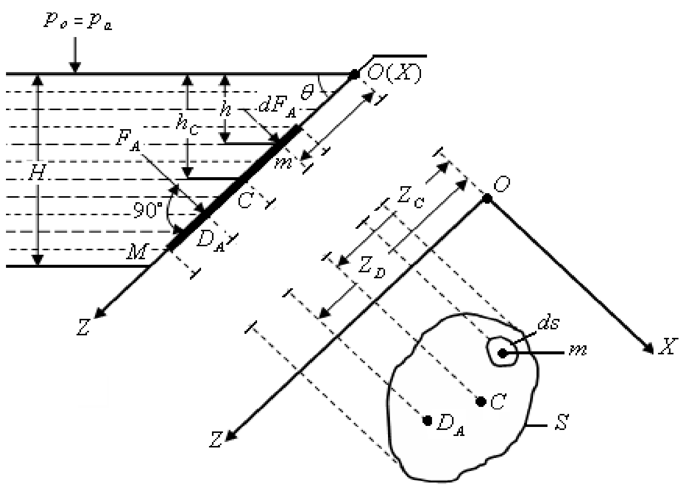
تحديد قوة الضغط (*Pressure Force*) المؤثرة على السطوح المستوية (*Plate Surfaces*):

2.10.1- الحالة العامة لجدار مستو مائل:

ليكن كما في الشكل (2.22) وعاء مفتوح من الأعلى، جداره (OM) مائل عن الأفق بزاوية مقدارها (θ)، ويمتلئ بسائل وزنه النوعي (γ).

نعين في مستوي الجدار الإحداثيات OX، OZ بحيث يكون OX عمودياً على مستوي الرسم، نأخذ على الجدار (OM) سطحاً لاعلى التعيين (S) يتضح أثره على الجدار بشكل خط غامق.



الشكل (2.22)، الضغط على جدار مستو مائل.

بتدوير الإحداثيات بمقدار (°90) نحصل على شكل المساحة المختارة.

بحسب الخاصة الأولى للضغط الهيدروستاتيكي فإن الضغط في جميع نقاط المساحة (S) سيكون متجهاً نحو جدار الخزان وبالتالي فإن قوة الضغط الهيدروستاتيكي المطلق (p_A) التي يرمز لها بالرمز (F_A) والمؤثرة على المساحة (S) سيكون اتجاهها أيضاً عمودياً على الجدار كما في الشكل 2.22).

نحدد فيمايلي قوة الضغط الهيدروستاتيكي المطلق (F_A) ووضع خط تأثيرها:

1. **قوة الضغط** (F_A): نعتبر من السطح (S) نقطة (m) على عمق (h) من السطح السائب للسائل لها الإحداثيات (Z)، فيكون:

$$h = Z \cdot \sin\theta \qquad (2.69)$$

حيث θ :زاوية ميل الجدار.

نأخذ حول النقطة (m) عنصراً سطحياً (ds) حيث تؤثر عليه القوة الجزئية للضغط الهيدروستاتيكي المطلق (dp_A) بحسب المعادلة التالية:

$$dF_A = p_A \cdot ds \qquad (2.70)$$

أو بحسب المعادلة (2.31):

$$dF_A = (p_a + \gamma \cdot h) \cdot ds = p_a \cdot ds + \gamma \cdot h \cdot ds$$

$$dF_A = p_a \cdot ds + \gamma \cdot Z \cdot \sin\theta \cdot ds \qquad (2.71)$$

بمكاملة العلاقة (2.71) على كامل السطح (S)، ينتج:

$$F_A = p_a \int_S ds + \gamma \sin\theta \int_S Z \cdot ds \qquad (2.72)$$

ومن الواضح أن:

$$\int_S ds = S \,, \quad \int_S Z \cdot ds = Z_C \cdot S \qquad (2.73)$$

حيث Z_C : إحداثيات النقطة (C) مركز ثقل السطح (S).

بتعويض (2.73) في (2.72)، ينتج:

$$F_A = p_a \cdot S + \gamma \cdot S \cdot Z_C \sin\theta \qquad (2.74)$$

وبما أن: $h_C = Z_C \cdot \sin\theta$ (عمق مركز ثقل السطح تحت السطح السائب للسائل) يكون:

$$F_A = p_a \cdot S + \gamma \cdot S \cdot h_C \qquad (2.75)$$

ومنه:

$$F_A = (p_a + \gamma \cdot h_C) \cdot S = S \cdot (p_A)_C \qquad (2.76)$$

حيث $(p_A)_C$: الضغط المطلق في مركز ثقل المساحة.

