

دراسة تجريبية لتوزع الضغط الناتج على جدار صومعة اسطوانية باستعمال عنصر مدخل بشكل مخروط علوي وجذع مخروط متعاكسين

الدكتورة هالة حمادة*

الدكتور محمد غريب**

فرزات اسكيفي***

(تاريخ الإبداع 5 / 5 / 2014. قُبِلَ للنشر في 23 / 7 / 2014)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير استعمال عنصر مدخل مقترح ضمن صومعة اسطوانية على الضغط الناتج على جدارها، حيث تم استعمال نموذج صومعة معدنية اسطوانية ونموذج عنصر مدخل بشكل مخروط علوي وجذع مخروط متعاكسين، واستعملت الذرة العلفية في إجراء التجارب، واختيرت عدة مستويات على ارتفاع الصومعة لقياس الضغط الناتج على جدارها أثناء التفريغ. أجريت التجارب في مخبر البيتون ومواد البناء في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق، وتم تحليل النتائج ومناقشتها ومقارنتها مع نتائج دراسات مرجعية سابقة، حيث بينت النتائج أن توضع العنصر المدخل المدروس عند منطقة الانتقال من القسم الاسطواني إلى القمع يسبب انخفاض في قيمة الضغط الناتج على جدار الصومعة مما يبرر استعمال العنصر المدخل بالشكل والتوضع المقترح ضمن الصومعة.

الكلمات المفتاحية: صومعة، عنصر مدخل، الضغط على جدار الصومعة.

*أستاذ مساعد - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق - سورية.

** أستاذ- قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق - سورية.

*** طالب دكتوراه - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق - سورية.

Experimental Investigation of The Wall Pressure Distribution in a Barrel Silo with an Upper-cone with Downer- truncated cone Insert

Dr. Hala Hamadeh*
Dr. Mohammad Gareeb**
Farzat Askifi***

(Received 5 / 5 / 2014. Accepted 23 / 7 / 2014)

□ ABSTRACT □

The aim of this paper is to present a recent experimental investigation of the wall pressure distribution observed during the emptying of a modeling silo, with and without, inserts, for four different heights h_i of the insert base above the hopper outlet. The experiments were carried out with corn, at the concrete lab. in faculty of civil engineering in Damascus university in Syria. The results show that the upper-cone with downer-truncated cone insert had a strong influence on the pressures in the silo.

Keywords: Silo, Insert, Wall pressure

*Associate Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

**Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

***Postgraduate Student, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

مقدمة:

تستعمل العناصر المدخلة (Inserts) عادةً في الصوامع (Silos) ذات القمع الضحل (Shallow Hooper) من أجل تحسين الجريان النواتي (Funnel Flow) الذي يتدفق فيه جزء من المادة المخزنة ضمن قناة مركزية محاطة بمادة غير متحركة قرب جدار الصومعة (Dead Zone) إلى جريان كتلي (Mass Flow) تتحرك فيه المواد بأن واحد [1]، حيث إن القمع الضحل عادةً ما يسبب جريان نواتي ينتج عنه عدة مشاكل أهمها انفصال المادة المخزنة أو تشكل قناة ضيقة للجريان تساهم سلباً في تخفيض الطاقة التخزينية للصومعة [2]، والعنصر المدخل هو عنصر إنشائي يمكن أن يكون له عدة أشكال ومقاطع (منها ما هو مخروطي ، مقطع مثلثي، ..) [3]، يركب عادة على ارتفاع معين فوق فتحة المخرج. إذا كان التصميم واختيار التوضع جيداً فإن ذلك يساهم في تخفيض حجم المناطق الساكنة في الصومعة محسناً الجريان النواتي ليقترّب شكله من الجريان الكتلي [4]، من جهة أخرى فإن استعمال العنصر المدخل يؤثر على توزيع الضغط الديناميكي الناتج على جدار الصومعة يجب أخذه بالحسبان بما يحقق أمان وسلامة الصومعة إنشائياً [5].

وقد أجريت العديد من الدراسات حول الضغط الناتج على جدار الصومعة أثناء التفريغ بدون ومع استعمال نماذج مختلفة من العناصر المدخلة، حيث تم اقتراح استعمال عناصر مدخلة ضمن الصومعة من قبل Johanson and Kleysteuber [6] اللذين بيّنا أن توضع عنصر مدخل بشكل مخروط معكوس (Inverted cone) في الجزء العلوي من القمع يسبب زيادة واضحة للضغط على الجدار أثناء التفريغ، ولكن له فعالية أكبر في تحسين شكل الجريان مقارنة مع استعمال عنصر مدخل صغير تم وضعه قرب فتحة المخرج والذي لم يحدث تغيير في قيمة الضغط.

كما بحث كل من Tuzün and Nedderman [7] في الضغط الناتج على الجدار لنموذج صومعة مستطيلة المقطع مع استعمال عناصر مدخلة مضلعة الشكل تم وضعها على ارتفاعات مختلفة، حيث لوحظ أن استعمال العناصر المدخلة المدروسة يسبب زيادة الضغط عند التعبئة ونقصانه عند التفريغ.

