

دراسة تأثير توضع عنصر مدخل ضمن صومعة معدنية اسطوانية في توزيع الضغط الناجم على جدارها*

م. فرزات اسكيفي**

د. هالة حمادة***

الملخص

البحث المتناول هو بحث تجريبي في الصوامع المعدنية الاسطوانية لدراسة تأثير توضع عنصر مدخل مقترح ضمن الصومعة في الضغط الناجم على جدارها، إذ استُعملَ نموذج صومعة معدنية ونموذج عنصر مدخل بشكل مخروط علوي وجذع مخروط معكوس واستعملت الذرة العلفية في إجراء التجارب، واختيرت عدة مستويات لقياس الضغط الناجم عن الجريان على جدار الصومعة وحُلَّتِ النتائج ونُوقِشت للوصول إلى علاقة رياضية لإيجاد الضغط الناتج عن التفريغ بوجود عنصر مدخل. أجريت التجارب في مخبر البيتون ومواد البناء في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق. وبيّنت النتائج أن توضع العنصر المدخل ضمن القمع وأقرب ما يمكن إلى منطقة الانتقال من جسم الصومعة إلى القمع يسبب زيادة طفيفة في الضغط الناتج على جدار الصومعة، وهذا ما يبرر استعمال العنصر المدخل ضمن الصومعة لأنه يساعد على تسهيل جريان المادة المخزنة دون حدوث زيادة كبيرة في الضغط الديناميكي الناتج على الجدار.

الكلمات المفتاحية: الصوامع_ فتحة التفريغ_ الجريان النواتي_ ضغط الجريان

* أعد هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس فرزات اسكيفي بإشراف الدكتورة هالة حمادة في الهندسة المدنية - جامعة دمشق.

** قائم بالأعمال - قسم هندسة النقل والمواصلات - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

*** مدرس - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

1- المقدمة:

(1.875)، القمع متناظر ارتفاعه 14.1 سم وزاوية ميلانه على الشاقول 70 درجة، قطر فتحة المخرج 2.5 سم، استعمل لوح من البلكس غلاس الشفاف سماكة 1.5 سم وذلك لمراقبة الجريان في أثناء التفريغ.



الشكل (1) نموذج الصومعة المستعمل في التجارب

قيست قيمة الضغط الديناميكي على جدار الصومعة باستعمال خلية قياس الضغط (الشكل 2) تثبتت على الجدار باستعمال قاعدة معدنية مع براغي تثبيت (الشكل 3).



الشكل (2) خلية قياس الضغط

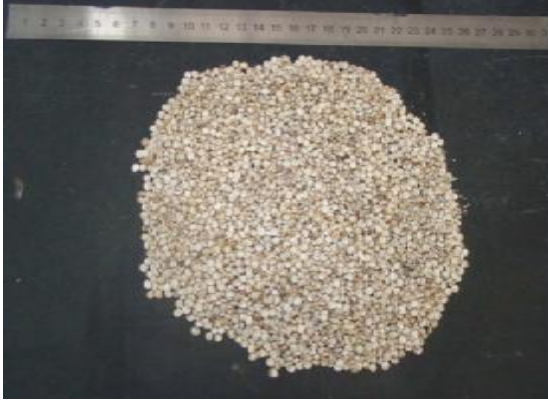
تستعمل الصوامع ذات القمع الضحل بكثرة في الصناعة لتخزين كميات كبيرة من المواد، إلا أن القمع الضحل عادة ما يسبب جرياناً نواتياً تنتج عنه مشكلات عدة أهمها انفصال المادة المخزنة أو تشكل قناة ضيقة للجريان تسهم سلباً في تخفيض الطاقة التخزينية للصومعة [1] ومع ذلك توجد إمكانية لمعالجة مثل هذه المشكلات تتجلى بالانتقال إلى الجريان الكثلي من خلال استعمال عنصر مدخل [2]، والعنصر المدخل هو عنصر إنشائي يمكن أن يكون له عدة أشكال ومقاطع (منها ما هو مخروطي، ومقطع مثلثي،...) [3]، يركب عادة على ارتفاع معين فوق فتحة المخرج. إذا كان التصميم واختيار التوضع جيداً فإن ذلك يسهم في تخفيض حجم المناطق الساكنة في الصومعة محسناً الجريان نحو الجريان الكثلي [4].

لا تزال المعرفة محدودة عن تأثير استعمال العنصر المدخل في توزيع الضغط الناتج على الجدار ولاسيما ما يتعلق بتأثير توضع العنصر المدخل ضمن الصومعة، ومن هنا تتبع أهمية هذا البحث لأنه يتناول النتائج التجريبية لتوزيع الضغط الديناميكي الناتج على جدار صومعة خلال التفريغ، دون عنصر مدخل ومعه، وعلى عدة توضعات للعنصر المدخل المدروس ضمن الصومعة وقرب القمع، وذلك انطلاقاً مما تم التوصل إليه من بحوث سابقة عن أفضل توضع للعنصر المدخل [5][6]. مع تأكيد ضرورة الاهتمام بدراسة تأثير كل من التوضع والشكل الهندسي للعنصر المدخل في تنظيم عملية الجريان وتحسين شكل الجريان، وأثر ذلك في الضغط الناتج في الجدار من خلال بحوث مستقبلية. المادة المخزنة هي الذرة العلفية، أُجريت التجارب في مخبر البيتون ومواد البناء في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق.

