The Effect of Storey Belt Truss and Outrigger System on the High-rise Concrete Buildings Response

Dr. Doraid Salloum[*]
Wesam Ali Mawardy[**]

(Received 10 / 4 / 2019. Accepted 27 / 8 / 2019)

□ ABSTRACT □

Tall building construction has been rapidly increasing worldwide. It is creating impact on innovative development of structural system for tall building. Recently, structural systems like bracing, outrigger and belt truss providing great approach for improve the response of tall buildings. The system of belt truss and outriggers has been used in many high building around the world during the last few decades as one of the structural methods for controlling excess displacements generated by lateral forces. It is important to minimize structural and non-structural damages caused by small and medium lateral forces generated by both wind and earthquakes. The belt truss and outriggers connect the external columns of the building, while the outriggers connect the external columns with the central core, thus the external columns abligate the core from by the outriggers. This research presents a reference study and studies the effect of using belt truss and outriggers as lateral force resisting system for high-rise concrete buildings subjected to earthquake load by comparing storey displacements and storey drifts due to response spectrum analysis, according to the seismic requirements of Lattakia city by performing a three dimensional analysis (3D) using (ETABS2016) for a building of 40 storey subjected to earthquake force. Storey displacements and storey drifts has been compared in five cases:

1. (MWBT): Model without belt truss and outriggers.
2. (MBT0.25): Model with one belt truss and outriggers at the level (0.25H).
3. (MBT0.5): Model with one belt truss and outriggers at the level (0.5H).
4. (MBT0.75): Model with one belt truss and outriggers at the level (0.75H).
5. (MBTH): Model with one belt truss and outriggers at the level (H).

Storey drifts reduction in the building with belt truss and outriggers were (42.31%, 42.42%, 40.03%, 33.96%) respectively as compared to a model without any belt truss and outrigger system (BWT), and the storey displacements reduction were (3.63%, 4.84%, 4.88%, 2.38%) respectively.

Keywords: High-rise concrete buildings, belt truss, outriggers, storey drifts, storey displacements, shear forces.

[*] **Associate Professor, Department Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[**] **Master Student, Department Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

تأثير نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات على استجابة الأبنية العالية البيتونية

الدكتور المهندس دريد سلوم*

وسام علي ماوردي**

(تاريخ الإيداع 10 / 4 / 2019. قُبِل للنشر في 27/ 8 / 2019)

□ ملخّص □

إن إنشاء الأبنية العالية في تزايد مستمر حول العالم، مما أدى لخلق ضرورة التطور المتسارع في الأنظمة الإنشائية لتلك الأبنية. حالياً، تُعد الأنظمة الإنشائية كالتربيط، والمدادات، والشبكيات الجائزية الطابقية من الطرق المثلى المعتمدة في تحسين استجابة الأبنية العالية. استخدم نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات في الكثير من الأبنية العالية حول العالم خلال العقود الأخيرة، كإحدى الطرق الإنشائية للتحكم بالإزاحات الزائدة المتولدة عن القوى الجانبية، وذلك لم له من أهمية في تقليل الأضرار الإنشائية والغير إنشائية التي تسببها القوى الجانبية الصغيرة والمتوسطة المتولدة عن كل من الرياح والزلازل. إذ يربط الجائز الشبكي الأعمدة الخارجية للمبنى، بينما تربط المدادات الأعمدة الخارجية مع النواة المركزية، وهكذا تقيد الأعمدة الخارجية النواة من الدوران من خلال المدادات. يقدم هذا البحث الدراسة المرجعية ودراسة تأثير استخدام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات (belt truss and outriggers) كنظام إنشائي مقاوم للأحمال الجانبية من خلال مقارنة الانتقالات الطابقية والإزاحات الطابقية الناجمة عن التحليل باستخدام طيف الاستجابة التصميمي بما يتوافق مع المتطلبات الزلزالية لمدينة اللاذقية من خلال إجراء التحليل ثلاثي الأبعاد لنموذج إنشائي مفترض لبناء عال بيتوني مؤلف من (40) طابقاً معرض لقوى الزلازل، وذلك بمساعدة برنامج التحليل الإنشائي(ETABS2016)، وقد تمت مقارنة الانتقالات الطابقية والإزاحات الطابقية للمبنى في خمس حالات:

- المبنى دون نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات (BWT).
- المبنى مع نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات (BT0.25) عند الارتفاع (0.25H).
- المبنى مع نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات (BT0.5) عند الارتفاع (0.5H).
- المبنى مع نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات (BT0.75) عند الارتفاع (0.75H).
- المبنى مع نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات (BTH) عند الارتفاع (H).

وقد تبين أن التخفيضات في الإزاحات الطابقية للمبنى مع نظام الشبكية الجائزية الطابقية والمدادات هي على التوالي(33.96%, 40.03%, 42.42%, 42.31%) مقارنة مع الإزاحات الطابقية للمبنى دون وجود الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات (BWT). والتخفيضات في الانتقالات الطابقية هي على التوالي (3.63%, 4.84%, 4.88%, 2.38%) مقارنة مع الانتقالات الطابقية للمبنى دون وجود الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات.

الكلمات المفتاحية: أبنية عالية بيتونية، الشبكيات الجائزية الطابقية، المدادات، الإزاحات الطابقية، الانتقالات الطابقية.

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

** **طالبة ماجستير – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

مقدمة:

يعتبر شرط عدم خروج المنشأ عن الاستثمار نتيجة الإزاحات الطابقية (Storey Drifts) والانتقالات الطابقية (Storey Displacements) غالباً هو المتحكم في تصميم الأبنية العالية، ومن الأنظمة الأكثر شيوعاً والمستخدمة في الأبنية العالية لتقليل تلك الانتقالات هي نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات، النظام الذي يُعتبر الأكثر شيوعاً وفعالية ضمن الأنظمة الإنشائية للأبنية العالية وخاصة تلك التي تملك مسقطا منتظما، إذ يسهم هذا النظام في زيادة صلابة ومقاومة المنشآت المعرضة للرياح والزلازل. وهي الفئة الأكثر كفاءة للارتفاعات حتى (150) طابق. [1]
يمكن الحصول على توفير هام في مادة البناء والكلفة إذا استخدم نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات في الأبنية العالية والذي يؤدي لاستخدام كامل قدرة تحمل العناصر الإنشائية، ولقد ثبت أن هذا النظام يملك فعالية مهمة لإرضاء قيود الحركة للأبنية العالية. [2]
من الأمثلة النموذجية للأبنية العالية المزودة بنظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات: [3]
Hong Kong cheung Kong center (290m)
Shanghai shimao plaza (330.3m) الذي يظهر في الشكل (1)
Guang Zhou CTF tower (520m)