ويمكن كتابة المعادلة (2.75) بالشكل التالي:

$$F_A = F_a + F \qquad (2.77)$$

حيث إنَّ:

F_a : قوة الضغط الجوي التي ينتقل تأثيرها عبر السائل على السطح (S).

$$F_a = p_a \cdot S \qquad (2.78)$$

F : قوة الضغط الزائد العائدة –في هذه الحالة– إلى وزن السائل.

$$F = \gamma \cdot h_C \cdot S = p_C \cdot S \qquad (2.79)$$

حيث p_C : الضغط الوزني الزائد للسائل في مركز ثقل السطح.

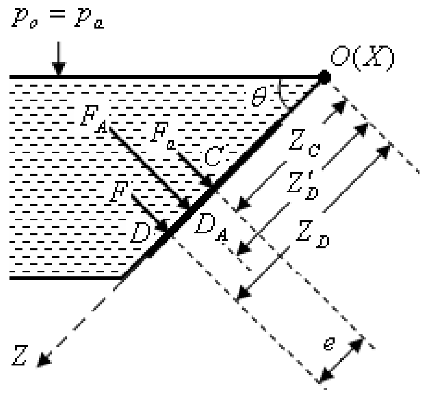
من العلاقتين (2.76) و(2.79) يمكن صياغة النتيجة التالية: "إن قوة الضغط المطلق أو الزائد التي يؤثر بها سائل ساكن على سطح مستو تساوي (على التوالي) حاصل جداء مساحة هذا السطح (S) في الضغط المطلق $(p_A)_C$ أو في الضغط الزائد ($p_C = \gamma \cdot h_C$)، المؤثر في مركز ثقل السطح المغمور".

تدعى النقطة (D_A) وهي عبارة عن تقاطع خط تأثير القوة (F_A) مع مستوي السطح (S) مركز ضغط القوة (F_A) أو مركز تأثيرها.

2. تعيين مركز الضغط:

يبين الشكل (2.23) تفاصيل الشكل السابق فمركز قوة الضغط الجوي (F_a) سوف ينطبق على مركز ثقل الجسم حيث إنَّ الضغط الخارجي ($p_o = p_a$) يتوزع عبر السائل بشكل منتظم على كامل المساحة (S). أما الضغط الزائد وهو عبارة عن وزن السائل فيتوزع على السطح المغمور بشكل غير منتظم حيث يزداد طرداً مع العمق وهذا يعني أن مركز ضغط القوة F (النقطة D) سوف يكون أخفض من مركز ثقل السطح المدروس.

إن القوة (F_A) هي عبارة عن المجموع الهندسي للقوتين (F_a)، (F) وبالتالي فنقطة تأثيرها (D_A) ستقع بين النقطتين (C) و(D).



الشكل (2.23)، الضغط على جدار مستو مائل.

أما النقطة (D_A) ذات الإحداثيات (Z'_D) فيمكن إيجادها عن طريق الجمع الهندسي للقوى (F)، (F_a) وبالتالي لابد من معرفة وضع النقطة (D) ذات الإحداثيات (Z_D).

بحسب قانون العزم الستاتيكي حول المحور (OX)، لدينا:

$$\int_S (p \cdot ds) \cdot Z = F \cdot Z_D \qquad (2.80)$$

يمكن إعادة كتابة المعادلة السابقة بالشكل التالي:

$$\int_S (\gamma \cdot h \cdot ds) \cdot Z = (\gamma \cdot h_C \cdot S) \cdot Z_D \qquad (2.81)$$

أو بالشكل:

$$\int_S (\gamma \sin\theta \cdot Z \cdot ds) \cdot Z = (\gamma \sin\theta \cdot Z_C \cdot S) \cdot Z_D$$

ومنه يكون:

$$Z_D = \frac{\int_S Z^2 \cdot ds}{S \cdot Z_C} = \frac{I_{ox}}{(St)_{ox}} \qquad (2.82)$$

حيث إنَّ:

$I_{ox} = \int_S Z^2 \cdot ds$: عزم العطالة للسطح (S) بالنسبة للمحور (OX).

$(St)_{ox} = S \cdot Z_C$: العزم الستاتيكي للسطح (S) بالنسبة للمحور (OX).

