

## الطريقة الهيدروديناميكية لحساب علاقة التدفق، ورسمها

### بهبوط الضغط لأنابيب بعض الأنظمة الهيدروليكية

أ. د. غسان زيدان<sup>(1)</sup>

#### الملخص

درسنا في بحثنا علاقة التدفق بهبوط الضغط وعلاقة معامل المقاومة بالقدرة التمريرية للجريان ضمن العنصر الهيدروليكي المدروس وأشير إلى نظامي الجريان المضطرب والصفائحي بعلاقات تجريبية ومثل هذه الأنظمة من الجريان لا تتعلق فقط بالأبعاد الهندسية للعنصر المدروس ولكن أيضاً بطبيعة الجريان وهذا ما يقودنا إلى اختلاف واضح بين نتائج الحساب و التجربة، وأشير إلى النجاح الذي تحقق في النمذجة الرياضية للجريان للزج غير القابل للانضغاط وإنجاز الحاسب لعمليات معقدة سمح الوصول إلى نتائج موثوق بها إذ استُخدمت معادلة تافيير ستوكس من أجل جريان ثنائي البعد مستقر متناظر غير قابل للانضغاط، وذلك بعد أخذ بعض الشروط الحدية بالحسبان وهي مذكورة في نص البحث.

تم الحصول من خلال حل هذه المعادلة على علاقة الضغط بالتدفق للعنصر الهيدروليكي المدروس (أنابيب-توسع مفاجئ-تضييق مفاجئ) أجريت الدراسة على أنابيب أفقية بأبعاد هندسية مبينة في نص البحث وتبين أنه مع زيادة عدد رينولدز تتحدد بنية الجريان، وتظهر الجريانات العكسية في مناطق التغيير المفاجئ للجريان فإن انحراف  $\alpha$  عن المستقيم  $\alpha = 2$  يبدو واضحاً، إذ لوحظ هذا الفرق حتى نهاية الأنابيب وأشرنا أيضاً على اختلاف نظام الجريان (اختلاف توسع السرعة عن منحنى بوازيل في نظام العمل الحسابي) التضييق يكون بشكل غير مباشر قبل إنقاص القطر، أمّا في التوسع فيكون بعد زيادة القطر، وبالنهاية فإن حساب  $\alpha_{1,2}$  حسب الافتراض في بحثنا تعطي طريقة أكثر دقة في تحديد ثابت كوريوليس في أي مقطع ممكن، وبأي نظام جريان.

الكلمات المفتاحية: تدفق، هبوط الضغط، أنظمة الخزن في الأنابيب، توسع مفاجئ، تضيق مفاجئ، عدد رينولدز.

<sup>(1)</sup> قسم هندسة الميكانيك العام، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، سورية

## **The hydrodynamic method to calculate and draw the relationship between discharge and pressure fall in pipes of some hydraulic systems**

**Dr. Ghassan Zedan <sup>(1)</sup>**

### **Abstract**

The relationship of discharge and pressure drop and between resistance coefficient and discharge with the hydraulic element is studied.

Experimental relations between laminar and turbulent flow has been established. Such flow systems do not only depend on geometrical dimensions of the studied element, but also, with the flow nature.

This leads to an obvious difference between calculations and experiments.

The mathematical modelling of viscous and incompressible flows has successfully led to reliable results where Navier - Stokes equations have been used for a two dimensional steady and identical flow, taking into consideration the critical conditions.

Solving these equations of studied hydraulic element (pipes - sudden expansion - sudden constriction) yielded the relation between discharge with pressure.

The study was carried out on pipes with geometrical dimensions. It indicated that with the increase of Reynolds number reverse flow has occurred in the sudden change areas.

The deflection of  $\alpha$  from the value  $\alpha = 2$  is apparent till the end of the pipe. We also indicated the varying velocity divergence from Bozal curve. The constriction is indirect before lessening the diameter, while in expansion it follows diameter increase.

Thus, calculating  $\alpha = 1, 2$  in our research has given better accuracy in determining Gariolis constant in any given section and flow system.

---

<sup>(1)</sup> Prof., department of mechanical forces, Faculty Mechanical and Electrical Engineering, Al Baath University, Syria.

**مقدمة:**

قوى الثقالة، وأخذَ ببعض الاعتبارات التي أتينا على ذكرها ضمن سياق البحث، إذ إنَّه بتحديد الضغط و التدفق بالمقاطع الحسابية للمنطقة المدروسة يمكن للمشخصات رسم علاقة هبوط الضغط بالتدفق للجهاز المصمم.

