

ت مکانیک سیالات

فصل اول خواص سیال

- ۹..... قانون لزجت نیوتن
- ۱۰..... ویسکوزیته (لزجت مطلق)
- ۱۱..... ویسکوزیته سینماتیک
- ۱۱..... تقسیم‌بندی سیالات
- ۱۴..... تست‌های بخش قانون لزجت نیوتن، ویسکوزیته و تقسیم‌بندی سیالات
- ۲۵..... مدول الاستیسیته (مدول بالک)
- ۲۵..... کشش سطحی
- ۲۶..... صعود و نزول سیال در لوله موئین
- ۲۷..... تست‌های کشش سطحی و مدول بالک
- ۲۹..... تست‌های فصل اول

فصل دوم استاتیک سیالات

- ۴۰..... اصل پاسکال
- ۴۲..... واحدهای فشار
- ۴۲..... فشار نسبی و فشار مطلق
- ۴۳..... وسایل اندازه‌گیری فشار
- ۴۳..... بارومتر
- ۴۳..... مانومتر
- ۴۵..... تست‌های بخش فشار و روش‌های اندازه‌گیری آن

۵۰	نیروی وارد بر سطوح در سیال ساکن
۵۰	صفحات افقی
۵۰	صفحات عمودی
۵۱	روشن شدن فشار
۵۱	صفحات قائم
۵۲	سطوح انحنادار
۵۲	مؤلفه افقی نیروی وارد بر سطوح انحنادار
۵۲	مؤلفه عمودی نیروی وارد بر سطوح انحنادار
۵۳	مثال هایی از نیروهای وارد بر سطوح انحنادار
۵۷	تست های بخش نیروهای وارد بر سطوح
۶۴	اجسام شناور و غوطه ور در سیال
۶۴	تعادل اجسام غوطه ور و شناور
۶۵	هیدرومتر
۴۵	تست های شناوری و پایداری
۷۰	حرکت صلب گونه سیالات
۷۰	حرکت با شتاب خطی یکنواخت
۷۱	حرکت دورانی
۷۳	مثال هایی از حرکت صلب گونه سیالات
۷۷	تست های حرکت سیالات صلب گونه
۸۰	تست های فصل دوم

فصل سوم (جریان سیالات)

۹۹	جریان آرام
۹۹	جریان درهم
۱۰۰	جریان یکنواخت
۱۰۰	جریان دایم
۱۰۰	جریان یک بعدی
۱۰۰	خط مسیر
۱۰۰	خط رگه
۱۰۱	خط جریان
۱۰۱	قانون بقا در یک سیستم (قانون پیوستگی)
۱۰۲	محاسبه سرعت متوسط
۱۰۳	قانون پیوستگی در حرکت سه بعدی
۱۰۳	تابع جریان
۱۰۵	تست های بخش تعاریف کلی، قانون پیوستگی و تابع جریان
۱۰۸	معادله اولر

۱۰۸.....	معادله برنولی
۱۰۹.....	چند مثال از کاربرد معادله برنولی
۱۰۹.....	اریفیس
۱۱۰.....	لوله پیتوت
۱۱۰.....	ضریب تصحیح انرژی جنبشی
۱۱۱.....	تست‌های معادله اولر و برنولی و معادله پیوستگی
۱۲۲.....	قانون بقای مومنتوم
۱۲۳.....	ضریب تصحیح اندازه حرکت
۱۲۴.....	تست‌های بخش معادله اندازه حرکت
۱۲۶.....	تست‌های فصل سوم

فصل چهارم محاسبه تلفات انرژی در جریان سیالات

۱۳۶.....	افت فشار و اتلاف انرژی
۱۳۸.....	لایه مرزی
۱۳۹.....	پروفایل سرعت در جریان آرام و درهم سیال در داخل لوله
۱۴۰.....	محاسبه افت انرژی در جریان آرام
۱۴۱.....	ضریب اصطکاک
۱۴۲.....	دیاگرام مودی
۱۴۲.....	ضریب اصطکاک در جریان آرام داخل لوله
۱۴۳.....	شعاع و قطر هیدرولیکی
۱۴۵.....	جریان بین دو صفحه موازی
۱۴۶.....	اتلاف انرژی در اتصالات
۱۴۸.....	طول معادل
۱۴۹.....	تست‌های فصل چهارم

فصل پنجم پمپ و پمپاژ

۱۷۶.....	تقسیم‌بندی پمپ‌ها
۱۷۶.....	پمپ‌های گریز از مرکز
۱۷۷.....	مشخصات پمپ‌های سانتریفوژ
۱۸۱.....	سری و موازی بستن پمپ‌های سانتریفوژ
۱۸۲.....	کاویتاسیون
۱۸۲.....	NPSH
۱۸۳.....	تست‌های فصل پنجم

فصل ششم جریان‌های داخلی

۱۹۲.....	لایه مرزی در جریان خارجی و جدایش لایه مرزی
۱۹۳.....	مکان نقطه جدایش
۱۹۴.....	نیروی درگ و لیفت
۱۹۴.....	ضریب درگ

۱۹۷.....	کاربرد نیروی درگ
۱۹۹.....	تست‌های فصل ششم

فصل هفتم آنالیز ابعادی و اعداد بی‌بعد

۲۰۹.....	Rayleigh روش
۲۱۰.....	Buckingham روش
۲۱۲.....	اعداد بی‌بعد
۲۱۳.....	تشابه، مطالعه مدل‌ها
۲۱۵.....	تست‌های فصل هفتم

فصل هشتم بسترهای پر شده

۲۲۲.....	بررسی سیالیت
۲۲۵.....	محاسبه افت فشار
۲۲۵.....	تغییرات تخلخل با تغییرات طول بستر
۲۲۶.....	تست‌های فصل هشتم

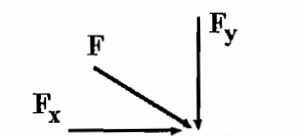
فصل نهم جریان سیالات تراکم‌پذیر

۲۳۲.....	محاسبه سرعت صوت
۲۳۴.....	جریان ایزنتروپیک سیال تراکم‌پذیر در داخل نازل
۲۳۶.....	جریان آدیاباتیک سیال تراکم‌پذیر در داخل لوله
۲۳۷.....	تست‌های فصل نهم
۲۴۳.....	تست‌های کنکور

فصل اول

خواص سیال

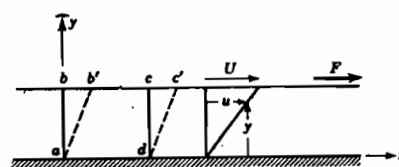
سیال ماده‌ای است که تحت اثر یک تنش برشی - هر چند هم که کوچک باشد - تغییر شکل می‌دهد. نیروی برشی، مولفه مماسی نیروی وارد به سطح است. نسبت نیروی برشی به مساحت سطح تنش برشی نامیده می‌شود و با علامت τ نشان داده می‌شود. نسبت مولفه عمودی نیروی وارد بر سطح فشار نام دارد و با P نمایش داده می‌شود.



$$\tau = \frac{F_x}{A} \quad P = \frac{F_y}{A}$$

قانون لزجت نیوتن

برای بیان این قانون ابتدا یک آزمایش را در نظر می‌گیریم. در شکل دو صفحه موازی نشان داده شده است. فاصله بین دو صفحه با یک سیال پر شده است. صفحه پایینی ثابت است. صفحه بالایی را با نیروی F می‌کشیم و با این کار تنش برشی به اندازه $\frac{F}{A}$ به سیال بین دو صفحه وارد می‌شود که A مساحت صفحه بالایی می‌باشد. از آنجا که فضای بین دو صفحه با سیال پر شده است، اعمال نیروی F هر چند هم که کوچک باشد، باعث حرکت صفحه بالایی تا زمانی که اعمال نیرو وجود دارد می‌گردد. ذراتی از سیال که با مرز جامد تماس دارند، سرعتشان برابر سرعت صفحه است. به عبارت دیگر درست در روی مرز، هیچ‌گونه لغزشی بین صفحه و سیال وجود ندارد. بنابراین اگر سرعت صفحه بالایی را با U نمایش دهیم، سرعت ذراتی که در روی صفحه بالایی قرار دارند U می‌باشد و سرعت ذراتی که روی صفحه ساکن قرار دارند صفر است. سرعت ذرات بین دو صفحه از صفر تا U تغییر می‌کند.



تغییر شکل ناشی از اعمال نیروی برشی ثابت.

آزمایش نشان می‌دهد که تنش برشی، یعنی τ با سرعت یعنی u نسبت مستقیم و با فاصله بین دو صفحه یعنی y نسبت عکس دارد. به عبارت دیگر می‌توان نوشت:

$$\tau \propto \frac{du}{dy}$$

نرخ تغییر شکل یا نرخ کرنش زاویه‌ای نام دارد. برای تبدیل تناسب به تساوی از یک ضریب تناسب که آن را با μ نمایش می‌دهیم استفاده می‌کنیم. بنابراین داریم:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

رابطه فوق رابطه تنش برشی و نرخ تغییر شکل زاویه‌ای برای جریان یک بعدی سیال است. این معادله به قانون لزجت نیوتن معروف است.

در قانون لزجت نیوتن، ضریب تناسب که با μ نشان داده شده لزجت یا ویسکوزیته سیال نام دارد که در ادامه به تعریف و بررسی آن می‌پردازیم.

ویسکوزیته (لزجت مطلق یا لزجت دینامیکی)

ویسکوزیته خاصیتی از سیال است که سیال به سبب آن خاصیت می‌خواهد در مقابل نیروهای برشی از خود مقاومت نشان دهد. ویسکوزیته با μ نمایش داده می‌شود.

لزجت سیال به دو عامل بستگی دارد: نیروی چسبندگی و تبادل مومنتوم مولکولی. در مایعات فاصله بین مولکول‌ها بسیار نزدیک‌تر از گازهاست. لذا نیروی چسبندگی در مایعات بیشتر از گازهاست. بنابراین عامل اصلی و موثر در لزجت مایعات، نیروی چسبندگی است. آن‌جا که با افزایش دما نیروی چسبندگی کاهش می‌یابد، لزجت مایع نیز کاهش می‌یابد. اما در گازها چسبندگی بسیار کم است و لزجت گازها عمدتاً ناشی از تبادل مومنتوم مولکولی است. با افزایش دما جنبش مولکول‌ها و تبادل مومنتوم مولکولی افزایش می‌یابد. بنابراین با افزایش دما لزجت گاز افزایش می‌یابد.

نتیجه: با افزایش دما ویسکوزیته مایعات کاهش می‌یابد، ولی ویسکوزیته گازها افزایش می‌یابد.

لازم به ذکر است که چنانچه تغییرات فشار ناچیز باشد، لزجت سیالات عملاً مستقل از فشار است، ولی در صورتی که افزایش فشار خیلی زیاد باشد، با افزایش فشار در مایعات و گازها لزجت افزایش می‌یابد. ↩

دیمانسیون و واحدهای ویسکوزیته عبارت‌اند از:

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} = \frac{\frac{N}{m^2}}{\frac{s}{m}} = \frac{N \cdot s}{m^2}$$

بنابراین دیمانسیون لزجت برابر است با: $ML^{-1} T^{-1}$

واحد لزجت در سیستم cgs:

$$\frac{gr}{cm \cdot sec} = \text{poise}$$

$$\frac{kg}{m \cdot sec} = \text{Pa} \cdot \text{sec}$$

در سیستم SI:

$$\frac{lb_f \cdot sec}{ft^2} = \frac{lb_m}{ft \cdot sec}$$

در سیستم انگلیسی:

همچنین داریم:

$$1 \text{ poise} = 0.1 \text{ pa} \cdot \text{sec}$$

$$1 \text{ Cp} = \text{Centipoise} = 10^{-3} \text{ pa} \cdot \text{sec}$$

ویسکوزیته سینماتیک

نسبت لزجت به جرم مخصوص را لزجت سینماتیک می‌گویند و با ν نمایش می‌دهند. دیمانسیون ویسکوزیته سینماتیک برابر با $L^2 T^{-1}$ می‌باشد. واحدهای ویسکوزیته سینماتیک عبارت‌اند از:

در سیستم CGS :

$$\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} = \text{stoks}$$

در سیستم SI :

$$\frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$$

در سیستم انگلیسی :

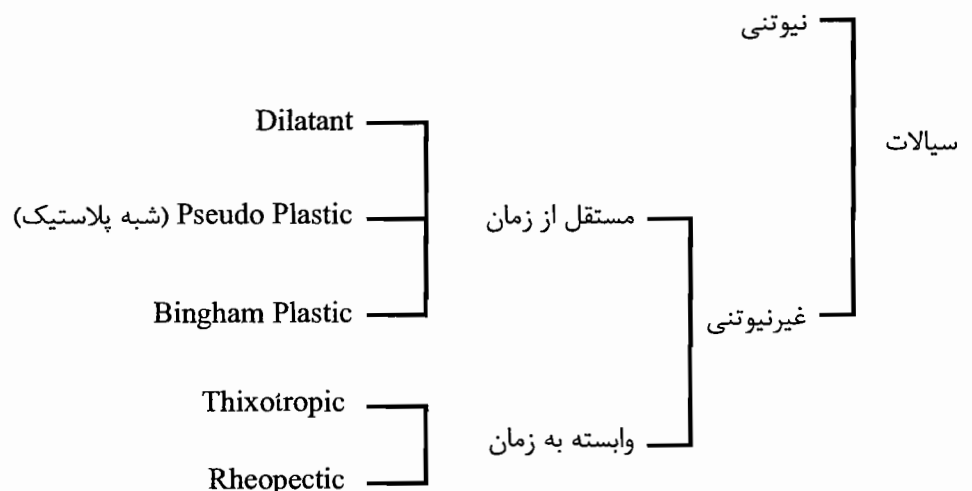
$$\frac{\text{ft}^2}{\text{sec}}$$

همچنین داریم :

$$\nu (\text{stoks}) \times \rho \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = \mu (\text{poise})$$

تقسیم‌بندی سیالات

سیالات را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی کرد: سیالات نیوتنی و سیالات غیرنیوتنی. در سیالات نیوتنی تنش برشی (τ) برحسب نرخ تغییر شکل $\left(\frac{du}{dy} \right)$ خط راستی است که از مبدا می‌گذرد. به عبارت دیگر ویسکوزیته در سیالات نیوتنی عبارت است از، شیب خط نمودار تنش برشی برحسب نرخ تغییر شکل که مقداری ثابت است. ولی در مورد سیالات غیرنیوتنی تنش برشی (τ) برحسب نرخ تغییر شکل $\left(\frac{du}{dy} \right)$ یا غیرخطی است و اگر خطی باشد از مبدا عبور نمی‌کند. تقسیم‌بندی سیالات در نمودار زیر نمایش داده شده است.



بدیهی است که در مورد سیالات غیرنیوتنی ویسکوزیته خاصیت سیال نیست، ولی در مورد سیالات نیوتنی ویسکوزیته خاصیت سیال محسوب می‌گردد. سیالات غیرنیوتنی براساس این‌که ویسکوزیته آن‌ها مستقل از زمان است و یا وابسته به زمان به دو دسته کلی

تقسیم‌بندی می‌گردند. سیالاتی که ویسکوزیته آن‌ها مستقل از زمان است عبارت‌اند از دیلاتانت، شبه پلاستیک و بینگهام پلاستیک که به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت:

سیال Dilatant: با افزایش تنش برشی ویسکوزیته سیال Dilatant افزایش می‌یابد. به این خاطر سیال Dilatant را سیال غلیظ شونده در برابر تنش برشی می‌نامند.

سیال Pseudo Plastic (شبه پلاستیک): با افزایش تنش برشی ویسکوزیته سیال شبه پلاستیک کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر سیال شبه پلاستیک سیال رقیق شونده در برابر تنش برشی می‌باشد.

سیال Bingham Plastic: این دسته از سیالات یک تنش تسلیم (yield stress) دارند. به عبارت دیگر اگر تنش وارده بر این دسته از سیالات از تنش تسلیم آن‌ها کمتر باشد، سیال شروع به حرکت نمی‌کند، ولی اگر تنش برشی وارد بر سیال از تنش تسلیم بیشتر باشد، سیال شروع به حرکت کرده و تنش برشی (τ) برحسب نرخ تغییر شکل $\left(\frac{du}{dy}\right)$ به‌طور خطی تغییر می‌کند. به عبارت دیگر در این سیال‌ها تنش برشی برحسب نرخ تغییر شکل خط راستی است که از مبدا نمی‌گذرد.

نتیجه: رفتار رئولوژیکی سیالات مستقل از زمان را می‌توان با رابطه ریاضی به شکل زیر بیان کرد:

$$\tau = \mu \left(\frac{du}{dy} \right)^n$$

در این رابطه:

$n = 1$: سیالات نیوتنی

$n > 1$: سیالات Dilatant

$n < 1$: سیالات شبه پلاستیک Pseudo Plastic

برای سیال بینگهام پلاستیک داریم:

$$\tau = \tau_p + \mu \left(\frac{du}{dy} \right)$$

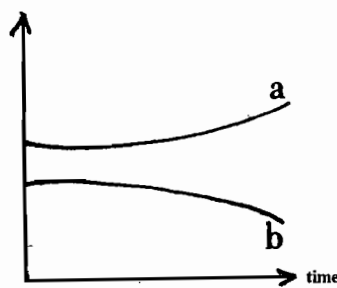
همان‌طور که گفته شده در مورد سیالاتی که دارای تنش تسلیم هستند، اگر تنش برشی وارد شده بر سیال کمتر از تنش تسلیم باشد، نرخ تغییر شکل برابر صفر است.

$$\tau < \tau_p \Rightarrow \frac{du}{dy} = 0 \quad (\text{در مورد سیالات دارای تنش تسلیم})$$

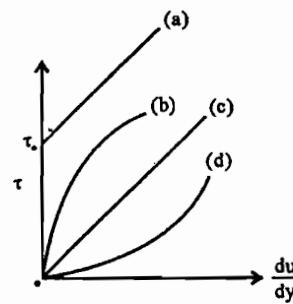
دسته دیگری از سیالات غیرنیوتنی سیالاتی است که ویسکوزیته آن‌ها با گذشت زمان تغییر می‌نماید. سیالاتی که در این گروه قرار دارند عبارت‌اند از Rheopectic و Thixotropic که مورد بررسی قرار می‌گیرند.

سیالات Thixotropic: سیالاتی هستند که ویسکوزیته آن‌ها با گذشت زمان کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر سیالاتی هستند که برای ثابت نگاه داشتن نرخ تغییر شکل $\left(\frac{du}{dy}\right)$ با گذشت زمان باید تنش کمتری را وارد کنیم.

سیالات Rheopectic: سیالاتی هستند که ویسکوزیته آن‌ها با گذشت زمان افزایش می‌یابد به عبارت دیگر در این دسته از سیالات برای ثابت نگاه داشتن نرخ تغییر شکل با گذشت زمان به تنش برشی بیشتری نیاز داریم. نمودار تغییرات تنش برشی برای سیالاتی که مورد بحث قرار گرفت، در شکل زیر ارائه گردیده است.



a: Rheopectic
b: Thixotropic



a : Bingham plastic
b : Pseudo plastic
c : Newtonian fluid
d : Dilatant fluid

سیال ایده آل: سیال ایده آل سیال تراکم ناپذیری است که ویسکوزیته آن صفر می باشد، بنابراین در سیالات ایده آل هیچ موقع اصطکاک نداریم و هیچ گاه تنش برش ایجاد نمی شود. به عبارت دیگر در اثر اعمال تنش برشی به سیال ایده آل پروفایل سرعت ایجاد نمی شود.



سیال ایده آل

همان طور که در شکل معین است، نمودار تغییرات تنش برشی بر اساس نرخ تغییر شکل زاویه ای در سیالات ایده آل بر محور x ها منطبق است.

لازم به ذکر است اگر نمودار تغییرات تنش برشی بر حسب نرخ تغییر شکل بر محور y ها منطبق گردد، نمودار مربوط به مواد جامد است.



مواد جامد

تست‌های بخش قانون لزجت نیوتن، ویسکوزیته و تقسیم‌بندی سیالات

(مهندسی شیمی ۷۸)

۱ - کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

- (۱) برای کلیه سیالات، ویسکوزیته یک خاصیت سیال است.
- (۲) فقط برای سیال نیوتنی ویسکوزیته خاصیت سیال محسوب می‌شود.
- (۳) برای سیال نیوتنی، ویسکوزیته وابسته به تنش برشی است.
- (۴) برای سیال نیوتنی، ویسکوزیته فقط به شدت برشی بستگی دارد.

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

(مهندسی شیمی ۷۸)

۲ - با افزایش درجه حرارت، گرانیوی گازها و مایعات از کدام یک از مصادیق ذیل تبعیت می‌نماید:

- (۱) گرانیوی مایعات افزایش و گرانیوی گازها کاهش می‌یابد.
- (۲) گرانیوی مایعات کاهش و گرانیوی گازها افزایش می‌یابد.
- (۳) گرانیوی در هر دو افزایش می‌یابد.
- (۴) گرانیوی در هر دو مورد کاهش می‌یابد.

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۳ - در جریان سیال غیرنیوتنی از نوع بینگهام (Bingham) در داخل لوله، نیروی اعمال شده به واحد سطح سیال برابر است با

(مهندسی شیمی ۷۴)

(۱) انتقال مومنتوم مولکولی (Shear Stress)

(۲) تفاضل تنش تسلیم (Yield Stress) و انتقال مومنتوم مولکولی (Shear Stress)

(۳) مجموع تنش تسلیم (Yield Stress) و انتقال مومنتوم مولکولی (Shear Stress)

(۴) تنش تسلیم (Yield Stress)

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\tau = \tau_p + \mu \frac{du}{dy}$$

برای سیال بینگهام داریم:

۴ - گرادیان سرعت اعمال شده از جانب یک سیال نیوتنی روی یک صفحه $\frac{du}{dy} = 200 \text{ sec}^{-1}$ می‌باشد. در صورتی که نیرو به واحد

(مهندسی شیمی ۷۸)

سطح برابر $1 \frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2}$ باشد، ویسکوزیته سیال برابر کدام گزینه می‌باشد؟

(۴) 0.05

(۳) 0.01

(۲) 0.015

(۱) 0.005

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \Rightarrow 1 = \mu \times 200 \Rightarrow \mu = 0.005 \frac{\text{lb}_f \cdot \text{sec}}{\text{ft}^2}$$

۵- دو صفحه موازی به فاصله 0.3 mm از هم قرار دارند. صفحه فوقانی به مساحت 1 m^2 با سرعت $1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ حرکت می کند. اگر

ویسکوزیته روغن موجود بین دو صفحه برابر $9.5 \times 10^{-2} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$ باشد، مقدار نیروی مقاوم سطحی روی صفحه بالایی برابر

است با: (مهندسی شیمی ۷۴ و مهندسی مخازن هیدروکربوری آزاد ۸۱ و مهندسی فرآوری و انتقال گاز ۸۳)

(۱) $F = 160 \text{ N}$ (۲) $F = 320 \text{ N}$ (۳) $F = 32 \text{ N}$ (۴) $F = 3.2 \text{ N}$

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$F = \tau A, \tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{\Delta u}{\Delta y} = \mu \frac{u - 0}{y - 0} \Rightarrow F = \mu \frac{U}{y} A \Rightarrow F = 9.5 \times 10^{-2} \times \frac{1}{0.3 \times 10^{-3}} \times 1 \Rightarrow F = 320 \text{ N}$$

۶- بین دو صفحه به فاصله 0.5 mm، سیالی نیوتنی قرار گرفته است، صفحات به صورت افقی هستند و یکی از آنها ثابت و

دیگری با سرعت $0.25 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ به طور ثابت حرکت می کند. برای ثابت نگه داشتن این سرعت نیروی 2 N به ازای هر مترمربع مورد

نیاز است. ویسکوزیته سیال برابر است با: (مهندسی شیمی ۷۴)

(۱) 0.0125 Pa.s (۲) 0.1 Pa.s (۳) 0.004 Pa.s (۴) 0.0004 Pa.s

حل : گزینه ۳ صحیح است.

$$F = \tau A, \tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{\Delta u}{\Delta y} = \mu \frac{U - 0}{y - 0}$$

$$F = \mu \frac{u}{y} A \Rightarrow \mu = \frac{F}{A} \cdot \frac{y}{u}$$

$$\mu = \frac{2}{1} \times \frac{0.5 \times 10^{-3}}{0.25} = 0.004 \text{ Pa.sec}$$

۷- صفحه متحرکی 0.5 میلی متر از صفحه ای دیگر که ثابت است، فاصله دارد و با سرعت 0.25 متر بر ثانیه در حال حرکت است.

چنانچه اندازه نیروی لازم به ازاء واحد سطح صفحه 2 پاسکال باشد، ویسکوزیته سیال بین دو صفحه برابر با چند نیوتن - ثانیه

بر مترمربع $\left(\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right)$ می باشد؟ (مهندسی شیمی ۷۵)

(۱) 0.03 (۲) 0.035 (۳) 0.045 (۴) 0.004

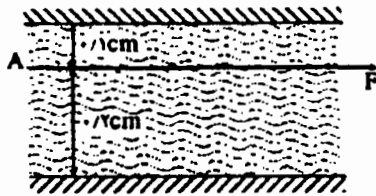
حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{\Delta u}{\Delta y} = \mu \frac{u - 0}{y - 0} = \mu \frac{u}{y} \Rightarrow \mu = \tau \frac{y}{u}$$

$$\mu = 2 \times \frac{0.5 \times 10^{-3}}{0.25} = 0.004 \frac{\text{N} \cdot \text{sec}}{\text{m}^2}$$

۸- صفحه نازک A به مساحت 20 سانتی متر به صورت افقی مطابق شکل در داخل یک سیال با ویسکوزیته 1.2 سانتی پویز ($\mu = 1.2 \text{ cp}$) کشیده می شود. نیروی لازم برای کشیدن صفحه با سرعت 20 سانتی متر بر ثانیه بر حسب دین برابر است با:

(مهندسی شیمی ۷۵)



8 (۱)

24 (۲)

48 (۳)

72 (۴)

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

باتوجه به شکل دو نیرو به صفحه وارد می شود:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 \rightarrow \tau = \mu_1 \frac{u}{y_1} + \mu_2 \frac{u}{y_2}$$

از آن جا که جنس سیال بالا و پایین صفحه یکی است، $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ بوده و داریم:

بنابراین:

$$\tau = \mu u \left[\frac{1}{y_1} + \frac{1}{y_2} \right] \rightarrow \frac{F}{A} = \mu u \left[\frac{1}{y_1} + \frac{1}{y_2} \right]$$

$$F = A \mu u \left[\frac{1}{y_1} + \frac{1}{y_2} \right] = 20 \times 1.2 \times 10^{-2} \times 20 \left[\frac{1}{0.1} + \frac{1}{0.2} \right] \rightarrow F = 72 \text{ dyn}$$

۹- در شکل مقابل صفحه A بین دو صفحه در حال سکون موازی قرار گرفته و سیال با ویسکوزیته μ فضای بین آنها را پر کرده

است. اگر قرار باشد، صفحه A با سرعت 3 متر بر ثانیه کشیده شود، نسبت $\frac{\tau}{\mu}$ برابر است با sec^{-1} τ تنش کل وارده بر

(مهندسی شیمی ۷۲)

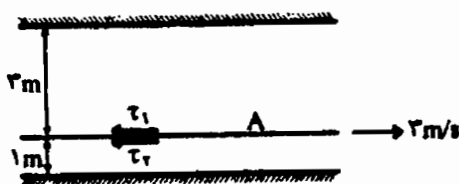
صفحه است).

1.2 (۱)

1.4 (۲)

2 (۳)

4 (۴)



حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

باتوجه به حل تست قبلی داریم:

$$\tau = \mu u \left[\frac{1}{y_1} + \frac{1}{y_2} \right] \rightarrow \frac{\tau}{\mu} = u \left[\frac{1}{y_1} + \frac{1}{y_2} \right]$$

$$\frac{\tau}{\mu} = 3 \left[\frac{1}{3} + \frac{1}{1} \right] = 4 \text{ sec}^{-1}$$

۱۰- در شکل زیر اگر لایه‌ای از روغن به ضخامت $0.01''$ بین جعبه‌ای با عرض 1 ft ، طول و ارتفاع 2 ft و سطح شیب‌دار قرار داشته باشد و جرم مخصوص متوسط جعبه $25 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$ بوده و با سرعت $6 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$ ، در جهت پایین در حال حرکت باشد و یسکوزیته

(مهندسی شیمی ۷)

روغن برابر است با:

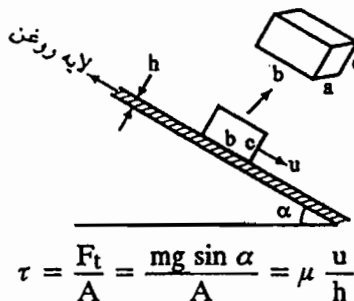
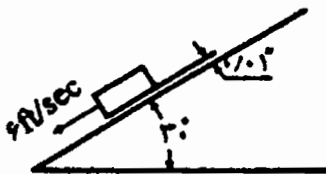
$$0.00347 \frac{\text{lb}_f \cdot \text{sec}}{\text{ft}^2} \quad (۱)$$

$$0.00649 \frac{\text{lb}_f \cdot \text{sec}}{\text{ft}^2} \quad (۲)$$

$$0.001335 \frac{\text{lb}_f \cdot \text{sec}}{\text{ft}^2} \quad (۳)$$

(۴) هیچ‌کدام

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.



