دراسة تأثير الطوابق الصلبة على عمل الجملة الإنشائية البيتونية المسلحة في الأبنية العالية

***الدكتور المهندس : عبد الحميد كيخيا م. حازم الحمصي**

الملخص

تعتبر الأبنية العالية سمة من سمات الحضارة الإنسانية المعاصرة ، حيث تم تطوير عدد كبير من الجمل الإنشائية منذ بداية القرن الماضي لتلائم تصميم الأبنية العالية . لا يزال تطور الجمل الإنشائية جاريا" من أجل الحصول على جمل إنشائية اقتصادية ملائمة لتشييد الأبنية العالية . تعتبر الطوابق الصلبة أو طوابق الأذرع الصلبة من أكثر العناصر الإنشائية فعالية في تشييد الأبنية العالية ، وأصبحت مستخدمة بشكل واسع جدا" حول العالم في الأبنية العالية البيتونية منها و المعدنية.

إن فكرة الطوابق الصلبة يمكن مماثلتها مع العقد في ساق نبات الخيزران أو القصب ، وذلك باعتبار إن الطبيعة أنتجت أفضل التصاميم الهندسية وإن الغاية من العلوم الهندسية هي اكتشاف القوانين الطبيعية .

تعتبر الطوابق الصلبة على شكل شبكيات معدنية الأكثر انتشاراً في الجمل الإنشائية للأبنية العالية ، لما تتمتع به من مواصفات ايجابية في رفع كفاءة الجملة الإنشائية . استخدام الجدران البيتونية المسلحة كطوابق صلبة قليلة الانتشار ، وكذلك الأبحاث العلمية التي تهتم بهذا النوع من الجمل الإنشائية . إن الظروف المحلية من : تكنولوجية واقتصادية وبيئية وثقافة بناء ، يمكن أن تكون سبب مناسب لدراسة إمكانية استخدام الطوابق الصلبة على شكل جدران بيتونية مسلحة في الجمل الإنشائية للأبنية العالية .

يهدف هذا البحث إلى فهم و تحليل سلوك الجملة الإنشائية المزودة بطوابق أذرع صلبة من الجدران البيتونية المسلحة ، و معرفة كيفية استخدامها بالشكل الأمثل في الأبنية العالية البيتونية المسلحة .

تم في هذه الدراسة استخدام التحليل الإنشائي باستخدام نظرية العناصر المحدودة (Finite Element Method) . تم اعتماد كل من التحليل الاستاتيكي المرن والتحليل الديناميكي المرن والتحليل اللاخطي بطريقة التحليل الدفعي الإستاتيكي اللاخطي . Push over analysis.

تم في هذا البحث دراسة الموضع الأفضل للطوابق الصلبة مع الارتفاع للأبنية العالية ، وكذلك دراسة ترتيبات الجملة الإنشائية للحصول على الاستفادة القصوى من الطوابق الصلبة ، وتوضيح أثر الطوابق الصلبة في تشكل المفاصل اللدنة للجملة الإنشائية ، وذلك بهدف الوصول إلى رفع كفاءة الجملة الإنشائية الحاوية على الطوابق الصلبة على شكل جدران بيتونية مسلحة .

* قسم الهندسة الإنشائية كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق

١- مقدمة :

تم تطوير عدد كبير من الجمل الإنشائية منذ بداية القرن الماضي لتلائم تصميم الأبنية العالية ، ولا يزال تطور الجمل الإنشائية جاريا" من أجل الحصول على جمل إنشائية إقتصادية ، مناسبة لتشييد الأبنية العالية لما تتمتع به هذه المنشآت من خصوصية في التصميم والتنفيذ . تعتبر الطوابق الصلبة أو طوابق الأذرع الصلبة من أكثر العناصر الإنشائية فعالية في تشييد الأبنية العالية و أصبحت مستخدمة بشكل واسع جدا" حول العالم في الأبنية العالية البيتونية منها و المعدنية.

إن معظم النظم الإنشائية للأبنية العالية تتطلب وجود فراغ طابقي حر من الأعمدة ، أي تتطلب وجود نواة أو جملة من جدران القص داخل المبنى ، تشكل العمود الفقري للمبنى و جملة أخرى من الأعمدة محيطية بحيث يكون عدد الأعمدة ضمن فراغ الطابق أقل ما يمكن . هذا الترتيب يرفع من الكفاءة الوظيفية و المعمارية للمبنى حيث يسمح باستغلال الفراغ الطابقي بشكل أمثل بين النواة و الأعمدة المحيطية .هذا ما يحققه نظام الأذرع الصلبة ، فهو يقوم بالوصل الإنشائي الأمثل بين جملة من الجدران داخل المبنى و جملة من الأعمدة المحيطية باستخدام عناصر عالية القساوة.

إن فكرة الطوابق الصلبة يمكن مماثلتها مع العقد في نباتات الخيزران والقصب الأشكال (١، ٢،٣) .

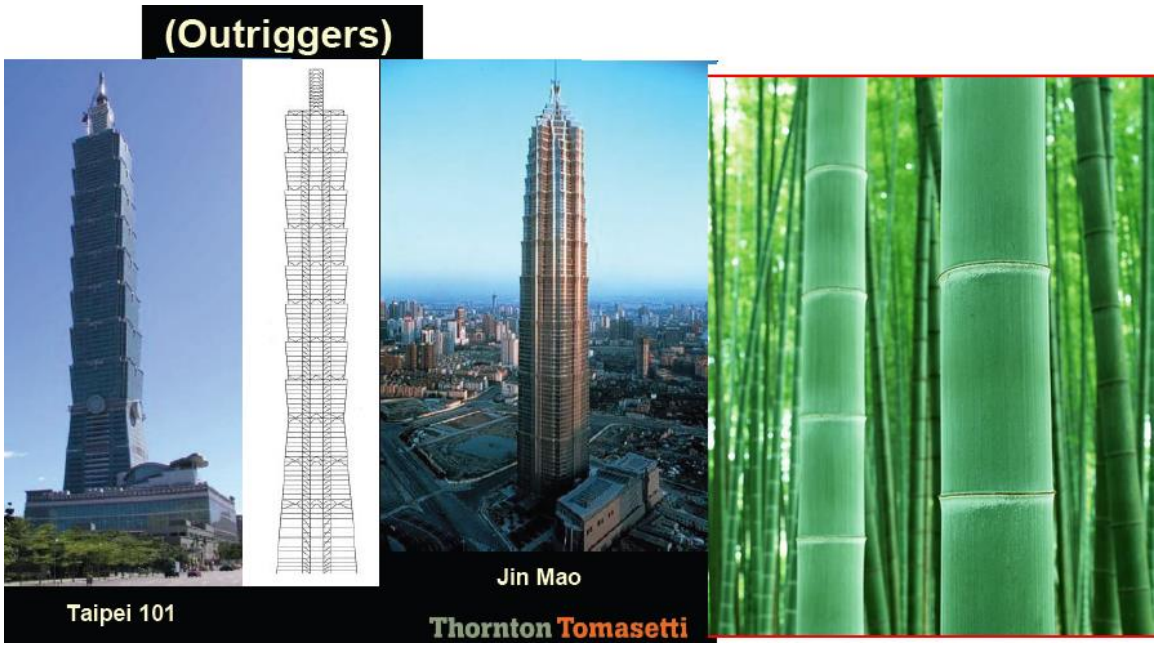
إن الطبيعة تعتبر أفضل مهندس ، وإن التكوين الطبيعي يعتبر أفضل التصاميم الهندسية المناسبة والملائمة .

لذلك فإن الهدف الرئيس من العلوم الهندسية هو اكتشاف القوانين الطبيعية وقوننتها .

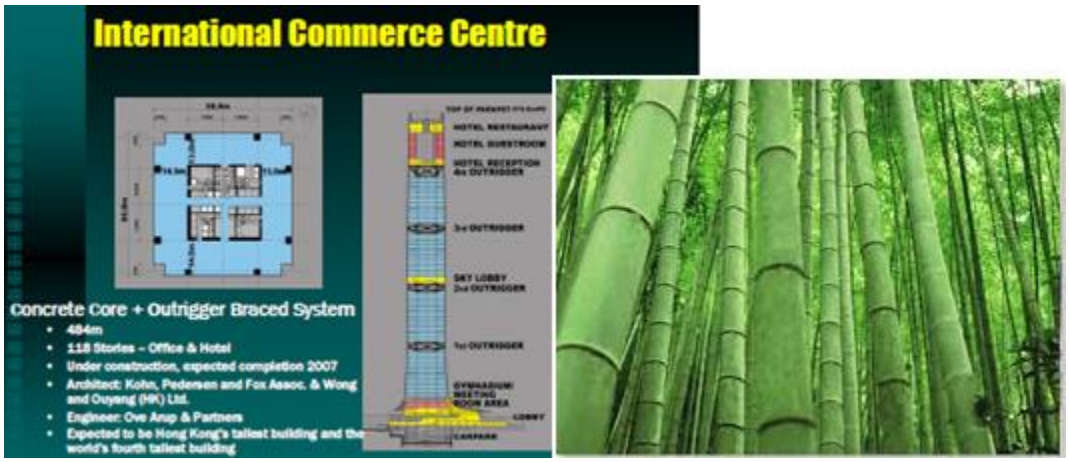
تعتبر الجمل الإنشائية البيتونية المسلحة المؤلفة من الإطارات وجدران القص،أو جدران القص فقط من أكثر الجمل الإنشائية شيوعا" في تصميم الأبنية العالية (المنخفضة والمتوسطة الارتفاع) ، فهي لا تتطلب الكثير الاشتراطات كما في حال الكثير من الجمل الإنشائية من الإطارات الخاصة المقاومة للعزم أو الإطارات المربوطة على سبيل المثال لا الحصر مما جعلها واسعة الانتشار حول العالم وخصوصاً في سوريا لبساطتها وسهولة تنفيذها.

من الملاحظ في هذا النوع من الجمل الإنشائية هو صعوبة تحقيق ارتفاعات عالية، بسبب حدوث انتقالات أفقية كبيرة نسبيا" بفعل التأثيرات الأفقية المختلفة من رياح وأفعال زلزالية ، الأمر الذي أدى إلى تطوير أداء هذه الجمل من خلال إدخال عناصر جديدة تؤدي إلى تقليل التأثرات التي تحد من استخدامها في الأبنية العالية ومن أهمها هو الطابق الصلب أو طابق الأذرع الصلبة الذي يعتمد على تنفيذ أذرع صلبة على شكل جوائز شبكية معدنية أو جدران بيتونية مسلحة في طابق معين ، أو في عدد من الطوابق موزعة على ارتفاع البناء ، ترتبط بجدران القص الداخلية وتستند على عناصر شاقولية محيطية تؤدي لتغيير سلوك هذه الجملة وتعمل على تخفيض الإزاحة الأفقية بشكل فعال جدا" الأمر الذي يمكن من زيادة ارتفاع البناء بشكل كبير جدا" .

