

Improving Response the Reinforced Concrete Slabs under Blast Loading Using (CFRP)

Dr. Hussam Bllot*
Obay Shaaban**

(Received 10 / 5 / 2024. Accepted 28 / 8 / 2024)

□ ABSTRACT □

As a result of the increase in terrorist attacks in recent years, and their threat to public facilities, assessing the structural integrity of facilities damaged by explosions has become an interesting topic for researchers. Explosions may lead to partial collapse of buildings and may also cause complete collapse of facilities. Therefore, accurately representing the blast load and its consequences is of great importance. In this research, an analytical study was conducted on the effect of this load on reinforced concrete slabs using the finite element method to model a reinforced concrete slab working in one direction and the loads affecting it, using the program ABAQUS2017, which simulates the blast wave by creating a time record of the wave as a function of the blast distance. The weight of the explosion charge, which is taken as the equivalent weight of TNT.

Then, after modeling and analysis, carbon fiber-reinforced polymer strips (CFRP) were added and the results were compared with ordinary reinforced concrete. It was noted that the response improved when adding carbon strips to the face of the slab exposed to tension, and when adding carbon fiber-reinforced polymer strips to both sides of the studied slab, the response improved further.

Keywords: Blast load, reinforced concrete slabs, the scaled distance, ABAQUS software.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Professor, Structural Engineering Department, Civil Engineering faculty, University of Damascus, Damascus, Syria.

** Master student, Structural Engineering Department, Civil Engineering faculty, University of Damascus, Damascus, Syria. obay.shaaban@tishreen.edu

تحسين استجابة البلاطات البيتونية المسلحة تحت تأثير الحمولات الانفجارية باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية (CFRP)

د. حسام بلوط*

أبي شعبان**

(تاريخ الإيداع 10 / 5 / 2024. قُبِلَ للنشر في 28 / 8 / 2024)

□ ملخص □

نتيجة تزايد الهجمات الإرهابية في السنوات الأخيرة، وتشكيلها خطراً على المرافق العامة، أصبح تقييم السلامة الهيكلية للمنشآت المتضررة من الانفجارات موضوعاً مثيراً للاهتمام بالنسبة للباحثين. قد تؤدي الانفجارات إلى انهيار جزئي في المباني وقد تُسبب أيضاً انهياراً كلياً للمنشآت. لذلك، فإن تمثيل حمولة الانفجار ونتائجها بدقة أمر ذو أهمية كبيرة. في هذا البحث، تم العمل على إجراء دراسة تحليلية حول تأثير هذه الحمولة على البلاطات البيتونية المسلحة باستعمال طريقة العناصر المحدودة لنمذجة بلاطة بيتونية مسلحة عاملة باتجاه واحد والأحمال المؤثرة عليها وذلك باستخدام برنامج ABAQUS2017، والذي يقوم بمحاكاة الموجة الانفجارية من خلال إنشاء السجل الزمني للموجة بدلالة مسافة الانفجار ووزن شحنة الانفجار والتي تؤخذ كوزن مكافئ لمادة TNT. ثم بعد النمذجة والتحليل تم إضافة شرائح البوليمرات المدعمة بألياف الكربون (CFRP) ومقارنة النتائج مع البيتون المسلح العادي لوحظ تحسن الإستجابة عند إضافة شرائح الكربون لوجه البلاطة المعرض للشد، وعند إضافة شرائح البوليمرات المدعمة بألياف الكربون لوجهي البلاطة المدروسة تحسنت الإستجابة بشكل أكبر.

الكلمات المفتاحية: الحمل الانفجاري، البلاطات البيتونية المسلحة، المجال الموزون، برنامج ABAQUS .

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* مدرس، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، دمشق، سورية.

** طالب ماجستير، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، دمشق، سورية. obav.shaaban@tishreen.edu

مقدمة:

تعتبر المباني الحكومية والمباني ذات الأهمية الخاصة هدفا للعديد من الهجمات الإرهابية والتي تعتمد بالدرجة الأولى على التفجيرات المباشرة والتي تتقلل اما بآليات او بدرجات نارية أو تحمل باليد وتختلف حجم التفجيرات باختلاف كمية المادة المتفجرة وبعدها عن الموقع المستهدف لذلك أصبح من الضروري والملح دراسة امكانية العمل على تخفيف تأثير هذه الهجمات على المباني بغية تقليل الأضرار بالأرواح والتخفيف من الإصابات الناجمة عن التفجير ، علما ان الدراسات أكدت أن أغلب الإصابات ناجمة عن تشظي الجدران المواجهة للتفجير بالإضافة الى احتمالية تأذي باقي العناصر الإنشائية من أعمدة و بلاطات مما قد يسبب انهيار جزئي او كلي في المبنى المعرض للهجوم .

أصبح من الواجب علينا بمكان ان نعمل على حماية عناصر المنشأ البيتونية من الإنهيار ومن التشظي وبالتالي حماية شاغلي هذه المباني وهو الهدف الأهم بالنسبة لنا. منهج البحث هو المنهج التحليلي ،حيث تم استخدام برنامج (ABAQUS) الذي يقوم بتعريف الحمولة الانفجارية كموجة صدمة مرتبطة بوزن المادة المتفجرة أو مايعادلها من وزن لمادة TNT ويقوم برسم توابع الإنتقالات المرتبطة بالزمن .

