مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (22) العدد (9) 2000
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (22) No (9) 2000

دراسة مقارنة بين طرق التحليل الزلزالي الستاتكية المعتمدة في الكودات الزلزالية العالمية (العربي السوري – الأمريكي – الروسي – الياباني) وتطبيقها على النظم الإطارية

الدكتور المهندس عصام ناصر*

(قبل للنشر في 2000/1/6)

□ الملخّص □

يناقش البحث مسألة حساب المنشآت تحت التأثيرات الزلزالية، وفقاً لطريقة التحليل الساكن التي يعتمدها الكود العربي السوري، والتي تطبق على الأبنية ذات الأشكال المتناظرة، أو القريبة من المتناظرة، وطريقة القوى الجانبية الستاتيكية المكافئة التي يطرحها الكود الأمريكي (UBC - 94)، المستمدة من توصيات جمعية الهندسة الإنشائية في كاليفورنيا (SEAOC). هذه الطريقة تستخدم في تحليل المنشآت النظامية التي لا يزيد ارتفاعها عن 240 قدماً، والمنشآت غير النظامية التي لا يزيد ارتفاعها عن خمسة طوابق أو 65 قدماً. وكذلك حسب طريقة الكود الروسي الذي يستند في تعيين القوى الزلزالية الأفقية بالطريقة الستاتيكية على الخصائص الديناميكية الرئيسية للمنشأ، المتمثلة بطيف الترددات، وأنماط الاهتزازات الذاتية، ودرجة الخطورة الزلزالية للمنطقة الواقع فيها المنشأ، والطريقة التي يعتمدها الكود الياباني المستندة إلى قانون نظام تنفيذ الأبنية (BSLEO) الصادر عن وزارة الإنشاء اليابانية، وإلى المعايير الخاصة بمنشآت الهندسة المدنية المعرضة للزلازل في اليابان.

طبقت الدراسة على النظم الإطارية بمساعدة البرنامج الهندسي STAAD III، وخلص البحث إلى مناقشة النتائج الرئيسية التي أعطتها الكودات الزلزالية الآنفة الذكر، والتي تمثلت في استنتاج قيم قوى القص القاعدي، وتحديد القوى الزلزالية المؤثرة في مستوي كل طابق، وكذلك قيم الانتقالات وعزوم الانعطاف العائدة لتأثير هذه القوى، وقيم دور الاهتزاز وتم استنباط بعض المقترحات بشأنها، تتعلق بضرورة إعادة دراسة الخارطة الزلزالية السورية، بما يتوافق مع الخطر الزلزالي الحقيقي، والمتوقع ضمن أراضي الجمهورية العربية السورية.

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (22) العدد (9) 2000
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research -Engineering Science Series Vol. (22) No (9) 2000

Comparative Study of Static Earthquake Analysis Methods Accredited in the International Seismic Codes. (Syrian - American - Russian - Japanese) and their Application to the Frame Systems.

Dr. Issam NASSER*

(Accepted 6/1/2000)

❐ ABSTRACT ❐

This research compares the calculation of the structures under seismic effects according to the Syrian Arab Code that may be applied to symmetric and semisymmetric buildings. The American Code (UBC- 94) is taken from the recommendation of the Structural Engineering Association of California (SEAOC) - UBC would be suitably used for analysis of the regular structures until 240 feet in height and the irregular structures of less than 65 feet in height. The Russian Code determines the horizontal seismic forces , depending on the main dynamic properties of the structures represented by frequency spectra , modes of vibration and area seismic factor. The Japanese Code depends on Building Standard Law Enforcement Order (BSLEO) , published by the Ministry of Construction , and on the standards for Seismic Civil Engineering Constructions in Japan.

The calculation of the Frame Systems performed by using the Engineering Software program STAAD III.

The base shear forces, the seismic forces in stories, displacements , bending moments, and the main period of vibration were discussed. Proposals have been presented concerning the necessity of restudying the Syrian seismic map , agreeing with the real seismic hazard expected inside the Syrian Arab Republic.

* Associate Professor at the Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1 – مقدمة:

يعتمد العديد من الكودات الزلزالية العالمية طريقة التحليل الستاتيكية في حساب المنشآت البسيطة؛ وذلك لسهولتها وإمكانية تطبيقها على نماذج متعددة من الأبنية، ولمصداقية نتائجها، لاسيما إذا توافرت في المنشآت المدروسة الاشتراطات الخاصة بتطبيق هذه الطريقة، كالتناظر في الشكل الهندسي، وعدم وجود تراجعات في الطوابق العليا وتحقيق التوزع المنتظم لكتل المبنى أفقياً و شاقولياً، وغيرها، إلا أن نتائج التحليل المستخلصة بهذه الطريقة قد تكون متباينة من كود إلى آخر، وبفروقات كبيرة أحياناً، ويعود ذلك إلى طبيعة الفرضيات المستخدمة، وإلى اختلاف قيم الثوابت والمعاملات الزلزالية الخاصة بكل كود منها.

تبين من دراسة عناصر الأبنية بعد الزلزال، أن سلوك عقد المنشأ، وآلية وصل العناصر بعضها ببعض يؤثران بشكل ملحوظ في مقاومتها للزلازل، إذ يجب أن تملك العقد قدرة تحمل مساوية لقدرة تحمل العناصر المشكلة لها، وخلافاً لذلك تفقد هذه العناصر قدرتها على امتصاص الطاقة، وكذلك تنخفض قابلية تشوهها. تقاوم الجمل الإطارية القوى الأفقية الناتجة من تأثير الزلازل بواسطة العزوم وقوى القص المتولدة في الوصلات الصلدة، لذلك ينبغي تقوية هذه الوصلات بوضع شبكة تسليح خاصة، مع الأخذ بعين الاعتبار تطابق محاور الجوائز مع محاور الأعمدة المستندة إليها، ويفضل أن يكون عرض هذه الجوائز مماثلاً لعرض الأعمدة في أماكن الاتصال.

2 – أهمية البحث وأهدافه :

تكمن أهمية البحث في التعرف على طرق التحليل الزلزالي الستاتيكية المعتمدة في الكودات الزلزالية العالمية: الأمريكي [3, 4, 6]، والروسي [3, 8, 9]، والياباني [3 , 12] ومقارنتها بالطريقة المتبعة في الكود العربي السوري [1 , 2]، كما يهدف البحث إلى مقارنة نتائج تحليل النظم الإطارية التي تعطيها هذه الكودات، وفق الثوابت الخاصة بكل كود منها، وإلى استنباط بعض النتائج والمقترحات المتعلقة بتحليل هذه النظم تحت التأثيرات الزلزالية.

3 – طرق التحليل الزلزالي الستاتيكية المعتمدة في الكودات الزلزالية :

أ – الكود العربي السوري :

تعطى قوة القص الزلزالية المطبقة على قاعدة المبنى وفق العلاقة [1 , 2] :

$$V = Z.\ I.\ K.\ C.\ S.\ W \qquad (1)$$

Z – معامل زلزالية المنطقة المدروسة، تحدد قيمته وفقاً للخارطة الزلزالية المعتمدة في الجمهورية العربية السورية، وتتراوح قيمته من 0.1 – 0.4 .

I – عامل أهمية المنشأ يأخذ القيمة 1.5 من أجل المنشآت الأساسية، كالمشافي والمطافئ وغيرها، ويساوي 1.25 في حالة المنشآت والمباني التي يقطنها أكثر من 300 شخص، ويأخذ القيمة 1 من أجل المنشآت الأخرى.

K – عامل القوة الأفقية، أو معامل السلوك اللامرن. هذا العامل، ومن أجل المنشآت أو المباني المنفذة من جمل إطارية وجدران قص، يأخذ القيمة 0.8 إذا كانت مقاومة الإطارات لا تقل عن 50% من مجمل الأحمال الأفقية، وتساوي قيمته 1 إذا كانت مقاومة الإطارات لا تقل عن 25% من مجمل الأحمال الأفقية، ويساوي

1.33 في حالة المنشآت المنفذة من جدران بيتونية مسلحة تعمل بشكل مستوٍ، أو فراغي. أما من أجل خزانات المياه العالية فيأخذ القيمة 2.5، والقيمة 2 للمنشآت الخاصة كالمداخن والأبراج.

C – عامل يمثل النسبة بين التسارع الأرضي والتسارع الناجم عن الزلازل، وتحدد قيمته من العلاقة [1 , 2] :

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}} \le 0.12 \ \text{sec} \qquad (2)$$

T – قيمة الدور الأساسي للمنشأ، ويمكن حسابه باستخدام علاقات تقريبية [1, 2] :

$$T = \frac{0.09\,h_n}{\sqrt{D}} \ \text{sec} \qquad (3)$$

h_n – ارتفاع المنشأ من القاعدة حتى أعلى منسوب له مقدراً بالمتر .

D – طول مسقط البناء بالاتجاه الموازي لتطبيق الحمولة الزلزالية.

في حال كون المنشأ منفذاً من جمل إطارية ذات مطاوعة كافية يمكن استخدام العلاقة التالية :

$$T = 0.1\,N \qquad (4)$$

N – عدد طوابق المنشأ المدروس.

S – معامل يتعلق بالترابط المشترك والطنين بين المنشأ وتربة تأسيسه. ويرتبط بقيم دور المنشأ T، ودور اهتزاز تربة التأسيس T_S، ويحسب من العلاقات التالية [1 , 2] :

$$S = 1 + \frac{T}{T_S} - 0.5\left[\frac{T}{T_S}\right]^2 \quad , \quad \frac{T}{T_S} \le 1 \qquad (5)$$

$$S = 1.2 + 0.6\frac{T}{T_S} - 0.3\left[\frac{T}{T_S}\right]^2 \quad , \quad \frac{T}{T_S} \succ 1 \qquad (6)$$

وفي حال عدم توافر قيمة لدور اهتزاز تربة التأسيس T_S نعتمد قيمة S = 1. 5 .

