

تأثير عامل تخامد الضغط على طيف الاستجابة لحمولة الانفجار

حنان حسين*

(تاريخ الإيداع 4 / 11 / 2013. قُبل للنشر في 15 / 4 / 2014)

□ ملخص □

في هذا البحث تم التطرق إلى التابع الأسّي لحمولة الانفجار، وتعريف عامل تخامد الضغط في هذا التابع (a). بعد ذلك تمت دراسة أربعة توابع لحمولة الانفجار بأربع قيم مختلفة لعامل تخامد الضغط، وذلك من أجل جملة ذات درجة حرية واحدة غير مخمدة، حيث تم وضع معادلة الحركة وحلها. وباستخدام برنامج MATLAB، ومن أجل كل تابع رسمت العلاقة بين $(y(t)/y_{st})$ وبين t/T . ومن ثم رسمت أطيف الاستجابة لهذه التوابع، وتمت مقارنة الأطيف الخاصة بالتوابع الثلاث الأخيرة بالطيف الخاص بالتابع الأول والذي يمثل الشكل المثلثي لحمولة الانفجار. وخلص البحث إلى أنه من أجل مجال معين لـ a يمكن وبتقريب مقبول استخدام طيف الاستجابة الخاص بالحمولة المثلثية، لكن بعد ذلك المجال يفضل استخدام أطيف الاستجابة للحمولة الأسية.

الكلمات المفتاحية: طيف الاستجابة، حمولة الانفجار، تخامد الضغط.

* قائمة بالأعمال - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

The Effect of the Pressure Decay Factor on the Response Spectrum of the Explosion Load

Hanan Hussien*

(Received 4 / 11 / 2013. Accepted 15 / 4 / 2014)

□ ABSTRACT □

This research discusses the exponential function of the explosion load and the pressure decay factor in this function (a). After that, four functions with four different values of the pressure decay factor are studied, and that is for the un-damped SDOF system, where the equation of motion is formed and solved. Then, using MATLAB software for every function, the relationship between $(y(t)/y_{st})$ and t/T is plotted, and that enables plotting the response spectrum for each one. Moreover, a comparison between the spectra of the last three functions with the first one that describes the triangular explosion load is drawn. This research has concluded that for a certain range of (a), it is possible, and with acceptable approximation, to use the spectra of triangular load, but beyond that it is better to use the spectra of exponential load.

Keywords: Response spectra, Explosion load, Pressure decay.

*Academic Assistant, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

مقدمة:

تُعَرِّض الانفجارات المنشآت إلى حمولات ديناميكية تسببها الزيادة الآتية والسريعة جداً في ضغط الهواء، والمتراكمة مع جبهة صدم، وكذلك القوى العابرة المترافقة مع الرياح الانفجارية التي تتبع مرور هذه الجبهة. تمثل هذه الحمولة تحريضاً عابراً، وتتميز بقصر فترة تأثيرها، وكبر الطاقة الحركية المفاجئة التي تنقلها إلى المنشأ، وهذا ما يجعل لطيف الاستجابة أهمية كبيرة عند تصميم الجمل الإنشائية الخاضعة لمثل هذه الحمولات. تعطي المراجع والكودات طيف الاستجابة لحمولة الانفجار التي تم تقريبها إلى شكل مثلث متناقص [2],[1]، والذي يعتبر أن الضغط يتخامد خطياً مع الزمن، لكن التمثيل الأمثل لحمولة الانفجار يجب أن يأخذ بعين الاعتبار التخامد الأسّي للضغط من خلال إدخال عامل تخامد الضغط (a)، والذي سيعطي بالتأكيد أطيف استجابة مختلفة. ونشير هنا أن هذا البحث أجري في كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين خلال العام 2013.

أهمية البحث وأهدافه:

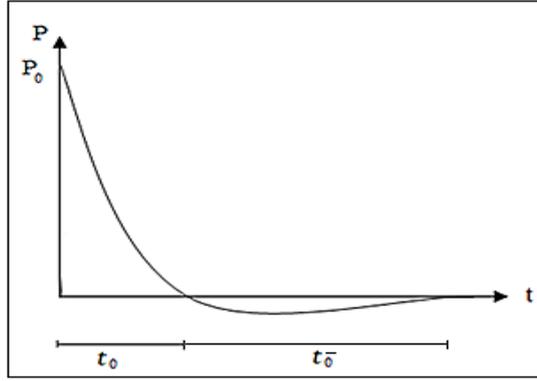
يهدف هذا البحث إلى توضيح أهمية إدخال عامل تخامد ضغط الانفجار إلى معادلة المخطط الزمني لحمولة الانفجار، وتأثير ذلك على طيف الاستجابة، وذلك من أجل تحديد المجال الذي يمكن من أجله اعتماد الشكل البسيط للحمولة بتقريب مقبول.

