

دراسة تأثير التقوية بواسطة الأربطة الفولاذية أو جدران القص على التجاوب الزلزالي لمبنى قائم من الخرسانة المسلحة

الدكتور عصام ناصر *

الدكتور نائل حسن **

زيد محفوظ ***

(قبل للنشر في 2003/8/24)

□ الملخص □

يهدف هذا البحث لدراسة تأثير التقوية بواسطة الأربطة الفولاذية أو تحويل الإطارات إلى جدران قص على التجاوب الزلزالي لمبنى قائم من الخرسانة المسلحة (أي على قوة القص القاعدي الكلية التي يخضع لها هذا المبنى وعلى عزوم الانعطاف وقوى القص والانتقالات الخاصة بأعمدة هذا المبنى). كما جرى فيه إلقاء الضوء على العلاقة بين زيادة عدد الإطارات المقواة بكل من هذين الأسلوبين وفعالية هذين الأسلوبين في تخفيض عزوم الانعطاف وقوى القص والانتقالات الخاصة بأعمدة المبنى المدروس. أيضاً تتطرق البحث إلى تأثير انقطاع الأربطة الفولاذية وجدران القص في الطابق الأخير (أسباب وظيفية) على قيم عزوم الانعطاف وقوى القص والانتقالات الخاصة بأعمدة هذا الطابق. بغية تحقيق الأهداف المذكورة أعلاه، تم إجراء تحليل زلزالي للمبنى في سبع حالات (حالة المبنى غير المقوى، حالات المبنى المقوى بالأربطة في إطارين، أربع إطارات، ستة إطارات، وحالات المبنى المقوى بتحويل إطارين أو أربعة إطارات أو ستة إطارات إلى جدران قص)، وذلك بطريقة تراكم الأنماط وبالاستناد إلى طيف استجابة تصميمي. في نهاية الدراسة تبين أن انقطاع عناصر التقوية في الطابق الأخير، أدت إلى زيادة قيم عزوم الانعطاف وقوى القص والانتقالات الخاصة بأعمدة ذلك الطابق. بالنسبة لبقية الطوابق ترتب على تقوية المبنى انخفاض بمقدار 70% في قيم عزوم الانعطاف وقوى القص والانتقالات النسبية الخاصة بأعمدة تلك الطوابق. حيث لوحظ أن 50% من الانخفاض في قيم عزوم الانعطاف وقوى القص و 40% من الانخفاض في قيم الإنزياحات الطابقية ناتجة عن زيادة عدد الإطارات المقواة من أربعة إلى ستة.

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية- سوريا

** أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية- سوريا

*** طالب دراسات عليا في قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين- سوريا

Study of the Effect of the Strengthening By Steel Braces or by Shear Walls on the Seismic Response of Existing Reinforced Concret Building

Dr. Issam Nasser *

Dr. Nael Hassan **

Zeid Mahfoud ***

(Accepted 24/8/2003)

□ ABSTRACT □

The purpose of this research is to study the effect of strengthening by steel braces or by transformation of the frames into shear walls on the seismic response of existing reinforced concrete building (in the other words, on the total base shear force of the building, bending moments, shear forces, and displacements of the columns of this building). In addition, this research deals with the relationship between the number of the strengthened frames and the efficiency of strengthening. Finally, this research deals with the effect of the discontinuity of the strengthening elements in the last storey on the values of bending moments, shear forces, and displacements of the columns of the last storey. To perform those purposes, seismic analysis of the building had been performed for seven cases (the case of the building without strengthening; the cases of the building strengthened by steel braces in two, four or six frames; the cases of the building strengthened by two, four or six shear walls). This analysis had performed by modal superposition method. At the end of this study, we find out that the discontinuity of strengthening elements in the last storey results in increase in the bending moments, shear forces and displacements of the columns of the last storey. With respect to the other stories, the strengthening of the building results in decrease as much as 70% in the values of bending moments, shear forces and displacements of the columns of these stories. It is noteworthy that the greatest part of this decrease results from the increase in the number of the strengthening frames from four to six.

* Associate Professor At Instructional Engineering Department, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Associate Professor At Instructional Engineering Department, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Post Graduate At Instructional Engineering Department, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia,

مقدمة:

- تتطلب المباني القائمة تقوية زلزالية عندما لا يتحقق فيها واحد أو أكثر من الشروط التالية:
- جميع العناصر الإنشائية للمبنى محققة لشرط المتانة (مقاومة العنصر الإنشائي في حالة الحد الأقصى لا تقل عن الأفعال المطبقة عليه والناجمة عن الأحمال الميتة والحية والزلزالية).
 - الانتقالات الأفقية النسبية في طابق واحد للعناصر الشاقولية (و الناتجة عن الأحمال الزلزالية) لا تتعدى $1/360$ من ارتفاع الطابق في حالة الاكساءات القاسية، أو $1/240$ من ارتفاع الطابق في حالة الاكساءات اللينة (أي التي يمكنها التشوه أفقياً دون تشقق).
 - تحقق عقد الإطارات تفصيلات التسليح الخاصة بعقد الإطارات المقاومة للزلازل.
 - إجهادات الضغط على التربة تحت الأساسات (و الناتجة عن الأحمال الميتة والحية والزلزالية) لا تتجاوز الإجهاد المسموح به في حالة الحد الأقصى (و البالغ ضعف الإجهاد المسموح به في حالة حد الاستثمار $(\bar{\sigma}_s)$ في حال كان توزيع الإجهادات في التربة قريب من الانتظام، و $2.4\bar{\sigma}_s$ في حال كان توزيع الإجهادات في التربة بعيد عن الانتظام). [1]

عندما لا تحقق بعض العناصر الإنشائية للمبنى شرط المتانة أو شرط الانتقالات الأفقية، يكون المبنى بحاجة إلى تقوية زلزالية. الأمر الذي يمكن تحقيقه من خلال تقوية إطارات ذلك المبنى بواسطة أربطة فولاذية شاقولية، أو بتحويل تلك الإطارات إلى جدران قص، من خلال ملئها بالخرسانة المسلحة، وتأمين الربط المناسب والكافي للخرسانة المضافة مع الإطارات. يتناول هذا البحث دراسة تأثير أسلوب التقوية هذين على التجاوب الزلزالي لمبنى قائم غير مصمم لمقاومة الأحمال الزلزالية.

أهمية البحث وأهدافه:

معظم المباني الخرسانية المسلحة في القطر غير مصممة لمقاومة الأحمال الزلزالية. من هنا تأتي أهمية البحث عن حلول تقوم بزيادة مقاومة هذه الأبنية بحيث تستطيع مقاومة القوى الزلزالية والتقليل من الخسائر البشرية والمادية إلى أقصى درجة ممكنة.

يهدف البحث الذي نحن بصددته إلى تقوية مبنى قائم من الخرسانة المسلحة غير مصمم لمقاومة الأحمال الزلزالية في الحالتين التاليتين:

- أ- بإضافة أربطة فولاذية (بشكل حرف X) إلى إطارات ذلك المبنى.
- ب- تحويل تلك الإطارات إلى جدران قص (من خلال ملء تلك الإطارات بالخرسانة المسلحة، مع تأمين الربط المناسب والكافي للخرسانة المضافة مع الإطارات).

وذلك من أجل دراسة تأثير أسلوب التقوية المذكورين على التجاوب الزلزالي للمبنى (أي على قوة القص القاعدي الكلية التي يخضع لها هذا المبنى وعلى عزوم الانعطاف وقوى القص والانتقالات الخاصة بأعمدة ذلك المبنى). تم في هذا البحث أيضاً إلقاء الضوء على تأثير عدم استمرار عناصر التقوية (سواء الأربطة أو جدران القص) في الطابق الأخير (لأسباب وظيفية) على قيم عزوم الانعطاف وقوى القص والانتقالات الخاصة بأعمدة هذا الطابق والطوابق المجاورة له. أيضاً تطرق البحث لدراسة العلاقة بين زيادة عدد الإطارات المقواة بكل من

الأسلوبين المذكورين أعلاه (أي بواسطة الأريطة أو بواسطة جدران القص) وفعالية كل من هذين الأسلوبين في تخفيض قيم عزوم الانعطاف وقوى القص والانتقالات الخاصة بأعمدة المبنى المدروس.

التحليل الزلزالي للمباني بطريقة تراكب الأنماط:

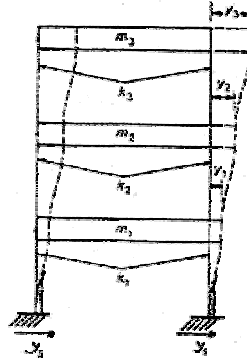
توصي معظم الكودات الزلزالية العالمية بطريقتين لإنجاز التحليل الزلزالي للمباني، الطريقة الأولى هي طريقة القوة الجانبية الستاتيكية المكافئة (Equivalent static lateral force method)، والتي يمكن استخدامها في الحالات التالية:

- المباني المنتظمة التي لا يتجاوز ارتفاعها 240 قدم (73.2 متر).
 - المباني غير المنتظمة التي لا يتجاوز ارتفاعها خمسة طوابق أو 65 قدم (19.83 متر).
- تجدر الإشارة إلى أن المقصود بالمباني غير المنتظمة تلك التي تتضمن عدم استمرار فيزيائي هام في شكلها أو في أنظمة مقاومة الأحمال الجانبية الخاصة بها.
- الطريقة الثانية هي الطريقة الديناميكية (طريقة تراكب الأنماط مثلاً- Modal superposition method)، هذه الطريقة يمكن استخدامها من أجل كل المباني، وهي تصبح متوجبة الاستخدام في الحالات التي لا يجوز فيها استخدام طريقة القوة الجانبية الستاتيكية المكافئة. [3]

1- نمذجة الأبنية لمقاومة القوى الأفقية Shear building model

في حال تم اعتبار صلابة الدياتفرامات (Diaphragm) الأفقية في المباني متعددة الطوابق كبيرة جداً بالمقارنة مع صلابة الأعمدة، يمكن نمذجة هذه المباني كأبنية قص، في مثل هذه النماذج (أي نماذج بناء القص)، يُفرض ما يلي:

- الكتل الطابقية للمنشأ مركزة في مستويات بلاطات الطوابق المختلفة.
 - صلابة الدياتفرامات الأفقية في مستوياتها كبيرة جداً.
 - تشوه المنشأ يكون مستقل عن القوى المحورية الموجودة في الأعمدة.
- هذه الافتراضات تحول المسألة من جملة ذات عدد لامتناه من درجات الحرية (نظراً لتوزيع الكتلة) إلى جملة تملك عدد من درجات الحرية يساوي إلى عدد مستوياتها الطابقية. فعلى سبيل المثال، عندما تتم نمذجة بناء مكون من ثلاثة طوابق كبناء قص، سوف يملك في هذه الحالة ثلاث درجات حرية، هي الانتقالات الأفقية المعروضة في الشكل (1). [4]



الشكل(1): نمذجة بناء مكون من ثلاثة طوابق كبناء قص

2- معادلات الحركة في حالة التحريض القاعدي

يمكن التعبير عن معادلات الحركة لبناء قص خاضع لحركة في قاعدته بدلالة الانتقالات الأفقية للمستويات الطابقية المختلفة بالنسبة للقاعدة. معادلات الحركة لبناء قص مكون من n طابق وخاضع لتحريض في قاعدته تعطى بالصيغة المصفوفية التالية:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = -[M]\{1\}\ddot{y}_g(t) \quad (1)$$

حيث:

$[M]$ تمثل مصفوفة الكتلة، وهي مصفوفة قطرية.