ليكن (I_C) عزم عطالة السطح (S) بالنسبة لمحور الثقالة المار من مركز الثقل (C)، وينتج حسب علاقة شتاينر:

$$I_{ox} = I_C + S \cdot Z_C^2 \qquad (2.83)$$

وتصبح المعادلة (2.82) على الشكل التالي:

$$Z_D = \frac{I_C + S \cdot Z_C^2}{S \cdot Z_C} = Z_C + \frac{I_C}{Z_C \cdot S} \qquad (2.84)$$

ويكون البعد بين مركز الثقل (C) ومركز تأثير قوة الضغط (D):

$$e = Z_D - Z_C = \frac{I_C}{Z_C \cdot S} \qquad (2.85)$$

وحيث إنَّ عزم العطالة (I_C) هو موجب دائماً فينتج أن $(e > 0)$ وبالتالي يكون مركز الضغط دائماً أخفض من مركز الثقل بالقيمة (e).

استعرضنا فيما سبق تعيين إحداثية واحدة (Z_D) لنقطة تأثير القوة (D) ولكن في الحالة العامة يتوجب تعيين الإحداثية الأخرى (X_D) بالنسبة لها، ويتم ذلك عن طريق معادلة العزوم حول المحور (OZ) وبشكل مشابه للمعادلة (2.80)، ينتج:

$$\int_S (p \cdot ds) \cdot X = F \cdot X_D$$

$$\int_S (\gamma \cdot h \cdot ds) \cdot X = (\gamma \cdot h_C \cdot S) \cdot X_D$$

$$\int_S (\gamma \sin\theta \cdot X \cdot ds) \cdot X = (\gamma \sin\theta \cdot Z_C \cdot S) \cdot X_D$$

$$X_D = \frac{\int_S X \cdot Z \cdot ds}{S \cdot Z_C} = \frac{I_{oz}}{(St)_{ox}} \qquad (2.86)$$

2.10.2- حالة جدار مستوٍ أفقي وشاقولي:

إن الضغط الزائد (p) في هذه الحالة والمتمثل بوزن السائل سيتوزع بانتظام على السطح الأفقي أي أن ($e=0$) وبالتالي سينطبق مركز ثقل السطح (C) على نقطة تأثير القوة (النقطة D). ولو فرضنا أن السائل ذا الوزن النوعي (γ) يغمر السطح الأفقي (S) بمقدار (H) تكون قوة الضغط على القعر:

$$F=\gamma\cdot H\cdot S \tag{2.87}$$

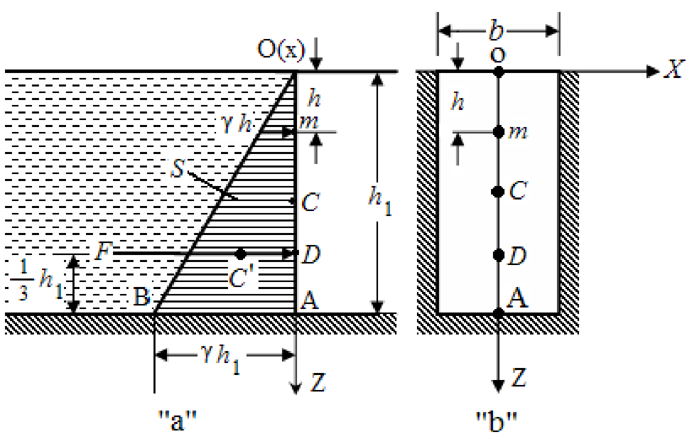
حيث إنَّ:

S : مساحة قعر الإناء.

H : ارتفاع السائل ذي الوزن النوعي (γ) في الوعاء.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن قوة ضغط القعر لاتتعلق بشكل الإناء، فلو كانت جملة أوعية متباينة الشكل ومساحة قعورها واحدة، ويملؤها نفس السائل بارتفاع واحد فإن قوة الضغط على القعر تبقى واحدة في جميع الأوعية وهذا مايسمى" بالتناقضة الهيدروستاتيكية".

ليكن الجدار المستوي (OA) كما في الشكل (2.24.a) حيث عرضه (b) مبين في الشكل (2.24.b).



الشكل (2.24).

سوف ندرس تأثير الضغط الزائد فقط على سطح هذا الجدار ولن يؤخذ بالاعتبار الضغط الخارجي الذي يساوي في الأوعية المفتوحة الضغط الجوي، فمثلاً عند الحسابات

السكونية للجدار (OA) يدرس الضغط الزائد فقط لأن الضغط الجوي الذي ينتقل تأثيره عبر السائل إلى الجدار من الداخل يتعادل كلياً مع الضغط الجوي الذي يؤثر على نفس الجدار من الخارج.

