جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة التصميم الميكانيكي
شعبة الإنتاج
ماجستير تصميم وبناء آلات

تَقييم تأثير الحمولات الانفجاريّة على التّصميم الهيكلي للآلات والمُنشآت المَعدنيّة

Evaluation of Effect of Blast Loads on Structural Design of Machines and Metal Structures

م. مُصعب عبد السَّتَّار النَّدَّاف
أ.م.د. مُحمّد بسَّام الخبَّاز

الملخص

تُقدِّم الرّسالة دراسة جديدة في حقل بحثيّ نادراً ما تم البحث فيه في مجتمع الهندسة الميكانيكيّة، وهو مجال الانفجارات وأثرها في الآلات والمنشآت المعدنيّة وعناصرهما، حيث تمثّل خطوة أولى في هذا الحقل، يجب أن يتبعها خطوات لاحقة لتوسعة المعلومات والمعرفة فيه.
انطلقت هذه الدِّراسة من دراسة مرجعيّة سابقة ضمن مجال الهندسة المدنيّة، هَدَفَت لدراسة استجابة الأعمدة المختلطة المُعرَّضة لحمل انفجاري وسلوكها (عمود معدني ذي مقطع Hمُحاط بالإسمنت وقُضبان التّسليح الطّولي والعَرضي)، قام الباحث بإعادة نمذجة عمود مُختلط مشابه للنّموذج في الدّراسة المرجعيّة وعَرَّضه للحمولة الانفجاريّة نفسها.
تم استخدام أحد أهمّ برامج النّمذجة والمُحاكاة التي تستخدم طريقة العناصر المُنتهية، وهو برنامج (LS-DYNA)، وكانت النّتائج مُقاربة لنتائج الدّراسة المرجعيّة، ومِن ثم أُجريت تعديلات على بعض مُتغيرات النّموذج وخصائصه، وأُجريت التّحليلات اللّازمة ثم استُخلصَت النّتائج وبُيِّن أثر هذه المُتغيرات في العمود المعدنيّ.
حيث أُزيل الغلاف البيتونيّ وقُضبان التّسليح وأُبقي على العمود المعدنيّ فقط وعُرِّض للحمولة الانفجاريّة السّابقة نفسها، ثم قُورن بين العمود المعدنيّ المُغلَّف بالبيتون وفولاذ التسليح مع العمود المعدنيّ غير المُغلَّف. وغُيِّرت قيمة الحمولة الانفجاريّة المؤثِّرة في العمود المعدنيّ، للوصول إلى أثر وجود البيتون بوصفه مادة مُحيطة بالأعمدة المعدنيّة، إذ تَوصّل الباحث إلى أن البيتون يمَتص الجزء الأكبر من طاقة الانفجار، ومن ثَم يُخفِّض الأضرار الهيكليّة للعمود المعدنيّ بنسبة كبيرة جداً، حيث انخفض الانحناء الكلي في العمود المعدني المحاط بالبيتون إلى 50% مقارنةً بالعمود المعدني غير المحاط بالبيتون (قَدَّم البيتون دَعماً للعمود المعدنيّ حوالَي الضِّعف)، وكذلك انخفض التشوّه الموضعي في العمود المعدني المحاط بالبيتون إلى 10%مُقارنةً بالعمود المعدني غير المحاط بالبيتون (قَدَّم البيتون دَعماً للعمود المعدنيّ حوالي 10 أضعاف).
كما تم القيام بتغيير شَكْل مَقطع العمود مع الحِفاظ على باقي خَصائصه (طول، ومساحة مقطع، ومعدن..)، إذ دُرِسَت المقاطع (مُربَّع مُصمَت، ودائري مُصمَت، ومُربَّع مُفرغ، ودائري مُفرغ)، وعُرِّضَت للحمل نفسه، حيث تمّ التَّوصل إلى أن العمود ذَي عَزم العَطالة الأقلّ يكون تأثير الانفجار عليه أقلّ ومن ثَم تشوّهه أقلّ؛ وذلك لتركُّز الكتلة حول محوره بشكل أكبر، على عكس تأثير الحمولات السّاكنة.