$[K]$ تمثل مصفوفة الصلابة، وهي مصفوفة متناظرة.

$[C]$ تمثل مصفوفة التخماد.

$\{1\}$ شعاع كل عناصره مساوية للواحد.

\ddot{y}_g يمثل التسارع المطبق على قاعدة البناء.

$\{U\}, \{\dot{U}\}, \{\ddot{U}\}$ تمثل على الترتيب أشعة الانتقال والسرعة والتسارع النسبية. [4]

3- الترددات الطبيعية وأنماط الاهتزاز القياسية

الخصائص الديناميكية الأكثر أهمية للمنشأ، مثل الترددات الطبيعية وأنماط الاهتزاز الموافقة لها، يتم تحديدها من خلال تحليل المنشأ في حالة الاهتزاز الحر غير المتخامد، الأمر الذي يتطلب انعدام المقدارين \ddot{y}_g و $[C]$ في المعادلة (1)، أي أن المعادلة الحاكمة للاهتزاز الحر غير المتخامد تعطى بالصيغة التالية:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = \{0\} \quad (2)$$

يعطى حل المعادلة (2) بالصيغة التالية:

$$\{U\} = \{a\} \sin(\omega t - a) \quad (3)$$

حيث: $\{a\}$ هو شعاع سعة الحركة.

بالتعويض عن شعاعي الانتقال والتسارع في المعادلة (2) بقيمتيهما المستتجنتين من المعادلة (3)، نحصل على ما يلي:

$$[[K] - \omega^2[M]]\{a\} = \{0\} \quad (4)$$

الصيغة أعلاه تمثل n معادلة خطية جبرية متجانسة ذات n انتقال مجهول a_i و بارامتر مجهول ω^2 . الحل غير التافه لجملة المعادلات المذكورة أعلاه (أي الحل الذي لا تتعدم فيه كل مركبات الشعاع $\{a\}$) يتطلب انعدام معين مصفوفة الأمثال لجملة المعادلات (4)، أي يتطلب ما يلي:

$$|[K] - \omega^2[M]| = 0 \quad (5)$$

في حال نشر المعين الموجود في الطرف الأيسر من المعادلة (5)، نحصل على معادلة من الدرجة n بالنسبة لـ ω^2 ، والتي تكون محققة من أجل n قيمة لـ ω^2 ، من أجل كل قيمة من قيم ω^2 والتي تحقق المعادلة (5)، يمكن حل جملة المعادلات (4)، وإيجاد مركبات شعاع السعة $\{a\}$ الخاص بنمط الاهتزاز الموافق لتلك القيمة من قيم ω^2 . [4][5]

نظراً لأن أنماط الاهتزاز تعرّف فقط من خلال أرقام متناسبة (أي من خلال النسبة بين قيمة كل مركبة من مركبات شعاع نمط الاهتزاز وبين قيمة مفترضة لإحدى مركباته)، بالتالي أي نمط يمكن معايرته بواسطة ثابت كفي ما، فيما يلي نعرض صيغة ملائمة لمعايرة (Normalization) أنماط الاهتزاز للأنظمة ذات مصفوفات الكتلة القطرية:

$$f_{ij} = a_{ij} / \sqrt{\sum_{k=1}^n \dot{a}_k^2 m_k a_{kj}^2} \quad (6)$$

حيث: f_{ij} المركبة المعيارية i لشعاع نمط الاهتزاز j . [4]

4- قوى القص القاعدي النمطية

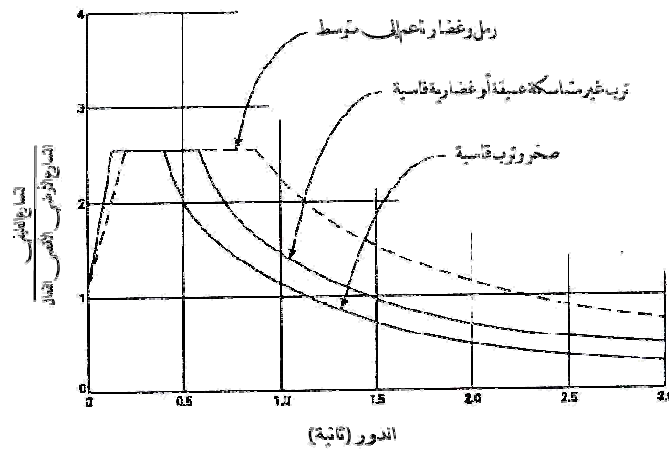
قوة القص القاعدي الموافقة للنمط m تعطى من خلال العلاقة التالية:

$$V_m = W_m S_{am} \quad (7)$$

حيث W_m يمثل الوزن الزلزالي الفعال للنمط m (Effective modal weight) والذي يعطى من خلال الصيغة التالية:

$$W_m = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{a}_i f_{im} W_i \dot{U}_m^2}{\sum_{i=1}^n \dot{a}_i^2 f_{im}^2 W_i^2 U_i^2} \quad (8)$$

حيث W_i الوزن الزلزالي للمستوي الطائفي i للمبنى و f_{im} المركبة المعيارية لنمط الاهتزاز m . أما S_{am} فيمثل التسارع الطيفي الموافق لنمط الاهتزاز m ، والذي يتم الحصول عليه من مخطط طيف استجابة مناسب، مثل ذلك الموصى به في كود الأبنية النظامي UBC-91، والمعروض في الشكل (2). [4][6]



الشكل (2): أطيايف التصميم المعيارية لكود الأبنية النظامي UBC-91

يمكن التعبير عن أطيايف التصميم المعروضة في الشكل (2) من خلال صيغ رياضية بسيطة، من أجل التربة القاسية (Stiff soil) تأخذ هذه الصيغ الشكل التالي:

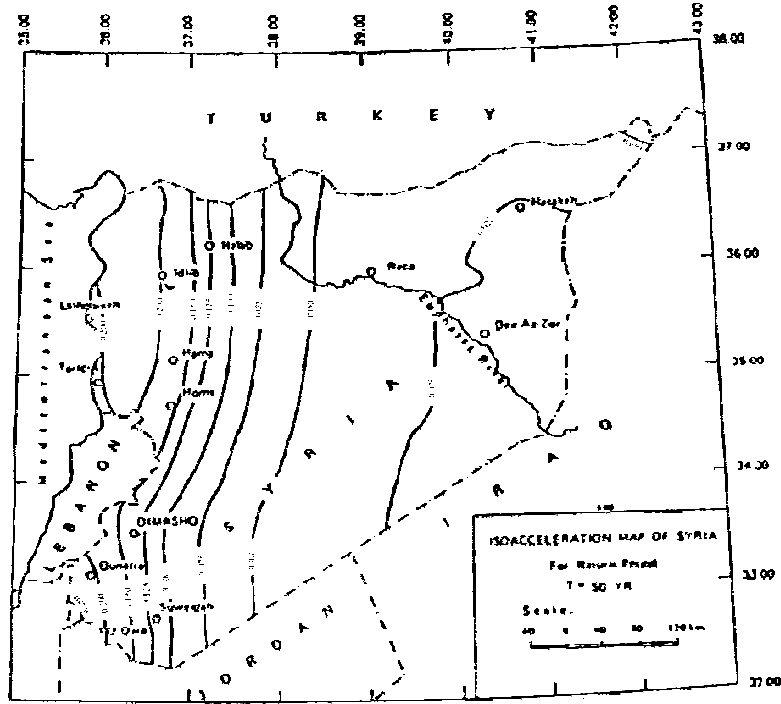
$$\begin{aligned}
S_A &= 1 + 10T & \text{for } 0 < T \leq 0.15 \text{ sec} \\
S_A &= 2.5 & \text{for } 0.15 < T \leq 0.39 \text{ sec} \\
S_A &= 0.975 / T & \text{for } T > 0.39 \text{ sec}
\end{aligned}
\quad (9)$$

حيث: S_A يمثل التسارع الطيفي الموافق لتسارع أرضي أقصى مقداره g ولنسبة تخادم مقدارها 5%.