الجملة الإنشائية الحاوية على الأذرع الصلبة تتكون : من نواة مركزية داخلية أو جدران قص داخلية وأعمدة محيطية ، ترتبط مع بعضها من خلال الأذرع الصلبة التي تكون في طابق واحد أو عدد من الطوابق تتوزع على ارتفاع البناء . يتم اعتماد الحل المعدني في أغلب الأحيان للطوابق الصلبة حيث تنفذ جوائز شبكية معدنية على كامل الطابق تربط بين النواة المركزية والأعمدة المحيطية . إن الترتيب السابق للجملة الإنشائية يضمن الحصول على الأداء الأمثال من استخدامها .



الشكل (١) مبنى عالي يحتوي على طوابق صلبة (الصين – تايبي) .



الشكل (٢) مبنى عالي يحتوي على طوابق صلبة (مركز التجارة العالمي – هونغ كونغ) .

الشكل (٣) برج خليفة في دبي .

بهدف بناء أبنية عالية حديثة ، وفق الظروف المحلية ، فإن ما تم تبنيه من عناصر إنشائية وفق الترتيب المعمول به محليا (أعمدة و إطارات و جدران قص) هو غير كافي للوصول إلى ارتفاعات كبيرة ، ولا بد من دراسة ترتيب هذه العناصر ، وإضافة عناصر الإنشائية أخرى لازمة لتشكيل جمل إنشائية ملائمة لتشييد أبنية عالية ، اقتصادية ، وذات مظهر معماري عصري وفق ما تم التوصل إليه عالميا في هذا المجال . من هنا كانت الفكرة الأساسية لهذا البحث الذي نحاول من خلاله السعي لإيجاد جملة إنشائية تسمح بإنشاء أبنية ذات ارتفاعات عالية وفق التكنولوجيا والإمكانات المحلية المحددة ، بحيث تلبي المتطلبات والتحديات التي تواجه المهندس الإنشائي : القيم الكبيرة للانتقالات الأفقية ، الناتجة عن القوى الأفقية (رياح ، زلازل) ، ضرورة استخدام مواد بناء ذات مواصفات عالية ، زيادة القوى والحمولات الأفقية والشاقولية ....الخ .

إن أغلب الجمل الإنشائية المنتشرة عالمياً ، الحاوية على الطوابق صلبة ، تكون الأذرع الصلبة فيها على شكل جوائز شبكية معدنية ممتدة على كامل ارتفاع الطابق . سوف نحاول في بحثنا هذا أن نستبدل الأذرع الصلبة الشبكية المعدنية بجدران بيتونية مسلحة تقوم بنفس الوظيفة . الهدف من ذلك هو سهولة تنفيذ الجدران البيتونية المسلحة وفق

الظروف المحلية ، تلافي مشاكل الوصل بين الجوائز المعدنية وعناصر الجملة الإنشائية الرئيسية الشاقولية البيتونية المسلحة .

٢- السلوك الإنشائي لعمل الجملة الإنشائية الحاوية على الأزرع الصلبة :

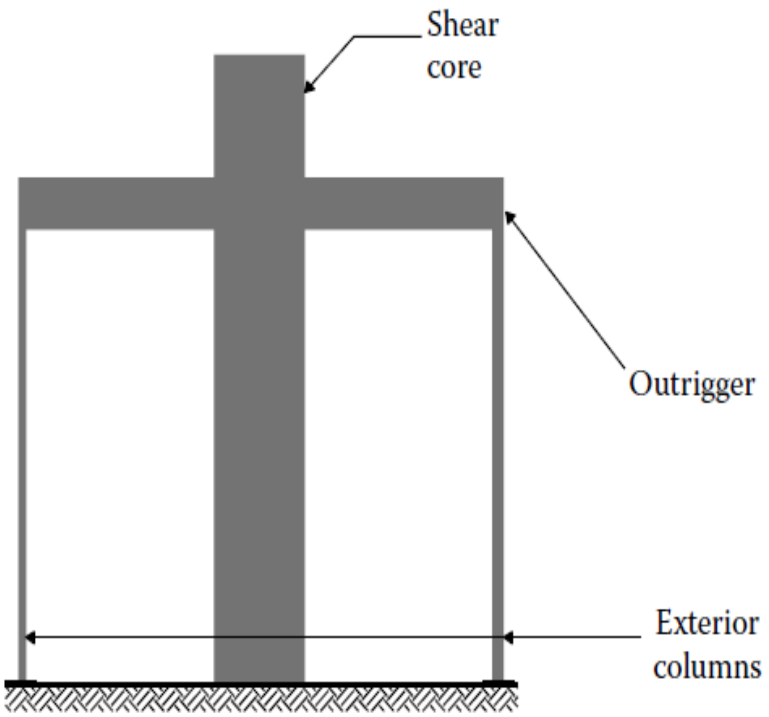
العناصر الإنشائية الأساسية في نظام الطوابق الصلبة (OUTRIGGER SYSTEM):

- أعمدة محيطية
- جدران قص أو نواة مركزية داخل المبنى
- الأذرع الصلبة الواصلة بين الجدران الداخلية و الأعمدة المحيطية .

تنفذ الأذرع الصلبة على شكل عناصر جدارية بيتونية مسلحة أو جوائز شبكية معدنية ، في طوابق معينة من المبنى .

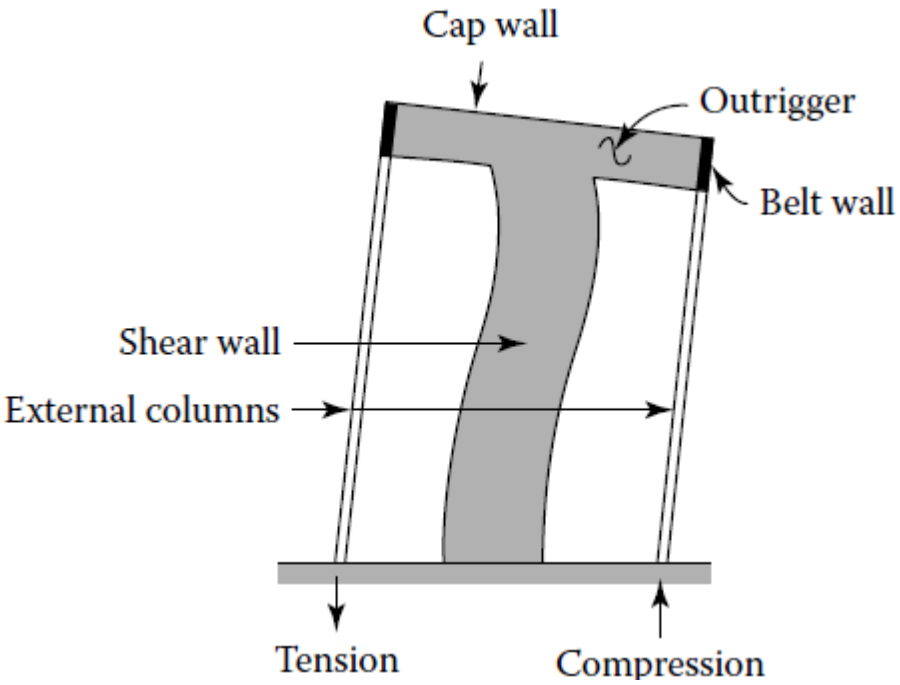
يكون اتصال الأذرع الصلبة مع جدران القص هو اتصال موثوق في حين تستند هذه الأذرع على الأعمدة المحيطية .

إن الترتيب السابق للجملة الإنشائية يضمن الحصول على الأداء الأمثال من استخدامها الشكل (٣) .



الشكل (٣) نظام الطوابق الصلبة .

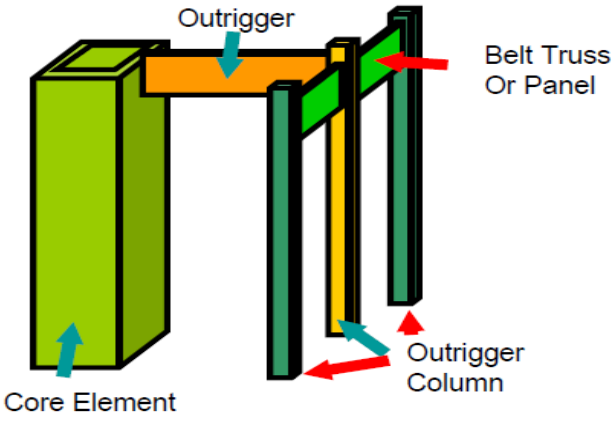
من الشائع إستخدام الطابق الصلب في الطابق الأخير من المبنى و عندها يسمى نظام القبعة الجدارية أو CAP WALL SYSTEM الشكل (٤) .



الشكل (٤) نظام الطوابق الصلبة (القبعة الجدارية) .

.الشكل (٥) و من الشائع أيضا" استخدام ما يسمى بالجائز الحلقي المحيطي أو BELT WALL أو PERMETER WALL وهو جائز حلقي محيطي يلف طابق الأذرع الصلبة على شكل شبكي معدني أو جدار مسلح يعمل على توزيع الحمل المحوري على الأعمدة المحيطية في الاتجاه المتعامد لاتجاه عمل الذراع الصلب .

