الفصل الثالث

(The Fluids) الموائع

((3))

الفصل الثالث

(The Fluids) الموائع

1-3 الموائع (Fluids)

تتميّز السوائل عن الحالة الصلبة والغازية بإمتلاكها لحجم ثابت وشكل متغيّر إذ تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه وتكون قوى الترابط بين ذرات أو جزيئات السائل أقل كثيرا مما هي في الحالة الصلبة ونتيجة لذلك فإن السوائل لا تظهر مقاومة للإجهاد المسلط عليها ، أما الموائع فتتضمن السوائل والغازات فهي مواد تستطيع الجريان مع بعض الفروقات فالغازات تنكبس بسهولة بينما السوائل غير قابلة للكبس حيث يحصل تغيّر في الجسم عند الضغط على السائل ولكن صغير جدا يهمل غالبا عند الضغوط الواطئة .

يطلق تعبير الموائع الساكنة (*Hydrostatics*) على دراسة الموائع وهي في حالة سكون ، ويطلق تعبير الموائع المتحركة (*Hydrodynamics*) على دراسة جريان الموائع ، وهنالك فرع آخر لدراسة الهواء المتحرك (*Aerodynamics*) .

2-3 الكثافة والوزن النوعي (Density and Specific Weight)

1-2-3 الكثافة (Density)

تعرّف الكثافة للمادة بأنها الكتلة لوحدة الحجوم ويرمز لها (ρ) فإذا كانت الكتلة لمادة ما (m) وحجم تلك المادة (V) فإن الكثافة لهذه المادة تكون :

$$\boxed{\rho = \frac{m}{V} \ldots (1-3)}$$

تتغيّر كثافة المادة بتغيّر درجة حرارتها والسبب في ذلك يعود إلى أن جزيئات المادة تهتز بمسافات أكبر عندما تزداد درجة حرارة المادة وعليه فإن معدل المسافة بين الجزيئات سوف يزداد أي أن كتلة المادة ستحتل حجما أكبر مما يؤدي إلى تغيّر الكثافة بتغيّر درجة الحرارة حيث تعتمد الكثافة على عاملين رئيسيين وهما :

1- كتلة الذرات والجزيئات .

2- المسافة البينية بين الذرات و الجزيئات .

إن كثافة السائل تتغيّر قليلا ولمدى واسع مع الضغط ولذا يمكن إعتبارها ثابتة في الأحوال الإعتيادية ولكن كثافة الغاز حساسة جدا لتغيّرات الضغط حيث تزداد الكثافة مع زيادة الضغط وتغيّر الكثافة للغاز يجعل ميكانيك الغازات معقدا .

كما تتدرّج قيم الكثافة للمادة فتساوي ($1.2kg/m^3$) للهواء ، وتصل إلى ($22.5x10^3 kg/m^3$) لعنصر الأوزميوم وهو أثقل فلز على الأرض .

2-2-3 الوزن النوعي (Specific Weight)

يعرّف الوزن النوعي للمادة بأنها النسبة ما بين الكثافة لتلك المادة إلى كثافة الماء ، وهي كمية لا تقترن بوحدة ويرمز لها (w) ويمكن التعبير عنها كالآتي :

$$\boxed{w = \frac{\rho}{\rho_w} ...(2-3)}$$

حيث (ρ) تمثّل كثافة المادة ، بينما (ρ_w) تمثّل كثافة الماء وتساوي ($1000kg/m^3$) .

مثـــال 3 - 1 : احسـب الكثافـة ، والـوزن النـوعي للكـازولين إذا كـان ($51g$) منـه يشـغل ($75cm^3$) ، إذا علمت أن كثافة الماء تساوي ($1000kg/m^3$) ؟

الحل :

من المعادلة (1 − 3) :

$$\rho = \frac{m}{V} \ldots (1-3)$$

$$\rho = \frac{0.051kg}{75x10^{-6}m^3}$$

$$\boxed{\Rightarrow \rho = 6.8x10^2 kg/m^3}$$

من المعادلة (2 − 3) :

$$w = \frac{\rho}{\rho_w} \ldots (2-3)$$

$$w = \frac{6.8x10^2}{1000}$$

$$\boxed{\Rightarrow w = 0.68}$$

3-3 الضغط (Pressure)