**مواد البحث وطرائقه**

تعدّ علاقة التدفق بهبوط الضغط من أهم البارامترات للعنصر الهيدروليكي الذي يحدد قدرته التمريرية إذ يمكن أن يعبر عنه بعلاقة تدفق السائل الذي يمر عبر الحجرة المدروسة بهبوط الضغط لهذا الجريان [1] إن أهم بارامتر يصف القدرة التمريرية للعنصر الهيدروليكي هو المعامل اللابيدي للمقاومة الهيدروليكية  $\lambda$  يشير [1-4] إلى أنه في الجريان المضطرب فإن  $\lambda$  تتعلق بالأبعاد الهندسية لمجرى الحجرة، تبين نتائج التجارب دقة كافية بمطابقتها مع القيمة  $\lambda$  المحسوبة وفق [4]، تتحدد قيمة  $\lambda$  في نظامي الجريان الصفائحي والانتقالي بعلاقات تجريبية إذ أنه في مثل هذه الأنظمة من الجريان لا تتعلق قيمة  $\lambda$  فقط بالأبعاد الهندسية لمجرى الحجرة، ولكن أيضاً بطبيعة الجريان، وهذا ما يقودنا إلى اختلاف واضح بين نتائج التجارب والحساب.

وتجدر الإشارة إلى أن البحوث التجريبية على التجهيزات الهيدروليكية في نظامي الجريان الصفائحي والانتقالي للسائل تلقى بعض الصعوبات، وذلك لأنَّه من الضروري قياس قيم صغيرة بدرجة عالية من الدقة، عدا في ذلك فإنَّه، أثناء إجراء التجارب لا بدَّ من بعض المعلومات الخاصة بنوع الجريان (مثل اللزوجة، وطبيعة المائع... الخ) وهذا ما يعقد تعميم النتائج. من جهة أخرى فإنَّ النجاح الذي تحقّق في النمذجة الرياضية للجريان اللزج غير القابل للإنضغاط في أنظمة الجريان الهيدروليكي والهوائي [5-7] وإنجاز الحاسب لعمليات معقدة سمح الحصول على معلومات عن العنصر المراد إجراء التجارب عليه.

نُوقِشتُ في بحثنا الضياعات بالضغط لبعض أشكال الجريان المستقر في الأنابيب المضغوطة، واقتصرت المناقشة على الموائع غير القابلة للإنضغاط، كما هو معلوم أنَّه إذا قيس ضياع الضغط على طول معين لأنبوب ما بمقطع ثابت عند قيم مختلفة للسرعة فسوف نجد أنَّه ما دامت كانت السرعة صغيرة لدرجة أنَّ الجريان سيكون صفائحيًا فإنَّ ارتفاع الضغط نتيجة للاحتكاك سيتناسب مباشرة مع السرعة إذ يتضح بالمشاهدة في أنبوبة شفافة أنَّ الجريان يتغير من الصفائحي إلى المضطرب، لذلك ستكون هناك زيادة فجائية في معدل تغير الضياع بالارتفاع أمَّا بالنسبة إلى الجريان اللزج فإنَّ الضياع في القدرة نتيجة الاحتكاك يتغير مع السرعة  $V$  أمَّا بالنسبة إلى الجريان المضطرب فإنَّ الاحتكاك يتغير مع  $V^n$  إذ  $n$  تراوح من 1.75-2 أمَّا بالنسبة إلى الفقد الناجم عن التضيق المفاجئ فنلاحظ انخفاض ملموس في الضغط نتيجة الزيادة في السرعة ونتيجة الضياع في القدرة بسبب الإضطراب وفي حالة التوسع المفاجئ نلاحظ ارتفاع الضغط بسبب الإنخفاض في السرعة ولكن هذا الإرتفاع طفيف مالم يكن هناك ضياع في القدرة.

**هدف البحث:**

إيجاد طريقة هيدروديناميكية لحساب ورسم التدفق ورسمه وهبوط الضغط والمقاومات المكانية في نظامي الجريان الإنتقال والصفائحي إذ أنَّها تلقى بعض الصعوبات لأنَّه من الضروري قياس قيم صغيرة لدرجة عالية الدقة عدا ذلك أنَّه في أثناء إجراء التجارب لا بدَّ من بعض المعلومات عن موضوع الدراسة وهذا ما يعقد تعميم النتائج وتعتمد الطريقة على حل معادلة نافير-ستوكس من أجل جريان ثنائي البعد مستقر متناسق لزج غير قابل لإنضغاط مع إهمال

2- عند مقطع الخروج للمنطقة المدروسة نستخدم العلاقات:  $\frac{d\omega}{dn}$ ،  $\frac{d\psi}{dn}$  إذ  $n$  هي الإحداثية العمودية على حدود المنطقة المدروسة [3].