W – تمثل مجمل الأحمال الميتة المطبقة على المنشأ، و% 25 من مجمل الأحمال الحية غير المخفضة المطبقة على المنشأ.

يتم توزيع قوة القص الكلية المحسوبة بالعلاقة (1) على كامل ارتفاع المبنى، كما يلي :

– حالة المنشآت ذات الأشكال المنتظمة، أو المؤلفة من جمل إطارية:

$$V = F_t \sum_{i=1}^{n} F_i \qquad (7)$$

حيث : F_t – قوة مركزة في أعلى المبنى، وتعطى بالعلاقة:

$$F_t = 0.07\,T\,V \le 0.25\,V \qquad (8)$$

وتؤخذ $F_t = 0$ من أجل $T \le 0.7$ sec.

أما بقية القوة القاصة الممثلة بالقيمة (V - F_t) فتوزع على كامل المبنى، وفق العلاقة التالية [1 , 2] :

$$F_x = \frac{(V - F_t).W_x.h_x}{\sum_{i=1}^{n} W_i\,h_i} \qquad (9)$$

حيث : W_X – الحمولة الشاقولية المركزة عند المنسوب X والناجمة عن وزن هذا المنسوب.

h_x – ارتفاع المنسوب X عن القاعدة السفلية للمنشأ.

ب – الكود الأمريكي (UBC - 94) :

يشترط الكود الأمريكي أنه يجب تصميم المنشأ على قوة قص قاعدية معطاة بالعلاقة [3, 4 , 5 , 6 , 7] :

$$V = \frac{Z.I.C}{R_W} W \qquad (10)$$

حيث :

$$C = \frac{1,25.S}{T^{\frac{2}{3}}} \leq 2,75 \qquad (11)$$

Z – معامل زلزالية المنطقة المدروسة يأخذ القيم التالية [3 , 4 , 6 , 5] :

$Z = 0.075$ للمنطقة ; $1\ Z = 0.15$ للمنطقة 2A ; $Z = 0.20$ للمنطقة 2B

$Z = 0.30$ للمنطقة ; $3\ Z = 0.4$ للمنطقة 4.

S – معامل الموقع، يعتمد على مواصفات تربة التأسيس، ويأخذ القيمة 1 للترب الصخرية حيث سرعة موجة القص أكبر من 2.5قدم / ثانية، وللترب الصلبة أو الكتيمة عندما تكون على عمق أقل من 200 قدم. ويساوي 1.2 في حالة التربة الكتيمة أو الصلبة التي يتجاوز عمقها 200 قدم. وفي حالة التربة على عمق 70 قدماً، وتحتوي من 20 - 40 قدماً على غضار ناعم متوسط القساوة، فيأخذ S القيمة 1.5، ويساوي 2 من أجل الترب الغضارية الناعمة التي يتجاوز عمقها 40 قدماً.

I – عامل أهمية المنشأ يساوي 1.25 من أجل المرافق الأساسية والمنشآت المنطوية على خطورة، ويساوي 1 من أجل المنشآت الأخرى.

R_w – عامل المنشأ تتراوح قيمته بين (4و12) وفقاً للنظام الإنشائي للجملة [3 , 4 , 5]، وهو مقياس لقدرة هذا النظام على امتصاص الطاقة في المجال غير المرن.

W – الوزن الزلزالي الذي يتضمن الوزن الميت للمنشأ ونسبة مئوية من الحمولات الحية.

T – الدور الأساسي للبناء، والذي يمكن حسابه بشكل تقريبي من العلاقة (الطريقة A) :

$$T = C_t \left[h_N^{\frac{3}{4}}\right] \qquad (12)$$

هنا : h_N – الارتفاع الكلي للبناء بالقدم

$C_t = 0.035$ – من أجل المنشآت الفولاذية ذوات الإطارات المقاومة للعزم.

$C_t = 0.03$ – للمنشآت البيتونية المسلحة ذوات الهيكل الإطاري المقاوم للعزم .

$C_t = 0.020$ – من أجل المنشآت الأخرى.

يمكن تعيين الدور الأساسي للمنشأ من علاقة ريليه Rayleigh (الطريقة B) :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} W_i . \delta_i^2}{g . \sum_{i=1}^{N} f_i \delta_i}} \qquad (13)$$

f_i – تمثل أي توزع للقوى الجانبية (المطبقة عند مستويات مختلفة من المنشأ)، والمساوية بشكل تقريبي للنتائج المستوحاة من العلاقة (9).

W_i – الوزن الزلزالي العائد للمستوي i .

δ_I – الانتقالات الستاتيكية الجانبية الناجمة عن القوى f_i.

فيما يتعلق بتوزع القوة الجانبية، فإن قوة القص القاعدية المحسوبة بالصيغة (10) يتم توزيعها على مستويات البناء المختلفة، تبعاً للعلاقات (7) و (8) و (9).

جـ - الكود الروسي :

ينص الكود الروسي على أن يطبق وزن البناء والحمولات الأخرى عند مستوي البلاطات، وهذا يقتضي تطبيق القوى الزلزالية الجانبية الخاصة بكل نمط اهتزاز عند هذه المستويات.

تحسب القوة الزلزالية الجانبية S_{ik} عند المستوي k للبناء من الصيغة التالية [3 ، 8 ، 9 ، 10 ، 11] :

$$S_{ik} = K_1 . K_2 . S_{oik} \qquad (14)$$

K_1 - ثابت يعكس الضرر المسموح في البناء، يأخذ القيمة 1 من أجل المنشآت التي لا يسمح فيها بحصول تشوهات متبقية أو حدوث شقوق ، ويساوي 0.25 في حالة الأبنية والمنشآت التي يسمح فيها بحدوث تشوهات وشقوق، بحيث لا تشكل خطراً على الناس والمعدات، ويأخذ القيمة 0.12 من أجل الأبنية والمنشآت التي يمكن السماح فيها بتشكل شقوق، وحدوث تشوهات وانتقالات كبيرة .

K_2 - ثابت إنشائي يتعلق بمواصفات الجملة الإنشائية، ويأخذ القيم التالية [3 ، 8 ، 9 ، 10] :

(1 + 0.1 x (n - 1) - من أجل الأبنية الإطارية التي عدد طوابقها n أكثر من خمسة.

0.9 - حالة الأبنية ذات جدران القص اللوحية من البيتون المسلح، والتي يصل ارتفاعها إلى خمسة طوابق.

(0.9 + 0.075 x (n - 5) - من أجل أبنية الحالة الثانية التي يبلغ ارتفاعها أكثر من خمسة طوابق.

1.5 - للأبنية التي تحتوي على إطارات في الطوابق السفلية، وجدران قص في الطوابق العلوية.

1.3 - الأبنية ذات الجدران من البلوك أو القرميد.

0.8 - بناء إطاري بطابق واحد لا يتجاوز ارتفاعه 8 m ومجازه لا يتجاوز 18 m .

0.5 - من أجل الأبنية الزراعية.

1 - من أجل الأبنية والمنشآت الأخرى.

S_{oik} - قيمة القوة الزلزالية الجانبية الموافقة للنمط i والمنسوبة للمستوي k. هذه القوة تحسب من الصيغة [9,8,3]

$$S_{oik} = Q_k \cdot A \cdot \beta_i \cdot K_\psi \cdot \eta_{ik} \qquad (15)$$

حيث : Q_k - الوزن الزلزالي المنسوب للمستوي k، ويساوي 0.9 من الحمولة الميتة، مضافاً إليه 0.8 من الحمولة الحية الطويلة الأجل و 0.5 من الحملة الحية القصيرة الأجل .

A - عامل زلزالية المنطقة، يتعلق بالشدة الزلزالية للموقع وبوظيفة المنشأ، وهو يساوي 0.4 λ ، 0.2λ ، 0.1λ من أجل الشدات الزلزالية 7 ، 8 ، 9 على الترتيب [3 ، 8 ، 9 ، 10]. العامل λ يساوي 1 في حالة الأبنية السكنية والحكومية والصناعية، ويأخذ القيمة 1 أيضاً من أجل الأبنية والمنشآت الهامة في حالة الشدتين الزلزاليتين 7 ، 8 والقيمة 1.5 في حالة الشدة 9، أما من أجل المنشآت التي قد يحدث فيها عواقب غير مرغوب فيها، كمحطات السكك الحديدية والملاعب والصالات المغلقة، فيأخذ العامل λ القيمة 1.5، ويأخذ القيمة 1.2 عند حساب محطات الطاقة، ومحطات التزود بالمياه، ومحطات إطفاء الحريق، وبعض منشآت شبكات الطرق والاتصالات.

β_i - ثابت ديناميكي موافق للنمط i يتعلق بدور الاهتزاز العائد لهذا النمط، وبنوع تربة الموقع.

يقتضي التصنيف الزلزالي لتربة الموقع تقسيمها إلى ثلاثة نماذج [3 ، 8 ، 9 ، 10] :

I - صخرية متماسكة ، II - حصوية رملية متماسكة ، III - حصوية رملية مفككة والترب الحبيبية الدقيقة.

