجة العمود البيتوني المسلح والمعرض لحمولة انفجارية في برنامج LS-DYNA، وتأتي أهمية الأعمدة البيتونية في مقاومة الأحمال الانفجارية، لقدرتها على رفع كفاءة ومقاومة الجمل الإنشائية، تم بعد النمذجة والمعايرة التأكد من محاكاة النموذج الحقيقي بشكل دقيق وإجراء دراسة متغيرات، وهي إضافة شرائح الكربون (CFRP) بتباعدات مختلفة وبسماكات مختلفة، وذلك لمعرفة أثر هذه المتغيرات على تشوه الأعمدة البيتونية المسلحة ونمط انهيارها عند تعرضها لحمل انفجاري، ولوحظ أن تشوه العمود البيتوني المسلح يزداد مع زيادة التباعد بين شرائح البوليميرات، بالإضافة إلى أن منطقة الضرر تزداد كلما انخفضت سماكة شرائح الكربون حيث بلغت القيمة العظمى لتشوه في مكان توضع الشحنة المتفجرة، وينخفض التشوه كلما ابتعدنا عن موقع توضع الشحنة، كما أظهرت النتائج مدى كفاءة ودقة برنامج LS-DYNA في نمذجة وتحليل العناصر والمنشآت المعرضة لحمل انفجاري.

تاريخ الإيداع: 2022/4/19  
تاريخ القبول: 2022/7/5



حقوق النشر: جامعة دمشق -  
سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق  
النشر بموجب الترخيص  
CC BY-NC-SA 04

الكلمات المفتاحية: الحمل الانفجاري، الأعمدة البيتونية المسلحة، التشوه اللدن الفعال،

برنامج LS DYNA.

## Studying the response and behavior of reinforced concrete columns subjected to blast load and confined by CFRP sheets

Jobran Hamdan<sup>1</sup>, Dr. Hala Hasan<sup>2</sup>, Dr. Samer Sliman<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Master student at Seismic Structural Engineering Department, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, University of Damascus, Syria.

<sup>2</sup>Professor of Seismic Structural Engineering Department, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, University of Damascus, Syria.

<sup>3</sup>Professor in Technical Engineering faculty, University of Tartous, Syria.

### Abstract

The increased risk associated with the terrorist attack on facilities required increased scientific research on the assessment of the dynamic response of structures that could be exposed to such a risk that could lead to progressive collapse. Contact detonations and suitcase bombs which are placed side by side to columns considered as the fastest and most dangerous works because they target the key- structure element, which is the columns, which in turn will undergo to a large load that leads to the non-linear response to the constituent materials (concrete and steel) .An analytical study using FEM method was performed in LS-DYNA program to modeling the reinforced concrete columns subjected to blast load, where the importance of reinforced concrete columns in explosions' resistance comes from its ability and role in raising the efficiency and strength of structures. After modeling and calibration, to ensure that the real model was accurately simulated, a study was conducted of variables, namely, adding carbon strips (CFRP) with different spacings and thicknesses, in order to know the effect of these variables on the deformation of the reinforced concrete columns and their collapse pattern when exposed to an explosive load, and it was noted that the deformation of the concrete column The armed decreases with the increase in the thickness of the carbon strips, reaching its maximum value in the place where the explosive charge is placed, and it decreases as we move away from the location of the charge, in addition to the fact that the damage area increases as the thickness of the carbon strips decreases. the results showed the efficiency and accuracy of LS-DYNA in simulating, modeling and analyzing of components and structures that maybe exposed to the load.

Received: 6/2/2022

Accepted: 24/5/2022



**Copyright:** Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

**Keywords:** Blast load, reinforced concrete columns, Effective plastic deformation, LS-DYNA software.

## 1. المقدمة:

تم في هذا البحث استخدام برنامج المحاكاة الرقمي LS-DYNA smp d R7.00، لإجراء نمذجة عددية للعمود وتم اعتماد طريقة أولر\_لاجرانج لنمذجة الانفجار، الذي حدث نتيجة وضع شحنة من مادة TNT بشكل ملاصق للعمود، ومن ثم تم اجراء دراسة تحليلية لا خطية ومعايرة النموذج وفق الدراسة المرجعية [2]، وذلك لدراسة استجابة الأعمدة البيتونية المسلحة تحت تأثير الحمل الانفجاري، وتقييم الضرر الحاصل بالأعمدة البيتونية المسلحة، ودراسة أثر إضافة شرايح الكربون على تحسين استجابة العمود تحت تأثير الحمل الانفجاري الملاصق للعمود في جزئه السفلي.

### 3. الإطار النظري للانفجارات:

يعرف الانفجار بأنه تحرير مفاجئ بسرعة عالية للطاقة مصحوبة بموجة ضغط وحرارة عالية حيث أن الانفجار يحدث عند حصول إثارة كافية للشحنة الانفجارية المركزة، نتيجة هذه الإثارة فإن غازات كثيفة عالية الحرارة تتمدد خارج الفراغ المحتوية فيه مما يؤدي لتوليد طبقة من الهواء المضغوط، يزداد ضغط هذه الطبقة من الهواء حتى يصل لضغط أعلى من الضغط الجوي ويسمى عندها الضغط الموجب، وبعد فترة قصيرة جداً من الزمن لا تتجاوز 10 ميلي ثانية يتلاشى هذا الضغط الموجب ويهبط إلى ما دون الضغط الجوي ويحدث حالة سحب الهواء (الضغط السالب) كما هو موضح بالشكل (3).

