



آموزشکده فنی و حرفه ای پسران بروجن

گروه مکانیک خودرو

محتوای آموزشی مجازی درس مکانیک سیالات

دوره کاردانی – رشته مکانیک خودرو

استاد درس: لطفعلی مظفری وانانی

اسفندماه ۱۳۹۸

استاتیک سیالات

۱-۲ مقدمه

استاتیک سیالات شاخه‌ای از مکانیک سیالات است که سیال را در حالت سکون بررسی می‌کند و تغییرات فشار و نیروهای وارد بر اجسام غوطه‌ور مورد بحث قرار می‌گیرد. در این فصل سیالی را بررسی می‌کنیم که یا ساکن یا به‌صورتی در حرکت است که حرکت نسبی بین ذرات (لایه‌ای از سیال) با ذرات لایه مجاورش وجود ندارد. و در هر دو حالت، تنش برشی در سیال وجود ندارد و تنها نیروی سطحی که بر ذرات اثر می‌گذارد نیروی فشاری (عمودی) است.

همان‌طور که خواهیم دید، نیروهای فشاری (عمودی) که توسط سیالات منتقل می‌شوند در بسیاری از موارد مهم‌اند. با استفاده از اصول هیدرواستاتیک، می‌توانیم نیروهای وارد بر اشیاء غوطه‌ور را محاسبه کنیم، که در طراحی ساختمان‌های کشتی‌ها، سدها، دریچه‌های هیدرولیکی و غیره مهم‌اند.

۲-۲ فشار

فشار در هر نقطه از یک سیال ساکن عبارت است از نیرویی که توسط سیال بر واحد سطح در آن نقطه وارد می‌شود.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\text{(نیروی وارده)}}{\text{(سطح)}} \quad (۱-۲)$$

واحد فشار در سیستم SI نیوتن بر متر مربع (N/m^2) میباشد که برابر یک پاسکال Pa است و واحد فشار در سیستم انگلیسی پوند بر فوت مربع $\frac{lb}{ft^2}$ (psf) و یا پوند بر اینچ مربع (psi) می باشد.

$$\left(\frac{lb}{in^2} = psi, \quad \frac{kg}{cm^2} = bar, \quad \frac{N}{m^2} = Pa \right)$$

فشار سیالات دارای دو خاصیت عمده زیر است:

الف) فشار هیدرو استاتیک در هر نقطه از سیال، بر هر سطحی که در آن نقطه در نظر گرفته شود، عمود است. علت این امر آن است که هنگامی که سیال به حالت تعادل است، تنش های کششی یا برشی را نمی تواند تحمل کند، بنابراین تنها برآیند عمودی نیروها موثر خواهد بود. به عبارت دیگر، فشار هیدرو استاتیک فقط به حالت عمودی بر سطح اثر می کند.

ب) فشار هیدرو استاتیک در هر نقطه، در تمام جهات دارای مقدار مساوی است. به عبارت دیگر، میزان فشار به امتداد سطحی که در آن نقطه در نظر گرفته شده است، بستگی ندارد.

ماهیت فشار در مایعات و گازها متفاوت است. در مایعات فاصله ملکول ها نسبتاً کم است، به این دلیل ملکول ها قادرند نیروهایی که بر هر یک از آنها وارد می شود به ملکول های دیگر منتقل کنند. بنابراین ملکول هایی که در عمق معین از یک مایع قرار دارند نیروی وزن ملکول های بالاتر را به قسمت پایین انتقال می دهند. در نتیجه فشار در هر نقطه از یک مایع ساکن از وزن ذرات مایعی که در ارتفاع بالاتر از آن قرار دارند ناشی می شود. در گازها چون فاصله ملکول ها نسبتاً زیاد است، وزن یک ملکول گاز نمی تواند به ملکول دیگر منتقل شود. بنابراین عامل فشار در گازها وزن آنها نیست بلکه از ضربات ملکول هایی که به یک سطح برخورد می کنند ناشی می شود. هر چه تعداد این ضربات بیشتر باشد فشار بیشتر خواهد بود. برای مثال هر چه از سطح دریا بالاتر می رویم فشار هوا کاهش می یابد. علت این امر، کاهش جاذبه زمین و کاهش تعداد ملکول ها در واحد حجم است که در پی آن تعداد ضربات وارد بر واحد سطح یعنی فشار کاهش می یابد.