نعين على السطح (OA) نقطة (m) فيكون الضغط في هذه النقطة:

$$p = \gamma \cdot h \qquad (2.88)$$

وباعتبار أن اختيار موقع النقطة (m) كان اعتباطياً وهي في الواقع تتحرك بين النقطة (O) وحتى (A) فإن الضغط الهيدروستاتيكي حسب المعادلة (2.88) سوف يتغير خطياً، ففي النقطة (O) يكون ($h = 0$) والضغط ($p = 0$)، وأما عند النقطة (A) يكون ($h = h_1$) والضغط يأخذ القيمة:

$$p = \gamma \cdot h_1$$

حيث إنَّ (h_1) هو عمق النقطة (A) عن السطح السائب للسائل.

نستطيع مما سبق أن نرسم مثلث الضغط (OAB)، حيث إنَّ حاصل جداء مساحة المثلث (OAB) وعرض الجدار (b) يعطي القوة (F) وهي القوة الهيدروستاتيكية المؤثرة على الجدار:

$$F = S \cdot b = \frac{1}{2} h_1^2 \cdot \gamma \cdot b \qquad (2.89)$$

وهكذا تكون هذه القوة عمودية على الجدار وتمر من مركز مثلث الضغط (C')، ومنه يتضح أن مركز تأثير قوة الضغط p (النقطة D) يجب أن يقع على بعد ($\frac{1}{3} h_1$) من قاعدة الجدار العمودي.

في بعض الأحيان وعند تمثيل مثلث الضغط تؤخذ قيمة (AB) على أنها تساوي (h_1) بدلاً من ($\gamma \cdot h_1$) وبالتالي تؤول المعادلة (2.89) إلى الشكل:

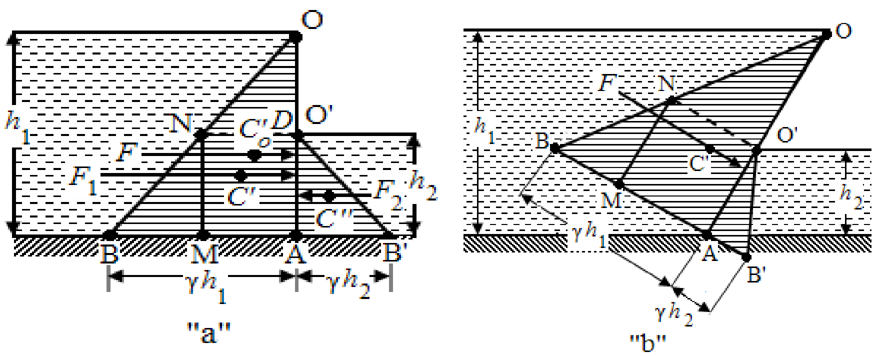
$$F = S \cdot \gamma \cdot b = \frac{1}{2} h_1^2 \cdot \gamma \cdot b \qquad (2.90)$$

حيث:

$$S = \frac{1}{2}h_1^2$$

عند صب كمية من نفس سائل الخزان في الجهة اليمينية للجدار (الشكل (2.25.a) حتى ارتفاع معين (h_2)، ينبغي عند ذلك رسم مثلث الضغط (OAB) على يسار الجدار و(O′AB′) على يمين الجدار، ثم بعد ذلك يتم تركيبهما كما في الشكل لنحصل على مساحة الضغط المتمثلة بالشكل (OAMN) (على الشكل (2.25.a) التي تمثل مساحته قوة الضغط (F) التي يجب أن تمر من مركز ثقل الشكل المذكور (C'_O).

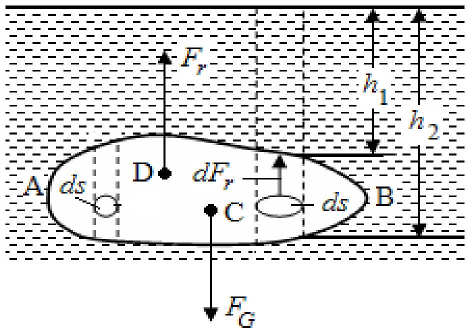
في حالة كون الجدار مائلاً (الشكل (2.25.b) فإن الشكل الذي يمثل الضغط يتمثل في شبه المنحرف (OAMN).



الشكل (2.25).

2.11- قوة الرفع الهيدروستاتيكية (*Hydrostatic Buoyant Force*) أو دافعة أرخميدس (*Archimedes' Principle*).