2- العمل المختبري:

أجريت التجارب على نموذج صومعة معدنية، سماكة المعدن 3.5 ملم (الشكل 1) الصومعة بشكل نصف اسطوانة ارتفاعها 1.5 م، قطرها 0.8 م (نسبة الارتفاع إلى القطر

مادة التعبئة المستعملة هي الذرة العلفية، ذات وزن حجمي 800 كغ/م³، قطر الحبيبات 3-4 ملم [17]، زاوية الراحة 30 درجة، زاوية الاحتكاك مع الجدار 23 درجة (الشكل 5).



الشكل (5) الذرة العلفية المستعملة في التجارب

عُبئت الصومعة وُفِرغَتْ بشكل مركزي وتحت تأثير الوزن الذاتي، وجرى التحكم بفتحة المخرج من خلال ذراع معدنية حركت بشكل يدوي (الشكل 6).

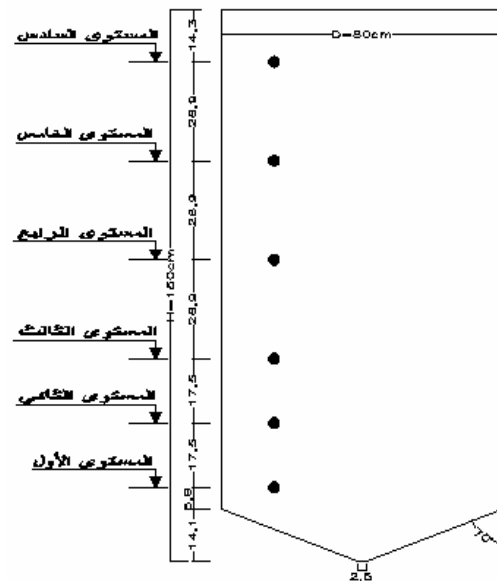


الشكل (6) ذراع التحكم بفتح وإغلاقها فتحة المخرج



الشكل (3) تثبيت خلية قياس الضغط على النموذج

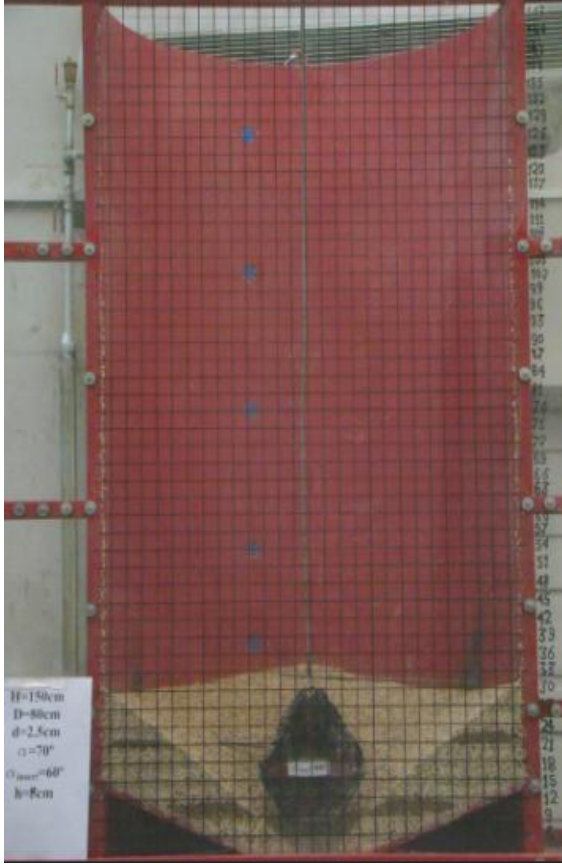
اختيرت ستة مستويات لقياس الضغط على ارتفاع جسم الصومعة بحيث وزعت ثلاثة مستويات في الثلث السفلي من جسم الصومعة، في حين وزعت المستويات الثلاثة المتبقية بالتساوي على باقي الارتفاع (الشكل 4).



الشكل (4) مستويات قياس الضغط

قطر خلية قياس الضغط 1.75 أنشاً تم صنعت من المعدن ليكون لها نعومة جدار الصومعة المدروسة نفسه. وأجريت معايرة الخلية باستعمال أنبوب مائي حيث قيس الضغط الناتج عن ملئه بالماء لارتفاع 100 سم ليكون 10 Kpa ، سُجِلَتْ قيم الضغط باستعمال حاسب شخصي.

له، بتدوير الذراع يُرْفَعُ أو يُخَفَّضُ العنصر المدخل شاقولياً ضمن الصومعة (الشكل 8).



الشكل (8) توضع العنصر المدخل ضمن الصومعة

إِعْتُمِدَتْ ثلاثة توضعات شاقولية للعنصر المدخل ضمن الصومعة (الجدول 1) وفقاً للنسبة h_1/h_2 إذ:

- h_1 : ارتفاع قاعدة العنصر المدخل عن فتحة المخرج.

- h_2 : ارتفاع القمع.

وَأُجْرِيَتْ التجارب اللازمة لكل توضع (الأشكال 9-10-11).