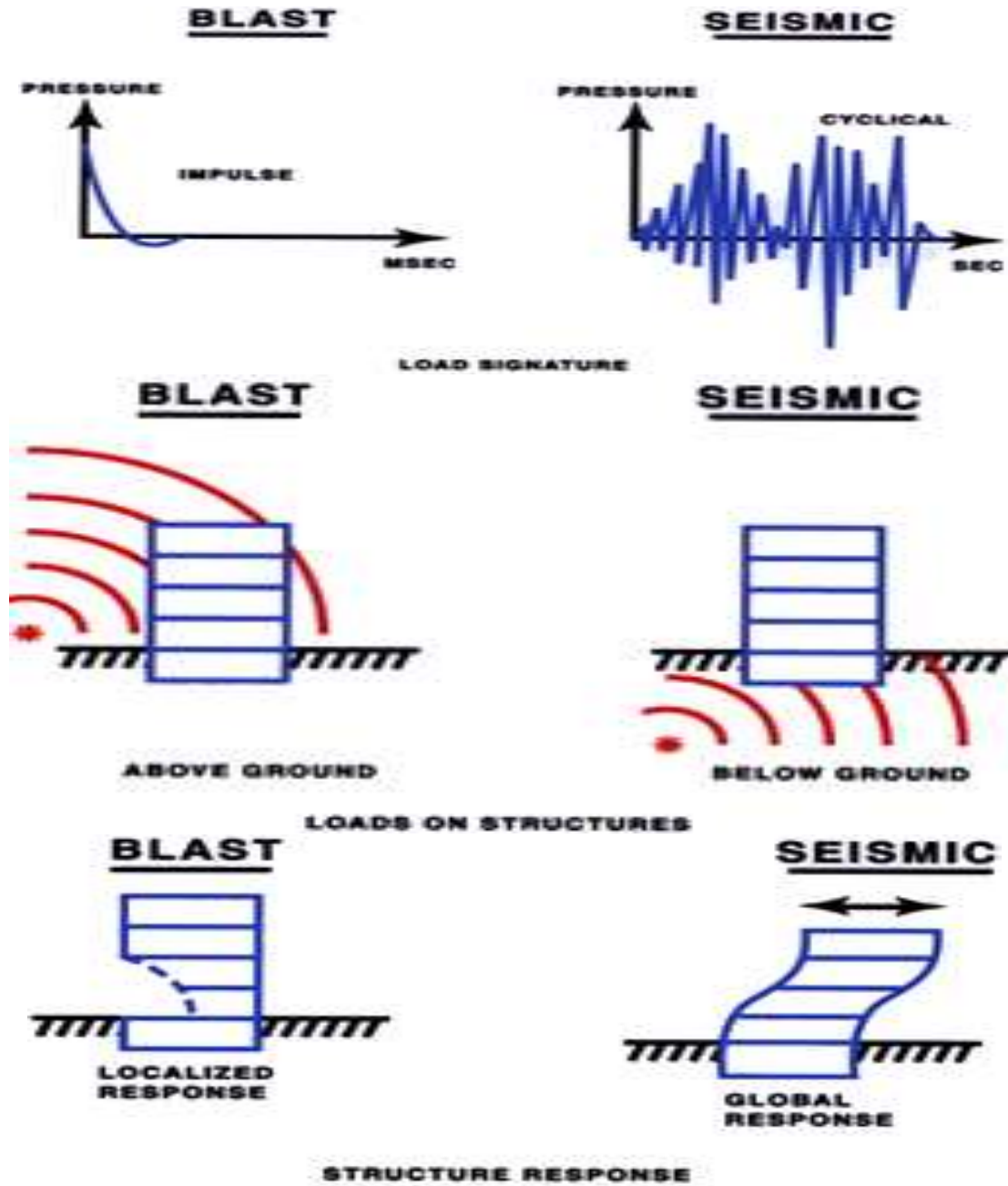
1. الحمولات الانفجارية

يختلف التصميم على الحمولات الانفجارية عن غيرها من الحمولات بالأمر الهامة التالية :

1. يمكن أن يكون حجم الضغوط المؤثرة على المنشأ نتيجة الانفجار أكبر من الضغوط الناتجة عن أي حمولات أخرى (قد تؤثر سيارة مفخخة على مبنى بضغط يصل إلى 690kpa لذلك من المتوقع انهيار المبنى).
2. انتشار واسع للضغط على المبنى منذ لحظة حدوث التفجير حيث يكون أعظما في النقطة الأقرب للتفجير ويتناقص مع المسافة .
3. مدة الإصابة قصيرة جدا ومفاجئة تقاس بالميلي ثانية بدل الثانية .

(1-2) الفرق بين الحمولة الانفجارية والحمولة الزلزالية :

الحمولة الزلزالية	الحمولة الانفجارية
هزات متتالية ناتجة عن الزلزال تقاس بالثانية	صدمة وحيدة تؤثر خلال فترة قصيرة تقاس بالميلي ثانية .
تؤثر على قاعدة البناء	تؤثر بشكل مباشر على الواجهات الخارجية للبناء
تسبب استجابة عامة	عادة تسبب أضرار محلية



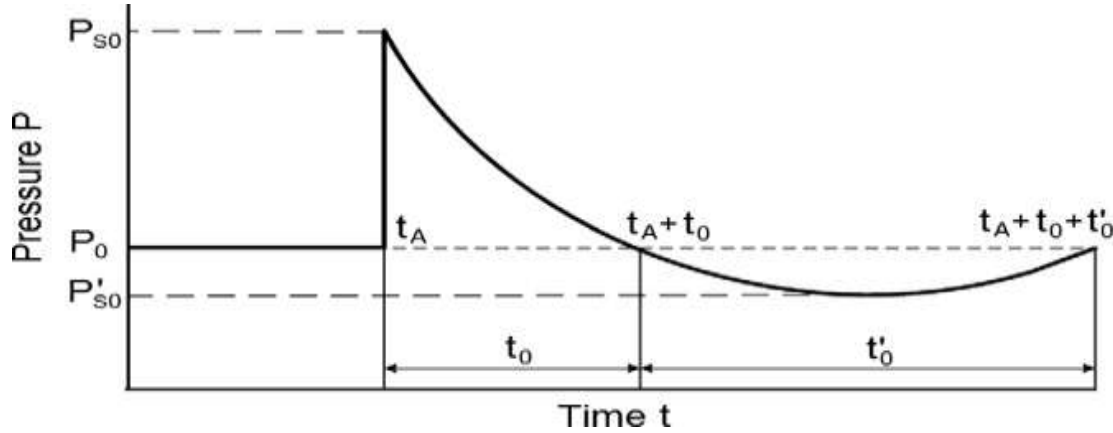
الشكل (1): الفرق بين الحمولات الانفجارية والزلزالية.

2-2) خصائص موجة الانفجار المثالية

يمكن تعريف الانفجار بأنه تفاعل كيميائي سريع للغاية يشتمل على مادة صلبة أو غبار أو غاز، يحدث خلاله إطلاق سريع للغازات الساخنة والطاقة. تستمر هذه الظاهرة بضعة أجزاء من الثانية فقط وتؤدي إلى إنتاج درجات حرارة وضغوط عالية جداً. أثناء التفجير، تتوسع الغازات الساخنة التي يتم إنتاجها لتحتل المساحة المتاحة، مما يؤدي إلى انتشار نوع الموجة عبر الفضاء الذي ينتقل كروياً عبر وسط محيط غير محدود. إلى جانب الغازات المنتجة، يتوسع الهواء المحيط بالانفجار (للانفجارات الهوائية) أيضاً وتتراكم جزيئاته، مما يؤدي إلى ما يعرف

بموجة الانفجار وجبهة الصدمة. تحتوي موجة الانفجار على جزء كبير من الطاقة التي تم إطلاقها أثناء التفجير وتتحرك بسرعة أكبر من سرعة الصوت.