القسم النظري

الانفجار: هو تَحرُّر مُفاجئ وبسرعة عالية للطّاقة، مُترافق مع مَوجة ضغط وحرارة عاليتين، حيث يَنتج عنه موجة الضَّغط الموجب (أكبر من الضغط الجوي، وهي الأخطر)، تليها موجة الضَّغط السَّالب (أقل من الضَّغط الجوي) بعد عِدّة أجزاء من الثانية.
العناصر المُعرَّضة للحمل: العناصر المعدنيّة (أعمدة، وجوائز، وصفائح، وبلاطات، وجدران، وقضبان..) من معدن أو خليطة معدنيّة مُعيّنة، وبأبعاد ومقطع مُحدّد.
الدراسة التحليليّة الرَقميّة: وهي دراسةٌ تتم بواسطة برامج حاسوبيّة –خاصة بالبحث العلمي- والتي توفر الجُهد والوقت والتكلفة على المُهندسين والباحثين، للحصول على النتائج بدقّة وأمان دون التعرُّض لمخاطر التّجارب الواقعيّة؛ حيث تقوم هذه البرامج بدراسة السّلوك الديناميكي للعناصر والتنبّؤ بالمقاومة المتبقية بعد انتهاء مرحلة التحميل، مما يُعطي المُهندسين رؤية أوضح عن الإجهادات التي يَتعرَّض لها العنصر ليتمكنوا من تصميمه على نحو سليم وآمن.
مُؤشر الضَّرر: هو معيار يتم اختياره لتقييم حالة العناصر المُعرَّضة للحمل الانفجاري، مثل التّشوّه اللّدن، والانتقالات والانفعالات، والرؤية المباشرة، التي استُخدمت في البحث.
مُتغيرات الحِمل الانفجاري: كمية الشحنة الانفجارية وبُعد مركز الانفجار عن الهدف، ومن خلالهما نُحدِّد ما يُسمَّى مسافة كتلة الانفجار المُقاسة ويُرمز لها بالرمز (Z)، والذي تَعتمد عليه معظم دلائل (أكواد) التّصميم.
ويُعطى بالعلاقة: $Z=R/\sqrt[3]{W}$ ، حيث: Z:مسافة كتلة الانفجار المُقاسة ($m.Kg^{-1/3}$)، R: بُعد الشحنة عن العنصر (m) ، W: كتلة الشحنة الانفجارية مُقدرة بـTNT (Kg).
قام عدد من العلماء بوضع علاقات لحساب الضغط الأعظمي الناتج عن الانفجار، وذلك كتابع للمُعامل Z، إذ إنَّه عن طريق مَعرفة أو فَرض Z، يُعرَف مقدار الضَّرر الحاصل -كالتشوه الأعظمي مثلاً- والذي بمعرفته نَستطيع وضع التَّصميم المناسب لمقاومة هذا التشوه.

