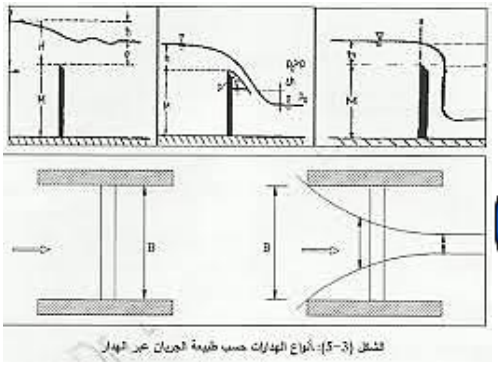
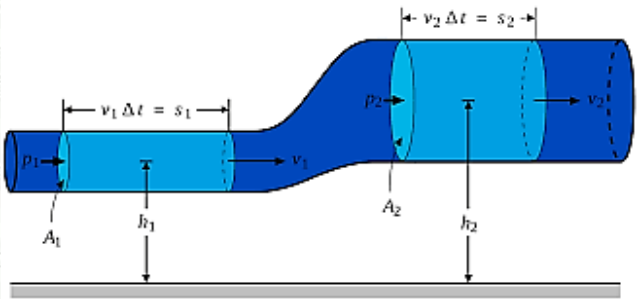
جـــامعة المنوفـيـــة
كلـــية الـــزراعـــــة
قسم الهندسة الزراعية
والنـــظـــم الحيـــويـــة

هيدروليكا وميكانيكا الموائع





إعداد

الأستاذ الدكتور
أحمد حسن جمعة

دكتور
عبد اللطيف عبد الوهاب سمك

قسم الهندسة الزراعية والنظم الحيوية

2021 / 2022

جـــــامعة المنوفـــيـــة
كلـــية الـــزراعـــــــة
قسم الهندسة الزراعية
والنـــظـــم الحيـــويـــة

رؤية الكلية VISION

تتمثل رؤية الكلية في: أن تكون كلية الزراعة جامعة المنوفية من الكليات المتميزة والمعتمدة محلياً وإقليمياً في مجال التعليم الزراعي والبحث العلمي ونقل التكنولوجيا بما يخدم أهداف التنمية الزراعية والريفية المستدامة.

رسالة الكلية MISSION

تهدف كلية الزراعة جامعة المنوفية في إطار تحقيق رؤيتها إلي: إعداد خريجين قادرين على المنافسة محلياً وإقليمياً في مختلف مجالات الزراعة، بالإضافة إلي خدمة المجتمع و حل مشاكلة الاقتصادية و الاجتماعية و البيئية و ذلك **من خلال:** تقديم برامج دراسية متميزة لطلاب مرحلة البكالوريوس والدراسات العليا و دعم و تشجيع البحث العلمي الزراعي و توفير البرامج الإرشادية والاستشارية الزراعية، **و تنطلق رسالة الكلية من قاعدة أساسها:** الارتقاء بجودة الموارد البشرية و المادية المتاحة بالكلية و التوظيف الأمثل لها، و تحقيق التكامل بين مختلف قطاعات الكلية.

توصيف المقرر

(هيدروليكا وميكانيكا الموائع هـ 323)

قسم الهندسة الزراعية والنظم الحيوية

1. المعلومات الأساسية Basic Information

اسم المقرر	هيدروليكا وميكانيكا الموائع	الرمز الكودي	هـ 323	المستوى	الثالث	
عدد الوحدات الدراسية	نظري	2	عملي	1	مجموع	3
التخصص	الهندسة الزراعية					

المعلومات المهنية Professional Information

2. الأهداف العامة للمقرر Overall Aims of Course

1	دراسة وحدات القياس والخواص الطبيعية للموائع
2	دراسة إستاتيكا السوائل
3	دراسة حركة السوائل
4	تطبيقات علي حركة السوائل ومعادلة برنولي
5	دراسة الطاقة والقدرة المائية

3. مخرجات التعليم المستهدفة Intended Learning Outcomes (ILO's)

أ.المعرفة والفهم Knowledge and Understanding

بنهاية دراسة هذا المقرر يكون الطالب قادراً على معرفة وفهم:	
1	وحدات القياس والخواص الطبيعية للموائع
2	إستاتيكا السوائل
3	أجهزة قياس الضغط والسرعة
4	تطبيقات حركة السوائل
5	معادلة طاقة السوائل المتحركة

ب.المهارات الذهنية Intellectual Skills

بنهاية دراسة هذا المقرر يكون الطالب قادراً على أن:	
1	يحدد وحدات القياس
2	يحدد الخواص الطبيعية للموائع
3	يحسب فاقد الاحتكاك من مودي دياجرام
4	يحدد التطبيقات الهندسية للهيدروستاتيكا

ج- المهارات المهنية والعملية Professional and Practical Skills

بنهاية دراسة هذا المقرر يكون الطالب قادراً على أن:	
1	يستنتج وحدات القياس والخواص الطبيعية للموائع
2	يصف الرافع الهيدروليكي
3	يطبق معدلة برنولي
4	يحسب فاقد الاحتكاك من مودي دياجرام
5	يتدرب على أجهزة قياس الضغط والسرعة

د–المهارات العامة ومهارات الاتصال General and Transferable Skills

بنهاية دراسة هذا المقرر يكون الطالب قادراً على أن:	
1	يعمل كفرد فى مجموعة صغيرة أو جزء من فريق كبير
2	يعد ويكتب التقارير العلمية الفنية
3	يتعامل مع تكنولوجيا المعلومات وتقنيات الحاسب الألى
4	يواصل التعلم الذاتي فى مجال التخصص
5	يشترك في حل التمرين مع زملائه

4. محتويات المقرر Contents

أولاً: الدروس النظرية

الاسبوع	الموضــوع	عدد الساعات النظرية
1	مقدمة – وحدات القياس	2
2	الخواص الطبيعية للموائع	2
3	إستاتيكا السوائل والرافع الهيدروليكي	2
4	ضغط الهواء في طبقات الجو وعلاقة مع الضغط البارومتري	2
5	حركة السوائل ومعادلة برنولي	2
6	أجهزة قياس الضغط والتصرف	2
7	امتحان منتصف الترم	2
8	معادلة الاستمرار ومعادلة تغير حيز الحجم	2
9	القوي الهيدروليكية وكمية الحركة للسوائل	2
10	طاقة حركة السوائل ومعادلة برنولي	2
11	القدرة الهيدروليكية وحركة السوائل بالأنابيب	2
12	حساب فاقد الاحتكاك بأنابيب المياه	2
13	دراسة فاقد الاحتكاك ومودي دياجرم	2
14	تحليل الأبعاد لمتغيرات الهيدروليكا وميكانيكا الموائع	2
	أجمالي عدد الساعات النظرية:	28

ثانياً: الدروس العملية

الاسبوع	الموضــوع	عدد الساعات العملية
1	تدريبات على وحدات القياس	2
2	خواص الطبيعية للموائع	2
3	تمارين على إستاتيكا السوائل والرافع الهيدروليكي	2
4	قياس ضغط الهواء في طبقات الجو وعلاقة مع الضغط البارومتري	2
5	تدريبات علي حركة السوائل ومعادلة برنولي	2
6	استخدام أجهزة قياس الضغط والتصرف	2
7	مناقشة التقارير	2
8	تطبيقات على معادلة الاستمرار ومعادلة تغير حيز الحجم	2
9	حساب القوي الهيدروليكية وكمية الحركة للسوائل	2
10	تحديد طاقة حركة السوائل ومعادلة برنولي	2
11	حساب القدرة الهيدروليكية وحركة السوائل بالأنابيب	2
12	حساب فاقد الاحتكاك بأنابيب المياه	2
13	دراسة فاقد الاحتكاك ومودي دياجرم	2
14	امتحان شفوي	2
	أجمالي عدد الساعات العملية:	28

5. أساليب وطرق التعليم والتعلم Teaching and Learning Methods

م	الأسلوب (الطريقة)
1	المحاضرة
2	الدروس العملية
3	التمارين والتقارير
4	المناقشات والحوار

6. أساليب وطرق التعليم والتعلم لذوي القدرات المحدودة Teaching and Learning Methods

م	الاسلوب (الطريقة)
1	دراسة الحالة
2	العصف الذهني
3	المناقشة
4	حل المشكلات

7. تقويم الطلاب Time Schedule and Weighting of Assessment

مسلسل	الأسلوب (الطريقة)	أسبوع إجراء التقييم	الدرجة
1	التمارين والتقارير	خلال الفصل الدراسي	5
2	امتحان نصف الترم	7	5
3	الامتحان الشفهية	14	10
4	الامتحان العملي	15	20
5	الامتحان النظري	16	60
	إجمالي الدرجة		100

8. قائمة المراجع List of References

1	مذكرة ومحاضرات للأستاذ الدكتور / كمال حسني عامر أستاذ المادة – جامعة المنوفية
2	كتب عربية: 1– ميكانيكا الموائع والهيدروليكا . رينالد ف. جايلز ترجمة عمرو محمود صبري ، يعقوب جيد (1981) دار النشر: دار ماكجروهيل للنشر – مؤسسة الأهرام . 2– المضخات الهيدروليكية ، د. محمود فوزى عبد العزيز (1980) ، دار النشر: مؤسسة الأهرام ، القاهرة
3	كتب أجنبية Fluid Mechanics . 6th ed. J. A. Roberson and Clayton T. C. Engineering
4	دوريات ونشرات Hydraulics Journal
5	مواقع على شبكة الإنترنت Science direct www.damasgate.com
6	توفير نماذج وتمارين محلولة في تخصص المقرر

ثالثاً: مصفوفة مخرجات التعليم المستهدفة للمقرر نظري Course Matrix of ILO's

م	موضوعات المقرر	المعرفة والفهم					المهارات الذهنية					المهارات المهنية والعملية					المهارات العامة ومهارات الاتصال				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	مقدمة – وحدات القياس	×			×		×				×	×					×				
2	الخواص الطبيعية للموائع	×				×											×				
3	استاتيكا السوائل والرافع الهيدروليكي				×				×		×			×					×		
4	ضغط الهواء وعلاقة مع الضغط البارومتري		×			×			×					×					×		
5	حركة السوائل ومعادلة برنولي		×					×													
6	أجهزة قياس الضغط والتصرف				×			×						×						×	
7	امتحان منتصف الترم																				
8	معادلة الاستمرار ومعادلة تغير حيز الحجم	×			×						×					×					
9	القوي الهيدروليكية وكمية الحركة للسوائل		×							×				×					×		
10	طاقة حركة السوائل ومعادلة برنولي				×										×					×	
11	القدرة الهيدروليكية وحركة السوائل بالأنابيب	×	×			×		×		×						×				×	
12	حساب فاقد الاحتكاك بأنابيب المياه	×		×			×		×					×					×		
13	دراسة فاقد الاحتكاك ومودي دياجرم	×	×			×				×					×					×	
14	تحليل الأبعاد لمتغيرات الهيدروليكا وميكانيكا الموائع				×			×						×							×
15	امتحان عملي																				
16	امتحان نظري نهائي																				

رابعاً: مصفوفة مخرجات التعليم المستهدفة للمقرر عملي Course Matrix of ILO's

م	موضوعات المقرر	المعرفة والفهم					المهارات الذهنية					المهارات المهنية والعملية					المهارات العامة ومهارات الاتصال				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	تدريبات على وحدات القياس	×					×				×				×		×				×
2	خواص الطبيعية للموائع	×					×										×				×
3	تمارين على استاتيكا السوائل والرافع الهيدروليكي			×		×			×		×							×			×
4	قياس ضغط الهواء في طبقات الجو وعلاقة مع الضغط البارومتري	×		×					×				×		×			×			
5	تدريبت علي حركة السوائل ومعادلة برنولي	×			×					×										×	
6	استخدام أجهزة قياس الضغط والتصرف				×					×										×	
7	امتحان منتصف الترم																				×
8	تطبيقات على معادلة الاستمرار ومعادلة تغير حيز الحجم	×					×						×								×
9	حساب القوي الهيدروليكية وكمية الحركة للسوائل			×					×											×	
10	تحديد طاقة حركة السوائل ومعادلة برنولي		×					×					×		×					×	
11	حساب القدرة الهيدروليكية وحركة السوائل بالأنابيب		×					×				×		×							×
12	حساب فاقد الاحتكاك بأنابيب المياه			×											×						
13	دراسة فاقد الاحتكاك ومودي دياجرم		×					×											×		
14	امتحان شفوي																				
15	امتحان عملي																				
16	امتحان نظري نهائي																				

منسق المقرر	رئيس القسم
أ.د/ أحمد حسن جمعة د./ عبد اللطيف عبد الوهاب سمك	أ.د./أيمن حافظ عيسى

فهرس الموضوعات

الباب الأول 1
الفصل الأول 2
مقدمة – وحدات القياس 3
تعريف علم الهيدروليكا: 3
أبعاد ووحدات القياس 3
أولاً: الأبعاد الأساسية Basic Dimensions: 3
ثانياً: الأبعاد المشتقة: 4
ثالثاً:نظم الوحدات المستخدمة في القياس Units: 4
الفصل الثاني 7
الخواص الطبيعية للموائع Properties of fluids 8
(1) الكثافة: Density 8
(2) الوزن النوعي Specific weight: 9
(3) الحجم النوعي Specific volume: 9
(4) الكثافة النسبية Specific gravity: 10
مثال (1): 11
مثال (2): 12
(5) اللزوجة Viscosity: 13
(6) الشد السطحي Surface Tension: 18
(7) الخاصية الشعرية Capillarity: 19
(8) ضغط بخار السائل Vapour pressure: 20
الباب الثاني 21
الهيدروستاتيكا 21
الفصل الأول 22
الضغط الهيدروستاتيكي 23
الضغط Pressure: 23
وحدات الضغط: 23
الضغط عند نقطة: 24
الضغط في المستوي الأفقي: 26
الضغط في المستوي الرأسي: 27
أمثلة محلولة 30
التمرين الأول 35
الضغط المطلق والضغط القياسي (المانوميتري): 37
الضغط الجوي Pat: 37

الفصل الثاني 40
أجهزة قياس الضغط 41
أولاً: المانومترات Manometers: 41
أ- المانومترات البسيطة Simple manometers: 41
1- أنبوبة بيزومتر: 42
2) أنبوبة حرف U لقياس الضغط: U-tube manometer: 45
أ- أنبوبة حرف U لقياس ضغط قياس موجب: 46
ب- استخدام أنبوبة حرف U لقياس ضغط قياسي سالب: 46
ب- المانوميترات الفرقية Differentail manometers: 50
أولاً: المانوميتر الفرقي علي شكل حرف U: 51
ثانياً: المانوميتر الفرقي علي شكل حرف U مقلوب: 55
ثانياً: أجهزة قياس الضغط المكيانيكية 59
Mechanical Gauges 59
التمرين الثاني 60
الفصل الثالث 63
الضغط الكلي علي السطوح الصلبة المغمورة 64
أولاً: قوة الضغط الكلي علي سطح مستوي مائل Inclined Plane: 64
مركز الضغط "C" Center of pressure: 67
ثانياً: قوة الضغط في حالة السطح الرأسي Vertical plane: 70
ثالثاً: قوة الضغط (الضغط الكلي) في حالة السطح الأفقي Horizontal plane: 71
أمثلة محلولة 72
إيجاد مركز الضغط: 78
التمرين الثالث 83
قوة الضغط علي السطوح المنحنية 85
أولاً: حساب المركبة الأفقية FH لقوة الضغط علي سطح منحني: 86
ثانياً: حساب المركبة الرأسية FV لقوة الضغط علي سطح منحني: 86
أمثلة محلولة: 87
التمرين الرابع 95
الفصل الرابع 97
الهيدروديناميكا 97
الهيدروديناميكا 98
(1) تعريف: 99
(2) سريان الموائع Fluid Flow: 99
(أ) السريان المستقر والغير مستقر Steady Flow – Unsteady Flow: 99
ب) السريان المنتظم وغير المنتظم Uniform and non-uniform flows: 100

جـ) السريان الرقائقي Laminar flow 101
د- السريان الاضطرابي Turbulent flow: 101
معدل التصرف Rate of Discharge: 102
معادلة الاستمرار لسريان السائل Continuity Equation: 102
معادلة برنولي Bernoulli's equation: 106
طاقة السوائل المتحركة: 106
أمثلة محلولة 109
التمرين الخامس 115
معادلة برنولي للمائع الحقيقي 116
Bernoulli's equation for real fluid: 116
أمثلة محلولة 117
خط الطاقة الكلية وخط الميل الهيدروليكي 120
خط الطاقة الكلية T.E.L: 120
خط الميل الهيدروليكي H.G.L: 120
أولاً: خط الطاقة الكلية وخط الميل الهيدروليكي لمائع مثالي. 121
الفصل الخامس 123
سريان الموانع خلال المواسير والمجاري 124
Fluids Flow in Pipes and Ducts 125
مقدمة: 125
رقم رينولدز: ..... Error! Bookmark not defined.
الأسس الفيزيائية لرقم رينولدز: 125
الهبوط في الضغط ومعامل الاحتكاك: 127
مخطط مودي 129
هبوط الضغط خلال وصلات المواسير: Pressure Drop in Fittings 137
المضخات ومتطلبات الضخ: Pumps And Pumping Requirements 139
هبوط الضغط فى مجاري الهواء: Pressure Drop In Air Duct Flow 142
اختيار حجم المروحة: 143
تقدير الفقد الكلي للضغط فى مجرى (مسلك) هوائي؟ 144
تمارين علي سريان الموائع خلال المواسير والمجاري 145
المراجع والمصادر 146

الباب الأول

أساسيات

الفصل الأول: مقدمة – وحدات القياس

الفصل الثاني: الخواص الطبيعية للموائع

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.

وسـيتم اسـتخدام 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 : $1N = \frac{1}{9.81} kg_f$ = 10^5dyn = 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)

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

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

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 النسبية بالنسبة بين وزن الجسم ووزن حجم مساوي تماماً لمادة أخري قياسية. وبالنسبة للسوائل يؤخذ الماء كمادة قياسية وبالنسبة للغازات يؤخذ الهواء كمادة قياسية. ويرمز للكثافة النسبية بالرمز "S" حيث أن:

الكثافة النسبية لأي سائل = الوزن النوعي للسائل / الوزن النوعي للماء

أو = كثافة السائل / 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 سائل ω_L بمعرفة كثافته النسبية من المعادلة التالية:

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

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

وكذلك يمكن إيجاد كثافة أي سائل ρ_L من المعادلة التالية:

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

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

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 = 1000×9.81 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 = $\frac{Density\ \ of\ \ liquid}{Density\ \ of\ \ water}$

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 = $\frac{Weight}{Volume}$

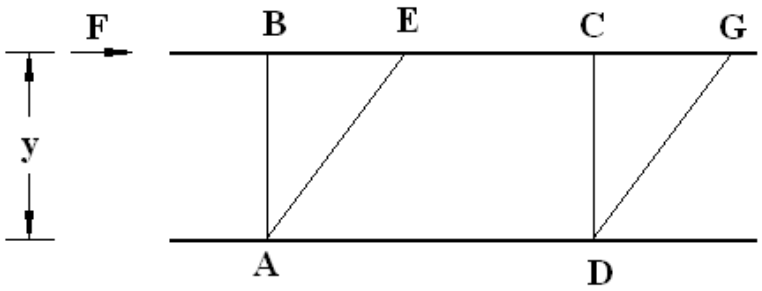
weight = ω × volume

= 6867 N/m^3 × 0.001 m^3 = 6.867

(5) اللزوجة Viscosity:

تعرف اللزوجة بأنها خاصـية السـائل 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 السائل سوف تتغير من صفر عند الطبقة السفلي 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 تتناسب 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

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

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):

احسـب القوة اللازمة لتحريك سـطح مسـاحته 50.5 م^2 علي سـطح آخر علماً بأن السـائل بينهما ســـمكه 0.0002م ويتحرك بسرــعة 0.05 م/ث علماً بأن لزوجة الســـائل 0.4 كجم/متر.ثانية

الحل:

Given:

$A = 0.10\ m^2$

$y = 0.0002\ m$

$u = 0.05\ m/s$

$\mu = 0.4\ kg/m.s$

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:

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

$\gamma = 0.0001 \ m^2/s$

$S = 0.8$

Req:

$\tau = ????$

Solution

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

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

$\rho \ of \ liquid = 800 \ kg/m^3$

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

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

$\mu = 800\ kg/m.s = 0.08\ N.s/m^2$

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

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

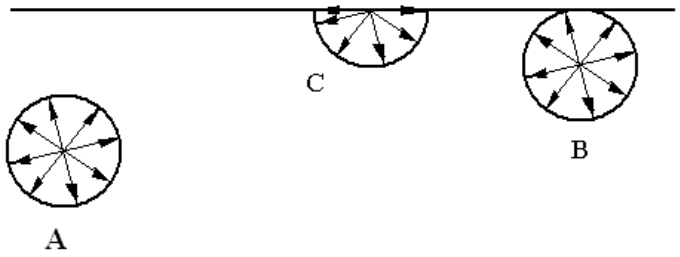
(6) الشد السطحي Surface Tension:

يمكن تعريف الشد السطحي بأنه قوة الشد التي تؤثر علي السطح الحر لسائل أو هو الشغل اللازم لجذب جزيئات السائل لتكوين سطح السائل. ويرمز للشد السطحي 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 بالصنبور لفترة طويلة وهي محتفظة بشكلها تماماً.

وقيمة الشد السطحي تقل بزيادة درجة الحرارة وينعدم الشد السطحي أي تصل قيمته إلي الصفر 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 الشكل نختار ثلاث جزيئات A, B, C لسائل فنجد أن جزئ داخل السائل محاط يوجد بداخلها جزئ آخر يجذبه في جميع الاتجاهات.

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

ولكن الجزئ B القريب من السطح الحر للسائل فإنه يتعرض لقوي غير متزنة واتجاهاتها لأعلي ولأسفل، ولكن محصلة 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 ومحصلتها تكون لأسفل وبالتالي فهي تحتاج لشغل يقوم بتحريك الجزيئات للسطح ويعمل ضد قوي الشد السفلية ولذلك نجد دائماً أن الطاقة في جزيئات السطح الحر تكون أكبر منها في الجزيئات الداخلية.

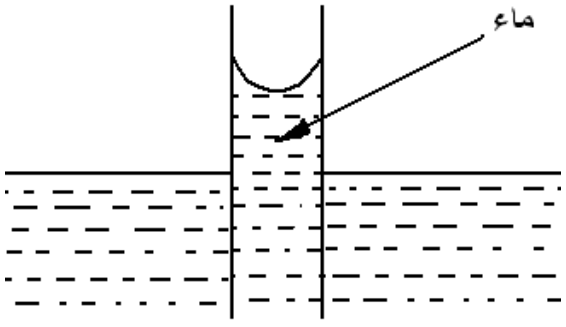
(7) الخاصية الشعرية Capillarity:

تعرف الخاصية الشعرية بظاهرة ارتفاع أو انخفاض سطح السائل في الأنابيب الشعرية وذلك بسبب الشد السطحي، ويعتمد علي القيمة النسبية لتماسك جزيئات السائل Cohesion وتلاصق السائل بسطح الأنبوبة الشعرية Adhesion

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

فإذا كان السائل هو الماء فإن الشد السطحي يعمل علي ارتفاع السائل داخل الأنبوبة الشعرية وذلك لأن القوة اللازمة لتلاصق السائل بسطح الأنبوبة الشعرية Adhesion تكون أكبر من القوة اللازمة لتماسك جزيئات السائل Cohesion

بمعني أن adhesion > cohesion ويأخذ الماء الشكل التالي:

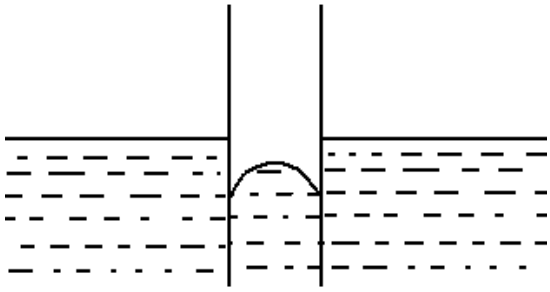


الخاصة الشعرية في الماء

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 وضعنا مائع سواء كان غاز أو سائل داخل وعاء فإن جدران الوعاء المحدد للمائع يحفظه داخل الوعاء. وذلك لأن المائع يؤثر علي جدران الوعاء بقوة معينة، وإذا كان المائع سائلاً فيجب أن تكون هذه القوة عمودية فقط علي الجدران لأن القوة المماسة للجدران سوف تسبب الحركة للمائع.