ويبين الشكل (2) المظهر المثالي للضغط بالنسبة للوقت في حالة موجة انفجار الهواء الحر، والتي تصل إلى نقطة على مسافة معينة من التفجير. الضغط المحيط بالعنصر يساوي في البداية الضغط المحيط P_0 ، ويخضع لزيادة لحظية إلى ذروة الضغط P_{s0} عند وقت الوصول t_a ، عندما تصل جبهة الصدمة إلى تلك النقطة. الوقت اللازم لوصول الضغط إلى قيمته القصوى صغير جدًا ولأغراض التصميم يفترض أنه يساوي الصفر. يُعرف ضغط الذروة P_{s0} أيضًا باسم الضغط الزائد الجانبي أو الضغط الزائد الذروة. تتناقص قيمة ذروة الضغط الزائد وكذلك سرعة انتشار موجة الصدمة مع زيادة المسافة من مركز التفجير. بعد الذروة، يتناقص الضغط بمعدل أسي حتى يصل إلى الضغط المحيط عند t_a+t_0 ، وهو ما يسمى بمدة الطور الموجب. بعد المرحلة الإيجابية من مخطط الضغط الزمني، يصبح الضغط أصغر (يشار إليه بالسالب) من القيمة المحيطة، ويعود إليه أخيرًا. المرحلة السلبية أطول من المرحلة الإيجابية، ويتم الإشارة إلى قيمة الضغط الأدنى لها بـ P'_{s0} ومدتها t_0 . خلال هذه المرحلة، تتعرض الهياكل لقوى الشفط، وهذا هو السبب وراء العثور في بعض الأحيان أثناء تحميل الانفجار على شظايا الزجاج الناتجة عن فشل الواجهات خارج المبنى بدلاً من داخله.



الشكل (2) : يبين منحنى الصدمة الانفجارية (P,t) [1].

عادةً لا يتم أخذ المرحلة السلبية للموجة الانفجارية بعين الاعتبار لأغراض التصميم حيث تم التحقق من أن الضرر الهيكلي الرئيسي مرتبط بالمرحلة الإيجابية. بالإضافة إلى ذلك، فإن الضغوط التي تنتج من المرحلة السلبية لموجة الانفجار تكون صغيرة نسبيًا مقارنة بتلك الموجودة في المرحلة الإيجابية وبما أنها في الاتجاه المعاكس، فمن الآمن عادة افتراض أنها لا تحتوي على تأثير كبير. التأثير على السلامة الهيكلية للمباني تحت الأحمال الانفجارية. ومع ذلك، ينبغي أن تؤخذ الضغوط التي تقل عن قيمة الضغط المحيط في الاعتبار إذا تم تقييم الأداء الهيكلي العام للمبنى أثناء الانفجار وليس فقط سلامته الهيكلية. كما يتبين من الشكل (2)، ينخفض ضغط الحادث الإيجابي بشكل كبير. تم اقتراح الشكل التالي لمعادلة فريدلاندر [2]، ويستخدم على نطاق واسع لوصف معدل الانخفاض في قيم الضغط:

$$p_{so}(t) = p_{so} \left(1 - \frac{t}{t_0}\right)^{\frac{-bt}{e^{t_0}}} \dots \dots (1)$$

P_{so} هو ضغط الذروة الإيجابي،

t_0 هي مدة المرحلة الإيجابية،

b : هو معامل اضمحلال الشكل الموجي

t : هو الوقت المنقضي، ويقاس من لحظة وصول الانفجار.

يمكن حساب معامل اضمحلال b من خلال التركيب غير الخطي لمنحنى زمن الضغط التجريبي على مرحلته الإيجابية. إلى جانب ضغط الذروة الإيجابي P_{so} ، ولأغراض التصميم، فإن البارامتر الأكثر أهمية في موجة الانفجار هي نبضها لأنها تتعلق بالقوة الإجمالية (لكل وحدة مساحة) التي يتم تطبيقها على المنشأ بسبب الانفجار. يتم تعريفها على أنها المنطقة المظللة أسفل منحنى الضغط الموجب الزمني في الشكل (1). يتم تمييز النبضة إلى إيجابية وسلبية، وفقاً لوقت موجة الانفجار. المعادلة (2) تعطي التعبير في حالة الضغط الموجب وهو أكثر أهمية من نظيره السالب من حيث التصميم

$$i_s = \int_{t_a}^{t_a+t_0} P_s(t) dt \dots \dots (2)$$

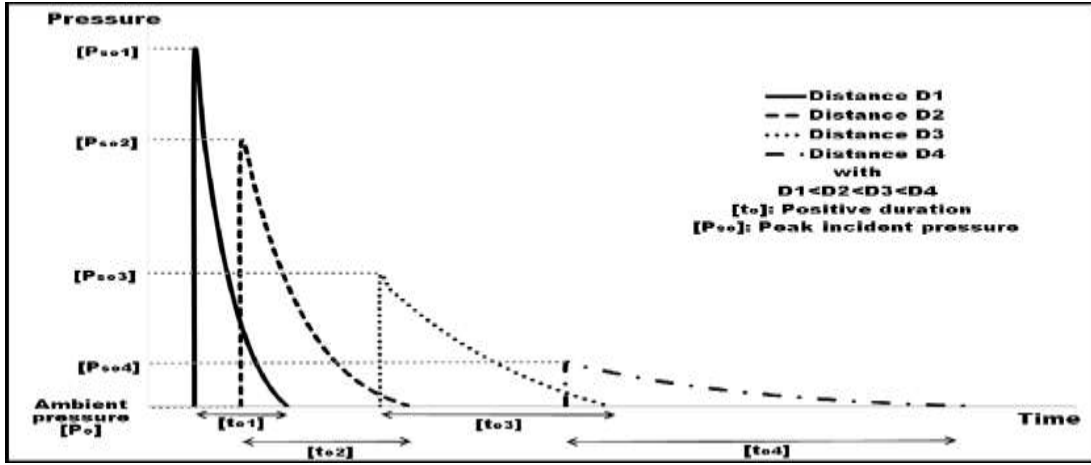
بالنسبة لمعادلة فريدلاندر المذكورة أعلاه، يمكن حساب الدافع الإيجابي تحليلياً على النحو التالي:

$$i_s = \frac{P_{so} t_0}{b^2} [b - (1 + e^{-b})] \dots \dots (3)$$

تشكل هذه المعادلة طريقة بديلة للحل التكراري لمعلمة الانحلال b عندما تكون قيم P_{so} و i_s و t_0 معروفة من البيانات التجريبية.

2-3 مسافة الانفجار

إحدى البارامترات الأكثر أهمية لحسابات تحميل الانفجار هي مسافة مركز التفجير من المنشأ المدروس. قيمة ذروة الضغط وسرعة موجة الانفجار، التي تم وصفها سابقاً، تنخفض بسرعة عند زيادة المسافة بين مصدر الانفجار والسطح المستهدف، كما هو موضح في الشكل (4). في الشكل يتم توضيح المراحل الإيجابية فقط لموجات الانفجار والتي تكون مدتها أطول كلما زادت المسافة من نقطة التفجير.



