الفصل الأول

مقدمة – وحدات القياس

الهدف العام: التعرف على وحدات ونظم القياس

الأهداف:

1. ان يتعرف الطالب ما المقصود بعلم الهيدروليكا
2. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالأبعاد ووحدات القياس
3. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالأبعاد الأساسية Basic Dimensions
4. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالأبعاد المشتقة
5. ان يتعرف الطالب ما المقصود بنظم الوحدات المستخدمة في القياس Units

الفصل الأول

مقدمة – وحدات القياس

تعريف علم الهيدروليكا:

علم الهيدروليكا هو أحد العلوم الهندسية التي تهتم بدراسة قوانين الحركة والتوازن للمائع (سائل أو غاز) وتطبيقاتها المختلفة في مجال تصميم الآلات الهيدروليكية مثل الطلمبات والتروبينات، وكذلك في نظم نقل المياه وفي ري وصرف الأراضي الزراعية.

أقسام علم الهيدروليكا:

يمكن تقسيم علك الهيدروليكا إلي قسمين أساسيين:

1- الهيدروستاتيكا:

وهو النوع من علم الهيدروليكا الذي يبحث في قوانين التوازن الخاصة بالموائع التي في حالة السكون

2- الهيدروديناميكا:

وهو النوع من علم الهيدروليكا الذي يبحث في قوانين حركة الموائع

أبعاد ووحدات القياس

أولاً: الأبعاد الأساسية Basic Dimensions:

الأبعاد الأساسية تستخدم في تبسيط نظم الوحدات المختلفة وفي كتابة وحدات أي معادلة وذلك باستخدام الرموز التالية:

الطول : L

الزمن : T

الكتلة : M

ثانياً: الأبعاد المشتقة:

وهي أبعاد القياس التي يمكن اشتقاقها من الأبعاد الأساسية مثل:

المساحة: L^2

الحجم: L^3

السرعة: LT^{-1}

العجلة: LT^{-2}

القوة : MLT^{-2}

ثالثاً: نظم الوحدات المستخدمة في القياس Units:

هناك ثلاث نظم تستخدم في القياسات وهي:

1- النظام الإنجليزي: "1b – ft – S"

ويستخدم في النظام الإنجليزي الوحدات التالية

الطول : قدم ft

الزمن : ثانية sec

الكتلة : رطل 1b

2- النظام الفرنسي: "kg – m – s"

وتستخدم في النظام الفرنسي الوحدات التالية:

الطول : متر m

الزمن : ثانية sec

الكتلة : كجم kg

3- النظام العالمي للوحدات: "S.I.U."

وتستخدم في النظام الدولي الوحدات العناصر التالية:

الطول : متر m

الزمن : ثانية sec

الكتلة : كجم kg

القوة : نيوتن N.

وســيتم اســتخدام عناصر النظام العالمي للوحدات "S.I.U." في هذا المقرر. ولكن يمكن التحويل من نظام لآخر باستخدام قواعد التحويل التالية:

1- الطول : 1m = 3.28 ft

2- الكتلة : 1kg = 2.205 1b

3- القوة : $1N = \frac{1}{9.81} kg_f = 10^5 dyn = 0.225\ 1b_f$

4- الضغط :

$1bar = 10^5 N/m^2$ or "Pa"

$= 14.5\ 1b_f/in^2$

$= 0.75$ m. Hg $= 10.2$ m. H_2O

5- الكثافة : $1\ kg/m^3 = 0.062\ 1b/ft^3$

6- الطاقة :

1 J = $\frac{1}{4.18} cal$

1 kJ = 1000 J = 1000 N.m

= $\frac{1}{4.18} K.cal$ = 0.9478 BTU

= 737.6 ft. $1b_f$.

7- القدرة :

1 watt = 1 J/s = 1 N.m/s = $\frac{1}{9.81 \times 75}$ metric hp.

الفصل الثاني

الخواص الطبيعية للموائع Properties of fluids

الهدف العام: التعرف على الخواص الطبيعية للموائع

الأهداف:

1. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالكثافة **Density**
2. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالوزن النوعي **Specific weight**
3. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالحجم النوعي **Specific volume**
4. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالكثافة النسبية **Specific gravity**
5. ان يتعرف الطالب ما المقصود باللزوجة **Viscosity**
6. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالشد السطحي **Surface Tension**
7. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالخاصية الشعرية **Capillarity**
8. ان يتعرف الطالب ما المقصود بضغط بخار السائل **Vapour pressure**

الفصل الثاني

الخواص الطبيعية للموائع Properties of fluids

تشمل كلمة مائع (Fluid) كل من السوائل والغازات – ولكن السوائل تعتبر موائع غير قابلة للانضغاط في حين أن الغازات تعتبر موائع قابلة للانضغاط.

وفي دراسة مقرر الهيدروليكا سوف نتعامل أساساً مع السوائل.

وأهم الخواص الطبيعية للموائع هي:

(1) الكثافة: Density

وكثافة المائع هي كتلة وحدة الحجوم من المائع ويرمز للكثافة بالرمز ρ (rho)

$$\text{Density} = \frac{Mass \quad of \quad fluid}{Volume \quad of \quad fluid}$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

حيث أن:

m: هي كتلة المائع بوحدات kg

v: هي حجم المائع بوحدات m^3

ρ: هي كثافة المائع بوحدات kg/m^3

علماً بأن كثافة الماء هي

$\rho_w = 1\ gm/cm^3$

or = $1000\ kg/m^3$

(2) الوزن النوعي Specific weight:

الوزن النوعي لمائع هو النسبة بين وزن المائع وحجمه.

ويرمز له بالرمز "ω"

$$\omega = \frac{W}{v}$$

$$\omega = \frac{m.g}{v}$$

$$\omega = \rho \times g$$

حيث أن:

ω: الوزن النوعي للمائع N/m^3

ρ: كثافة المائع kg/m^3

g: عجلة الجاذبية الأرضية m/sec^2

علماً بأن الوزن النوعي للماء هو 9.81 × 1000 نيوتين/م^3 بوحدات SIU

(3) الحجم النوعي Specific volume:

الحجم النوعي هو النســـبة بين حجم المائع وكتلته. أي أنه مقلوب كثافة المائع ووحداته m^3/kg ويستخدم الحجم النوعي في العموم في الغازات.

$$v = \frac{1}{\rho}$$

حيث أن: v: هو الحجم النوعي للمائع m^3/kg

ρ: هو كثافة المائع kg/m^3

(4) الكثافة النسبية Specific gravity:

تعرف الكثافة النســبية بالنســبة بين وزن الجســم ووزن حجم مســاوي تماماً لمادة أخري قياسـية. وبالنسـبة للسـوائل يؤخذ الماء كمادة قياسـية وبالنسـبة للغازات يؤخذ الهواء كمادة قياسية. ويرمز للكثافة النسبية بالرمز "S" حيث أن:

الكثافة النسبية لأي سائل = $\dfrac{\text{الوزن النوعي السائل}}{\text{الوزن النوعي الماء}}$

أو = $\dfrac{\text{كثافة السائل}}{\text{كثافة الماء}}$

$$S_L = \frac{\omega_L}{\omega_w} = \frac{\rho_L \times g}{\rho_w \times g} = \frac{\rho_L}{\rho_w}$$

ومن هنا يمكن إيجاد الوزن النوعي لأس ســـائل ω_L بمعرفة كثافته النســـبية من المعادلة التالية:

$$\omega_L = S_L \times \omega_w$$

$\omega_L = S_L \times 1000 \times 9.81$ N/m^2

وكذلك يمكن إيجاد كثافة أي سائل ρ_L من المعادلة التالية:

$$\omega_L = S_L \times \rho_w$$

$\omega_L = S_L \times 1000$ kg/m^2

حيث أن:

S_L: الكثافة النسبية

ω_L: الوزن النوعي للسائل نيوتين/م^3

ρ_L: كثافة السائل كجم/م^3

ω_w: الوزن النوعي للماء = 9.81×1000 نيوتين/م^3

ρ_w: كثافة الماء = 1000 كجم/م^3

مثال (1):

احسب الوزن النوعي والكثافة النسبية لسائل حجمه 1 لتر ووزنه 7 نيوتين

الحل

Given:

v = 1 lit = $\frac{1}{1000}$ = 0.001 m^3

W = 7 N

Req:

(1) ω = specific weight

(2) ρ = Density

(3) S = specific gravity

Solution:

(1) $\omega = \frac{weight}{volume} = \frac{7N}{0.001m^3}$ = 7000 N/m^3

(2) $\rho = \frac{\omega}{g} = \frac{specific \quad weight}{9.81}\left(\frac{N/m^3}{m/\sec^2}\right)$

$= \frac{7000}{9.81}$ = 713.5 kg/m^3

(3) S $= \frac{Density \quad of \quad liquid}{Density \quad of \quad water}$

$= \frac{713.5}{1000}\left(\frac{kg/m^3}{kg/m^3}\right)$

= 0.7135

مثال (2):

أوجد الكثافة والوزن النوعي والوزن لسائل حجمه 1 لتر وكثافته النسبية 0.8.

الحل:

Given:

V = 1 lit = $\frac{1}{1000}$ = 0.001 m^3

S = 0.7

Req. :

1) ρ 2) ω 3) W

Solution:

1) S = $\frac{Density \quad of \quad liquid}{Density \quad of \quad water}$

ρ of liquid = S × ρ of water

= 0.7 × 1000 kg/m^3

= 700 kg/m^3

2) ω = ρ × g

= 700 kg/m^3 × 9.81 m/s^2

= 6867 $\frac{kg.m/s^2}{m^3}$

= 6867 N/m^3

3) ω = $\frac{Weight}{Volume}$

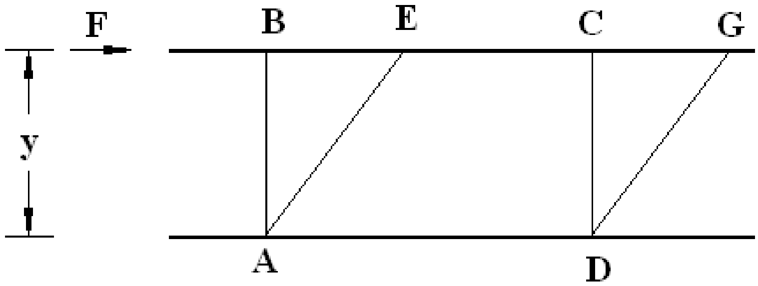
weight = ω × volume

= 6867 N/m^3 × 0.001 m^3 = 6.867

(5) اللزوجة Viscosity:

تعرف اللزوجة بأنها خاصــية الســائل لمقاومة انزلاق Sliding طبقات أو قص Shearing طبقاته، وتظهر هذه الخاصية فقط عندما يكون السائل في حالة حركة.

ولتوضـيح ذلك نفترض أن سـائل معين محصـور بين طبقتين متوازيتين وقريبتين من بعض وعلى مسافة y.



فإذا فرضـــنا أن الطبقة الســـلفي ثابتة لا تتحرك بينما الطبقة العليا والتي مســـاحتها A قد تعرضت لقوة مقدارها F فإن هذه القوة سوف يتولد عنها جهد قص τ "Tau"ومقداره:

$$\tau = \frac{F}{A} \text{ N/m}^2$$

وبالتالي فإن المســاحة الممثلة بالمســتطيل ABCD تنتقل إلي موقع جديد وتأخذ الشــكل AEGD وبالتالي فإن كل جزء من السائل سوف يتحرك موازياً للطبقة السلفي بينما أن سرعة جزيئات السـائل سـوف تتغير من صـفر عند الطبقة السـفلي الثابتة إلي U عند الطبقة العليا للسائل كما هو موضح بدياجرام السرعة بين طبقتي السائل السفلي والعليا التالي:

شكل

ومن التجارب وضح أن القوة F تتناسـب طردياً مع مساحة الطبقة العليا A والسرعة U كما أنها تتناســب تناســباً عكســياً مع الســمك بين الطبقتين y وذلك مع ثبات جميع العوامل الأخرى.

