

## تأثير تغير مقطع الجريان الفجائي على خواص جريان ثنائي الطور

احمد اديب عبدالواحد \* و محمد فوزي محمد \*\*

تاريخ التقديم: 2009/ 1/ 25

تاريخ القبول: 2009/ 12/ 3

## الخلاصة

تناول هذا البحث دراسة تأثير نسبة تحميل الصلب ورقم رينولد على معامل الخسائر الثانوية ومعامل الضغط لمنطقة اتساع فجائي لجريان ثنائي الطور غاز - صلب خلال فوهة Orifice وذلك من خلال جهاز تم تهيئته لهذا الغرض ومن ثم حل المعادلات الحاكمة ( حفظ الطاقة , حفظ الكتلة ) رياضياً .

لقد تم اختيار منطقة الدراسة عند تحول مقطع الجريان من الصغير إلى الكبير بنسبة مساحة (5.8) ونسبة أقطار (2.4) لدراسة التغيرات التي تطرأ على معامل الخسائر الثانوية ومعامل الضغط لعدة نسب تحميل وزنية حيث تراوحت بين (0) و(1.645) . وقد اختبرت عدة معدلات جريان للخليط (1.02-7.8) كغم/دقيقة لبيان تأثير أرقام رينولد حيث تتراوح أرقام رينولد من (42863) إلى (75909) .

من أهم الاستنتاجات التي حصلنا عليها هي إن زيادة نسبة تحميل الصلب تقلل خطياً معامل الخسائر الثانوية والضغط لمنطقة الاتساع الفجائي , وفي مدى أرقام رينولد المذكورة أعلاه فأنهما لا يعتمدان عليها بصورة كبيرة .

## The Influence of Sudden Cross Section Change on Two Phase Flow Characteristics

### Abstract

This research study the influence of the solid loading ratio & Reynolds number on minor losses coefficient and pressure coefficient for sudden expansion region for two-phase flow type gas-solid through an orifice by preparing an apparatus with solving the mass , momentum , Bernoulli equations mathematically .

An expansion area was chosen with flow cross-section changing from small to large with area ratio (5.8) & diameters ratio (2.4) to study the changes which occur on minor losses coefficient and pressure coefficient with different loading ratio (0) to (1.645) . Test a different mixture flow-rates (1.02-7.8) kg/min to find the influence of Reynolds number with ranges of (42863) to (75909) on minor losses coefficient and pressure coefficient .

It was found that the increase in solid loading ratio reduced linearly the minor losses coefficient and pressure coefficient for sudden expansion region , also they depend on (Re) but with little effect .

| قائمة الرموز      |                                                                   |             |                 |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|
| $A_L$             | مساحة مقطع الأنبوب النحاسي كبير المقطع = 0.003117                 | $m^2$       | $U_L$           |
| $A_o$             | مساحة مقطع الفوهة = 0.000201                                      | $m^2$       | $U_o$           |
| $A_s$             | مساحة مقطع الأنبوب النحاسي صغير المقطع = 0.000511                 | $m^2$       | $U_s$           |
| $C_p$             | معامل الضغط = الضغط الاستاتيكي \ الضغط الديناميكي                 |             | $X$             |
| $d_s$             | القطر الداخلي للأنبوب الصغير المقطع = 0.0255                      | $M$         | $\rho_a$        |
| $g$               | التعجيل الأرضي                                                    | $m/s^2$     | $\rho_w$        |
| $h_{Lse}$         | عمود الخسائر الثانوية نتيجة اتساع المقطع الفجائي                  | $m_{water}$ | $\gamma_a$      |
| $\Delta h_o$      | التغير بالضغط الديناميكي عبر الفوهة                               | $m_{water}$ | $\mu_a$         |
| $K$               | معامل الخسائر الثانوية نتيجة اتساع المقطع الفجائي                 |             | $\Delta h_o$    |
| $\dot{m}_a$       | معدل تدفق الهواء الكتلتي                                          | $kg/sec$    | $\Delta h_{SL}$ |
| $m_{solid}$       | كتلة الدقائق الصلبة خلال زمن معين                                 | $kg$        | $\Delta P_{SL}$ |
| $\dot{m}_{solid}$ | معدل تدفق الدقائق الصلبة الكتلتي                                  | $kg/sec$    | $\Delta P_o$    |
| $P_o$             | الضغط عبر الفوهة                                                  | $Pa$        |                 |
| $P_s$             | ضغط الخليط قبل منطقة التوسع                                       | $Pa$        |                 |
| $P_L$             | ضغط الخليط بعد منطقة التوسع                                       | $Pa$        |                 |
| $Q$               | معدل تدفق الهواء الحجمي                                           | $m^3/sec$   |                 |
| $Re$              | رقم رينولد عند منطقة الاتساع = $\frac{\rho_a * U_s * d_s}{\mu_a}$ |             |                 |
| $t_{solid}$       | الزمن اللازم لجمع كتلة معينة من الدقائق الصلبة                    | $sec.$      |                 |

## 1 . المقدمة

الجريان المتعدد الأطوار هو جريان مترامن لأطوار غازية ، سائلة أو صلبة لمكون واحد أو لمكونات مختلفة ، وأحد صور الجريانات المتعددة الأطوار هو الجريان الثنائي الطور وهو من حالات الجريان الشائعة جداً في الطبيعة ، مثل انجراف الغيوم في السماء . الجريانات المتعددة الأطوار مهمة أيضاً في معظم التطبيقات الصناعية ، كما في تحويل الطاقة ، صناعة الورق، صناعة الأغذية والتطبيقات الطبية .

