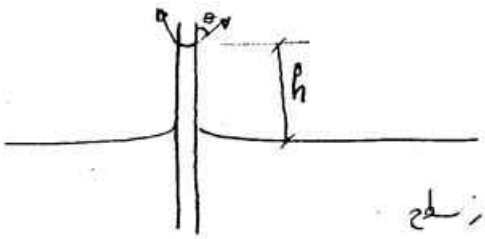
فشار بخار: اگر در دمای اتاق (مثلاً $20^\circ C$) فشار وارد بر یک ظرف آب را کم کنیم تا به مقدار معینی برسد، آب به جوش می‌آید. آن مقدار معین، فشار بخار آب در دمای $20^\circ C$ است که برابر $2.447\ kPa$ است.

کاویتاسیون: در تأسیسات آبی ممکن است فشار در جایی از شبکه از فشار بخار مایع پایین‌تر رود یا برابری فشار بخار مایع باشد. در این حالت، مایع به بخار تبدیل می‌شود حباب‌های بخار تولید شده به سرعت منبسط می‌شوند و انباط حباب‌ها با حالتی شدید باعث ایجاد حفره در پمپ‌ها، توربین‌ها و دیگر تأسیسات فلزی در مسیر آب می‌شود.

کشش سطحی: در سطح مشترک مایع با گاز یا در مایع غیر محلول، به نظر می‌رسد فیلم یا لایه مخصوص تشکیل می‌شود که ناشی از نیروی جاذبه بین مولکول‌ها است که روی سطح نیروی کشش وارد می‌کند. کشش سطحی آب از حدود $\sigma = 0.074\ \frac{N}{m}$ در دمای $20^\circ C$ تا حدود $\sigma = 0.059\ \frac{N}{m}$ در دمای $100^\circ C$ تغییر می‌کند.



طناب

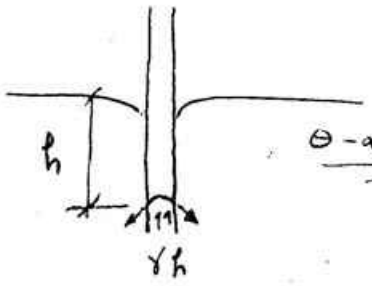
مویینگی: اگر لوله‌ای باریک را در آب فرو ببریم، سطح آب درون لوله، بالاتر از سطح آب در اطراف لوله قرار می‌گیرد زیرا کشش سطحی به سمت بالا اثر می‌کند.

با نوشتن تعادل نیروها در جهت y داریم:

$$\sigma\, 2\pi r \cos\theta = \pi r^2 h\, \gamma_w$$

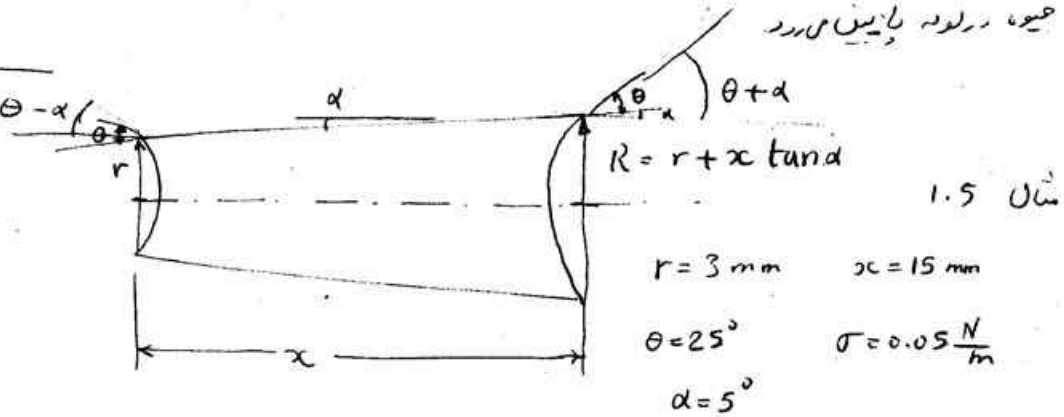
$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{r\gamma_w}$$