وتمت دراسة توزيع الضغط الناتج على الجدار مع استعمال عنصر مدخل بشكل مخروطين متعاكسين (Double cone) داخل صومعة معدنية اسطوانية من قبل Wójcik [4] حيث لوحظ زيادة الضغط عند التفريغ ضمن القسم الاسطواني وعند منطقة الانتقال من القسم الاسطواني إلى القمع، كذلك كان الضغط على الجدار باستعمال العنصر المدخل المدروس أعلى من الضغط بدون استعمال العنصر المدخل، وقد تمت التوصية بمتابعة الأبحاث التجريبية والنظرية لتوزيع الضغط على الجدار مع استعمال العناصر المدخلة.

وتم إجراء دراسة تجريبية من قبل Askifi [8] حول تأثير استعمال أشكال مقترحة من العناصر المدخلة في الصومعة على شكل الجريان والضغط الديناميكي الناجم على جدارها، وبيان الحل الأفضل لشكل وتوضع عنصر مدخل مقترح في صومعة لتحسين شكل الجريان وتأثيره على الضغط الديناميكي الناتج، حيث تم استعمال عدة نماذج لعناصر مدخلة مقترحة تم تعديل شكلها أثناء التجارب بهدف مقارنة شكل الجريان الناتج عند استعمالها والوصول إلى الشكل الأفضل لها. وقد تناولت هذه الدراسة تأثير استعمال عنصر مدخل بشكل مخروط علوي وجذع مخروط متعاكسين، وذلك ضمن القسم الإسطواني فقط، ولم تشمل دراسة الضغط الناتج على جدار القمع، وقد تبين أن استعمال العنصر المدخل المذكور أعلاه ضمن القسم الاسطواني سبب زيادة في الضغط الناتج على جدار الصومعة في المستويات أعلى العنصر المدخل، و تناقص قيمة الضغط في أماكن أخرى من الجدار ضمن جسم الصومعة.

أهمية البحث وأهدافه:

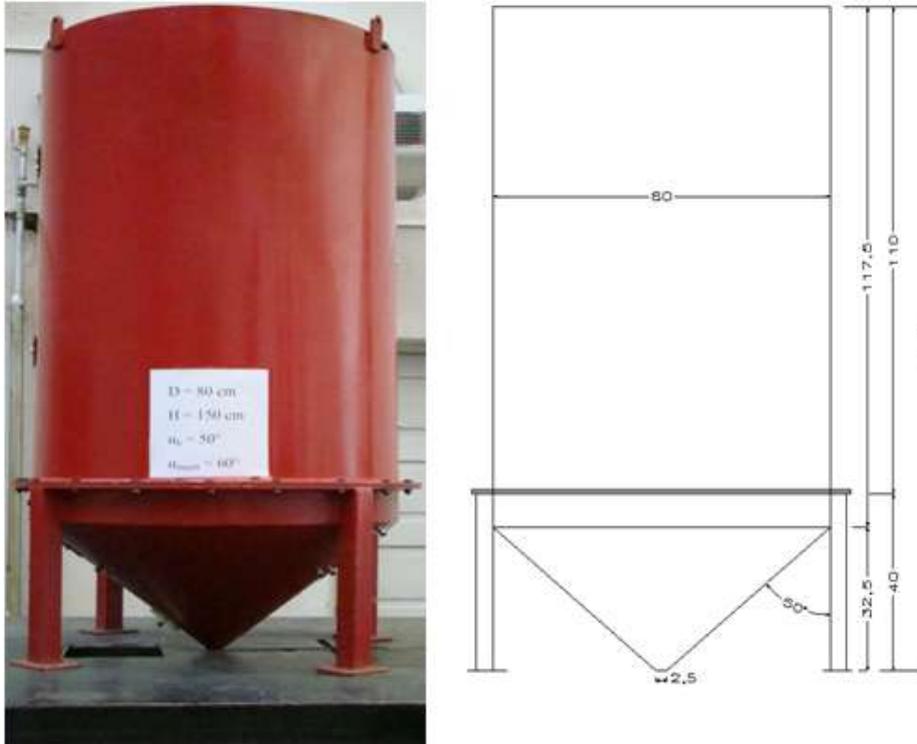
لا تزال المعرفة محدودة حول تأثير استعمال العنصر المدخل على توزيع الضغط الناتج على جدار الصومعة ولاسيما فيما يتعلق بتأثير توزيع العنصر المدخل ضمن الصومعة. وقد تم استعمال العناصر المدخلة ضمن الصوامع بشكل محدود نظراً لأن علاقات التصميم المتعلقة بالضغط مع استعمال العنصر المدخل لم يتم اعتمادها بعد [4]. كما انه من الخطأ تطبيق علاقات التصميم لحالة الجريان بدون عنصر مدخل على حالة التصميم مع استعمال عنصر مدخل.

