حركة السوائل

إن مسائل توازن السوائل الساكنة التي درسناها في المحاضرات السابقة تمثل جزءاً ضئيلاً من الهيدروليك، وقد تعاملت بشكل رئيسي مع الضغط والكتلة النوعية والعمق. وقد وجد أن هناك توافقاً كبيراً بين نتائج الحلول النظرية والاختبارات.

أما بالنسبة لدراسة السوائل في حالة الحركة والتي سنبدأ بها من هذه المحاضرة ولآخر الفصل فأن مسائلها ستكون أكثر تعقيداً وخاصة عند التعامل مع جريانات السوائل الحقيقية حيث لا يمكن إهمال قوى اللزوجة أو انضغاطية السائل في بعض المسائل.

يجب العودة إلى الكتاب من الصفحة (131) وحتى الصفحة (137) لوجود تعاريف مهمة.

سنبدأ دراستنا بالحديث عن السائل المثالي حيث يعرف السائل المثالي:

بأنه السائل الذي يكون فيه الجريان غير لزج وغير قابل للانضغاط.

غزارة الجريان (التصريف) Q:

هي كمية السائل الكلية الجارية عبر مقطع معين خلال واحدة الزمن وهي إما:

غزارة حجمية Q : تعبر عن حجم السائل المار عبر مقطع معين خلال واحدة الزمن وواحدتها (m^3/sec).

غزارة كتلية $\dot{m}$: تعبر عن كتلة السائل المار عبر مقطع معين خلال واحدة الزمن وواحتها (Kg/sec).

في حالة السائل المثالي يمكننا أن نكتب:

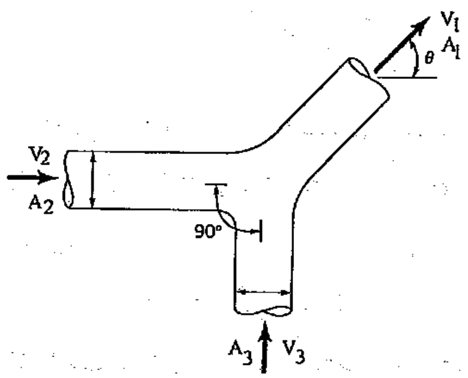
$$\boldsymbol{Q = A * v \quad , \quad \dot{m} = \rho * A * v = \rho * Q}$$

معادلة الاستمرار:

في حالة الجريان المستقر لسائل غير قابل للانضغاط يمكننا أن نكتب (في حالة خط التيار مستمر)

$$\boldsymbol{Q = A_1 * v_1 = A_2 * v_2}$$

مبدأ انحفاظ الكتلة: (المادة لا تفنى ولا تخلق من العدم)



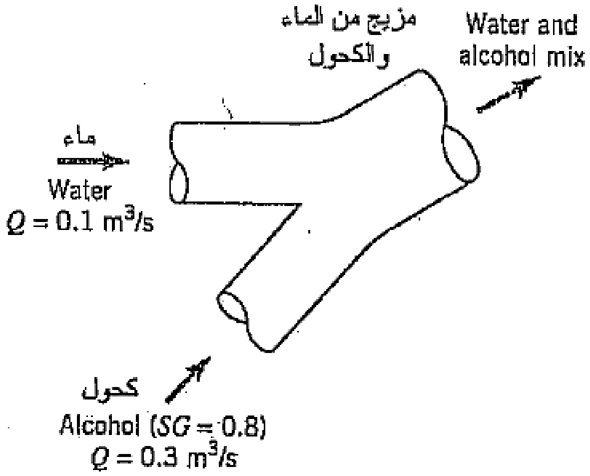
$$Q_{Enter} = Q_{Out}$$

الغزارة الخارجة = الغزارة الداخلة

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

مسالة (10 صفحة 185)

عند خلط الكحول والماء عبر الوصلة المبينة في الشكل وفق التصاريف المعطاة سينتج مزيج مركب، احسب الكثافة النسبية له (SG_{mix}) ؟



الحل:

حسب مبدأ انحفاظ الكتلة نكتب:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2$$

$$Q_3 = 0.1 + 0.3 = 0.4\ m^3/sec$$

لكن لدينا $Q = A * v$ كما أن $\dot{m} = \rho * Q = \rho * A * v$ ومنه نكتب:

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$$

$$\Rightarrow \rho_{mix} * Q_3 = \rho_1 * Q_1 + \rho_2 * Q_2$$

$$\Rightarrow \rho_{mix} * 0.4 = 10^3 * 0.1 + 0.8 * 10^3 * 0.3$$

$$\Rightarrow \rho_{mix} = 850\ Kg/m^3$$

$$\Rightarrow SG_{mix} = \frac{\rho_{mix}}{\rho_{water}} = \frac{850}{1000} = 0.85$$

الجريان المثالي

السائل المثالي:

هو سائل غير حقيقي، مهمل اللزوجة، غير قابل للانضغاط فهو لا يعاني من أي فقدان للطاقة..

معادلة الطاقة لجريان السائل المثالي المستقر على خط تيار – بيرنولي –

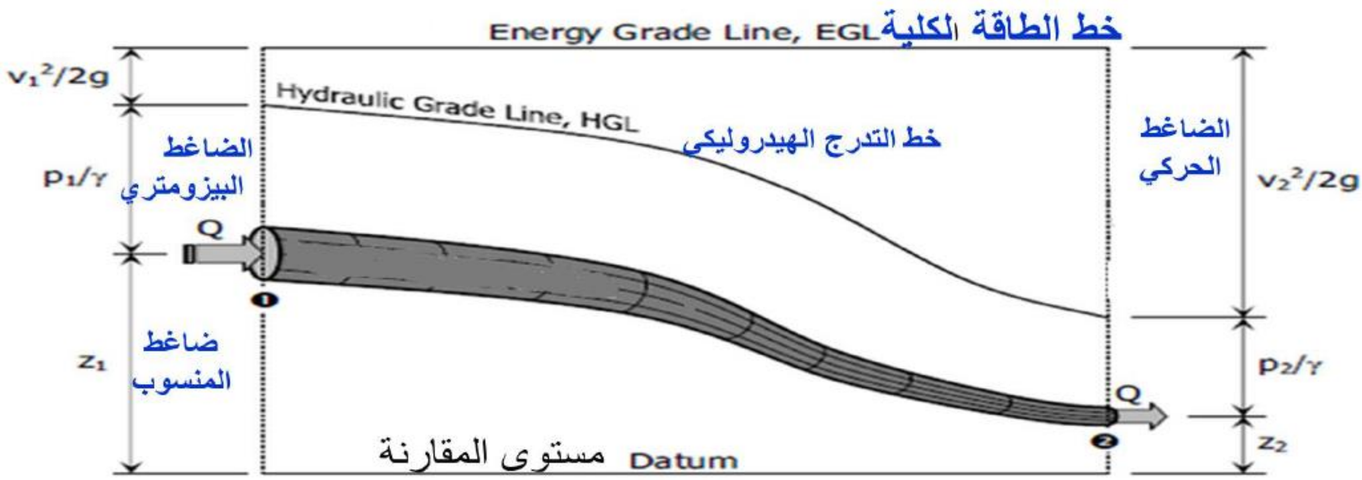
مبدأ انحفاظ الطاقة:

السائل المتدفق يملك طاقة كامنة بسبب وجوده على ارتفاع معين، ونعبر عن الطاقة الكامنة لواحدة الوزن من السائل بـ Z ونتيجة تعرضه لضغط قدره P يكتسب طاقة نعبر عنها بـ $\frac{P}{\gamma}$ ونتيجة حركته بسرعة v يكتسب طاقة حركية نعبر عنها بـ $\frac{v^2}{2g}$

أي أن الطاقة الكلية : $$E = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

حيث:

E: الطاقة الكلية (مجموع الطاقات الثلاث). $Z + \frac{P}{\gamma}$: يمثل الضاغط البيزومتري. $\frac{v^2}{2g}$: يمثل الضاغط الحركي.