تعطى علاقة الثابت β من أجل نماذج التربة الزلزالي كما يلي [3 , 8 , 9 , 10] :

- نموذج التربة الزلزالي I :

$$\beta_i = \frac{1}{T_i} = 0.159\omega_i \le 3.0 \qquad (16)$$

- نموذج التربة الزلزالي II :

$$\beta_i = \frac{1.1}{T_i} = 0.175\omega_i \le 2.7 \qquad (17)$$

- نموذج التربة الزلزالي III :

$$\beta_i = \frac{1.5}{T_i} = 0.239\omega_i \le 2.0 \qquad (18)$$

حيث ω_i التردد الطبيعي الموافق لنمط الاهتزاز i (rad / sec)، ويساوي :

$$\omega_i = \frac{2\pi}{T_i} \qquad (19)$$

يشترط الكود الروسي ألا تقل قيمة β_i عن 0.8.

K_Ψ – ثابت الصلابة الجانبي ، تتعلق قيمه بأبعاد ومواصفات البناء :

$K_\Psi = 1.5$ من أجل المنشآت الرشيقة كالأبراج والمداخن والسواري، وكذلك من أجل الأبنية الإطارية التي لا تحتوي على جدران قص حيث نسبة ارتفاع العمود h إلى بعد مقطعه العرضي b باتجاه تأثير الحمولة الزلزالية، لايزيد عن 25 1.0 = K_Ψ للأبنية الإطارية التي لها النسبة السابقةb / h أصغر، أو تساوي 15، ومن أجل الأبنية والمنشآت الأخرى. η_{ik} – عامل توزيع يتعلق بالنمط i والمستوي k من البناء، ويعطى بالصيغة التالية [3 , 8 , 9 , 10] :

$$\eta_{ik} = \frac{V_{ik}\sum_{j=1}^{n} Q_j V_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} Q_j V_{ij}^2} \qquad (20)$$

حيث : Q_j – الوزن التصميمي الزلزالي العائد للمستوي j.

V_{ij} – الانتقال الجانبي للمستوي j من البناء الذي يهتز بشكل حر وفق النمط i.

n – عدد مستويات البناء حتى السقف الأخير (المستويات التي تركز بها الكتل).

نوضح الآن بشيء من التفصيل كيفية استنتاج التردد الطبيعي ω، ودور الاهتزازات الحرة T، ومن ثم شعاع الانتقالات النسبية V_i.

كما هو معلوم، تعطى معادلة الاهتزازات الحرة غير المتخامدة لجملة متعددة درجات الحرية بالعلاقة :

$$[M]\{\ddot{Z}\}+[R]\{Z\}=0 \qquad (21)$$

هنا : $[M]$ – مصفوفة كتل الجملة، $[R]$ – مصفوفة الصلابة.

$$[M]=\begin{bmatrix} m_1 & & & \\ & m_2 & & \\ \cdots & \cdots & \cdots & \\ & & & m_n \end{bmatrix} \qquad [R]=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

$\{\ddot{Z}\}$ ، $\{Z\}$ – شعاع تسارع وانتقال كتل الجملة.

بفرض أن انتقالات كتل الجملة تتعين بالشعاع $\vec{V}$ (شعاع نمط الاهتزاز)، وأن هذه الانتقالات تتم مع الـــزمن وفق علاقة جيبيه بتردد مقداره ω، عندئذ يمكن أن نكتب :

$$\vec{Z} = \vec{V}\,Sin(\omega t+\varphi_0) \qquad (22)$$

نعوض العلاقة (22) ومشتقها الثاني بالنسبة للزمن في الصيغة (21)، ونختصر الحد المشترك $Sin(\omega t+\varphi_0)$، فنجد :

$$\left[[R]-\omega^2[M]\right]\{V\}=\{0\} \qquad (23)$$

توجد أكثر من طريقة لحل المعادلة الناتجة، وهناك برامج خاصة تستخدم في الحل لاســتنتاج القــيم المميــزة (شعاع الترددات ω وشعاع الانتقالات V). في هذا البحث سنعتمد الطريقة المبسطة التالية لاســتنتاج القــيم المميزة :

نكتب العلاقات (23) بالشكل المنشور التالي :

$$\begin{aligned}
&r_{11}\,v_1+r_{12}\,v_2+\cdots\cdots+r_{1n}\,v_n-m_1\,v_1\,\omega^2=0\\
&r_{21}\,v_1+r_{22}\,v_2+\cdots\cdots+r_{2n}\,v_n-m_2\,v_2\,\omega^2=0\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
&r_{n1}\,v_1+r_{n2}\,v_2+\cdots\cdots+r_{nn}\,v_n-m_n\,v_n\,\omega^2=0
\end{aligned} \qquad (24)$$

أو بالشكل :

$$\begin{aligned}
&(r_{11}-m_1\,\omega^2)\,v_1+r_{12}\,v_2+\cdots\cdots+r_{1n}\,v_n=0\\
&r_{21}\,v_1+(r_{22}-m_2\,\omega^2)\,v_2+\cdots\cdots+r_{2n}\,v_n=0\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
&r_{n1}\,v_1+r_{n2}\,v_2+\cdots\cdots+(r_{nn}-m_n\,\omega^2)\,v_n=0
\end{aligned} \qquad (25)$$

نقسم كافة حدود هذه العلاقة على r_{11}، ونحسب الكتل بدلالة الكتلة m_i ($m_i = m_1$ على سبيل المثال)، فينتج :

$$\begin{aligned}
&(1-\alpha_1\lambda)\,v_1+\bar{r}_{12}\,v_2+\cdots\cdots+\bar{r}_{1n}\,v_n=0\\
&\bar{r}_{21}\,v_1+(\bar{r}_{22}-\alpha_2\,\lambda)\,v_2+\cdots\cdots+\bar{r}_{2n}\,v_n=0\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
&\bar{r}_{n1}\,v_1+\bar{r}_{n2}\,v_2+\cdots\cdots+(\bar{r}_{nn}-\alpha_n\,\lambda)\,v_n=0
\end{aligned} \qquad (26)$$

حيث :

$$\alpha_j=\frac{m_j}{m_i}\ ,\quad \bar{r}_{ij}=\frac{r_{ij}}{r_{11}}\ ,\quad \lambda=\frac{m_i\,\omega^2}{r_{11}} \qquad (27)$$

كي تملك جملة المعادلات الخطية (26) حلاً مختلفاً عن الصفر ($v_i \neq 0$)، يجب أن يكون معــين أمثــال v_i معدوماً :

$$\begin{bmatrix}
(1-\lambda) & \bar{r}_{12} & \cdots & \bar{r}_{1n}\\
\bar{r}_{21} & (\bar{r}_{22}-\alpha_2\lambda) & \cdots & \bar{r}_{2n}\\
\cdots & \cdots & \cdots & \cdots\\
\bar{r}_{n1} & \bar{r}_{n2} & \cdots & (\bar{r}_{nn}-\alpha_n\lambda)
\end{bmatrix}=0 \qquad (28)$$

بنشر هذا المعين نحصل على معادلة جبرية من الدرجة n بالنسبة لــ λ :

$$\lambda^n+B_1\,\lambda^{n-1}+B_2\,\lambda^{n-2}+\cdots\cdots+B_{n-1}\,\lambda+B_n=0 \qquad (29)$$

تملك المعادلة الناتجة من أجل جملة مرنة مستقرة هندسياً n جذراً حقيقياً موجباً λ_k (k = 1 , 2 ,..... n) (يقابل هذه القيم n قيمة للتردد الطبيعي ω_k (انظر العلاقة 27)، وكل تردد يوافق شعاعه الخاص v_k (طور اهتزاز):

$$\omega_k = \sqrt{\frac{r_{11}\lambda}{m_i}} \; ; \; \vec{V}_k^T = [v_{1k}\, v_{2k} \cdots\cdots v_{nk}] \; (k=1,2,\ldots\ldots,n) \qquad (30)$$

نحصل على دور الاهتزازات الحرة من الصيغة التالية (علاقة 19) :

$$T_k = \frac{2\pi}{\omega_k} \qquad (31)$$

لتعيين مركبات الشعاع $\vec{V}_k$ يجب تعويض قيمة λ_k في جملة المعادلات (26). بما أن هذه الجملة متجانسة، فإنه يمكن أن نعين منها نسب المركبات v_{ik}. حيث نفترض أن قيمة إحدى هذه المركبات مساوية الواحد، وبذلك يصبح العمود الموافق لهذه المركبة من جملة المعادلات (26) بمثابة عمود الحدود الحرة، بالتالي يمكن اختيار n-1 سطراً كيفياً من أسطر المعادلات المذكورة لتشكل جملة معادلات غير متجانسة بالنسبة لـ (n -1) مركبة، والتي بحلها نحصل على قيم الشعاع الخاص $\vec{V}_k$.

كي نأخذ بعين الاعتبار عدم تولد القوى F_K في المقطع المدروس في آن واحد، يتم حساب الجهد التصميمي الكلي من صيغة الجذر التربيعي لمجموع مربعات القيم :

$$F_P = \sqrt{\sum_{k=1}^{n} F_k^2} \qquad (32)$$

في هذه العلاقة n عدد أنماط الاهتزاز الذاتية المعتمدة في الحل.

د – الكود الياباني :

ينص الكود الياباني الخاص بتصميم المنشآت المقاومة للزلازل، على أن تصمم الأبنية لتقاوم قوى قص زلزالية جانبية Q_i، تحسب وفق محورين رئيسين للبناء من العلاقة التالية [3 , 12 , 13] :

$$Q_i = C_i \cdot \overline{W}_i \qquad (33)$$

في هذه العلاقة : W_i – حصة من الوزن الزلزالي الكلي للبناء، والمنسوبة للمستوي i، وللمستويات الواقعة فوقه.