نکات کلیدی :

اگر دو نقطه در ارتفاعهای یکسانی قرار داشته باشند ، لزوماً دارای فشارهای یکسانی خواهند بود حتی اگر نقاط در یک صفحه افقی در ارتباط مستقیم نباشند. ☞
قانون پاسکال: فشار در هر نقطه از یک سیال ساکن در کلیه جهات یکسان

بوده و مستقل از جهت یعنی:

$$P_x = P_y = P_z = P \quad (2-2)$$

☞ هر گاه سیال ساکن نبوده و لایه‌های آن نسبت به هم حرکت داشته باشند فشار در یک نقطه را میانگین فشار در جهات مختلف در نظر می‌گیریم.

$$p = \frac{1}{3}(p_x + p_y + p_z) \quad (3-2)$$

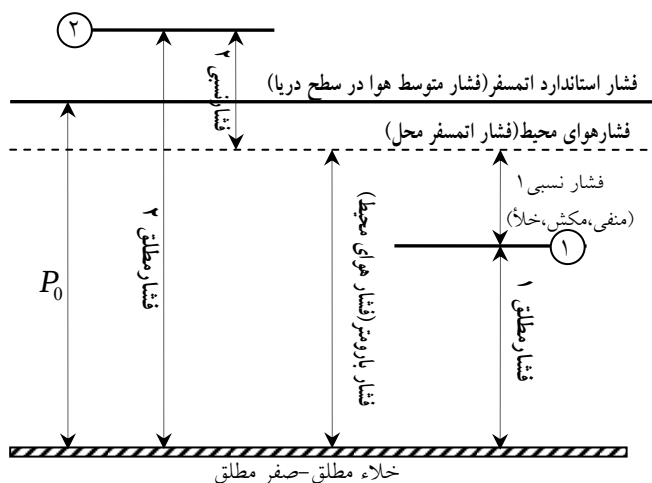
☞ سطح آزاد عبارت است از سطح مشترک یک مایع و یک گاز و یا سطح مشترک دو مایع غیر محلول در یکدیگر.

۲-۳ فشار استاتیکی و فشار دینامیکی

هنگامی که از فشار سیال سخنی به میان می‌آید، مقصود نیرویی است که سیال ساکن در هر نقطه بر واحد سطح اعمال می‌کند و به آن فشار استاتیکی گفته می‌شود یا به‌طور ساده، فشار می‌گویند. اگر سیال در حال حرکت باشد، توده سیال در حال حرکت نیز نیرویی بر واحد سطح اعمال می‌کند که فشار دینامیکی نام دارد. بدیهی است فشار دینامیکی از سرعت سیال ناشی می‌شود و بنابراین مقدار آن به سرعت نسبی سیال و صفحه بستگی دارد.

۲-۴ فشار نسبی و فشار مطلق

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



شکل ۱-۲ مبنا و واحدهای اندازه‌گیری فشار

در مکانیک سیالات فشار مطلق بندرت بکار می‌رود. در این کتاب منظور ما از فشار، همیشه همان فشار نسبی خواهد بود (مگر اینکه یاد آور شویم). و در تمام فرمولها منظورمان از علامت P همان فشار نسبی می‌باشد و اگر چنانچه لازم آید که فشار مطلق را در محاسبات بکار ببریم کافی است که فشار جو را $101/3 \text{ KPa}$ به فشار نسبی اضافه کنیم. در حالت کلی مقایسه‌های فشار به شکلهای زیر تقسیم می‌شود.