الشكل (3): تأثير المسافة على مرحلة الضغط الإيجابي للانفجار [5]

يمكن أن يؤخذ تأثير المسافة على خصائص الانفجار بعين الاعتبار من خلال إدخال قوانين القياس. تتمتع هذه القوانين بالقدرة على قياس البارامترات، التي تم تحديدها من خلال التجارب، من أجل استخدامها لقيم مختلفة للمسافة وإطلاق طاقة الشحن. وبهذه الطريقة، يتم تعميم النتائج التجريبية لتشمل الحالات التي تختلف عن الإعداد التجريبي الأولي. قوانين قياس الانفجار الأكثر شيوعاً هي تلك التي قدمها هوبكنسون-كرانز وساكنس. الفكرة وراء كلتا الصيغتين هي أنه أثناء تفجير شحنتين من نفس المادة المتفجرة لهما هندسة مماثلة ولكن وزن مختلف وتقعان على نفس المسافة المقاسة من السطح المستهدف، يتم إنتاج موجات انفجار مماثلة عند النقطة المعنية طالما هم تحت نفس الظروف الجوية. يعتبر مقياس ساكنس مناسباً أيضاً في حالة الظروف الجوية المختلفة. وفقاً لقانون هوبكنسون-كرانز، يتم تقديم مسافة ذات أبعاد محددة كما هو موضح في المعادلة (4)،

$$Z = \frac{R}{W^{1/3}} \dots \dots \dots (4)$$

حيث:

Z : المجال الموزون $m/kg^{1/3}$

R : هي المسافة من مصدر التفجير إلى نقطة الاهتمام [m]

W : هو وزن المادة المتفجرة (بشكل أكثر دقة: الكتلة) [kg].

4-2) وزن الحمولة المتفجرة

وقد أدى التنوع الكبير في المتفجرات إلى اعتماد كمية عالمية تستخدم في جميع الحسابات الضرورية لمعايير الانفجار. تم اختيار مادة TNT (ترينيتروتولوين) لأن خصائصها الانفجارية تشبه خصائص معظم المتفجرات الصلبة. يتم حساب وزن مادة TNT المكافئة وفقاً للمعادلة (5) التي تربط وزن المادة المتفجرة ذات التصميم المختار بالوزن المكافئ لمادة TNT من خلال استخدام نسبة الحرارة المنتجة أثناء التفجير:

$$W_e = W_{exp} \frac{H_{exp}^d}{H_{TNT}^d} \dots \dots (5)$$

حيث :

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

H_{TNT}^d : حرارة التفجير الخاصة بمادة TNT MJ/Kg

W_{exp} : وزن الشحنة الحقيقية من المادة المتفجرة Kg

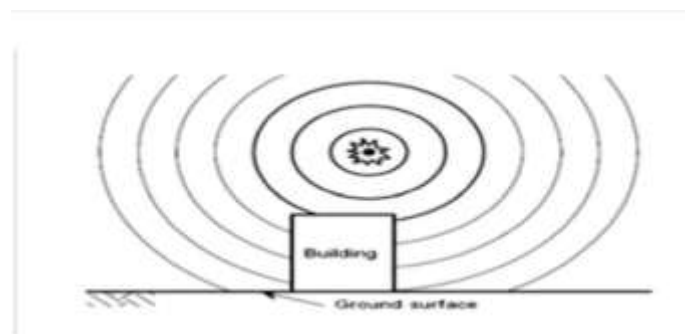
Name of explosive	Heat of detonation [MJ/kg]
TNT	4.10-4.55
C4	5.86
RDX	5.13-6.19
PETN	6.69
PENTOLITE 50/50	5.86
NITROGLYCERIN	6.30
NITROMETHANE	6.40
NITROCELLULOSE	10.60
AMON./NIT. (AN)	1.59

الجدول (1) : القيم الإرشادية لحرارة تفجير المتفجرات الشائعة [5].

2-5) أنواع الانفجارات والتحميل الانفجاري

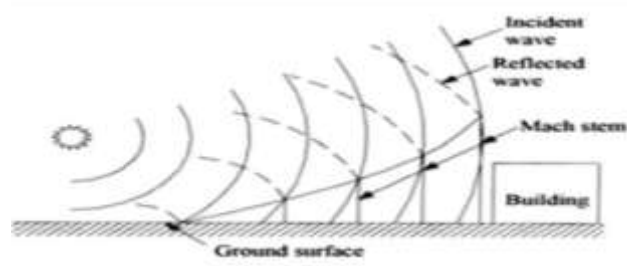
يتم تناول الانفجارات غير المتصلة وغير المحصورة خارج الهيكل في هذا التقرير. وكما هو موضح في الأشكال (4,5,6)، يمكن تمييزها في ثلاثة أنواع أساسية، والتي تعتمد على الموقع النسبي لمصدر الانفجار والهيكل المراد حمايته، أي على الارتفاع H^* فوق سطح الأرض، حيث يحدث تفجير شحنة W ، وعلى المسافة الأفقية RG بين سقوط المادة المتفجرة على الأرض والهيكل. هذه الأنواع الثلاثة من الانفجارات هي:

(1) **الانفجار الحر** في الهواء الطلق: تنفجر الشحنة المتفجرة في الهواء، وتنتشر موجات الانفجار بشكل كروي إلى الخارج وتصطدم مباشرة بالهيكل دون تفاعل مسبق مع عوائق أخرى أو الأرض.



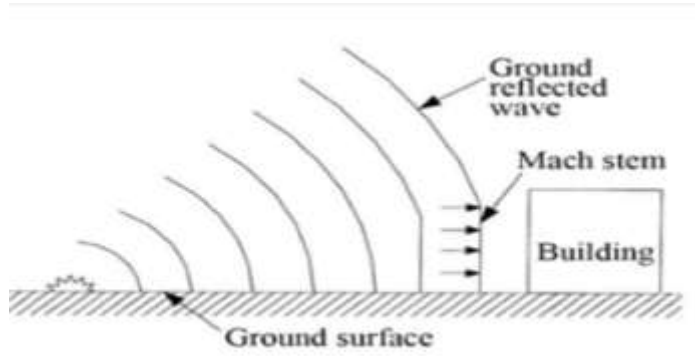
الشكل (4) الانفجار الحر

(2) **الانفجارات الهوائية** قريبة من سطح الأرض: تتفجر الشحنة المتفجرة في الهواء، وتنتشر موجات الانفجار بشكل كروي إلى الخارج وتصطدم بالهيكل بعد تفاعلها أولاً مع الأرض؛ يتم إنشاء جبهة موجة ماخ.