نظراً للاستخدامات الهائلة في المجال الصناعي للجريان ثنائي الطور من نوع غاز - صلب ، كما في المطاحن وسابيلوات الحبوب ومعامل الأسمنت ( حيث يتم استخدام الشافطات لسحب الحبوب أثناء

لقد تم تطوير التحليل العددي لمعادلة أويلر - لاكرانج ( في معادلة أويلر يتم وصف حركة الجسيمات كدالة للزمن  $x=f(t)$  أما في معادلة لاكرانج فيتم وصف حركة الجسيمات كدالة للزمن والمسافة  $v=f(t,x)$  لجريان محمل بدقائق صلبة ولأشكال هندسية معقدة من قبل الباحثين (4) Apte et al (2007) حيث وجدوا إن الصيغة الحسابية للحجم المحدد لتشتت الطور مشابهة لتلك الشائعة الاستعمال والتي تعتمد الدقيقة الصلبة كنقطة للانطلاق في الحسابات والتي تصف القوى المؤثرة على الطور الصلب بقوى كبح وقوى رفع بالإضافة القوى الداخلية للطور الصلب مثل التغير بالزخم .

بعد التطور الذي حصل مؤخراً بطرق القياس ومنها طريقة قياس انتقال التذبذب بواسطة المطياف TFS أجرى الباحثون (5) Yamin et al (2008) دراسة وحصلوا منها على تقنية جديدة للتعامل مع البيانات لانتقال إشارة تذبذب الدقائق باستعمال المرشحات ذوات الممرات الحزمية بدلاً عن المرشحات ذوات الممرات القليلة ، أظهرت النتائج العملية تلاؤماً جيداً مع النتائج النظرية كما أظهرت الدراسة أن استخدام المرشحات ذوات الممرات الحزمية تعطي نتائج أفضل من المرشحات ذوات الممرات القليلة في التراكيز الواطئة للطور الصلب . يمكن تلخيص الهدف من الدراسة الحالية بكونها دراسة عملية لجريان ثنائي الطور من نوع غاز - صلب لغرض التعرف على تأثير تغير مقطع الجريان الفجائي على الخواص الديناميكية لخليط الجريان (معامل الخسائر الثانوية ومعامل الضغط) .

## 2 . الفرضيات

يتناول هذا البحث تحليل تصرف جريان ثنائي الطور من نوع غاز - صلب وذلك بالاعتماد على معادلات حفظ الكتلة ومعادلة حفظ الطاقة ، حيث تم اعتماد الجريان أحادي البعد لغاز - صلب ، أما الفرضيات التي تم اعتمادها في هذه الدراسة فهي كما يلي :

التفريغ كما يتم استخدام المراوح لنقل الدقائق الإسمنتية ( نحتاج إلى معرفة الخسائر الثانوية minor losses ففي هذه الدراسة ستتم دراسة تأثير التحول الفجائي لمقاطع الأنابيب من الصغير إلى الكبير sudden expansion ( حيث غالباً ما تتم عملية استخدام أنابيب مختلفة المقطع في المنظومة الواحدة وذلك لاعتبارات مختلفة ) وبالتالي معرفة الضغط اللازم توفيره من قبل المراوح والشايفات لنقل كتلة معينة من الصلب أو بالعكس أي معرفة الكتلة التي نستطيع نقلها عند توفر ضغط معلوم ، ولحجوم حبيبات مختلف . ومن أهم الأعمال السابقة التي تطرقت لهذا المجال :-

فقد اهتم الباحثون (1) Slater et al (2002)

بدراسة معدل ترسيب الدقائق الصلبة الصغيرة القطر لجريان غاز ثنائي البعد ثنائي الطور اضطرابي خلال طبقات متاخمة صلبة واستطاعوا توضيح الحسابات من خلال ترسيب جريان مضطرب في قناة مما يسمح بالتنبؤ لمنطقة المدخل التي يكون فيها جريان الدقائق غير كامل النمو undeveloped flow الذي يكون فيه منحنى توزيع السرعة يختلف من نقطة لأخرى على طول منطقة المدخل .

وقدم الباحثان Alexander & Efstathios (2) (2003) بدراسة عملية لمعرفة تأثير التصادمات بين الدقائق الصلبة المتحركة في جريان ثنائي الطور اضطرابي داخل أنبوب أو قناة . وتم اعتماد آليتين للتصادمات ، مع وبدون الاحتكاك ، كما تم استخدام ثلاثة محاور للتصادمات زاويتان والمسافة بين مراكز الدقائق المتصادمة .

درس الباحثان Bernard & Bert (3) (2006) الهيكل الديناميكي ومعدل خواص جريان اضطرابي لخليط محمل بالدقائق الصلبة عند مرحلة جريان 1.5% من حجم الدقيقة الصلبة ، ووجدوا إن التفاعلات التي تحدث فيما بين الدقائق الصلبة هي نفس التفاعلات التي تحدث ما بين الدقائق الصلبة وبين المائع والتي هي نتاج التصادمات اللامرنة وقوى الكبح ، كما وجدوا أن هذه التفاعلات هي أصل نشوء التحشد المتماسك للجزيئات الصلبة في الجريان .

المقطع الفجائي (2.4). يتكون الجهاز من وحدة نفخ (ضخ) الهواء air-blowing unit بالموصفات :

Aerodynamic and general engineering

Birmingham 11 England

Voltage : 380-440 v

Motor : 1.1 kW

Amp : 2.5 A , 3ph , 50Hz

Max. air volume : 300 cfm

Wheel speed : 3000 rpm

Max. static pressure : 5.5 inch

solid-particles الصلب

injection يتكون بصورة رئيسة من خزان

من مادة البلاستيك توضع فيه دقائق الصلب

والتي هي عبارة عن مادة الرمل بقطر

دقائق لا يتجاوز 1mm(1) , يحتوي في

أعلاه على فتحة المليء للمليء الخزان

بالدقائق الصلبة والتي بدورها تتصل بفتحة

أخرى تتصل بأنبوب من المطاط يقوم

بتوفير الضغط اللازم لتسهيل انسياب

الدقائق الصلبة إلى مجرى الهواء , ووحدة

قياس معدل تدفق الهواء تتكون من فوهة

orifice قطرهما الداخلي mm (16) .