فشار صفر مطلق (خلأ مطلق یا کامل): پائین‌ترین فشار ممکن که در آن صفر مطلق به‌عنوان مبنا است. در این فشار خلأ کامل وجود دارد.

فشار اتمسفر محلی: همان فشار اطراف ما می‌باشد و با شرایط محیط (آب و هوا و ارتفاع) تغییر می‌کند و ممکن است بیشتر و یا کمتر از فشار استاندارد باشد (مبنای فشار نسبی).

فشار اتمسفر استاندارد: فشار متوسط در سطح دریا می‌باشد و برابر:

$$P_0 = 1 \text{ atm} = 101/325 \text{ kPa} = 1/0132 \text{ bar} = 14/7 \text{ psi} = 10/34 \text{ mHg} = 760 \text{ mmHg}$$

فشار نسبی (فشار درجه، گیج یا بارومتر): هنگامی که فشار یک سیال نسبت به فشار اتمسفر محلی اندازه‌گیری شود آنرا فشار نسبی گویند.

فشار مطلق: هنگامی که فشار بر حسب اختلاف آن باخلاء کامل یا مطلق بیان شود آن را فشار مطلق گویند. بنابراین با توجه به شکل (۲-۱) بین فشار مطلق و فشار نسبی رابطه زیر برقرار می‌باشد:

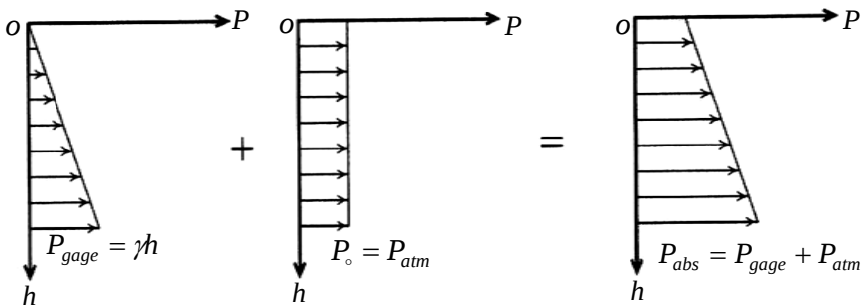
$$(۲-۴) \quad \text{فشار نسبی } ۲ + \text{فشار بارومتر (فشار هوای محیط)} = \text{فشار مطلق } ۲$$

$$\text{فشار نسبی } ۱ (\text{منفی، مکش، خلاء}) - \text{فشار بارومتر (فشار هوای محیط)} = \text{فشار مطلق } ۱$$

$$P_{abs} = P_{bar} + P_{gage} \quad \text{یا (۲-۵)}$$

فشار منفی (مکش یا خلاء): در صورتی که فشار در زیر فشار اتمسفر محلی باشد آن را فشار منفی (مکش یا خلاء) می‌گویند.
نکته:

فشار بیشتر از فشار اتمسفر را فشار نسبی و فشار کمتر از فشار اتمسفر را فشار خلاء گویند. در حل مسائل فشار نسبی را با عدد مثبت برای مثال ۶۰۰+ پاسکال و فشار خلاء را با عدد منفی ۶۰۰- پاسکال نشان می‌دهند.
نمودارهای شکل (۲-۲) مقایسه‌ای را جهت درک بهتر فشار نسبی و فشار مطلق ارائه می‌دهند.



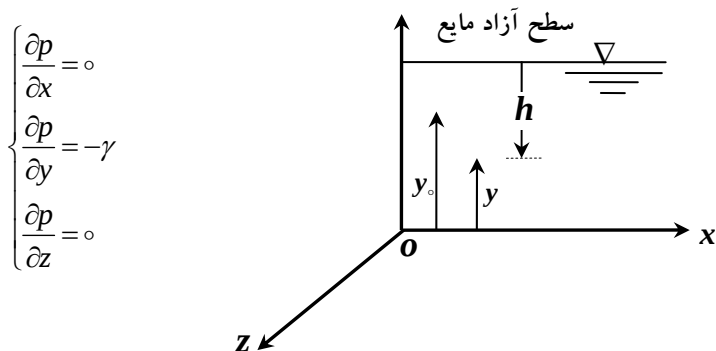
شکل ۲-۲

مثال ۲-۱: اگر فشار اتمسفر در ناحیه‌ای ۱/۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع باشد، میزان فشار در نقطه‌ای واقع در عمق ۳ متری زیر سطح آب را حساب کنید؟