الشكل (5) الانفجار الهوائي

(3) **الانفجارات السطحية**: تتفجر الشحنة المتفجرة على سطح الأرض تقريباً، وتتفاعل موجات الانفجار على الفور محلياً مع الأرض وتنتشر بعد ذلك نصف كروي إلى الخارج وتصطدم بالهيكل.



الشكل (6) : الانفجار السطحي

يرتبط كل نوع من أنواع الانفجارات هذه بتحميل الانفجار المميز للهيكل، حيث يمكن للانعكاسات وظواهر التداخل على طول مسار الانتشار أن تعدل بشكل كبير شدة الموجة وبالتالي ضغوط التحميل.

2-6) حساب الأحمال الانفجارية الهيكلية

هناك علاقات وأساليب مختلفة لتحديد قيمة ضغط الحادث على مسافة محددة من الانفجار. جميع العلاقات المقترحة تتطلب حساب المسافة المقاسة والتي تعتمد على الكتلة الانفجارية والمسافة الفعلية من مركز الانفجار الكروي.

يقدم كيني تركيبة تعتمد على انفجارات من النوع الكيميائي. يتم وصفها بالمعادلة (6) وقد تم استخدامها على نطاق واسع لأغراض الحساب الحاسوبي،

$$P_{so} = P_0 \frac{808 \left[1 + \left(\frac{Z}{4.5} \right)^2 \right]}{\left\{ \left[1 + \left(\frac{Z}{0.048} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{0.32} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{1.35} \right)^2 \right] \right\}} \dots (6)$$

Z : معامل المجال الموزون (m/kg^{1/3})

P₀ : الضغط الجوي KN/m²

P_{so} : ضغط الذروة المطبق من الانفجار KN/m²

تشمل العلاقات الأخرى لذروة الضغط الزائد للانفجار الكروي تلك الخاصة بـ برود ، كما هو موضح في المعادلات (7). وهي تعتمد على حجم الانفجار، وتكون المعادلة (7_أ) صالحة عندما يكون ذروة الضغط الزائد أكثر من 10 بار (= 1 ميغا باسكال) (الانفجارات الميدانية القريبة) والمعادلة (7_ب) لقيم الضغط بين 0.1 بار و 10 بار (0.01 ميغا باسكال - 1 ميغا باسكال) (انفجارات متوسطة وبعيدة المدى). يتم قياس المسافة المقاسة بـ m/kg^{1/3} والضغط

P_{so} بالبار،

$$P_{so} = \frac{6.7}{Z^3} + 1 \quad P_{so} > 10bar \dots \dots \dots (أ)$$

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

(7)

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

صيغة أخرى تستخدم على نطاق واسع لحساب قيم الضغط الزائد القصوى للانفجار على سطح الأرض تم اقتراحها بواسطة نيومارك ولا تحتوي على تصنيف وفقاً لشدة التجبير:

$$P_{so} = 6784 \frac{W}{R^3} + 93 \sqrt{\frac{W}{R^3}} \dots \dots \dots (8)$$

حيث: R المسافة عن الشحنة المتفجرة m

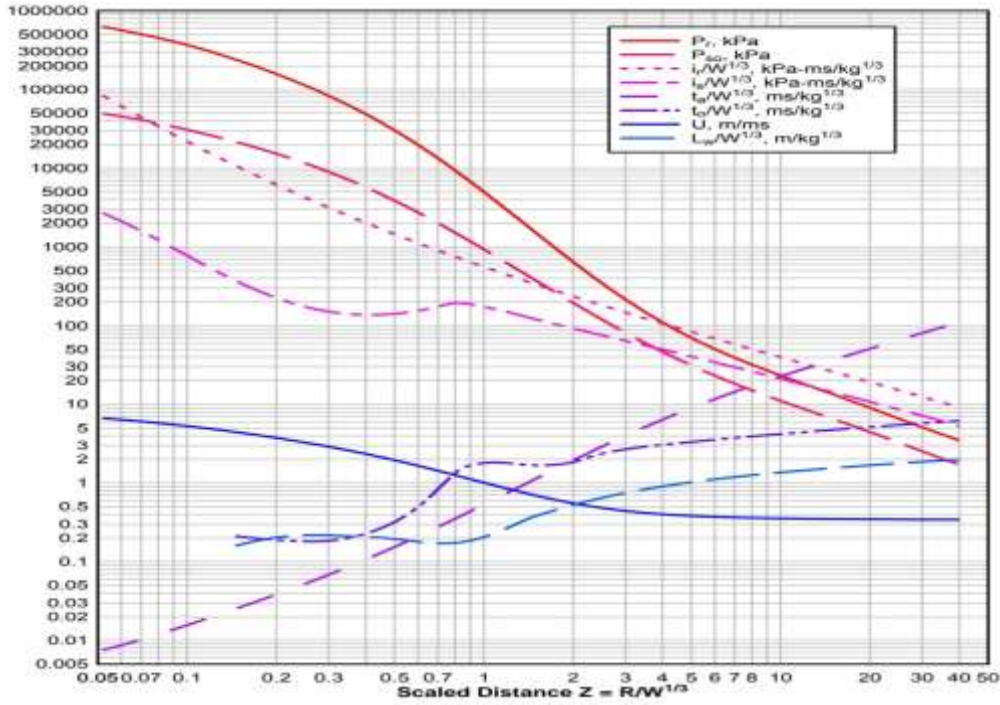
P_{so} ضغط الذروة المطبق من الانفجار KN/m²

W وزن الشحنة المتفجرة Kg

قدمت ميلز أيضاً تعبيراً عن ذروة الضغط الزائد بوحدة KPa، حيث يتم التعبير عن W بالكيلو جرام من مادة TNT والمسافة المقاسة Z تكون بوحدة m/kg^{1/3}، والتي تنص على ما يلي:

$$P_{so} = \frac{1772}{Z^3} - \frac{114}{Z^2} + \frac{108}{Z} \dots \dots \dots (9)$$

إن الطريقة الأكثر استخداماً والمقبولة لتحديد معاملات الانفجار هي الطريقة التي اقترحها Kingery-Bulmash. تتضمن ورقتهم تركيبات لكل من موجات الضغط الكروية (انفجارات الهواء الحرة) وموجات الضغط النصف كروية (الانفجارات السطحية) وتوفر قيم الضغوط الحادثة والمنعكسة بالإضافة إلى جميع المعاملات الأخرى. ويظهر الشكل (7) الرسوم البيانية لمتغيرات الانفجار للمرحلة الإيجابية لموجة الانفجار الحر