وتسمي النسبة بين القوة العمودية والمساحة بالضغط ويرمز لها بالرمز P وإذا كانت القوة منتظمة التوزيع 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 التوزيع علي السطح فإن الضغط نعبر عنه بالعلاقة:

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

وحدات الضغط:

وحدات الضغط في النظام الدولي المستخدم 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

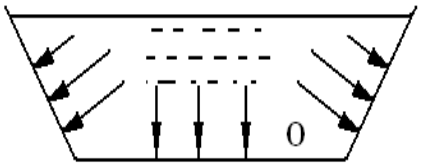
1 k Pa = 1000 Pa = 1000 N/m^2

وقد تستخدم وحدات الضغط بالبار "bar" حيث أن:

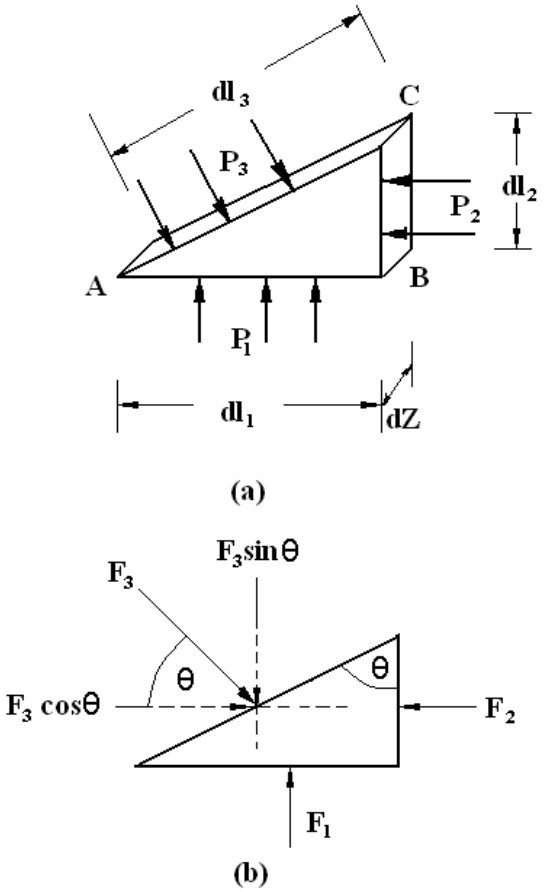
1 bar = 100 k Pa = 10^5 Pa = 10^5 N/m^2

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 (1)



شكل (2)

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:

$$\sum F_x = 0$$

$F_3 \cos\theta - F_2 = 0$

$$P_3 \cdot dl_3 \cdot dZ \cdot \frac{dl_2}{dl_3} = P_2 \cdot dl_2 \cdot dZ$$

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

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

$$\sum F_y = 0$$

$F_1 = F_3 \sin\theta$

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

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

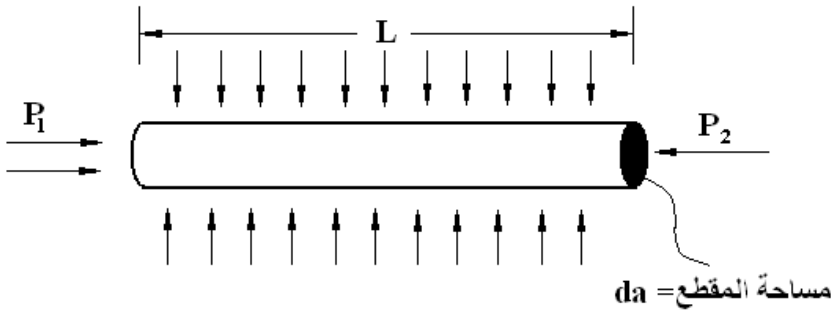
ومن المعادلة (1)، (2) نستنتج أن:

$P_1 = P_2 = P_3$

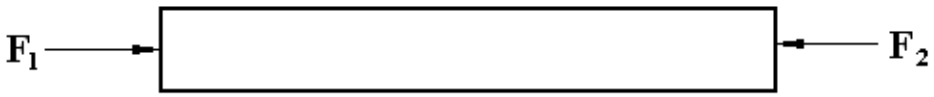
أي أن قيمة الضـغط عند نقطة تكون ثابتة بصرـف النظر عن اتجاه الضـغط الذي يتحدد تبعاً لاتجاه السطح الصلب الذي يؤثر عليه الضغط.

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:

$F_1 = F_2$

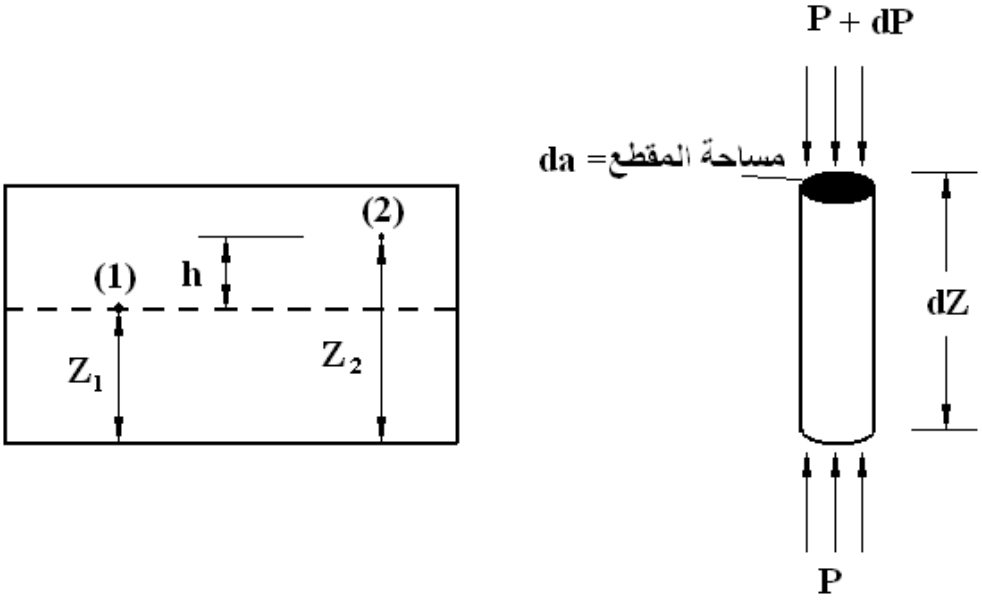
$P_1 . da = P_2 da$

$P_1 = P_2$

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:

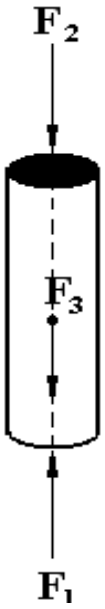
$$F_2 = (P + dp) \times A$$

(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:

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

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

وهذا يعني أنه عند نرتفع مسافة dz فإن الضغط يقل بمقدار $\omega\ .\ dz$

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 النقتطين (1) ، (2) نحصــل علي:

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

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

وحيث أن:

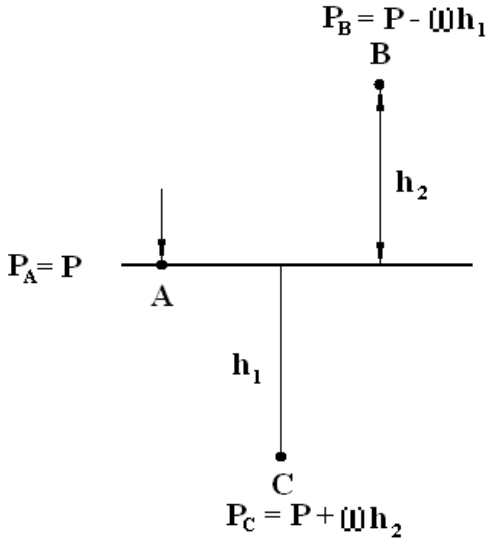
$h = Z_2 - Z_1$

فإن فرق الضغط يصبح كما يلي

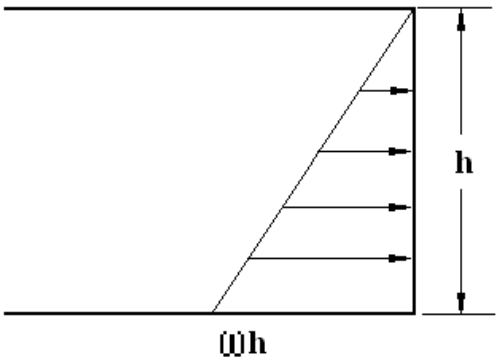
$P_1 - P_2 = \omega h$

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 × 1000 kg/m^3

= 1040 kg/m^3

P = ωh

= 1040 kg/m^3 × 5 m

= 5200 kg/m^2

P = 5200 kg/m^2 × 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

$\omega_o = S \times \omega_w$

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

$P = \omega h$

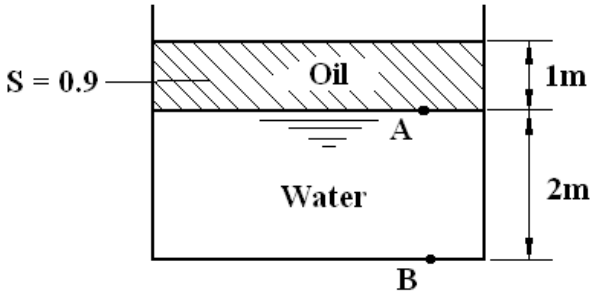
$h = \frac{P}{\omega} = \frac{39240}{8829} = 4.4\ m$

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)

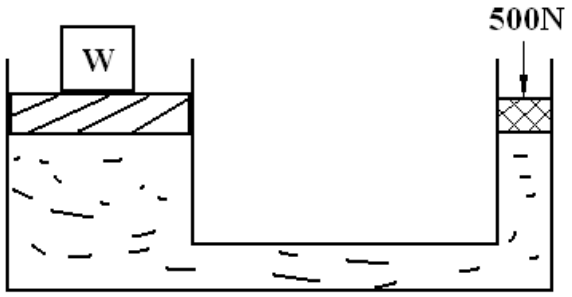
3) إذا علمت أن الضغط عند نقطة في مائع هو 4.9 نيوتن/متر مربع أو الضاغط بالمتر إذا كان المائع:

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 (المانوميتري):

Absolute and Gauge Pressure:

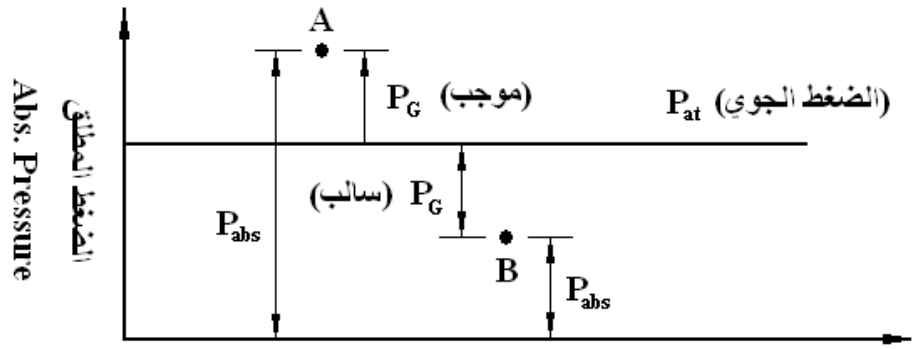
في الهيدروليكا يكون الأهم هو معرفة الفرق بين الضـــغط الموجود علي المائع والضـــغط الجوي وليس القيمة المطلقة للضغط ويسمي هذا الفرق بالضغط القياسي ويكون الضغط القياسي موجباً إذا كان أكبر من الضغط الجوي وسالباً إذا كان أقل من الضغط الجوي.

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 الضـغط الجوي بالقراءات القياسـية يسـاوي صـفر. ولذلك فعند رسـم العلاقة بين الضـغوط السـابقة يؤخذ الضـغط الجوي علي أنه صـفر المقياس بالنسبة للضغوط القياسية (المانوميترية)



ويلاحظ من الشـكل أن الضـغط القياسي عند النقطة A يكون موجباً لأنه أكبر من الضـغط 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 بالـــ 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):

احســب الضــغط القياسي والضــغط 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

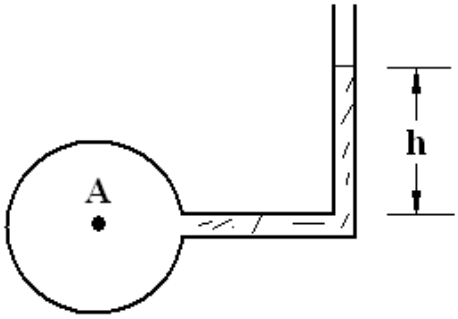
h الضاغط بوحدات m.

والأنواع الشائعة للمانومترات البسيطة هي:

1- أنبوبة بيزومتر Biezometer – tube

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

1- أنبوبة بيزومتر:

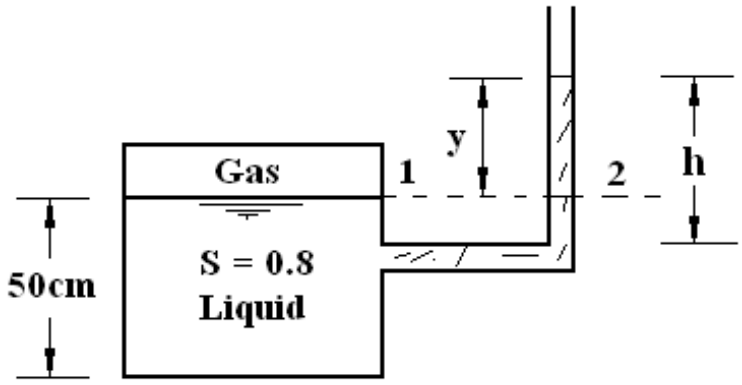


وهي تعتبر من أبسط أنواع أجهزة قياس الضغط وتستخدم لقياس ضاغط السوائل إلي حوالي 2 متر (كما هو مبين بالشكل) حيث يتصل أحد طرفي الأنبوبة البيزومترية الرفيعة بالنقطة المراد قياس الضغط عندها ولتكن A ويكون طرفها الآخر مفتوح للضغط الجوي وبالتالي فإن الضغط عند نقطة A يمكن الحصول عليه من المعادلة:

$$P_A = \omega \times h$$

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 = $P_{ab} - P_{at}$

$= 1.05 - 1.033$

$= 0.017\ kg/cm^2$

$= 0.017 \times 10^4\ kg/m^2$

$= 170\ kg/m^2$

$0.017 = \omega_L \times y$

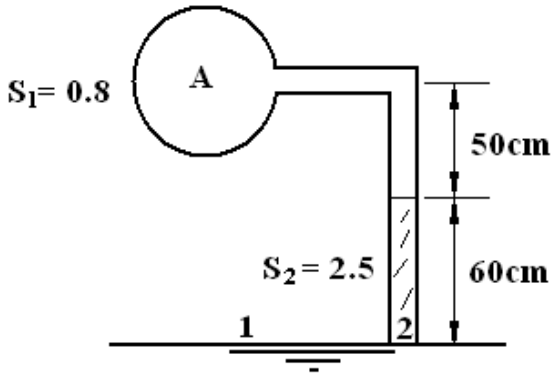
$170 = (1000 \times 0.8) \times y$

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

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

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:

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

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

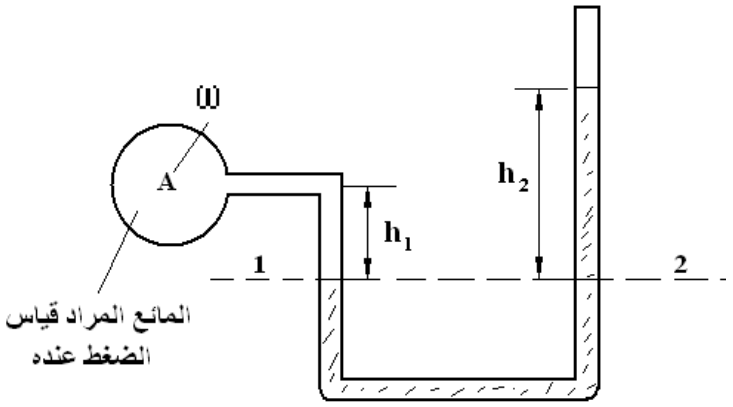
$h_A = -2.375\ m$

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

وهي عبارة عن أنبوبة رفيعة علي شـــكل حرف U يتصـــل أحد طرفيها بالنقطة المراد قياس الضـغط عندها والطرف الآخر يكون معرضـاً للضـغط الجوي. وفي أغلب الأحيان يسـتخدم الزئبق في هذه الأنبوبة الكبيرة أو يمكن اسـتخدام أي سـائل آخر يكون كثافته النسـبية 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:

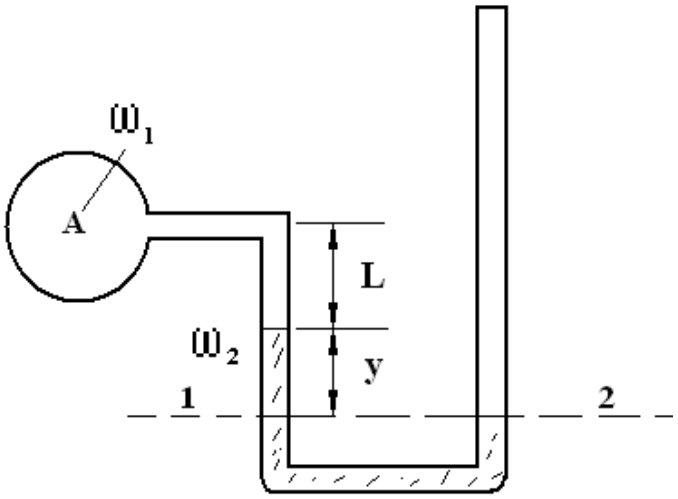
$P_1 = P_2$

$P_A + \omega_1 h_1 = \omega_2 h_2$

$P_A = \omega_2 h_2 - \omega_1 h_1$

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:



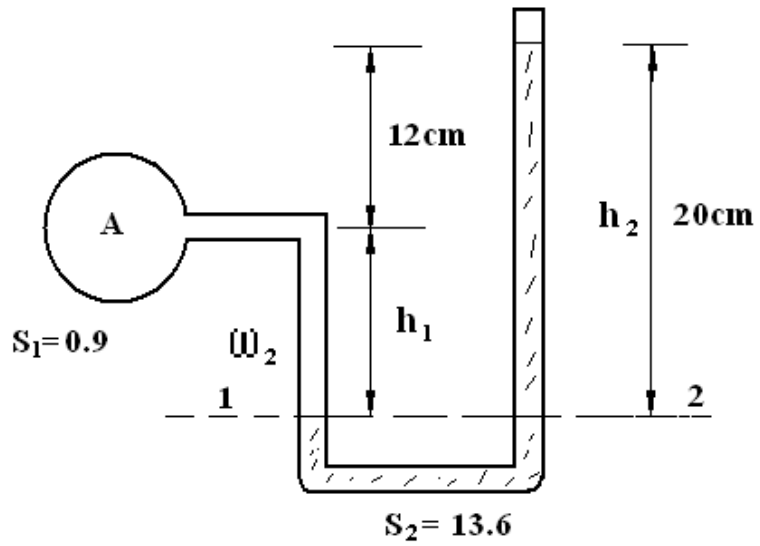
$P_1 = P_2$

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

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

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

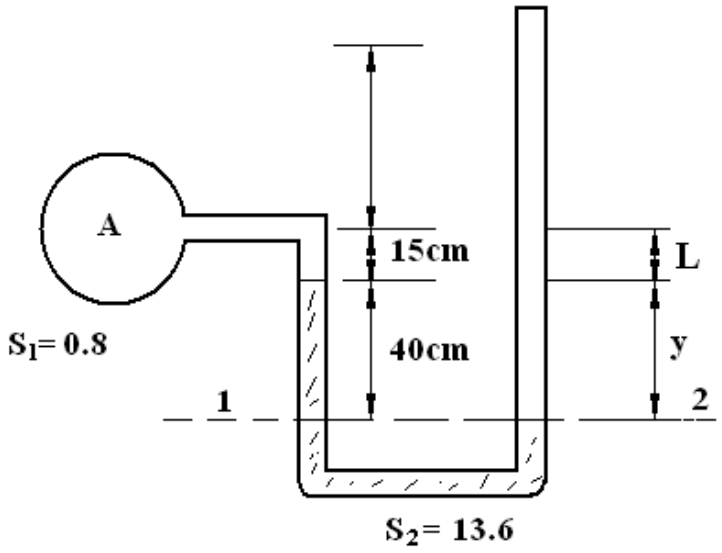
Or

$P_A = 2648 \times 9.81 \cong 25977$ 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

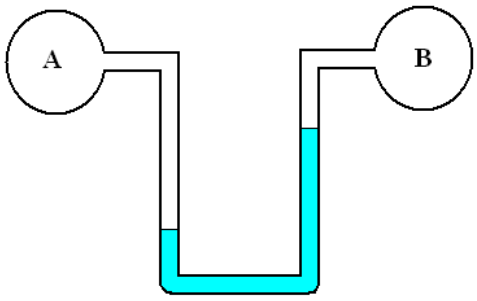
$= -5560 \times 9.81 \cong -54544$ N/m^2

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

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

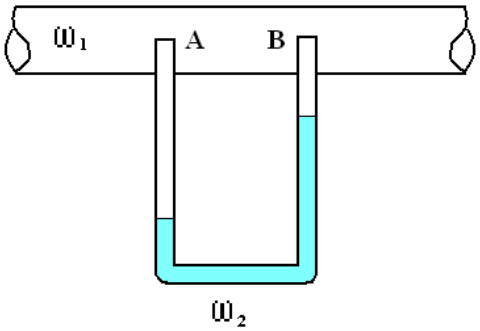
ب- المانوميترات الفرقية Differential manometers:

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

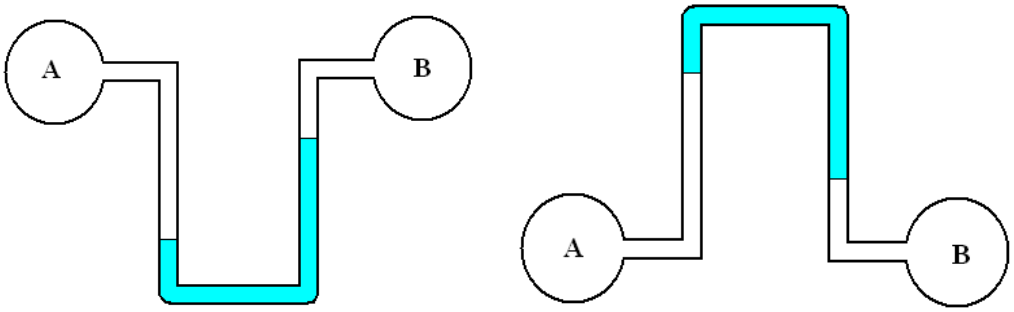


$P_A > P_B$

قياس فرق الضغط بين نقطتين في أنبوبة واحدة

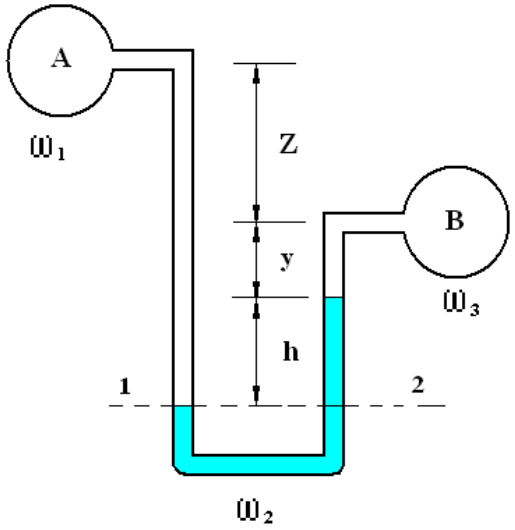
وهناك نوعان شائعان للمانوميترات الفرقية:

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 مسـتوي المقارنة الأفقي عند المسـتوي 2-1 حيث الضـغط عندهما يكون متســاوي والفرق في منســوب الزئبق في المانوميتر الفرقي هو h والفرق في المنســوب بين النقطتين 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 السـائل في الأنبوبتين A, B من نفس النوع فإن $\omega_3 = \omega_1$ وتصـبح 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 بالقسـمة علي الوزن النوعي للسائل الموجود فيهما حيث أنه سائل واحد.

ونحصل علي فرق الضاغط من المعادلة التالية:

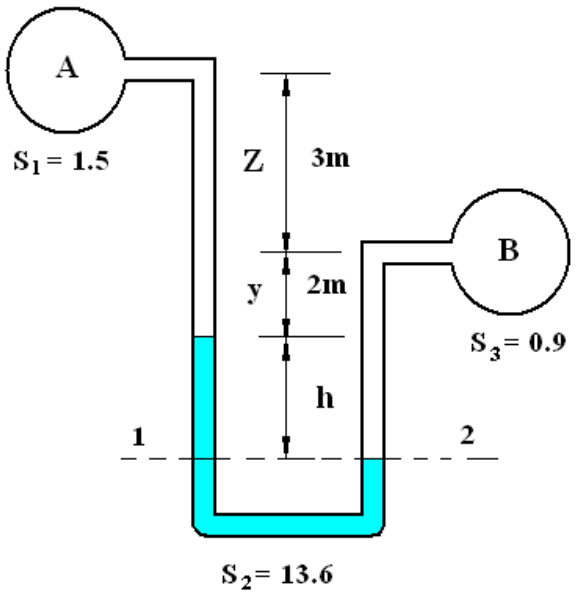
$$h_A - h_B = \frac{P_A - P_B}{\omega_1}$$

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

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

مثال (1):

أنبوبة فرقية علي شـكل حرف U متصـلة بالنقطتين A, B في أنبوبتين مختلفتين فإذا كانت الكثافة النسـبية للسـائل عند نقطة A هي 1.5 والكثافة النسـبية للسـائل عند نقطة B هي 0.9 وفرق الضغط 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:

$P_1 = P_2$

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

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

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

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

$8000 - 7500 + 1800 = 12700\ h$

$2300 = 12700\ h$

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

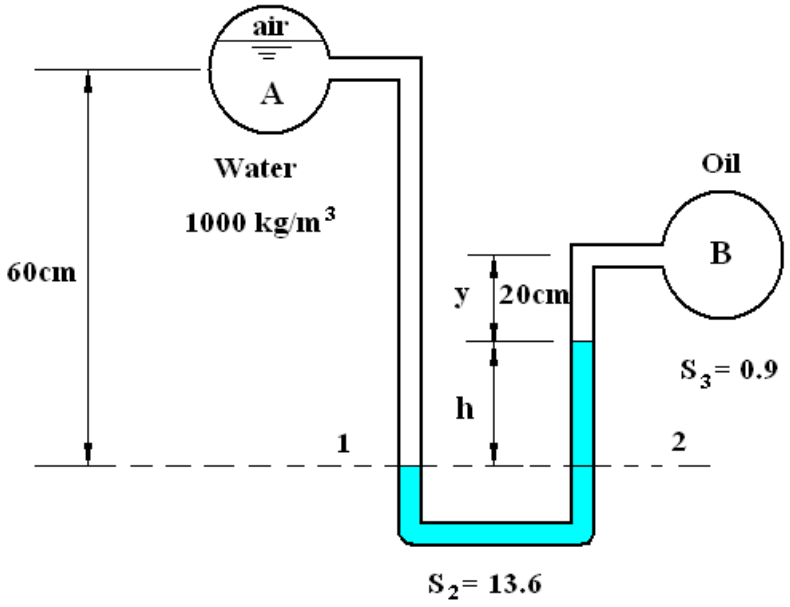
مثال (2):

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/cm^2

$= \frac{9.81 \times 10^4}{9.81}$ kg/m^2

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/m^2

P_B in N/m^2 $= 9060 \times 9.81 = 88878.6$ N/m^2

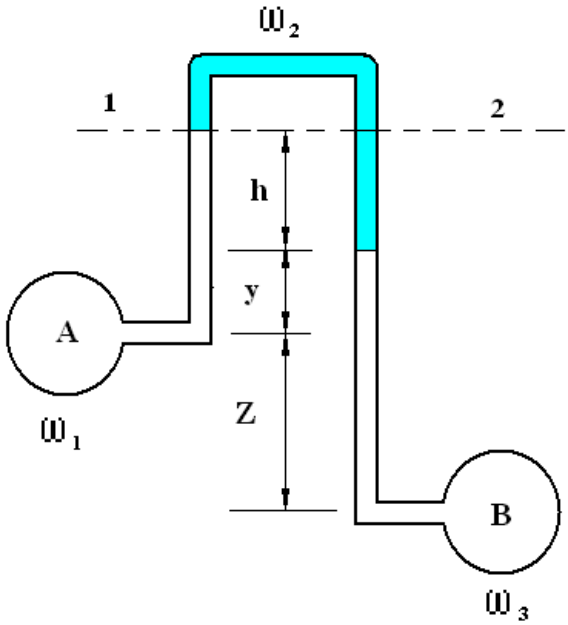
P_B in kPa $= \frac{88878.6}{1000} \cong 88.9$ kPa

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 الســائل عند A هو نفس الســائل عند B أي أن $\omega_1 = \omega_3$ فإن المعادلة السابقة يمكن صياغتها علي الصورة التالية:

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

مثال (1):

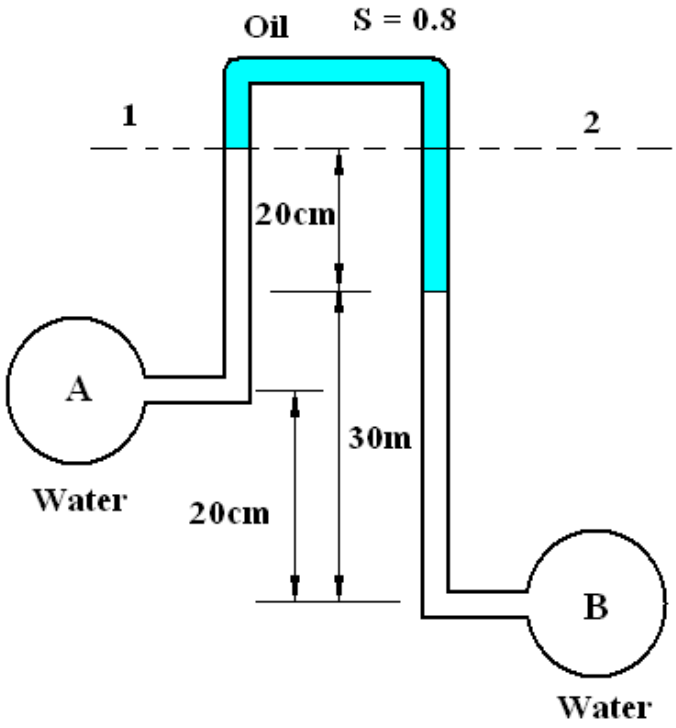
مانوميتر علي شـــكل حرف U مقلوب يتصـــل بنقطتين A, B في ماســـورتين بهما ماء فإذا علمت أن ســـائل المانوميتر هو زيت كثافته النســـبية 0.8 وكانت القراءات كما هو موضـــح بالشكل.

