دراسة جريان المواد الحبيبية والضغط الناتج أثناء التفريغ المركزي واللا مركزي في الصوامع مستطيلة المقطع

المهندسة دارين جرجس* **الدكتورة المهندسة هالة حمادة****

الملخص

البحث هو بحث تجريبي في الصوامع البيتونية المستطيلة لدراسة ظاهرة اللامركزية من حيث شكل الجريان بداخل الصومعة (عند التفريغ المركزي و اللامركزي بنسب معينة) ومن حيث الضغط الديناميكي الأفقي الجداري (عند التفريغ المركزي واللا مركزي بنسب معينة) صُنِعَ نموذج لصومعة من البلكس غلاس الشفاف بدراسة النمذجة وأُجريتْ تجارب على ذرة علفية كمادة تخزينية من حيث مواصفاتها بعد ذلك أجريت التجارب مضمون البحث أي دراسة شكل الجريان والضغط بتغير اللامركزية كما أُجريتْ دراسة تحليلية لنتائج التجارب وتم التوصل إلى نتائج وعلاقة رياضية.

الكلمات المفتاحية: الصوامع التفريغ المركزي - التفريغ اللامركزي

* أُعِدَّ البحث في سياق بحث الماجستير للمهندسة دارين جرجس بإشراف الدكتورة هالة حمادة

** قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق

1 - المقدمة

تعدُّ الصوامع من المنشآت الهندسية الخاصة، وتتبع خصوصيتها باعتبارها من المنشآت الهامة في قطرنا كونها الأسلوب الأنسب والأكثر استخداماً لتخزين الحبوب التي تعد محصولاً استراتيجياً لسورية إذ يمكن أن تكون هذه الحبوب المخزنة من فائض إنتاج الموسم لتصديره أو لاستخدامه محلياً.

كما أننا اليوم في عالم تسعى فيه كل دولة إلى الوصول إلى الأمن الغذائي، ومن ثمَّ فإن بناء الصوامع الجيدة والقابلة للاستثمار في ظروف مختلفة تعدُّ ضرورة من ضرورات الأمن الغذائي.

2 - عرض المشكلة:

كل عام يواجه استثمار الصوامع كثير من المشكلات التي قد تؤدي إلى الانهيار ويعود ذلك إلى عدم القدرة على التحديد الدقيق للضغوط الديناميكية الناتجة على جدران الصوامع في أثناء عملية التفريغ التي بدورها تتعلق بشكل كبير بطبيعة جريان المواد داخل الصوامع هذا وقد أُجريتِ العديد من البحوث والدراسات حول أشكال الجريان وسبل تحديدها للوصول إلى طريقة دقيقة لتحديد الضغوط التصميمية، وتوجد الصوامع في العالم بأشكال متعددة منها ذات تفريغ مركزي وأخرى لا مركزي وبعض الكودات يدخل تأثير شكل الجريان في حساب الضغط الديناميكي ويأخذ اللامركزية بالحسبان (يقوم بإضافة ضغوط غير منتظمة تعمم على كامل الصومعة أو بمعامل تصعيد) أي اللامركزية لم تدرس بشكل تفصيلي من حيث تأثير بعد فتحة التفريغ عن مركز الصومعة على شكل الجريان والضغط الناجم على جدرانها ومن هنا ظهرت ضرورة البحث في هذا المجال.

3 - هدف البحث:

هدف البحث إلى دراسة شكل الجريان داخل الصوامع البيتونية المستطيلة (في أثناء كل من التفريغ المركزي واللامركزي) وقياس الضغط الديناميكي الأفقي الناجم عنه على جدران الصومعة(بشكل تجريبي) ولمعرفة ماهية هذا الجريان وآليته دُرِسَتْ (نمذجة) صومعة مستطيلة (بنسبة $\frac{H}{W}=1.75$ إذ H ارتفاع الصومعة و W عرض الصومعة) وثُبِّتَتِ الباراميترات جميعها وغُيِّرَ باراميتر واحد متعلق بموقع فتحة التفريغ إحداها في المركز وفتحات متفرقة بعيداً عن المركز بنسب معينة لمعرفة تأثير ذلك في شكل الجريان ومن ثمَّ الضغط الناجم على جدران الصومعة نتيجة ذلك التغيير.

انقسم البحث إلى ثلاثة أجزاء رئيسية:

- الجزء الأول: عبارة عن دراسة نظرية عن النمذجة (كيف يُبنى نموذج عن الأصل) لتحديد أبعاد النموذج الذي صُمِّمَ بما يتناسب والصوامع الحقيقية كي نحصل على نتائج تمثل الواقع وكذلك نمذجة الجريان داخل الصومعة.
- الجزء الثاني: عبارة عن دراسة تجريبية تضمنت:

- تجارب تمهيدية من أجل تحديد مجال الدراسة و اختبار أجهزة الضغط والنماذج: والتي تتضمن قياس زاوية الاحتكاك الداخلي للمادة المخزنة فضلاً عن قياس زاوية احتكاك المادة على جدار النموذج (Plexiglas) وإجراء تجارب لتحديد موضع فتحة التفريغ بحيث يكون لها تأثير ملحوظ في التغير في تشكل الجريان، تحديد المنطقة التي يتوضع فيها المقطع الفعال والتي ينشأ عندها قفزات على قيمة الضغط الديناميكي من أجل تحديد أماكن توضع أجهزة الضغط لرصد قيم الضغط الديناميكي العالية فضلاً عن اختبار جهاز الضغط لتحديد مجال قياسه ودقته .

- تجارب فعلية حيث أُجريتْ تجارب على صوامع ذات مقطع مستطيل لمراقبة الجريان وتغير موقع فتحة التفريغ لنحصل على تفريغ مركزي ولا مركزي وحُدِّدَ شكل الجريان ومناطق الجريان ثم وُضِعَ جهاز الضغط في عدة مستويات على كامل ارتفاع الصومعة لقياس الضغط في أثناء التفريغ المركزي واللامركزي على الجدار القريب والبعيد من كل فتحة تفريغ، مع إعادة التجربة 3 مرات لكل حالة.

- الجزء الثالث : عبارة عن دراسة تحليلية رياضية تم بها توسيط نتائج قياس الضغط والربط بين قيمة الضغط الديناميكية الوسطية الناتجة مع شكل الجريان الناجم عن التفريغ المركزي واللامركزي كما صِيغَتِ النتائج بشكل منحنيات وعلاقات رياضية تربط بين اللامركزية والضغط الناجم على جدران الصومعة بدراسة النموذج الرياضي والتوصل إلى بعض التوصيات والنتائج التي تفيد في حالات استخدام كل من التفريغ المركزي واللامركزي .

4 -النمذجة:

عندما نصمم نموذجاً لصومعة، ينبغي أن يكون النموذج مشابهاً للأصل من الناحية الهندسية حيث يتحقق التشابه الهندسي عندما تكون النسبة بين الأبعاد الهندسية المتقابلة جميعها في الأصل والنموذج واحدة، وكانت للزوايا المتقابلة جميعها في الأصل والنموذج القيمة نفسها.

فتم الانطلاق من الإجراءات المطروحة من قبل العالم السويدي الأصل ادغار بايكنغهام الذي أوجد نظرية π عام1912 التي تعدُّ أساساً لنظرية التحليل البعدي ولتعيين التراكيب اللابعدية π لأي مسألة، نقوم بالخطوات الآتية:

أ- اختيار المتغيرات المؤثرة في المسألة المدروسة وأبعادها: تعدُّ هذه الخطوة هي الأهم والأصعب. وفي الصوامع المستطيلة لدينا المقادير الآتية:

α: زاوية ميلان القمع.

γ: الوزن الحجمي. $F\cdot L^{-3}$

φ' : زاوية الاحتكاك على الجدار.

φ : زاوية الاحتكاك الداخلي للمادة المخزنة.