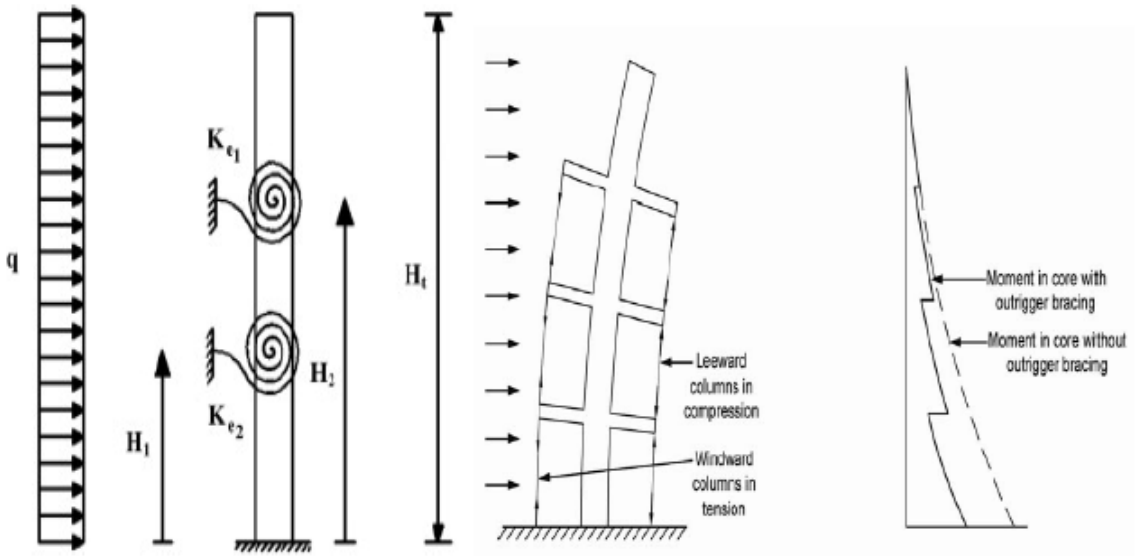
هذا يؤدي إلى توزيع القوى بين الأعمدة المحيطية ، وبالتالي المقاربة بين أبعاد الأعمدة المحيطية ، بدلا من زيادة واضحة في مقاطع أعمدة استناد الأذرع الصلبة بفعل القوى المحورية الكبيرة ، الناتجة عن استناد الذراع الصلب والمطبقة على أعمدة الاستناد



الشكل (٥) شكل توضيحي لعمل نظام الطوابق الصلبة مع جائز محيطي .

السلوك الإنشائي لنظام الطوابق الصلبة بسيط جداً من حيث المبدأ .

النظام يعمل كنابض دوراني ، في مستوى الطابق الصلب ، يعيق الإزاحة الجانبية للنواة المركزية (جدار القص) ، بالتالي للمنشأ ، ينتج عن ذلك قوى ضاغطة في الأعمدة من الجهة المعاكسة لجهة الأحمال الأفقية و قوى شد في الأعمدة من جهة الأحمال الأفقية الشكل (٦) .



الشكل (٦) مبدأ عمل نظام الطوابق الصلبة .

٣- دراسة إنشائية تحليلية لسلوك الجملة الإنشائية البيتونية المسلحة المزودة بطوابق أذرع صلبة :

لتوضيح الأساس النظري لعمل الجملة الإنشائية الحاوية على طوابق صلبة نستعرض حالة وجود طابق صلب واحد وطابقين .

إفتراضات الدراسة الإنشائية :

١. سلوك الجملة مرن خطي .
٢. أعمدة الاستناد تتعرض إلى قوى محورية فقط .
٣. الأذرع الصلبة صلبة الاتصال مع النواة (أو جدران القص الداخلية) و مستندة مفصليا على الأعمدة المحيطية .
٤. التشوه الجانبي بفعل القوى الأفقية الناتج عن الإنعطاف هو المسيطر في حين تم إهمال التشوه الجانبي الناتج بفعل القص .
٥. تمت دراسة الحالة من أجل تطبيق حمل موزع أفقي على كامل ارتفاع المبنى .
٦. تمت الدراسة من أجل طابق وطابقي أذرع صلبة في المبنى .

من أجل التبسيط لندرس حالة مبنى مؤلف من نواة مركزية وأعمدة محيطية . من أجل إيجاد قيم العزوم في النواة المركزية نستخدم معادلة توافق الدورانات التالية :

Θi=Θw-Θs

Θw - دوران الكلي للمبنى تحت تأثير الحمل الأفقي

Θs - إعاقة النابض (بفعل تشوه الأعمدة محوريا)

Θi - الدوران النهائي المتبقي للجملة (دوران الجائز الصلب)

أو بمعنى أخر فإن : الدوران الكلي بفعل الحمل الأفقي المطبق = الدوران الحاصل بفعل التشوه المحوري للأعمدة + دوران تشوه الجائز الصلب .

$$\Theta i = M / Kr = M / (2*(3EI/(d/2)) = Md / 12EI$$

$$\Theta s = M / Kr = (M / d) / ((EA)c*d/2L)$$

$$\Theta 1 = \frac{2M1(H-x1)}{d^2(EA)c} + \frac{2M2(H-x2)}{d^2(EA)c} + \frac{M1d}{12(EI)o} = \Theta s1 + \Theta i1\ (rotation\ at\ x1)$$

$$\Theta 2 = \frac{2(M1+M2)(H-x2)}{d^2(EA)c} + \frac{M2d}{12(EI)o} = \Theta s2 + \Theta i2\ (rotation\ at\ x2)$$

و من جهة أخرى نكامل عبارة العزم من أجل الحصول على الدوران الكلي :

$$\Theta 1 = \frac{1}{EI}\int_{x1}^{x2}(\frac{wx^2}{2} - M1)dx + \frac{1}{EI}\int_{x2}^{H}(\frac{wx^2}{2} - M1 - M2)dx = \Theta w1$$

$$\Theta 2 = \frac{1}{EI}\int_{x2}^{H}(\frac{wx^2}{2} - M1 - M2)dx = \Theta w2$$

نساوي بين المعادلات والمعادلات ٢و٤ على الترتيب و نعتبر ما يلي :

$$S = \frac{1}{EI} + \frac{2}{d^2(EA)c}$$

$$S1 = \frac{d}{12(EI)o}$$

وبالتالي نحصل على المعادلات التالية :

$$M1\left(S1 + S(H-x1)\right) + M2S(H-x2) = \frac{W}{6EI}(H^3 - x1^3) \qquad (5)$$

$$M1S(H-x2)+M2\left(S1+S(H-x2)\right)=\frac{W}{6EI}(H^3-x2^3) \qquad (6)$$

نكتب المعادلات السابقة بشكلها المصفوفي مع اعتبار المقادير الا بعدية التالية و التي تمثل النسبة بين صلابات النواة والأعمدة من جهة و النواة و الذراع الصلبة من جهة أخرى :

$$\frac{EI}{(EA)c\ d^2/2}=\alpha$$

$$\boldsymbol{\beta}\frac{EI.d}{(EI)o.H}=\beta$$

$$\frac{\beta}{12(1+\alpha)}=\frac{S1}{SH}=\omega$$

$$X1=\zeta 1H \qquad ,X2=\zeta 2H$$

ω - مؤشر الصلابة للجملة وهو مقدار لا بعدي يعبر عن علاقة تناسب بين مكونات الصلابة للجملة من : صلابات أذرع صلبة و نواة وأعمدة محيطية

وبالإعتماد على المقادير اللابعدية السابقة يمكن كتابة المعادلات 5,6بشكلها المصفوفي النهائي :

$$\frac{WH^3}{6EI}\begin{Bmatrix}1-\zeta 1^3\\1-\zeta 2^3\end{Bmatrix}=SH\begin{Bmatrix}\omega+(1-\zeta 1) & 1-\zeta 2\\1-\zeta 2 & \omega+(1-\zeta 2)\end{Bmatrix}.\begin{Bmatrix}M1\\M2\end{Bmatrix}$$

وبالتالي يمكن الحصول على قيم العزوم المطلوبة و بالتالي حل المسألة الإنشائية و عزل قيم عزوم المقاومة للدوران بفعل وجود الأذرع الصلبة $M1, M2$و هي التالية :

$$\frac{WH^2}{6EIS}.\begin{Bmatrix}\omega+(1-\zeta 1) & 1-\zeta 2\\1-\zeta 2 & \omega+(1-\zeta 2)\end{Bmatrix}^{-1}.\begin{Bmatrix}1-\zeta 1^3\\1-\zeta 2^3\end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix}M1\\M2\end{Bmatrix}$$

والعزم أسفل النواة يعطى عندها بالعلاقة :

$$\frac{WH^2}{2}-M1-M2=Mx$$

و تعطى عندها قيمة الإزاحة الجانبية بفعل الحمل المطبق حسب العلاقة التالية:

$$\Delta=\Delta LOAD-\Delta SPRING$$

$$\Delta=\frac{WH^4}{8EI}-\frac{1}{2EI}\left(M1(H^2-X1^2)+M2(H^2-X2^2)\right)$$

من المعادلات السابقة يمكن استنتاج المصفوفات اللازمة لحساب العزوم من أجل أي عدد من الأذرع الصلبة موزعة على ارتفاعات مختلفة من المبنى و هي التالية:

$$\begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ : \\ M_i \\ : \\ M_n \end{Bmatrix} = \frac{wH^2}{6EIS}[A]\{B\}^T$$

$$[A] = \begin{bmatrix} \omega+(1-\xi_1) & 1-\xi_2 & 1-\xi_3 & .. & 1-\xi_i & .. & 1-\xi_n \\ 1-\xi_2 & \omega+(1-\xi_2) & 1-\xi_3 & .. & 1-\xi_i & .. & 1-\xi_n \\ 1-\xi_3 & 1-\xi_3 & \omega+(1-\xi_3) & .. & 1-\xi_i & .. & 1-\xi_n \\ : & : & : & : & : & : & : \\ 1-\xi_i & 1-\xi_i & 1-\xi_i & .. & \omega+(1-\xi_i) & .. & 1-\xi_n \\ : & : & : & : & : & : & : \\ 1-\xi_n & 1-\xi_n & 1-\xi_n & .. & 1-\xi_n & .. & \omega+(1-\xi_n) \end{bmatrix}^{-1}$$

$$\{B\} = \{\, 1-\xi_1^3 \quad 1-\xi_2^3 \quad 1-\xi_3^3 \quad .. \quad 1-\xi_i^3 \quad .. \quad 1-\xi_n^3 \,\}$$

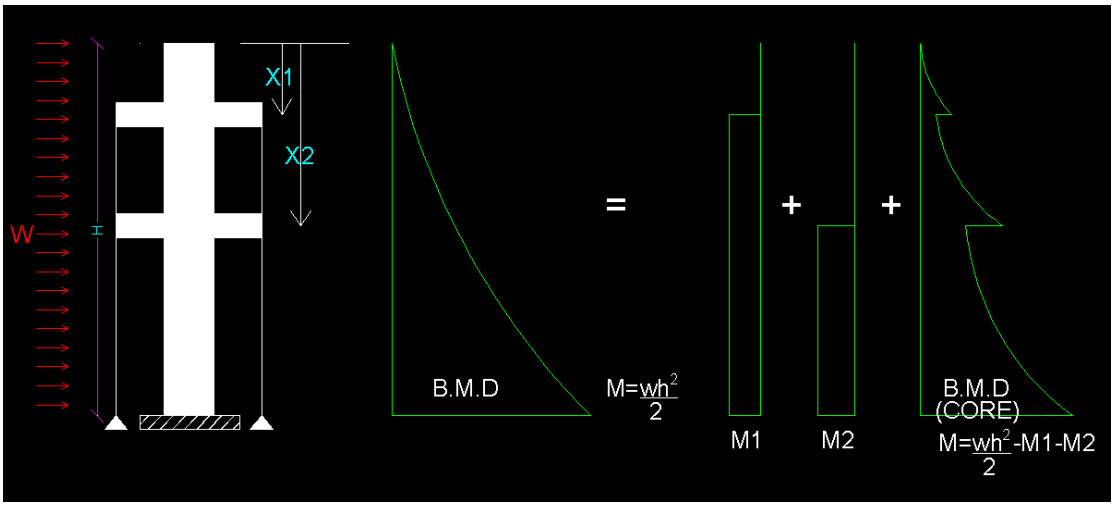
أما العلاقة اللازمة لحساب العزوم عند القاعدة للنواة فهي التالية :

$$M_x = \frac{wH^2}{2} - \sum_{i=1}^{n} M_i = \frac{wH^2}{2} - \frac{wH^2}{6EIS}\{B\}[A]^T\{e\}^T$$

$$\{e\} = \{\, 1 \quad 1 \quad 1 \quad .. \quad 1 \quad .. \quad 1 \,\}$$

و بالتالي تكون العلاقة اللازمة لحساب السهم الأفقي للمبنى هي التالية :