حيث الوزن الزلزالي للبناء يساوي مجموع الحمل الميت، ونسبة من الحمل الحي التصميمي.

C_i – ثابت القص.الزلزالي الأفقي ، يعطى بالصيغة [3 , 12 , 13] :

$$C_i = Z \cdot R_i \cdot A_i \cdot C_0 \qquad (34)$$

حيث : Z – عامل زلزالية المنطقة، تتراوح قيمته من 0.7 ← 1 تبعاً للخارطة الزلزالية الخاصة باليابان.

Z = 1 من أجل المنطقة A. Z = 0.9 خاص بالمنطقة B. Z = 0.8 من أجل المنطقة C. Z = 0.7 لمنطقة المحيط.

R_t – ثابت طيفي تصميمي يمثل خصائص اهتزاز البناء المدروس، يتعلق بالدور الأساسي للمنشأ T، ودود اهتزاز التربة المحيطة بموقع البناء (شكل 1). يعتمد الكود الياباني ثلاثة نماذج للتربة، ويحدد دور اهتزازها T_c كما يلي:

النموذج الأول : تربة قاسية (صخر، رمل قاس، حصى) $T_c = 0.4$ sec.

النموذج الثاني: تربة متوسطة (غير واردة في النموذجين الأول والثالث) $T_c = 0.6$ sec.

النموذج الثالث : تربة لينة (طمي ، رسوبيات...) $T_c = 0.8$ sec.

A_i – عامل توزيع القص الأفقي، ويحسب من المساواة [3 , 12 , 13] :

$$A_i = 1 + \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} - \alpha_i \right) \frac{2T}{1+3T} \qquad (35)$$

T في هذه العلاقة الدور الأساسي للبناء و α_i تعطى بالعلاقة :

$$\alpha_i = \frac{\overline{W_i}}{W_0} \qquad (36)$$

W_i – وزن قسم المنشأ الواقع فوق المستوي i و W_0 – وزن المنشأ الواقع فوق مستوي الأرض.

C_0 – ثابت القص القياسي تتراوح قيمته بين 0.2 و 1. يأخذ القيمة 0.2 في حالة زلزال متوسط، والقيمة 1 من في حالة زلزال شديد.

لتعيين الثابت الطيفي التصميمي R_t وعامل توزيع القص الأفقي A_i، ينبغي معرفة قيمة الدور الأساسي للبناء. يعطي الكود الصيغة التجريبية التالية لتقدير الدور الأساسي T [3 , 12 , 13] :

$$T = h(0.02 + 0.01\gamma) \text{ sec} \qquad (37)$$

هنا : γ – نسبة الارتفاع الكلي لطوابق البناء الفولاذية إلى الارتفاع الكلي للبناء، h – الارتفاع الكلي البناء .

القوى الجانبية الزلزالية F_i تحسب عند مختلف مستويات البناء بالعلاقة التالية [3, 12 , 13] :

$$F_i = Q_i - Q_{i+1} \qquad (38)$$

حيث قوى القص الزلزالية الأفقية Q_i و Q_{i+1} يتم حسابهما من الصيغة (33).

4 – التطبيق العددي :

مثال 1. إطار ذو ثلاثة مجازات ومكون من عشرة طوابق (شكل 2)، أبعاد المقاطع العرضية لأعمدة الطابق الأرضي والأول والثاني هي : الخارجية : 0.25 x 0.60 m، الداخلية : 0.25 x 0.70 m، ولأعمدة الطابق الثالث والرابع والخامس : الطرفية : 0.25 x 0.50 m، الداخلية : 0.25 x 0.6 m، و 0.25 x 0.40 m لأعمدة الطوابق السادس والسابع والثامن الخارجية والداخلية. مقاطع الجوائز الطرفية : 0.25 x 0.5 m والداخلية : 0.25 x 0.4 m. معامل مرونة البيتون : $E = 2.8 \times 10^7 \text{ KN/m}^2$. الحمولات المؤقتة : 2 KN/m^2.

- التحليل وفق الكود العربي السوري :

ثوابت العلاقة (1):Z = 0.4, I = 1, K= 1, T = 0.1 X 10 = 1 sec , S = 1.5 , C = 0.0667 (يوافق شدة زلزالية VIII درجات أو أكبر). الأوزان W_i تم حسابها لكل طابق من الإطار كما يلي : الحمولة الميتة G مضافاً إليها 25% من الحمولة الحية P. فكانت لدينا القيم التالية (جدول 1) :

الجدول (1) : قيم الأوزان الزلزالية W_i العائدة لكل طابق

المنسوب	3.4	6.4	9.4	12.4	15.4	18.4	21.4	24.4	27.4	30.4
W_i (kN)	785.3	761.63	757.88	755.32	755.32	749.69	745.82	745.82	745.82	577.7

الوزن الكلي : $W = \sum_{1}^{10} W_i = 7380.308$ KN .

قوة القص القاعدي (علاقة 1) :V = 295.36 KN . القوة المطبقة في أعلى المنشأ (علاقة 8) : F_t = 20.68 KN

بقية القوة القاصة : $(V - F_t) = 274.68$ KN توزع على الطوابق استناداً للعلاقة (9). نورد القيم بالجدول (2) :

الجدول (2) : حصة كل طابق من القوة الأفقية ($V - F_t$)

المنسوب	3.4	6.4	9.4	12.4	15.4	18.4	21.4	24.4	27.4	30.4
F_i (kN)	6.03	11.01	16.09	21.154	26.272	31.156	36.05	41.10	46.155	60.345

نطبق القوى الزلزالية الناتجة في مستويات الطوابق الموافقة، ونحلل الإطار بمساعدة البرنامج Staad III. مخطط الانتقالات ومخطط عزوم الانعطاف واردة بالشكل (4).

- التحليل وفق الكود الأمريكي :

ثوابت العلاقة (10) :Z = 0.4 , I = 1 , R_W = 8 , S = 1.5 , C = 1.613 (توافق شدة زلزالية VIIIدرجات أوأكبر). نورد فيما يلي الأوزان المركزة في عقد الإطار (شكل 2)، وتساوي الميتة مضافاً إليها 25% من الحمولة الحية، وذلك باستثناء أوزان الأعمدة والجوائز، حيث يقوم البرنامج بحسابها وإضافتها تلقائياً إلى الأوزان السابقة (جدول 3) :

الجدول (3) : الأوزان المركزة في عقد الإطار

العقدة	الوزن(KN)	العقدة	الوزن(KN)	العقدة	الوزن(KN)	العقدة	الوزن(KN)
5	146.808	6	192.564	7	207.252	8	172.792
9	142.36	10	187.94	11	201.54	12	167.16
13	142.36	14	187.94	15	201.54	16	167.16
17	142.36	18	187.94	19	201.54	20	167.16
21	142.36	22	187.94	23	201.54	24	167.16
25	142.36	26	187.94	27	201.54	28	167.16
29	142.36	30	187.94	31	201.54	32	167.16
33	142.36	34	187.94	35	201.54	36	167.16
37	142.36	38	187.94	39	201.54	40	167.16
41	109	42	153.26	43	158.7	44	124.92

نتائج تحليل الإطار وفق البرنامج الهندسي Staad III مبينة على الشكل (5).

- التحليل وفق الكود الياباني :

عامل زلزالية المنطقة $Z = 0.8$، عامل القص القياسي $C_0 = 0.2$ (زلزال معتدل)، الدور الأساسي للمنشأ : $T = 30.4\ (\ 0.02 + 0.01 \times 0\ ) = 0.608$ sec ($\gamma = 0$)، الثابت الطيفي التصميمي $R_t = 1$ (تربة متوسطة القساوة شكل 1). لحساب C_i (علاقة34)، A_i (علاقة 35)، α_i (علاقة 36)، وقوى القص الزلزالي F_i (علاقة 38) نرتب النتائج في الجدول (4) :

الجدول (4) : قيم قوى القص الزلزالي F_i العائدة لكل منسوب من الإطار

المنسوب(m)	W_i (kN)	$\sum W_i$ (kN)	α_i	A_i	C_i	Q_i	F_I
30.4	577.7	577.7	0.0782	2.506	0.400	231.080	231.080
27.4	745.82	1323.52	0.1793	1.939	0.310	410.291	179.211
24.4	745.82	2069.34	0.2803	1.692	0.270	558.722	148.431
21.4	745.82	2815.16	0.3814	1.533	0.245	689.714	130.992
18.4	749.695	3564.855	0.4830	1.411	0.225	802.092	112.378
15.4	755.32	4320.175	0.5853	1.311	0.209	902.916	100.824
12.4	755.32	5075.495	0.6877	1.223	0.195	989.721	86.805
9.4	757.883	5833.378	0.7903	1.144	0.183	1067.508	77.787
6.4	761.633	6595.011	0.8935	1.071	0.171	1127.747	60.239
3.4	785.299	7380.31	1	1	0.16	1180.849	53.102

نحلل الإطار تحت تأثير القوى الناتجة (العمود الأخير) المطبقة في عقدة بمساعدة البرنامج Staad III. يبين الشكل (8) قيم الانتقالات و العزوم في مقاطع الإطار.