هنالك فرق بين طريقة تأثير قوة على مائع وتأثيرها على صلب ، فالقوة في الجسم الصلب يمكن أن تؤثر على نقطة منفردة وتسندها ولكن القوة يمكن أن تؤثر على سطح مائع محصور ويسندها وأن هذه القوة تتجه دائما في المائع الساكن بزاوية قائمة مع السطح ولا يستطيع المائع الساكن إسناد قوة مماسية حيث أن طبقات المائع تنزلق فوق بعضها عند تسليط قوة مماسية لذا توصف القوة المؤثرة على المائع بتعيين الضغط (P) الذي يعرّف بأنه مقدار القوة العمودية المسلطة على وحدة المساحة من السطح ووحداته (N/m^2) وتسمى باسكال ($Pascal$) وتكتب إختصارا (Pa) ، ويعبّر عنه بالعلاقة :

$$\boxed{P = \frac{F}{A} N/m^2 (Pa) ...(3-3)}$$

في حالة كون ضغط المائع المسلط هو ناتج فقط عن وزن عمود السائل (المائع) ولا توجد هنالك قوة خارجية أي أن القوة هي الوزن لعمود السائل الذي إرتفاعه (h) :

$$F = w = mg$$

$$P = \frac{mg}{A} = \frac{\rho V g}{A} = \frac{\rho A h g}{A} = \rho g h$$

أي أن إذا كان طول عمود السائل (h) فإن ضغطه يساوي ($\rho g h$) حيث أن ($h = y_2 - y_1$) :

$$P = \rho g (y_2 - y_1) = \rho g \Delta y$$

من الحقائق المألوفة أن الضغط الجوي يقل مع زيادة الإرتفاع أي عند حدوث نقص في طول عمود الهواء ، وأن الضغط في البحيرة أو في المحيط يزداد بإزدياد العمق حيث أن طول عمود الماء يزداد مع زيادة العمق .

$$dP = \rho g dy$$

فإذا قلّ طول عمود المائع بمقدار (dy) فإن الضغط ينخفض بمقدار (dP) :

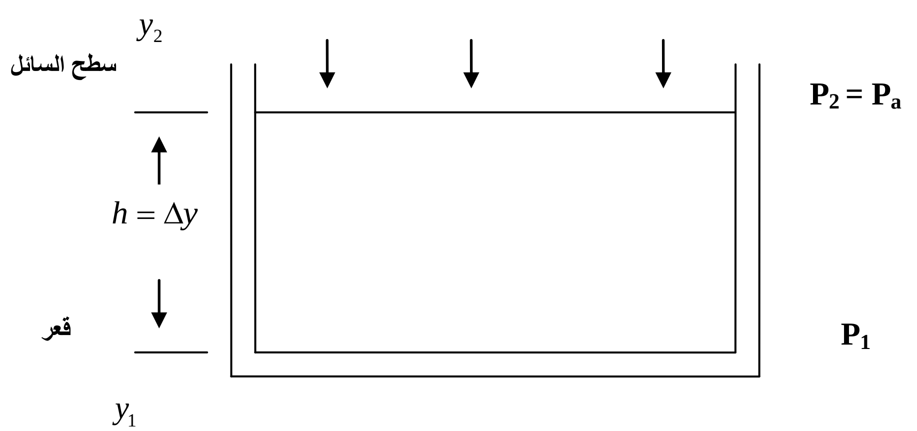
$$dP = -\rho g dy$$

$$P_2 - P_1 = -\rho g (y_2 - y_1)$$

$$P_a - P_1 = -\rho g (y_2 - y_1)$$

$$\boxed{P_1 = P_a + \rho g h ...(4-3)}$$

أي أن الضغط في أسفل الوعاء (P_1) هو مجموع الضغط الجوي (P_a) والذي يساوي ($1.01 x 10^5 N/m^2$) ، والضغط الناتج من وزن عمود السائل ، وكما مبيّن في الشكل (3 – 1) :



شكل (3 – 1) : الضغط في أسفل الوعاء (P_1) هو مجموع الضغط الجوي (P_a) والضغط الناتج من وزن عمود السائل

مثال 3 - 2 : إذا علمت أن الضغط الجوي يساوي تقريبا ($1x10^5 Pa$) ، فما مقدار القوة التي يؤثر بها الهواء الساكن في غرفة على زجاج النافذة الداخلي إذا كانت مساحته ($40cm x 80cm$) ؟

الحل : -

من المعادلة (3 – 3) :

$$P = \frac{F}{A} N/m^2 ...(3-3)$$

$$F = PA = (1x10^5 N/m^2)(0.40x0.80m^2)$$

$$\boxed{F = 3.2x10^4 N}$$

مثال 3 – 3 : إحسب الضغط الكلي الواقع على السطح الخارجي لغواصة تغوص ($120m$) ، إذا علمت أن كثافة ماء البحر تساوي ($1.03 g/cm^3$) ، والتعجيل الارضي يساوي ($9.8 m/s^2$) ، والضغط الجوي والذي يساوي ($1.01x10^5 N/m^2$) ؟

الحل : -

من المعادلة (3 – 4) :

$$P_1 = P_a + \rho g h ...(4-3)$$

$$P_1 = (1.01x10^5 N/m^2) + (1030 kg/m^3)(9.8 m/\sec^2)(120m)$$

$$\boxed{P_1 = 13.1x10^5 N/m^2}$$

4-3 قاعدة باسكال (Pascal's Law)

يستطيع السائل أن ينقل الضغط الخارجي المسلط عليه إلى جميع أجزائه وقد تم إستغلال هذه الخاصية في عمل الأجهزة التي تعمل بالضغط مثل المكابس الهيدروليكية .