وقد أجريت العديد من الأبحاث حول تأثير استعمال نماذج من عناصر مدخلة على الضغط الديناميكي الناتج على الجدار وذلك بهدف رفع كفاءة الصومعة، كما تمت التوصية بمتابعة الأبحاث حول تحديد الشكل والتوضع الأفضل للعنصر المدخل ضمن الصومعة بما يقلل من مشاكل الاستثمار وتأثير ذلك على الضغط الديناميكي الناتج على جدار الصومعة، ومن هنا ظهرت أهمية البحث في هذا المجال.

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تجريبية لتوزيع الضغط الديناميكي الناتج على جدار صومعة معدنية اسطوانية خلال التفريغ، بدون ومع استعمال عنصر مدخل مقترح، وعلى عدة توضعات للعنصر المدخل المدروس ضمن الصومعة وداخل القمع، المادة المخزنة هي الذرة العلفية، تم إجراء التجارب في مخبر البيتون ومواد البناء في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق.

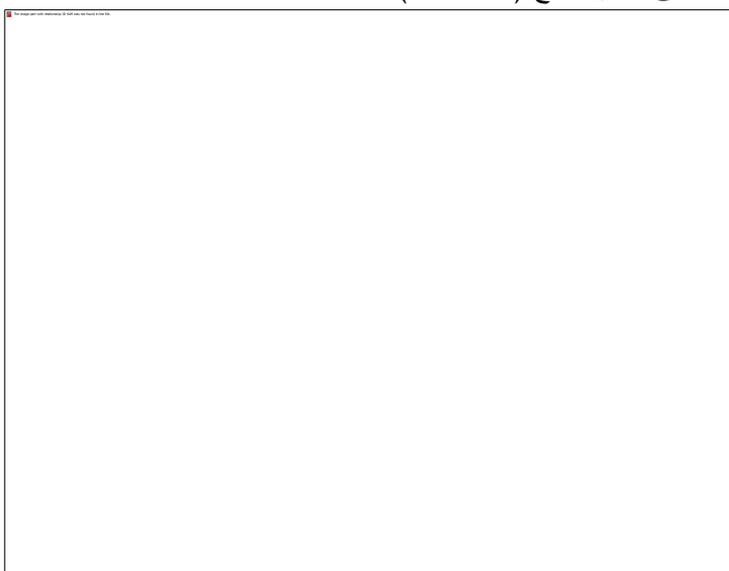
طرائق البحث ومواده :

أجريت التجارب على نموذج صومعة اسطوانية معدنية، مع قمع، سماكة المعدن 3.5 ملم (الشكل 1)



الشكل (1) نموذج الصومعة المستعمل في التجارب

ارتفاع الصومعة 1.5 م، قطرها 0.8 م (نسبة الارتفاع إلى القطر 1.875)، القمع متناظر ارتفاعه 32.5 سم وزاوية ميلانه عن الشاقول 50° ، قطر فتحة المخرج 2.5 سم.
 تم صنع العنصر المدخل من المعدن بشكل مخروط علوي وجذع مخروط متعاكسين، ارتفاعه الكلي 27.8 سم (الشكل 2)، قطر قاعدة المخروط 20 سم (بحدود 25% من قطر القمع كما هو منصح به من قبل [4]). زاوية ميلان كل من جدار المخروط العلوي وجذع المخروط عن الأفق 60° .
 تم تركيب العنصر المدخل ضمن الصومعة بمساعدة ثلاث صفائح ملحومة على محيطه، تحوي كل منها ثقبان طوليان يمكن من خلالهما تعديل وضبط ارتفاع العنصر المدخل ضمن الصومعة شاقولياً من خلال وصلها بواسطة البراغي مع ثلاث صفائح أخرى ملحومة على جدار القمع (الشكل 3).



الشكل (3) تثبيت العنصر المدخل

الشكل (2) العنصر المدخل المقترح

مادة التعبئة المستعملة هي الذرة العلفية (الشكل 4)، ذات وزن حجمي 800 Kg/m^3 ، قطر الحبيبات 3-4 ملم، زاوية الراحة 30° ، زاوية الاحتكاك مع الجدار 23° [8].



الشكل (4) الذرة العلفية المستعملة في التجارب

تم اعتماد أربعة توضعات شاقولية للعنصر المدخل ضمن الصومعة (الجدول 1) وفقاً للنسبة h_1/h_2 :

الجدول (1) نسبة توضع العنصر المدخل ضمن الصومعة

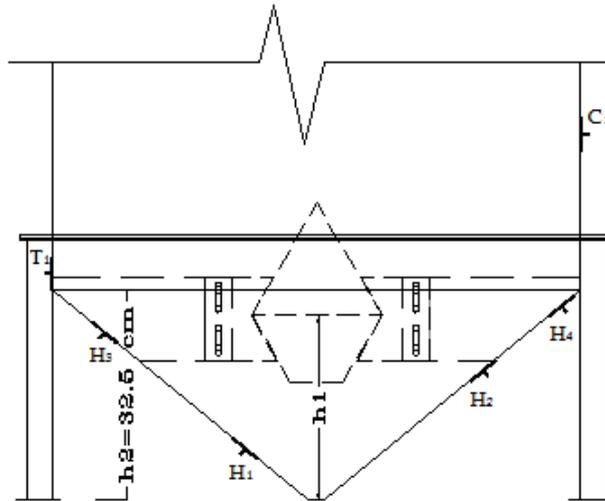
| ارتفاع القاعدة الكبرى للعنصر المدخل عن فتحة المخرج (سم) | ارتفاع القمع (سم) | h_1/h_2 |
|---|----------------------|-----------|
| h_1 | h_2 | |
| 23 | 32.5 | 0.71 |
| 26 | 32.5 | 0.82 |
| 32.5 | 32.5 | 1 |
| 36.5 | 32.5 | 1.12 |

