ميكانيكية الموائع

الموائع :

تعرف الموائع بأنها مجموعة من الجزيئات مرتبة بشكل عشوائي ومتماسكة مع بعضها بقوى ربط ضعيفة وبقوى تؤثر بها عليها جدران الوعاء الذي تحتويه وهي قابلة للتشكل بشكل الاوعية التي تحتويها وتكون قادرة على السريان وهذه المواد هي السوائل والغازات وتمتلك صفات ثابتة مثل السرعة , معدل التدفق ,كثافة كتلية ,الكثافة الوزنية واللزوجة .

ميكانيكا الموائع : ميكانيكا الموائع هو العلم الذي يدرس ميكانيكا السوائل والغازات في حالة الحركة او السكون. *ويقسم ميكانيكا الموائع الى قسمين :*

ويقسم ميكانيكا الموائع الى قسمين :

1. ***ميكانيك الموائع الساكنة (استاتيكا الموائع Static Fluids):***

وهي تمثل دراسة القوى المؤثرة على الموائع في حالة سكون ويمتلك تطبيقات واسعة في مجال تصميم السفن وبناء السدود واجهزة الضغط والمضخات.

2. ***ميكانيك الموائع المتحركة (ديناميكية الموائع Dynamic Fluids)***

وهي دراسة الموائع اثناء الحركة وله تطبيقات في مجال الطاقة الكهربائية وتوليدها من المساقط المائية التي تدفع الماء خلال التوربينات والتي تولد الطاقة الكهربائية او من الطاقة الحرارية من البخار الذي يدفع خلال التوربينات البخارية لتوليد الطاقة الكهربائية. وجريان الموائع في الانابيب المختلفة.

2 ـ الكميات الفيزيائية:

1 ـ الكثافة الكتلية او الكثافة(الكتلة النوعية) ρ **Mass Density**

كثافة اي مائع هي كتلة وحدة الحجم او كتلة المتر الكعب الواحد من تلك المادة .ولا تتاثر بالجاذبية

الكثافة الكتلية = الكتلة / الحجم

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

وحدة قياسها $\frac{kg}{m^3}$

$$\rho_{water} = 1000\,\frac{kg}{m^3} = 1\,\frac{gm}{cm^3}\ ,\quad at\ 4℃\quad ,\ \rho_{mercury} = 13600\ \frac{kg}{m^3} = 13.6\,\frac{gm}{cm^3}$$

2 – الوزن النوعي (الكثافة الوزنية) **Specific Wight** γ

يعرف الوزن النوعي بانه وزن وحدة الحجم او وزن المتر المكعب من المادة اذا هو قوة جذب الارض لكتلة من المائع تشغل حجما مقداره وحدة الحجوم , وقد يتغير الوزن النوعي من موضع لأخر حسب البعد عن سطح الارض كما ينعدم في الفضاء الخارجي بينما لا علاقة للكتلة النوعية او الكثافة الكتلية بالموضع بالنسبة الى الارض ويعبر عنه رياضيا بالصيغة التالية:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

وحداتها N/m^3

كما يمكن ان يعبر عن الوزن النوعي بدلالة الكثافة النوعية

الوزن النوعي =الكثافة النوعية x التعجيل الارضي

$$\gamma = \frac{mg}{V} = \rho \times g$$

الوزن النوعي للمائع يعتمد على قيمة تسارع الجاذبية الارضية بالإضافة الى التغير مع درجة الحرارة والضغط والجدول التالي يبين الاوزان النوعية للموائع الشائعة الاستخدام عند درجة حرارة $20℃$ ***وضغط واحد جو وتسارع للجاذبية الارضية مقداره*** $9.8m/s^2$.

المائع	الوزن النوعي kN/m^3
ثلاثي كلوريد الكربون	15.6
كحول أثيلي	7.76
بنزين السيارات	6.6
الجلسرين	12.3
الكيروسين	7.9
زيت المحركات	8.5
الماء	9.81

3 – الكثافة النسبية (الثقل النوعي) Relative density

هي نسبة كثافة المائع الى كثافة الماء النقي. ومن المعروف ايضا باسم الجاذبية النوعية Specific Gravity (S.G) . وهي بدون وحدات . اذا كانت قيمتها اقل من واحد , فأن المادة اقل كثافة من الماء وسوف تطفو . اذا كانت الكثافة النسبية هي بالضبط 1 , فانها كثافة الماء . واذا كانت اكبر من 1 , تكون الكثافة اكبر من كثافة الماء وسوف تنغمر المادة بالماء.

$$S.G = \frac{\rho_{substance}}{\rho_{water}}$$

$$\rho_{water} = 1000 kg/m^3 = 1 gm/cm^3 \qquad at\ 4℃$$

الكثافة النوعية للغاز هي النسبة بين كثافة الغاز وكثافة اما الهيدروجين او الهواء عند درجة حرارة وضغط معينين , حيث ان كثافة المائع تتغير بدرجة الحرارة فأنه يجب تعيين الكثافات النوعية وتحديدها عند درجات حرارة معينة.