يحاول المهندسون عند التصميم التركيز على مرحلة الضغط الموجب والتي تسبب الضرر الأكبر للبناء لأن القيمة الأكبر للضغط المتولد من الانفجار  $P_0$  تكون في هذه المرحلة وتحدث ضرر في المنشأ

تعتبر الأعمدة من أهم العناصر الإنشائية الرئيسية التي تساهم بنقل أحمال المنشآت للأساسات، والأعمدة الخارجية هي أكثر العناصر التي تتعرض لهجمات الإرهابيين، فتزايد الحوادث الإرهابية والتفجيرات حالياً في جميع أنحاء العالم أكدت على ضرورة إعطاء المزيد من الاهتمام والأبحاث لتصميم منشآت مقاومة للانفجارات، والتي لا يتم أخذها بالحسبان أثناء عملية التصميم التقليدي، والتي تسبب ضرراً كبيراً للمنشأ، أو انهياره على الفور، محدثة خسائر بشرية ومادية، حيث أنه يوجد الكثير من الحوادث العالمية التي سببتها الانفجارات وأدت لانهيارات كارثية للمنشآت والمباني، كما هو مبين في الأشكال [1,2].



الشكل (1) مبنى التجارة العالمي في مدينة نيويورك. [1]



الشكل (2) المبنى الحكومي في مدينة أوكلاهوما. [1]

## 2. منهجية البحث:

#### 4. آراء الباحثين وتجاربهم:

هناك العديد من الابحاث التجريبية والتحليلية التي تناولت هذا الموضوع نذكر منها:

قام الباحثون T. Ngo, P. Mendis, A. Gupta & J. Ramsay [3] في العام 2007 بإجراء دراسة تحليلية لدراسة استجابة الأعمدة البيتونية المسلحة وسلوكها تحت تأثير أحمال الانفجار وقد تم تحليل عمود طابق أرضي ارتفاعه (6.4 m) من مبنى متعدد الطوابق صمم في أستراليا لدراسة هذه الحالة ويوضح الجدول (1) أبعاد الأعمدة ومقاومة البيتون وتباعد

الجدول (1) أبعاد الأعمدة ومقاومة البيتون وتباعد

الأساور. [3]

Column	Size	$f'_c$ (MPa)	Ligature Spacing
NSC	500x900	40	400mm and 100mm
HSC	350x750	80	400mm and 100mm

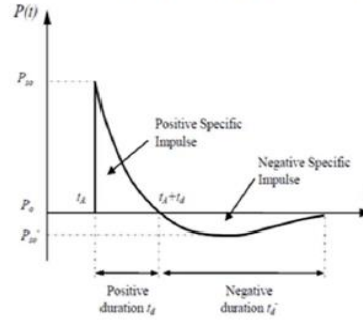
تم حساب حمولة الانفجار من مسافة تقارب [11.2m] وقد استخدم الشكل المثلث المبسط لتمثيل حمل الانفجار مدة المرحلة الإيجابية من الانفجار هي 1.3 ميلي ثانية وقيمة الضغط المطبق هو 10 MPA.

#### النتائج التي توصل اليها الباحث:

1. زيادة تسليح القص للأعمدة يخفف من الانتقال الجانبي الناتج عن حمولة الانفجار.
2. زيادة ابعاد العمود يخفف من الانزياح الجانبي الناتج عن حمولة الانفجار.
3. زيادة مقاومة البيتون للعمود يزيد من قدرة تحمله لطاقة الانفجار.

قام الباحث Conrad Kyei, Abass Braimah [4] في العام 2016، بإجراء دراسة تحليلية لدراسة تأثير التسليح العرضي والتحميل المحوري ووزن الشحنة المتفجرة على استجابة الأعمدة البيتونية

سواء في الواجهات أو في إكساء المنشأ حتى تصل لضرر في العناصر الإنشائية.



الشكل (3) منحنى ضغط - زمن لقوة انفجارية. [3]

#### أهم متغيرات الحمل الانفجاري:

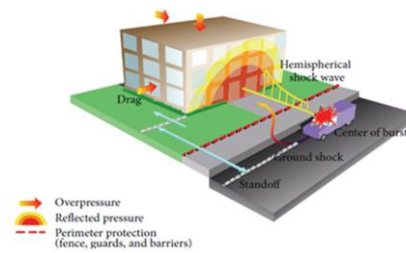
تعتبر كمية الطاقة المحررة بالانفجار، ومسافة بعد بؤرة الانفجار عن المنشأ من أهم مقادير الانفجار ويمكن الجمع بينهما عن طريق ما يسمى المعامل Z (SCALED DISTANCE)، والذي يعتمد عليه معظم كودات التصميم ويعطى بالعلاقة:

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

حيث:

R: بعد المنشأ عن الشحنة، w كمية الشحنة مقدرة

بTNT.

