Study of a Local Silo Using Nonlinear Static Analysis and Rehabilitation

Dr. Neman Hamzeh Issa*

(Received 10 / 2 / 2020 . Accepted 11 / 3 / 2020)

□ ABSTRACT □

The importance of cylindrical concrete silos is due to their use in storing vital materials and is considered very important strategically.Therefore, storage silos are considered to be private structures that are subjected to unusual collapses due to multiple and unusual loads. Earthquakes Due to the exposure of the storage material to the earthquakes, it significantly increases the pressure on the walls of the silos. Silos still retain their importance as a research topic, but few studies on the response of these facilities to seismic loads can be found, and few national or international codes include requirements for the seismic design of silos.
The silo selected for the study is in the Tartous Cement Factory, which was carried out in 1982 and stored (raw materials for the manufacture of cement - cement - additives for cement), and the silo is studied according to the German code and is not studied on earthquakes.
The purpose of this study is to study the silo implemented through a case study using nonlinear static analysis (pushover), by conducting an applied analytical study on a vacuum model (3D) of the silo and to propose different reinforcing solutions (rehabilitation) of the case and compare them to mitigate the damage caused by earthquakes. Where the results of the analysis showed that the rehabilitation using steel jacket gave a compliance, which leads to the increase of the transitions reversed the rehabilitation of concrete jacket that led to the reduction.

Keywords: Silo, pushover, rehabilitation.

*Assistant Professor, Department of Structural Engineering – Faculty of Civil Engineering - Tishreen University– Lattakia – Syria Nissa1960@gmail.com//numanissa@tishreen.edu.sy

دراسة صومعة محلية باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي وإعادة تأهيلها

د. نعمان حمزة عيسى*

(تاريخ الإيداع 10 / 2 / 2020. قُبِل للنشر في 11/ 3 / 2020)

□ ملخّص □

ترجع أهمية الصوامع الخرسانية المسلحة الاسطوانية الشكل إلى استخدامها في تخزين المواد الحيوية وتعتبر استراتيجياً مهمة جداً، لذلك تعتبر صوامع التخزين من المنشآت الخاصة التي تتعرض للانهيارات غير العادية نتيجة لتعرضها لأحمال متعددة وغير مألوفة بالإضافة الى ان الصوامع المرفوعة تختلف في السلوك الإنشائي عن الصوامع على الارض عند تعرضها للهزات الارضية نظراً لتعرض مادة التخزين للهزات الارضية لذلك تعمل على زيادة جوهرية للضغط على حوائط الصوامع وقد يؤدى تعثر هذه المنشآت من خلال حركة الارض القوية الى أحداث خطيرة. لا تزال الصوامع تحتفظ بأهميتها كموضوع بحثي، إلا أن القليل من الدراسات المتعلقة باستجابة هذه المنشآت للحمولات الزلزالية يمكن العثور عليها، والقليل من الكودات الوطنية أو الدولية تشمل الاشتراطات المتعلقة بالتصميم الزلزالي للصوامع.

الصومعة المختارة للدراسة قائمة في معمل اسمنت طرطوس نفذت سنة 1982 ويخزن فيها (المواد الأولية لصناعة الإسمنت – الإسمنت – المواد المضافة للإسمنت)، والصومعة مدروسة على الرياح وفق الكود الألماني (الشرقي في حينه) وهي غير مدروسة على الزلازل.

يهدف هذا البحث إلى دراسة الصومعة المنفذة من خلال حالة دراسة باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي، وذلك بإجراء دراسة تحليلية تطبيقية على نموذج فراغي (3D) للصومعة واقتراح حلول تدعيمية مختلفة (اعادة تأهيل) للحالة والمقارنة بينها لتخفيف الاضرار الناجمة عن الزلازل حيث تبين بنتائج التحليل أن التدعيم باستخدام التطويق المعدني أعطى مطاوعة مما يؤدي الى زيادة الانتقالات اللامرنة عكس التدعيم بالقميص البيتوني الذي أدى الى تخفيضها.

الكلمات المفتاحية: الصومعة، التحليل الستاتيكي اللاخطي، التدعيم.

* مدرّس– قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.
Nissa1960@gmail.com//numanissa@tishreen.edu.sy

مقدمة:

تعتبر منشآت الصوامع (Silos) من المنشآت الخاصة والهامة في الحياة العملية نظراً لشكلها الهندسي وخصوصيتها الوظيفية في تخزين المواد الصلبة والسائلة. بالتالي من الضروري دراسة كافة المؤثرات الخارجية التي ستتعرض لها خلال مرحلة الاستثمار، وخاصة التأثيرات الزلزالية منها بهدف حمايتها وتأمين استقرارها الهندسي والمحافظة على ديمومتها، حيث تعتبر المركبات الأفقية للهزات الأرضية بفعل الزلازل هي الأكثر ضرراً على المنشآت، ولقد تناول العديد من الباحثين هذه المسألة في دراستهم منهم:

- قام الباحثان (Yakhchalian، NATEGHI) [1] بدراسة السلوك الزلزالي للصوامع بنسب مختلفة للارتفاع إلى القطر، مع الأخذ بالاعتبار تفاعل المواد الحبيبية مع الهيكل، حيث درس الباحثان في هذا البحث السلوك الزلزالي للصوامع المعدنية، بالاعتماد على نسب مختلفة من الارتفاع إلى القطر، وتفاعل المواد الحبيبية مع هيكل الصومعة، باستخدام برنامج ABAQUS و بالاعتماد على الكود الأوربي 8، حيث اعتبر الباحثان السلوك الزلزالي للمواد داخل الصومعة غير خطي، ونموذج التفاعل بين جدار الصومعة و المواد الحبيبية (نموذج اتصال سطح – سطح) حسب قانون كولوم للاحتكاك مع مراعاة قيمة ثابتة لتوزيع التسارع على كامل ارتفاع الصومعة.

وخلص الباحثان إلى أنه بالنسبة للصوامع ذات نسب الارتفاع إلى القطر القليلة فإن اهتزاز المواد الحبيبية في القسم الأعلى من الصومعة، يؤثر بشكل هام في تردد التجاوب السائد.

- قام (Rajani S Togarsi) [2] بدراسة استجابة الصوامع البيتونية المسلحة لأحمال الزلازل في هذه الدراسة، تم دراسة نموذجين من صوامع الخرسانة المسلحة الأولى مستندة على جدران قص وأعمدة، والثانية مستندة على أعمدة فقط مع الأبعاد الهندسية نفسها للصومعتين، تم تصميم هاتين الصومعتين باستخدام برنامج SAP 2000. وقد تم دراسة النموذجين (فارغة ومليئة جزئيًا ومليئة تمامًا بمواد التخزين).

توصل الباحث الى:

- يزداد الانتقال الجانبي مع زيادة في الكتلة والصلابة.
- تتعرض الصوامع المملوءة بالكامل إلى انتقالات جانبية عالية مقارنة بالصوامع نصف ممتلئة أو فارغة.
- الصوامع المستندة على جدران القص والأعمدة تبدي انتقالات جانبية أقل من الصوامع المستندة على الأعمدة فقط.