والصورة الرياضية للتناسب السابق يمكن توضيحه بالعلاقة:

$$F \alpha \frac{A.U}{y}$$

حيث أن μ هو ثابت التناسب ويتوقف علي طبيعة السائل ويمكن كتابة المعادلة السابقة كما يلي:

$$\frac{F}{A} \alpha \mu . U$$

ويطلق علي النسبة $\frac{F}{A}$ بجهد القص τ وعلي النسبة $\frac{U}{y}$ بالسرعة الزاوية ويمكن أن نعبر عنها بالصورة $\frac{du}{dy}$ وبالتالي يمكن كتابة المعادلة السابقة بالصورة التالية:

$$\tau = \mu . \frac{du}{dy}$$

ومنها يمكن تحديد قيمة μ كما يلي:

$$\mu . = \frac{\tau}{\left(\frac{dy}{du}\right)}$$

ويطلق علي ثابت التناسب μ اسم اللزوجة الديناميكية

ويمكن تحديد وحدات اللزوجة الديناميكية كما يلي:

حيث أن μ هي اللزوجة $N.s/m^2$

τ هي جهد القص N/m^2

dy هي التغير في المسافة m

du هي التغير في السرعة m/s

$$\mu . = \frac{N/m^2}{m/ms^{-1}} = N.s/m^2$$

ووحدات اللزوجة الديناميكية قد تكون $N.s/m^2$ أو Poise أو kg/m.s

علماً بأن

1 poise = dyne.sec/cm^2 = $\frac{1}{10}$ N.s/m^2

or 1 N.s/m^2 = 10 poise

ويســـتخـدم في الهيـدروليكا معـامـل آخر للزوجـة وهو ومعـامـل اللزوجـة الكينمـاتيكيـة Kinematic viscosity coefficient

وهي النسبة بين اللزوجة الديناميكية وكثافة السائل ويرمز لها "γ" "nu" حيث أن:

$$\gamma = \frac{\mu}{\rho} \qquad m^2/sec$$

حيث أن γ هي اللزوجة الكينماتيكية m^2/s

μ هي اللزوجة $N.s/m^2$

ρ كثافة السائل kg/m^3

ووحدات اللزوجة الكينماتيكية هي m^2/s أو Stoke حيث أن

1 Stoke = 10^{-4} m^2/s

مثال (3):

احسب القوة اللازمة لتحريك سطح مساحته 50.5 م² علي سطح آخر علماً بأن السائل بينهما سمكه 0.0002م ويتحرك بسرعة 0.05 م/ث علماً بأن لزوجة السائل 0.4 كجم/متر.ثانية

الحل:

Given:

A = 0.10 m^2

y = 0.0002 m

u = 0.05 m/s

μ = 0.4 kg/m.s

Req:

F = ???

Solution:

F = $\mu . A \frac{u}{y}$

= 0.4 $\frac{kg}{m.s}$. 0.10 m^2 . $\frac{0.05 m/s}{0.0002 m}$

= 10 kg.m/s^2

= 10 N

مثال (4):

احسـب جهد القص لسـائل يتحرك بسرعة زاوية 20 s إذا عملت أن اللزوجة الكينماتيكية للسائل حوالي 0.0001 m^2/s وكثافته النسبية 0.8.

الحل:

Given:

$\frac{du}{dy}$ = 20 sec

γ = 0.0001 m^2/s

S = 0.8

Req:

τ = ????

Solution

S = $\frac{\rho \quad of \quad liquid}{\rho \quad of \quad water}$

0.8 = $\frac{\rho}{1000}$

ρ of liquid = 800 kg/m^3

$\gamma = \frac{\mu}{\rho}$

$$0.0001 = \frac{\mu}{800}$$

μ = 800 kg/m.s = 0.08 N.s/m^2

$$\tau = \mu \times \frac{du}{dy}$$

$$= 0.08 \times 20 = 1.6 \ N/m^2$$

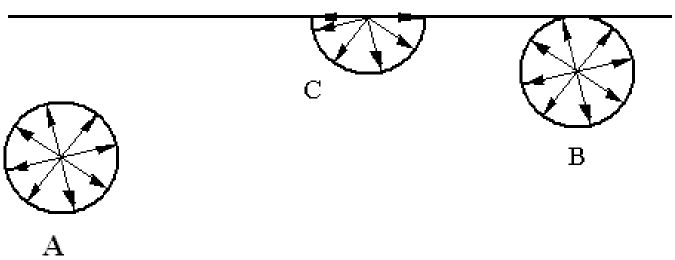
(6) الشد السطحي Surface Tension:

يمكن تعريف الشد السطحي بأنه قوة الشد التي تؤثر علي السطح الحر لسائل أو هو الشغل اللازم لجذب جزيئات السـائل لتكوين سـطح السـائل. ويرمز للشـد السـطحي بالرمز "σ" (Sigma) ووحدات الشد أما أن تكون N/m أو kg/s^2

ومن أوضح الأمثلة لظاهرة الشد السطحي يمكن ملاحظتها عندما نغلق صنبور المياه غلق غير محكم تماماً فنجد أن قطرة من الماء تظل معلقة بالصـنبور لفترة طويلة وهي محتفظة بشكلها تماماً.

وقيمة الشد السطحي تقل بزيادة درجة الحرارة وينعدم الشد السطحي أي تصل قيمته إلي الصـــفر عند درجة الحرارة الحرجة وهي حوالي 374 درجة مئوية والذي عندها يتحول السائل إلي بخار جاف مشبع.

ويمكن توضيح الشد السطحي كما في الشكل الموضح:



ومن الشــكل نختار ثلاث جزيئات A, B, C لســائل فنجد أن جزئ داخل الســائل محاط يوجد بداخلها جزئ آخر يجذبه في جميع الاتجاهات.

فمثلاً الجزيء A البعيد عن الســطح الحر يتعرض لقوي جذب في جميع الاتجاهات من الجزيئات المحيطة والقريبة منه وهذه القوي تكون متســـاوية في القيمة ولذلك فإن محصلة هذه القوي التي تؤثر علي الجزئ A تكون صفر، أي أنها تكون متزنة.

ولكن الجزئ B القريب من السـطح الحر للسـائل فإنه يتعرض لقوي غير متزنة واتجاهاتها لأعلي ولأســفل، ولكن محصــلة القوي التي تؤثر علي الجزئ B الغير متزنة تكون في اتجاه لأسفل.

في حين أن الجزئ C الواقع علي السطح الحر فإنه يتعرض لمجموعة من القوي غير المتزنة ومحصـلتها تكون لأسـفل وبالتالي فهي تحتاج لشـغل يقوم بتحريك الجزيئات للسـطح ويعمل ضد قوي الشد السفلية ولذلك نجد دائماً أن الطاقة في جزيئات السطح الحر تكون أكبر منها في الجزيئات الداخلية.

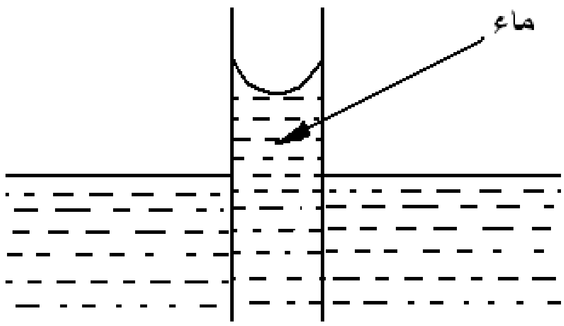
(7) الخاصية الشعرية Capillarity:

تعرف الخاصـية الشـعرية بظاهرة ارتفاع أو انخفاض سـطح السـائل في الأنابيب الشـعرية وذلك بسـبب الشـد السـطحي، ويعتمد علي القيمة النسـبية لتماسـك جزيئات السـائل Cohesion وتلاصق السائل بسطح الأنبوبة الشعرية Adhesion

ووحدات الخاصية الشـعرية نعبر عنها بالسـم cm أو بالمم mm وقيمتها تعتمد علي الوزن النوعي للسائل وقطر الأنبوبة الشعرية والشد السطحي للسائل.

فإذا كان السـائل هو الماء فإن الشـد السـطحي يعمل علي ارتفاع السـائل داخل الأنبوبة الشـعرية وذلك لأن القوة اللازمة لتلاصـق السـائل بسـطح الأنبوبة الشـعرية Adhesion تكون أكبر من القوة اللازمة لتماسك جزيئات السائل Cohesion

بمعني أن adhesion > cohesion ويأخذ الماء الشكل التالي:

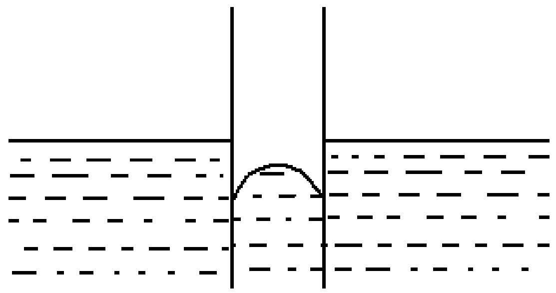


الخاصة الشعرية في الماء

أما إذا كان السائل هو الزئبق فإن الشد السطحي يعمل علي خفض السائل داخل الأنبوبة الشعرية وذلك لأن القوة اللازمة لتلامس السائل بسطح الأنبوبة الشعرية Adhesion تكون أقل من القوة اللازمة لتماسك جزيئات السائل Cohesion.

أي أن Adhesion < Cohesion

ويأخذ الزئبق في الأنبوبة الشعرية الشكل التالي:



الخاصة الشعرية في الزئبق

(8) ضغط بخار السائل Vapour pressure:

عند تسخين الماء داخل وعاء مغلق حتي يبدأ في التبخير فإن جزيئات الماء المتحررة بالتبخير تملأ الفراغ فوق الماء الساخن ويطلق عليها بخار الماء وهذه الجزيئات المتبخرة يمكن أن تتحول مرة ثانية إلي ماء بالتكثيف.

وفي حالة التوازن فإن عدد جزيئات بخار الماء المتحررة تساوي عدد جزيئات الماء المتكثفة ولهذا ونجد أن عدد جزيئات بخار الماء في الفراغ داخل الوعاء المغلق فوق الماء يكون ثابتاً وهنا يقال أن الفراغ مملوء ببخار الماء المشبع.

وتتحرك جزيئات بخار الماء المشبع في الفراغ فوق الماء داخل الوعاء المغلق حركة عشوائية ولذلك يتولد عنه ضغط علي جدران الوعاء وكذلك علي سطح السائل ويطلق علي هذا الضغط بالضغط البخاري. ويزداد الضغط البخاري بارتفاع درجة حرارة الماء داخل الوعاء. وزيادة وانخفاض الضغط البخاري يكون له تأثير علي المضخات الهيدروليكية والتربينة وقد يؤدي إلي تآكل بعض الأجزاء المعدنية لهذه الآلات الهيدروليكية.

الباب الثاني

الهيدروستاتيكا

الفصل الأول: الضغط الهيدروستاتيكي

الفصل الثاني: أجهزة قياس الضغط

الفصل الثالث: الضغط الكلي علي الأجسام المغمورة

الفصل الرابع: التطبيقات الهندسية علي الهيدروستاتيكا

الفصل الخامس: سريان الموائع خلال المواسير والمجاري

الفصل الأول

الضغط الهيدروستاتيكي

الهدف العام: التعرف على الضغط الهيدروستاتيكي

الأهداف:

1. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالضغط Pressure
2. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالضغط عند نقطة
3. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالضغط في المستوي الأفقي
4. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالضغط في المستوي الرأسي
5. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالضغط المطلق والضغط القياسي (المانوميتري)

   Absolute and Gauge Pressure:
6. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالضغط الجوي P_{at}

الفصل الأول

الضغط الهيدروستاتيكي

الضغط Pressure:

من المعروف أنه إذا وضـــعنا مائع ســـواء كان غاز أو ســـائل داخل وعاء فإن جدران الوعاء المحدد للمائع يحفظه داخل الوعاء. وذلك لأن المائع يؤثر علي جدران الوعاء بقوة معينة، وإذا كان المائع ســـائلاً فيجب أن تكون هذه القوة عمودية فقط علي الجدران لأن القوة المماسة للجدران سوف تسبب الحركة للمائع.

وتسـمي النسـبة بين القوة العمودية والمسـاحة بالضـغط ويرمز لها بالرمز P وإذا كانت القوة منتظمة التوزيـع علي السطح فإن الضغط نعبر عنه رياضياً بالعلاقة:

$$P = \frac{F}{A}$$

حيث أن P هو الضغط عند نقطة بالنيوتن/م2

F هي القوة بالنيوتن

A هي المساحة بالمتر المربع

أما إذا كانت القوة غير منتظمة التوزيـع علي السطح فإن الضغط نعبر عنه بالعلاقة:

$$P = \frac{dF}{dA}$$

وحدات الضغط:

وحدات الضـغط في النظام الدولي المسـتخدم في هذا المقرر هي نيوتن/متر مربع (N/m2) أو البار "bar" وتعرف الوحدة N/m^2 بالبسكال Pascal ويرمز لها بالرمز "Pa" حيث أن:

1 Pascal = 1 N/m^2

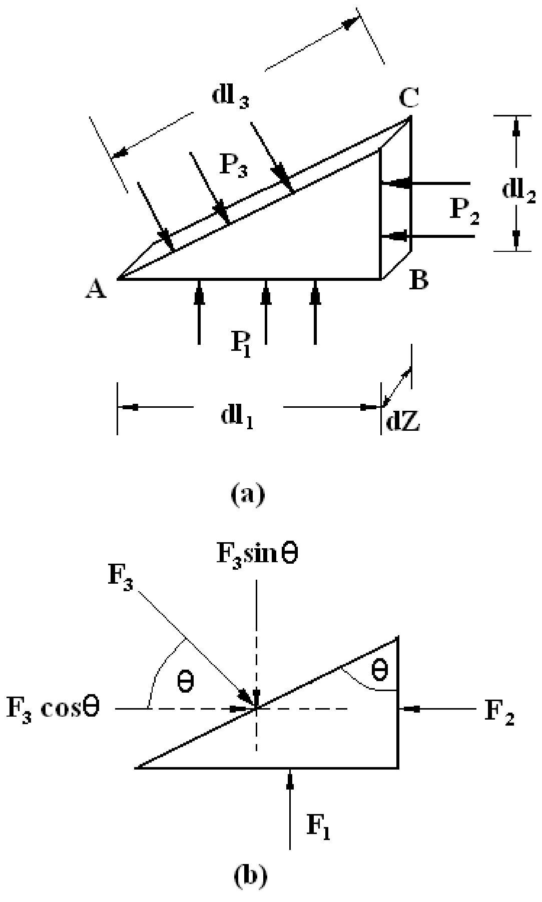
1 k Pa = 1000 Pa = 1000 N/m^2

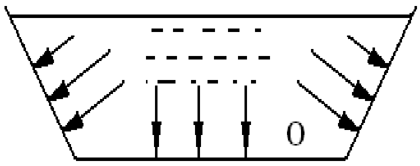
وقد تستخدم وحدات الضغط بالبار "bar" حيث أن:

1 bar = 100 k Pa = 10^5 Pa = 10^5 N/m^2

الضغط عند نقطة:

لتحديد الضغط عند نقطة نأخذ النقطة "O" من مائع في حالة سكون وعلي الوعاء المبين بالشـــكل (1) ونفترض أن هذه النقطة تمثل منشـــور كالمبين بالشـــكل (2) وبحيث تكون أضـلاعه قريبة من الصـفر فإن حجمه يكون متناهي في الصـغر وقريباً من الصـفر وبالتالي يمكن إهمال وزنه.