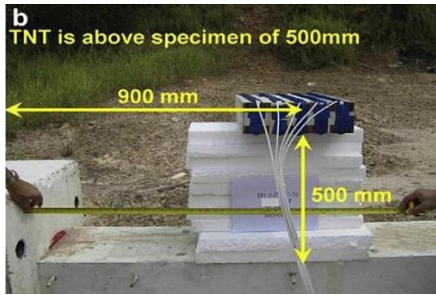


الشكل (4) مبنى معرض لسيارة مفخخة بمواجهة المبنى. [3]

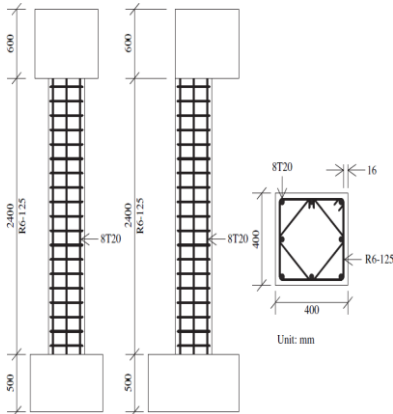
قام العالم Brude [8] بوضع علاقة تبين الضغط الأعظمي الناتج عن الانفجار وذلك كتابع للمعامل Z:

$$P_{s0} = \frac{6.7}{Z^3} + 1 \text{ bar } (P_{s0} > 10 \text{ bar})$$

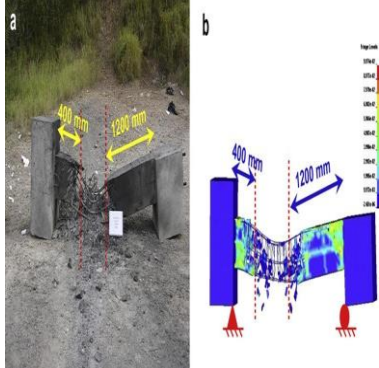
$$P_{s0} = \frac{0.975}{Z} + \frac{1.455}{Z^2} + \frac{5.85}{Z^3} - 0.019 \text{ bar } (0.1 \text{ bar} < P_{s0} < 10 \text{ bar})$$



الشكل (5) إجراءات التجربة. [2]



الشكل (6) النموذج الهندسي التجريبي. [2]



الشكل (7) مقارنة بين التجربة والتحليل حيث: (a) عينة

العمود المختبر، (b) الشكل النموذج التحليلي والنتائج. [2]

تم بناء نموذج التجربة وفق الدراسة المرجعية المعتمدة [2]، ل الباحثين، Ke-Chiang Wu, Bing Li، في عام 2010، وهي دراسة تجريبية وتحليلية لدراسة أثر المعامل  $\omega_{tnt}$  على المقاومة المحورية المتبقية للأعمدة البيتونية المسلحة المعرضة لقوة انفجارية، حيث أن  $\omega_{tnt}$  هي نسبة كتلة

المسلحة المعرضة لأحمال انفجارية، حيث تم استخدام برنامج LS-DYNA للتحقق من السلوك الديناميكي للأعمدة المعرضة لحمل انفجاري.

### 3-2-3 أهم النتائج التي توصل اليها الباحثون:

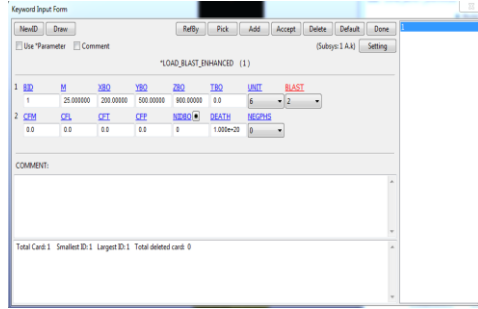
1. عند نفس المسافة المقاسة، تؤدي زيادة كتل الشحنة إلى زيادة الإزاحة الجانبية وضرر واسع النطاق للعمود، خاصةً على مسافات موزونة صغيرة.
2. يؤدي زيادة نسبة التسليح العرضي في أعمدة RC إلى التقليل من الانتقال الجانبي عند مسافات موزونة صغيرة أو انفجارات قريبة.
3. زيادة نسبة التسليح العرضي له تأثير ضئيل على الإزاحة الجانبية عند المسافة الموزونة كبيرة الحجم أو انفجارات بعيدة المدى.
4. عند قيم التحميل المحوري العالية تعاني الأعمدة من تحطم في الخرسانة في منتصف العمود خاصة على مسافات موزونة صغيرة مع أداء أفضل للأعمدة المصممة زلزاليا عن الأعمدة التقليدية.

### 5. الدراسة التحليلية للاخطية باستعمال

#### برنامج LS-DYNA:

تم تعريض عمود بيتوني مسلح لـ 25kg من مادة الـ TNT ببعده 90cm من رأس العمود على ارتفاع 50cm كما هو موضح بالشكل (5)، حيث أن النموذج الهندسي للعمود Structure geometry موضح بالشكل (6)، كما تمت معايرة النموذج التحليلي مع الدراسة التجريبية وذلك باستخدام برنامج العناصر المحدودة LS DYNA R7.00، لتقييم مدى فعالية طريقة العناصر المحدودة في دراسة سلوك المنشآت المعرضة لانفجارات، كما يبين الشكل (7).