ليكن الجسم الصلب (A – B) مغموراً (***Submerged***) في سائل وزنه النوعي (γ)–الشكل (2.33)–، نقتطع منه إسطوانه شاقولية مساحة مقطعها (ds)، حيث يلاحظ أنها تخضع من الأعلى لتأثير ثقل إسطوانة السائل التي تساوي ($\gamma \cdot h_1 ds$)، ومن الأسفل لتأثير ثقل إسطوانة السائل التي تساوي ($\gamma \cdot h_2 ds$).



الشكل (2.33)، قوة الرفع الهيدروستاتيكية (دافعة أرخميدس)

F_G : وزن الجسم الصلب، C : مركز ثقل الجسم الصلب، D : مركز ثقل الحجم المزاح.

وبالتالي فإن إسطوانة الجسم الصلب ستتعرض لقوى دفع من الأسفل قيمتها:

$$dF_r = (h_2 - h_1) \cdot \gamma \cdot ds \qquad (2.104)$$

ويشكل مجموع قوى الدفع على كافة الإسطوانات التي يتألف منها الجسم الصلب قوة الدفع الكلية (F_r) التي تحاول رفع الجسم إلى الأعلى:

$$F_r = (h_2 - h_1) \cdot \gamma \cdot S = \gamma \cdot \mathrm{V} \qquad (2.105)$$

حيث إنَّ:

F_r : قوة الرفع الهيدروستاتيكية أو قوة الطفو (*Floatation Force*) كما تدعى دافعة أرخميدس.

V : حجم السائل المزاح.

وعليه يمكن البرهان بشكل مماثل على أن هذه القوة تؤثر أيضاً على الأجسام المغمورة جزئياً، حيث يكون:

$$F_r = \gamma \cdot \mathrm{V}' \qquad (2.106)$$

حيث إنَّ V' : الحجم الجزئي المزاح من قبل الجسم.

وبناءً على ماسبق يمكن صياغة النتيجة التالية:

"قوة الرفع الهيدروستاتيكية (دافعة أرخميدس) التي تتلقاها الأجسام المغمورة كلياً أو جزئياً في السوائل الساكنة تساوي وزن السائل المزاح، وهي تؤثر شاقولياً (*Vertical*) للأعلى وتمر من مركز ثقل الحجم المزاح".

في الحالة العامة لاينطبق مركز ثقل الجسم (C) على مركز ثقل الحجم المزاح (D) وعلى هذا فإن كل جسم مغمور في السائل يتعرض لنقص ظاهري في وزنه بمقدار دافعة أرخميدس. فإذا كان وزن الجسم في الهواء (F_G)، ووزنه النوعي (γ_k)، فيصبح وزنه الظاهري بعد غمره في السائل وبفرض ($\gamma < \gamma_k$):

$$F'_G = F_G - F_r \qquad (2.107)$$

واعتماداً على هذه العلاقة يمكن تعيين (γ_k) للجسم الصلب بعد قياس (F'_G):

$$F'_G = F_G - \gamma \cdot \frac{F_G}{\gamma_k}$$

وبالتالي:

$$F_G - F'_G = \gamma \frac{F_G}{\gamma_k}$$

ومنه:

$$\gamma_k = \frac{\gamma \cdot F_G}{F_G - F'_G} \qquad (2.108)$$

وعلى هذا الأساس صمّمت مقاييس كثافة الوزن النوعي للأجسام الصلبة المتجانسة، كما تطورت أسس صناعة المناطيد ووسائط النقل البحرية اعتماداً على دافعة أرخميدس.

- شرط التوازن المستقر للأجسام الطافية (*Stability Considerations For Bodies in Floatoation*):

نفرض جسماً شكله على غير تعيين يطفو على السطح الحر لسائل وزنه النوعي (γ)، فإذا كان هذا الجسم في حالة توازن، فيجب أن تكون محصلة القوى المؤثرة عليه،

وهي قوة الثقالة (F_G) الشاقولية للأسفل، ودافعة أرخميدس الشاقولية للأعلى، معدومة، أي أن يتحقق:

$$F_r = F_G = \gamma \cdot \mathrm{V}$$

حيث V : حجم السائل المزاح. غير أن (F_G) تؤثر في مركز ثقل الجسم C (*Center of Gravity*) بينما تؤثر (F_r) في مركز ثقل الحجم المزاح D (*Center of Buoyancy*)، وهما نقطتان مختلفتان عادةً، يطلق على الخط الواصل بينهما محور الطفو (*Axis of Floatation*)، وعليه فإنه مع تحقيق الشرط السابق يمكن أن تشكل القوتان (F_G) و(F_r) مزدوجة (*Torque*) تحاول تدوير (*Rotation*) الجسم. وحتى لايحدث ذلك يجب أن تكون هاتان القوتان على منحى شاقولي واحد، ونتيجة لذلك يمكن صياغة مايلي:

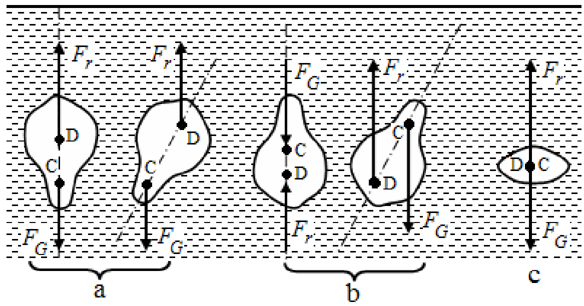
"إن الشرط اللازم والكافي لتوازن جسم طافٍ مغمور جزئياً أو كلياً يتطلب أن تكون دافعة أرخميدس مساوية لوزن الجسم وأن يكون محور الطفو شاقولياً".

وبشكل عام يمكن تمييز الحالات الثلاث التالية:

- $F_r = F_G$: حيث يطفو الجسم مع انغماسه داخل السائل.
- $F_r > F_G$: يطفو الجسم على سطح السائل.
- $F_r < F_G$: حيث يغرق الجسم.

– **الحالة الأولى:** $F_r = F_G$، في هذه الحالة يمكن التمييز بين الحالات التالية: (لاحظ الشكل (2.34)):

- توازن مستقر للجسم –*Stabile Equilibrium*– (الشكل 2.34.a).
- توازن غير مستقر للجسم –*Unstable Equilibrium*– (الشكل 2.34.b).
- توازن كيفي –*Indifferent Equilibrium*– (الشكل 2.34.c).

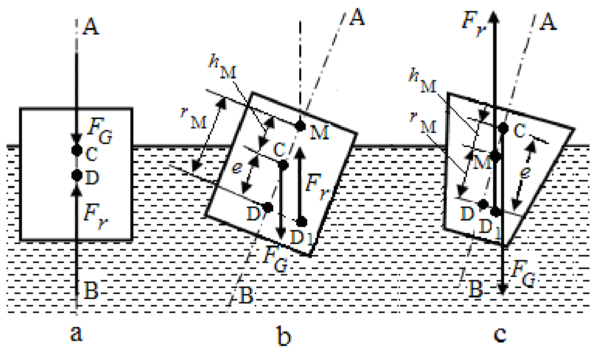


الشكل (2.34)، طفو الجسم في حالة انغماره الكامل.

– **الحالة الثانية:** $F_r > F_G$، في هذه الحالة سوف يطفو الجسم مع بقاء جزئه السفلي مغموراً داخل السائل (الشكل 2.35.a) وبشكل يتحقق الشرط:

$$F_G = F_r' \qquad (2.109)$$

حيث F_r' : وزن السائل المزاح.



الشكل (2.35)، طفو زورق مغمور جزئياً بالسائل.

من الشكل (2.35) يلاحظ مايلي:

الحالة a : وضعية التوازن، الحالة b : وضعية مستقرة، الحالة c : وضعية غير مستقرة، حيث إنَّ:

D_1 : مركز ثقل الحجم المزاح بعد جنوح الزورق.

M : نقطة تقاطع محور الطفو مع الشاقول.

C : مركز ثقل الزورق.

D : مركز ثقل الحجم المزاح في حالة توازن الزورق.

نستعرض الحالة التي تكون فيها النقطة (C) –مركز ثقل الجسم الطافي– أعلى من النقطة (D) –مركز ثقل الحجم المزاح– في هذه الحالة وبخلاف الشكل (2.34.b) يمكن الحصول على توازن مستقر وآخر غير مستقر. نناقش هذه الحالة على زورق عائم في مياه ساكنة (الشكل 2.35) حيث يطلق على مستوي تقاطع السطح السائب للسائل مع الجسم بمستوي الطفو ويسمى مقطع الجسم الواقع في هذا المستوي بسطح الطفو أو سطح خطوط الماء، كما يطلق على الارتفاع الشاقولي للجزء المغمور بعمق الغاطس أو اختصاراً بالغاطس.

عندما يزداد الغاطس بإزاحة الجسم شاقولياً نحو الأسفل فإن حجم السائل المزاح سوف يزداد وتزداد بالتالي دافعة أرخميدس وهذا مايؤدي إلى عودة الجسم لوضعية توازنه.