باتوجه به شکل نیروی مماسی وارد برابر $mg \sin \alpha$ می‌باشد که بر سطح $A = a b$ وارد می‌گردد. بنابراین:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{mg \sin \alpha}{A}$$

$$\tau = \mu \frac{\Delta u}{\Delta y} = \mu \frac{u - 0}{y - 0} = \mu \frac{u}{y}$$

$$\mu \frac{u}{h} = \frac{mg \sin \alpha}{A}$$

$$\mu = \frac{h mg \sin \alpha}{A u}$$

$$w = \frac{mg}{g_c} = \frac{\rho v g}{g_c} = (1 \times 2 \times 2) \times 25 = 100 \text{ lb}$$

$$\mu = \frac{h w \sin \alpha}{u A}$$

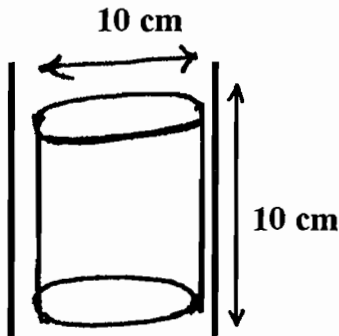
$$\mu = \frac{0.01}{12} \times 100 \times \sin 30^\circ = 0.00347 \frac{\text{lb}_f \cdot \text{sec}}{\text{ft}^2}$$

همچنین داریم:

بنابراین:

۱۱ - پیستونی با دانسیته $8 \frac{gr}{cm^3}$ در داخل سیلندری که آغشته به یک لایه نازک از روغن به ضخامت 0.1 میلی متر است با سرعت

ثابت $20 \frac{cm}{s}$ مطابق شکل در حرکت است، چنانچه $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$ باشد، ویسکوزیته روغن برابر است با:



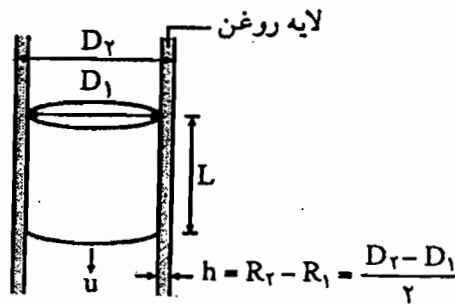
(۱) 0.98 cp

(۲) 1.96 cp

(۳) $1.96 \frac{kg}{m.s}$

(۴) $0.98 \frac{kg}{m.s}$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.



$$w = mg = \rho_s \cdot v \cdot g = \rho_s \cdot \frac{\pi D_1^2}{4} L \cdot g$$

باتوجه به شکل تنش وارد شده ناشی از وزن پیستون است.

بنابراین:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{mg}{\pi D_1 L} = \frac{\rho_s \cdot \frac{\pi D_1^2}{4} L g}{\pi D_1 L} = \frac{\rho_s D_1 g}{4}$$

هم چنین داریم:

$$\tau = \mu \frac{u}{h}$$

از مساوی قرار دادن دو رابطه اخیر می توان پارامتر مجهول را در هر مساله ای به دست آورد.

در مورد این تست داریم:

$$\frac{\rho_s D_1 g}{4} = \mu \frac{u}{h} \Rightarrow \mu = \frac{\rho_s D_1 g}{4} \cdot \frac{h}{u}$$

$$\mu = \frac{8000 \times 0.1 \times 9.81 \times 0.0001}{4 \times 0.2} = 0.98 \frac{kg}{m \cdot sec}$$

۱۲ - یک پیستون به قطر d و جرم m و طول L در داخل یک سیلندر به قطر D رها می شود. بین پیستون و سیلندر روغن با لزجت

(مهندسی مکانیک (۸)

μ قرار دارد. سرعت حدی در حین پایین آمدن چقدر است؟

(۴) $\frac{mg(D-d)}{2\mu d L \pi}$

(۳) $\frac{\mu mg(D-d)}{\pi d L}$

(۲) $\frac{\mu \pi d L}{mg(D-d)}$

(۱) $\frac{mg(D-d)}{\mu \pi d L}$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

باتوجه به مساله قبلی داریم:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{mg}{\pi d L}, \quad \tau = \mu \frac{u}{h}$$

بنابراین:

$$\mu \frac{u}{h} = \frac{mg}{\pi d L}$$

مطابق شکل:

$$h = \frac{D-d}{2}$$

و با جایگذاری h در رابطه فوق داریم:

$$\mu \frac{u}{\frac{D-d}{2}} = \frac{mg}{\pi d L}$$

$$u = \frac{mg(D-d)}{2\mu \pi d L}$$

۱۳ - تنش روی دیواره سیلندر ویسکومتر چرخان به قرار زیر داده شده است. شعاع سیلندر R و طول سیلندر 2R می باشد.

در صورتی که T گشتاور لازم برای چرخانیدن سیلندر باشد مقدار تنش مطابق کدام گزینه تغییر می نماید؟ $\left(\tau = \frac{c_1}{r^3} \right)$

(مهندسی شیمی ۸۱)

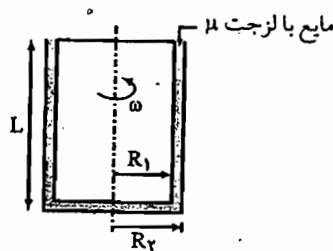
$$\tau = \frac{2R^3}{r^2} \quad (۴)$$

$$\tau = \frac{4RT}{r^3} \quad (۳)$$

$$\tau = \frac{T}{4\pi r^3} \quad (۲)$$

$$\tau = RT r^2 \quad (۱)$$

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.



در برخی مسایل، حالت چرخشی وجود دارد که در این گونه مسایل محاسبه گشتاور مطرح می گردد. گشتاور (Torque) برابر حاصل ضرب نیرو در بازوی محرک است. نکته دیگری که در این گونه مسایل باید به آن توجه کرد، سرعت است. برای به دست آوردن سرعت خطی باید سرعت زاویه ای (ω) را در شعاع ضرب کرد. (u = Rω). در شکل فوق اگر از تنش وارد بر سطح زیر استوانه صرف نظر کنیم و استوانه بیرونی ثابت فرض شود، داریم:

$$\tau = \frac{F}{A} \rightarrow F = \tau \cdot A = \mu \frac{U}{h} \cdot 2\pi R_1 L$$

$$F = \mu \frac{R_1 \omega}{h} \cdot 2\pi R_1 L$$

هم چنین داریم:

$$T = F \cdot R \Rightarrow F = \frac{T}{R_1}$$

بنابراین داریم:

$$\frac{T}{R_1} = \mu \frac{R_1 \omega}{h} \cdot 2 \pi R_1 L \Rightarrow T = \frac{2 \pi R_1^3 \mu \omega L}{h}$$

در مورد حل این تست داریم:

$$T = F R = \tau A R = \tau (2 \pi R L) R \Rightarrow \tau = \frac{T}{2 \pi R^2 L}$$

مطابق اطلاعات تست:

$$L = 2R \quad \tau = \frac{T}{4 \pi R^3}$$

بنابراین

۱۴ - گشتاور لازم جهت چرخاندن یک ویسکومتر استوانه‌ای به شعاع R و طول L برابر T می‌باشد. تنش روی دیواره استوانه چرخان مطابق کدام گزینه تغییر می‌کند؟

(مهندسی مخازن هیدروکربوری ۸۰)

$$\tau = \frac{T}{2 \pi L R} \quad (۴)$$

$$\tau = \frac{\pi L^2 R}{T} \quad (۳)$$

$$\tau = \frac{T}{2 \pi L R^2} \quad (۲)$$

$$\tau = \frac{\pi L R^2}{T} \quad (۱)$$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$T = F R = \tau A R = \tau (2 \pi R L) R = 2 \pi R^2 L \tau$$

$$\tau = \frac{T}{2 \pi R^2 L}$$

۱۵ - اگر فاصله محورو یا تاقان 0.1 mm و ویسکوزیته روغن موجود در این فاصله $1 \frac{N \cdot s}{m^2}$ باشد، جهت حصول گردش 1000 rpm

(مهندسی شیمی ۷۶)

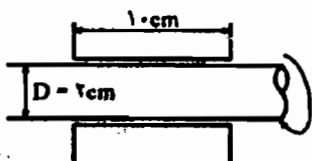
به چه گشتاوری بر حسب N . m نیازمندیم؟

$$\frac{\pi^2}{3} \quad (۲)$$

$$0.1 \pi \quad (۱)$$

$$\pi^2 \quad (۴)$$

$$\frac{0.2 \pi^2}{3} \quad (۳)$$



حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$T = F \cdot R = \tau A R$$

$$\tau = \mu \frac{u}{h}, \quad u = R \omega$$

$$\tau = \mu \frac{u}{h} = \mu \frac{R \omega}{h} \rightarrow T = \left(\mu \frac{R \omega}{h} \right) (2 \pi R L) R$$

$$T = \frac{2 \pi L \mu R^3 \omega}{h}$$

در مورد ω توجه می‌شود که در متن تست با واحد rpm داده شده که برای تبدیل آن به واحد $\frac{rad}{sec}$ باید در $\frac{2 \pi}{60}$ ضرب شود.

بنابراین:

$$\omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right) = \frac{2\pi}{60} \omega (\text{rpm})$$

در این مساله:

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \times 1000$$

$$T = \frac{2\pi L \mu R^3 \omega}{h} = \frac{2\pi \times 0.1 \times 1 \times (0.01)^3 \times \left(\frac{2\pi}{60} \times 1000 \right)}{0.1 \times 10^{-3}}$$

$$T = \frac{0.2}{3} \pi^2$$

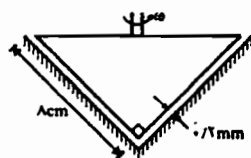
۱۶ - گشتاور مورد نیاز برای چرخاندن مخروط شکل روبرو را با سرعت 2000 دور در دقیقه تعیین کنید. ویسکوزیته مایع بین مخروط و جداره ساکن 0.2 Pa.s است. توزیع سرعت سیال را خطی فرض کنید. (مهندسی مخازن هیدروکربوری ۸۲)

(۱) 0.52

(۲) 1.86

(۳) 2.38

(۴) 3.51



حل : هیچ کدام از گزینه‌ها صحیح نمی‌باشد.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{r\omega}{y}$$

$$dF = \tau dA = \mu \frac{r\omega}{y} \times 2\pi r \frac{dr}{\sin \theta}$$

$$dT = r dF = \frac{2\pi r^3 \omega \mu}{y \sin \theta} dr$$

$$T = \int_0^R \frac{2\pi r^3 \omega \mu}{y \sin \theta} dr = \frac{\pi R^4 \omega \mu}{y \sin \theta}$$

با انتگرال گیری داریم:

$$R = 8 \sin 45^\circ = 5.66 \text{ cm}$$

$$T = \frac{\pi \times (0.0566)^4 \times \left(\frac{2\pi \times 2000}{60} \right) \times 0.2}{2 \times 0.2 \times 10^{-3} \times \sin 45^\circ} = 4.77 \text{ N.m}$$

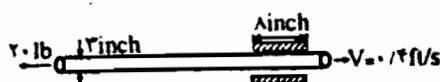
۱۷ - در شکل زیر برای عبور دادن میله از فضای بین دو زائده که یک لایه روغن به ضخامت 0.003 inch بین آن‌ها قرار دارد، 20 lb_f نیرو لازم است. ویسکوزیته روغن کدام جواب است؟ (مهندسی مخازن هیدروکربوری ۷۷)

(۱) 0.77 $\frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2}$

(۲) 0.77 $\frac{\text{lb}_m \text{s}}{\text{ft}^2}$

(۳) 0.0239 $\frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2}$

(۴) 0.0239 $\frac{\text{lb}_m \text{s}}{\text{ft}^2}$



حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$F = \tau A = \mu \frac{du}{dy} A = \mu \frac{u - 0}{y - 0} A = \mu \frac{u}{y} A \Rightarrow \mu = \frac{Fy}{uA}$$

$$\mu = \frac{20 \times \left[\frac{0.003}{12} \right]}{0.4 \times \pi \times \left[\frac{3}{12} \right] \times \left[\frac{8}{12} \right]} = 0.0239 \frac{\text{lb}_m \cdot \text{sec}}{\text{ft}^2}$$

۱۸ - لوله متحرک بسیار بلندی بین دو لوله ثابت قرار گرفته است. فضای بین لوله ها با سیالات نیوتنی با ویسکوزیته های نشان داده

شده در شکل پر شده است. اگر لوله میانی با سرعت ثابت $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ در جهت محوری حرکت کند، تنش برشی وارد شده بر لوله های

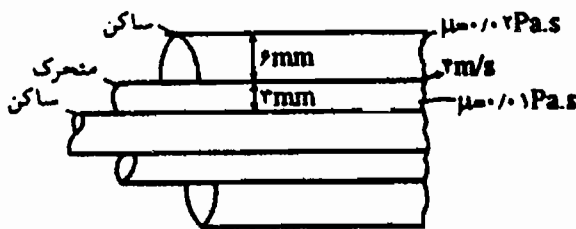
ساکن بزرگ و کوچک به ترتیب عبارت اند از:

(۱) 13.34 Pa , 13.34 Pa

(۲) 6.67 Pa , 6.67 Pa

(۳) 6.67 Pa , 13.34 Pa

(۴) 13.34 Pa , 6.67 Pa



حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\tau_1 = \mu_1 \frac{u}{y_1} = 0.02 \times \frac{4}{0.006} = 13.34 \text{ Pa}$$

$$\tau_2 = \mu_2 \frac{u}{y_2} = 0.01 \times \frac{4}{0.003} = 13.34 \text{ Pa}$$

۱۹ - دیسک نشان داده شده در شکل توسط محوری با سرعت زاویه ای ω به دوران در می آید. فضای بین دیسک و سطح ساکن

روغن پر شده است. مقدار گشتاور لازم برای دوران دیسک در صورتی که $\omega = 2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ ، $D = 8 \text{ cm}$ ، $y = 2 \text{ mm}$ و

(مهندسی عمران ۸۳)

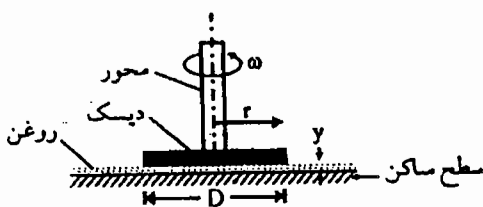
$$\mu = 0.01 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

(۱) $3.5 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}$

(۲) $1.2 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$

(۳) $3.5 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$

(۴) $4.02 \times 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{m}$



حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

به طور کلی در این گونه مسائل داریم:

$$T = F \cdot R = \tau \cdot A \cdot R$$

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{\Delta u}{\Delta y} = \mu \frac{u - 0}{y - 0} = \mu \frac{u}{y}$$

همچنین $u = R\omega$ بنابراین:

$$\tau = \mu \frac{R\omega}{y}$$

$$A = \pi R^2 : \text{مساحت دیسک}$$

با جایگذاری دو رابطه اخیر در رابطه گشتاور داریم:

$$T = \tau \cdot A \cdot R = \mu \frac{R\omega}{y} \cdot \pi R^2 \cdot R = \frac{\mu \pi R^4 \omega}{y}$$

در مورد این تست داریم:

$$T = \frac{\mu \pi R^4 \omega}{y} = \frac{0.01 \times 3.14 \times \left(\frac{0.08}{2}\right)^4 \times 2}{0.002}$$

$$T = 4.02 \times 10^{-5} \text{ N.m}$$

۲۰- سیلندری به طول 2ft و شعاع 0.25ft داخل استوانه‌ای به شعاع 0.3ft می‌چرخد. بین دو استوانه مایعی با ویسکوزیته

$$0.018 \frac{\text{lb}_f \cdot \text{sec}}{\text{ft}^2} \text{ قرار دارد. اگر گشتاور وارده } 0.25 \text{ ft} \cdot \text{lb}_f \text{ باشد، سرعت در جداره سیلندر برحسب } \frac{\text{ft}}{\text{sec}} \text{ برابر است با:}$$

(۱) 0.74 (۲) 1.47 (۳) 0.074 (۴) 0.147

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

در این مساله فاصله بین سیلندر و استوانه زیاد بوده و سرعت را نمی‌توان در این فاصله خطی گرفت. در این حالت از روش انتگرالی استفاده می‌کنیم:

$$T = F \cdot r \rightarrow 0.25 = (\tau \times A) \times r \rightarrow 0.25 = \tau (2\pi r L) r$$

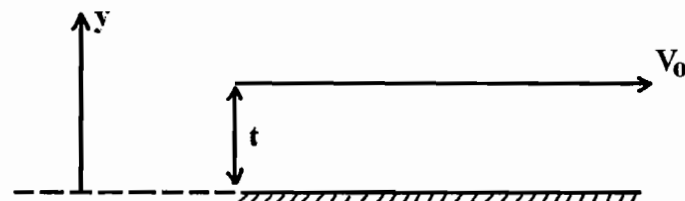
$$\tau = \frac{0.25}{2\pi L} r^2 \rightarrow \tau = \frac{0.0199}{r^2}$$

$$\mu \frac{dv}{dr} = \frac{0.0199}{r^2} \rightarrow \frac{0.0199}{\mu} \int_{0.3}^{0.25} \frac{dr}{r^2} \rightarrow V = 0.737 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$$

۲۱- در شکل زیر منحنی تغییرات سرعت بین دو صفحه به صورت $v = \frac{v_0}{t} y$ می‌باشد. نیروی لازم جهت کشیدن صفحه بالایی

(مهندسی شیمی ۸۵)

متناسب است با:



$$\frac{8\mu}{v_0} \quad (۲)$$

$$\frac{v_0 t}{3} \quad (۱)$$

$$\frac{v_0 \mu}{t} \quad (۴)$$

$$\frac{v_0}{3t} \quad (۳)$$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$F = \tau A = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right) A = \mu \frac{v_0}{t} A$$

بنابراین مشخص است که نیروی موردنیاز برای کشیدن صفحه با $\mu \frac{v_0}{t}$ متناسب است که در گزینه ۴ کامل‌تر ذکر شده است.

۲۲ - لایه‌ای از روغن بین دو صفحه موازی شکل قرار گرفته است. سرعت حرکت صفحه فوقانی را بر حسب $\frac{\text{mm}}{\text{s}}$ حساب

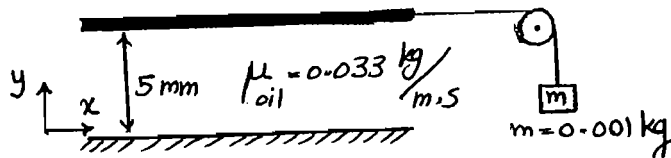
کنید. $\left(g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$

(۱) $\frac{1}{3}$

(۲) $\frac{2}{3}$

(۳) ۱.۵

(۴) ۳



حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

فرض می‌کنیم سرعت حرکت صفحه ثابت باشد:

$$\Sigma F = 0 \rightarrow mg - \left(\mu \frac{\partial V}{\partial y} \right) A = 0$$

$$(0.001 \times 10) - \left(0.033 \times \frac{V}{5 \times 10^{-3}} \right) \times 0.5 = 0 \rightarrow V = 3.03 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

مدول الاستیسیته (مدول بالک)

در درس ترمودینامیک ضریب تراکم پذیری هم‌دما با رابطه $k = \frac{-1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial P} \right)_T$ تعریف شده است.

مدول بالک در حقیقت عکس ضریب تراکم پذیری هم دماست و بنابراین دارای واحد فشار می‌باشد.

$$K = - \frac{dP}{\left(\frac{dv}{v} \right)}$$

مدول بالک

ترم $\frac{dv}{v}$ بیانگر تغییر حجم به ازای واحد حجم است. به عبارت دیگر مدول بالک بیان می‌کند به ازای تغییرات فشار (dP)، واحد حجم به چه میزان تغییر حجم داده است. بدیهی است هرچه مدول بالک بیشتر باشد، سیال تراکم‌ناپذیرتر است. چرا که بزرگ بودن مدول بالک بدین معنا است که در اثر اعمال تغییر فشار زیاد تغییر حجم بسیار کوچکی روی داده است. می‌توان نشان داد که مدول بالک گازهای ایده‌آل از رابطه زیر پیروی می‌کند:

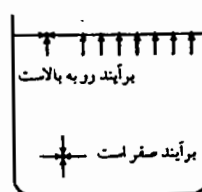
$$K = \rho R T$$

لازم به ذکر است که مدول بالک توسط رابطه زیر نیز قابل بیان است:

$$K = \frac{dP}{\frac{dp}{\rho}}$$

کشش سطحی (Surface Tension)

باتوجه به شکل، ملکولی که در داخل مایع قرار دارد از طرف سایر مولکول‌ها تحت اثر نیرو قرار می‌گیرد که این نیروها در تمام جهات یکسان بوده و برآیند نیروها برابر صفر است. ولی برآیند نیروهای وارد بر مولکولی که در سطح قرار دارد رو به بالا می‌باشد. نیرویی که به مولکول‌های سطحی رو به بالا وارد می‌شود را نیروهای کشش سطحی می‌گویند و با علامت σ نمایش می‌دهند. بنابراین نیروهای کشش سطحی ناشی از نیروهای پیوستگی (Cohesion) است. واحد کشش سطحی $\frac{N}{m}$ می‌باشد و از آن‌جاکه نیروی کشش سطحی به محیط جسم وارد می‌شود در حل مسایل برای یافتن مقدار نیرو می‌بایست کشش سطحی را در طول مورد نظر ضرب کرد. لازم به ذکر است با افزایش دما نیروهای بین مولکول کاهش یافته و لذا کشش سطحی کاهش می‌یابد. توجه: کشش سطحی باعث می‌شود فشار داخل قطرات و جت‌های بار یک مایع از فشار محیط بیشتر گردد.



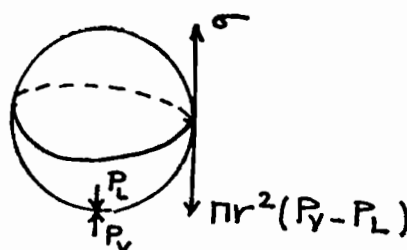
مطابق شکل اگر یک قطره در داخل سیال را در نظر بگیریم، P_V فشار بخار درون حباب، P_L فشار مایع و σ کششی سطحی فصل مشترک قطره، و سیالی که در آن قرار دارد بوده و شعاع قطره می‌باشد. از موازنه نیروها داریم:

نیروی کشش سطحی = نیروی فشار

$$\pi r^2 (P_V - P_L) = 2 \pi r \sigma$$

$$P_V - P_L = \frac{2\sigma}{r}$$

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{r}$$



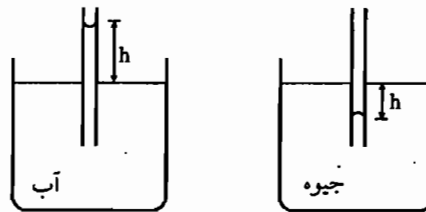
برای یک حباب داریم:

$$\Delta P = \frac{4\sigma}{R}$$

در صورتی که در مورد یک جت استوانه‌ای می‌توان نوشت:

$$\Delta P = \frac{\sigma}{r}$$

صعود و نزول سیال در لوله موئین



اگر سیستم نمایش یافته در شکل را در نظر بگیریم دو نیروی مختلف وجود دارند که عبارت‌اند از نیروهای چسبندگی بین مایع و شیشه، و نیروهای کشش سطحی (به عبارت دیگر نیروهای پیوستگی بین مولکول‌های خود مایع). اگر نیروی‌های چسبندگی بیشتر از کشش سطحی باشند سیال در لوله موئین صعود می‌کند به‌عنوان مثال آب در لوله موئین صعود می‌کند. بالعکس اگر نیروهای کشش سطحی بیشتر از نیروهای چسبندگی باشد سیال در لوله موئین نزول می‌کند، به‌عنوان مثال جیوه در لوله موئین نزول می‌کند. سیال در لوله موئین تا جایی بالا می‌رود که وزن ستون مایع برابر نیروی کشش سطحی باشد باتوجه به این نکته ارتفاع صعود و نزول سیال در لوله موئین را به‌دست می‌آوریم:

نیروی کشش سطحی = وزن ستون سیال

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

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

در رابطه فوق:

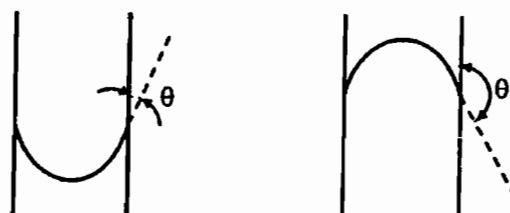
$2\pi r$: محیط لوله موئین

$\pi r^2 h$: حجم سیال در لوله موئین

σ : کشش سطحی

γ : وزن مخصوص سیال برابر ρg

θ : زاویه‌ای که سطح آزاد مایع با قسمت مثبت محور y ها می‌سازد. لازم به ذکر است که نیازی به علامت منفی در سیستم‌هایی که منجر به نزول موئینگی می‌شوند نیست چون θ بزرگتر از زاویه قائم خواهد شد و $\cos \theta$ منفی است که بیانگر نزول مایع در لوله موئین می‌باشد.



تست‌های بخش کشش سطحی و مدول بالک

۱ - ضریب کشش سطحی برای یک قطره کروی به شعاع r و فشار داخلی P با کدام گزینه برابر است؟

(مهندسی شیمی ، مهندسی بیوتکنولوژی و مهندسی مخازن هیدروکربوری ۷۸)

$$\sigma = \frac{2Pr}{2} \quad (۴)$$

$$\sigma = \frac{Pr}{3} \quad (۳)$$

$$\sigma = \frac{Pr}{2} \quad (۲)$$

$$\sigma = Pr \quad (۱)$$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$P = \frac{2\sigma}{r} \Rightarrow \sigma = \frac{Pr}{2}$$

۲ - برای یک قطره و یک جت هم قطر می‌توان گفت: (مهندسی بیوتکنولوژی مهندسی مخازن هیدروکربوری و مهندسی هسته‌ای ۸۱)

(۱) فشار قطره و جت برابر است.

(۲) فشار قطره نصف فشار جت است.

(۳) فشار قطره دو برابر فشار جت است.

(۴) بستگی به جنس مایع تشکیل دهنده قطره دارد.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\Delta P_1 = \frac{2\sigma}{r} \quad \text{قطره}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = 2$$

$$\Delta P_2 = \frac{\sigma}{r} \quad \text{جت استوانه}$$

۳ - رابطه بین فشار درون یک حباب توخالی و کشش سطحی مایع تشکیل دهنده آن چگونه است؟

(مهندسی مخازن هیدروکربوری ۸۲)

$$P = 2\sigma R \quad (۴)$$

$$P = \frac{2\sigma}{R} \quad (۳)$$

$$P = 4\sigma R \quad (۲)$$

$$P = \frac{4\sigma}{R} \quad (۱)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۴ - سیمی به قطر خیلی کوچک به صورت حلقه‌ای به قطر D در آورده شده است. این حلقه به آهستگی روی سطح آزاد مایعی به

(مهندسی مکانیک ۸۰)

کشش سطحی σ قرار می‌گیرد. نیروی وارد از طرف سیال به حلقه کدام است؟

$$\frac{2\pi D^2}{4} \sigma \quad (۴)$$

$$2\pi D \sigma \quad (۳)$$

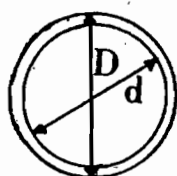
$$\frac{\pi D^2}{4} \sigma \quad (۲)$$

$$\pi D \sigma \quad (۱)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

اگر فرض کنیم یک سیم قطور داریم، از آنجا که حلقه دارای یک محیط داخلی و یک محیط خارجی می‌باشد دو محیط برای حلقه در

نظر می‌گیریم.

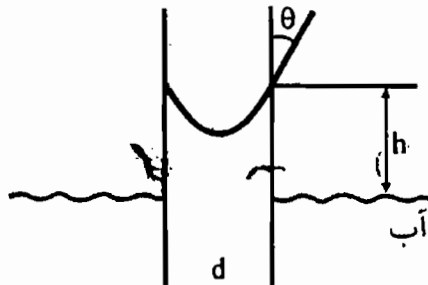


در یک سیم به قطر خیلی کوچک $d = D$ بوده و خواهیم داشت:

$$F = \sigma (\pi d + \pi D)$$

$$F = 2\pi \sigma D$$

۵- با در نظر گرفتن شکل روبرو، ارتفاع h برابر است با: d قطر لوله موئینه و σ کشش سطحی می باشد. (مهندسی شیمی آزاد ۷۹)



$$h = 4\sigma \sin \theta / \rho g d \quad (1)$$

$$h = \rho g d / 4\sigma g_c \quad (2)$$

$$h = 4\sigma \cos \theta / \rho g d \quad (3)$$

$$h = \rho g d / 4\sigma g_c \sin \theta \quad (4)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\gamma r} = \frac{4\sigma \cos \theta}{\gamma d} = \frac{4\sigma \cos \theta}{\rho g d}$$

(مهندسی نفت ۸۲)

۶- محیط پیوسته در مکانیک سیالات محیطی است که:

(۱) مولکولها تمام محیط را اشغال نمایند.

(۲) ساختمان مولکولی مبنای محاسبات قرار می گیرد.

(۳) بدون توجه به ساختمان مولکولی محیط را پیوسته در نظر گرفته، حتی در خواص سیال.

(۴) بدون توجه به ساختمان مولکولی محیط را پیوسته در نظر گرفته، ولی عدم پیوستگی در بعضی خواص سیال مجاز است.

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

۷- مایعی با مدول الاستیسیته $204 \times 10^7 \text{ Pa}$ تحت افزایش فشار 17 MPa ، چند درصد کاهش حجم خواهد داشت ؟

• (مهندسی عمران آزاد ۸۱)

1.6 (۴)

0.83 (۳)

1.2 (۲)

3.2 (۱)

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$K = -\frac{dP}{\frac{dV}{V}} \Rightarrow \frac{dV}{V} \times 100 = -\frac{dP}{K} \times 100 = -\frac{17 \times 10^6}{204 \times 10^7} \times 100 = -0.83$$

علامت منفی به منزله کاهش حجم می باشد.

تست‌های فصل اول

(مهندسی عمران آزاد ۷۹)

$$1 - \text{رابطه } \tau = \mu \frac{du}{dy}$$

- (۱) در جریان مغشوش صادق است.
 - (۲) در جریان سیال ایده‌آل صادق است.
 - (۳) در هر جریان سیالی صادق است.
 - (۴) در جریان موازی لایه‌ای سیال نیوتنی صادق است.
- حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

(مهندسی هسته‌ای ۸۳)

۲ - کدام یک از عبارات‌های زیر صحیح است؟

- (۱) در سیالات نیوتونی سرعت تغییر شکل زاویه‌ای ثابت است.
 - (۲) در سیالات نیوتنی سرعت تغییر شکل زاویه‌ای از تنش برشی موثر مستقل است.
 - (۳) در سیالات نیوتنی بین تنش برشی موثر و سرعت تغییر شکل زاویه‌ای رابطه‌ای خطی وجود دارد و لزجت سیال ثابت است.
 - (۴) در سیالات نیوتنی بین تنش برشی موثر و سرعت تغییر شکل زاویه‌ای رابطه‌ای خطی وجود دارد و لزجت با افزایش تنش برشی به‌صورت خطی افزایش می‌یابد.
- حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

(مهندسی هسته‌ای ۷۶)

۳ - کدام عبارت صحیح‌تر است ؟ دانسیته یک سیال وقتی ثابت است که مستقل از باشد .

