

ديناميك الموائع – الموائع في حالة الجريان

تختلف حالة الجريان عن حالة السكون بوجود قوى القص، فعند جريان مائع فوق سطح صلب فإن سرعته تصبح مساوية لسرعة هذا السطح على امتداد خط التماس، وتزداد بالبعد الشاقولي عنه، حيث ينشأ تدرج سرعة. يؤدي هذا التدرج إلى ظهور إجهادات القص بين طبقات المائع الجاري.

يندفع المائع في الأنبوب بسبب الضغط المؤثر عليه من مصدر معين ثم يأخذ نمطاً معيناً بسبب تأثره بإجهادات القص وقوة الاستمرار فيصبح انسيابياً أو مضطرباً.

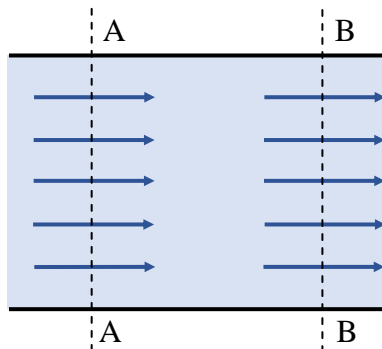
كما تحتاج أنظمة التدفئة والتبريد والتكييف إلى المراوح والمضخات من أجل ضخ الماء والهواء فيها. اختيار هذه الأجهزة يحتاج إلى حساب الضغوط وضيعات الضغط خلال المواسير والأنابيب، وإيجاد أقطار الأنابيب اللازمة لتدفق معين. يمكن حل هذه المسائل باستخدام قوانين جريان الموائع.

أنواع جريان الموائع Types of fluid flow:

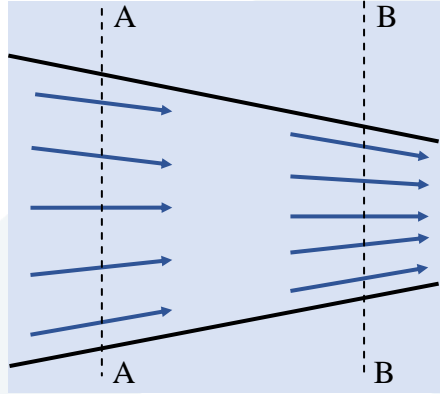
تعتمد طبيعة الجريان في الأنابيب على سرعة المائع وعلى خواصه الفيزيائية وقطر الأنبوب. فعندما يجري السائل بسرعة معينة نحصل على جريان هادئ وكأن المائع يتكون من طبقات تنزلق مع بعضها البعض، وعندما تزداد سرعة الجريان عن حد معين فإنه تظهر دوامات في المائع الجاري مما يؤدي إلى حالة اضطراب. يكون الجريان منتظماً عندما تكون سرعته ثابتة المقدار والاتجاه في جميع نقاط المائع في اللحظة المدروسة، وعندما تتغير السرعة من نقطة لأخرى فيكون الجريان غير منتظم.

يكون الجريان مستقراً عندما يبقى ثابت المقدار مع تغير الزمن، بينما يكون جرياناً غير مستقر عندما يتغير مع تغير الزمن.

الجريان المنتظم المستقر **Steady uniform flow**: لا تتغير سرعة الجريان من مقطع لآخر وتبقى ثابتة مع تغير الزمن، وتتحرك جزيئات المائع في خطوط متوازية.



الجريان غير المنتظم ومستقر Steady non-uniform flow: تتغير سرعة الجريان من مقطع لأخر أي أنّ السرعة متغيرة مع الزمن. مثلاً عند جريان المائع ضمن ماسورة متقاربة، فإنّ سرعة جزيئات المائع سوف تزداد مع اتجاه الجريان وسوف يختلف الضغط والسرعة من مقطع لأخر (لكن يكونان ثابتان في المقطع الواحد).

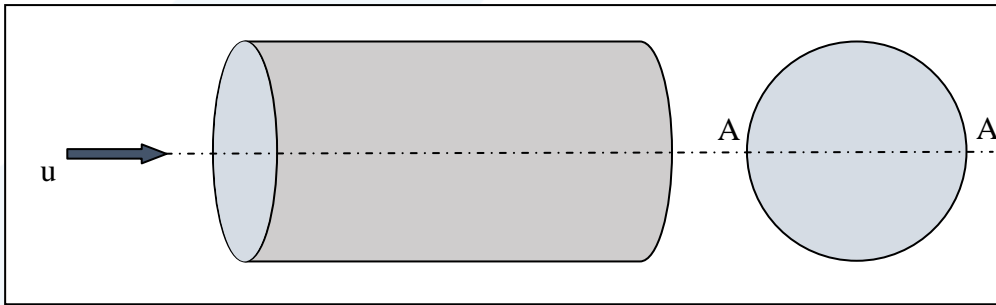


خط الجريان:

هو خط وهمي يبيّن المسار الذي يسلكه جسيم المائع أثناء جريانه. تسمى مجموعة خطوط الجريان بأنبوب الجريان.