الشكل (1) Shanghai shimao plaza

إن تقنية استخدام المدادات مع النواة ذات التربيط مع الأعمدة المحيطية تطورت تدريجياً على طول العقود الماضية. وفي كثير من الحالات، تستخدم المدادات حول المحيط لربط الأعمدة غير الموصولة مع الجائز الشبكي الرئيسي للمدادات، وهذا ما يشار إليه بنظام الشبكية الجائزية الطابقية (story belt truss)، وغالباً ما تستخدم مع المدادات الرئيسية. نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات قادر على زيادة الصلابة الجانبية مقارنة مع النظام دون مدادات ويعود السبب الرئيسي في ذلك إلى مساهمة الأعمدة المحيطية في مقاومة القوى الجانبية، بالإضافة إلى تخفيض عزم الانعطاف عند مستويات نظام الجائز الشبكي والمدادات. [4]

طريقة التصميم التقليدية للتحكم بالاستجابة الديناميكية المتولدة عن الرياح والزلازل هي بزيادة صلابة نظام مقاومة القوى الجانبية، ولكن تُرافق زيادة صلابة المبنى زيادة مهمة في الكلفة وزيادة في أبعاد العناصر وبالتالي تخفيض في المساحة الفعالة للمبنى، علاوة على ذلك، من أجل حمولات الزلازل والتي تملك أدواراً قصيرة نسبياً، يمكن أن تسبب زيادة الصلابة توافق أكثر بين حركة المبنى وحركة الأرض، وهكذا الحلول المتضمنة التخميد مفضلة لتسكين الاستجابة الديناميكية للمبنى. [5]

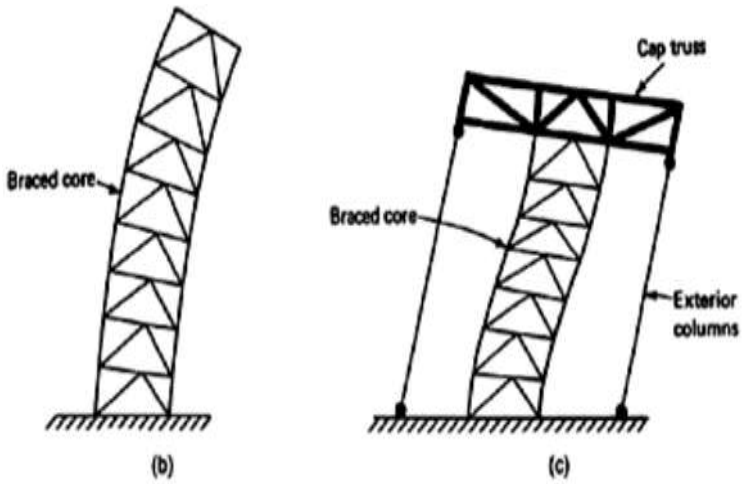
لأجل تلك الأهداف، بحث العديد من الباحثين والعلماء في موضوع نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات، إذ قدَم الباحث [6] (Shankar Nair 1998) دراسة مفصلة لأنواع مختلفة من الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات تحت تأثير الرياح مع تقييم لأدائها وسلوكها التقريبي، إذ أجرى تحليلاً على مبنى فولاذي مؤلف من (75) طابق في ثلاث حالات:

- المبنى غير مزود بنظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات (no outrigger)
- المبنى مزود بنظام الشبكيات الجائزية الطابقية دون مدادات (virtual outrigger)
- المبنى مزود بنظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات (convention outrigger)

وقد بينت دراسته أن الشبكيات الجائزية مع المدادات تقدم مساهمة أفضل في تخفيض الانتقال أعلى المبنى مقارنة مع الشبكيات الجائزية دون مدادات، إذ أن نسبة تخفيض الانتقال الجانبي أعلى المبنى المزود بالشبكيات الجائزية والمدادات (76.7%)، بينما نسبة تخفيض الانتقال الجانبي أعلى المبنى المزود بالشبكيات الجائزية دون المدادات (65.8%).

كما بحث[7] Herath, N. Haritos, N. Ngo, T. and Mendis, P. (2009) في العدد الأمثل للشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات لمبنى مختلط مؤلف من (50) طابقاً تحت تأثير الزلازل، وقيمت الدراسة السلوك العام للمبنى وبينت اختلاف سلوك المبنى تحت تأثير الزلازل من زلزال لآخر، وهذه الظاهرة تلاحظ جيداً على نتائج الانتقالات الجانبية، كما أظهرت الدراسة تأثير موقع الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات بشكل كبير على سلوك المبنى تحت تأثير الزلازل، إذ يجب اختيار الموقع الأمثل للشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات بحذر عند تصميم المبنى.

بحث [8] Raj Kiran Nanduri, P. M. B. Suresh, B. Ihtesham Hussain, MD. (2008) في سلوك نظام الجائز الشبكي الطابقي والمدادات، ولفهم هذا السلوك تم اعتبار مبنى مقوى بجائز شبكي طابقي (أي بارتفاع الطابق) عند أعلى المبنى (cap truss) كما يظهر الشكل (2).



الشكل (2) انعطاف النواة كالظفر(b)– الفعل أسفل الجائز الغطاء(c)

يمكن اعتبار النواة كجائز ظفري معاق من الدوران في الأعلى، مع تقلص وتمدد في الأعمدة بمواجهة الرياح وباتجاه الرياح، تكافأ قوى الشد والضغط بمزدوجة قوى تعارض دوران النواة وبالتالي يمكن اعتبار الجائز الغطاء كوثاقة متوضعة أعلى الظفر، وتحدد صلابته الدورانية كمزدوجة قوى عائدة لدوران واحدي للنواة عند القمة. باعتبار الجائز الغطاء صلب بشكل لانهائي، يعادل تقاصر وتطاول الأعمدة دوران النواة مضروباً ببعدهم الخاص عن مركز النواة.

إذا كان بعد العمود المكافئ عن مركز النواة (d/2) يكون التشوه المحوري للعمود مساوٍ ل (θd/2) حيث θ=دوران النواة.

تُعطى القوة المحورية المعادلة بالعلاقة (1)

$$P=AEd/2L \qquad (1)$$

P: القوة المحورية في الأعمدة

A: مساحة الأعمدة

E: معامل المرونة

d: المسافة بين العمود الخارجي و النواة

L: ارتفاع المبنى

تُعطى الصلابة الدورانية للجائز الغطاء بالقوة المحورية للأعمدة المكافئة مضروبة ببعدهم عن مركز النواة.

باعتبار لدينا عمودين مكافئين يبعد كل منهما عن النواة بمقدار d/2 تكون الصلابة الدورانية كما في العلاقة (2):

$$K=(P.\ d/2).2 = P.\ d \qquad (2)$$

إذاً يعتمد التخفيض في الانحراف على الصلابة الدورانية K ومقدار الدوران θعند القمة.