3- على الحدود الصلبة (جدران القناة) تُستخدَمُ فرضية الالتصاق إذ  $u_n = u_z = 0$  إذ  $u_n$  و  $u_z$  مركبات شعاع السرعة في الإتجاهين  $n$  و  $\tau$  ونكتب علاقة الدوامة وتابع التيار على جدران القناة على الشكل:

$$\psi(\tau_2) = \text{const}$$

$$\psi(\tau_1) = 0$$

عند  $\omega = \frac{\partial^2 \omega}{\partial \tau^2}$  إذ  $\tau_1 < \tau_2$  المركبة العمودية للسرعة على حدود المنطقة الصلبة أما  $\tau_1$  و  $\tau_2$  إحداثيات الجدران الصلبة.

4- فتحدد  $\omega$  و  $\psi$  ( إذا وقع خط تناظر الجريان في منطقة الجريان الحسابية ) من العلاقات (2) عند  $r=0$ .

نظام المعادلات (1) مع شروط حدية مختصرة من أجل المنطقة المدروسة يمكن أن يتم حلها بطريقة الفروقات المنتهية بنتيجة الحساب يتم الحصول على قيم لابعدية لتابع التيار والدوامة في منطقة الجريان بالطرائق العددية التقاضلية مع اعتبار العلاقات (2) تُحدَدُ مركبات شعاع السرعة في المنطقة المدروسة، وذلك باستخدام التكامل العددي على سبيل المثال طريقة سيمسون. إنَّ تدفق السائل في المقاطع الحسابية للمنطقة المدروسة التي يجب أن تكون متساوية مع دقة كافية من أجل الحصول على شروط استمرار جريان السائل العامل. يتم إيجاد ضياع الضغط في المقاطع الحسابية من توزيع الضغط في الحجرة المصممة للجهاز باستخدام معادلة نافير-ستوكس من أجل الجريان المستقر اللزج غير القابل للانضغاط مع متغيرات سرعة - ضغط في جملة الإحداثيات نكتب العلاقات على الشكل (3)

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \rho \left( u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) - \mu \nabla^2 u_z$$

طريقة تحديد البارامترات ومعامل المقاومة الهيدروليكي للجريان الصفائحي والمضطرب: تعتمد الطريقة على حل معادلات نافير ستوكس من أجل جريان ثنائي البعد مستقر متناظر لزج غير قابل للانضغاط. في هذه الحالة وعند غياب القوى الكتلية فإنَّ معادلة نافير ستوكس اللابعدية بدلالة الدوامة وتابع التيار في الإحداثيات الاسطوانية تأخذ الشكل الآتي :

$$\frac{\omega}{r} \frac{\partial \omega}{\partial z} + \frac{1}{r} \left( \frac{\partial \psi}{\partial r} \frac{\partial \omega}{\partial z} - \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial \omega}{\partial r} \right) - \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \omega}{\partial r} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} - \frac{\omega}{r^2} \right) = 0$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + r\omega = 0 \quad (1)$$

إذ  $Re$  و  $\omega$  و  $\psi$  عدد رينولدز و سرعة الدوران الزاوية و تابع التيار.

إذ نتحدد الدوامة و تابع التيار من العلاقات الآتية:

$$u_z = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r}, u_r = -\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad (2)$$

إذ  $u_r$  و  $u_z$  مركبات شعاع السرعة  $u$  في الإتجاهين  $z$  و  $r$  أما عدد رينولدز فيتم تحديده من العلاقة  $Re = \frac{V.L}{\nu}$  إذ  $L$ - بعد يحدد مقطع الدخول ومتوسط السرعة و  $\nu$  اللزوجة الحركية للوسط العامل)

تحل مجموعة المعادلات (1) مع الأخذ بالحسبان الشروط الآتية:

1- في مقطع الدخول للمنطقة المدروسة يتم افتراض توزيع السرعة بشكل قطع مكافئ عمودي على حدود المنطقة المدروسة مركبات شعاع السرعة تتوافق مع المنحنى لبوازيل [8] في هذه الحالة العلاقات من أجل الدوامة وتابع التيار على حدود مقطع الدخول يمكن أن يتم الحصول عليها من خلال العلاقات (2).

