

مکانیک سیالات

جلسه سوم

مدرس:

"مریم براتی"

"دکتری مهندسی شیمی"

"دانشکده فنی و حرفه ای شهید رجایی"

02

فصل دوم
استاتیک سیالات



تنش در سیال ساکن

در سیال ساکن تنش برشی وجود ندارد (چون $\frac{du}{dy} = 0$ است)، لذا تنها نیروهایی که از طرف سیال ساکن بر محیط اطراف وارد می‌شود مربوط به نیروهای فشاری (عمودی) می‌باشد. اگرچه در مقایسه با نیروهای برشی ناشی از حرکت سیال، محاسبه این نیروهای فشاری ساده‌تر است، ولی بررسی آنها بسیار با اهمیت بوده و کاربردهای فراوانی دارد. بعنوان مثال در محاسبه نیروهای وارد بر سدها و محاسبه پایداری سدها، این نیروها از جایگاه خاصی برخوردارند.



تعریف فشار:

در هر نقطه از سیال ساکن فشار برابر است با نیرویی که بوسیله سیال بر واحد سطح (در آن نقطه) وارد می‌شود. ماهیت فشار در مایعات و گازها با هم متفاوت است. که در ادامه به آن اشاره می‌شود. پس داریم:

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

بعد فشار FL^{-2} خواهد بود.

واحدهای فشار را می‌توان به صورت زیر به یکدیگر تبدیل نمود.

$$10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar} = 10^6 \text{ bari} = 1.2 \text{ kg} / \text{cm}^2 = 14.7 \text{ Psi} = 1 \text{ atm}$$



فشار در مایعات

فشار در مایعات به علت فواصل کم مولکولی، توسط مولکولها از یک سطح به سطح دیگر منتقل می‌شود بنابراین فشار در هر نقطه از یک مایع ساکن از وزن ذرات مایع که در ارتفاع بالاتر از آن قرار دارند ناشی می‌شود.

$$P = \gamma h$$



که h فاصله نقطه مورد نظر تا سطح آزاد سیال می‌باشد.

فشار در گازها

در گازها فواصل مولکولی به حدی است که مولکول‌ها مستقل از یکدیگر هستند. بنابراین وزن یک مولکول نمی‌تواند به مولکول‌های دیگر منتقل شود. بنابراین عامل ایجاد فشار در گازها ضربات مولکول‌های گاز به سطح محصور شده در آن است و با کاهش دمای گاز، این فشار کم می‌شود.

در این درس عمدتاً به بررسی فشار ناشی از مایعات و خصوصاً آب پرداخته خواهد شد.



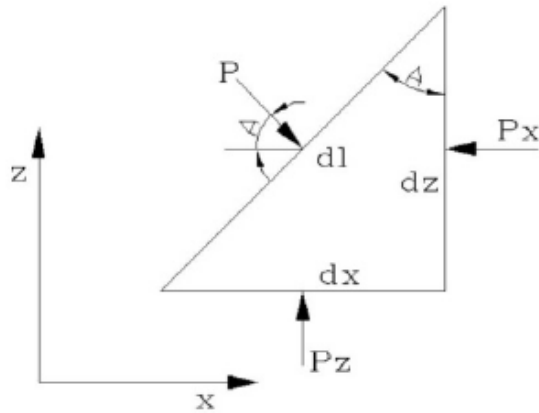
مشخصات فشار استاتیکی سیالات (فشار هیدرواستاتیکی)

اولین نکته مهم در محاسبه نیروهای فشاری سیال در حالت سکون توجه به این نکته است که به دلیل عدم وجود تنش‌های برشی فشار در همه جهات در یک سیال ساکن یکسان است. که بعنوان قانون پاسکال شناخته می‌شود و نشان می‌دهد فشار یک کمیت اسکالر است.



به منظور بررسی این نکته یک المان از سیال را در صفحه Z و Y و X در نظر می‌گیریم. ابعاد المان dx ، dy و dz است.