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

$P_1 = P_2$

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

$P_A - 300 = P_B - 300 - 160$

$P_A - 300 = P_B - 460$

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

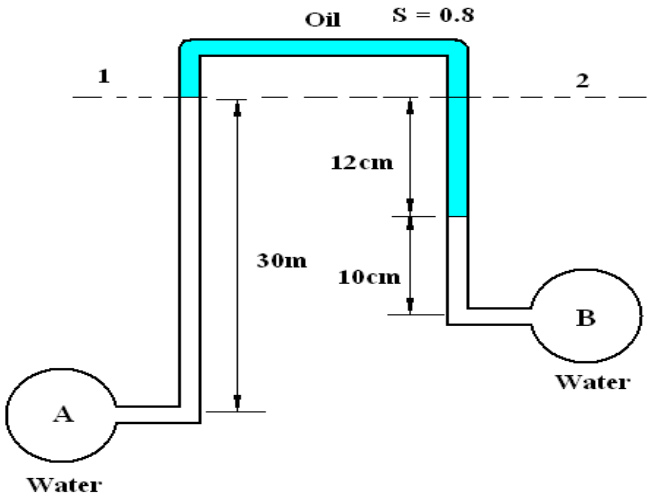
ΔP in $N/m^2 = 160 \times 9.81 = 1569.6\ N/m^2$

ΔP in $kPa = \frac{1569.6}{1000} = 1.57\ kPa$

ΔP in $bar = \frac{1569.6}{10^5} \cong 0.0157\ bar$

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

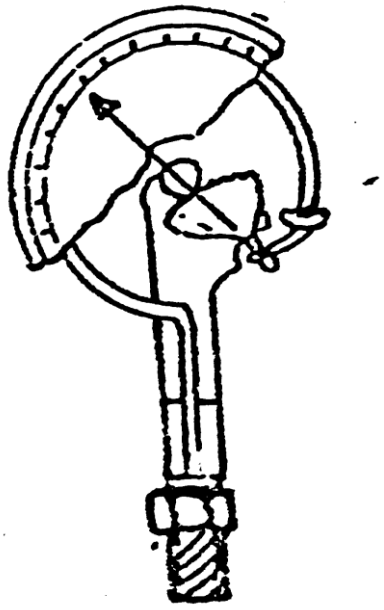
P_B in N/m^2 $= 1.896 \times 9.81 \cong 8600$ N/m^2

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

ثانياً: أجهزة قياس الضغط الميكانيكية

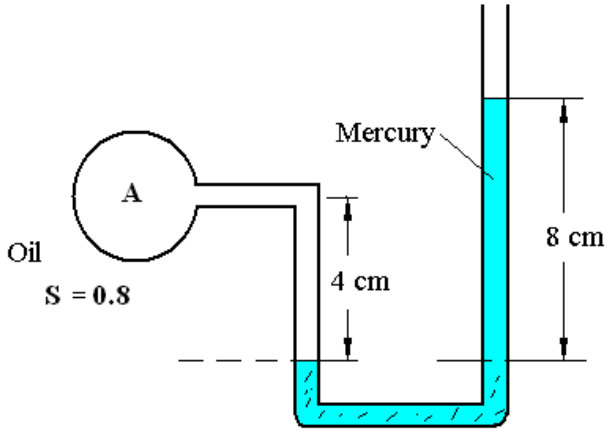
Mechanical Gauges

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 ضـغطه 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 المصـنوع منها الأنبوبة. وهذا النوع من أجهزة قياس الضـغط يجب أن يتم معايرته دائماً باستخدام وسائل أخرى.



التمرين الثاني

1) مانوميتر بسيط يحتوي علي زئبق يستعمل لتحديد ضغط سائل داخل أنبوبة سائل كثافته النسبية 0.8. احسب ضغط السائل بالبار إذا كانت القراءات موضحه بالشكل التالي:

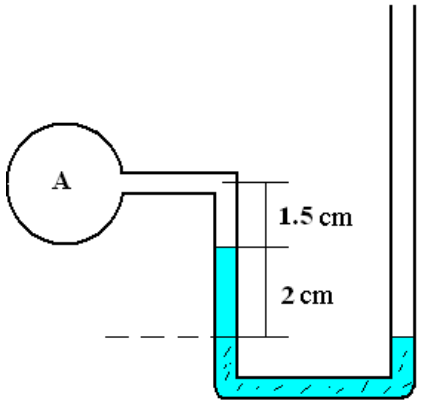


Ans.: 0.104 bar

مانوميتر بسيط علي شكل حرف U يحتوي علي زئبق تم توصيله بنقطة في أنبوبة – يسري داخلها زيت كثافته النسبية 0.8. أحسب الضغط 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

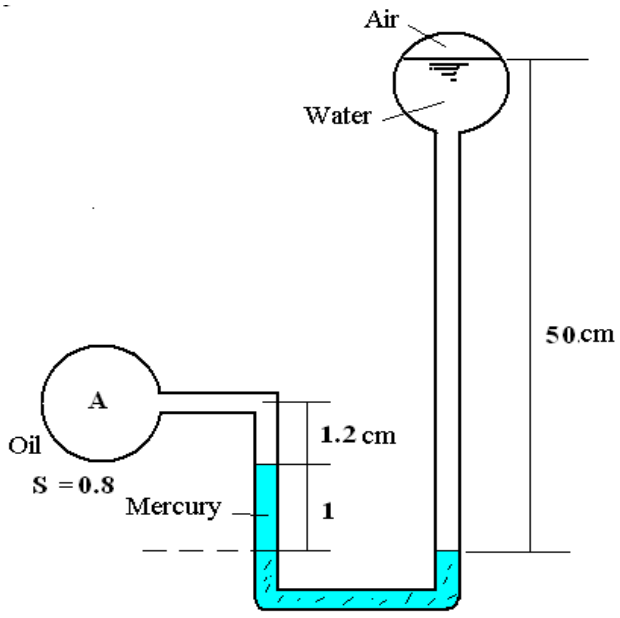
جـ - بوحدات bar

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

3) مانوميتر فرقي علي شكل حرف U تم توصيله بنقطتين A, B في أنبوبتين مختلفتين أحداهما ، يسري فيها ماء والآخرى يسري فيها زيت كثافته النسبية 0.8 فإذا كان الضغط عند نقطة B هو 7.848 نيوتين/سم^2. احسب الضغط عند نقطة A علماً بأن القراءات موضحه بالشكل التالي وذلك

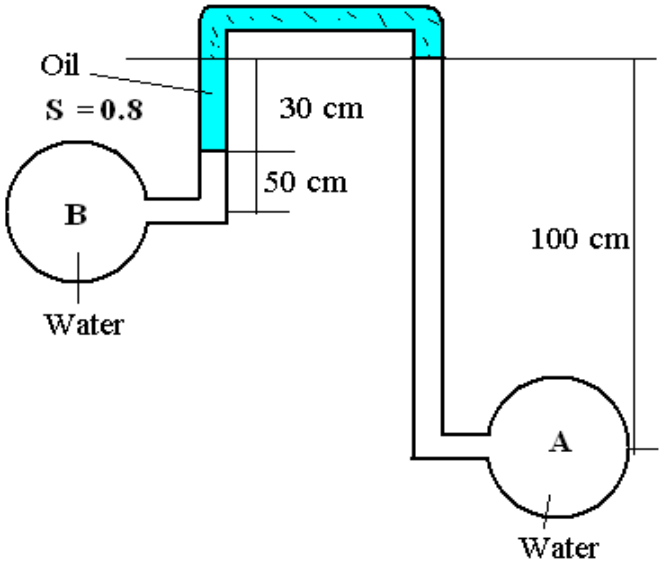
أ- N/cm^2

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 "C" Center of pressure
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 الضــغط الكلي بأنه قوة الضــغط التي يؤثر بها المائع علي أي ســطح مغمور ســواء كان مســتوياً أو منحنياً وتؤثر هذه القوة دائماً في اتجاه عمودي علي الســطح ولذلك فإن الضغط الكلي يسمي أحياناً بقوة الضغط.

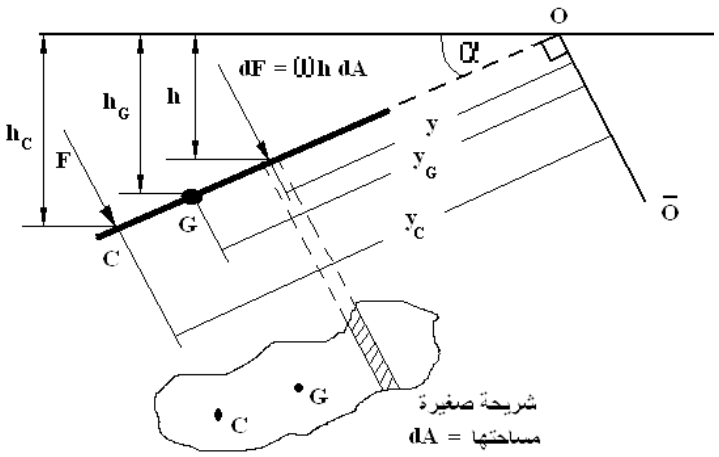
والسطح المستوي قد يأخذ أحد الأوضاع التالية:

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:

$dF = P \cdot dA$

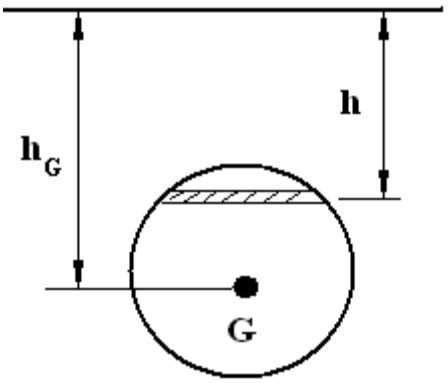
$= \omega h \cdot dA$

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

$F = \int \omega h.dA$

$= \omega \int h.dA$ (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.

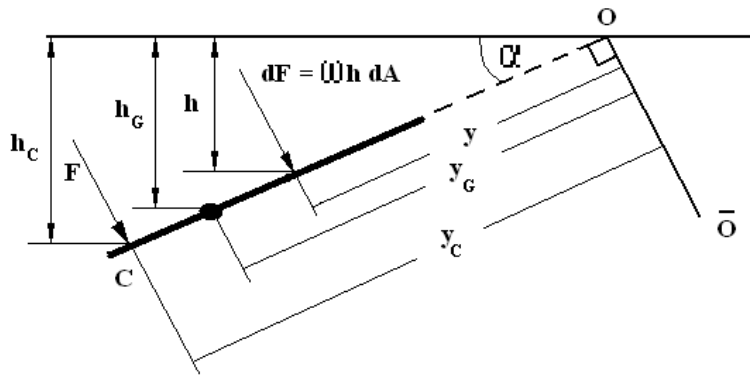
مع العلم بأن

$P_G = \omega \cdot h_G$

مركز الضغط "Center of pressure "C:

يعرف مركز الضـغط "C" بنقطة تأثير قوة الضـغط (الضـغط 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.



$F \times y_C = \int dF.y$

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

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 $O\bar{\bar{O}}$ بالمقدار التالي:

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

حيث أن:

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

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 المســـاحة G ونقطة تقاطع إمتداد الســـطح المائل بســـطح 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 الضـــغط "C" عن نقطة تقاطع امتداد الســـطح المائل بالســـطح الحر للسائل "O" والذي يرمز له بالرمز y_C

من المعادلة الســـابقة وذلك بقســـمة طرفي المعادلة علي المقدار $A \cdot y_G$ فنحصـــل علي العلاقة التالية:

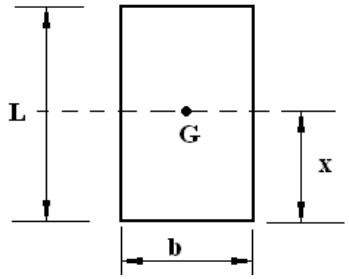
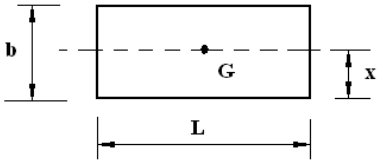
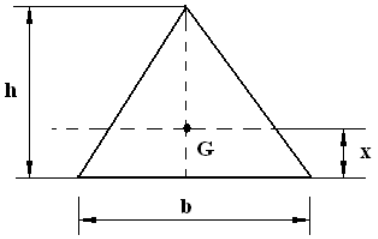
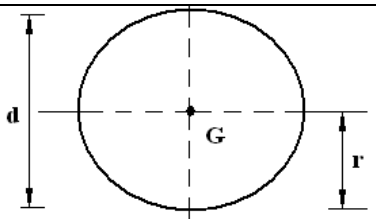
$$y_C = \frac{T_G}{A.y_G} + y_G$$

حيث أن y_G هي بعد مركز المســـاحة "G" عن النقطة O وهي نقطة تقاطع امتداد الســـطح 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:

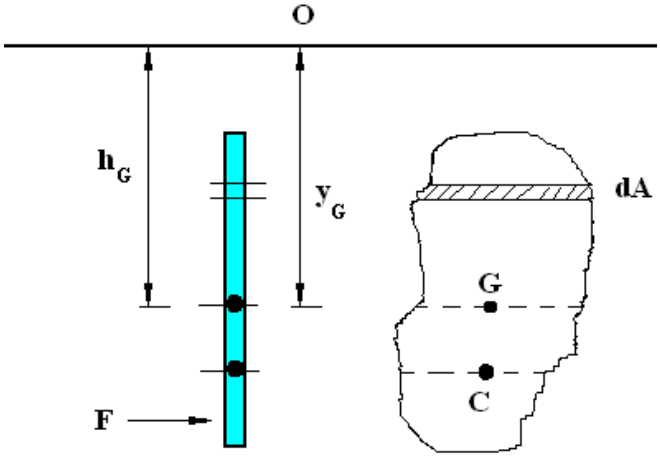
$$CG = y_C - y_G = \frac{T_G}{A.y_G} = \frac{T_G.\sin\alpha}{A.h_G}$$

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

$F = \omega . A. h_G$

Or

$F = P_G . A$

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:

$F = \omega . A. h$

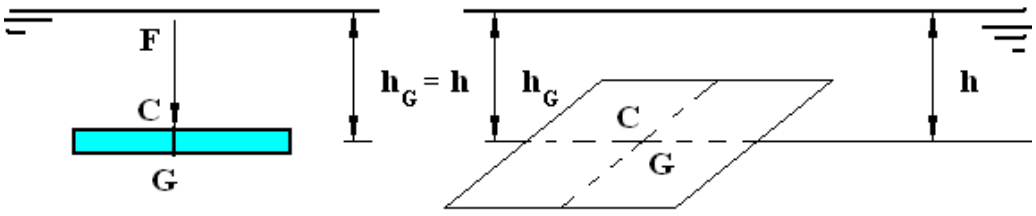
والمسافة CG ستصبح كما يلي:

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

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

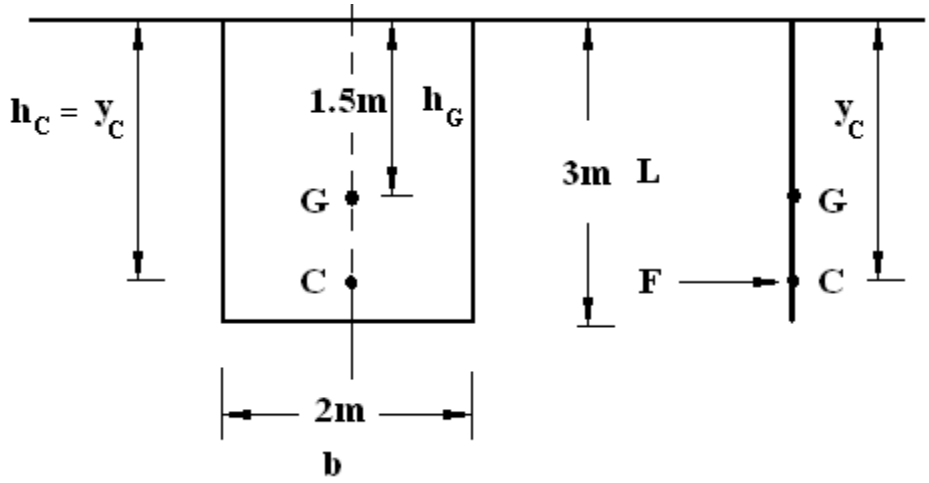
أمثلة محلولة

مثال (1):

سـطح مسـتطيل أبعاده 2m × 3m مغمور رأسـياً في الماء. فإذا كان البعد العلوي للسـطح والذي طوله 2m موازياً لسـطح الماء الحر. فأوجد الضـغط الكلي علي السـطح ومركز تأثيره في الحالات التالية:

أ) إذا كان البعد العلوي للسطح منطبقاً علي السطح الحر للماء.

ب)إذا كان البعد العلوي للسطح يقع أسفل السطح الحر للماء علي عمق 2.5m.



Given:

$A = 2 \times 3 = 6\ m^2$

$h_G = \frac{3}{2} = 1.5\ m$

Req.:

F = ????

y_C = ????

Solution:

a)

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

$= 1000 \times 6 \times 1.5 = 9000\ kg$

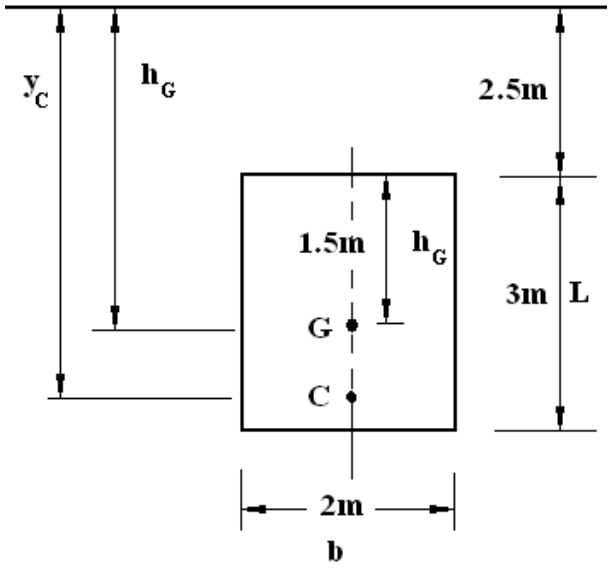
F in N = 9000 × 9.81 = 88290 N

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

$$I_G = \frac{bL^3}{12} = \frac{2(3)^3}{12} = 4.5 \text{ m}^4$$

$$y_C = \frac{4.5}{6 \times 1.5} + 1.5$$

= 0.5 + 1.5 = 2m



b)

h_G = 2.5 + 1.5 = 4 m

F = ω . h_G . A

F = 1000 × 4 × 6 = 24000 kg

F in N = 24000 × 9.81 = 235440 N

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

I_G = 4.5 m^4

h_G = 4 m

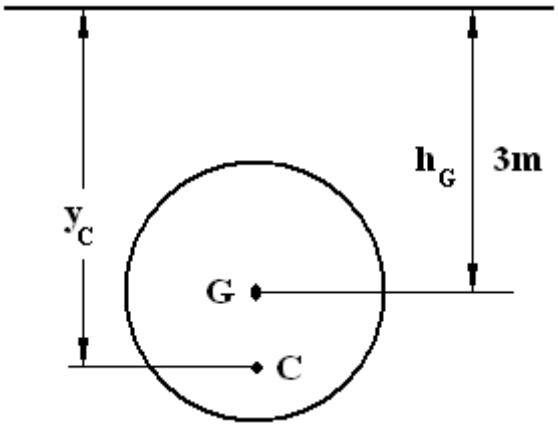
$A = 6\ m^2$

$$y_C = \frac{4.5}{(6)(4)} + 4$$

$y_C = 0.1875 + 4 = 4.1785\ m$

مثال (2):

سطح دائري الشكل قطره 1.5 متر مغمور رأسياً في خزان به ماء بحيث أن مركز الدائرة تقع على عمق 3 متر من السطح الحر للماء أوجد الضغط الكلي الواقع علي السطح؟ وكذلك مركز تأثيره؟



Given:

d = 1.5 m

A = $\frac{\pi}{4}d^2$

A = $\frac{\pi}{4}(1.5)^2$ = 1.767 m^2

h_G = 3 m

Req.:

F = ????

y_C = ????

Solution:

F = ω . A . h_G

= 1000 × 1.767 × 3 = 5301 kg

F in N = 5301 × 9.81 ≅ 52003 N

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

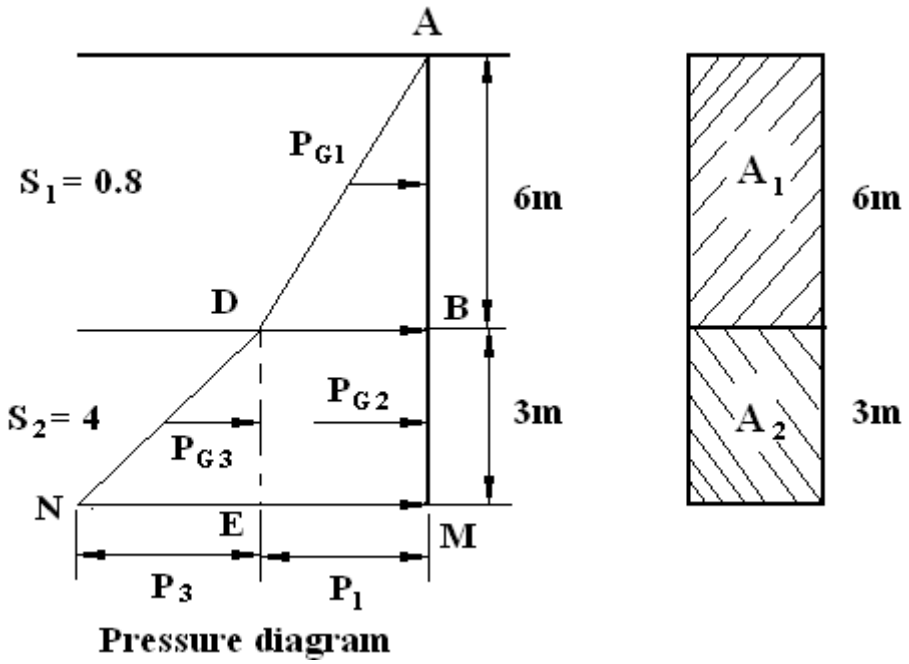
$$I_G = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi (1.5)^4}{64} = 0.2485 \text{ m}^4$$

$$y_C = \frac{0.2485}{(1.787)(3)} + 3$$

= 0.0477 + 3 = 3.077 m

مثال (3):

احسب الضغط الكلي ومركز الضغط علي الجانب الرأسي لخزان عرضه 2 متر به سائل كثافته النسبية = 4 ولارتفاع 3 متر وفوقه سائل آخر كثافته النسبية 0.8 ولارتفاع 6 متر.