ينص قاعدة باسكال على أنه (**إذا سلّط ضغط على سائل محصور فإن الضغط ينتقل إلى كل نقاط السائل بصورة متساوية بشرط أن يكون السائل ساكنا**) .

فإذا فرضنا أن (A_1) و (A_2) تمثلان مساحتي مقطع المكبسين عندما تؤثر قوة خارجية مقدارها (F_1) على المكبس (**1**) فإن المكبس (**2**) سوف يدفع إلى الاعلى ما لم تؤثر عليه قوة مقدارها (F_2) ، وكما مبيّن في الشكل (**3 − 2**) ، وتساوي الضغط في السائل ويعطى كالآتي :

$$\boxed{\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1 ...(5-3)}$$

شكل (3 – 2) : قوة خارجية مقدارها (F_1) تؤثر على المكبس (1) ويدفع المكبس (2) إلى الاعلى

مثال 3 - 4 : في الشكل (**3 − 2**) ، إذا كانت $A_1 = 5cm^2$ و $A_2 = 200cm^2$ ، إذا أثرت قوة مقدارها ($250N$) على المكبس الصغير ، إحسب القوة على المكبس الكبير ؟

الحل : -

من المعادلة (**3 − 5**) :

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1 ...(5-3)$$

$$\Rightarrow F_2 = (\frac{200 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-4}})(250N)$$

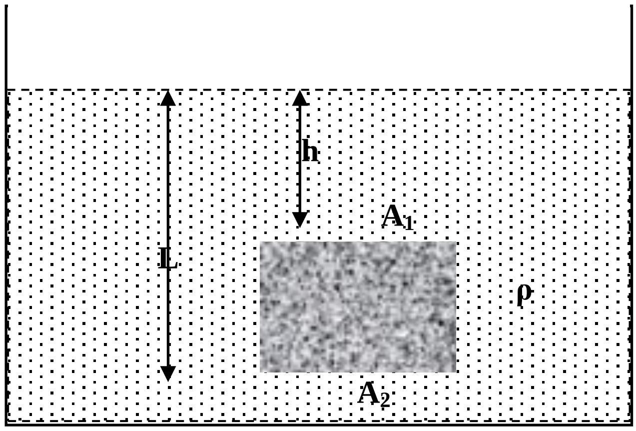
$$\boxed{\therefore F_2 = 10000N = 10kN}$$

3-5 قاعدة أرخميدس (أرشميدس) (Archimedes's Law)

إذا غطست الأجسام في السوائل فإنها تبدو أقل وزنا فيها مما هي عليه في الفراغ فضلا عن أن كثيرا من الأجسام تطفو على السوائل .

إن ظواهر الطفو الكلي أو الجزئي وظاهرة فقدان جزء من الوزن تعكس حقيقة أن هناك قوة متجهة نحو الأعلى تساعد على حمل الجسم المغمور في السائل ، وتنص قاعدة أرخميدس على أنه (**إذا غمر جسم كليا أو جزئيا في سائل فإنه يفقد من وزنه بمقدار يساوي وزن السائل الذي أزاحه الجسم ، إن الفقدان في السوائل سببه قوة دفع السائل للجسم إلى الأعلى والتي تسمى بقوة الطفو** ($Buoyant Force(B.F)$) ، وكما مبيّن في الشكل (3 – 3) :

$$Buoyant Force(B.F) = P_2A - P_1A = (P_2 - P_1)A$$



شكل (3 – 3) : قاعدة أرخميدس

$$P_1A = \rho gAh$$

$$P_2A = \rho gA(h + L)$$

$$B.F = \rho gA(h + L) - \rho gAh = \rho gLA = \rho gV$$

وحيث أن الكتلة (m) تساوي الحجم في الكثافة ($V.\rho$) :

$$\boxed{B.F = mg...(6-3)}$$

إذن قوة دفع السائل نحو الأعلى (قوة الطفو) يساوي وزن السائل المزاح وهذا يتفق مع قاعدة أرشميدس.

عندما تكون كثافة الجسم مساوية لكثافة السائل فإن محصلة القوة المؤثرة على الجسم تساوي صفرا ،

وبناءا على ذلك فإن الجسم سيغطس إذا كان وزنه أكبر من قوة الطفو بينما يطفو الجسم إذا كان وزنه أقل من قوة

دفع السائل له إلى الأعلى .