أُجْرِيَتْ تجارب قياس الضغط لحالتين: دون استعمال عنصر مدخل ومعه (بلغ عدد التجارب نحو 75 تجربة)، و صُنِعَ العنصر المدخل من المعدن ارتفاعه الكلي 27.8 سم بشكل نصف شاقولي لمخروط علوي وجذع مخروط معكوس (الشكل 7)، قطر قاعدة المخروط 20 سم (بحدود 25% من قطر القمع كما هو منصوص به من قبل^[4]). زاوية ميلان كل من جدار المخروط العلوي وجذع المخروط المعكوس 60 درجة. رُكِّبَ العنصر المدخل بمساعدة جناح معدني مثبت على جدار الصومعة، في نهايته الحرة سكة تحصر ضمنها الجناح المعدني الملحوم على جدار المخروط عند تركيب العنصر المدخل.

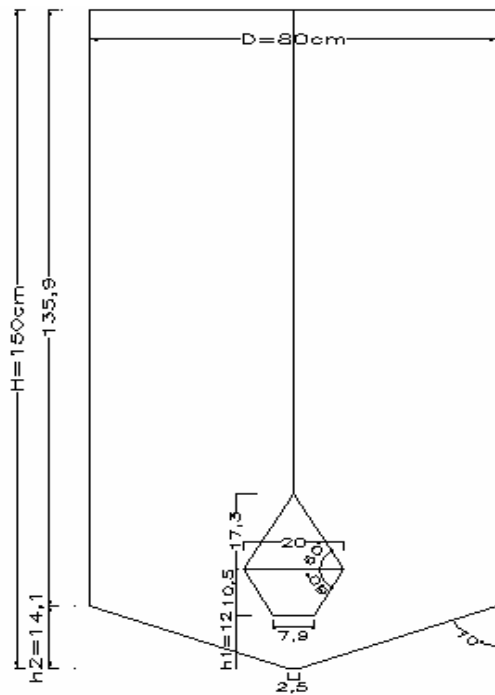


الشكل (7) العنصر المدخل المستعمل

إِسْتُعْمِلَتْ أربعة قضبان جانبية محلزنة قطر كل منها 8 ملم بتحريكها يضبط مكان العنصر المدخل أفقياً نحو اليمين أو اليسار وبتجاه اللوح الشفاف.

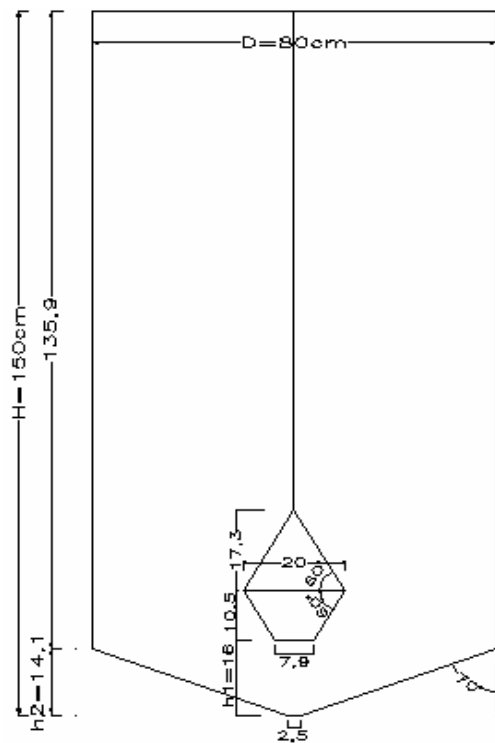
كما ضُبِّطَ توضع العنصر المدخل شاقولياً من خلال قضيب محلزن قطره 8 ملم لحمت نهايته السفلية بأعلى العنصر المدخل، في حين وضعت عزقة مع ذراع في النهاية العلوية

الجدول (1) نسبة توضع العنصر المدخل ضمن الصومعة



العنصر المدخل عند النسبة $\frac{h1}{h2}=0.85$

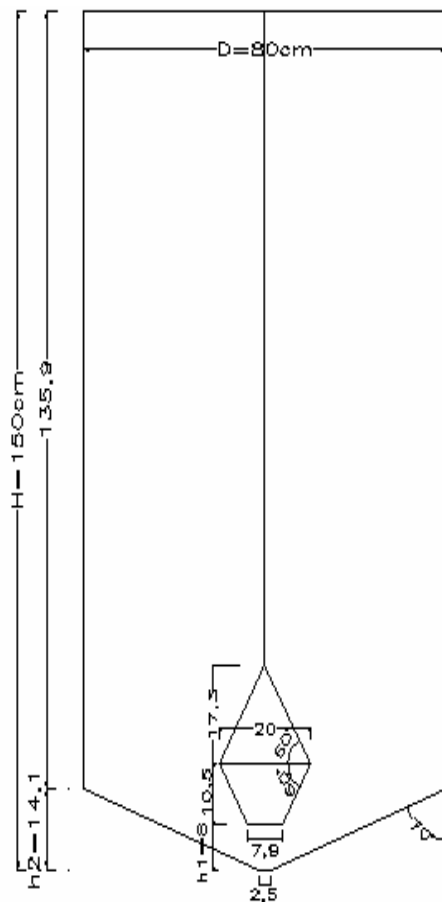
الشكل (10)



العنصر المدخل عند النسبة $\frac{h1}{h2}=1.135$

الشكل (11)

ارتفاع قاعدة العنصر المدخل عن فتحة المخرج (سم)	ارتفاع القمع (سم)	h_1/h_2
h_1	h_2	
8	14.1	0.57
12	14.1	0.85
16	14.1	1.135