H : ارتفاع الصومعة L

W : طول الصومعة L

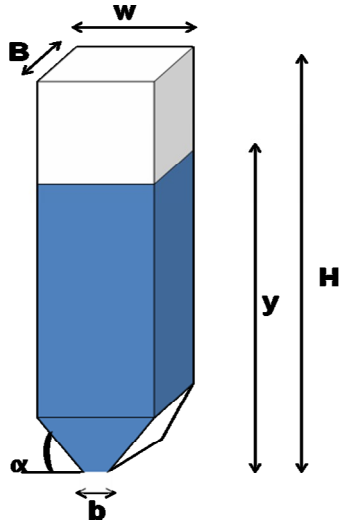
y : عمق المواد المخزنة L

b : عرض فتحة الخروج L

EI: قساوة جدار الصومعة $F\cdot L^2$

B: عرض الصومعة L

إن عدد المتغيرات الأساسية 10 وتقاس بواحدتين أساسيتين الطول L والقوة F ويبيّن الشكل (1 -1) أماكن هذه الأبعاد على الصومعة.



الشكل (1 -1) الأبعاد الأساسية للصومعة

يُعبَّرُ عن العلاقة بين هذه المتغيرات بمعادلة تابع عام:

$$f(\gamma,\varphi',\varphi,\alpha,H,W,y,b,EI,B)=0 \qquad (1\text{-}1)$$

ب - تحديد عدد التراكيب اللابعدية: بعد معرفة عدد المتغيرات المؤثرة في المسألة n، وأبعاد هذه المتغيرات K، يكون عدد التراكيب اللابعدية هو $(n-K)$.

وفي مسألتنا n متغير (10) تقاس بـ K واحدة أساسية (اثنتان هنا) فيمكن أن تخفض الشكل:

$$\phi(\pi_1,\pi_2,....,\pi_{n-k})=0$$

إلى:

$$\phi(\pi_1,\pi_2,....,\pi_8)=0 \qquad (2\text{-}1)$$

وذلك باعتبار π عنصر لا بعدي يأخذ الشكل الآتي:

$$\pi = y\cdot EI\cdot\gamma\cdot\varphi'\cdot\varphi\cdot\alpha\cdot H\cdot W\cdot b\cdot B \qquad (3\text{-}1)$$

ج- اختيار عددٍ من المتغيرات الأساسية: حيث يتم اختيار عددٍ من المتغيرات ويجب أن تحتوي هذه المتغيرات الأبعاد جميعها التي تحتويها المتغيرات المؤثرة في المسألة. كما أن عدد هذه المتغيرات يجب أن يساوي عدد الأبعاد الأساسية.

لذا اختير العنصران EI و y مستقلان.

د -صياغة علاقات التراكيب اللابعدية: يمكن كتابة الكميات اللابعدية على الشكل الآتي:

$$\pi_1 = y^{a_1}\cdot EI^{b_1}\cdot\gamma$$

$$\pi_2 = y^{a_2}\cdot EI^{b_2}\cdot\varphi'$$

$$\pi_3 = y^{a_3}\cdot EI^{b_3}\cdot\varphi$$

$$\pi_4 = y^{a_4}\cdot EI^{b_4}\cdot\alpha$$

$$\pi_5 = y^{a_5}\cdot EI^{b_5}\cdot H$$

$$\pi_6 = y^{a_6}\cdot EI^{b_6}\cdot W$$

$$\pi_7 = y^{a_7}\cdot EI^{b_7}\cdot b$$

$$\pi_8 = y^{a_8}\cdot EI^{b_8}\cdot B$$

وباعتبار أن $a_1 \to a_8$ و $b_1 \to b_8$ مجاهيل.

لمعرفة هذه المجاهيل نعبر عن: $(\gamma,\varphi',\varphi,\alpha,H,W,y,b,EI,B)$ كل منها بمعادلة بعدية:

$$\pi_1 = (L)^{a_1}\cdot(F\cdot L^2)^{b_1}\cdot(F\cdot L^{-3})$$

$$\pi_2 = (L)^{a_2}\cdot(F\cdot L^2)^{b_2}\cdot(1)$$

$$\pi_3 = (L)^{a_3}\cdot(F\cdot L^2)^{b_3}\cdot(1)$$

$$\pi_4 = (L)^{a_4}\cdot(F\cdot L^2)^{b_4}\cdot(1)$$

$$\pi_5 = (L)^{a_5}\cdot(F\cdot L^2)^{b_5}\cdot(L\ )$$

$$\pi_6 = (L)^{a_6}\cdot(F\cdot L^2)^{b_6}\cdot(L)$$

$$\pi_7 = (L)^{a_7}\cdot(F\cdot L^2)^{b_7}\cdot(L)$$

$$\pi_8 = (L)^{a_8}\cdot(F\cdot L^2)^{b_8}\cdot(L)$$

هـ- إيجاد قيم الأسس في علاقات التراكيب اللابعدية:

لجعل $\pi_1 \to \pi_8$ لا بعدية أس كل من L,F ينبغي أن تكون مساوية للصفر. وبحل المعادلات السابقة يكون لدينا:

$$\pi_1 = \frac{y^5\cdot\gamma}{EI}$$

$$\pi_2 = \varphi'$$

$$\pi_3 = \varphi$$

$$\pi_4 = \alpha$$

$$\pi_5 = \frac{H}{y}$$

$$\pi_6 = \frac{W}{y}$$

$$\pi_7 = \frac{b}{y}$$

$$\pi_8 = \frac{B}{y}$$

بافتراض رمز النموذج m ورمز الأصل p يكون لدينا :

$$\alpha_m = \alpha_p$$

$$\frac{H_m}{y_m} = \frac{H_p}{y_p}$$

$$\frac{W_m}{y_m} = \frac{W_p}{y_p}$$

$$\frac{b_m}{y_m} = \frac{b_p}{y_p}$$

$$\frac{B_m}{y_m} = \frac{B_p}{y_p}$$

ومن هنا الشروط الهندسية أنجزت ويكون لدينا:

$$\frac{y_m^5 \gamma_m}{E_m I_m} = \frac{y_p^5 \gamma_p}{E_p I_P}$$

وبافتراض $\gamma_m = \gamma_p$ (باستخدام مادة حبيبية لها الوزن الحجمي نفسه في الأصل والنموذج).

وباعتبار $\frac{m}{p} = \frac{1}{10}$ كمقياس للنموذج المختار يكون:

$$\left(\frac{1}{10}\right)^5 = \frac{1 \cdot E_m \cdot h_m^3}{10 \cdot E_p \cdot h_p^3}$$

وباختيار البلكس غلاس مادة للنموذج فإن:

$$E = 30000 \mathrm{Kg}/cm^2$$

وللبيتون $E = 2.7 \times 10^5 \mathrm{Kg}/cm^2$

وباعتبار سماكة الأصل $h_p = 15cm$ ، ينبغي أن تكون السماكة المطلوبة للبلكس غلاس الشفاف $h_m = 1.4cm$

وفي البحث اعتُمِدَت السماكة 1.5 سم.

صُنِعَ النموذج المبين بالشكل(1 -2) وهو عبارة عن صومعة موشورية من البلكس الشفاف ذات شق (مستطيلة المقطع $B \times W = 0.4 \times 0.8m$) عادية بارتفاع $H = 1.5m$ (على اعتبار نسبة الارتفاع للقطر أكبر من 1.5) ذات أرضية مستوية أي إنَّ زاوية ميلان القمع بالنسبة إلى الأفق تساوي الصفر $\alpha = 0$ (وذلك لاختبار مركزية ولا مركزية التفريغ دون التأثر بزاوية ميلان القمع) مع فتحة تفريغ بشكل شق طوله موازٍ لعرض جدار الصومعة وعرضه $b = 0.02m$.

مادة النموذج هي البلكس غلاس الشفاف لمراقبة جريان المواد . وتبعاً لشرط التشابه السابق الذي لم ينجز بشكل تام يتبيّن لدينا :

$$\mu'_m \neq \mu'_p \qquad \tan\varphi'_m \neq \tan\varphi'_p$$

ويعود ذلك للاختلاف بين زاوية احتكاك المادة على جدار البيتون وعلى جدار البلكس غلاس الذي يعدُّ أنعم .