$$P = P_o + \gamma h = 1/5 + \frac{1 \times 3 \times 100}{1000} = 1/8 \text{ kg/cm}^2$$

۵-۲ محاسبه فشار در مایعات

اگر مایع ساکنی را با سطح آزاد مشخص در نظر بگیریم، در آن صورت خواهیم داشت:



شکل ۳-۲

این روابط نشان می‌دهند که فشار تابعی از x و z نیست و تنها در راستای y تغییر می‌کند، بنابراین می‌توان در معادله $\frac{\partial P}{\partial y} = -\gamma$ از مشتق معمولی استفاده کرد و معادله اساسی هیدرواستاتیک که تغییرات فشار نسبت به عمق سیال می‌باشد را نوشت:

$$\frac{dP}{dy} = -\gamma \quad (۶-۲)$$

این معادله برای هر سیال ساکن (مایع و گاز) در میدان جاذبه معتبر است صادق است و برای محاسبه توزیع فشار باید از این معادله بین دو حد مناسب انتگرال گیری کنیم. اگر فشار در سطح آزاد مایع را با P_0 نشان دهیم و بدانیم که مقدار آن برابر فشار اتمسفر (P_{atm}) است، در آن صورت با انتگرال گیری از معادله مذکور از y_0 با فشار P_0 تا y با فشار P خواهیم داشت:

$$dP = -\gamma dy \rightarrow \int_{P_0}^P dP = -\int_{y_0}^y \gamma dy$$

حال اگر مایع مورد نظر همگن و غیر قابل تراکم باشد، یعنی وزن مخصوص آن مقدار ثابتی داشته باشد، در آن صورت با لحاظ کردن $h = y_0 - y$ ، بعنوان فاصله از سطح آزاد مایع، می‌توان نوشت:

$$P - P_0 = \gamma(y - y_0) = \gamma h$$

$P - P_0$ را که فشار نسبی یا فشار گیج نامیده می‌شود، با P_{gage} نمایش می‌دهند و نشان دهنده فشار مایع بدون در نظر گرفتن فشار ناشی از اتمسفر در محل است. عبارت دیگر می‌توان گفت فشار نسبی، فشاری است که نسبت به فشار محیط سنجیده می‌شود. با توجه به روابط ذکر شده مقدار فشار نسبی برابر است با:

$$P_{gage} = \gamma h \quad (۷-۲)$$

ولی چنانچه هدف تعیین فشار کل یعنی مجموع فشار مایع و فشار اتمسفر باشد، در آنصورت از فشار مطلق که با P_{abs} نشان داده می‌شود، استفاده می‌کنیم. فشار مطلق، فشاری است که نسبت به خلأ مطلق (فشار صفر مطلق) سنجیده می‌شود و به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P - P_0 = \gamma h \rightarrow P = P_0 + \gamma h \rightarrow P_{abs} = p_{atm} + P_{gage} \quad (۸-۲)$$

که در آن γ وزن مخصوص سیال بر حسب $\left(\frac{N}{m^3}\right)$ ؛ P فشار در هر نقطه از سیال، بر حسب $\left(Pa = \frac{N}{m^2}\right)$ و h عمق است و برابر $(y - y_0)$ می‌باشد و بر حسب (m) است. اغلب در مایعات بهتر است که مبدا دستگاه مختصات را در سطح آزاد مایع (سطح مرجعی) که معمولاً فشار یک اتمسفر است در نظر بگیریم.