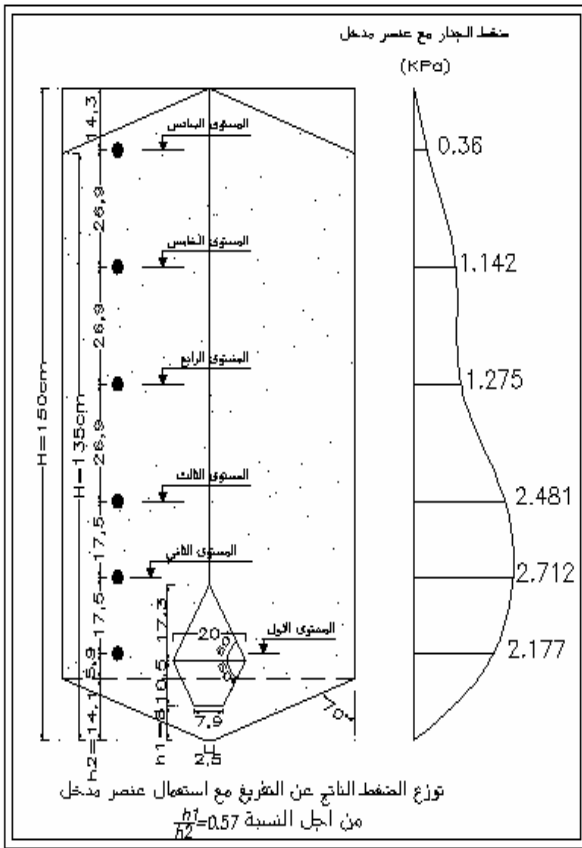


العنصر المدخل عند النسبة $\frac{h1}{h2}=0.57$

الشكل (9)

العنصر المدخل من أجل النسبة ($h_1/h_2=0.57$) إذ نلاحظ زيادة قيم الضغط عند المستويين الثاني والثالث وانخفاضه بشكل طفيف عند المستوى الأول. نسبة الزيادة في الضغط الديناميكي عند كل مستوى بدءاً من المستوى الأول السفلي وحتى المستوى السادس العلوي كانت بحدود 0.87 %، 1.18 %، 1.13 %، 0.81 %، 1.03 %، 0.77 %، بالتالي.

- يظهر الشكل (14) توزيع قيم الضغط الديناميكي الناتج على جدار الصومعة عند المستويات الستة عند توضع العنصر المدخل من أجل النسبة ($h_1/h_2=0.85$)، إذ نلاحظ زيادة طفيفة في قيمة الضغط عند المستويين الثاني



الشكل (13)

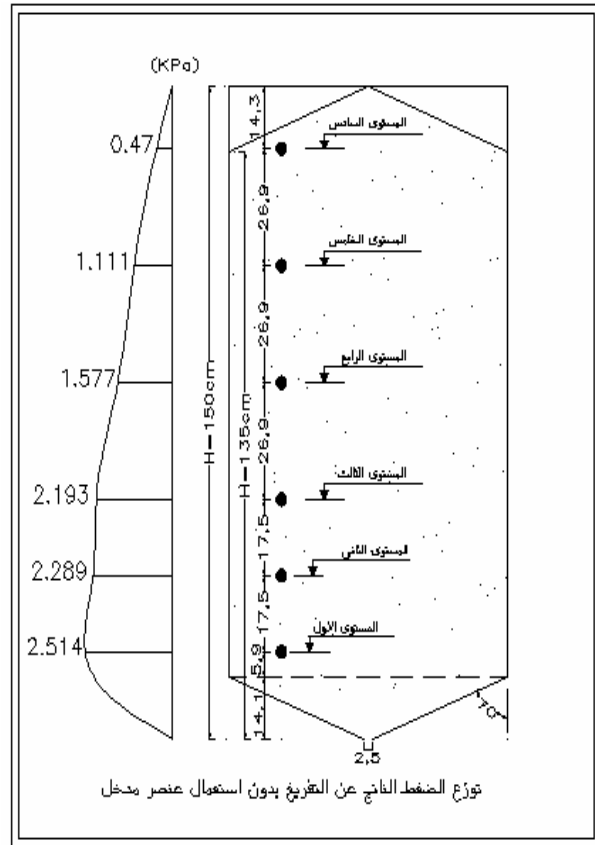
والثالث أعلى العنصر المدخل، وانخفاضه بشكل ملحوظ عند المستوى الأول، في حين كانت بقية القيم قريبة من القيم الناتجة من حالة عدم استعمال العنصر المدخل.

في هذا البحث عُرِضَتْ نتائج توزيع الضغط الديناميكي على جدار الصومعة مع تغيير التوضع الشاقولي للعنصر المدخل الموضوع بشكل مركزي ضمن الصومعة و قُورِنَ بتوزع الضغط دون استعمال العنصر المدخل.