T يمثل دور نمط الاهتزاز. [3]

تجدر الإشارة إلى أن القيم المستنتجة من أطيايف التصميم الخاصة بـ UBC-91، يجب ضربها بعامل التعديل Z/R_w . حيث Z يمثل معامل المنطقة الزلزالية، الذي يمثل بدوره النسبة بين التسارع الأرضي الأقصى الفعال (-) Effective peak ground (acceleration) - المترافق مع زلزال يبلغ احتمال تجاوزه 10% خلال خمسين سنة - وتسارع الجاذبية الأرضية. في حين أن R_w يمثل العامل الإنشائي للجملة الإنشائية للمبنى، والذي يقيس بدوره قدرة النظام الإنشائي للمبنى على تبديد الطاقة ضمن المجال اللامرن، قيم هذا العامل تتراوح بين 4 و12 وتتعلم بشكل أساسي بسلوك الأنظمة الإنشائية أثناء زلازل سابقة. تجدر الإشارة إلى أن المقصود بالتربة القاسية تلك التي لا يتجاوز عمقها 61 متر والمؤلفة من رواسب مستقرة من الرمل أو الحصى أو الغضار القاسية. [3]

يظهر الشكل (3) خارطة المناطق الزلزالية المحتملة لسورية بدلالة التسارع الأرضي الأقصى لفترة عودة مقدارها (50) سنة [7]:



الشكل (3): خارطة المناطق الزلزالية المحتملة لسورية بدلالة التسارع الأرضي الأقصى لفترة عودة مقدارها (50) سنة

5- القوى الجانبية النمطية

قوة القص القاعدي V_m الموافقة للنمط m ، يتم توزيعها على المستويات الطابقية المختلفة للبناء من خلال الصيغة التالية:

$$F_{xm} = C_{xm} V_m \quad (10)$$

حيث: F_{xm} تمثل القوة الجانبية المؤثرة في المستوي الطابق x والناجمة عن النمط m .
 C_{xm} تمثل العامل الزلزالي للنمط m عند المستوي x ، والذي يتم حسابه من خلال الصيغة التالية:

$$C_{xm} = \frac{f_{xm} W_x}{\sum_{i=1}^n f_{im} W_i} \quad (11)$$

حيث: f_{im}, f_{xm} يمثلان على الترتيب المركبتين المعياريتين x و i لنمط الاهتزاز m .
 W_x, W_i يمثلان على الترتيب الوزنين الزلزاليين للمستويين الطابقين أو m . [4][6]

6- قوى القص وعزوم الانقلاب والفتل والانتقالات الطابقية النمطية

بعد تحديد القوى الزلزالية الجانبية المؤثرة في المستويات الطابقية المختلفة للبناء وفقاً لما تم شرحه في الفقرة أعلاه، يتم حساب قوة القص وعزمي الانقلاب والفتل والانتقال في المستوي الطابق x ، والناجتين عن النمط m ، وفق العلاقات التالية:

$$V_{xm} = \sum_{i=x}^n F_{im} \quad (12)$$

$$M_{xm} = \sum_{i=x+1}^n F_{im} (h_i - h_x) \quad (13)$$

$$T_{xm} = e_x V_{xm} \quad (14)$$

$$d_{xm} = \frac{g}{4p^2} \frac{T_m^2 F_{xm}}{W_x} \quad (15)$$

حيث: $V_{xm}, T_{xm}, M_{xm}, d_{xm}$ تمثل على الترتيب القيم التصميمية لقوة القص وعزمي الانقلاب والفتل والانتقال

في المستوي الطابق x والناجتين عن نمط الاهتزاز m للمنشأ.

F_{im}, F_{xm} تمثل على الترتيب القيم التصميمية للقوى الزلزالية الجانبية المؤثرة في المستويين الطابقين x و i

على الترتيب والناجمة عن نمط الاهتزاز m .

h_i, h_x ارتفاع المستويين الطابقين x و i على الترتيب.

e_x المسافة بين مركز كتلة الطوابق الواقعة فوق المستوي الطابق x ومركز صلابة المستوي الطابق x

وذلك في الاتجاه المعامد لاتجاه القوى الزلزالية.

T_m دور نمط الاهتزاز m .

W_x الوزن الزلزالي للمستوي الطابق x .

g تسارع الجاذبية الأرضية.

بعد ذلك يتم توزيع كل من قوة القص الطابقية وعزم الانقلاب الطابقي (Story overturning moment) و قوى القص الناتجة عن عزم الفتل الطابقي بين العناصر المختلفة لنظام مقاومة الأحمال الجانبية بشكل يتناسب مع الصلابات النسبية لتلك العناصر. [4]

7- القيم التصميمية الإجمالية

القيم الإجمالية للقص القاعدي والقص الطابقي والانتقال الجانبي والانزياح الطابقي (الفرق بين الانتقالين الجانبيين لمستويين طابقيين متتاليين - Story drift) وعزوم الانقلاب والقتل، يتم الحصول عليها بجمع القيم النمطية لتلك التجاوبات، في حال كانت تلك التجاوبات النمطية معرفة كتوابع للزمن (أي أن قيمها محددة من أجل كل لحظة زمنية). أما في حال استخدام القيم الطيفية لتقدير القيم القصوى للتجاوبات النمطية، فإن الجمع المباشر للقيم النمطية القصوى لتجاوب معين سوف يطرح مشكلة، نظراً لأن هذه القيم النمطية للتجاوب لا تحدث عموماً بشكل متزامن، في حين أن الجمع المباشر لتلك القيم يتطلب حدوثها على نحو متزامن.

لذلك يتم تحديد القيمة الإجمالية لتجاوب معين بتجميع القيم النمطية القصوى (الطيفية) لهذا التجاوب من خلال طرق مختلفة تستند إلى قواعد احتمالية محددة، من هذه الطرق طريقة التجميع التريبيعي الكامل (Complete CQC Quadratic Combination)، والتي تعطى من خلال الصيغة التالية:

$$R = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_i r_{ij} R_j} \quad (16)$$

حيث: R القيمة الإجمالية للتجاوب المعتبر.

R_i, R_j القيم النمطية للتجاوب المعتبر والموافقة للنمطين أوز.

r_{ij} عامل تقاطع النمطين أوز (Cross-modal coefficient)، والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$r_{ij} = \frac{8x^2(1+r)r^{3/2}}{(1-r^2)^2 + 4x^2r(1+r)^2} \quad (17)$$

حيث: $r = w_i / w_j$ نسبة الترددات الطبيعية للنمطين أوز

x نسبة التخميد.

تجدر الإشارة إلى أن كودات التصميم الزلزالي توصي بالأخذ بالحسبان (عند تجميع القيم النمطية للتجاوب) كافة أنماط الاهتزاز الهامة، الأمر الذي يمكن تحقيقه من خلال الاكتفاء بأنماط الاهتزاز الأولى، والتي يبلغ مجموع أوزانها الفعالة 90% (على الأقل) من الوزن الزلزالي الإجمالي للبناء. [4]

8- مقارنة النتائج

في حال كانت قوة القص القاعدي الإجمالية المحسوبة بالطريقة الديناميكية أصغر من نظيرتها المحسوبة بطريقة القوة الجانبية الستاتيكية (المشروحة أدناه)، يشترط كود الأبنية النظامي UBC-91 زيادة قوى القص القاعدي النمطية من خلال ضربها بالنسبة بين قوة القص القاعدي الإجمالية الستاتيكية (V_s) ونظيرتها الديناميكية (V_d)، وذلك من أجل المنشآت غير المتناظرة. أما في حالة المنشآت المتناظرة، فيتم ضرب قوى القص النمطية بالنسبة ($r = 0.9V_s / V_d$)، شريطة ألا تقل قوة القص القاعدي الإجمالية المصعدة عن 80% من نظيرتها الستاتيكية المحسوبة استناداً إلى دور الاهتزاز الأساسي، المحسوب بدوره بواسطة العلاقة التجريبية (العلاقة

رقم 20). بعد ذلك يتم حساب القوى الجانبية الزلزالية وقوى القص الطابقية وعزوم الانقلاب والفتل الطابقية استناداً إلى قوى القص القاعدية النمطية المصعدة.

من جهة أخرى، وفي حال كانت قوة القص القاعدي الكلية المحسوبة بالطريقة الديناميكية أكبر من نظيرتها المحسوبة بالطريقة الستاتيكية، فإن UBC-91 يسمح بتخفيض قوى القص القاعدي النمطية من خلال ضربها بالنسبة $(r = V_s / V_D)$. بعد ذلك يتم حساب القوى الجانبية الزلزالية وقوى القص الطابقية وعزوم الانقلاب والفتل الطابقية استناداً إلى قوى القص القاعدي النمطية المخفضة. [3]

أخيراً لا بد من الإشارة إلى أن UBC-91 يشترط تصميم المنشآت لتقاوم قوة قص قاعدي كلية تعطى من خلال الصيغة التالية:

$$V_s = \frac{ZIC}{R_w} W \quad (18)$$

حيث:

$$C = \frac{1.25S}{T^{2/3}} \leq 2.75 \quad (19)$$

حيث Z معامل المنطقة الزلزالية، والذي تعتبر قيمه ممثلة لنسبة التسارع الأرضي الأقصى الفعال إلى تسارع الجاذبية الأرضية. I عامل أهمية الإشغال للمنشأ (Occupancy Importance Factor)، والمرتبط بالاستخدام المتوقع للمنشأ، حيث يأخذ القيمة 1.25 من أجل المنشآت الهامة أو الخطيرة، في حين يأخذ القيمة 1.00 من أجل باقي المنشآت. R_w يمثل العامل الإنشائي وتتراوح قيمه بين 4 و 12، والذي يقيس قدرة المنشأ على تبديد الطاقة في المجال اللامرن. S معامل الموقع وتعتمد قيمه على خصائص التربة في الموقع. W الوزن الزلزالي للمنشأ، والذي يتضمن كامل الحمل الميت و 25% من الحمل الحي. T الدور الأساسي للمبنى، والذي يمكن حسابه من خلال الصيغة التجريبية التالية:

$$T = C_t h_N^{3/4} \quad (20)$$

حيث: h_N تمثل الارتفاع الكلي للمنشأ مقدراً بالقدم.

$C_t = 0.035$ من أجل الإطارات الفولاذية المقاومة للعزم.

$C_t = 0.03$ من أجل الإطارات الخرسانية المسلحة المقاومة للعزم والإطارات الفولاذية المربطة على نحو

غير متراكز (Eccentrically Braced Frames).

$C_t = 0.02$ من أجل كل المنشآت الأخرى.

أيضاً يمكن حساب دور الاهتزاز الأساسي للمبنى من خلال صيغة ريليه:

$$T = 2p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \ddot{a}_i W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n \ddot{a}_i f_i d_i}} \quad (21)$$

حيث: f_i القوة الجانبية الزلزالية المؤثرة عند المستوي الطابقي i.

W_i الوزن الزلزالي للمستوي الطابقي i.