شكل (2) شكل (1)

ومن الشـــكل (2) ومن تعريف الضـــغط فيمكن تحديد القوة بحاصـــل ضرب الضـــغط في المساحة العمودية أي أن:

$F_1 = P_1 \times (dl_1 \times dZ);$

$F_2 = P_2 \times (dl_2 \times dZ);$

$F_3 = P_3 \times (dl_3 \times dZ)$

وبتحليل هذه القوي إلي مركبات أفقية ورأسية وحيث أن هذه القوي متزنة نستنتج أن:

(1) مجموع مركبات القوي الأفقية تساوي صفر أي أن:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_3 \cos\theta - F_2 = 0$$

$$P_3 \,.\, dl_3 \,.\, dZ \,.\, \frac{dl_2}{dl_3} = P_2 \,.\, dl_2 \,.\, dZ$$

$$\therefore\ P_3 = P_2 \qquad (1)$$

(2) وكذلك مجموع مركبات القوي الرأسية تساوي صفر أي أن:

$$\sum F_y = 0$$

$$F_1 = F_3 \sin\theta$$

$$P_1 \,.\, dl_1 \,.\, dZ = P_3 \,.\, dl_3 \,.\, dZ \,.\, \frac{dl_2}{dl_3}$$

$$P_1 = P_3 \qquad (2)$$

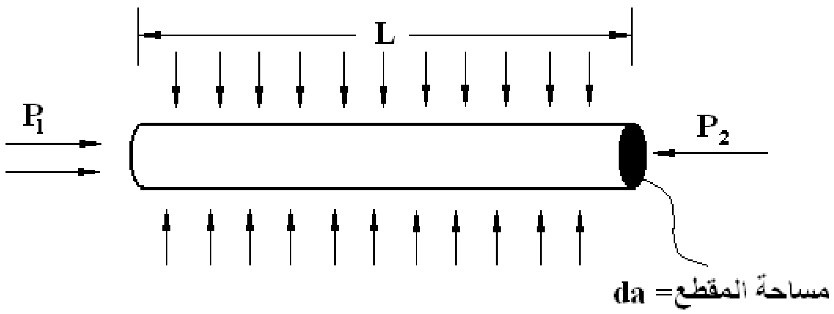
ومن المعادلة (1)، (2) نستنتج أن:

$$P_1 = P_2 = P_3$$

أي أن قيمة الضـغط عند نقطة تكون ثابتة بصرف النظر عن اتجاه الضـغط الذي يتحدد تبعاً لاتجاه السطح الصلب الذي يؤثر عليه الضغط.

الضغط في المستوي الأفقي:

لدراسة الضغط في المستوي الأفقي نأخذ منشور أفقي متناهي في الصغر حتي يمكن إهمال وزنه وذلك من مائع في حالة سكون يملئ وعاء أبعاده كما هي مبينه بالشكل، حيث أن طوله هو L ومساحة مقطعه هي "da"



وبدراسة المركبات الأفقية التي تؤثر علي المنشور تكون كما هي مبينه بالرسم:

حيث أن:

$F_1 = P_1 \times da$

$F_2 = P_2 \times da$

وحيث أن القوي في حالة إتزان فإن:

$F_1 = F_2$

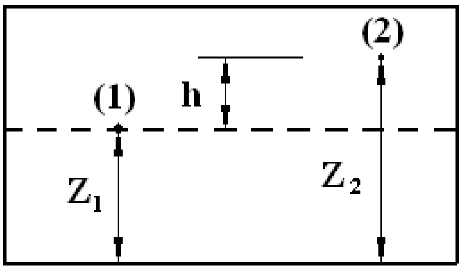
$P_1 \,.\, da = P_2\, da$

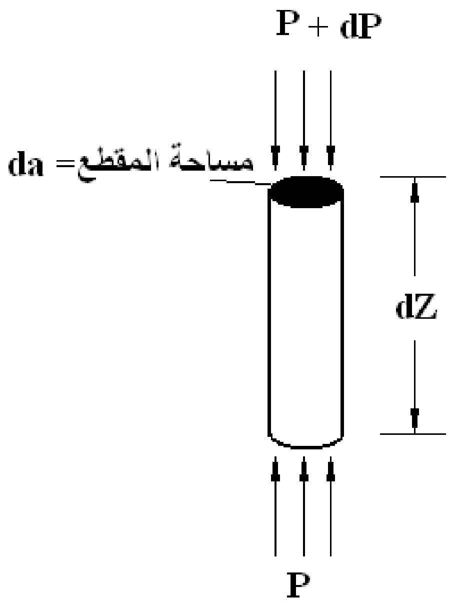
$P_1 = P_2$

ومن ذلك نستنتج أن الضغط يكون ثابت لجميع النقط الواقعة عند نفس المستوي الأفقي.

الضغط في المستوي الرأسي:

يتغير الضـــغط في المســـتوي الرأسي من نقطة لأخرى وذلك تبعاً لارتفاع هذه النقط عن مسـتوي أفقي ثابت يسـمي مسـتوي المقارنة. ولتحديد قيمة التغير في الضـغط مع الارتفاع نأخذ اسطوانة رأسية مساحة مقطعها A وارتفاعها dz من مائع ساكن كما هو مبين بالشكل وبفرض أن الضغط علي القاعدة P والضغط علي القمة هي P+dp.





ولدراسة القوي التي تؤثر علي هذه الاسطوانة الرأسية نجد أنها عبارة عن ثلاث قوي هي:

(1) قوة رأسية واتجاها لأعلي وتؤثر علي القاعدة وقيمتها F1 حيث أن:

$$F1 = P \times A$$

(2) قوة رأسية واتجاهها لأسفل وتؤثر علي القيمة وقيمتها F2 حيث أن:

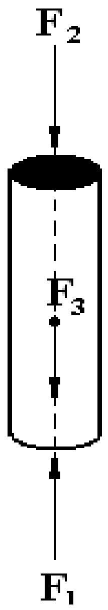
$$F_2 = (P + dp) \times A$$

(3) وزن الاسطوانة واتجاهه رأسي لأسفل وقيمته F3 حيث أن:

$$F_3 = \text{specific weight} \times \text{volume}$$

$$= \omega \times (A \times dz)$$

وكما هو موضح بالرسم التالي:



وحيث أن القوي متزنة فإن مجموع مركبات القوي الرأسية تساوي صفر أي أن:

$F_1 = F_2 + F_3$

$P.A = (P + dp). A + \omega . A . dz$

بالقسمة علي A تصبح المعادلة كما يلي:

$P = P + dp + \omega . dz$

$dp = - \omega . dz \qquad (1)$

وهذا يعني أنه عند نرتفع مسافة dz فإن الضغط يقل بمقدار ω . dz

وإذا كان المائع عبارة عن ســائل فإن وزنه النوعي يكون ثابتاً أي ω تكون ثابتة ويأخذ تكامل الطرفين في المعادلة (1) لتحديد قيمة التغير في الضــغط بين النقطتين (1) ، (2) نحصــل علي:

$$\int_1^2 dp = -\omega \int_1^2 dZ$$

$P_2 - P_1 = - \omega (Z_2 - Z_1)$

وحيث أن:

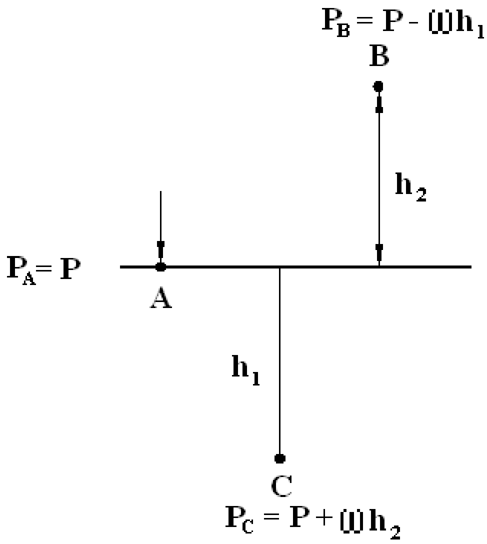
$h = Z_2 - Z_1$

فإن فرق الضغط يصبح كما يلي

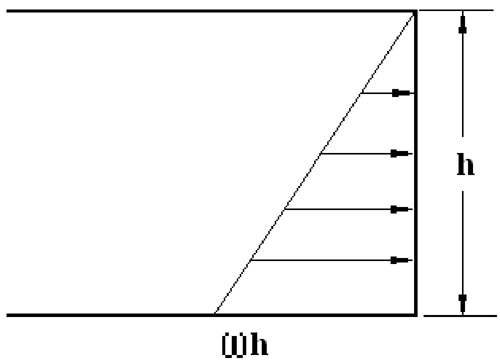
$P_1 - P_2 = \omega h$

ولفهم المعادلة السابقة نفرض أن هناك نقطة A في سائل ساكن والضغط عندها قيمته P فإن الضـغط عند النقطة B التي تنخفض عنها بمقدار h1 يصـبح $P + \omega h1$ أما الضـغط عند النقطة C التي ترتفع عنها بمقدار h2 سكون مقداره $P - \omega h2$

وذلك كما هو موضح بالرسم



ويمكن رسـم دياجرام لتوزيـع الضـغط علي جدران وعاء يمتلئ بسـائل سـاكن مع العمق كما يلي:



أمثلة محلولة

مثال (1):

احســـب الضـــغط عند نقطة تقع علي عمق 5 متر من ســـطح ماء البحر علماً بأن الكثافة النسبية لماء البحر = 1.04

الحل:

Diven:

$h = 5m$

$S_L = 1.04$

Req:

$P = ????$

Solution:

$$\because S_L = \frac{\omega_L}{\omega_{water}}$$

$$\therefore \omega_L = S_L \times \omega_{water}$$

$= 1.04 \times 1000\ kg/m^3$

$= 1040\ \ kg/m^3$

$P = \omega h$

$= 1040\ kg/m^3 \times 5\ m$

$= 5200\ kg/m^2$

$P = 5200\ kg/m^2 \times 9.81\ m/s^2$

$= 51012\ N/m^2$

$= 51012\ Pa$

$= 51.012\ kPa$

مثال (2):

احسب الضغط النيوتن/م2 وبالكيلو بسكال/م2 عند نقطة في مائع عل يعمق 0.3 متر في الحالات الآتية:

إذا كان المائع هو الماء

إذا كان المائع زيت وكثافته النسبية 0.8

إذا كان المائع زئبق وكثافته النسبية 13.8

الحل:

Given:

h = 0.3 m

Req:

a) P_W = ???

b) P_o = ???

c) P_M = ???

Solution

a) $P_w = \omega \times h$

$= 1000\ kg/m^3 \times 0.3$

$= 300\ kg/m^3$

or $P_w = 300 \times 9.81 = 2943\ N/m^2$

$= 2943\ Pa$

$= 2.943\ kPa$

b) $S_o = 0.8 = \frac{\omega_o}{1000}$

$\omega_o = 0.8 \times 1000 = 800\ kg/m^3$

$P_o = \omega \times h = 800 \times 0.3 = 240\ kg/m^3$

$= 240 \times 9.81 = 2354.4\ N/m^2$

$= 2.354\ kPa/m^2$

c) $S_M = 13.6 = \frac{\omega_M}{1000}$

$\omega_M = 13.6 \times 1000$

$= 13600\ kg/m^3$

$P_M = \omega \times h = 13600 \times 0.3$

$= 4080\ kg/m^3$

$= 4080 \times 9.81 = 40024.8\ N/m^2$

$= 40.025\ kPa/m^2$

مثال (3):

إذا علمت أن الضـــغط عند نقطة في ســـائل هو $3.924\ N/cm^2$ أوجد الضـــاغط إذا كان السائل:

أ- ماء

ب-زيت كثافته النسبية 0.9.