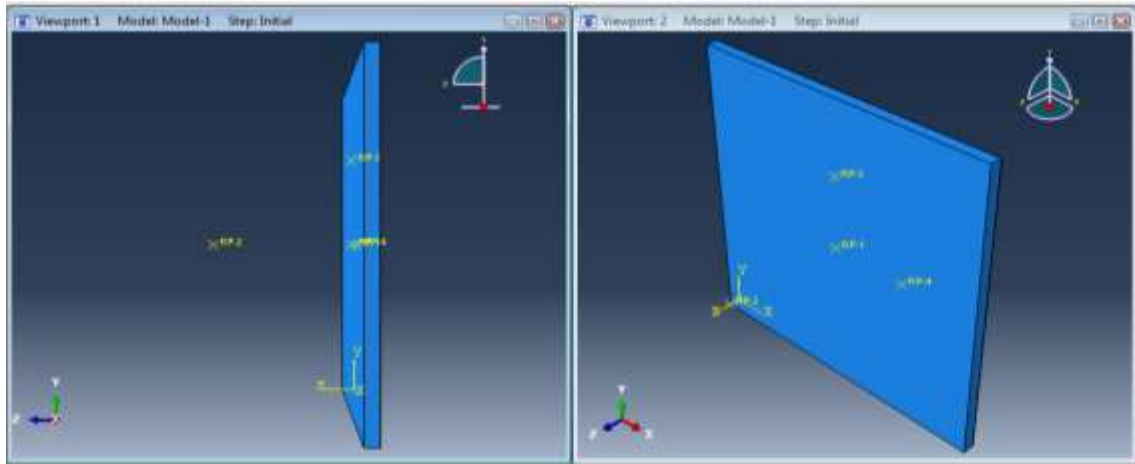


الشكل (7) بارامترات موجة الصدمة للطور الموجب الناتج عن انفجار هوائي [2]

حيث تم رسم المنحنيات بدلالة معامل المجال الموزون من $Z=0.05m/kg^{1/3}$ إلى $Z=40 m/kg^{1/3}$ ويمكن من خلال هذه المنحنيات البيانية الحصول على القيمة المطلقة لكل متغير بعد ضرب قيمتها المقاسة بعامل $W^{1/3}$ وذلك لمراعاة الحجم الفعلي للشحنة.

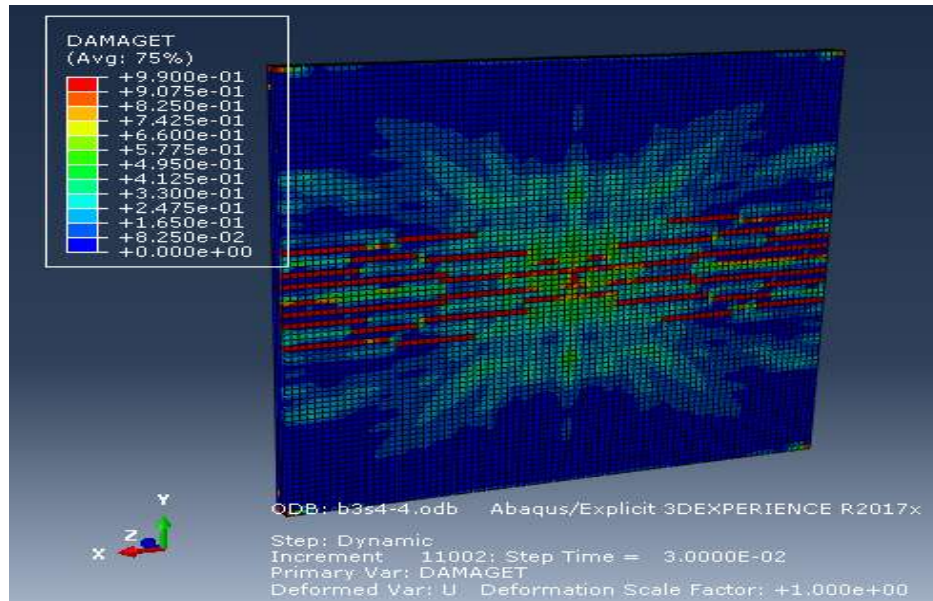
2. النمذجة العددية بواسطة برنامج ABAQUS

تم اجراء التحليل على بلاطة بيتونية بأبعاد $4*4m$ وسماكة $0.15m$ مسلحة بشبكة تسليح واحدة وعاملة باتجاه واحد كما هو موضح في الشكل (8)



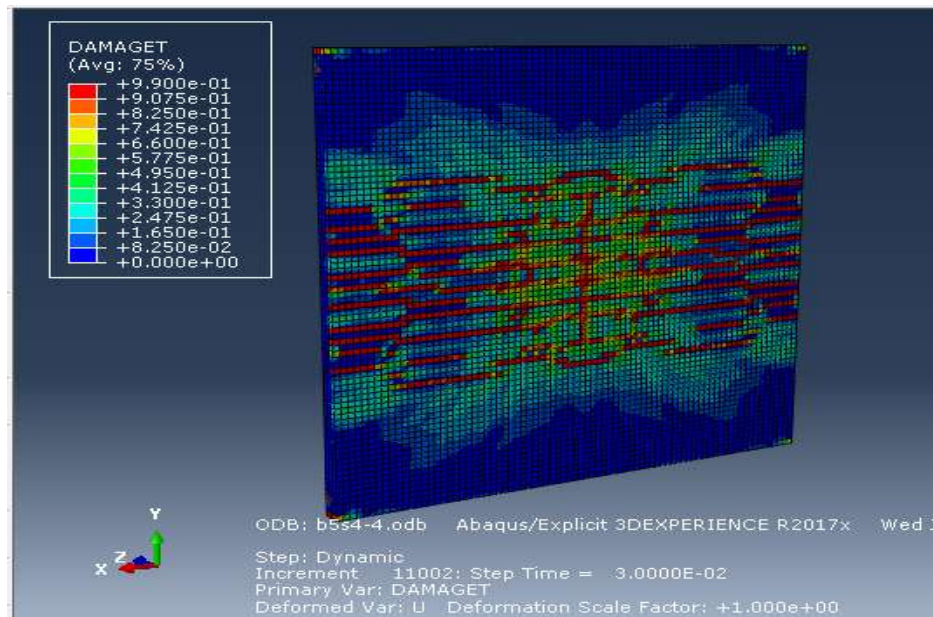
الشكل (8): النموذج المدروس

حيث تم تطبيق حملات متغيرة ودراسة التغيرات الخاصة في استجابة العنصر تم تطبيق حمولة مكافئة ل $3kg$ من مادة TNT على بعد $1m$ من مركز البلاطة حيث $Z=0.69$