- (۱) دما (۲) دما و فشار (۳) دما ، فشار و سرعت (۴) فشار

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

(مهندسی هسته‌ای ۷۵)

۴ - کدام یک از عبارات زیر صحیح‌تر است؟

- (۱) سیال نمی‌تواند تنش برشی را تحمل نماید.
 - (۲) در هر نقطه از سیال، تنش برشی مستقل از جهت است.
 - (۳) تنش برشی در سیال بدون اصطکاک صفر است.
 - (۴) تنش برشی در سیال ساکن در اثر تبادل مولکولی است.
- حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۵- سرعت صوت در است ؟

(مهندسی هسته‌ای آزاد ۷۹)

(۱) اجسام جامد بزرگتر از سرعت صوت در سیالات

(۲) اجسام جامد کوچکتر از سرعت صوت در گازها

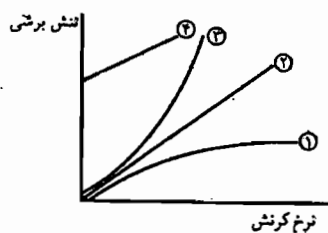
(۳) سیالات مستقل از دانسیته سیال

(۴) گازها بی‌نهایت

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۶- منحنی تنش و نرخ کرنش برای چهار سیال مختلف در شکل زیر رسم شده‌اند. کدام یک از این چهار سیال نیوتنی هستند ؟

(مهندسی هسته‌ای آزاد ۷۷)



(۱) شماره ۲

(۲) شماره ۱

(۳) شماره‌های ۲ و ۴

(۴) شماره ۴

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۷- رابطه $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ ، که u سرعت در جهت جریان است و y عمود بر جهت جریان و μ لزجت سیال و τ تنش برشی می‌باشد:

(مهندسی عمران آزاد ۸۱)

(۱) در هر جریان سیال ایده‌آل و حقیقی صادق است.

(۲) فقط در جریان سطح زبر روی جدار جامد صادق است.

(۳) در جریان لایه‌ای (لامینار) سیال نیوتنی روی صفحه صادق است.

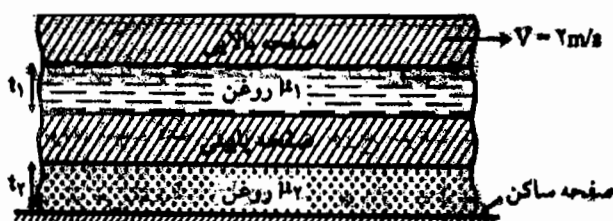
(۴) در رابطه بالا $\frac{du}{dy}$ تغییرات سرعت در جهت جریان و τ نیروی مقاوم روی سطح جدار جامد می‌باشد.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۸- مطابق شکل ، صفحه بالایی با سرعت 2 m/s به سمت راست در حرکت بوده و صفحه پایینی بین دو لایه روغن به لزجت‌های

μ_1 و μ_2 و به ضخامت t_1 و t_2 می‌تواند آزادانه حرکت نماید. در صورتی که $\mu_1 = 0.1 \text{ Pa.s}$ ، $t_1 = 2 \text{ mm}$ ، $\mu_2 = 0.05 \text{ Pa.s}$ و

$t_2 = 1 \text{ mm}$ باشد، سرعت صفحه پایینی برابر است با (m/s) :



(۱) 0.5

(۲) 2.0

(۳) 1.5

(۴) 1.0

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

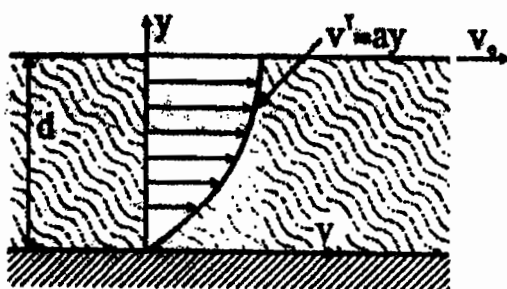
معنای اینکه صفحه وسطی می‌تواند آزادانه حرکت نماید این است که برآیند نیروهای وارد بر سطح صفر است و یا به عبارتی داریم :

$$F_1 = F_2 \Rightarrow \frac{F_1}{A} = \frac{F_2}{A} \Rightarrow \tau_1 = \tau_2 \Rightarrow \mu_1 \frac{du_1}{dy} = \mu_2 \frac{du_2}{dy}$$

$$\Rightarrow \mu_1 \frac{\Delta u_1}{t_1} = \mu_2 \frac{\Delta u_2}{t_2} \Rightarrow \mu_1 \frac{2-V}{t_1} = \mu_2 \frac{V}{t_2}$$

$$0.1 \times \frac{2-V}{2 \times 10^{-3}} = 0.05 \times \frac{V}{1 \times 10^{-3}} \rightarrow V = 1 \text{ m/s}$$

۹- در شکل زیر، سیالی با لزجت μ بین دو صفحه قرار دارد، به طوری که صفحه پایینی ثابت و صفحه بالایی با سرعت V_0 حرکت می‌نماید. اگر توزیع سرعت بین این دو صفحه به صورت سهمی باشد، تنش برشی اعمال شده از سیال بر صفحه متحرک کدام است؟ (a پارامتر ثابتی فرض شود). (مهندسی عمران ۸۰)



(۱) $2\mu V_0 d$

(۲) $\mu \frac{V_0}{d}$

(۳) $2\mu \frac{V_0}{d}$

(۴) $\mu \frac{V_0}{2d}$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

برای تعیین مقدار a از شرایط مرزی استفاده می‌کنیم. در $y = d$ سرعت برابر V_0 است بنابراین:

$$V^2 = ay$$

$$V \Big|_{y=d} = V_0 \Rightarrow V_0^2 = ad \Rightarrow a = \frac{V_0^2}{d}$$

$$\tau = \mu \frac{dV}{dy} \Big|_{y=d} = \mu \frac{d\sqrt{ay}}{dy} \Big|_{y=d} = \mu \sqrt{a} \frac{1}{2\sqrt{y}} \Big|_{y=d}$$

$$\tau = \frac{1}{2} \mu \sqrt{\frac{a}{b}} = \mu \frac{V_0}{2d}$$

۱۰- توزیع سرعت یک مایع لزج ($\mu = 0.9 \text{ N.s/m}^2$) بر روی یک سطح صلب به وسیله رابطه $U = 0.68y - y^2$ داده شده است. U ، سرعت مایع بر حسب m/s در فاصله y متر از سطح صلب می‌باشد. تنش برشی در نقطه $y = 0.17 \text{ m}$ از سطح برابر است با:

(مهندسی عمران ۷۴)

(۴) 0.153 N/m^2

(۳) 0.306 N/m^2

(۲) 0.340 N/m^2

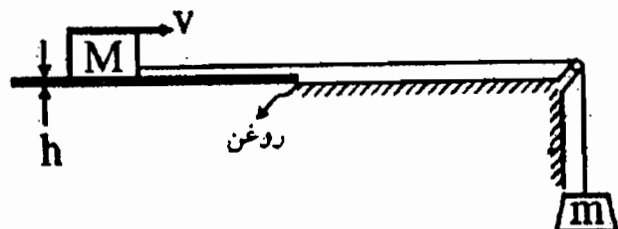
(۱) 0.612 N/m^2

حل : گزینه ۳ صحیح است.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \Big|_{y=0.17\text{m}}, \quad u = 0.68y - y^2 \Rightarrow \frac{du}{dy} = 0.68 - 2y$$

$$\Rightarrow \tau = 0.9 \times (0.68 - 2 \times 0.17) = 0.306 \text{ N/m}^2$$

۱۱ - در سیستم مقابل جرم M با مساحت A بر روی سطح افقی پوشیده شده از قشری به ضخامت h از روغن می لغزد. حداکثر سرعت V در سیستم چقدر است؟



$$V = \frac{mgh}{\mu A} \quad (1)$$

$$V = \frac{(m+M)gh}{\mu A} \quad (2)$$

$$V = \left[\frac{m+M}{m} \right] \frac{gh}{\mu A} \quad (3)$$

(۴) تابعی از زمان است.

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

سرعت وزنه پس از شروع حرکت (از سرعت صفر) تغییر کرده تا به یک سرعت ثابت که سرعت حد نامیده می شود، برسد. بنابراین برای محاسبه سرعت حد باید برآیند نیروها را برابر صفر قرار داد :

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow w = F_f$$

$$F_f = \tau A = \mu \frac{du}{dy} A = \mu \frac{u}{h} A, \quad w = mg$$

$$mg = \mu \frac{u}{h} A \Rightarrow u = \frac{mgh}{\mu A}$$

۱۲ - جریان آبی با سرعت حداکثر 50 cm/s روی یک سطح شیبدار تحت اثر ثقل حرکت می کند. اگر جریان ورقه ای بوده ، شیب کف یک درجه و توزیع سرعت در عمق خطی باشد، ضخامت لایه آب در حال حرکت چند میلی متر می باشد؟
($g = 9.81 \text{ m/s}^2$ و $\nu = 0.8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)
(مهندسی عمران ۷۵)

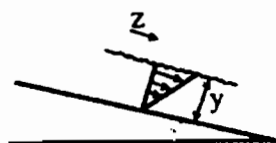
(۴) هیچکدام

(۳) 0.8

(۲) 1.53

(۱) 2.1

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.



$$\Sigma F_z = 0 \rightarrow F_f - w \sin \theta = 0 \Rightarrow F_f = w \sin \theta$$

$$F_f = \tau A = \mu \frac{du}{dy} A = \mu \frac{u}{y} A$$

$$w = mg = \rho v g = \rho (A y) g$$

$$\Rightarrow \rho A y g \sin \theta = \mu \frac{u}{y} A \Rightarrow y^2 = \frac{\mu u}{\rho g \sin \theta} = \frac{\rho \nu u}{\rho g \sin \theta}$$

$$y = \sqrt{\frac{\nu u}{g \sin \theta}} = \sqrt{\frac{0.8 \times 10^{-6} \times 0.5}{9.81 \sin 1^\circ}} = 1.53 \text{ mm}$$

۱۳ - توزیع سرعت در لوله‌ای به قطر مقطع ۴ متر، با $u=4-r^2$ تعریف شده است. r فاصله از محور لوله است. لزجت سیالی که در لوله جریان دارد برابر ۰.۰۰۱ کیلوگرم بر متر بر ثانیه است. تنش برشی وارد بر جداره لوله برابر است با: (مهندسی عمران آزاد ۸۱)

(۲) ۰.۰۰۶ نیوتن بر متر مربع

(۱) ۰.۰۰۴ نیوتن بر متر مربع

(۴) صفر

(۳) ۰.۰۰۲ نیوتن بر متر مربع

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\tau = \mu \left. \frac{du}{dy} \right|_{r=2m}$$

$$u = 4 - r^2 \Rightarrow \frac{du}{dy} = -2r \Rightarrow \left. \frac{du}{dy} \right|_{r=2m} = -2 \times 2 = -4 \text{ s}^{-1}$$

$$\tau = 0.001 \times 4 = 0.004 \text{ N/m}^2$$

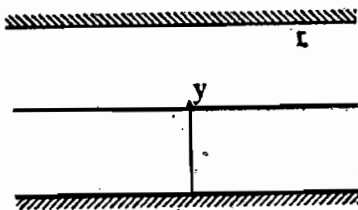
۱۴ - توزیع سرعت در لوله برابر $u = 20y - 10y^2$ است. (y به متر و u به متر در ثانیه) لزجت برابر ۱.۰ نیوتن ثانیه به متر مربع و شعاع r_0 برابر ۰.۲۰ متر است. تنش برشی در دیواره لوله چقدر است؟ (مهندسی عمران ۷۲)

(۱) ۱۰ پاسکال

(۲) ۲۰ پاسکال

(۳) صفر

(۴) ۱۵ پاسکال



حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\tau = \mu \left. \frac{du}{dy} \right|_{y=0}$$

$$u = 20y - 10y^2 \Rightarrow \frac{du}{dy} = 20 - 20y$$

$$\tau = 1 \times (20 - 20 \times 0) = 20 \text{ Pa}$$

۱۵ - یک ورق نازک و با مساحت زیاد بین دو سطح ثابت که به فاصله کم (t) از هم قرار دارند، طبق شکل حرکت داده می‌شود. اگر در یک طرف صفحه متحرک روغن با گرانشوی μ و در طرف دیگر آن روغن با گرانشوی $k\mu$ وجود داشته باشد، صفحه متحرک باید در چه فاصله‌ای از سطح پایین قرار گیرد تا نیروی لازم جهت کشیدن آن با سرعت ثابت V حداقل باشد؟ (مهندسی مکانیک ۷۶)



(۱) $\frac{t}{2}$

(۲) $t/\sqrt{k}$

(۳) $t/(1+\sqrt{k})$

(۴) $\sqrt{k} t / (1+\sqrt{k})$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\tau = \tau_1 + \tau_2$$

$$F = \tau A = (\tau_1 + \tau_2) A = \left[\mu_1 \frac{v}{h_1} + \mu_2 \frac{v}{h_2} \right] A$$

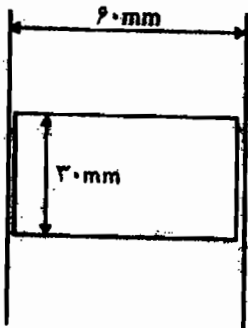
$$F = A V \left[\frac{\mu_1}{h_1} + \frac{\mu_2}{h_2} \right] = \mu A V \left[\frac{k}{x} + \frac{1}{t-x} \right]$$

که در این رابطه x فاصله صفحه متحرک از سطح پایین می باشد. برای تعیین x به صورتی که F حداقل باشد از مشتق گیری استفاده می کنیم.

$$\frac{dF}{dx} = \mu A V \left[-\frac{k}{x^2} + \frac{1}{(t-x)^2} \right] = 0$$

$$\Rightarrow \frac{k}{x^2} = \frac{1}{(t-x)^2} \Rightarrow \frac{\sqrt{k}}{x} = \frac{1}{t-x} \Rightarrow x = \frac{t\sqrt{k}}{1+\sqrt{k}}$$

۱۶ - در شکل زیر در داخل لوله قائم پر از روغن جسم استوانه ای به جرم 300 گرم و به قطر 56 میلی متر با سرعت یک متر بر ثانیه پایین می آید. اختلاف فشار روغن در بالا و پایین استوانه چقدر است؟ دانسیته روغن برابر با 900 کیلوگرم بر متر مکعب و ویسکوزیته دینامیکی روغن برابر با 0.1 نیوتن ثانیه بر متر مربع می باشد. (مهندسی مکانیک ۷۳)



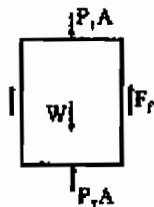
$$1.2 \times 10^3 \text{ N/m}^2 \quad (۱)$$

$$1.45 \times 10^3 \text{ N/m}^2 \quad (۲)$$

$$1.09 \times 10^3 \text{ N/m}^2 \quad (۳)$$

$$1.6 \times 10^3 \text{ N/m}^2 \quad (۴)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد. با توجه به شکل داریم:
از موازنه نیروها داریم:



$$P_1 A + w = P_2 A + F_f \Rightarrow P_1 - P_2 = \frac{F_f - w}{A}$$

$$F_f = \tau A_s = \mu \frac{du}{dy} A_s = \mu \frac{u}{y} (\pi D L) = 0.1 \times \frac{1}{2 \times 10^{-3}} (\pi \times 0.056 \times 0.03)$$

$$F_f = 0.264 \text{ N}$$

$$P_2 - P_1 = \frac{0.3 \times 9.81 - 0.264}{\pi \times \frac{0.0562}{4}} = 1.09 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

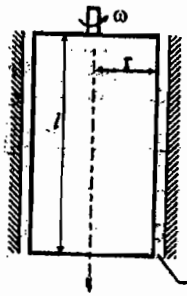
۱۷ - دو استوانه متحد المركز طویل و به طول b را در نظر بگیرید. سیالی با ضریب چسبندگی μ بین آن دو قرار دارد. استوانه داخلی (با شعاع r_1) را با سرعت زاویه‌ای ω و گشتاور T می‌چرخانیم، ولی استوانه خارجی (با شعاع r_2) ساکن است. در حالت دایم تنش برشی روی سطح استوانه خارجی از کدام رابطه زیر به دست می‌آید؟

(۱) $\frac{\mu r_1 \omega}{r_2 - r_1}$ (۲) $\frac{T}{\pi r_1^2 b}$ (۳) $\frac{\mu r_2 \omega}{r_2 - r_1}$ (۴) $\frac{T}{\pi r_2^2 b}$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{u_1}{r_2 - r_1} = \mu \frac{r_1 \omega}{r_2 - r_1}$$

۱۸ - در شکل زیر با ثابت نگه داشتن ضخامت فیلم روغن شعاع استوانه نصف می‌شود، میزان گشتاور لازم برای چرخاندن سیلندر با توجه به ثابت بودن سرعت چرخشی ω و جنس روغن، چند برابر می‌شود؟ (مهندسی مکانیک ۷۷)



روغن با ضخامت t و لزجت μ

(۱) $\frac{1}{8}$ (۲) $\frac{1}{6}$ (۳) $\frac{1}{4}$ (۴) $\frac{1}{2}$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$T \propto r^3 \rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3 = \left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{8}$$

۱۹ - یک شفت به قطر ۱۰ سانتی‌متر و طول ۱۰ سانتی‌متر در داخل یک غلاف با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه می‌چرخد. فاصله بین شفت و غلاف به میزان ۰.۰۳ سانتی‌متر با روغن به ویسکوزیته $\mu = 0.008 \text{ kg/m.s}$ پر شده است. توان لازم برای چرخش شفت برابر است با:

(۱) ۰.۲۵ W (۲) ۰.۳۳ W (۳) ۰.۵ W (۴) ۰.۶۶ W

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$u = R\omega = R \left(\frac{2\pi N}{60} \right) = 0.05 \times \left(\frac{2 \times 3.14 \times 120}{60} \right) = 0.63 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

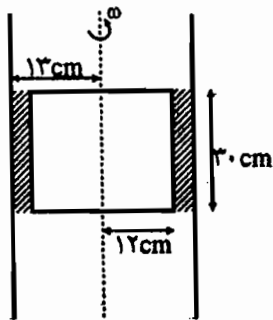
$$F = \tau A = \left(\mu \frac{u}{h} \right) (\pi DL)$$

$$F = \left(0.008 \times \frac{0.63}{0.03 \times 10^{-2}} \right) \times (\pi \times 0.1 \times 0.1) \rightarrow F = 0.53 \text{ N}$$

توان لازم برای چرخش شفت با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P = F \cdot u \rightarrow P = 0.53 \times 0.63 = 0.33 \text{ Watt}$$

۲۰ - فضای بین دو استوانه هم محور به شعاع‌های ۱۲ cm و ۱۳ cm را از سیالی به ضریب لزجت دینامیکی μ پر کرده‌ایم. استوانه داخلی را با حرکت یکنواخت و با سرعت زاویه‌ای 2 rad/sec به دوران وا داشته‌ایم. اگر گشتاور لازم 0.88 N.m باشد، ضریب لزجت دینامیکی μ بر حسب $\text{Pa} \cdot \text{sec}$ چقدر خواهد بود؟ (مهندسی عمران آزاد ۸۲)



(۱) 0.675

(۲) 0.794

(۳) 1.35

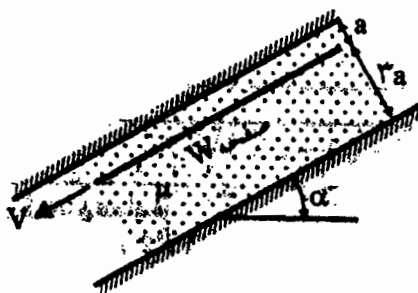
(۴) صفر

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$T = \frac{2\pi R^3 \mu \omega L}{h}$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{Th}{2\pi R^3 \omega L} = \frac{0.88 \times 1 \times 10^{-2}}{2\pi \times 0.12^3 \times 2 \times 0.3} = 1.35 \text{ Pa} \cdot \text{sec}$$

۲۱ - صفحه‌ای مطابق شکل بین دو سطح مستوی با سرعت ثابت V به سمت پایین حرکت می‌کند. فضای بین دو سطح مستوی با سیالی به لزجت μ پر شده است. اگر توزیع سرعت در هر دو قسمت جریان خطی بوده و سطح صفحه متحرک برابر A فرض شود، وزن این صفحه را محاسبه نمایید. (مهندسی عمران ۷۲)



$$W = \frac{\mu VA}{a \sin \alpha} \quad (۱)$$

$$W = \frac{\mu VA}{3a \sin \alpha} \quad (۲)$$

$$W = \frac{4\mu VA}{3a \sin \alpha} \quad (۳)$$

$$W = \frac{2\mu VA}{3a \sin \alpha} \quad (۴)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

اگر جهت z را جهت حرکت بنامیم (موازی با سطح شیب‌دار):

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow F_f - w \sin \alpha = 0 \rightarrow F_f = w \sin \alpha$$

$$F_f = F_1 + F_2 = \tau_1 A + \tau_2 A = A \left[\mu \frac{V}{a} + \mu \frac{V}{3a} \right]$$

$$F_f = \frac{4\mu VA}{3a}$$

$$\Rightarrow \frac{4\mu VA}{3a} = w \sin \alpha \rightarrow w = \frac{4\mu VA}{3a \sin \alpha}$$

۲۲- یک بلوک فلزی به جرم 8 kg بر روی سطح شیبدار 30° به سمت پایین حرکت می‌کند. بین بلوک و سطح شیبدار به ضخامت 2mm روغنی به ویسکوزیته 0.29 kg/m.s پر شده است. سطح بلوک در تماس با سطح 0.2 m^2 است. سرعت نهایی پایین آمدن بلوک برابر است با: $(g=9.81 \text{ m/s}^2)$ (مهندسی شیمی آزاد ۷۹)



(۱) $V = 0.138 \text{ m/s}$

(۲) $V = 2.70 \text{ m/s}$

(۳) $V = 2.34 \text{ m/s}$

(۴) $V = 1.35 \text{ m/s}$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\sum F = 0$$

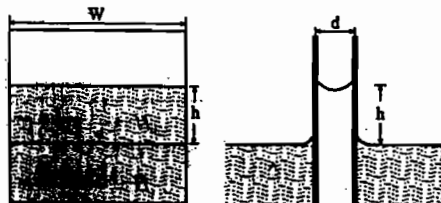
$$w \sin \theta - F_f = 0 \Rightarrow w \sin \theta = F_f$$

$$w \sin \theta = \tau A \Rightarrow w \sin \theta = \mu \frac{u}{h} A$$

$$u = \frac{h w \sin \theta}{\mu A}$$

$$u = \frac{2 \times 10^{-3} \times 8 \times 9.81 \times \sin 30^\circ}{0.29 \times 0.2} = 1.35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

۲۳- دو صفحه شیشه‌ای تمیز و موازی با لایه‌ای از آب به ضخامت 1mm از یکدیگر جدا شده‌اند. ارتفاع h که به خاطر اثر موینگی پدید می‌آید به کدام یک از عوامل بستگی ندارد؟ (مهندسی مکانیک آزاد ۷۹)



(۱) W (عرض صفحات)

(۲) d (فاصله دو صفحه)

(۳) σ (کشش سطحی سیال)

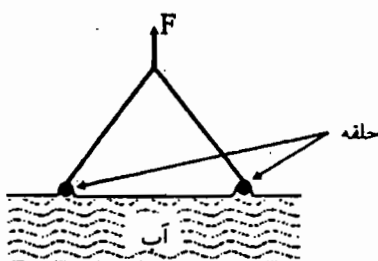
(۴) به هر سه عامل بالا وابسته است.

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

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

مشخص است که ارتفاع h به عرض صفحات وابسته نیست.

۲۴- در شکل زیر، نیروی F برای جدا کردن حلقه‌ای به قطر 20 میلی‌متر از روی سطح آب برابر است با: $(\sigma_{\text{آب}} = 0.074 \text{ N/m})$ (مهندسی معدن ۸۰)



(۱) 0.0093 N

(۲) 0.0047 N

(۳) 0.0037 N

(۴) 0.0023 N

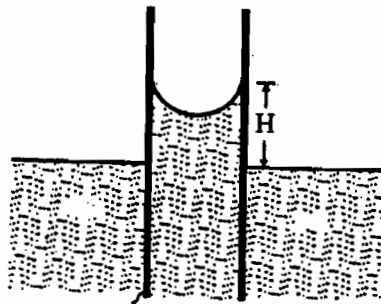
حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

در یک حلقه به قطر کم می توان نوشت:

$$F = 2\pi D \sigma \rightarrow F = 2 \times 3.14 \times (20 \times 10^{-3}) \times (0.074)$$

$$F = 0.00929 \text{ N}$$

۲۵ - یک لوله را مطابق شکل در آب وارد کرده سطح آب در لوله بالا می آید. اگر قطر لوله d وزن مخصوص γ_w و کشش سطحی σ کشش سطحی و زاویه تماس θ باشد. ارتفاع بالا رفتن آب برابر است با:



$$H = \frac{2\sigma\gamma_w}{d \cos \theta} \quad (1)$$

$$H = \frac{4\sigma \cos \theta}{d \gamma_w} \quad (2)$$

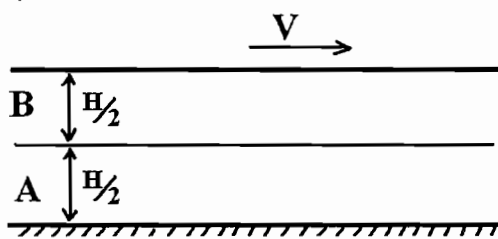
$$H = \frac{2d}{3} \cos \theta \quad (3)$$

$$H = \frac{2\gamma \tan \theta}{d \gamma_w} \quad (4)$$

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\gamma r} = \frac{4\sigma \cos \theta}{\gamma d}$$

۲۶ - دو مایع غیرقابل امتزاج A و B بین دو صفحه موازی مطابق شکل قرار گرفته اند. اگر صفحه توخالی با سرعت ثابت V حرکت کند و صفحه پایینی ثابت باشد و اگر $\mu_B > \mu_A$ باشد، کدام یک از گزینه های زیر درست است؟ (مهندسی شیمی ۸۵)



(۱) گرادیان سرعت در هر دو لایه خطی و شیب در دو لایه یکسان است.

(۲) توزیع سرعت در هر دو لایه خطی و گرادیان سرعت در لایه B کوچکتر است.

(۳) توزیع سرعت در هر دو لایه خطی و گرادیان سرعت در لایه A کوچکتر است.

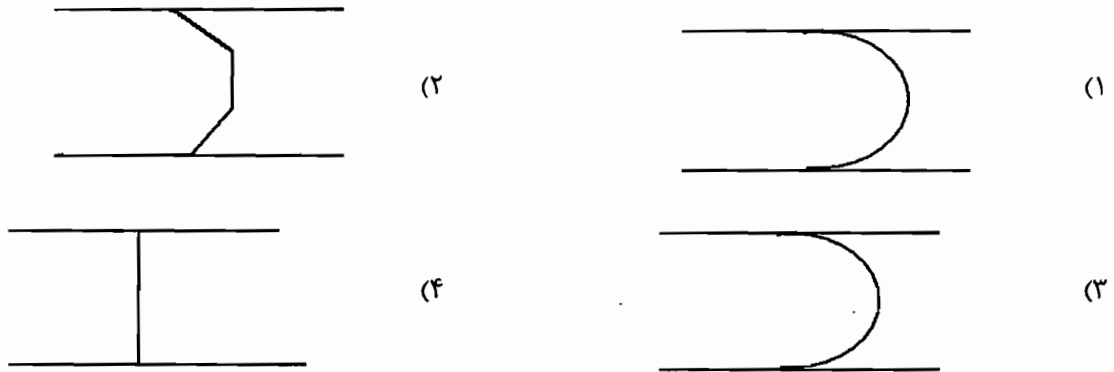
(۴) گرادیان در لایه های A و B ارتباطی به مقدار ویسکوزیته دو سیال ندارد.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$F_A = F_B \rightarrow \mu_A \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_A = \mu_B \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_B \rightarrow \frac{\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_A}{\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_B} = \frac{\mu_B}{\mu_A}$$

و چون $\mu_B > \mu_A$ لذا $(\Delta y)_A = (\Sigma y)_B$ ،

۲۷ - برای جاری شدن دسته‌ای از سیالات، می‌بایست مقدار تنش اعمال شده روی سیال از یک مقدار مشخص (T_y) بیشتر باشد. چنانچه این سیال از لوله‌ای عبور کند، کدام یک از گزینه‌های زیر می‌تواند نشان دهنده پروفایل سرعت این سیال در لوله در جریان آرام باشد؟ (مهندسی شیمی ۸۵)



حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

فصل دوم

استاتیک سیالات

در استاتیک سیالات، سیال ساکن را بررسی می‌کنیم. در سیال ساکن و نیز در سیالی که مانند جسم صلب حرکت می‌کند، لایه‌های مجاور سیال نسبت به هم حرکت نمی‌کنند و لذا تنش برشی صفر است. بنابراین فقط تنش‌های فشاری (نیروهای عمودی) مطرح می‌گردند.