- التحليل وفق الكود الروسي :

نوجد الاوزان الزلزالية Q_k (kN) المركزة في مستوي البلاطات كما هو وارد في الجدول (5) :

الجدول (5) : قيم الأوزان الزلزالية Q_k المركزة في مستوي البلاطات

المنسوب	30.4	27.4	24.4	21.4	18.4	15.4	12.4	9.4	6.4	3.4
Q_k (kN)	588.94	740.25	740.25	740.25	743.73	748.79	748.79	751.10	754.48	775.78

نشكل مصفوفة الصلابة للإطار. نورد قيم عوامل الصلابات في الجدول (6) :

الجدول (6) : قيم عوامل الصلابات للإطار المدروس

r_{11}	0.00236E	r_{43}	-0.00236E	r_{66}	0.01262E	r_{98}	-0.01036E
r_{21}	-0.00236E	r_{44}	0.00473E	r_{76}	-0.00631E	r_{99}	0.02071E
r_{22}	0.00473E	r_{54}	-0.00236E	r_{77}	0.0126E	r_{10-9}	-0.01036E
r_{32}	-0.00236E	r_{55}	0.00868E	r_{87}	-0.00631E	r_{10-10}	0.0175E
r_{33}	0.00473E	r_{65}	-0.00631E	r_{88}	0.01667E		

نشكل المعادلات (26) :

$$(1-\lambda)\,v_1 - v_2 + 0 = 0$$
$$0 - v_1 + (2 - 1.257\,\lambda)\,v_2 - v_3 + 0 = 0$$
$$0 - v_2 + (2 - 1.257\,\lambda)\,v_3 - v_4 + 0 = 0$$
$$0 - v_3 + (2 - 1.257\,\lambda)\,v_4 - v_5 + 0 = 0$$
$$0 - v_4 + (3.6692 - 1.257\,\lambda)\,v_5 - 2.6692\,v_6 + 0 = 0 \qquad (a)$$
$$0 - 2.6692\,v_5 + (5.3384 - 1.257\,\lambda)\,v_6 - 2.6692\,v_7 + 0 = 0$$
$$0 - 2.6692\,v_6 + (5.3384 - 1.2714\,\lambda)\,v_7 - 2.6692\,v_8 + 0 = 0$$
$$0 - 2.6692\,v_7 + (7.0489 - 1.2754\,\lambda)\,v_8 - 4.3797\,v_9 + 0 = 0$$
$$0 - 4.3797\,v_8 + (8.7594 - 1.2811\,\lambda)\,v_9 - 4.3797\,v_{10} + 0 = 0$$
$$0 - 4.3797\,v_9 + (7.3884 - 1.3173\,\lambda)\,v_{10} = 0$$

حيث : $m_1 = \frac{Q_1}{g} = \frac{588.94}{9.81} = 60.034\ kN.sec^2/m$, $\lambda = \frac{m_1 \cdot \omega^2}{r_{11}}$

كي تملك جملة المعادلات السابقة حلاً مختلفاً عن الصفر ($v_i \neq 0$)، يجب أن يكون معين أمثال v_i معـــدوماً. بمساواة هذا المعين بالصفر، وبفك المعين نحصل على المعادلة التالية بالنسبة لـــ λ :

$$8.7233\,\lambda^{10} - 305.753\,\lambda^9 + 4315.33\,\lambda^8 - 32068.5\,\lambda^7 + 137596\,\lambda^6 - 351358\,\lambda^5 + 529106\,\lambda^4 - 447159\,\lambda^3 + 189605\,\lambda^2 - 31483\,\lambda + 1097.92 = 0$$

الجذور الثلاثة الأولى هي :

$\lambda_3 = 0.7835633$, $\lambda_2 = 0.273655$, $\lambda_1 = 0.0465791$

التردد والدور الموافق لكل جذر هو :

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{r_{11} \cdot \lambda_1}{m_1}} = \sqrt{\frac{0.0023644 \times 2.8 \times 10^7 \times 0.465791}{60.034}} = 7.167 \text{ rad / sec}$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2\pi}{7.167} = 0.876 \text{ sec}$$

بشكل مشابه نجد أن :

$$T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0.124 \text{ s}, \omega_3 = \sqrt{\frac{r_{11}\lambda_3}{m_1}} = 29.395 \text{ rad / s}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0.0.362 \text{ s}, \omega_2 = \sqrt{\frac{r_{11}\lambda_2}{m_1}} = 17.372 \text{ rad / s}$$

لتعيين نسب مركبات الشعاع الخاص V_k نعود لجملة المعادلات (a)، ونفترض أن $v_1 = 1$، ونحسب القيم v_i بطريقة الحذف بالتعويض. من أجل $\lambda_1 = 0.0465791$ نحصل على مركبات نمط الاهتزاز الأول، وبتعويض $\lambda_2 = 0.273655$ ينتج لدينا النمط الثاني، ومن أجل $\lambda_3 = 0.7835633$ نحصل على النمط الثالث (شكل 6).

لتعيين القوى الزلزالية وفق العلاقة (14) لدينا الثوابت التالية :

$A = 0.2$, $K_1 = 0.25$, $K_2 = 1.9$, $K_\varphi = 1$, $K = K_1 . K_2 . K_3 = 0.475$

(توافق زلزال شدته VIII درجات)

1 – القوى الزلزالية الموافقة للنمط الأول (جدول 7) :

الجدول (7) : قيم القوى الزلزالية S_{ik} الموافقة للنمط الأول

K	β_i	k. A. β_i	$\sum_{j=1}^{n} Q_j V_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^{n} Q_j V_{ij}$	المستوي	η_{ik}	S_{ik} (kN)
0.475	1.142	0.108	2624.966	3744.7	30.4	1.427	90.739
					27.4	1.359	108.69
					24.4	1.213	96.943
					21.4	0.996	79.611
					18.4	0.719	57.752
					15.4	0.600	48.57
					12.4	0.468	37.847
					9.4	0.324	26.283
					6.4	0.233	18.986
					3.4	0.1384	11.596

2 – القوى الزلزالية الموافقة للنمط الثاني (جدول 8) :

الجدول (8) : قيم القوى الزلزالية S_{ik} العائدة للنمط الثاني

K	β_i	k. A. β_i	$\sum_{j=1}^{n} Q_j V_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^{n} Q_j V_{ij}$	المستوي	η_{ik}	S_{ik} (kN)
0.475	2.7647	0.26265	3486.6589	2137.7804	30.4	-0.6131	-94.841
					27.4	-0.4476	-87.024
					24.4	-0.1245	-24.206
					21.4	0.2391	46.487
					18.4	0.5212	101.811
					15.4	0.5586	109.860
					12.4	0.5242	103.098
					9.4	0.4231	83.467
					6.4	0.325	64.403
					3.4	0.2023	41.220

3 – القوى الزلزالية الموافقة للنمط الثالث (جدول 9) :

الجدول (9) : قيم القوى الزلزالية S_{ik} الموافقة للنمط الثالث

K	β_i	k. A. β_i	$\sum_{j=1}^{n} Q_j V_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^{n} Q_j V_{ij}$	المستوي	η_{ik}	S_{ik} (kN)
0.475	3	0.285	2696.0429	888.369	30.4	0.3295	55.31
					27.4	0.0711	15
					24.4	-0.257	-54.22
					21.4	-0.3328	-70.211
					18.4	-0.0791	-16.766
					15.4	0.0438	9.347
					12.4	0.1519	32.416
					9.4	0.2043	107.952
					6.4	0.1878	40.382
					3.4	0.1285	28.411

نحلل الإطار تحت تأثير القوى العائدة لكل نمط، ومن ثم نوجد قيم الانتقالات و العزوم التصميمية باستخدام العلاقة (32) كما هو واضح بالشكل (7).

نورد بالجدول (10) قيم القوى الزلزالية الأفقية المطبقة في مستويات الإطار وفقاً للكودات المدروسة.

الجدول (10) : قيم القوى الزلزالية الأفقية (kN) المطبقة في مستوي البلاطات وفقاً للكودات المدروسة

المنسوب (m)	الكود العربي السوري	الكود الأمريكي	الكود الروسي			الكود الياباني
			النمط I	النمط II	النمط III	
3.4	6.030	11.309	11.596	41.220	28.411	53.102
6.4	11.010	20.672	18.986	64.403	40.382	60.239
9.4	16.090	30.225	26.283	83.467	107.952	77.787
12.4	21.154	39.692	37.847	103.098	32.416	86.805
15.4	26.272	49.295	48.570	109.860	9.347	100.824
18.4	31.156	58.497	57.752	101.811	-16.766	112.378
21.4	36.050	67.569	79.611	46.487	-70.211	130.992
24.4	41.100	77.042	96.943	-24.206	-54.220	148.431
27.4	46.155	86.514	108.690	-87.024	15.0	179.211
30.4	60.345	154.622	90.739	-94.841	55.310	231.080

الجدول (11) يبين القيم الأعظمية للانتقالات، والعزوم، وقيم دور الاهتزاز، وقوة القص القاعدي الموافقة لكل كود:

الجدول (11) : القيم الأعظمية للانتقالات، والعزوم، وقيم دور الاهتزاز، وقوة القص القاعدي

	M_{max} (kN. m)	Disp. $_{max}$ (m)	T (sec)	V (kN)
الكود السوري	286.09	0.064	1	295.36
الكود الأمريكي	577.23	0.133	1.907	595.44
الكود الياباني	1135.99	0.243	0.608	1180.843
الكود الروسي	657.875	0.125	0.876	687.943

مثال 2. إطار مجازه 7 m مكون من أربعة عشرة طابقاً، ارتفاعه 46.48 m (شكل 2) أبعاد مقاطع أعمدته (m) : الأول : 0.4 x1.60، الثاني:0.4 x 1.50، الثالث: 0.40 x 1.30، الرابع والخامس : 0.40 x 1.20، السادس: 0.35 x 1.20، السابع والثامن: 0.30 x1.20، التاسع: 0.30 x 1، العاشر: 0.30 x 0.90، الحادي عشر: 0.30 x0.80، الثاني عشر : 0.30 x 0.70، الثالث والرابع عشر: 0.30 x 0.60. المقاطع العرضانية للجوائز : الطابق الأخير: 0.30 m x 0.80، الطابق المتكرر: 0.30 m x 0.84، والطابق الأول : 0.30 m x 2.44. عامل مرونة البيتون : $E = 3.026 \times 10^7 kN/m^2$ ، الحمولات المؤقتة (kN/m^2) : طابق متكرر: 3، طابق أخير: 6، السطح الأخير: 2.