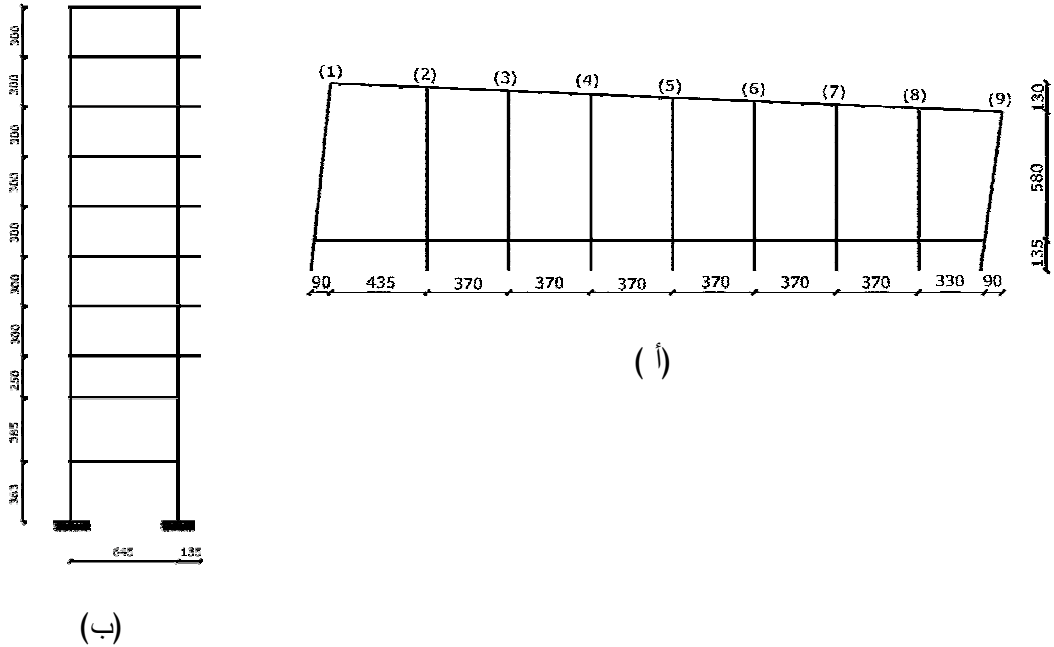
d_i الانتقال الجانبي للمستوي الطابقي i والناتج عن القوى الجانبية الزلزالية.

تجدر الإشارة إلى أن قيمة C المحسوبة استناداً لدور الاهتزاز المحسوب بدوره من خلال صيغة ريليه، يجب ألا تقل عن 80% من نظيرتها المحسوبة اعتماداً على دور الاهتزاز المحسوب بالصيغة التجريبية. [3][8]

وصف المبنى

المبنى قيد الدراسة في هذا البحث هو عبارة فندق مشيد في مدينة طرطوس، حيث يتألف من قبو وتسعة طوابق، أبعاد مسقطه الأفقي (32.00x7.40) متر، و ارتفاعه الكلي (31.10) متر، الشكل (4). الطابق الأرضي عبارة عن مجموعة من المحلات التجارية، أما الطابق الثاني فمؤلف من صالون صغير لاستقبال النزلاء بالإضافة إلى غرف للنزلاء، والطوابق من الثاني إلى السابع فهي مؤلفة من غرف للنزلاء، في حين أن الطابق الأخير عبارة عن مطعم.

أرضيات الطوابق المختلفة وسقف الطابق الأخير عبارة عن بلاطة سماكتها (6)سم، تستند بدورها إلى أعصاب موازية للاتجاه الطولاني للمبنى، هذه الأعصاب محمولة على جوائز رئيسية متدلية موازية للاتجاه العرضاني للمبنى، أبعاد مقاطعها العرضية (40x50) سم أو (50x30) سم. أما أعمدة المبنى فتختلف أبعاد مقاطعها العرضية من طابق لآخر، حيث تتراوح بين (85x40) سم في الطابق القبو و (20x30) سم في الطابق الأخير. يذكر أن أساس المبنى عبارة عن حصىرة عامة (بلاطة عادية مع جوائز)، وأن تربة التأسيس عبارة عن طبقة رمل مع حصويات لا يتجاوز عمقها 10 متر، ذات قدرة تحمل مقدارها 2.6 كغ/سم² (أي أن تربة التأسيس تحقق شروط التربة القاسية المذكورة في الفقرة 4-2).



الشكل (4): الجملة الإنشائية للمبنى قبل التقوية: أ-مسقط أفقي ب-مقطع شاقولي

الدراسة التحليلية

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة تأثير تقوية الإطارات العرضية للمبنى الخرساني الموصوف أعلاه بإضافة الأريطة الفولاذية (بشكل الحرف x) أو بتحويل تلك الإطارات إلى جدران قص (من خلال ملئها بالخرسانة المسلحة) على التجاوب الزلزالي لذلك المبنى. أيضاً تتطرق الدراسة بشكل مبسط ومن أجل المبنى المدروس نفسه للعلاقة بين عدد الإطارات المقواة بواسطة كل من هذين الأسلوبين وفاعلية كل من هذين الأسلوبين في تخفيض القوى الداخلية والانتقالات الخاصة بأعمدة المبنى. كما تلقي الدراسة الضوء على تأثير انقطاع عناصر التقوية (الأريطة الفولاذية وجدران القص) في الطابق الأخير (لأسباب وظيفية) على القوى الداخلية والانتقالات الخاصة بأعمدة هذا الطابق وأعمدة الطوابق المجاورة له.

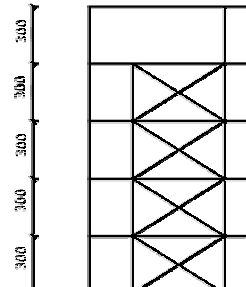
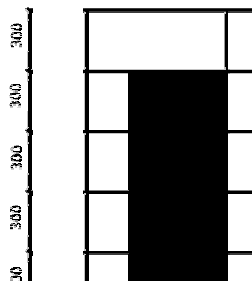
1- الحالات المدروسة ومعطيات الدراسة

بغية تحقيق الأهداف المذكورة أعلاه، لابد من إجراء تحليل زلزالي في الاتجاه العرضي للجملة الإنشائية للمبنى قيد البحث، وذلك في الحالات السبعة التالية:

- الجملة الإنشائية غير المقواة، الشكل (4).
- الجملة الإنشائية المقواة بإضافة أريطة فولاذية إلى الإطارين العرضيين (2) و (8)، الشكل (5-أ).
- الجملة الإنشائية المقواة بإضافة أريطة فولاذية إلى الإطارات العرضية (2) و (3) و (7) و (8)، الشكل (5-أ).
- الجملة الإنشائية المقواة بإضافة أريطة فولاذية إلى الإطارات العرضية (2) و (3) و (4) و (6) و (7) و (8)، الشكل (5-أ).
- الجملة الإنشائية المقواة بتحويل الإطارين (2) و (8) إلى جداري قص، الشكل (5-ب).
- الجملة الإنشائية المقواة بتحويل الإطارات (2) و (3) و (7) و (8) إلى جدران قص، الشكل (5-ب).
- الجملة الإنشائية المقواة بتحويل الإطارات (2) و (3) و (4) و (6) و (7) و (8) إلى جدران قص، الشكل (5-ب).

بالعودة إلى الشكلين (4) و (5)، نجد أنه في الحالات الستة للجملة الإنشائية المقواة كان هناك انقطاع لعناصر التقوية (سواء الأريطة أو جدران القص) في الطابق الأخير (نظراً لاستخدام الطابق الأخير كمطعم). كذلك نجد أنه في الحالات الستة للجملة الإنشائية المقواة، تم ترك الإطار العرضي الوسطي (الإطار رقم 5) دون تقوية، حيث سيتم اعتماد التغيير الحاصل في قيم القوى الداخلية والانتقالات الخاصة بأعمدة ذلك الإطار كمقياس لمدى تأثير أسلوب التقوية المعتمدين على التجاوب الزلزالي للمبنى.

تمت نمذجة الجملة الإنشائية الأساسية (قبل التقوية) للمبنى المدروس بافتراض أنها مكونة من إطار فراغي ذي عقد صلبة (أي تمت نمذجة الأعمدة والجوائز كعناصر إطارية - Frame element)، وتمت نمذجة الأريطة الفولاذية كعناصر جائزية شبكية (Truss member)، أما جدران القص فقد تمت نمذجتها كعناصر مستوية (Plate element).



(ب)

(أ)

الشكل (5): مقطع شاقولي في الإطارات العرضية المقواة (أ-بواسطة الأريطة ب- بواسطة جدران القص)

تم باستخدام برنامج التحليل الإنشائي STAAD-III إنجاز التحليل الزلزالي للمبنى من أجل الحالات السبعة المذكورة أعلاه بطريقة تراكم الأنماط (المشروحة أعلاه)، وبشكل يتوافق مع معايير UBC-91. حيث تم في هذا التحليل اعتماد طيف التسارع المعايير الموصى به من قبل كود الأبنية النظامي UBC-91 والخاص بالتربة القاسية والمعطى بالعلاقة 9 (نظراً لأن تربة التأسيس للمبنى المدروس تتوافق مع شروط التربة القاسية من حيث عمقها وتصنيفها). أيضاً تم اعتماد قيمة لعامل المنطقة الزلزالية مقدارها $Z=0.2$ (و التي تمثل التسارع الأرضي الأقصى المحتمل في المنطقة الساحلية لفترة عودة مقداره 50 سنة- انظر الشكل 3). كما تم اعتماد قيمة للعامل الإنشائي مقدارها $R_w = 5$ (و هي القيمة التي يوصي بها UBC-91 من أجل الإطارات الخرسانية المقاومة للعزم والتي لا تحقق المتطلبات الخاصة بالسلوك المطواع، كما هو الحال في المبنى قيد الدراسة في هذا البحث). كما تم اعتماد قيمة لنسبة التخماد مقدارها 5%. أيضاً تم اعتماد الاتجاه العرضاني للمبنى (اتجاه المحور z) كاتجاه لتطبيق القوى الزلزالية باعتباره أقل صلابة من الاتجاه الآخر.

2- نتائج الدراسة التحليلية والمناقشة

تقوية المنشأ بواسطة الأريطة الفولاذية وجدران القص أدت إلى زيادة في وزن المنشأ، النسب المئوية لزيادة وزن المنشأ مدرجة في الجدول أدناه:

الجدول (1): النسب المئوية لزيادة وزن المنشأ قبل وبعد التقوية (%)

الجملة	S0	B2	W2	B4	W4	B6	W6

17.79	5.27	11.86	3.51	5.93	1.76	0.00	زيادة الوزن
-------	------	-------	------	------	------	------	-------------

حيث: S0 ترمز إلى الجملة الإنشائية غير المقواة.