حيث:

 h_1 : بعد القاعدة الكبرى للعنصر المدخل عن فتحة المخرج. h_2 : ارتفاع القمع (الشكل 5).

- تم تحديد تسعة مستويات لدراسة الضغط الناتج على جدار الصومعة أثناء التفريغ، وقد اختيرت هذه المستويات بحيث تم توزيع أربعة منها على ارتفاع القمع (H_1, H_2, H_3, H_4) وواحد قرب مستوي الانتقال من القسم الاسطواني إلى القمع T_1 ، وأربعة على ارتفاع القسم الاسطواني (C_1, C_2, C_3, C_4) (الشكل 6).

تم قياس قيمة الضغط الديناميكي الناتج على جدار الصومعة باستعمال خلية قياس الضغط (الشكل 7) قطرها 1.75" ذات دقة وحساسية عالية، ثبتت على الجدار باستعمال قاعدة معدنية مع براغي تثبيت (الشكل 8)، ووصلت من خلال وصلة خاصة ملحقة إلى حاسب مزود ببرنامج خاص لرسم منحنيات الضغط الناتجة عن الجريان أثناء التفريغ (الشكل 9).



الشكل (5) توضع العنصر المدخل ضمن الصومعة

تمت تعبئة وتفريغ الصومعة بشكل مركزي وتحت تأثير الوزن الذاتي (الشكل 9)، وتم التحكم بفتحة المخرج من خلال ذراع معدنية حركت بشكل يدوي (الشكل 10).



الشكل (9) تعبئة الصومعة



الشكل (10) ذراع التحكم بفتح وإغلاق فتحة المخرج

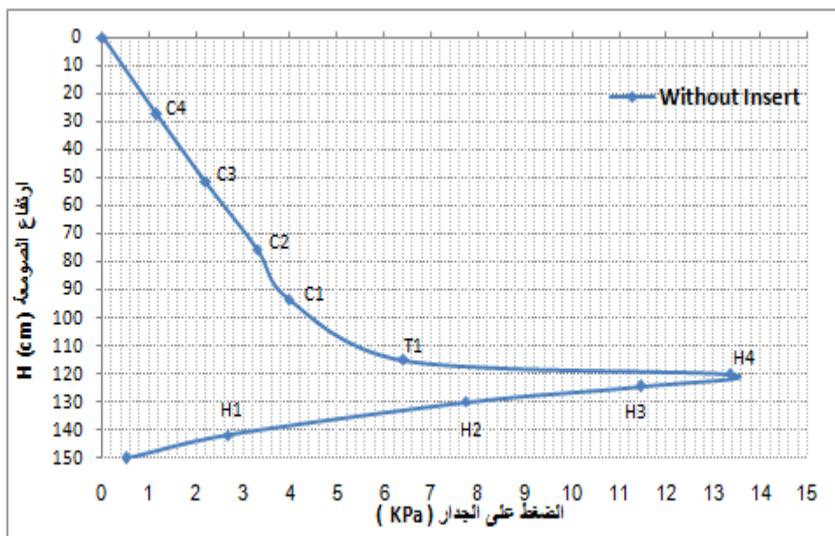
أجريت تجارب قياس الضغط لحالتين: بدون استعمال العنصر المدخل، ومع استعمال العنصر المدخل المقترح من أجل التوضعات المبينة في الجدول (1)، حيث بلغ عدد التجارب أكثر من 135 تجربة.

النتائج والمناقشة:

في هذا البحث تم عرض نتائج توزيع الضغط الديناميكي على جدار الصومعة مع تغيير التوضع الشاقولي للعنصر المدخل الموضوع بشكل مركزي ضمن الصومعة ومقارنته مع توزيع الضغط بدون استعمال العنصر المدخل.

