

ديناميك الموائع – أجهزة قياس الجريان

قياس التدفق:

يُعتبر قياس سرعة الجريان وبالتالي التدفق (معدل الجريان) أساسياً لأي دراسة تجريبية متعلقة بجريان الموائع. أهم الأجهزة المستخدمة في قياس السرعة التي تعتمد على المبادئ التي تعرفنا عليها سابقاً هي أنبوب بيتوت وأنبوب فنتوري، ومقياس الفوهة.

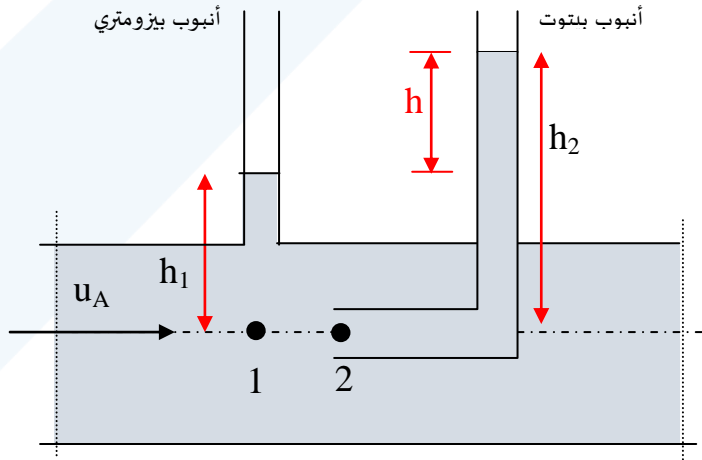
أنبوب بيتوت Pitot Tube:

أنبوب بيتوت عبارة عن أداة تستخدم لقياس سرعة جريان المائع عن طريق الضغط. ابتكرها المهندس الفرنسي هنري بيتو في القرن الثامن عشر وطورها لصورتها الحالية الفرنسي هنري دارسي في القرن التاسع عشر. وهي تستخدم بصورة كبيرة في قياس سرعات الهواء والغازات في التطبيقات الصناعية المختلفة.

يتكون أنبوب بيتوت من أنبوب زجاجي تكون نهايته على شكل زاوية قائمة. يوضع بشكل مواز لاتجاه الجريان، بحيث تكون فتحة نهايته بالاتجاه المعاكس لجريان المائع، ويعتمد ارتفاع السائل فيه على مقدار سرعة الجريان، حينما يمتلئ أنبوب بيتوت بالمائع فإنه يكون بالإمكان قياس الضغط.

يمكن استخدام أنبوب بيزومتري بالإضافة إلى أنبوب بيتوت، حيث يتم تثبيت الأنبوب البيزومتري في جدران الأنبوب.

يعطي ارتفاع السائل في الأنبوب البيزومتري ارتفاع الضغط السكوني (الستاتيكي) للمائع، بينما ارتفاع السائل في أنبوب بيتوت يعطي ارتفاع الضغط الكلي.



ونعلم من معادلة برنولي أن: (الضغط الكلي = الضغط الستاتيكي + الضغط الحركي)، لذلك نستطيع قياس السرعة.

بأخذ خط جريان 1 و 2، وتطبيق معادلة برنولي بين النقطتين 1 و 2:

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

- النقطة 2 عبارة عن نقطة توقف أي أن السرعة عندها تكون معدومة: ($u_2=0$).

- وتغير الطاقة الكامنة يساوي الصفر حيث $Z_1=Z_2$.

بالتعويض نحصل على:

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

بترتيب المعادلة نحصل على:

$$u_1 = \sqrt{2 \cdot \frac{(P_2 - P_1)}{\rho}}$$

حيث P_1 هو الضغط الستاتيكي،

و P_2 هو الضغط الكلي = الضغط الستاتيكي + ضغط السرعة.