طرائق البحث ومواده:

هذا البحث عبارة عن عمل تحليلي تم فيه تعريف حمولة الانفجار وعامل تخامد الضغط، وتمت دراسة جملة ذات درجة حرية واحدة، حيث استخدم برنامج MATLAB من أجل حل معادلة الحركة لهذه الجملة، وكذلك من أجل رسم العلاقة بين استجابة الجملة والزمن، واستخدم في النهاية برنامج EXCEL لرسم أطيف الاستجابة، وإجراء المقارنات المطلوبة.

1- حمولة الانفجار:

مع حدوث الانفجار يحدث ارتفاع مفاجئ في الضغط فوق قيمة الضغط الجوي يسمى قفزة الضغط الناتجة عن الانفجار (P_0 overpressure)، يبدأ بعدها هذا الضغط بالتخامد أسياً حتى يعود إلى الصفر وذلك خلال زمن t_0 وهو زمن المرحلة أو النبضة الموجبة، ثم يتابع الضغط انخفاضه ليصبح سالباً ثم يرتفع مجدداً إلى الصفر وذلك خلال زمن t_0^- وهو زمن النبضة السالبة. يبين الشكل (1) المخطط الزمني لحمولة الانفجار.



الشكل (1) المخطط الزمني لحمولة الانفجار

تعطى حمولة الانفجار بالعلاقة:

$$P = P_0(1 - t/t_0)e^{-at/t_0}$$

وتبسط في كثير من الأحيان إلى الشكل:

$$P = P_0(1 - t/t_0)$$

حيث يتم إهمال عامل تخامد الضغط (a)، والذي يسمى أيضاً عامل شكل الموجة. إن قيمة (a) مرتبطة بذروة الضغط الناتج عن الانفجار P_0 وتزداد بازدياده، وقد وجد أن المنحنيات ذات خصائص التخامد السريعة جداً (قيمة a كبيرة) توافق إلى حد كبير الانفجارات الكبيرة أو النووية، بينما توافق المنحنيات ذات معدلات التخامد البطيئة الانفجارات التي تنتج أحجاماً كبيرة من الغازات [3].

لا توجد علاقة دقيقة لحساب قيمة a ، وإنما يعتمد في تحديدها على صيغ تجريبية مقترحة من قبل الباحثين في هذا المجال، فعلى سبيل المثال أعطى Kinney, G. F. and Graham [4] قيم a بالعلاقة:

$$a = 0.3306Z^4 - 3.1838Z^3 + 11.755Z^2 - 20.308Z + 15.12 \quad Z < 3m/Kg^{1/3}$$

حيث Z هي المسافة النسبية أو التباعد المعدل، ويعرف على أنه البعد عن مركز الانفجار (R) مقسوماً على الجذر التكعيبي لوزن الشحنة المكافئ (W)، (المقصود بالوزن المكافئ لشحنة من متفجر ما، هو وزن شحنة من TNT تعطي نفس الطاقة الانفجارية) أي:

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

إن Z عامل قياس هام جداً لحساب معاملات حمولة الانفجار، إذ أن كلاً من P_0 و t_0 تعطى بدلالته.

ومن علاقات حساب a أيضاً، هذه العلاقة التي وضعها [5] Henrych:

$$a = 0.5 + 10P_0 \quad P_0 \leq 0.1 \text{ MPa}$$

$$a = 0.5 + 10P_0[1.1 - (0.13 + 2P_0)(t/t_0)] \quad 0.1 \leq P_0 \leq 0.3 \text{ MPa}$$

وبناءً على علاقات Henrych لحساب P_0 يكون:

$$a = 0.5 + 10P_0 \quad Z \geq 2.75m/Kg^{1/3}$$

$$a = 0.5 + 10P_0[1.1 - (0.13 + 2P_0)(t/t_0)] \quad 1.65 \leq Z \leq 2.75m/Kg^{1/3}$$

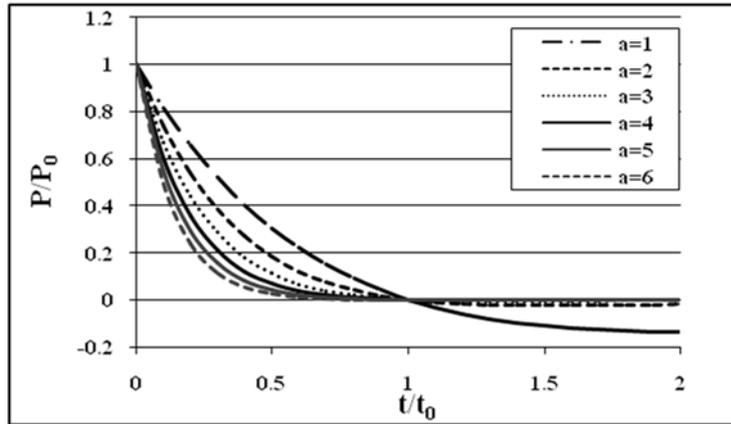
وأعطيت العلاقة التقريبية البسيطة التالية [6]:

$$a = Z^2 - 3.7Z + 4.2 \quad 0.2 \leq Z \leq 2$$

بشكل عام تم افتراض أن قيم العامل a تتراوح من 0.1 إلى 10، ولكن Bangash [1] ذكر أن قيمة المقدار