در یک سیال ساکن تغییرات فشار با روابط زیر داده می‌شود:

$$\frac{dP}{dy} = -\rho \frac{g}{g_c} \quad \frac{dP}{dx} = 0$$

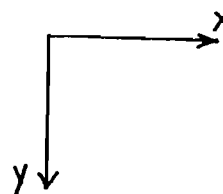
رابطه بالا بدین معنی است که در سیال ساکن در یک عمق معین فشار مقدار ثابتی است، به عبارت دیگر تغییر فشار در راستای افق در یک عمق معین نداریم و فشار صرفاً با تغییر عمق تغییر می‌کند بنابراین :

$$\frac{dP}{dx} = 0 \quad \frac{dP}{dy} = -\rho \frac{g}{g_c}$$



توجه می‌شود که علامت منفی بستگی به جهت انتخابی محور y ها دارد که اگر جهت مثبت محور y ها در خلاف جهت با نیروی جاذبه باشد، قرار دادن علامت منفی الزامی است و در صورتی که جهت مثبت محور y ها در جهت جاذبه زمین باشد نیازی به علامت منفی نیست.

$$\frac{dP}{dx} = 0 \quad \frac{dP}{dy} = \rho \frac{g}{g_c}$$



تذکر مهم: بهتر است، دانشجویان کلیه روابط را با ترم g_c یاد بگیرند و زمانی که می‌خواهند در سیستم SI از روابط استفاده کنند g_c را برابر یک قرار دهند. در این جزوه برای شلوغ نشدن روابط، g_c در بسیاری از موارد نوشته نشده، به هر حال ترم g_c در سیستم انگلیسی نباید فراموش شود.

طبق رابطه $dp = -\rho g dy$ برای محاسبه تغییرات فشار با تغییر ارتفاع باید از این رابطه انتگرال گیری کرد. اگر سیال مورد نظر تراکم ناپذیر باشد. به عبارت دیگر اگر ρ ثابت باشد می‌توان نوشت:

$$\int_{p_0}^p dp = -\int \rho g dy = -\rho g \int_0^y dy$$

$$P = P_0 - \rho g y$$

این رابطه نشان می‌دهد که فشار در یک سیال تراکم‌ناپذیر با ارتفاع به‌طور خطی تغییر می‌کند. اما اگر ρ با ارتفاع تغییر کند دو حالت را می‌توان در نظر گرفت. حالت اول حالتی است که سیال هم دما است. به عبارت دیگر اگر سیال را گاز ایده‌آل هم دما در نظر بگیریم داریم:

$$\rho = \frac{RM}{RT} \quad \text{در گاز ایده‌آل:}$$

$$dP = -\frac{PM}{RT} g dy$$

$$\frac{dP}{P} = -\frac{M}{RT} g dy$$

$$\int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = \int_{y_0}^y \frac{-Mg}{RT} dy$$

و با انتگرال گیری داریم:

$$\ln \frac{P}{P_0} = \frac{-Mg}{RT} (y - y_0)$$

$$P = P_0 e^{-\frac{Mgy}{RT}}$$

و اگر $y_0 = 0$ در نظر گرفته شود:

یعنی در یک سیال تراکم‌پذیر با افزایش y ، فشار به‌صورت اکسپونانسیالی کاهش می‌یابد.

در مسایلی که اتمسفر (جو زمین) به‌صورت هم دما در نظر گرفته می‌شود، از رابطه اخیر استفاده می‌کنیم.

حالت دوم حالتی است که دما با ارتفاع به‌صورت خطی کاهش می‌یابد. فرض کنیم تغییرات دما با رابطه زیر داده شود:

$$T = T_0 - \beta y$$

$$dP = -\rho g dy$$

$$dP = -\frac{PM}{RT} g dy$$

$$\frac{dP}{P} = -\frac{M}{R(T_0 - \beta y)} g dy$$

با انتگرال گیری داریم:

$$\ln \frac{P}{P_0} = \frac{Mg}{R\beta} \ln \frac{T_0 - \beta y}{T_0 - \beta y_0}$$

و یا:

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{T_0 - \beta y}{T_0 - \beta y_0} \right)^{\frac{Mg}{RB}}$$

مثال: در سطح زمین دما 25°C و فشار 1 atm می‌باشد، با فرض اتمسفر ایزوترمال، فشار در ارتفاع 500 متری از سطح زمین بر حسب کیلوپاسکال برابر خواهد بود با:

95 (۴)

90 (۳)

85 (۲)

80 (۱)

حل :

$$P = P_0 e^{\frac{-Mgy}{RT}} \rightarrow P = P_0 e^{\frac{29 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 500 \text{m}}{8314 \frac{\text{J}}{\text{kmol K}} \times 298.15 \text{K}}}$$

$$P = 0.94 P_0 \rightarrow P = 95 \text{ KPa}$$

اصل پاسکال:

اصل پاسکال بیان می‌کند که در یک سیال ساکن در یک نقطه فشار در تمامی جهات یکسان است. به عبارت دیگر در یک سیال ساکن

در یک نقطه $P_x = P_y = P_z$. اگر سیال ساکن نباشد، اصل پاسکال برقرار نیست و فشار در هر نقطه برابر است با $\frac{P_x + P_y + P_z}{3}$.

واحدهای فشار:

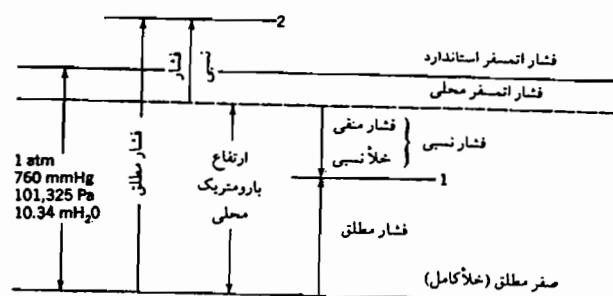
برای بیان فشار در سیستم‌های مختلف می‌توان واحدهای مختلفی را در نظر گرفت، واحدهایی که باید به خاطر داشته باشیم عبارت‌اند از:

$$1 \text{ atm} = 14.7 \text{ psi} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 10.33 \text{ mH}_2\text{O} = 760 \text{ mm Hg} = 29.92 \text{ in Hg} = 33.91 \text{ ft H}_2\text{O}$$

فشار نسبی و فشار مطلق:

اگر فشار نسبت به فشار اتمسفر سنجیده شود فشار نسبی است. به عبارت دیگر اگر اختلاف فشار با فشار اتمسفر مطرح شود فشار به شکل نسبی بیان شده است. در این حالت فشار منفی بدین معنی است که فشار در نقطه مورد نظر از فشار اتمسفر کمتر است.

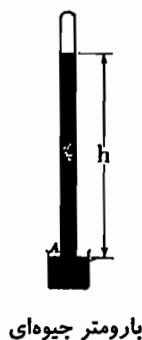
اگر فشار نسبت به خلا مطلق سنجیده شود فشار مطلق می‌نامیم در شکل زیر مفاهیم فشار نسبی و فشار مطلق مطرح گردیده است.



مقیاسهای اندازه‌گیری فشار

وسایل اندازه‌گیری فشار:

بارومتر: وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری فشار محلی بکار می‌رود، همان‌طور که از شکل معین است داریم:



$$P_{atm} = P_v + \rho g h$$

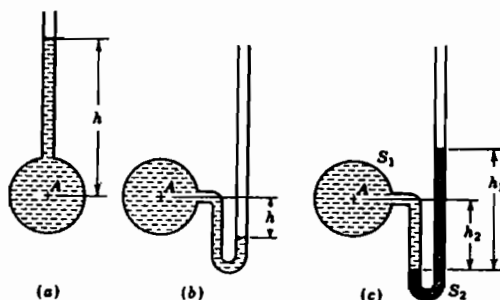
h ارتفاع مایع داخل ستون است و P_v فشار بخاری است که در انتهای ستون وارد می‌گردد.

توجه می‌شود اگر ستون مایع دارای زاویه باشد باید ارتفاع عمودی سیال را به‌دست آورد که برای این منظور طول ستون سیال باید در $\cos$ زاویه‌ای که با افق ساخته می‌شود ضرب گردد.

$$P_{atm} = P_x + \rho g (h \cos \theta)$$

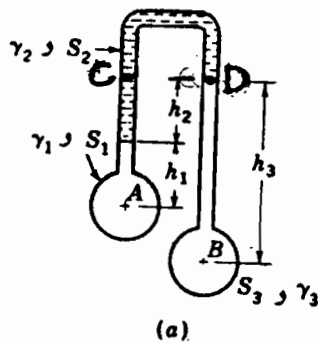
اگر در مسایل P_v داده نشد، می‌توان از آن صرف نظر کرد.

مانومتر: وسیله‌ای است که با بهره‌گیری از ستون مایع اختلاف فشار را اندازه‌گیری می‌کنند. ساده‌ترین نوع مانومترها، پیزومترها هستند که برای اندازه‌گیری فشارهای مثبت در مایعات بکار می‌روند. روشن است که پیزومتر برای اندازه‌گیری فشارهای نسبی منفی به کار نمی‌آید، زیرا در آن صورت هوا از طریق لوله به مخزن جریان خواهد یافت. برای اندازه‌گیری فشارهای خیلی زیاد مثبت نیز نمی‌توان از پیزومتر استفاده کرد. زیرا ارتفاع قسمت شیشه‌ای خیلی زیاد خواهد بود. برای اندازه‌گیری فشارهای کم منفی می‌توان لوله شیشه‌ای را به شکل خمیده در آورد که در شکل نشان داده شده است.

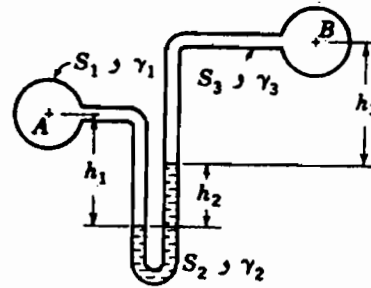


برای اندازه‌گیری فشارهای بزرگتر مطابق شکل c از مایع دیگری با چگالی بیشتر استفاده می‌کنیم. این مایع مانوفتری نامیده می‌شود که می‌بایست با سیال داخل مخزن نامحلول باشد.

نحوه کار با مانومترها را در دو مثال زیر نشان می‌دهیم:



(a)



(b)

مانومتر دیفرانسیل

در شکل (a) فرض کنیم فشار نقطه A معلوم است و فشار نقطه B از ما پرسیده شده است. از نقطه A شروع می‌کنیم تا به نقطه B برسیم P_A را می‌نویسیم، هر گاه از نقطه مورد نظر بالا می‌رویم باید فشار ستون مایع را از P_A کم کنیم و هرگاه به سمت پایین می‌رویم باید فشار ستون مایع را به P_A اضافه کنیم، در این مثال چون از ابتدا از نقطه A به سمت بالا می‌رویم باید فشار ستون سیال شماره ۱ که برابر $\rho_1 g h_1$ است را از P_A کم کنیم، سپس به اندازه ارتفاع h_2 در ستون سیال شماره ۲ بالا می‌رویم. بنابراین باید $\rho_2 g h_2$ را نیز از P_A کم کنیم تا به نقطه C برسیم. چون دو نقطه C و D در داخل یک سیال و در یک ارتفاع قرار دارند. فشار این دو نقطه برابر است و از نقطه C می‌توانیم به نقطه D برویم. از نقطه D در ستون سیال شماره ۳ به اندازه h_3 پایین می‌رویم تا به نقطه B برسیم. بنابراین باید $\rho_3 g h_3$ را به P_A اضافه کنیم و داریم:

$$P_A - \rho_1 g h_1 - \rho_2 g h_2 + \rho_3 g h_3 = P_B$$

اگر همین روش را در مورد شکل (b) بکار ببریم داریم:

$$P_A + \rho_1 g h_1 - \rho_2 g h_2 - \rho_3 g h_3 = P_B$$

تست‌های بخش فشار و روش‌های اندازه‌گیری آن

۱ - تکمیل جمله مقابل با کدام گزینه صحیح است؟ تنش عمودی در هر نقطه از سیال در کلیه جهات یکسان است.
(مهندسی مخازن هیدروکربوری ۸۱ و مهندسی نفت ۷۹)

(۱) هنگامی که حرکت نسبی بین دو لایه مجاور در سیال وجود ندارد.

(۲) فقط در سیال بدون اصطکاک

(۳) فقط در سیال در حال سکون و لزجت صفر

(۴) فقط در سیال بدون اصطکاک و تراکم ناپذیر

حل : گزینه ۱ صحیح است.

در یک نقطه در سیال ساکن تنش عمودی در تمامی جهات یکسان است. این مساله در مورد سیالات غیر ساکن، ولی با ویسکوزیته صفر نیز صادق است.

۲ - کدام جمله در مورد عبارت « سطوح افقی سیالات غیر قابل تراکم، دارای فشارهای یکسان هستند » صحیح است؟
(مهندسی شیمی ۸۰)

(۱) در مورد سیالات ساکن صادق است.

(۲) بسته به نوع سیال دارد و نمی‌توان قضاوت کلی در مورد آن داشت.

(۳) علاوه بر سیالات ساکن در مورد سیالات دارای حرکت نیز صادق است.

(۴) در حالتی که سرعت سیال نسبت به جداره ظرف صفر باشد.

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

این عبارت در حالتی صادق است که سرعت سیال صفر باشد.

۳ - فشار مطلق در ته ظرفی حاوی دو سیال کاملاً مخلوط شده با چگالی‌های ۳ و ۱ (با درصد حجمی به ترتیب ۲۵ و ۷۵) به ارتفاع ۳ ft و فشار بارومتر ۷۰۰ mm Hg معادل چند psia می‌باشد؟
(مهندسی شیمی ۷۲)

(۴) ۲۱.۲۵

(۳) ۱۵.۴۸

(۲) ۱۴.۳۲

(۱) ۱۳.۵۳

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\rho_{\text{mix}} = S_{\text{mix}} \rho_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$S_{\text{mix}} = (0.25 \times 3) + (0.75 \times 1) = 1.5$$

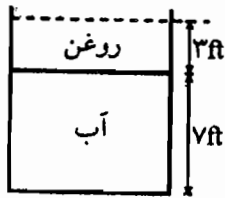
$$P = P_{\text{atm}} + \rho_{\text{mix}} \frac{g}{g_c} h$$

$$P = \left(700 \text{ mm Hg} \times \frac{14.7 \text{ psia}}{760 \text{ mm Hg}} \right) + \left(1.5 \times 62.4 \times 3 \times \frac{1}{144} \right)$$

$$P = 15.48 \text{ psia}$$

توجه شود که در پرانتز دوم تقسیم عبارت بر ۱۴۴ به‌خاطر تبدیل $\frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2}$ به psi بوده است.

۴ - روغن مطابق شکل بر روی آب در تانکی ریخته شده است. فشار در پایین تانک چند kPa است؟ (دانشیه‌های آب و روغن بر حسب lb_m/ft^3 به ترتیب 62.4 و 50.07 می‌باشند.) (مهندسی شیمی ۸۰)



28.1 (۱)

2.811 (۲)

281 (۳)

0.281 (۴)

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$S_{\text{oil}} = \frac{\gamma_{\text{oil}}}{\gamma_{\text{water}}} = \frac{50.07}{62.4} = 0.8$$

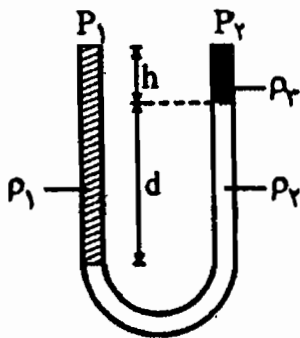
$$h_w = 7 \text{ ft} = 7 \text{ ft} \times \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} = 2.134 \text{ m}$$

$$h_{\text{oil}} = 3 \text{ ft} = 3 \text{ ft} \times \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} = 0.914 \text{ m}$$

$$P = \gamma_w h_w + \gamma_{\text{oil}} h_{\text{oil}} = (1000 \times 9.8 \times 2.134) + (0.8 \times 1000 \times 9.8 \times 0.914)$$

$$P = 28108 \text{ Pa} = 28.1 \text{ KPa}$$

۵ - در سیستم مانومتر مقابل که سه سیال با دانسیته‌های ρ_1 و ρ_2 و ρ_3 در آن قرار دارند، اختلاف فشار بین دو سطح 1 و 2 یعنی $(P_1 - P_2)$ را کدامیک از روابط زیر بیان می‌نمایند؟ (مهندسی شیمی ۷۶)



$$\left[(\rho_2 - \rho_1)d + (\rho_3 - \rho_1)h \right] \frac{g}{g_c} \quad (۱)$$

$$\left[(\rho_1 - \rho_2)d + (\rho_1 - \rho_3)h \right] \frac{g}{g_c} \quad (۲)$$

$$\left[(\rho_2 - \rho_1 - \rho_3)(d + h) \right] \frac{g}{g_c} \quad (۳)$$

$$\left[(\rho_2 - \rho_1)h + (\rho_3 - \rho_1)d \right] \frac{g}{g_c} \quad (۴)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

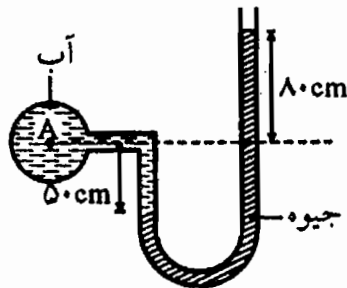
$$P_1 + \rho_1 \frac{g}{g_c} (h + d) - \rho_2 \frac{g}{g_c} d - \rho_3 \frac{g}{g_c} h = P_2$$

$$P_1 - P_2 = \left[-\rho_1 (h + d) + \rho_2 d + \rho_3 h \right] \frac{g}{g_c}$$

$$P_1 - P_2 = \left[(\rho_2 - \rho_1)d + (\rho_3 - \rho_1)h \right] \frac{g}{g_c}$$

۶- فشار نسبی در نقطه A (شکل زیر) بر حسب kPa برابر است با:

$$(\gamma_{H_2O} = 9806 \text{ N/m}^3, S_{Hg} = 13.6)$$



(۱) 21.78

(۲) -21.78

(۳) -168.5

(۴) +168.5

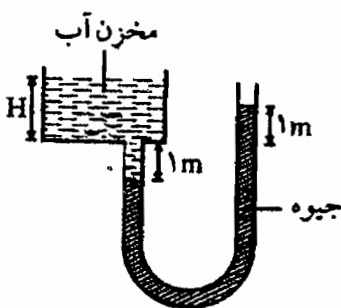
حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$P_A + (0.5 \times 9806) - [(0.5 + 0.8) \times 13.6 \times 9806] = 0$$

$$P_A = 168467 \text{ Pa} = 168.5 \text{ KPa}$$

(مهندسی شیمی ۷۴)

۷- در شکل زیر ارتفاع آب در مخزن برابر است با: (13.6 = چگالی جیوه)



(۱) H=2.62m

(۲) H=0.262m

(۳) H=27.2m

(۴) H=26.2m

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

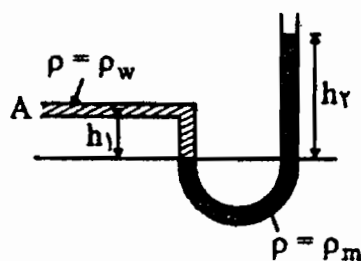
$$P_{atm} + \rho_{water} g(H+1) = -\rho_{Hg} g(1+1) = P_{atm}$$

$$\Rightarrow \rho_{water} g(H+1) = \rho_{Hg} g(1+1)$$

$$H = \left(\frac{\rho_{Hg}}{\rho_{water}} \times 2 \right) - 1 = (13.6 \times 2) - 1 = 26.2 \text{ m}$$

۸- فشار استاتیک نسبی در نقطه A با کدام گزینه برابر است ؟

(مهندسی شیمی و مهندسی بیوتکنولوژی و مهندسی مخازن هیدروکربوری ۷۹)



(۱) $\rho_m g h_2 - \rho_w g h_1$

(۲) $\rho_m g h_2 + \rho_w g h_1$

(۳) $\rho_w g h_1 - \rho_m g h_2$

(۴) فشار اتمسفر + $\rho_m g h_2 + \rho_w g h_1$

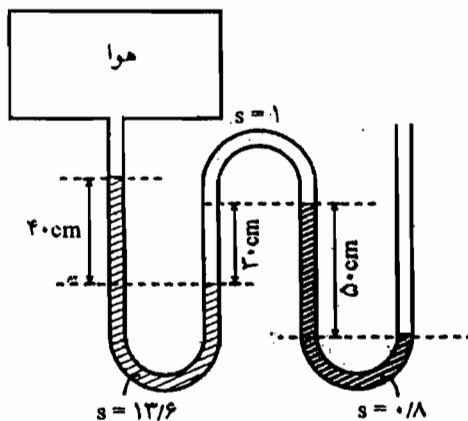
حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$P_A + \gamma_w h_1 - \gamma_m h_2 = 0 \Rightarrow P_A = \gamma_m h_2 - \gamma_w h_1$$

$$P_A = \rho_m g h_2 - \rho_w g h_1$$

۹- در شکل مقابل در مانومتر سه سیال جیوه، آب و روغن قرار دارند. فشار هوا چند پاسکال می باشد؟

(مهندسی بیوتکنولوژی و مهندسی هسته ای ۸۲)



$$+5.54 \gamma_{H_2O} \quad (۱)$$

$$-5.84 \gamma_{H_2O} \quad (۲)$$

$$+5.84 \gamma_{H_2O} \quad (۳)$$

$$-5.54 \gamma_{H_2O} \quad (۴)$$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

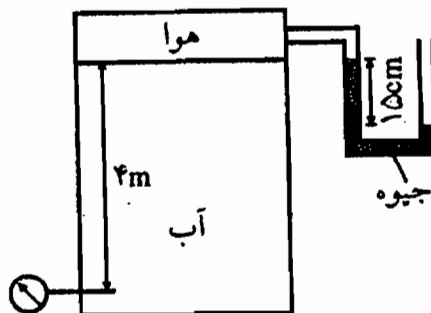
$$(P_{air} + 0.4 \times \gamma_{Hg}) - (0.3 \times \gamma_{water}) + (0.5 \times \gamma_{oil}) = 0$$

$$(P_{air} + 0.4 \times 13.6 \times \gamma_{water}) - (0.3 \times \gamma_{water}) + (0.5 \times 0.8 \times \gamma_{water}) = 0$$

$$P_{air} = -5.54 \gamma_{H_2O}$$

۱۰- در شکل زیر فشار سنج چه فشاری را نشان می دهد؟ (چگالی آب 1000 kg/m^3 و چگالی جیوه 13600 kg/m^3 می باشد.)

(مهندسی شیمی ۸۱)



$$0.2 \text{ بار نسبی} \quad (۱)$$

$$0.2 \text{ بار مطلق} \quad (۲)$$

$$0.6 \text{ بار نسبی} \quad (۳)$$

$$0.6 \text{ بار مطلق} \quad (۴)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$P - \gamma_{water} h_{water} + \gamma_{Hg} h_{Hg} = P_{atm} \Rightarrow$$

$$P - P_{atm} = \gamma_{water} h_{water} + \gamma_{Hg} h_{Hg} = 1000 \times 9.81 \times 4 - 13600 \times 9.81 \times 0.15 = 0.2 \text{ bar}$$

چون اختلاف فشار با اتمسفر به دست آمده است، بنابراین فشار نسبی است.

۱۱ - فشار سکون در مرکز یک لوله 14500 Pa و فشار استاتیک 10000 Pa است. سرعت سیال چند $\frac{m}{s}$ است؟ $\left(\rho = 1000 \frac{kg}{m^3} \right)$

(۱) 9 (۲) 4.5 (۳) 3.42 (۴) 3

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

اگر رابطه برنولی را برای دو حالت فرضی بنویسیم:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 g = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 g$$

$$P_1 = 14500, \quad V_1 = 0, \quad P_2 = 10000, \quad V_2 = ?, \quad Z_1 = Z_2$$

$$\frac{14500}{1000} + 0 = \frac{10000}{1000} + \frac{V_2^2}{2} \rightarrow 14.5 = 10 + \frac{V_2^2}{2} \rightarrow V_2 = 3 \frac{m}{s}$$

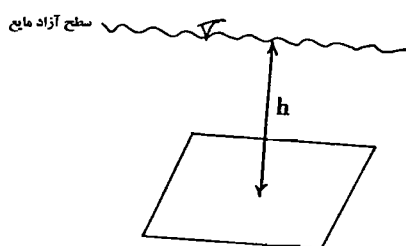
نیروی وارد بر سطوح در سیال ساکن:

مسایل نیروی وارد بر سطوح را می‌توان به چهار دسته:

صفحات افقی، صفحات مایل، صفحات عمودی و سطوح انحنا دار تقسیم‌بندی کرد که هر یک از موارد را بررسی می‌کنیم:

صفحات افقی:

فشار وارد بر صفحات افقی از طرف سیال برابر ρgh است که h عبارت است از فاصله صفحه تا سطح آزاد سیال و ρ دانسیته سیال است. بدیهی است که نیروی وارد بر صفحات افقی برابر است با $F = \rho ghA$. محل اثر نیروی بر آیند همان مرکز سطح می‌باشد.



صفحات مایل:

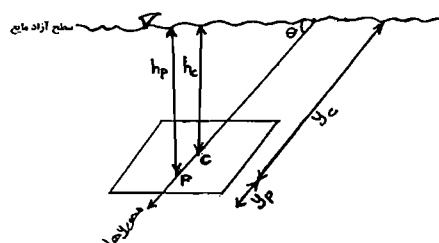
نیروی وارد بر سطوح مایل برابر است با فشار در مرکز سطح صفحه ضربدر مساحت صفحه. بنابراین نیروی وارد بر سطوح مایل برابر است با:

$$F = P_C A \rightarrow F = \rho gh_c A$$

که در آن h_c فاصله مرکز سطح صفحه از سطح آزاد سیال می‌باشد.

ولی بر خلاف حالت قبل محل اثر نیرو دیگر مرکز سطح نیست. برای بیان محل اثر نیرو در سطوح مایل اگر محور y ها را مطابق شکل در راستای صفحه در نظر بگیریم. آن گاه می‌توان گفت که محل اثر نیروی برآیند وارد بر سطح مایل به اندازه y_p از مرکز سطح صفحه پایین‌تر است.

$$y_p = \frac{I_{xx} \sin \theta}{h_c \cdot A}$$

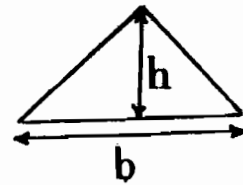


همان‌طور که از شکل معین است محل اثر نیرو یعنی نقطه P به اندازه y_p روی محور y ها از مرکز سطح یعنی

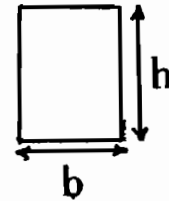
نقطه C پایین‌تر است. فاصله قایم محل اثر نیرو تا سطح آزاد مایع برابر h_p است.

به عبارت دیگر محل اثر نیرو عبارت است از $y_p + y_c$ که y_c همان y برای مرکز سطح است و y_p نیز از فرمول فوق محاسبه می‌گردد. در فرمول بالا θ زاویه‌ای است که راستای صفحه یعنی همان محور y ها با افق می‌سازد. h_c فاصله عمودی مرکز سطح تا سطح آزاد مایع است و A مساحت می‌باشد. I_{xx} را در موارد زیر باید به خاطر بسپاریم:

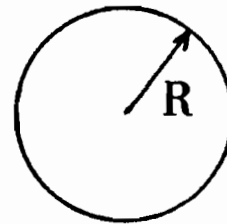
$$I_{xx} = \frac{bh^3}{36} \text{ برای مثلث}$$



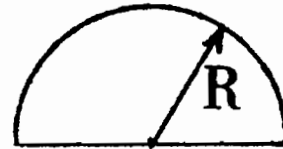
$$I_{xx} = \frac{bh^3}{12} \text{ برای مستطیل}$$



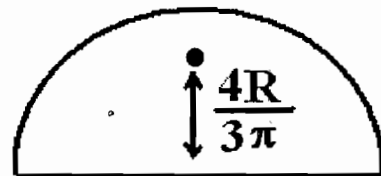
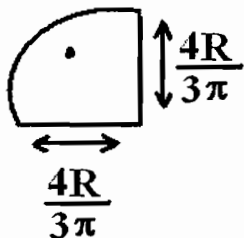
$$I_{xx} = \frac{\pi R^4}{4} \text{ برای دایره}$$



$$I_{xx} = \frac{\pi R^4}{8} \text{ برای نیم دایره}$$



البته در مورد نیم دایره و ربع دایره به جای استفاده از روابط می توانیم از شکل زیر کمک بگیریم:



روش منشور فشار:

اگر روی یک صفحه مایل منشوری بسازیم به طوری که ارتفاع منشور در هر نقطه برابر ارتفاع سیال از سطح آزاد مایع در آن نقطه باشد در این صورت می توان گفت نیروی وارد بر صفحه برابر است با وزن سیال هم حجم منشور. در این روش محل اثر نیروی برآیند برابر است با مرکز حجم منشور. (منظور این است که می توان برای تعیین محل اثر نیرو در این روش تصویر مرکز حجم منشور بر روی صفحه را به دست آورد).

$$F = V \cdot \rho \cdot g = V \cdot \gamma$$

صفحه قایم:

حالت سوم نیروی وارد بر صفحات قایم است. این حالت دقیقاً مانند حالت سطوح مایل است و باید از همان روابط استفاده نمود با این تفاوت که θ یعنی زاویه ای که راستای سطح با سطح آزاد مایع می سازد برابر 90 درجه است.

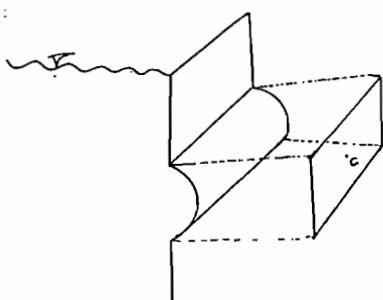
سطوح انحنادار:

حالت چهارم نیروی وارد بر سطوح انحنادار است. در مورد سطوح انحنادار باید نیروی وارد بر سطح را در دو راستای افقی و عمودی به دست آورده و سپس برآیند دو نیروی افقی و عمودی را محاسبه کرد.

مولفه افقی نیروی وارد بر سطوح انحنادار:

برای به دست آوردن نیروی افقی وارد بر یک سطح ابتدا تصویر سطح انحنادار را در راستای عمودی به دست می آوریم. حال با یک سطح عمودی سروکار داریم که نیروی وارد بر این سطح تصویر شده برابر نیروی افقی وارد بر سطح انحنادار است.

$$F_H = \rho g h_c A = \gamma h_c A$$

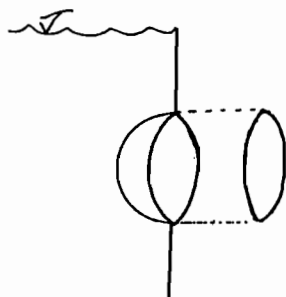


ρ : جرم مخصوص سیال است.

h_c : فاصله سطح آزاد مایع تا مرکز سطح تصویر شده در راستای عمود است.