□ مدخلات المادة (وزن الشحنة المتفجرة بـ TNT، بعد الشحنة المتفجرة عن العمود، شكل الانفجار).



الشكل (9) مدخلات شحنة الانفجار.

Mat 159 (MAT\_CSCM) تم استعمالها لنمذجة مادة الخرسانة، ومن ميزات أن المادة تتفتت بعد وصول إجهادات الشد الرئيسية إلى 10% من المقاومة على الضغط، وتعتمد على اللدونة بشكل كامل. [7]

تم نمذجة المقطع بعنصر SOLID مع استخدام (Single integration point)، وذلك لتحليل العنصر، والمادة من نوع (Plasticity-based model)، تستعمل أسطح انهيار القص الثلاثي، تم اعتماد مؤشر التشوه اللدن الفعال كمؤشر الضرر لهذه المادة، بالإضافة أنها تأخذ بعين الاعتبار أثر معدل التشوه.

MAT09 (MAT\_NULL) تستخدم لنمذجة جزيئات الهواء، يبين الشكل (10) النموذج الرقمي ببرنامج LS-DYNA، كما يبين الشكل (11) العمود محاطاً بالمجال الهوائي.

الشحنة الانفجارية إلى كتلة البيتون لمتراً واحداً من الارتفاع.

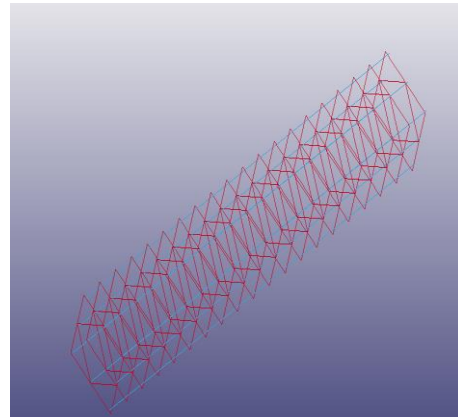
### 5.1 العناصر المستخدمة لمحاكاة نموذج العمود

في برنامج LS-DYNA:

Mat024 (peicewise-linear-plasticity): تم

استعمالها لنمذجة قضبان التسليح الطولية والعرضية وهي مادة (مرنة-لدنة) elasto-plastic، يكون انهيارها بناء على التشوه اللدن وتأخذ بعين الاعتبار أثر معدل التشوه Strain rate effect [5].

حيث تم نمذجة قضبان التسليح الطولية والعرضية كعنصر beam، والمعادلة المستخدمة بالنمذجة هي Gauss quadrature، يبين الشكل (8) نمذجة التسليح الطولي والعرضي.



الشكل (8) نمذجة التسليح الطولي والعرضي.

BLAST LOAD: يتم في هذه الطريقة يتم نمذجة المنشأ ومادة التفجير والهواء المحيط وتحتاج هذه الطريقة إلى الكثير من الوقت والمعالجة، وتحتاج إلى حواسيب بمواصفات عالية جداً وذلك بسبب العدد الكبير للعناصر. [6]

حيث تم إدخال حمولة حمولة الانفجار على أنها حمولة ديناميكية بوزن 25kg من الـ TNT بعدها عن العمود 500 ملم وبمسافة 900 ملم من رأس العمود.

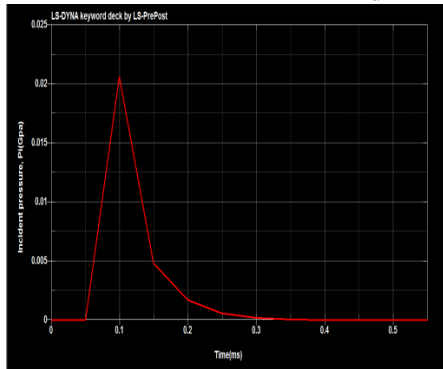


## 5.2 خواص المواد المستخدمة (Material Properties):

يتم إدخال بيانات خواص مادة الخرسانة الخطية واللاخطية، ومادة الفولاذ بأنواعه الثلاثة كمتطلبات لبرنامج (LS-DYNA) كالتالي:

- الخرسانة (Concrete): المقاومة الاسطوانية على الضغط بعد 28 يوم 40 MPa، أبعاد مقطع العمود الكلي (40 \* 40) cm.
- فولاذ التسليح الطولي (Longitudinal Reinforced): (8T20)، مقاومة شد عالية، وحد الخضوع 420 MPa.
- أساور القصد (Stirrups): (R6/17.5cm)، مقاومة شد متوسطة، وحد الخضوع 240MPa.

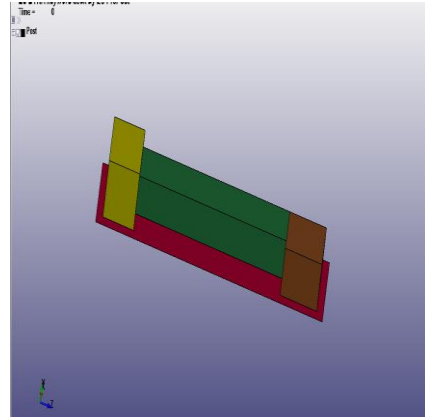
## 5.3 منحنى التحميل:



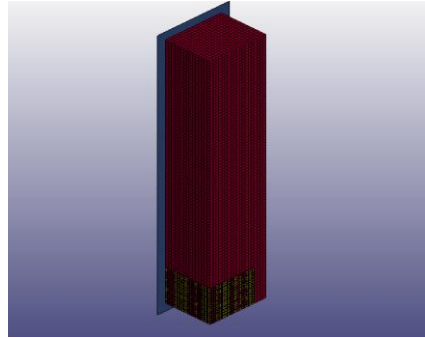
الشكل (12) منحنى الانفجار \_ زمن.