كما قدم في بحثه دراسة لمبنى بيتوني مسلح تحت تأثير الرياح والزلازل مؤلف من (30) طابقاً بارتفاع (3m) لكل طابق، وقام بتحليله باستخدام البرنامج (ETABS) علماً أن المبنى غير مشيد على أرض الواقع، إذ أشار في دراسته إلى غياب الأبحاث حول الأبنية البيتونية النحيفة، حيث كل الدراســات تمت لأجل أبنية فولاذية.

اعتبر اتصال المدادات بالنواة اتصالاً صلباً وكذلك اتصال النواة بالأساس، والجوائز الرابطة صلبة على الانحناء وتؤثر على الأعمدة بقوى محورية فقط، باعتماد نتائج عزوم الانعطاف، قوى القص، والانتقالات الجانبية الناتجة عن الرياح والزلازل، استنتج الموقع الأمثل للجائز الشبكي الطابقي والمدادات وهو عند منتصف ارتفاع المبنى.

درس [9] (Stafford Smith, B. Coull, A. 1991) منشآت افتراضية حيث المدادات صلبة، ووجدوا أن الموضع الأمثل لمدادة مفردة هو عند منتصف ارتفاع المبنى، وفي حال وجود نظامين يوضع في (1/3) و(2/3) ارتفاع المبنى، وفي حال وجود ثلاثة أنظمة توضع في (1/4) (1/2) (3/4) ارتفاع المبنى. وبشكل عام الأداء الأمثل لمبنى مزود ب (n) نظام مدادات، يتم حسب دراسة [9] بتزويد المدادات بالمواضع ((1/(n+1)) و((2/(n+1)) حتى ((n/(n+1)) من ارتفاع المبنى. بشكل مفاجئ وبالتناقض مع دراسة (Schuller 1977) حول الموضع الأمثل للمدادات، وجد الباحثان (Smith and Soul) أنه من غير الفعال إنشائياً وضع نظام المدادات في أعلى المبنى، حيث أنه في حال وجود نظام واحد للمدادات، يعطي وضعه في أعلى المبنى تخفيضاً لعزم الانعطاف (13%) في حين وضعه حسب الترتيب الأمثل لدراسة (Smith and Coul 1991) سبب تخفيضاً قدره (58%).

سيتم في هذه المقالة دراسة تأثير تغيير موقع الشبكية الجائزية الطابقية والمدادات على الانتقالات الطابقية والإزاحات الطابقية في موقع الشبكية لمبنى عال بيتوني مؤلف من 40 طابق، وذلك بدراسة أربعة ترتيبات للشبكية هي عند ربع

ارتفاع المبنى، وعند نصف ارتفاع المبنى، وعند ثلاثة أرباع الارتفاع، بالإضافة إلى وضع الشبكية عند أعلى ارتفاع المبنى، باستخدام التحليل الديناميكي باعتماد تابع التحريض طيف الاستجابة الخاص بموقع اللاذقية.

أهمية البحث وأهدافه:

تتلخص أهمية البحث في دراسة تأثير الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات للحد من الإزاحات الطابقية والانتقالات الطابقية في الأبنية العالية البيتونية المعرضة لتأثير الحمولات الزلزالية لم لها من أهمية في التصميم وما يترتب عليها من التخفيض في إجهادات العناصر الإنشائية، وتخفيض كتلة البناء، وتقليل الأضرار الإنشائية ,غير الإنشائية التي قد تودي بحياة المستخدمين.

يهدف البحث إلى إجراء مقارنة قيم الانتقالات والإزاحات الطابقية للمبنى قبل وبعد تزويده بنظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات في مستويات مختلفة منه كما يظهر الجدول (1)، للحصول على أفضل نتيجة يحققها ذلك النظام بالاعتماد على توصيات ملحق الكود العربي السوري [10] في تحديد الحمولات الزلزالية وإجراء التراكبات الأساسية للأحمال المؤثرة.

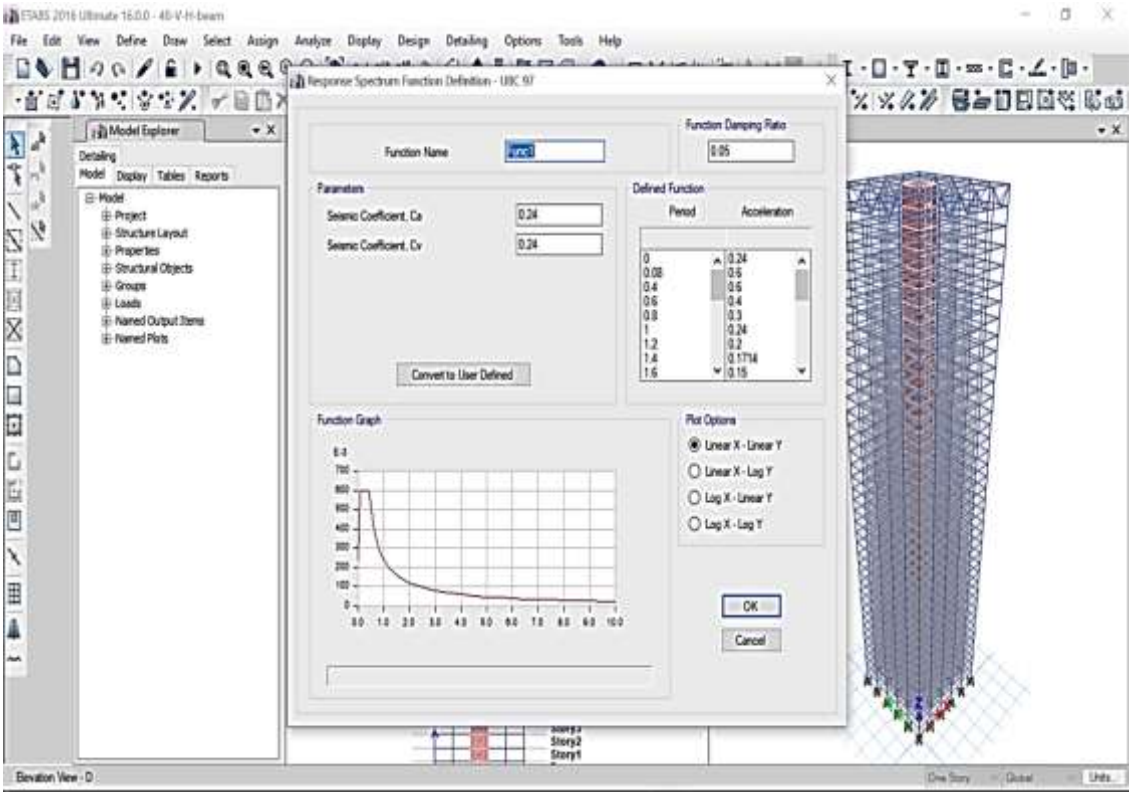
جدول (1) مستويات الجائز الشبكي الرابط والمدادات