- تظهر النتائج بدون استعمال العنصر المدخل المدروس ما يلي:

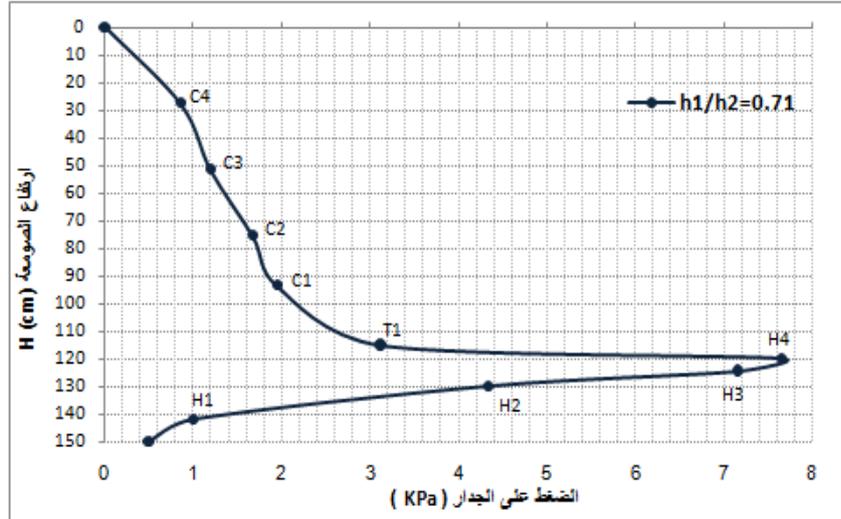
يبين الشكل (11) مغلف الضغط الناتج على جدار النموذج عند التفريغ بدون استعمال عنصر مدخل، وذلك عند المستويات التسعة، حيث يلاحظ ازدياد قيمة الضغط تدريجياً ليبلغ قيمته العظمى عند منطقة الانتقال من القسم الاسطواني إلى القمع ثم يحدث تناقص تدريجي للضغط على جدار القمع حتى الوصول إلى فتحة المخرج.



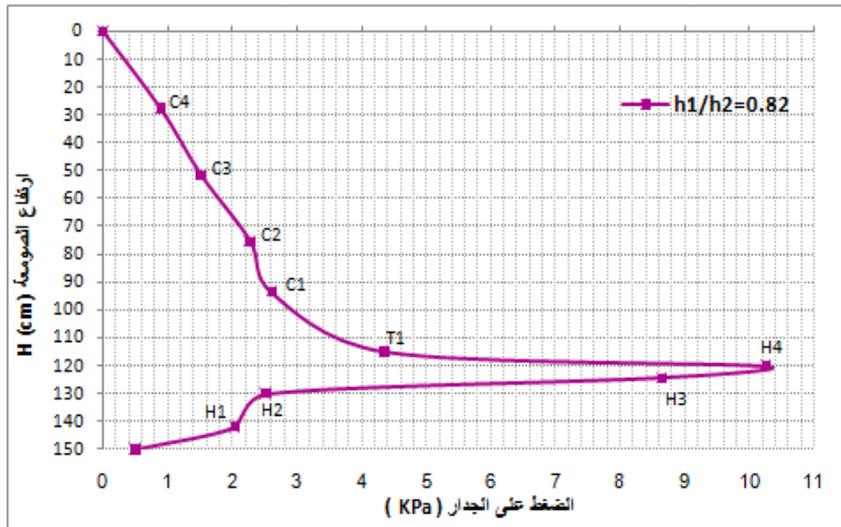
الشكل (11) مغلف الضغط الناتج على جدار النموذج عند التفريغ بدون استعمال العنصر المدخل المدروس

- كما تظهر النتائج مع استعمال العنصر المدخل المدروس ما يلي:

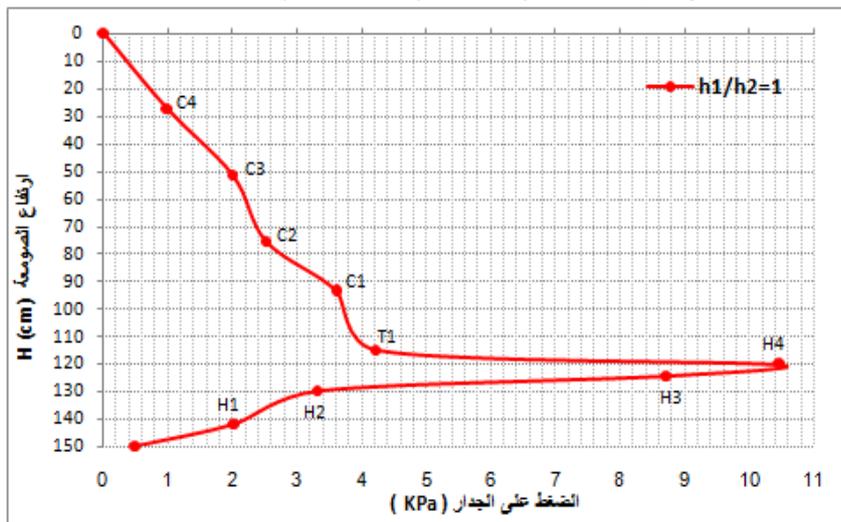
- تبين الأشكال (15-14-13-12) مغلف الضغط الناتج على جدار النموذج عند التفريغ، وذلك عند المستويات التسعة لتوضع العنصر المدخل من أجل النسب ($h_1/h_2=1.12, 1, 0.82, 0.71$) على التوالي، حيث يلاحظ أن الضغط الناتج على الجدار يزداد مع زيادة المسافة من سطح المادة المخزنة حتى الوصول إلى قيمة حدية عند منطقة الانتقال من القسم الاسطواني إلى القمع حيث يحدث تناقص تدريجي للضغط على جدار القمع حتى الوصول إلى فتحة المخرج. كما يلاحظ زيادة قيمة الضغط في المستوى الأعلى من العنصر المدخل وانخفاض الضغط في المستوى أسفله، ويعود ذلك إلى أن العنصر المدخل يتلقى جزءاً هاماً من الحمل الشاقولي مما يسبب انخفاض الضغط أسفل العنصر المدخل، في حين أن ازدياد الضغط ينتج عن الزيادة في وزن جزء المادة المخزنة الموجودة أعلى العنصر المدخل مباشرة والتي يتحملها جدار الصومعة.