ملاحظة:

الارتفاع h_1 الذي يُقرأ من الأنبوب البيزومتري هو عمود الضغط السكوني،

أما الارتفاع h_2 الذي يُقرأ من أنبوب بيتوت فهو يمثل ارتفاع الضغط الكلي (وهو مجموع العمود المكافئ للضغط السكوني والعمود المكافئ للطاقة الحركية (حيث تحولت الطاقة الحركية في النقطة 2 إلى عمود إضافي من السائل).

أي أن:

$$h_1 = \frac{P_1}{\rho \cdot g} \quad \text{و} \quad h_2 = \frac{P_2}{\rho \cdot g}$$

بالتعويض نحصل على:

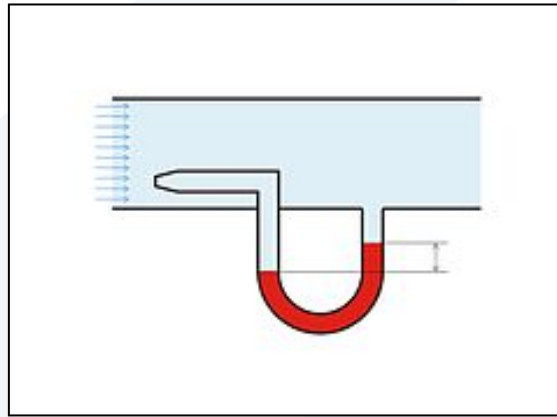
$$h_1 + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} = h_2$$

$$\Rightarrow u_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_2 - h_1)}$$

$$\Rightarrow u_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

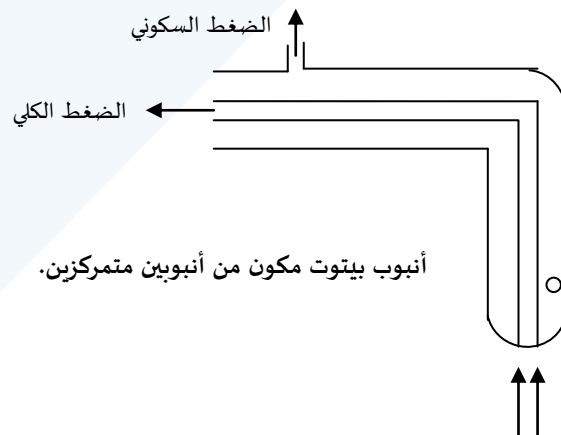
تساعد هذه العلاقة في حساب السرعة عند معرفة ارتفاعي السائل h_1 و h_2 .

يساعد أنبوب بيتوت على قياس السرعة للمائع بوصله مع مانومتر.



أنبوب بيتوت موصول مع مانومتر.

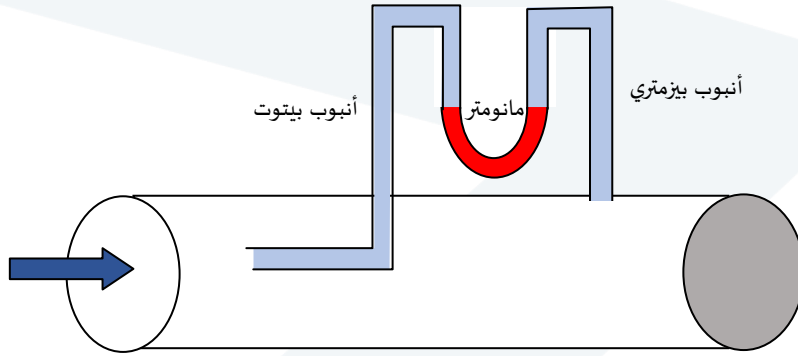
يمكن التعويض عن أنبوب بيتوت الموصول بأنبوب بيزومتري ومانومتر باستعمال أنبوب بيتوت - ستاتيكي وهو عبارة عن أنبوبين متمركزين بحيث يقيس الأنبوب الداخلي الضغط الكلي بينما يقيس الأنبوب الخارجي الضغط الستاتيكي من خلال الثقوب في نهايته.