- B2 ترمز إلى الجملة الإنشائية المقواة بواسطة تريبط الإطارين (2) و(8).
 B4 ترمز إلى الجملة الإنشائية المقواة بواسطة تريبط الإطارات (2) و(3) و(7) و(8).
 B6 ترمز إلى الجملة الإنشائية المقواة بواسطة تريبط الإطارات (2) و(3) و(4) و(6) و(7) و(8).
 W2 ترمز إلى الجملة لإنشائية المقواة بواسطة تحويل الإطارين (2) و(8) إلى جدران قص.
 W4 ترمز إلى الجملة الإنشائية المقواة بتحويل الإطارات (2) و(3) و(7) و(8) إلى جدران قص.
 W6 ترمز إلى الجملة الإنشائية المقواة بتحويل الإطارات (2) و(3) و(4) و(6) و(7) و(8) إلى جدران قص.

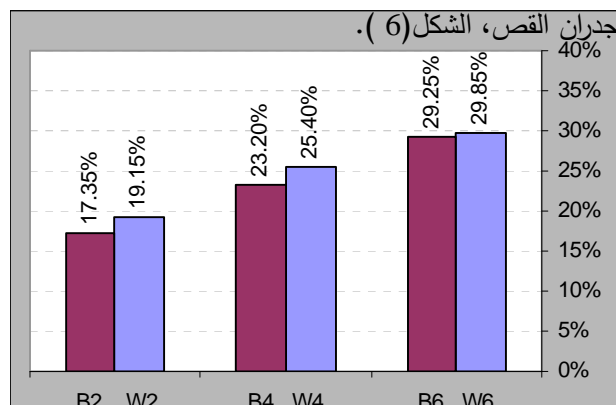
من الجدول أعلاه نلاحظ أن الزيادة في وزن المنشأ والنتيجة عن تقويته بتحويل الإطارات إلى جدران قص تعادل ما يزيد عن ثلاثة أمثال نظيرتها الناتجة عن تقويته بواسطة الأريطة الفولاذية.

تقوية المنشأ بواسطة تريبط الإطارات أو تحويلها إلى جدران قص أدت إلى انخفاض في قيم أدوار أنماط اهتزاز المنشأ، وفقاً لما هو مبين في الجدول أدناه:

الجدول(2): أدوار اهتزاز المنشأ قبل وبعد التقوية(ثانية)

النمط	S0	B2	W2	B4	W4	B6	W6
1	1.68	1.08	1.02	0.88	0.83	0.82	0.79
2	1.44	0.87	0.82	0.78	0.74	0.68	0.64
3	0.68	0.58	0.56	0.55	0.53	0.52	0.51
4	0.61	0.55	0.54	0.48	0.47	0.46	0.46
5	0.6	0.48	0.46	0.46	0.45	0.39	0.39
6	0.46	0.43	0.43	0.41	0.40	0.37	0.36
7	0.45	0.39	0.38	0.35	0.344	0.34	0.34
8	0.4	0.37	0.37	0.34	0.339	0.33	0.33
9	0.38	0.33	0.33	0.33	0.320	0.30	0.30
10	0.37	0.326	0.32	0.32	0.310	0.29	0.295

باستعراض الجدول أعلاه، نجد أنه في حال تقوية الإطارين (2) و(8) فقط، فإن متوسط الانخفاض في قيم أدوار أنماط الاهتزاز العشرة الأولى هو 17.35% من أجل التقوية بواسطة الأريطة الفولاذية، و 19.15% من أجل التقوية بواسطة جدران القص. كذلك نجد أنه في حال تقوية الإطارات (2) و(3) و(7) و(8)، فإن متوسط الانخفاض في قيم أدوار أنماط الاهتزاز العشرة الأولى هو 23.2% من أجل التقوية بواسطة الأريطة الفولاذية، و 25.4% من أجل التقوية بواسطة جدران القص. في حين أنه في حال تقوية الإطارات (2) و(3) و(4) و(6) و(7) و(8)، فإن متوسط الانخفاض في قيم أدوار أنماط الاهتزاز العشرة الأولى هو 29.25% من أجل التقوية بواسطة الأريطة، و 29.85%



الشكل (6): متوسط النسب المنوية لانخفاض أدوار أنماط الاهتزاز العشرة الأولى للمنشأ بعد التقوية (%)

من الشكل (6) نجد أن لأسلوبي التقوية المعتمدين التأثير نفسه من حيث تخفيض قيم أدوار أنماط الاهتزاز، وأن الجزء الأكبر من هذا الانخفاض (60% منه في حال التقوية بالأرطبة و65% منه في حال التقوية بواسطة جدران القص) ناتج عن تقوية أول إطارين. يمكن تكوين فكرة عن سبب كون الجزء الأكبر من الانخفاض في قيم أدوار الاهتزاز ناتج عن تقوية أول إطارين، من خلال الجدول (3) أدناه:

الجدول (3): قيم الانتقال الأعظمي لسقف الطابق السابع (سم)

S0	B2	B4	B6	W2	W4	W6
3.11	1.68	1.81	1.35	1.62	1.73	1.35

من الجدول (3) أعلاه، نجد أن تقوية المنشأ بواسطة الأرطبة الفولاذية، أدت إلى انخفاض في قيمة الانتقال الأعظمي لسقف الطابق السابع مقداره 57%، علماً أن 81% من هذا الانخفاض ناتجة عن تقوية أول إطارين. كذلك نجد أن تقوية المنشأ بواسطة جدران القص، أدت إلى انخفاض في قيمة الانتقال السابق الذكر مقداره 57%، علماً أن 86% من هذا الانخفاض ناتجة عن تقوية أول إطارين. معنى ذلك أن الجزء الأكبر من الزيادة في صلابة المبنى نتيجة تقويته (التي أدت إلى انخفاض قيم الانتقال) ناتج عن تقوية أول إطارين (سواء بالأرطبة أو بجدران القص). بالتالي من المنطقي أن يكون الجزء الأكبر من الانخفاض في قيم أدوار الاهتزاز (و الذي أدت إليه الزيادة في الصلابة)، ناتج هو الآخر عن تقوية أول إطارين.

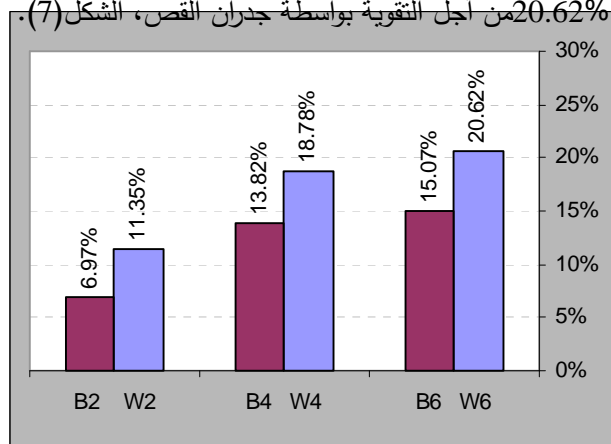
تقوية المنشأ بواسطة الأرطبة الفولاذية أو جدران القص (المنقطعة في الطابق الأخير) أدت إلى إعادة تقسيم الكتلة بين أنماط اهتزاز المنشأ، وفقاً لما هو مبين في الجدول أدناه:

الجدول (4): حصة الأنماط العشرة الأولى من كتلة المنشأ (%)

W6	B6	W4	B4	W2	B2	S0
72.48	78.03	74.32	79.28	81.75	86.13	93.1

تجدر الإشارة إلى أن المقصود بحصة الأنماط العشرة الأولى من كتلة المنشأ هو النسبة بين مجموع الأوزان الزلزالية الفعالة لتلك الأنماط والوزن الزلزالي الإجمالي للمنشأ. من جهة أخرى وباستعراض الجدول أعلاه، نجد أن تقوية الإطارين (2) و(8) أدت إلى انخفاض نصيب الأنماط العشرة الأولى من كتلة المنشأ بمقدار 6.97%

من أجل التقوية بواسطة الأريطة، وبمقدار 11.35% من أجل التقوية بواسطة جدران القص. كذلك نجد أن تقوية الإطارات (2) و(3) و(7) و(8) أدت إلى انخفاض نصيب الأنماط العشرة الأولى من كتلة المنشأ بمقدار 13.82% من أجل التقوية بواسطة الأريطة، وبمقدار 18.78% من أجل التقوية بواسطة جدران القص. في حين أنه عند تقوية الإطارات (2) و(3) و(4) و(6) و(7) و(8) انخفض نصيب الأنماط العشرة الأولى من كتلة المنشأ، بمقدار 15.07% من أجل التقوية بواسطة الأريطة 20.62% من أجل التقوية بواسطة جدران القص، الشكل (7).



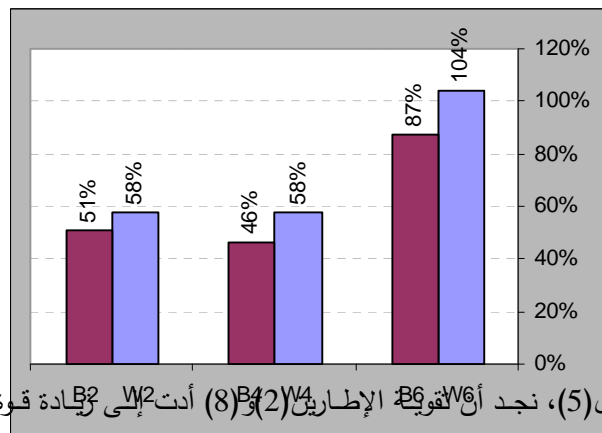
الشكل (7): نصيب الأنماط العشرة الأولى من كتلة المنشأ قبل وبعد التقوية (%)

مما تقدم نلاحظ أن تقوية المنشأ مع انقطاع عناصر التقوية (سواء الأريطة الفولاذية أو جدران القص) في الطابق الأخير أدت إلى تبعثر أكبر لكتلة المنشأ، كذلك نلاحظ أن تبعثر الكتلة في حالة التقوية بواسطة جدران القص أكبر منه في حالة التقوية بواسطة الأريطة، كذلك نلاحظ أن زيادة عدد الإطارات المقواة من (4) إلى (6) لعب دوراً صغيراً في زيادة تبعثر كتلة المنشأ.