مما تقدم يتضح أنه يمكن صياغة قاعدة أرخميدس للأجسام المغمورة في سائل كليا كما يأتي :

قوة الطفو = وزن السائل المزاح

وزن الجسم في الهواء – وزن الجسم في السائل = كتلة السائل المزاح × التعجيل الأرضي

كتلة الجسم في الهواء × التعجيل الأرضي – كتلة الجسم في السائل × التعجيل الأرضي = كثافة الماء × حجم الماء المزاح × التعجيل الأرضي

(كتلة الجسم في الهواء– كتلة الجسم في السائل) × التعجيل الأرضي = كثافة الماء × حجم الماء المزاح × التعجيل الأرضي

مثـــال 3 - 5 : قطعـــة مـــن ســـبيكة كتلتهـــا فـــي الهـــواء ($86g$) وكتلتهـــا عنـــدما تكـــون مغمـــورة فـــي الماء تساوي ($73g$) ، إحسب :

1- حجم السبيكة ؟

2- كثافة السبيكة ؟

الحل :

1 - لحساب حجم السبيكة :

قوة الطفو $(B.F)$ المؤثرة على قطعة السبيكة المغمورة هي :

$$(m_{(air)} - m_{(water)})g = \rho_{(water)}.V_{(water)}.g$$

$$(0.086 - 0.073).(9.8) = (1000).V_{(water)}.(9.8)$$

$$\boxed{\Rightarrow V_{(water)} = 1.3x10^{-5}\,m^3}$$

وهذا هو أيضا حجم قطعة السبيكة .

2 - لحساب كثافة السبيكة :

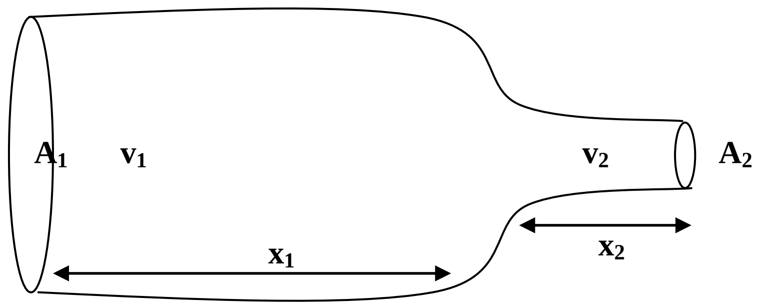
$$\rho = \frac{m}{V} \ldots (1-3)$$

$$\rho = \frac{(0.086)}{(1.3x10^{-5})}$$

$$\boxed{\rho = 6.6x10^3\,kg/m^3}$$

6-3 معادلة الإستمرارية (Continuity Equation)

نفرض أن سائل ينساب طبقيا في أنبوبة ذات مقطعين مختلفين (A_1) و (A_2) كما هو موضّح في الشكل (3 – 4) ، سرعة السائل عند المقطع (A_1) هي (v_1) لمسافة مقدارها (X_1)، بينما سرعة السائل عند المقطع (A_2) هي (v_2) لمسافة مقدارها (X_2) .



شكل (3 – 4) : سائل ينساب طبقيا في أنبوبة ذات مقطعين مختلفين

يمكن حساب كتلة كمية السائل التي تدخل الأنبوبة عبر المقطع (A_1) بالعلاقة التالية :

$$m_1 = \rho V_1$$

ولكون الحجم (V) يساوي مساحة مقطع الأنبوبة في طولها :

$$\therefore m_1 = \rho A_1 x_1$$

وبما أن المسافة تساوي السرعة في الزمن :

$$\therefore m_1 = \rho A_1 v_1 t$$

وكذلك يمكن حساب كتلة كمية السائل التي تخرج من المقطع (A_2) حيث تعطى بالعلاقة :

$$m_2 = \rho A_2 v_2 t$$

ولكن كمية السائل التي تدخل في الأنبوبة هي التي تخرج من الطرف الثاني من الأنبوبة :

$$m_1 = m_2$$

$$\rho A_1 v_1 t = \rho A_2 v_2 t$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

إذن معدّل التدفق (Rate of flow) الحجمي للسائل عبر الأنبوبة يمكن كتابته على الشكل التالي :

$$\boxed{Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 (m^3 / s) ... (7-3)}$$

وتسمى هذه المعادلة بمعادلة الإستمرارية .