يرتبط احد طرفي الأنبوب بالأنبوب القادم

من آلية ضخ الهواء , ويرتبط الطرف

الأخر للأنبوب بأنبوب نحاسي تابع لمقطع

الاختبار . ومانومتر مائي water

manometer يوضع طرفاه على جانبي

الفوهة orifice لقياس فرق ارتفاع سائل

المانومتر وبالتالي إمكانية حساب كمية

الهواء المار في الجهاز . أما مقطع الاختبار

يتكون من منطقة الاتساع الفجائي Sudden

expansion region وتتكون من أنبوبي

نحاس قياسيين , الأول وهو القادم من وحدة

قياس معدل تدفق الهواء ويكون بقطر داخلي

mm (25.5) وسُمك جدار mm (2) ,

حيث يتم حقن الدقائق الصلبة فيه قبل مسافة

من منطقة التوسع . أما الأنبوب الثاني

فمصنوع من مادة النحاس أيضا وبقطر

داخلي يبلغ mm (63) ليصبح معدل أقطار

الاتساع (2.4)  $d_L/d_s$  ومعدل المساحة

• يعامل الغاز على انه غاز مثالي في حين أن واقع الحال هو الهواء الجوي الذي يتكون من خليط من الغازات .

• الدقائق الصلبة تكون كروية ومنتظمة الشكل ( هذا خلاف الواقع حيث يوجد بعض التأثير للشكل الغير منتظم لجزيئات الرمل على النتائج ) .

• يمتلك الطور الصلب كتلة صغيرة حيث لا يتعدى قطر أكبر دقيقة صلبة 1 ملم. • الحجم المحجوز من قبل الجسيمات الصلبة مهم حيث يشكل ما نسبته 1.6 - 4 % من قطر الأنبوب , لذلك يمكن إهمال سرعتها داخل المجرى .

• للسببين السابقين يمكن إهمال كثافة الطور الصلب لان الكثافة هي نسبة الكتلة إلى الحجم .

• تدفق الهواء الحقيقي = تدفق الهواء المثالي وذلك لإهمال الخسائر عند الفوهة .

• إن قوة الإعاقة هي الوحيدة المسؤولة عن تعجيل أو تباطؤ الدقائق الصلبة , علماً انه في الأقطار الكبيرة للأنايب يدخل تأثير الحركة الدوامية وبالتالي تشكيل مركبات إضافية للقوى المسلطة.

• إن الجريان أحادي البعد ومستقر وهنا تم إهمال تأثير اختلاف حجوم المادة الصلبة وهي الدقائق إضافة إلى إهمال أية متغيرات أخرى على الجريان .

• لا يوجد إضافة أو طرح للكتلة والطاقة من وإلى النظام .

### 3 . الجزء العملي

لأجراء التجارب تم استخدام الجهاز الموضح في الشكلين ( 2 و 1 ) الذي عند صنعه تم مراعاة الدقة في القياسات والتصميم ليتلائم مع الجريان المطلوب دراسته . وقد بلغ طول الجهاز من بداية المنفاخ blower حتى نهاية وحدة جمع الدقائق الصلبة mm (2) وبارتفاع m (1) . مقطعي جريان الخليط دائريا الشكل وأقطارهما الداخلية الكبير والصغير ( 63 mm) و mm (25.5) على التوالي , حيث بلغت نسبة الأقطار  $d_L/d_s$  عند منطقة اتساع

مراعاة إن مقطع الاختبار أفقي أي إهمال طاقة الموضع potential energy والسطوح الداخلية صقيلة , لذلك لا وجود للاحتكاك فنحصل على المعادلة :

$$P_{0\_} + \frac{U_{0\_}^2}{2g} = \frac{P_{s\_}}{\gamma_a} + \frac{U_{s\_}^2}{2g} \quad \dots (4)$$

وبعد إعادة ترتيب المعادلة (4) تصبح كالتالي :

$$P_0 - P_s = \rho_a * (U_s^2 - U_0^2) / 2 \quad \dots (5)$$

بتعويض (2) و (3) في (5) نحصل على علاقة لحساب سرعة الخليط داخل الأنبوب الصغير المقطع كآلاتي:

$$U_s = \sqrt{\{2 * \rho_w * g * \Delta h_0\} / \{\rho_a [(A_s^2 / A_0^2) - 1]\}} \quad \dots (6)$$

وبتطبيق معادلة الاستمرارية نستطيع إيجاد مقدار سرعة الخليط داخل الأنبوب الكبير وكما يلي :

$$Q = \rho_a * U_L * A_L = \rho_a * U_s * A_s \quad \dots (7)$$

وبعد تبسيط المعادلة نحصل على :

$$U_L = A_s * U_s / A_L \quad \dots (8)$$

فرق ضغط الخليط نتيجة توسع المقطع نجده من :

$$\Delta P_{SL} = P_s - P_L = \rho_w * g * \Delta h_{SL} \quad \dots (9)$$

بتطبيق معادلة برنولي Bernoulli equation عند منطقة التوسع الفجائي للأنبوب نحصل على :

$$\frac{P_{L\_}}{\gamma_a} + \frac{U_{L\_}^2}{2g} + h_{Lse} = \frac{P_{s\_}}{\gamma_a} + \frac{U_{s\_}^2}{2g} \quad \dots (10)$$

$$h_{Lse} = \frac{P_s - P_L}{\gamma_a} + \frac{U_s^2 - U_L^2}{2g} \quad \dots (11)$$

وبعد تبسيط المعادلة أعلاه نحصل على المعادلة التالية لحساب عمود الخسائر الثانوية نتيجة لتوسع مقطع الجريان الفجائي:

$$h_{Lse} = \{(\Delta P_{SL} / \rho_a) + (U_s^2 - U_L^2) / 2\} / g \quad \dots (12)$$

لحساب معدل تدفق الطور الغازي نستخدم :

$$m_a = \rho_a * Q \quad \dots (13)$$

(2) حساب نسبة تحميل الصلب :