تقوية المنشأ بواسطة الأريطة الفولاذية أو جدران القص أدت إلى زيادة قوة القص القاعدي الكلية التي يخضع لها المنشأ، وفقاً لما هو مبين في الجدول أدناه:

الجدول (5): قوى القص القاعدي (V) الكلية قبل وبعد التقوية (كيلو نيوتن)

الجملة	S0	B2	W2	B4	W4	B6	W6
V _D	368	554	581	538	582	688	750



الشكل (8): النسب المئوية لزيادة قوة القص القاعدي

باستعراض الجدول (5)، نجد أن تقوية B6 و W6 الإطارين (2) و(8) أدت إلى زيادة قوة القص القاعدي الكلية بمقدار 51% من أجل التقوية بواسطة الأريطة، و 58% من أجل التقوية بواسطة جدران القص. في حين أن تقوية

الإطارات (2) و(3) و(7) و(8) أدت إلى زيادة قوة القص القاعدي الكلية بمقدار 46% من أجل التقوية بواسطة الأربطة، و 58% من أجل التقوية بواسطة جدران القص. أخيراً، فإن تقوية الإطارات (2) و(3) و(4) و(6) و(7) و(8) أدت إلى زيادة قوة القص القاعدي الكلية بمقدار 87% من أجل التقوية بواسطة الأربطة و 104% من أجل التقوية بواسطة جدران القص. الشكل (8).

من الشكل (8) نجد أن الزيادة في قوة القص القاعدي الكلية والناجمة عن تقوية المنشأ بواسطة جدران القص أكبر من نظيرتها الناتجة عن تقوية المنشأ بواسطة الأربطة الفولاذية. كما نلاحظ أن زيادة عدد الإطارات المقواة من إطارين إلى أربعة إطارات لم تلعب دور في زيادة قوة القص القاعدي الكلية، بل أدت إلى انخفاض نسبي في قيمتها في حالة التقوية بواسطة الأربطة.

يمكن تكوين فكرة عن سبب عدم زيادة قوة القص القاعدي عند زيادة عدد الإطارات المقواة من (2) إلى (4) من خلال الجدول (6)، والذي يعرض متوسطات النسب المئوية لانخفاض قيم أدوار أنماط الاهتزاز العشرة الأولى، والنسب المئوية لانخفاض نصيب الأنماط العشرة الأولى من الكتلة، وذلك من أجل الحالات الستة المدروسة للجملة المقواة.

الجدول (6): النسب المئوية لانخفاض قيم أدوار الاهتزاز العشرة الأولى وانخفاض نصيبها من الكتلة (%)

الجملة المقواة	B2	B4	B6	W2	W4	W6
DT	17.35	23.2	29.25	19.15	25.4	29.85
DM	6.97	13.82	15.07	11.35	18.78	20.62

في الجدول (6) DT تمثل متوسط النسب المئوية لانخفاض قيم أدوار أنماط الاهتزاز العشرة الأولى، DM النسبة المئوية لانخفاض حصة الأنماط العشرة الأولى من الكتلة. في البداية لابد من الإشارة إلى أن الانخفاض في قيم أدوار الاهتزاز يقابله زيادة في التسارعات الطيفية النمطية (أي زيادة في قوى القص القاعدي النمطية)، والتي تؤدي بدورها إلى زيادة في قوة القص القاعدي الكلية (انظر العلاقات 7 و9 و16). في حين أن انخفاض نصيب أنماط الاهتزاز الأولى من الكتلة (أي زيادة تبعثر الكتلة) يرافقه انخفاض في قيم قوى القص القاعدي النمطية، وبالتالي انخفاض في قيمة قوة القص القاعدي الكلية (انظر العلاقات 7 و16). باستعراض الجدول (4) نجد أنه عند تقوية الإطارين (2) و(8) (سواء بالأربطة أو بالجدران) كان متوسط الانخفاض في قيم أدوار أنماط الاهتزاز الأولى يعادل تقريباً ضعف الانخفاض في نصيب تلك الأدوار من الكتلة، الأمر الذي يفسر زيادة قوة القص القاعدي الكلية. في حين أنه عند زيادة عدد الإطارات المقواة من (2) إلى (4)، ترتب على ذلك انخفاض إضافي في قيم أدوار الأنماط الأولى مقداره (5.85%) من أجل التقوية بالأربطة و (6.25%) من أجل التقوية بواسطة جدران القص، كذلك حصل انخفاض إضافي في حصة الأنماط الأولى من الكتلة مقداره (6.85%) من أجل التقوية بالأربطة و (7.43%) من أجل التقوية بواسطة جدران القص، أي أن الانخفاض الإضافي في نصيب الأنماط الأولى من الكتلة كان أكبر من الانخفاض الإضافي في قيم أدوارها، الأمر الذي يفسر عدم زيادة قوة القص القاعدي الكلية عند زيادة عدد الإطارات المقواة من (2) إلى (4). عند زيادة عدد الإطارات المقواة من (4) إلى (6) ترتب على ذلك انخفاض إضافي في قيم أدوار الأنماط الأولى مقداره (6.05%) من أجل التقوية بالأربطة و (4.45%) من أجل التقوية بواسطة جدران القص، كذلك حصل انخفاض إضافي في حصة الأنماط الأولى من الكتلة مقداره (1.25%) من أجل التقوية بواسطة الأربطة و (1.84%) من أجل التقوية بواسطة جدران القص، أي أن الانخفاض الإضافي في قيم أدوار أنماط الاهتزاز

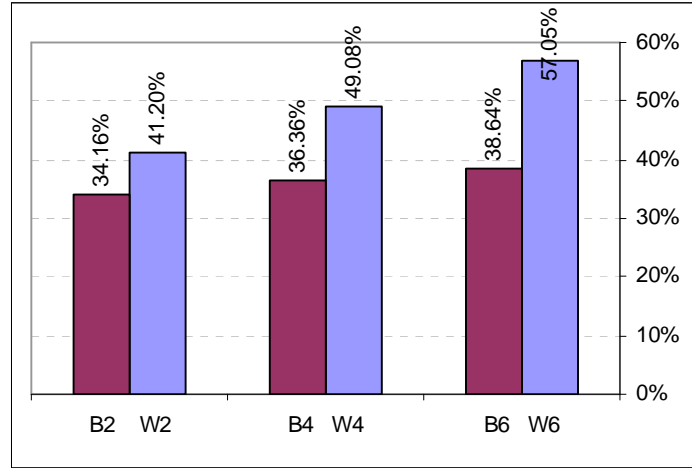
الأولى أكبر بعدة مرات من الانخفاض الإضافي في نصيب الأنماط الأولى من الكتلة، الأمر الذي يفسر زيادة قوة القص القاعدي الكلية عند زيادة عدد الإطارات المقواة من (4) إلى (6).

تجدر الإشارة إلى أنه تم اختيار المقطع العرضي للأرْبطة الفولاذية بحيث تكون أدوار أنماط الاهتزاز للجمل الإنشائية المربطة مماثلة تقريباً لنظيراتها المقواة بواسطة جدران القص. الأمر الذي يجعل الفرق بين قوى القص القاعدي التي تخضع لها الجمل الإنشائية المربطة ونظيراتها التي تخضع لها الجمل الإنشائية المقواة مرتبط فقط بزيادة الكتلة وتبعثر الكتلة الناتجين عن التقوية.

باعتبار الارتفاع الكلي للمنشأ 30.98 متر، ووزن المنشأ قبل التقوية 21408 كيلو نيوتن، وعامل تربة الموقع ($S=1.00$)، ومعامل المنطقة الزلزالية ($Z=0.2$)، وعامل السلوك الإنشائي $R_w = 5$ ، (و عامل الأهمية $I=1$)، وبالاستناد إلى العلاقات المذكورة في الفقرة (8-2)، يمكن حساب قوى القص القاعدي الستاتيكية التي يخضع لها المنشأ قبل التقوية وبعد التقوية، و المدرجة في الجدول (7).

الجدول (7): قوى القص القاعدي الستاتيكية V_s للمنشأ قبل وبعد التقوية (كيلو نيوتن) و عامل وزن النتائج r

الجملة	S0	B2	W2	B4	W4	B6	W6
V_s	1092	1465	1542	1489	1628	1514	1715
r	2.97	2.64	2.65	2.77	2.8	2.2	2.29



الشكل (9): النسب المئوية لزيادة قوة القص القاعدي الستاتيكية بعد التقوية

باستعراض الجدول (7)، نجد أن تقوية الإطارين (2) و(8) فقط، أدت إلى زيادة قوة القص القاعدي الستاتيكية بمقدار 34.16% من أجل التقوية بواسطة الأربطة الفولاذية، وبمقدار 41.2% من أجل التقوية بواسطة تحويل الإطارات إلى جدران قص. في حين أن تقوية الإطارات (2) و(3) و(7) و(8)، أدت إلى زيادة قوة القص القاعدي بمقدار 36.36% من أجل التقوية بواسطة الأربطة الفولاذية، وبمقدار 49.08% من أجل التقوية بواسطة تحويل الإطارات إلى جدران قص. أخيراً، تقوية الإطارات (2) و(3) و(4) و(6) و(7) و(8)، أدت إلى زيادة قوة القص القاعدي بمقدار 38.64% من أجل التقوية بواسطة الأربطة الفولاذية، وبمقدار 57.05% من أجل التقوية بواسطة تحويل الإطارات إلى جدران قص. الشكل (9).

من الشكل (9) أعلاه، نجد أنه في حال تقوية الإطارات بواسطة الأريطة الفولاذية، فإن 88% من الزيادة في قوة القص القاعدي الستاتيكية ناتجة عن تقوية أول إطارين. أما عند تقوية المبنى بتحويل إطاراته إلى جدران قص، فإن 72% من الزيادة في قوة القص القاعدي الستاتيكية نتجت عن تقوية أول إطارين.

من الجدول أعلاه، نجد أن قيم معامل القص القاعدي للجمل الإنشائية المقواة يتراوح بين 6.4% و6.8% بالتالي في حال تم تصميم عناصر التقوية المضافة من أجل تلك المعاملات، فإن بمقدور المبنى المدروس مقاومة زلازل ذات شدة تصل إلى 8 درجات وفق EMS-98 وذلك دون أن يتعرض لأضرار إنشائية. (راجع الفقرة 1).