- قام الباحث (Turikieh, A.) (3) بدراسة التأثيرات السلبية للزلازل على الصومعة المنفذة في معمل اسمنت طرطوس من خلال التحليل الديناميكي بالسجلات الزمنية وتوليد سجلات زمنية صنعية في مجال التردد ومجال الزمن متوافقة مع طيف الاستجابة للكود العربي السوري واستخدامها في التحليل الديناميكي اللاخطي وتوصل الباحث الى:

- نتائج التحليل اعطى التحليل الديناميكي باستخدام سجلات زمنية مقيسة في مجال الزمن قيم للانتقالات الطابقية أكبر من طريقة التقييس في مجال التردد لذلك يُنصح بأخذ طريقة التقييس في مجال الزمن.
- يُوصى باستخدام التحليل بالسجلات الزمنية الصنعية في الجمهورية العربية السورية بسبب غياب السجلات الحقيقية

- تطرق الباحث (Nasser, I.) (4) إلى مسألة التحليل الزلزالي النمطي لهذا النوع من المنشآت الخاصة وكيفية إيجاد الترددات الطبيعية وأنماط الاهتزاز الموافقة بالإضافة إلى قيم القوي والانتقالات النمطية، من خلال التحليل الفراغي النموذج الحقيقي لها. كما جرت محاولة لتبيان مدى صلاحية التحليل وفق الموديل الرياضي المبسط، الذي يملك ثلاث كتل مكافئة لكتلة المنشأ الحقيقية ومركزة في مقاطع محددة منه، حيث تم تحديد هذه الكتل

استنادا إلى علاقات تم استنتاجها بالاعتماد على مبادئ الطاقة الحركية أو بالحساب التقليدي الذي يستند إلى تحديد قيم الكتل المكافئة في كل مقطع من مقاطع المنشأ بجمع الكتل الجزئية العائدة لهذا المقطع. وبالنتيجة تم الحكم على دقة التحليل من خلال مقارنة المواصفات الديناميكية للاهتزاز المتمثلة بقيم الترددات وأدوار الاهتزاز، وتوصل الباحث الى أن:

- نتائج التحليل من خلال نتائج الدراسة السابقة يتضح أن التحليل الزلزالي وفق النماذج المبسطة للمنشآت الخاصة كالصوامع وخزانات المياه العالية لا يحقق الدقة المطلوبة لهكذا نوع من المنشآت، ولذلك يوصي البحث لأغراض التحليل والتصميم بدراسة النموذج الفراغي الحقيقي لها. بهدف إعطاء استنتاج عام حول موثوقية نتائج الحساب وفق النماذج المبسطة للمنشآت الخاصة
- يوصي البحث بإجراء دراسة أكثر شمولية على أكثر من نموذج فراغي مختلف للمنشآت الخاصة من حيث (الشكل، الأبعاد وقيم الصلابات، وكذلك بنماذج مبسطة ذات عدد كتل، ودرجات حرية أكبر من ثلاثة).

- قام الباحثون (Durmus . Karaca . Dogangun) [5] بدراسة سبب الضرر و الفشل في هياكل الصوامع. في هذا البحث عرض الباحثون مجموعة من الصوامع التي تضررت أو انهارت حول العالم جراء زلازل وقعت حديثاً. و مناقشة الاسباب المحتملة للفشل و الإجراءات الممكنة لمنع الضرر.

تبين من الدراسة أن قواعد الصوامع تتعرض لضغوط أكبر من التي تتعرض لها قواعد الانشاءات التقليدية الاخرى كالأبنية مثلاً.

يجب أن تؤخذ الضغوط غير المتساوية الناتجة عن الأحمال الأفقية كالأحمال الزلزالية أو تلك الناتجة عن نماذج التدفق غير المتماثل أثناء الشحن أو التفريغ بعين الاعتبار أثناء مرحلة التصميم.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في إجراء التحليل الزلزالي الدقيق للمنشآت الخاصة بشكلها الفراغي، بما فيها منشئات الصوامع، وذلك باستخدام طريقة التحليل الدفعي (pushover Analysis) باستخدام البرنامج الهندسيEtabs 2015 ومع تطور البحوث والدراسات العلمية أصبح التحليل المرن وغير المرن بالتحليل الدفعي مفضلاً بشكل عام ومطلوباً في مجال الهندسة المدنية، وذلك نتيجة التقدم في التحليل والتصميم الزلزالي للمنشآت.

يهدف هذا البحث إلى دراسة الصومعة المنفذة من خلال حالة دراسة باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي، واقتراح حلول تدعيمية مختلفة (اعادة تأهيل) للحالة والمقارنة بينها لتخفيف الاضرار الناجمة عن الزلازل، وذلك بإجراء دراسة تحليلية تطبيقية على نموذج فراغي (3D) للصومعة.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد البحث المنهج النظري التحليلي، وبعد الاطلاع على الابحاث السابقة المتصلة بموضوع الدراسة تم اختيار نموذج الصومعة التي تقع في مدينة طرطوس، أجري تحليل إنشائي للنموذج المذكور باستعمال برنامج CSI ETABS 2015. تم نمذجة الاعمدة والجيزان كعناصر خطية line element ونمذجة البلاطات والجدران كعناصر سطحية element shell ونمذجة الاساسات كعناصر موثوقة. وبعدها تم اجراء تحليل ستاتيكي لاخطي للحصول على رؤية كاملة لتوصيف الحالة في الاتجاهين X,Y.

تم الاعتماد في هذه الدراسة على الإصدار الأحدث من البرنامج CSI ETABS 2015[6] باعتباره من أفضل البرامج في التحليل والتصميم الإنشائي وهو يملك واجهة سهلة ومألوفة لأغلب المهندسين كما أن الشركة المنتجة تحققت من عمل البرنامج من خلال عرضها لتطابق الحلول من مصادر مختلفة. تم الحصول على نتائج الانتقالات الكلية وبعدها تم تدعيم أعمدة الصومعة بنوعين من التدعيم (القميص البيتوني والتطويق المعدني).

حيث اعتمدت الخصائص التالية للصومعة (وفق المذكرة الحسابية الخاصة بدراسة الصوامع في معمل اسمنت طرطوس) وهي:

- إجهاد الخضوع للفولاذ المستخدم fy=3600Kg/cm2.
- مقاومة البيتون على الضغط f'c=350Kg/cm2.
- الوزن في واحدة الحجم 2.5 ton/m3.
- معامل بواسون يساوي 0.2 و قدرة تحمل التربة في موقع المنشأ $3.5Kg\backslash cm^2$.

– تم تحديد خصائص المواد المخزنة (من وثائق معمل اسمنت طرطوس) وفق الجول (1):

الجدول (1) خواص المواد المخزنة في صوامع المزج والتخزين في معمل اسمنت طرطوس

كلنكر – clinker – C	γ =1410 Kg/m3	Φ=33
رمل – sand – S	γ = 1600 Kg/m3	Φ=35
كلس – lime – L	γ =700 Kg/m3	Φ=35

يوضح الشكل (1) الابعاد الهندسية للصوامع المدروسة، المبينة في الجدول (2).