ارتفاع الطابق(m)	النموذج
30	BT0.25
60	BT0.5
90	BT0.75
120	BTH

سنعتمد التسمية (BWT) للمبنى قبل تزويده بالشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات (Building Without Truss).
والتسمية (BT0.25) للمبنى بعد تزويده بالشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات عند الارتفاع (0.25H)
والتسمية (BT0.5) للمبنى بعد تزويده بالشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات عند الارتفاع (0.5H)
والتسمية (BT0.75) للمبنى بعد تزويده بالشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات عند الارتفاع (0.75H)
والتسمية (BTH) للمبنى بعد تزويده بالشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات عند الارتفاع (H)

طرائق البحث ومواده:

يعتمد البحث المنهج النظري التحليلي، حيث سيتم تقديم الدراسة المرجعية، وفهم سلوك المبنى المزود بنظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات، ثم سيتم اختيار نموذج ثلاثي الأبعاد لمبنى بيتوني مسلح افتراضي، وسيجرى التحليل النمطي للمبنى للحصول على الدور الأساسي باستعمال البرنامج (ETABS 2016)، ثم نقوم بالتحليل الديناميكي باستخدام طيف الاستجابة كتابع تحريض الشكل (3)، ثم تتم دراسة الاستجابة من خلال مقارنة الانتقالات الطابقية والإزاحات الطابقية الناتجة عن التحليل.



الشكل (3) طيف الاستجابة التصميمي

وتبعاً لتوصيات ملحق الكود العربي السوري [10] سيتم اعتماد التراكيب الأساسية في حالة الحد الأقصى وبعد أخذ تأثير المركبة الشاقولية للزلازل تكون تراكيب الزلازل المعتمدة في البحث:

1.4D

1.4D + 1.7L

1.452D + 0.55L + 1.1EX1

1.452D + 0.55L + 1.1EX2

1.452D + 0.55L + 1.1EY1

1.452D + 0.55L + 1.1EY2

1.452D + 0.55L − 1.1EX1

1.452D + 0.55L − 1.1EX2

1.452D + 0.55L − 1.1EY1

1.452D + 0.55L − 1.1EY2

0.858D + 1.1EX1

0.858D + 1.1EX2

0.858D + 1.1EY1

0.858D + 1.1EY2

0.858D − 1.1EX1

0.858D − 1.1EX2

0.858D − 1.1EY1

0.858D − 1.1EY2

D الأحمال الميتة أو الدائمة (Dead loads): وتشمل هذه الأحمال وزن المنشأة ذاتها.

L الأحمال الحية (Live loads): وتشمل الأحمال الناتجة عن استثمار المبنى أو المنشأة ولا تشمل الأحمال الناتجة عن البيئة المحيطة بالمبنى كأحمال الرياح أو الثلج أو المطر أو الزلازل أو الفيضانات أو ما شابه.

E: القوة الناتجة عن الهزة الأرضية.

بعد إدخال الأحمال السابقة تم التحليل وفق البرنامج الهندسي (ETABS 2016)، وبما أن ارتفاع المبنى يزيد على (73m) لابد من التحليل الديناميكي وفق اشتراطات الكود العربي السوري، باعتماد طريقة طيف الاستجابة التصميمي باستعمال القيمتين(C_a،C_V) المتوافقتين مع موقع **اللاذقية** في **المنطقة الزلزالية الثالثة** وباعتماد صنف المقطع الشاقولي للتربة هو S_A فيكون معامل زلزالية المنطقة المدروسة Z= 0.3 وقيم المعاملين الزلزاليين C_v ,0.24 = C a = 0.24 الشكل (2).

تمت مقارنة الإزاحات الطابقية الناتجة مع الحدود المسموحة لها وفق الكود العربي السوري، الذي يوصي بحساب الإزاحات الطابقية باستعمال الانتقال الأعظمي الناتج عن الاستجابة اللامرنة (Δ_M)، حيث لا تتجاوز الإزاحة الطابقية (إزاحة الدور) المحسوبة باستعمال (Δ_M) المقدار (0.02) مرة من ارتفاع الطابق للمنشآت التي فترتها الأساسية (دورها) أكثر أو تساوي (0.7sec).

يحسب الانتقال الأعظمي (Δ_M) الناتج عن الاستجابة (الحركة) اللامرنة كما يلي [10]:

$$\Delta_M = 0.7*R*\Delta_s$$

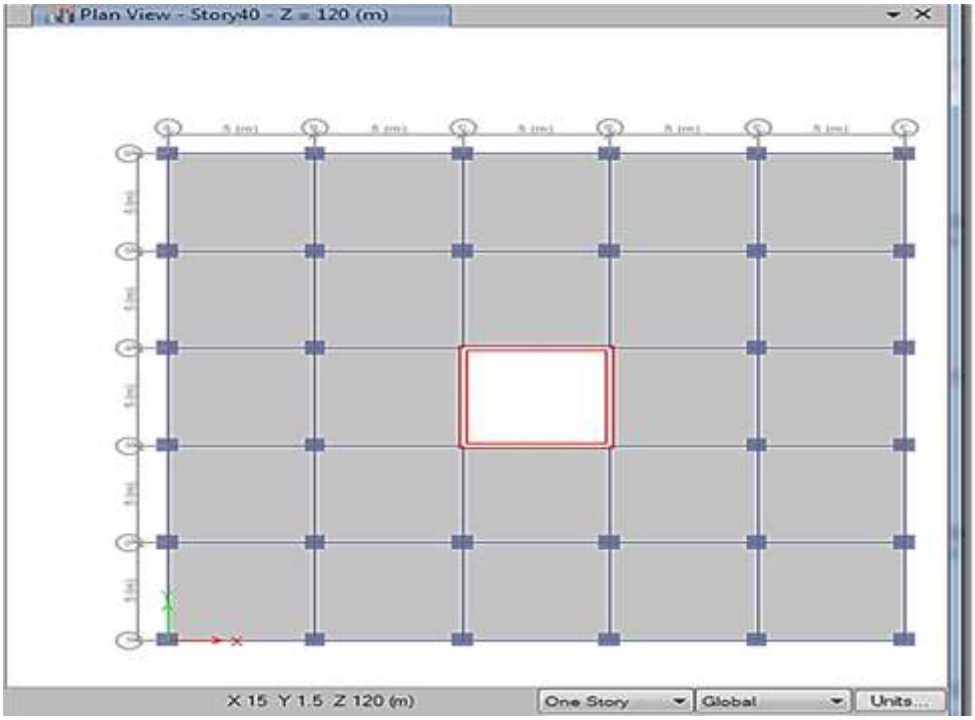
R: معامل السلوك اللامرن للجملة الإنشائية.