Table Densities of Some Common Substances

Substance	ρ (kg/m^3)[a]	Substance	ρ (kg/m^3)[a]
Ice	0.917×10^3	Water	1.00×10^3
Aluminum	2.70×10^3	Glycerin	1.26×10^3
Iron	7.86×10^3	Ethyl alcohol	0.806×10^3
Copper	8.92×10^3	Benzene	0.879×10^3
Silver	10.5×10^3	Mercury	13.6×10^3
Lead	11.3×10^3	Air	1.29
Gold	19.3×10^3	Oxygen	1.43
Platinum	21.4×10^3	Hydrogen	8.99×10^{-2}
Uranium	18.7×10^3	Helium	1.79×10^{-1}

[a]All values are at standard atmospheric temperature and pressure (STP), defined as 0°C (273 K) and 1 atm (1.013×10^5 Pa). To convert to grams per cubic centimeter, multiply by 10^{-3}.

مثال (1) :

اسطوانة أبعادها كالتالي : قطرها الداخلي 2m وارتفاعها 4m ,ملئت بزيت حتى ارتفاع 3.6m .اذا علمت ان كتلة الزيت تساوي 9772kg , فأحسب كثافة الزيت.

الحل : من قانون الكثافة نحسب الكتلة

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

من قانون حجم الاسطوانة

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 \times h$$

d القطر الداخلي , h ارتفاع الاسطوانة

$$V = \frac{\pi}{4} \times 2^2 \times 3.6 = 11.3 m^3$$

ثم نعوض في معادلة الكثافة للحصول على كثافة الزيت المطلوبة:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{9772}{11.31} = 864 \frac{kg}{m^3}$$

مثال2 /

خزان على هيئة متوازي مستطيلات ,فاذا كان ارتفاع الخزان يساوي عرضه والعرض يساوي نصف الطول ومليء بماء كثافته 1000kg/m , وكانت كتلة الماء تساوي 6750kg ,فاحسب ابعاد الخزان (الطول والعرض والارتفاع).

نفرض ان الابعاد هي L الطول , W العرض , H الارتفاع

اذا كان العرض W فان الطول 2W (العرض يساوي نصف الطول) والارتفاع هو W (الارتفاع يساوي العرض) وذلك حسب ما ورد في السؤال .

$$V = L \times W \times H = 2W \times W \times W = 2W^3$$

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

$$1000 = \frac{6750}{2W^3}$$

$$W^3 = \frac{6750}{2000} = 3.375$$

$$W = \sqrt[3]{3.375} = 1.5m$$

$$L = 2 \times W = 2 \times 1.5 = 3m$$

H=W=1.5m

مثال 3 /

اذا كانت كتلة لترين من زيت البرافين تساوي 1.6kg ,احسب الكثافة النسبية (الثقل النوعي) لزيت البرافين .

$$m^3 = 1000L$$

$$L = 1000cm^3 = 0.001m^3$$

نحسب كثافة الزيت

$$\rho_f = \frac{m}{V} = \frac{1.6}{2 \times 0.001} = 800\frac{kg}{m^3}$$

نحسب الكثافة النسبية للزيت

$$SG_f = \frac{\rho_f}{\rho_W} = \frac{800}{1000} = 0.8$$

4- الحجم النوعي S. v Specific Volume

الحجم النوعي هو حجم وحدة الكتل , اي مقلوب الكثافة ويرمز له بالرمز S. v ووحدة قياس الحجم النوعي في النظام العالمي (m^3/ kg).بما ان حجوم الغازات عامة تعتمد على الضغط ودرجة الحرارة لذا يجب تحديد الضغط ودرجة الحرارة حين ذكر الحجم النوعي لغاز معين ,ويعرف في بعض الاحيان بانه حجم وحدة الاوزان بدل من حجم وحدة الكتل اي انه مقلوب الوزن النوعي .

$$S.v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}(\frac{m^3}{kg})$$

الموائع الساكنة

استاتيكا الموائع :هو دراسة القوى المؤثرة على الموائع الساكنة.