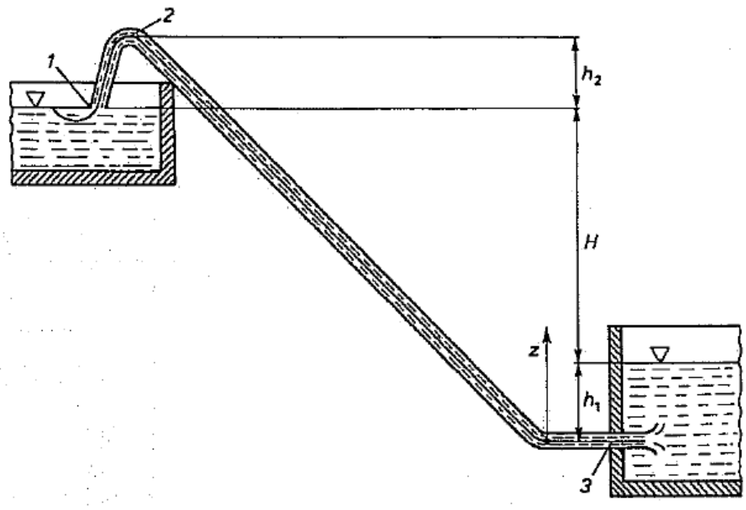
- وتعتمد نظرية برنولي على مبدأ انحفاظ الطاقة أي :

$$E_1 = E_2 = \dots\dots\dots = E_n$$

أي أن مجموع الطاقات الثلاث (طاقة حركية و طاقة كامنة وطاقة ضغط) في واحدة الوزن لسائل مثالي تساوي مقداراً ثابتاً على خط **تيار واحد.** حيث لا يمكننا تطبيق علاقة بيرنولي بين نقاط ليست على خط تيار واحد.

جميع حدود المعادلة السابقة بواحدة الضاغط (m) وقد تختلف هذه الحدود من نقطة لأخرى إلا أن الطاقة الكلية ثابتة.

مسألة 1 صفحة 263



احسب الغزارة المارة في الأنبوب الواصل بين الخزانين الموضحين على الشكل بفرض أن فرق المنسوب بين الخزانين $H = 4\ m$ وأن قطر الأنبوب الواصل بينهما $d = 100\ mm$.

ثم احسب قيمة الضغط النسبي والمطلق عند النقطة 2 إذا كان $h_2 = 2\ m$

الحل:

لحساب الغزارة نستخدم العلاقة : $Q = v * A$، ألا أن السرعة غير معلومة لذلك يجب حسابها أولاً:

نقوم بتطبيق معادلة بيرنولي بين النقطتين $1, 3$ وباختيار منسوب مقارنة يمر من النقطة الأخفض (النقطة 3) نكتب:

$$\frac{\boldsymbol{P_1}}{\boldsymbol{\gamma}} + \frac{\boldsymbol{v_1^2}}{\boldsymbol{2g}} + \boldsymbol{Z_1} = \frac{\boldsymbol{P_3}}{\boldsymbol{\gamma}} + \frac{\boldsymbol{v_3^2}}{\boldsymbol{2g}} + \boldsymbol{Z_3}$$

لكن:

- في حال خزان معرض للضغط الجوي يكون $\frac{P}{\gamma} = 0$ أي في مسألتنا $\boldsymbol{\frac{P_1}{\gamma} = 0}$.
- في حال كان الخزان واسع عندها تهمل السرعة أي أنه في مسألتنا $\boldsymbol{\frac{v_1^2}{2g} = 0}$.
- باعتبار منسوب المقارنة مار من النقطة (3) الأخفض : $Z_3 = 0$.
- الضغط في النقطة 3 هو عبارة عن $P_3 = \gamma * h_1$.