(والذي يظهر عند إجراء التكامل من أجل حساب الدفعة أو النبضة الموجبة الناتجة عن $(e^a a - e^a + 1) \frac{e^{-a}}{a^2}$)

الانفجار (I)) تتراوح بين 0.2 و 0.5، وذلك وفقاً للمعادلة المستخدمة في وصف تغير الضغط مع الزمن. ونلاحظ هنا أننا نحصل على القيمة 0.5 عندما تكون $a=0$ ، بينما نحصل على القيمة 0.2 عندما تكون $a=3.67$. يمكن أن تكون القيمة 3.67 هي القيمة الأكبر المستخدمة عملياً، إذ أن المخططات الناتجة عن استخدام قيم أكبر ستكون قريبة من بعضها البعض. والشكل (2) يبين ذلك، حيث أخذنا قيم مختلفة لـ a (1, 2, 3, 4, 5, 6)، ورسماً تابع الضغط من أجل كل منها. من تمثيل هذه التوابع نجد أن هناك تقارباً كبيراً بين التوابع من أجل القيم الكبيرة لـ a (4, 5, 6). لكن ذلك لا يعني عدم استخدام قيم أكبر لـ a .

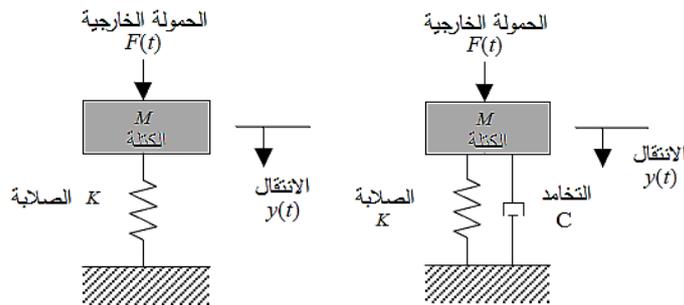


الشكل (2) المخطط الزمني لحمولة الانفجار مع قيم تخامد مختلفة

في هذا البحث سنأخذ حمولة الانفجار مع أربع قيم مختلفة لـ a هي: (0) والتي تعطي الشكل البسيط للحمولة، 0.1 باعتبارها قيمة صغيرة، 1 وتعتبر قيمة متوسطة، وأخيراً (3.67).

2- طيف الاستجابة:

سنقوم برسم طيف الاستجابة من أجل جملة ذات درجة حرية واحدة SDOF والذي يمثل عادة باستخدام كتلة مركزية M ونابض مهمل الوزن له صلابة K يمثل مقاومة الجملة للتشوه والتي تخضع لقوة خارجية $F(t)$ ، وتمثل مقاومة الجملة بمركبات الإزاحة y ، هذا من أجل جملة غير متخامدة، أما في حال إدخال التخماد فيتم تمثيله بمخمد له ثابت تخامد C كما في الشكل (3):



الشكل (3) تمثيل لجملة ذات درجة حرية واحدة

لقد استخدمت طريقة درجة الحرية الواحدة المكافئة (SDOF) على نحو واسع في دراسة الاستجابة الديناميكية لحمولة الانفجار، وقد أشار Bangash إلى هذه الطريقة.

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + Ky = f(t) \quad \text{معادلة الحركة للجملة تعطى بالعلاقة:}$$

$$\ddot{y} + 2\xi\omega\dot{y} + \omega^2 y = \frac{1}{m}f(t) \quad \text{وباعتبار } \omega^2 = K/m \text{ و } c/m = 2\xi\omega$$

سنفترض في هذه الدراسة أن الجملة غير مخمدة فيكون:

$$\ddot{y} + \omega^2 y = \frac{1}{m}f(t)$$

ومعروف أن حل هذه المعادلة هو مجموع حلين [7]:

$$-1 \quad \text{الاهتزازات العابرة والتي تنتج عن الشروط البدئية } \dot{y}_0, y_0.$$

$$-2 \quad \text{الاهتزازات المطردة والتي تنتج عن } f(t).$$

فإذا كانت الشروط البدئية صفرية، تبقى فقط الاهتزازات المطردة والتي يمكن حسابها باستخدام تكامل ديوهامل

كما يلي:

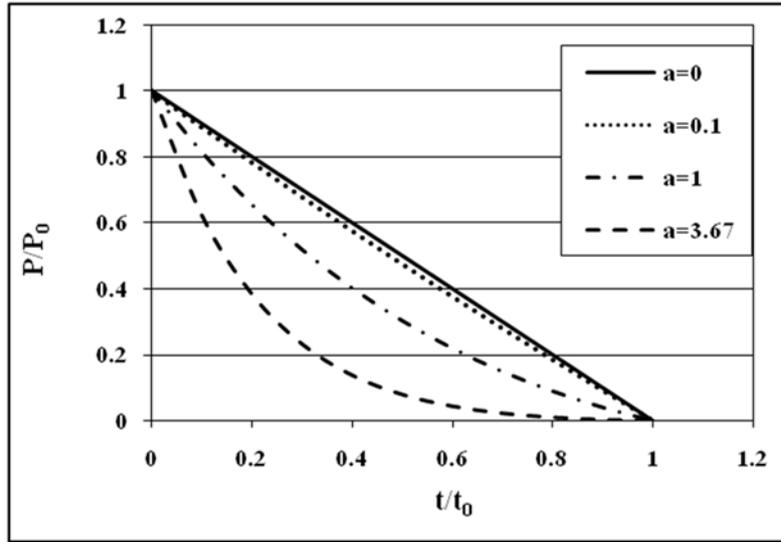
$$y(t) = \frac{1}{m\omega} \int_0^t f(\tau) \sin \omega(t - \tau) d\tau$$

تابع التحريض هنا يعطى هنا كما ذكرنا بالعلاقة:

$$f(t) = P_0(1 - t/t_0)e^{-at/t_0}$$

حيث سنأخذ الجزء الموجب فقط من هذا التابع، والشكل (4) يبين هذا التابع من أجل الحالات الأربع

المدرسة.



الشكل (4) حمولات الانفجار المدروسة

فتكون الاستجابة:

$$y(t) = \begin{cases} \frac{1}{m\omega} \int_0^t P_0(1 - \tau/t_0)e^{-a\tau/t_0} \sin \omega(t - \tau) d\tau & t \leq t_0 \\ \frac{1}{m\omega} \int_0^{t_0} P_0(1 - \tau/t_0)e^{-a\tau/t_0} \sin \omega(t - \tau) d\tau + [0] & t > t_0 \end{cases}$$

باستخدام برنامج MATLAB تم إجراء التكامل والوصول إلى العلاقة التي تعطي $y(t)/y_{st}$ ، ولكنها

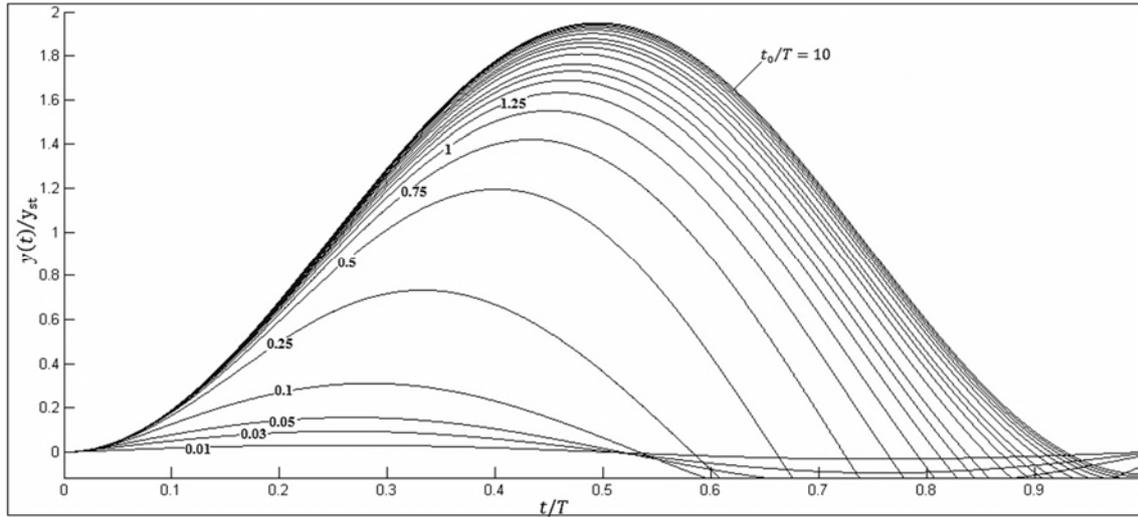
كانت معقدة، وتعذر الوصول إلى $y(t)_{max}/y_{st}$ عن طريق الاشتقاق، لذلك قمنا في معادلة $y(t)/y_{st}$ ومن أجل

كل قيمة لـ a بإعطاء القيم التالية t_0/T :