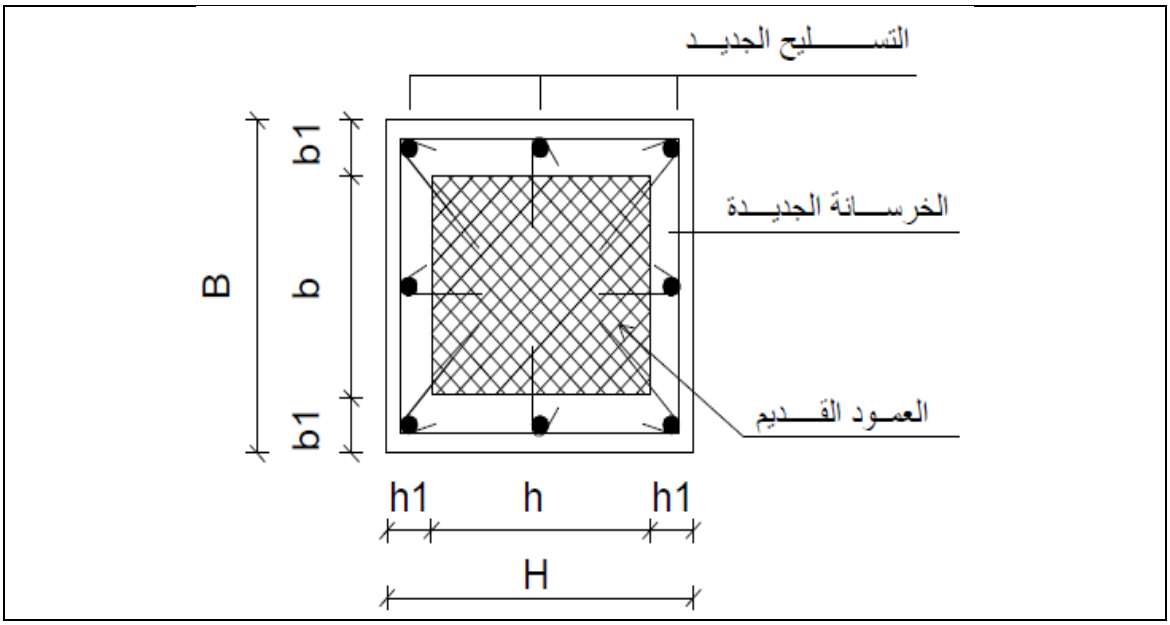
الجدول (2) الابعاد الهندسية لصوامع المزج والتخزين في معمل اسمنت طرطوس

ارتفاع الصومعة H	70 m
قطر الصومعة D	15 m
سماكة البلاطات الحاملة للمواد المخزنة: – عند منسوب m(14.5 –47.5).	50 cm
سماكة البلاطات الغير حاملة للمواد المخزنة: –عند منسوب m(4.8–10–42–60–70)	25 cm
مقطع الأعمدة الأربعة الحاملة للبلاطة: – عند منسوب 14.5m	150*50 cm
مقطع الجوائز الداعمة للبلاطات الحاملة: – عند منسوب m(14.5–47.5)	50*50 cm

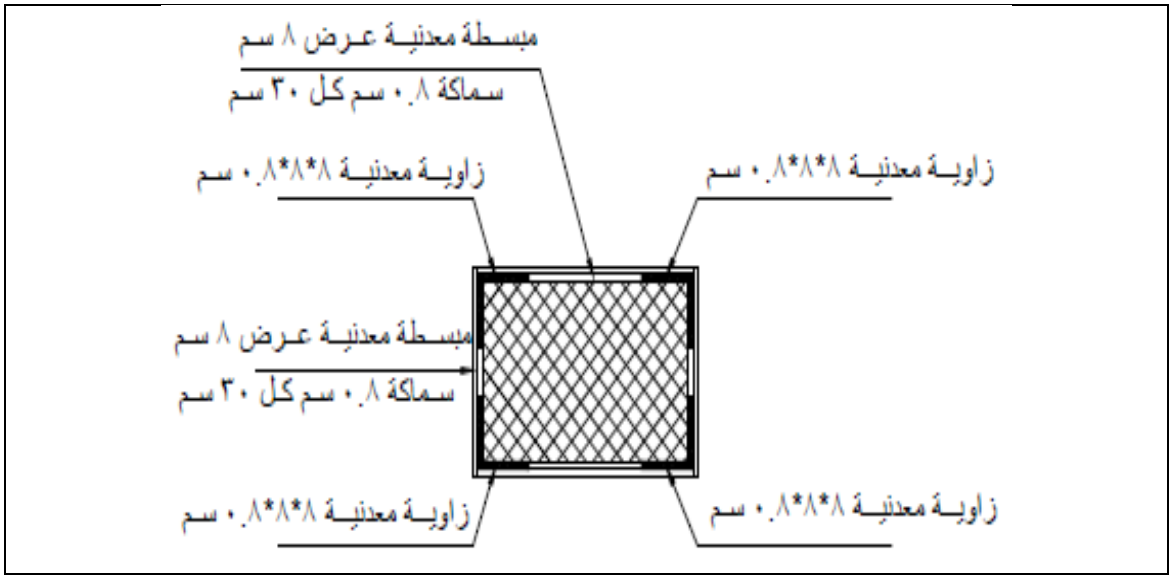
الشكل(1) يوضح الابعاد الهندسية للصومعة المدروسة

تم اجراء دراسة تحليلية لهذه الابنية من اجل تحديد قيم الانتقالات الجانبية الاعظمية في الاتجاهين X,Y، وبعدها جرى تدعيم أعمدة الصومعة بنوعين من التدعيم:

- التدعيم الاول قميص بيتوني لكل اعمدة الطابق الأول وفق ماهو مبين في الشكل (2).
- التدعيم الثاني تطويق معدني لكل أعمدة الطابق الأول كما هو مبين بالشكل (3).