مثال 3 – 6 : إحسب معدّل تدفق الدم في شريان مساحة مقطعه ($2cm^2$) إذا كانت سرعة جريانه ($40cm/s$) ؟
وكم تصبح سرعة جريان الدم إذا وصل لشعيرة دموية مساحة مقطعها ($0.1cm^2$) ؟

الحل :

نحسب معدّل التدفق في الشريان :

$$Q = Av$$

$$Q = (2x10^{-4}m^2)(40x10^{-2}m/s)$$

$$\boxed{Q = 80x10^{-6}m^3/s}$$

كما يمكن حساب سرعة جريان الدم في الشعيرة الدموية وكالآتي :

$$Q = A_1v_1 = A_2v_2 ...(7-3)$$

$$v_2 = (\frac{A_1v_1}{A_2})$$

$$v_2 = (\frac{(2x10^{-4}m^2)(40x10^{-2}m/s)}{(0.1x10^{-4}m^2)})$$

$$\boxed{v_2 = 8m/s = 800cm/s}$$

مثال 3 – 7 : زيت ينساب (يجري) خلال أنبوبة قطرها ($8cm$) بسرعة قيمتها ($40m/s$) ، إحسب معدّل التدفق بوحدات (m^3/s) و (m^3/h) ؟

الحل :

$$Q = Av$$

$$Q = \pi r^2 v$$

$$Q = (3.14)(0.04m)^2(40m/s)$$

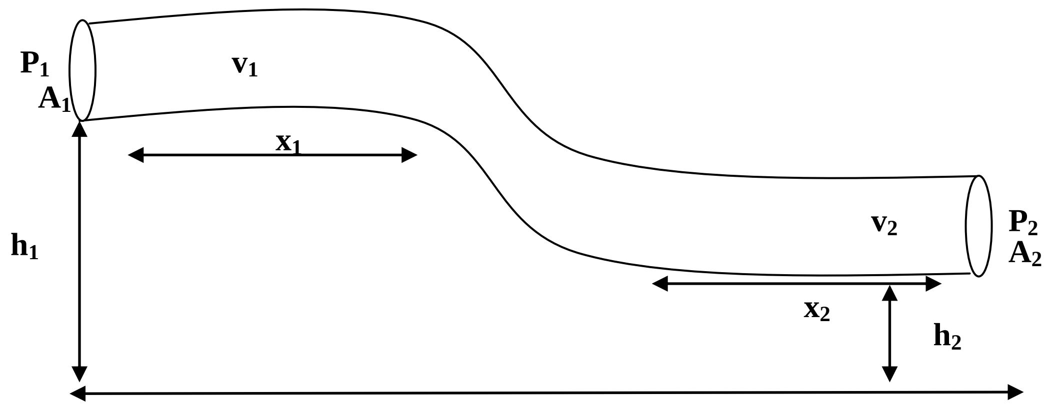
$$\boxed{Q = 0.20m^3/s}$$

$$Q = (0.20m^3/s)(3600s/h)$$

$$\boxed{Q = 720m^3/h}$$

7-3 معادلة برنولي (Bernoulli's Equation)

نفرض أن سائل ينساب طبقيا من أنبوبة كما في الشكل (8 - 5) حيث سرعة السائل عند المقطع (A_1) هي (v_1) والضغط هو (P_1)، وعند المقطع (A_2) هي (v_2) والضغط هو (P_2).



شكل (3 – 5) : سائل ينساب طبقيا من أنبوبة ذات مقطعين متساويين

حسب قانون حفظ بقاء الطاقة فإن معادلة حفظ الطاقة لهذا الوضع هي :-

الشغل المبذول على وحدة الحجوم من السائل المنساب = الزيادة في طاقة الحركة لوحدة الحجوم + الزيادة في طاقة الوضع لوحدة الحجوم

ولذلك يجب علينا حساب كل من الشغل ، وطاقة الحركة ، وطاقة الوضع :

أولا : الشغل المبذول لوحدة الحجوم :

الشغل = القوة x المسافة = الضغط x المساحة x المسافة = الضغط x الحجم

الشغل المبذول = $(P_1 - P_2)V$

الشغل المبذول لوحدة الحجوم :

$$\boxed{W = \frac{(P_1 - P_2)V}{V} = (P_1 - P_2) \ldots (8-3)}$$

ثانيا : الزيادة في طاقة الحركة لوحدة الحجوم :

طاقة الحركة = $\frac{1}{2}mv^2$

طاقة الحركة لوحدة الحجوم تعطى بالعلاقة :

$$\frac{\frac{1}{2}mv^2}{V}=\frac{1}{2}\rho v^2$$

حيث (m) كتلة السائل و (V) حجم السائل .