A : مساحت سطح تصویر شده است.

همان طور که در شکل نشان داده شده، تصویر نیم استوانه در راستای عمودی یک مستطیل است. در شکل مرکز سطح تصویر شده با C نمایش داده شده است، یک ضلع مستطیل تصویر شده برابر طول استوانه و ضلع دیگر مستطیل برابر قطر استوانه می باشد. حال برای به دست آوردن نیروی افقی وارد بر نیم استوانه می توان نیروی وارد بر مستطیل را از رابطه $\rho g h_c A$ به دست آورد. که در آن A مساحت مستطیل تصویر شده است و h_c فاصله عمودی مرکز مستطیل تصویر شده تا سطح آزاد مایع است.



حال فرض کنید به جای یک نیم استوانه یک نیم کره مطابق شکل داشته باشیم.

تصویر نیم کره بر راستای عمودی یک دایره خواهد بود.

حال برای به دست آوردن مولفه افقی نیروی وارد بر نیم کره می توان نیروی وارد بر دایره را به دست آورد که برابر با $\rho g h_c A$ است که در آن A مساحت دایره تصویر شده و h_c فاصله عمودی مرکز نیم دایره تا سطح آزاد مایع است.

مولفه عمودی نیروی وارد بر سطوح انحنادار:

برای به دست آوردن مولفه عمودی نیروی وارد بر سطوح انحنادار باید وزن سیال بالای سطح انحنادار را به دست آورد.

همان طور که در شکل نشان داده شده وزن سیال بالای سطح منحنی برابر γV می باشد. γ وزن مخصوص سیال است ($\gamma = \rho g$) و V حجم سیال بالای سطح انحنادار تا سطح آزاد مایع می باشد.

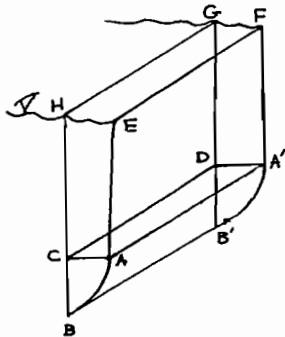
لازم به ذکر است که در برخی از مسایل برای به دست آوردن نیروی عمودی وارد بر صفحات انحنادار می توان حجم فرضی سیال بالای سطح را در نظر گرفت. به طوری که سطح آزاد سیال را امتداد می دهیم و سپس حجم فرضی بالای صفحه انحنادار را به دست می آوریم. در این حالت نیروی عمودی وارد بر سطح برابر γV می باشد. که V حجم فرضی سیال بالای سطح منحنی است.

مثال هایی از نیروهای وارد بر سطوح انحنا دار:

مثال : نیروهای F_x, F_y, F وارد بر دریچه AB را به دست می آوریم.



برای محاسبه F_y باید حجم سیال بالای دریچه AB را به دست آوریم.



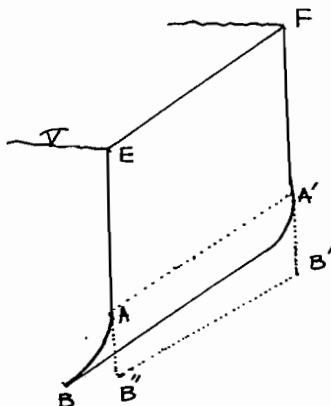
مطابق شکل برای محاسبه حجم بالای دریچه AB دو قسمت را در نظر می گیریم. حجم مکعب $ACDA'FGHE$ و حجم ربع استوانه $CABB'DA'$. مجموع حجم مکعب و ربع استوانه حجم سیال بالای دریچه را تشکیل می دهد.

(طول پاره خط CD) $\times$ (مساحت مستطیل $CAEH$) = حجم مکعب

(طول پاره خط CD) $\times$ (مساحت ربع دایره CAB) = حجم ربع استوانه

حجم مکعب + حجم ربع استوانه = حجم سیال بالای دریچه

اگر حجم سیال بالای دریچه را V بنامیم، آن گاه F_y برابر است با وزن سیال بالای دریچه یعنی γV .



برای محاسبه F_x وارد بر دریچه کافی است نیروی افقی وارد بر سطح تصویر دریچه، یعنی مستطیل $AA'B'B''$ را به دست آوریم. فاصله مرکز مستطیل از سطح آزاد مایع عبارت است از:

$$h_c = (\text{طول } AE) + \left(\frac{\text{طول } AB''}{2} \right)$$

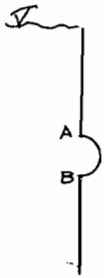
$\rho g h_c$ = فشار وارد بر مستطیل

(مساحت مستطیل $AA'B'B''$) $\times \rho g h_c$ = نیروی وارد بر مستطیل F_x

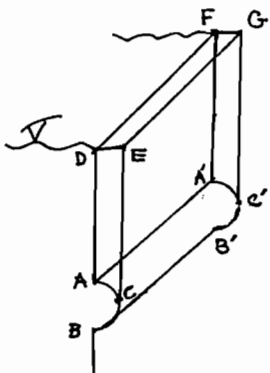
پس از محاسبه F_y و F_x برای محاسبه نیروی برآیند داریم:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

مثال: نیروهای F_x, F_y و F وارد بر دریچه AB را به دست می آوریم.



برای محاسبه F_y باید حجم سیال فرضی بر روی دریچه AB را به دست آوریم.



در این مثال برای محاسبه حجم بالای دریچه AB ، دو قسمت را باید در نظر بگیریم. یک بار حجم سیال بالای دریچه AC را در نظر می گیریم. بدیهی است که نیروی وارد به قسمت AC دریچه، رو به بالا است، چرا که سیال واقعی زیر قسمت AC دریچه قرار دارد. بنابراین نیروی رو به بالا وارد می شود.

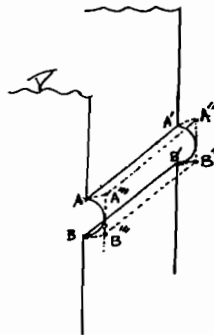
و نیروی وارد به قسمت BC رو به پایین است، چرا که سیال واقعی بالای قسمت BC دریچه قرار دارد. بنابراین نیروی رو به پایین وارد می کند.

بنابراین نیروی وارد بر قسمت AC رو به بالا و نیروی وارد به قسمت BC رو به پایین است. بنابراین برای محاسبه نیروی برآیند باید اختلاف دو نیرو یعنی اختلاف دو حجم سیال فرضی روی قسمت های AC و BC را به دست آورد. مطابق شکل این حجم برابر است با حجم نیم استوانه $ABC A'B'C'$. حجم سیال فرضی بالای قسمت BC از حجم سیال فرضی بالای قسمت AC بیشتر است. و نیروی وارد بر قسمت BC رو به پایین است، بنابراین جهت نیروی برآیند رو به پایین می باشد.

$$F_y = \gamma \times V$$

$$V = (\text{مساحت نیم دایره } ACB) \times (\text{طول ضلع } AA')$$

تذکر: در مسایلی که برای تعیین اندازه نیروی عمودی وارد بر دریچه حجم فرضی سیال بالای دریچه را در نظر می گیریم برای تعیین جهت نیرو (رو به بالا و یا رو به پایین بودن) باید موقعیت سیال واقعی نسبت به دریچه را در نظر گرفت. اگر سیال واقعی زیر دریچه است به دریچه نیروی رو به بالا و اگر سیال واقعی بالای دریچه است به دریچه نیروی رو به پایین وارد می کند.



برای محاسبه F_x باید نیروی افقی وارد بر تصویر دریچه یعنی مستطیل $A''B''A''B''$ را به دست آوریم که عبارت است از:

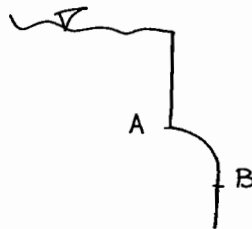
$$F_x = (\text{مساحت مستطیل } A''B''A''B'' \times \text{فشار وارد بر مستطیل } A''B''A''B'') = \rho g h_c \times (\text{مساحت مستطیل } A''B''A''B'')$$

h_c فاصله مرکز سطح مستطیل $A''B''A''B''$ از امتداد سطح آزاد مایع می باشد.

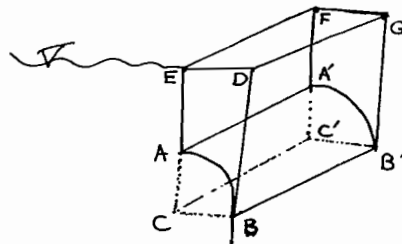
نیروی برآیند برابر است با:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

مثال: نیروهای F_x, F_y وارد بر دریچه AB را به دست آورید.



برای محاسبه F_y باید حجم سیال فرضی بر روی دریچه را به دست آوریم:

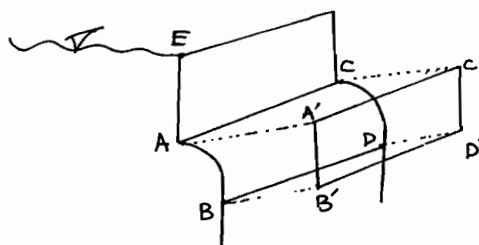


حجم سیال فرضی بالای دریچه عبارت است از حجم سیال $ABA'B'GFED$ برای محاسبه این حجم، ابتدا حجم مکعب $ECBDGFC'B'$ را به دست می آوریم و سپس حجم ربع استوانه $ACBB'C'A'$ را از حجم مکعب کم می کنیم.

حجم ربع استوانه - حجم مکعب = V

$$F_y = \gamma V$$

برای محاسبه F_x باید نیروی افقی وارد بر تصویر دریچه را به دست آوریم.



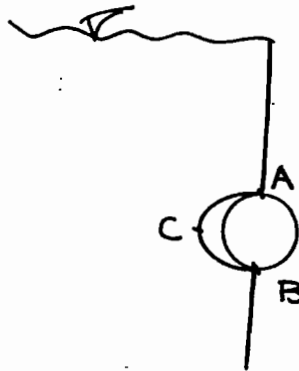
تصویر دریچه عبارت است از $A'B'C'D'$ بنابراین برای محاسبه F_x وارد بر دریچه AB باید نیروی وارد بر صفحه قائم $A'B'C'D'$ را به دست آوریم. فاصله مرکز مستطیل $A'B'C'D'$ از امتداد سطح آزاد مایع عبارت است از:

$$h_c = (\text{طول } AE) + \left(\frac{\text{طول } A'B'}{2} \right)$$

$$\rho g h_c = \text{فشار وارد بر مستطیل } A'B'C'D'$$

$$(\text{مساحت } A'B'C'D') \times \rho g h_c = \text{نیروی افقی وارد بر دریچه}$$

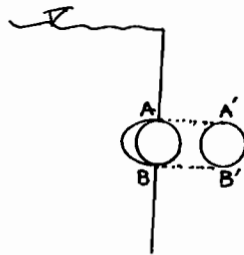
مثال: نیروهای F_x و F_y را برای دریچه نیم کره ای AB را به دست می آوریم.



برای محاسبه حجم سیال بالای نیم کره AB محاسبه حجم را به دو قسمت تقسیم می کنیم، حجم بالای قسمت AC و حجم بالای قسمت BC . از آنجا که سیال بالای قسمت AC قرار دارد نیروی رو به پایین وارد می کند و از آنجا که سیال پایین قسمت BC قرار دارد نیرویی رو به بالا وارد می کند. برای محاسبه برآیند نیرو اختلاف دو حجم مذکور را به دست می آوریم که همان حجم نیم کره می باشد. از آنجا که حجم سیال بالای قسمت BC بیشتر است و نیروی وارد بر قسمت BC رو به بالا است، بنابراین برآیند نیرو رو به بالا می باشد.

$$F_y = \gamma V \quad \text{حجم نیم کره}$$

برای محاسبه F_x ، نیروی وارد بر تصویر دریچه را به دست می آوریم که تصویر دریچه نیم کره ای یک دایره با همان شعاع می باشد.



بنابراین باید نیروی افقی وارد بر دایره $A'B'$ را به دست آوریم:

$$h_c = \text{فاصله مرکز دایره تا سطح آزاد مایع}$$

$$P = \rho g h_c = \text{فشار وارد بر دایره}$$

$$F_x = \rho g h_c \times (\text{مساحت دایره})$$

تست‌های بخش نیروهای وارد بر سطوح

(مهندسی شیمی ۸۱)

۱ - کدام عبارت در مورد « منشور فشار » صحیح است؟

- (۱) برای یافتن مرکز سطح از آن استفاده می‌شود.
 - (۲) مجموعه قواعدی است که در رابطه با فشار موجود است.
 - (۳) فشاری است که ستون مایع در یک منشور به قاعده آن وارد می‌نماید.
 - (۴) به حجم حاصل از توزیع فشار روی صفحه در تماس با مایع اطلاق می‌شود.
- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

(مهندسی شیمی ۸۱)

۲ - برآیند نیروهای وارد بر صفحه غیر افقی در تماس با مایع کدام است؟

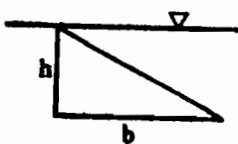
- (۱) فشار در مرکز سطح $\times$ مساحت سطح که در مرکز فشار وارد می‌شود.
 - (۲) فشار در مرکز فشار $\times$ مساحت سطح که در مرکز فشار وارد شود.
 - (۳) فشار در مرکز سطح $\times$ مساحت سطح که در مرکز سطح وارد شود.
 - (۴) فشار در مرکز فشار $\times$ مساحت سطح که در مرکز سطح وارد شود.
- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۳ - در مورد نیروی وارد بر سطوح خمیده غوطه‌ور از طرف سیال ساکن کدام عبارت صحیح است؟ (مهندسی مخازن هیدروکربوری ۸۰)

- (۱) برآیند نیرو، معادل وزن سیال بالای سطح خمیده است.
- (۲) مولفه عمودی نیرو، معادل وزن سیال بالای سطح خمیده است.
- (۳) مولفه افقی نیرو، معادل وزن سیال بالای سطح خمیده است.
- (۴) هیچ کدام

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۴ - نیروی وارد بر صفحه مقابل چقدر است؟ (مهندسی شیمی و مهندسی مخازن هیدروکربوری ۷۷ و مهندسی بیوتکنولوژی ۸۰ و ۷۷)



$$(1) \frac{1}{3} \gamma b^2 h$$

$$(2) \frac{1}{3} \gamma b h^2$$

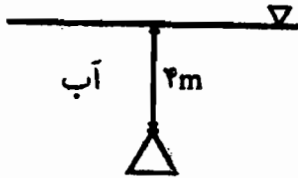
$$(3) \frac{1}{6} \gamma b h^2$$

$$(4) \frac{1}{6} \gamma b^2 h$$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$F = \gamma h_c A = \gamma \times \left(\frac{2}{3} h \right) \times \left(\frac{bh}{2} \right) \Rightarrow F = \frac{1}{3} \gamma b h^2$$

۵ - یک صفحه مثلثی شکل به ضلع 50 cm مطابق شکل ، در داخل آب قرار گرفته است. نیروی وارد شده بر یک طرف صفحه چند N است؟ ($g=10\text{ m/s}^2$, $\rho_w=1000\text{ kg/m}^3$) (مهندسی شیمی ۸۰)



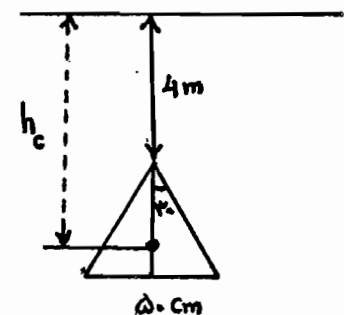
(۱) 42886.7

(۲) 4642.5

(۳) 464.25

(۴) 4.642

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.



$$0.5 \times \cos 30^\circ = 0.433 \text{ m} \rightarrow h_c = 4 + \frac{2}{3} \times 0.433 \rightarrow h_c = 4.29 \text{ m}$$

$$F = \gamma h_c A = (1000 \times 10) \left(\frac{0.43 \times 0.5}{2} \right) \rightarrow F = 4642.5 \text{ N}$$

۶ - صفحه ای دایره ای به قطر 2 متر چنان در زیر آب نگه داشته شده است که لبه بالایی آن 1 متر و لبه پایینی آن 3 متر زیر سطح آب قرار دارند. مقدار نیروی وارد بر یک طرف صفحه بر حسب نیوتن کدام است؟ (مهندسی شیمی ۸۰)

(۴) $4\pi\gamma_{H_2O}$

(۳) $2\pi\gamma_{H_2O}$

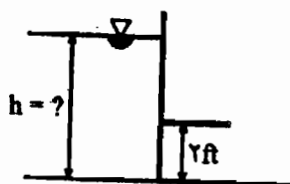
(۲) $\pi\gamma_{H_2O}$

(۱) $0.5\pi\gamma_{H_2O}$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$h_c = 1 + \frac{2}{2}, \quad A = \frac{\pi \times 2^2}{4} \rightarrow F = \gamma h_c A = \gamma \times \left[1 + \frac{2}{2} \right] \times \left[\frac{\pi \times 2^2}{4} \right] = 2\pi\gamma$$

۷ - دریچه ای مستطیل شکل به طور عمودی به دو تکیه گاه متکی می باشد. حداقل ارتفاع آب لازم که دریچه حرکت کند بر حسب ft کدام است؟ (مهندسی شیمی ۷۲)



(۳) 6

(۱) 2

(۴) 5

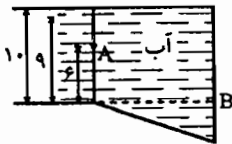
(۲) 4

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

برای صفحات مستطیلی مرکز فشار برابر $\frac{1}{3}$ ارتفاع از پایین و $\frac{2}{3}$ ارتفاع از بالا می باشد. منظور از حداقل نیرو حالتی است که محل اثر نیروی وارده بر صفحه منطبق بر تکیه گاه باشد بنابراین :

$$\frac{h}{3} = 2 \Rightarrow h = 6 \text{ ft}$$

۸- با توجه به اصل تعادل هیدرواستاتیکی، فشاری که به ظرف مقابل در نقطه B وارد می شود چند برابر فشار وارده به ظرف در نقطه A است؟ (مهندسی شیمی ۷۷)



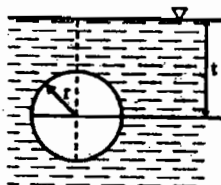
- (۱) یک و نیم
(۲) دو
(۳) دو و نیم
(۴) سه

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$P = \gamma h \rightarrow \frac{P_B}{P_A} = \frac{\gamma h_B}{\gamma h_A} = \frac{h_B}{h_A} = \frac{9}{3} = 3$$

۹- در سطوح دایره ای عمودی زیر به شعاع r که مرکز آن به فاصله t از سطح آزاد مایع قرار دارد، نیروی وارده بر سطح برابر است با:

(مهندسی شیمی ۷۴، مهندسی مخازن هیدروکربوری آزاد ۸۱، مهندسی نفت ۷۹، مهندسی فرآوری و انتقال گاز ۸۳)



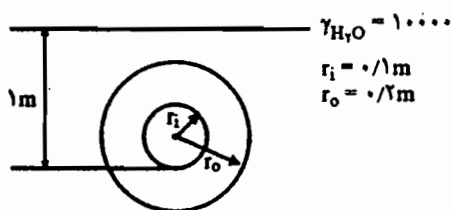
- (۱) $\gamma t \pi r^2$
(۲) $2\gamma t \pi r^2$
(۳) $\frac{1}{2} \gamma t \pi r^2$
(۴) $2\gamma t$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$F = \gamma h_c A = \gamma \times t \times (\pi r^2) = \gamma t \pi r^2$$

۱۰- پلاک زیر به طور قایم داخل آب قرار دارد. نیروی وارد بر یک سمت آن کدام است؟

(مهندسی شیمی، مهندسی مخازن هیدروکربوری و مهندسی بیوتکنولوژی ۷۷)



- (۱) 135π
(۲) 180π
(۳) 270π
(۴) 540π

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

در این مثال h_c فاصله مرکز دیسک تا سطح آزاد مایع می باشد. که با توجه به شکل برابر است با :

$$h_c = 1 - 0.1 = 0.9 \text{ m}, \quad A = \pi r_o^2 - \pi r_i^2 = (\pi \times 0.2^2 - \pi \times 0.1^2)$$

بنابراین :

$$F = \gamma h_c A = 10000 \times (0.9) \times \pi (0.2^2 - 0.1^2) \rightarrow F = 270\pi$$

۱۱ - در وسط یک صفحه مربع شکل به ضلع یک متر، سوراخی مربع شکل به طور متقارن و به ضلع ۰.۱ متر ایجاد شده است. اگر این صفحه را به صورت عمودی در زیر سطح آب (γ_w) طوری نگه داریم که مرکز آن ۵ متر زیر آب باشد، مقدار نیروی وارد بر یک طرف این صفحه چند نیوتن خواهد بود؟

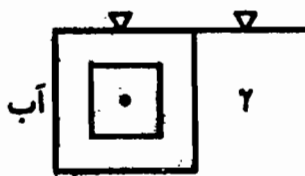
- (۱) $0.05\gamma_w$ (۲) $0.5\gamma_w$ (۳) $4.95\gamma_w$ (۴) $5\gamma_w$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$F = \gamma h_c A = \gamma \times 5 \times [1^2 - 0.1^2] = 4.95\gamma$$

۱۲ - در وسط صفحه‌ای مربع شکل و به ضلع h سوراخ مربع شکلی به ضلع $h/3$ مطابق شکل تعبیه شده است. اگر این صفحه را به طور عمودی در داخل آب نگه داریم، به طوری که یک ضلع آن در سطح آزاد آب قرار گیرد نیروی وارده بر یک طرف صفحه کدام است؟

(مهندسی شیمی ۷۲ و مهندسی مخازن هیدروکربوری ۷۷)



- (۱) $h^3\gamma$ (۲) $\frac{h^3\gamma}{3}$ (۳) $\frac{4h^3\gamma}{9}$ (۴) $\frac{5h^3\gamma}{8}$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$F = \gamma h_c A = \gamma \times \frac{h}{2} \times \left[h^2 - \left[\frac{h}{3} \right]^2 \right]$$

$$F = \frac{4h^3\gamma}{9}$$

۱۳ - سوراخ خروجی شیر اطمینان یک مخزن به قطر ۱۰ mm توسط گلوله فلزی ($\gamma = 77 \text{ kN/m}^3$) به قطر ۲۰ mm پوشانیده شده است. فشار مخزن ۳۰۰۰۰ kPa می باشد. نیروی لازم برای بلند کردن این گلوله فلزی مطابق کدام یک از گزینه‌ها می باشد؟

(مهندسی مخازن هیدروکربوری ۸۳)

- (۱) ۴.۳۴۲۱ kN (۲) ۲.۳۵۵۳ kN (۳) ۰.۳۴۵۲ kN (۴) ۰.۰۰۰۳ kN

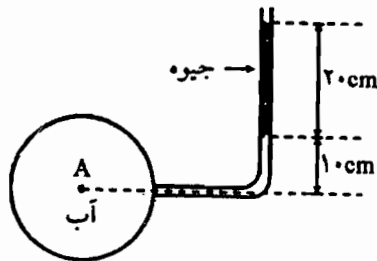
حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$F = w - F_p = \gamma V - PA$$

$$F = \left(77 \times \frac{\pi \times 0.02^3}{6} \right) - \left(30000 \times \frac{\pi \times 0.01^2}{4} \right)$$

$$F = -2.3559 \text{ KN}$$

۱۴ - لوله‌ای افقی به طول یک متر و شعاع ۰.۵ متر مطابق شکل محتوی آب می‌باشد. نیروی وارد بر نیمه بالایی سطح لوله چند نیوتن است؟ (مهندسی شیمی ۸۳)



(۱) $1.3285\gamma_{H_2O}$

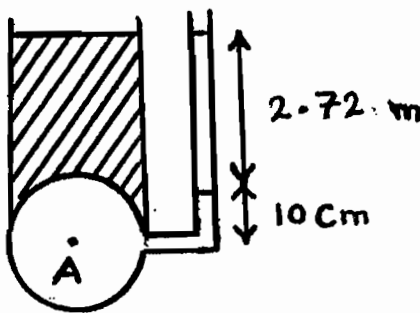
(۲) $2.4275\gamma_{H_2O}$

(۳) $2.820\gamma_{H_2O}$

(۴) $3.7510\gamma_{H_2O}$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

نیروی وارد بر نیمه بالایی سطح لوله برابر وزن سیال فرضی بالای سطح می‌باشد که در شکل نشان داده شده برای به‌دست آوردن ارتفاع سیال باید ارتفاع معادل آب را برای جیوه به‌دست آوریم:



$$\gamma_{Hg} h_{Hg} = \gamma_{H_2O} h_{H_2O}$$

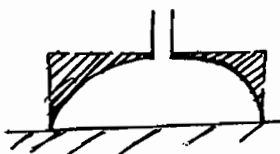
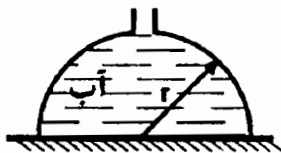
$$h_{H_2O} = \frac{\gamma_{Hg}}{\gamma_{H_2O}} h_{Hg} = 13.6 \times 0.2 = 2.72 \text{ m}$$

وزن سیال فرضی بالای سطح بالایی عبارت است از:

$$F = \gamma_{H_2O} V = \gamma_{H_2O} (\text{حجم نیم استوانه} - \text{حجم مکعب مستطیل})$$

$$F = \gamma_{H_2O} \left(1 \times 1 \times 2.82 - \frac{\pi \times 0.5^2}{2} \times 1 \right) \rightarrow F = 2.4275 \gamma$$

(مهندسی مخازن هیدروکربوری ۷۷)



۱۵ - نیروی بلند کننده ظرف نیم‌کره‌ای چقدر است؟

(۱) $\gamma \pi r^3 / 2$

(۲) $\gamma \pi r^3$

(۳) $2 \gamma \pi r^3 / 3$

(۴) $\gamma \pi r^3 / 3$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

نیروی قایم وارد بر نیم‌کره برابر وزن سیال فرضی بالای آن تا سطح آزاد سیال است.

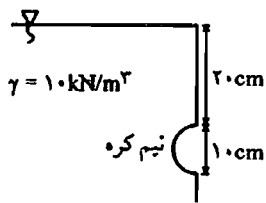
حجم نیم‌کره - حجم استوانه = حجم سیال فرضی = V

$$V = \left(\pi r^2 \times r \right) - \frac{2}{3} \pi r^3 = \frac{1}{3} \pi r^3, \quad F = \gamma V$$

$$F = \frac{1}{3} \gamma \pi r^3$$

(مهندسی نفت ۸۲)

۱۶ - مولفه افقی نیروی وارد بر نیم کره از طرف سیال برابر است با (نیوتن):



(۱) 100

(۲) 18π

(۳) 12.5π

(۴) 6.25π

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$F = \gamma h_c A$$

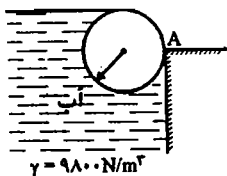
$$F = 10000 \times \left[0.2 + \frac{0.1}{2} \right] \left[\frac{\pi \times 0.1^2}{4} \right] \rightarrow F = 6.25\pi$$

یادآوری می شود منظور از A تصویر نیم کره بر صفحه قائم است که یک دایره به شعاع 0.1 m را تشکیل می دهد.

۱۷ - تنه درخت به شکل استوانه به طول 3 متر و قطر 0.5 متر مانع عبور آب می شود. نیروی افقی وارد از طرف تنه درخت به نقطه

(مهندسی شیمی ۸۳)

A چقدر است؟



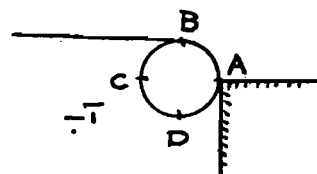
(۲) 7350 N

(۱) 3675 N

(۴) 1837.5 N

(۳) 918.75 N

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.



به دلیل تقارن، مولفه افقی وارد به سطح AD و سطح CD برابر است. از آن جا که

این دو نیرو در خلاف جهت یکدیگرند، هم دیگر را خنثی می کنند و برای محاسبه

نیروی وارد بر نقطه A باید نیروی افقی وارد بر سطح BC را به دست آوریم:

$$F_{BC} = \gamma h_c A$$

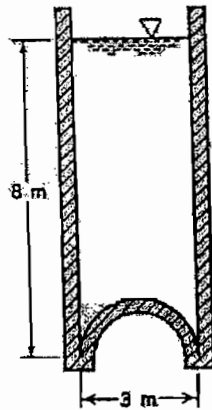
که در این رابطه A تصویر سطح BC بر صفحه قائم است که یک مستطیل را تشکیل می دهد که یک ضلع آن برابر شعاع استوانه و ضلع دیگر آن برابر طول استوانه است.

$$A = 0.25 \times 3, \quad h_c = \frac{0.25}{2}$$

$$F_{BC} = \gamma h_c A = 9800 \times \frac{0.25}{2} \times (0.25 \times 3) \rightarrow F_{BC} = 918.75 \text{ N}$$

۱۸ - یک مخزن استوانه با قطر ۳ متر که در آن آب قرار دارد دارای قسمت پایینی نیم کره‌ای است. مقدار نیروی عمودی وارده از طرف آب به قسمت خمیده پائین را محاسبه کنید.