اگر لوله مویین را در جیوه فرو ببریم چون جیوه برخلاف آب ترکننده نیست، کشش سطحی به سمت پایین اثر می‌کند، جیوه در لوله پایین می‌رود.



$$\sigma(2\pi r) = \gamma h(\pi r^2)$$

$$\cos\theta$$



مثال 1.5

$r = 3\ mm$ $\quad x = 15\ mm$

$\theta = 25^\circ$ $\quad \sigma = 0.05\ \frac{N}{m}$

$\alpha = 5^\circ$

در شکل لوله‌ای مخروطی شکل نشان داده شده که محتوی مایع است. نیروی که قطره را به سمت راست می‌راند حساب کنید.

$$F_1 = \sigma(2\pi R) \qquad F_{1x} = \sigma(2\pi R)\cos(\theta+\alpha)$$

$R = 4.31\ mm$

$$F_2 = \sigma(2\pi r) \qquad F_{2x} = -\sigma(2\pi r)\cos(\theta-\alpha)$$

$$F = F_{1x} + F_{2x} = 2\pi\sigma\left[(r + x\tan\alpha)\cos(\theta+\alpha) - r\cos(\theta-\alpha)\right]$$

$$= 2\pi(0.05)\left[(0.003 + 0.015\tan 5^\circ)\cos(25^\circ+5^\circ) - 0.003\cos(25^\circ-5^\circ)\right] = 0.00028\ N$$

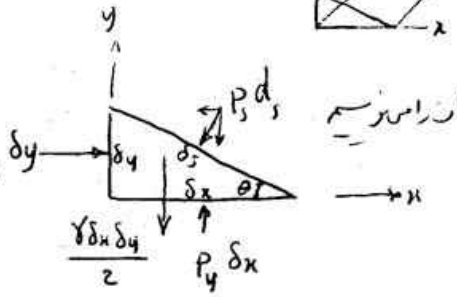
استاتیک سیالات

در این قسمت، در مورد مطالعه‌ی فشار و تغییرات آن در عمق ۲- نیروی وارد بر سطوح در استاتیک سیالات، لایه‌های سیال نسبت به هم حرکت نمی‌کنند و لذا تنش برشی صفر است و بنابراین نیروهای وارد بر سطوح همیشه بر سطوح عمود هستند.

فشار وارد بر صفحه

فشار در یک نقطه عبارت است از نسبت نیروی عمودی فشاری به مساحت صفحه.

در سیال ساکن، فشار در تمام جهات یک نواخت است. قسمتی از سیال ساکن را به شکل گوه



برای هر نقطه

بطور فرضی در نظر می‌گیریم و روابط تعادل آن را می‌نویسیم

در اینجا فشار را وارد می‌شود که اگر ابعاد مثلث بسیار کوچک باشد که بتوان مثلث را نقطه فرض نمود، فشار وارد بر سه ضلع مثلث یعنی P_x و P_y و P_s با هم برابرند.

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow P_x dy - P_s \delta s \sin\theta = 0 \qquad (1)$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow P_y \delta x - P_s \delta s \cos\theta - \frac{\gamma \delta x \delta y}{2} = 0 \qquad (2)$$

$$\delta s \sin\theta = \delta y \quad , \quad \delta s \cos\theta = dx \quad , \quad \frac{\gamma \delta x \delta y}{2} \simeq 0$$