إذن الزيادة في طاقة الحركة لوحدة الحجوم تعطى بالعلاقة :

$$\boxed{\frac{\frac{1}{2}mv^2}{V}=\frac{1}{2}\rho {v_2}^2-\frac{1}{2}\rho {v_1}^2=\frac{1}{2}\rho({v_2}^2-{v_1}^2)\ldots(9-3)}$$

ثالثا : الزيادة في طاقة الوضع لوحدة الحجوم :

طاقة الوضع (Gravitational Potential Energy) : وهي مقدار الشغل الذي يستطيع الجسم بذله بسبب قوة الجاذبية المؤثرة عليه إلى الأسفل ويرمز له بـ $(P.E)$ ووحداته هي نفس وحدات الشغل ومقداره يساوي (mgh) .

الزيادة في طاقة الوضع لوحدة الحجوم = طاقة الوضع عند المقطع (A_2) - **طاقة الوضع عند المقطع** (A_1)

$$\boxed{\frac{m}{V}gh_2-\frac{m}{V}gh_1=\frac{m}{V}g(h_2-h_1)=\rho g(h_2-h_1)\ldots(10-3)}$$

من **أولا وثانيا وثالثا** يمكن الحصول على المعادلة التالية :

$$\boxed{\begin{aligned}&P_1-P_2=\frac{1}{2}\rho\left(v_2^2-v_1^2\right)+\rho g\left(h_2-h_1\right)\\&\therefore P_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho g h_1=P_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho g h_2\ldots(11-3)\end{aligned}}$$

وهذه المعادلة تعرف بمعادلة برنولي .

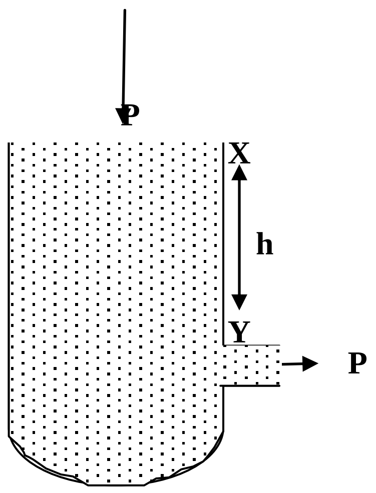
ملاحظة 1 : في إستنتاجنا لمعادلة برنولي أهملنا الطاقة المفقودة بسبب الإحتكاك الداخلي للسائل (أي أن هذه المعادلة تصف إنسياب الموائع التي تكون تأثيرات اللزوجة فيها مهملة) .

ملاحظة 2 : في حالة كون الأنبوبة أفقية $(h_1=h_2)$ فإن : $P_1+\frac{1}{2}\rho {v_1}^2=P_2+\frac{1}{2}\rho {v_2}^2$.

ملاحظة 3 : في حالة كون السائل ساكنا $(v_1=v_2)$ فإن : $P_1+\rho g h_1=P_2+\rho g h_2$.

1-7-3 تطبيقات على معادلة برنولي (معادلة تورشلي Torricelli's equation) :

نفرض أن سائل ينساب من خزان كما في الشكل (3- 6) :



شكل (3 – 6) : إنسياب سائل من خزان ذو فتحتين

من الشكل (3 – 6) يمكن أن نستنتج الآتي :

1- الضغط عند النقطة X والنقطة Y هو الضغط الجوى P (لأن السطح مفتوح والنقطتان معرضتان للجو).

2- طاقة الوضع عند النقطة X تعطى بالعلاقة ρhg حيث h هي المسافة بين النقطة X والنقطة Y. بينما طاقة الحركة عند النقطة X تساوى تقريبا صفر (لكون فتحة الخزان العلوية كبيرة).

3- طاقة الحركة عند النقطة Y تعطى بالعلاقة $\frac{1}{2}\rho v^2$ حيث v هي سرعة سريان السائل عند النقطة Y. بينما طاقة الوضع عند النقطة Y تساوى صفر (لكون ارتفاع مستوى الماء في الخزان يساوي صفرا عند النقطة Y)

من النقاط الثلاث السابقة يمكن كتابة معادلة برنولي على الشكل التالي :