Given:

$P = 3.924\ N/m^2$

$= 3.924 \times 10^4\ N/m^4$

$= 39240\ N/m^4$

Req:

a) h for water

b) h for oil, $S_o = 0.9$

Solution:

a) for water

$\omega = 1000 \times 9.81 \ N/m^3$

$P = \omega h$

$39240 = (1000 \times 9.81) h$

$$h = \frac{39240}{1000 \times 9.81} = 4 \ m$$

b) for oil

$\omega_o = S \times \omega_w$

$= 0.9 (1000 \times 9.81) = 8829 \ N/m^3$

$P = \omega h$

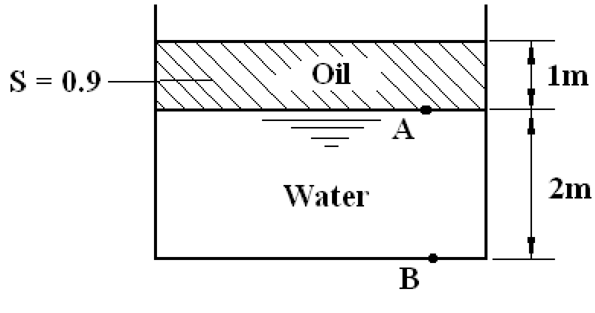
$$h = \frac{P}{\omega} = \frac{39240}{8829} = 4.4 \ m$$

مثال (4):

خزان يحتوي علي ماء لارتفاع 2 متر وفوقه زيت كثافته النســبية 0.9 لارتفاع 1 متر. أوجد الضغط:

أ) عند السطح الفاصل بين الماء والزيت

ب)عند قاع الخزان



Given:

$S_o = 0.9$

Req.:

a) P at A
b) P at B

Solution:

a) P at A

$= \omega_o \times h_o$

$= (S \times \omega_w) \times h_o$

$= (0.9 \times 1000) \times 1$

$= 900\ kg/m^2$

$= 900 \times 9.81 = 8829\ N/m^2$

b) P at B

$= \omega_w \times h_w + \omega_o \times h_o$

$= 1000 \times 2 + 900$

$= 2900\ kg/m^2$

$= 2900 \times 9.81 = 28449\ N/m^2$

التمرين الأول

1) احسب الضغط بوحدات $kPa, N/m^2$ عند نقطة تقع علي عمق 9 متر في مائع:

أ- إذا كان المائع ماء.

ب-إذا كان المائع سائل كثافته النسبية 0.8

(Ans. a- 88290 N/m^2, 88.29 kPa

b- 70632 N/m^2, 70.632 kPa)

2) خزان يحتوي علي ماء بعمق 1.2 متر وموضوع فوقه زيت كثافته النسبية 0.75 وبعمق 80سم. احسب الضغط:

أ- عن الحد الفاصل بين الماء والزيت

ب-عند قاع الخزان

(Ans. a- 5.886 kPa, b- 17.658 kPa)

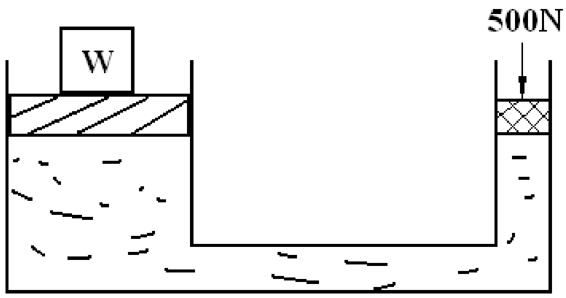
3) إذا علمت أن الضغط عند نقطة في مائع هو 4.9 نيوتن/متر مربع أو الضاغط بالمتر إذا كان المائع:

أ- ماء

ب-سائل كثافته النسبية 0.9

(Ans. a- 5m, b- 6.25m)

4) ضـاغط هيدروليكي قطر اسـطوانته الكبيرة 30 سـم وقطر مكبسـه الصـغير 4.5 سـم. احسـب الوزن الذي يمكن رفعه هذا الضـاغط إذا كانت القوة التي تؤثر علي مكبسـه هي 500 نيوتن.



(Ans.: 22.22 kN)

الضغط المطلق والضغط القياسي (المانومیتري):

Absolute and Gauge Pressure:

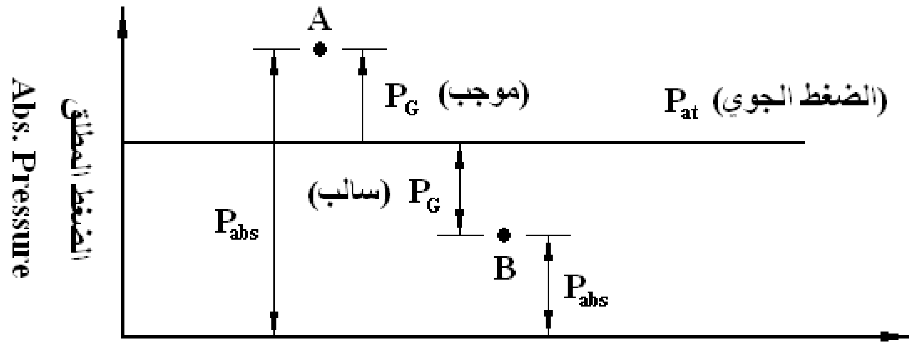
في الهيدروليكا يكون الأهم هو معرفة الفرق بين الضغط الموجود علي المائع والضغط الجوي وليس القيمة المطلقة للضغط ويسمي هذا الفرق بالضغط القياسي ويكون الضغط القياسي موجباً إذا كان أكبر من الضغط الجوي وسالباً إذا كان أقل من الضغط الجوي.

ويمكن أن نعبر عن ذلك رياضياً بالعلاقة التالية:

Gauge pressure = Absolute Pressure – Atmospheric Pressure

$P_G = P_{Abs} - P_{at}$

ونلاحظ من هذه المعادلة أن الضغط الجوي بالقراءات القياسية يساوي صفر. ولذلك فعند رسم العلاقة بين الضغوط السابقة يؤخذ الضغط الجوي علي أنه صفر المقياس بالنسبة للضغوط القياسية (المانوميترية)



ويلاحظ من الشكل أن الضغط القياسي عند النقطة A يكون موجباً لأنه أكبر من الضغط الجوي ولكن الضغط القياسي عند النقطة B يكون سالباً لأنه أقل من الضغط الجوي.

في حين أن الضغط المطلق لابد أن يكون موجباً دائماً.

الضغط الجوي Pat:

يقدر الضغط الجوي عند سطح البحر ودرجة حرارة 15 درجة مئوية بالقيم التالية:

$P_{at} = 1.033\ kg_f/cm^2$

$= 101.3\ kN/m^2$

$= 10.13\ N/cm^2$

وحيث أن الضغط يمكن العبير عنه بدلالة الارتفاع h من سائل معين ويسمي هذا الارتفاع h بالضاغط. فإن الضغط الجوي يعادل ضاغط قدره 10.33 m من المياه أو حوالي 76 cm من الزئبق.

مثال (1):

احسب الضغط الجوي بالــ kg/cm^2 إذا علمت أن الضاغط حوالي 76 سم زئبق وكثافته النسبية 13.6.

الحل

Given:

h = 76 cm

S = 13.6

Req.:

P_{at} = ????

Solution:

$\omega_{Hg} = S \times \omega_{water}$

$= 13.6 \times 1000 = 13600\ kg/m^3 = \frac{13600}{10^6}\ kg/cm^3$

$P_{at} = \omega \times h$

$= \frac{13600}{10^6} \times 76 = 1.033\ kg/cm^3$

مثال (2):

احسـب الضـغط القياسي والضـغط المطلق بوحدات N/m^2 لنقطة علي عمق 3 متر من سطح سائل كثافته $1.53 \times 10^3\ kg/m^3$

Given:

$h = 3\ m$

$P_L = 1.53 \times 10^3\ kg/m^3$

Req.:

1) P_G
2) P_{abs}

Solution:

1) $P_G = \omega \times h$

$= (\rho \times g) \times h$

$= 1.53 \times 10^3 \times 9.81 \times 3$

$= 45028\ N/m^2$

2) $P_{at} = 10.13\ N/cm^2 = 10.13 \times 10^4\ N/m^2$

$= 101300\ N/m^2$

$P_{abs} = P_G + P_{at}$

$= 45028 + 101300$

$= 146328\ N/m^2$

الفصل الثاني

أجهزة قياس الضغط

الهدف العام: التعرف على أجهزة قياس الضغط

الأهداف:

1. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالمانومترات Manometers
2. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالمانومترات البسيطة Simple manometers
3. ان يتعرف الطالب ما المقصود بأنبوبة بيزومتر
4. ان يتعرف الطالب ما المقصود بأنبوبة حرف U لقياس الضغط: U-tube manometer
5. ان يتعرف الطالب ما المقصود بأنبوبة حرف U لقياس ضغط قياس موجب
6. ان يتعرف الطالب ما المقصود باستخدام أنبوبة حرف U لقياس ضغط قياسي سالب
7. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالمانوميترات الفرقية Differential manometers
8. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالمانوميتر الفرقي على شكل حرف U
9. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالمانوميتر الفرقي على شكل حرف U مقلوب Inverted U-tube differential manometer
10. ان يتعرف الطالب ما المقصود بأجهزة قياس الضغط الميكانيكية Mechanical Gauges

الفصل الثاني

أجهزة قياس الضغط

يمكن قياس الضغط لمائع (سائل أو غاز) باستخدام أجهزة قياس الضغط التالية:

1- المانومترات Manometers

وفيها يستخدم الأنابيب الرفيعة لقياس الضغط وهي تنقسم إلي نوعين:

أ- المانومترات البسيطة Simple manometers

ب-المانومترات الفرقية Differentail manometers

2- أجهزة قياس الضغط الميكانيكية:

وهي عبارة عن أجهزة خاصة تستخدم في قراءة ضغط المائع مباشرة مثل مقياس بوردن Bourdon Gauge.

أولاً: المانومترات Manometers:

أ- المانومترات البسيطة Simple manometers:

المانومتر البسيط عبارة عن أنبوبة رفيعة يتصل أحد طرفيها بالنقطة المراد قياس الضغط عندها والطرف الآخر يكون مفتوح للضغط الجوي وارتفاع السائل في الأنبوبة الرفيعة يعطي قيمة الضغط المراد قياسه وذلك باستعمال القانون التالي:

$$P = \omega \times h$$

حيث أن P هو الضغط بوحدات N/m^2

ω هو الوزن النوعي للسائل بوحدات N/m^3

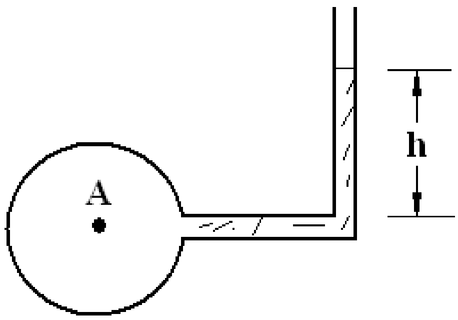
h الضاغط بوحدات m.

والأنواع الشائعة للمانومترات البسيطة هي:

1- أنبوبة بيزومتر Biezometer – tube

2- أنوبة علي شكل حرف U لقياس ضغط السوائل والغازات.

1- أنبوبة بيزومتر:

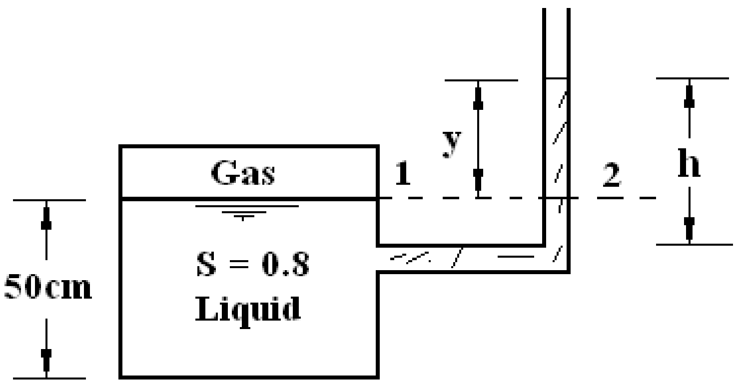


وهي تعتبر من أبسط أنواع أجهزة قياس الضغط وتستخدم لقياس ضاغط السوائل إلي حوالي 2 متر (كما هو مبين بالشكل) حيث يتصل أحد طرفي الأنبوبة البيزومترية الرفيعة بالنقطة المراد قياس الضغط عندها ولتكن A ويكون طرفها الآخر مفتوح للضغط الجوي وبالتالي فإن الضغط عند نقطة A يمكن الحصول عليه من المعادلة:

$$P_A = \omega \times h$$

مثال (1):

أنبوبة بيزومترية متصلة بسائل في خزان بحيث كان ارتفاع السائل في الخزان 50 سم وفوقه غاز ضغطه 1.05 كجم/سم^2 (مطلق) والكثافة النسبية للسائل 0.8. احسب ارتفاع السائل في أنبوبة البيزومتر عن قاع الخزان.



Given:

Abs. P_{gas} = 1.05 kg/cm^2

S_{Liquid} = 0.8

Req.:

h = ???