## 5.4 التحليل اللاخطي (Nonlinear Analysis):

تم إجراء التحليل اللاخطي لنموذج العمود البيتوني المسلح وفق الدراسة المرجعية [2]، مع فرضيات التحليل التي تم ذكرها سابقاً، وقد تمت معايرة النموذج مع الدراسة المرجعية التجريبية، حيث كان طول المنطقة المتصدعة للبيتون على بعد 90 cm من القاعدة ومقداره 881 mm بالتحليل الذي تم إجراءه، وهو مقارب جداً للتشوه الأعظمي الحاصل نتيجة



الشكل (10) النموذج الرقمي ببرنامج LS-DYNA.



الشكل رقم (11) العمود محاطاً بمجال هوائي.

## 5.1 فرضيات التحليل:

تم اعتماد فرضيات متعددة حول طريقة التحليل، بما يتناسب مع الاحمال الكبيرة والمستمرة لفترة قصيرة وهي التالية:

1. استخدام طريقة التحليل Explicit Dynamic، لتتناسب العناصر المعرضة لأحمال كبيرة جداً خلال فترة زمنية قصيرة جداً، كالعناصر المعرضة للانفجارات والزلازل.
2. مدة الانفجار 1 ميلي ثانية.
3. نمذجة العمود بشكل أفقي ومستند على الأرض ليمثل حالة التجربة الواقعية.
4. افتراض حالة التماسك التام بين الخرسانة وقضبان التسليح الطولي والعرضي.
5. لم يتم تطبيق أي قوى محورية.

3. تكلفة منخفضة نسبياً مقارنة مع أي طريقة تدعيم أخرى.  
4. خفيفة الوزن.

خواص شرائح الكربون (CFRP):

معامل المرونة:

$$E_x=230 \text{ GPA}$$

$$E_y=17.9 \text{ GPA}$$

$$E_z=17.9 \text{ GPA}$$

الوزن الحجمي:

$$1.73 \text{ t/m}^3$$

معامل القص:

$$G_{xy}=11.79 \text{ GPA}$$

$$G_{xz}=11.79 \text{ GPA}$$

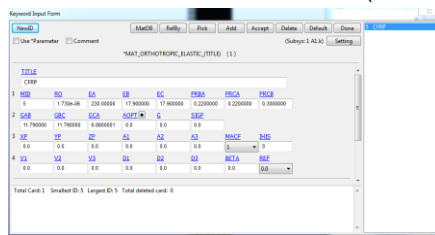
$$G_{yz}=6.88 \text{ GPA}$$

5-5-1-b العناصر المستخدمة للمحاكاة العددية

شرائح الكربون:

من خلال استخدام الدالة -ORTHOTROPIC- ELASTIC يتم نمذجة شرائح الكربون (CFRP) على العمود.

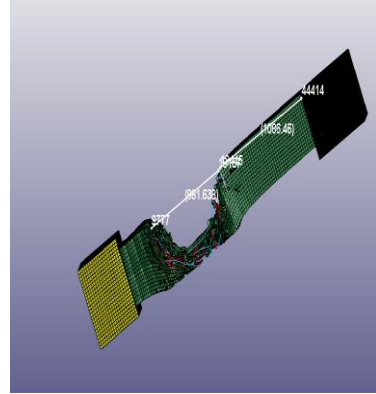
مدخلات المادة لشرائح الكربون (CFRP) هي: (الوزن الحجمي للمادة، معامل المرونة، معامل القص، معامل بواسون).



الشكل (15) مدخلات مادة (CFRP)

كما تم استعمال دالة -CONTACT- AUTOMATIC-SURFACE TO SURFACE وذلك لتمثيل التماسك التام بين الخرسانة و CFRP كما هو موضح بالشكل (16) و(17).

التجربة والبالغ 800 mm، حيث أن نسبة التقارب بين النتيجتين 90 % كما هو مبين بالأشكال [13,14].



الشكل (13) تشوه العمود البيتوني المسلح تحليلياً.



الشكل (14) تشوه العمود البيتوني المسلح تجريبياً.

وهذا يؤكد على دقة النموذج المستخدم ببرنامج LS-DYNA وصلاحيته لمتابعة الدراسة عليه وتغيير عدة متغيرات والحصول على نتائجها.