وبالتالي تصبح المعادلة بالشكل التالي:

$$H + h_1 = \frac{\gamma * h_1}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} \Rightarrow H = \frac{v_3^2}{2g} \Rightarrow v_3 = \sqrt{2 * g * H} = \sqrt{2 * 9.81 * 4} = 8.86\ m/sec$$

وبعد حساب السرعة يمكننا حساب الغزارة من العلاقة: $Q = v_3 * A_3$ حيث $A_3 = \frac{\pi * d^2}{4}$

$$\Rightarrow Q = 8.86 * \frac{\pi * 0.1^2}{4} = 0.0696\ m^3/sec = 69.6\ l/sec$$

أما إذا أردنا حساب الضغط عند النقطة (2) عندها نقوم بتطبيق معادلة بيرنولي بين (1 و 2) حيث سنتعبر مستوي المقارنة يمر من النقطة (1) " النقطة الأخفض كي لا نحصل على قيم ارتفاعات سالبة "

$$\frac{P_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}+Z_1=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+Z_2 \ : v_2=v_3$$

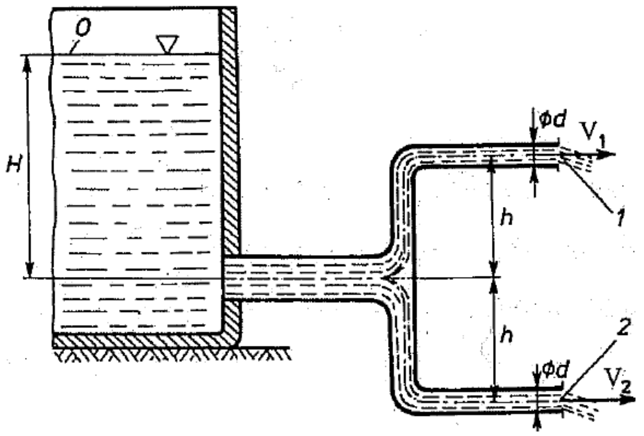
$$\Rightarrow 0=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{8.86^2}{2*9.81}+2 \Rightarrow \frac{P_2}{\gamma}=-6\,m \Rightarrow P_2=-6*9810=-58860\,Pa=-58.86\,Kpa$$

نلاحظ بأن الضغط في النقطة (2) هو ضغط سالب يساهم في سحب الماء من الخزان

وإذا أردنا حساب الضغط المطلق P_{abs}:

$$P_{abs}=P_{atm}+P_2=101.33-58.86=42.47\,Kpa \ : P_{atm}=101.33\,Kpa$$

مسألة محلولة (2) صفحة 237



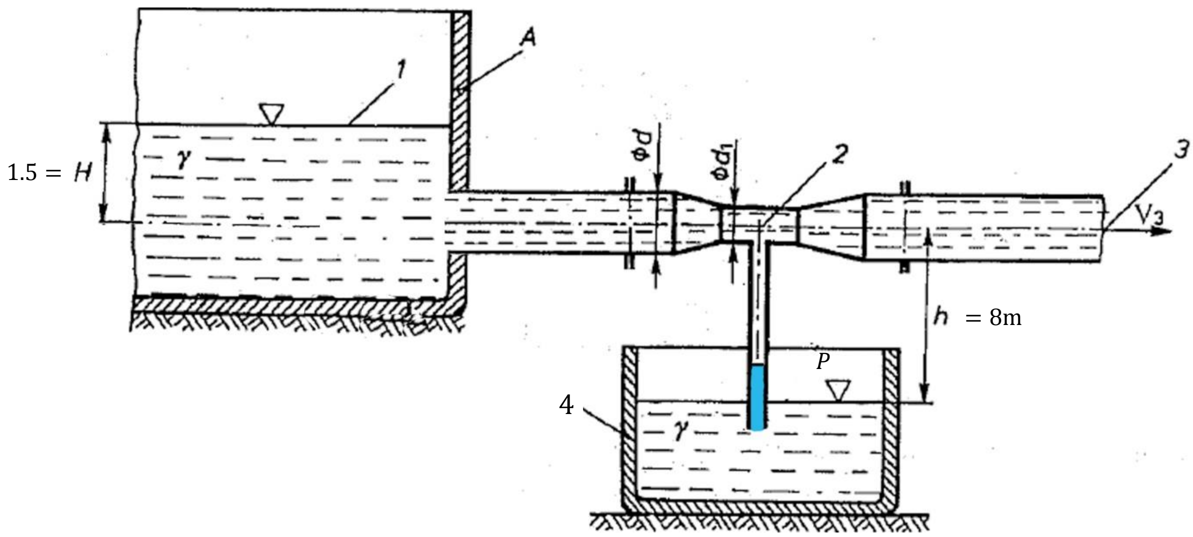
فكرة هامة في هذه المسألة:

في هذه المسألة يمكن تطبيق معادلة بيرنولي بين سطح الخزان والنقطة 1 أو بين سطح الخزان والنقطة 2.

مع الانتباه إلى أنه لا يمكن تطبيق معادلة بيرنولي بين النقطتين (1,2) لأنهما غير واقعتين على خط جريان واحد.

مسألة خارجية:

هل يمكن للماء الموجود في الخزان السفلي (4) الذي يتعرض داخلي قدره 40 Kpa الصعود والدخول في الأنبوب الأفقي عند النقطة (2) ولماذا؟ (أهمل الضياع) حيث ($d=30\,mm\,,d_1=20\,mm$).



الحل:

بداية سنقوم بحساب ارتفاع الماء الذي يستطيع الخزان السفلي توليده عن طريق الضغط المطبق عليه أي سنقوم بحساب الضاغط h (ارتفاع الماء في الأنبوب عند الخزان 4) $h = \frac{P_4}{\gamma} = \frac{40*10^3}{9.81*10^3} = 4.08\ m$

أي أن الضغط في الخزان (4) يستطيع رفع الماء ضمن الانبوب مسافة قدرها 4.08 متر فقط، لذلك سنقوم بحساب الضغط الموجود في النقطة 2 لنرى إن كان باستطاعته سحب الماء إلى منسوب أعلى وذلك عن طريق تطبيق بيرنولي بين (1 و 2) وبأخذ منسوب مقارنة عند النقطة 2

$$\frac{\boldsymbol{P_1}}{\boldsymbol{\gamma}} + \frac{\boldsymbol{v_1^2}}{\boldsymbol{2g}} + \boldsymbol{Z_1} = \frac{\boldsymbol{P_2}}{\boldsymbol{\gamma}} + \frac{\boldsymbol{v_2^2}}{\boldsymbol{2g}} + \boldsymbol{Z_2}$$

$Z_2 = 0$ لأننا أخذنا منسوب مقارنة عندها. $P_1 = 0$ لأن الخزان معرض للضغط الجوي. $v_1 = 0$ لأن الخزان واسع .

$$\boldsymbol{Z_1} = \frac{\boldsymbol{P_2}}{\boldsymbol{\gamma}} + \frac{\boldsymbol{v_2^2}}{\boldsymbol{2g}} \quad \boldsymbol{(1)}$$

لحساب v_2 سنقوم بتطبيق علاقة بيرنولي بين النقطتين $(1,3)$ وبأخذ منسوب مقارنة عند النقطة 3 :

$$\frac{\boldsymbol{P_1}}{\boldsymbol{\gamma}} + \frac{\boldsymbol{v_1^2}}{\boldsymbol{2g}} + \boldsymbol{Z_1} = \frac{\boldsymbol{P_3}}{\boldsymbol{\gamma}} + \frac{\boldsymbol{v_3^2}}{\boldsymbol{2g}} + \boldsymbol{Z_3}$$

$P_1 = P_3 = 0$ معرضة للضغط الجوي، $v_1 = 0$ خزان واسع. $Z_3 = 0$ أخذنا عندها منسوب المقارنة.

$$Z_1 = \frac{v_3^2}{2g} \Rightarrow v_3 = \sqrt{2*g*Z_1} = \sqrt{2*9.81*1.5} = 5.42\ \ m/sec$$