من معرفة بعض خواص هذه الأشكال، لذلك كان لابد من إجراء التجارب على بعض العناصر الملساء هيرولوليكياً التي تتغير أقطارها تم حل المسألة بالنسبة إلى لتجهيزات المبينة أدناه إذ الأبعاد الآتية  $d_1 = 2d_2$  و متوسط السرعة عند مقطع الدخول  $V_{z1} = 1$  شكل 1 طول الأنابيب  $L = 25d_1$  المسافة بين مقطع الدخول والمقاومة المكانية  $L_n = \frac{L}{2}$  قُسمت المنطقة الحسابية إلى 21 مقطعاً أفقياً و 69 مقطعاً عمودياً. ونظراً إلى أن المقاطع متناظرة محورياً دُرست المقاطع في النصف العلوي من الأنبوب أُجريت التجارب من أجل:  $Re = 0.0001, 1.2, 10, 20, 100, 200$  من أجل الجريان في الأنابيب الأفقية مع أقطار ثابتة تم الحصول على نتائج تتطابق مع النتائج النظرية إلى حد ما. بخطأ بحدود 0.001 وخطأ أعظمي بحدود 0.003 توزع متوسط الضغط على طول المنطقة الحسابية تتطابق مع القانون الخطي وتتوافق مع توزع الضغط حسب علاقة بوازيل [8] (الخطأ الأعظمي النسبي على طول الأنبوب أقل من 0.05 بالمطابقة مع علاقة دارسي - فايسباخ) من أجل حساب حقل السرعة والضغط في الأنابيب الأفقية مع تغير مفاجئ في القطر اختيرت منطقة الحساب الآتية: القطر عند مقطع الدخول  $d_1 = 2$  عند مقطع الخروج من أجل تضيق مفاجئ  $d_2 = 1$  (الشكل 1,a)، أما من أجل التوسع المفاجئ فإن  $d_2 = 4$  (الشكل 1,b) إن تقسيم منطقة الدراسة بشكل متساوٍ عند حساب الأنابيب الملساء، وأن توزع مركبات حقل السرعة الأفقية اللابعد في المقاطع الحسابية في المنطقة المدروسة التي تبعد عن بداية الأنابيب بمسافة  $n$  عن مقطع الدخول ( $n = 0; 6; 12.4; 12.5; 13; 16; 19; 25$ ) المبينة على الشكل 2 من أجل التضيق المفاجئ وعلى الشكل 3 من أجل التوسع المفاجئ.

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \rho \left( u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} \right) - \mu (\nabla^2 u_r - \frac{u_r}{r^2})$$

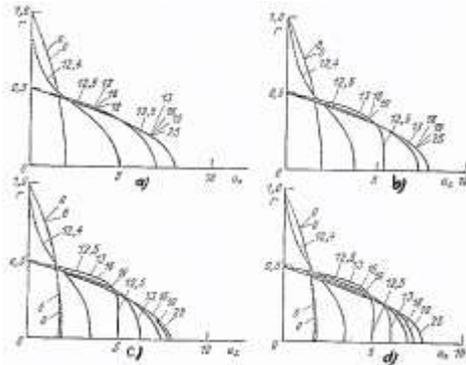
إذ  $\mu = \nu \cdot \rho$  اللزوجة التحريكية  $\nu$ ; اللزوجة الحركية  $\rho$ ; كثافة السائل.

بالحصول على حقل السرعة بالتفاضل العددي يمكن الحصول على المشتق الأول والثاني لمركبات شعاع السرعة في المنطقة المدروسة ومن ثم استخدام التكامل العددي لحل المعادلات (3) نحصل على قيمة الضغط في أي نقطة من منطقة الجريان، بمعرفة توزع الضغط والتدفق في المقاطع الحسابية للمنطقة المدروسة يمكن باستخدام معادلة برنولي لحساب ضياع الضغط وثابت المقاومة الهيدروليكية للأشكال المدروسة بين مقطعين 1-1 و 2-2 فنحصل على:

$$h_{1,2} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} - \frac{\alpha_1 V_1^2 - \alpha_2 V_2^2}{2g} \quad (4)$$

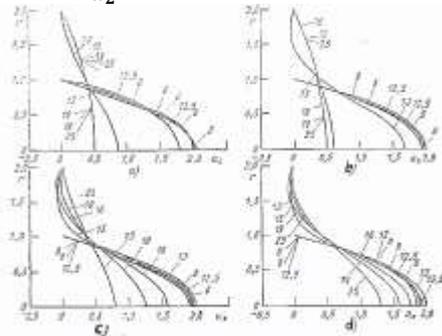
$$\zeta_{1,2} = h \left( \frac{V^2}{2g} \right)^{-1} \quad (5)$$

إذ  $Y$  الوزن النوعي للسائل،  $g$  تسارع الجاذبية الأرضية،  $V$  متوسط السرعة في المقطع الحسابي، يتم فيه تحديد متوسط قيم السرعة والضغط  $p_1, V_1, p_2, V_2, \zeta_{1,2}$  أما  $\alpha_1, \alpha_2$  ثوابت كوريوليس في المقاطع المطابقة. تمت الاستعانة ببعض البرامج على الحاسب لحساب البارامترات  $(p-Q)$  ومعامل الضياع  $\zeta$  للأجزاء الهيدروليكية، وتجب الإشارة إلى أن المشخصات الهيدروليكية للأنابيب التي تتصل بالحجرات تتعلق بالمؤشرات الخارجية لهذه الأنابيب؛ لذلك يجب عند حساب المشخصات الهيدروليكية للعناصر أن نمتلك معلومات موثقة عن مواصفات الأنابيب في أنظمة العمل الحسابية للجريان. إن الأنابيب المتصلة مع بعضها التي تشكل النظام الهيدروليكي التي يعبر عنها من الضاغط في التضيق المفاجئ والتوسع المفاجئ للأنابيب، وقبل حساب المشخصات الهيدروليكية ومعامل الضياعات  $\zeta$  للتجهيزات الهيدروليكية مع حجرات ذات شكل معقد لابد