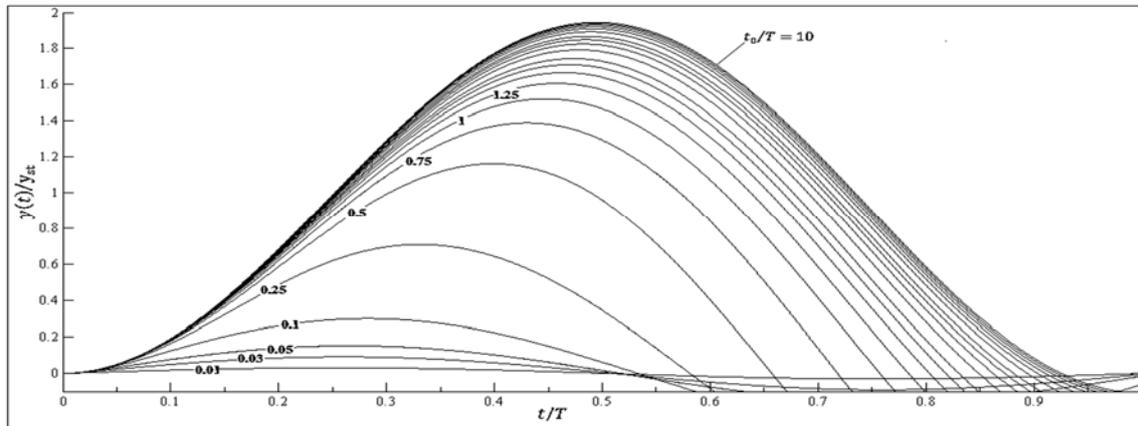
$$[0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]$$

وقمنا برسم العلاقة بين $y(t)/y_{st}$ و t/T باستخدام برنامج MATLAB، وهي مبينة في الأشكال (5)،(6)،(7)،(8).

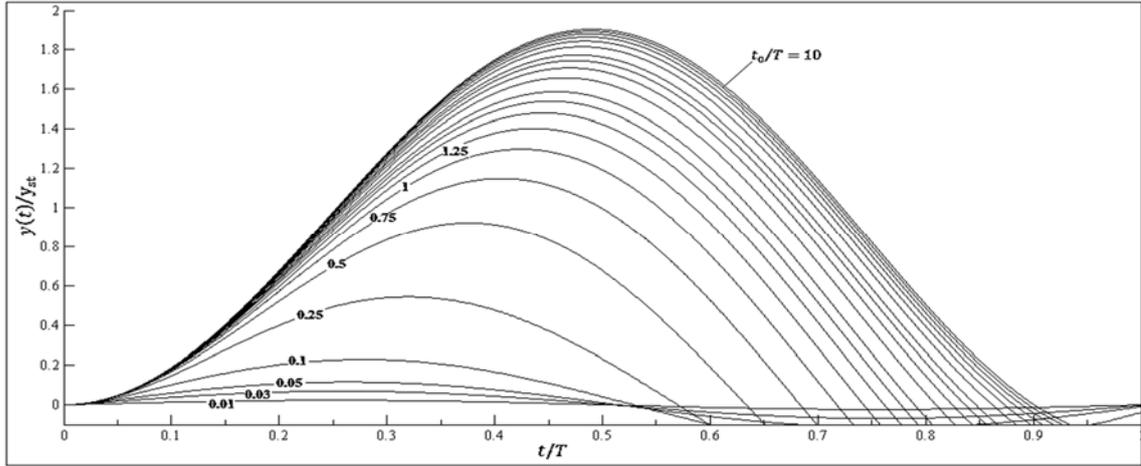
ومن خلال MATLAB أيضاً، ومن أجل كل قيم t_0/T المفروضة تم تحديد الذروة $(y(t)_{max}/y_{st})$ والتي يعبر عنها عادة بعامل الحمولة الديناميكي $(DLF)_{max}$ ، وكذلك تحديد t_m/T الموافقة، حيث t_m تمثل زمن الوصول إلى الذروة، وبعد تحصيل هذه القيم استطعنا رسم أطراف الاستجابة من أجل قيم a التي اخترناها، وهي موضحة في الشكل (9)، وكذلك رسمنا العلاقة بين زمن الوصول إلى الاستجابة العظمى t_m/T وبين t_0/T وهي موضحة بالشكل (10).