النتائج والمناقشة

- من تحليلات البحث نَستنتج الطَّبيعة المَحليّة والتأثيرات المَوضعيّة التي تتطوَّر خِلال عمليّة التّفجير القَريب، حيث أنّ التشوّه في العمود المعدني يكون على مَرحلتين، الأولى (مَحلي/ مَوضعي Local) خلال فترةٍ قصيرةٍ، حيث يَحدث تشوّه مَحلي في العمود تحتَ مَوضع الشّحنة، ويتشوّه العمود مَوضِعيّاً تشوّهاً لدناً كبيراً؛ والثانية (شامل Global) خِلال فترةٍ لاحقةٍ، حيث يَحدث انعطاف كبير في العمود ككُلٍ حول مركز الشحنة.
- إن وجود البيتون مع قضبان التّسليح قَدَّم دعماً كبيراً للعمود المعدني، حيث أن الميّزة الرئيسية للبيتون المُسلّح هي قُدرته على امتصاص جزءٍ من الطّاقة المَنقولة إلى العمود الفولاذي ممَّا يَحميه ويمَنع حُدوث خَللٍ كبيرٍ فيه وبالتالي فإنّه يَتعرّض لأضرارٍ أقل.
حيث أن البيتون المُسلّح يَبدأ بالتشوّه والخُضوع حتى يَتشظّى وتَتطاير أجزاء كبيرة منه، وبذلك يمَتص الجزء الأكبر من الحُمولة، وبالتالي يُخفِّض الأضرار الهيكليّة والتشوّهات للعمود المعدني بنسبةٍ كبيرةٍ جداً؛ بالتالي واعتماداً على كُتَل الشّحنات المُتفجرة وُجِد:
•انخفاض الانحناء الكُلّي في العمود المعدني المُحاط بالبيتون إلى 50% مُقارنةً بالعمود المعدني غير المُحاط بالبيتون (قَدَّم البيتون دَعماً للعمود المعدنيّ حوالي الضِّعف).
•انخفاض التّشوّه المَوضعي في العمود المعدني المُحاط بالبيتون إلى 10%مُقارنةً بالعمود المعدني غير المُحاط بالبيتون (قَدَّم البيتون دَعماً للعمود المعدنيّ حوالي 10 أضعاف).
-دُرِسَت المقاطع (مُربَّع مُصمَت، ودائري مُصمَت، ومُربَّع مُفرغ، ودائري مُفرغ)حيث غُيِّر شَكْل مَقطع العمود فقط مع الحِفاظ على باقي خَصائصه (طول، ومساحة مقطع، ومعدن..)، وعُرِّضَت للحمل نفسه، حيث تمّ التَّوصل إلى أن العمود ذي عَزم العَطالة الأقلّ يكون تأثير الانفجار عليه أقلّ ومن ثَم تشوّهه أقلّ؛ وذلك لتركُّز الكتلة حول محوره بشكل أكبر، مما يرفع من المتانة في الموضع تحت الشحنة الانفجارية مباشرةً، ومن ثَم يكون التأثير المحلي للانفجار أقل، الذي بدوره يؤثر في الانحناء الكلي للعمود فينخفض أيضاً، وهذا عكس نتيجة تأثير الحمولات السّاكنة.

المراجع

1.Ngo,T. Mendis,P. Gupta A. & Ramsay, J. (2007). Blast Loading and Blast Effects on Structures – An Overview. EJSE International Journal. PP. 76-91. Melbourne: Australia. The University of Melbourne.
2.Stolz, A. Doormaal, A. Haberacker, C. Husken, G. Larcher, M. Saarenheimo, A. et al. (December 2013). Resistance of structures to explosion effects: Review report of testing methods. pp. 78. Luxembourg: Luxembourg. Publications Office of the European Union.
3.Ngo, T, Mohotti, D, Remennikov, A, Uy, B. (9-12 December 2014). Response and failure mechanism of tubular steel columns subjected to close-range explosions. 23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials (ACMSM23), vol. II, pp. 1045-1050.Byron Bay, NSW, , Southern Cross University, Lismore, NSW: Australia.
4.Chiang Wu ,K . Li ,B . Chyuan Tsai .K. (2011). The effects of explosive mass ratio on residual compressive capacity of contact blast damaged composite columns, Journal of constructional steel research, 67, PP. 602-612.
5.Livermore Software Technology Corporation (LSTC). (May 2007). LS-DYNA keyword user's manual Version 971. vol. I & II. pp. 2206.
6.Fujikura, S. Bruneau, M. Lopez, D. (2008). Experimental Investigation of Multihazard Resistant Bridge Piers Having Concrete-Filled Steel Tube under Blast Loading, JOURNAL OF BRIDGE ENGINEERING, 13:6(586), PP. 586-594.
7.Remennikov, Alex, Uy, Brian, Mentus, Igor, (2014). EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF RESPONSE OF STEEL TUBULAR COLUMNS TO CLOSE RANGE EXPLOSIONS, PP. 9. Faculty of Engineering, University of Wollongong. Wollongong: Australia.
8. الخميس، عبادة. (2019)، تقييم انهيار الأعمدة المُختلَطة المُعرَّضة لحمل انفجاري وأثر هذه الأحمال على المُقاومة المُتبقية. ماجستير. الهندسة الإنشائية الزلزالية. المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية. جامعة دمشق. دمشق: سورية. ص:95.
9. جاويش، معتز. (2007). تصميم الآلات /I/. دمشق: سورية. منشورات جامعة دمشق، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية. ص:597.
10.بركات، خالد رشدي. (1998). عناصر الآلات أطلس في التصميم الميكانيكي. دمشق: سورية. ص:501.