معدل التدفق Rate of flow

عندما يجري مائع في أنبوب، فإننا نعبّر عن حجم المائع الذي يقطع المساحة العمودية على اتجاه الجريان خلال واحدة الزمن بـ معدل الجريان الحجمي (التدفق الحجمي) \dot{Q} ويساوي إلى جداء السرعة في واحدة الحجم.



$$\dot{Q} = A \cdot u \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{sec}} \right]$$

كما نعرف معدل الجريان الكتلي (التدفق الكتلي) \dot{m} (بأنّه عدد الكيلوغرامات من المائع المارة عبر مقطع الجريان خلال واحدة الزمن)، وهو حيث:

$$\dot{m} = \frac{A \cdot u}{v} = \rho \cdot A \cdot u \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{sec}} \right]$$

وبالتالي:

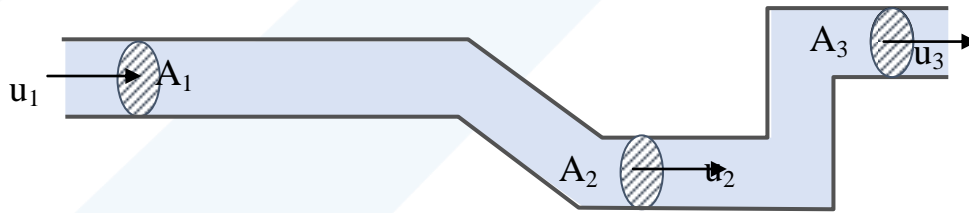
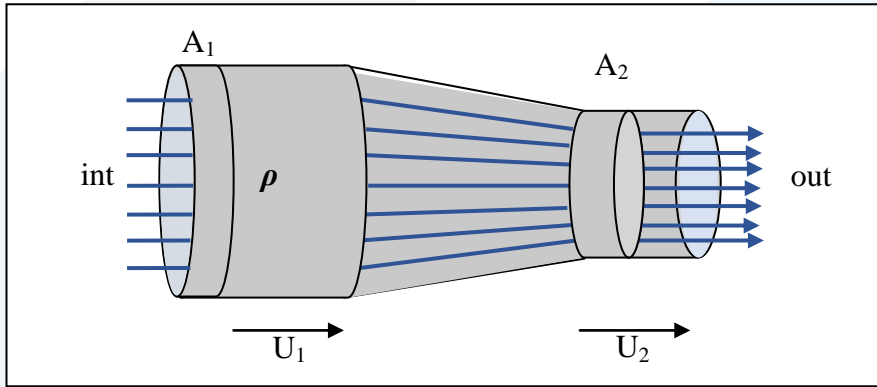
$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{Q}$$

معادلة الاستمرار Continuity Equation:

وتُعرف بقانون انحفاظ الكتلة (law of conservation of mass): أي أنّ التدفق الكتلي يكون ثابتاً عند جميع المقاطع، ونعبر عن ذلك من خلال معادلة الاستمرار:

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot u_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot u_2$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$



ومن أجل الموائع غير القابلة للانضغاط، يكون $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ ، وبالتالي:

$$A_1 \cdot u_1 = A_2 \cdot u_2 \Rightarrow \dot{Q}_1 = \dot{Q}_2$$

طاقة السائل المتحرك Energy of a liquid in motion:

عندما يعمل الإنسان خلال اليوم عملاً شاقاً، فإننا نقول أنه فقد طاقة. وهذا يتطابق مع المعنى الفيزيائي للطاقة بأنها المقدرة على إنجاز عمل The capacity to do work. يوجد عدة أنواع للطاقة مثل الطاقة الحركية والطاقة

الحرارية والطاقة الكيميائية.... الخ. أنواع الطاقة التي نأخذها بعين الاعتبار في حالة جريان الموائع، هي: الطاقة الكامنة، وطاقة الضغط، والطاقة الحركية.