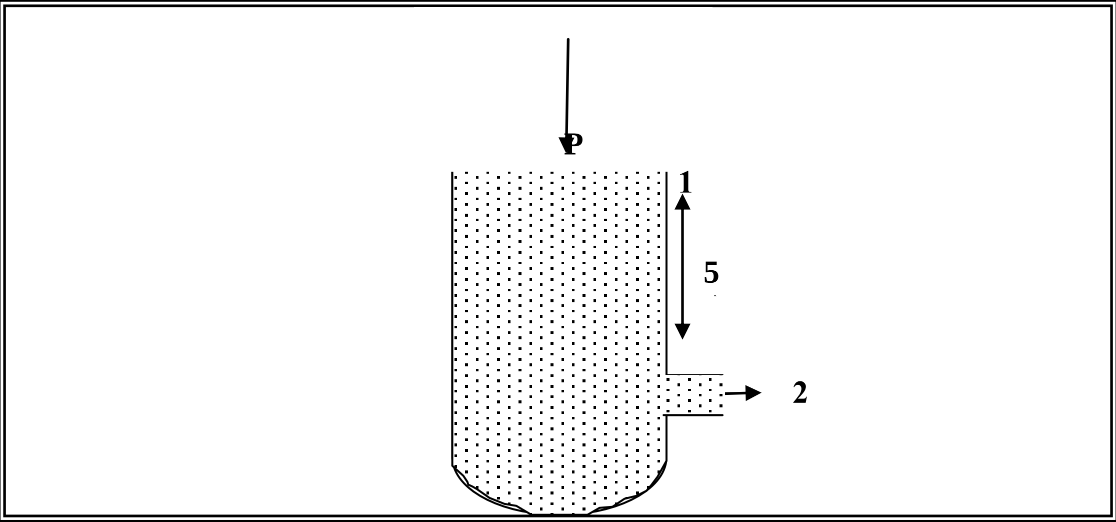
$$P + \rho gh = P + \frac{1}{2}\rho v^2$$

$$v^2 = 2gh$$

$$\boxed{v = \sqrt{2gh} \ldots (12-3)}$$

وهذه المعادلة تسمى معادلة تورشلي.

مثال 3 - 8 : ما هو معدّل الماء المتدفق في الدقيقة الواحدة من خزان مفتوح من أعلى خلال فتحة قطرها ($3cm$) ، كما مبيّن في الشكل الآتي ، وتقع على عمق ($5m$) أسفل مستوى الماء في الخزان ؟



الحل :

يمكننا إستخدام معادلة برنولي بالإشارة إلى مستوى الماء العلوي في الخزان بالرقم (**1**) وإلى الفتحة بالرقم (**2**) .

الآن :

$$h_2 = 0 \text{ ، } h_1 = 5 \text{ m ، } P_1 = P_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \ldots(11-8)$$

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

إذا كان الخزان كبيرا ، فإن (v_1) يمكن إعتبارها صفرا تقريبا ، وبالحل لإيجاد (v_2) نحصل على معادلة تورشلي :

$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

$$v_2 = \sqrt{2(9.8)(5-0)} = 9.9 m/s$$

ويعطى معدل الماء المتدفق بالمعادلة :

$$Q = Av$$

$$Q = \pi r^2 v$$

$$Q = (3.14)(1.5x10^{-2} m)^2 (9.9 m/s)$$

$$\boxed{Q = 7x10^{-3} m^3/s = 0.42 m^3/\min}$$

8-3 الجريان (Flow) :

هنالك نوعان رئيسيان لجريان السوائل في القنوات والأنابيب :

1-9-3 الجريان المنتظم الإنسيابي (The Steady Flow)

في هذا النوع من الجريان تكون خطوط جريان السائل موازية لسطح السائل أو موازية لمحور الأنبوب حيث أن هذه الخطوط تمثل سرع إنسياب طبقات السائل وتكون مساوية إلى الصفر عند قعر النهر وعند جدران الأنبوب ، ويحدث الجريان الإنسيابي للسائل عندما تكون قيمة سرعة الجريان أقل من السرعة الحرجة للسائل (أي تكون واطئة أو معتدلة) ، وعند الجريان الإنسيابي تتحقق النقاط التالية : -

1- تكون سرعة المائع عند أية نقطة معينة ثابتة مع الزمن ولكنها قد تختلف من نقطة إلى أخرى .

2- تكون الخطوط متوازية في الأوعية ذات المقاطع المنتظمة ولا تتقاطع فيما بينها .

2-8-3 الجريان الإضطرابي (The Turbulent Flow)

ويحدث عندما يجري السائل (المائع) بشكل مضطرب مولّدا دوّامات أثناء الحركة ، ويحدث خلال هذا النوع من الجريان ضياع مقدار كبير من الطاقة على شكل طاقة داخلية للمائع (إرتفاع درجة الحرارة) .

إن أغلب عمليات جريان السوائل تتم خلال الأنابيب ولغرض معرفة نوع جريان المائع خلال الأنبوب فقد تم وضع بعض الشروط حيث أنه عندما ينساب الماء في الأنبوب خلال المقطع الدائري فإن معدّل السرعة للسائل (v_{av}) تعرف كالآتي :

$$v_{av} = \frac{Rate of Flow of Volume}{Cross Sectional Area} = \frac{Q}{A}$$

عندما تتجاوز سرعة المائع (v_{av}) سرعة معينة وهي السرعة الحرجة (v_c) يتحوّل عندها نوع الجريان من الإنسيابي إلى الإضطرابي .