الشكل (1- 2) النموذج المصنوع من البلكس غلاس

إلا أنه من الضروري استخدام جدران أنعم في النموذج

من تلك التي تستخدم في الأصل لأنه كلما ازدادت زاوية الاحتكاك يؤدي ذلك إلى عرقلة وممانعة للجريان الحاصل الأمر الذي يؤدي إلى تشويه شكل الجريان الحاصل عن الأصل [12] وعليه يفضل استخدام مادة للجدار أنعم بقليل عن الأصل بحيث لا تكون زاوية الاحتكاك مختلفة اختلافاً كبيراً عن الواقع حتى لا يؤدي ذلك إلى تشويه شكل الجريان ومن ثمَّ يؤثر في الضغط الناجم عن هذا الجريان وعلى أي حال من الأحوال فإن الاختلاف بين زاوية احتكاك مادة الجريان على السطح للأصل وزاوية احتكاك المادة على جدار النموذج لا يزيد على $\pm 2^\circ$ وهذا الاختلاف يعدُّ مقبولاً اعتماداً على دراسات سابقة.

وتبعاً للمعادلات السابقة ينبغي أن يكون لدينا $\varphi_m = \varphi_p$ أي زاوية الاحتكاك الداخلي للأصل والنموذج متماثلة وتبعاً لبحوث سابقة ينبغي أن تنسجم زاوية الاحتكاك الداخلي للمادة المختارة بين النموذج والأصل بحيث لا يكون الاختلاف أكثر من $\pm 5^\circ$ وهذا ما تحقق معنا.

وفي البحث استُخدِمَتْ حبات ذرة أصغر بقليل من الذرة المستخدمة في الصوامع الحقيقة لأن ذلك يكون ضرورياً لمنع حدوث تشابك للذرات والذي قد يؤدي إلى تشويه شكل الجريان ولكن في الوقت نفسه ليست صغيرة جداً حتى لا يحدث لدينا حالات من التكتل للمواد بجانب الجدران.

ولكن أكثر ما يهمنا من حيث أبعاد الحبيبات هو تناسبها مع أبعاد فتحة التفريغ حتى لا يحدث تقوس للمادة المخزنة ومن ثمَّ يمنع انسياب المواد أو تشابك للذرات عند فتحة التفريغ مما يؤدي إلى توقف انسياب المواد [4]، أيضاً حيث ينبغي أن لا يتجاوز أكبر بعد للحبيبة عن ثلث أو ربع عرض فتحة التفريغ أي يجب أن يكون:

$$\left(\frac{1}{3}b \to \frac{1}{4}b\right) \leq \text{قطر الحبيبة.}$$

اختيرت الذرة العلفية كمادة للنموذج ذات أبعاد حبيبية تراوح بين$(3mm \leftarrow 4)$ ووزن حجمي $\gamma = 0.8g/cm^3$ قيسَتْ زاوية احتكاكها الداخلي باستخدام جهاز القص المباشر الموجود في مخبر ميكانيك التربة في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق فكانت قيمتها $\varphi = 23^\circ$. كما قِيسَتْ زاوية احتكاك هذه المادة على سطح البلكس باستخدام جهاز القص وقطعة من البلكس غلاس الشفاف نفسه وُضِعَتْ في القالب ووضعت الذرة في الجزء الآخر من القالب وطُبِّقَتْ قوى القص على المستوي الفاصل بين البلكس والذرة فبلغت قيمة زاوية احتكاك الذرة على البلكس $\varphi' = 14.44^\circ$.

5 -التجارب:

استُخدِمَتِ التجهيزات المبينة بالشكل (2-1) وأجريت نحو 24 أربع وعشرون تجربة تمهيدية تم فيها تعبئة المواد بظروف متماثلة وتفريغها مركزياً ولامركزياً بنسب معينة وتصوير فيديو لعدة حالات و صور متحركة تظهر شكل الجريان للمواد والهدف منها هو تحديد المقطع الفعال الذي يغير فيه الجريان اتجاهه والذي يتوقع عنده أن تظهر قيمة كبيرة للضغط الديناميكي وذلك لتحديد أماكن أجهزة الضغط وتبيّن الأشكال(2-2) (2-3) (2-4) (2-5)

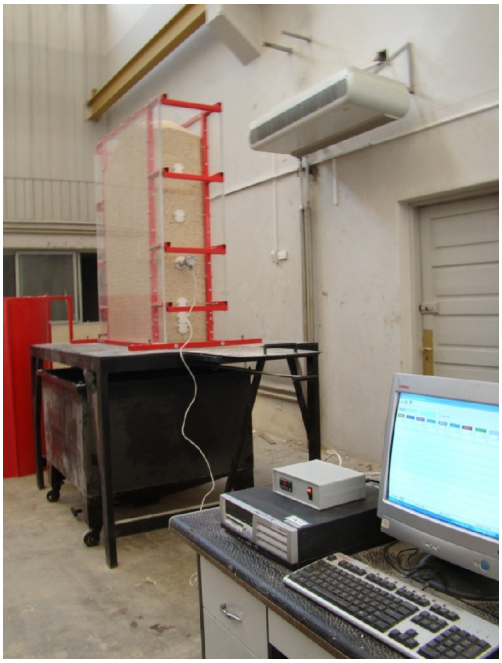
كيفية تغير شكل الجريان بتغيير موقع فتحة التفريغ وكيفية تغير المقطع الفعال.

- في الشكل (2-2) يتبيّن شكل الجريان في التفريغ المركزي إذ إنَّ شكل الجريان الحاصل هو الجريان النواتي كما يتبيّن الحدود بين المناطق الساكنة والمتحركة ومن ثمَّ المقطع الفعال لتغير الضغط.
- في الشكل (2-3) يتبيّن شكل الجريان بتفريغ لا مركزي ذات لامركزية 10 سم وإن شكل الجريان الحاصل هو الجريان النواتي كما يتبيّن الحدود بين المناطق الساكنة والمتحركة، ومن ثمَّ المقطع الفعال لتغير الضغط.
- في الشكل(2-4) يتبيّن أن شكل الجريان الحاصل بتفريغ لا مركزي ذات لامركزية 20 سم هو نواتي

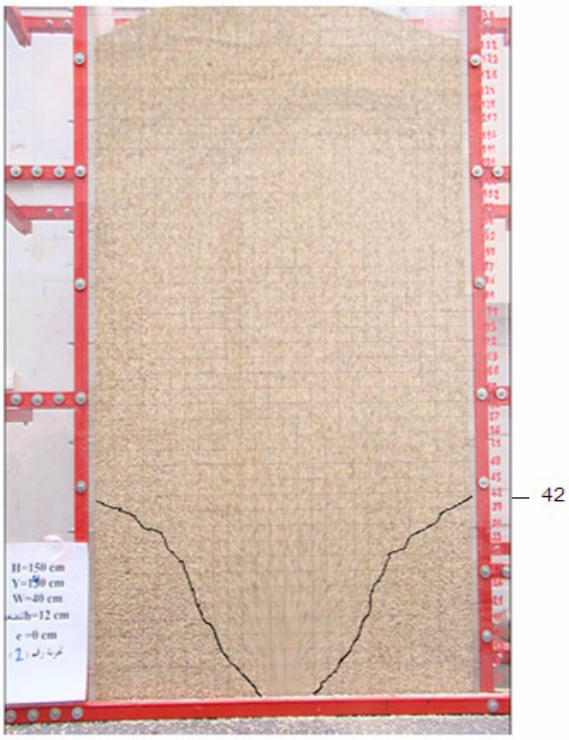
وإن كانت حركته بجوار الجدار توحي بأن الجريان الحاصل هو الكتلي كما تتبيّن الحدود بين المناطق الساكنة والمتحركة.

ويبيّن الشكل (2 -5) أن شكل الجريان الحاصل بتفريغ لا مركزي ذات لامركزية 30 سم (فتحة التفريغ قريبة من الجدار) يكون شكله نواتياً، وإن كانت حركته المستمرة بجوار الجدار توحي بأن الجريان الحاصل هو الكتلي كما تتبيّن الحدود بين المناطق الساكنة والمتحركة وكيفية تشكل الجريان النواتي على السطح في الجهة البعيدة عن فتحة التفريغ.