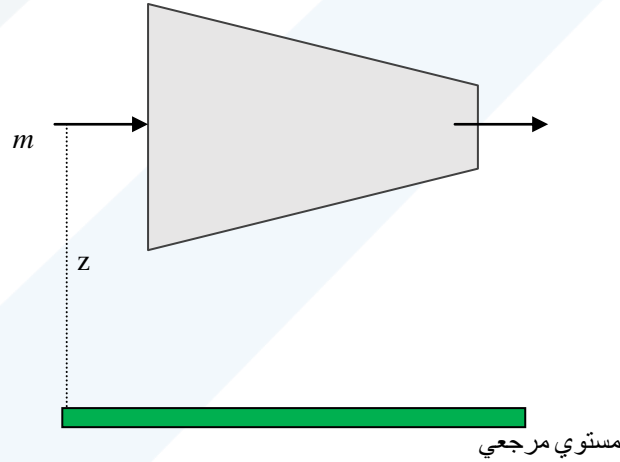
الطاقة الكامنة (طاقة الوضع) Potential Energy:

هي الطاقة التي تمتلكها كتلة m من السائل نسبة لارتفاعها z عن مستو معين.

$$E_p = m \cdot g \cdot Z \left[\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \text{m} \right] \text{ [Joule]}$$

ومن أجل واحدة الكتلة، يكون:

$$\text{Potential Energy} = g \cdot Z \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]$$



طاقة الضغط Pressure Energy:

عندما يجري السائل ضمن أنبوب تحت ضغط معين، فإنه يتمّ صرف عمل من أجل تحريك السائل من مقطع لآخر، نستطيع أن نحسب طاقة الضغط من أجل 1kg من العلاقة:

$$\text{Pressure energy} = \frac{P}{\rho} \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]$$

الطاقة الحركية Kinetic Energy:

عندما تجري كتلة m بسرعة منتظمة u ، فإنّ هذه الكتلة تمتلك طاقة نتيجة حركتها هي الطاقة الحركية والتي تساوي:

$$\text{Kinetic energy} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot u^2 \text{ [J]}$$

الطاقة الإجمالية للجلمة = الطاقة الكامنة + طاقة الضغط + الطاقة الحركية.

$$\text{Total energy per Kg} = g \cdot Z + \frac{P}{\rho} + \frac{1}{2} u^2$$

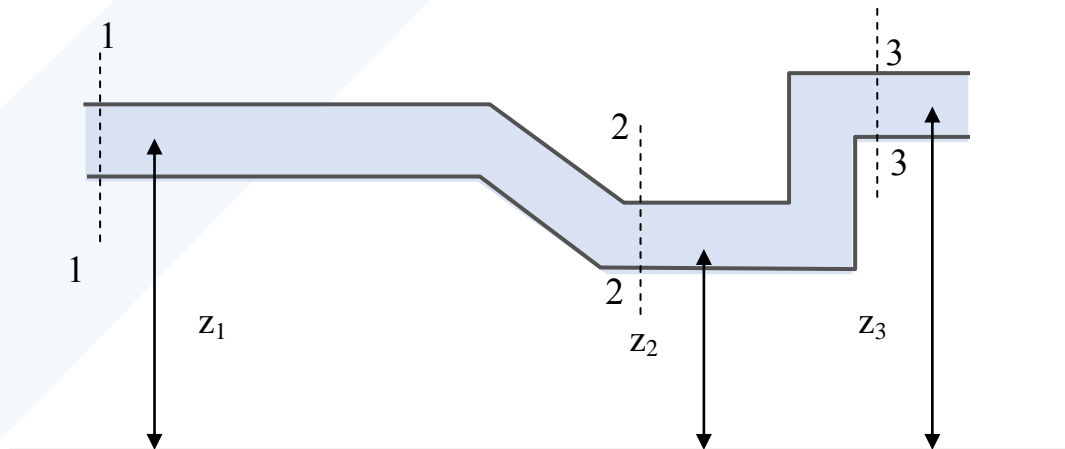
معادلة برنولي Bernoulli Equation:

تُختصر معادلة الطاقة إلى معادلة برنولي، حيث تُعتبر معادلة برنولي من أهم المعادلات المستخدمة في تحليل وإنجاز دراسة الدارات الهيدروليكية. وتنص على أنّ:

الطاقة الإجمالية لأي جسيم من مائع يجري في مسار معيّن تبقى ثابتة عند أي مقطع على طول هذا المسار:

طاقة الضغط + الطاقة الحركية + الطاقة الكامنة = قيمة ثابتة عند أي مقطع.

بتطبيق معادلة برنولي عند نقطتين من المائع:



$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} + g \cdot z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + g \cdot z_2$$

واحدة كلِّ حدٍّ هي $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

أو:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2 \cdot g} + z_2$$

واحدة كلِّ حدٍّ هي m أي وحدة الطول.

حيث:

$\frac{u^2}{2 \cdot g}$: عمود (ارتفاع) الطاقة الحركية، ويُقصد به ارتفاع عمود المائع الذي يكافئ مقدار الطاقة الحركية.

z : عمود (ارتفاع) الوضع، وهو الارتفاع المكافئ للطاقة الكامنة.

$\frac{P}{\rho \cdot g}$: عمود (ارتفاع) الضغط وهو الارتفاع المكافئ لطاقة الضغط.