(مهندسی شیمی ۸۵)



(۱) 48.5 N

(۲) 48.5 KN

(۳) 485 N

(۴) 485 KN

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$F_y = \gamma V = \gamma [V_{\text{استوانه}} - V_{\text{نیم کره}}]$$

$$F_y = \gamma \left[\pi (1.5)^2 \times 8 - \frac{2}{3} \pi (1.5)^3 \right] = \gamma [18\pi - 2.25\pi]$$

$$F_y = 15.75 \pi \gamma = 15.75 \times 3.14 \times 9810 = 485153 \text{ N} \approx 485 \text{ KN}$$

۱۹ - یک صفحه دایره‌ای به قطر ۲ متر به صورت مورب در زیر سطح آب قرار داده شده، به طوری که فاصله لبه بالایی آن از سطح آزاد مایع یک متر و فاصله لبه پایینی آن از سطح آزاد مایع سه متر است. نیروی وارد به یک طرف این صفحه چند نیوتن است؟

(مهندسی شیمی ۸۵)

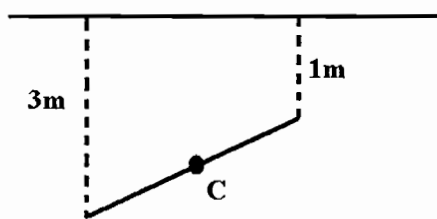
(۴) $\frac{3\pi\gamma}{2}$

(۳) $\frac{\pi\gamma}{2}$

(۲) $2\pi\gamma$

(۱) 2γ

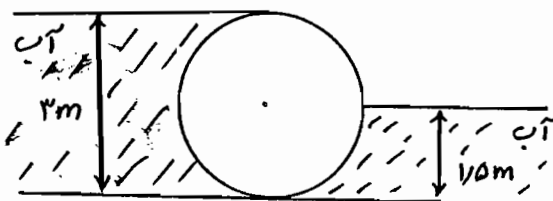
حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.



$$F = \gamma h_c A = \gamma \left(\frac{3+1}{2} \right) \times \pi = 2\pi\gamma$$

۲۰ - سد استوانه‌ای شکل زیر را در نظر بگیرید که از دو طرف آب بر آن اثر می‌کند. قطر و طول این سد به ترتیب ۳ و ۶ متر است،

مقدار نیروی برآیند که از طرف سیال بر این سد در جهت افقی وارد می‌شود چند KN است؟ $\left(\gamma_w = 9806 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right)$



(۱) 66.2

(۲) 198

(۳) 265

(۴) 256

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

اگر F_{x_1} و F_{x_2} به ترتیب نیروهای افقی وارد از سمت چپ و راست به سد استوانه‌ای باشند، می‌توان نوشت:

$$F_{x_1} = \gamma_w h_{c_1} A_1 = 9806 \times 1.5 \times (3 \times 6) = 264762 \text{ N}$$

$$F_{x_2} = \gamma_w h_{c_2} A_2 = 9806 \times 0.75 \times (1.5 \times 6) = 66190.5 \text{ N}$$

$$\Sigma F = F_{x_1} - F_{x_2} = 264762 - 66190.5 = 198571 \text{ N} = 198.57 \text{ KN}$$

اجسام شناور و غوطه‌ور در سیال:

وقتی یک جسم با وزن مخصوص γ' در داخل سیال با وزن مخصوص γ قرار می‌گیرد، حالت‌های زیر به وقوع می‌پیوندند:

الف: $\gamma' > \gamma$: جسم در داخل سیال فرو رفته و به حالت غوطه‌ور در می‌آید.

در این حالت از طرف سیال نیرویی در راستای قائم رو به بالا بر جسم وارد می‌شود که مقدار آن برابر وزن سیال جابه‌جا شده می‌باشد:

$$F_B = \gamma V$$

که F_B نیروی شناوری (بویانسی) بوده و V حجم جسم می‌باشد.

ب: $\gamma' = \gamma$: جسم روی سیال شناور می‌ماند و تعادل آن موقعی برقرار می‌شود که وزن سیال جابه‌جا شده با وزن حجم برابر باشد:

$$F_B = W = \gamma V'$$

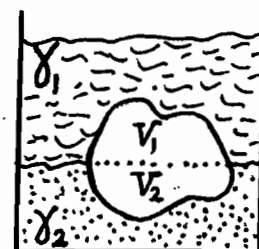
V' حجم سیال جابه‌جا شده است.

ج: $\gamma' < \gamma$: در این حالت جسم در هر نقطه از سیال قرار داده شود، در همان حالت باقی خواهد ماند این حالت همان حالت خنثی است.

پس در حالت کلی بر هر جسم که در داخل سیال شناور یا غوطه‌ور باشد یک نیرو در راستای عمودی و به سمت بالا وارد می‌شود که آن را نیروی بویانسی یا شناوری می‌نامیم.

نکته ۱: امتداد نیروی شناوری از مرکز حجم جسم عبور می‌کند.

نکته ۲: اگر قسمتی از جسم به حجم V_1 در داخل سیالی با وزن مخصوص γ_1 و قسمتی دیگر به حجم V_2 در داخل سیالی با وزن مخصوص γ_2 غوطه‌ور باشد، نیروی بویانسی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:



$$F_B = \gamma_1 V_1 + \gamma_2 V_2$$

تعادل اجسام غوطه‌ور و شناور:

برای اجسام غوطه‌ور و شناور سه حالت تعادل پایدار، تعادل ناپایدار و تعادل خنثی تعریف می‌گردد.

تعادل پایدار حالتی است که وقتی جسم را کمی منحرف کنیم و سپس جسم را رها کنیم به حالت قبلی خود بازگردد. در این حالت مرکز جرم جسم پایین‌تر از مرکز حجم جسم (محل اثر نیروی بویانسی) است.

حالت تعادل ناپایدار زمانی است که اگر جسم را کمی منحرف کنیم به حالت قبلی خود برنگردد و به عبارت دیگر جسم واژگون شود. این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که مرکز حجم جسم (محل اثر نیروی بویانسی) از مرکز جرم جسم پایین‌تر است. حالت تعادل خنثی زمانی است که جسم را در هر حالتی قرار دهیم، در همان حالت باقی بماند یا به عبارت دیگر حالت ثانویه با حالت اولیه تفاوت نکند. این حالت وقتی اتفاق می‌افتد که مرکز حجم جسم (محل اثر نیروی بویانسی) بر مرکز جرم جسم منطبق باشد.

هیدرومتر: وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری دانسیته مایعات بکار می‌رود و براساس اصول شناوری عمل می‌نماید.

برای به‌دست آوردن دانسیته سیال مجهول، ابتدا هیدرومتر را در آب به حالت شناور قرار می‌دهند. سپس آن را در داخل سیالی با دانسیته S شناور می‌کنند. اگر اختلاف ارتفاع هیدرومتر در آب و سیال مجهول را Δh بنامیم و اگر سطح مقطع لوله هیدرومتر را a بنامیم. داریم:

$$W = \gamma_w V_0$$

$$W = \gamma(V_0 - a \cdot \Delta h) = S \gamma_w (V_0 - a \cdot \Delta h)$$

V_0 حجم قسمتی از هیدرومتر است که داخل آب می‌باشد. از تساوی روابط فوق داریم:

$$\Delta h = \frac{V_0}{a} \left(\frac{S-1}{S} \right)$$

با اندازه‌گیری Δh می‌توان مقدار S را که دانسیته سیال مجهول است به‌دست آورد.

برای به‌دست آوردن وزن هیدرومتر کفیفست هیدرومتر را یک‌بار در یک سیال γ_1 قرار دهیم که در این حالت اختلاف خط نشانه با سطح سیال را h_1 می‌نامیم، یک‌بار دیگر هیدرومتر را در سیال γ_2 قرار می‌دهیم و در این حالت اختلاف خط نشانه از سطح سیال را با h_2 نمایش دهیم. از رابطه زیر وزن هیدرومتر به‌دست می‌آید.

$$W = \frac{a \Delta h \gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 - \gamma_2}$$

که در این رابطه γ وزن مخصوص سیال می‌باشد.

تست‌های شناوری و پایداری

۱ - یک ظرف خالی را به‌طور وارونه به درون مایع فشار داده و در ارتفاع خاصی نگه می‌داریم، کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟
(مهندسی شیمی ۷۸)

- (۱) اگر دست خود را از روی ظرف برداریم، ظرف به سمت بالا حرکت می‌کند.
- (۲) اگر دست خود را از روی ظرف برداریم، بسته به موقعیت، ظرف ممکن است به سمت پایین یا بالا حرکت کند.
- (۳) اگر دست خود را از روی ظرف برداریم، ظرف به سمت پایین حرکت می‌کند.
- (۴) اگر دست خود را از روی ظرف برداریم ظرف در محل خود ثابت می‌ماند.

حل : گزینه ۱ صحیح است.

۲ - برای اجسام غوطه‌ور تعادل پایدار :

- (۱) ارتباطی به موقعیت مراکز ثقل و نیروی غوطه‌وری ندارد.
- (۲) زمانی است که مرکز ثقل بالاتر از مرکز نیروی غوطه‌وری باشد.
- (۳) زمانی است که مرکز ثقل و مرکز اثر نیروی غوطه‌وری بر هم منطبق باشند.
- (۴) زمانی حاصل می‌شود که مرکز ثقل پایین‌تر از مرکز اثر نیروی غوطه‌وری باشد.

حل : گزینه ۴ صحیح است.

۳ - یک بالون هلیوم با قطر ۳ متر موجود است. اگر بالون به صورت کره باشد و فشار هوا یک اتمسفر و دمای هوا 25°C باشد، کدام یک از گزینه‌های زیر درست است؟
(مهندسی شیمی و مهندسی بیوتکنولوژی و مهندسی مخازن هیدروکربوری ۷۹)

- (۱) بلند شدن بالون از زمین در هیچ شرایطی امکان‌پذیر نیست.
- (۲) اگر از وزن پوسته پلاستیکی بالون صرف‌نظر شود، بالون از زمین بلند می‌شود.
- (۳) بلند شدن بالون با هر وزنی از پوسته پلاستیکی بالون امکان‌پذیر است.
- (۴) اگر وزن پوسته پلاستیکی صرف‌نظر نشود، بالون از زمین بلند نمی‌شود.

حل : گزینه ۲ صحیح است.

چون هلیوم از هوا سبک‌تر است، نیروی بویانسی از وزن هلیوم داخل بالون بیشتر خواهد بود. پس با صرف‌نظر از وزن پوسته پلاستیکی، بالون از زمین بلند می‌شود.

۴ - یک صفحه چوبی با ابعاد $4 \times 4 \times 1$ فوت و چگالی ۰.۵ همراه با وزنه‌ای با سنگینی ۴۰۰ پوند نیرو در آب شناور است. حجم بخش فرو رفته چوبی بر حسب فوت مکعب کدام است؟
(مهندسی شیمی و مهندسی بیوتکنولوژی ۸۰)

- | | | | |
|---------|-------|-----------|----------|
| 1.6 (۱) | 8 (۲) | 14.41 (۳) | 16.6 (۴) |
|---------|-------|-----------|----------|

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$F + W = F_B$$

W وزن صفحه چوبی، F وزن ناشی از وزنه و F_B نیروی شناوری است که برابر γV می باشد. V حجم قسمت فرو رفته در داخل آب (حجم سیال جابه جا شده) است.

$$400 + (0.5 \times 62.4) \times (4 \times 4 \times 1) = 62.4 V \rightarrow V = 14.41 \text{ ft}^3$$

۵- جرم جعبه ای (ارتفاع 4m، عرض 3m و طول 7.5m) 40 تن می باشد. اگر این جعبه در داخل آب انداخته شود، چقدر از آن در

آب فرو خواهد رفت؟ ($g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ شتاب ثقل، $\gamma_{H_2O} = 9800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$ وزن مخصوص)

(۱) 1.12 متر (۲) 2.88 متر (۳) 1.78 متر (۴) 2.22 متر

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

اگر h را ارتفاع فرو رفته در آب در نظر بگیریم داریم :

$$W = F_B \rightarrow 40000 \times 9.81 = 1000 \times 9.81 \times (h \times 3 \times 7.5) \quad h = 1.78 \text{ m}$$

۶- اگر وزن یک جسم در هوا 300 lb و وزن همان جسم در آب 225 lb باشد، چگالی ویژه جسم نسبت به آب برابر است با:

(مهندسی شیمی آزاد ۸۱) $\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} = 62.4$ دانسیته آب)

(۱) 3.5 (۲) 3.0 (۳) 4 (۴) 2.5

حل : گزینه ۳ صحیح است.

و $W = \rho_{\text{جسم}} V_{\text{جسم}}$ $F_B = \rho_{\text{آب}} V_{\text{آب جابه جا شده}}$

$$F_B = 300 - 225 = 75 \text{ lb}$$

$$S = \frac{\rho_{\text{جسم}}}{\rho_{\text{سیال}}} = \frac{W}{F_B} = \frac{300}{75} = 4$$

۷- یک چگالی سنج (HYDRO - METER) دارای استوانه ای به قطر 0.1" برای اندازه گیری چگالی روغن و الکل به کار گرفته

می شود. انتهای این چگالی سنج در روغن به اندازه $h = 1"$ پایین تر از سطح الکل قرار می گیرد. وزن این چگالی سنج چقدر

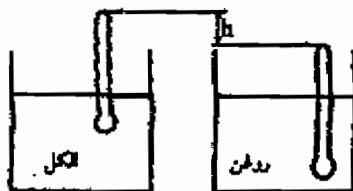
می باشد؟ (دانسیته روغن $0.821 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ می باشد و دانسیته الکل $0.78 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ می باشد). (مهندسی شیمی ۷۲)

(۱) 4.18 lb_f

(۲) 0.4188 lb_f

(۳) 0.078 lb_f

(۴) 0.0044 lb_f



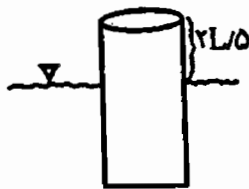
حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$W = \frac{a h \gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 - \gamma_2} = \frac{\frac{\pi}{4} \times \left(\frac{0.1}{12}\right)^2 \times \left(\frac{1}{12}\right) \times (0.78 \times 62.4) \times (0.821 \times 62.4)}{(0.821 - 0.78) 62.4}$$

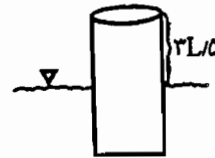
$$W = 0.0044 \text{ lb}_f$$

(مهندسی نفت ۸۳)

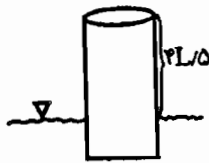
۸- استوانه‌ای به طول L و قطر D در کدام حالت به پایداری نزدیک خواهد بود؟



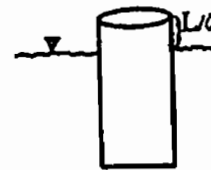
(۲)



(۱)



(۴)



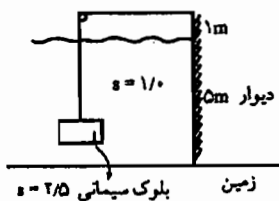
(۳)

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۹- صرف‌نظر از نیروی وارده از طرف آب به دیوار، نیروی وارده از جانب بلوک سیمانی چقدر می‌باشد؟ (در صورتی که V حجم

(مهندسی نفت ۸۳)

بلوک و γ وزن مخصوص مربوط به آب $\left(\frac{N}{m^3}\right)$ باشد.)



(۱) $1.5\gamma V$

(۲) $2.5\gamma V$

(۳) $3.5\gamma V$

(۴) γV

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$F = \gamma V - \gamma V = 2.5\gamma V - \gamma V = 1.5\gamma V$$

۱۰- یک کره توخالی به شعاع R و ضخامت t در ظرف آبی به طور کاملاً غوطه‌ور قرار دارد. اگر چگالی ماده پوسته کره ۸ باشد،

(مهندسی شیمی ۸۵)

مقدار t به R برابر است با.....

(۴) 0.04

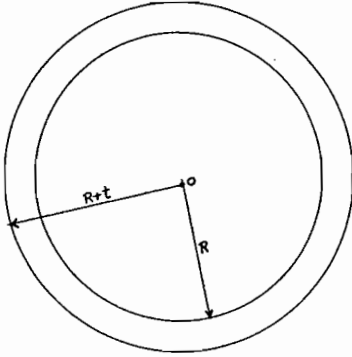
(۳) 0.03

(۲) 0.02

(۱) 0.01

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

نیروی غوطه‌وری با نیروی وزن برابری می‌کند پس:



$$\frac{4}{3}\pi[(R+t)^3 - R^3] \cdot \gamma_s = \frac{4}{3}\pi(R+t)^3 \gamma_w$$

$$[(R+t)^3 - R^3](8\gamma_w) = (R+t)^3 \gamma_w \rightarrow \frac{(R+t)^3 - R^3}{(R+t)^3} = \frac{1}{8}$$

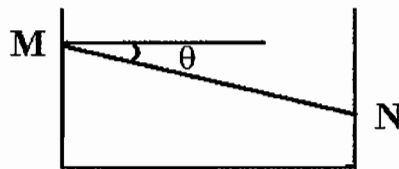
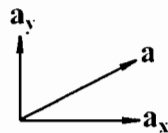
$$1 - \left(\frac{R}{R+t}\right)^3 = \frac{1}{8} \rightarrow \frac{R}{R+t} = \sqrt[3]{\frac{7}{8}} \rightarrow \frac{R}{R+t} = 0.9564 \rightarrow \frac{t}{R} = 0.04$$

حرکت صلب گونه سیالات:

منظور از حرکت سیالات صلب گونه حالاتی است که ظرف حاوی سیال، در حرکت است ولی سیال داخل ظرف دارای هیچ گونه حرکتی نمی باشد. به عبارت دیگر ذرات سیال مانند یک جسم جامد عمل می نمایند که ذرات آن نسبت به هم بدون حرکت هستند. حرکت صلب گونه سیالات در دو حالت حرکت با شتاب خطی یکنواخت و حرکت دورانی یکنواخت قابل بررسی است.

حرکت با شتاب خطی یکنواخت :

مطابق شکل ظرف حاوی سیال با شتاب a در حال حرکت است. بردار شتاب دارای دو مولفه a_x ، a_y در راستای محوره های x و y می باشد بنابراین داریم :



همان طور که در بخش استاتیک سیالات گفته شده تغییرات فشار در راستای x و y از روابط زیر به دست می آید:

$$\frac{dP}{dx} = -\rho a_x$$

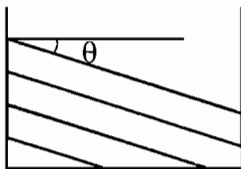
$$\frac{dP}{dy} = -\rho(a_y + g)$$

از دو رابطه فوق داریم :

$$dp = -\rho a_x dx - \rho(a_y + g) dy$$

لازم به ذکر است اگر a_y با بردار شتاب ثقل (g) هم جهت باشد a_y را از g کم می کنیم و اگر a_y در خلاف جهت g باشد a_y را با علامت مثبت وارد می کنیم (به عبارت دیگر a_y را با g جمع می کنیم).

از شکل بالا مشخص است که هر نقطه روی خط MN قرار داشته باشد، دارای فشار اتمسفر یک می باشد. بنابراین خط MN را خط هم فشار، معادل فشار صفر می نامیم. اگر خط دیگری موازی MN ولی کمی پایین تر را مدنظر قرار دهیم. باز هم تمام نقاط روی آن هم فشار خواهد بود. خطوط هم فشار در شکل زیر نشان داده شده اند:



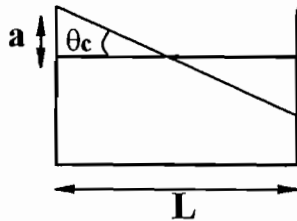
برای محاسبه شیب خطوط هم فشار در رابطه ذکر شده dp را مساوی صفر قرار می دهیم و داریم :

$$\frac{dy}{dx} = \tan \theta = -\frac{a_x}{a_y + g}$$

می توان از رابطه $dp = -\rho a_x dx - \rho(a_y + g) dy$ انتگرال گیری کرد که در این صورت داریم :

$$P = P_0 - \rho a_x x - \rho(g + a_y)y$$

که در این رابطه P_0 فشار یک نقطه مرجع است (نقطه مرجع یک نقطه دلخواه است و نقطه‌ای را به عنوان نقطه مرجع انتخاب می‌کنیم که فشار آن برای ما معلوم و معین است). در این صورت x اختلاف طول نقطه موردنظر که P را اندازه می‌گیریم با طول نقطه مرجع است و y عبارت است از اختلاف ارتفاع نقطه موردنظر با عرض نقطه مرجع. در برخی موارد در اثر حرکت ظرف مقداری از سیال داخل ظرف بیرون می‌ریزد برای پاسخ به این سوال که آیا سیالی از ظرف بیرون ریخته است یا خیر ابتدا باید یک زاویه بحرانی θ_c تعریف کنیم. مطابق شکل:



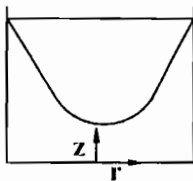
لازم به ذکر است که سطح آزاد مایع همواره از وسط سطح آزاد اولیه مایع (یعنی سطح آزاد مایع قبل از حرکت) می‌گذرد. θ_c با توجه به شکل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\tan \theta_c = \frac{a}{\frac{L}{2}}$$

حال اگر سطح آزاد مایع به بالای ظرف نرسد یعنی $\theta \leq \theta_c$ باشد، آب از ظرف خارج نمی‌گردد و اگر $\theta > \theta_c$ باشد سیال از ظرف خارج می‌گردد.

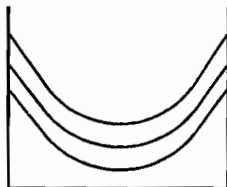
حرکت دورانی:

رابطه حرکت صلب گونه دورانی سیالات را می‌توان از رابطه حرکت شتابدار خطی با جایگزین کردن $a_x = -r\omega^2$ به دست آورد، اگر فرض کنیم $a_y = 0$ ، خواهیم داشت (ω سرعت دورانی می‌باشد):



$$dp = \rho r \omega^2 dr - \rho g dz$$

برای به دست آوردن سهمی‌های ایزوبار با قرار دادن $dp = 0$ داریم:



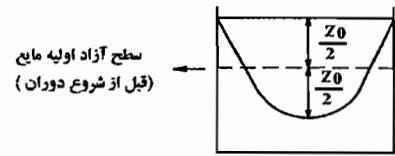
$$\frac{dz}{dr} = \frac{r\omega^2}{g}$$

حجم سهمی به وجود آمده در اثر حرکت شتابدار دورانی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{حجم سهمی} = \frac{1}{2} \pi R^2 Z_0$$

برای محاسبه Z_0 داریم:

$$Z_0 = \frac{R^2 \omega^2}{2g}$$



که در رابطه فوق R شعاع ظرف می باشد. از رابطه $dp = \rho r \omega^2 dr - \rho g dz$ می توان انتگرال گیری کرد و داریم :

$$P = P_0 + \rho \frac{r^2 \omega^2}{2} - \rho g y$$

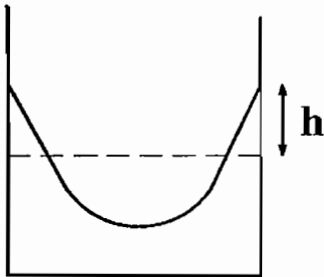
که در این صورت P_0 فشار نقطه مرجع (که نقطه ای انتخابی است) می باشد. در حالت دورانی نیز ممکن است سیال از ظرف بیرون بریزد. برای بررسی این مساله فرض می کنیم، مطابق شکل، h اختلاف سطح آزاد اولیه (قبل از دوران) با بالای ظرف

باشد. $Z_0 = \frac{R^2 \omega^2}{2g}$ را محاسبه می کنیم:

اگر $h < \frac{Z_0}{2}$ مایع بیرون می ریزد.

اگر $h > \frac{Z_0}{2}$ مایع بیرون نمی ریزد.

اگر $h = \frac{Z_0}{2}$ مایع در آستانه ریزش می باشد.



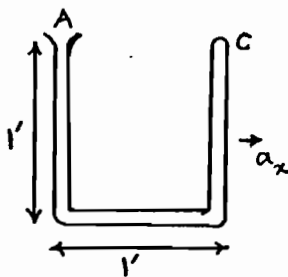
مثال‌هایی از حرکت صلب‌گونه سیالات:

مثال: ظرف U شکل حاوی سیال با شتاب a_x در حال حرکت است و نقطه A به اتمسفر باز است. a_x چقدر باشد تا فشار نقطه C اتمسفر یک باشد؟

حل :

$$dp = -\rho(a_y + g)dy - \rho a_x dx$$

اگر p_C اتمسفر یک باشد، بین نقاط A و C اختلاف فشار برابر صفر است:



$$dp = 0$$

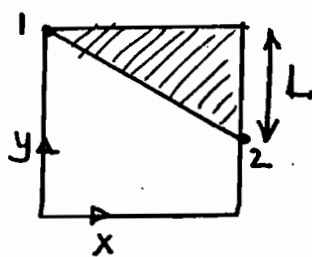
$$\Rightarrow \frac{dy}{dx} = -\frac{a_x}{a_y + g} = -\frac{a_x}{g}$$

$$\frac{y_A - y_C}{x_A - x_C} = -\frac{a_x}{g}$$

$$\frac{1 - 0}{0 - l'} = -\frac{a_x}{g}$$

مثال: جسم مکعبی به ابعاد $1 \times 1 \times 1$ پر از آب است، در یک لحظه با شتاب $a_x = \frac{g}{2}$ شروع به حرکت می‌کند. چند درصد از آب از ظرف بیرون می‌ریزد؟

حل : حجم آب بیرون ریخته با هاشور نمایش یافته است.



$$\frac{dy}{dx} = -\frac{a_x}{a_y + g} = -\frac{1}{2}$$

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = -\frac{1}{2}$$

$$\frac{(1 - L) - 1}{1 - 0} = -\frac{1}{2} \Rightarrow L = 0.5$$

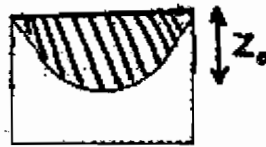
بنابراین حجم آب بیرون ریخته:

$$V = \left(\frac{\frac{1}{2} \times 1}{2} \right) \times 1 = \frac{1}{4}$$

حجم آب قبل از حرکت شتابدار ($1 \times 1 \times 1 = 1$) بوده است، بنابراین 25% از آب از ظرف بیرون می‌ریزد.

تست: ظرف استوانه‌ای به شعاع 2m و ارتفاع 6 m که پر از آب است، در یک لحظه با سرعت دورانی $5 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ حول محور عمودی خود شروع به دوران می‌کند، حجم آبی که بیرون می‌ریزد بر حسب متر مکعب برابر است با:

- (۱) 15.7 (۲) 3.14 (۳) 1.57 (۴) 31.4



حل : حجم آب بیرون ریخته شده برابر است با حجم قسمت هاشور خورده که برابر است با:

$$\text{حجم سهمی} = \frac{1}{2} \pi R^2 Z_0$$

$$Z_0 = \frac{R^2 \omega^2}{2g} = \frac{4 \times 25}{20} = 5 \text{ m}$$

$$\text{حجم سهمی (حجم مایعی که بیرون می‌ریزد)} = \frac{1}{2} \times \pi \times 4 \times 5 = 10\pi = 31.4 \text{ m}^3$$

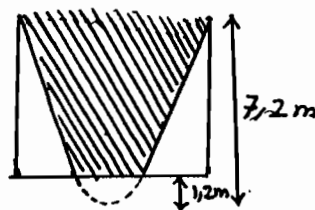
لذا گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

مثال: مثال قبل را درحالتی حل کنید که ظرف با سرعت $6 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ دوران کند.

حل :

$$Z_0 = \frac{R^2 \omega^2}{2g} = \frac{4 \times 36}{20} = 7.2 \text{ m}$$

از آن‌جا که Z_0 محاسبه شده از ارتفاع ظرف بیشتر است، حالتی مطابق شکل زیر به وجود می‌آید.



حجم آب بیرون ریخته مطابق شکل با هاشور نمایش یافته است.

برای محاسبه حجم مذکور می‌توان حجم سهمی به ارتفاع 1.2 متر را از حجم سهمی به ارتفاع 7.2 متر کم کرد.

فقط برای این کار باید شعاع سهمی به ارتفاع 1.2 m را تعیین کرد.

$$Z = \frac{r^2 \omega^2}{2g}, Z=1.2 \text{ m} \Rightarrow r=0.81 \text{ m}$$

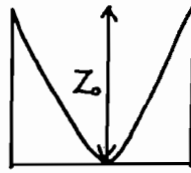
$$\text{حجم آب بیرون ریخته} = \frac{1}{2} \pi (2)^2 (7.2) - \frac{1}{2} \pi (0.81)^2 (1.2)$$

تست: ظرفی استوانه‌ای به شعاع 2m داریم. اگر این ظرف با سرعت دورانی $\omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right)$ دوران کند، به‌طوری که فشار در مرکز کف

ظرف اتمسفر یک باشد میزان ω را بر حسب $\frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ تعیین کنید.

- (۱) 4.5 (۲) 5.5 (۳) 6.5 (۴) 3.5

حل : مطابق شکل برای این که فشار مرکز کف ظرف اتمسفر یک باشد، باید Z_0 دقیقاً برابر ارتفاع ظرف باشد.



$$Z = \frac{r^2 \omega^2}{2g} \Rightarrow \omega = \frac{1}{R} \sqrt{2gh}$$

$$\omega = \frac{1}{2} \sqrt{2 \times 9.8 \times 6}$$

$$\omega = 5.5 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

لذا گزینه ۲ صحیح می باشد.

تست: ظرفی استوانه‌ای به شعاع 2m و ارتفاع 6m تا ارتفاع 4m از مایع پر شده است. در یک لحظه با سرعت دورانی $5 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ حول

محور مرکزی می چرخد حجم آبی که بیرون می ریزد بر حسب متر مکعب چقدر می باشد؟

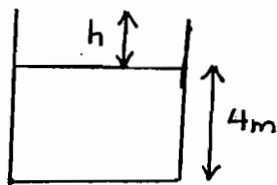
9.42 (۴)

4.71 (۳)

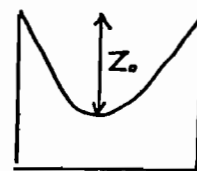
6.28 (۲)

3.14 (۱)

حل : در این مثال قبل از دوران ظرف به طور کامل پر نبوده است.