يتم حساب كتلة الطور الصلب كما يلي :

$$m_{solid} = \frac{m_{solid\_}}{t_{solid}} \quad \dots (14)$$

بعدها نستطيع إيجاد نسبة تحميل الصلب X:

$$X = \frac{m_{solid\_}}{m_{solid\_}} \quad \dots (15)$$

(8.5)  $(A_L / A_s)$  . يربط هذين الأنبوبين مع بعضهما البعض بتوصيلة أو ما يسمى تحويل مصنوعة من معدن النحاس . جميع التوصيلات والأنابيب ذات سطوح داخلية صقيلة  $N_5$  ( أي إن مقدار خشونة السطح  $0.4 \mu m$  ) وذلك لاستبعاد تأثير خشونة السطح على حسابات الخسائر . يوجد مانومتر آخر لقياس فرق ارتفاع عمود السائل نتيجة التوسع الفجائي لمقطع الجريان . يرتبط الأنبوب الخارج من منطقة الاتساع بوحدة جمع الدقائق الصلبة . بالإضافة إلى ذلك يتكون الجهاز من وحدة جمع دقائق الصلب تقوم باستلام المزيج ثنائي الطور وفصله إلى طور صلب يقع إلى الأسفل بسبب وجود الجاذبية الأرضية وطور غازي يخرج للأعلى عن طريق وجود آلية أشبه ما تكون بفرع حرف T ذات تصميم دائري لا مركزي لتخفيف الضغط أي ضمان عدم وجود قوة كبح على مجرى الخليط ولاستبعاد هذا التأثير عند إجراء الحسابات ولتسهيل عملية جمع الدقائق الصلبة لإعادة استخدامها مرة أخرى . ويوضح الشكل رقم (3) الأجهزة المستخدمة واللازمة لعملية القياس باستثناء جهاز الانيموميتر حيث تم استخدامه للتحقق من كمية الطور الغازي المتدفقة المحسوبة من قراءة المانومتر .

#### 4 . الحسابات

##### 1) حساب معدل تدفق الطور الغازي الكتلتي:

تم حساب معدل تدفق الهواء الكتلتي  $m_a$  بعد قياس الضغط الكلي total pressure عبر الفوهة  $h_0$  بواسطة جهاز المانومتر بوحدات  $mm_{water}$  وكما يلي :

نتيجة تطبيق معادلة الاستمرارية continuity equation بين طرفي الفوهة نحصل على المعادلة الآتية :

$$Q = \rho_a * U_0 * A_0 = \rho_a * U_s * A_s \quad \dots (1)$$

وبعد تبسيط المعادلة نحصل على :

$$U_0 = A_s * U_s / A_0 \quad \dots (2)$$

فرق الضغط عبر الفوهة نستطيع إيجاده عن طريق :

$$\Delta P_0 = P_0 - P_s = \rho_w * g * \Delta h_0 \quad \dots (3)$$

بتطبيق معادلة برنولي Bernoulli equation بين طرفي الفوهة أيضاً مع

زيادة الضغط الاستاتيكي وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة معامل الضغط وحسب العلاقة التجريبية التالية علماً أن زيادة رقم رينولد بنسبة ( 40% ) تسبب زيادة معامل الضغط بنسبة ( 33% ) علماً إن نسبة الخطأ قد تصل إلى  $\pm 21\%$  :

$$Cp=3(10)^{-5}Re-1.31 \quad \dots (21)$$

لمعرفة العلاقة التي تربط عمود الخسائر الثانوية مع رقم رينولد نرسم الشكل رقم (6) ومنه نجد إن عمود الخسائر الثانوية يزداد خطياً بزيادة رقم رينولد لأن زيادة الأخير تتسبب بزيادة خسارة الضغط وبالتالي زيادة عمود الخسائر الثانوية ، ومن الشكل السابق نحصل على العلاقة التجريبية التي تمثل المعدل لمعدلات تدفق مختلفة وبنسبة خطأ تتراوح من (0) إلى 5% :

$$h_{Lse}=4(10)^{-3}Re-147 \quad \dots (22)$$

لمعرفة العلاقة بين معامل الخسائر الثانوية K وبين نسبة تحميل الصلب X نقوم برسم الشكل رقم (7) الذي يمثل العلاقة بينهما ، ومنه يتضح إن زيادة نسبة تحميل الصلب تسبب نقصان معامل الخسائر الثانوية لأن زيادة كمية الصلب يسبب تباطؤ الجريان أي يولد إعاقة للجريان مما يجعل الجريان ذا دوامات أقل كما مبين في الشكل رقم (8) وبالتالي تقل الخسائر لأن الطاقة الضائعة نتيجة تكون الدوامات تكون أقل ، ونحصل من الشكل (7) أيضاً على العلاقة بنسبة خطأ 0 - 6% :

$$K=0.132-0.009X \quad \dots (23)$$

وللسبب السابق نجد إن العلاقة نفسها تتكرر بين عمود الخسائر الثانوية وبين نسبة تحميل الصلب والذي يتمثل بالشكل رقم (9) الذي نحصل منه على العلاقة التجريبية رقم (24) بنسبة خطأ تتراوح من 14% إلى 28.5% ، وتتكرر بين معامل الضغط ونسبة تحميل الصلب حسب ما موضح بالشكل (10) الذي نحصل منه على العلاقة (25) بنسبة خطأ (0) إلى 25% :

$$h_{Lse}=100-20X \quad \dots (24)$$

$$Cp=0.35-0.116X \quad \dots (25)$$

$$m_a^*$$

### (3) حساب معامل الخسائر الثانوية :

لحساب معامل الخسائر الثانوية نتيجة لتوسع مقطع الجريان K :

$$h_{Lse} = K * U_s^2 / 2 \quad \dots (16)$$

$$K = (2 * h_{Lse}) / U_s^2 \quad \dots (17)$$

### (4) حساب معامل الضغط :

أما معامل الضغط نتيجة لتوسع مقطع الجريان  $C_p$  فيحسب من :