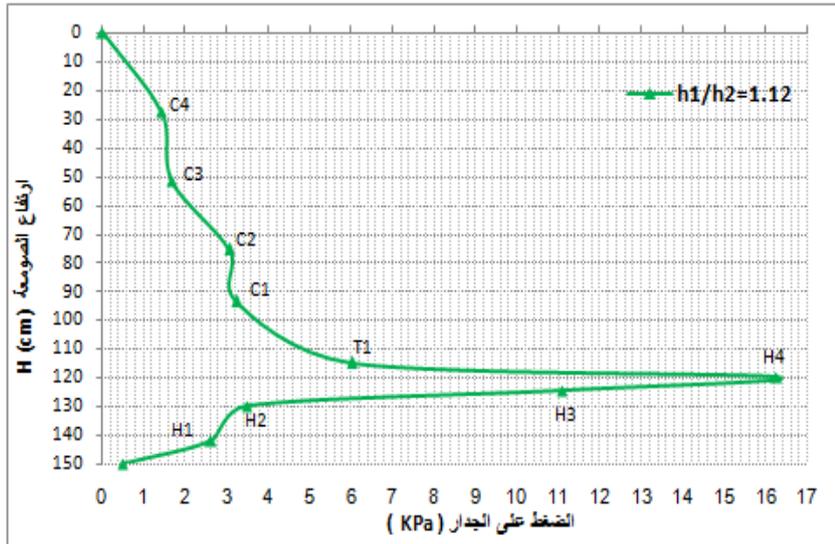
الشكل (12) مغلف الضغط الناتج على جدار النموذج عند التفريغ من أجل توضع العنصر المدخل عند النسبة $h_1/h_2=0.71$



الشكل (13) مغلف الضغط الناتج على جدار النموذج عند التفريغ من أجل توضع العنصر المدخل عند النسبة $h_1/h_2=0.82$

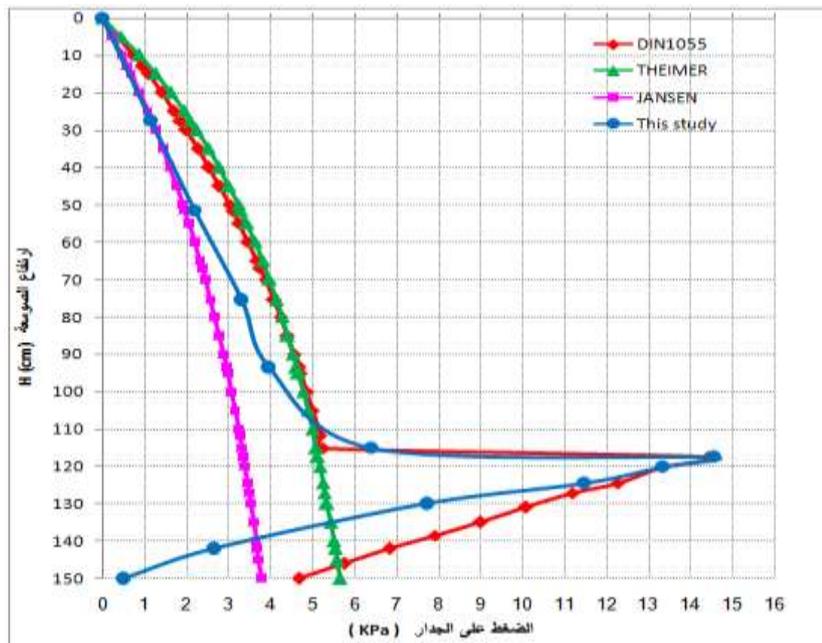


الشكل (14) مغلف الضغط الناتج على جدار النموذج عند التفريغ من أجل توضع العنصر المدخل عند النسبة $h_1/h_2=1$