- **الضغط : *Pressure***

هو التأثير الذي يحدث عند تطبيق قوة على سطح ما ويرمز له P ومن المعلوم ان جميع الموائع لها ضغط نتيجة لحركة جزيئاتها المستمرة واصطدام هذه الجزيئات ببعضه البعض او بجدران الاوعية التي تحتويها .ويعرف الضغط بأنه القوة العمودية المسلطة على وحدة المساحة.

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

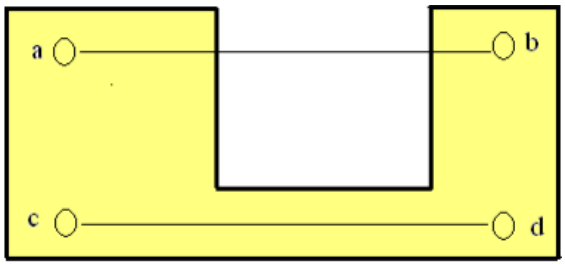
وحدات الضغط في النظام العالمي للوحدات (SI)هي N/m^2 ويطلق على هذه الوحدة باسكال Pascal (pa) ويقاس الضغط ايضا بوحدة (atm)

$$1atm= 1.013x\ 10^5\ N/m^2$$

كما يرمز للضغط بارتفاع عمود الزئبق الذي كثافته (13.6 gm/cm^3) ويكافئ الضغط الجوي عند سطح البحر 76cmHg , اما الضغط الواطئ فيقاس بوحدات مثل mmHg (المليمتر الزئبقي) ويسمى احيانا torr. والاجهاد الوحيد الذي يمكن ان يتأثر به جسم مغمور في مائع هو الاجهاد الذي يعمل على ضغطه. ان القوة التي يؤثر بها المائع على جسم ما تكون دائما عمودية على اسطح الجسم .

- ***تغيرات الضغط في المائع الساكن.***

ان اجراء موازنة للقوى المؤثرة على جسم من المائع الساكن وذلك من معرفة ان محصلة هذه القوى في اي اتجاه تساوي صفرا, وعليه يمكن الاستنتاج ان الضغط يتساوى في المقدار عند اي نقطتين تقعان على المستوى الافقي نفسه في المائع . فمثلا الضغط على النقطة (a) يساوي الضغط عند النقطة (b) والضغط عند (c) يساوي الضغط عند d. كما في الشكل



تغيرات الضغط في المائع الساكن

- ***تغير الضغط مع العمق*** ***Variation of Pressure with depth***

اذا ملئت حاوية بسائل ساكن فانه يجب :

- ان تكون جميع اجزاء السائل في حالة توازن استاتيكي (static Equilibrium)
- يجب ان يتساوى الضغط في جميع النقاط ذات العمق نفسه.

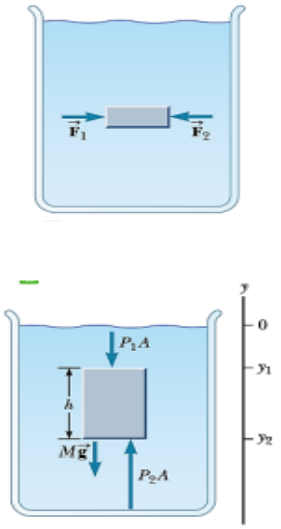
اذا لم يتحقق هذين الشرطين فان المائع (السائل) سوف ينساب من منطقة الضغط الاعلى الى الادنى . في الشكل المجاور ,المكعب الافتراضي اذا كان الضغط عليه اكبر في الجانب الايسر مما هو على الجانب الايمن , فان متجه القوة F_1 سيكون اكبر من متجه القوة F_2 , وبالتالي سيتسارع المكعب الى اليمين وعندئذ لن يكون في حالة توازن استاتيكي.

الان لو تصورنا متوازي المستطيلات من الماء (شكل افتراضي) الذي يشار اليه المنطقة الغامقة . هذه المنطقة لديها مساحة مقطع عرضي A (Cross section) وتمتد من الموقع y_1 الى الموقع y_2 اسفل سطح السائل . اذا هنالك ثلاث قوى خارجية على هذا الحجم من السائل وهي :

1 – قوى الجاذبية mg او وزن عمود الماء

2 –القوة الى الاعلى P_2 A التي يسببها السائل اسفل العمود الافتراضي الذي على شكل متوازي المستطيلات .