سنكتفي في هذا المثال بإيراد القوى الزلزالية المطبقة في مستويات الاطار والعائدة لكل كود، والقيم الأعظمية للعزوم والانتقالات الناتجة من تحليله بمساعدة البرنامج الهندسي Staad III، وفقاً الثوابت المعتمدة في الكودات المدروسة. لذلك في البداية نورد قيم هذه الثوابت في الجداول (12 , 13 , 14, 15) :

الجدول (12) : قيم الثوابت الخاصة بالكود العربي السوري

Z	I	K	C	S	W(kN)	V (kN)	F_t (kN)
0.4	1	1	0.0563	1.5	5310.262	179.49	17.59

الجدول (13) : قيم ثوابت الكود الأمريكي

Z	I	S	R_w	W (kN)	C
0.4	1	1.5	8	5310.262	1.666

الجدول (14) : قيم الثوابت الواردة بالكود الياباني

Z	C_0	T (sec)	R_t
0.8	0.2	0.929	0.90

الجدول (15) : قيم ثوابت الكود الروسي

K_1	K_2	K_φ	A	β_i
0.25	2.3	1	0.2	2.7

يبين الجدول (16) قيم العزوم، والانتقالات الأعظمية، وقيم دور الاهتزاز، وقوة القص القاعدي للإطار المدروس:

الجدول (16) : القيم الأعظمية للعزوم، والانتقالات، وقيم دور الاهتزاز، وقوة القص القاعدي للإطار

	M_{max} (kN. m)	Disp. $_{max}$ (m)	T (sec)	V (kN)
الكود السوري	572.97	0.03	1.4	179.49
الكود الأمريكي	1410.2	0.074	1.347	442.57
الكود الياباني	2416.71	0.125	0.929	764.678
الكود الروسي	3657.68	0.198	0.387	1142.39

نورد بالجدول (17) قيم القوى الزلزالية الأفقية المطبقة في مستوي البلاطات.

الجدول (17) : قيم القوى الزلزالية الأفقية (kN) المطبقة في مستويات الإطار

المنسوب (m)	الكود العربي السوري	الكود الأمريكي	الكود الروسي	الكود الياباني
5.34	2.93	8.031	19.05	20.963
8.38	4.11	10.348	21.46	21.192
11.58	5.68	14.207	28.88	28.434
14.78	7.22	18.006	38.04	35.379
17.98	8.68	21.672	46.30	35.133
21.18	10.04	24.98	54.94	42.387
24.38	11.50	28.438	64.95	47.936
27.58	12.84	31.815	73.58	51.878
30.78	14.15	34.909	87.36	56.193
33.98	15.48	38.098	104.38	63.956
37.18	16.77	41.205	124.95	68.891
40.38	18.04	44.228	148.96	77.813
43.58	19.95	48.716	201.15	96.486
46.48	32.08	77.915	128.39	118.037

5 – النتائج والمناقشة :

1 – يعتبر الكود العربي السوري أن المنطقة 4 حيث المعامل الزلزالي $Z = 0.4$، تخضع لشدة زلزالية مقدارها VIII درجات أو أكثر، وهذا يوحي بتوافقه مع المعامل الزلزالي $Z = 0.4$ وفق الكود الأمريكي، أما بالنسبة للكود الروسي فقد اعتبرنا في الدراسة أن الشدة الزلزالية هي 8 درجات، وأخذنا المعامل الزلزالي A = 0.2، وكذلك الأمر بالنسبة للكود الياباني حيث $Z = 0.8$، كما اعتمدنا في الدراسة أن تربة التأسيس متوسطة القساوة ($R_t = 1$, $S = 1.5$)، ومع ذلك أظهرت نتائج التحليل أن القيم التي أعطتها الكودات متباينة، حيث القوى الزلزالية، وبالتالي عزوم الانعطاف وقيم الانتقالات العائدة إليها كانت أكبر بكثير من القيم التي أعطاها الكود العربي السوري (جدول 10 , 11 , 16 , 17)، وهذا يعود لاختلاف قيم بعض المعاملات الزلزالية المعتمدة، والخاصة بكل كود من الكودات المدروسة.

2 – إن التردد الذاتي، وبالتالي دور الاهتزاز، هما مؤشران هامان على صلابة المنشأ. ومع أن صلابة الإطارين المدروسين كانت نفسها عند تطبيق كل كود من الكودات، فإن قيم دور الاهتزاز كانت متباينة. علماً أن الكود الياباني يتفق مع الكود العربي السوري في حالة الأبنية الشاهقة الارتفاع، إذ يعطي قيمة الدور الأساسي لبناء مكون من 30 طابقاً، 3 sec، و لبناء مؤلف من50 طابقاً، 5 sec.

3 – يعتمد الكود العربي السوري في تعيين قيمة الدور (T) للجمل الإطارية على عدد الطوابق، بينما الكودان الأمريكي والياباني يستندان في تعيين T على ارتفاع الإطار، وأما الكود الروسي فيربط هذه القيمة بصلابة الإطار، وينص أنه في حال كون دور اهتزاز النمط الأول $T_1 < 0.4$ sec (منشأ صلب)، يكتفى عند تعيين القوى الزلزالية بدراسة هذا النمط فقط. وفي حال كون $T_1 > 0.4$ sec (منشأ لين) ينبغي دراسة عدد من الأنماط لا تقل عن ثلاثة.

4 – استناداً إلى النتائج السابقة يمكن القول:

أ – نظراً للتباين الواضح بين قيم قوى القص القاعدي المستنتجة وفق الكودات المدروسة، وذلك نظراً لعدم وجود دراسة سيسمولوجية في سورية، تراعي المعايير المتبعة في تقييم المعامل الزلزالي وفق كود UBC – 94، لذا نقترح إعادة صياغة الخريطة الزلزالية السورية، وبما يتوافق مع الخطر الحقيقي المتوقع في سورية، وكذلك بما يتفق مع المعايير المتبعة في تحديد المعاملات الزلزالية في الكودات العالمية المدروسة، نظراً لأن الخريطة الزلزالية السورية الحالية ستؤدي إلى دراسة غير اقتصادية للمنشآت الهامة، والتي تتم دراستها عادة من قبل بعض الشركات الأجنبية؛ وذلك نظراً لاعتماد هذه الشركات على قيم مبالغة، وغير واقعية للعوامل الزلزالية المبينة في الخارطة الزلزالية الحالية لأراضي الجمهورية العربية السورية.

ب – إن قيم الدور الرئيسي لاهتزاز المنشأ الإطاري المستنتجة من العلاقة (4)، لا تعبر بشكل واقعي عن صلابة المنشأ، ويفضل اعتماد علاقة تتعلق بارتفاع المنشأ بدلاً من عدد طوابقه أسوة بالكودات الزلزالية العالمية (الأمريكي، الياباني...) حيث هذه القيمة تؤثر بشكل واضح في قيمة المعامل C (علاقة 2)، وبالتالي في قيمة V (العلاقة 1).

REFERENCES المراجع

1- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة، 1995 - منشورات نقابة المهندسين السوريين، دمشق.

2- ايلوش، نزيه، 1996 - *أساسيات علوم الزلازل والهندسة الزلزالية*، الطبعة الأولى، دمشق.

3 - PAZ, M. 1994 - *International Handbook of Earthquake Engineering*, Codes, programs, and examples, New York.

4 - Structural Engineers Association of California (SEAOC). 1990 - *Recommended Lateral Force Requirements and Tentative Commentary*. San Francisco, CA..

5 - Building Officials and Code Administrators International. 1990 - *BOCA National Basic Building Code*. Homewood , IL.

6 - International Conference of Building Officials. 1991 - *Uniform Building Code (UBC)*. Whittier , CA.

7 - Southern Building Code Congress International.1991- *Standard Building Code*.Birmingham, AL 8 - SNIP II- 07 - 85. 1987 - *Basic Norms and Rules for Civil Engineering Loads and Actions*, Gosstroi USSR , Moscow.

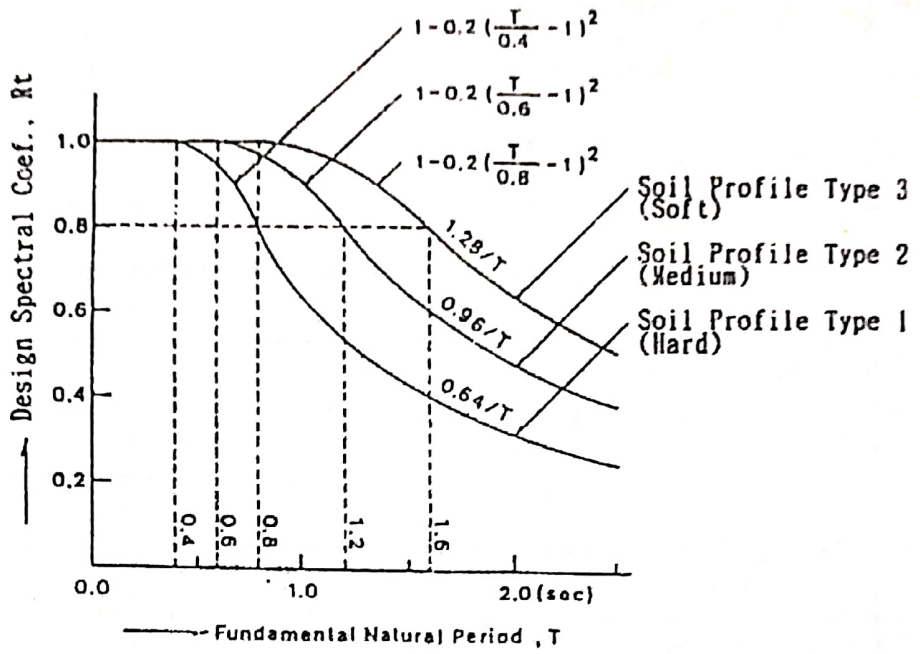
9 - POLYAKOV, S.V. 1985- *Design of Earthquake Resistant Structures* ,Basic Theory of Seismic Stability, USSR, Moscow.