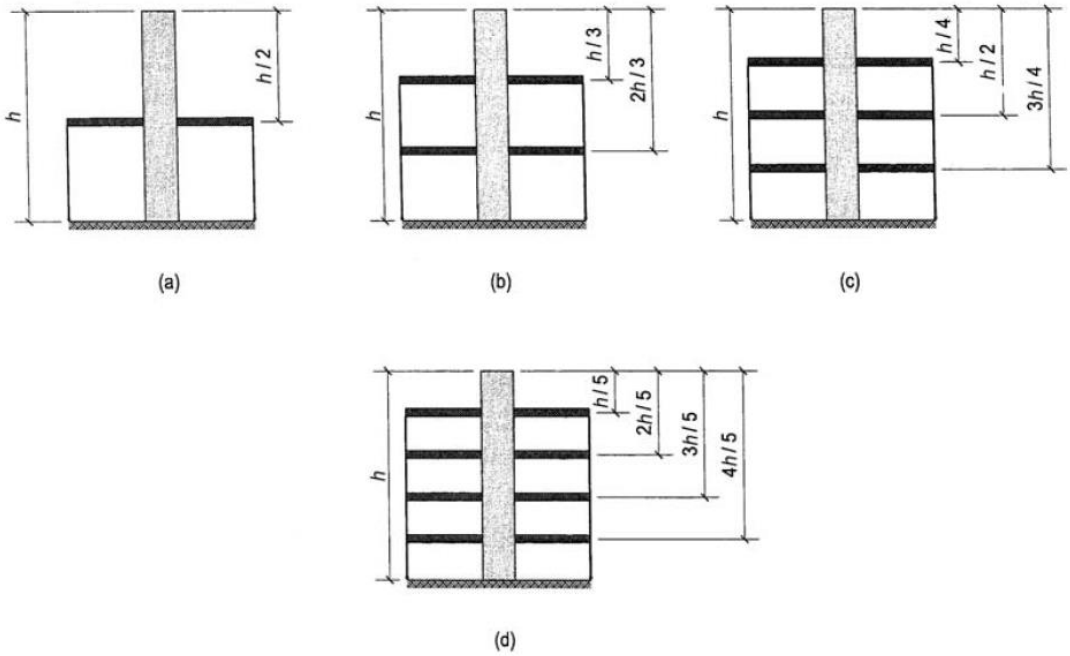
$$\Delta_0 = \frac{wH^4}{8EI} - \frac{H^2}{2EI}\sum_{i=1}^{n} M_i(1-\xi_i^2) = \frac{wH^4}{8EI} - \frac{wH^4}{12EI}\frac{1}{EIS}\{B\}[A]^T\{C\}^T$$



الشكل (٧) يبن مخطط العزم للنواة لجملة إنشائية ذات طابقي أزرع صلبة .

٤- تحديد الموقع الأفضل للطابق الصلب على ارتفاع المبنى : Optimum location of outriggers .

من أجل اختيار الموضع الأفضل للأذرع الصلبة على ارتفاع المبنى ، تم التوجه إلى حل المعادلة العامة لعدد غير محدد من الأذرع الصلبة و ذلك من أجل مجموعة من الحالات ، و ذلك عن طريق أخذ المشتق لمعادلة السهم الأفقي و مساواتها بالصفر و حل المعادلة الناتجة باعتبار إن المجهول هو موقع الذراع الصلب من جهة و قيمة مؤشر الصلابة من جهة ثانية . بنتيجة الحل تبين إن أفضل مواقع للطوابق الصلبة هي كما مبينة على الشكل (٨) وذلك حسب عددها .



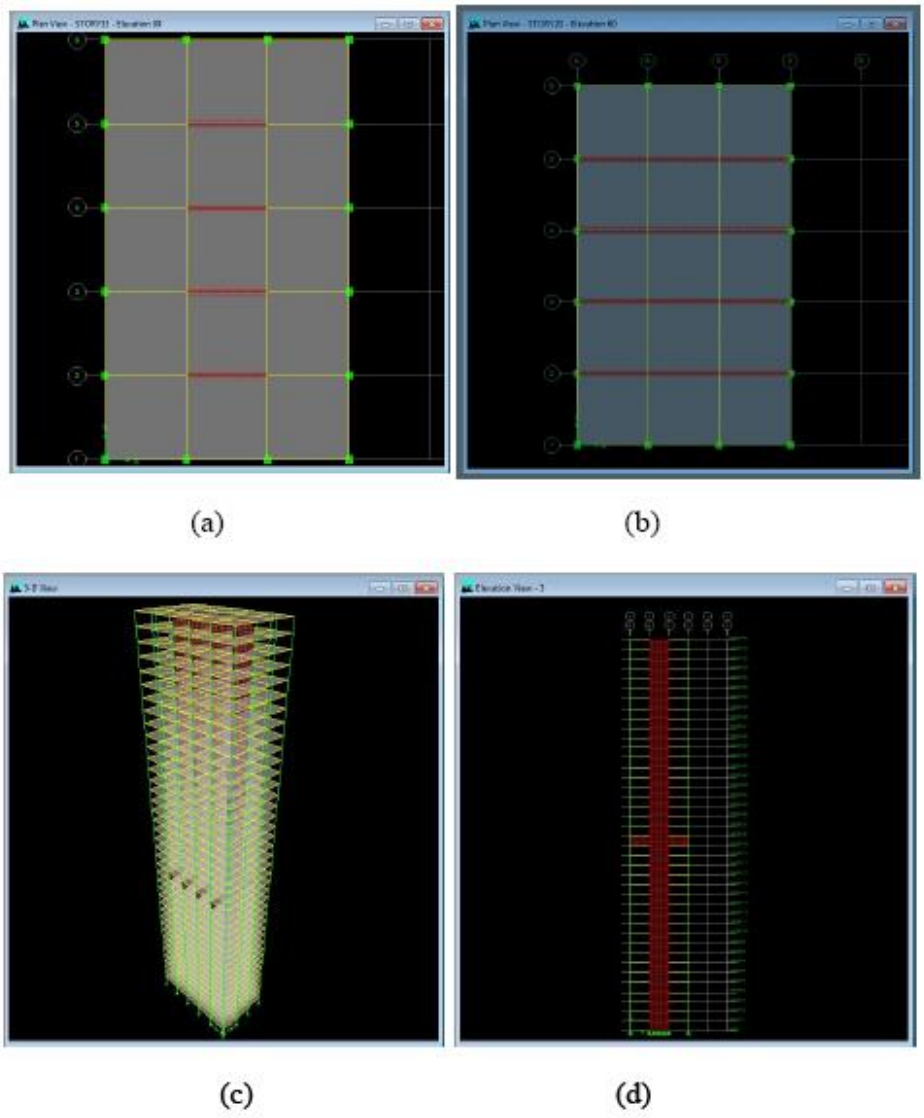
الشكل (٨) الموقع الأفضل للطوابق الصلبة حسب عددها .

٥- التحليل الإنشائي :

فرضيات الدراسة : بالإضافة إلى ما تم تبنيه من فرضيات تحليلية سابقا نضيف الفرضيات الخاصة بالنموذج المدروس: المبنى بارتفاع ٤٠ طابق ،ارتفاع الطابق ٣م ، تباعد الأعمدة في المسقط الأفقي ٦ م بالاتجاهين ، أو ٦م بالاتجاهين مع تعديل التباعد للفتحتين الطرفيتين ليصبح ١٠ م ، معامل مرونة البيتون المستخدم $31000000KN/m^2$ ،

إرتفاع الجوائز المستخدمة ٦٠ سم و عرضها ٣٠ سم ، الأعمدة مربعة طول ضلعها ٥٠سم ، سماكة جدران القص ٤٠سم ، الحمولة موزعة خطيا على عناصر الواجهة ، المبنى بكامله من البيتون المسلح بما فيه الطوابق الصلبة ، الشكل (٩) .

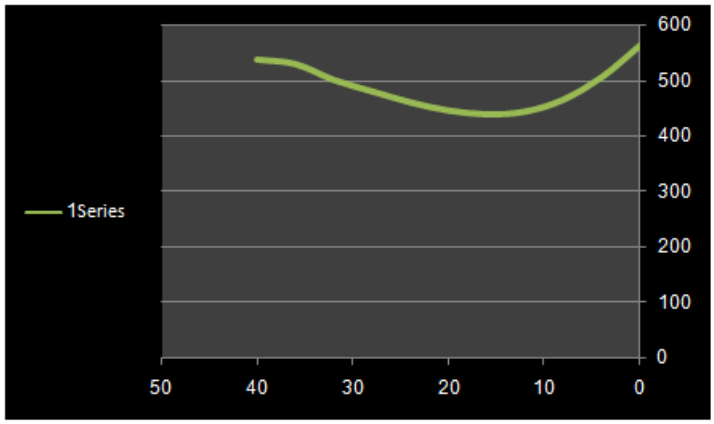
في المرحلة الأولى من الدراسة تم تطبيق حمل أفقي على واجهة المبنى مع إدخال طابق صلب واحد على المبنى الشكل (٩) ، تم تغيير موقع الطابق مع الارتفاع ، وقراءة الانتقال في مجمل الحالات و كانت النتائج هي التالية :



الشكل (٩) النوذج المدروس . a- مسقط أفقي للطابق المتكرر ، b- مسقط أفق لطابق لأذرع الصلبة ، c- منظور للمبنى ، d – مقطع شاقولي .