3- تحليل النتائج والمناقشة:

- تظهر النتائج دون استعمال العنصر المدخل ما يأتي:

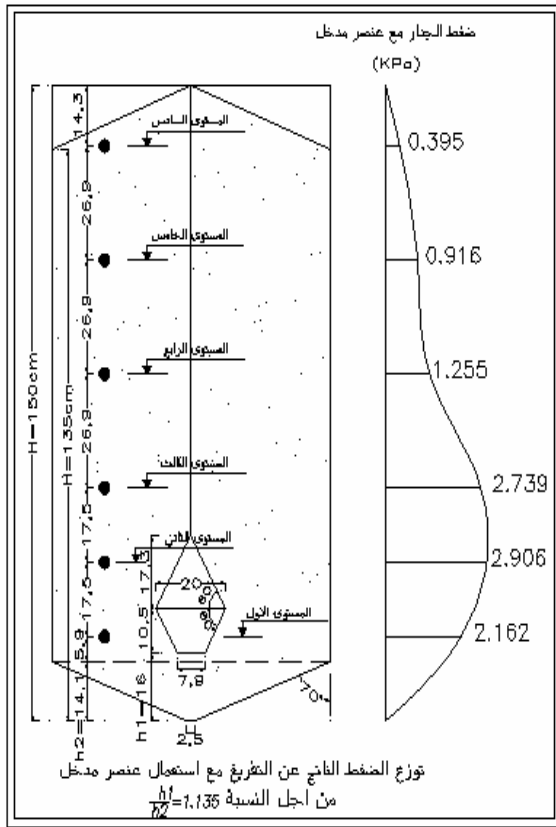
يظهر الشكل (12) توزيع الضغط الديناميكي الناتج على جدار الصومعة خلال التفريغ، في بداية التفريغ تحدث زيادة في قيمة الضغط الديناميكي الناتج عن الجريان عند المستويات السفلية من الصومعة وتكون القيمة الكبرى قرب المستوى الأقرب لمنطقة الانتقال من جسم الصومعة إلى القمع.



الشكل (12)

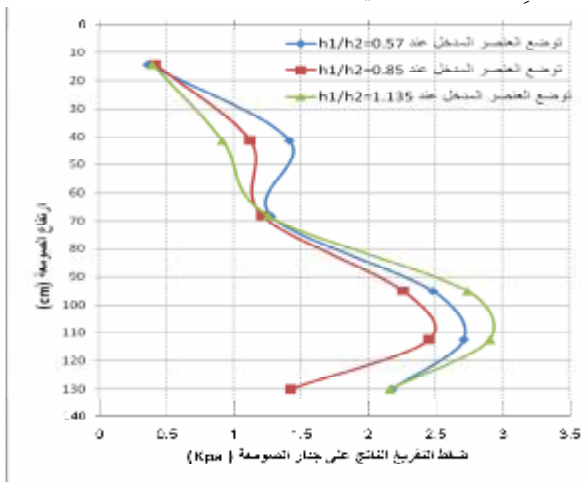
- كما تظهر النتائج باستعمال العنصر المدخل ما يأتي:

- يظهر الشكل (13) توزيع قيم الضغط الديناميكي الناتج على جدار الصومعة عند المستويات الستة عند توضع



الشكل (15)

- يظهر الشكل (16) مقارنة بين قيم الضغط الديناميكي لحالة استعمال العنصر المدخل ضمن الصومعة وعلى توضع مختلفة إذ نلاحظ ما يأتي:

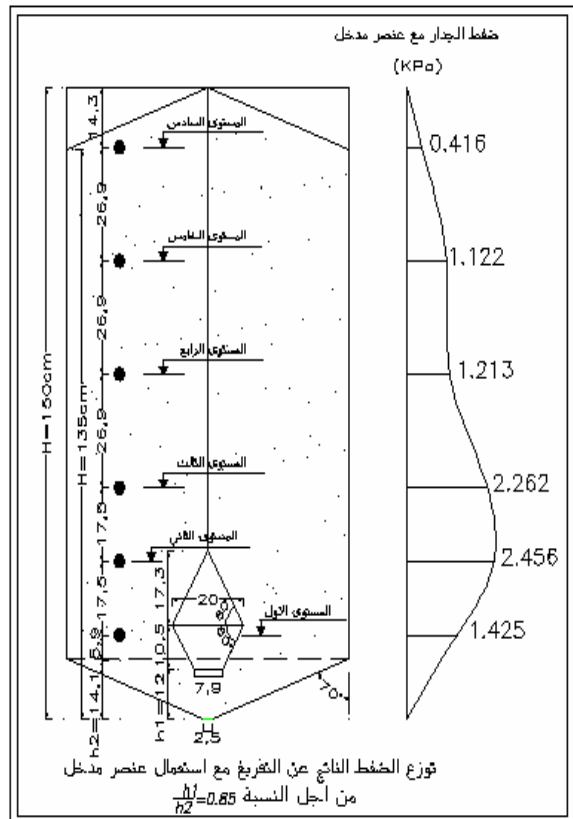


الشكل (16) مقارنة الضغط الديناميكي الناتج عن التفريغ لحالة استعمال عنصر مدخل وعلى توضع مختلفة

نسبة الزيادة في الضغط الديناميكي عند كل مستوى بدءاً من المستوى الأول السفلي وحتى المستوى السادس العلوي كانت بحدود 0.57 %، 1.07 %، 1.03 %، 0.77 %، 1.01 %، 0.89 % بالتتالي.

- يظهر الشكل (15) توزيع قيم الضغط الديناميكي الناتج على جدار الصومعة عند المستويات الستة عند توضع العنصر المدخل على النسبة (h1/h2=1.135) إذ نلاحظ زيادة أكبر لقيمة الضغط عند المستويين الثاني والثالث وانخفاضها بشكل طفيف عند بقية المستويات.

نسبة الزيادة في الضغط الديناميكي عند كل مستوى بدءاً من المستوى الأول السفلي وحتى المستوى السادس العلوي كانت بحدود 0.86 %، 1.27 %، 1.25 %، 0.80 %، 0.82 %، 0.84 % بالتتالي.