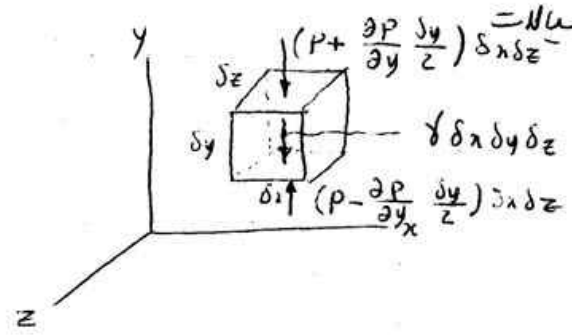
$$(1) \Rightarrow P_x \delta y - P_s \delta y = 0 \Rightarrow P_x = P_s$$

$$(2) \Rightarrow P_y \delta x - P_s \delta x = 0 \Rightarrow P_y = P_s$$

$$\Rightarrow P_x = P_y = P_s$$

چون زاویه θ دلخواه بود، نتیجه می‌گیریم که فشار در جهت x و جهت y و جهت s (در جهت دلخواه) با هم برابرند.

معادله اصلی استاتیک سیالات



اجسام از سیال ساکن به شکل مکعب را در نظر می‌گیریم که مرکز آن نقطه‌ی (x, y, z) باشد.

نیروهای وارد بر اجسام شامل ۲ دسته‌اند:

۱- نیروهای وارد بر حجم اجسام مثل نیروی وزن

۲- نیروهای وارد بر سطح اجسام مثل نیروی فشار سیال

اگر فشار در نقطه (x, y, z) برابر P باشد از تعمیم تیلور (حالت خطی) استفاده می‌کنیم داریم

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow \left(p - \frac{\partial p}{\partial y}\frac{\delta y}{2}\right)\delta x\delta z - \gamma\,\delta x\delta y\delta z - \left(p + \frac{\partial p}{\partial y}\frac{\delta y}{2}\right)\delta x\delta z = 0$$

$$\Rightarrow -2\,\frac{\partial p}{\partial y}\frac{\delta y}{2}\delta x\delta z - \gamma\,\delta x\delta y\delta z = 0 \Rightarrow \frac{\partial p}{\partial y} = -\gamma \quad \text{یا} \quad dp = -\gamma\,dy$$

این معادله رابطه‌ی اساسی تغییرات فشار را با وزن مخصوص و تغییرات ارتفاع برقرار می‌کند.

مثال ۱-۲ $dp = -\gamma dy$ ، p_1 بالا، p_2 پایین

$$p_1 - p_2 = -\gamma(y_1 - y_2) \qquad p_2 = p_1 + \gamma\,\Delta y$$

نحوه تغییر فشار در سیال تراکم‌پذیر

$$p = \rho RT \qquad \frac{p}{\rho} = RT$$

برای گاز کامل در حال سکون و دمای ثابت، RT ثابت است.

$$\frac{p}{\rho} = \frac{p_0}{\rho_0} \Rightarrow \rho = \frac{p\rho_0}{p_0}$$

$$dp = -\rho g\,dy \Rightarrow dp = -\frac{p\rho_0}{p_0}g\,dy \Rightarrow dy = \frac{-p_0}{g\rho_0}\frac{dp}{p}$$

$$\int_{y_0}^{y} dy = \frac{-p_0}{g\rho_0}\int_{p_0}^{p}\frac{dp}{p} \quad \Rightarrow \quad y - y_0 = \frac{-p_0}{g\rho_0}(\ln p - \ln p_0) = \frac{-p_0}{g\rho_0}\ln\frac{p}{p_0}$$

$$\Rightarrow -\frac{y-y_0}{p_0/g\rho_0} = \ln\frac{p}{p_0} \Rightarrow \frac{p}{p_0} = \exp\left(-\frac{y-y_0}{p_0/g\rho_0}\right) \Rightarrow p = p_0\exp\left(-\frac{y-y_0}{p_0/g\rho_0}\right)$$

معادله فوق تغییرات فشار با ارتفاع را در یک گاز با دمای ثابت (Isothermal) بیان می‌کند.