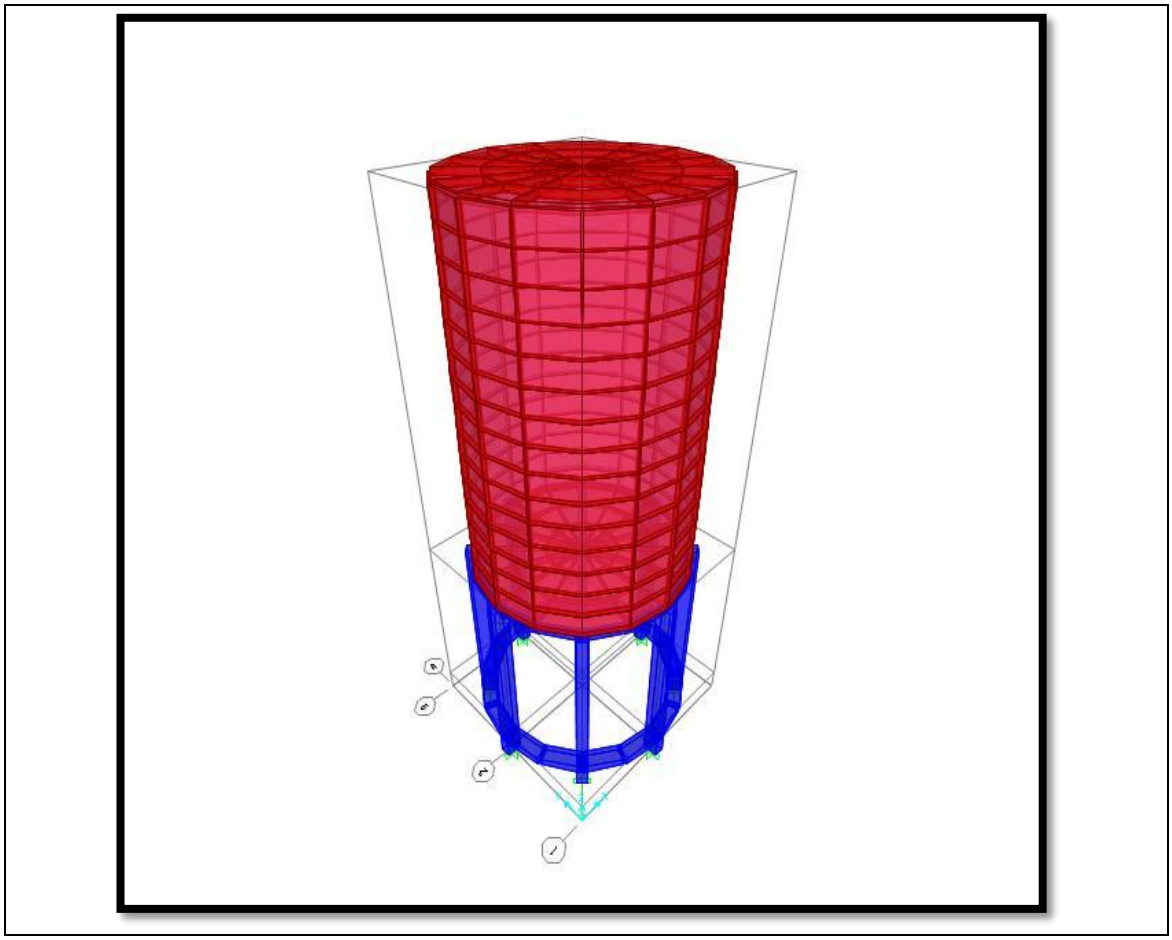


الشكل (2) التدعيم باستخدام قميص بيتوني بسماكة 15 cm لكل اعمدة الطابق الاول

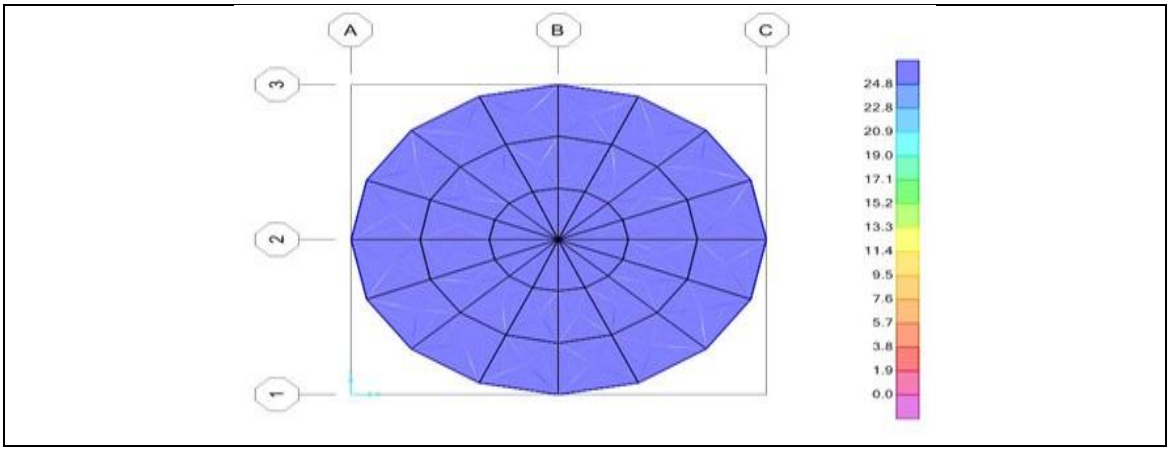


الشكل (3): التدعيم باستخدام التطويق المعدني بزوايا معدنية 80x80x8

يظهر الشكل (4) نموذج الصومعة المرجعية وفق برنامج Etabs والشكل (5) تحميل الصومعة.



الشكل(4) نموذج الصومعة المرجعية وفق برنامج Etabs



الشكل(5) تحميل الصومعة

– حالات التحميل المدروسة لنموذجي الصومعة:

النموذج الأول: المواد المخزنة بأربعة حالات كما يلي:

أ–الحالة الاولى: المادة المخزنة رمل + كلنكر –C&S.

ب الحالة الثانية: المادة المخزنة كلنكر –C .

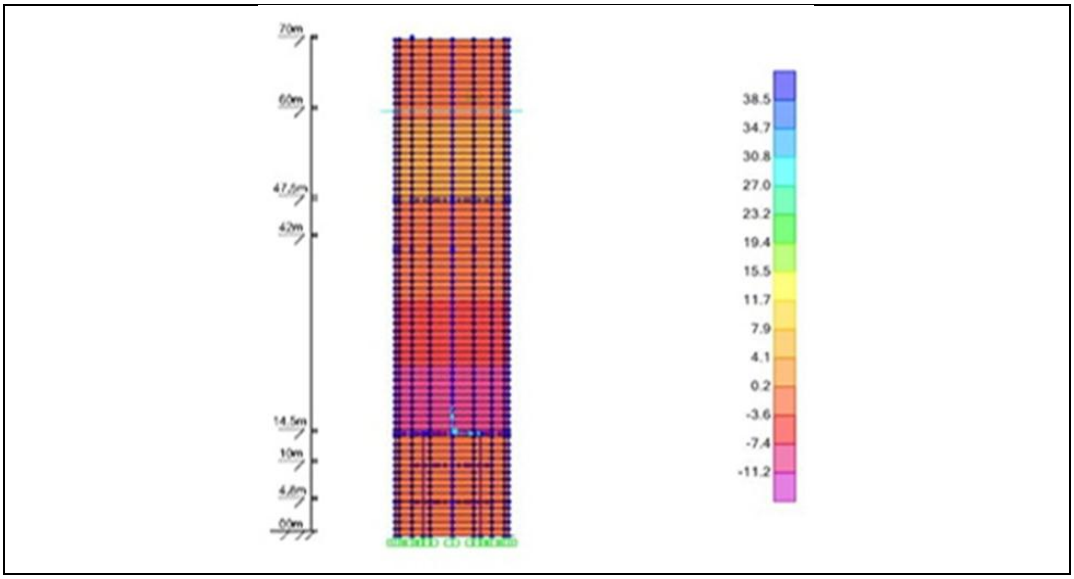
ج– الحالة الثالثة: المادة المخزنة رمل– S.