Pressure diagram

Given:

$S_1 = 4$

$S_2 = 0.8$

Req.:

F, y_C

Solution:

$P_1 = \omega_1 h_1$

$= (0.8 \times 1000) \times 6$

$= 4800\ kg/m^2$

$P_3 = \omega_2\ h_2$

$= (4 \times 1000) \times 3$

$= 12000\ kg/m^2$

ويمكن حساب قوة الضغط من دياجرام الضغط كما يلي:

F_1 = area of ΔABD × width of the tank

$= \frac{1}{2} \times (4800)\ (6) \times 2 = 28800\ kg$

F_2 = Area of $\square$ BMED × width of the tank

$= (4800 \times 3) \times 2 = 28800\ kg$

F_3 = area of $\triangle$ NED × width of the tank

$= (\frac{1}{2} \times 12000 \times 3) \times 2 = 36000\ kg$

$F_{total} = F_1 + F_2 + F_3$

$= 28800 + 28800 + 36000$

$= 93600\ kg$

F_{total} in N = 93600 × 9.81 = 918216 N

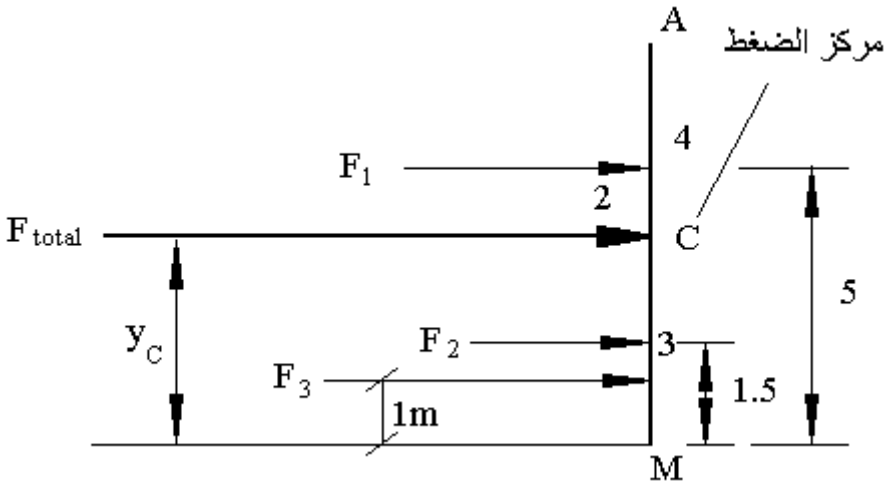
ملحوظة:

يمكن حســاب قوي الضــغط لكل جزء من جانب الخزان F_1, F_2, F_3 بطريقة أخري وذلك باستخدام قانون الضغط

$F = \omega\ A\ h_G$

إيجاد مركز الضغط:

بأخذ عزوم القوي حول نقطة M



$F_{total} \times y_C = F_1 (5) + F_2 (1.5) + F_3 (1)$

$93600 \times y_C = (28800) (5) + (28800) (1.5) + (36000) (1)$

$93600\ y_C = 223200$

$y_C = 2.38$ m

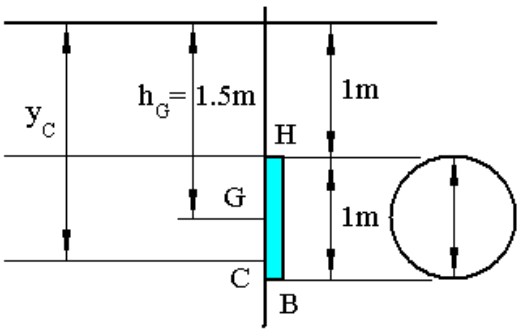
أي أن قوة الضـغط علي جانب الخزان هي 918216 نيوتن وتؤثر عند نقطة ترتفع عن قاع الخزان بمقدار 2.38 متر.

مثال (4):

فتحة دائرية قطرها 1 متر في خزان به سـائل كثافته النسـبية 0.9 وكان ارتفاع السـطح الحر للسـائل عن بداية الفتحة العليا هو 1 متر. فإذا كانت الفتحة مغطاة بقرص مثبت في جدار الخزان عند نقطة الفتحة العليا بمفصلة وعند نقطة الفتحة السفلي بمسمار.

أ) احسب قوة الضغط الكلي ومركز تأثيرها؟

ب)أوجد قوة الشد في المسمار.



Given:

S = 0.9

Req.:

a) F, CG

b) T

Solution:

a)

$F = \omega A h_G$

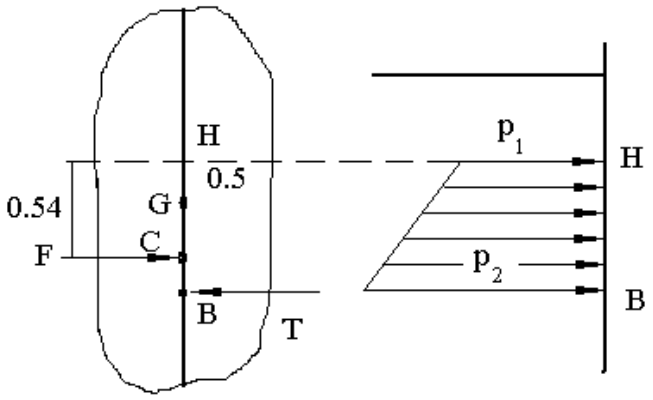
$= (0.9 \times 1000) (\frac{\pi}{4}(1)^2) . (1.5) \cong 1060$ kg

F in N = 1060 × 9.81 = 10398.6 N

$CG = \frac{I_G}{Ay_G} = \frac{\pi R^4/4}{(\pi R^2).h_G} = \frac{R^2}{4h_G} = \frac{(0.5)^2}{4(1.5)} = 0.04$ m

$y_C = 1.5 + 0.04 = 1.54$ m

∴ قوة الضغط الكلي حوالي 10398.6 N ومركز تأثيرها علي عمق 1.54 متر



b)

$F \times 0.54 = T \times 1$

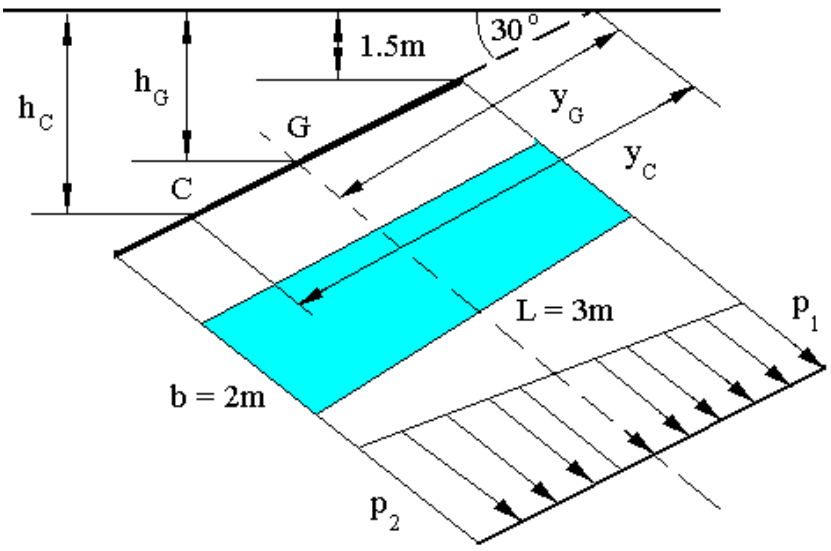
$1060 \times 0.54 = T$

$T = 572.4$ kg

T in $N = 572.4 \times 9.81 = 5615.2$ N

مثال (5):

لوح علي شـكل مسـتطيل أبعاده 3 m × 2 مغمور في خزان به ماء. بحيث يميل بزاوية 30° مع السـطح الحر للماء. أوجد الضـغط الكلي ومركز الضـغط علي اللوح عندما تكون الحافة العليا له علي عمق 1.5 متر من السطح الحر للماء.



Given:

$A = 2 \times 3 = 6\ m^2$

$\theta = 30^o$

Req.:

a) F

b) y_C

Solution:

a) $h_G = 1.5 + 1.5 \sin 30$

$= 2.25$ m

$F = \omega A h_G$

$= (1000)(6)(2.25)$

$= 13500$

F in N $= 13500 \times 9.81 = 132435$ N

b)

$$y_C = \frac{I_G}{Ay_G} + y_G$$

$$I_G = \frac{bL^3}{12} = \frac{2(3)^3}{12} = 4.5\ m^4$$

$$y_G = \frac{h_G}{\sin 30} = \frac{2.25}{\sin 30} = 4.5\ m$$

$$y_C = \frac{4.5}{(6)(4.5)} + 4.5 = 4.67 m$$

$h_C = y_C \sin 30$

$= 4.67 \times \sin 30$

$= 2.34$ m

∴ قوة الضـغط التي تؤثر علي اللوح هي 132435 نيوتن وتؤثر عند نقطة 2 التي علي عمق 2.34 متر من السطح الحر لماء الخزان.

التمرين الثالث

1- سطح مستطيل أبعاده 3 m × 1 مغمور رأسياً في خزان به ماء فإذا كانت الحافة العليا للسطح (1 m) أفقية وموازية لسطح الماء الحر أوجد الضغط الكلي بالنيوتن ومركز الضغط في الحالات التالية:

أ- إذا كانت الحافة العليا للسطح منطبقاً علي السطح الحر للماء

ب-إذا كانت الحافة العليا للسطح تقع أسفل السطح الحر للماء علي عمق 2 متر

(Ans.: (a) 44145 N ; 2 m, (b) 103005 N; 3.714 m)

2- سطح دائري الشكل قطره 1.5 متر مغمور رأسياً في خزان به ماء بحيث يكون عمق مركز الدائرة عن السطح الحر للماء 2 متر.

أوجد قوة الضغط الواقعة علي هذا السطح بالنيوتن وكذلك مركز تأثيره؟

(Ans.: 34669 N; 2.07 m)

3- خزان يحتوي علي ماء لارتفاع 0.5 متر عن قاع الخزان وضع فوق الماء سائل كثافته النسبية 0.8 ولارتفاع 1 متر. أوجد:

أ- الضغط الكلي علي جانب الخزان بالنيوتن

ب-مركز الضغط علي جانب الخزان إذا علمت أن عرض الخزان 2 متر

(Ans.: (a) 18149 N; (b) 1.01 m from top)

4- لوح دائري الشكل قطره 3 متر غمر في ماء بحيث كان أقل وأكبر عمق له هو 1.5 متر، 4 متر علي الترتيب أوجد

أ- قوة الضغط بالنيوتن

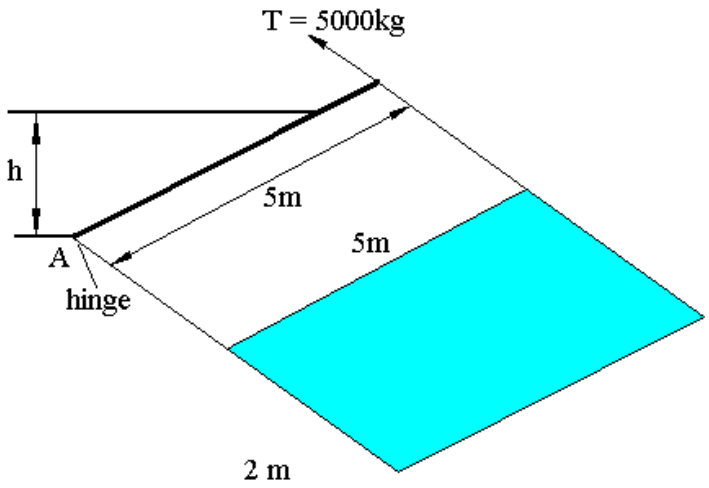
ب-مركز الضغط

(Ans.: (a) 190621 N; 2.89 m)

5- لوح علي شـكل مسـتطيل أبعاده 3 m × 4 مغمور في خزان به ماء بحيث يميل بزاوية 30° مع السـطح الحر للماء، أوجد الضـغط الكلي ومركز الضـغط عندما تكون الحافة العليا للوح علي عمق 2 متر من سطح الماء الحر.

(Ans.: 353167 N, 3.11 m depth)

6- بوابة مسـتطيلة الشـكل أبعادها 5m × 2 مثبتة بمفصـلة عند قاعدتها بحيث تميل بزاوية 60° مع السـطح الحر للماء في خزان. وللمحافظة علي وضـع البوابة تم شـد الطرف العلوي للبوابة بقوة 5000kg كما هو موضـح بالرسـم. أوجد عمق الماء الذي عنده تبدأ البوابة في الوقوع؟ مع إهمال وزن البوابة واحتكاك المفصلة.

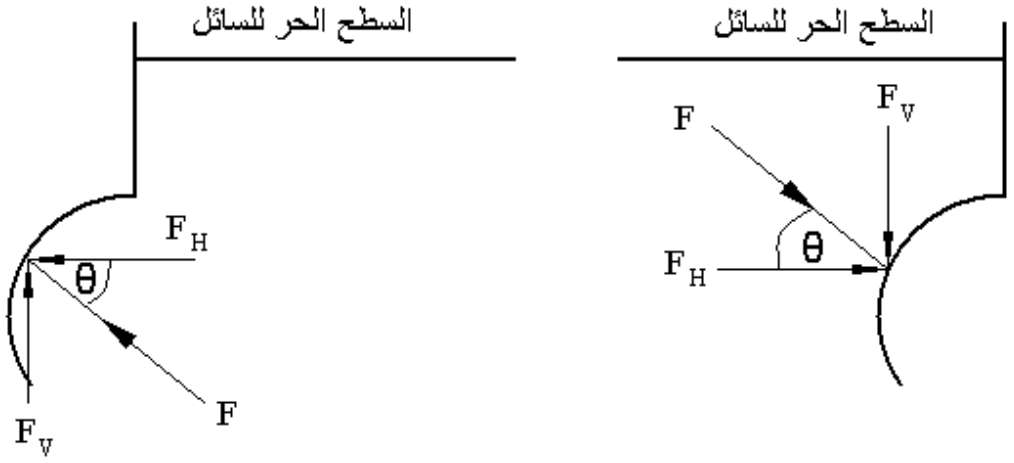


(Ans.: h = 3.83 m)

قوة الضغط علي السطوح المنحنية

Total pressure on the curved surface:

يمكن إيجاد قوة الضـغط أو الضـغط الكلي علي أي سـطح منحني ومغمور في سـائل وذلك بتحليلها إلي مركبتين: مركبة رأســية F_V ومركبة أفقية F_H ويتوقف اتجاه هذه المركبات الرأسية والأفقية علي مكان وجود السائل بالنسبة للسطح المنحني كما هو موضح بالشكل التالي:



وبمعرفة المركبتين الأفقية F_H والرأســية F_V يمكن حســاب محصــلة قوة الضــغط F علي السطح المنحني باستخدام المعادلة التالية:

$$F = \sqrt{F_H^2 + F_V^2}$$

وكذلك يمكن تحديد ميل قوة الضغط F علي المستوي الأفقي من المعادلة التالية:

$$\tan\theta = \frac{F_V}{F_H}$$

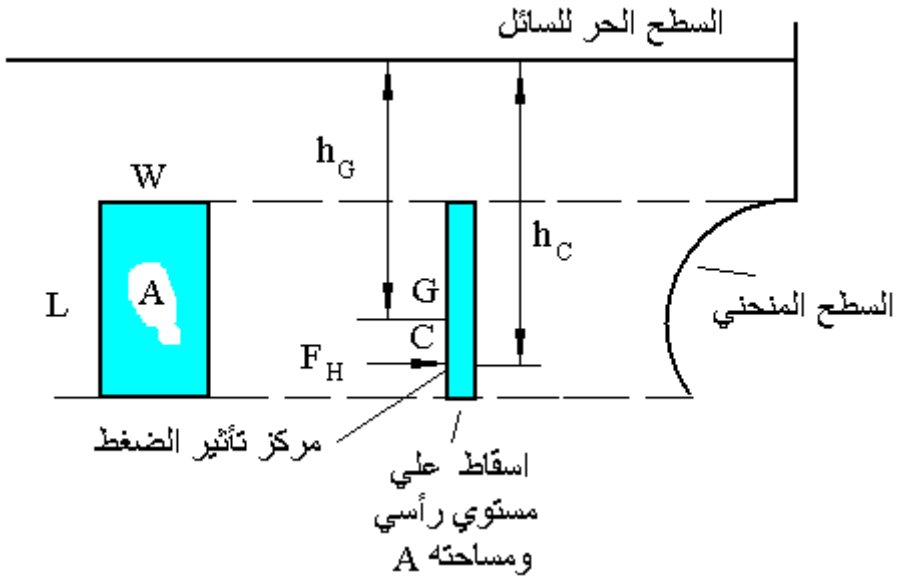
أولاً: حساب المركبة الأفقية FH لقوة الضغط علي سطح منحني:

ولإيجاد المركبة الأفقية F_H لقوة الضغط علي سطح منحني ومغمور في سائل نسقط السطح المنحني علي مستوي رأسي فنحصل علي سطح مستوي رأسي مساحته A ومركز هذه المساحة هو G. وبحساب قوة الضغط ومركز تأثيرها علي هذه المساحة كما سبق شرحه في حالة السطح المستوي الرأسي فتكون هي المركبة الأفقية F_H للسطح المنحني وتؤثر أفقياً عند النقطة C من العلاقات التالية:

$$F_H = \omega A h_G$$

$$h_C = \frac{I_G}{Ah_G} + h_G$$

ويتوقف اتجاه تأثير القوة F_H علي مكان وجود السائل من السطح المنحني كما هو موضح بالشكل التالي:



ثانياً: حساب المركبة الرأسية FV لقوة الضغط علي سطح منحني:

ولإيجاد المركبة الرأسية F_V للضغط الكلي أو قوة الضغط علي سطح منحني مغمور في سائل نسقط السطح المنحني علي مستوي أفقي وهو السطح الحر للسائل ثم نحسب

قيمة المركبة الرأسية F_V كوزن السائل الفعلي في حالة وجوده فوق السطح المنحني أو كوزن السائل التخيلي في حالة عدم وجود السائل فوق السطح المنحني وذلك من العلاقة التالية:

$$F_V = \omega V$$

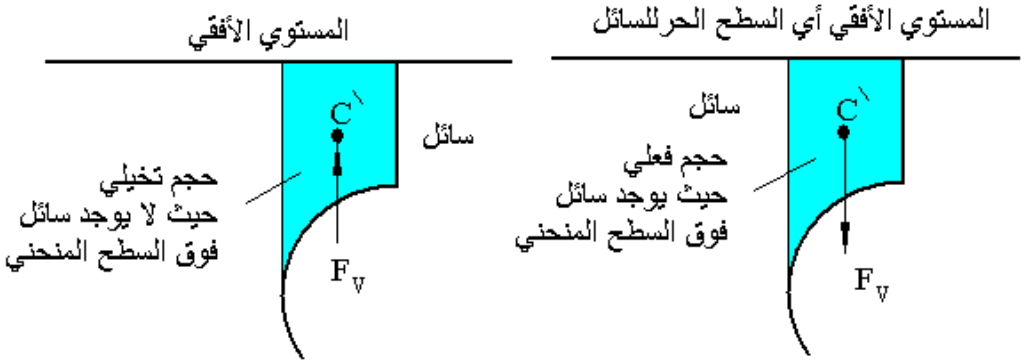
حيث أن:

F_V هي المركبة الرأسية لقوة الضغط علي السطح المنحني بوحدات N

ω هي الوزن النوعي للسائل بوحدات N/m^3

V هو الحجم المحصور بين السطح المنحني وإسقاطه علي المستوي الأفقي (السطح الحر للسائل) وهو عبارة عن حاصل ضرب المساحة المحصورة بين السطح المنحني وإسقاطه × عرض السطح المنحني

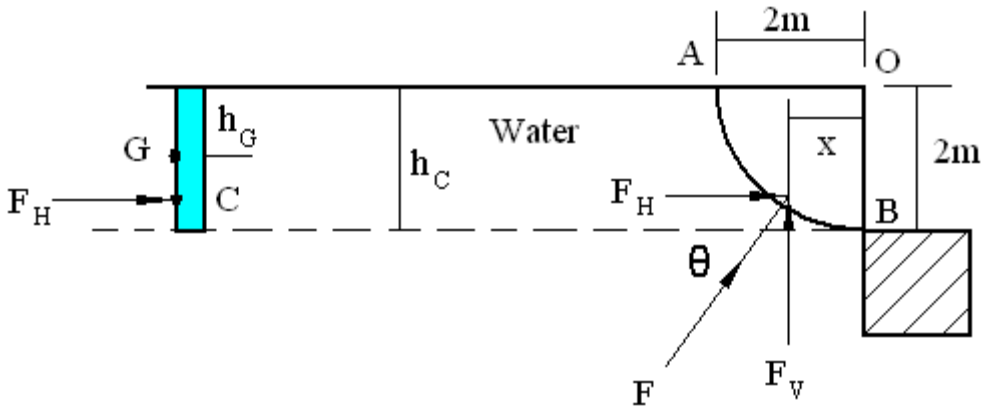
وتؤثر هذه المركبة الرأسية F_V في مركز الحجم المحصور بين السطح المنحني وإسقاطه علي المستوي الأفقي أي السطح الحر للسائل كما هو موضح بالشكل



أمثلة محلولة:

مثال (1):

احسب محصلة قوي الضغط الناتجة من ماء يؤثر علي بوابة علي شكل ربع دائرة نصف قطرها 2 متر كما هو موضح بالشكل، وأوجد زاوية ميل قوة الضغط المحصلة مع المستوي الأفقي؟ علماً بأن عرض البوابة هو 1 متر.



أولاً: حساب المركبة الأفقية F_H:

$F_H = \omega A h_G$

$= (1000)(2\times1)(1) = 2000$ kg

$$h_C = \frac{I_G}{Ah_G} + h_G$$

$$I_G = \frac{bL^3}{12} = \frac{1(2)^3}{12} = \frac{2}{3}$$

$$h_C = \frac{\frac{2}{3}}{(2\times1)(1)} + 1 = 1\frac{1}{3} = \frac{4}{3}$$ m from the free surface of water

ثانياً: حساب المركبة الرأسية F_V:

$F_V = \omega V$

$$V = \frac{\pi r^2}{4}\times1 = \frac{\pi(2)^2}{4} = \pi \text{ m}^3$$

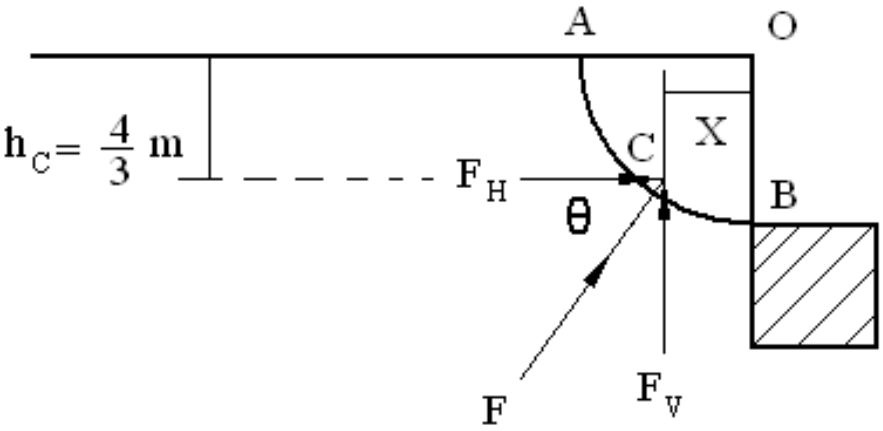
$F_V = (1000)(\pi) = 3140$ kg

$F = \sqrt{F_H^2 + F_V^2} = \sqrt{(2000)^2 + (3140)^2} = 3724.2$ kg

F in N = 36534 N

$$\tan\theta = \frac{F_V}{F_H} = \frac{3140}{2000} = 1.57$$

$\theta = 57.5^o$



$$\sum M_o = 0$$

$F_H \times h_C = F_V \times x$

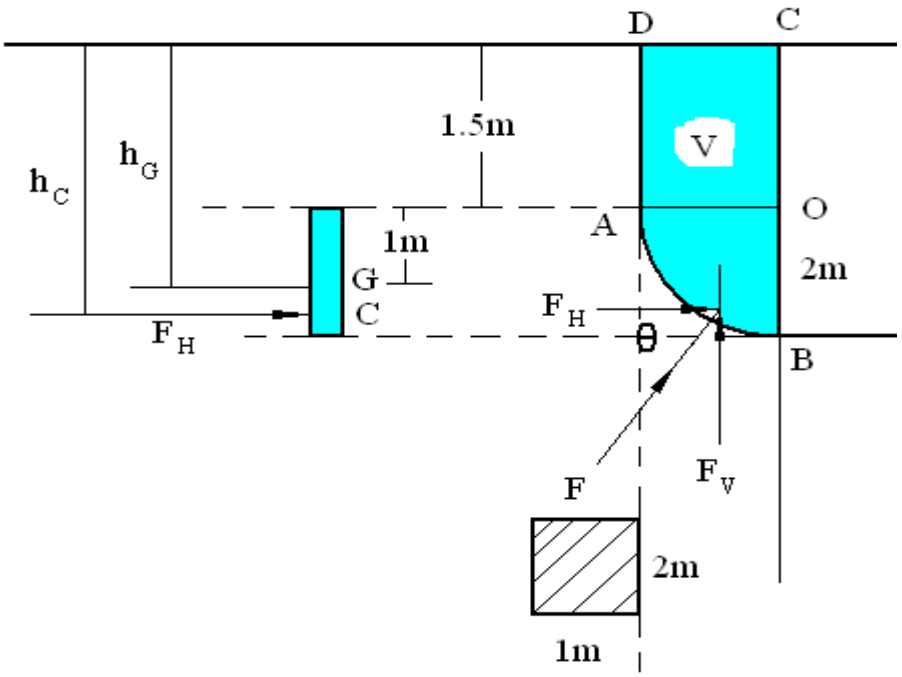
$2000 \times \frac{4}{3} = 3140\ x$

$x = 0.85$ m

∴ محصلة الضغط الكلي أو قوة الضغط الواقعة علي السطح المنحني هي 36534 نيوتن وتميل بزاوية 57.5^o مع المستوي الأفقي ونقطة تأثيرها علي عمق $\frac{4}{3}$ متر من سطح الماء الحر وتبعد أفقياً عن مركز الدائرة O بمقدار 0.85 متر.