5.5 دراسة المتغيرات (Parametric study):

5-5-1-5 إضافة شرائح الكربون مع تغيير المسافة

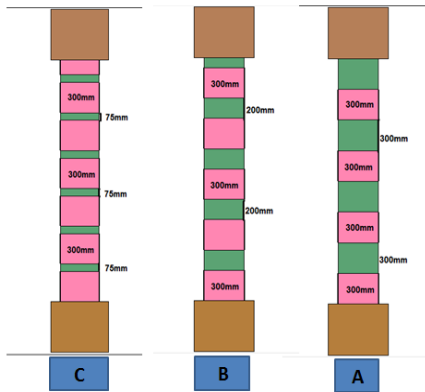
الشاقولية بينها:

5-5-1-a ميزات استخدام الياف الكربون في

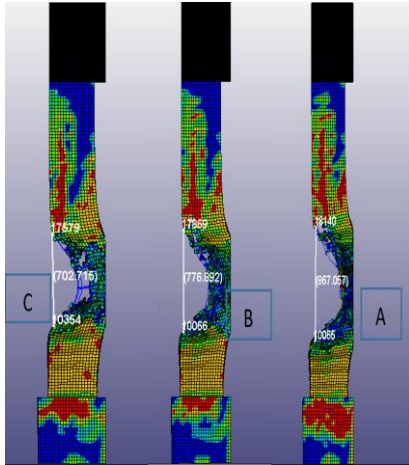
التدعيم:

1. سهولة التركيب.
2. سرعة عالية في التدعيم.





الشكل (18) النموذج المدروس مع اضافة شرائح الكربون بسماكة 3 mm وبأبعاد مختلفة بينها:  
A تباعد 300 mm ، B تباعد 200 mm ، C تباعد 75 mm.

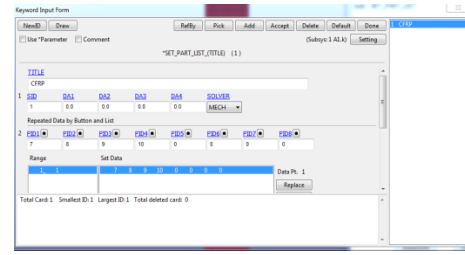


الشكل (19) طول المنطقة المتشوّهة للعمود البيتوني المسلح بعد اضافة شرائح الكربون بأبعاد مختلفة (بعد التحليل):  
A تباعد 300 mm ، B تباعد 200 mm ، C تباعد 75 mm.

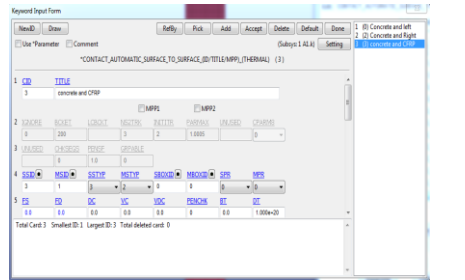
يوضح الشكل (19) أن:

1. طول المنطقة المتقّنة والمتشوّهة في حال التباعد 75mm يساوي 702.7mm.
2. 200mm في حال التباعد 776.89mm.
3. 300mm في حال التباعد 867.8mm.

يبين الجدول (2) قيم الانتقالات للعمود على كامل طولته قبل وبعد إضافة شرائح الكربون (CFRP)



الشكل (16) تمثيل التماسك بين الخرسانة و CFRP.



الشكل (17) تمثيل التماسك بين الخرسانة و CFRP.

تم بناء عدة نماذج باستخدام برنامج LS-DYNA، حيث تم القيام بإضافة شرائح الكربون بعرض ثابت 300mm وبسماكة 3mm مع تغيير المسافة الشاقولية بينها وذلك لدراسة أثر التباعد بين هذه الشرائح على تشوه العمود البيتوني المسلح

- الحالة الأولى: التباعد على مسافة 300 mm
- الحالة الثانية: التباعد على مسافة 200 mm.
- الحالة الثالثة: التباعد على مسافة 75 mm.

مع تثبيت كامل المتغيرات الأخرى والتي تم نمذجتها بالنموذج المعايير سابقاً (أبعاد المقطع العرضي للعمود، عدد و قطر قضبان التسليح الطولي والعرضي، وزن الشحنة المتفجرة، مسافة الشحنة المتفجرة عن العمود، مواصفات المواد).

• عرض 300mm وسماكة 3mm وبتباعد (75 mm، 200 mm، 300 mm).

• 192 mm في حال وجود لشرايح بتباعد بينها يساوي 75 mm .

• 271 mm في حال وجود لشرايح بتباعد بينها يساوي 200 mm .

• 304 mm في حال وجود لشرايح بتباعد بينها يساوي 300 mm .

ومنه نستنتج من الشكل (20) أن:

تشوه العمود البيتوني ينخفض بنسبة (45.14%، 22.57%، 13.14%) في حال كان التباعد بين شرايح الكربون (75 mm، 200 mm، 300 mm) عنه في حالة عدم وجود شرايح الكربون.

وذلك فأن شرايح الكربون تقوم بامتصاص الموجه الانفجارية نظراً للمرونة العالية التي تتمتع بها.

## 2-6-5 تغيير الخصائص البعدية لشرايح

### الكربون:

تمت إعادة بناء النموذج باستخدام برنامج Ls-dyna وذلك للحصول على نتائج توضح أثر تغيير المسافة البعدية لشرايح الكربون وأثرها على تشوه العمود البيتوني المسلح وطريقة استجابته للأحمال المفاجئة كحمولة الانفجارات.

• الحالة الأولى: العمود مطوق بأكمله بألياف الكربون بسماكة شريحة 1.5 mm .