شكل (2) تغير مركبة شعاع السرعة الأفقية من أجل القناة مع

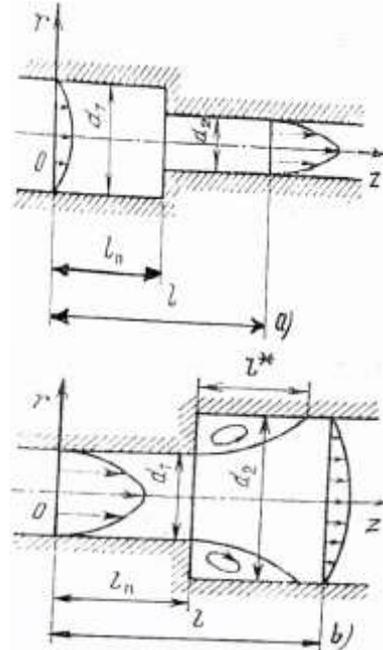
$$\frac{d_1}{d_2} = 0 \text{ عند مفاجئ}$$



شكل (3) تغير مركبة شعاع السرعة الأفقية من أجل قناة مع

$$\frac{1}{d_2} = 0.5 \text{ توسع مفاجئ}$$

الذي هو نتيجة تساوي التدفقات في المقاطع كلها للمنطقة المدروسة . تتعدى بنية الجريان مع زيادة عدد رينولدز  $Re_1$  يختلف توزيع حقل السرعة  $u_z$  عند المدخل، وفي منطقة ضيقة للأنبوب عند  $\frac{L}{d_1} = 12.5$  عن شكل القطع المكافئ ويقترب من الحقل  $u_z = const$ ، وهذا ما يتفق مع المعطيات التي تم الحصول عليها عند اختبار الجريان الخارج من الخزانات ذات المقاييس الكبيرة عبر الفوهات. عند التوسع المفاجئ ابتداء من نظام الجريان الذي يطابق  $Re_1 = 20$  تظهر الجريانات العكسية إذ تزداد مقاييسها مع زيادة  $Re_1$  لا نلاحظ الجريانات العكسية في التضيق المفاجئ عدا ذلك فإنه مع زيادة  $Re_1$  يزداد طول الأنبوب



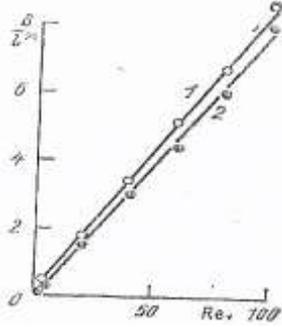
الشكل (1) منطقة الجريان الحسابية : a - عند تضيق

الجريان b - عند توسع الجريان

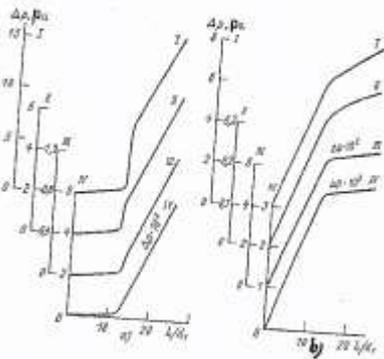
أجريت الحسابات عند تدفقات مختلفة. بمعنى آخر عند أنظمة عمل جريان مختلفة إذ يتم يُحدّد عدد رينولدز  $Re$  عند بداية المنطقة الحسابية؛ وذلك من أجل  $Re = 1$ ; a-  $Re = 20$ ; b-  $Re = 100$ ; c-  $Re = 200$ ; d- ومن الملاحظ أنه في أثناء التغير المفاجئ لقطر الأنابيب إذ يتم تحول سلس لمركبة السرعة الأفقية لشعاع السرعة من القيمة  $u_{z1} = 1$  الذي هو عبارة عن قطع مكافئ بوازيل إلى حقل مشابه لمركبة السرعة  $u_{z2} = 4$  من أجل التوسع المفاجئ . لننوه أنه عند مقطع الخروج يكون توزيع السرعة له شكل قطع مكافئ بوازيل عدا ذلك فإنه تم تحقيق المعادلة :

$$u_{z2} = u_{z1} \cdot \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (6)$$