مثال (2):

احسب المركبة الأفقية والرأسية لقوة الضغط علي بوابة علي شكل منحني AB مغمور في خزان به ماء وعلي شكل ربع دائرة نصف قطرها 2 متر كما هو موضح بالشكل . وذلك لوحدة الطول من البوابة . ثم احسب محصلة قوة الضغط ومركز تأثير محصلة قوة الضغط وزاوية ميلها علي الأفقي؟



Given:

Width = 1 m

A = 2 × 1 = 2 m^2

Req.:

F_H, F_V

Solution:

$F_H = \omega A h_G$

= (1000) × (2) × (1.5 + 1) = 5000 kg

$F_V = \omega V$

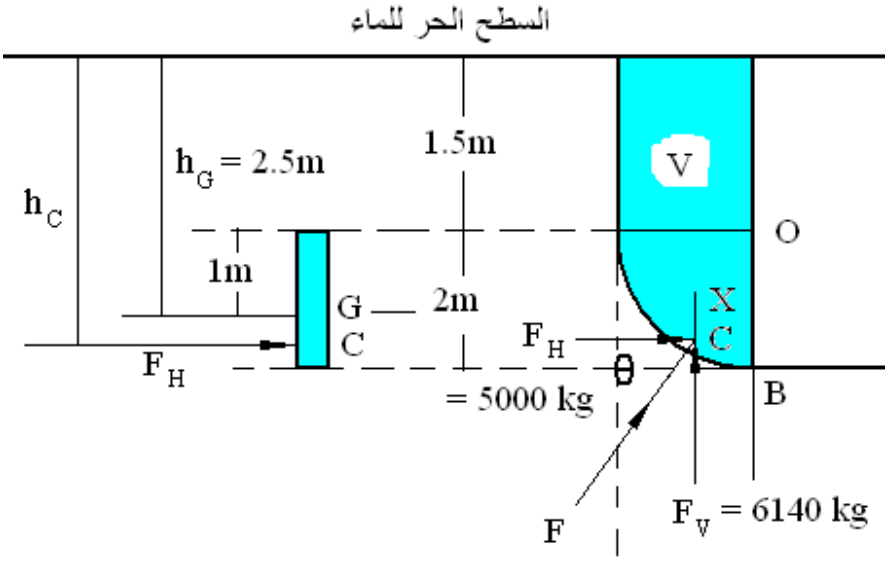
V = volume of AOCD + volume of AOB

$$= (2 \times 1.5 \times 1) + \left(\frac{\pi r^2}{4} \times 1\right)$$

$$= 3 + \pi \cong 6.14 \ m^3$$

F_V = (1000) × (6.14) = 6140 kg

ولتحديد نقطة تأثير مركز الضغط (C):



F= $\sqrt{F_H^2 + F_V^2} = \sqrt{(500)^2 + (6140)^2}$ = 6160.3 kg

F in N = 6160.3 × 9.81 = 60432.5 N

= 60.4325 kN

$$\tan\theta = \frac{F_V}{F_H} = \frac{6140}{5000} = 1.2280$$

θ = 50.84°

$$h_C = \frac{I_G}{Ah_G} + h_G$$

$$I_G = \frac{bL^3}{12} = \frac{1(2)^3}{12} = \frac{2}{3}\ \text{m}^4$$

$$h_C = \frac{2/3}{(2\times1)(2.5)} + 2.5$$

= 0.13 + 2.5 ≅ 2.63 m from the free surface of the water

$$\sum M_o = 0$$

$F_H \times 0.13 = F_V \times x$

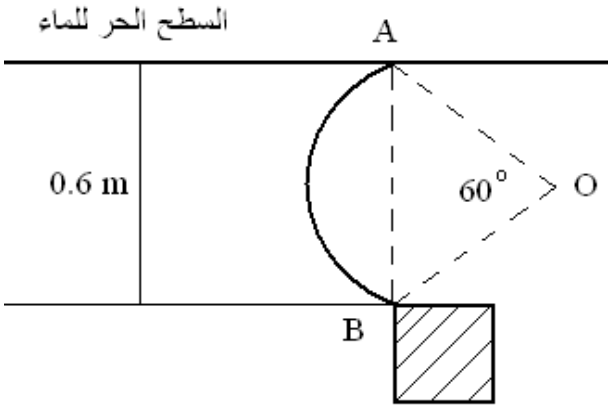
$500 \times (0.13) = 6140\ x$

$x = 0.11$ m

∴ قوة الضغط علي السطح المنحني هي 60.4325 kN وتميل بزاوية 50.84^o وتؤثر عند النقطة C علي عمق 2.5 متر وتبعد أفقياً بحوالي 11 سم من النقطة O.

مثال (3):

احسب محصلة قوة الضغط علي سطح منحني علي شكل قوس في دائرة زاويته المركزية 60^o ومغمور في خزان به ماء كما هو موضح بالشكل علماً بأن عرض السطح 2 متر. ثم حدد زاوية ميل قوة الضغط علي المستوي الأفقي. وكذلك مركز تأثير الضغط الكلي.



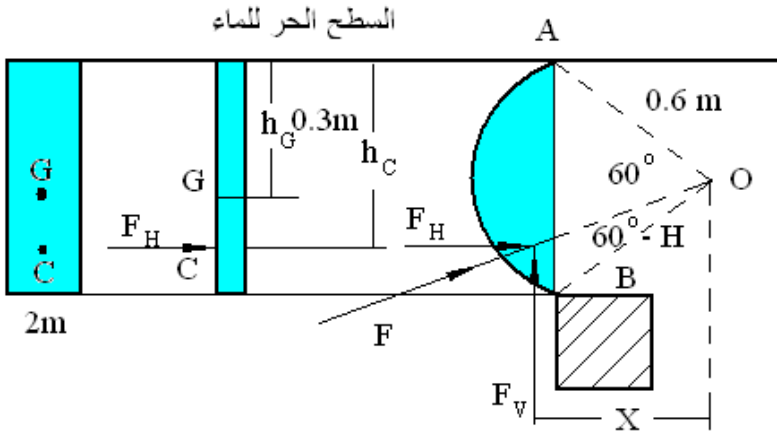
Req.:

a) F

b) θ

c) C

Solution:



a) $F_H = \omega A h_G$

= (1000) × (2 × 0.6) (0.3) = 360 kg

$F_V = \omega V$

V = (segmet area of $\overset{\frown}{AB}$ × Width

= sector area OAB – Triangle area OAB × Width

$$= \left(\frac{60}{360} \times \pi (0.6)^2 - \frac{1}{2}(0.6)(0.6)(\sin 60) \right) \times 2$$

= (0.1884 – 0.153) × 2 = 0.0708 m^3

F_V = (1000) × (0.0708) = 70.8 kg

F= $\sqrt{F_H^2 + F_V^2} = \sqrt{(360)^2 + (70.8)^2}$ = 366.9kg

F in N = 366.9 × 9.81 = 3599 N

= 3.599 kN

$$\tan\theta = \frac{F_V}{F_H} = \frac{70.8}{360} = 1.97$$

θ = 11.12°

لتحديد مركز الضغط الكلي C:

$$h_C = \frac{I_G}{A h_G} + h_G$$

$$I_G = \frac{bL^3}{12} = \frac{2(0.6)^3}{12} = 0.036\ \text{m}^4$$

$$h_C = \frac{0.036}{(2 \times 0.6)(0.3)} + 0.3$$

= 0.1 + 0.3 = 0.4 m from the free surface of the water

$$\sum M_o = 0$$

$F_H \times 0.4 = F_V \times x$

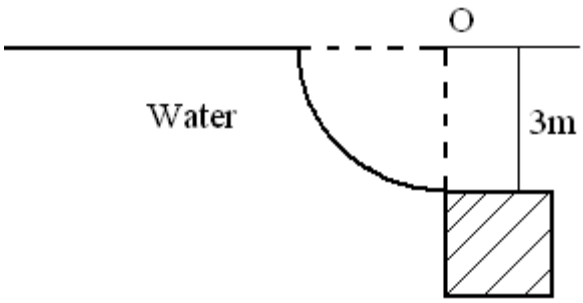
$360 \times (0.4) = 70.8\ x$

x = 2.03 m from point O

∴ محصلة قوة الضغط علي السطح المنحني هي 3.599 kN وتميل بزاوية 11.12^o وتؤثر عند النقطة C علي عمق 0.4 متر من سـطح الماء الحر وتبعد أفقياً بحوالي 2.03 سـم من النقطة O.

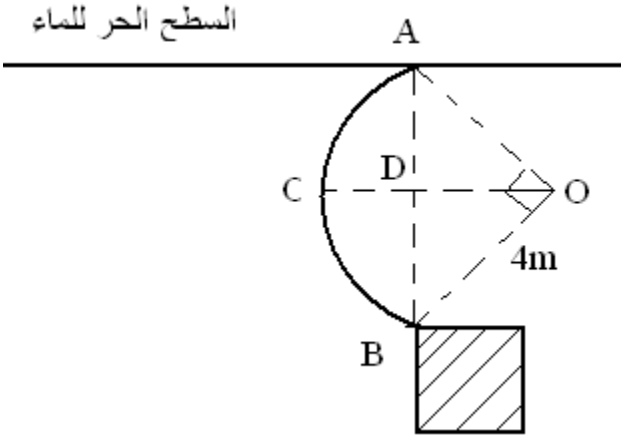
التمرين الرابع

1) احسب المركبة الأفقية والرأسية لقوة الضغط علي بوابة علي شكل ربع دائرة مغمورة في خزان به ماء نصف قطرها 3 متر كما هو موضح بالشكل علماً بأن عرض البوابة 1 متر. ثم أوجد محصلة قوة الضغط علي البوابة. وكذلك زاوية ميلها علي المستوي الأفقي؟ وحدد مركز تأثيرها؟

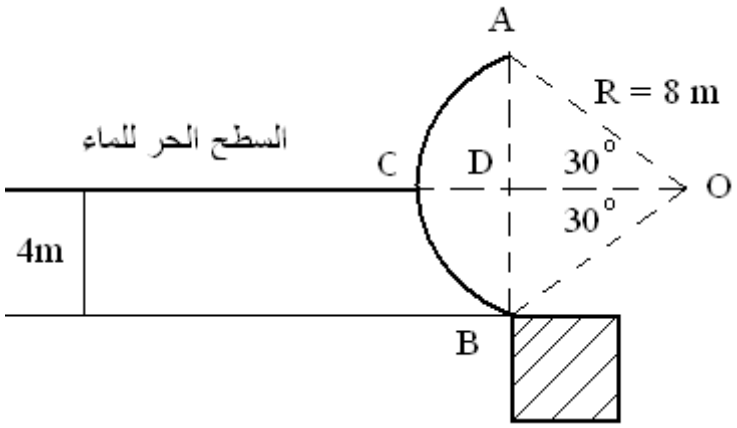


(Ans.: 44.15 kN; 69.31 kN; 82.17 kN, 57.5°)

2) احسب محصلة قوي الضغط علي بوابة علي شكل قوس في دائرة نصف قطرها 4 متر كالمبينة بالشكل علماً بأن عرض البوابة 1 متر وكذلك زاوية ميلها علي المستوي الأفقي.

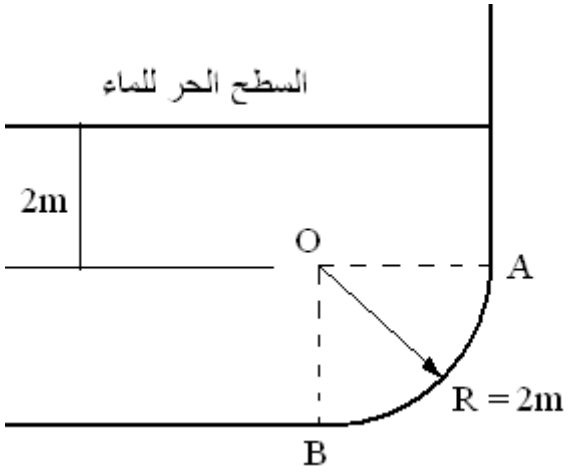


3) احسب المركبة الأفقية والرأسية لقوة الضغط علي بوابة علي شكل سطح منحني كما هو مبين بالشكل علماً بأن عرض البوابة 1 متر.



(Ans.: 78.48 kN; 78.44 kN)

4) احسب محصلة الضغط الكلي علي سطح منحني مغمور في الماء وعلي شكل ربع دائرة نصف قطرها 2 متر؟ واحسب زاوية ميل قوة الضغط علي المستوي الأفقي؟ وكذلك مركز تأثيرها؟



(Ans.: F_H = 117.72 kN; F_V = 140.11 kN)

الفصل الرابع

الهيدروديناميكا

الفصل الرابع

الهيدروديناميكا

الهدف العام: التعرف على الهيدروديناميكا للموائع

الأهداف:

1. ان يتعرف الطالب ما المقصود بسريان الموائع Fluid Flow:
2. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالسريان المستقر والغير مستقر – Steady Flow Unsteady Flow
3. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالسريان المنتظم وغير المنتظم Uniform and non-uniform Flow
4. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالسريان الرقائقي Laminar flow
5. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالسريان الاضطرابي Turbulent Flow
6. ان يتعرف الطالب ما المقصود معدل التصرف Rate of Discharge وكيفية حسابه
7. ان يتعرف الطالب ما المقصود بمعادلة الاستمرار لسريان السائل Continuity Equation
8. ان يتعرف الطالب ما المقصود بمعادلة برنولي Bernoulli's equation
9. ان يتعرف الطالب ما المقصود بطاقة السوائل المتحركة
10. ان يتعرف الطالب ما المقصود بمعادلة برنولي للمائع الحقيقي Bernoulli's equation for real fluid
11. ان يتعرف الطالب ما المقصود خط الطاقة الكلية وخط الميل الهيدروليكي Total energy line and hydraulic gradient line
12. ان يتعرف الطالب ما المقصود بخط الطاقة الكلية وخط الميل الهيدروليكي لمائع مثالي.

الهيدروديناميكا

(1) تعريف:

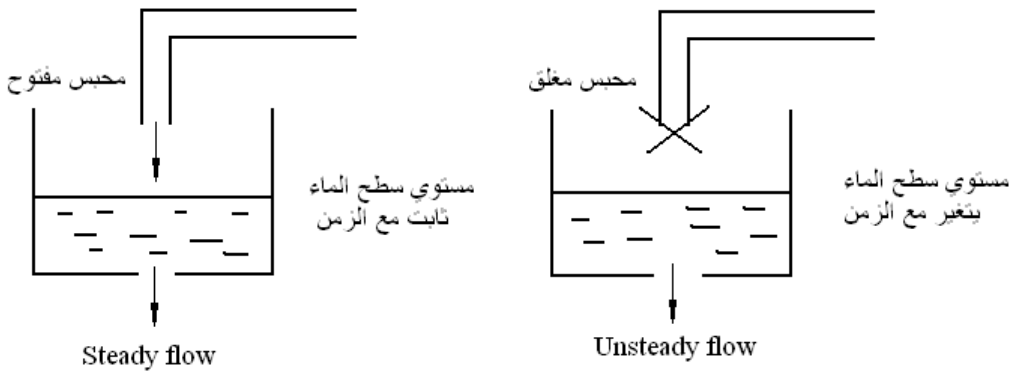
تعرف الهيدروديناميكا بأنه ذلك الفرع من الهيدروليكا الذي يدرس حركة المائع والقوي المسببة لهذه الحركة.

(2) سريان الموائع Fluid Flow:

يقصد بسريان الموائع حركة جزيئاتها أو بمعني آخر وصف السرعة والضغط وغيرها من خواص المائع عند نقطة أثناء حركة المائع. ولذلك فإن سريان الموائع ينقسم إلي الأقسام التالية:

(أ) السريان المستقر والغير مستقر Steady Flow – Unsteady Flow:

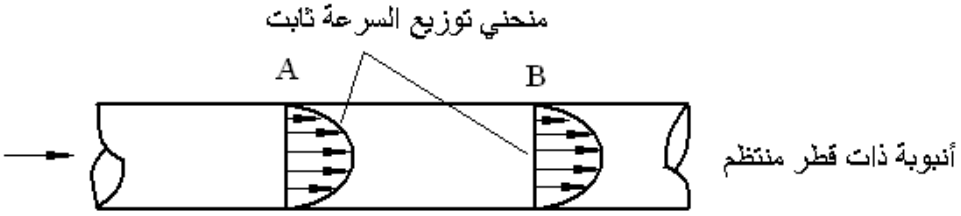
في المستقر Steady flow تكون قيم السرعة والضغط وغيرها من خواص المائع ثابتة لا تتغير بالنسبة للزمن عند نقطة واحدة. ولكن يمكن أن تتغير هذه القيم من نقطة إلي أخري. وبالتالي فإن السريان غير المستقر Unsteady flow تتغير فيه السرعة والضغط بالنسبة للزمن عند نقطة واحدة، وبتعبير آخر فإن السريان يكون مستقر إذا كانت كمية المائع التي تمر عند أي قطاع ثابتة ولا تتغير مع الزمن. أما إذا كان معدل السريان متغير مع الزمن فإن السريان يكون غير مستقر كما هو موضح بالرسم:



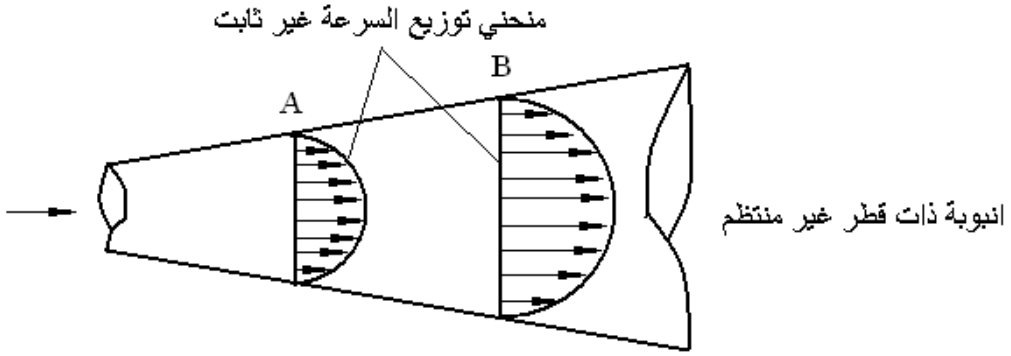
ب) السريان المنتظم وغير المنتظم Uniform and non-uniform flows:

يقصد بالسريان المنتظم Uniform flow بأنه السريان الذي تكون فيه السرعة متساوية في جميع المائع عند وقت معين وهناك تعريف تقريبي للسريان المنتظم بأنه السريان الذي يكون فيه منحني توزيع السرعة واحد في جميع مقاطع الأنبوبة.

وهذا يحدث في حالة إذا كانت الأنبوبة ذات قطر منتظم أما السريان غير المنتظم ففيه تتغير سرعة السريان من مقطع لآخر عند وقت معين أي أن منحني توزيع السرعة سوف تتغير من مقطع لآخر وذلك كما هو واضح في الشكل التالي:



سريان منتظم Uniform flow



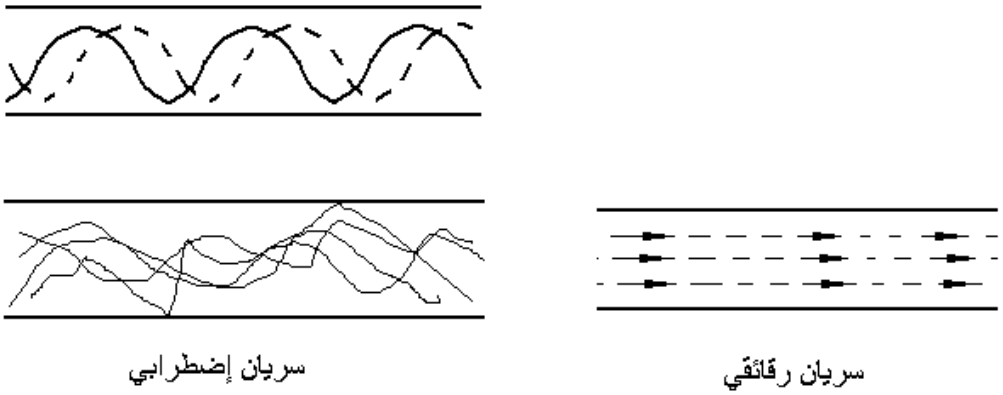
سريان غير منتظم Non-uniform folw

ج) السريان الرقائقي Laminar flow

وفي السريان الرقائقي يتحرك المائع علي شكل طبقات تنزلق علي بعضها بسرعات مختلفة ولكنها لا تختلط بل تتحرك علي امتداد خط مستقيم ولذلك فإن الفقد في الطاقة أثناء حركة المائع يكون نتيجة الاحتكاك الداخلي بين الطبقات وبعضها البعض وبالتالي يكون للزوجة تأثير مباشر علي هذا النوع من السريان ويسمي هذا النوع بالسريان اللزج Viscous flow.

د- السريان الاضطرابي Turbulent flow:

وفي السريان الاضطرابي تتحرك جزيئات المائع بصورة عشوائية في اتجاهات مختلفة فيحدث اختلاط أثناء سريان المائع وبالتالي لا يكون للزوجة تأثير مباشر ويكون الفقد في الطاقة نتيجة الاحتكاك بين المائع ككل وجدران الأنبوبة وكلما كانت جدران الأنبوبة خشنة سيزيد الفقد في طاقة الاحتكاك وذلك كما هو موضح بالشكل:



سريان إضطرابي سريان رقائقي

معدل التصرف Rate of Discharge:

يعرف معدل التصرـف عند أي قطاع داخل ماســورة أو قناة بحجم الســائل المار خلاله في وحدة الزمن، ويمكن التعبير عن معدل التصرف بالعلاقة التالية بوحدات:

$Q = a \times v$

حيث أن:

a هي مساحة مقطع الماسورة بوحدات m^2

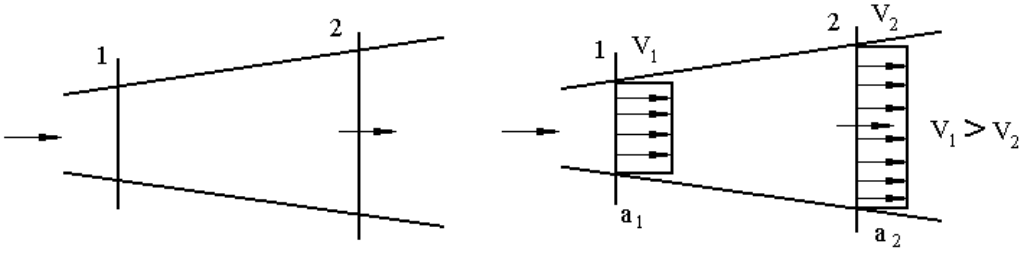
v هي السرعة المتوسطة للسائل بوحدات m/s

Q هي تصرف السائل بوحدات m^3/s

معادلة الاستمرار لسريان السائل Continuity Equation:

عندما يتدفق سائل بصورة مستمرة خلال ماسورة أو قناة فإن كمية السائل في وحدة الزمن تكون ثابتة عند جميع مقاطع الماســورة أو القناة وهذا هو ما يعرف بمعادلة الاســتمرار لسريان السائل.

فإذا اعتبرنا ماسورة ذات مقطع متغير يسري خلالها سائل معين كما هو موشح بالشكل:



فإنه عند القطاع 1 والقطاع 2 في الماسورة ومن المعادلة معدل التصرف فإن:

$Q_1 = a_1 \times v_1$

$Q_2 = a_2 \times v_2$

حيث أن Q_1, Q_2 هو معدل التصرــف عند القطاع 1 والقطاع 2 بوحدات m^3/s و a_1, a_2 هو مساحة مقطع الماسورة عند القطاعان 1 و 2 بوحدات m^2 و v_1, v_2 هو سرعة السائل عند القطاعان 1 و 2 وبوحدات m/s.

ومن تعريف معادلة الاستمرار نستنتج أن:

$Q_1 = Q_2$

أي أن:

$a_1 v_1 = a_2 v_2 = ...$

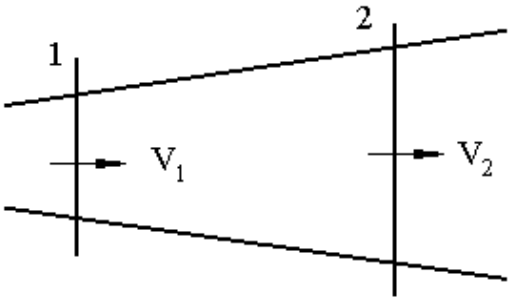
والصورة السابقة تسمي معادلة الاستمرار لسريان السائل.

مثال (1):

يتدفق ماء خلال ماسورة قطر مقطعها في البداية 10 سم وقطر مقطعها في نهاية الماسورة هو 15 سم وسرعة الماء في بداية الماسورة هو 5 متر/ثانية. أوجد

أ) سرعة الماء عند نهاية الماسورة

ب)تصرف الماء الخارج من الماسورة باللتر/ثانية.



Given:

$d_1 = 10\ cm = 0.1\ m$

$v_1 = 5\ m/s$

d_2 = 15 cm = 0.15 m

req.:

a) v_2 = ?????

b) Q = ????

Solution:

a) $a_1 v_1 = a_2 v_2$

$$\frac{\pi}{4}(0.01)^2 \times 5 = \frac{\pi}{4}(0.15)^2 \times v_2$$

v_2 = 2.2 m/s

b) $Q = a_1 v_1$

= $\frac{\pi}{4}(0.01)^2 \times 5 = 0.04\ m^3/s$

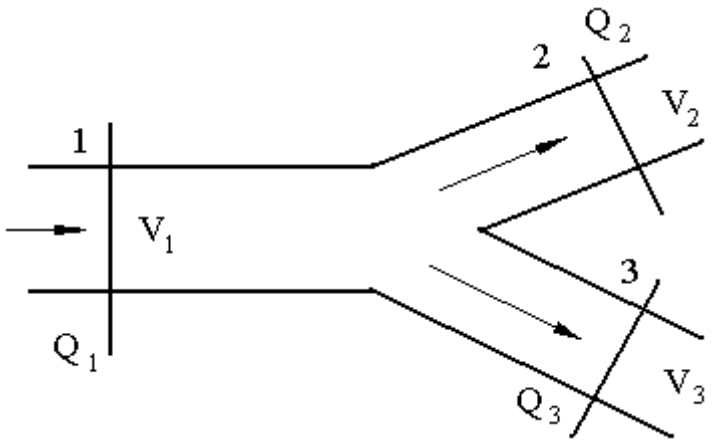
Q in lit/s = 0.04 ×1000 = 40 lit/s

مثال (2):

ماسـورة قطر مقطعها في البداية 30 سـم وتتفرع إلي ماسـورتين قطرهما 20 سـم و 15 سـم فإذا كانت سرعة الماء المار خلال الماسورة في بدايتها هو 2.5 متر/ثانية. أوجد:

أ) تصرف الماسورة

ب)إذا علمت أن سرعة الماء في الماســورة ذات القطر 20 ســم هو 2 متر/ثانية فأوجد سرعة الماء في الماسورة ذات القطر 15 سم.