3 – القوة P_1A التي يسببها السائل على السطح العلوي للعمود الافتراضي



وبما انه السائل ساكن هذا يعني محصلة القوة المؤثرة تساوي صفرا لذا نستنتج ما يلي:

$$P_2A - P_1A - mg = 0 \quad \text{--------(1)}$$

من تعريف الكثافة وايجاد حجم كتلة الماء نحصل

$$m = \rho V = \rho A(y_1 - y_2) \text{ --------(2)}$$

نعوض معادلة 2 في 1 واختصار المساحة A وترتيب المعادلة نحصل على

$$P_2 = P_1 + \rho g(y_1 - y_2) \text{ --------(3)}$$

الكمية $(y_1 - y_2)$كمية موجبة لان $y_1 > y_2$ الا اذا كان السطح الخارجي لتلك المنطقة معرض الى الهواء الجوي وبالتالي فان $h=y_1-y_2= 0-y_2$, $P_1=P_0$, $P_2=P$ الضغط على عمق h من سطح المائع ستكون المعادلة (3) كما ياتي

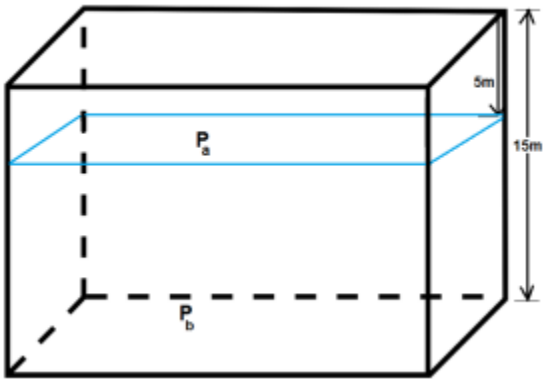
$$P = P_0 + \rho gh$$

الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر $P_0= 1.013x\ 10^5$ pa

مثال : حاوية مغلقة من الاعلى ومليئة بالماء ارتفاعها 15m

a – احسب الضغط عند نقطة تبعد 5m

b - الضغط عند القاعدة للحاوية



$(a) - \ P = \rho gh \ = 1000kg/m^3 \ \times 9.8m/sec^2 \times 5m$

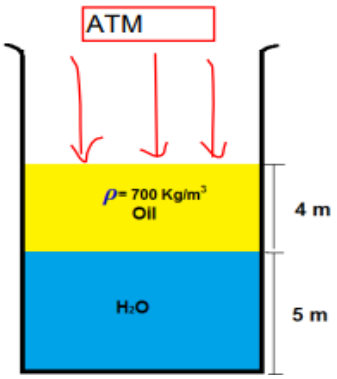
=49000 Pa

(b) - $P = P_0 + \rho gh$

P=0 + $1000kg/m^3 \ \times 9.8m/sec^2 \times 15m$

=147000 Pa

مثال :في الشكل المجاور احسب الضغط الكلي على قاعدة الحاوية والضغط على الحد الفاصل بين السائلين



$$P = P_0 \ + (P_{water} \ + P_{oil}) \ = 1.013 \ \times 10^5 \ + (\rho_w h_1 \ + \rho_{oil} \ h_2)g$$

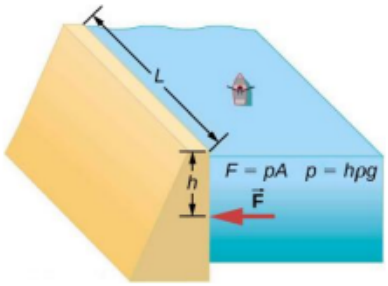
$$= 1.013 \ \times 10^5 Pa \ + \left(\frac{1000kg}{m^3} \times 5m \ + \frac{700kg}{m^3} \times 4m\right)\frac{9.8m}{sec^2} = 177740 \ Pa$$

الضغط على الحد الفاصل $P \ = P_0 \ + (\rho gh \ )_{oil}$

$$= 1.013 \times 10^5 \ + 700kg/m^3 \times 9.8m/sec^2 \times 4m$$

= 128740 pa

مثال



ضع في اعتبارك الضغط والقوة المؤثرة على السد (Dam) الذي يخزن خلفه مياه. لنفترض أن السد بعرض **(500m)** والماء بعمق **(80m)** عند السد ، كما هو موضح في الشكل. **(a)** ما هو متوسط الضغط على السد بسبب الماء على عمق (h)؟ **(b)** احسب القوة المسلطة على السد.