$$Cp=(2*\Delta P_{SL})/(\rho_a*U_s^2) \quad \dots (18)$$

### (5) رقم رينولد للخليط :

ولإيجاد رقم رينولد نستخدم :

$$Re=\rho_a*U_s*d_s/\mu_a \quad \dots (19)$$

### 5 . النتائج والمناقشة

استخدمت تحويلة لتغيير المقطع عند منطقة الاتساع بنسبة أقطار (2.4) ونسبة مساحة (5.8) . وتم استخدام دقائق صلبة بأقطار mm (1) وتم أيضاً استخدام معدلات عدة لتدفق الهواء هي عند أرقام رينولد من (42863) إلى (75909) وتم تغيير النسبة الوزنية لتحميل الصلب من (0) إلى (1.645) لبيان التغيير الحاصل على معامل الضغط  $C_p$  ولقياس وبيان التغيير الحاصل على معامل الخسائر الثانوية K عند منطقة الاتساع ، علماً إن ظروف العمل كانت  $105 \text{ kPa}$  ,  $25^\circ \text{C}$  .

الشكل رقم (4) يمثل العلاقة بين معدل التدفق (رقم رينولد) ومعامل الخسائر الثانوية ومنه نجد إن العلاقة بينهما طردية خطية ، حيث إن زيادة معدل التدفق يسبب زيادة الاصطدامات وزيادة اضطراب الجريان مما يسبب خسارة في طاقة الخليط ووجد أن زيادة رقم رينولد بنسبة (40%) تسبب زيادة معامل الخسائر الثانوية بنسبة (7%) ، وتمثل المعادلة التالية معدل العلاقة بينهما لمعدلات تدفق مختلفة بنسبة خطأ قد تصل إلى  $\pm 21\%$  :

$$K=3(10)^{-6}Re-0.02 \quad \dots (20)$$

أما الشكل رقم (5) فيمثل العلاقة بين معامل الضغط ورقم رينولد لمعدلات تدفق مختلفة ولنسب تحميل مختلفة فنجد أن المحصلة تشير إلى إن العلاقة بينهما طردية خطية أيضاً لأن زيادة معدل تدفق الخليط تسبب زيادة الضغط الديناميكي للخليط أقل من

يمكن إجراء عدة تغييرات في الجهاز للحصول على حالات أخرى لدراستها من جهة ثانية ، ومن بين هذه التغييرات :

1. يمكن وضع عكس (Elbow) بدلا عن التحويلة المستخدمة لتوسع مقطع الجريان .
2. من الممكن دراسة نفس الجهاز لكن بصورة شاقولية للأنبوب وملاحظة تأثير طاقة الموضع على النتائج مع ملاحظة إن قوة الجاذبية ستولد إعاقة إضافية لذا من المتوقع أن تكون نسب التحميل للطور الصلب أقل .

#### References

1. Slater , Leeming & Young , ( particle deposition from two-dimensional turbulent gas flows ) , Int. J.multiphase flow , 2002 .
2. Alexander Kartushinsky & Efstathios E.Michaelides , ( an analytical approach for closure equations of gas-solid flows with inter-particle collisions ) , Int.J. multiphase flow , 2003.
3. Geurts & Vreman , ( dynamic self-organization in particle-laden channel flow ) , International Journal of Heat and Fluid Flow , vol.27 , 2006 .
4. Apte , Mahesh & Lundgren , (accounting for finite-size effect in simulations of disperse particle-laden flows) , <http://www.sciencedirect.com> , Int. J. multiphase flow , 2007 .
5. Yamin Xu , Jianqi Shen , Xiaoshu Cai , Ulrich Riebel & Xiaoi Guo , ( particle size analysis by transmission fluctuation spectrometry with band-pass filter ) , Powder Technology , vol.184 , 2008 .
6. Massey , ( mechanics of fluids ) , 8<sup>th</sup> edition . 2006 .

لمعرفة التغيير في معامل الخسائر الثانوية K بدلالة كل من نسبة تحميل الصلب X ورقم رينولد للجريان Re نقوم بإدخال قيم المعادلات (20) و(23) في برنامج Dimensionless Groups Analysis (DGA v1.00) فنحصل على:

$$K=3.3(10)^{-7}Re^{1.2}X^{1.36} \dots\dots (26)$$

لمعرفة التغيير في معامل الضغط Cp بدلالة كل من نسبة تحميل الصلب X ورقم رينولد للجريان Re نقوم بإدخال قيم المعادلات (21) و(25) في البرنامج السابق فنحصل على :

$$Cp=4.3(10)^{-59}Re^{12.3}X^{0.35} \dots\dots (27)$$

لمعرفة التغيير في عمود الخسائر الثانوية  $h_{Lse}$  بدلالة كل من نسبة تحميل الصلب X ورقم رينولد للجريان Re نقوم بإدخال قيم المعادلات (22) و(24) في البرنامج السابق أيضا فنحصل على :

$$h_{Lse}=4.9(10)^{-18}Re^4 X^{0.1} \dots\dots (28)$$

#### 6 . الاستنتاجات والتوصيات

في ضوء النتائج العملية التي حصلنا عليها تم استنتاج ما يلي :

a. زيادة نسبة تحميل الصلب تسبب نقصان كل من معامل الخسائر الثانوية ومعامل الضغط خطيا عند رقم رينولد معين عند التوسع الفجائي لمقطع الجريان .

b. الحصول على العلاقات التجريبية التالية لمنطقة توسع مقطع الجريان الفجائي بدلالة رقم رينولد ونسبة تحميل الصلب:

$$K = 3.3(10)^{-7}Re^{1.2} X^{1.36}$$

$$Cp = 4.3(10)^{-59}Re^{12.3} X^{0.35}$$

$$h_{Lse} = 4.9(10)^{-18}Re^4 X^{0.1}$$

لمدى أرقام رينولد (42863) إلى (75909) ولنسبة تحميل صلب لا تتجاوز (1.645) ولأقطار دقائق صلب لا تتعدى 1 mm .

c. يتأثر الخليط ثنائي الطور بتغير نسبة تحميل الصلب أكثر بكثير من تأثره بتغير رقم رينولد .