Given:

d_1 = 30 cm = 0.3 m

v_1 = 2.5 m/s

d_2 = 20 cm = 0.2 m

v_2 = 2 m/s

d_3 = 15 cm = 0.15 m

Req.:

a) Q_1, Q_2, Q_3

b) V_3

Solution:

a) $Q_1 = a_1 v_1$

$$= \frac{\pi}{4}(0.3)^2 \times 2.5 = 0.18 \text{ m}^3/\text{s}$$

$Q_2 = a_2 v_2$

$$= \frac{\pi}{4}(0.2)^2 \times 2 = 0.06 \text{ m}^3/\text{s}$$

$\because Q_1 = Q_2 + Q_3$

$0.18 = 0.06 + Q_3$

$\therefore Q_3 = 0.12\ m^3/s$

b) $\because Q_3 = a_3 v_3$

$0.12 = = \frac{\pi}{4}(0.15)^2 \times v_3$

$\therefore v_3 = 6.4\ m/s$

معادلة برنولي Bernoulli's equation:

تنص معادلة برنولي علي أن الطاقة الكلية لوحدة الوزن في الثانية لسـائل مثالي (أي أن لزوجته تساوي صفر) وغير قابل للانضغاط ويتدفق بسريان مستقر Steady flow تكون ثابتة لا تتغير أثناء سريانه من نقطة إلي أخرى علي خط سريان واحد.

وبمعني آخر أن مجموع طاقات الوضـع والسرـعة والضـغط عند نقطة ما تسـاوي نفس مجموعها عند أي نقطة أخرى بشرـط أن لا يكون هناك أي فقد في الطاقة ناتج من الاحتكاك أثناء سريان السائل.

طاقة السوائل المتحركة:

يمكن تعريف الطاقة بصـورة عامة علي أنها القدرة علي بذل الشـغل وتوجد الطاقة علي أشكال مختلفة أهمها:

1- طاقة الحركة Kinetic energy:

وهي الطاقة التي يكتسبها السائل نتيجة لحركته ويمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية:

$K.E. = \frac{1}{2} m\ v^2$

ولتحديد طاقة الحركة لوحدة الوزن فإن المعادلة السـابقة يتم قسـمتها علي وزن السـائل m.g كما يلي:

K.E. for weight unit = $\frac{1}{2}\frac{mv^2}{mg} = \frac{v^2}{2g}$ (in m of liquid)

ويطلق علي طاقة السرعة لوحدة الوزن بضاغط السرعة للسائل ووحداته هي المتر

2- طاقة الوضع Potential energy:

وهي الطاقة التي يكتسبها السائل نتيجة لوضعه. فإذا كان السائل علي ارتفاع Z متر فوق مستوي المقارنة فإن طاقة الوضع لهذا السائل هي:

P.E. = m. g. Z

وبالتالي فإن طاقة الوضع لوحدة الوزن للسائل تصبح كما يلي:

P.E. for weight unit = $\frac{m.g.Z}{m.g}$ = Z

ويطلق علي طاقة الوضع لوحدة الوزن بضاغط الوضع للسائل عند النقطة موضع الدراسة ووحداته هي المتر.

3- طاقة الضغط Pressure energy:

وهي الطاقة التي يكتسبها السائل نتيجة الضغط المعرض له فإذا كان السائل علي عمق h متر من سطح السائل الحر فإنه يتعرض لطاقة ضغط لوحدة الوزن يمكن إيجادها من العلاقة التالية:

P.E. for weight unit = $\frac{m.g.h}{m.g}$ = h (m of liquid)

أو يمكن إيجادها بمعلومية الضغط P والوزن النوعي للسائل ω كما يلي:

P.E. for weight unit = h = $\frac{P}{\omega}$ (in m of liquid)

ويطلق علي طاقة الضغط لوحدة الوزن بضاغط الضغط للسائل عند النقطة تحت الدراسة ووحداته تكون بالمتر

وبناءاً علي ما سبق فإن الطاقة الكلية لسائل متحرك يمكن الحصول عليها بجمع الطاقات الثلاث السابقة أي أن:

$$\text{Total Energy} = Z + h + \frac{v^2}{2g}$$

أو علي الصورة

$$\text{Total Energy} = Z + \frac{P}{\omega} + \frac{v^2}{2g}$$

وبناءاً علي نظرية برنولي فإن الطاقة لوحدة الوزن تكون ثابتة للسائل المثالي أي أن:

$$H = Z + \frac{P}{\omega} + \frac{v^2}{2g} = \text{constant}$$

حيث أن:

H هو الطاقة الكلية لوحدة الوزن عند النقطة موضع الدراسة ويسمي ثابت برنولي ووحداته m

Z ارتفاع النقطة فوق مستوي المقارنة ووحداته m

P ضغط السائل N/m^2

ω الوزن النوعي للسائل بوحدة N/m^3

v سرعة السائل بوحدات m/s

g عجلة الجاذبية بوحدات m/s^2

أمثلة محلولة

مثال (1):

يتدفق ماء خلال ماسورة قطرها 5 سم تحت ضغط 29.43 نيوتن/سم^2 وبسرعة 2 متر/ثانية. أوجد الطاقة الكلية لوحدة الوزن للماء (أو الضاغط الكلي) عند نقطة ترتفع عن مستوي المقارنة 5 متر.

Given:

d = 5 cm = 0.05 m

P = 29.43 N/cm^2 = 29.43 × 10^4 N/m^2

v = 2 m/s

Z = 5 m

Req.:

H = ???

Solution:

$$H = Z + \frac{P}{\omega} + \frac{v^2}{2g}$$

$$= 5 + \frac{29.43\times10^4}{1000\times9.81} + \frac{(2)^2}{2\times9.81}$$

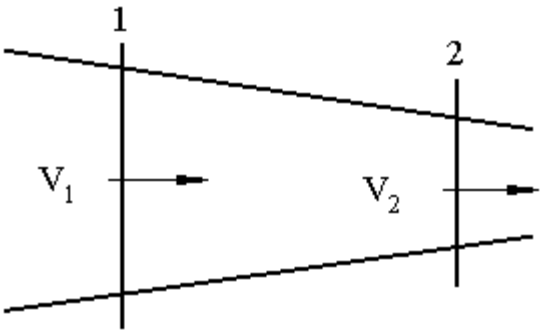
= 5 + 30 + 0.204

= 35.204 m

مثال (2):

يتدفق ماء خلال ماسورة أفقية قطرها عند الدخول والخروج 20 سم و 10 سم علي الترتيب وسرعة الماء عند الدخول 4 متر/ثانية.

أوجد ضاغط السرعة عند الدخول والخروج؟ وأوجد كذلك معدل التصرف باللتر/ثانية؟



Given:

d_1 = 20 cm = 0.2 m

d_2 = 10 cm = 0.1 m

v_1 = 4 m/sec

Req.:

a) $\frac{v_1^2}{2g}$ and $\frac{v_2^2}{2g}$

b) Q = ???

Solution:

a) Velocity head at 1 = $\frac{v_1^2}{2g}$

$$= \frac{(4)^2}{2\times 9.81} = 0.815 \text{ m}$$

ومن معادلة الاستمرار

$a_1 v_1 = a_2 v_2$

$\frac{\pi}{4} \times (0.2)^2 \times 4 = \frac{\pi}{4} \times (0.1)^2 \times v_2$

v_2 = 16 m/s

velocity at 2 = $\frac{v_2^2}{2g}$

$= \frac{(16)^2}{2 \times 9.81} = 83.04$ m

b) $Q = a_1 v_1$

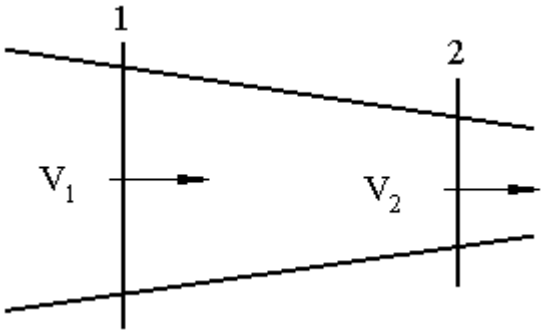
$\frac{\pi}{4} \times (0.2)^2 \times 4 = 0.1256$ m^3/s

Q in lit/s = 0.1256 × 1000

= 125.6 lit/s

مثال (3):

ماســورة أفقية قطرها عند الدخول والخروج هو 25 ســم و 15 ســم علي الترتيب، يتدفق خلالها ماء بتصرف 60 لتر/ ثانية. فإذا كان الضغط عند الدخول يساوي 1 بار. أوجد ضغط الماء عند الخروج بوحدات البار؟



Given:

$d_1 = 25$ cm = 0.25 m

$d_2 = 15$ cm = 0.15 m

$Q = 60$ lit/s = $\frac{60}{1000} = 0.06$ m^3

$P_1 = 1$ bar = 10^5 N/m^2

Req.:

P_2 = ???

Solution:

بما أن الماسورة أفقية سنعتبر سطح المقارنة Datum line هو محور الماسورة وهذا يعني أن ضاغط الوضع عند المدخل والمخرج 1، 2 يساوي صفر أن: $Z_1 = Z_2 = 0$

ومن معادلة الاستمرار

$Q = a_1 v_1 = a_2 v_2$

وحيث أن

$a_1 = \frac{\pi}{4} (0.25)^2 \cong 0.05 \text{ m}^2$

$a_2 = \frac{\pi}{4} (0.15)^2 \cong 0.02 \text{ m}^2$

$\therefore v_1 = \frac{Q}{a_1} = \frac{0.06}{0.05} = 1.2 \text{ m/s}$

$v_2 = \frac{Q}{a_2} = \frac{0.06}{0.02} = 3 \text{ m/s}$

ومن معادلة برنولي:

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

$0 + \frac{10^5}{1000 \times 9.81} + \frac{(1.2)^2}{2 \times 9.81} = 0 + \frac{P_2}{1000 \times 9.81} + \frac{(3)^2}{2 \times 9.81}$

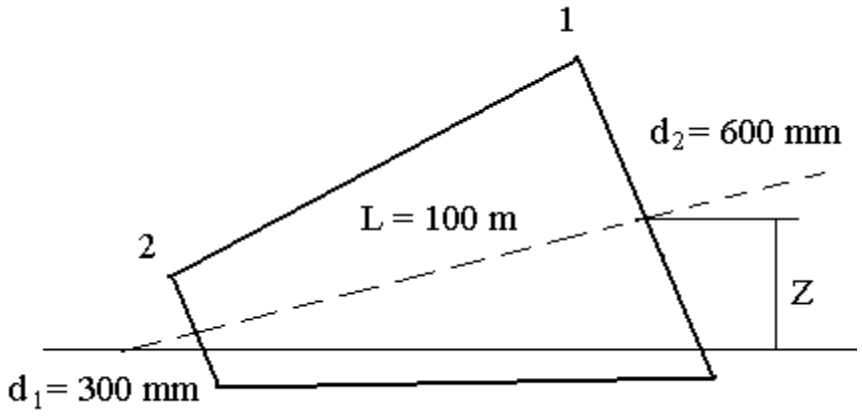
$P_2 = 96220 \text{ N/m}^2$

$P_2 \text{ in bar} = \frac{96220}{10^5} \cong 0.96 \text{ bar}$

مثال (4):

يتدفق ماء خلال ماســـورة طولها 100 متر وتنحدر بمقدار $\frac{1}{30}$ وقطرها عند النهاية العليا 600 مم وعند النهاية الســـفلي 300 مم فإذا علمت أن تصرـــف الماســـورة 50 لتر/ثانية

والضـغط عند النهاية العليا 19.62 نيوتن/سـم^2 أوجد الضـغط بوحدات البار عند النهاية السفلي.



Given:

L = 100 m

d_1 = 600 mm = $\frac{600}{1000}$ = 0.6 m

d_2 = 300 mm = 0.3 m

P_1 = 19.62 N/cm^2 = 19.62 × 10^4 N/m^2

Slope = $\frac{1}{30}$

Q = 50 lit/s = $\frac{50}{1000}$ = 0.05 m^3/s

Req.:

P_2 = ???

Solution:

نختار مستوي المقارنة المار بالنقطة 2 أي أن:

Z_2 = 0

وحيث أن الانحدار $\frac{1}{30}$ يعني أن كل 30 متر من طول الماسـورة فإنها تنحدر لأسـفل 1 متر رأسياً وحيث أن طول الماسورة 100 متر فإن:

$Z_1 = 100 \times \frac{1}{30} = \frac{10}{3}$ m

$v_1 = \frac{Q}{a_1} = \frac{0.05}{\frac{\pi}{4}(0.6)^2} \cong 0.18$ m/s

$v_2 = \frac{Q}{a_2} = \frac{0.05}{\frac{\pi}{4}(0.3)^2} \cong 0.71$ m/s

وبتطبيق معادلة برنولي بين القطاعين 1 ، 2 نجد أن:

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

$$\frac{10}{3} + \frac{19.62 \times 10^4}{1000 \times 9.81} + \frac{(0.18)^2}{2 \times 9.81} = 0 + \frac{P_2}{1000 \times 9.81} + \frac{(0.71)^2}{2 \times 9.81}$$

$$23.34 = \frac{P_2}{1000 \times 9.81} + 0.03$$

$$23.31 = \frac{P_2}{1000 \times 9.81}$$

$P_2 = 228573$ N/m^2

P_2 in bar $= \frac{228573}{10^5}$

$\cong 2.29$ bar

التمرين الخامس

1) ماسورة قطرها 100مم يتدفق خلالها ماء تحت ضغط 19.62 نيوتن/سم^2 وبسرعة 3 متر/ثانية. أوجد الضاغط الكلي للماء عند القطاع الذي يرتفع 8 متر عن مستوي المقارنة.

Ans.: 28.5 m

2) يتدفق ماء خلال ماسورة أفقية قطرها عند الدخول والخروج هو 40 سم ، 20 سم علي الترتيب، وسرعة الماء عند الدخول كانت 5 متر/ثانية. أوجد ضاغط السرعة عند الدخول والخروج بوحدات المتر؟ وكذلك معدل التصرف بوحدات اللتر/ثانية.

Ans.: 1.27 m , 20.39 m, 628 lit/sec

3) ماء يتدفق خلال ماسورة قطرها عند الدخول 30 سم ويقع علي ارتفاع 3 متر فوق مستوي المقارنة وقطرها عند الخروج 15 سم ويقع علي ارتفاع 3 متر فوق مستوي المقارنة. فإذا علمت أن معدل التصرف يساوي 40 لتر/ثانية والضغط عند الدخول 29.43 نيوتن/سم^2. أوجد الضغط عند الخروج بوحدات البار؟

Ans.: 3.22 bar

4) ماسورة طولها 50 متر وتنحدر لأسفل بمقدار $\frac{1}{40}$ وقطرها عند النهاية العليا 40 سم وعند النهاية السفلي 20 سم يتدفق خلالها ماء بمعدل 60 لتر/ثانية. فإذا علمت أن الضغط عند النهاية العليا للماسورة هو 245.25 نيوتن/سم^2. أوجد الضغط عند النهاية السفلي للماسورة بوحدات البار؟

Ans.: 2.45 bar

معادلة برنولي للمائع الحقيقي

Bernoulli's equation for real fluid:

تفترض معادلة برنولي للمائع المثالي، كما ذكرنا من قبل، بأن لزوجة المائع تكون منعدمة وبالتالي فإن الاحتكاك يمكن إهماله ولذلك فإن مجموع أشكال الطاقة الثلاثة، طاقة الحركة وطاقة الوضع وطاقة الضغط تكون ثابتة من نقطة إلي أخرى. أما بالنسبة للمائع الحقيقي فإن جزء من الطاقة يتحول إلي طاقة حرارية بسبب اللزوجة والاحتكاك ولا يمكن استرداد هذه الطاقة لأنها تتسرب إلي الجو بعكس الأشكال الثلاثة السابقة من الطاقة التي تتبادل مع بعضها ويمكن تحويل أي شكل منها إلي الآخر. وعلي ذلك يعتبر الجزء من الطاقة الذي يتحول إلي طاقة حرارية طاقة مفقودة ويرمز لها بالرمز h_L .

ولذلك تعدل معادلة برنولي للمائع الحقيقي يبن النقطتين 1، 2 لتصبح علي الصورة التالية:

$$E_1 = E_2 + h_L$$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\omega} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\omega} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

حيث أن:

E_1 هي الطاقة الكلية عند نقطة 1

E_2 هي الطاقة الكلية عند نقطة 2

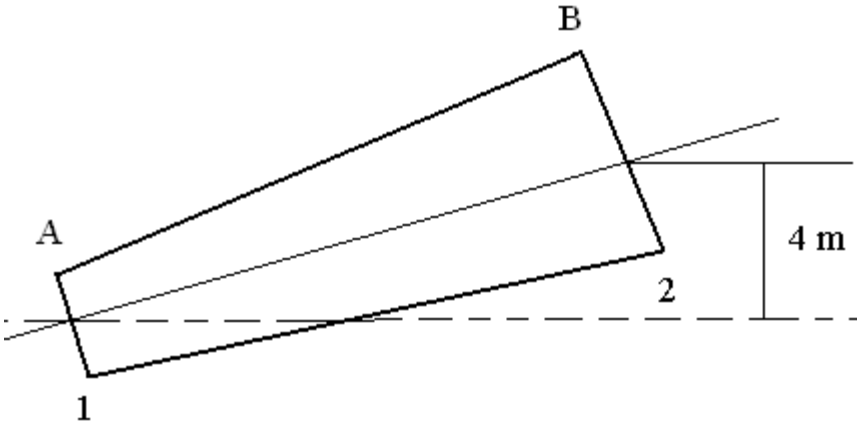
h_L هي الفاقد في الطاقة من نقطة 1 إلي نقطة 2

أمثلة محلولة

مثال (1):

يتدفق زيت كثافته النسـبية 0.87 وبتصرـف 200 لتر/ثانية خلال أنبوبة قطرها عند نقطة A هو 200 مم وقطرها عند نقطة B هو 500 مم علماً بأن نقطة B ترتفع عن نقطة A بمقدار 4 متر والضـغط عند نقطة A, B عو 9.81 نيوتن/سـم^2 و 5.886 نيوتن/سـم^2 علي الترتيب

أوجد الفاقد في الطاقة بوحدات المتر؟ واتجاه السريان؟



Given:

d_1 = 200 mm = 0.2 m

d_2 = 500 mm = 0.5 m

وبفرض أن خط المقارنة مار بالنقطة 1 فإن:

$Z_1 = 0$

Z_2 = 4 m

$Q = 200 \text{ lit/sec} = \frac{200}{1000} = 0.2 \text{ m}^3/\text{sec}$

$P_1 = 9.81 \text{ N/cm}^2 = 9.81 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

$P_2 = 5.886\ N/cm^2 = 5.886 \times 10^4\ N/m^2$

Req.:

a) h_L

b) direction of flow

Solution:

$$v_1 = \frac{Q}{a_1} = \frac{0.2}{\frac{\pi}{4}(0.2)^2} = 6.4\ m/s$$

$$v_2 = \frac{Q}{a_2} = \frac{0.2}{\frac{\pi}{4}(0.5)^2} = 1.02\ m/s$$

وبفرض أن السريان في الاتجاه نم نقطة A إلي نقطة B فإن:

$E_1 = E_2 + h_L$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\omega} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\omega} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

$$0 + \frac{9.81\times10^4}{1000\times0.87\times9.81} + \frac{(6.4)^2}{2\times9.81}$$

$$= 4 + \frac{5.882\times10^4}{1000\times0.87\times9.81} + \frac{(1.02)^2}{2\times9.81} + h_L$$

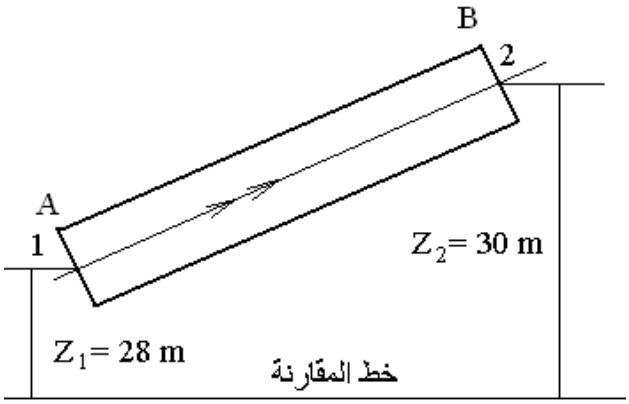
$13.6 = 10.95 + h_L$

$h_L = 13.6 - 10.95 = 2.65m$

وحيث أن إشارة h_L موجبة فإن اتجاه السريان هو من نقطة A إلي نقطة B وقيمة الفاقد في الطاقة بوحدات المتر هي 2.65 متر.

مثال (2):

يتدفق ماء خلال أنبوبة قطرها 400 مم وبسرعة 25 متر/ثانية فإذا عملت أن الضغط عن نقطة A هو 29.43 نيوتن/سم^2 وعند نقطة B هو 22.563 نيوتن/سم^2 وارتفاع كل من A, B عن خط المقارنة هو 28 متر، 30 متر علي الترتيب أو الفقد في الطاقة بوحدات المتر.



Given:

$d_1 = d_2 = 400\ mm = 0.4\ m$

$P_1 = 29.43\ N/cm^2 = 29.43 \times 10^4\ N/m^2$

$P_2 = 22.563\ n/cm^2 = 22.563 \times 10^4\ N/m^2$

$v_1 = v_2 = 25\ m/s$

$Z_1 = 28\ m$

$Z_2 = 30\ m$

Req.:

h_L = ???

Solution:

$E_1 = E_2 + h_L$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\omega} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\omega} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

$$28 + \frac{29.43\times10^4}{1000\times9.81} + \frac{(25)^2}{2\times9.81} = 30 + \frac{22.563\times10^4}{1000\times9.81} + \frac{(25)^2}{2\times9.81} + h_L$$

$89.85 = 84.85 + h_L$

$h_L = 89.85 - 84.85 = 5$ m

خط الطاقة الكلية وخط الميل الهيدروليكي

Total energy line and hydraulic gradient line:

خط الطاقة الكلية T.E.L:

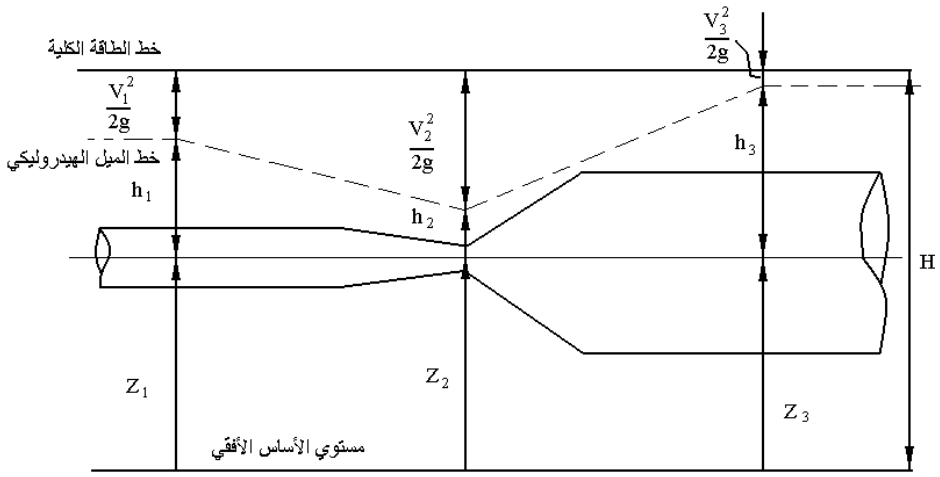
يعرف خط الطاقة الكلية بأنه الخط المار بجميع النقط التي تمثل مجموع كل من طاقة الوضع وطاقة الضغط وطاقة الحركة لمائع يتدفق خلال أنبوبة بالنسبة لمستوي أساس أفقي (أو خط مقارنة أفقياً) أما إذا كان مستوي الأساس الأفقي هو محور الأنبوبة التي يتدفق خلالها المائع فإن خط الطاقة الكلية يعرف بأنه الخط المار بجميع النقط التي تمثل مجموع طاقتي الضغط والحركة فقط بالنسبة لمحور الأنبوبة.

خط الميل الهيدروليكي .H.G.L:

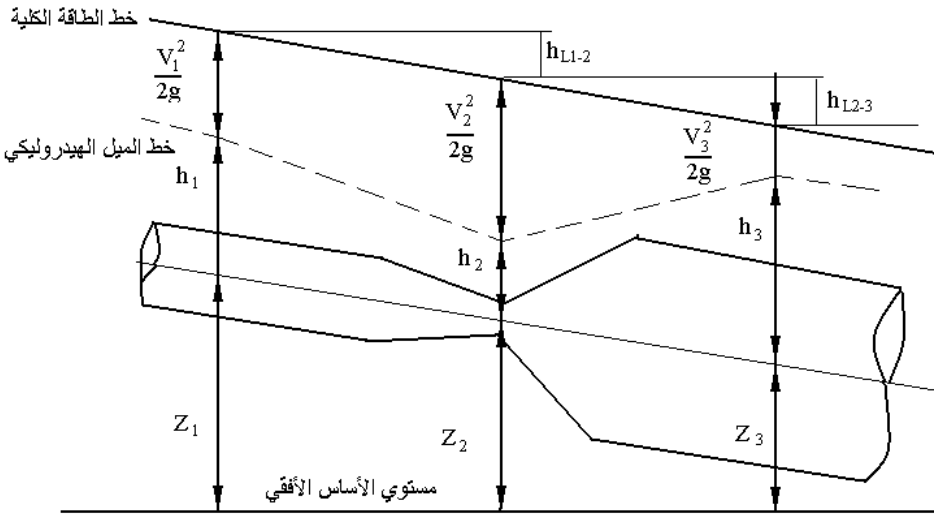
يعرف خط الميل الهيدروليكي بأنه الخط المار بجميع النقط التي تمثل مجموع طاقتي الضغط والوضع فقط لمائع يتدفق خلال أنبوبة وذلك بالنسبة لمستوي أساس أفقي (أو خط مقارنة أفقي) أما إذا كان خط المقارنة هو محور الأنبوبة التي يتدفق خلالها المائع فإن خط الميل الهيدروليكي في هذه الحالة يعرف بأنه الخط المار بجميع النقط التي تمثل طاقة الضغط فقط بالنسبة لمحور الأنبوبة.