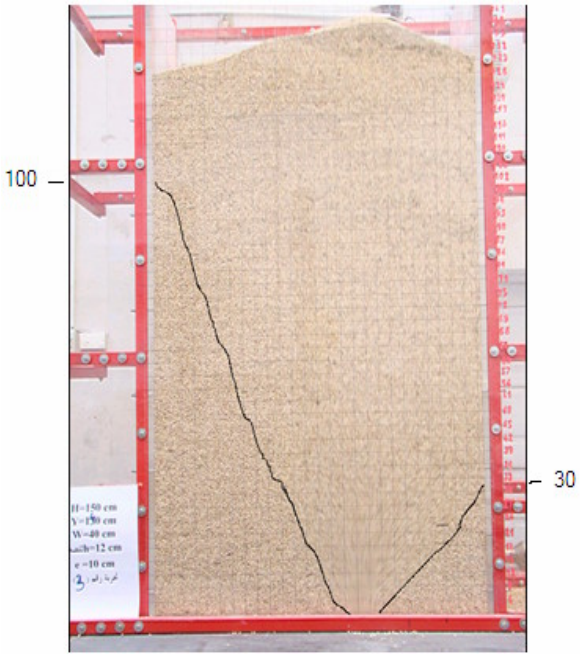
من هذه التجارب التمهيدية اختيرت ارتفاعات لوضع جهاز الضغط بحيث تتركز في الثلث السفلي حيث اختيرت ثلاث أماكن في الثلث السفلي وواحدة في الثلث تماماً واثنتان علويتان ويبيّن الشكل (2 -6) أماكن توضعها.



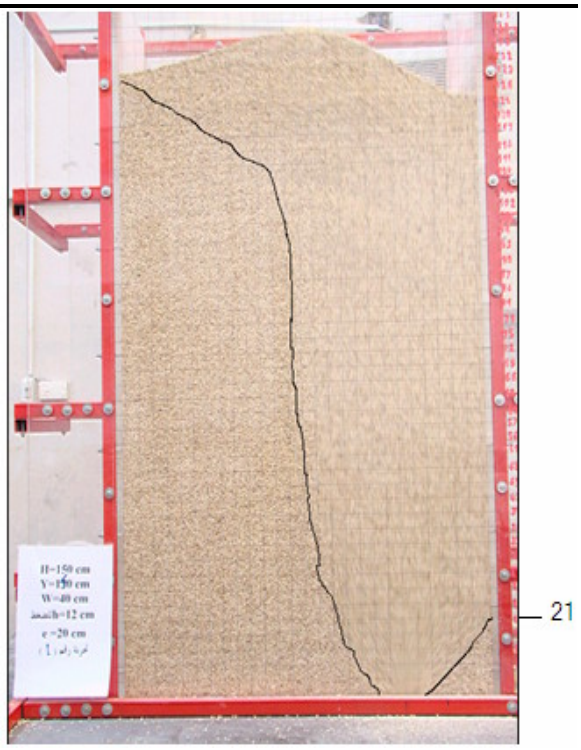
الشكل (2 -1) التجهيزات المخبرية



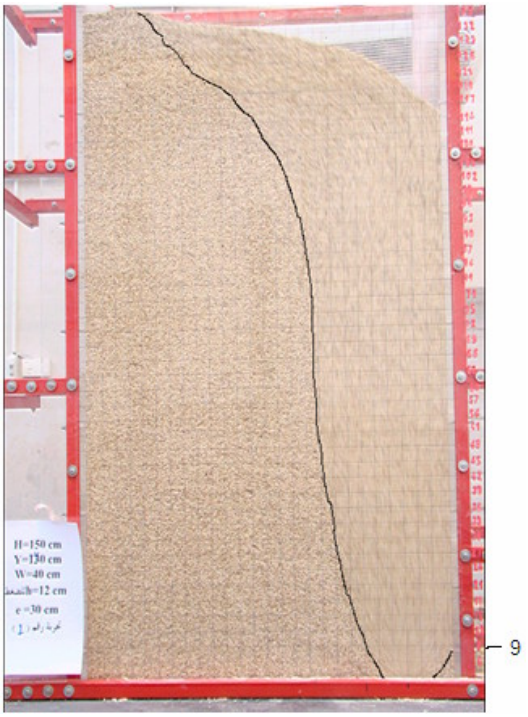
الشكل (2 -2) تغير شكل الجريان - موقع الفتحة في المركز



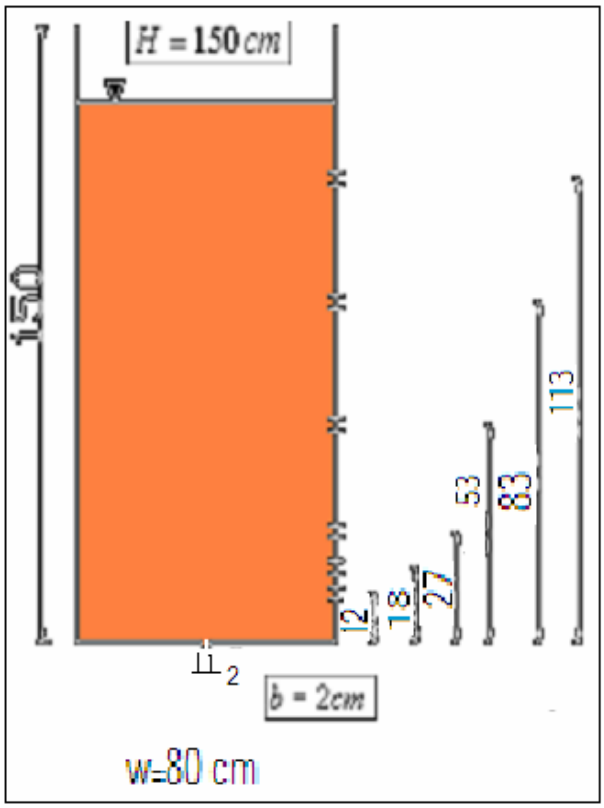
الشكل (2 -3) تغير شكل الجريان موقع فتحة التفريغ يبعد 10 سم عن المركز



الشكل(2 -4) تغير شكل الجريان موقع فتحة التفريغ يبعد 20سم عن المركز



الشكل (2 -5) تغير شكل الجريان موقع فتحة التفريغ يبعد 30 سم عن المركز



الشكل(2 -6) أماكن توضع أجهزة الضغط

6 - تحليل النتائج:

- يبيّن الشكل (3 -1) وسطي قيم الضغط الديناميكي الأفقي الجداري الناتجة عن التفريغ المركزي لصومعة التجارب عند المستويات الستة وذلك بواحدة kPa ويكون شكل الجريان الحاصل في التفريغ المركزي يكون متناظراً وقيم الضغط الديناميكي على الجدارين أيضاً متساوية كما أن القيم العظمى للضغط ترافق المقطع الفعال (المنطقة التي يغير فيها الجريان اتجاهه) بينما القيم الصغرى للضغط ترافق الجزء العلوي حيث الجريان مستمر وتنزلق فيه المواد بسهولة على الجدار كما سجلت قيم عالية للضغط وليست العظمى في منطقة الركود حيث تتراكم المواد.

- يبيّن الشكل (3 -2) وسطي قيم الضغط الديناميكي الأفقي الجداري الناتجة عن التفريغ اللا مركزي بنسبة

لامركزية 10سم على الجدارين (القريب والبعيد) عند المستويات الستة وشكل الجريان الحاصل حيث تبيّن أن:

أ - على الجدار القريب من موقع فتحة التفريغ سجلت قيم عالية للضغط نسبياً ولاسيما عند موقع المقطع الفعال (المقطع الذي يغير فيه الجريان اتجاهه) ولوحظ انخفاض في موقع المقطع الفعال عن موقعه في حالة التفريغ المركزي هذا ولم تكن قيم الضغط الديناميكي المسجلة عند هذا المقطع هي العظمى حيث انخفضت الضغوط بشكل طفيف في منتصف الجدار في حين عادت وارتفعت في أعلى الجدار مقابل المقطع الفعال على الجدار البعيد.