الشكل (14)

باعتبار:

P: الضغط الأفقي على جدار الصومعة خلال التفريغ.

γ : كثافة المادة المخزنة.

μ : معامل الاحتكاك للمادة المخزنة.

μ' : معامل الاحتكاك بين الجدار والمادة المخزنة.

γ : العمق المدروس للمادة المخزنة.

D: قطر الصومعة.

H: ارتفاع المادة المخزنة في الصومعة من أسفل القمع

إلى السطح الفعال للمادة المخزنة.

α : زاوية ميلان القمع مع الشاقول.

وانطلاقاً من نظرية التحليل البعدي للجريان [8] يمكن تحديد العلاقة اللابعدية لحساب ضغط التفريغ الناتج على جدار الصومعة مع استعمال العنصر المدخل، إذ دُرِسَت المتغيرات الأساسية للجملة المدروسة التي يجري التعبير عنها بالتابع الآتي:

$$f(P, g, m, m', \gamma, D, H, h_1, h_2, \alpha) = 0$$

وتبعاً لنظرية التحليل البعدي يكون:

$$f\left(\frac{P}{\gamma D}, \mu, \mu', \mu, \frac{\gamma}{H}, \frac{h_1}{h_2}\right) = 0$$

وباعتبار μ, μ' ثابتة إذ إنّ المادة المخزنة هي الذرة العلفية، و α زاوية ميلان القمع مع الشاقول ثابتة، تبقى العلاقة مرتبطة بكل من التراكيب اللابعدية الآتية:

$$\left(\frac{P}{\gamma D}, \frac{\gamma}{H}, \frac{h_1}{h_2}\right)$$

واعتماداً على قيم الضغط الديناميكي التي تم الحصول عليها من التجارب السابقة وبتعويض هذه القيم بدلالة التراكيب اللابعدية ورسم المنحنيات الحاصلة نجد:

- الشكل (18) يوضح العلاقة بين $P/(\gamma H)$ (نسبة الضغط الديناميكي إلى الوزن الحجمي للمادة المخزنة وارتفاع الصومعة) و h_1/h_2 (نسبة ارتفاع قاعدة العنصر المدخل عن فتحة المخرج إلى ارتفاع القمع)، إذ نلاحظ انخفاض النسبة $P/(\gamma H)$ عند التوضع $h_1/h_2=0.85$ مقارنة بالتوضعين الآخرين للعنصر المدخل، وذلك من أجل المستويات الثلاثة

§ أدى التوضع ذو النسبة $h_1/h_2=1.135$ إلى زيادة مهمة في الضغط عند المستويات السفلية من الصومعة.

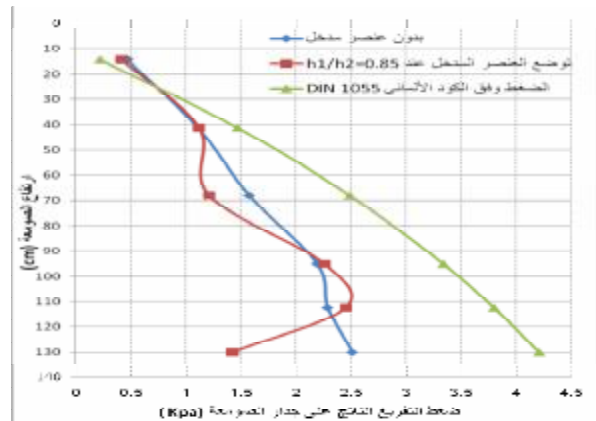
§ أدى التوضع ذو النسبة $h_1/h_2=0.57$ أيضاً إلى زيادة في الضغط عند المستويات السفلية من الصومعة ولكن بشكل أقل من التوضع ذي النسبة $h_1/h_2=1.135$

§ أعطى التوضع ذو النسبة $h_1/h_2=0.85$ أقل قيمة للضغط الناتج عند المستويات السفلية من الصومعة مقارنة بالتوضعات الأخرى.

ومن ثمّ فإن التوضع ذا النسبة $h_1/h_2=0.85$ سبب أقل ضغط على جدار الصومعة مقارنة بالتوضعات الأخرى للعنصر المدخل نفسه.

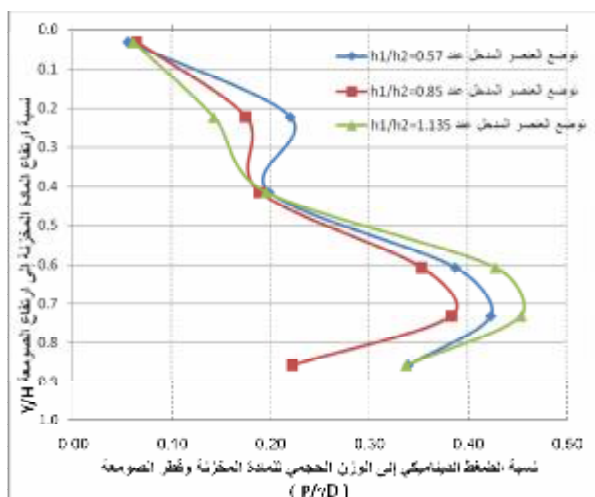
- يظهر الشكل (17) مقارنة بين قيم الضغط الديناميكي بين حالة عدم استعمال وحالة استعمال العنصر المدخل ضمن الصومعة من أجل التوضع $h_1/h_2=0.85$ ، إذ نلاحظ أن هذا التوضع أدى إلى زيادة طفيفة في الضغط عند المستويات السفلية الأعلى من العنصر المدخل، في حين سبب انخفاضاً ملحوظاً في الضغط أسفل توضع العنصر المدخل، وكانت القيم في المستويات العلوية قريبة من القيم الناتجة من حالة عدم استعمال العنصر المدخل.