بمقارنة الرسوم (c) و(b) على الشكل (2.35) يمكن ملاحظة مايلي:

1– يلاحظ على الرسم (b) أن مركز ثقل الحجم المزاح عند جنوح الزورق ينتقل من النقطة (D) إلى النقطة (D_1) التي تقع على يمين النقطة (C) الأمر الذي يؤدي إلى نشوء مزدوجة تدعى مزدوجة التصحيح (*Restoring Torque*) التي تسعى لإعادة الجسم (الزورق) إلى وضعية توازنه الأصلية، ويتحقق بالتالي شرط الطفو المستقر.

نمدد خط تأثير (F_r) فيلتقي مع محور الطفو في النقطة (M) التي يطلق عليها اسم مركز الطفو المستنتج ويسمى البعد بينها وبين مركز ثقل الجسم ($\overline{MC} = h_M$) بارتفاع مركز الطفو المستنتج، تتصف هذه الحالة بأن النقطة (M) أعلى من النقطة (C).

2– على الرسم (c) يلاحظ أن النقطة (D_1) عند جنوح الزورق تقع على يسار النقطة (C) وبالتالي فإن المزدوجة الناتجة تحاول زيادة الجنوح حيث أن وضعية الطفو تكون قلقة ويمكن أن تؤدي في النهاية إلى أن ينقلب الزورق، تتصف هذه الحالة بأن النقطة (M) أخفض من النقطة (C).

إذا اعتبرنا أن ($\overline{\mathrm{CM}} = h_{\mathrm{M}}$) ارتفاع مركز الطفو المستنتج (*Metacentric Height*)، وأن ($\overline{\mathrm{DC}} = e$) البعد بين مركز ثقل الجسم ومركز ثقل الحجم المزاح (V) يكون لدينا نصف قطر الطفو (r_{M}).

$$\overline{\mathrm{DM}} = r_M = e + h_M \tag{2.110}$$

يكون ارتفاع مركز الطفو (h_{M}) موجباً عندما تكون النقطة (M) أعلى من النقطة (C) –الشكل (2.35.b)–، وأما عكس ذلك فتكون قيمة (h_{M}) سالبة (الشكل (2.35.c)).

اعتماداً على ماسبق يمكن كتابة النتيجة التالية: "يتحقق شرط التوازن المستقر للأجسام الطافية عندما يكون مركز الطفو المستنتج أعلى من مركز ثقل الجسم ($h_{\mathrm{M}} > 0$)، ويكون التوازن قلقاً عندما يكون ($h_{\mathrm{M}} < 0$).

فإذا اعتبرنا أن (J) عزم عطالة سطح الطفو (A) بالنسبة للمحور المار من مركز ثقل السطح، وحيث إنَّ ($r_M = const$) يمكن كتابة العلاقة التالية:

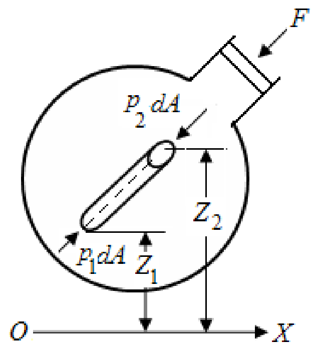
$$r_M = \frac{J}{\mathrm{V}} \tag{2.111}$$

حيث V : حجم السائل المزاح.

وبصورة عامة فإن التوازن المستقر للأجسام الطافية يحدده شكل الجسم وتوزع الكتل فيه، وكلما كان مركز ثقل الجسم أكثر انخفاضاً كلما كان الجسم أكثر استقراراً وأمكن للجسم تحمل زوايا دوران أكبر دون أن ينقلب.

2.12- قانون باسكال (*Pascal's Law*) وتطبيقاته:

عندما يتعرض السائل لضغوط عالية يمكن بالتالي إهمال قوة الثقالة بالمقارنة مع تلك الضغوط. فلو كان لدينا وعاء يمتلئ بسائل ساكن حجمه ثابت (الشكل (2.26)) يتلقى الضغط عبر المكبس الجانبي المبين في الشكل.



الشكل (2.36).

نختار داخل السائل إسطوانة صغيرة سطح كل من قاعدتيها (dA) ويقع مركزاهما على ارتفاع (Z_1) و(Z_2) عن المحور (OX).