10. phase flow ) , 1969 .
11. Wang , M. Impedance mapping of particulate multiphase flows , flow measurement and instrumentation , vol.16 , 2005 .
7. Alberton , Barton & Simons, (fluid mechanics for engineers) , 1972 .
8. Fox & Mc Donald ,( introduction to fluid mechanic ) , 1990 .
9. Wallis , ( one-dimensional two-

ظروف العمل من درجة حرارة المحيط والضغط الجوي فكانت على التوالي  $105 \text{ kPa}$  ,  $25^\circ \text{C}$

## جدول (2)

### جدول (1)

| التدفق الاول ( يرمز له بالرقم 1<br>في المخططات ) |          |          |          |         |
|--------------------------------------------------|----------|----------|----------|---------|
| $\Delta h_o =$                                   | 0.69     | 0.607    | 0.544    | m water |
| $\Delta h_{SL} =$                                | 0.033    | 0.029    | 0.015    | m water |
| $m_{solid} =$                                    | 0        | 0.45     | 0.82     | kg      |
| $t_{solid} =$                                    | 0        | 27       | 26       | second  |
| $U_s =$                                          | 47.12846 | 44.20313 | 41.84641 | m/s     |
| $U_L =$                                          | 7.721159 | 7.241896 | 6.855789 | m/s     |
| $\Delta P_{SL} =$                                | 323.73   | 284.49   | 147.15   | pa      |
| $h_{Lse} =$                                      | 139.6839 | 122.8542 | 100.2731 | m water |
| $K =$                                            | 0.12578  | 0.125752 | 0.114524 |         |
| $C_p =$                                          | 0.260738 | 0.260465 | 0.150325 |         |
| $Re =$                                           | 75908.77 | 71197.01 | 67401.08 |         |
| $m_a^* =$                                        | 0.026909 | 0.025239 | 0.023893 | kg/sec  |
| $m_{solid}^* =$                                  | 0        | 0.016667 | 0.031538 | kg/sec  |
| $X =$                                            | 0        | 0.660364 | 1.319989 |         |

| التدفق الثاني ( يرمز له بالرقم<br>2 في المخططات ) |          |          |          |         |
|---------------------------------------------------|----------|----------|----------|---------|
| $\Delta h_o =$                                    | 0.555    | 0.5      | 0.445    | m water |
| $\Delta h_{SL} =$                                 | 0.03     | 0.025    | 0.015    | m water |
| $m_{solid} =$                                     | 0        | 0.35     | 0.66     | kg      |
| $t_{solid} =$                                     | 0        | 23       | 21       | second  |
| $U_s =$                                           | 42.26737 | 40.11841 | 37.84763 | m/s     |
| $U_L =$                                           | 6.924756 | 6.572687 | 6.200661 | m/s     |
| $\Delta P_{SL} =$                                 | 294.3    | 245.25   | 147.15   | pa      |
| $h_{Lse} =$                                       | 115.4462 | 102.1925 | 84.46651 | m water |
| $K =$                                             | 0.129241 | 0.126988 | 0.117933 |         |
| $C_p =$                                           | 0.294692 | 0.27259  | 0.183768 |         |
| $Re =$                                            | 68079.12 | 64617.84 | 60960.35 |         |
| $m_a^* =$                                         | 0.024133 | 0.022906 | 0.02161  | kg/sec  |
| $m_{solid}^* =$                                   | 0        | 0.015217 | 0.031429 | kg/sec  |
| $X =$                                             | 0        | 0.664331 | 1.454367 |         |