وبتطبيق معادلة الاستمرار بين (2 و 3) نكتب :

$$Q_2 = Q_3 \Rightarrow v_2 * A_2 = v_3 * A_3 \Rightarrow v_2 = v_3 * \frac{A_3}{A_2} = \frac{5.42 * \frac{\pi * (0.03)^2}{4}}{\frac{\pi * (0.02)^2}{4}} = 12.195\ m/sec$$

بالتعويض في المعادلة (1) نجد : $\boldsymbol{1.5 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{12.195^2}{2*9.81} \Rightarrow \frac{P_2}{\gamma} = -6.08\ m}$

أي أن الماء سينخفض من النقطة 2 نحو الأسفل بمقدار $\boldsymbol{6.08\ m}$ وبالتالي سيكون ارتفاع الماء في الأنبوب

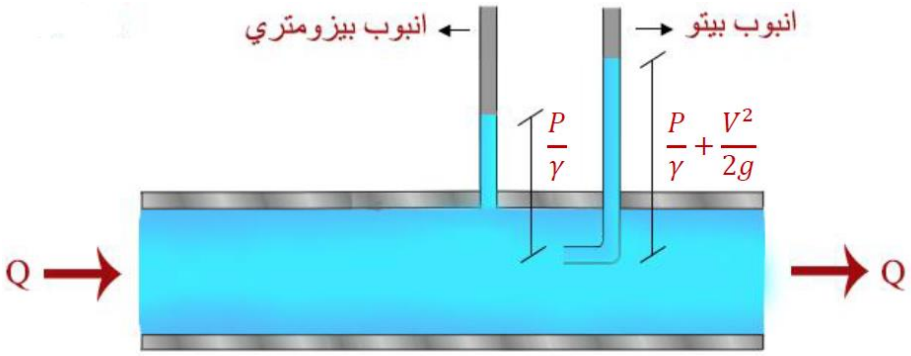
$$6.08 + 4.08 = 10.16m > 8m \ (\text{ارتفاع الأنبوب})$$

وبالتالي يمكن للماء أن يرتفع إلى الأنبوب العلوي.

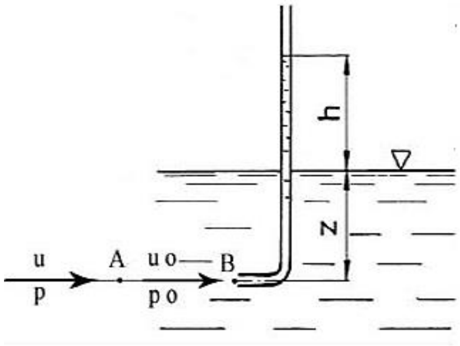
حل المسألة المحلولة صفحة 239

تطبيقات معادلة بيرنولي:

1- أنبوب بيتو: هو أحد الوسائل المستخدمة لقياس السرعة الموضعية u في سائل متحرك، وهو عبارة عن أنبوب على شكل حرف L يوضع في مواجهة السائل المتحرك.



حالة أنبوب مضغوط

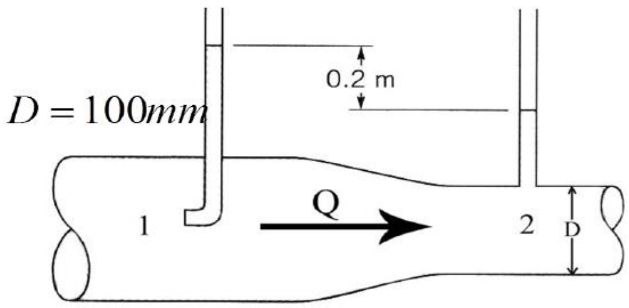


حالة قناة مكشوفة

عند استخدام أنبوب بيتو في قناة مكشوفة يمكن قياس السرعة مباشرة بمعرفة ارتفاع السائل في الأنبوب، أما عند استخدامه لقياس السرعة ضمن أنبوب مضغوط فعندها يكون ارتفاع السائل في أنبوب بيتو عبارة عن مجموع الضغط والطاقة الحركية ($\frac{P}{\gamma}+\frac{v^2}{2g}$) ولتحديد الطاقة الحركية فقط لابد من قياس الضغط باستخدام أنبوب بيزومتري في جدار الأنبوب بجوار أنبوب بيتو حيث يمثل فرق ارتفاع السائل بين كلا الأنبوبين الطاقة الحركية.