(التضييق المفاجئ للجريان)، أنه عند اختلاف قيمة  $\alpha$  عن الخط المستقيم  $\alpha = 2$  التي تتطابق مع مكافئ بوازيل في المقاطع الحسابية يتم عند مقاطع كبيرة  $\Delta L = 0.8d_1$  ويزداد بشكل بطيء مع زيادة  $Re_1$  ( انظر الشكل 4.b )



شكل (6) علاقة الطول النسبي مناطق الجريان العكسي بنظام الجريان في القناة عند توسع مفاجئ  $\frac{d_1}{d_2} = 5$



شكل (7) تغير علاقات الضغط بعلاقته بطول القناة عند أنظمة جريان مختلفة

a - عند تضيق الجريان

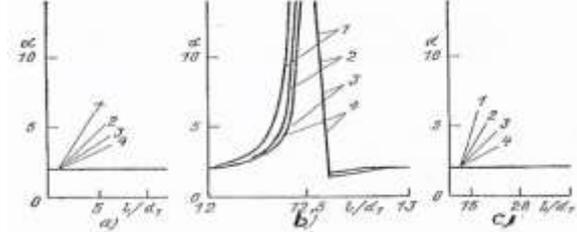
b - عند توسع الجريان :

1-Re=200, 2-Re=100, 3-Re=20, 4-Re=1

(رقم المنحنى يتطابق مع الرقم المطابق لمحور الإحداثيات y)

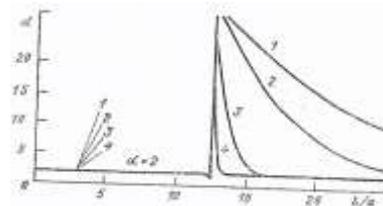
عند التوسع المفاجئ للجريان (انظر الشكل 5) فإن انحراف  $\alpha$  عن المستقيم  $\alpha = 2$  يبدو واضحاً، وعند بعض أنظمة الجريان ( $Re_1 = 100$ ،  $Re_1 = 200$ ) يُلاحظ هذا الفرق حتى نهاية الأنبوب.

حيث يستقر حقل السرعة، أي يزداد فيها ظهور قطع مكافئ بوازيل.



شكل (4) تغير ثابت كوريوليس على طول القناة عند تضيق مقطع الجريان عند أنظمة جريان مختلفة 1-Re=200, 2-Re=100, 3-Re=20, 4-Re=1

إذا استقر حقل السرعة للتضييق المفاجئ عند أنظمة جريان مختلفة في المناطق التي أقطار الدخول فيها واحدة بالعلاقة مع التغير المفاجئ لمقطع الأنبوب، فإنه عند التوسع المفاجئ، وعند أنظمة الجريان مختلفة فإن حقل السرعة يتجاوز الطول الحسابي للمنطقة المدروسة. لأنه عند  $L = 25$  (وهذا ما يتفق مع مقاطع الخروج) من أجل  $Re_1 = 100$  فإن حقل السرعة لا يبدو قطعاً مكافئاً لبوازيل، ولا تتحقق العلاقة 6. أمّا من أجل  $Re_1 = 200$  فتوجد مناطق جريان عكسية انظر الشكل 3 .

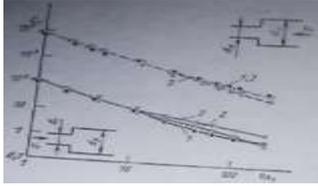


شكل (5) تغير ثابت كوريوليس بعلاقته بطول القناة عند توسع الجريان لأنظمة جريان مختلفة

(تسمية المنحنيات منحنيات الشكل 4 نفسها)

يعطي تغير ثابت كوريوليس  $\alpha$  بعلاقته مع طول القناة فكرة واضحة عن اختلاف حقل مركبة السرعة الأفقية عند قطع مكافئ بوازيل (شكل 5، 4) واضح من الشكل 4

يُحَسَّبُ المعامل  $\zeta$  من أجل مقاومة المكانية من خلال العلاقة (5) إذُ تتحدد قيمة  $h_{1,2}$ .



الشكل (9) يبين علاقة  $\zeta_1$  بعدد  $Re_2$  مع اعتبار الضياعات الطولية لأنابيب المتوضعة أفقياً

إذُ  $h_{d1,2}$  ضياعات الضاغط الطولية التي تُحَسَّبُ من خلال علاقة دارسي - فسباخ [8]

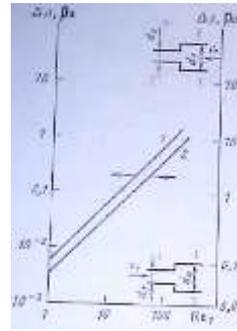
وبهذا الشكل فإنّه من أجل حساب الضياع في مقاومة مكانية يصبح بالعلاقة (4) مع اعتبار الضياع الطولي على الأجزاء الأفقية من الأنبوب [5]، والعلاقة (7) دون حساب الضياعات الطولية [2-4].