Δ_s الإزاحة الطابقية (Storey Drift): وهي الفرق بين الانتقال الجانبي عند منسوب طابق معين، والانتقال الجانبي عند منسوب الطابق أسفل هذا المنسوب أو أعلاه.

الانتقال الطابقي (Storey Displacement): يمثل انتقال الطابق (الدور) عند المنسوب X بالنسبة إلى قاعدة المبنى أو المنشأة.

وصف النموذج:

المبنى من البيتون المسلح أبعاده في المسقط (25m*25m)، الشكل (4)، يتألف المبنى من (40) طابقاً، بارتفاع (3m) للطابق، والارتفاع الكلي للمبنى (120m)، سماكة البلاطة المصمتة 20cm، الجملة الإنشائية المستخدمة هي الجملة الثنائية (Dual System)، وهي جملة مختلطة من الإطارات الخاصة المقاومة للعزوم وجدران القص، وهي تماثل الجملة التفاعلية بين جدران القص والإطارات مع اختلاف أساسي بأن الإطارات في الجملة الثنائية يجب أن تقاوم كحد أدنى (25%) من قوة القص القاعدي للزلازل عندما تستعمل هذه الجمل في المنطقتين (3) و(4).



الشكل (4) المسقط الأفقي للمبنى المدروس

يوضح الجدول (2) مقاطع الأعمدة والجوائز، والنواة البيتونية المسلحة الموثوقة عند القاعدة كما في الشكل (5).
أما الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات فهي عناصر معدنية متمفصلة من الطرفين على شكل (V)، مؤلفة من مقاطع بروفيلية (HEA 300) وفق مواصفات الكود الأوروبي [11]،[12]. الشكل (6)

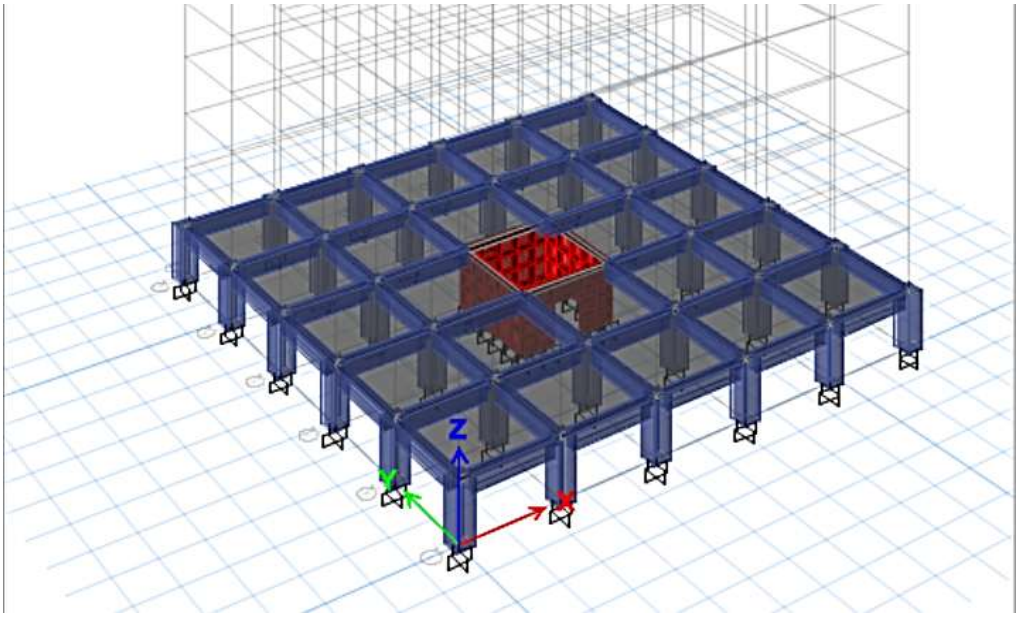
جدول (2) مقاطع الأعمدة والجوائز والنواة المستخدمة

رقم الطابق	مقطع العمود	مقطع الجائز	سماكة النواة (cm)
1-10	C90*90	B80*45	W40
11-20	C90*90	B80*45	W35
21-30	C70*70	B70*45	W25
31-40	C70*70	B70*45	W25

النموذج التحليلي للمبنى المدروس:

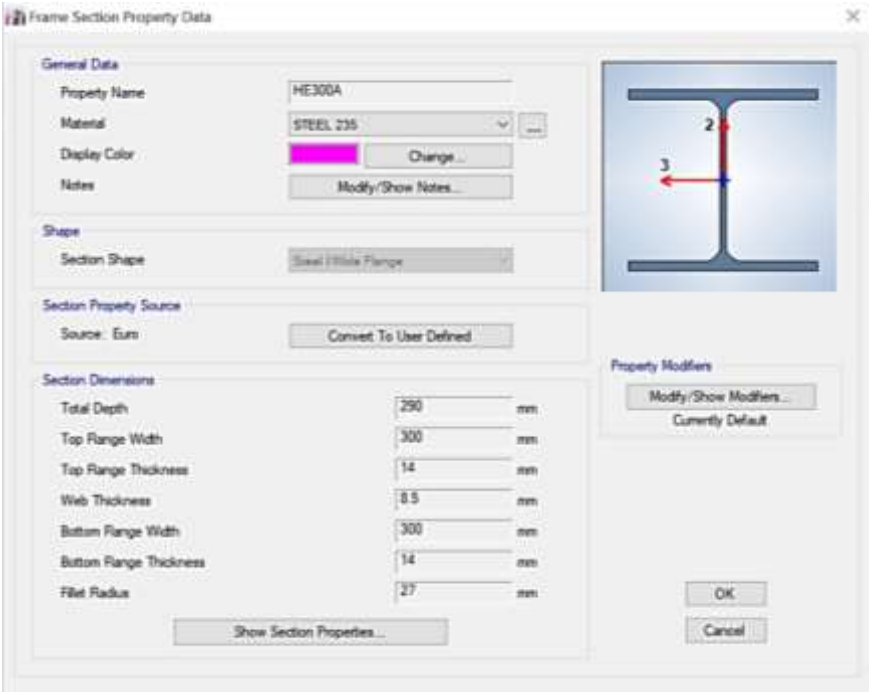
تمت نمذجة العناصر الإطارية (الأعمدة والجيزان) كعناصر خطية، والنواة كعناصر قشرية، واعتبر الاتصال بين العناصر صلباً، وقد تم إجراء التحليل الديناميكي الخطي لنموذج البناء المفروض حيث تم إسناد تابع الحمولة الزلزالي طيف الاستجابة المقابل للقيم $C_a = 0.24$, $C_v = 0.24$ وفق الكود (UBC97)، وتم تنفيذ التحليل للنموذج باستخدام البرنامج الهندسي ETABS2016 كمايلي:

- إجراء التحليل النمطي (modal analysis)، وتحديد عدد أنماط الاهتزاز ب 22 نمط بحيث تزيد نسبة مساهمة الكتلة في الاهتزاز وفق عدد الأنماط المدروس عن 90% من كتلة المبنى المهتزة.
- إجراء تحليل استاتيكي وفق الطريقة الستاتيكية المكافئة الثانية لاستخدام نتائجها في عملية المعايرة لقوى القص القاعدي التي ينص عليها الكود UBC97 والكود العربي السوري
- إجراء تحليل ديناميكي باستخدام طيف الاستجابة كتابع تحريض



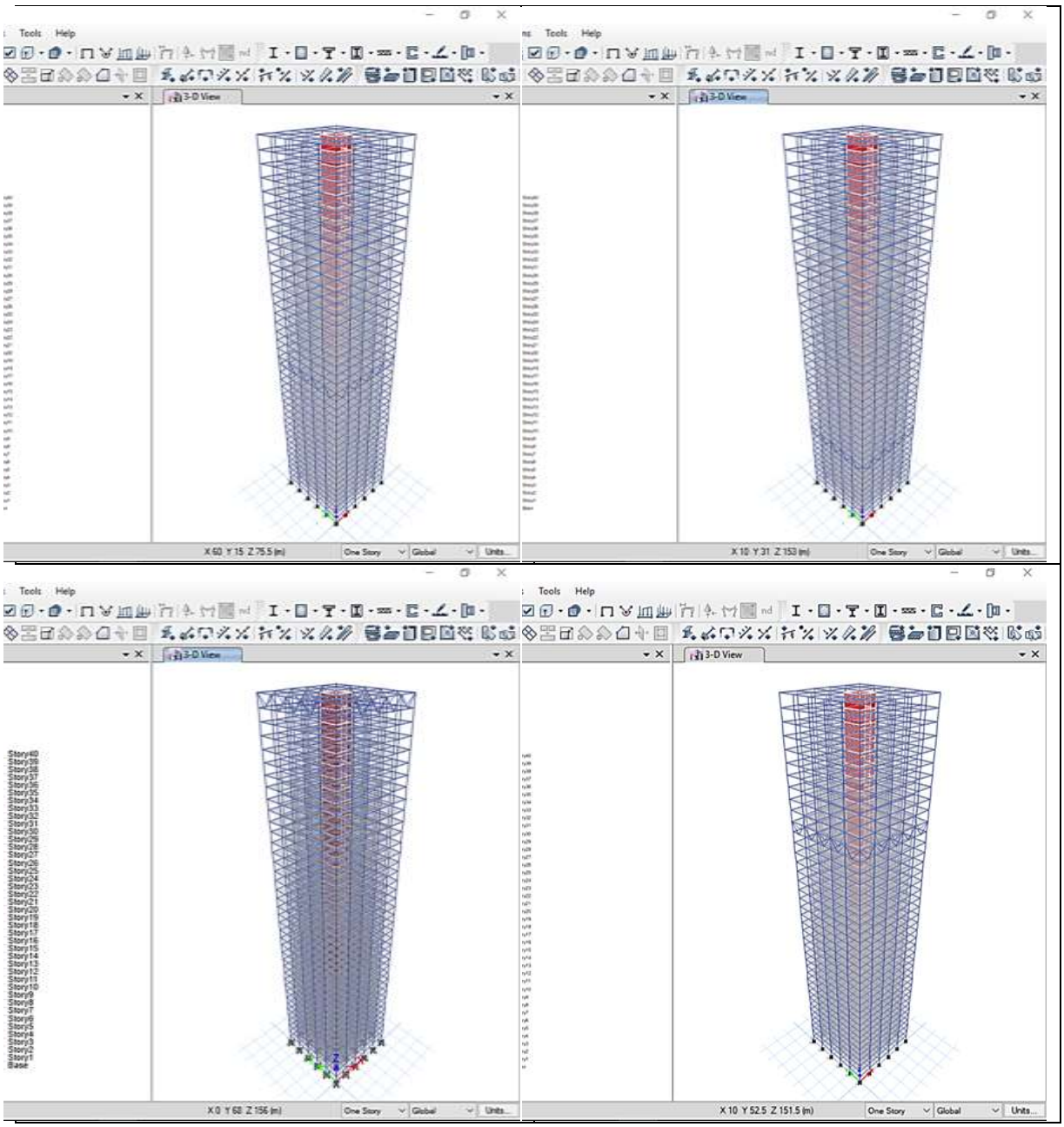
الشكل (5) النواة البيتونية المسلحة

- ثم تمت دراسة الاستجابة الديناميكية عن طريق مقارنة الانتقالات الطابقية في الطابق الأخير للمبنى المزود بالشبكية، والإزاحات الطابقية في طابق الشبكية مع مثيلاتها في المبنى غير المزود بالشبكية.



الشكل (6) أبعاد المقطع البروفيلي HE300A المستخدم في الشبكية الجائزية والمدادات

يظهر الشكل (7) التغير في موقع النظام، إذ تمت الدراسة باختلاف الموقع بين 0.25H, 0.5H, 0.75H, H



الشكل (7) الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات عند الارتفاع (0.25H, 0.5H, 0.75H, H)

النتائج والمناقشة:

يبين الجدول (4) الانتقالات والإزاحات الطابقية للمبنى 40 طابق باستخدام الشبكية V عند المواقع (0.25H, 0.5H, 0.75H, H)