10 - SNIP II - 7 - 81. 1982 - Basic Norms and Rules for Civil and Structural Engineering , Chapter 7 , *Construction in Seismic Regions* , Stroiizdat , Moscow.

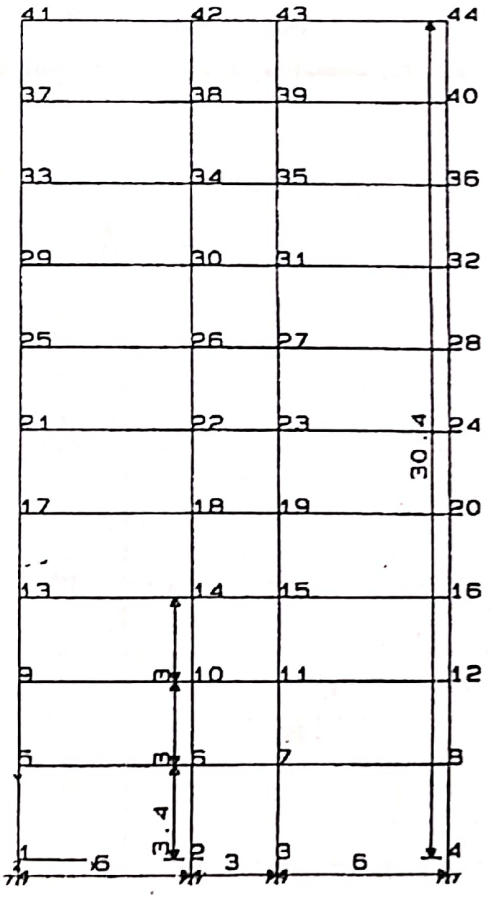
11 - The Manual on Design of Frame Industrial Buildings for Construction in Seismic Regions. 1984 - (a contribution to SNIP II - 7 - 81) , Stroiizdat , Moscow.

12 - *Building Standard Law Enforcement Order (BSLEO)*, 1981 - Ministry of Construction, Buildin of Japan, Tokyo, Japan.

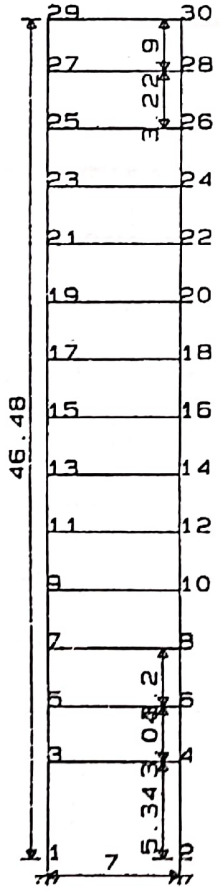
13 - *Standards for Structural Calculation of Reinforced Concrete Structures* , 1985 - Architectural Institute of Japan (AIJ) , Tokyo , Japan.