۲-۶ تغییر فشار با عمق

فشار را می‌توان بر حسب ارتفاع ستون مایع نیز بیان کرد که معادل نیروی وارد به واحد سطح، در کف ستون است.

فشار هر نقطه یک مایع به طور مستقیم متناسب با عمق آن افزایش می‌یابد (عمق نسبت به سطح آزاد مایع) این موضوع را می‌توان با در نظر گرفتن سطح کوچکی از مایع که در عمق h نسبت به سطح آزاد مایع قرار گرفته روشن نمود. (شکل ۲-۴)

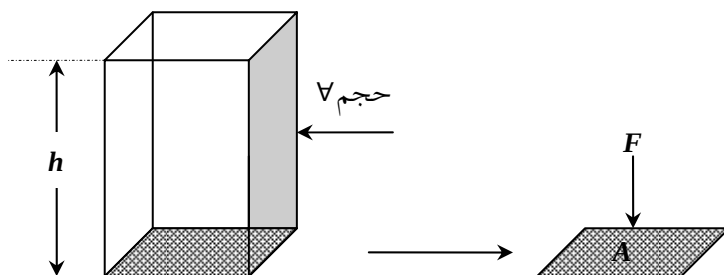
وزن مایع بالای سطح

$$F = W = \gamma V = \rho g . Ah$$

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

$$P = \rho gh = \gamma h \quad (۹-۲)$$

در این رابطه فشار P (نیوتن بر متر مربع یا پاسکال)؛ F نیروی وارد بر سطح (نیوتن)؛ ρ جرم مخصوص (کیلوگرم بر متر مکعب)، g شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه) و h ارتفاع آب (متر) است.



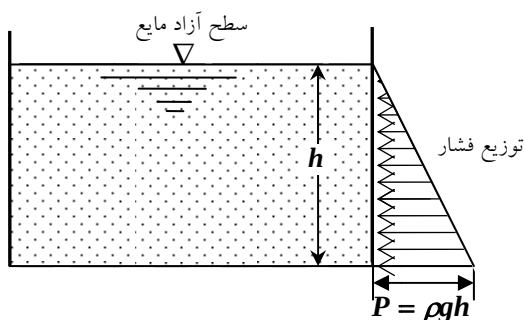
شکل ۲-۴

نکات:

☞ در یک سیال ساکن، فشار در راستای افق ثابت و در راستای قائم به صورت خطی تغییر می‌کند.

☞ فشار ناشی از سیال در هر نقطه داخل آن بستگی به شکل ظرف ندارد. به عنوان مثال اگر دو استوانه با قطره‌های مختلف دارای سیال با ارتفاع یکسان باشند، فشار در کف آنها مساوی است.

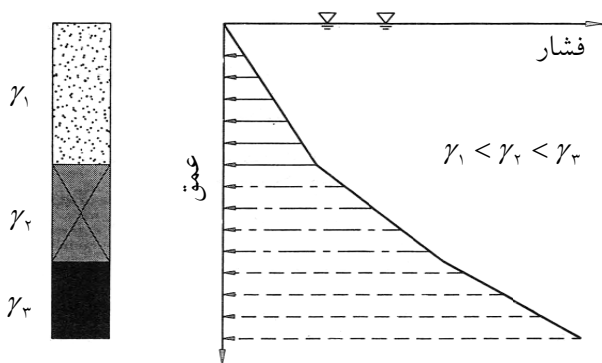
☞ فرمول (۹-۲) نشان می‌دهد که فشار درون مایع از وزن آن ناشی می‌شود و از آنجا که فشار با عمق تناسب مستقیم دارد توزیع آن مثلث گونه خواهد بود. منحنی تغییرات فشار هیدرواستاتیک برای یک سیال با سطح آزاد به شکل زیر می‌باشد:



شکل ۲-۵

اگر چنانچه سطح آزاد مایع در فشار متعارفی واقع باشد این فرمول فشار نسبی در عمق h را نشان می‌دهد و اگر چنانچه سطح آزاد مایع در فشار دیگری غیر از فشار متعارفی باشد می‌بایست مقدار آن را منظور داشت (یعنی از مقدار داده شده توسط فرمول (۲-۹) کم نمود و یا به آن افزود).