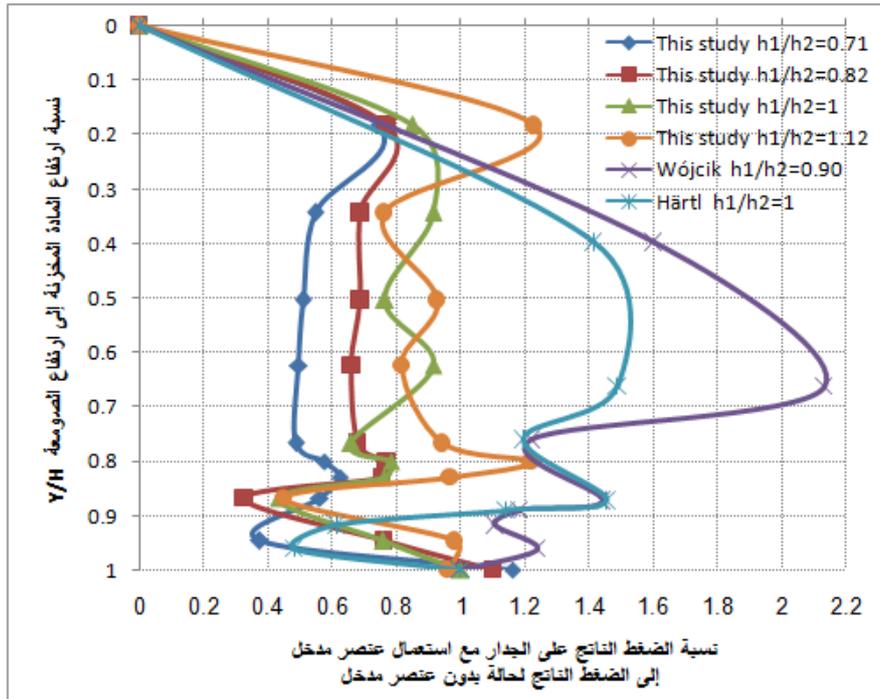
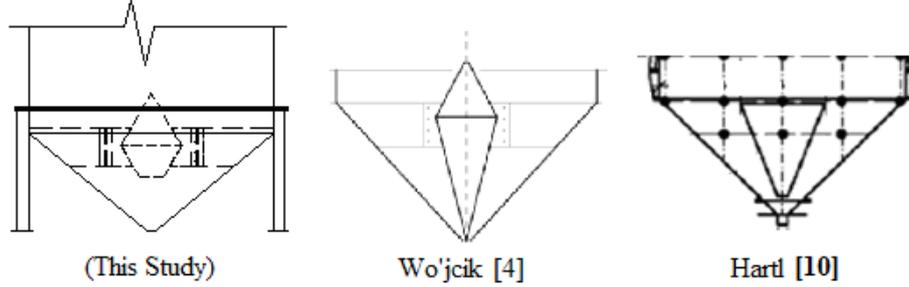
الشكل (15) مغلف الضغط الناتج على جدار النموذج عند التفريغ من أجل توضع العنصر المدخل عند النسبة $h_1/h_2=1.12$

- يبين الشكل (16) مقارنة توزيع الضغط الناتج على جدار النموذج عند التفريغ بدون استعمال عنصر مدخل، مع كل من الكود الألماني DIN1055 وعلاقة Theimer وعلاقة Janssen [9]، حيث يلاحظ تقارب القيم التجريبية الناتجة عند منطقة الانتقال من القسم الاسطواني إلى القمع مع القيم المحسوبة وفق الكود الألماني، في حين أن قيم الضغط التجريبية الناتجة في المستويات العلوية وضمن القمع أقل من القيم المحسوبة وفق الكود الألماني، وهي في المستويات العلوية من الصومعة قريبة من القيم الناتجة وفق علاقة Janssen.



الشكل (16) مقارنة توزيع الضغط الناتج على جدار النموذج عند التفريغ بدون استعمال عنصر مدخل، مع كل من الكود الألماني DIN 1055 وعلاقة Theimer وعلاقة Janssen.

- يظهر الشكل (17) علاقة توضع العنصر المدخل المدروس مع نسبة الضغط الناتج على الجدار أثناء التفريغ باستعمال العنصر المدخل المذكور إلى الضغط الناتج على الجدار بدون استعمال عنصر مدخل وذلك على ارتفاع الصومعة ومقارنة هذه العلاقة مع دراسات مرجعية [4] [10]. حيث يلاحظ ما يلي:



الشكل (17) علاقة توضع العنصر المدخل المقترح مع نسبة الضغط الناتج

على الجدار أثناء التفريغ إلى الضغط الناتج بدون استعمال عنصر مدخل من أجل النسب المدروسة

1- إن استعمال العنصر المدخل المقترح وفق النسبة $\frac{h_1}{h_2} \leq 1$ سبب ضغطاً على كل من جدار القسم الاسطواني والقمع وعند منطقة الانتقال من القسم الاسطواني إلى القمع أقل من الضغط الناتج لحالة عدم استعمال العنصر المدخل.

2- إن استعمال العنصر المدخل المقترح وفق النسبة $\frac{h_1}{h_2} > 1$ سبب ضغطاً على جدار القمع أقل من الضغط الناتج لحالة عدم استعمال العنصر المدخل، وأكبر منه عند كل من منطقة الانتقال من القسم الاسطواني إلى القمع وعند المستويات العلوية من القسم الاسطواني من الصومعة وهذا يتوافق مع الدراسة السابقة [8].

3- إن استعمال العنصر المدخل المقترح في هذه الدراسة وفق النسب الواردة في الجدول (1) سبب ضغطاً على جدار الصومعة أقل من الضغط الناتج عند استعمال عناصر مدخلة مقترحة في كل من الدراستين السابقتين [4] و[10].