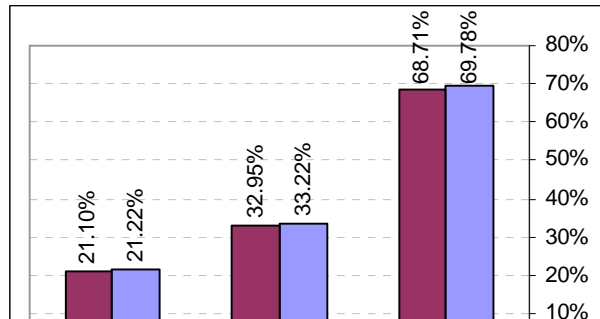
باستعراض قيم قوى القص القاعدي الستاتيكية التي يخضع لها المنشأ (انظر الجدول 7)، نجد أنها أكبر من نظيراتها الديناميكية (انظر الجدول 5). لذلك نعيد إجراء التحليل الزلزالي (باستخدام برنامج STAAD-III) للجملة الإنشائية للمبنى قيد البحث مرة ثانية، وذلك من أجل الحالات السبعة المذكورة في الفقرة 1-4، مع تخصيص عامل وزن النتائج بقيم النسبة r (بدل القيمة 1).

تقوية المنشأ بواسطة الأريطة الفولاذية وجدران القص أدت إلى تغيير قيم عزوم الانعطاف في أعمدة الإطار غير المقوى (الإطار رقم 5) وفقاً لما هو مبين في الجدول أدناه:

الجدول (8): قيم عزوم الانعطاف في أعمدة الإطار رقم 5 قبل وبعد التقوية (كيلونيوتن.متر)

الطابق	S0	B2	W2	B4	W4	B6	W6
الثامن	28	28	28	33	34	45	49
السابع	44	44	44	42	44	19	20
السادس	52	48	49	42	43	17	16
الخامس	61	51	52	42	42	19	19
الرابع	69	53	53	43	43	23	23
الثالث	76	56	55	46	45	24	24
الثاني	84	61	59	49	48	25	24
الأول	70	50	49	42	40	21	19
الأرضي	129	92	90	75	72	32	28
القبو	187	135	132	112	108	47	40

باستعراض الجدول (8) أعلاه، نجد أن تقوية المنشأ بواسطة الأريطة الفولاذية وجدران القص (المنقطعة في الطابق الأخير) ترتب عليها زيادة في قيم عزوم الانعطاف في أعمدة الطابق الأخير، وذلك بمقدار 61% في حالة التقوية بواسطة الأريطة، و75% في حالة التقوية بواسطة تحويل الإطارات إلى جدران القص. الأمر الذي يُفسر بزيادة الأحمال الزلزالية التي يخضع لها المنشأ نتيجة تقويته (انظر الجدول 7) مع بقاء صلابة الطابق الأخير ثابتة دون تغيير.



الشكل(10):متوسطات النسب المئوية لانخفاض قيم عزوم الانعطاف في أعمدة الإطار(5)

بالنسبة لبقية الطوابق، نجد أنه في حال تقوية الإطارين (2)و(8) فقط، فإن متوسط الانخفاض في قيم عزوم الانعطاف في الأعمدة هو %21.10 من أجل التقوية بواسطة الأربطة الفولاذية، و%21.22 من أجل التقوية بواسطة تحويل الإطارات إلى جدران قص. عند تقوية الإطارات (2)و(3)و(7)و(8)، أصبح متوسط الانخفاض في قيم عزوم الانعطاف في الأعمدة هو %32.95 من أجل التقوية بواسطة الأربطة الفولاذية، و%33.22 من أجل التقوية بواسطة تحويل الإطارات إلى جدران قص. في حين أنه عند تقوية الإطارات (2)و(3)و(4)و(6)و(7)و(8)، أصبح متوسط الانخفاض في قيم عزوم الانعطاف في الأعمدة هو %68.71 من أجل التقوية بواسطة الأربطة، و%69.78 من أجل التقوية بواسطة تحويل الإطارات إلى جدران قص، الشكل(10).

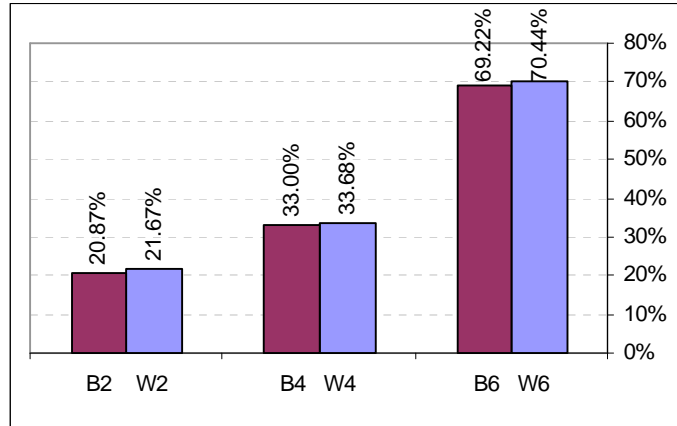
من الشكل (10) أعلاه، نجد أن لأسلوبي التقوية بواسطة الأربطة الفولاذية وجدران القص الفعالية ذاتها في تخفيض قيم عزوم الانعطاف في الأعمدة، علماً أن %52 من هذا الانخفاض ناتجة عن زيادة عدد الإطارات المقواة (سواء بالأربطة أو بالجدران) من أربعة إلى ستة.

تقوية المنشأ بواسطة الأربطة الفولاذية وتحويل الإطارات إلى جدران قص أدت إلى تغير قيم قوى القص في أعمدة الإطار غير المقوى (الإطار رقم5)، وفقاً لما هو مبين في الجدول أدناه:

الجدول(9):قيم قوى القص في أعمدة الإطار كقبل وبعد التقوية(كيلو نيوتن)

الطابق	S0	B2	W2	B4	W4	B6	W6
الثامن	19	19	19	22	23	30	33
السابع	29	29	30	28	30	13	13
السادس	35	32	33	28	28	11	11
الخامس	42	34	34	28	28	13	13
الرابع	47	36	36	29	29	15	15
الثالث	52	33	37	31	30	16	16
الثاني	56	41	39	33	32	15	16
الأول	61	44	43	36	35	15	17
الأرضي	66	47	46	39	37	14	16
القبو	68	50	49	42	40	15	18

باستعراض الجدول (9) أعلاه، نجد أن تقوية المنشأ بواسطة الأريطة الفولاذية أو جدران القص (المنقطعة في الطابق الأخير)، ترتب عليها زيادة في قوى القص في أعمدة الطابق الأخير، وذلك بمقدار 58% من أجل التقوية بواسطة الأريطة الفولاذية، وبمقدار 74% من أجل التقوية من خلال تحويل الإطارات إلى جدران القص. الأمر الذي يُفسر بزيادة الأحمال الزلزالية نتيجة تقوية المنشأ (انظر الجدول 7) مع بقاء صلابة الطابق الأخير ثابتة دون تغيير.



الشكل (11): متوسطات النسب المئوية لانخفاض قوى القص في الأعمدة بعد التقوية

بالنسبة لبقية الطوابق، نجد أنه عند تقوية الإطارين (2) و (8) فقط، بلغ متوسط الانخفاض في قيم قوى القص في الأعمدة 20.87% من أجل التقوية بواسطة الأريطة الفولاذية، و 21.67% من أجل التقوية بواسطة جدران القص. في حين أنه عند تقوية الإطارات (2) و (3) و (7) و (8)، بلغ متوسط الانخفاض في قيم قوى القص في الأعمدة 33% من أجل التقوية بواسطة الأريطة الفولاذية، و 33.78% من أجل التقوية بواسطة جدران القص. أخيراً، فإنه عند تقوية الإطارات (2) و (3) و (4) و (6) و (7) و (8)، بلغ متوسط الانخفاض في قيم قوى القص في الأعمدة 69.22% من أجل التقوية بواسطة الأريطة الفولاذية، و 70.44% من أجل التقوية بواسطة جدران القص، الشكل (11).

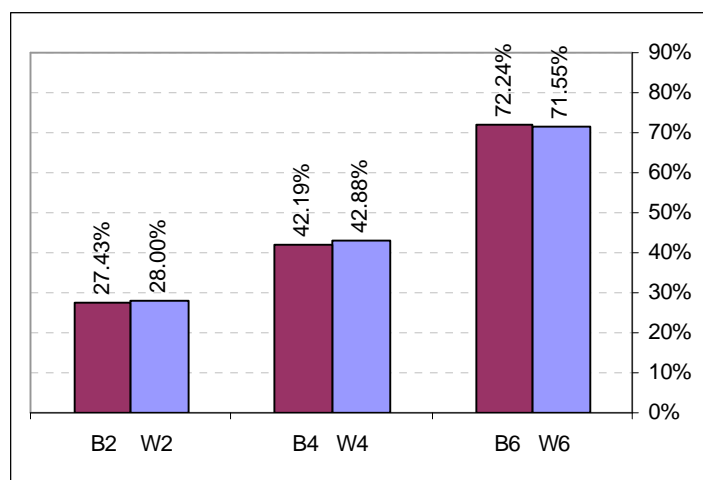
من الشكل (11) أعلاه، نجد أن لأسلوبي التقوية بواسطة الأريطة الفولاذية وجدران القص الفعالية ذاتها في تخفيض قيم قوى القص في الأعمدة، علماً أن 52% من هذا الانخفاض ناتجة عن زيادة عدد الإطارات المقواة من (4) إلى (6).