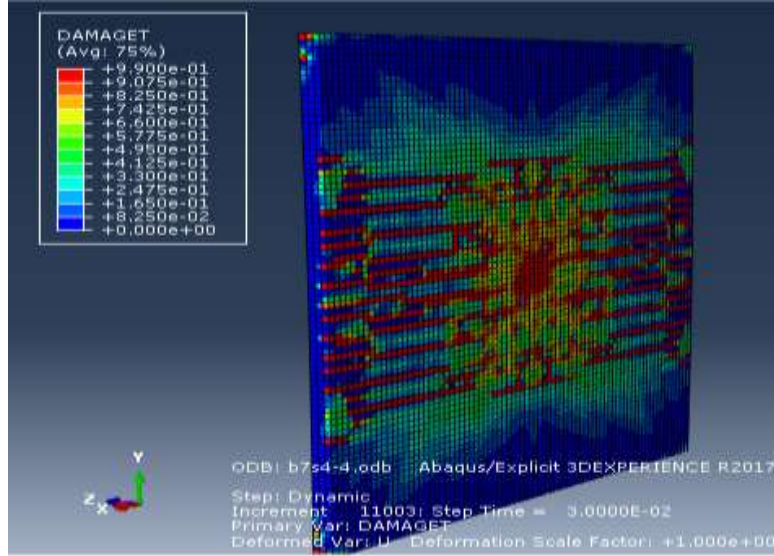
الشكل (9): التشققات في البلاطة عند $Z=0.69$

عند تطبيق حمولة مكافئة ل 5kg من مادة TNT على بعد 1m من مركز البلاطة حيث $Z=0.58$



الشكل (10): التشققات في البلاطة عند $Z=0.58$

أما عند حمولة انفجارية مكافئة ل 7kg من مادة TNT على بعد 1m حيث معامل المجال الموزون $Z=0.523m/kg^{1/3}$ من مركز البلاطة و كانت النتائج كمايلي :

الشكل (11): التشققات في البلاطة عند $Z=0.523$

نلاحظ حصول تشققات في منتصف البلاطة وهي تشققات خطيرة وتسبب تشطي في المادة البيتونية وبالتالي حصول اصابات بين شاغلي المباني والجدول التالي يبين الإجهادات والانتقالات في البلاطة عند تطبيق عدة حمولات ،

الجدول(2): الإجهادات والانتقالات في البلاطة عند تطبيق عدة حمولات

رقم العينة	الحمولة (kg)	المسافة (m)	$Z=R/W^{1/3}$	Stress (pa)	U(mm)
1	3	1	0.69	$2.3 \cdot 10^7$	13.2
2	5	1	0.58	$2.7 \cdot 10^7$	21
3	7	1	0.52	$2.9 \cdot 10^7$	27.2

3. استخدام مادة البوليمرات المدعمة بألياف الكربون (CFRP)

هي نوع من أنواع اللدائن المدعمة بالألياف وتتميز بأن لها متانة كبيرة مترافقة مع خفة الوزن وتتشأ من تدعيم البوليميرات بألياف الكربون باستخدام مواد رابطة مثل الإيبوكسي والتي تعمل على نشر الإجهاد فيما بين الألياف والحفاظ على الألياف من التآكل والعوامل البيئية والظروف الجوية المختلفة . تستخدم هذه المادة في العديد من تطبيقات الهندسة الإنشائية كتدعيم الأعمدة والجوائز والجدران والبلاطات . وقد تم توسيع استخدامها ضد الأحمال الانفجارية والصدمات .وهي تستخدم بشكل عام كطبقة خارجية على العناصر المراد تدعيمها أو حمايتها .

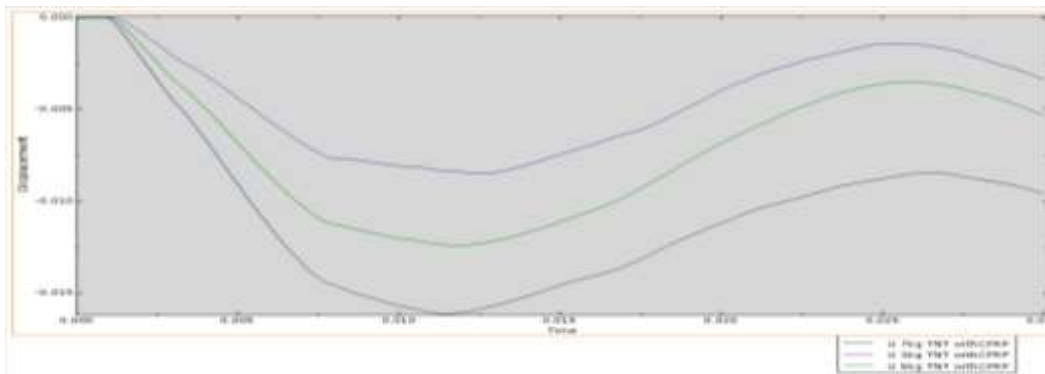
4-1 خصائص البوليمرات المدعمة بألياف الكربون (CFRP)

ان الصفائح الكربونية عبارة عن رقائق ذات لون أسود لها معامل مرونة E أكبر من 231000 N/mm^2 وتتحمل على الشد بقيمة دنيا 2650 N/mm^2 ، وحد الإنقطاع يزيد على 4100 N/mm^2 مع استطالة عند الإنقطاع تصل إلى 1.5 g/cm^3 ، ولهذه المادة كثافة تزيد عن 1.5 g/cm^3 ، وتمتاز هذه المواد بأنها :

- ذات مقاومة عالية للتآكل و الظروف الجوية والبيئية المختلفة بالمقارنة بالحديد مما يسهل إستخدامها في مختلف التطبيقات الإنشائية.
- مقاومة شد عالية مقارنة بالحديد ولذا فإن لديها نسبة مقاومة إلى وزن عالية .
- تعتبر مقاومة المواد البوليمرية المسلحة بالألياف للأحمال الديناميكية ممتازة .
- خفيف الوزن، عالي المقاومة، عالي المرونة و مضاد للتآكل و التوصيل (الكهربا).
- نسيج مرن يمكن تطبيقه على العناصر الإنشائية أياً كان الشكل الهندسي للعنصر ومتوفر بأطوال كبيرة فلا يوجد ضرورة لوضع وصلات .
- تطبيق نسيج ألياف الكربون سهل جدا و لا يحتاج الى أجهزة ميكانيكية ضخمة او معدات معقدة ولا تحتاج الى ايدي عاملة كثيرة

4-2) تطبيق ألياف الكربون على العينة المدروسة

تم نمذجة ألياف الكربون بواسطة برنامج ABAQUS وتطبيقها كشريحة كاملة بسماكة 2 mm على سطح البلاطة المدروسة وتطبيق حمولة انفجارية ناتجة عن استخدام عدة حملات انفجارية من مادة ال TNT على بعد 1 m وكانت النتائج كالتالي:



الشكل (12): الإنتقالات في مركز البلاطة باستخدام عدة حملات ووجود CFRP

الجدول(3): الإجهادات والإنتقالات في البلاطة عند تطبيق عدة حملات بعد استخدام CFRP

رقم العينة	الحمولة (kg)	المسافة (m)	$Z=R/W^{1/3}$	Stress (pa)	U(mm)
1	3	1	0.69	$2.1 * e7$	8.4
2	5	1	0.58	$2.27 * e7$	12.5
3	7	1	0.52	$2.3 * e7$	16.2

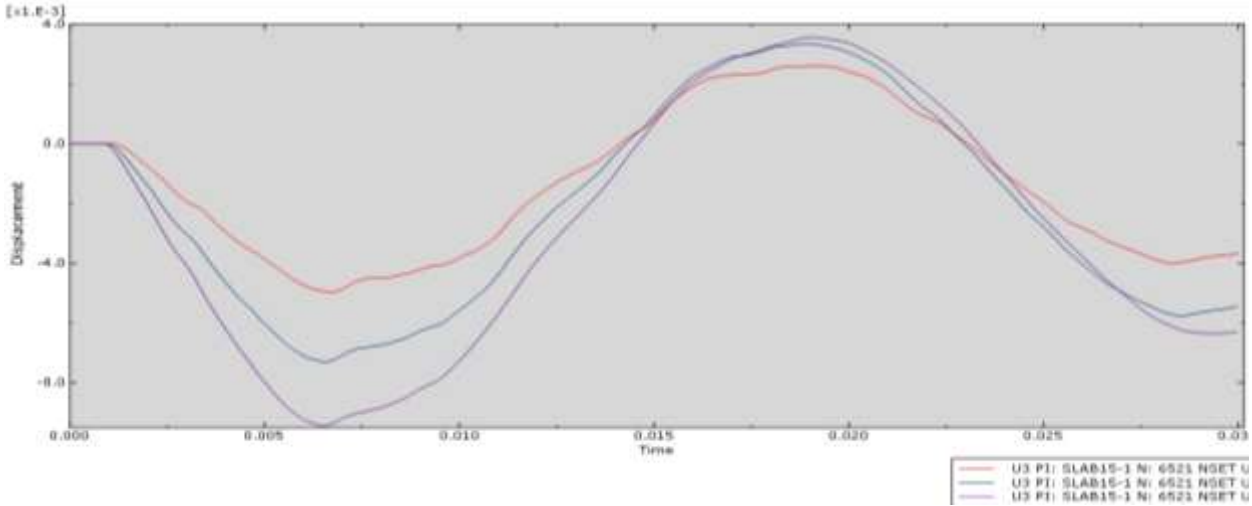
مقارنة نتائج العينات

الجدول(4): مقارنة الإنتقالات في البلاطة

رقم العينة	$Z=R/^{1/3}$	الإنتقال بدون CFRP	الإنتقال مع CFRP	فرق الإنتقالات	النسبة %
1	0.69	13.2	8.4	4.8	36.36
2	0.58	21	12.5	8.5	40.48
3	0.52	27.2	16.2	11	40.44

3-4 حالة اضافة شريحتين من ألياف الكربون على الوجه الأمامي والخلفي

تم اضافة شريحة اضافية على الوجه الأمامي للبلاطة البيتونية بسماكة 2mm ودراسة استجابة البلاطة المدروسة في الحالات الثلاث السابقة وكانت النتائج



الشكل (13): الإنتقالات في مركز البلاطة باستخدام عدة حمولات ويوجد CFRP على الوجهين

الجدول(5): الإنتقالات والإجهادات عند استخدام CFRP على الوجهين

U(mm)	Stress (pa)	$Z=R/W^{1/3}$	رقم العينة
5	$1.4 * e7$	0.69	1
7.3	$1.9 * e7$	0.58	2
9.5	$2.04 * e7$	0.52	3

وبمقارنة النتائج

الجدول(6): مقارنة الإنتقالات في البلاطة بعد تغليف وجهي البلاطة

النسبة %	فرق الإنتقالات	الإنتقال مع طبقتين CFRP	الإنتقال بدون CFRP	$Z=R/^{1/3}$	رقم العينة
62.12	8.2	5	13.2	0.69	1
65.24	13.7	7.3	21	0.58	2
65.07	17.7	9.5	27.2	0.52	3

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

نلاحظ من خلال العينات المدروسة زيادة تأثر البلاطة البيتونية كلما نقص معامل المجال الموزون فتزيد التشققات في البلاطة ويزيد الإنتقال

وعند اضافة شريحة واحدة من ألياف الكربون بسماكة 2mm تحسنت الإستجابة بمقدار 40%

عند اضافة شريحة واحدة بسماكة 2mm على كل وجه كانت تحسنت الإستجابة بمقدار 63% وبالتالي فإننا نستنتج مما سبق انه يمكن تحسين استجابة البلاطات البيتونية الخاضعة لحمولات انفجارية بإضافة شرائح ألياف الكربون على الوجه الخلفي للبلاطة وتحسن الاستجابة بشكل أكبر عند تغليف البلاطة من الوجهين

التوصيات:

دراسة تأثير اضافة ألياف الكربون على باقي العناصر الإنشائية من أعمدة وجوائز
دراسة تأثير اضافة ألياف الكربون على الجدران البيتونية المسلحة أو الجدران المصنوعة من البلوك الإسمنتي والتي
يمكن أن تستخدم كمصدات للموجات الانفجارية.

References:

- [1] Y.S. Tai ,T.L. Chu, H.T. Hu, J.Y. Wu., "Dynamic response of a reinforced concrete slab subjected to air blast load", Elsevier Ltd, 2011.
- [2] UFC 3-340-02 Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions Series: 3 , 2014 , USA .
- [3] Ali ABDELRAHIM , Osama ALI and Ibrahim METTWALY ; Inelastic damage of RC slabs subject to blast loads using dynamic analysis:numerical model validation, Aswan University Journal of Science and Technology, issue 2,December 2022
- [4] McCann, D. M., & Smith, S. J.). Blast Resistant Design of Reinforced Concrete Structures. *Structure Magazine*, pp. 22-26, April, 2007.
- [5] KARLOS Vasilis,& SOLOMOS George; Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components.
- [6] Wu, C., Oehlers, D., Rebertost, M., Leach, J., & Whittaker, A., "Blast Testing of Ultra-High Performance Fiber and FRP-Retrofitted Concrete Slabs",*Engineering Structures*,(2009).
- [7] Kalman, D., "USE OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE FOR BLAST RESISTANT DESIGN ". KANSAS STATE UNIVERSITY .Manhattan, Kansas, (2010).
- [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 .