برای تعادل نیروها در جهت افقی خواهیم داشت.



$$\sum F_x = 0 \Rightarrow -P_x \cdot dz \cdot dy + P \cdot dl \cdot dy \cdot \cos \alpha = 0$$

$$dl \cdot \cos \alpha = dz$$

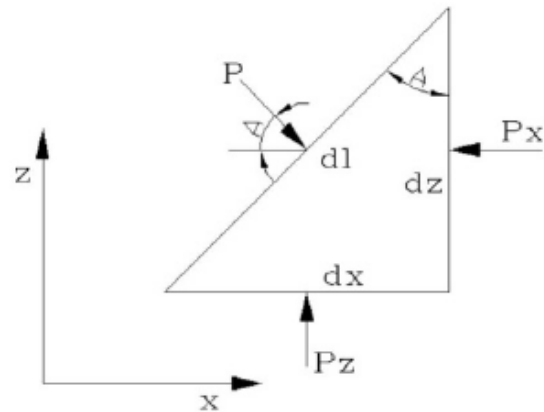
از طرفی داریم:

$$P_x = P$$

پس:

نیروهای وارد بر المان سیال در حال سکون

به منظور بررسی این نکته یک المان از سیال را در صفحه Z و Y و X در نظر می‌گیریم. ابعاد المان dx ، dy و dz است.



نیروهای وارد بر المان سیال در حال سکون

همچنین با نوشتن رابطه تعادل نیروها در جهت محور Z خواهیم داشت:

$$\sum F_Z = 0 \rightarrow -P.dl.\sin \alpha.dy - 1/2\rho.g.dx.dy.dz + P_Z.dx.dy = 0$$

$$dl \sin \alpha = dx$$

$$1/2\gamma dx.dy.dz = 0$$

$$- P.dl.\sin \alpha.dy = P_Z.dx.dy$$

$$\Rightarrow P = P_Z$$

در نتیجه خواهیم داشت:

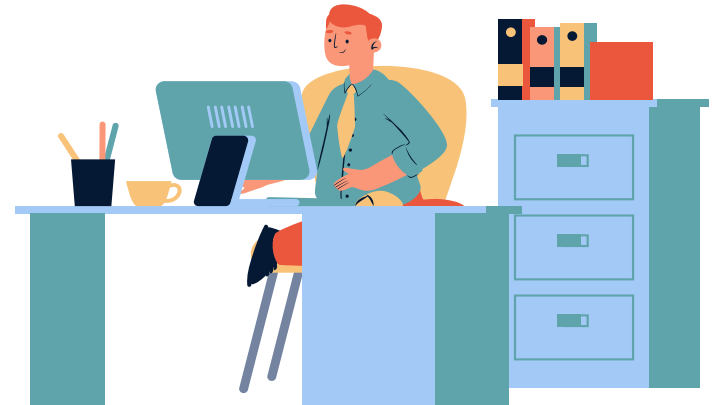
$$P = P_X = P_Z$$

یعنی فشار در یک نقطه از سیال در تمام جهت یکسان است.

تغییرات فشار در امتداد قائم

برای یک سال ساکن تراکم‌ناپذیر، تغییرات فشار در امتداد قائم بصورت خطی تغییر نموده و متناسب با وزن حجمی سیال (۷) است.

موضوع با بررسی یک المان حجمی سیال بررسی می‌گردد.



در المان شکل فوق به علت عدم وجود نیروهای بدنه‌ای در جهات X و Y و با بررسی تعادل نیروها در این دو جهت ملاحظه می‌گردد که برای سیال ساکن و بر روی یک سطح افقی، فشار در جهات X و Y ثابت و

تغییرات آن صفر است. ولی برای جهت Z و با بررسی تعادل نیروها خواهیم داشت.

$$\sum F_z = 0$$

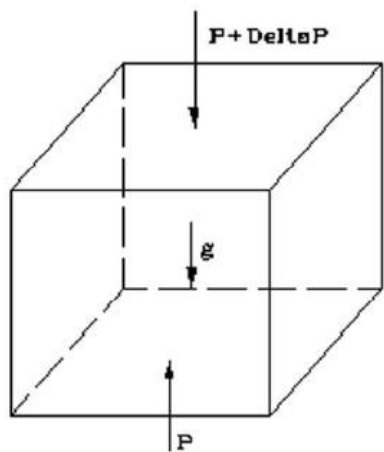
$$-(P + \Delta P) \cdot \Delta x \cdot \Delta y + P \cdot \Delta x \cdot \Delta y - \gamma \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z = 0$$

$$-\gamma - \frac{\Delta P}{\Delta Z} = 0 \quad \text{با تقسیم نیروها بر } \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \text{ داریم:}$$

$$\frac{dp}{dz} = -\gamma = -\rho g \quad \text{که در حالت حدی وقتی ابعاد المان به سمت صفر میل کند داریم:}$$