4- في جميع الحالات فإن الضغط الأعظمي على ارتفاع الصومعة حدث عند منطقة الانتقال من القسم الاسطواني إلى القمع.

5- إن تأثير استعمال العنصر المدخل المدروس حيث $\frac{h_1}{h_2} \leq 1$ على ضغط الجدار كان أفضل بالمقارنة مع استعمال العنصر المدخل حيث $\frac{h_1}{h_2} > 1$

6- إن توضع للعنصر المدخل ضمن الصومعة عند $\frac{h_1}{h_2} = 1$ (الشكل 18) سبب ضغطاً على جدار الصومعة (القسم الاسطواني والقمع ومنطقة الانتقال من القسم الاسطواني إلى القمع) أقل من الضغط الناتج لحالة عدم استعمال العنصر المدخل من جهة، وأدى لأفضل شكل جريان كما تبين وفق الدراسة السابقة [8].



الشكل (18) توضع العنصر المدخل المدروس عند النسبة $\frac{h_1}{h_2} = 1$

الاستنتاجات والتوصيات:

- استناداً إلى الدراسة التجريبية التي تمت نورد أهم النتائج الحاصلة بالنقاط التالية:
- 1- إن استعمال العنصر المدخل بشكل مخروط علوي وجذع مخروط متعاكسين ضمن القمع لا يسبب زيادة في الضغط الناتج على جدار الصومعة.
 - 2- لا ينصح باستعمال العنصر المدخل المدروس ضمن القسم الاسطواني من الصومعة كونه يسبب زيادة في الضغط ولاسيما عند منطقة الانتقال من القسم الاسطواني إلى القمع.
 - 3- إن أفضل توضع للعنصر المدخل ضمن الصومعة هو عندما $\frac{h_1}{h_2} = 1$ كونه يسبب ضغطاً على جدار الصومعة لا يتجاوز الضغط الناتج لحالة عدم استعمال العنصر المدخل من جهة، وكونه أدى لأفضل شكل جريان كما تبين وفق الدراسة السابقة [8]، مما يبرر استعمال العنصر المدخل بالشكل والتوضع المقترح ضمن الصومعة.
 - 4- أهمية متابعة البحث بإجراء دراسة عديدة عن تأثير العنصر المدخل المقترح في هذه الدراسة على توزع الضغط الديناميكي الناتج على جدار الصومعة باستعمال برامج التحليل الإنشائي.

توضيح:

تم إجراء هذا البحث في جامعة دمشق، كلية الهندسة المدنية، كأحد المتطلبات لنيل درجة الدكتوراه في الهندسة الإنشائية، في الفترة ما بين شهر آذار 2013 لغاية شباط 2014.

المراجع:

- [1]. SCHWEDES , J. *Flow patterns*. in: BROWN, C.J., NIELSEN, J. editors. Silo Fundamentals of theory, behaviour and design. E & FN Spon, London, 1998, 112-117.
- [2]. ROTTER, J.M. *Guide For The Economic Design Of Circular Metal Silos*. Spon Press, London, 2001, 235.
- [3]. CARSON, J.W.; TROXEL, T.J .; BENGSTON K.E. *Scaling up solids handling processes and equipment: limits of theory and scale modeling*. in: ChEN, J.F.; OOI, J.Y.; TENG, J.G, editors. Structures and Granular Solids. Taylor & Francis Group, London, UK, 2008.
- [4]. WOJCIK, M., HARTL, J., OOI, J., ROTTER, J.M., DING, S., ENSTAD, G.G. *Experimental Investigation of the Flow Pattern and Wall Pressure Distribution in a Silo with a Double-Cone Insert*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., PPSC, 24, 296-303
- [5]. STRUSCH, J., SCHWEDES, J. *Wall stress distributions in silos with inserts, and loads on inserts*. in: BROWN, C.J., NIELSEN, J. Ed. Silo Fundamentals of theory, behaviour and design. E & FN Spon, London, 1998, 118-130.
- [6]. JOHANSON, J.R., KLEYSSTEUBER, W.K. *Flow corrective inserts in bins*. Chemical Engineering Progress 62 (11) , 1996, pp. 79–83.
- [7]. TUZUN, U., NEDDERMANN, R.M. *Flow of granular materials round Obstacles*. Bulk Solids Handling 3, 1983, 507–517.
- [8]. ASKIFI, F. *Study on the effect of using proposed inserts in silo on flow pattern and wall pressure*. Damascus University, Syria, 31(1), 2013, pp. 107–123.
- [9]. SAFARIAN S.S.; HARRIS C.E., - *Design and Construction of Silos and Bunkers*. 1ST Ed., Van Nostrand Reinhold Company, Colorado, 1985, 451.
- [10]. HARTL, J., OOI, J.Y., ROTTER, J.M., WOJCIK, M., DING, S., ENSTAD, G.G. *The influence of a cone-in-cone insert on flow pattern and wall pressure in a full-scale silo*. Journal of chemical engineering research and design 86 , 2008, 370-378.