Solution:

P_{Gauge} for gas = $P_{ab} - P_{at}$

= 1.05 – 1.033

= 0.017 kg/cm^2

= 0.017 × 10^4 kg/m^2

= 170 kg/m^2

0.017 = $\omega_L \times y$

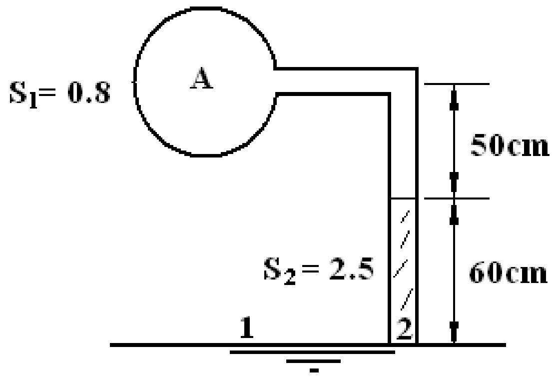
170 = (1000 × 0.8) × y

y = $\frac{170}{1000 \times 0.8} \cong 0.21$ m $\cong 21$ cm

$\therefore$ h $\cong 21 + 50 \cong 71$ cm

مثال (2):

في الشكل المبين أوجد الضغط القياسي والضغط المطلق والضاغط عند نقطة A.



Given:

$S_1 = 0.8$

$S_2 = 2.5$

Req.:

1- h at A

2- P_G at A

3- P_{abs} at A

Solution:

1) $P_1 = P_2$

$0 = (\omega_1 \times 0.6) + (\omega_2 \times 0.5) + P_A$

$0 = (1000 \times 2.5\ 0.6) + (1000 \times 0.8 \times 0.5) + P_A$

$0 = 1500 + 400 + P_A$

$P_A = -1900\ kg/m^2 = -18639\ N/m^2$

P_{Gauge} at A $= -18639\ N/m^2$

2) $P_{abs} = P_G + P_{at}$

$= - 18639 + 101.3 \times 10^3$

$= 82661\ N/m^2$

3) $P = \omega \times h$

$-1900 = 1000 \times 0.8 \times h$

$h = - 2.375\ m$

ملحوظة:

عندما يطلب الضـــاغط لا نعوض عن قيمة الوزن النوعي للماء ففي المثال الســـابق يمكن إيجاد الضـــاغط عند نقطة A مباشرة وذلك بدون أن نعوض عن قيمة الوزن النوعي للماء كما يلي:

$P_1 = P_2$

$0 = (\omega_1 \times 0.6) + (\omega_2 \times 0.5) + P_A$

$0 = (\omega_w \times S_2 \times 0.6) + (\omega_w \times S_1 \times 0.5) + (\omega_w \times S_1 \times h_A)$

وبالقسمة علي ω_w نحصل علي:

$0 = (S_2 \times 0.6) + (S_1 \times 0.5) + (S_1 \times h_A)$

$0 = 2.5 \times 0.6 + 0.8 \times 0.5 + 0.8 \times h_A$

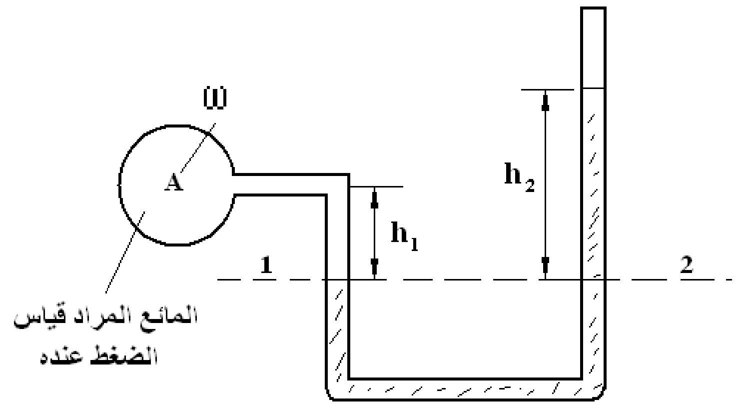
$h_A = -2.375\ m$

2) أنبوبة حرف U لقياس الضغط: U-tube manometer:

وهي عبارة عن أنبوبة رفيعة علي شـــكل حرف U يتصـــل أحد طرفيها بالنقطة المراد قياس الضغط عندها والطرف الآخر يكون معرضاً للضغط الجوي. وفي أغلب الأحيان يستخدم الزئبق في هذه الأنبوبة الكبيرة أو يمكن استخدام أي سائل آخر يكون كثافته النسبية أعلي من الكثافة النسبية للسائل المراد الضغط عنده.

أ- أنبوبة حرف U لقياس ضغط قياس موجب:

ويقصد بالضغط القياسي الموجب أن قيمته أكبر من قيمة الضغط الجوي وبالتالي يتحرك الزئبق في الطرف المعرض للضغط الجوي لأعلي كما هو موضح بالشكل.



وحيث أن الضغوط تكون متساوية عند نفس المستوي الأفقي 2-1 فإن:

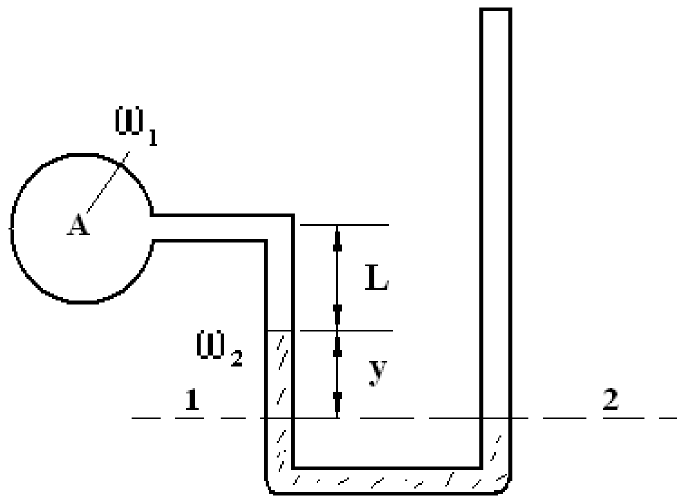
$P_1 = P_2$

$P_A + \omega_1 h_1 = \omega_2 h_2$

$P_A = \omega_2 h_2 - \omega_1 h_1$

ب- استخدام أنبوبة حرف U لقياس ضغط قياسي سالب:

ويقصد بالضغط القياسي السالب بأن قيمته تكون أقل من الضغط الجوي ولذلك فإن الزئبق في الطرف المعرض للضغط الجوي يتحرك لأسفل كما هو موضح بالشكل التالي:



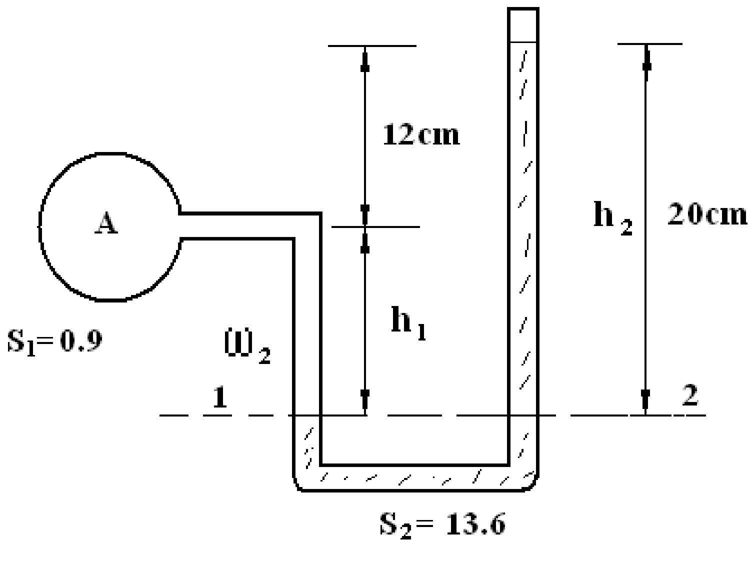
$P_1 = P_2$

$P_A + \omega_1 L + \omega_2\, y = 0$

$P_A = -(\omega_2\, L + \omega_1 y)$

مثال (1):

أنبوبة علي شكل حرف U تستخدم لقياس الضغط عند نقطة في أنبوبة بها سائل كثافته النسبية 0.9 كما هو موضح بالرسم. والمطلوب حساب الضغط عند نقطة A بوحدات البار إذا كان الفرق في منسوب الزئبق الموجود بالمانومتر 20 سم.



Given:

$S_1 = 0.9$

$h_1 = 20 - 12 = 8$ cm

$= 0.08$ m

$h_2 = 20$ cm $= 0.2$ m

Req.:

$P_A = ????$

Solution:

$P_1 = P_2$

$P_A + \omega_1 h_1 = \omega_2 h_2$

$P_A + (0.9 \times 1000)(0.08) = (13.6 \times 1000)(0.2)$

$P_A + 72 = 2720$

$P_A = 2720 - 72 = 2648\ kg/m^2$

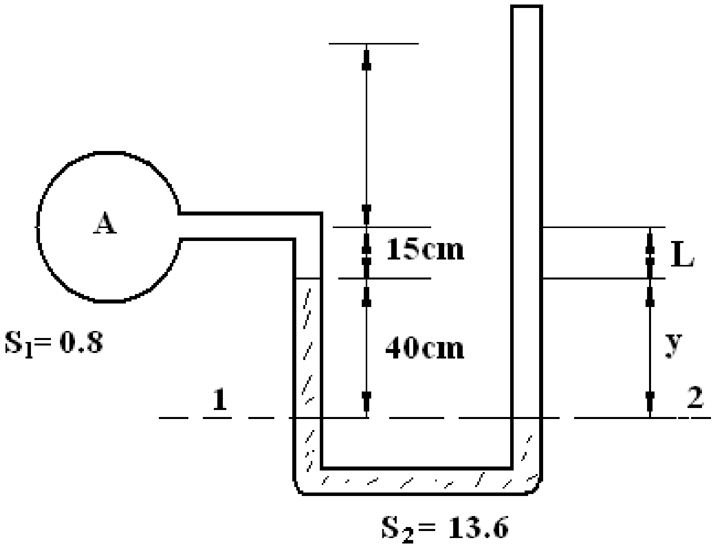
Or

$P_A = 2648 \times 9.81 \cong 25977\ N/m^2$

P_A in bar $= \frac{25977}{10^5} = 0.26$ bar

مثال (2):

أنبوبة مانوميترية علي شكل حرف U تستخدم لقياس الضغط في سائل كثافته النسبية 0.8 فإذا كان الفرق في منسوب الزئبق 40 سم كما هو موضح بالرسم، احسب الضغط عند نقطة A بالكيلو بسكال وبالبار.



Given:

y = 40 cm = 0.4 m

L = 15 cm = 0.15 m

$S_1 = 0.8$

$S_2 = 13.6$

Req.:

$P_A = ????$

Solution

$P_1 = P_2$

$\omega_1 L + \omega_2\ y = 0$

$P_A + (0.8 \times 1000)\ (0.15) + (13.6 \times 1000)\ (0.4) = 0$

$P_A + 120 + 5440 = 0$

$P_A + 5560 = 0$

$P_A = -5560\ kg/m^2$

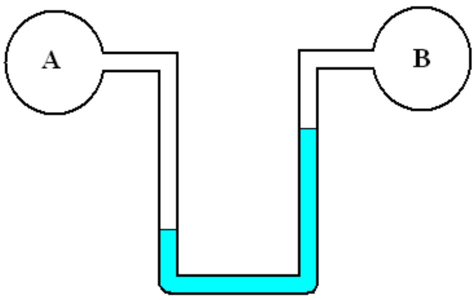
$= -5560 \times 9.81 \cong -54544\ N/m^2$

P_A in kPa = $\frac{-54544}{1000}$ = 54.544 kPa

P_A in bar = $\frac{-54544}{10^5} \cong$ - 0.55 bar

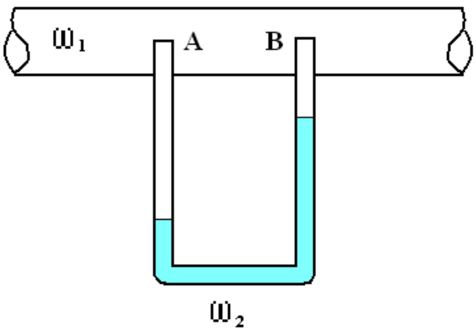
ب- المانوميترات الفرقية Differential manometers:

تستخدم المانوميترات الفرقية عند قياس فرق الضغط بين نقطتين داخل أنبوبة واحدة أو نقطتين في أنبوبتين مختلفتين. ويتكون المانوميتر الفرقي من أنبوبة حرف U تحتوي علي زئبق غالباً أو علي سائل كثافته النسبية أكبر من الكثافة النسبية للسائل المراد قياس فرق الضغط عند نقطتين فيه كما هو موضح بالرسم:



$P_A > P_B$

قياس فرق الضغط بين نقطتين في أنبوبتين مختلفتين



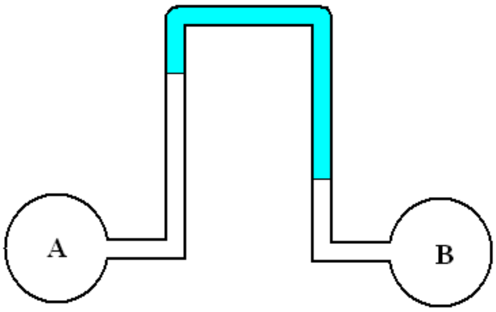
$P_A > P_B$

قياس فرق الضغط بين نقطتين في أنبوبة واحدة

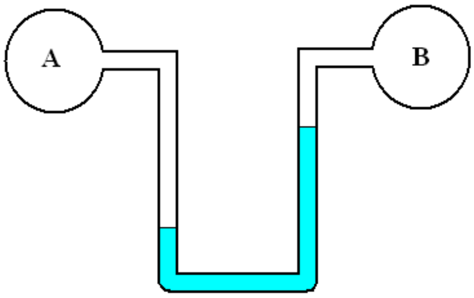
وهناك نوعان شائعان للمانوميترات الفرقية:

1) مانوميتر فرقي علي شكل حرف U

2) مانوميتر فرقي علي شكل حرف U مقلوب.