$$Z = Z_0 \rightarrow P = P_0 \quad \text{با انتگرال گیری و اعمال شرایط مرزی:}$$

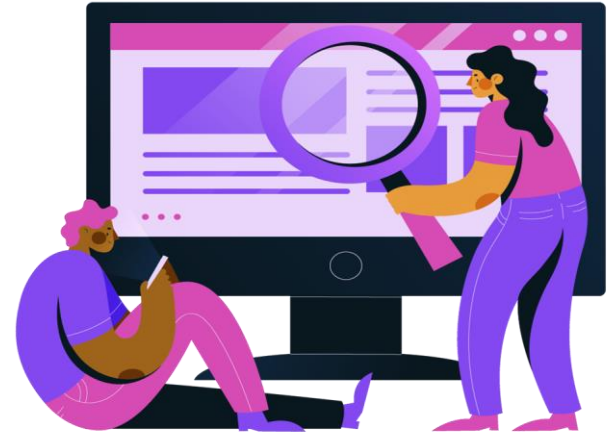
$$\Rightarrow P = P_0 - \gamma(Z - Z_0)$$



از رابطه فوق مشاهده می‌شود که اگر γ ثابت باشد، تغییرات فشار در امتداد قائم به صورت خطی خواهد بود و از آن به توزیع هیدرواستاتیک فشار یاد می‌شود

اگر فشار سطح مایع را صفر فرض کرده و عمق را به سمت پایین اندازه‌گیری نمایم، رابطه فوق به صورت زیر خواهد بود

$$P = \gamma h$$



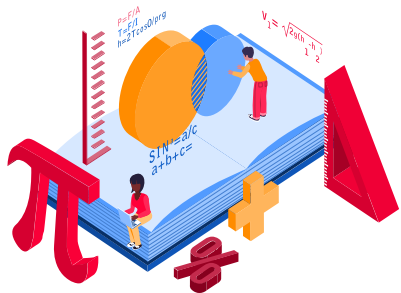


مثال

با فرض ρ ثابت و فشار جو برابر یک اتمسفر در سطح آب، فشار مطلق در عمق ۸ کیلومتری آب اقیانوس را محاسبه کنید:

حل:

$$P = P_0 - \gamma Z$$
$$= 1.013 \times 10^5 - (9.81 \times 1000) \times (-8000) = 78.58 \text{ Mpa}$$



فشار اتمسفر، مطلق، نسبی

فشار وارده از طرف هوا به سطح زمین، فشار هوا یا اتمسفر نام دارد. فشار اتمسفر در سطح دریاهاى آزاد

برابر ۷۶۰ میلیمتر جیوه می‌باشد.

فشار را می‌توان نسبت به هر مبنای دلخواهی بیان نمود. معمولاً مبنای فشار، صفر مطلق و یا فشار

اتمسفر محلی می‌باشد. زمانی که فشار برحسب اختلاف آن با خلاء کامل بیان گردد، آن را فشار مطلق

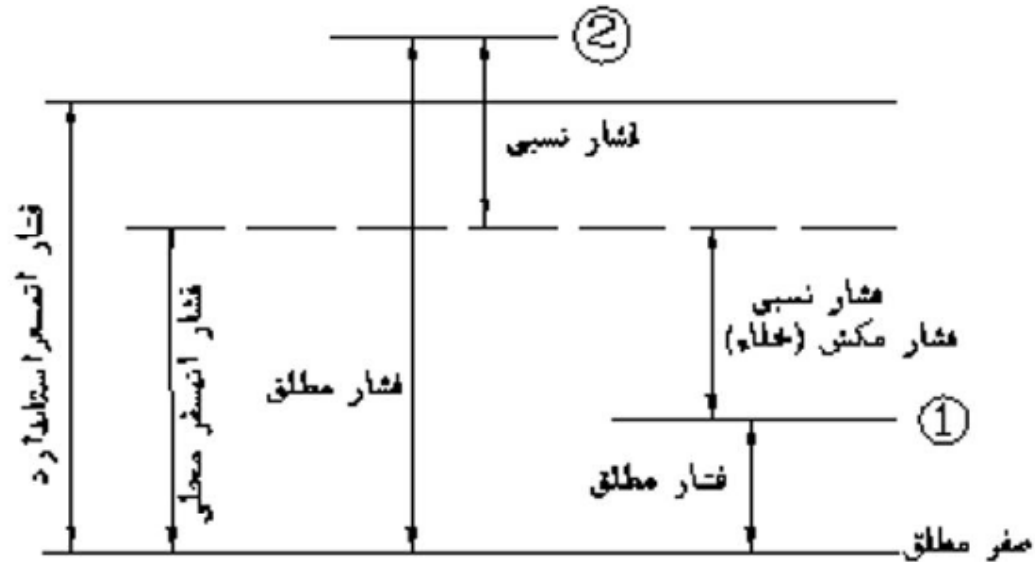
گفته و زمانی که برحسب اختلاف با اتمسفر محلی بیان شود، فشار را فشار نسبی می‌نامند.