مسألة:

احسب التصريف Q المار في وصلة الأنبوب المبين في الشكل – علماً أن السائل هو الماء وبأهمال الفواقد – .



الحل:

بالنظر إلى الشكل نلاحظ أن الأنبوب في النقطة (1) هو أنبوب بيتو أما الأنبوب في النقطة (2) فهو أنبوب بيزومتري.

بالتالي وبتطبيق معادلة بيرنولي بين النقطتين (1 و 2) وباعتبار منسوب المقارنة مار من (1 و 2) معاً نكتب:

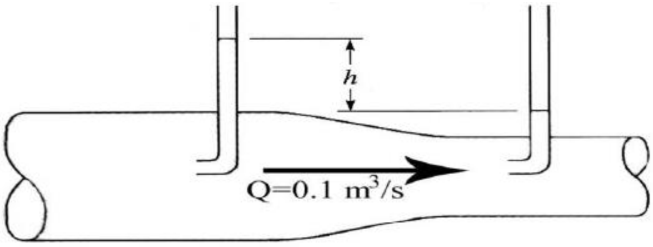
$$\frac{P_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}+Z_1=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+Z_2$$

$Z_1=Z_2=0$ لأن منسوب المقارنة ما منهما، $\frac{P_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}-\frac{P_2}{\gamma}=0.2\ m$ وهي فرق القراءة بين الأنبوبين **نعوض :**

$$\frac{v_2^2}{2g}=0.2 \;\Rightarrow\; v_2=\sqrt{2*9.81*0.2}=1.98\ m/sec$$

$$\Rightarrow Q=v*A=1.98*\frac{\pi*0.1^2}{4}=0.015\ m^3/sec\ =15\ l/sec$$

مسألة 20 صفحة 271



احسب في الوصلة المبينة على الشكل، فرق المنسوب h عندما تمر الغزارة $Q = 0.1\ m^3/sec$، والسائل المتدفق هو الماء (مع إهمال الفواقد) .

الحل:

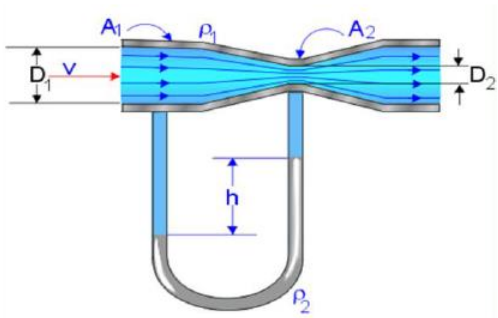
نطبق معادلة بيرنولي بين النقطتين (1 و 2) وباعتبار منسوب المقارنة مار من (1 و 2) معاً نكتب:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \quad (*)$$

$Z_1 = Z_2 = 0$ لأن منسوب المقارنة ما منهما ، في حين أن قراءة أول أنبوب بيتو هي $h_1 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$ وقراءة ثاني أنبوب بيتو هي $h_2 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$ وبالتعويض في معادلة: $h = h_2 - h_1 = 0$

2- أنبوب فينتوري:

هو أنبوب يتغير مقطعه تدريجياً مع اتجاه الجريان حتى يصل إلى قيمة صغرى ثم يتوسع بالتدرج حتى يأخذ قيمته الأولى، ويستخدم لقياس غزارة الجريان المارة في أنبوب ما. حيث نضع أنبوب بيزومتر أحدهما قبل التضيق والآخر عند التضيق ونستبدلهما بمانومتر إذا كان الضغط كبير.



$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 V_1 = \downarrow A_2 . \uparrow V_2$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{\downarrow P_2}{\gamma} + \frac{\uparrow V_2^2}{2g} + Z_2$$

نهاية المحاضرة