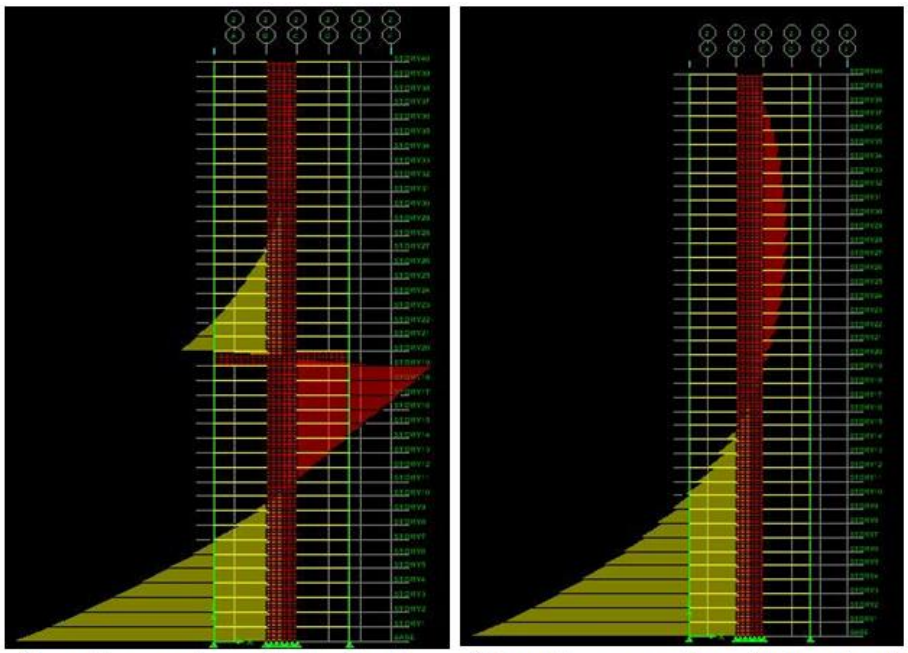
من الواضح أن أفضل النتائج تم الحصول عليها عند وضع الأذرع الصلبة في موقع يعادل وسط المبنى تقريبا"، حيث كان الانخفاض الأكبر في الإزاحة الجانبية بحدود ٢٣% من قيمتها بدون وجود طوابق أذرع صلبة الشكل(١٠)

Story	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Def mm	566	508	467	445	440	447	462	482	503	532	540

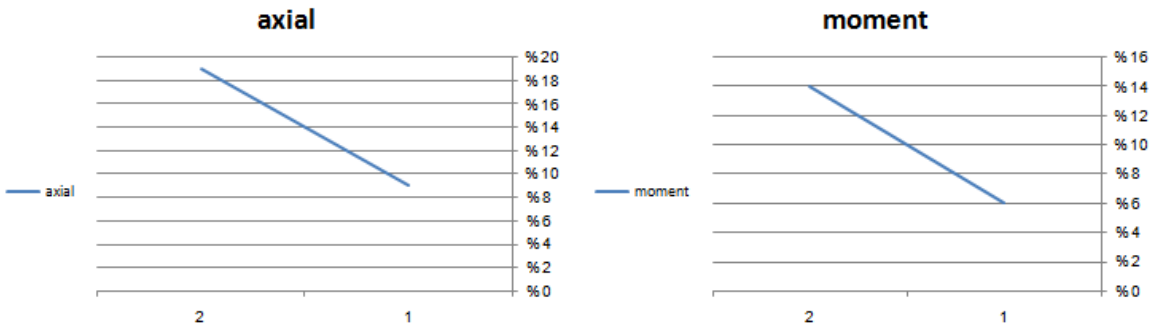


الشكل (١٠) تغير الإنتقالات في قمة البناء نتيجة تنغير موقع الطابق الصلب .

ومن أجل دارسة تأثير طول مجاز الأذرع الصلبة على قيم العزوم في الجدران الصلبة الشكل (١١) ، والقوى المحورية في الأعمدة المحيطية ، تم أخذ المثال السابق وفق حالتين : حالة أولى(١) طول المجاز ٦م ، الحالة الثانية (٢) طول المجاز ١٠م وكانت النتائج كما مبينة على الشكل (١٠) .



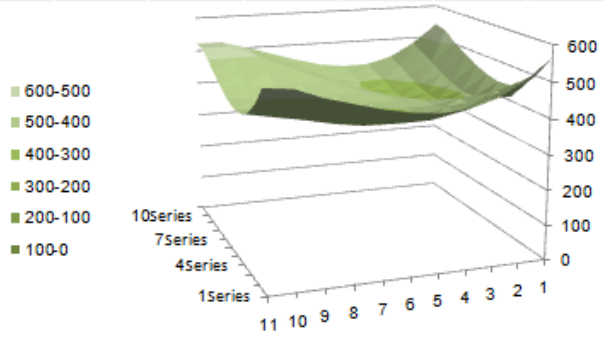
الشكل (١١) مخطط عزم الإنعطاف في جدران القص في حال وجود ذراع صلب .



الشكل (١١) تغير قيمة العزم في جدار القص ، والقوى المحورية في الأعمدة المحيطية وفق الحالتين (١) و(٢) ، مع وجود طابق صلب واحد .

تم إعادة نفس النموذج السابق مع وجود طابقين صلبين وكانت نتائج الدراسة كما مبين على الشكل (١٢) .

Story	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
0	566	508	467	445	440	447	462	482	503	532	540
4	508	450	450	418	403	402	411	428	447	466	483
8	467	450	418	418	392	382	384	395	411	429	443
12	445	418	418	404	404	385	379	384	396	410	424
16	440	403	392	404	408	408	394	392	399	410	422
20	447	402	382	385	408	423	423	415	416	424	432
24	462	411	384	379	394	423	445	445	442	446	452
28	482	428	395	384	392	415	445	472	472	472	476
32	503	447	411	396	399	416	442	472	499	499	500
36	532	466	429	410	410	424	446	472	499	522	522
40	540	483	443	424	422	432	452	476	500	522	522

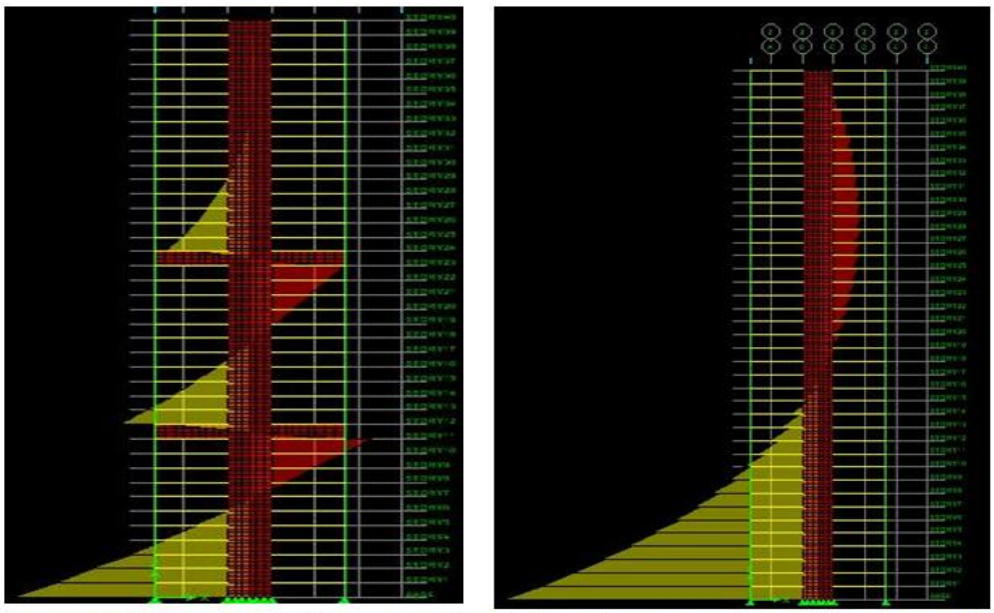


الشكل (١٢) الإنتقالات العظمى للمبنى في حال تغير مواقع الطوابق الصلبة (طابقين) مع الارتفاع .

من الواضح أن أفضل النتائج تم الحصول عليها عند وضع الأذرع الصلبة في موقع يعادل ٠,٣ من الإرتفاع و ٠,٦٥

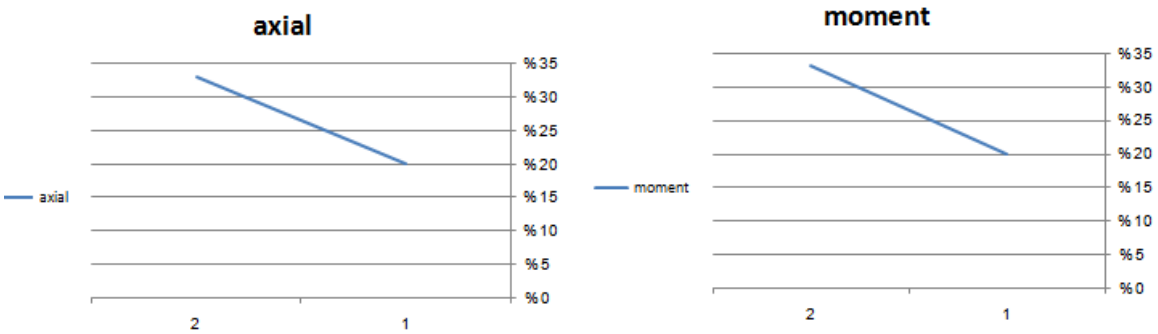
من الارتفاع أي تقريبا في ثلث و ثلثي المبنى و كان الانخفاض الأكبر في الإزاحة يعادل ٣٤% من قيمتها بدون وجود طوابق أذرع صلبة .

تغير قيمة العزوم في جدران القص والقوى المحورية في الأعمدة مبينة ، وفق الحالتين ، على الشكل (١٣)



العزم في جدار القص بحال عدم وجود ذراع صلبة

العزم في جدار القص بحال وجود طابقي أذرع صلبة



الشكل (١٣) تغير قيمة العزم في جدار القص ، والقوى المحورية في الأعمدة المحيطية وفق الحالتين (١) و(٢) ، مع وجود طابقين صلبين .

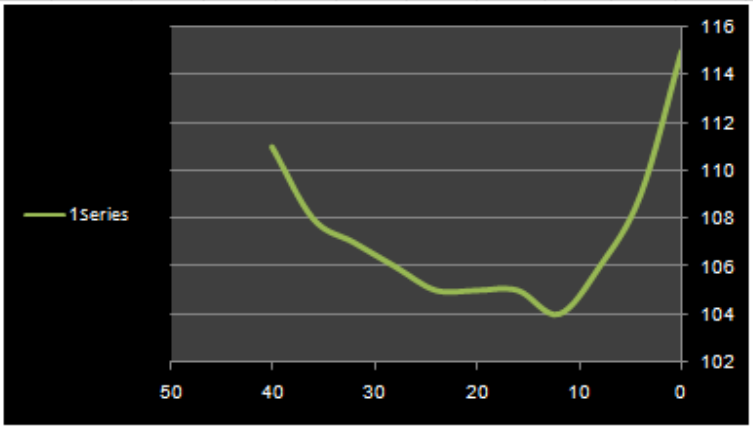
و بالتالي نلاحظ زيادة الفاعلية و الاستفادة من الأذرع الصلبة في حالة زيادة مجاز الذراع و ذلك بشكل كبير .