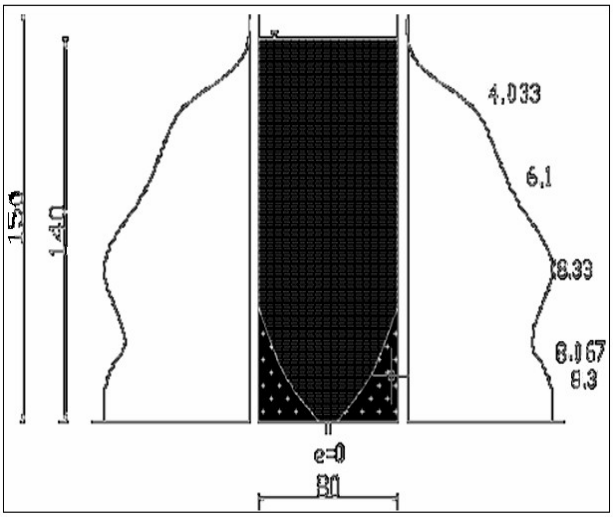
ب - على الجدار البعيد من موقع فتحة التفريغ لوحظ ارتفاع في موقع المقطع الفعال عن موقعه في حالة التفريغ المركزي حيث هو المقطع الذي يغير فيه الجريان اتجاهه هذا، وقد سجلت قيم عالية للضغط الديناميكي وكانت عظمى في الأسفل مقابل المقطع الفعال على الجدار القريب وقد انخفضت الضغوط تدريجياً (تقريباً خطي) حتى وصلت إلى سطح المواد.

- يبيّن الشكل (3-3) وسطي قيم الضغط الديناميكي الأفقي الجداري الناتجة عن التفريغ اللامركزي بنسبة لامركزية 20سم لصومعة التجارب على الجدارين (القريب والبعيد) عند المستويات الستة وشكل الجريان الحاصل حيث تبيّن أن:

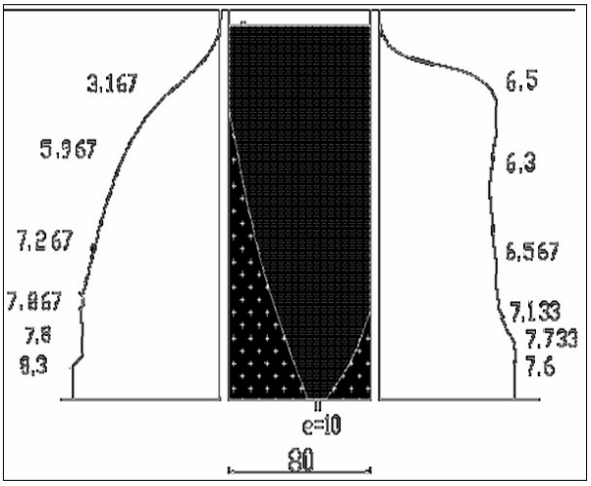
أ - قفزة في الضغط الديناميكي تحصل على الارتفاع المقابل للمقطع الفعال وعلى الجدار المعاكس (أي عندما يكون المقطع الفعال على الجدار القريب يحصل ارتفاع في الضغط على الجدار البعيد وعندما يكون المقطع الفعال على الجدار البعيد يحصل ارتفاع في الضغط على الجدار القريب).

ب - على الجدار القريب من موقع فتحة التفريغ نلاحظ المقطع الذي يغير فيه الجريان اتجاهه (المقطع الفعال) إذ لوحظ انخفاض في موقع المقطع الفعال عن موقعه في حالتي التفريغ المركزي واللامركزية 10سم وفي منطقة الركود التي تعدُّ قليلة الارتفاع حصل انخفاض ملحوظ بالضغط الديناميكي (اقل من الستاتيكي) في حين عادت وارتفعت في منتصف الجدار وأعلاه.

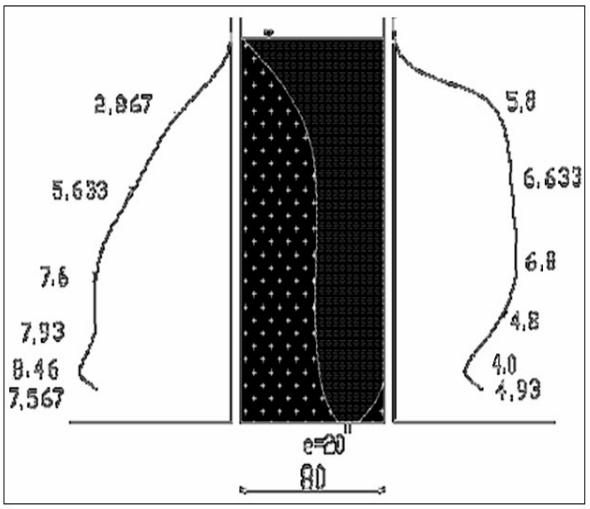
ج - على الجدار البعيد من موقع فتحة التفريغ نلاحظ المقطع الذي يغير فيه الجريان اتجاهه (المقطع الفعال) حيث لوحظ ارتفاع في موقع المقطع الفعال عن موقعه في حالتي التفريغ المركزي واللامركزية 10سم وتصل المواد المتراكمة إلى السطح فإن المواد تتراكم في الجزء السفلي من الجدار لتكون قيم الضغط الحاصلة عالية نسبياً بأسفله في حين تنخفض تدريجياً كلما ارتفعنا إلى السطح.



الشكل (3-1) قيم الضغط الديناميكي بواحدة kPa وشكل الجريان المقابل عند التفريغ المركزي



الشكل (3- 2) قيم الضغط الديناميكي بواحدة kPa وشكل الجريان المقابل عند لامركزية 10 سم



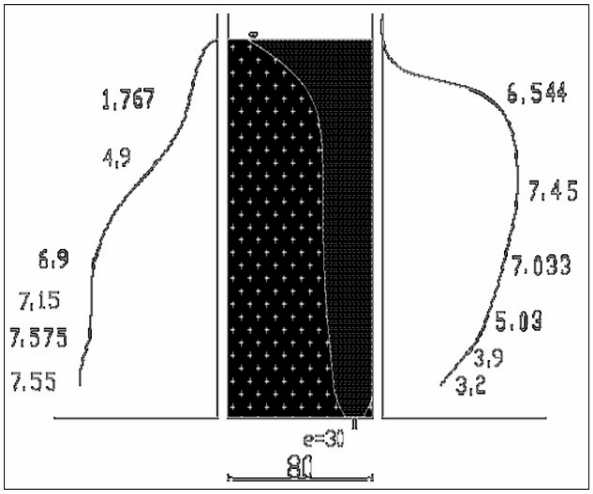
الشكل (3 -3) قيم الضغط الديناميكي بواحدة kPaوشكل الجريان المقابل عند لامركزية 20 سم

- يبيّن الشكل (3-4) وسطي قيم الضغط الديناميكي الأفقي الجداري الناتجة عن التفريغ اللامركزي بنسبة لامركزية 30 سم لصومعة التجارب على الجدارين (القريب والبعيد) عند المستويات الستة وشكل الجريان الحاصل إذْ تبيّن أن:

أ- تحصل قفزة في الضغط الديناميكي علـــى الارتفـــاع المقابل للمقطع الفعال وعلى الجدار المعاكس (أي عندما يكون المقطع الفعال على الجدار القريب يحصل ارتفاع في الضغط على الجدار البعيد وعندما يكـــون المقطـــع الفعال على الجدار البعيد يحصل ارتفاع في الضغط على الجدار القريب).

ب- يلاحظ على الجدار القريب من موقع فتحة التفريغ انخفاض في موقع المقطع الفعال عن موقعه في كل من حالتي التفريغ المركزي واللامركزية 10و20 سم وفي منطقة الركود التي تعدُّ معدومة الارتفاع حصل انخفاض كبير وملحوظ بالضغط الديناميكي (اقل من الستاتيكي) في حين عادت وارتفعت في منتصف الجدار وأعلاه.