اگر مایعات با وزن مخصوص‌های مختلف روی هم قرار گیرند، منحنی تغییرات فشار هیدرواستاتیک به صورت یک خط مستقیم نبوده و در فصل مشترک مایعات مختلف دارای شکستگی خواهد بود. و هر چه وزن مخصوص مایع زیادتر باشد زاویه تماس خط نسبت به محور قائم بیشتر خواهد شد.

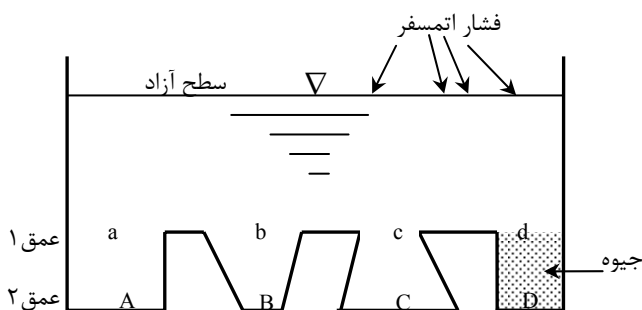


شکل ۲-۶

از معادله اساسی فشار هیدرواستاتیک می توان نتیجه گرفت دز سیال ساکن یکنواخت با توزیع همگون، فشار فقط با فاصله عمودی تغییر می کند وبا شکل ظرف خود ارتباطی ندارد. در یک صفحه افقی داخل سیال، فشار در تمام نقاط یکنواخت است وبا افزایش عمق بیشتر می شود. مثلا در شکل ۷-۲ سطح آزاد در فشار اتمسفر یک صفحه افقی است و نقاط a, b, c, d در عمق های مساوی و در صفحه ای افقی قرار دارند که به وسیله سیال آب به هم مرتبط اند، بنابراین فشار تمام این نقاط یکسان است. همچنین در نقاط A, B و C که همگی در کف قرار گرفته اند و نسبت به نقاط قبلی به یک اندازه افزایش دارند نیز صادق است، اما نقطه D اگر چه در همان عمق ی قرار دارد که نقاط A, B و C واقعند، اما به دلیل واقع شدن در زیر سیال دیگر جیوه)

)

فشار متفاوتی دارد.



شکل ۷-۲

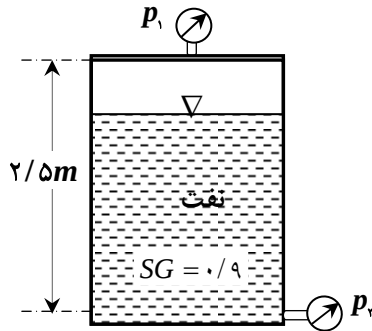
۷-۲ تغییرات فشار در سیال ساکن تراکم پذیر

تغییر فشار با ارتفاع برای سیالات تراکم پذیر از فرمول زیر محاسبه می شود.

$$P = P_0 e^{-\left[\frac{\gamma_0(y-y_0)}{P_0}\right]} = P_0 e^{-\left[\frac{g(y-y_0)}{RT}\right]} \quad (۱۰-۲)$$

که در آن g شتاب جاذبه، R ثابت گاز، T دمای مطلق ثابت آن، P_0 فشار در ارتفاع y_0 و P فشار در ارتفاع y می باشند.

مثال ۷-۲: مخزن سوختی را که در شکل (۸-۲) نمایش داده شده در نظر می گیریم. فشار عقربه در قاعده مخزن را در حالتی که فشار بالای مخزن مقادیر صفر، یا 25 Kpa و یا 10 Kpa را نشان می دهد، تعیین نمایید.