د– الحالة الرابعة: الصومعة فارغة E.

✓ حالات التحميل:

أ– الحالة الاولى المادة المخزنة رمل + كلنكر –C&S:

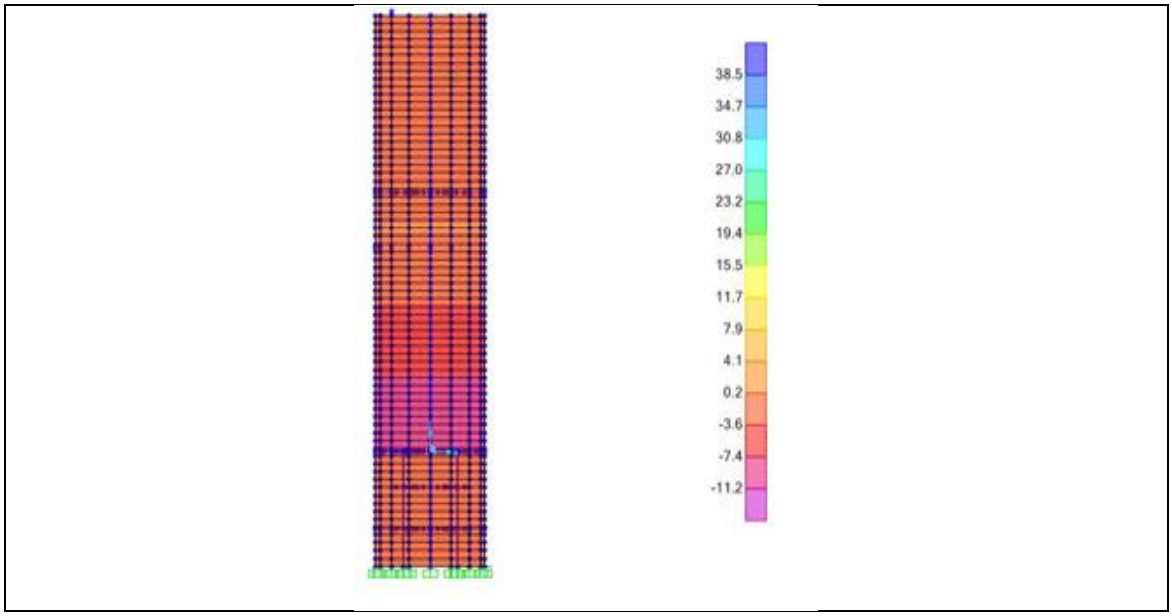
يوضح الشكل (6) حالة التحميل الأولى للمادة المخزنة كلنكر، في القسم السفلي بارتفاع 27.5m +رمل في القسم العلوي بارتفاع 12.5m، حيث بلغت حمولة الضغط العمودي 38.5t\m2 وحمولة الضغط الأفقي 11.43t\m2في القسم السفلي، وبلغت حمولة الضغط العمودي 20t\m2 وحمولة الضغط الأفقي 5.42 t\m2 في القسم العلوي .



الشكل(6)حالة التحميل الحالة الاولى المادة المخزنة رمل + كلنكر C&S

ب- الحالة الثانية: المادة المخزنة كلنكر-C:

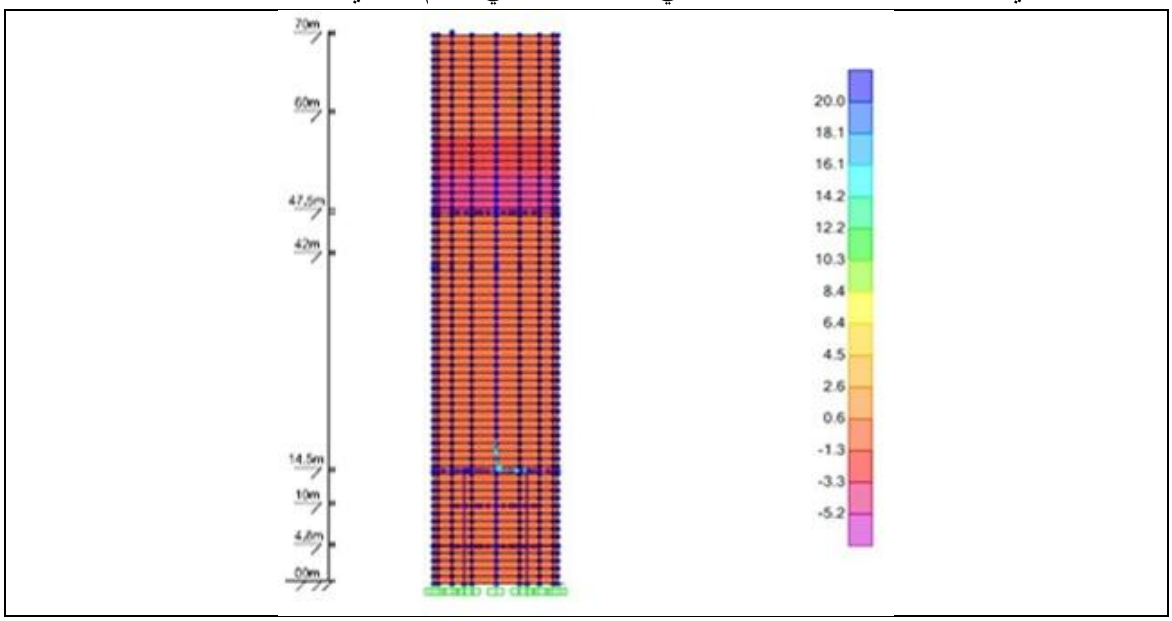
يوضح الشكل (7) حالة التحميل الثانية للمادة المخزنة كلنكر في القسم السفلي بارتفاع 27.5m حيث بلغت حمولة الضغط العمودي $38.5t\backslash m^2$ وحمولة الضغط الأفقي $11.43t\backslash m^2$في القسم السفلي.



الشكل(7)حالة التحميل الحالة الثانية المادة المخزنة كلنكرC

ج -الحالة الثالثة: المادة المخزنة رمل- S:

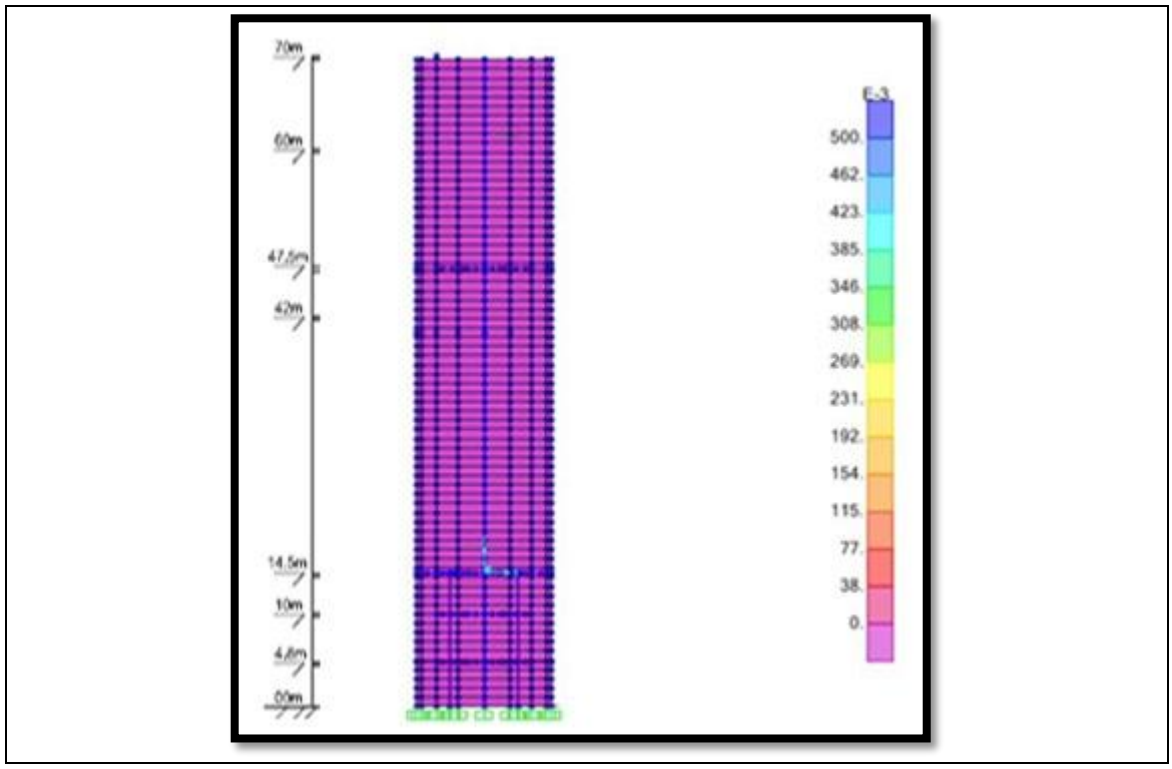
يوضح الشكل (8) حالة التحميل الثالثة للمادة المخزنة رمل في القسم العلوي بارتفاع 12.5m حيث بلغت حمولة الضغط العمودي 20t\m2 وحمولة الضغط الأفقي 5.42 t\m2 في القسم العلوي.



الشكل(8)حالة التحميل الحالة الثالثة المادة المخزنة رمل -S

د- الحالة الرابعة: الصومعة فارغة E:

يوضح الشكل (9) حالة التحميل الرابعة الصومعة فارغة في القسمين السفلي والعلوي ولا يوجد قيم لحمولات الضغط العمودي والأفقي.



الشكل(9)حالة التحميل الحالة الرابعة الصومعة فارغة E

النتائج والمناقشة:

تمت دراسة الحالات الأربعة التالية:

أ-الحالة الاولى: المادة المخزنة رمل + كلنكر -C&S .

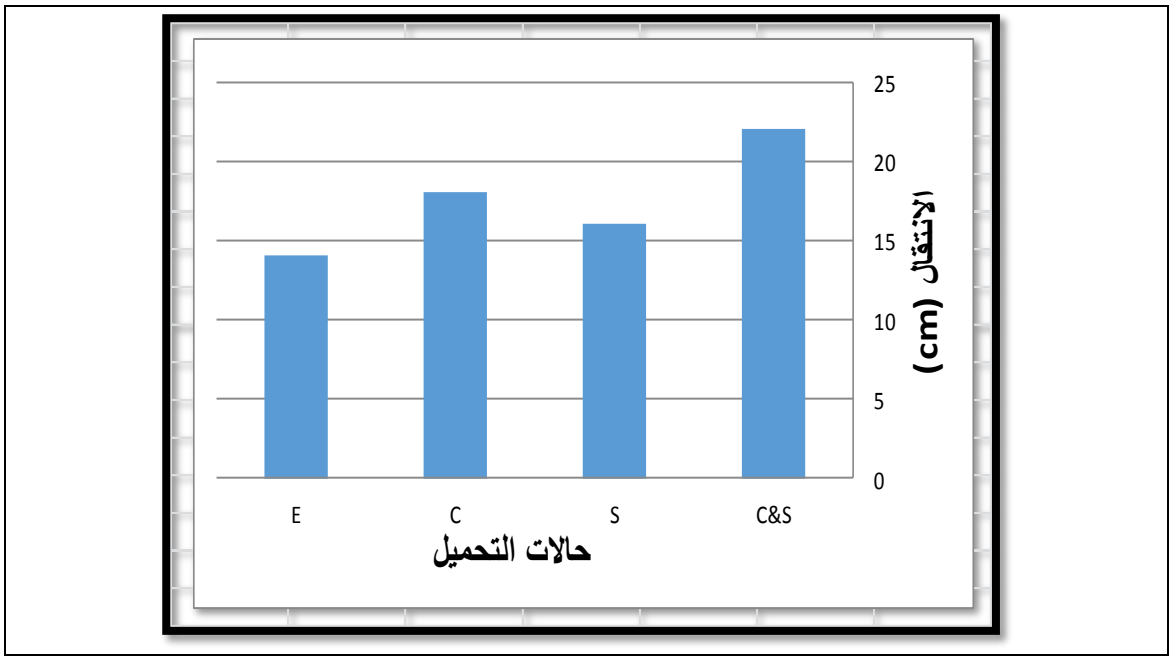
ب- الحالة الثانية: المادة المخزنة كلنكر -C .

ج- الحالة الثالثة: المادة المخزنة رمل- S .

د- الحالة الرابعة: الصومعة فارغة E .

حيث قمنا اولاً:

- بإجراء المقارنة بين قيمة الانتقال عند نقطة الأداء وحالات التحميل الأربعة في نقطة أعلى الصومعة عند نقطة الأداء باتجاه المحور X وذلك بالنسبة لاختلاف المواد المخزنة والشكل (10) يظهر نتائج المقارنة.