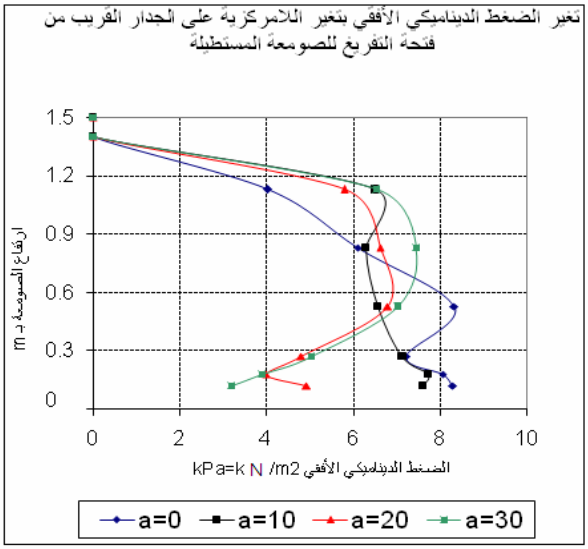
ج- يلاحظ على الجدار البعيد من موقع فتحة التفريغ ارتفاع في موقع المقطع الفعال عن موقعه في حالتي التفريغ المركزي واللامركزية 10 سم إذ تصل المواد المتراكمة إلى السطح وإن المواد المتراكمة في الجزء السفلي من الجدار تشكل منطقة تكون فيها الحركة معدومة وإن قيم الضغط الحاصلة عالية نسبياً بأسفل الجدار في حين تنخفض تدريجياً كلما ارتفعنا إلى السطح.



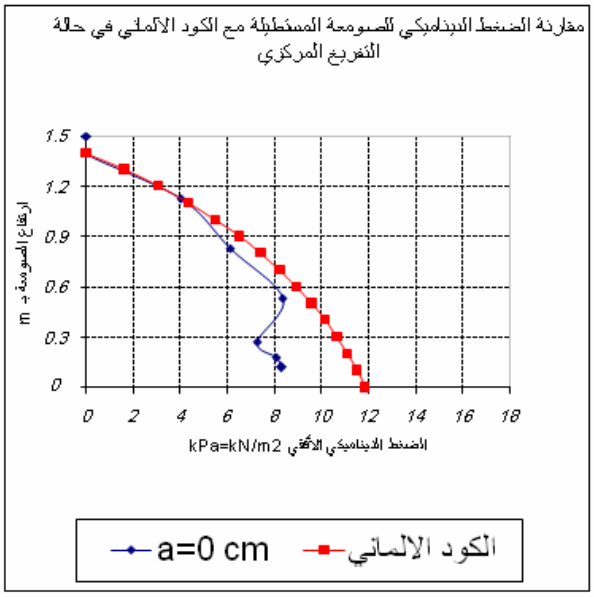
الشكل(3 -4) قيم الضغط الديناميكي بواحدة kPa وشكل الجريان المقابل عند لامركزية 30 سم

بعد ذلك دُرِسَ تغير الضغط الديناميكي الأفقي على الجدار القريب بتغير اللامركزية ويبيّن ذلك الشكل (3-5) (المنحنى ذو الشكل ◆ يمثل القيم العظمى لتغير الضغط الديناميكي الأفقي على الجدار عند التفريغ المركزي والمنحنى ذو الشكل ■ يمثل القيم العظمى لتغير الضغط الديناميكي الأفقي على الجدار عند التفريغ اللامركزي (لامركزية 10سم) والمنحنى ذو الشكل ▲ يمثل القيم العظمى لتغير الضغط الديناميكي الأفقي على الجدار عند التفريغ اللامركزي (لامركزية 20 سم) والمنحنى ذو الشكل ● يمثل القيم العظمى لتغير الضغط الديناميكي الأفقي على الجدار عند التفريغ اللامركزي (لامركزية 30 سم) من هذه المنحنيات يتبيّن أن هناك تغيراً ملحوظاً في سلوك الضغط الديناميكي على الجدار القريب من فتحة التفريغ حيث ينقسم إلى سلوكين مختلفين على طول الجدار (يزداد الضغط الديناميكي في الجزء العلوي من الجدار كلما ازدادت اللامركزية، في حين ينخفض الضغط الديناميكي في الجزء السفلي كلما ازدادت اللامركزية).

ويبيّن الشكل (3-6) قيم الضغط الديناميكي التصميمية وفق الكود وقيم الضغط الديناميكي الحاصلة في التجارب في حالة التفريغ المركزي فتبيّن أن قيم الضغط الديناميكي الحاصلة وفق التجارب متقاربة مع الكود الألماني .



الشكل(3 -5)



الشكل (3- 6)

الشكل(3 -7)

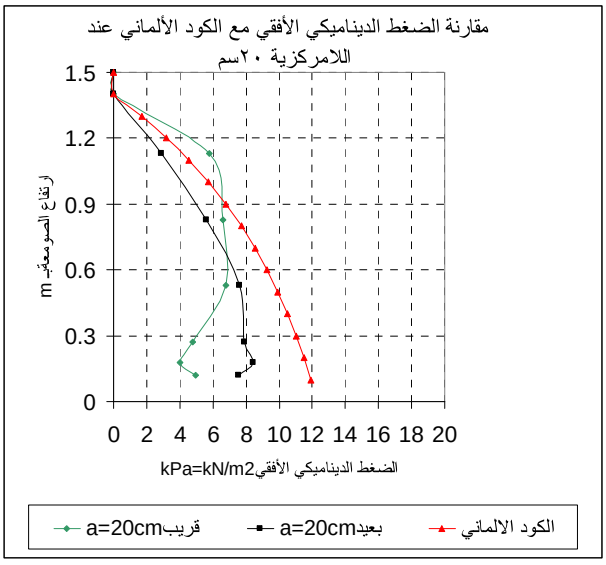
ويبيّن الشكل (3 -7) قيم الضغط الديناميكي التصميمية وفق الكود وقيم الضغط الديناميكي الحاصلة في التجارب على الجدارين القريب والبعيد في حالة التفريغ اللامركزي (لامركزية 10سم) إذ يتضح أن قيم الضغط الديناميكي الحاصلة وفق التجارب متقاربة مع الكود الألماني فقط على الجدار البعيد من فتحة التفريغ بينما اختلفت قيم الضغط الديناميكي الحاصلة في التجارب على الجدار القريب من فتحة التفريغ عن الكود حيث سجلت التجارب قيماً أعلى للضغط في الجزء العلوي من الجدار في حين لم يلحظها الكود.

ويبيّن الشكل (3 -8) قيم الضغط الديناميكي التصميمية وفق الكود وقيم الضغط الديناميكي الحاصلة في التجارب على الجدارين القريب والبعيد في حالة التفريغ اللامركزي (لامركزية 20 سم)، إذْ يتضح أن قيم الضغط الديناميكي الحاصلة وفق التجارب متقاربة مع الكود الألماني فقط على الجدار البعيد من فتحة التفريغ بينما اختلفت قيم الضغط الديناميكي الحاصلة في التجارب على الجدار القريب من فتحة التفريغ عن الكود حيث سجلت التجارب قيماً أعلى للضغط في الجزء العلوي من الجدار في حين لم يلحظها الكود.