مثال ۲-۲ فرض کنید دمای اتمسفر ثابت باشد (اتمسفر ایزوترم) فشار در حجم مخصوص هوا را در ارتفاع 2000 متری از سطح دریا بدست آورید. در سطح دریا، فشار مطلق $p = 10^5\ Pa$، حجم مخصوص هوا $1.24\ kg/m^3$ است.

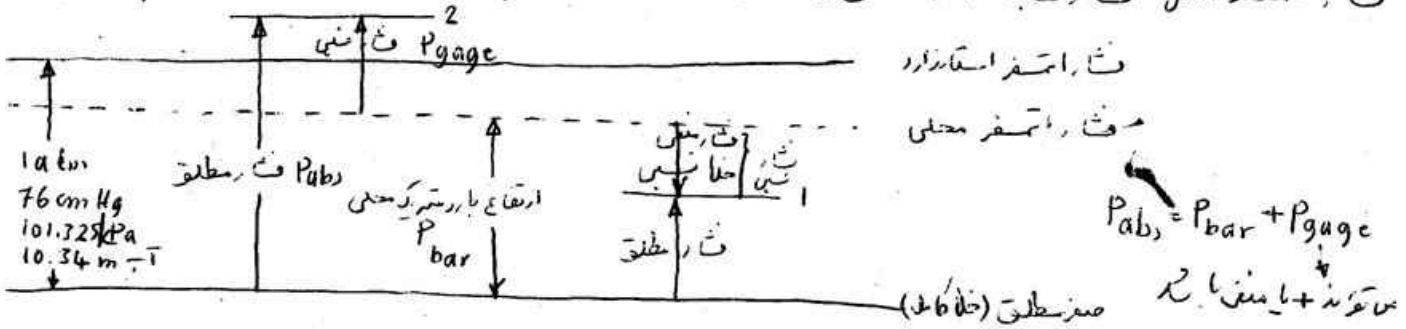
$$p = p_0\exp\left(-\frac{2000-0}{\frac{10^5}{9.806\times 1.24}}\right) = 0.784\,p_0 = 0.784\times 10^5\ Pa = 0.784\times 10^2\times 10^3\ Pa$$

$$\Rightarrow p = 78.4\ kPa$$

$$p = \rho RT \quad \rho = \frac{p\rho_0}{p_0} = \frac{78.4\times 10^3\ Pa\times 1.24\ kg/m^3}{10^5\ Pa} \Rightarrow \rho = 0.972\ kg/m^3$$

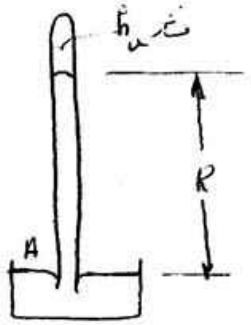
آشنایی با مقیاس‌های اندازه‌گیری فشار

فشار را می‌توان نسبت به هر مبنای دلخواه بیان کرد اما معمولاً یا نسبت به صفر مطلق بیان می‌شود (فشار صفر مطلق) و یا نسبت به فشار اتمسفر محلی. فشار نسبت به خلأ مطلق را فشار مطلق و فشار نسبت به اتمسفر محلی را فشار نسبی گویند.



هر جا صحبت از فشار شود منظور فشار نسبی است. اگر از عبارت فشار مطلق استفاده شود، منظور فشار مطلق (P_{abs}) است.

بارومتر برای اندازه‌گیری فشار هوا بکار می‌رود. بارومتر جیوه‌ای، لوله‌ای است شیشه‌ای که یک طرف آن بسته است.



لوله را با جیوه پر کرده، آن را وارونه می‌کنند و در یک ظرف حاوی جیوه قرار می‌دهند.

فشار در بالای ستون جیوه، h_v است که همان فشار بخار جیوه است.

$$P_v + R = h_A \Rightarrow R = h_A$$

$$P_v + R\gamma_{Hg} = P_{atm}$$

مقدار R معمولاً بر حسب mm اندازه‌گیری می‌شود، مقدار فشار مطلق هواست.