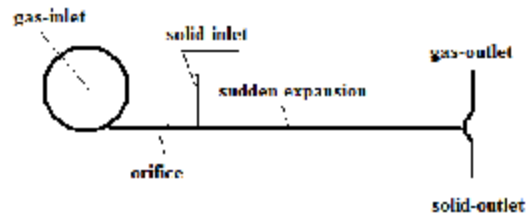


## جدول (3)

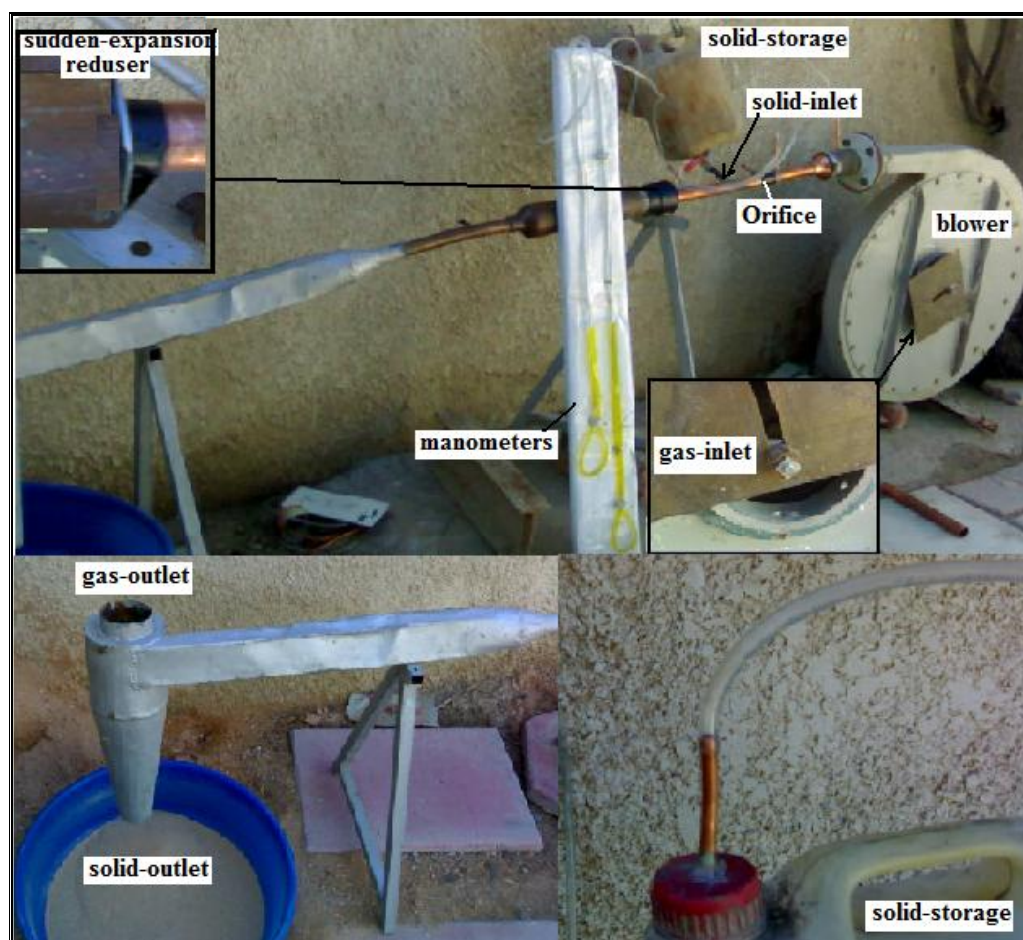
| التدفق الثالث ( يرمز له بالرقم 3 في المخططات ) |          |          |          |         |
|------------------------------------------------|----------|----------|----------|---------|
| $\Delta h_o =$                                 | 0.364    | 0.337    | 0.307    | m water |
| $\Delta h_{SL} =$                              | 0.02     | 0.019    | 0.009    | m water |
| $m_{solid} =$                                  | 0        | 0.35     | 0.83     | kg      |
| $t_{solid} =$                                  | 0        | 26       | 32       | second  |
| $U_s =$                                        | 34.2302  | 32.93621 | 31.43604 | m/s     |
| $U_L =$                                        | 5.608008 | 5.396012 | 5.150236 | m/s     |
| $\Delta P_{SL} =$                              | 196.2    | 186.39   | 88.29    | pa      |
| $h_{Lse} =$                                    | 76.00614 | 70.80081 | 57.0664  | m water |
| $K =$                                          | 0.129736 | 0.130533 | 0.115493 |         |
| $C_p =$                                        | 0.299549 | 0.307371 | 0.159825 |         |
| $Re =$                                         | 55133.82 | 53049.63 | 50633.34 |         |
| $\dot{m}_a =$                                  | 0.019544 | 0.018806 | 0.017949 | kg/sec  |
| $\dot{m}_{solid} =$                            | 0        | 0.013462 | 0.025938 | kg/sec  |
| $X =$                                          | 0        | 0.715829 | 1.445068 |         |

## جدول (4)

| التدفق الرابع ( يرمز له بالرقم 4 في المخططات ) |          |          |          |         |
|------------------------------------------------|----------|----------|----------|---------|
| $\Delta h_o =$                                 | 0.258    | 0.24     | 0.22     | m water |
| $\Delta h_{SL} =$                              | 0.015    | 0.0135   | 0.01     | m water |
| $m_{solid} =$                                  | 0        | 0.26     | 0.55     | kg      |
| $t_{solid} =$                                  | 0        | 25       | 22       | second  |
| $U_s =$                                        | 28.81831 | 27.79485 | 26.61154 | m/s     |
| $U_L =$                                        | 4.721368 | 4.553691 | 4.359828 | m/s     |
| $\Delta P_{SL} =$                              | 147.15   | 132.435  | 98.1     | pa      |
| $h_{Lse} =$                                    | 54.60967 | 50.39407 | 44.07024 | m water |
| $K =$                                          | 0.131511 | 0.130461 | 0.124462 |         |
| $C_p =$                                        | 0.316965 | 0.306664 | 0.247809 |         |
| $Re =$                                         | 46417.02 | 44768.55 | 42862.62 |         |
| $\dot{m}_a =$                                  | 0.016454 | 0.01587  | 0.015194 | kg/sec  |
| $\dot{m}_{solid} =$                            | 0        | 0.0104   | 0.025    | kg/sec  |
| $X =$                                          | 0        | 0.655325 | 1.645349 |         |