شکل ۸-۲

حل:

$$P = \rho gh$$

$$P = 0.9 \times 1000 \times 9.81 \times 2/5 \text{ (pa)} = 22/1 \text{ kPa}$$

$$P_2 = P_1 + 22/1 \text{ kPa} = 22 \text{ KPa} \quad \text{الف) اگر } P_1 = 0 \text{ باشد}$$

$$P_2 = P_1 + 22/1 \text{ kPa} = 25 + 22/1 = 47/1 \text{ kPa} \quad \text{ب) اگر } P_1 = 25 \text{ kPa}$$

$$p_2 = P_1 + 22/1 \text{ kPa} = -10 + 22/1 = 12/1 \text{ kPa} \quad \text{ج) اگر } P_1 = -10 \text{ kPa}$$

مثال ۲-۳: شدت فشار را در عمق ۶m آب بر حسب pa محاسبه کنید در

صورتی که قرائت بارومتر، ۷۶cmHg باشد، فشار مطلق در عمق ۶ m را محاسبه کنید؟

$$P_g = \gamma h = \rho gh = 1000 \times 9.81 \times 6 = 58836 \text{ Pa} \quad \text{یا} \quad 58/83 \text{ kPa}$$

$$\text{شدت فشار} = P_g$$

$$\rho_g gh_g = (13/57 \times 1000 \times 9.81) \times 0.76 = 101131/24 \text{ Pa}$$

$$\text{فشار اتمسفر} + \text{فشار نسبی} = \text{فشار مطلق}$$

$$58836 + 101131 / 24 = 159967/24 \text{ Pa}$$

مثال ۲-۴: عمق آب و جیوه را برای فشار ۵۰ kpa مقایسه کنید؟

حل:

$$p = \gamma h$$

$$h = \frac{50 \times 1000 \frac{N}{m^2}}{9806 \frac{N}{m^3}} = 5/10 \text{ m} \quad \text{برای آب}$$

$$h = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\gamma_w \cdot SG_{Hg}} = \frac{5000 \frac{N}{m^2}}{9806 \frac{N}{m^2} \times 13/57} = 0.375m \quad \text{برای جیوه}$$

دانشجویان گرامی، لطفا پس از تماشای فیلم محتوای آموزشی این درس و مطالعه فایل PDF، پاسخ سوالات زیر را در یک برگه A4 به همراه مشخصات خود نوشته و از طریق پیام رسان سروش به شماره ۰۹۲۱۱۰۹۷۱۶۶ ارسال کنید.

ردیف	شرح سوال
۱	فشار هیدرواستاتیک را تعریف کنید و خواص آن را بنویسید.
۲	فشار جو (اتمسفریک) استاندارد در سطح دریا بر حسب کیلو پاسکال (kpa) برابر است با: (۱) ۱۳۳/۱۰۵ (۲) ۱۰۳/۳۰۵ (۳) ۱۰۱/۳۲۵ (۴) ۷۶۰
۳	هنگامی که فشار سنج ۷۱۹/۶ میلی متر را نشان می‌دهد، فشار مکش 15 kpa در آن محل مساوی است با: (۱) (مطلق) ۱۱/۳۱۶ میلیمتر آب (۲) (مطلق) ۸۱ kpa (۳) (مطلق) ۱۱۱ kpa (۴) (مطلق) ۱۱۲/۴ میلیمتر جیوه
۴	اگر فشار اتمسفر محلی در منطقه‌ای $14/2\text{ psi}$ باشد، در اینصورت فشار مطلق در عمق ۷ متری زیر سطح آب چند Kpa خواهد بود؟ ($\gamma = 10000\text{ N/m}^3$ آب)
۵	مطابق شکل در قسمت بالای یک مخزن آب یک ستون ۳ متری گازوئیل ($SG = 0.73$) قرار دارد. مطلوبست فشار در کف مخزن در صورتی که فشار اتمسفر $1/1\text{ kPa}$ باشد. 