• الحالة الثانية: العمود مطوق بأكمله بألياف الكربون بسماكة شريحة 3 mm .

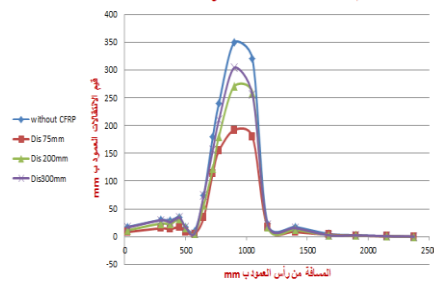
• الحالة الثالثة: العمود مطوق بأكمله بألياف الكربون بسماكة شريحة 5 mm .

وذلك مع تثبيت كامل المتغيرات الأخرى والتي تم نمذجتها بالنموذج المعايير سابقاً (أبعاد المقطع العرضي للعمود، عدد وقطر قضبان التسليح الطولي

الجدول (2) قيم الانتقالات للعمود على كامل طوله قبل وبعد إضافة شرايح الكربون (CFRP).

Distance(mm)	Without	75 mm	200 mm	300 mm
	CFRP			
25	17.5	8.4	11.46	16.6
300	30	19.1	27.1	29.57
375	32	20.06	28.2	30.1
450	35	24.3	31.7	34.2
500	37	28.9	32.02	35.1
575	52	30.1	36.8	41.6
650	73.9	38	56.08	73.86
725	180	114	123	156
775	240	154.49	180.5	210
900	350	192	271	304
1050	320	180	258.8	256
1175	23	17.7	17.9	21
1400	17.5	8.7	12.5	15.6
1675	5	3.74	3	2.69
1900	2.6	1.72	1.91	2.32
2150	1	0.48	0.67	0.93
2375	0.1	0.27	0.2	0.25

قيم انتقالات العمود قبل وبعد إضافة شرايح الكربون بمسافات شقوقية مختلفة



الشكل (20) تشوه العمود البيتوني المسلح قبل وبعد إضافة شرايح الكربون.

نلاحظ من الجدول (2) أن:

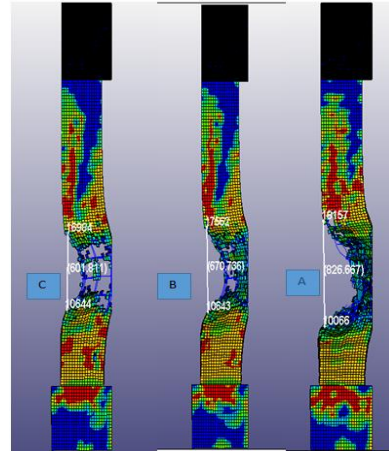
تشوه العمود البيتوني المسلح عند مسافة 900mm من رأسه قد بلغ:

• 350 mm في حال عدم وجود لشرايح الكربون.

الجدول (2) قيم الانتقالات للعمود قبل وبعد إضافة شرايح الكربون (CFRP).

Distance(mm)	Without CFRP	Thick 1.5 mm	Thick 3 mm	Thick 5 mm
25	17.5	9.07	7.03	6.95
300	30	18.47	13	8.87
375	32.5	21	15.1	9.3
450	35	24.6	20.5	10.02
500	45	40.1	21	10.4
575	70	61.4	22.1	11.97
650	85	79	74.2	62.9
725	180	135	97	82
775	240	201	160	116.3
900	350	287	175	135
1050	320	268	155	110
1175	23	19.2	12.6	9.7
1400	13.9	13.9	15.5	13.7
1675	5	3.44	2.71	2.5
1900	2.6	1.63	1.23	1.1
2150	1	0.5	0.21	0.14
2375	0.1	0.25	0.26	0.25

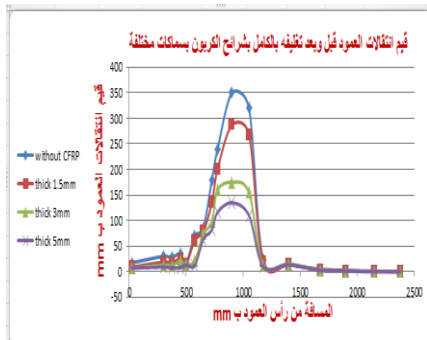
والعرضي، وزن الشحنة المتفجرة، مسافة الشحنة المتفجرة عن العمود، مواصفات المواد).



الشكل (21) طول المنطقة المشوهة للعمود البيتوني المسلح بعد اضافة شرايح الكربون بسماكات مختلفة A سماكة الشرايح 1.5mm، B سماكة الشرايح 3mm، C سماكة الشرايح 5mm.

- طول المنطقة المتفتتة والمتشوهة في حالة سماكة الاليف 1.5mm تساوي 826.6mm.
- طول المنطقة المتفتتة والمتشوهة في حالة سماكة الاليف 3mm تساوي 670.7mm.
- طول المنطقة المتفتتة والمتشوهة في حالة سماكة الاليف 5mm تساوي 601.8 mm.

يبين الجدول (2) قيم الانتقالات للعمود من دون شرايح الكربون وقيم الانتقالات للعمود بعد اضافة شرايح الكربون (CFRP) مغلفه على كامل طولها بسماكات مختلفة (1.5mm 3mm, 5mm).