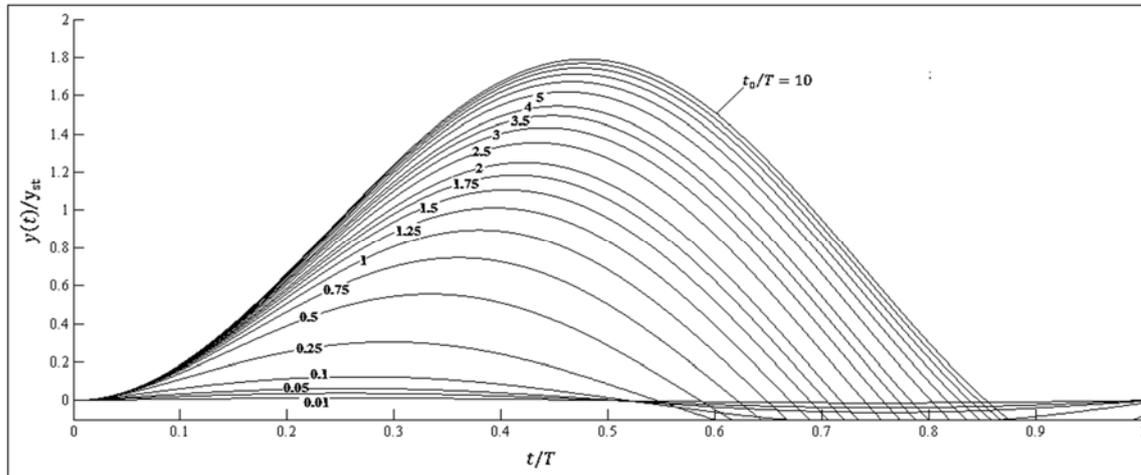
الشكل (5) العلاقة بين $y(t)/y_{st}$ و t/T من أجل $a=0$



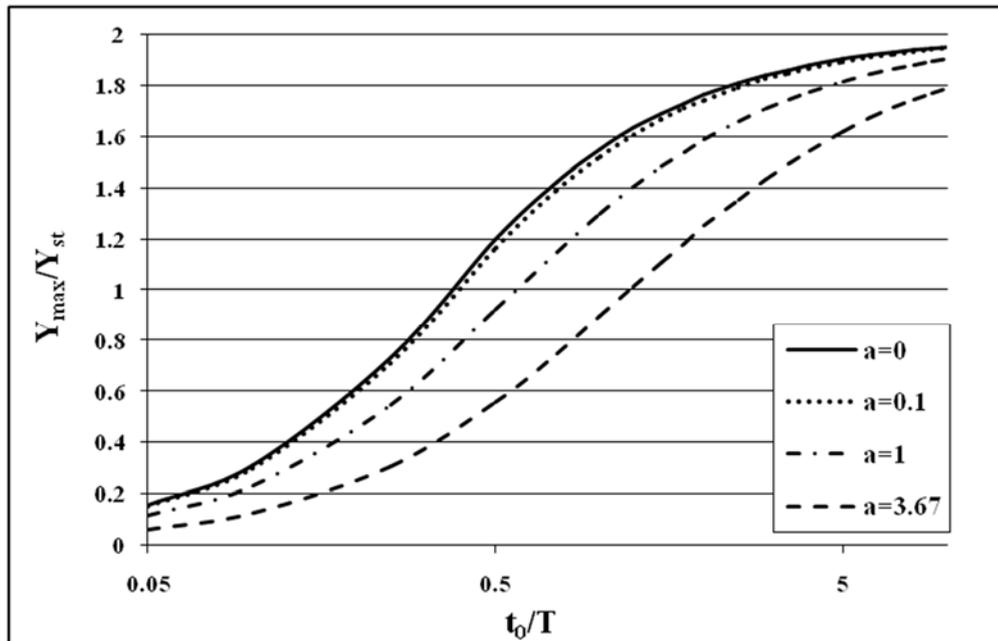
الشكل (6) العلاقة بين $y(t)/y_{st}$ و t/T من أجل $a=0.1$



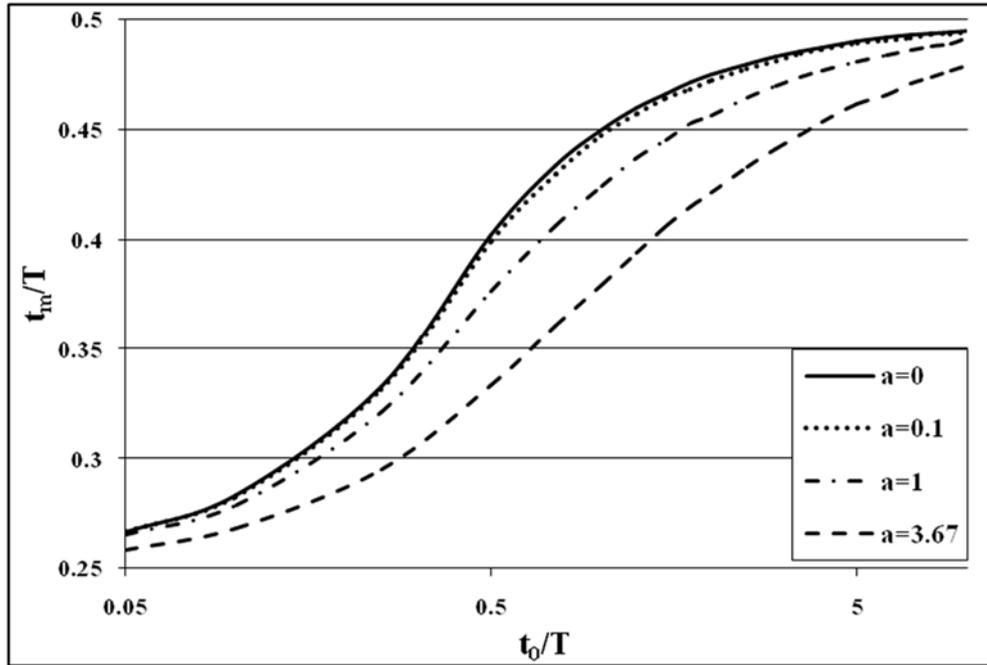
الشكل (7) العلاقة بين $y(t)/y_{st}$ و t/T من أجل $a=1$