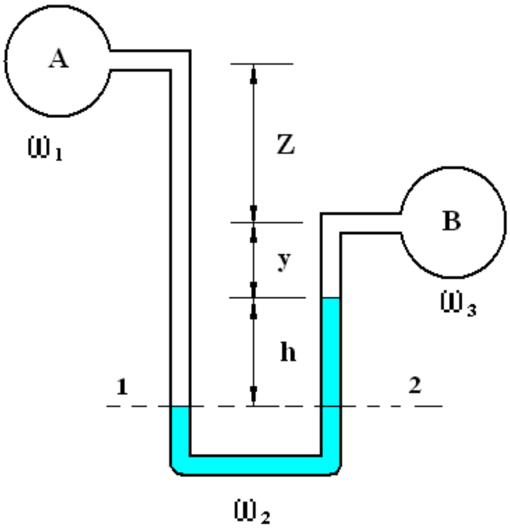


مانوميتر علي شكل حرف U مقلوب



مانوميتر علي شكل حرف U

أولاً: المانوميتر الفرقي علي شكل حرف U:



لإيجاد فرق الضـــغط بين نقطتين A, B الموجودتان في أنبوبتين مختلفتين بهما ســـائلان مختلفان. نأخذ مستوي المقارنة الأفقي عند المسـتوي 2-1 حيث الضـغط عندهما يكون متســاوي والفرق في منســوب الزئبق في المانوميتر الفرقي هو h والفرق في المنســوب بين النقتطين A, B هو Z والفرق بين منســوب النقطة B ومنســوب ســطح الزئبق في الأنبوبة المتصلة بها هو y فإن:

$$P_1 = P_2$$

$$P_A + \omega_1 (h + y + Z) = P_B + \omega_3\, y + \omega_2\, h$$

$$P_A + \omega_1 h + \omega_1 y + \omega_1 Z = P_B + \omega_3\, y + \omega_2\, h$$

$$P_A - P_B = y(\omega_3 - \omega_1) + h(\omega_2 - \omega_1) - \omega_1 Z$$

أما إذا كان الســـائل في الأنبوبتين A, B من نفس النوع فإن $\omega_3 = \omega_1$ وتصـــبح المعادلة السابقة علي الصورة التالية:

$$P_A - P_B = + h(\omega_2 - \omega_1) - \omega_1 Z$$

وفي هذه الحالة يمكن إيجاد فرق الضـاغط بين النقطتين A, B بالقســمة علي الوزن النوعي للسائل الموجود فيهما حيث أنه سائل واحد.

ونحصل علي فرق الضاغط من المعادلة التالية:

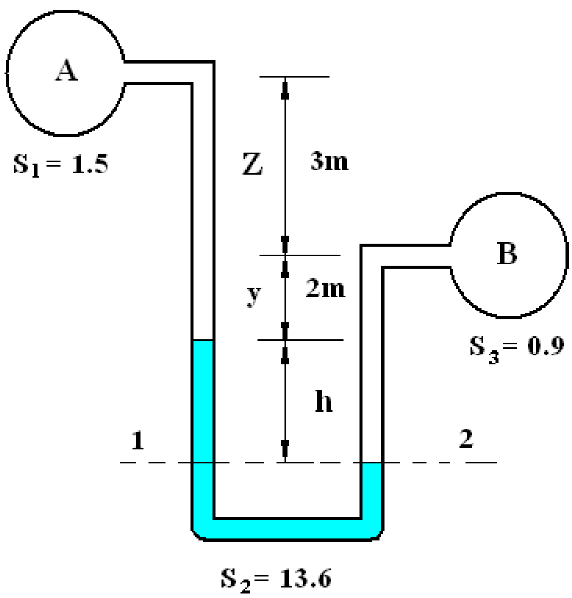
$$h_A - h_B = \frac{P_A - P_B}{\omega_1}$$

$$= \frac{h(\omega_2 - \omega_1)}{\omega_1} - \frac{\omega_1 Z}{\omega_1}$$

$$h_A - h_B = h\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right) - Z$$

مثال (1):

أنبوبة فرقية علي شــكل حرف U متصــلة بالنقطتين A, B في أنبوبتين مختلفتين فإذا كانت الكثافة النســبية للســائل عند نقطة A هي 1.5 والكثافة النســبية للســائل عند نقطة B هي 0.9 وفرق الضـغط بين النقطتين A, B هي 0.8 كجم/سم^2. أوجد الفرق في منسوب الزئبق في المانوميتر الفرقي.



Given:

$S_1 = 1.5$

$S_2 = 13.6$

$S_3 = 0.9$

$P_B - P_A = 0.8\ kg/cm^2$

$= 0.8 \times 10^4\ kg/m^2$

$= 8000\ kg/m^2$

Req.:

h = ???

Solution:

$P_1 = P_2$

$P_A + \omega_1 (2 + 3)\ \omega_2 h = P_B + \omega_3 (h + 2)$

$P_B - P_A = 5\omega_1 + \omega_2 h - \omega_3 (h + 2)$

$8000 = 5(1000 \times 1.5) + (13.6 \times 1000)\ h - (0.9 \times 1000)\ (h + 2)$

$8000 = 7500 + 13600\ h - 900\ h - 1800$

$8000 - 7500 + 1800 = 12700\ h$

$2300 = 12700\ h$

$h = \frac{2300}{12700} \cong 0.18m \cong 18cm$

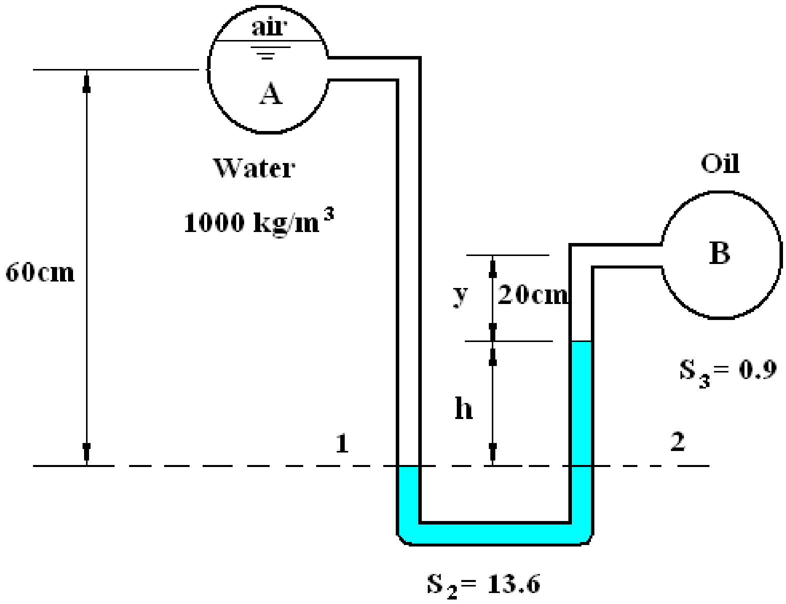
مثال (2):

مانوميتر فرقي علي شــكل حرف U متصــل بالنقطتين A, B كما هو موضــح بالشــكل فإذا علمت أن ضغط الهواء في الأنبوبة A هو 9.81 نيوتن/سم^2 أوجد الضغط عند النقطة B:

أ- بوحدات N/m^2

ب-بوحدات kPa

ت-بوحدات bar



Given:

P_B = 9.81 N/cm²

$= \frac{9.81 \times 10^4}{9.81}$ kg/m²

Req.:

P_B = ????

Solution

$+ P_A + \omega_w \times 0.6 = P_B + \omega_2 \times 0.10 + \omega_3 \times 0.2$

$10000 + 1000 \times 0.6 = P_B + (13.6 \times 1000) \times 0.10 + (0.9 \times 1000) \times 0.2$

$10600 = P_B + 1360 + 180$

$P_B = 9060$ kg/m²

P_B in N/m² = 9060 × 9.81 = 88878.6 N/m²

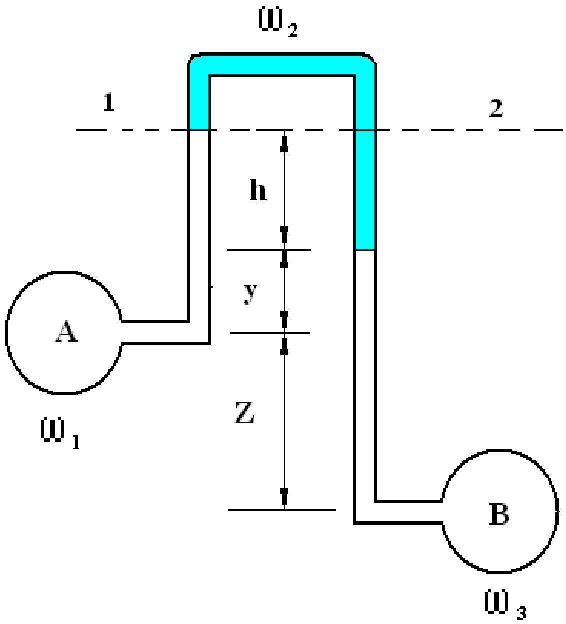
P_B in kPa = $\frac{88878.6}{1000} \cong 88.9$ kPa

P_B in bar = $\frac{88878.6}{10^5} \cong 0.89$ bar

ثانياً: المانوميتر الفرقي علي شكل حرف U مقلوب:

Inverted U-tube differential manometer:

يتكون هذا المانوميتر الفرقي المقلوب من أنبوبة علي شــكل حرف U مقلوبة وتحتوي علي سائل خفيف أي أن كثافته النسبية منخفضة ويتم توصيل طرفي الأنبوبة بالنقطتين المراد قياس فرق الضغط بينهما ويستخدم هذا المانوميتر الفرقي في حالة الضغوط المنخفضة، كما هو موضح بالشكل التالي:



من الشكل السابق نلاحظ أن الضغوط عند نفس المستوي الأفقي 2-1 تكون متساوية.

$$P_1 = P_2$$

$$P_A - \omega_1 (h + y) = P_B - \omega_3 (y + Z) - \omega_2 (h)$$

$$P_A - P_B = \omega_1 (h + y) - \omega_3 (y + Z) - \omega_2 (h)$$

$$= h (\omega_1 - \omega_2) + y (\omega_1 - \omega_3) - \omega_3 Z$$

وفي حالة ما إذا كان السـائل عند A هو نفس السـائل عند B أي أن $\omega_3 = \omega_1$ فإن المعادلة السابقة يمكن صياغتها علي الصورة التالية:

$$P_A - P_B = h (\omega_1 - \omega_2) - \omega_3 Z$$

مثال (1):

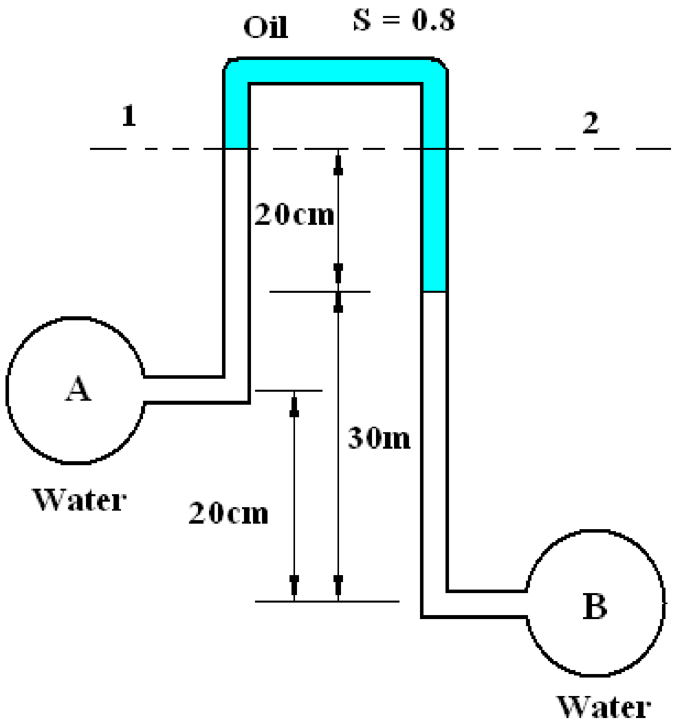
مانوميتر علي شـــكل حرف U مقلوب يتصـــل بنقطتين A, B في ماســـورتين بهما ماء فإذا علمت أن ســـائل المانوميتر هو زيت كثافته النســـبية 0.8 وكانت القراءات كما هو موضـــح بالشكل.