يمكن أن تعطى السرعة الحرجة (v_c) حسب العلاقة الآتية :

$$v_c = R_e \frac{\eta}{\rho D} \ldots (13-3)$$

حيث أن : -

η : اللزوجة (وهي نسبة الإجهاد السطحي إلى معدّل الإنفعال السطحي بالنسبة للزمن ، وتقاس بوحدة $(\frac{N.s}{m^2})$ ويساوي $(\eta = \frac{F.l}{A.v})$) .

ρ : كثافة المائع .

D : قطر الأنبوب .

R_e : عدد رينولد ، ويعطى بالعلاقة الآتية :

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho D v_c}{\eta} \ldots (14-3)$$

من خلال التجارب لوحظ أن السائل :

1- يجري خلال الأنبوب جريان منتظم (طباقي) عندما يكون ($\mathrm{Re} \leq 2000$) .

2- يجري خلال الأنبوب جريان مضطرب عندما يكون ($\mathrm{Re} \geq 3000$) .

3- أما إذا كان قيمة عدد رينولد ($3000 \succ R_e \succ 2000$) فإن هنالك إنتقال وتحوّل بين الجريان الإنسيابي والإضطرابي بين الحين والآخر .

مثال 3 - 9 : ما مقدار عدد رينولد للأنبوب يجري فيه ماء بدرجة حرارة ($20^{\circ}C$) وكان قطره ($1cm$) مع معدّل سرعة حرجة ($10cm/s$) ، إذا علمت أن معامل اللزوجة للماء عند تلك الدرجة الحرارية تساوي ($0.01\frac{dyne.s}{cm^2}$) ، ثم وضّح نوع الجريان خلال الأنبوب ؟

الحل :

$$Re = \frac{\rho D v_c}{\eta} ...(14-3)$$

$$Re = \frac{(1g/cm^3)x(1cm)x(10cm/s)}{(0.01dyne.s/cm^2)}$$

$$1dyne = 1g.cm/s^2$$

$$Re = 1000(\frac{g}{cm^3})x(cm)(\frac{cm}{s})x(\frac{s^2.cm^2}{g.cm.s})$$

$$\boxed{\therefore Re = 1000}$$

إذن السائل يجري خلال الأنبوب جريان منتظم (طباقي) ، لأن ($Re \leq 2000$).

مسائل الفصل الثالث
الموائع
(The Fluids)
((3))

س1 : إحسب الكثافة والوزن النوعي للكحول الأثيلي إذا كان ($63.3g$) منه تشغل حجماً مقداره ($80mL$) ؟

الإجابة: $\boxed{\rho = 791kg/m^3}$ $\boxed{w = 0.791}$

س2 : إذا كان قطر المكبس الأكبر لآلة ضغط هيدروليكية هو ($20cm$) ومساحة المكبس الصغير هي ($0.50cm^2$) ، إذا أثرت قوة مقدارها ($400N$) على المكبس الصغير ، إحسب :

1- مقدار القوة المؤثرة على المكبس الكبير ؟

2- مقدار الزيادة في الضغط تحت المكبس الصغير ؟

3- مقدار الزيادة في الضغط تحت المكبس الكبير ؟

الإجابة : $\boxed{F_2 = 2.5x10^5\,N}$ $\boxed{P_1 = 8MPa}$ $\boxed{P_2 = 8MPa}$

س3 : يجري الماء خلال أنبوبة أفقية قطرها إضيق بمقدار النصف عنه في موقع آخر ، فإذا كانت سرعة جريان الماء ($3m/s$) والضغط ($2x10^5\,Pa$) عند القطر الواسع فإحسب مقدار الضغط عند القطر الضيق ؟

الإجابة : $\boxed{P_1 = 1.325x10^5\,Pa}$

س4 : إذا كانت كتلة قطعة من الألمنيوم تساوي ($25g$) ، فإذا علمت أن كثافة الألمنيوم تساوي ($2700kg/m^3$) ، إحسب :

1- حجم قطعة الألمنيوم ؟

2- مقدار الشد في خيط يحمل قطعة الألمنيوم عندما تكون مغمورة كلياً في الماء ؟

الإجابة : $\boxed{V = 9.26x10^{-6}\,m^3}$ $\boxed{T = 0.154N}$

س5 : إحسب الضغط الناتج من وزن عمود المائع عند عمق ($76cm$) ، إذا كان هذا المائع :

1- ماء ($\rho_{Water} = 1g/cm^3$) ؟

2- زئبق ($\rho_{Mercury} = 13.6g/cm^3$) ؟

الإجابة : $\boxed{P_{Water} = 7448N/m^2}$ $\boxed{P_{Mercury} = 1.01x10^5\,N/m^2}$