أنبوب بيتوت مكون من أنبوبين متمركزين.

يمكن توصيل ذراع أنبوب بيتوت وذراع الأنبوب البيزومتري مع مانومتر من أجل قراءة فرق الضغط مباشرة، ويكون:

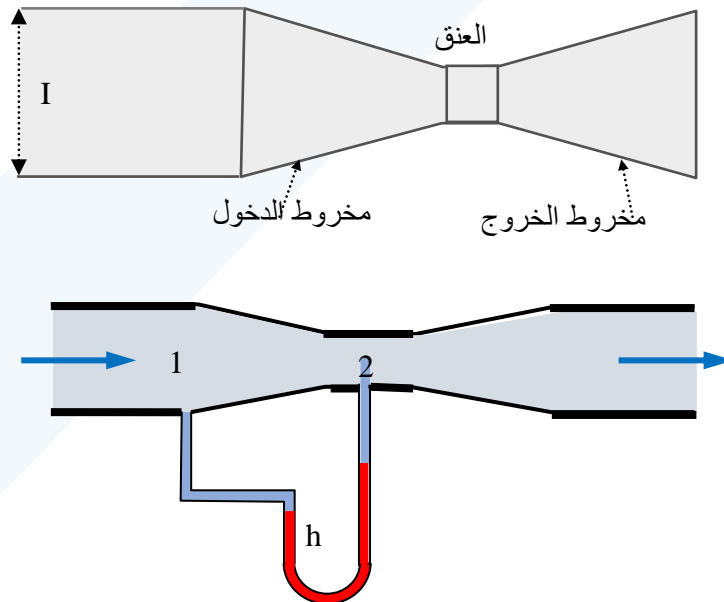
$$u_1 = \sqrt{2 \cdot \frac{(P_2 - P_1)}{\rho}}$$



مقياس الفنتوميتر (مقياس فنتوري) – Venturi – Meter:

وهو من أكثر الأجهزة استخداماً من أجل حساب تدفق السوائل، وهو إحدى التطبيقات العملية لمعادلة برنولي. تعتمد طريقة القياس على الفرق بين قراءة المانومتري والتي من خلالها يتم حساب السرعة ومن ثم معدل الجريان أو التصريف في الأنابيب.

يتكون الفنتوميتر من مخروطين ناقصين مساحة مقطعهما متساويتين يكون أحدهما متناقص والآخر متزايد ويوجد بينهما جزء أسطواني قصير، وجهاز مانومري. ونهمل عادة ضياعات الطاقة الناتجة عن الاحتكاك (كونها صغيرة بسبب انسياب المائع بشكل تدريجي).



بتطبيق معادلة برنولي بين النقطتين 1 و 2 ،

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

ويكون تغيّر الطاقة الحركية بينهما مهملاً لتوضعهما في نفس المستوي، نحصل على:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2}$$

$$\frac{u_1^2 - u_2^2}{2} = \frac{P_1 - P_2}{\rho}$$

ومن معادلة الاستمرار بين نقطتين:

$$u_1 = \frac{A_2}{A_1} \cdot u_2$$

بالتعويض في معادلة برنولي نحصل على السرعة في المقطع 2 كما يلي:

$$u_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho \cdot \left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right)}}$$

حيث A_1 و A_2 مساحة المقطع عند النقطتين 1 و 2 على التوالي.

حتى تكون القيم النهائية صحيحة فإنّ يجب أخذ معاملات تصحيح بعين الاعتبار. مثل:

معامل السرعة والذي يساوي السرعة الحقيقية على السرعة النظرية :

$$C_u = \frac{u_{act}}{u_{th}}$$

←

$$u_2 = C_u \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho \cdot \left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right)}}$$

ملاحظة : لانطبق معادلة برنولي بين 2 و 3 لأنّ الضياعات في الجزء المتباعد كبيرة، وبالتالي لانحصل على قيم صحيحة.