أوجد فرق الضغط بين النقطتين A, B؟

أ- بوحدات N/m^2

ب-بوحدات kPa

ت-بوحدات bar



Given:

$S_o = 0.8$

h = 30 cm = 0.3 m

Z = 20 cm = 0.2 m

Req.:

$P_A - P_B = ???$

Solution

$P_1 = P_2$

$P_A - \omega_w \times 0.3 = P_B - \omega_w \times 0.3 - \omega_o \times 0.2$

$P_A - 300 = P_B - 300 - 160$

$P_A - 300 = P_B - 460$

$P_B - P_A = 460 - 300 = 160 \text{ kg/m}^2$

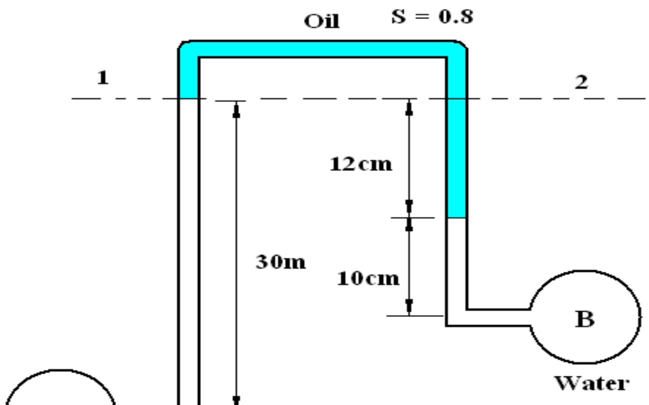
$\Delta P \text{ in N/m}^2 = 160 \times 9.81 = 1569.6 \text{ N/m}^2$

$\Delta P \text{ in kPa} = \frac{1569.6}{1000} = 1.57 \text{ kPa}$

$\Delta P \text{ in bar} = \frac{1569.6}{10^5} \cong 0.0157 \text{ bar}$

مثال (2):

أنبوبتان مختلفتان يحتويان علي ماء واستخدام مانوميتر فرقي مقلوب لقياس فرق الضغط بين النقطتين A, B عليها بالترتيب وكان المائع في المانوميتر الفرقي هو زيت كثافته النسبية 0.8 وكان الضاغط عند نقطة A هو 2 متر ماء. أوجد الضاغط والضغط بالبار عند النقطة B إذا كانت القراءات علي المانوميتر كما هي موضحه بالشكل.



Given:

$h_A = 2$ m

Req.:

1) h_B
2) P_B in bar

Solution:

$P_1 = P_2$

$P_A - \omega_w \times 0.3 = P_B - \omega_w \times 0.10 - \omega_o \times 0.12$

$\omega_w \times h_A - \omega_w \times 0.3 = \omega_w \times h_B - \omega_w \times 0.10 - (\omega_w \times 0.8) \times 0.12$

بالقسمة علي ω_w ينتج أن:

$h_A - 0.3 = h_B - 0.1 - 0.8 \times 1.2$

$h_A - 0.3 = h_B - 0.1 - 0.196$

$h_A - h_B = 0.3 - 0.196 = 0.104$ m

$2 - h_B = 0.104$

$h_B = 2 - 0.104 = 1.896$ m

$P_A = \omega_B \times h_B$

$= 1000 \times 1.896 = 1896$ kg/m^2

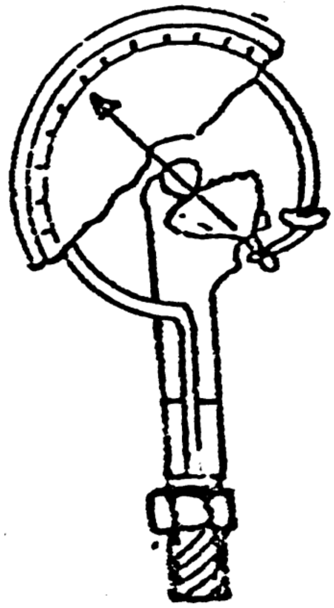
P_B in N/m^2 = $1.896 \times 9.81 \cong 8600$ N/m^2

P_B in bar = $\frac{18600}{10^5} = 0.186$ bar

ثانياً: أجهزة قياس الضغط الميكانيكية

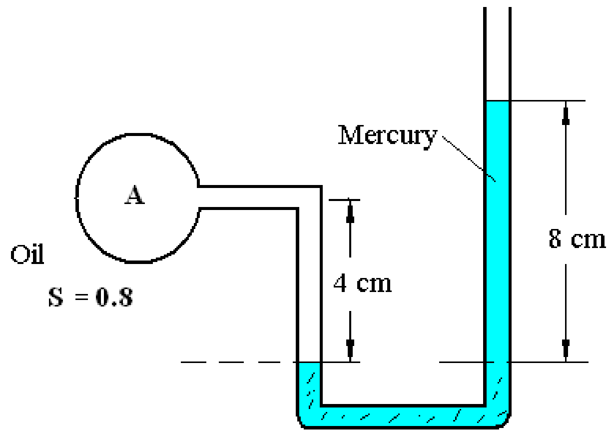
Mechanical Gauges

تستخدم أجهزة قياس الضغط الميكانيكية في قياس ضغط المائع سواء كان أكبر أو أقل من الضـــغط الجوي ومن أكثر هذه الأجهزة اســـتعمالاً هو مقياس بوردن Bourdon tube pressure gauge، وهو عبارة عن أنبوبة معدنية منحنية علي شـــكل قوس من دائرة ومجوفة وإحدي نهايتيها مسدودة وعندما تتصل الأنبوبة بالمائع المراد قياس ضغطه فإن المائع يندفع إلي داخل الأنبوبة تحت تأثير ضــغطه مما يؤدي إلي تحرك الطرف المســدود إلي الخارج وتنتقل هذه الحركة علي المؤشر بواسطة مجموعة من التروس فنستطيع بذلك أن نحدد قراءة الضـــغط للمائع. ويختلف مدي قراءة الجهاز علي ســـمك الجدار ونوع الســبيكة المعدنية المصــنوع منها الأنبوبة. وهذا النوع من أجهزة قياس الضــغط يجب أن يتم معايرته دائماً باستخدام وسائل أخرى.



التمرين الثاني

1) مانوميتر بسيط يحتوي علي زئبق يستعمل لتحديد ضغط سائل داخل أنبوبة سائل كثافته النسـبية 0.8. احسـب ضـغط السـائل بالبار إذا كانت القراءات موضـحه بالشكل التالي:

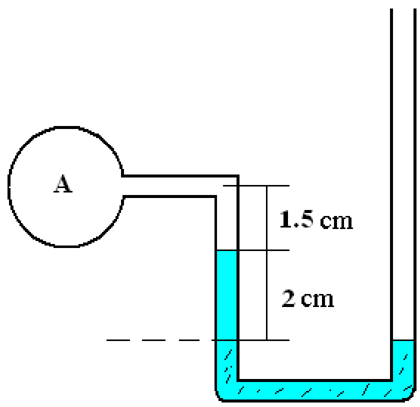


Ans.: 0.104 bar

مانوميتر بسـيط علي شـكل حرف U يحتوي علي زئبق تم توصـيله بنقطة في أنبوبة – يسري داخلها زيت كثافته النسـبية 0.8. أحسـب الضـغط عند هذه النقطة إذا كانت القراءات موضحه بالشكل التالي وذلك بوحدات

أ- N/cm^2

ب- bar



Ans.: $-27.86\ N/cm^2$, -2.786 bar

2) مانوميتر فرقي علي شكل حرف U يحتوي علي زئبق يستخدم في قياس فرق الضغط بين نقطتين A, B في أنبوبة يسري فيها سائل كثافته النسبية 0.8 وكان فرق منسوب الزئبق 20سم. أوجد الفرق في الضغط بين النقطتين A, B

أ – بوحدات N/m^2

ب- بوحدات kPa

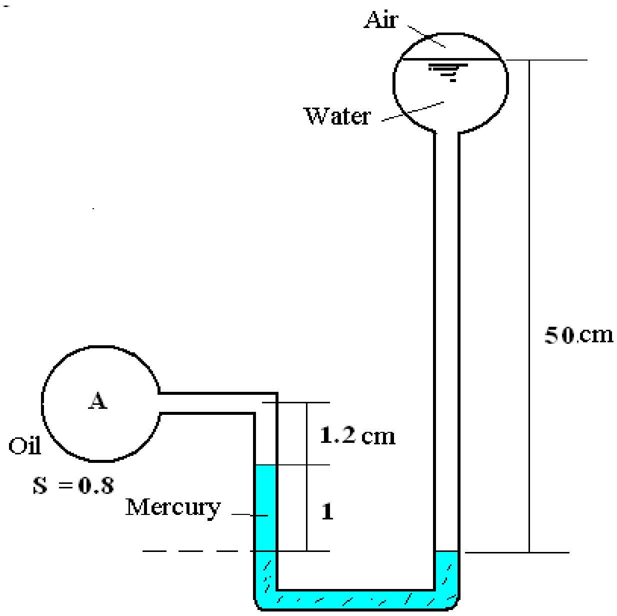
ج - بوحدات bar

Ans.: 25113.6 N/m^2 , 25.1 kPa, 0.25 bar

3) مانوميتر فرقي علي شـكل حرف U تم توصـيله بنقطتين A, B في أنبوبتين مختلفتين أحداهما ، يسرـي فيها ماء والآخرى يسرـي فيها زيت كثافته النســبية 0.8 فإذا كان الضـغط عند نقطة B هو 7.848 نيوتين/سـم^2. احسـب الضـغط عند نقطة A علماً بأن القراءات موضحه بالشكل التالي وذلك

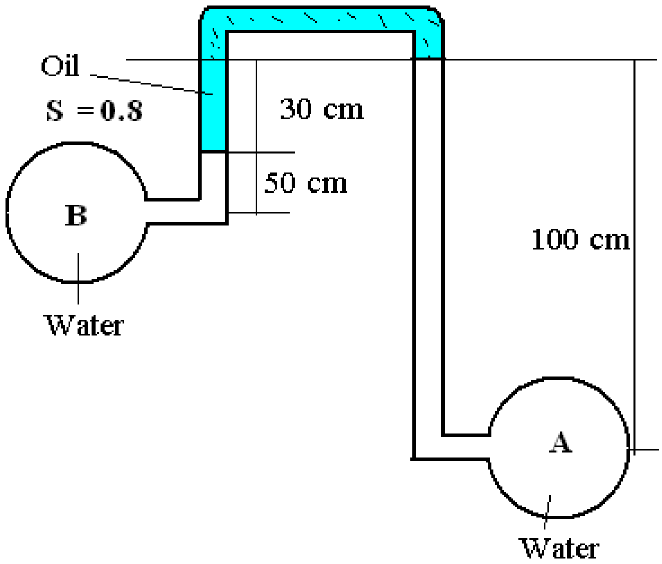
أ- N/cm^2

ب- bar



Ans.: 6.91 N/m^2, 0.691 bar

4) أوجد فرق الضـــاغط بين النقطتين A, B علماً بأن القراءات موضـــحه بالشـــكل والأنبوبتان يسري فيها ماء والسائل في المانوميتر هو زيت كثافته النسبية 0.8



Ans.: 0.26 m of water

الفصل الثالث

الضغط الكلي على السطوح الصلبة المغمورة

Total Pressure

الهدف العام: التعرف على الضغط الكلي على السطوح الصلبة المغمورة

الأهداف:

1. ان يتعرف الطالب ما المقصود بقوة الضغط الكلي على سطح مستوي مائل Inclined Plane
2. ان يتعرف الطالب ما المقصود بمركز الضغط "Center of pressure "C
3. ان يتعرف الطالب ما المقصود بقوة الضغط في حالة السطح الرأسي Vertical Plane
4. ان يتعرف الطالب ما المقصود بقوة الضغط (الضغط الكلي) في حالة السطح الأفقي Horizontal Plane
5. ان يتعرف الطالب ما المقصود بقوة الضغط على السطوح المنحنية Total pressure on the curved surface
6. ان يتعرف الطالب كيفية حساب المركبة الأفقية FH لقوة الضغط على سطح منحني
7. ان يتعرف الطالب ما المقصود كيفية حساب المركبة الرأسية FV لقوة الضغط على سطح منحني:

الفصل الثالث

الضغط الكلي على السطوح الصلبة المغمورة

Total Pressure

يمكن تعريف الضـــغط الكلي بأنه قوة الضـــغط التي يؤثر بها المائع علي أي ســـطح مغمور ســـواء كان مســـتوياً أو منحنياً وتؤثر هذه القوة دائماً في اتجاه عمودي علي الســـطح ولذلك فإن الضغط الكلي يسمي أحياناً بقوة الضغط.