اگر نقطه‌ای در زیر خط فشار اتمسفر محلی، که به عنوان مبدأ اندازه‌گیری معین شده، قرار داشته باشد، آنرا فشار منفی، مکش و یا خلاء می‌نامند. رابطه بین فشار اتمسفر و مطلق به صورت زیر است.

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{gage}$$

که P_{abs} فشار مطلق، P_{atm} فشار اتمسفر و P_{gage} فشار نسبی است.





اندازه‌گیری فشار اتمسفر و فشار مطلق

بارومتر جیوه‌ای یکی از وسایل اندازه‌گیری فشار می‌باشد. فشار مطلق در نقطه O

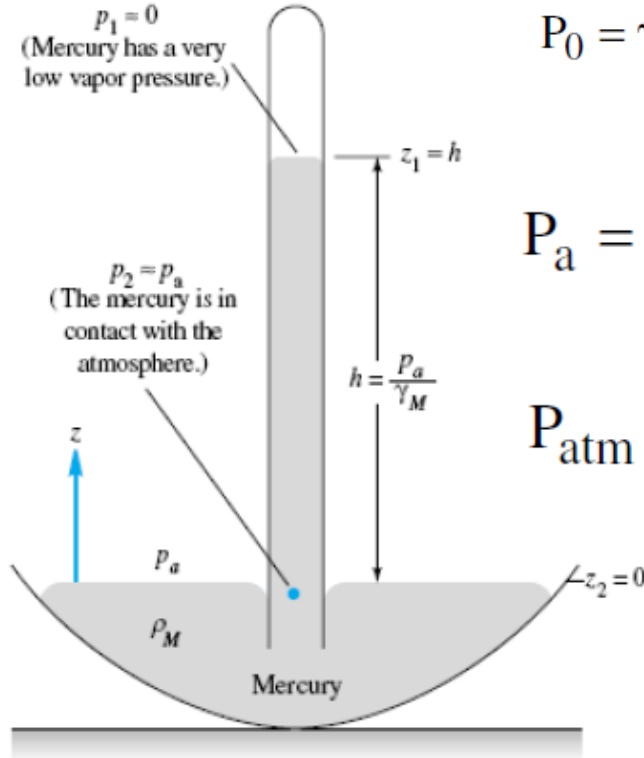
براساس فاصله تا سطح مایع در لوله فشارسنج برابر است با: $P_0 = \gamma h + P_{\text{vapor}}$

که با تقریب قابل قبولی می‌توان فرض کرد $P_{\text{vapor}} = 0$ از سوی

دیگر فشار مطلق در نقطه a برابر با فشار اتمسفر است یعنی: $P_a = P_{\text{atm}}$

بنابراین باتوجه به همسطح بودن نقطه a و O در یک سیال واحد داریم:

$$P_{\text{atm}} = \gamma h$$



اگر سیال جیوه باشد و بارومتر در سطح دریای آزاد باشد،

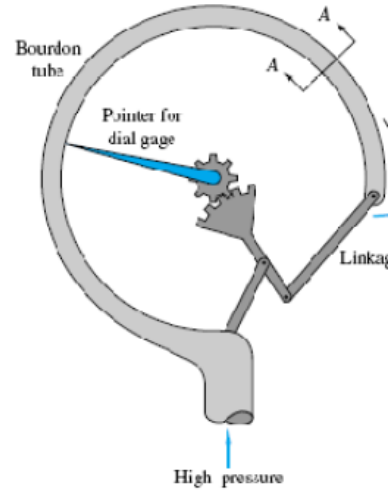
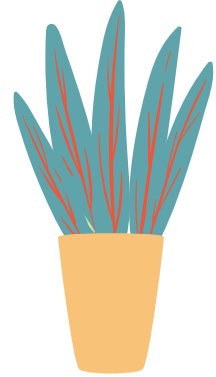
مقدار h برابر ۷۶۰ میلیمتر و اگر سیال آب باشد مقدار h

برابر ۱۰/۳۴ متر خواهد بود.

اندازه‌گیری فشار نسبی

اندازه‌گیری فشار نسبی توسط وسیله‌ای به نام اندازه‌گیر بوردن انجام می‌شود. در این وسیله قسمت فشاری از یک لوله فلزی خمیده یکنواخت تشکیل شده است که یک سر آن بسته و سر دیگرش به محلی که باید فشار آن اندازه‌گیری شود، متصل می‌باشد. با افزایش فشار داخلی، لوله تمایل به راست شدن خواهد داشت و اتصال بین عقربه و لوله خمیده کشیده می‌شود و در نتیجه عقربه شروع به گردش می‌کند.