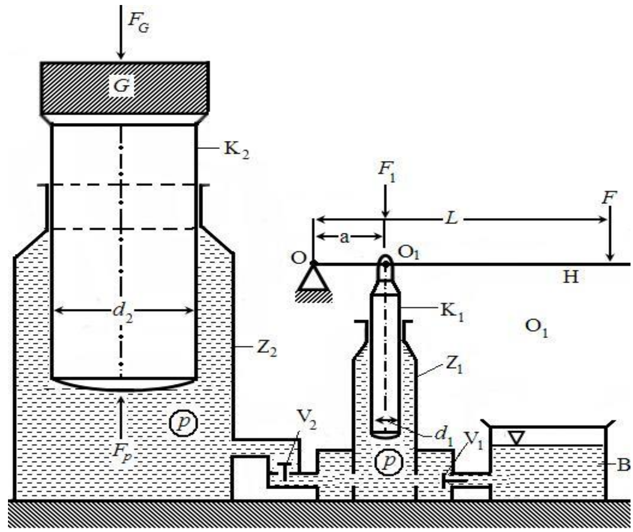
فإذا اعتبرنا أن الضغط المؤثر على قاعدتي الإسطوانة (p_1) و(p_2) وطبقنا شروط توازن القوى حول محور الإسطوانة ينتج لدينا مع ملاحظة أن مساقط جميع القوى العمودية على قميص الإسطوانة تساوي الصفر:

$$p_1 \cdot dA = p_2 \cdot dA \Rightarrow p_1 = p_2$$

وبما أن اختيار وضعية الإسطوانة كان على غير تعيين، فيمكن تعميم النتيجة السابقة: "عندما لاتؤثر على سائل متوازن قوة الثقالة أو أية قوة حجمية أخرى فإن الضغط في كافة نقاط السائل وفي كل الاتجاهات تكون له نفس القيمة الثابتة.

- المكبس الهيدروليكي:

يتألف المكبس الهيدروليكي من مكبس (K_1) صغير المقطع قطره (d_1) ويغلق بإحكام الإسطوانة (Z_1)، ومن مكبس (K_2) كبير المقطع قطره (d_2) ويغلق بإحكام الإسطوانة (Z_2).



الشكل (2.37)، المكبس الهيدروليكي.

عندما نؤثر بقوة (F) على الذراع (H) المتصل مع (K_1) في النقطة (O_1) والمتمفصل في (O) بحيث يرتفع (K_1) للأعلى، ينفتح الصمام (V_1) ويتسرب السائل من الوعاء (B) إلى الإسطوانة (Z_1) وينغلق الصمام (V_2)–صمام الدفع–، وعندما نضغط (K_1) للأسفل يغلق (V_1) وينفتح (V_2) ويتسرب السائل من (Z_1) إلى (Z_2) ويرتفع (K_2) للأعلى وهكذا. وحيث إنَّ الضغوط المتولدة في (Z_1) و(Z_2) عالية فإنه حسب قانون باسكال يكون الضغط فيها ذات قيمة ثابته (p).

بفرض أن القوة المؤثرة على الذراع (H) هي (F) وأنه يجب على المكبس (K_2) أن يرفع الحمل (G) الذي وزنه (F_G). فإذا طبقنا قانون العزوم حول (O) ينتج أن القوة المؤثرة على (K_1) في النقطة (O_1) تساوي:

$$F \cdot L + F_1 \cdot a = 0$$

ومنه:

$$F_1 = \frac{F \cdot L}{a}$$

وينتج الضغط المؤثر في (Z_1) باعتبار (S_1) مساحة مقطع المكبس (K_1):

$$p=\frac{F_1}{S_1}=\frac{F\cdot L}{a\cdot\frac{\pi\cdot d_1^2}{4}}$$

وتكون قوة الضغط المؤثرة على المكبس (K_2) على اعتبار (S_2) مساحة مقطعه:

$$F_p=p\cdot S_2=\frac{F\cdot L}{a}(\frac{d_2}{d_1})^2$$

وبالتالي باختيار نسبة الأقطار ($\frac{d_1}{d_2}$) ونسبة الأطوال ($\frac{a}{L}$) يمكن الحصول على قوة كبيرة بتطبيق قوة صغيرة.

مثال: $\frac{d_1}{d_2}=\frac{1}{5}$ ؛ $\frac{a}{L}=\frac{1}{5}$

ويكون:

$$F_p=\frac{F\cdot 5}{1}(5)^2=F\cdot 125\Rightarrow\frac{F_p}{F}=125$$

أي أنه يلزم لرفع ($125\,Kp$) أن نطبق قوة مقدارها ($1Kp$).