الشكل (22) تشوه العمود البيتوني المسلح عند تغيير سماكات شرايح الكربون.

يبين الشكل (22) أن:

- تشوه العمود البيتوني المسلح عند مسافة 900mm من رأسه قد بلغ
- 287mm في حال تغليف العمود على كامل طولها بشرايح الكربون بسماكة 1.5mm.
- 175mm في حال سماكة الشرايح 3mm.
- 135mm في حال سماكة الشرايح 5mm.

ومنه نستنتج أن تشوه العمود البيتوني المسلح ينخفض مع زيادة سماكة شرايح الكربون، حيث بلغت

نلاحظ من الشكل (23): أن تشوه العمود انخفض بنسبة %10.85 في حال كان التباعد بين الشرائح 200mm عنه في حال التباعد كان 300m . وانخفض بنسبة %29.15 في حالة التباعد بين الشرائح 75mm عنه في حالة التباعد 200mm. وانخفض بنسبة %8.85 في حال كان العمود مغلف بالكامل عنه في حالة التباعد 75mm.

### 6. النتائج (Results):

1. عند إضافة شرائح الكربون يتغير تشوه العمود البيتوني المسلح حيث أن تشوه العمود يزداد بانخفاض التباعد بين شرائح الكربون حيث أنه عند زيادة التطويق للخرسانة بشرائح CFRP تزيد من طاقة تحمل العمود وتساهم بالتخفيف من كثافة الأمواج الانفجارية.

2. عند تغليف العمود بأكمله بشرائح الكربون بسماكات مختلفة فإن تشوه العمود ينخفض بزيادة سماكة الشرائح.

### 7. الأبحاث المستقبلية:

هناك العديد من المتغيرات التي تؤثر على سلوك الأعمدة البيتونية المسلحة تحت تأثير الانفجارات ولم تدرس في هذا البحث منها:

1. إجراء دراسة تأثير الانفجارات على الأعمدة البيتونية المسلحة مع أخذ تأثير إكساء هيكل العمود (طينة - حجر) بعين الاعتبار .

2. إجراء الدراسة مع استعمال خلطات خرسانية عالية الكثافة.

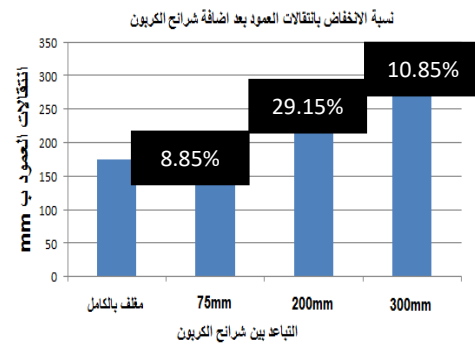
### References

1. Finn C., (2014), On this day in 1995, the Oklahoma bombing killed 168 people including 19 children. the journal.ie. 1416953.
2. Wu K., Bing L., Tsai, K., (2010), Residual axial compression capacity of localized blast- damaged RC columns, International journal of impact engineering, pp 1-12.

قيمته العظمى في مكان توضع الشحنة المتفجرة، وينخفض كلما ابتعدنا عن موقع توضع الشحنة بالإضافة إلى أن تشوه تزداد كلما انخفضت سماكة شرائح الكربون كما هو مبين بالشكل (18).

يمكن الاستنتاج أن منطقة الضرر للعمود البيتوني المسلح تنخفض بنسبة %18، %50، %61.4 في حال كانت سماكات شرائح الكربون (5mm,3mm,1.5mm) عنه في حالة عدم وجود شرائح الكربون.

بعد دراسة تأثير إضافة شرائح الكربون على الاستجابة الديناميكية للأعمدة البيتونية المسلحة تحت تأثير أحمال الانفجارات سنقوم بمقارنة سلوك العمود في حال كان مغلف بشرائح الكربون بتباعدات مختلفة بسماكة شرائح 3mm مع حالة العمود مغلف بالكامل بشرائح سماكة 3mm.



الشكل (23) نسبة الانخفاض بالنتقالات العمود بعد تغيير التباعد بين شرائح الكربون وفي حال تغليفه بالكامل بشرائح سماكتها 3mm.

3. Ngo T., Mendis P., Gupta A., Ramsay J., (2007), Blast loading and blast effects on structures—an overview. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 7, 76-91.
4. Braimah A., Kyei C., Effects of transverse reinforcement spacing on the response of reinforced concrete columns subjected to blast loading, *Engineering Structures*, 142 148–164 (2017).
5. Schwer L. E., (2014), Modeling Rebar The Forgotten Sister in Reinforced Concrete Modeling, In the 13th International LS-DYNA Users Conference, Michigan, USA.
6. Tabatabaei Z.S., Volz J.S., (2007), A Comparison between Three Different Blast in ls-dyna, 12th International LS-DYNA Users Conference, Dearborn, Michigan, USA.
7. Murray, Y. D., (2007), Users manual for LS-DYNA concrete material model 159. U.S Department of Transportation USA. 92pp.
8. Zhang,Junhao,Shiyong Jiang ,Bin Chen, Chunhai Li ,and Hao Qin. "Numerical study of damage modes and damage assessment of CFST columns under blast loading." *Shock and Vibration* 2016 (2016).