توضّح الأشكال 10,9 علاقة ثابت المقاومة الهيدروليكية بنظام الجريان بالنسبة إلى المدخل  $\zeta_1 = f(Re_1)$  وعند مقطع الخروج  $\zeta_2 = f(Re_2)$ . أُخْتِيرَت المقاطع الحسابية 1-1 و 2-2 لبعدها عن المقاومة المكانية لمسافة بين مرة إلى ثماني مرات من قطر الدخول إلى الأنبوب إلى يمين ويسارها المقاومة المكانية على الشكل 9 الخطوط المنقطعة تطابق التضيق المفاجئ للجريان  $d1/d2=2$  أمّا الخطوط المستمرة فتطابق التوسع المفاجئ.

$d1/d2=0.5$  العلاقات 3,2 تم من خلالهما رسم الخطين 5,4 إذُ إنّ  $\alpha_{1,2} = 0$  عند 3 و  $\alpha_{1,2} \neq 0$  (انظر الشكل 5,4) العلاقة 1 أخذت من المرجع [5] يتضح أن المنحنيات 3,2 تبدأ بالابتعاد عن بعضهما عند  $Re_1 = 10$  لذلك فإنّ تغير السرعة المتوسطة للجريان بين المقطعين الحسابيين 1-1 و 2-2، وتوزعها بشكل غير منتظم من الضروري أخذها بالحسبان عند حساب  $\zeta$  من أجل  $Re \geq 10$  المنحنى 1 حُسِبَت من [5] وهي ممثلة

باختلاف نظام الجريان (بمعنى آخر انحراف توزع السرعة عن المنحنى المكافئ الموازي في نظام العمل الحسابي)، التضيق يكون بشكل غير مباشر قبل إنقاص القطر. أمّا من أجل التوسع فيكون بعد توسع القطر.

يبين الشكل (8) التغير النسبي لطول منطقة الجريانات العكسية من أجل أنبوب مع توسع مفاجئ عند  $d2/d1=0.5$  من نظام الجريان.



الشكل (8) علاقة هبوط الضغط لمقاومات مكانية في الأنابيب لأنظمة هيدروليكية

- 1- من أجل التضيق المفاجئ
- 2- من أجل التوسع المفاجئ

المنحنى (1) تم اعتماده من المرجع [5] أما المنحنى 2 فتم الحصول عليه من خلال البحث إذُ يمكن تفسير اختلاف المنحنيات من خلال الانقطاع غير المتكافئ للمنطقة المدروسة التي يمكن أن تقودنا إلى خطأ في تحديد حدود المنطقة  $L_2$ ، يبين الشكل 7 تغير ضياعات الضغط على طول محور الأنبوب، ففي الشكل 7,a التضيق المفاجئ أمّا الشكل 7,b فالتوسع المفاجئ، من أجل

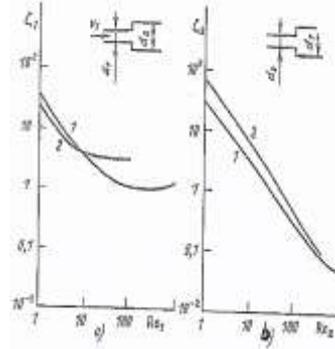
$Re_1 = 1$  فإنّ ضياعات الضغط تزداد في المنطقة بالقرب من المقاومة المكانية عند تضيق الجريان (انظر الجريان 7,a) وخلف المقاومة المكانية من أجل توسع الجريان (انظر الجريان 7,b)، وهنا يتضح أنّ هذا يشترط تغير بنية الجريان في الأجزاء المطابقة من الأنبوب. يوضّح الشكل 8 علاقة هبوط الضغط بعدد رينولدز،

الهيدروليكية الأكثر تعقيداً ويمجرى جريان ذي انحناءات كثيرة.

### النتائج:

- 1- تتأثر بنية الجريان مع زيادة عدد رينولدز  $Re$  إذ يختلف حقل السرعة  $u_z$  عند المدخل في منطقة ضيقة للأنبوب عند  $\frac{L}{d_1} = 1.25$  عن شكل القطع المكافئ و يقترب من الحقل  $u_z = const$ ، وهذا ما يتفق مع المعطيات التي تم الحصول عليها من اختبار الجريان من الخزانات ذات المقاييس الكبيرة عبر الفوهات.
- 2- يعطي تغير ثابت كوريوليس  $\alpha$  بعلاقته بطول القناة فكرة واضحة عن اختلاف حقل السرعة الأفقية عن القطع المكافئ بوازيل . (شكل 5,4)
- 3- عند التوسع المفاجئ للجريان فإن انحراف  $\alpha$  عن المستقيم  $\alpha = 2$  يبدو واضحاً، وعند بعض أنظمة الجريان ( $Re_1 = 100$ ،  $Re_1 = 200$ ) لوحظ هذا الفرق حتى نهاية الأنابيب. ولنشر أيضاً إلى أن اختلاف نظام الجريان (بمعنى آخر انحراف توزيع السرعة عن منحني بوازيل المكافئ في نظام الجريان الحسابي)، التضيق يكون بشكل غير مباشر قبل إنقاص القطر، أما من أجل التوسع فيكون بعد توسع القطر.
- 4- من أجل حساب الضياع في مقاومة مكانية ينصح بالعلاقة 4 مع اعتبار الضياع الطولي على الأجزاء الأفقية من الأنبوب والعلاقة 7 دون حساب الضياعات الطولية.