جدول (4) قيم الانتقالات الطابقية والإزاحات الطابقية تبعاً للتغير في موقع الشبكية

40-V-0.25H		40-V-0.5H		40-V-0.75H		40-V-H		40-V-WB		مستوى الشبكية	
3.778		3.773		3.827		3.88		3.797		الدور (sec)	
الانزياح الطابقي Δs	الانتقال (mm)	الانزياح الطابقي Δs	الانتقال (mm)	الانزياح الطابقي Δs	الانتقال(mm)	الانزياح الطابقي Δs	الانتقال (mm)	الانزياح الطابقي Δs	الانتقال (mm)	الحمولة الزلزالية	الطابق
5.3	222.9	5.3	220.1	5.1	220	3.5	225.8	5.3	231.3	EXD2	Story40
5.5	217.6	5.5	214.8	5.3	214.9	4.7	222.3	5.6	226	EXD2	Story39
5.7	212.1	5.7	209.3	5.5	209.6	5.1	217.6	5.6	220.4	EXD2	Story38
5.8	206.4	5.7	203.6	5.5	204.1	5.4	212.5	5.9	214.8	EXD2	Story37
6	200.6	6	197.9	5.7	198.6	5.6	207.1	5.9	208.9	EXD2	Story36
6.1	194.6	6.1	191.9	5.7	192.9	5.9	201.5	6.2	203	EXD2	Story35
6.3	188.5	6.2	185.8	5.9	187.2	6	195.6	6.3	196.8	EXD2	Story34
6.5	182.2	6.4	179.6	5.8	181.3	6.3	189.6	6.4	190.5	EXD2	Story33
6.5	175.7	6.5	173.2	5.9	175.5	6.4	183.3	6.6	184.1	EXD2	Story32
6.8	169.2	6.6	166.7	5.7	169.6	6.6	176.9	6.7	177.5	EXD2	Story31
6.8	162.4	6.7	160.1	4	163.9	6.7	170.3	6.9	170.8	EXD2	Story30
6.9	155.6	6.8	153.4	6.1	159.9	6.9	163.6	6.9	163.9	EXD2	Story29
7.1	148.7	6.9	146.6	6.4	153.8	7	156.7	7.1	157	EXD2	Story28
7.1	141.6	6.9	139.7	6.6	147.4	7.1	149.7	7.2	149.9	EXD2	Story27
7.2	134.5	7	132.8	6.8	140.8	7.2	142.6	7.2	142.7	EXD2	Story26
7.3	127.3	6.9	125.8	6.9	134	7.3	135.4	7.2	135.5	EXD2	Story25
7.2	120	6.8	118.9	7.1	127.1	7.2	128.1	7.3	128.3	EXD2	Story24
7.2	112.8	6.7	112.1	7	120	7.3	120.9	7.3	121	EXD2	Story23
7.2	105.6	6.5	105.4	7.1	113	7.2	113.6	7.2	113.7	EXD2	Story22
7	98.4	6.1	98.9	7	105.9	7.1	106.4	7.1	106.5	EXD2	Story21
6.5	91.4	3.8	92.8	6.5	98.9	6.5	99.3	6.6	99.4	EXD2	Story20
6.5	84.9	5.6	89	6.4	92.4	6.6	92.8	6.5	92.8	EXD2	Story19
6.3	78.4	5.8	83.4	6.4	86	6.4	86.2	6.5	86.3	EXD2	Story18
6.2	72.1	5.9	77.6	6.3	79.6	6.4	79.8	6.4	79.8	EXD2	Story17
6.1	65.9	5.9	71.7	6.3	73.3	6.3	73.4	6.3	73.4	EXD2	Story16
5.9	59.8	5.9	65.8	6.2	67	6.2	67.1	6.2	67.1	EXD2	Story15
5.7	53.9	5.8	59.9	6	60.8	6	60.9	6.1	60.9	EXD2	Story14
5.6	48.2	5.8	54.1	6	54.8	6	54.9	5.9	54.8	EXD2	Story13
5.2	42.6	5.7	48.3	5.8	48.8	5.8	48.9	5.8	48.9	EXD2	Story12
4.8	37.4	5.5	42.6	5.6	43	5.7	43.1	5.7	43.1	EXD2	Story11
3	32.6	5.1	37.1	5.2	37.4	5.2	37.4	5.2	37.4	EXD2	Story10
4.2	29.6	5	32	5.1	32.2	5	32.2	5	32.2	EXD2	Story9
4.3	25.4	4.8	27	4.8	27.1	4.9	27.2	4.9	27.2	EXD2	Story8
4.2	21.1	4.5	22.2	4.5	22.3	4.5	22.3	4.5	22.3	EXD2	Story7
3.9	16.9	4.2	17.7	4.2	17.8	4.2	17.8	4.2	17.8	EXD2	Story6
3.6	13	3.8	13.5	3.9	13.6	3.8	13.6	3.9	13.6	EXD2	Story5
3.2	9.4	3.4	9.7	3.3	9.7	3.4	9.8	3.3	9.7	EXD2	Story4
2.8	6.2	2.8	6.3	2.9	6.4	2.9	6.4	2.9	6.4	EXD2	Story3
2.2	3.4	2.3	3.5	2.3	3.5	2.3	3.5	2.3	3.5	EXD2	Story2
1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	EXD2	Story1

لإجراء المقارنة تم تنظيم النتائج في الجدول (4) الذي يبين نسب تخفيض الإزاحات الطابقية والانتقالات الطابقية للمبنى الناتجة عن الحمولات المعرفة سابقا.

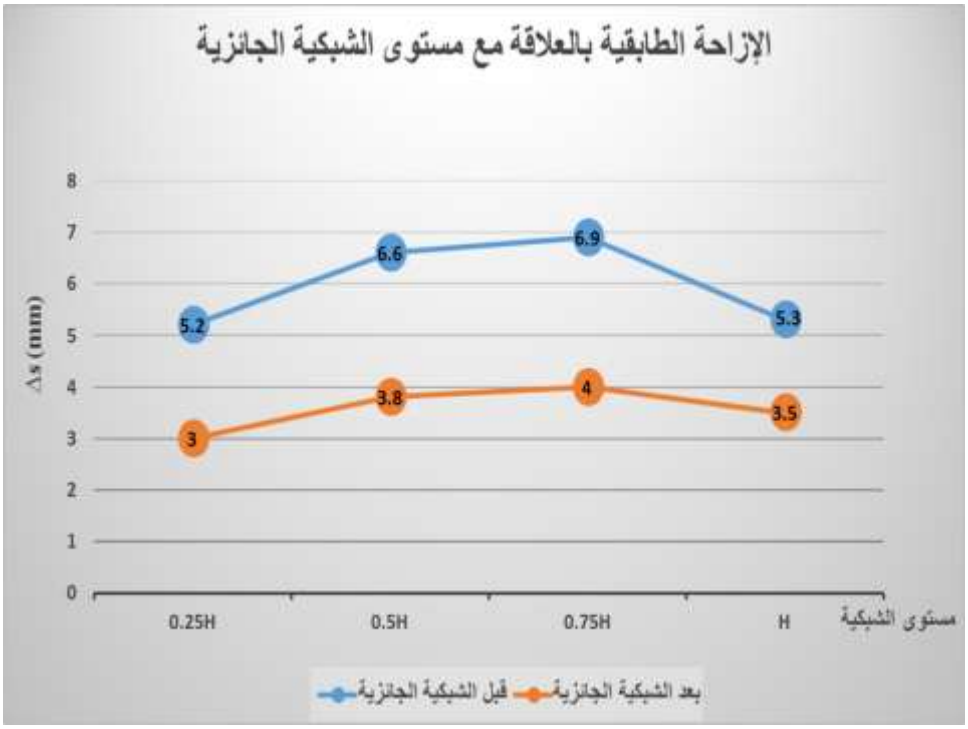
جدول (4) الإزاحات الطابقية والانتقالات الطابقية للمبنى مقدرة بال (mm)