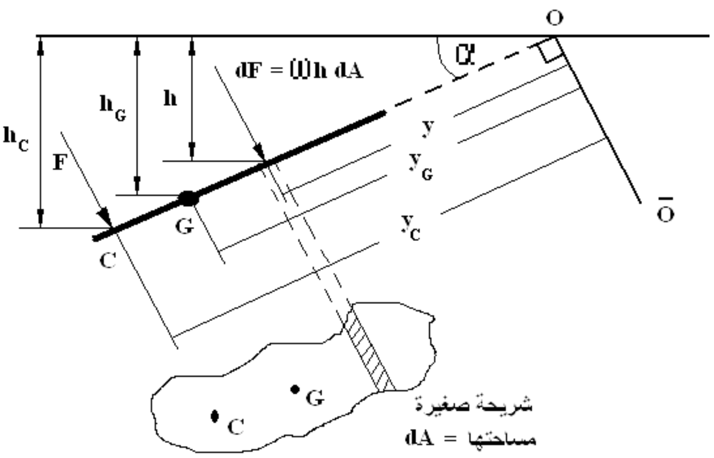
والسطح المستوي قد يأخذ أحد الأوضاع التالية:

1) سطح مستوي أفقي
2) سطح مستوي رأسي
3) سطح مستوي مائل

ولدراسة قوة الضغط في الحالات الثلاث السابقة سندرس الوضع العام لهذه الحالات وهي السطح المائل.

أولاً: قوة الضغط الكلي علي سطح مستوي مائل Inclined Plane:

ولتحديد الضغط الكلي أو قوة الضغط علي سطح مستوي مائل ومغمور في سائل سنفرض أن هناك سطح مستوي مائل بزاوية α مع السطح الحر للسائل كما هو موضح بالرسم.



وسنفرض أن مركز مساحة السطح المستوي المائل هي النقطة G وأن نقطة تأثير الضغط الكلي علي السطح المائل (أو نقطة تأثير قوة الضغط) هي النقطة C. وحيث أنه من المعروف أن الضغط يتزايد بزيادة العمق فإن نقطة تأثير قوة الضغط C والتي تسمي بمركز الضغط لابد وأن تكون أسفل مركز المساحة G. وإذا أخذنا شريحة صغيرة من السطح المستوي ولتكن مساحتها "dA" وعلي عمق h وتبعد عن نقطة تقاطع امتداد السطح المائل بالسطح الحر للسائل أي عند نقطة O بمسافة y.

فإن القوة المؤثرة علي هذه الشريحة هي:

dF = P . dA

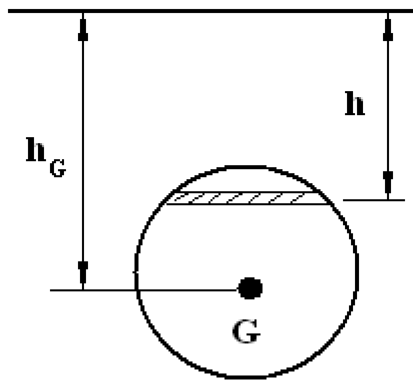
= ω h . dA

ويمكن إيجاد قوة الضغط الكلية F والتي تؤثر علي السطح المائل وذلك بإجراء التكامل للمعادلة السابقة، فنحصل علي العلاقة التالية:

$F = \int \omega h . dA$

$= \omega \int h . dA \qquad (1)$

ولكن من تعريف المساحة وكما هو واضح بالشكل التالي:



فإن مجموع حاصل ضرب المساحات الصغيرة × بعدها عن خط تساوي حاصل ضرب المساحة الكلية × بعد مركز المساحة عن نفس الخط، أي أن:

$$\int dA.h = A.h_G \qquad (2)$$

وبالتعويض بالمعادلة (2) في المعادلة (1) نحصل علي قانون قوة الضغط علي الصورة التالية:

$F = \omega \cdot A \cdot h_G$

Or

$F = P_G \cdot A$

حيث أن:

F هو قوة الضغط الكلية علي السطح بوحدات N.

ω هو الوزن النوعي للسائل بوحدات N/m^3.

A هي مساحة السطح المعرض للضغط فقط بوحدات m^2.

h_G هو عمق مركز مساحة السطح المعرض عن سطح السائل الحر بوحدات m.

P_G هو الضغط عند مركز المساحة G بوحدات N/m^2.

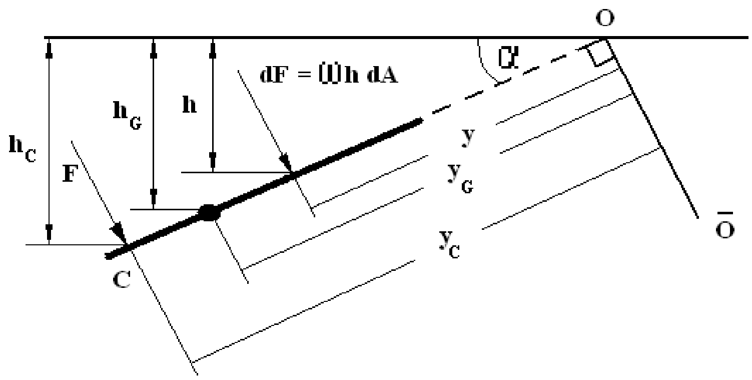
مع العلم بأن

$P_G = \omega \cdot h_G$

مركز الضغط "Center of pressure "C:

يعرف مركز الضـغـط "C" بنقطة تأثير قوة الضـغـط (الضـغـط الكلي) لسـائل علي السـطح الصلب المغمور في هذا السائل.

ولتحديد هذه النقطة نأخذ عزوم القوي حول خط تقاطع مسـتوي السـطح الصـلب مع مستوي السطح الحر للسائل أي المستوي $O\bar{O}$ كما هو موضح بالشكل.



F × y_C = $\int dF.y$

ω . A . h_G . y_C = $\int \omega.h.dA.y$

وحيث أن:

$$\sin\alpha = \frac{h}{y} = \frac{h_G}{y_G} = \frac{h_C}{y_C}$$

$$\therefore\ \omega.A.(y_G.\sin\alpha).y_C = \omega\int(y.\sin\alpha).dA.y$$

بقسمة طرفي المعادلة علي $\omega.\sin\alpha$

$$\therefore .A.y_G.y_C = \int dA.y^2 \qquad (3)$$

ويعرف المقدار $\int dA.y^2$ بعزم القصـور الذاتي للسـطح الصـلب حول المحور $O\bar{O}$ ويرمز له بالرمز I_o أي أن:

$$I_o = \int dA.y^2$$

وبناءاً علي نظرية المحاور المتوازية يمكن التعبير عن عزم القصـــور الذاتي I_o حول المحور $O\bar{O}$ بالمقدار التالي:

$I_o = I_G + A \cdot y^2_G$

حيث أن:

I_o هو عزم القصور الذاتي للمساحة حول المحور $O\bar{O}$

I_G هو عزم القصور الذاتي للمساحة حول المحور الذي يمر بمركز ثقل المساحة G

A هي المساحة المعرضة فقط لضغط السائل

y_G هي البعد بين مركز المســاحة G ونقطة تقاطع إمتداد الســطح المائل بســطح السائل الحر أي النقطة O.

وبناءاً علي ما سبق فإن المعادلة رقم (3) يمكن كتابتها علي الصورة التالية:

$A \cdot y_G \cdot y_C = I_o$

$= I_G + A \cdot y^2_G$

ويمكن تحديد بعد مركز الضــغط "C" عن نقطة تقاطع امتداد الســطح المائل بالســطح الحر للسائل "O" والذي يرمز له بالرمز y_C

من المعادلة الســابقة وذلك بقســمة طرفي المعادلة علي المقدار $A \cdot y_G$ فنحصــل علي العلاقة التالية:

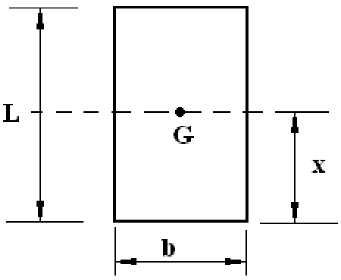
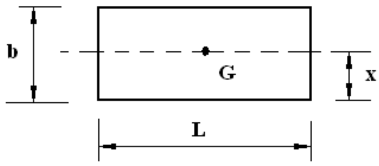
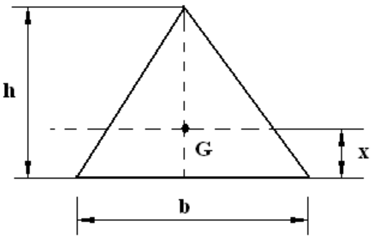
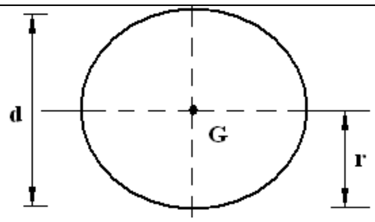
$$y_C = \frac{T_G}{A.y_G} + y_G$$

حيث أن y_G هي بعد مركز المســاحة "G" عن النقطة O وهي نقطة تقاطع امتداد الســطح المائل مع السطح الحر للسائل.

وكذلك يمكن تحديد المسافة بين النقطتين C وهي مركز قوة الضغط والنقطة G وهي مركز المساحة المغمورة في السائل من المعادلة التالية:

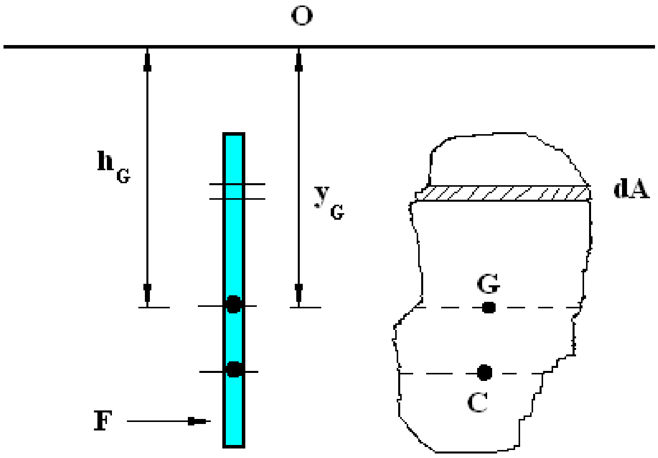
$$CG = y_C - y_G = \frac{T_G}{A.y_G} = \frac{T_G.\sin\alpha}{A.h_G}$$

والجدول التالي يبين عزم القصـــور الذاتي I_G حول المحور الذي يمر بمركز المســـاحة G والذي يوازي القاعدة لبعض الأشكال الهندسية.

	الشكل الهندسي		I_G	بعد مركز الثقل G عن قاعدة الشكل
1	المستطيل Rectangle		$\frac{B.L^3}{12}$	$x=\frac{L}{2}$
			$\frac{L.B^3}{12}$	$x=\frac{B}{2}$
2	المثلث Triangle		$\frac{b.h^3}{36}$	$x=\frac{h}{3}$
3	الدائرة Circle		$\frac{\pi.d^4}{64}\ or\ \frac{\pi.r^4}{4}$	$x=r=\frac{d}{2}$

ثانياً: قوة الضغط في حالة السطح الرأسي Vertical plane:

في حالة السطح الرأسي فإن $h_G = y_G$ كما هو واضح بالرسم



سطح رأسي مغمور في سائل

ومن قانون قوة الضغط فإن

$F = \omega \cdot A \cdot h_G$

Or

$F = P_G \cdot A$

ومركز الضغط "C" يمكن تحديده من العلاقة:

$$y_C = \frac{T_G}{A.h_G} + h_G$$

والمسافة CG يمكن تحديدها من العلاقة:

$$CG = y_C - h_G = \frac{I_G}{A.h_G}$$

ثالثاً: قوة الضغط (الضغط الكلي) في حالة السطح الأفقي Horizontal plane:

في حالة السطح الأفقي المغمور في سائل فإن

$h_G = h$

وحيث أن السـطح الأفقي يكون موازياً للسـطح الحر للسـائل فإنهما لا يلتقيان أي أن قيمة y_G تكون لانهائية أي "∞" ولذلك فإن قوة الضغط علي السطح الأفقي هي:

$F = \omega . A. h$

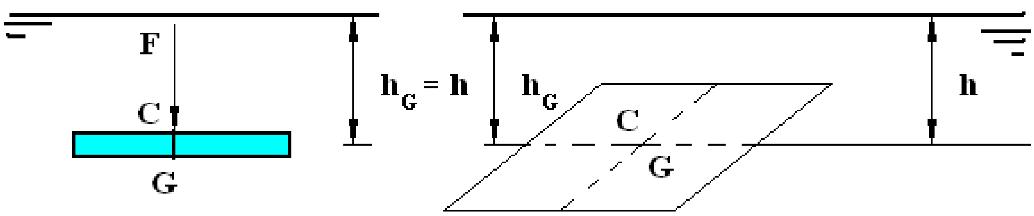
والمسافة CG ستصبح كما يلي:

$$CG = \frac{I_G}{A.y_G}$$

وحيث أن $y_G = \infty$

$$CG = \frac{I_G}{\infty} = 0$$

وهذا يعني أنه في حالة السطح الأفقي فإن مركز الضغط "C" ينطبق علي مركز المساحة C.



سطح أفقي مغمور في سائل