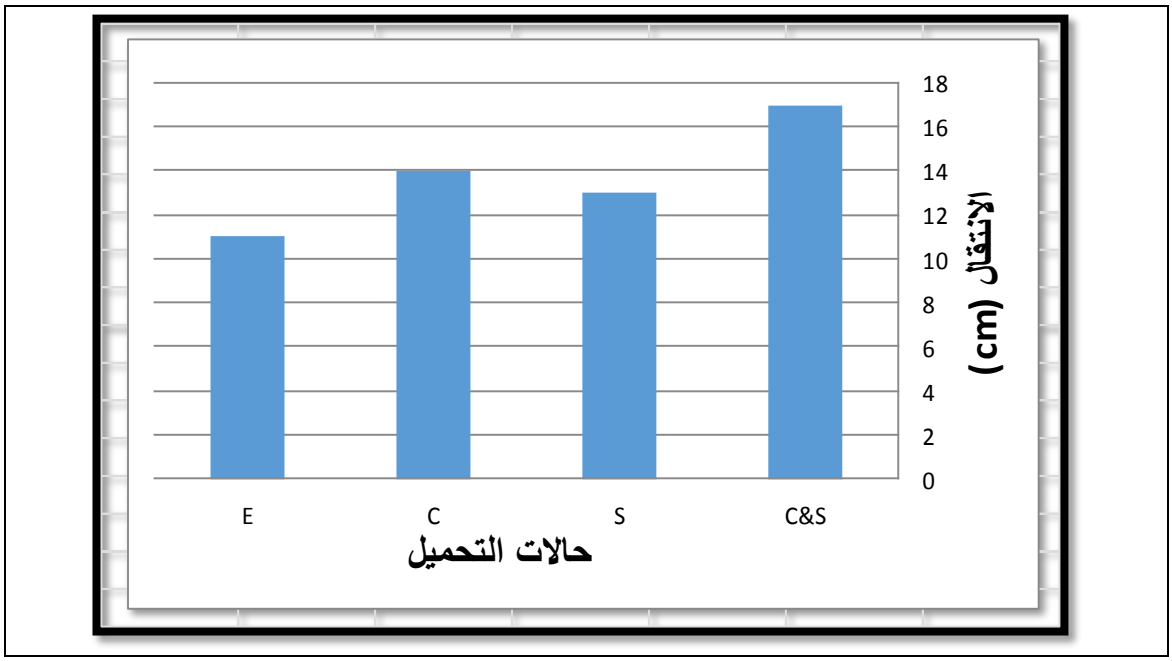


الشكل(10) مقارنة بين الانتقال وحالات التحميل الأربعة للصومعة عند نقطة الأداء باتجاه المحور X

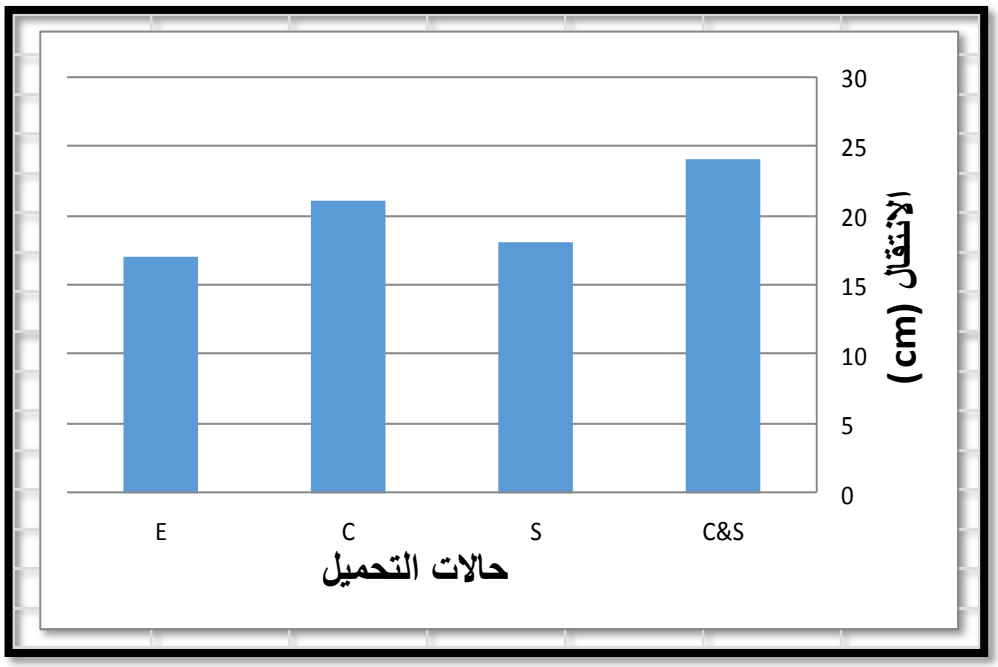
– ثم قمنا بإجراء المقارنة بين قيمة الانتقال عند نقطة الأداء وحالات التحميل الأربعة في نقطة أعلى الصومعة عند نقطة الأداء باتجاه المحور X وذلك بالنسبة لاختلاف المواد المخزنة وذلك:

–عند التدعيم بقميص بيتوني والشكل (11) يظهر نتائج المقارنة .

– وعند التدعيم بقميص معدني والشكل (12) يظهر نتائج المقارنة.



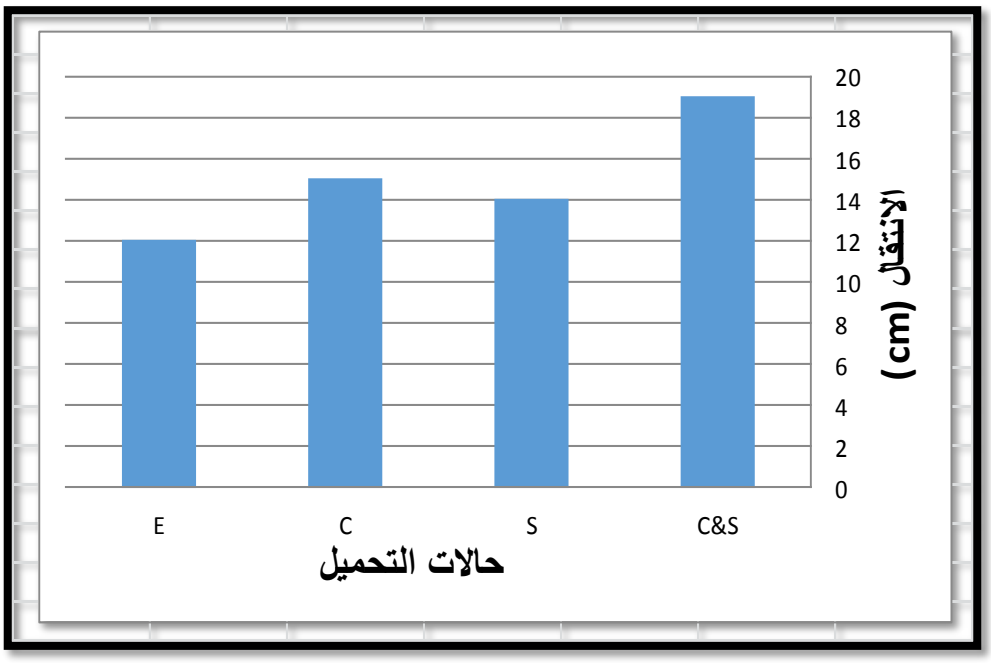
الشكل(11) مقارنة بين الانتقال وحالات التحميل الأربعة للصومعة عند نقطة الأداء باتجاه المحورX عند التدعيم بقفص بيتوني



الشكل(12) مقارنة بين الانتقال وحالات التحميل الأربعة للصومعة عند نقطة الأداء باتجاه المحورX عند التدعيم بقميص معدني

وقمنا ثانياً:

– بإجراء المقارنة بين قيمة الانتقال عند نقطة الأداء وحالات التحميل الأربعة في نقطة أعلى الصومعة عند نقطة الأداء باتجاه المحور Y وذلك بالنسبة لاختلاف المواد المخزنة والشكل (13) يظهر نتائج المقارنة.