النموذج	BWT				BT0.25	BT0.5	BT0.75	BTH
الانتقال الطابقي الأعظمي أعلى المبنى	231.3				222.9	220.1	220	225.8
نسبة تخفيض الانتقال الطابقي (%)	/				3.63	4.84	4.88	2.38
الإزاحة الطابقية في مستوي الشبكية	5.2	6.6	6.9	5.3	3	3.8	4	3.5
نسبة تخفيض الإزاحة الطابقية (%)	/				42.31	42.42	42.03	33.96

وقد تم تمثيل الانتقال الطابقي الأعظمي في أعلى المبنى قبل وبعد تزويده بنظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات في الشكل (8)، الذي يبين أن أكبر نسبة للتخفيض كانت عند موقع للشبكية (0.75H)

الشكل (8) الانتقال الطابقي الأعظمي أعلى المبنى باستخدام نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات

كما يُظهر الشكل (9) الإزاحة الطابقية للمبنى في مستوي الشبكية قبل وبعد تزويده بنظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات،



الشكل (9) الإزاحة الطابقية للمبنى في مستوي الشبكية قبل وبعد تزويده بنظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات

لنظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات تأثيراً إيجابياً على الإزاحة الطابقية كما يبينه الشكل (9)، إذ نلاحظ أن وضع النظام عند الارتفاع (0.25H) يُخفّض الإزاحة الطابقية (5mm) لتصبح (3mm)، ووضع النظام عند الارتفاع (0.5H) يُخفّض الإزاحة الطابقية من (6.6mm) لتصبح (3.8mm)، في حين وضع النظام عند الارتفاع (0.75H) يُخفّض الإزاحة الطابقية من (6.9mm) لتصبح (4mm)، بينما وضع النظام عند الارتفاع (H) يخفض الإزاحة الطابقية لتصبح (3.5mm).

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث تقديم الدراسة المرجعية ودراسة سلوك نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات، وتم الحصول على الانتقالات الطابقية الأعظمية والإزاحة الطابقية للمبنى قبل وبعد تزويده بالنظام، ودراسة تأثير تغيير موقع النظام على استجابة المنشأة، وتم التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

1. التخفيض في الانتقال الطابقي أعلى المبنى باستخدام نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات عند وضعه على الارتفاع (0.25H, 0.5H, 0.75H, H) كان (2.38%, 4.88%, 4.84%, 3.63%) على التوالي.
2. التخفيض في الإزاحة الطابقية في مستوي الشبكية باستخدام نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات عند وضعه في المستوي (0.25H, 0.5H, 0.75H, H) كان (33.96%, 42.03%, 42.42%, 42.31%) على التوالي.

3. وضع نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات عند الارتفاع (0.5H) يعطي أكبر نسبة تخفيض للإزاحات الطابقية حيث بلغت نسبة التخفيض (42.42%).

4. فعالية نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات في تخفيض الإزاحات الطابقية في الأبنية العالية البيتونية.

5. يؤثر موقع نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات على نسب التخفيض المذكورة سابقاً.

6. استخدام نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات يفيد في الحصول على صلابة كافية ويُجنب الاهتزازات الغير مرغوب فيها والتي تزعج المستخدمين، وبالتالي يساهم في تحقيق الاستقرار ضد القوى الجانبية المؤثرة، لما له من دور في تخفيض الانتقالات الطابقية والإزاحات الطابقية.

7. استخدام نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات يحسن من استثمار وخدمة المنشأة وخصوصاً بمجال تقليل الأضرار الغير إنشائية التي أصبحت من التصاميم المسيطرة على دراسة المنشأ.

ننصح باستخدام نظام الشبكيات الجائزية الطابقية والمدادات في الأبنية العالية البيتونية، وتوخي الحذر في اختيار الوقع الأمثل للنظام لم له من تأثير على تغير استجابة المنشأة تبعاً لموقع النظام، ونوصي بإجراء دراسات لتقييم التغيرات في الاستجابات الأخرى مثل القوى الداخلية وخاصة في الأعمدة.

المراجع:

[1]− ALI, MIR M. and MOON, K. S. *Structural developments in tall buildings: Current trends and future prospects*. Architectural Science Review, Vol -50(3), 2007, page 205-223.

[2]. RAFAEL SHEHU, MSC. *Ductility of Outrigger Typologies for Highrise Structures,* IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. (IOSR-JMCE) e-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334X, Volume 12, Issue 2 Ver. VI (Mar - Apr. 2015), PP 34-41.

[3] ـ GERASIMIDIS, S. EFTHYMIOU, E. and BANIOTOPOULOS, C. C. *Optimum outrigger locations for high rise steel buildings for wind loading*. EACWE 5 Florence, Italy, July 2009, 19th – 23rd.

[4]- KIAN, P. S. and SIAHAAN, F. T. *The use of outrigger and belt truss system for high-rise concrete buildings*. Dimensi Teknit Sipil, Volume 3, No1, Maret 2001, Page 36-41, ISSN1410-9530

[5]- RENARD GAMALIEL, B.S., *"Frequency-Based Response of Damped Outrigger Systems for Tall Buildings"*. University of California at Berkeley (2007).

[6] ـ SHANKAR NAIR, R. *Belt Trusses and Basements as Virtual Outriggers for Tall Buildings*, Engineering Journal, Fourth Quarter, American journal of steel construction, Vol-35, 1998, page 140-146.

[7]- HERATH, N. HARITOS, N. NGO, T. and MENDIS, P., *Behavior of Outrigger Beams in High Rise Buildings under Earthquake Loads*.Australian Earthquake Engineering Society Conference, 2009.

[8] - RAJ KIRAN NANDURI, P. M. B. SURESH, B. IHTESHAM HUSSAIN, MD. *Optimum Position of Outrigger System for High-Rise Reinforced Concrete Buildings Under Wind And Earthquake Loadings*, American Journal of Engineering Research (AJER) e-ISSN : 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936 Volume-02, Issue-08, 2013, pp 76-89.

[9]- STAFFORD SMITH B, SALIM I. (1981). *Parameter study of outrigger-braced tall building structures*. Journal of the Structural Division, ASCE 107(ST10):2001–2013.

[10] - الملحق رقم (2) للكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة، نقابة المهندسين، دمشق، 2012، الطبعة الثانية.

[11] -EN 1993-1-1: EUROCODE3: *Design of steel structures*- Part 1-1.

[12] . JAGADHEESWARI, A. S. and FREEDA CHRISTY, C. *Optimum Position of Multi Outrigger Belt Truss in Tall Buildings Subjected to Earthquake and Wind Load*, ISSN 0974-5904, Volume 09, No. 03, June 2016, P.P.373-377.