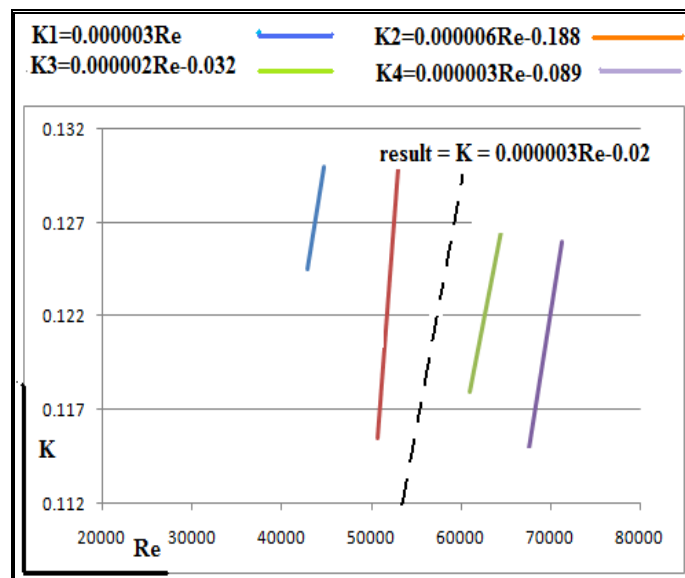
شكل ( 1 ) مخطط للجهاز المستخدم في البحث



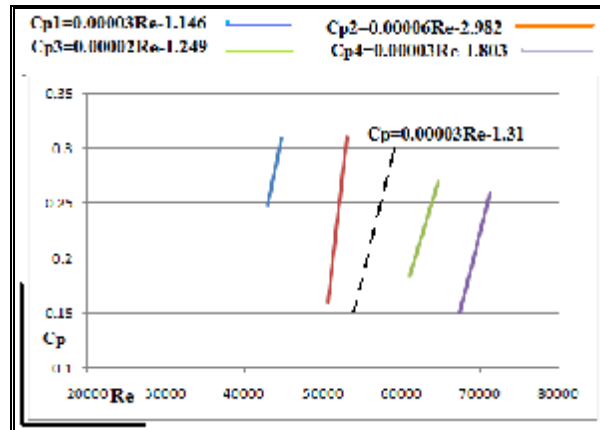
شكل ( 2 ) الجهاز المستخدم في البحث



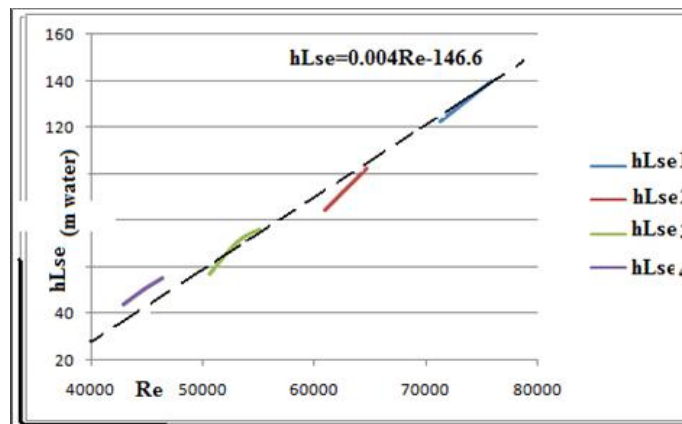
شكل ( 3 ) الأجهزة المساعدة اللازمة لإتمام البحث



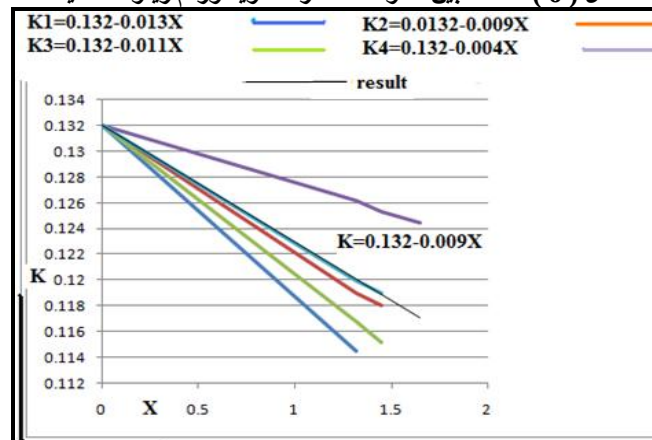
شكل ( 4 ) العلاقة بين معامل الخسائر الثانوية ورقم رينولد للخليط



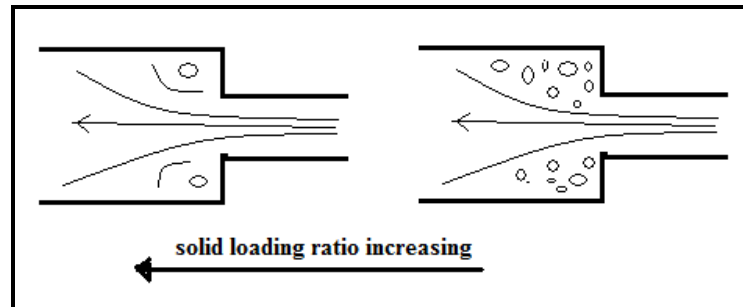
شكل ( 5 ) العلاقة بين معامل الضغط ورقم رينولد للخليط



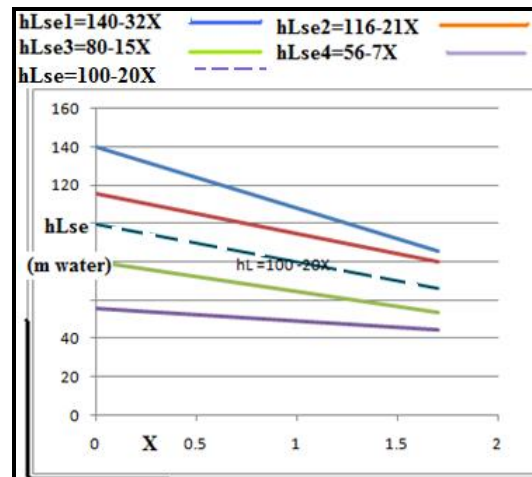
شكل ( 6 ) العلاقة بين عمود الخسائر الثانوية ورقم رينولد للخليط



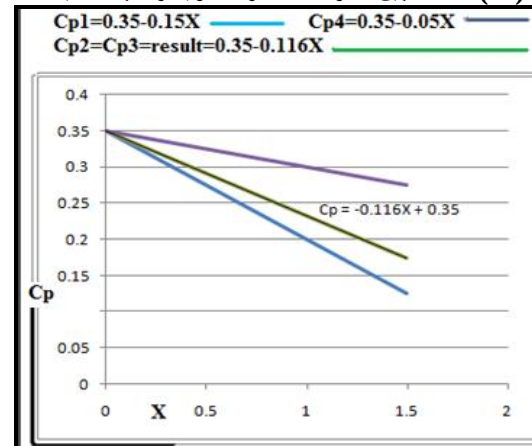
شكل ( 7 ) العلاقة بين معامل الخسائر الثانوية ونسبة تحميل الصلب



شكل ( 8 ) تأثير زيادة نسبة تحميل الصلب



شكل ( 9 ) العلاقة بين عمود الخسائر الثانوية ونسبة تحميل الصلب



شكل ( 10 ) العلاقة بين معامل الضغط ونسبة تحميل الصلب