٦- دراسة السلوك الديناميكي :

في هذه المرحلة من الدراسة قمنا بالبحث عن الموقع الأفضل لتوضع الأذرع الصلبة و ذلك من خلال دراسة السلوك الديناميكي للمنشأ . تم تطبيق طيف استجابة نظامي على المنشأ حسب الكود العربي السوري ، المطابق للكود الأمريكي chapter 2 –UBC97 ، مع إعتبار Ca =0.25, Cv=0.25 (حسب ملحق الكود السوري) .

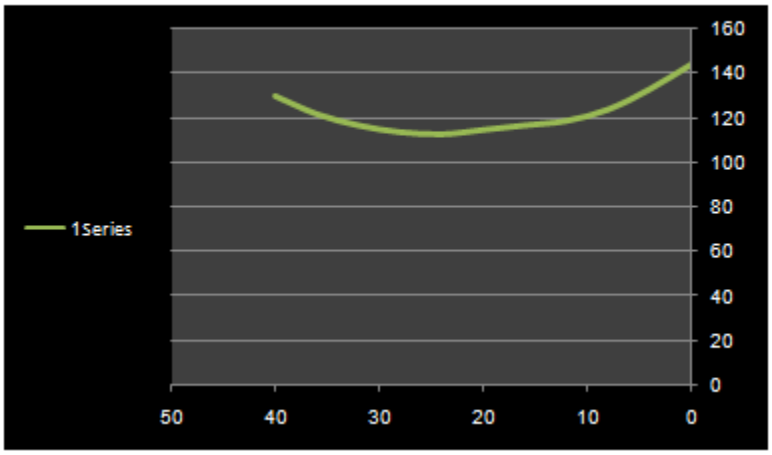
في المرحلة الأولى من الدراسة تم إدخال طابق صلب واحد على المبنى و تم تغيير موقع الطابق مع الارتفاع للمبنى و قراءة الانتقال في مجمل الحالات و النموذج هو نفس النموذج السابق غير المعدل بفتحات طرفية ٦ حالة (١) ، متر و١٠ م حالة (٢) و كانت النتائج كما مبين على الأشكال (١٤-١٥) . كما تم دراسة سلوك الجملة السابقة ديناميكيا و مراقبة السلوك الديناميكي للمثال السابق من أجل طابقي أذرع صلبة موضوعين في المكان الأفضل للأداء أي في الطوابق ١٢-٢٤ . جميع الفرضيات المتبناة سابقا تم تبنيها في هذه المرحلة من الدراسة و النموذج هو نفس النموذج السابق غير المعدل بفتحات طرفية ٦ متر . نظام الكتل المستخدم في التحليل هو نظام الكتل المجمعة في مراكز الطوابق أو ما يعرف ب Lumped mass و تم التحليل حسب طريقة أشعة ريتز ، باستخدام طريقة القيم الذاتية في حل مسألة الأنماط .

Story	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Def mm	115	109	106	104	105	105	105	106	107	108	111



الشكل (١٤) الإزاحة الجانبية العظمى للمبنى مع تغير موقع الطابق الصلب على ارتفاع البناء ومجاز الطابق الصلب ٦م .

Story	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Def mm	144	133	124	119	117	115	113	114	117	122	130



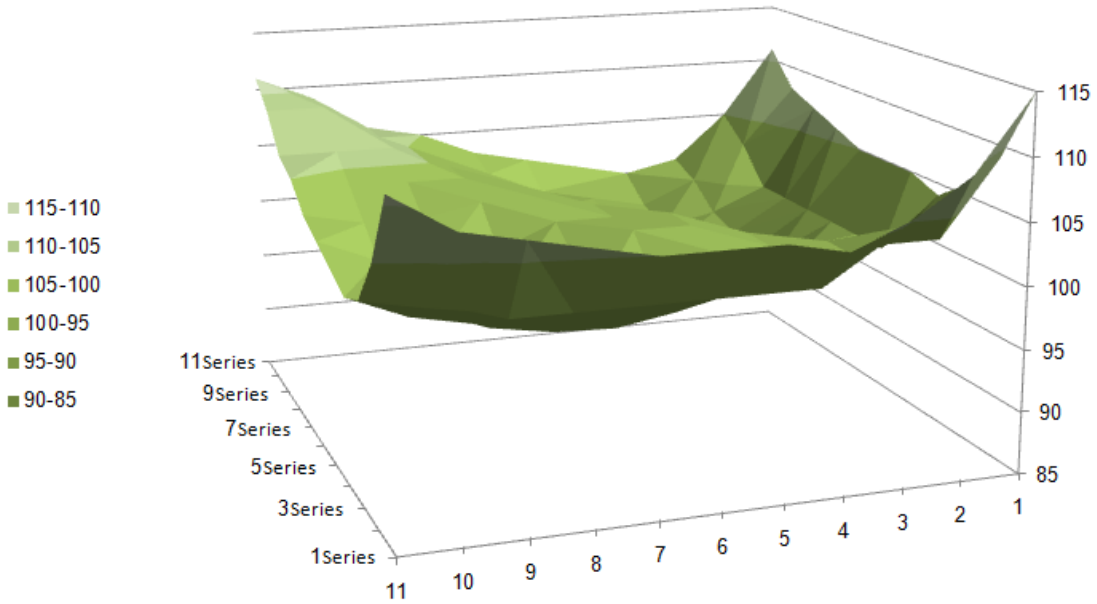
الشكل (١٥) الإزاحة الجانبية العظمى للمبنى مع تغير موقع الطابق الصلب على ارتفاع البناء ومجاز الطابق الصلب ١٠م .

من الواضح أن أفضل النتائج تم الحصول عليها **الحالة (١) :** عند وضع الأذرع الصلبة في موقع يعادل ما بين ثلث المبنى و ثلثيه حيث كان الانخفاض في الإزاحة الجانبية بحدود ١٠% من قيمتها بدون وجود طوابق أذرع صلبة ، **الحالة (٢) :** عند وضع الأذرع الصلبة في موقع يعادل ثلثي المبنى ، حيث كان الانخفاض في الإزاحة الجانبية بحدود ٢٢ % من قيمتها بدون وجود طوابق أذرع صلبة

وهذه النتيجة غير مماثلة للحالة النظرية المدروسة ، في حالة الحمل الموزع بانتظام حيث كان الموقع الأفضل في وسط المبنى .

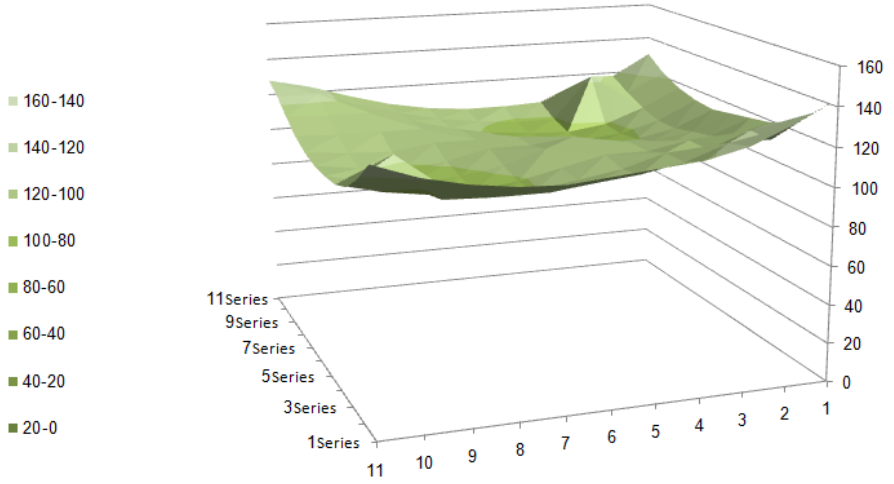
تمت دراسة إدخال طابقين صلبين على المبنى وتم تغيير مواقع الطوابق الصلبة مع الارتفاع للمبنى و قراءة الانتقال في مجمل الحالات حيث تمت دراسة المبنى من أجل حالتين تباعد للفتحات الطرفية من أجل ٦ م و ١٠م و كانت النتائج هي التالية (١٦-١٧) :

Story	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
0	115	109	106	104	105	105	105	106	107	108	111
4	109	103	103	100	100	100	100	100	100	103	105
8	106	103	101	101	98.9	97.8	97	97.2	98	100	101
12	104	100	101	101	101	99	98	97	97	98	100
16	105	100	98.9	101	102	102	100	99	98	99	101
20	105	100	97.8	99	102	102	102	100	99.7	100	102
24	105	100	97	98	100	102	103	103	102	102	103
28	106	100	97.2	97	99	100	103	104	104	104	105
32	107	100	98	97	98	99.7	102	104	106	106	106
36	108	103	100	98	99	100	102	104	106	109	109
40	111	105	101	100	101	102	103	105	106	109	111



الشكل (١٦) الإزاحة الجانبية العظمى للمبنى باستخدام طابقين صلبين مع تغير موقع الطوابق الصلبة مع الارتفاع من أجل مجاز الطابق الصلب ٦م .

Story	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
0	144	133	124	119	117	115	113	114	117	122	130
4	133	121	121	113.2	109	106.7	104	104	107	112	118
8	124	121	113	113	106.6	103	99.5	98	99	123	109
12	119	113.2	113	109	109	104	99	96	96	99.3	105
16	117	109	106.6	109	109	109	102	98	97	99	104
20	115	106.7	103	104	109	106	106	101	99	101	104
24	113	104	99.5	99	102	106	106	106	103	104	106
28	114	104	98	96	98	101	106	109	109	109	110
32	117	107	99	96	97	99	103	109	115	115	116
36	122	112	123	99.3	99	101	104	109	115	123	123
40	130	118	109	105	104	104	106	110	116	123	128



الشكل (١٧) الإزاحة الجانبية العظمى للمبنى باستخدام طابقين صلبين مع تغير موقع الطوابق الصلبة مع الارتفاع من أجل مجاز الطابق الصلب ١٠م .