بالمنحنى 4 من أجل  $\alpha_{1,2} = 1$  وهذا مايفسر اختلافه عن المنحنى 3 . لننظر إلى التطابق الجيد في النتائج العددية، ونتائج التجارب عند استخدام نماذج رياضية مختلفة.



الشكل (10) علاقة  $\alpha_1$  بعدد  $Re_1$  و  $\alpha_2$  بعدد  $Re_2$  دون اعتبار الضياعات الطولية على الأجزاء الأفقية للأنبوب

a- عند توسع الجريان b- عند تضيق الجريان  
تم الحصول على النتائج 2 المبينة على الشكل 10 من العلاقات (5)، (7) أما المنحنيات (1) من التجربة [2] فالاختلاف بين المنحنيين يشترط وجود خطأ في حساب العلاقات وفي التجارب إذ أنه عند حساب المنحنى 1 حسب العلاقة 7 المأخوذة من [2] عند  $\alpha_{1,2} = 2$  من أجر الجريان الصفائحي و عند  $\alpha_{1,2} = 1$  من أجل الجريان المضطرب، مثل هذا الاختيار يفترض أن الحدود الدقيقة للجريان والانتقال من نظام جريان إلى آخر ليس ممكناً دوماً حسب  $\alpha_{1,2}$  حسب الافتراض في عملنا تعطي طريقة أكثر دقة في تحديد ثابت كوريوليس في أي مقطع ممكن وبأي نظام جريان.

بهذا الشكل فإن المعطيات الحالية تثبت إمكانية تحديد هذه الثوابت وفق برنامج يُعد لهذا الغرض وسيجرّب في بحث قادم، ومن المتوقع إعطاء نتائج دقيقة وفي مناطق جريان رقيقة جداً، وذلك بالاعتماد على حل معادلة نافيه ستوكس للجريانات اللزجة غير الانضغاطية. إن الطريقة الحالية تستطيع حساب هذه الثوابت في حال التجهيزات

### جدول الرموز والمصطلحات:

- $V_1, V_2$  السرعة في المقاطع 1 و 2  
 $P_1, P_2$  الضغط في المقاطع 1 و 2  
 $h_{1,2}$  ضياع الضغط في المنطقة المدروسة بين النقطتين 1 و 2  
 $\xi_{1,2}$  معامل المقاومة الموضعية في المقاطع المدروسة.  
 $L, d$  الأبعاد الهندسية للعنصر الهيدروليكي  
 $\alpha_{1,2}$  ثابت كوريوليس  
 $\omega, \psi$  تابع التيار والزوايا الإعصارية  
Re عدد رينولدز (تكون قيمته صغيرة جداً)

### المراجع

- 1- أ.د.م محمد بري العبيد 2004-2003 ميكانيك الموائع الجزء الثاني جامعة البعث 432 p
- 2- أ.د.م غسان زيدان 2009-2008 الآلات والدارات الهيدروليكية جامعة البعث 383 p
- 3- باشتات ت. م. الأنابيب والنقل الهوائي الهيدروليكي - 1972 - موسكو : بناء الآلات
- 4- آرزوماتف إي. س. التعبير الهيدروليكي لأنظمة التوجيه الأوتوماتيكية -1985- موسكو : بناء الآلات
- 5- آلشتول آ. د. المقاومات الهيدروليكية - 1982 - موسكو : هيدرا
- 6- إيدلتشيك إي. إي. المرجع في المقاومات الهيدروليكية - 1975 - موسكو : بناء الآلات
- 7- غرونيتشكا يا. ت. لوكا ف. يا، تشيبيلن آ. ف. تحديد معامل المقاومة الهيدروليكي على أساس التحليل العددي لمعادلة نافيه - ستوكس: النقل الهيدروليكي والهوائي. القيادة والتحكم بالأنظمة الهيدروليكية - 1986 - رقم المجلد 12 من الصفحة 115 - 111 .

Received	6/11/2018	إيداع البحث
Accepted for Publ.	17/1/2019	قبول البحث للنشر