الحل:

$$P=F/A = \rho g h$$

$$\begin{aligned} p &= (40.0\,\mathrm{m})(10^3\,\tfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3})(9.80\tfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}) \\ &= 3.92 \times 10^5\,\tfrac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = 392\,\mathrm{kPa}. \end{aligned}$$

و لحساب القوة الموثرة على السد يجب حساب مساحة السد المواجهه للماء (W×L) حيث (L)عرض السد و(W) عمق السد.

$$A = 80.0\,\mathrm{m} \times 500\,\mathrm{m} = 4.00 \times 10^4\,\mathrm{m}^2,$$

وعليه

$$\begin{aligned} F &= (3.92 \times 10^5\,\mathrm{N/m}^2)(4.00 \times 10^4\,\mathrm{m}^2) \\ &= 1.57 \times 10^{10}\,\mathrm{N}. \end{aligned}$$

مثال : وصل الماء الى ارتفاع H خلف خزان عرضه w احسب محصلة القوى التي يؤثر بها الماء على السد

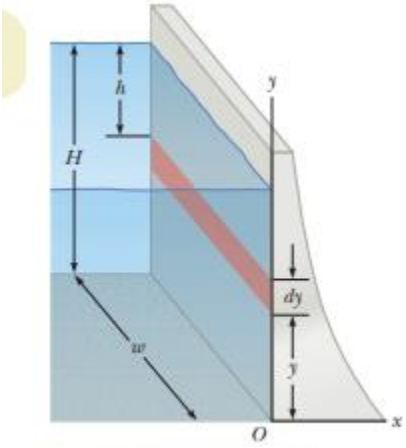


Figure 14.5 (Example 14.4) Water exerts a force on a dam.

حيث ان الضغط يختلف باختلاف العمق لا يمكننا حساب القوة بمجرد ضرب المساحة في الضغط. يمكننا حل المسألة بحساب القوة d f المؤثرة على شريحة ضيقة افقية عند عمق h ثم نكامل ما نحصل عليه لكي نوجد القوة الكلية .

نفترض ان محور y العمودي حيث y=0 عند قاع الخزان وسنأخذ الشريحة على ارتفاع y من القاع.

لحساب الضغط على عمق h سوف نلغي تأثير الضغط الجوي لأنه يؤثر على جانبي الخزان.

$$p = \rho g\, h = \rho g\, (H - y)$$

$$df = pdA = \rho g(H - y)wdy$$

$$f = \int_0^H PdA = \int_0^H \rho g(H - y)wdy$$

$$f = \rho gw[\int_0^H Hdy - \int_0^H ydy]$$

$$= \rho gw[H[y]_0^H - \frac{1}{2}[y^2]_0^H]$$

$$\rho gw(H^2 - \frac{1}{2}(H^2) = \frac{1}{2}\rho gwH^2$$

احسب متوسط الضغط على الخزان ثم احسب القوة الكلية الناتجة عن الماء على السد

بما انه الضغط يزداد طرديا مع الاعمق

$$p_{ave} = \frac{p_0 + p_{pottom}}{2} = \frac{\rho gH}{2}$$

$$f = AP_{ave} = \frac{1}{2}\rho gH \times (H \times w) = \frac{1}{2}\rho gwH^2$$

مثال: احسب القوة الكلية المؤثرة على سطح خزان ابعاده 30 cm طولا , 25cm عرضا , 45 cm ارتفاعا . اذا تم ملؤه بماء كثافته $1000\ Kg/m^2$ ثم احسب الضغط على نقطة في القاعدة.

الحل:

$F = mg = \rho Vg = \rho Ahg = \rho\ (L.W.h)g = 1000kg/m^3 \times 0.3m \times 0.25m \times 0.45m \times 9.8\ m/sec^2 = 331.08kg.m/sec^2 = 331.08\ N$

الضغط على نقطة في القاعدة

$$P = P_0 + \rho gh$$

وحيث $P_0=0$ لان الصندوق مغلق اي لا يتعرض الى الضغط الجوي.

$$\therefore P = \rho gh = \frac{1000kg}{m^3} \times \frac{9.8m}{sec^2} \times 0.45m = 4414.5\frac{N}{m^2} = 4414.5Pa = 4.4145kPa$$

واجب : نقطتانA , B على عمق 300 m و 200m في قاع البحر اوجد الفرق في الضغط بين النقطتين اذا علمت ان كثافة ماء البحر $1023\ kg/m^3$.