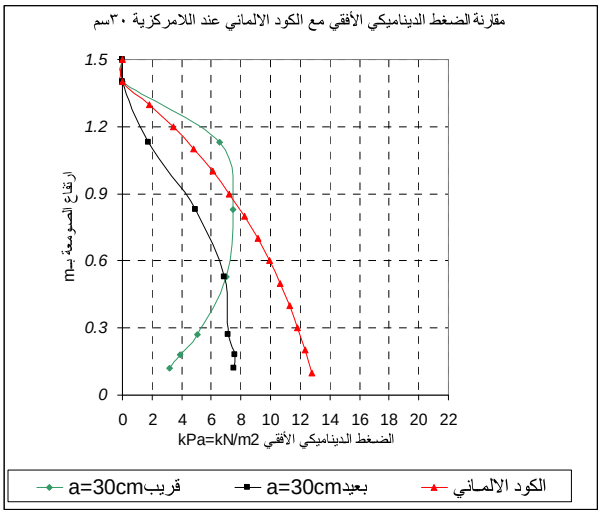
ويبيّن الشكل (3 -9) قيم الضغط الديناميكي التصميمية وفق الكود وقيم الضغط الديناميكي الحاصلة في التجارب على الجدارين القريب والبعيد في حالة التفريغ اللامركزي (لامركزية 30 سم)، إذْ يتضح أن قيم الضغط الديناميكي الحاصلة وفق التجارب متقاربة مع الكود الألماني فقط على الجدار البعيد من فتحة التفريغ بينما اختلفت قيم الضغط الديناميكي الحاصلة في التجارب على الجدار القريب من فتحة التفريغ عن الكود حيث سجلت التجارب قيماً أعلى للضغط في الجزء العلوي من الجدار في حين لم يلحظها الكود.

بالانطلاق من نظرية التحليل البعدي للجريان يمكن تحديد العلاقة اللابعدية التي تلخص النتائج لتكون عامة بالنسبة إلى الصوامع الأخرى المشابهة حيث دُرِسَتِ المتغيرات الأساسية للجملة المدروسة التي يتم التعبير عنها بالتابع الآتي:

$$f\,(P,\gamma,\mu,\mu',y,a,W,H,\alpha)=0$$



الشكل (3 -8)



الشكل (3 -9)

وتبعاً لنظرية التحليل البعدي لدينا

$$f\left(\frac{P}{\gamma.W},\mu,\mu',\alpha,\frac{Y}{H},\frac{a}{W}\right)=0$$

ويكون لدينا $\mu.\mu'$ ثابتة باعتبار الذرة مادة علفية، وα ثابتة باعتبار الأرضية أفقية فتبقى العلاقة مرتبطة بـ كل من التراكيب اللا بعدية الآتية: $\left(\frac{P}{\gamma.W},\frac{Y}{H},\frac{a}{W}\right)$.

أُدخلَت النتائج الحاصلة (على كل من الجدارين القريب والبعيد) إلى برنامج *curve expert* وبدلالة التراكيب اللا بعدية الآتية $\left(\frac{P}{\gamma.W},\frac{Y}{H},\frac{a}{W}\right)$ حيث أعطى البرنامج احتمالات عديدة للعلاقات الرياضية إلا أنه اختيرت العلاقة الأنسب بشكل يتوافق مع طرائق حساب الضغط النظري في الصوامع فتم الوصول إلى العلاقة الآتية على الجدار القريب:

$$\frac{P_h}{\gamma\cdot W}=1.37\left[1-e^{-3.24\left(\frac{y}{H}\right)}\right]+\left(\frac{a}{W}\right)D+\left(\frac{a}{W}\right)^2 S$$

$$D=\left[6.77-24.33\left(\frac{y}{H}\right)+16.75\left(\frac{y}{H}\right)^2\right]$$

$$S=\left[-16.1+69.32\left(\frac{y}{H}\right)-58.97\left(\frac{y}{H}\right)^2\right]$$

يتضح من هذه العلاقة تأثير اللامركزية حيث تتكون المعادلة من ثلاثة أجزاء:

- الحد الأول منها مستقل عن اللامركزية (أسي)

- الحد الثاني متعلق باللامركزية وبالمعامل D .

- الحد الثالث متعلق بمربع اللامركزية وبالمعامل S ليكون شكل العلاقة بتابعيتها للامركزية كقطع ناقص.

هذا وقدتم التحقق من العلاقة بوجود النقاط التجريبية جميعها فضلاً عن قيم الضغط وفق الكود ويبيّن الشكل (3 -10)التحقق من العلاقة ومقارنتها عند التفريغ المركزي، إذْ يتضح التوافق بين العلاقة والقياسات التجريبية الثلاثة المحيطة بكل نقطة كما يتضح التوافق بين العلاقة والكود.

يبيّن الشكل(3 -11) التحقق من العلاقة ومقارنتها عند التفريغ اللامركزي (اللامركزية 10 سم) إذ يتضح التوافق بين العلاقة والقياسات التجريبية الثلاث المحيطة بكل نقطة كما يتضح الاختلاف بين العلاقة والكود إذ إنَّ الكود لم يغطِ القيم الناتجة في الجزء العلوي.

ويبيّن الشكل (3 -12) التحقق من العلاقة ومقارنتها عند التفريغ اللامركزي (اللامركزية 20 سم)، إذ يتضح التوافق بين العلاقة والقياسات التجريبية الثلاثة المحيطة بكل نقطة كما يتضح الاختلاف بين العلاقة والكود حيث أن الكود لم يغطي القيم الناتجة في الجزء العلوي.

يبيّن الشكل(3 -13) التحقق من العلاقة ومقارنتها عند التفريغ اللامركزي (اللامركزية 30 سم) إذ يتضح التوافق بين العلاقة والقياسات التجريبية الثلاثة المحيطة بكل نقطة كما يتضح الاختلاف بين العلاقة والكود إذ إنَّ الكود لم يغطِ القيم الناتجة في الجزء العلوي هذا وتشير النقاط باللون الأزرق إلى النقاط الناتجة من التجارب

والمنحنى باللون الزهري إلى المنحنى الناتج عن العلاقة والمنحنى باللون الأسود إلى المنحنى الناتج عن المقارنة مع الكود الألماني وإن إيجاد مثل هذه العلاقة يغطي المجال الذي لم يُغطَ وفق الكود كما حُسِبَ معامل الترابط والخطأ المعياري للعلاقة لإيجاد مدى دقتها ومصداقيتها إذ كلما كان معامل الترابط قريباً من الواحد يعبر عن مصداقية العلاقة وكلما صغر كان دليلاً على عدم الترابط، في حين يعبّر الانحراف المعياري عن مقدار انحراف القيم وفق العلاقة عن القيم التجريبية وعندما يكون مساوياً للصفر يكون دليلاً على عدم وجود تباين بين القيم المحسوبة وفق العلاقة والقيم التجريبية :

معامل الترابط

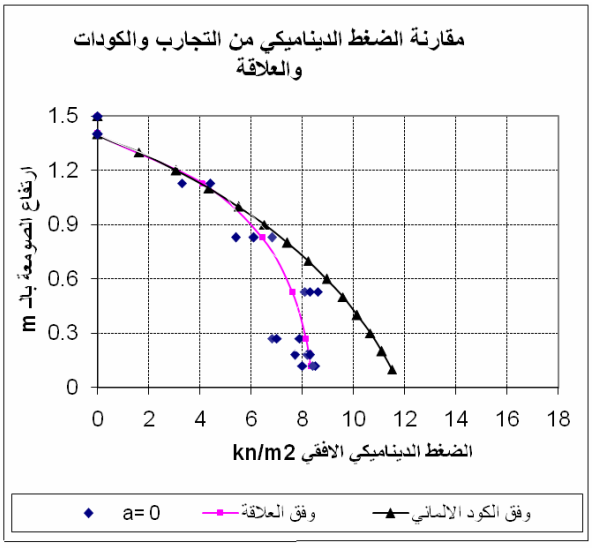
$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{P})^2}{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{P})^2}}$$

وباحتسابه من أجل العلاقة تبيّن أن $R=0.92$ وهو معيار جيد لترابط العلاقة.