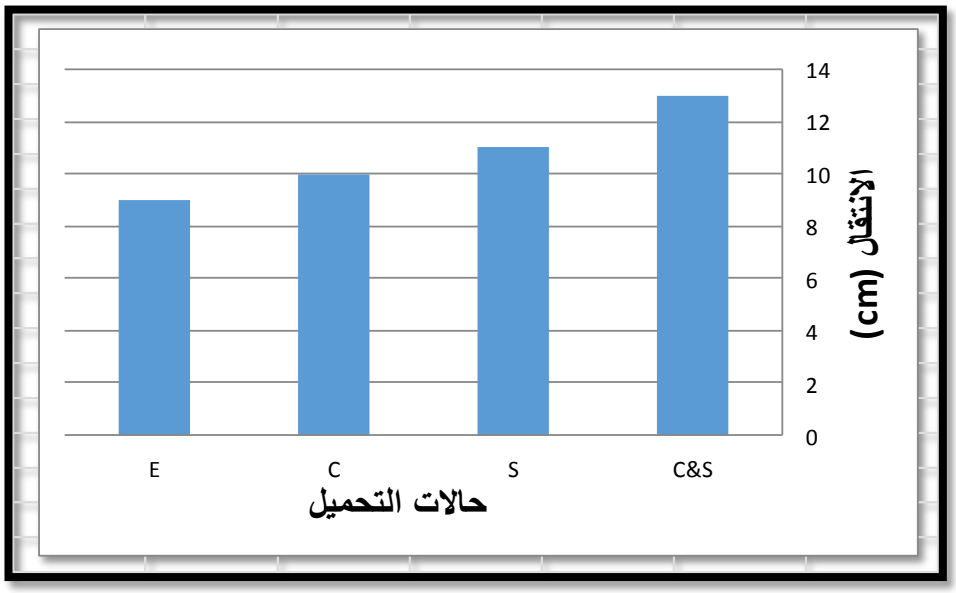


الشكل(13) مقارنة بين الانتقال وحالات التحميل الأربعة للصومعة عند نقطة الأداء باتجاه المحورY

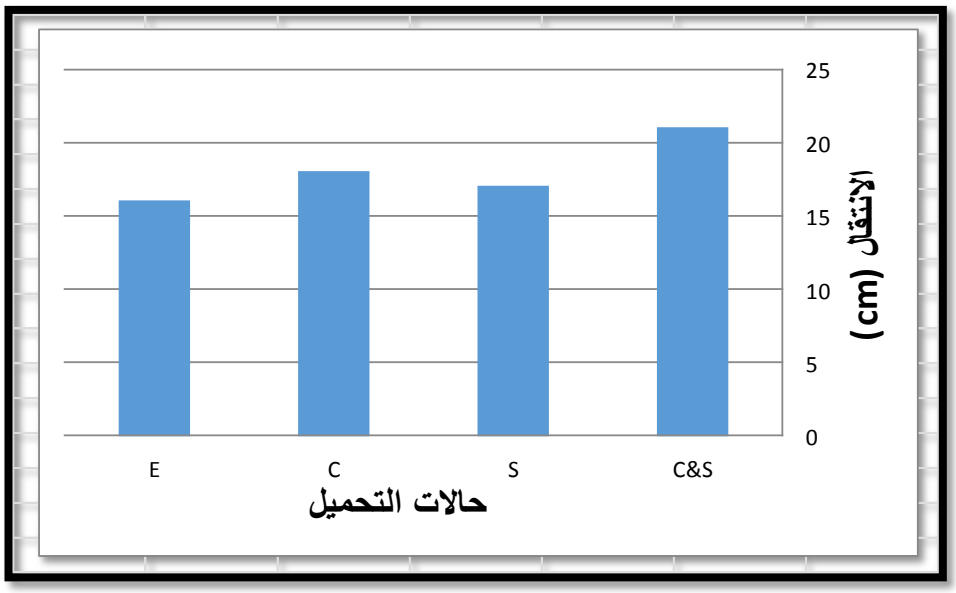
– ثم قمنا بإجراء المقارنة بين قيمة الانتقال عند نقطة الأداء وحالات التحميل الأربعة في نقطة أعلى الصومعة عند نقطة الأداء باتجاه المحور Y وذلك بالنسبة لاختلاف المواد المخزنة وذلك:

–عند التدعيم بقميص بيتوني والشكل (14) يظهر نتائج المقارنة.

– وعند التدعيم بقميص معدني والشكل (15) يظهر نتائج المقارنة.



الشكل(14) مقارنة بين الانتقال وحالات التحميل الأربعة للصومعة عند نقطة الأداء باتجاه المحورY عند التدعيم بقفص بيتوني



الشكل(15) مقارنة بين الانتقال وحالات التحميل الأربعة للصومعة عند نقطة الأداء باتجاه المحورY عند التدعيم بقميص معدني

اظهرت الأشكال من الشكل (10) حتى الشكل (15) ارتباط قيمة الانتقال عند نقطة الأداء باختلاف المواد المخزنة وأظهرت المخططات بأن التدعيم بالقميص البيتوني خفض الانتقالات بنسبة 22%، بينما التدعيم بالتطويق المعدني سبب زيادة بنسبة 9%، بالمقارنة مع الصومعة القائمة.

الاستنتاجات والتوصيات:

1- التدعيم بالقميص البيتوني خفض الانتقالات بنسبة 22%، بينما التدعيم بالتطويق المعدني سبب زيادة بنسبة 9%، بالمقارنة مع الصومعة القائمة.

2- التدعيم بالتطويق المعدني يعطي مقاومة كافية ولكنه يعطي مطاوعة ايضا مما يؤدي الى زيادة الانتقالات اللامرنة.

3- إن المواد المخزنة في الصوامع تلعب دورا أساسي في تحديد سلوك هذه الصوامع عند التعرض للاهتزاز الديناميكي.

4- أكبر قيمة للانتقال عندما تكون الصومعة مليئة وأصغر قيمة للانتقال عندما تكون الصومعة فارغة.

References:

[1] - NATEGHI, F.; YAKHCHALIAN, M. Seismic Behavior of Reinforced Concrete Silos Considering Granular Material-Structure Interaction, Procedia Engineering 14 (2011) 3050–3058

[2] - Rajani S Togarsi . SEISMIC RESPONSE OF REINFORCED CONCRETE. SILOS, India, IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology Issue: 09 | September-2015, Available @ http://www.ijret.org.

[3] - A. Turikieh, "Study of a local silo under the influence of seismic loads using the synthetic time histories analysis", journal of Tishreen university, vol. 41 ,2019.

[4] - I. Nasser, "The Modal Seismic Analysis of 3-D Special Structures (Silos) and Comparing It With The Seismic Analysis of Its Simplified Model By The Equivalent Masses", journal of Tishreen university, vol. 32 ,2010.

[5] - Dogangun A. ; Karaca Z.; Durmus A ... *Cause of Damage and Failures in Silo Structures* JOURNAL OF PERFORMANCE OF CONSTRUCTED FACILITIES © ASCE / MARCH/APRIL 2009 / 71

[6] - CSI Software | Computers and Structures, Inc. [Quoted, 2015]. Available at: <http://www.csiamerica.com/products/etabs>.