كذلك كانت جميع قيم الضغط الناتجة من حالة استعمال العنصر المدخل عند التوضع المذكور أقل من القيم الحسابية وفق الكود الألماني Din 1055.



الشكل (17) مقارنة الضغط الديناميكي الناتج عن التفريغ لحالة دون استعمال عنصر مدخل ومع استعماله من أجل النسبة $h_1/h_2=0.85$

4- التحليل البعدي:

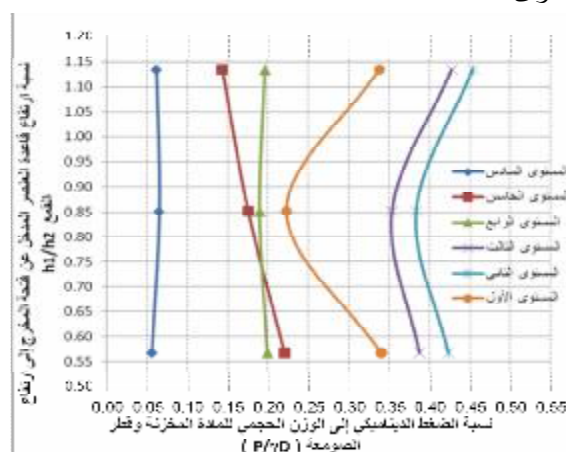
الشكل (19) العلاقة بين $P/(gH)$ و y/H

وانطلاقاً من هذه المنحنيات أُدخِلت النتائج إلى برنامج *curve expert* وبدلالة التراكيب اللابعدية السابقة أعطى البرنامج احتمالات عديدة للعلاقة الرياضية إلا أنه اختيرت العلاقة الأنسب بشكل يتوافق مع طرائق حساب الضغط النظري في الصوامع فتم الوصول إلى العلاقة الآتية :

$$\frac{P}{g.D} = 5 * e^{(-0.5 * (((\frac{y}{H} - 0.72) / 0.38)^2 + ((\frac{h_1}{h_2} - 84) / 38)^2))}$$

جرى التحقق من العلاقة من خلال الشكل (20) الذي يبيّن مقارنة العلاقة الرياضية مع النتائج التجريبية فضلاً عن قيم الضغط الحسابية وفق الكود الألماني Din 1055 ، إذ يتضح التوافق النسبي بين العلاقة والقياسات التجريبية الثلاثة المحيطة بكل نقطة كما يتضح الاختلاف بين العلاقة والكود نظراً إلى تأثير العنصر المدخل ووجود عوامل أمان ضمن علاقات الكود.

السفلية من النموذج إذ تبلغ هذه النسبة من أجل التوضع $h_1/h_2=0.85$: (22%) في المستوى الأول، و (38%) في المستوى الثاني، و (35%) في المستوى الثالث، ومن أجل التوضع $h_1/h_2=0.57$: (34%) في المستوى الأول، و (42%) في المستوى الثاني، و (39%) في المستوى الثالث، ومن أجل التوضع $h_1/h_2=1.135$: (34%) في المستوى الأول، و (45%) في المستوى الثاني، و (43%) في المستوى الثالث

الشكل (18) العلاقة بين $P/(gH)$ و h_1/h_2

-أمّا الشكل (19) فيبيّن العلاقة بين $P/(γH)$ (نسبة الضغط الديناميكي إلى الوزن الحجمي للمادة المخزنة وارتفاع الصومعة) إلى y/H (نسبة ارتفاع المادة المخزنة إلى ارتفاع الصومعة)؛ وذلك من أجل العنصر المدخل السابق نفسه، إذ نلاحظ انخفاض النسبة $P/(γH)$ عند التوضع $h_1/h_2=0.85$ مقارنة بالتوضعين الآخرين للعنصر المدروس، وذلك من أجل المستويات الثلاثة السفلية من النموذج. في حين تتقارب النسبة في المستويات العلوية من أجل التوضعات المختلفة للعنصر المدروس.

أيضاً حسب الانحراف المعياري (الذي يعبر عن مقدار انحراف القيم وفق العلاقة عن القيم التجريبية، فعندما يكون مساوياً للصفر دل على عدم وجود تباين بين القيم المحسوبة وفق العلاقة والقيم التجريبية):

$$S = \sqrt{\frac{\sum(P_i - P_i)^2}{n}}$$

وتبين أن $S=0.06$ وهو معيار جيد للانحراف في القيم.

5- الاستنتاجات:

استناداً إلى الدراسة التجريبية التي أُجريتْ نورد أهم النتائج الحاصلة بالنقاط الآتية:

- إن توضع العنصر المدخل ضمن القمع وأقرب ما يمكن إلى منطقة الانتقال من جسم الصومعة إلى القمع يسبب زيادة في الضغط الناتج على جدار الصومعة، ولكن هذه الزيادة نسبياً طفيفة، وهذا ما يبرر استعمال العنصر المدخل ضمن الصومعة، مع العلم أنه يحصل تناقص لقيمة الضغط في أماكن أخرى من الجدار.