صفحه عقربه دار زمانی صفر را نمایش می‌دهد که فشار بیرونی و درونی لوله برابر باشد.



فشار بر حسب ارتفاع یک سیال (ارتفاع معادل فشار)

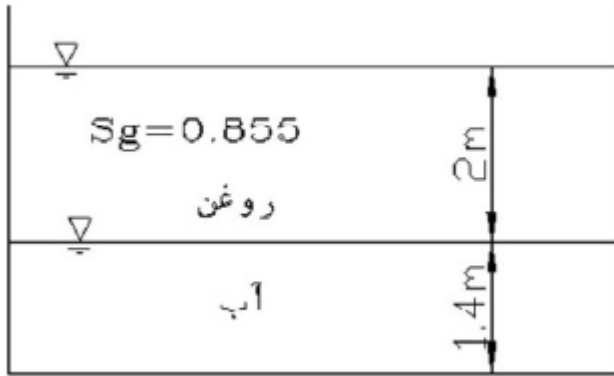
اگر فشار سطح مایع را صفر فرض کرده و عمق را به سمت پایین اندازه‌گیری نمایم، یعنی با استفاده از رابطه $P = \gamma h$ می‌توان فشار در هر نقطه را معادل ارتفاع h از سیالی با وزن مخصوص γ در نظر گرفت.

بعنوان مثال اگر فشار در نقطه‌ای ۹۸۱۰ پاسکال باشد، می‌توان این فشار را معادل یک متر آب با $\gamma = 9810$ دانست. تأکید می‌شود این رابطه تنها برای سیال تراکم‌ناپذیر که در آن γ ثابت می‌باشد صادق

می‌باشد.



برای شکل زیر ارتفاع معادل فشار در کف مخزن برحسب آب را حساب کنید:



$$\gamma_{oil} = 0.855 \times 9810 = 8390 \text{ N/m}^3$$

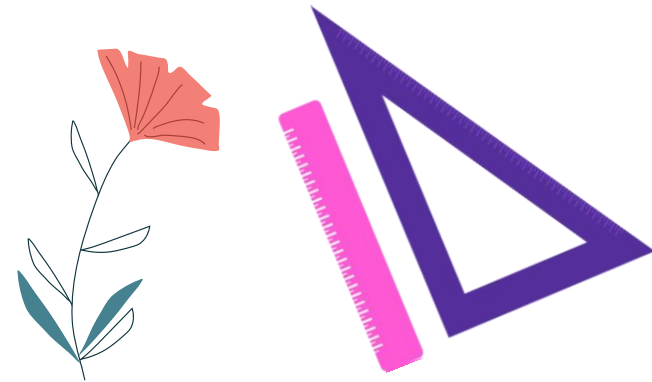
$$P_{oil} = \gamma_{oil} \times h_{oil} = 8390 \times 2 = 16.78 \text{ kN/m}^2$$

$$h = \frac{16.78}{9.81} = 1.71 \text{ m}$$

ارتفاع نظیر فشار روغنی برحسب آب

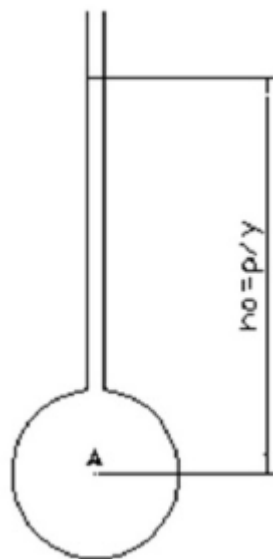
$$h = 1.71 + 1.4 = 3.11 \text{ m}$$

ارتفاع نظیر فشار کل برحسب آب



مانومترها

در این دستگاه‌ها از قرائت اختلاف ارتفاع ستون مایع، جهت تعیین اختلاف فشار استفاده می‌شود. ساده‌ترین نوع این دستگاه‌ها، پیزومتر نامیده می‌شود و در حالتی از آنها استفاده می‌شود که فشار نسبی مایع مثبت باشد.



پیزومترها دارای دو اشکال اساسی هستند. اول آنکه زمانی که فشار زیاد باشد و در نتیجه ارتفاع نظیر فشار زیاد باشد ارتفاع لوله پیزومتر باید بسیار زیاد باشد. ثانیاً این وسیله امکان اندازه‌گیری فشارهای منفی را ندارد برای حل مشکلات مذکور از مانومترهای جیوه‌ای استفاده می‌شود.

پایان جلسه سوم