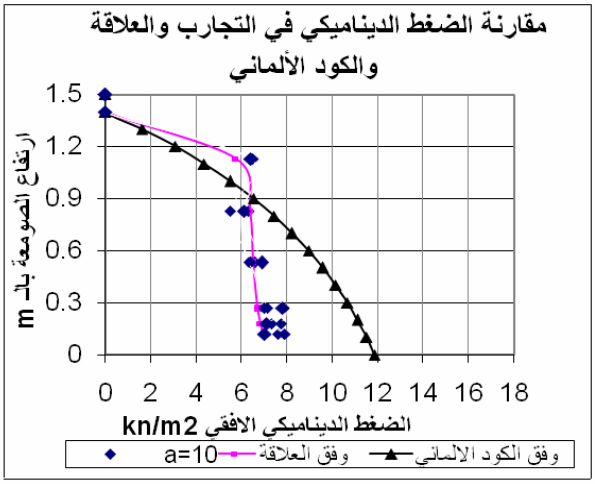
كما حُسِبَ الانحراف المعياري للقيم

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma(P_i - \bar{P}_i)^2}{n}}$$

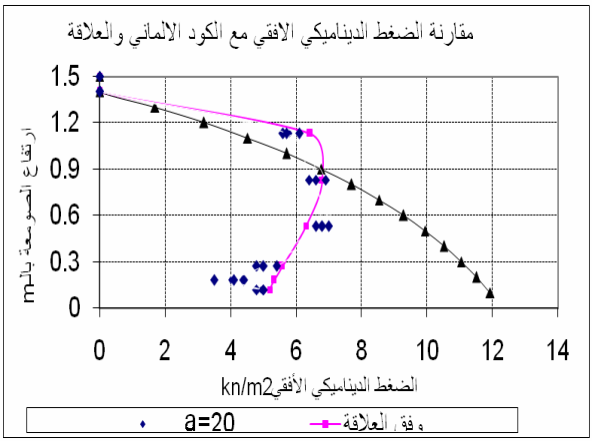
وباحتسابه من أجل العلاقة تبيّن أن $S=0.24$ وهو معيار جيد للانحراف في القيم.



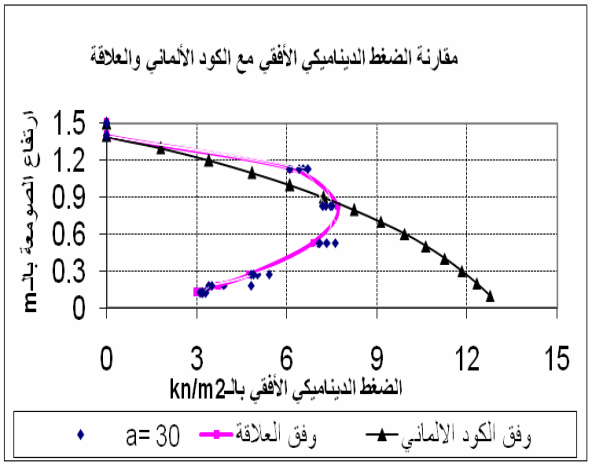
الشكل (3 -10)



الشكل (3 -11)



الشكل (3- 12)



الشكل (3 -13)

7 - النتائج:

انخفاض الضغط الديناميكي (الناتج عن التفريغ) انخفاضاً ملحوظاً على الجزء السفلي للجدار القريب من فتحة التفريغ وذلك كلما اقترب مكان فتحة التفريغ منه (أي كلما ازدادت اللامركزية) بحيث يكون أقل من الضغط الساكن الناتج عن التعبئة بكثير.

ارتفاع الضغط الديناميكي (الناتج عن التفريغ) على الجزء العلوي للجدار القريب من فتحة التفريغ وذلك كلما اقترب مكان فتحة التفريغ منه (أي كلما ازدادت اللامركزية) بشكل غير متوقع.

حدوث تذبذب عالٍ في الضغط الديناميكي للجدار القريب كلما ازدادت اللامركزية مما يؤدي إلى حدوث عزوم انعطاف إضافية.

يعدُّ تأثير اللامركزية صغيراً نسبياً على الجدار البعيد من فتحة التفريغ.

تؤثر اللامركزية تأثيراً كبيراً في سلوك الضغط الديناميكي على الجدار القريب من فتحة التفريغ.

تبيّن أن شكل العلاقة التي تربط بين المتغيرات اللابعدية $(\frac{P}{\gamma \cdot W}, \frac{Y}{H}, \frac{a}{W})$ على الجدار القريب هي علاقة من الشكل التالي:

$$\frac{P_h}{\gamma \cdot W} = 1.37\left[1 - e^{-3.24\left(\frac{y}{H}\right)}\right] + \left(\frac{a}{W}\right)D + \left(\frac{a}{W}\right)^2 S$$

$$D = \left[6.77 - 24.33\left(\frac{y}{H}\right) + 16.75\left(\frac{y}{H}\right)^2\right]$$

$$S = \left[-16.1 + 69.32\left(\frac{y}{H}\right) - 58.97\left(\frac{y}{H}\right)^2\right]$$

العلاقة صالحة من أجل الصوامع المستطيلة ذات نسبة $\frac{H}{W} = 1.75$ ومن أجل الذرة كمادة مخزنة.

8 - التوصيات:

أ- توصيات عامة:

الاهتمام بتذبذبات الضغط الديناميكي الحاصلة على الجدار القريب كلما ازدادت اللامركزية والتي تؤدي إلى حدوث عزوم انعطاف إضافية يجب مراعاتها في أثناء التصميم.

يجب الاهتمام بتصميم الجزء العلوي من الصومعة للجدار القريب في أثناء التفريغ اللامركزي نتيجة تسجيل قيم عالية للضغط الديناميكي.

ب - توصيات خاصة:

إن استخدام العلاقة السابقة قد يكون مفيداً في حالات اللامركزية لأن الكودات تعطي عوامل تصعيد عالية جداً قد تكون أكبر بكثير من الواقع. في حين لم تغطِ القيم العالية في الجزء العلوي للجدار القريب من فتحة التفريغ.

9 - المراجع

1. ACI Committee313,"commentary on standard practice for design and construction of concrete silos and stacking tubes for storing granular materials", American concrete institute, Farmington hills, mich.,1997,20pp.
2. DIN 1055,"Design loads for buildings/ loads in silo bins" German standards(DIN Normen),2000,6pp.
3. Sargis S. Safarian, Ernest C.Harris" Design And Construction of Silos and Bunkers" van No Strand Reinhold company.451pp.
4. Ph.D.Hala Hammadeh" The effect of Silo Geometry on the Shape of Funnel Flow and wall pressure of granular material,1995.137pp.
5. Ph.D. Carson ,P.Eng. Jenkeyn " Load Development and Structural Considerations in Silo Design " JENIKE and JOHANSON incorporated, Oslo, Norway, August 1993,16pp.
6. Bulk solids handling, the international Journal, Germany, Volume 23, Number 5, January/ March 2003,6pp.
7. powder and bulk weblog" Solving Powder flow Problems in Bins/Silos" Joe Lewis, April ,2006.
8. Irena Sielamowicz, Tomasz A. Kowalewski, Slawomir Blonski "Central and eccentric Granular Material Flows in bins /hoppers registered by DPIV Optical Technique" Acta Agrophysica,Poland,2004.
9. 12 TH International Symposium on flow visualization," DPIV Technique for granular material flows in silo models", German Aerospace Center(DLR), Germany, September 2006,9pp.
10. Sielamowicz, Z.Mroz, R.Balevicius, R.Kacianauskas" DEM simulation of wall pressure in a model of silo and comparison to experimental measurements" Poland, 2007.
11. F.Ayuga, P.Augado, E.Gallego, and A.Ramirez" New steps towards the knowledge of silo behavior" International Agrophysics, Spain,2005.
12. Carson J.W,Royal TA" modeling the flow of bulk solids" Powder handling and processing, Volume 3, Number 3, 1991,4pp.
13. Johanson J.R" Modeling Flow of Bulk Solids. Powder Technol,5,1971/72.
14. Deploma degree of Nabeel AL-Shawaf" Studying the compare of silo loads due to international codes" 2006.
15. Dr Waeel Malla,Dr Amjad Zeno,Dr Wesaam Nahlea, Dr Yousef Merry "Applied Hydraulic" Damascus university published, 2009.
16. V.Ganesan,K.A.roesntrater,K.Muthukuma rappan" flow ability and handling characterizes of bulk solids and powders" USA,2008 .

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2010/6/30