(٢): في موقع يعادل ٠,٣ من الارتفاع و ٠,٦ من الارتفاع ، أي تقريبا في ثلث و ثلثي المبنى و كان الانخفاض الأكبر في الإزاحة يعادل ٣٤% من قيمتها بدون وجود طوابق أذرع صلبة . هذه النتيجة مقاربة للحالة النظرية المدروسة في حالة الحمل الموزع بانتظام ولكنها غير مطابقة لاختلاف شكل الحمل .

لدراسة تأثير وجود الطوابق الصلبة على الخواص الديناميكية للجملة الإنشائية قمنا بدراسة دور الاهتزاز والأنماط الأساسية وكانت النتائج كما يلي :

- في حال عدم وجود طوابق أذرع صلبة كانت الدوار و الأنماط الأساسية هي التالية :

- Mode 1 y trans T= 6.83 sec
- Mode 2 x trans T= 4.97 sec
- Mode 3 z rotat T= 4.46 sec

- في حال وجود طوابق أذرع صلبة كانت الدوار و الأنماط الأساسية هي التالية :

- Mode 1 y trans T= 6.83 sec
- Mode 2 x trans T= 3.99 sec
- Mode 3 z rotat T= 3.89 sec

من الواضح أن أفضل النتائج تم الحصول عليها عند وضع الأذرع الصلبة في الحالتين (١) و

ومن ما سبق نلاحظ أن وجود الأذرع الصلبة قلل الدور في اتجاه عملها بنسبة ٢٠% وقلل دور الفتل العام للمنشأ بنسبة ١٣% و ذلك بسبب زيادة الصلابة الجملة الإنشائية بكاملها و رفع صلابة المبنى بشكل كبير بفعل سلوك النابض المقاوم للحركة و المؤلف من الذراع الصلب وأعمدة الاستناد و الاتصال الصلب بجدران القص الداخلية .

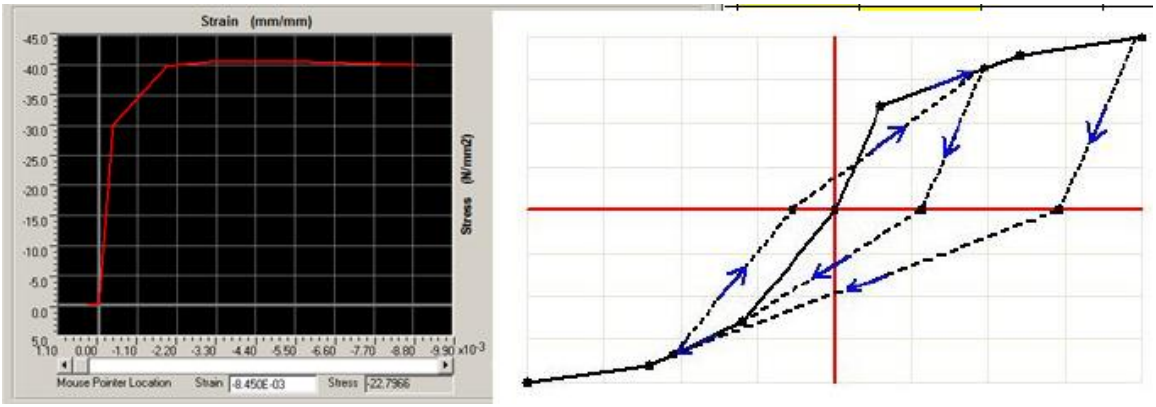
يمكن تلخيص نتائج التحليل المرن لحالة الحمل الاستاتيكي ، وحالة الحمل الديناميكي (تحليل الطيف) كما مبين في الجدول التالي :

زيادة القوى المحورية في الأعمدة تباعد ١٠م	نقصان عزم النواة تباعد ١٠م	زيادة القوى المحورية في الأعمدة تباعد ٦م	نقصان عزم النواة تباعد ٦م	الانخفاض في الإزاحة ١٠م	الانخفاض في الإزاحة ٦م	الموقع الأفضل لحالة ١٠م	الموقع الأفضل لحالة ٦م	الحمل المدروس	الحالة المدروسة
%١٩	%١٤	%٩	%٦	%٢٦	%٢٣	0.5h	0.5h	حمل استاتيكي	طابق واحد
%٣٣	%٣٣	%٢٠	%٢٠	%٣٦	%٣٤	0.3&0.6h	0.3&0.6h		طابقين
%١٠	%٥,٥٥	%٨	%٢	%٢٢	%١٠	0.6h	0.3=>0.6h	تحليل الطيف	طابق واحد
%٣	%٨	%١٢	%٦	%٣٤	%٣٤	0.3&0.65h	0.3&0.6h		طابقين

٧- التحليل الإنشائي بطريقة الدفع الإستاتيكي اللاخطي . Push over analysis:

قمنا بدراسة عدة نماذج من أجل معرفة السلوك الحقيقي للأذرع الصلبة ، المكونة من جدران بيتونية مسلحة ، في مراحل السلوك اللاخطي للمنشأ وفهم ميكانيزم الانهيار المحتمل للمنشأ المزود بطوابق أذرع صلبة بيتونية مسلحة . نستنتج من كل ما سبق دراسته بان زيادة قساوة الطابق الصلب ووضعه في المكان الأفضل للأداء على ارتفاع المبنى ، يقلل بشكل كبير من الإزاحة الجانبية للمبنى ويقلل من عزوم الإنعطاف المتولدة في جدران القص مع زيادة قوى المحورية (الضغط) في الأعمدة ، عند تعرضه لأحمال أفقية ، وهذا مناسب جداً لفعالية العناصر البيتونية المسلحة . لكن الزيادة الكبيرة و المبالغ فيها في قساوة الطابق الصلب قد تسبب قفزة كبيرة في الصلابة الجانبية في مكان وجود الطابق الصلب . هذا الفرق الكبير في الصلابة قد يسبب ظهور حالة الطابق اللين المجاور للطابق الصلب و الذي قد يكون السبب في حدوث كارثة للمبنى .لذلك فإن إضافة الطابق الصلب يجب أن يكون بصلابة محدودة حتى لا تظهر حالة الطابق اللين في المبنى .هذه المسألة يعالجها التحليل اللاخطي للمبنى حيث لا بد من دراسة تسلسل تشكل المفاصل اللدنة في الجملة بما يضمن عدم تشكل طابق لين في المبنى [6] . يعرف الطابق اللين حسب الكود الأمريكي بأنه الطابق الذي تقل نسبة قساوته عن قساوة الطابق الذي يعلوه عن ٧٠%أو عن ٨٠% من معدل القساوة النسبية للطوابق الثلاثة الواقعة فوقه .

فرضيات التحليل : يبين الشكل (١٨) مخطط إجهاد-تشوه للبيتون المعتمد في النموذج ،المقاومة الإسطوانية المميزة للبيتون المستخدم 40MPa ، المنحني المستخدم في التمثيل هو منحني ماندر الذي يعتمد على المقاومة المميزة في تمثيل مخطط إجهاد-تشوه للبيتون ، تم إهمال الشد في البيتون ، تم اعتماد تمثيل لا خطية وفق الحلقة الهستيرية للبيتون المسلح كما مبين في الشكل (١٧) . أما بالنسبة لخصائص المفاصل اللا خطية للجوائز و الأعمدة فقد تم اعتماد البارومترات الموجودة في جداول FEMA 356 TABLE 6&7 ، تم تعريف الأذرع الصلبة كعنصر قشري لا خطي .

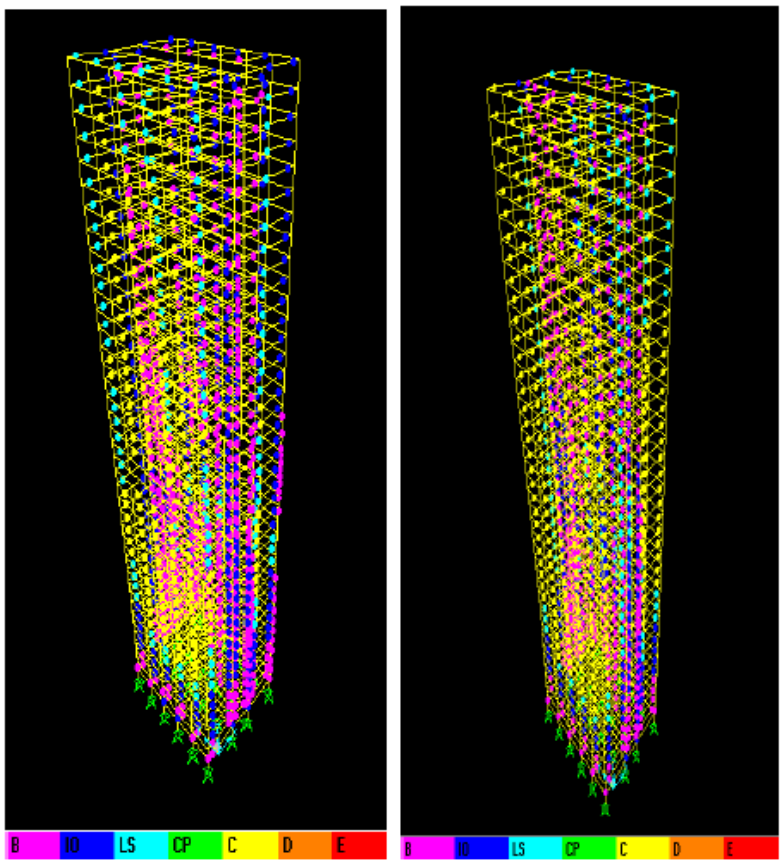


الشكل (١٨) منحني إجهاد – تشوه للبيتون والحلقة الهستيرية المعتمدة في فرضيات التحليل لا خطي للنموذج المعتمد .

النموذج المدروس هو المبنى السابق من أجل طابق أذرع صلبة واحد ، موضوع في المكان الأفضل على الأداء في وسط المبنى . تم تطبيق انتقال أفقي في أعلى المبنى باتجاه عمل الأذرع الصلبة على مراحل و تم إجراء التحليل اللدن .تم في المرحلة الأولى دراسة مبنى ذات مقاطع أعمدة مربعة ٧٠*٧٠ .

تم تحليل المبنى بدون وجود أذرع صلبة ولوحظ ما يلي : تشكل المفاصل اللدنة في أطراف جوائز المبنى أولا ، تلاها تشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة و ظهر ميكانيزم انهيار مناسب و ملائم للمبنى .الانتقال الجانبي الأعظمي اللدن للمبنى ٢,٩٠٥م ، الشكل (١٩) .