- ينصح باستعمال العنصر المدخل ضمن الصومعة بحيث يتوضع في الجزء القريب من القمع لأنه لا يعطي فائدة عند توضع ضمن جسم الصومعة.

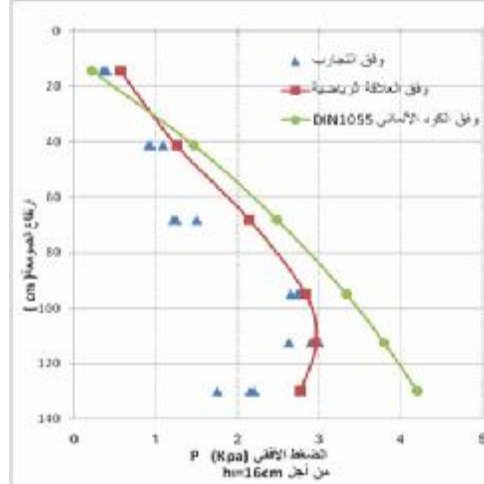
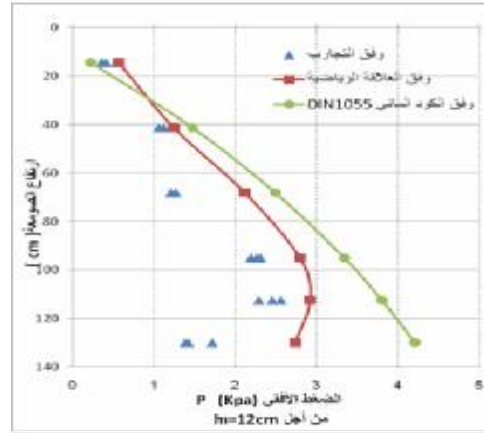
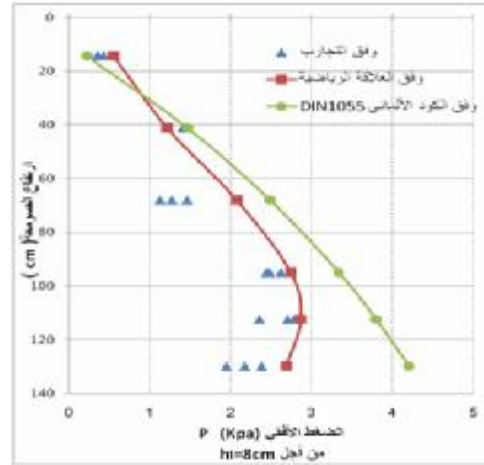
- تبين أن العلاقة التي تربط بين المتغيرات اللابعدية

$$\left(\frac{P}{g.D}, \frac{Y}{H}, \frac{h_1}{h_2}\right)$$

هي من الشكل:

$$\frac{P}{g.D} = 5 * e^{(-0.5 * (((\frac{Y}{H} - 0.72)/0.38)^2 + ((\frac{h_1}{h_2} - 84)/38)^2))}$$

وهذه العلاقة صالحة من أجل الصوامع الاسطوانية العادية ومن أجل الذرة بوصفها مادة مخزنة.



الشكل (20) مقارنة الضغط الديناميكي الناتج عن العلاقة الرياضية بكل من النتائج التجريبية والقيم الحسابية وفق الكود الألماني Din 1055 كما حسب معامل الترابط للعلاقة لإيجاد مدى دقتها (إذ كلما كان معامل الترابط قريباً من الواحد عبّر عن مصداقية العلاقة وكلما صغّر دل على عدم الترابط)، وبحسابه كان: $R=0.92$ وهو معيار جيد لترابط العلاقة.

6- المراجع:

1. Rotter j.m (2001), " **Guide For The Economic Design Of Circular Metal Silos**", Spon Press, London.
2. Jintao Wu, Jiang Binbo, Jizhong Chen, Yongrong Yang (2008). " **Multi-scale study of particle flow in silos**", Journal of advanced Powder Technology 20 (2009) pp.62-73 .
3. Carson J.W, Troxel T.J & Bengston K.E (2008). " **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.
4. Michał Wójcik, Johannes Härtl, JinY. Ooi, Michael Rotter, Songxiong Ding, GisleG. Enstad (2007). " **Experimental Investigation of the Flow Pattern and Wall Pressure Distribution in a Silo with a Double-Cone Insert**." ,Journal of Part .Part .Syst .Charact . 24 (2007), pp.296-303
5. Q. Zhang, B. Hao and M.G. Britton (2002). " **Flow patterns of cohesive feed in a model bin with flow-corrective inserts**", Canadian Biosystems Engineering. University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada.
6. Mutaz Daas, Rajiv Srivastava, Norman Munroe (2006). " **Designing and Operating Reliable Gasifiers**". Fourth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCET'2006), "Breaking Frontiers and Barriers in Engineering: Education, Research and Practice". 21-23 June 2006, Mayagüez, Puerto Rico
7. Dareen Gerges (2009), " **Studying the change of the flow pattern and wall pressure in silos due to centric and eccentric discharge**", Damascus University, Syria.
8. Wael Mualla, Amjad Zeno, Wissam Nakhleh, Youssef Marai (2009). " **Applied Hydraulics**", Damascus University publication, Syria