والأشكال التالية تمثل خط الطاقة الكلية وخط الميل الهيدروليكي لمائع مثالي Ideal fluid وآخر حقيقي Real fluid

أولاً: خط الطاقة الكلية وخط الميل الهيدروليكي لمائع مثالي.



أولاً: خط الطاقة الكلية وخط الميل الهيدروليكي لمائع حقيقي.



التمرين السادس

1) يتدفق ماء خلال أنبوبة قطرها 30 سم وبسرعة 20 متر/ثانية فإذا علمت أن الضغط عند نقطة A, B هي 34.335 نيوتن/سم^2 و 29.43 نيوتن/سم^2 علي الترتيب وارتفاع نقطة A عن مستوي المقارنة هو 25 متر وارتفاع نقطة B هو 28 متر

احسب الفاقد في الضاغط الكلي بين النقطتين A, B ؟

Ans.: 2 m

2) يتدفق سائل كثافته النسبية 0.8 خلال أنبوبة بتغير قطرها من 300 مم عند نقطة A إلي 500مم عند نقطة B فإذا علمت أن نقطة B ترتفع 5 متر عن نقطة A والضغط عند A هو 19.62 نيوتن/سم^2 والضغط عند B 14.91 نيوتن/سم^2 ومعدل تصرف السائل هو 150 لتر/ثانية

احسب الفاقد في الضاغط الكلي بين النقطتين A, B ؟ وكذلك اتجاه السريان

3) ارسم خط الطاقة الكلية وخط الميل الهيدروليكي لكل من المسألة رقم 1 ورقم 2

الفصل الخامس

سريان الموائع خلال المواسير والمجاري

Fluids Flow in Pipes and Ducts

سريان الموائع خلال المواسير والمجاري

Fluids Flow in Pipes and Ducts

الهدف العام: التعرف على سريان الموائع خلال المواسير والمجاري

الأهداف:

1. ان يتعرف الطالب ما المقصود برقم رينولدز
2. ان يتعرف الطالب علي الأسس الفيزيائية لرقم رينولدز
3. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالهبوط في الضغط ومعامل الاحتكاك
4. ان يتعرف الطالب ما المقصود بمخطط مودي
5. ان يتعرف الطالب ما المقصود بهبوط الضغط خلال وصلات المواسير Pressure Drop in Fittings
6. ان يتعرف الطالب ما المقصود بالمضخات ومتطلبات الضخ Pumps And Pumping Requirements
7. ان يتعرف الطالب ما المقصود بهبوط الضغط فى مجاري الهواء Pressure Drop In Air Duct Flow
8. ان يتعرف الطالب علي كيفية اختيار حجم المروحة
9. ان يتعرف الطالب كيفية تقدير الفقد الكلي للضغط فى مجرى (مسلك) هوائي

سريان الموانع خلال المواسير والمجاري

Fluids Flow in Pipes and Ducts

مقدمة:

تحتاج أنظمة التكيف والتبريد والتدفئة إلى المراوح والمضخات لضخ الهواء والماء في هذه الأنظمة ولاختيار وتحديد هذه الأجهزة نحتاج لحساب ضغوطها وفقدان الضغط خلال المواسير والمجاري. هذه المسائل والتساؤلات ذات العلاقة بها مثل سريان الموائع في كثير من المعدات في المصانع المختلفة يمكن حلها باستخدام قوانين سريان المائع. يندفع المائع في الأنبوب بسبب الضغط المؤثر عليه من مصدر ما. لو قسنا الضغط على امتداد الأنبوب من المد خل إلى المخرج لوجدناه يتناقص كلما ابتعدنا عن مصدر الضغط وبالتالي فإنه يفقد بعضا من طاقته وهذا الفقد في الطاقة والذي غالبا ما يعبر عنه كهبوط في الضغط يعود سببه إلى الاحتكاك أو المقاومة التي تبديها جدران الأنبوب وكذلك نتيجة للمقاومة الناتجة من إجهاد القص على الأسطح ومن قوة اللزوجة الناتجة من سريان طبقات السائل (رقائقي — دوامي). ولمعرفة نوع السريان فقد أجرى عالم يدعى رينولدز تجربة استطاع بها تحديد نوع السريان. وبالتالي صار لمعرفة نوع السريان لابد من حساب رقم عرف برقم ذلك العالم وهو رينولدز.

الأسس الفيزيائية لرقم رينولدز:

عندما يسري مائع في أنبوب بسرعة محددة ولتكن v يلاحظ وجود نوعين من القوى تؤثر على هذا المائع، قوة استمرارية السريان تسمى قوة القصور الذاتي وهي تتناسب مع الكثافة ومربع السرعة، وقوة أخرى تقاوم إجهاد القص وهي ما يعرف بالقوة اللزجة وتتناسب هذه القوة طرديا مع السرعة واللزوجة وعكسيا مع قطر الأنبوب. والنسبة بين قوى القصور الذاتي إلى قوى اللزوجة هي ما عرف برقم رينولدز. وعليه فان رقم رينولدز يعطى بالمعادلة التالية:

$$R_e = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \qquad (3.38)$$

حيث:

ρ : هي كثافة المائع.

d : قطر الأنبوب.

v: سرعة جريان المائع.

μ : هي لزوجة المائع

واضح أنه كلما زادت قوى القصور الذاتي نسبة لقوى اللزوجة كلما اقترب سريان المائع من حالة الاضطراب وكلما زادت قوة اللزوجة على حساب قوى القصور الذاتي كلما كان السريان هادئا واقترب من السريان الرقائقي ولذلك كثيرا ما يسمى السريان الرقائقي بالسريان اللزج. تحدد قيمة رقم رينولدز نوع انسياب المائع. فعندما تكون قيمة رقم رينولدز أصغر من أو تساوي 2100 يكون الانسياب رقائقيا. وعندما تكون قيمة رقم رينولدز أكبر من أو تساوي 10000 فان الانسياب يسمى انسيابا مضطربا أو دوامي. وعندما يكون رقم رينولدز أكبر من 2100 وأصغر من 10000 فان الانسياب يسمى انسيابا انتقاليا أي بين الرقائقي والمضطرب.

مثال (٣- ٢٠):

احسب معدل سريان مائع في ماسورة حديد قطرها 5 سم إذا كانت كثافة المائع 1050 كجم/متر مكعب ولزوجته تساوي $\mu = 995*10^{-6}$ Pa.sec. خذ رقم رينولدز 10000.

الحل:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} = 10000$$

$$\therefore v = \frac{\mu \times 10000}{\rho \times D} = \frac{995 \times 10^{-6} \times 10000}{1050 \times 0.05} = 0.1895 \ {}^{m}/_{\sec}$$

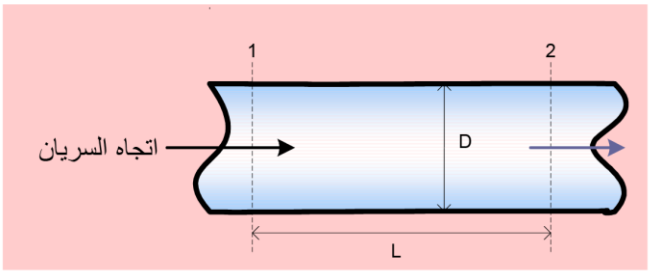
$$Q = A \times v = \tfrac{\pi}{4} \times (0.05)^2 \times 0.1895 = 3.72 \times 10^{-4} \ {}^{m^3}/_{\sec}$$

$$\therefore Q = 0.372 \ {}^{lit}/_{\sec} = 22.3 \ {}^{lit}/_{\min}$$

الهبوط في الضغط ومعامل الاحتكاك:

وكما ذكرنا أن هناك هبوطاً في ضغط المائع وهو من التأثيرات التي لابد للمضخة في حالة الماء (سوائل) أو المروحة في حالة الهواء (غازات) أن تتغلب عليها. وعليه لابد من حساب ذلك الهبوط في الضغط على امتداد طول الأنبوب أو المجري عند سريان مائع خلال ماسورة فإن القوى التي يجب التغلب عليها تأتي من عدة مصادر فبالإضافة لقوى الاحتكاك الناتجة من إجهاد القص عند الأسطح، هناك قوة الجاذبية وقوة تغيير اتجاه المائع. القوى الناتجة من الاحتكاك تختلف باختلاف رقم رينولدز وما يسمى بخشونة السطح surface roughness.

قوي الاحتكاك تفقد المائع الذي يسري بعضا من طاقته. هذه الطاقة غالبا ما يعبر عنها كهبوط في الضغط pressure drop أو فقدان في عمود الطاقة energy head loss ويعرف هذا الهبوط أو الفقدان بفاقد الاحتكاك أو عمود الاحتكاك friction head loss.



شكل (٣ - ٢٣) كيفية حساب الهبوط في الضغط خلال مقطع من ماسورة

إذا أخذنا مقطعا من أنبوب ما كما هو موضح في الشنكل (٣- ٢٣) فإن الهبوط في الضغط بين المقطعين (1) و (2) يعطى بواسطة المعادلة التالية:

$$p_1 - p_2 = f \times \frac{l}{D} \times \frac{v^2}{2} \times \rho \qquad (3-39)$$

حيث f هو معامل الاحتكاك، v هي سرعة المائع، و ρ هي كثافة المائع.

الجدير بالملاحظة هنا أن الهبوط في الضغط في هذه المعادلة وحداته N/m^2

يمكن كتابة معادلة الهبوط في الضغط كعمود ضغط H كالتالي:

$$H_f = \frac{p_1 - p_2}{\rho \times g} = f \times \frac{l}{D} \times \frac{v^2}{2g} \qquad (3-16)$$

ووحدات عمود الضغط كما نعرف هي m.

ولمعرفة هذا الهبوط في الضغط يجب معرفة أو حساب:

- رقم رينولدز $R_e = \frac{\rho \times v \times D}{\mu}$
- الخشونة النسبية للأسطح (Relative roughness) وهي نسبة الخشونة المطلقة إلى قطر الماسورة $\frac{\epsilon}{D}$ (انظر الجدول)
- معامل الاحتكاك (f)

المادة (material)	$\frac{\epsilon}{mm}$
فولاذ البرشام Riveted Steel	0.9-9
الخرسانة Concrete	0.3-3
حديد زهر Cost Iron	0.26
حديد مجلفن Galvanized Iron	0.15
حديد زهر مسفلت Asphalted Cast Iron	0.12
فولاذ تجاري Commercial Steel	0.046
أنابيب مسحوبة Drawn Tubing	0.0015
زجاج Glass	Smooth

جدول (٣ - ٢) الخشونة المتوسطة لبعض المواسير التجارية

مخطط مودي

هذا المخطط (Moody Diagram) نسبة إلى مصممه مودي (1944) عبارة عن تمثيل عام لكل عوامل هبوط الضغط في أنواع المواد المستخدمة في المجاري والمواسير لسريان المائع (أو الموائع) كمعامل الاحتكاك Friction Factor ورقم رينولدز Reynolds Number وخشونة الأسطح وهناك عدة ظواهر يمكن ملاحظتها عن هذا المخطط:

- إذا كان رقم رينولدز صغيرا جدا، أي أن الانسياب رقائقي:

$$R_e \leq 2\times10^3$$

فإن معامل الاحتكاك لا يعتمد على الخشونة النسبية وعلاقته خطية مع رقم رينولدز ويمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$f = \frac{64}{\mathrm{Re}} \qquad (3.41)$$

- في حالة الانسياب الدوامي إذا كان رقم رينولدز $\mathrm{Re} \geq 4\times10^3$ والخشونة النسبية أقل من 0.001 أي أن الماسورة ملساء Smooth Pipe يمكن حساب معامل الاحتكاك من المعادلة:

$$f = \frac{0.316}{\mathrm{Re}^{0.25}} \qquad (3.42)$$

- إذا كان عدد رينولدز كبيرا جدا فإن معامل الاحتكاك لا يعتمد على رقم رينولدز والسريان يكون دواميا وهذا الجزء من مخطط مودي يعرف بمنطقة الماسورة الخشن Rough Pipe Zone.
- بين الحالتين السابقتين يوجد جزء يكون فيه معامل الاحتكاك دالة في عدد رينولدز والخشونة النسبية

(الخشونة النسبية هي نسبة الخشونة المطلقة (ϵ) إلى قطر الماسورة D)

وهذه المنطقة تعرف بالمنطقة الانتقاليةTransitional Zone انظر الشكل لمخطط مودي والخشونة النسبية.

مثال:

أوجد الهبوط في الضغط في أنبوب طوله 15m وقطره 6mm يحمل زيتاً هيدروليكيا لزوجته μ=0.014 Pa.sec وسرعته خلال الأنبوب 2 m/sec وكثافته $848\ kg/m^3$.

الحل:

نحسب رقم رينولدز

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} = \frac{848 \times 2 \times 0.006}{0.014} = 727$$

ولأن رقم رينولدز أقل من 2100 فالانسياب رقائقي.

إذن يمكن حساب معامل الاحتكاك من المعادلة:

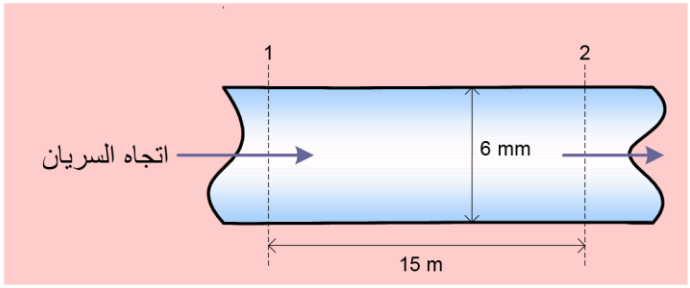
$$f = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

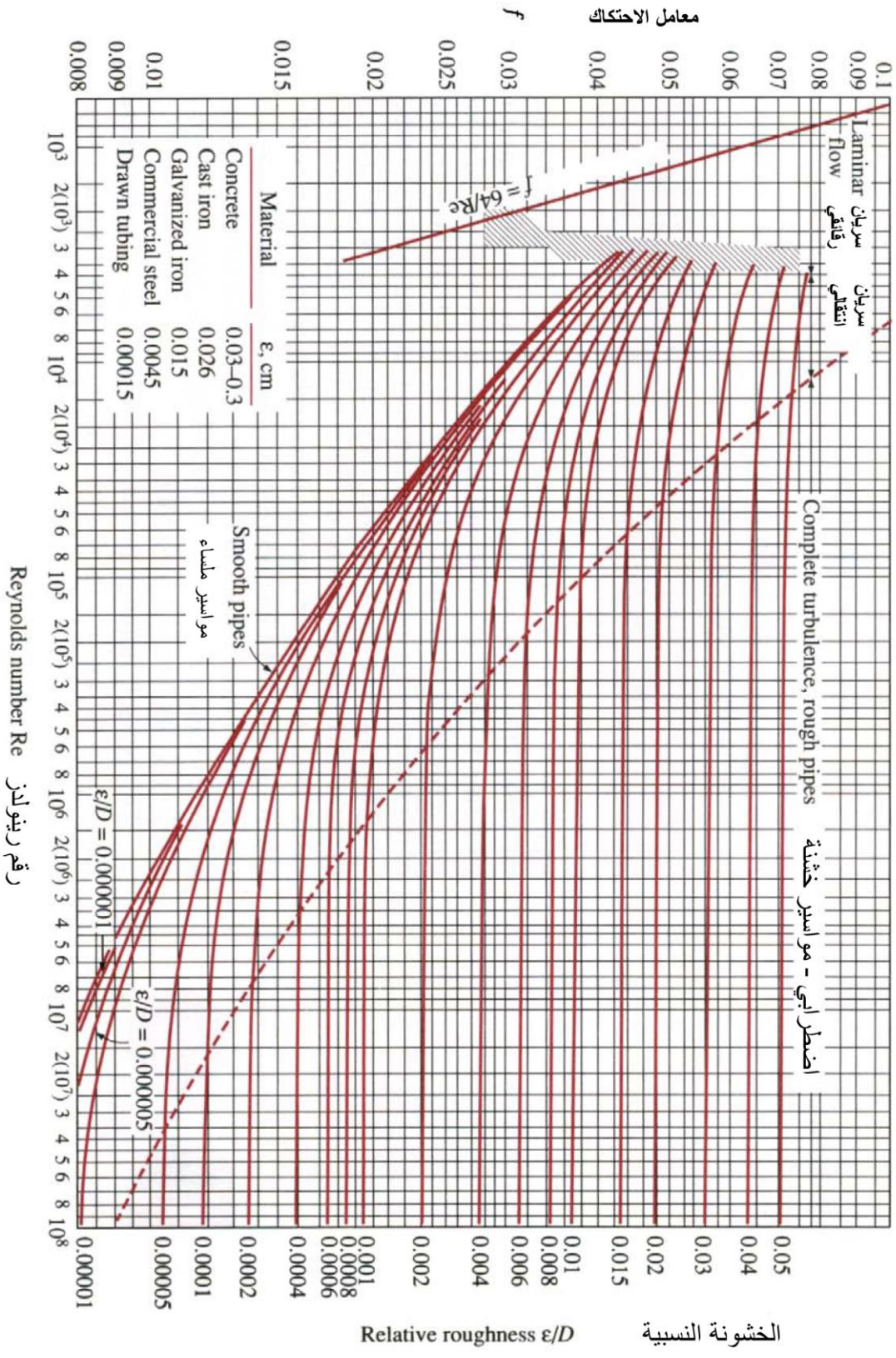
$$f = \frac{64}{727} = 0.088$$

وبالتالي يمكن حساب الهبوط في الضغط نتيجة الاحتكاك من القانون:

$$p_1 - p_2 = f \times \frac{l}{d} \times \frac{v^2}{2} \times \rho$$

$$p_1 - p_2 = \Delta p = 0.088 \times \frac{15}{0.006} \times \frac{2^2}{2} \times 848 = 373.12\ kpa$$





شكل (٣- ٢٤) مخطط مودي Moody Diagram

مثال (٢):

احسب هبوط الضغط (ΔP) في ماسورة صرف صحي طولها 10m إذا كان معدل السريان Q = 20 l /min قطرها 3.81cm وكثافة السائل $1030kg/m^3$ ولزوجته $\mu = 50\times10^{-3}Pa.sec$

الحل:

نحسب السرعة:

$$Q = 20\ {}^{l}\!/_{min} \quad = 0.02\frac{m^3}{min} \quad = \frac{0.02}{60}\ {}^{m^3}\!/_{sec} \quad = 3.333\times10^{-4}\ {}^{m^3}\!/_{sec}$$

ولكن:

$$Q \quad = A\times v$$

$$\therefore v \quad = \frac{Q}{A} = \frac{3.333\times10^{-4}}{\frac{\pi}{4}\times(0.0381)^2} \quad = 0.292\ {}^{m}\!/_{sec}$$

$$= 0.292\ \frac{m}{\sec}$$

نحسب رقم رينولدز لتحديد نوعية الانسياب

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho\times v\times D}{\mu} \quad = \frac{1030\times0.292\times0.0381}{50\times10^{-3}} \quad = 229.2$$

$$\because \quad \mathrm{Re} \leq \quad 2100$$

إذن الانسياب رقائقي Laminar Flow

$$\Delta p = f\ \frac{l}{D}\ \frac{V^2}{2}\rho$$

في حالة الانسياب الرقائقي $f = \frac{64}{\mathrm{Re}}$

$$f = \quad \frac{64}{229.2} \quad = 0.279$$

نحسب الهبوط في الضغط

$$\Delta p = \quad 0.279\times\frac{10}{0.0381}\times\frac{(0.292)^2}{2}\times1030 = 3215.5\ Pa$$

مثال (٣):

احسب هبوط الضغط عندما تسري 3 L/sec من الماء عند درجة حرارة 80°C خلال ماسورة فولاذ تجاري قطرها 52.5mm وطولها 40m

خذ كثافة الماء عند درجة 80°C تساوي $971.64\ kg/m^3$

ولزوجة الماء عند درجة 80°C تساوي $0.358*10^{-3}\ Pa.sec$

الحل:

$$Q = 3\ {}^{L}\!/_{\sec} = 0.003\ {}^{m^3}\!/_{\sec}$$

نحسب سرعة الماء

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.003}{\frac{\pi}{4}(0.0525)^2} = 1.386\ {}^{m}\!/_{\sec}$$

نحسب عدد رينولدز

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} = \frac{971.64 \times 1.386 \times 0.0525}{0.358 \times 10^{-3}} = 197500 \approx 200000$$

بما أن رقم رينولدز أكبر من 40000 إذن الانسياب دوامي.

لذا نحسب الخشونة النسبية ونستخدم مخطط مودي.

خشونة الفولاذ التجاري تساوي $\varepsilon = 0.000046$ m

إذن الخشونة النسبية للفولاذ التجاري.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.000046}{0.0525} = 0.000876$$

إذن باستخدام مخطط مودي عند $\mathrm{Re} = 197500$ والخشونة النسبية 0.000876

$$f = 0.0208$$

يمكن حساب الهبوط في الضغط

$$\therefore \Delta p = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2} \rho$$

$$= 0.0208 \times \frac{40}{0.0525} \frac{(1.386)^2}{2} \times 971.64 = 14.8\ kPa$$

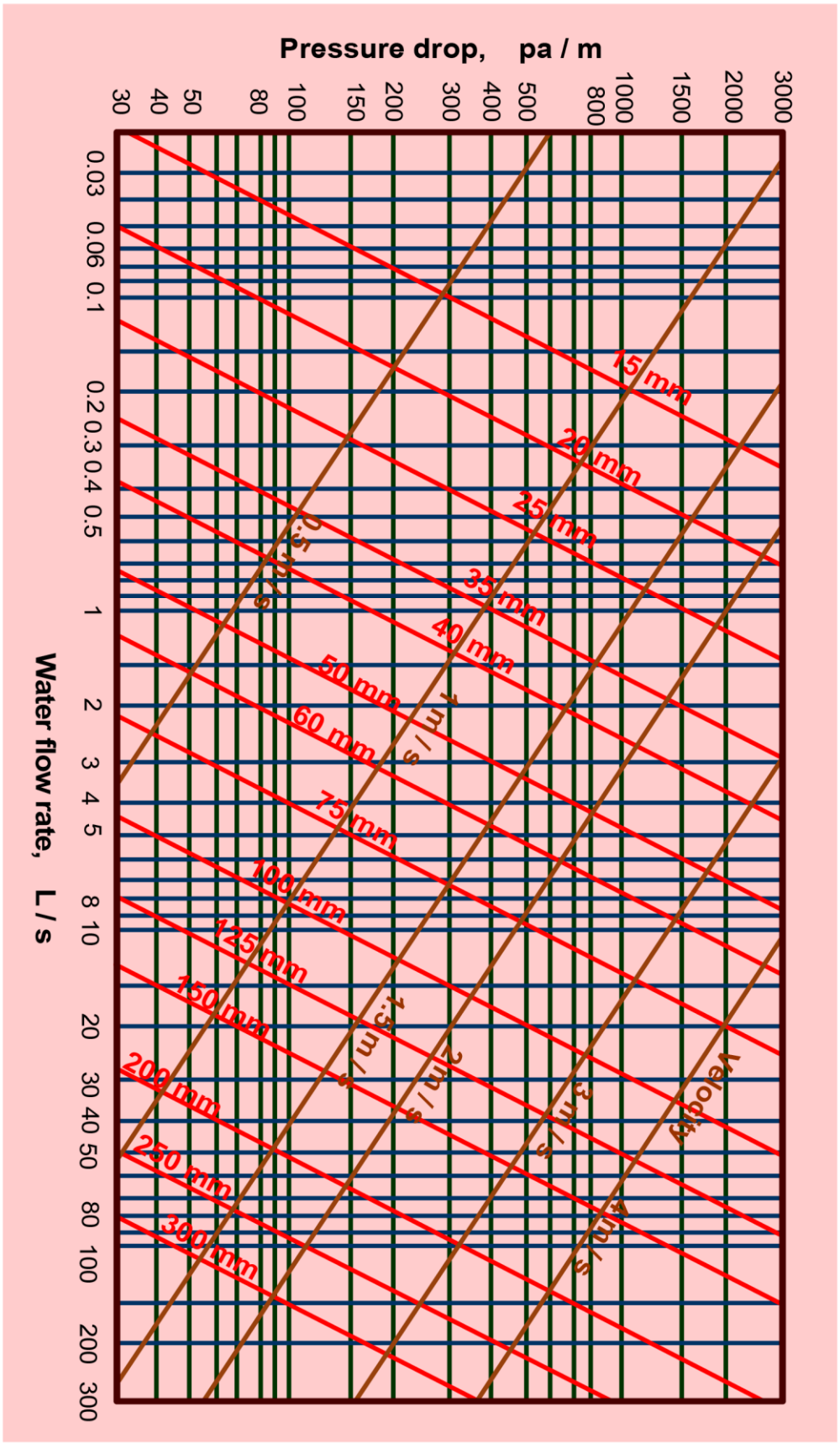
هناك بعض المصممين الذين أنشأوا مخططاتهم الخاصة لهبوط الضغط في المتر الواحد للماء عند درجة حرارة معينة وذلك بمعرفة معدل السريان الحجمي وسرعة السريان وقطر الماسورة للفولاذ التجاري. ولكي يتمكنوا من معرفة هبوط الضغط عند درجات حرارة أخرى أنشأوا مخططا آخر لتعديل هبوط الضغط في درجة الحرارة المعينة. ومعامل التصحيح Correction Factor أو التعديل هو دالة في درجة الحرارة وسرعة سريان السائل وهو ما يتضح في الشكل (٣- ٢٥) و (٣- ٢٦).