بعد إدخال أذرع صلبة على المبنى و التحليل لوحظ ما يلي: تشكل المفاصل اللدنة في أطراف جوائز المبنى أولا ، تلاها تشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة و ظهر ميكانيزم انهيار مناسب و ملائم للمبنى ، لكن تشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة كان بشكل أكبر بالنسبة لحالة عدم وجود أذرع صلبة. تشكلت مفاصل لدنة في جميع أعمدة استناد الطابق الصلب ، في الطابق السفلي الأمر الذي لم يتم ملاحظته في حال عدم وجود الطابق الصلب لجميع الأعمدة السفلية . ظهور مفاصل لدنة في الأعمدة المجاورة للأذرع الصلبة في وسط المبنى الأمر الذي لم تتم ملاحظته لحال عدم وجود الأذرع (تبقى احتمالية تشكل طابق لين قائمة) ، الانتقال الجانبي ألأعظمي اللدن للمبنى ٣,١٢م .



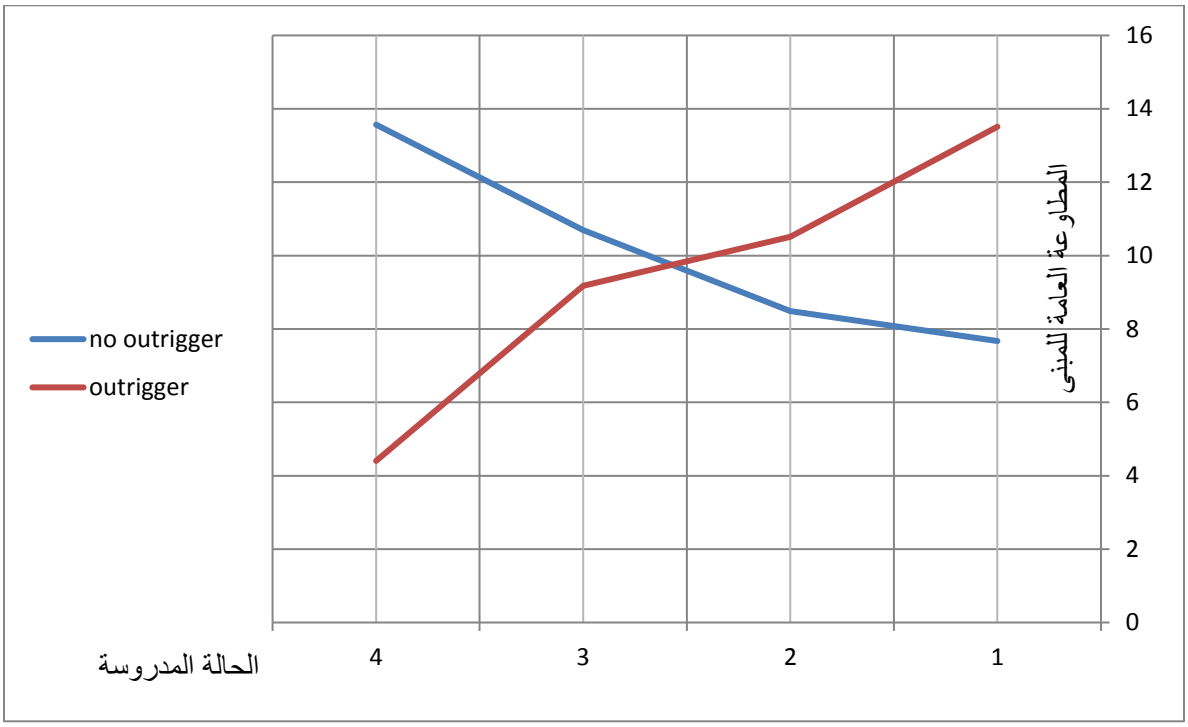
الشكل (١٩) ميكانيزم انهيار للمبنى في حالتين : a- مبنى مع طابق صلب ، b- بدون طابق صلب.

بهدف دراسة تأثير نسبة صلابة الجملة الإنشائية الشاقولية مع الطوابق الصلبة وتأثيرها على أداء وسلوك المبنى وعلى مطاوعة الجملة الإنشائية واختيار القيمة المثلى ، قمنا بتغيير مقاطع الأعمدة للجملة وفق أربع حالات : (١) ٧٠×٧٠، (٢) ٨٠×٨٠، (٣) ٩٠×٩٠، (٤) ١١٠×١١٠ . وكانت النتائج كما مبينة في الجدول (٢) .

جدول (٢) يبين نتائج دراسة تغير مقاطع الأعمدة على سلوك الجملة الإنشائية مع وبدون وجود الطوابق الصلبة .

	column section	70X70	80X80	90X90	110X110
no outrigger	total deformation Cm	290.5	298.9	310	320.5
	elastic deformation Cm	33.5	31.5	26.5	22
	plastic deformation Cm	257	267.4	283.5	298.5
	المطاوعة العامة للمنشأ	7.671642	8.488889	10.69811	13.56818
	stiffnes Kn/mm	6.5	7	7.4	8.1
outrigger	total deformation Cm	312	305	285	140.5
	elastic deformation Cm	21.5	26.5	28	26
	plastic deformation Cm	290.5	278.5	257	114.5
	المطاوعة العامة للمنشأ	13.51163	10.50943	9.178571	4.403846
	stiffnes Kn/mm	11	12	12.7	13.9

الشكل (٢٠) يبين مخطط بياني لتغير قيم المطاوعة في حالة وجود الطابق الصلب وعدم وجوده لكافة الحالات السابقة .



الشكل (٢٠) مخطط بياني يبين تغير المطاوعة العامة للمبنى مع تغير مقاطع الأعمدة ، مع وبدون طابق صلب .

نلاحظ من الجدول ومن المخطط البياني بأن المطاوعة (نسبة التشوه الأفقي اللدن على التشوه الأفقي المرن) تقل بشكل ملحوظ في حال وجود الطابق الصلب ،على عكس حالة عدم وجوده ، بينما القساوة الجانبية في الحالتين تزداد .

إن الحالة المثالية للتصميم ، في حال وجود الطابق الصلب ، تكون في نقطة تقاطع المنحنيين ، في حالتنا المدروسة تكون عندما تكون أبعاد الأعمدة بين الحالة الثانية والثالثة . في هذه الحالة نستفيد من ميزات الطابق الصلب في تخفيض الإزاحة الجانبية للمبنى وتقليل العزوم في مقاطع جدران القص ، مع زيادة القوى المحورية (الضغط) في الأعمدة ، ونتجنب مساوئ ظهور المفاصل اللدنة في الأعمدة المجاورة للطابق الصلب (مساوئ الطابق اللين) .

٨- النتائج والتوصيات :

١- استخدام الجمل الإنشائية الحاوية على الطوابق الصلبة ، على شكل جدران بيتونية مسلحة أفقية ، يمكن أن يكون حلاً عملياً مناسباً للأبنية العالية في الظروف التكنولوجية المحلية .

٢- وجود الطوابق الصلبة يغير من طبيعة السلوك الظفري للمبنى على الأحمال الأفقية ويقلل من الانتقالات الجانبية للمبنى ، التي تعتبر إحدى المحددات لتصميم الأبنية العالية ، ويسبب ظهور قوى محورية إضافية شد و ضغط في الأعمدة ، ويقلل من قيم عزوم الإنعطاف في جداران القص الداخلية ، ويعتبر هذا السلوك ملائم للمنشآت البيتونية المسلحة .

٣- وجود الطوابق الصلبة يرفع من القساوة الجانبية الكلية للمبنى (عامل ايجابي) ، ولكن بنفس الوقت تتناقص المطاوعة العامة للمبنى (عامل سلبي) .

٤- الموقع الأفضل للطوابق الصلبة يتعلق بقيمة مؤشر الصلابة للجملة أي بقيمة كل من صلابة النواة و الذراع الصلب وأعمدة الاستناد المحيطية والعلاقة المتبادلة بينهم ، لذلك لابد من إجراء دراسة خاصة لكل حالة ولكل بناء .

٥- إن النتائج التي تم الحصول عليها ، في هذه الدراسة ، هي صحيحة و دقيقة ضمن الفرضيات التي تمت الدراسة على أساسها . في الواقع العملي يمكن الاعتماد على هذه النتائج كمؤشر هام و أساسي من أجل تحديد مواقع الطوابق الصلبة الملائمة .

٦- لابد من إجراء التحليل اللدن لأي مبنى عالي في حال استخدام نظام طوابق الصلبة في التصميم وذلك للاستفادة منها بشكل فعال ، وتلافي السلبيات من وجودها .

التوصيات : يمكن استكمال البحث بدراسة حالة الأجهاد – تشوه للجدران البيتونية المسلحة المستخدمة كطوابق صلبة وذلك وفق المتغيرات الفيزيائية والهندسية لها (الأبعاد ، المجاز ، المواد ...الخ) واستنتاج القيم المثلى لهذه المتغيرات مع تغير الجملة الإنشائية الشاقولية للمبنى .

٩- المراجع المستخدمة :

1. Tall building structure: analysis and design , Bryan Stafford Smith & Alex coull , canada, 1991
2. OPTIMIZED USE OF MULTI-OUTRIGGERS SYSTEM TO STIFFEN TALL BUILDINGS , Z. Bayati, M. Mahdikhani and A. Rahaei , IRAN ,2008
3. Introduction to Tall Building Structures , Dr. C.M. Chan ,2006
4. Behavior of Outrigger Beams in High rise Buildings under Earthquake Loads , N. Herath, N. Haritos, T. Ngo & P. Mendis , Melbourne,2009
5. Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects , Mir M. Ali† and Kyoung Sun Moon , Champaign , 2007
6. STRUCTURAL PERFORMANCE OF MULTI-OUTRIGGERBRACED TALL BUILDINGS , J. R. WU AND Q. S. LI , *Hong Kong , 2003*
7. WIND and EARTHQUAKE RESISTANT BUILDINGS STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN , BUNGALE S. TARANATH P**h**.D., S.E., California , 2005
8. ACI 318-05 American concrete institute
9. Reinforced Concrete Design of Tall Buildings Bungale S. Taranath, Ph.D., P.E., S.E.
10. Performance of Building Structures with Outrigger Trusses Subjectedto Loss of a Column , J. Kim, Y. Jun and J. Park
11. Super Tall Building Design Approach , Hi Sun Choi, P.E.
12. Introduction to Tall Building Structures , Dr. C.M. Chan
13. A Comparison Study of Conventional Construction Methods and Outrigger Damper System for the Compensation of Differential Column Shortening in High-rise Buildings , Kidong Park١, Daeyoun Kim،١*, Donghyun Yang١, Daeki Joung،١Inho Ha٢, and Sangdae Kim٣
14. RELATIONSHIP BETWEEN OUTRIGGER POSITION AND EXTERNAL COLUMNS SIZE IN MINIMIZING B UILDING RESPONSE TO WIND , ABDULKAREEM MUYIDEEN OLADIMEJI
15. الكود العربي السوري للبيتون المسلح ٢٠٠٤ دمشق