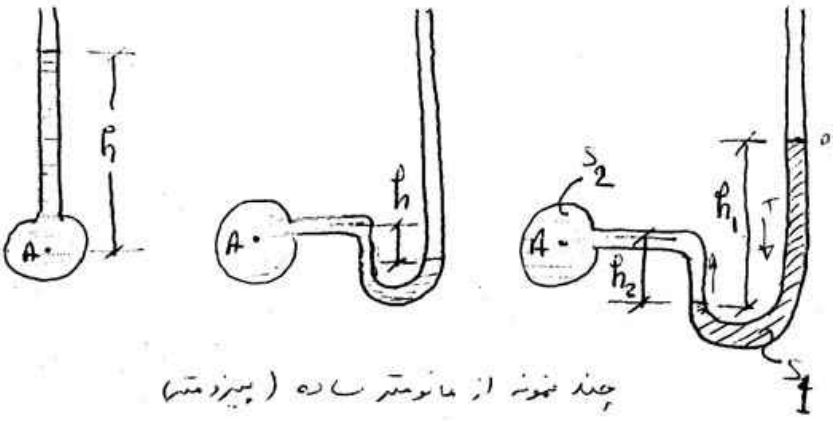
مانومترها

$P = P_0 + \gamma h$

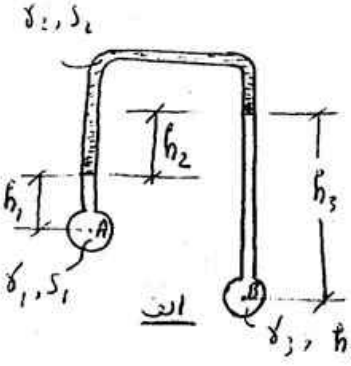
وسایلی هستند که با تعیین P_0 از ستون مایع، اختلاف فشار را اندازه‌گیری می‌کنند.

$P_A = \gamma_1 h_1 - \gamma_2 h_2$

$P_A + \gamma_2 h_2 - \gamma_1 h_1 = 0$



چند نمونه از مانومتر ساده (پیزومتر)

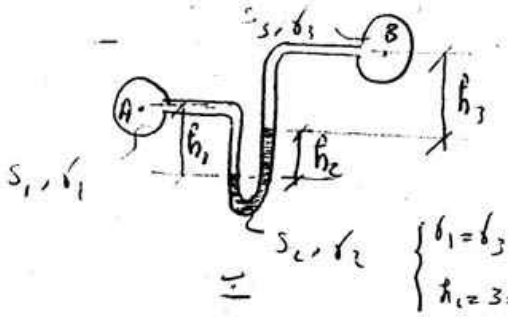


الف

پیزومترها برای اندازه‌گیری فشار مثبت در مایعات به کار می‌روند.

$$P_A - \gamma_1 h_1 - \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3 = P_B$$

$$P_A - P_B = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 - \gamma_3 h_3$$



ب

$$P_A + \gamma_1 h_1 - \gamma_2 h_2 - \gamma_3 h_3 = P_B$$

$$P_A - P_B = -\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3$$

$$\begin{cases} \gamma_1 = \gamma_3 = \gamma_w \\ h_1 = 300, h_2 = 200, h_3 = 600 \end{cases}$$

$$\gamma_w * [-0.3 + 0.8(0.2) + 0.6] = 0.46\gamma_w$$

4510 Pa

مثال برای شکل الف با توجه به اطلاعات زیر، $P_A - P_B$ چقدر است؟

$S_1 = 1.0$

$S_2 = 0.8$ $\quad h_1 = 300\ mm$ $\quad h_2 = 200\ mm$ $\quad h_3 = 600\ mm$

$$P_A - P_B = \gamma_w(0.3) + 0.8\gamma_w(0.2) - \gamma_w(0.6) = 9806(0.3 + 0.16 - 0.6) = 9806(-0.14)$$

$$P_A - P_B = -1372.8\ Pa$$