ظرف قبل از دوران



ظرف در حال دوران

ابتدا باید بررسی شود که مایع بیرون می ریزد یا خیر:

$$Z_0 = \frac{R^2 \omega^2}{2g} = \frac{4 \times 25}{20} = 5$$

$$\frac{Z_0}{2} = 2.5 \text{ m}$$

$$\frac{Z_0}{2} > h \Rightarrow \text{مایع بیرون می ریزد.}$$

$$\text{حجم اولیه مایع قبل از دوران} = \pi R^2 h = 16\pi$$

$$\text{حجم سهمی} = \frac{1}{2} \pi R^2 Z_0 = 10\pi$$

$$\text{حجم کل ظرف} = \pi R^2 6 = 24\pi$$

$$14\pi = \text{حجم سهمی} - \text{حجم کل ظرف} = \text{حجم مایع بعد از دوران}$$

$$16\pi - 14\pi = 2\pi = 6.28 \text{ m}^3 = \text{حجم اولیه مایع قبل از دوران} - \text{حجم مایع بیرون ریخته از ظرف}$$

لذا گزینه ۲ صحیح می باشد.

مثال: یک ظرف استوانه‌ای از سیالی با دانسیته $1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ پر شده است این ظرف با سرعت دورانی 200 rpm حول محور مرکزی می‌چرخد فشار در نقطه A که 1m از محور دوران فاصله دارد 70 KPa می‌باشد. فشار سیال در نقطه B که 2m بالای نقطه A و 1.5 متر از محور مرکزی فاصله دارد بر حسب KPa برابر است با:

حل : توجه می‌شود که باید سرعت دورانی (ω) با واحد $\frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ در حل مساله استفاده شود.

$$dp = \rho r \omega^2 dr - \rho g dz$$

$$\int_A^B dp = \int_A^B \rho r \omega^2 dr - \int_A^B \rho g dz$$

$$P_B - 70000 = \frac{1200 \times \left[\frac{2\pi \times 200}{60} \right]^2 [1.5^2 - 1^2]}{2} - 1200 \times 9.81 \times 2$$

$$P_B = 375000 \rightarrow P_B = 375 \text{ KPa}$$

تست های حرکت سیالات صلب گونه

۱- ظرف استوانه ای محتوی مایع با سرعت زاویه ای ثابت، حول محور عمودی دوران می کند. مقدار فشار در داخل مایع به صورت زیر تغییر می کند :

- (۱) با افزایش فاصله عمودی نسبت عکس دارد.
- (۲) بر حسب مجذور فاصله از محور دوران تغییر می کند.
- (۳) بر حسب مجذور فاصله از محور دوران کاهش می یابد.
- (۴) به طور خطی بر حسب فاصله از محور دوران افزایش می یابد.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

۲- یک مخزن روباز حاوی آب به عمق یک متر به صورت آزاد سقوط می کند. اگر نیروی Drag ناچیز باشد، فشار در ته ظرف چقدر خواهد بود؟

- (۱) کمتر از فشار اتمسفر
- (۲) برابر فشار اتمسفر
- (۳) بیشتر از فشار اتمسفر
- (۴) فشار سطح آزاد به اضافه فشار هیدرواستاتیک

حل : گزینه ۲ صحیح است.

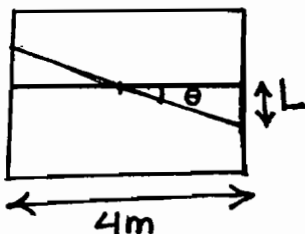
$$P = P_0 - \rho a_x x - \rho (g + a_y) y$$

$$a_x = 0, a_y = -g \Rightarrow P = P_0 - 0 - \rho (g - g) y = P_0$$

۳- یک تانکر حمل گازوئیل از حالت سکون با شتاب $1.5 \frac{m}{s^2}$ شروع به حرکت می کند. اگر طول مخزن حاوی گازوئیل 4m و چگالی ویژه گازوئیل برابر 0.8 باشد، اختلاف فشار بین ابتدا و انتها مخزن چقدر است؟

- (۱) 31.4 kPa
- (۲) 4.8 kPa
- (۳) 1.2 kPa
- (۴) 0 kPa

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.



$$\tan \theta = \frac{a}{g} = \frac{1.5}{9.81} = 0.153 \quad \text{و} \quad L = 2 \tan \theta = 2 \times 0.53 = 0.306 \text{ m}$$

$$\Delta P = \gamma (2L) = 0.8 \times 9810 (2 \times 0.306) \rightarrow \Delta P = 4.803 \text{ kPa}$$

۴- در شکل مقابل سیالی در داخل جعبه‌ای قرار دارد و از یک سطح شیبدار با شتاب $5 \frac{m}{s^2}$ به سمت پایین در حرکت است. جعبه

حاوی $2m^3$ آب با دانسیته $\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$ است. شیب سطح آزاد روغن چقدر است؟ (مهندسی شیمی ۸۲)



(۱) -0.177

(۲) -0.35

(۳) 0.177

(۴) 0.35

حل : هیچ کدام

$$\tan \theta = -\frac{a_x}{a_y + g}$$

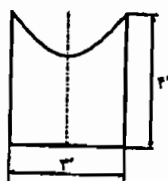
$$a_x = a \cos 30 = 4.33 \frac{m}{s^2} \quad \text{و} \quad a_y = -a \sin 30 = -2.5 \frac{m}{s^2}$$

$$\tan \theta = -\frac{4.33}{-2.5 + 9.81} = -0.59$$

علت این که a_y را منفی در نظر گرفتیم این است که هم جهت با g می‌باشد.

۵- در شکل زیر استوانه‌ای به شعاع 1.5ft و ارتفاع 4ft با سرعت زاویه‌ای $10 \frac{Rad}{sec}$ حول محورش دوران می‌نماید. چنان چه استوانه

قبل از دوران پر از آب باشد، بعد از دوران چه مقدار آب از استوانه به بیرون ریخته شده است؟ (مهندسی شیمی ۷۲)



(۱) $6.2ft^3$

(۲) $12.4ft^3$

(۳) $14.3ft^3$

(۴) $28.26ft^3$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$Z = \frac{R^2 \omega^2}{2g} = \frac{1.5^2 \times 10^2}{2 \times 32.2} = 3.49ft \quad , \quad V = \frac{1}{2} \pi R^2 Z = \frac{1}{2} \times 3.14 \times 1.5^2 \times 3.49 = 12.4ft^3$$

۶- آب حول محور عمودی یک تانک مانند یک جسم صلب دوران می‌کند و فشار نقطه‌ای روی محور دوران (A) و فشار در نقطه‌ای از سیال که 0.2m از محور فاصله و 0.2m بالاتر از (A) قرار دارد برابر است. سرعت دورانی چند رادیان بر ثانیه

(مهندسی شیمی ۸۱) $g = 10 \frac{m}{sec^2}$ است؟ $\left(\frac{Rad}{sec} \right)$

(۴) 1.05

(۳) 10

(۲) 7.07

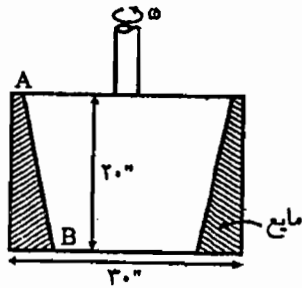
(۱) 4.47

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$dp = r \omega^2 dr - \rho g dz \xrightarrow{dp=0} Z_A - Z_B = \frac{(r_A^2 - r_B^2) \omega^2}{2g}$$

$$0.2 = \frac{0.2^2 \omega^2}{20} \Rightarrow \omega = 10 \frac{rad}{sec}$$

۷- در یک دستگاه سانتریفوژ صنعتی، قطر استوانه 30" و ارتفاع آن 20" می باشد. اگر سرعت چرخش 1000rpm و ضخامت مایع کنار دیوار در بالا (نقطه A) 1" می باشد. ضخامت مایع در پایین (نقطه B) چقدر است؟ (مهندسی شیمی ۸۳)



- (۱) 10 اینچ
(۲) 1.05 اینچ
(۳) 1.5 اینچ
(۴) 3.15 اینچ

حل : گزینه ۲ صحیح است.

$$\omega = 2\pi \times \frac{1000}{60} = 104.66 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$Z_A - Z_B = \frac{(r_A^2 - r_B^2)\omega^2}{2g} \rightarrow \frac{20}{12} = \frac{\left[\left(\frac{14}{12}\right)^2 - r_B^2\right](104.66)^2}{2 \times 32.2}$$

$$r_B = 1.162 \text{ ft} \rightarrow r_B = 13.944 \text{ inch}$$

$$B \text{ در } 15" - 13.944" = 1.056 \text{ inch}$$

تست‌های فصل دوم: (استاتیک سیالات)

۱- قانون فشار هیدرواستاتیک بیان می‌دارد که نرخ افزایش فشار در جهت قایم :

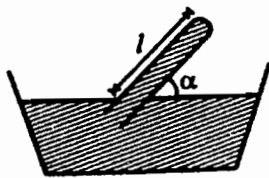
- (۱) برابر با چگالی سیال است. (ρ)
 (۲) برابر با وزن سیال است. (W)
 (۳) برابر با وزن مخصوص سیال است. (γ)
 (۴) برابر با چگالی نسبی سیال است. (s)

حل : گزینه ۳ صحیح است.

$$\frac{dP}{dy} = -\gamma$$

۲- یک لوله شیشه‌ای تحت زاویه α در داخل یک تشت جیوه با وزن مخصوص γ قرار دارد. طول قسمتی از لوله که بیرون تشت

قرار می‌گیرد برابر با ℓ است. فشار هوا در محل آزمایش P_0 است. فشار بخار جیوه چقدر است؟ (مهندسی مکانیک ۸۲)



(۱) P_0

(۲) $\gamma \ell \sin \alpha$

(۳) $P_0 - \gamma \ell \sin \alpha$

(۴) $P_0 + \gamma \ell \sin \alpha$

حل : گزینه ۳ صحیح است.

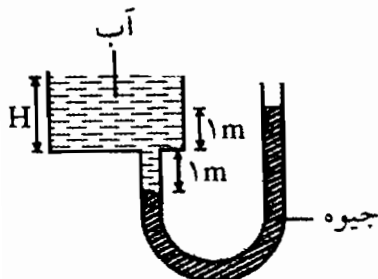
$$P_0 = P_v + \gamma h, \quad \sin \alpha = \frac{h}{\ell}$$

$$P_0 = P_v + \gamma \ell \sin \alpha$$

$$P_v = P_0 - \gamma \ell \sin \alpha$$

۳- در شکل روبرو ارتفاع آب در مخزن را پیدا کنید.

(مهندسی مخازن هیدروکربوری آزاد ۸۱ و مهندسی نفت ۷۹ و مهندسی فرآوری و انتقال گاز ۸۳)



(۱) $H = 26.2m$

(۲) $H = 2.62m$

(۳) $H = 0.262m$

(۴) $H = 262m$

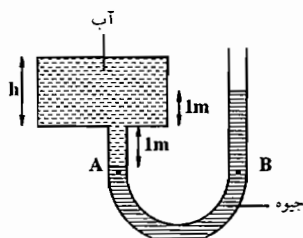
حل : گزینه ۱ صحیح است.

از آن‌جا که دو نقطه A, B در یک جنس سیال (جیوه) و در یک

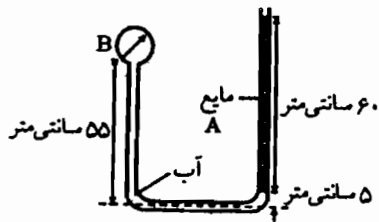
ارتفاع قرار دارند فشار برابر دارند :

$$P_A = P_B \Rightarrow (H+1)\gamma_w = 2\gamma_{Hg}$$

$$\Rightarrow H+1 = 2 \times 13.6 \Rightarrow H = 26.2m$$



۴ - فشار نقطه B در شکل برابر با 5.05 کیلوپاسکال و وزن مخصوص آب 9806 نیوتن بر متر مکعب است. چگالی مایع A سمت راست برابر است با: (مهندسی معدن ۸۰)



(۱) 0.85

(۲) 1.18

(۳) 1.64

(۴) 1.69

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

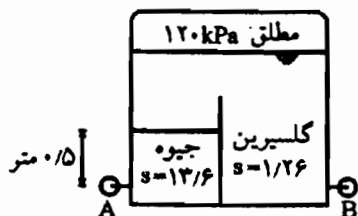
اگر در نظر گرفته شود که فشارسنج، فشار نسبی را نمایش می دهد داریم :

$$P_B + (\gamma_w \times 0.55) - (\gamma_w \times 0.05) - (\gamma_A \times 0.6) = 0$$

$$5050 + (9806 \times 0.5) - (0.6 \gamma_A) = 0 \rightarrow \gamma_A = 16588 \frac{N}{m^3}$$

$$S = \frac{\gamma_A}{\gamma_w} = \frac{16588}{9806} = 1.691$$

۵ - فشار مطلق در فشارسنج A برابر با 195 Kpa است. اگر بارومتر فشار استاندارد محلی را 101.47 KPa نشان دهد، فشار نسبی در نقطه B بر حسب کیلوپاسکال برابر است با: (مهندسی عمران ۸۲)



(۱) 8.3

(۲) 33.0

(۳) 66.7

(۴) 75.0

حل : گزینه ۲ صحیح است.

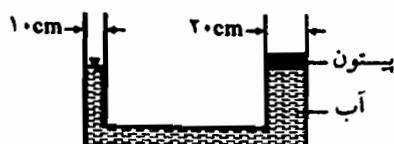
مثل رابطه مانومتری می نویسیم:

$$P_B - (0.5 \times 1.26 \times 9810) + (0.5 \times 13.6 \times 9810) = P_A$$

$$P_B = (195 \times 1000) - (0.5 \times 13.6 \times 9810) + (0.5 \times 1.26 \times 9810)$$

$$P_B = 134472 \text{ KPa} \rightarrow \text{فشار نسبی در B } P_B = 134.472 - 101.47 = 33 \text{ KPa}$$

۶ - در شکل مقابل، در صورتی که پیستونی را با وزن 9.81 N در شاخه سمت راست قرار دهیم، اختلاف سطوح مایع در طرفین چند سانتی متر خواهد شد؟ (مهندسی عمران ۷۸)



(۲) 0.64

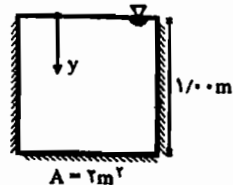
(۴) 3.18

(۱) 2.56

(۳) 4.77

نیروهای وارده بر صفحه، نیروهای افقی وارد از دو طرف صفحه می‌باشد که هم‌دیگر را خنثی می‌کنند، بنابراین برآیند نیروهای وارد بر صفحه صفر می‌باشد.

۱۰ - یک ظرف استوانه به مساحت قاعده ۲ متر مربع و ارتفاع یک متر از سیالی به وزن مخصوص متغیر به معادله $\gamma = a + by$ ، که در آن a ، b مقادیر ثابت و مثبت می‌باشند پر شده است، γ نیز بر حسب $\frac{N}{m^3}$ می‌باشد. نیروی هیدرواستاتیکی ناشی از وزن سیال وارد بر کف ظرف چند نیوتن است؟ (مهندسی عمران ۷۹)



- (۱) $(a + b)$ (۲) $(2a + b)$
(۳) $(a + 2b)$ (۴) $2(a + b)$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

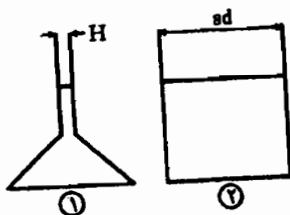
با انتگرال گیری داریم:

$$\frac{dp}{dy} = \gamma \Rightarrow dp = \gamma dy \Rightarrow \int_0^P dp = \int_0^1 \gamma dy$$

$$\Rightarrow p = \int_0^1 (a + by) dy = ay + \frac{by^2}{2} \Big|_0^1 = a + \frac{b}{2}$$

$$F = PA = \left[a + \frac{b}{2} \right] (2 \times 1) = 2a + b$$

۱۱ - با توجه به داده‌های روی شکل و با فرض این که مساحت کف هر دو مخزن که به صورت افقی قرار گرفته و با هم برابر است، کدام یک از گزینه‌های زیر برای نیروهای وارد بر کف صحیح است؟ (مهندسی عمران ۷۴)



- (۱) $F_2 = 25F_1$ (۲) $F_2 = 5F_1$
(۳) $F_1 = F_2$ (۴) $F_1 = 25F_2$

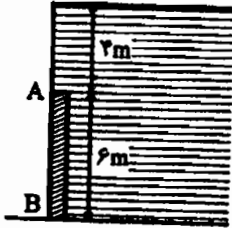
حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

نیروی وارد بر یک طرف سطح برابر است با :

$$F = PA = \gamma h A$$

از آن جا که ارتفاع سیال روی کف هر دو ظرف با هم برابر است، بنابراین فشار وارد بر کف هر دو ظرف نیز با هم برابر بوده و چون سطح زیرین هر دو ظرف یکسان می‌باشند، در نتیجه نیروی وارد بر کف هر دو ظرف نیز با هم برابر خواهند بود.

۱۲ - مطابق شکل دریچه مستطیل شکل AB به ارتفاع 6m و قاعده 3m به حالت قائم در داخل آب قرار گرفته است، نیروی وارد از طرف آب بر دریچه چند نیوتن است؟ (مهندسی معدن ۸۰)



(۱) 126000

(۲) 1236060

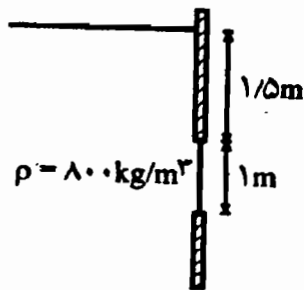
(۳) 3751458

(۴) 8427961

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$F = \gamma h_c A = 9810 \times \left(4 + \frac{6}{2} \right) \times (6 \times 3) \rightarrow F = 1236060 \text{ N}$$

۱۳ - در شکل مقابل اگر عرض دریچه مستطیل شکل 2 متر باشد، نیروی وارد بر دریچه برابر چند نیوتن است؟ (مهندسی عمران آزاد ۸۱)



(۱) 3.9×10^3

(۲) 31.4×10^3

(۳) 7.85×10^3

(۴) 15.7×10^3

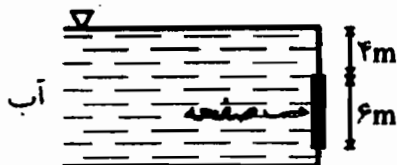
حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$F = \gamma h_c A = 800 \times 9.81 \times \left(1.5 + \frac{1}{2} \right) \times (2 \times 1) \rightarrow F = 31392 \text{ N}$$

۱۴ - صفحه مثلثی شکل که قاعده آن به صورت افقی در زیر آب مطابق شکل قرار گرفته است، در نظر گرفته می شود. اگر مثلث متساوی الساقین بوده و ارتفاع آن 6m و قاعده آن 4m باشد نیروی وارد بر صفحه چند KN خواهید بود؟ دانیسته آب

(مهندسی نفت ۸۰)

$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ بوده و $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ می باشد.



(۲) 1440

(۱) 720

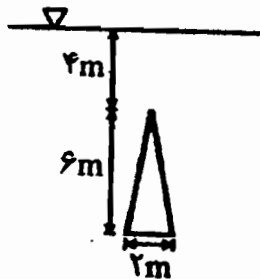
(۴) 1920

(۳) 960

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$F = \gamma h_c A = (10 \times 1000) \left(4 + \frac{2}{3} \times 6 \right) \left(\frac{4 \times 6}{2} \right) \rightarrow F = 960000 \text{ N} = 960 \text{ KN}$$

۱۵ - نیروی افقی وارد شده بر صفحه مثلثی شکل با قاعده‌ای به طول ۲m که راس آن ۴m زیر آب و به طور عمودی قرار گرفته است، چند کیلونیوتن است؟ $g=10 \frac{m}{s^2}$ و دانسیته آب $\rho=1000 \frac{kg}{m^3}$ می‌باشند. (مهندسی بیوتکنولوژی آزاد ۷۹)



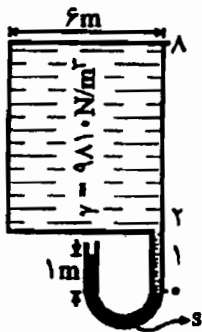
- (۱) 0.0
(۲) 360
(۳) 960
(۴) 480

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$F = \gamma h_c A = (10 \times 1000) \times \left(4 + \frac{2}{3} \times 6 \right) \times \left(\frac{2 \times 6}{2} \right) \rightarrow F = 480000 \text{ N} = 480 \text{ KN}$$

۱۶ - در شکل مقابل مخزنی به ابعاد $6m \times 6m \times 4m$ از آب پر شده و در کف به مانومتری اتصال یافته است. اختلاف سطح سیال در مانومتر ۱m و چگالی نسبی سیال در آن ۶ است. نیروی وارد بر سمت چپ بدنه مخزن از طرف آب چقدر است؟

(مهندسی عمران ۷۶)



- (۱) 235.44KN
(۲) 706.32KN
(۳) 435.48 KN
(۴) 300.2 KN

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

فشار در سطح آب بالای مخزن (P_0) از مانومتر قابل محاسبه است:

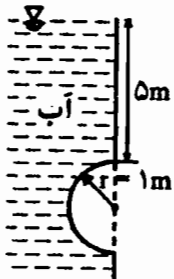
$$P_0 + 8\gamma_w - 6\gamma_w = 0 \rightarrow P_0 = -2\gamma_w$$

پس نیروی وارد بر دیواره سمت چپ برابر است با :

$$F = P_c A \rightarrow F = (-2\gamma_w + 3\gamma_w) \times (4 \times 6) = 235440 \text{ N} = 235.44 \text{ KN}$$

(مهندسی هسته‌ای ۸۱)

۱۷ - با توجه به شکل مقابل، نیروی عمودی وارد بر نیم کره چه مقدار است؟ $\left(\gamma = \rho \frac{g}{g_c} \right)$



(۲) $F_v = 10\pi\gamma$

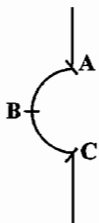
(۱) $F_v = 5\pi\gamma$

(۴) $F_v = \frac{2\pi\gamma}{3}$

(۳) $F_v = \frac{4\pi\gamma}{3}$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

وزن سیال بالای نیم کره = $F_{\text{قائم}}$



در این شکل قسمتی از نیروی وارد بر نیم کره از طرف سیال رو به پایین است (نیروی وارد به سطح AB) و نیروی وارد بر سطح BC به سمت بالا می‌باشد.

از آن جا که ارتفاع سیال بالای سطح BC بیشتر از سطح AB است، نیروی وارد بر سطح BC از نیروی وارد بر سطح AB بیشتر بوده، بنابراین برآیند نیرو رو به بالا می‌باشد.

$$F_{\text{قائم}} = F_{BC} - F_{AB} = \gamma V_{BC} - \gamma V_{AB}$$

$$= \gamma (V_{BC} - V_{AB}) = \gamma (V_{\text{نیم کره}})$$

$$F_v = \gamma V = \gamma \times \left[\frac{1}{2} \times \frac{4}{3} \pi \times 1^3 \right] = \frac{2\gamma\pi}{3}$$

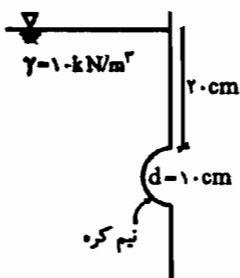
۱۸ - مولفه نیروی عمودی وارد بر نیم کره برابر است با:

(۲) 3.125π نیوتن

(۱) صفر

(۴) $\frac{2.5\pi}{3}$ نیوتن

(۳) 3.75π نیوتن



حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

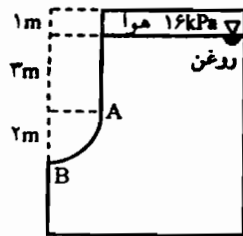
با توجه به تست قبل داریم :

$$F = \gamma V_{\text{نیم کره}} = 10000 \times \left(\frac{2}{3} \pi \times 0.05^3 \right) = \frac{2.5\pi}{3} \text{ N}$$

۱۹ - در ظرفی به طول یک متر در صورتی که روغن دارای وزن مخصوص $8 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$ باشد، نیروی قایم وارد بر صفحه ربع دایره‌ای AB به

(مهندسی عمران ۸)

شعاع ۲ متر چند KN است؟



۸۰ (۱)

۷۳ (۲)

۱۳۰ (۳)

۱۰۵ (۴)

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

روش اول :

$$F_v = \gamma V + PA = 8 \left[\left(\frac{\pi \times 2^2}{4} \times 1 \right) + (3 \times 2 \times 1) \right] + [16 \times (2 \times 1)]$$

$$F = 105 \text{ KN}$$

روش دوم:

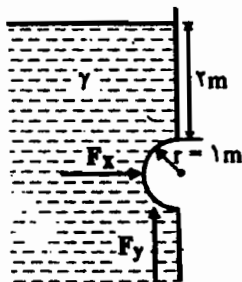
ابتدا ارتفاع معادل با 16Kpa را برای روغن پیدا می‌کنیم:

$$P = \gamma h \rightarrow 16 = 8h \rightarrow h = 2 \text{ m}$$

$$F_v = \gamma V \rightarrow F_v = 8 \left[\left(\pi \times \frac{2^2}{4} \times 1 \right) + (3 + 2) \times 2 \times 1 \right] = 105 \text{ KN}$$

در این مثال نیروی وارد بر سطح AB ناشی از وزن سیال (γV) و همچنین نیروی ناشی از هوای بالای سیال (PA) است.

۲۰ - نیروهای افقی و قایم وارد بر دریچه نیم استوانه بر حسب γ سیال در واحد عرض چقدر می‌باشند؟ (مهندسی عمران آزاد ۸۰)



۱.۶ γ , ۶ γ (۱)

۳.۷۵ γ , ۶ γ (۲)

۱.۶ γ , ۴ γ (۳)

۳.۷۵ γ , ۴ γ (۴)

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به حل تست ۱۷ (با این تفاوت که به جای نیم‌کره یک نیم استوانه داده شده است)

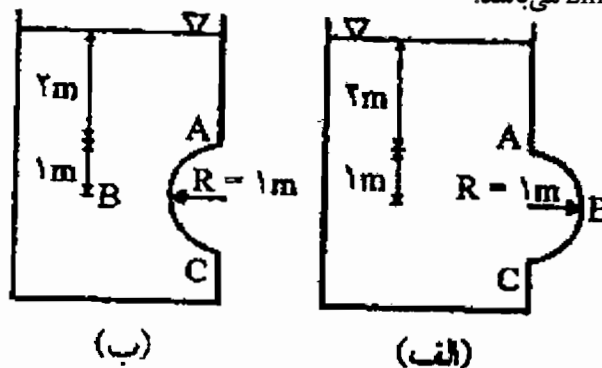
$$F_v = \gamma V = \gamma \times \left[\frac{\pi \times 1^2}{2} \times 1 \right] = 1.6 \gamma$$

در مورد مولفه افقی باید نیروی وارد بر تصویر نیم استوانه بر روی صفحه عمود بر راستای X را به دست آوریم.

تصویر استوانه یک مستطیل به اضلاع ۲r و طول استوانه می‌باشد که در صورت مساله طول استوانه یک در نظر گرفته شده است.

$$F_H = \gamma h_c A = \gamma \times (2 + 1) \times (2 \times 1) = 6 \gamma$$

۲۱ - با مقایسه شکل‌های (الف) و (ب) گزینه صحیح را انتخاب نمایید. شعاع دریچه ABC در هر دو حالت مساوی 1m و طول آن 1m و ارتفاع آب بالای دریچه 2m می‌باشد. (مهندسی عمران ۷۵)

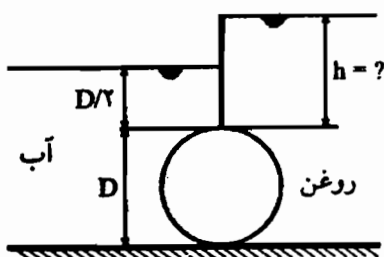


- (۱) مولفه افقی نیروی وارد بر دریچه ABC از نظر کمیت مساوی، ولی در دو جهت مخالف می‌باشند.
- (۲) مولفه افقی نیروی وارد بر دریچه ABC در حالت الف کوچک‌تر از حالت ب می‌باشد.
- (۳) مولفه افقی نیروی وارد بر دریچه ABC در حالت الف بزرگ‌تر از حالت ب می‌باشد.
- (۴) مولفه افقی نیرو وارد بر دریچه ABC در هر دو حالت از نظر کمیت و جهت مساوی می‌باشد.

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

برای محاسبه مولفه افقی نیرو، باید نیروی وارد بر تصویر دو سطح را به‌دست آورد. از آن‌جا که تصویر دو سطح (بر راستای قائم) کاملاً یکسان و ارتفاع بالای دو سطح نیز یکسان می‌باشد، نیروی افقی وارد در دو شکل کاملاً برابر است. توجه شود در صورتی که بخواهیم مولفه قائم نیرو در دو شکل (الف) و (ب) را مقایسه کنیم، از نظر کمیت در دو شکل مساوی، ولی در دو جهت مخالف می‌باشند.

۲۲ - اگر وزن مخصوص نسبی روغن 0.8 باشد ارتفاع h در شکل روبرو چه مقدار باید باشد تا برآیند نیروی افقی وارد بر لوله استوانه‌ای شکل به قطر D صفر شود؟ (مهندسی عمران ۷۶)



- (۱) $h = \frac{5}{3}D$
- (۲) $h = \frac{3}{4}D$
- (۳) $h = 1.5D$
- (۴) $h = \frac{5}{4}D$

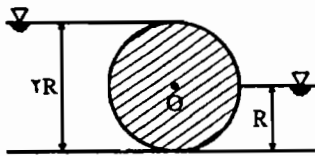
حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$F_{\text{water}} = F_{\text{oil}}$$

$$\gamma_w \left[\frac{D}{2} + \frac{D}{2} \right] A = \gamma_{\text{oil}} \left[h + \frac{D}{2} \right] A$$

$$\gamma_w \left[\frac{D}{2} + \frac{D}{2} \right] A = 0.8 \gamma_w \left[h + \frac{D}{2} \right] A \rightarrow h = \frac{3}{4}D$$

۲۳ - نیروی افقی وارد بر واحد طول استوانه زیر را بیابید. R شعاع و γ وزن مخصوص سیال می باشد. (مهندسی هوافضا ۷۹)



- (۱) $\frac{3}{2} \gamma R^2$
(۲) $\frac{2}{3} \gamma R^2$
(۳) γR^2
(۴) $2 \gamma R^2$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$F_H = F_H$ وارد بر سمت راست استوانه - F_H وارد بر سمت چپ استوانه

$F_H = (\gamma h_c A)$ وارد بر سمت راست - $(\gamma h_c A)$ وارد بر سمت چپ

$$F_H = \gamma \times \left[\frac{2R}{2} \right] \times [2R \times 1] - \gamma \left[\frac{R}{2} \right] \times (R \times 1)$$

$$F_H = \frac{3}{2} \gamma R^2$$

۲۴ - شرط لازم و کافی برای پایدار بودن تعادل یک جسم شناور بر روی آب آن است که :

(۱) مرکز ثقل جسم بر روی مرکز اثر نیروی شناوری باشد.