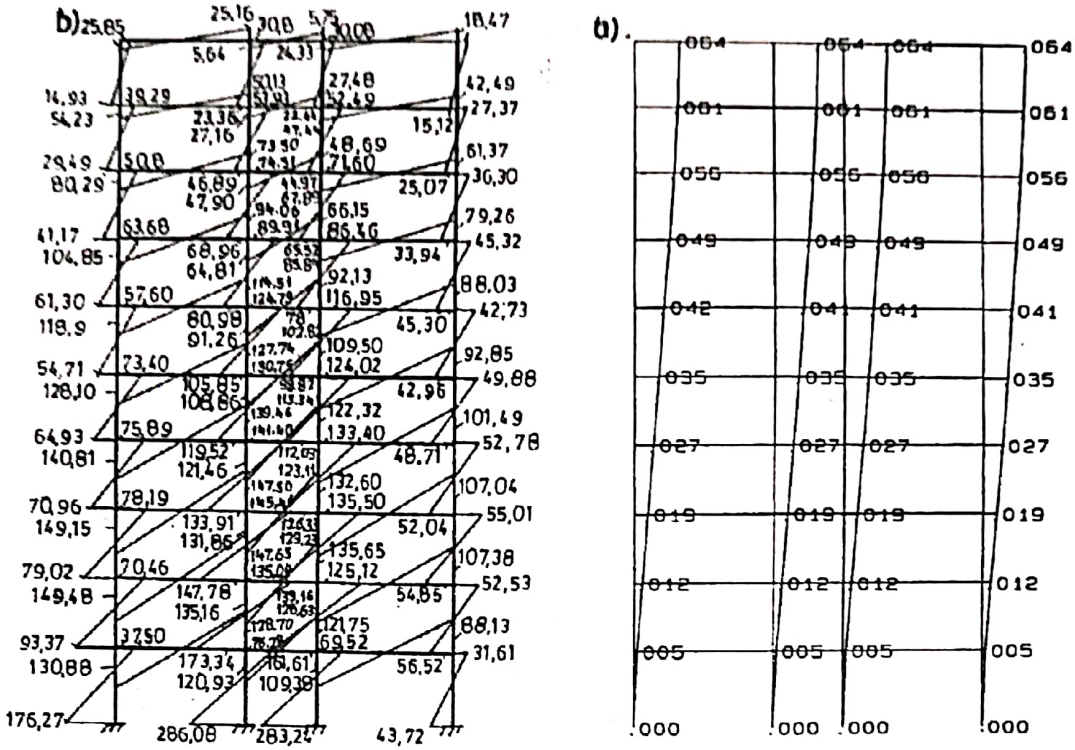
الشكل (1) : الثابت الطيفي التصميمي R_t



الشكل (2) : الجملة الانشائية للمثال /1/
إطار ذو ثلاثة مجازات

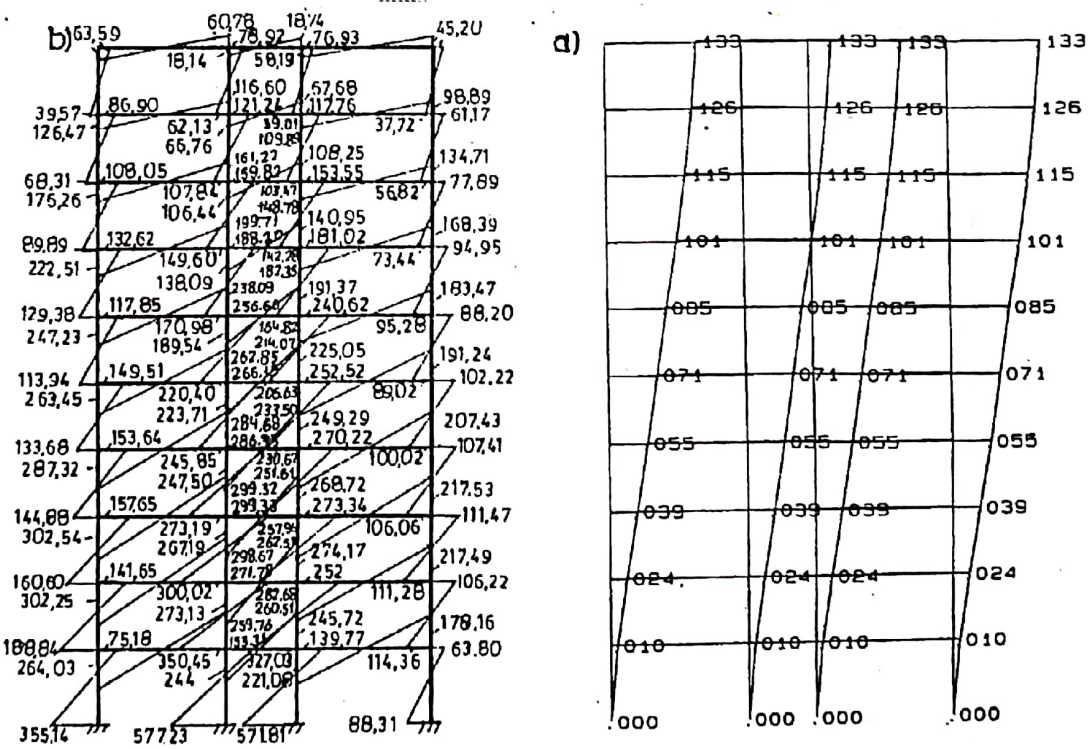


الشكل (3) : الجملة الانشائية للمثال /2/
إطار بمجاز واحد



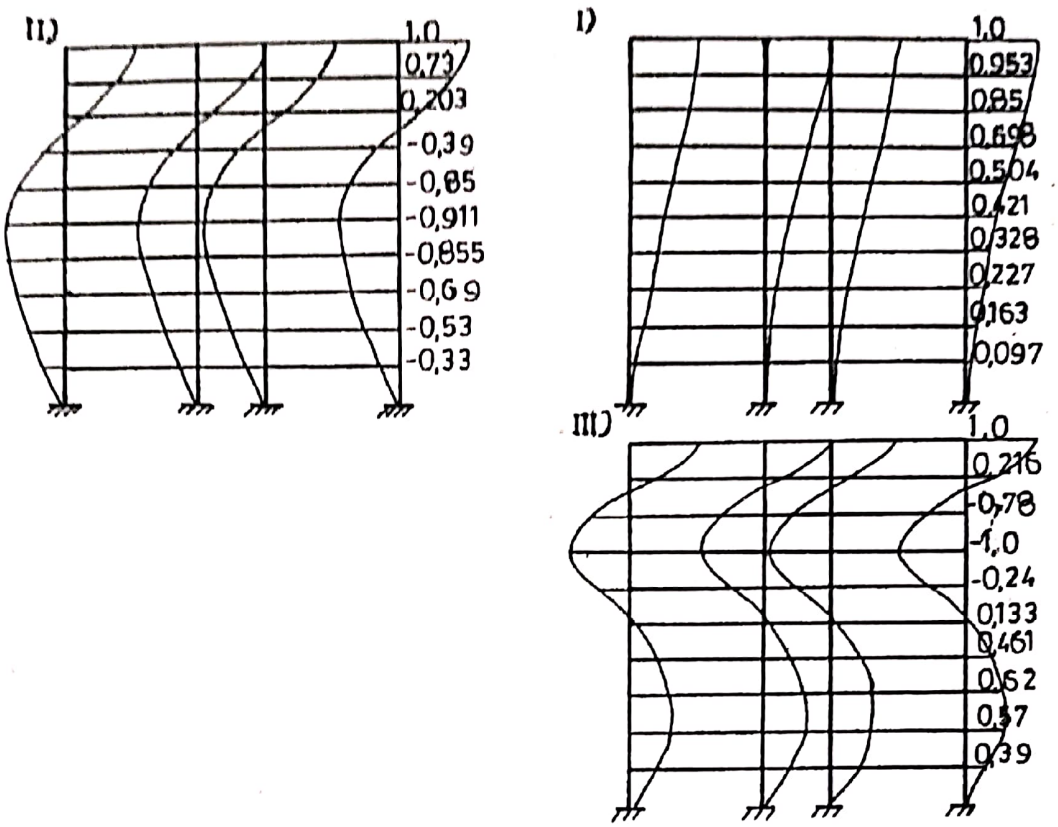
الشكل (4) : نتائج تحليل الإطار /1/ وفق الكود العربي السوري

a) – مخطط الانتقالات (m) ، b) – مخطط عزوم الانعطاف (kN. m)

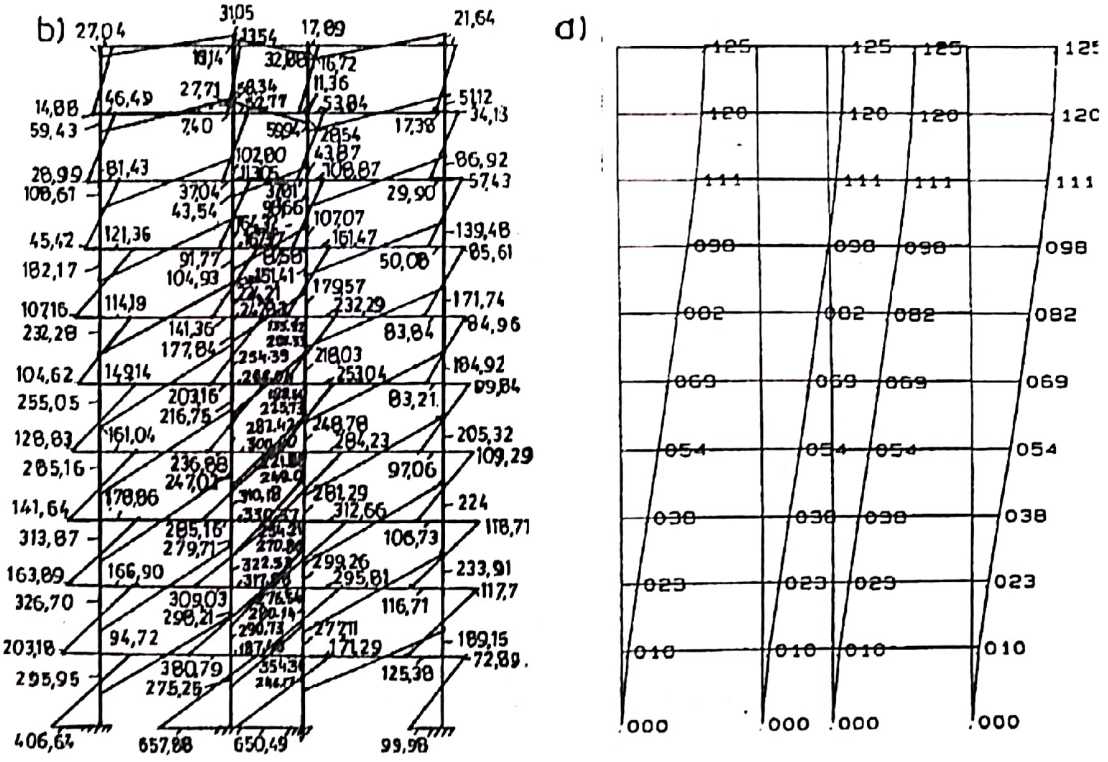


الشكل (5) : نتائج تحليل الإطار /1/ وفق الكود الأمريكي

a) – مخطط الانتقالات (m) ، b) – مخطط عزوم الانعطاف (kN. m)



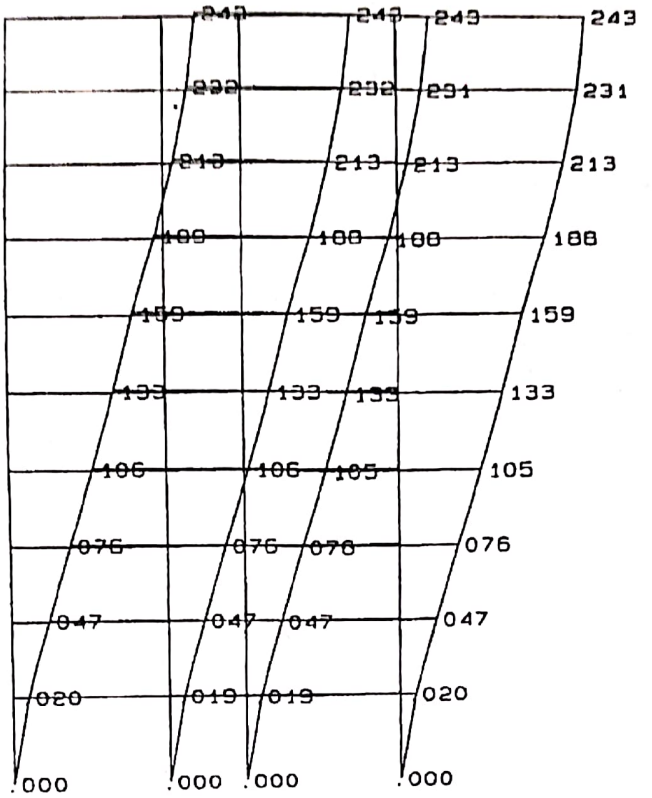
الشكل (6) : أنماط الاهتزاز I , II , III



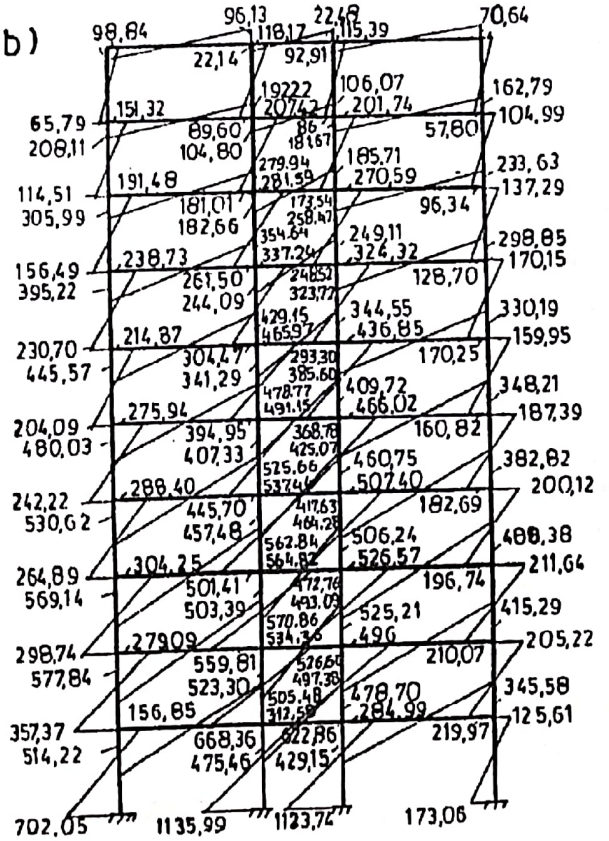
الشكل (7) : نتائج تحليل الإطار /1/ وفق الكود الروسي

a) – مخطط الانتقالات (m) ، b) – مخطط عزوم الانعطاف (kN. m)

a)



b)



الشكل (8) : نتائج تحليل الإطار /1/ وفق الكود الياباني

a) – مخطط الانتقالات (m) ، b) – مخطط عزوم الانعطاف (kN. m)