مثال : حول الضغط الجوي ($101.325 Kn/m^2$) الى ما يعادله من :

- ضغط عمود من ماء كثافته $1000 kg/m^3$.
- ضغط عمود من زئبق كثافته النسبية 13.6 .

الحل :الضغط الجوي الذي يكافئ ضغط عمود من الماء

$$P_0 = \rho g h$$

$$= \frac{1000kg}{m^3} \times 9.8m/sec^2 \times h$$

$$h = \frac{101.325 \times 1000N/m^2}{\frac{1000kg}{m^3} \times \frac{9.8m}{sec^2}} = 10.3\ m$$

الضغط الجوي الذي يكافيء ضغط عمود الزئبق:

نجد كثافة الزئبق من قانون الكثافة النسبية

الكثافة النسبية =كثافة الزئبق /كثافة الماء

كثافة الزئبق = الكثافة النسبية x *كثافة الماء*

$$\rho_{\text{للزئبق}} = 1000kg/m^3 \times 13.6$$

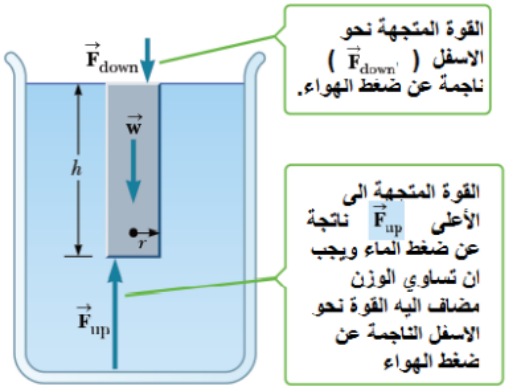
$$\therefore h = \frac{101.325 \times 1000N/m^2}{13.6 \times 1000kg/m^3 \times 9.8kg/m^2} = 0.76\ m$$

لان الزئبق اثقل من الماء لذلك 0.76 m من عمود الزئبق يكافئ الضغط الجوي

مثال:(a) احسب وزن عمود اسطواني من الماء ارتفاعه h ومقداره (40m) ونصف القطر r مقداره (1m)

(b): احسب القوة التي يسلطها الهواء على القرص العلوي للعمود الاسطواني للماء الذي نصف قطره (1m).

(c): ما هو الضغط على عمق (40m) الذي يولده عمود الماء.



a – وزن عمود الماء

$$w = mg = \rho vg = \rho\pi r^2 h \times g = 1000kg/m^3 \times 3.14 \times 1m^2 \times 40m \times 9.8m/sec^2 = 1.23 \times 10^6$$

b – القوة الناتجة من ضغط الهواء على الجزء العلوي من عمود الماء تحسب:

$$p = \frac{F_{down}}{A}$$

$$f_{down} = pA = 1.013 \times 10^5 Pa \times 1m^2 \times 3.14 = 3.18 \times 10^5 N$$

c - طريقة اولى

$$p = \rho gh + P_0 = \frac{1000kg}{m^3} \times 9.8m/sec^2 \times 40m + 1.013 \times 10^5 = 4.9 \times 10^5 pa$$

طريقة ثانية

$$fup = fdown + fg = 3.18 \times 10^5 + 1.23 \times 10^6 = 1.54 \times 10^6 N$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{1.54 \times 10^6 N}{3.14 m^2} = 4.9 \times 10^5 N/m^2$$

ملاحظة : ان الضغط على عمق 40m مرتبط بالضغط الجوي + ووزن عمود الماء وانه يدفع عمود الماء الى الاعلى للحفاظ على التوازن والاستقرار وان للكثافة دور مهم في تحديد الضغط على عمق معين

واجب : حوض كبير على شكل متوازي المستطيلات مليء بزيت الزيتون الى عمق 2.6m ,كثافته $915 kg/m^3$. اذا كان الحوض بطول 5m وعرض 3m , فاحسب (a) وزن زيت الزيتون , (b) قوة ضغط الهواء على سطح الزيت ,(c) الضغط الذي تبديه قاعدة الحوض على الزيت.