تقوية المنشأ بواسطة الأريطة الفولاذية وتحويل الإطارات إلى جدران قص أدت إلى تغيير قيم الإنزياحات الطابقية للإطار غير المقوى (الإطار رقم 5)، وفقاً لما هو مبين في الجدول أدناه:

الجدول (10): قيم الإنزياحات الطابقية للإطار 5 قبل وبعد التقوية (سم)

الطابق	S0	B2	W2	B4	W4	B6	W6
القبو	0.5	0.36	0.35	0.3	0.29	0.12	0.11
الأرضي	0.91	0.65	0.63	0.52	0.5	0.22	0.19
الأول	0.51	0.36	0.35	0.29	0.27	0.13	0.11

0.15	0.15	0.31	0.32	0.39	0.41	0.59	الثاني
0.17	0.16	0.32	0.32	0.42	0.43	0.63	الثالث
0.19	0.17	0.29	0.31	0.4	0.41	0.6	الرابع
0.21	0.2	0.34	0.34	0.46	0.47	0.66	الخامس
0.2	0.19	0.38	0.37	0.5	0.49	0.64	السادس
0.33	0.3	0.69	0.65	0.75	0.73	0.81	السابع
1.03	0.94	0.8	0.75	0.65	0.64	0.63	الثامن



الشكل (12): متوسطات النسب المئوية لانخفاض الإنزياحات الطابقيّة للأعمدة بعد التقوية

باستعراض الجدول (10) أعلاه، نجد أن تقوية المنشأ بواسطة الأربطة الفولاذية أو جدران القص (المنقطعة في الطابق الأخير)، أدت إلى زيادة قيم الإنزياحات الطابقيّة في الطابق الأخير، وذلك بمقدار 49% في حال تقوية الإطارات بواسطة الأربطة الفولاذية و63% في حال تحويل الإطارات إلى جدران قص الأمر الذي يُفسر بزيادة الأحمال الزلزالية نتيجة تقوية المنشأ (انظر الجدول 7) مع بقاء صلابة الطابق الأخير ثابتة دون تغيير.

بالنسبة لبقية الطوابق، فإنه عند تقوية الإطارين (2) و(8) فقط، بلغ متوسط الانخفاض في قيم الإنزياحات الطابقيّة 27.43% من أجل التقوية بواسطة الأربطة الفولاذية، و28% من أجل التقوية بواسطة تحويل الإطارات إلى جدران قص. في حين أنه عند تقوية الإطارات (2) و(3) و(7) و(8)، أصبح متوسط الانخفاض في قيم الإنزياحات الطابقيّة 42.19% من أجل التقوية بواسطة الأربطة، و42.88% من أجل التقوية بواسطة جدران القص. أخيراً، فإنه عند تقوية الإطارات (2) و(3) و(4) و(6) و(7) و(8)، بلغ متوسط الانخفاض في قيم الإنزياحات الطابقيّة 72.24% من أجل التقوية بواسطة الأربطة، و71.55% من أجل التقوية بواسطة جدران القص، (الشكل 12).

من الشكل (12) أعلاه، نجد أن لأسلوبي التقوية بواسطة الأربطة الفولاذية وجدران القص الفعالية ذاتها تقريباً في تخفيض قيم الإنزياحات الطابقيّة، علماً أن 40% من هذا الانخفاض ناتجة عن زيادة عدد الإطارات المقواة من أربعة إلى ستة.

باعتبار الارتفاع الكلي للمنشأ 30.98 متر، ووزن المنشأ قبل التقوية 21408 كيلو نيوتن، وعامل تربة الموقع ($S=1.00$)، ومعامل المنطقة الزلزالية ($Z=0.4$)، وعامل السلوك اللامر ($k=1.5$)، وعامل الأهمية ($I=1$)، وبالاستناد إلى العلاقة الخاصة بحساب قوة القص القاعدي في البند 2-6-5 من الكود السوري، يمكن حساب قوى القص القاعدي الستاتيكية التي يخضع لها المنشأ قبل التقوية وبعد التقوية، والمدرجة في الجدول (11) أدناه:

الجدول (11): قيم قوى القص القاعدي الستاتيكية المقيمة وفق الكود السوري قبل وبعد التقوية (كيلو نيوتن)

W6	B6	W4	B4	W2	B2	S0	الجملة
1256	1122	1193	1104	1129	1085	873	قوة القص القاعدي

من الجدولين (7) و(11) نجد أن قوة القص القاعدي التي يخضع لها المنشأ قبل التقوية والمحسوبة وفقاً للكود السوري تعادل 80% من نظيرتها المحسوبة وفقاً لـ UBC-91 (مع اعتماد القيمة $Z=0.2$ من أجل المنطقة الساحلية في القطر). كذلك نجد أن قوى القص القاعدي التي يخضع لها المنشأ بعد التقوية والمحسوبة وفقاً للكود السوري تعادل 73% من نظيراتها المحسوبة وفقاً لـ UBC-91 (مع اعتماد $Z=0.2$ من أجل المنطقة الساحلية في القطر). نرى أن هذا التباين في قيم قوى القص القاعدي يعود إلى عدم وجود دراسة سيسمولوجية في سوريا تراعي المعايير المتبعة في تقدير المعامل الزلزالي Z وفق العلاقة المذكورة في كود UBC91.

الخلاصة

من الدراسة أعلاه، وفي حال تقوية ستة إطارات من أصل إطارات المبنى العرضية التسعة، مرة بواسطة الأربطة الفولاذية (المنقطعة في الطابق الأخير)، ومرة بواسطة تحويل تلك الإطارات الستة إلى جدران قص (المنقطعة أيضاً في الطابق الأخير)، نخلص إلى النتائج التالية:

- تقوية المنشأ بواسطة الأربطة الفولاذية أدت إلى زيادة في وزن المنشأ مقدارها 5.27%، في حين أن تقويته بواسطة تحويل الإطارات إلى جدران قص أدت إلى زيادة في وزن المنشأ مقدارها 17.79%.
- تقوية المنشأ بواسطة الأربطة الفولاذية أو تحويل إطاراته إلى جدران قص أدت إلى تخفيض قيم أضرار أنماط الاهتزاز العشرة الأولى حوالي 30% تقريباً، علماً أن 60% من هذا الانخفاض ناتج عن تقوية أول إطارين.
- تقوية المنشأ بواسطة الأربطة الفولاذية (المنقطعة في الطابق الأخير) أو بواسطة تحويل إطاراته إلى جدران قص (في كافة الطوابق إلا في الطابق الأخير) أدت إلى انخفاض نصيب الأنماط العشرة الأولى من كتلة المنشأ بمقدار 15.07% في حال التقوية بواسطة الأربطة و 20.62% من أجل التقوية بواسطة الجدران. أي أن تقوية المنشأ أدت إلى زيادة تبعثر كتلة المنشأ، علماً أن هذه الزيادة في حالة التقوية بواسطة الجدران أكبر منها في حالة التقوية بواسطة الأربطة، علماً أن ما يزيد عن 90% من هذا الانخفاض في نصيب الأنماط العشرة الأولى من كتلة المنشأ ناتج عن تقوية الإطارات الأربعة الأولى.
- تقوية المنشأ أدت إلى زيادة قوة القص القاعدي الكلية الديناميكية بمقدار 87% في حال التقوية بواسطة الأربطة و 104% في حال التقوية بواسطة جدران القص. مع العلم أن زيادة عدد الإطارات المقواة من اثنين إلى

- أربعة، لم يلعب دور في زيادة قوة القص القاعدي الكلية. نظراً لتعادل الزيادة في قوة القص الناتجة عن انخفاض أودار الاهتزاز مع الانخفاض في قيمة هذه القوة نتيجة زيادة تبعثر الكتلة.
- تقوية المنشأ أدت إلى زيادة قوة القص القاعدي الستاتيكية بمقدار 38.64% من أجل التقوية بواسطة الأربطة الفولاذية، وبمقدار 57% من أجل التقوية بواسطة تحويل الإطارات إلى جدران قص. علماً أن 88% من الزيادة في قوة القص الستاتيكية في حالة التقوية بواسطة الأربطة ناتجة عن تقوية أول إطارين، في حين أن 72% من الزيادة في قوة القص القاعدي الستاتيكية في حالة التقوية بواسطة تحويل الإطارات إلى جدران قص عائد إلى تقوية أول إطارين.
- تقوية المنشأ بواسطة الأربطة الفولاذية أو تحويل الإطارات إلى جدران قص، أدت إلى انخفاض قيم عزوم الانعطاف وقوى القص في الأعمدة بمقدار 70%، علماً أن نصف هذا الانخفاض ناتج عن تقوية أول إطارين.
- تقوية المنشأ بواسطة الأربطة الفولاذية أو تحويل الإطارات إلى جدران قص، أدت إلى انخفاض قيم الإنزياحات الطابقية بمقدار 70%، علماً أن 40% من هذا الانخفاض ناتجة عن تقوية أول إطارين.
- انقطاع عناصر التقوية سواء الأربطة أو جدران القص في الطابق الأخير، أدى إلى زيادة قيم عزوم الانعطاف وقوى القص والإنزياحات الطابقية الخاصة بأعمدة هذا الطابق. علماً أن الزيادة الناتجة عن انقطاع جدران القص أكبر بما لا يقل عن 20% من نظيرتها الناتجة عن انقطاع الأربطة الفولاذية.

بناء على ما تقدم، تظهر هذه الدراسة من أجل المبنى المدروس والمباني المشابهة له أن الأربطة الفولاذية لا تقل فعالية عن جدران القص من حيث تخفيض القوى الداخلية والانتقالات الخاصة بالعناصر الإنشائية للمباني القائمة، وينصح بالتقوية بواسطة الأربطة الفولاذية (بدلاً من التقوية بواسطة جدران القص) في حال كان لا بد من انقطاع عناصر التقوية في أحد الطوابق. حيث ينص الكود العربي السوري وكودات أخرى على عدم انقطاع عناصر التقوية في المنشآت المعرضة للتأثيرات الزلزالية.

المراجع:

.....

[1] - الكود السوري (الجزء 3) ، تقييم المنشآت والمباني المنفذة وإعادة تأهيلها لمقاومة الزلازل ، نقابة المهندسين، دمشق 2000

[2]- GRUNTHAL G., 1998 –European Macro Seismic Scale 1998, Luxembourg.

[3]-International Conference of Building Officials (1991) Uniform Building Code (UBC) .Whittier, CA.

- [4]- PAZ M. 1994 - International Handbook of Earthquake Engineering, Chapman & Hall, New York.
- [5]- WEAVER W., TIMOSHENKO S.P., YOUNG D.H., 1990 -Vibration Problems in Engineering, John Wiley & Sons, New York.
- [6]- PAULAY T., PRIESTLY M.J.N., 1992- Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons, New York.
- [7]HARIRI A., Seismotectonice Study, Seismic Hazard Assessment and Zonation of the Syrian Arab Republic, M.Sc. Thesis, Skopje, 1991.
- [8]- EGOR P. POPOV, CAREL E. GRIGORIAN and TZONG-SHUOH YANG. 1995 – Development in Seismic Structural Analysis and Design, Engineering Structures Great Britain, Vol. 17 No.3, pp. 187-197.
- [9]- STAAD III Manual Reference, Research Engineers, California 1994