الشكل (8) العلاقة بين $y(t)/y_{st}$ و t/T من أجل $a=3.67$



الشكل (9) أطياف الاستجابة للحمولات المدروسة



الشكل (10) العلاقة بين t_m/T و t_0/T

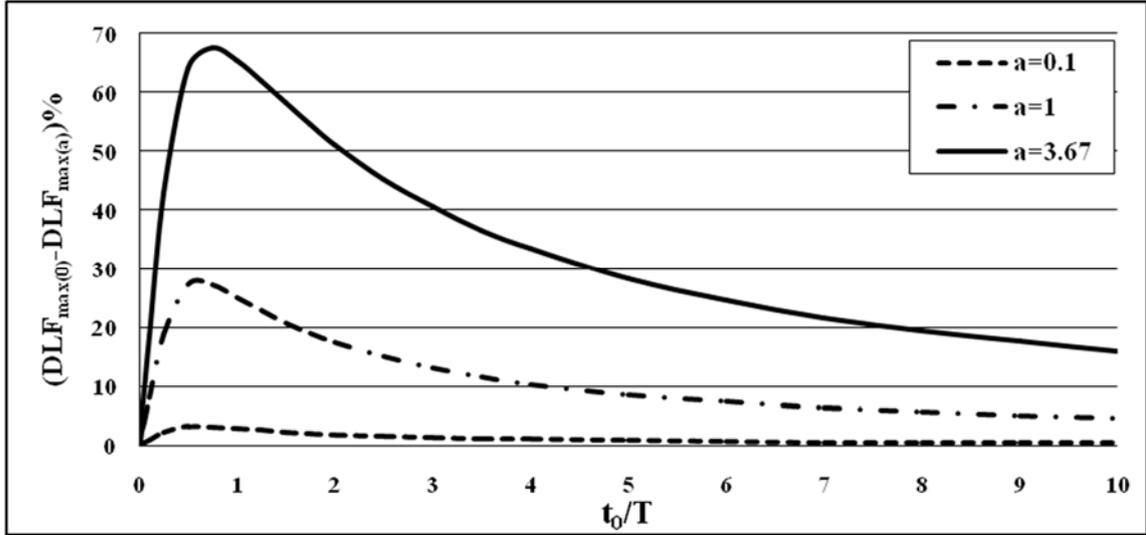
النتائج والمناقشة:

من خلال الشكل (9) نرى أن الشكل العام لطيف الاستجابة هو نفسه تقريباً من أجل القيم المختلفة لعامل تخامد الموجة a ، لكن هناك اختلاف في قيم الاستجابة العظمى، ونلاحظ أن قيمة هذه الاستجابة تتناسب عكساً مع قيمة a ، وهذا طبيعي باعتبار أنه كلما كانت a أكبر كلما كانت قيمة النبضة أقل.

يبين الشكل (11) النسبة المئوية للفرق بين قيمة عامل الحمولة الديناميكي من أجل الحمولة المبسطة $(DLF)_{max(0)}$ وبين قيمته من أجل باقي الحالات $(DLF)_{max(a)}$ ، وواضح أنه كلما كانت a أكبر سيكون الفرق أكبر، وقد كانت نسبة الفرق الأعظمي كما يلي:

$a=0.1$	3.3%
$a=1$	27.27%
$a=3.67$	67.5%

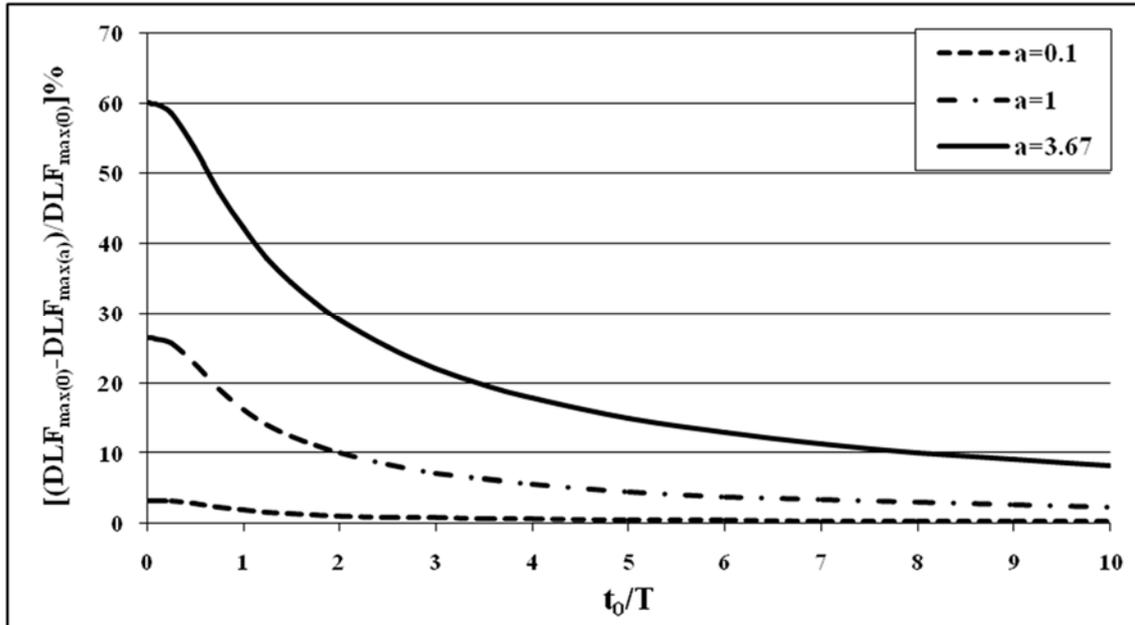
وبين الشكل (11) أيضاً أنه من أجل كل قيمة a يكون الفرق أكبر ما يمكن في جوار القيمة $t_0/T=1$ من المخطط، أي عندما يقترب زمن التحميل من دور المنشأ.



الشكل (11) النسبة المئوية للفرق بين قيمة DLF_{max} من أجل الحمولة المبسطة وبين قيمته من أجل باقي الحالات

أما الشكل (12) فهو يبين النسبة المئوية للفرق النسبي بين $(DLF)_{max(0)}$ وبين $(DLF)_{max(a)}$ ، فنلاحظ هنا أن هذا الفرق يكون أكبر ما يمكن من أجل القيم الصغيرة t_0/T ويتناقص مع ازدياد قيمة t_0/T ، وكان الفرق النسبي الأعظمي كما يلي:

$a=0.1$	3.25%
$a=1$	26.42%
$a=3.67$	60%



الشكل (12) النسبة المئوية للفرق النسبي بين قيمة DLF_{max} من أجل الحمولة المبسطة وبين قيمته من أجل باقي الحالات

الاستنتاجات والتوصيات:

وجدنا أنه عندما كانت $\alpha=1$ تجاوز الفرق في قيمة عامل الحمولة الديناميكي عن حالة الحمولة المبسطة 25%، وهي قيمة معتبرة ومن المهم أخذها بعين الاعتبار، لذلك يمكن القول أنه عندما تكون قيمة $\alpha=1$ يفضل استخدام طيف الاستجابة للحمولة الأسية، هذا ويمكن بطريقة مشابهة لما سبق رسم أطياف الاستجابة لحمولة الانفجار من أجل أي قيمة لـ α .

المراجع:

- [1]- Bangash, M.Y.H., Bangash, T. *Explosion- Resistant Buildings*. Springer- Verlag, Berlin Heidelberg, 2006, 805.
- [2]-Biggs, J. M. *Introduction to Structural Dynamics*, McGraw Hill, New York, 1964,341
- [3]-Bulson, P.S. *EXPLOSIVE LOADING OF ENGINEERIN STRUCTUERS*. E & FN Spon, London, 1997,236.
- [4]-We, J., Quintero, R., Galati, N., Nanni, A. *Failure Modeling of Bridge Components Subjected to Blast Loading*. International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol.1, No.1, December 2007, 19-28.
- [5]- Henrych, J. *The dynamics of explosion and its use*. Elsevier, Amsterdam, 1979,558.
- [6]- Lam, N., Mendis, P., Ngo, T. *Response Spectrum Solutions for Blast Loading*. Electronic Journal of Structural Engineering, 4, 2004, 28-44.
- [7]-Tedesco, J. W., McDougal, W. G., Ross, C. A., *STRUCTURAL DYNAMICS THEORY AND APPLICATIONS*. Addison Wesley Longman, Inc, 1999, 816.