ففي المثال السابق إذا كان قطر الماسورة 50mm يمكن قراءة هبوط الضغط في المتر الواحد 425pa/m ويمكن تصحيح هذا الرقم في الشكل (٣- ٢٤) عند $80°C$ وسرعة 1.386m/sec بمعامل قدره 0.88.

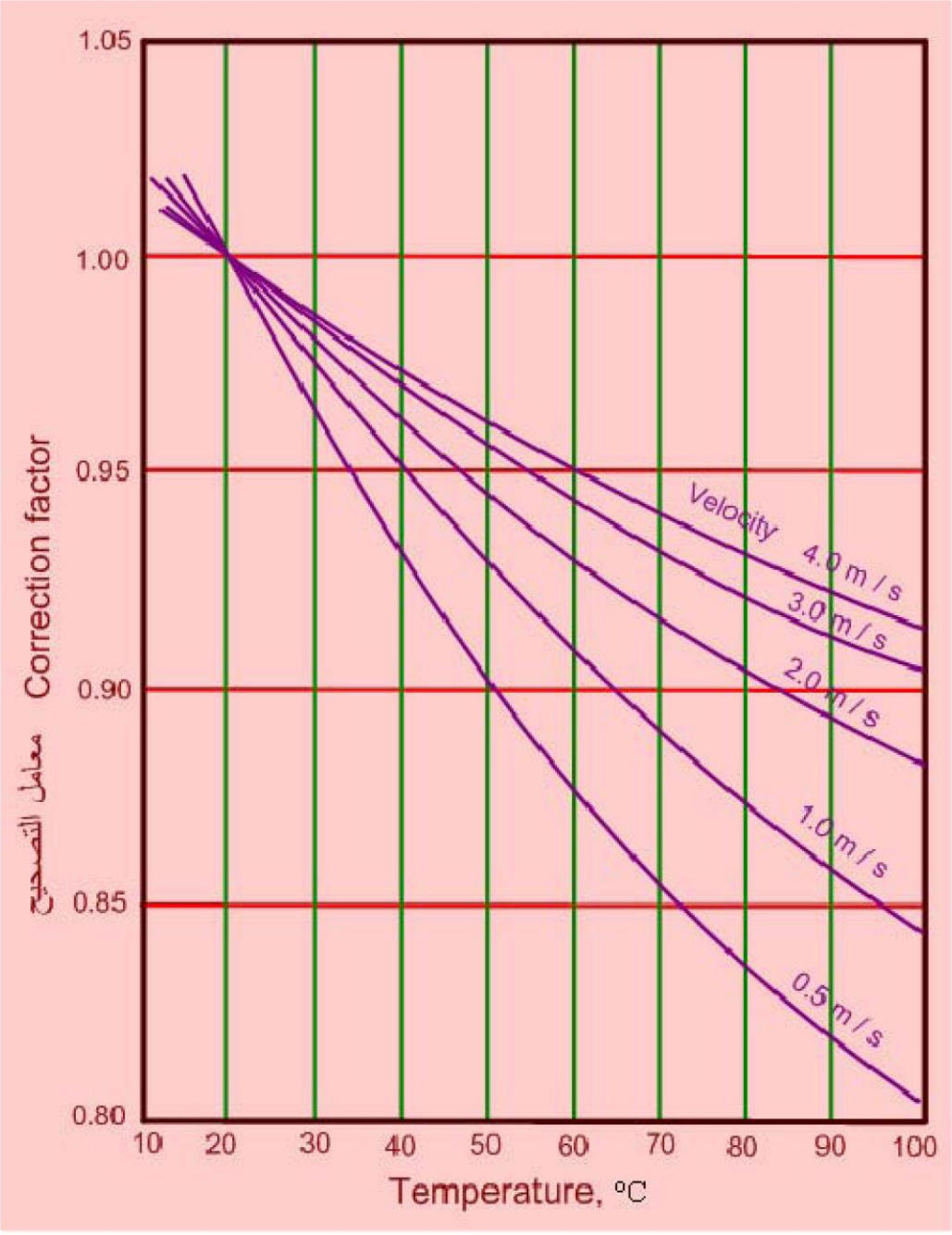
$$\therefore \frac{\Delta p}{m} = 425 \times 0.88 = 374 Pa/m$$

التعديل في هبوط الضغط لـ 40 m

$$\therefore \Delta P \text{ for } 40\text{m} \quad = 374 \times 40 = 15\, kPa$$



شكل (٣ ٢٥) هبوط الضغط للماء عند درجة حرارة 20°C خلال ماسورة فولاذ صاري



شكل (٣-٢٦) معامل التصحيح لهبوط الضغط في الشكل السابق (درجات حرارة مختلفة)

هبوط الضغط خلال وصلات المواسير: Pressure Drop in Fittings

يوجد عدد كبير من وصلات الأنابيب تستخدم لربط الأنابيب بعضها ببعض في شبكات توزيع الماء والهواء في أنظمة التكييف وفي مختلف المصانع. وتضم عادة شبكة الأنابيب تفرعات وتغيرات في الحجم عديدة مما يستوجب توفير الوصلات المتنوعة بأحجام قياسية تلائم حجم الأنابيب المختلفة. الشكل يوضح مجموعة من هذه الوصلات.

إن من أبرز الطرق لحساب هبوط الضغط في وصلات المواسير (كوع، تي، صمام....) هي إعطاؤها بعدا طولياً يسبب نفس الهبوط في الضغط خلال الوصلة، أو بمعنى آخر يحسب الهبوط في الضغط خلال الوصلة بالتجربة، ومن ثم يحسب البعد الطولي الذي يتسبب في نفس المقدار من هبوط الضغط. والجدول التالي يبين بعض الوصلات والبعد الطولي الذي أعطي لها. (الأطوال بالمتر)

القطر الاسمي (mm)	القطر الحقيقي (mm)	كوع		تي T		صمام كروي (فاتح)	صمام بوابي
		90°	45°	فرعية	مستقيمة		
15	15.80	0.6	0.4	0.9	0.2	5	0.2
20	20.93	0.8	0.5	1.2	0.2	6	0.25
2.5	26.46	0.9	0.6	1.5	0.3	8	0.28
35	34.04	1.2	0.7	1.8	0.4	11	0.42
40	40.90	1.5	0.9	2.1	0.5	14	0.51
50	52.51	2.1	1.2	3.0	0.6	17	0.65
60	62.65	2.4	1.5	3.7	0.8	20	0.79
75	77.92	3.0	1.8	4.6	0.9	24	0.90
100	102.3	4.3	2.4	6.4	1.2	38	1.27
125	128.2	5.2	3.0	7.6	1.5	43	1.70
150	154.1	6.1	3.7	9.1	1.8	50	2.00

جدول (٣ - ٣) الأطوال الموازية لملحقات المواسير

مثال:

في منظومة مواسير مياه — إذا كانت المواسير قطرها الاسمي 75mm وتحتوي على تسعة أكواع من نوع 90° وثلاثة صمامات بوابية فاذا كان طولها 30m ، احسب الطول المستقيم الإجمالي (المكافئ) وهبوط الضغط إذا علمت أن معدل سريان الماء هو 6 L/sec. خذ كثافة

الماء $998.21\ kg/m^3$ ولزوجة الماء $1.008\times10^{-3}\ Pa\ /\ sec$. وان الماسورة مصنعة من فولاذ نجاري.

الحل:

الطول المستقيم الموازي للكوع الواحد (90°) $= 3.0\ m$

طول تسعة أكواع $= 9\times3 = 27 m$

الطول المستقيم الموازي لصمام بوابي $= 0.90\ m$

الطول المكافئ لثلاثة صمامات يساوي 2.7 m

الطول المستقيم للماسورة $30\ m$

∴ الطول الإجمالي (المكافئ) $L = 30 + 27 + 2.7$

$= 59.7\ m$

سرعة سريان الماء $$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.006}{\frac{\pi}{4}(0.07792)^2}$$

$$= 1.258\ m/\sec$$

حساب عدد رينولدز:

$$\mathrm{Re} = \frac{p \times v \times D}{\mu} = \frac{998.21 \times 1.258 \times 0.07792}{1.008 \times 10^{-3}}$$

$$= 97071$$

إذن السريان مضطرب أو دوامي.

الخشونة النسبية $$\frac{\in}{D} = \frac{0.00046}{0.07792} = 0.0006$$

معامل الاحتكاك (باستخدام مخطط مودي) $f = 0.0208$

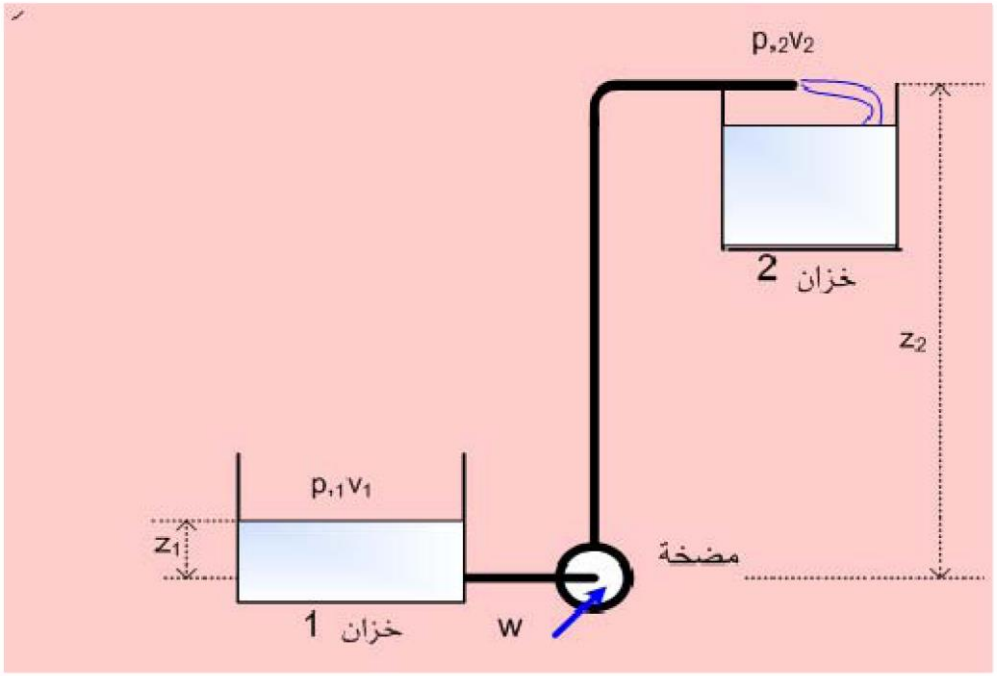
هبوط الضغط $$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \times \rho$$

$$= 0.0208 \times \frac{59.7}{0.07792} \times \frac{(1.258)^2}{2} \times 998.21$$

$$= 12587\ Pa = 12.587\ kPa$$

المضخات ومتطلبات الضخ: Pumps And Pumping Requirements

المضخة هي الجهاز المسؤول عن ضخ السائل عبر مواسير من مكان لآخر. وهي جهاز ميكانيكي يعطي السائل الطاقة اللازمة للتغلب على مقاومة **سريان** السائل في مواسير المنظومة. والمضخة تصنف على الطريقة التي تطور بها هذا الضغط وأشهرها وأكثرها استخداما مضخات الطرد المركزي ومضخات الإزاحة الموجبة. إن أهم ما يميز أداء المضخة هو عمود الضغط (pressure head) الذي تطوره المضخة ومعدل سريان (flow rate) السائل الذي تعطيه والقدرة (power) التي تحتاجها وكفاءة المضخة (efficiency). وتسمى هذه بخصائص المضخة وغالبا ما تضمن هذه الخصائص في منحنيات لكل مضخة.



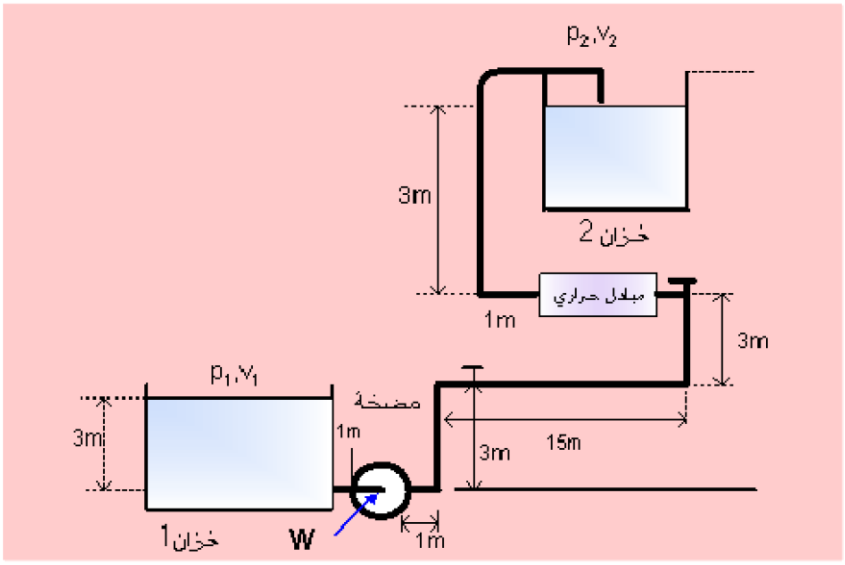
الشكل (٣ - ٢٧) المضخة

بتطبيق معادلة برنوللي بين النقطة (١) والنقطة (٢) ـ انظر الشكل (٢٧):

$$\frac{p_1}{\rho}+\frac{v_1^2}{2}+z_1 g+w=\frac{p_2}{\rho}+\frac{v_2^2}{g}+z_2 g+\frac{\Delta p_{frict}}{\rho} \qquad (3.43)$$

مثال:

مائع كثافته 1100 kg/m^3 و لزوجته 2.1×10-4 Pa sec ، يراد ضخه من الخزان الأسفل إلى الخزان العلوي خلال ماسورة قطرها 52.51mm وبمعدل سريان قدره 50 kg/min احسب طاقة المضخة (W). الأطوال موضحة على الرسم وهناك ستة أكواع 90° وواحد وصلة حرف T واثنان صمام بوابي ومبادل حراري فقدان الضغط خلاله يساوي 30 kPa .(شكل٣- ٢٨).



شكل (٢٨) المثال

بتطبيق معادلة برنوللي

$$\frac{p_1}{\rho}+\frac{v_1^2}{2}+z_1g+w=\frac{p_2}{\rho}+\frac{v_2^2}{g}+z_2g+\frac{\Delta p_{frict}}{\rho}$$

السرعة عند مدخل الخزان (١) تساوي صفرا ، الضغط عند (١) و(٢) هو الضغط الجوي. عليه فإن المعادلة السابقة تختصر إلى الآتي:

$$w=\frac{v_2^2}{2}+z_2g-z_1g+\frac{\Delta p_{frict}}{\rho}$$

ولكن فقدان الضغط يساوي فقدان الضغط نتيجة الاحتكاك + فقدان الضغط في التوصيلات + فقدان الضغط في الأجهزة.

لحساب فقدان الضغط نتيجة الاحتكاك والتوصيلات:

نحسب أولا عدد رينولدز:

$$Re=\frac{\rho\times v\times D}{\mu}=\frac{1100\times v\times 0.0508}{2.1\times10^{-4}}$$

نحسب السرعة:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{50}{1100 \times 60 \times (\frac{\pi}{4}(0.05251)^2)} = 0.35 \, {}^{m}/_{sec}$$

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} = \frac{1100 \times 0.35 \times 0.05251}{2.1 \times 10^{-4}} = 96268 \rangle \; 2100$$

إذن الانسياب مضطرب.

لحساب معامل الاحتكاك f نفترض أن مادة الماسورة حديد مجلفن (راجع جدول(٣- ٧))

$$\frac{\in}{D} = \frac{0.15}{52.51} = 0.00286$$

ومن مخطط مودي شكل (٣- ٢٣) يمكن قراءة معامل الاحتكاك بمعلومية رقم رينولدز ومعامل الخشونة النسبية

f= 0.027

هبوط الضغط نتيجة الاحتكاك والتوصيلات:

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \times \rho$$

$$L = 1 + 1 + 3 + 2 + 15 + 3 + 1 + 3 + 6 \times 2.1 + 1 \times 0.6 + 2 \times 0.65$$

$$L = 29 + 12.6 + 0.6 + 1.3 = 43.5 \; m$$

$$\Delta p = 0.027 \times \frac{43.5}{0.05251} \times \frac{(0.35)^2}{2} \times 1100 = 1507 \; Pa$$

هبوط الضغط نتيجة الاحتكاك والتوصيلات والأجهزة:

$$\Delta p_{tot} = 1507 + 30000 = 31507 \; Pa$$

طاقة (هبوط) الضغط:

$$\frac{\Delta p_{tot}}{\rho} = \frac{31507 \, {}^{N}/_{m^2}}{1100 \, {}^{kg}/_{m^3}} = 28.64 \, {}^{J}/_{kg}$$

ولإيجاد شغل المضخة نعوض في المعادلة

$$w = \frac{v_2^2}{2} + z_2 g - z_1 g + \frac{\Delta p_{frict}}{\rho}$$

$$w = \frac{0.35^2}{2} + 9 * 9.81 - 3 * 9.81 + 28.64$$

$$w = 87.5 \; J / kg$$

هبوط الضغط فى مجاري الهواء: Pressure Drop In Air Duct Flow

في أي جهاز تبريد أو تدفئة أو تهوية فإنه ولتحريك الهواء فإن المروحة يجب أن تكون لها سعة كافية لدفع كمية الهواء المطلوبة بضغط ستاتيكي يساوي أو أكبر بقليل من المقاومة الكلية للمجري. نحدد أحجام المجاري على أساس السرعات القصوى للهواء التي يمكن استخدامها بدون أن تحدث ضوضاء أو فقدان مضطرد في ضغط الاحتكاك.

طريقة حساب هبوط الضغط فى مجالي الهواء:

مما سبق عرفنا أن:

$$\Delta p = f \times \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2}$$

أو

$$\Delta p = k(\frac{1}{2}\rho v^2)$$

حيث إن

$$k = (f \times \frac{L}{D}) \qquad (3.44)$$

ويطلق على K بمعامل المقاومة أو معامل فقدان الضغط Resistance Coeff. or Press. Loss Coefficient ويمكن التعبير عن الضغط (هبوط الضغط الديناميكي الذي ينشأ من تغيير اتجاه مرور الهواء أو زيادة أو تخفيض سرعة الهواء في مجاوي الهواء أو بسبب نشؤ دوامات هوائية وبالإضافة لوجود أكواع وزوايا ومنحنيات ضيقة ومداخل ومخارج ووصلات مختلفة وبوابات (Dampers) وموزعات هواء ومرشحات ومغاسل وملفات التبريد أو ملفات التسخين وغيرها) بما يسمى بالطول المكافئ

$$K = f \frac{L_e}{D}$$

$$\therefore Le = \frac{KD}{f}$$

L_e = Equivalent Length (m) الطول المكافئ

K = معامل الفقد الخاص بالشكل

f = معامل الفقد الخاص بالاحتكاك

القطر المكافئ D = (m) وهو يساوي قطر المجرى إذا كان مقطعه دائريا. أما في حالة المجاري ذات المقاطع المربعة أو المستطيلة فيحسب من العلاقة التالية

$$D = \frac{4 \times A}{P}$$

حيث A هي مساحة مقطع المجرى وP هو محيط المجرى المبتل ويساوي مجموع أضلاع مقطع المجرى.

اختيار حجم المروحة:

يتوقف اختيار حجم وقدرة المروحة في نظام التكييف أساسا على كمية الهواء ومقدار فرق الضغط

$$P = \Delta p \times Q$$

وتحدد كمية الهواء أساسا من التصميمات الخاصة بحمولة التبريد للمبنى المراد تكييفه، ولكن مقدار الضغط الواجب لتشغيل المروحة يحدد من الحسابات الخاصة بتصميم المجاري الهوائية. ويتم بحساب مقدار المقاومة الكلية للمجرى والذي يتكون أساسا من:

- مقدار الفقد نتيجة الاحتكاك Friction Loss

$$\Delta p = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2} \times \rho$$

- مقدار الفقد في الضغط نتيجة تغيير السرعة أو الاتجاه أو الدوامات وهذا يعرف بفقد الضغط الديناميكي Dynamic Press. Losses

$$\Delta p = K \frac{\rho v^2}{2}$$

تقدير الفقد الكلي للضغط في مجرى (مسلك) هوائي؟

يتكون الفقد الكلي للضغط لوصلة من مجرى هوائي من:

- الفقد في الضغط نتيجة الاحتكاك.
- الفقد الناتج من أحد أو بعض أو كل من الآتي:

1. الفتحات
2. تغيير مساحة مقطع مجرى الهواء (تقليل أو تكبير)
3. التغيير في اتجاه سريان الهواء في المجرى
4. التفريع من جرى رئيسي إلى جرى فرعي .... إلخ

في حالة تكييف الهواء هناك بعض المحددات الش حدد قيماً شبه ثابتة من درجات الحرارة وكثافة الهواء عند هذه الدرجات وكذلك سرعة الهواء المناسبة والتي لا تسبب عيوبا غير مطلوبة في نظام التكييف وغيها. وتبعا تجنه العلاقات الرياضية المناسبة وضع العلماء والدارسون والمهتمون بعلم التكييف مخططات (Diagrams) وجداول تسهل توضيح وتحديد فوق الضغط في المجاري الهوائية والمرتبطة ببعض العوامل المهمة مثل كمية الهواء وكذلك شكل أو مساحة المجاري وكذلك معدن الماسورة إذا كانت ماسورة معدنية أو بلاستيكية. وستتم تغطية هنا الموضوع في مقرر التكييف المركزي بصورة تفصيلية.

تمارين علي سريان الموائع خلال المواسير والمجاري

السؤال الأول:

اكتب معادلة توضح الفقد في الضغط لسريان مائع ما خلال أنبوب نتيجة الاحتكاك.

السؤال الثاني:

احسب هبوط الضغط عندما تسري 6 L/sec من مائع ما عند دوجة حرارة 80 C خلال ماسورة فولاذ تجاري قطرها 52.5 mm وطولها 40m. خذ كثافة المائع عند درجة حرارة 80 C تساوي 801 kg/m^3 ولزوجة المائع عند دوجة حرارة 80 C تساوي $4.46*10^{-3}$ Pa.sec

السؤال الثالث:

طول المواسير في شبكة توزيع مياه تبريد 42 m وقطر الماسورة الاسمي يساوي 60mm. ويوجد في الشبكة ثمانية أكواع من 90° وأربعة أكواع من نوع 45° وستة صمامات بوابية. إذا كان معامل الاحتكاك يساوي 0.02 ومعدل السريان في الشبكة يساوي 480 L/min، احسب كمية الهبوط في الضغط (كثافة الماء $1000kg/m^3$).

المراجع والمصادر

1. Douglas, J.F.; Gasiorek, J.M. and Swaffield, J.A., Fluid Mechanics, Longman Scientific and Technical, New York, 1994.
2. Munson, B.R.; Young, D.F.; and Okishi, T.H., Fundamentals of Fluid Mechanics, John Wiley and Sons, 2nd Ed., New York, 1994.
3. Shames, I.H., Mechanics of Fluids, McGraw-Hill, Inc., New York, 1992.
4. Mott, R. L., Applied Fluid Mechanics, Prentice Hall Career and Technology, Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.
5. Massey, B.S., Mechanics of Fluids, Van Nostrand Reinhold (International), London, 1988.
6. Streeter, V.L. and Wylie, E.B., Fluid Mechanics, McGraw-Hill Book Co., London, 1988.
7. Douglas, J.F., Solving Problems in Fluid Mechanics, Vol. I and II Longman Scientific and Technical, Essex, 1986.
8. Grade, R.J., and Mirajgaoker, A.G., Engineering Fluid Mechanics, New Chand and Bros. Boorkee, Roorkee, India, 1988.
9. Vennard, J.K.; Street, R.L., Elementary Fluid Mechanics, John Wiley and Sons, New York, 1982.
10. Dugdale, R.H., Fluid Mechanics, George Godwin Ltd., London, 1981
11. Evett, J.B., and Liu, C., Fundamentals of Fluid Mechanics, McGraw-Hill Co., New York, 1987.
12. Roy, D.N., Applied Fluid Mechanics, Ellis Horwood Ltd., Halsted Press: A Division of John Wiley and Sons, New York, 1988.
13. Giles, R.V., Evett, J.B., and Liu, C., Theory and Problems of Fluid Mechanics and Hydraulics, Schaum's Outline Series, 3rd Edi., McGraw-Hill, Inc., New York, 1994.
14. Rouse, H., Fluid Mechanics for hydraulic Engineers, Dover Publications, Inc., New York, 1961.
15. White, F.M., Fluid Mechanics, McGraw-Hill Book Co., New York, 1986.

المراجع والمصادر باللغة العربية

1. بشير عبد السلام أبو رويك، ميكانيكا الموائع، معهد الإنماء العربي، بيروت، 1988، لطلبة السنة الأولى.
2. الفيزياء، الثاني الثانوي العلمي، وزارة التربية والتعليم، سلطنة عمان، الطبعة السابعة 1995
3. صلاح الدين محمد الأمين، وعبد الله مسعود، الفيزياء، وزارة التربية والتعليم، الخرطوم، 1967
4. عصام محمد عبد الماجد، التلوث: المخاطر والحلول، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، القباضة الأصلية، تونس (تحت الطبع)
5. عصام محمد عبد الماجد، والطاهر محمد الدرديري، الماء، آفاق للطباعة والنشر، الخرطوم، 1999
6. صلاح الدين محمد الأمين، نايف عبد الله مسعود، الفيزياء، الجزء الأول: القياسات والحرارة والغط والمغنطيسية،
7. .وزارة التربية والتعليم، الخرطوم، 1967
8. .وزارة التربية والتعليم بالمملكة العربية السعودية، كتاب اساسيات الحراريات والموائع – ميكانيكا الموائع.
9. محمد بشير المنجد، الهيدروليك (1)، جامعة دمشق، 198
10. الأستاذ الدكتور عصام محمد عبد الماجد أحمد، والأستاذ الدكتور صابر محمد صالح إبراهيم، والمهندس ساتي ميرغني محمد أحمد، والدكتور عباس عبد الله إبراهيم، الموائع، الدار السودانية للكتب، ش. البلدية، ص. ب. 2473، الخرطوم – السودان.