ونعرّف العمود (الارتفاع) الكليّ أو العمود المكافئ الكليّ بأنه مجموع ارتفاع الوضع وارتفاع الضغط وارتفاع السرعة أي أنّه من أجل 1 kg :

$$\text{الارتفاع الكلي} = Z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad [\text{m}]$$

أي يمكن القول أنّ:

ارتفاع الضغط الكليّ لأي مائع متحرك $(h_t = (z_2 - z_1))$ = ارتفاع الضغط الستاتيكي h_s + ارتفاع السرعة .

يمكن حساب سرعة المائع من خلال قياس ارتفاع السرعة $(h_u = \frac{u^2}{2 \cdot g})$ ، حيث:

$$h_u = \frac{u^2}{2 \cdot g} \Rightarrow u = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_u}$$

ملاحظة: عندما يصغر مقطع الجريان تزداد سرعة الجريان على حساب ضغط الجريان والارتفاع معاً، أو على حساب ضغط الجريان إذا كان الأنبوب متوضع بشكل أفقي (يكون بهذه الحالة الارتفاع z مهملًا).

ونعرف أنّ الضغط الذي يؤثر على السطح الحر للسائل هو الضغط الجوي ويزداد الضغط مع ازدياد العمق.

تستخدم قاعدة برنولي في حلّ الكثير من التطبيقات في جريان الموائع.

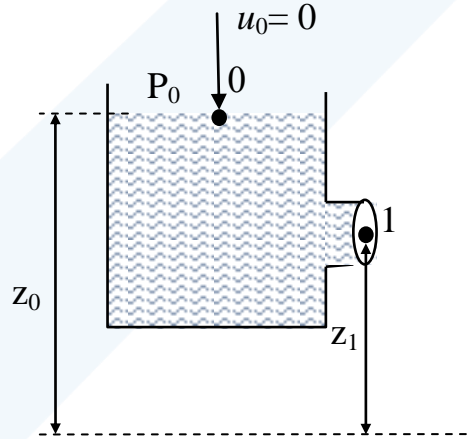
ملاحظة:

يمكن أن نعبّر عن معادلة برنولي مع الأخذ بعين الاعتبار ضياع الضغط بين نقطتين 1 و 2 كما يلي:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot z_2 + 2$$

ملاحظة:

يمكن أن نستخدم معادلة برنولي لحساب سرعة خروج السائل من الفوهة كما هو موضح على الشكل التالي:



وذلك بتطبيق معادلة برنولي بين المقطعين 0 و 1، حيث:

$$\frac{P_0}{\rho} + \frac{u_0^2}{2} + g \cdot z_0 = \frac{P_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} + g \cdot z_1$$

إنّ:

$u_0 = 0$ و $P_0 = P_1 = 1 \text{ atm}$ (سرعة السائل في الخزان مهملّة).

$$\Rightarrow \frac{u_1^2}{2} = g \cdot (z_0 - z_1) = g \cdot h \Rightarrow u_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

نجد أنّ سرعة الخروج تساوي سرعة السقوط الحر من سطح الخزان، وهذا يُعرف بـ نظرية توريشيللي.

ملاحظة:

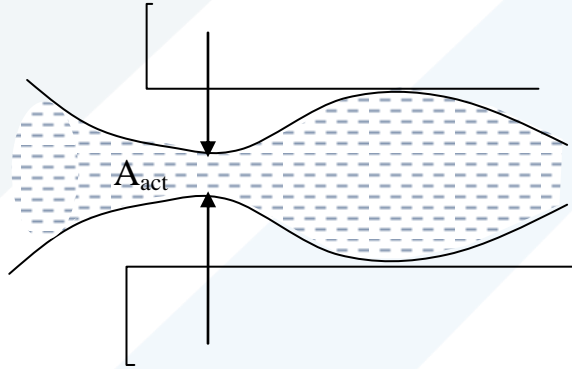
حتى تكون القيم النهائية التي نحصل عليها من معادلة برنولي فعليه فإنّه يجب أن نأخذ معاملات تصحيح، وهي:

$$C_d = \frac{\dot{Q}_{act}}{\dot{Q}_{th}} = \frac{\text{التدفق الحقيقي}}{\text{التدفق النظري}}$$

$$C_u = \frac{u_{act}}{u_{th}} = \frac{\text{السرعة الحقيقية}}{\text{السرعة النظرية}}$$

$$C_c = \frac{A_{act}}{A_{th}}$$

حيث: A_{act} هو مساحة مقطع الجريان الحقيقي (الرص يدل على وجود تضيق بفتحة خروج السائل).



ملاحظة:

معامل التدفق:

$$C_d = C_u \cdot C_c$$