(۲) مرکز ثقل جسم پایین تر از مرکز اثر نیروی شناوری باشد.

(۳) مرکز ثقل جسم بالاتر از مرکز اثر نیروی شناوری باشد.

(۴) هیچ کدام از سه مورد فوق شرط لازم و کافی نیست.

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد. گزینه ۲ شرط لازم برای تعادل می باشد ولی کافی نیست.

۲۵ - برای یک جسم مستغرق در یک سیال پایداری وقتی حاصل می شود که :

(۱) مرکز ثقل جسم بر نقطه اثر نیروی شناوری تطبیق شود. (۲) مرکز ثقل بالاتر از نقطه اثر نیروی شناوری واقع شود.

(۳) جسم هرگز پایدار نماند. (۴) مرکز ثقل جسم زیر نقطه اثر نیروی شناوری قرار گیرد.

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

۲۶ - جسمی به چگالی ویژه ۳ در داخل آب مایع ساکن رها می شود. مقدار شتاب اولیه آن بر حسب شتاب ثقل با کدام گزینه منطبق

است؟ (مهندسی مکانیک ۸۰)

- (۱) $a \geq \frac{2g}{3}$
(۲) $a < \frac{2g}{3}$
(۳) $a = \frac{2g}{3}$
(۴) $a > \frac{2g}{3}$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

برآیند نیروها = نیروی بویانسی - وزن

$$W - F_B = ma \rightarrow \rho_s Vg - \rho_w Vg = \rho_s Va$$

$$3g - g = 3a \Rightarrow a = \frac{2}{3}g$$

البته در این مساله از نیروی اصطکاک (نیروی درگ) صرف نظر شده است که در فصل های آینده به آن خواهیم پرداخت.

۲۷ - سنگی با وزن 2N در هوا، هنگام غوطه وری در آب 1.5N وزن دارد چگالی آن چقدر است؟ (در صورتی که $\gamma_{\text{آب}} = 9806$ در نظر گرفته شود.) (مهندسی معدن ۸۳)

- (۱) 5 (۲) 2 (۳) 3 (۴) 4

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

از آن جا که نیروی شناوری ناشی از هوا (وقتی جسم درون هوا قرار دارد) بسیار ناچیز است از آن صرف نظر می کنیم و برآیند نیروی وارد بر جسم در هوا را برابر با وزن جسم در نظر می گیریم :
در حالت غوطه وری داریم :

$$F_{\text{برآیند}} = W - F_B \rightarrow 1.5 = 2 - \gamma_w V \rightarrow V = \frac{0.5}{\gamma_w}$$

از طرف دیگر می دانیم :

$$W = \gamma_s V = 2$$

$$\gamma_s \times \frac{0.5}{\gamma_w} = 2 \rightarrow S = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = 4$$

۲۸ - قطعه سنگی که در هوا 1.5N وزن دارد، وقتی به زیر آب فرو برده شود 1.1N وزن خواهد داشت. با صرف نظر از نیروی شناوری

هوا حجم و چگالی نسبی قطعه سنگ را به دست آورید. چگالی آب را برابر $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ فرض کنید. (مهندسی هسته ای ۸۳)

$$V = 40.8 \text{ cm}^3, \quad S = 3.75 \quad (۲) \qquad V = 22.7 \text{ cm}^3, \quad S = 5.33 \quad (۱)$$

$$V = 30.8 \text{ cm}^3, \quad S = 4.51 \quad (۴) \qquad V = 50.2 \text{ cm}^3, \quad S = 2.75 \quad (۳)$$

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

روش حل مانند تست قبل است ولیکن دانشجویان می توانند از رابطه زیر نیز در این گونه مسایل استفاده کنند:

$$V = \frac{\text{وزن جسم در سیال} - \text{وزن جسم}}{\gamma_{\text{سیال}}} = \frac{W - W'}{\gamma_{\text{water}}}$$

$$V = \frac{1.5 - 1.1}{9806} = 4.08 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 40.8 \text{ cm}^3$$

$$W = mg \rightarrow 1.5 = 9.81 \times m \rightarrow m = 152.9 \text{ gr}$$

$$\rho_s = \frac{m}{V} = \frac{152.9}{40.8} = 3.747$$

هم چنین برای محاسبه چگالی نسبی داریم:

$$d = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{3.747}{1} = 3.747 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

۲۹- یک چوب به ابعاد $40 \times 40 \times 30$ سانتی متر و با چگالی نسبی ۰.۵، وزنه‌ای روی آن به اندازه ۱۰۰ کیلوگرم نیرو گذاشته شده است. حجم تقریبی بر حسب متر مکعب چوب داخل آب کدام است؟ (مهندسی معدن ۸۰)

- (۱) ۰.۰۰۳۵ (۲) ۰.۰۳۵ (۳) ۰.۰۴۸ (۴) ۰.۰۵۸

حل : گزینه ۲ صحیح است.

$$V = 30 \times 40 \times 40 = 48000 \text{ cm}^3 = 0.048 \text{ m}^3$$

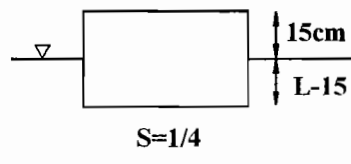
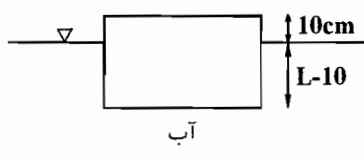
$$100 + (0.048 \times 9806 \times 0.5) = 9806 V \rightarrow V = 0.035 \text{ m}^3$$

۳۰- قطعه‌ای مکعبی شکل اگر در آب شناور شود ۱۰ cm آن بالاتر از سطح آب واقع می‌شود و اگر در مایعی دیگر با چگالی ویژه S شناور گردد، ۱۵ cm آن بالاتر از سطح آزاد مایع قرار می‌گیرد. چگالی ویژه قطعه برابر کدام گزینه است؟ (مهندسی عمران ۸۱)

- (۱) ۰.۶۴ (۲) ۰.۷۲ (۳) ۰.۸۶ (۴) ۱.۲۱

حل : گزینه ۱ صحیح است.

نیروی شناوری در هر دو حالت برابر وزن جسم است. با توجه به شکل :



$$F_B = \gamma_w V = \gamma_w [(L-10)L^2] \quad \text{سیال جابه‌جا شده}$$

$$F_B = \gamma V = 1.4 \gamma_w [(L-15)L^2] \quad \text{سیال جابه‌جا شده}$$

با مساوی قرار دادن دو نیرو (که هر دو برابر وزن جسم هستند):

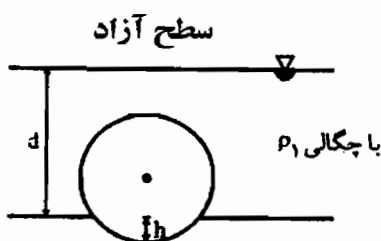
$$\gamma_w [(L-10)L^2] = 1.4 \gamma_w [(L-15)L^2] \rightarrow L = 27.5 \text{ cm}$$

برای محاسبه چگالی نسبی داریم :

$$W = F_B \Rightarrow \gamma_s V_s = \gamma_w V \quad \text{سیال جابه‌جا شده}$$

$$S \gamma_w (27.5)^3 = \gamma_w [(27.5-10) \times 27.5^2] \rightarrow S = 0.64$$

۳۱- در شکل زیر کره‌ای در سطح تماس دو سیال با چگالی‌های ρ_1, ρ_2 مطابق شکل در حال تعادل می‌باشد. افزایش ارتفاع d چه اثری بر مقدار h دارد؟ (مهندسی عمران ۸۳)



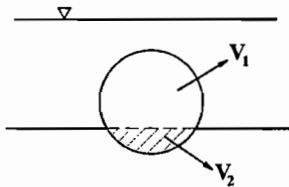
(۱) اثری ندارد.

(۲) باعث افزایش مقدار h می‌شود.

(۳) باعث کاهش مقدار h می‌شود.

(۴) بستگی به نسبت ρ_1 به ρ_2 ممکن است باعث کاهش یا افزایش h شود.

حل : گزینه ۱ صحیح است.



نیروی شناوری از طرف هر دو سیال به جسم وارد می شود که

نیروی شناوری کل برآیند این دو نیرو می باشند.

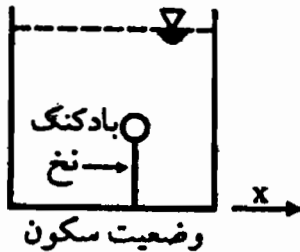
$$F_B = \gamma_1 V_1 + \gamma_2 V_2 = \rho_1 g V_1 + \rho_2 g V_2$$

کاملاً معین است که افزایش d اثری بر F_B ندارد. به عبارتی دیگر h مستقل از d بوده و h به چگالی کره بستگی دارد.

۳۲ - بادکنکی مطابق شکل در داخل مایعی کاملاً مستغرق می باشد. اگر سیستم تحت شتابی برابر با $0.5g$ که در آن g شتاب جاذبه

(مهندسی عمران ۷۷)

است، در جهت مثبت محور x ها قرار گیرد، در آن صورت نیروی کشش نخ:



(۱) افزایش یافته و بادکنک به سمت راست حرکت می کند.

(۲) افزایش یافته و بادکنک به سمت چپ حرکت می کند.

(۳) کاهش یافته و بادکنک به سمت راست حرکت می کند.

(۴) کاهش یافته و بادکنک به سمت چپ حرکت می کند.

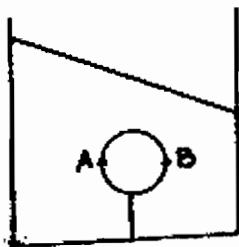
حل : گزینه ۱ صحیح است.

پس از آن که سیال شروع به حرکت شتابدار می کند.

سطح سیال شیب دار شده و فشار نقطه A بیشتر از B خواهد بود.

($P_A > P_B$) لذا بادکنک به سمت راست حرکت خواهد کرد. کشش نخ

نیز به دلیل حرکت شتابدار افزایش می یابد.

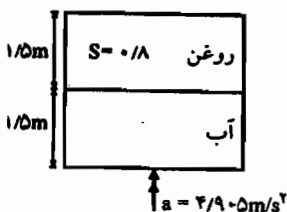


۳۳ - مخزن مکعبی شکل روبازی به ضلع ۳ متر که نصف آن با آب و نصف دیگر با روغن به چگالی نسبی ۰.۸ پر شده است، تحت

تأثیر شتاب قائم $a = 4.905$ متر بر مجذور ثانیه به سمت بالا حرکت می کند. اختلاف فشار بین بالا و پایین مخزن چند کیلوگرم

(مهندسی عمران ۸۲)

بر متر مربع است؟



(۱) 3500

(۲) 4050

(۳) 4250

(۴) 4500

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

روش اول:

$$P = P_0 - \rho a_x x - \rho (g + a_y) y$$

$$P = P_0 - 0 - \rho (g + a_y) y$$

ارتفاع معادل ستون آب را به دست می آوریم :

$$\gamma_w h_w = \gamma_{oil} h_{oil} \Rightarrow h_w = 1.2 \text{ m}$$

$$P - P_0 = 1000 (9.8 + 4.905) (1.5 + 1.2)$$

$$P - P_0 = 3973 \text{ Pa} = \frac{39730}{9.81} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 4050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

روش دوم:

اگر A نقطه ای روی کف مخزن و B نقطه ای روی بالای مخزن باشد خواهیم داشت:

$$P_A - P_B = -\rho a_x (x_A - x_B) - \int_{1.5}^0 \rho_w (g + a_y) dy - \int_3^{1.5} \rho_{oil} (a_y + g) dy$$

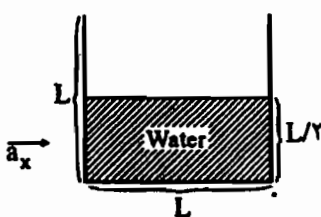
$$P_A - P_B = 0 + \rho_w (a_y + g) (1.5 - 0) + \rho_{oil} (a_y + g) (3 - 1.5)$$

$$P_A - P_B = 1.5 (a_y + g) (\rho_w + \rho_{oil}) \rightarrow P_A - P_B = 1.5 \times (9.81 + 4.9) \times (1000 + 800)$$

$$P_A - P_B = 3972 \text{ Pa} = \frac{39720}{9.81} = 4050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

(مهندسی مخازن هیدروکربوری آزاد (۸)

۳۴- در شکل مقابل مقدار a_x چقدر باشد تا آب شروع به ریختن کند؟



$$a_x = \frac{g}{2} \quad (۲)$$

$$a_x = g \quad (۱)$$

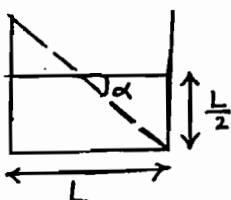
$$a_x = \frac{\sqrt{2}}{2} g \quad (۴)$$

$$a_x = \frac{\sqrt{g}}{2} \quad (۳)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\tan \alpha = \frac{a_x}{g} = \frac{\frac{L}{2}}{\frac{L}{2}} = 1$$

با توجه به شکل:

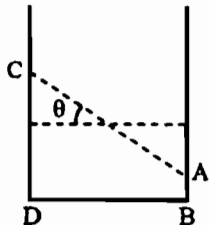


$$a_x = g$$

۳۵ - یک تانک مکعب مستطیل به طول 6m و ارتفاع 8m و پهنای 2m تا عمق 4m پر از آب است. این تانک با شتاب افقی

$9.81 \frac{m}{s^2}$ در حال حرکت است. اگر شتاب ثقل محیط نیز $9.81 \frac{m}{s^2}$ باشد، در این صورت زاویه θ و طول AB و CD چقدر است؟

(مهندسی شیمی آزاد ۷۹)



CD=7m , AB=1m , $\theta=45^\circ$ (۱)

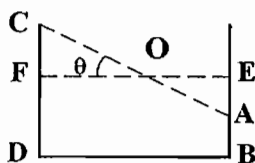
CD=5m , AB=3m , $\theta=45^\circ$ (۲)

CD=5m , AB=1m , $\theta=30^\circ$ (۳)

CD=7m , AB=3m , $\theta=30^\circ$ (۴)

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\tan \theta = \frac{-a_x}{a_y + g} = \frac{-9.81}{0 + 9.81} \Rightarrow \theta = -45^\circ$$



$$\tan \theta = \frac{AE}{OE} \Rightarrow AE = 3 \tan 45 = 3m$$

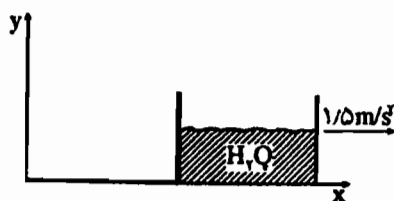
$$AB = 4 - 3 = 1m$$

$$CD = 4 + 3 = 7m$$

۳۶ - جعبه ای را که تا $\frac{1}{3}$ ارتفاع آن آب ریخته شده است با شتاب $1.5 \frac{m}{s^2}$ در جهت افقی حرکت می دهیم. در خصوص معادله

(مهندسی بیوتکنولوژی آزاد ۸۲)

سطوح ایزوبار، کدام یک از روابط و توضیحات صحیح است؟ $g=10.0 \frac{m}{s^2}$



(۱) صفحاتی با شیب 0.15 است.

(۲) صفحاتی با شیب -0.15 است.

(۳) صفحاتی افقی است.

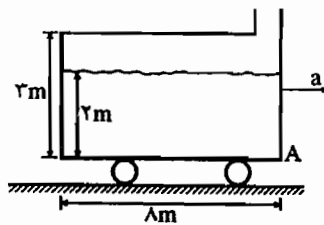
(۴) شکل سطوح خمیده خواهد بود.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\tan \theta = -\frac{a_x}{a_y + g} = -\frac{1.5}{0 + 9.81} = -0.15$$

(مهندسی عمران آزاد ۸۱)

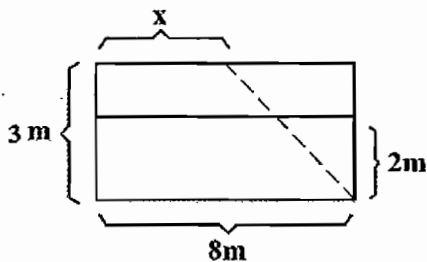
۳۷- در شکل روبروشتاب مخزن، a چقدر باشد تا فشار در نقطه A صفر شود ؟



(۱) $\frac{9g}{16}$ متر بر مجذور ثانیه (۲) $\frac{3g}{4}$ متر بر مجذور ثانیه

(۳) $\frac{3g}{8}$ متر بر مجذور ثانیه (۴) $\frac{g}{4}$ متر بر مجذور ثانیه

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.



$$\left. \begin{aligned} \text{حجم اولیه} &= 2 \times 8 \times 1 = 16 \\ \text{حجم ثانویه} &= \frac{x+8}{2} \times 3 \end{aligned} \right\} \rightarrow \frac{x+8}{2} \times 3 = 16 \Rightarrow x = \frac{8}{3} \text{ m}$$

$$\tan \theta = \frac{-a_x}{a_y + g} = \frac{-a}{g} \quad \text{و} \quad \tan \theta = -\frac{3}{8 - \frac{8}{3}} = \frac{9}{16}$$

$$\Rightarrow a = \frac{9g}{16}$$

۳۸- یک ظرف استوانه‌ای به قطر ۱.۲ متر و به ارتفاع ۲ متر تا نصف، محتوی آب به وزن مخصوص $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ است. اگر این ظرف با

سرعت ۹۰ دور در دقیقه حول محور قایم خود حرکت دورانی انجام دهد حداکثر فشار وارد بر کف ظرف، چند کیلوپاسکال خواهد

شد؟ ($g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$) (مهندسی عمران ۸۰)

۲۶ (۴)

۰.۱۸ (۳)

۱.۸ (۲)

۱۸ (۱)

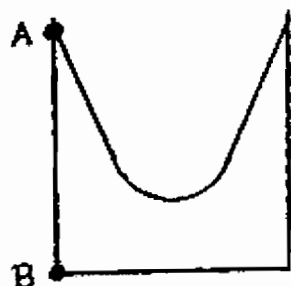
حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \text{ N} = \frac{2\pi}{60} \times 90 = 3\pi \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$Z = \frac{r^2 \omega^2}{2g} = \frac{0.6^2 \times (3\pi)^2}{2 \times 9.81} = 1.6 \text{ m} \rightarrow \frac{z}{2} = 0.8 \rightarrow h = 1.8$$

$$P_B - P_A = \frac{\rho(r_B^2 - r_A^2)\omega^2}{2} - \rho g(Z_B - Z_A)$$

$$P_B - 0 = 0 - 1000 \times 10(-1.8) \rightarrow P_B = 18000 \text{ Pa} \rightarrow P_B = 18 \text{ Kpa}$$



ماکزیمم فشار در B خواهد بود.

۳۹- اگر V سرعت یک نقطه از سیال داخل یک ظرف در حال دوران باشد، کدامیک از روابط زیر در امتداد شعاع صادق است؟ (z)

ارتفاع نقطه از سطح مایع، P فشار نقطه و ω سرعت دورانی است. (مهندسی هسته‌ای ۷۴)

$$\frac{P}{\rho} + gz + r^2 \omega^2 = \text{const} \quad (۲)$$

$$\frac{P}{\rho} + gz = \text{const} \quad (۱)$$

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \text{const} \quad (۴)$$

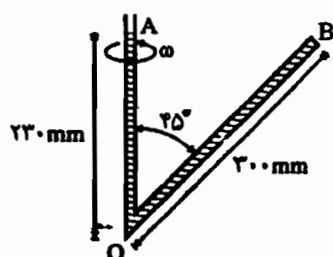
$$\frac{P}{\rho} + gz + \frac{V^2}{2} = \text{const} \quad (۳)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۴۰- لوله خمیده شکل مقابل که از آب پر شده در انتهای B بسته است. سرعت دوران لوله حول OA چقدر باشد، تا فشارها در O و

B با یکدیگر برابر باشند؟ (مهندسی عمران ۷۸)

$$(P = P_0 + \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^2 - \gamma z, \gamma_{\text{آب}} = 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3})$$



$$11.314 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (۲)$$

$$9.617 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (۱)$$

$$4.809 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (۴)$$

$$8.174 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (۳)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$O \text{ فشار در نقطه } = P_0 = P_0 + \frac{1}{2} \rho \omega^2 r_0^2 - \gamma Z_0$$

$$P_B = P_0 + \frac{1}{2} \rho \omega^2 r_B^2 - \gamma Z_B$$

$$P_0 = P_B \Rightarrow \frac{1}{2} \rho \omega^2 (r_B^2 - r_0^2) = \gamma (Z_B - Z_0) \Rightarrow \omega^2 = \frac{2g(Z_B - Z_0)}{r_B^2 - r_0^2}$$

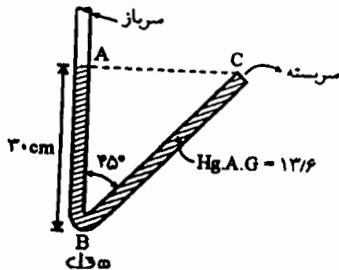
$$r_0 = 0, Z_0 = 0$$

$$r_B = 0.3 \sin 45^\circ = 0.212 \text{ m}, Z_B = 0.3 \cos 45^\circ = 0.212 \text{ m}$$

$$\omega^2 = \frac{2 \times 9.81 \times (0.212 - 0)}{0.212^2 - 0} = 92.55 \rightarrow \omega = 9.62 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

۴۱ - در صورت تساوی فشار در نقاط B و C لوله شکل، ω بر حسب رادیان بر ثانیه برابر خواهد بود با:

(مهندسی فرآوری و انتقال گاز ۸۲)



(۲) 8.1

(۱) 2.55

(۴) 889.4

(۳) 65.4

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

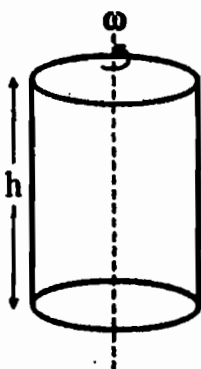
با توجه به تست قبل داریم:

$$\omega^2 = \frac{2g(Z_C - Z_B)}{(r_C^2 - r_B^2)}, \quad r_B = 0, \quad Z_B = 0$$

$$r_C = 0.3 \tan 45^\circ = 0.3 \text{ m}, \quad Z_C = 0.3 \text{ m}$$

$$\omega^2 = \frac{2 \times 9.81 \times (0.3 - 0)}{0.3^2 - 0} = 65.4 \Rightarrow \omega = 8.1 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

۴۲ - استوانه پر از سیالی را که درش را بسته ایم، حول محور قایم آن با سرعت ω به دوران در می آوریم: (مهندسی بیوتکنولوژی آزاد ۷۸)



(۱) نیروی وارد بر قاعده بالایی استوانه بیشتر است.

(۲) نیروی وارد بر هر دو قاعده مساوی است.

(۳) نیروی وارد بر قاعده پایینی استوانه بیشتر است.

(۴) نسبت نیروی وارد بر قاعده بالایی و پایینی $\frac{1}{2}$ است.

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

نیروی وارد بر قاعده پایین، عبارت است از مجموع نیروهای وارد بر قاعده بالایی به علاوه وزن سیال موجود در استوانه.

۴۳ - یک مخزن استوانه ای با محور قایم به قطر $d = 1 \text{ m}$ و به ارتفاع $h = 1.5 \text{ m}$ تا نصف با آب پر شده است. اگر استوانه با سرعت n

90 rpm (دور در دقیقه) حول محور قایم خود بچرخد، حداقل فشار بر کف مخزن چند پاسکال خواهد شد؟ (وزن مخصوص

(مهندسی عمران ۷۹)

$$\text{آب } \gamma = 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \text{ و شتاب ثقل } g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

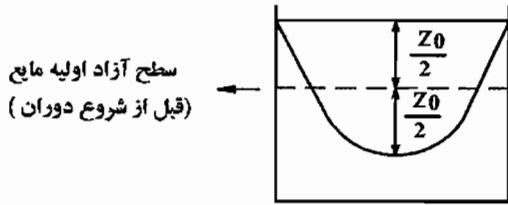
(۴) 1500

(۳) 2000

(۲) 4000

(۱) 6000

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.



$$\omega = 2\pi \times \frac{90}{60} = 3\pi \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$Z_o = \frac{r^2 \omega^2}{2g} = \frac{(0.5)^2 \times (3\pi)^2}{20} = 1.109 \text{ m}$$

$$\frac{Z_o}{2} = 0.554 > 0.75$$

$$\gamma h = \gamma (0.75 - 0.55) = 2000 \text{ Pa}$$

فصل سوم

جریان سیالات

جریان آرام

جریانی است که در آن لایه‌های سیال به آرامی روی هم می‌لغزند و مسیر حرکت ذرات قابل پیش‌بینی می‌باشد. در جریان آرام انتقال مومنوم مولکولی توسط ذرات سیال صورت می‌گیرد. در جریان آرام رابطه $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ برقرار است. در جریان آرام بازگشتناپذیری و اتلاف انرژی از جریان درهم کمتر است، به‌طوری که $h_f \propto Q^1$ ، $h_f \propto u^1$ که در این روابط h_f اتلاف انرژی، Q دبی حجمی جریان و u سرعت جریان می‌باشد.

جریان درهم

در جریان درهم مسیر حرکت ذرات قابل تشخیص نیستند. در این حالت ذرات سیال به هم چسبیده و تولید eddy یا گردابه می‌کنند. در جریان درهم انتقال مومنوم توسط گردابه‌ها صورت می‌گیرد. در جریان درهم $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ صادق نیست بلکه $\tau = \eta \frac{du}{dy}$ برقرار است، که در این رابطه η لزجت گردابه‌ای است. لزجت گردابه‌ای تابعی از خواص سیال (دانسیته) و نوع حرکت سیال می‌باشد. در جریان درهم اتلاف انرژی از جریان آرام خیلی بیشتر است، به‌طوری که $h_f \propto Q^n$ و $h_f \propto u^n$ که در این روابط n از 1.75 تا 2 بسته به میزان درهم بودن جریان تغییر می‌کند. معیار آرام و درهم بودن جریان عدد ری‌نولدز (Re) است. عدد Re عبارت است از نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای ویسکوز، که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{u D}{\nu}$$

که در این رابطه ρ دانسیته، u سرعت سیال، D قطر مجاری جریان (قطر لوله)، μ ویسکوزیته و ν ویسکوزیته سینماتیک می‌باشد. لازم به ذکر است که در مجاری غیرمدور به‌جای قطر لوله از قطر هیدرولیکی استفاده می‌کنیم که در فصل بعدی به بررسی آن خواهیم پرداخت.

اگر عدد Re کمتر از 2100 باشد، جریان آرام و اگر بیشتر از 2300 باشد جریان درهم است.

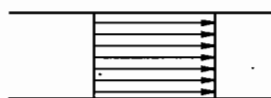
جریان یکنواخت: (Steady flow)

جریانی است که بردار سرعت در هر لحظه داده شده در تمامی نقاط از لحاظ اندازه و جهت یکسان باشد. در جریان یکنواخت داریم:

$$\frac{\partial V}{\partial s} = 0$$

این معادله بیان می‌کند در تمامی نقاط مختلف سیال، در هیچ جهتی بردار سرعت تغییر نکرده، ولی راجع به تغییر سرعت در یک نقطه نسبت به زمان چیزی نمی‌گوید.

در جریان یکنواخت به دلیل این که اختلاف سرعت در یک سطح مقطع نداریم، تنش برشی نداریم.



شکل جریان یکنواخت

جریان دایم (Steady State)

جریانی است که در آن شرایط در هر نقطه از سیال با گذشت زمان تغییر نکند. بنابراین در جریان دایم (پایدار) بردار سرعت از لحاظ

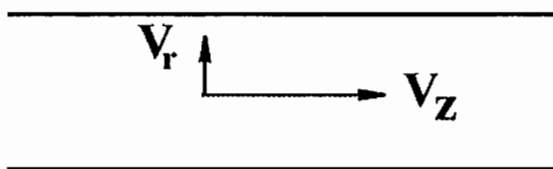
$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial P}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

مقدار و راستا با زمان تغییر نخواهد کرد. یعنی

توجه: جریان مایع درون یک لوله بلند با دبی ثابت جریان دایم یکنواخت است. جریان با دبی ثابت درون لوله‌ای با سطح مقطع افزایش یابنده در طول لوله، جریان دایم، غیریکنواخت می‌باشد درحالی‌که جریان درون یک لوله با سطح مقطع افزایش یابنده در طول لوله و دبی افزایش یابنده غیردایم و غیریکنواخت است.

جریان یک بعدی

جریانی است که مولفه‌های سرعت در راستای عمود بر جهت حرکت سیال مساوی صفر است، به عبارت دیگر فقط در یک راستا بردار سرعت داریم.



$$V_r = V_\theta = 0$$

خط مسیر (path line):

مکان هندسی نقاطی است که یک ذره سیال طی می‌کند.

خط رگه (Streak Line):

برای تعیین مسیر حرکت متوالی یک سیال، اغلب ماده رنگی را به درون سیال تزریق می‌کنند. خط اثر حاصل از رنگ را خط رگه می‌نامند.

خط جريان (Stream Line):

خط جريان، خط پيوسته‌ای است که درون سيال رسم شده، در هر نقطه دارای جهت بردار سرعت در آن نقطه می‌باشد. يعنی خط جريان خطی است که مماس بر آن در هر لحظه راستای بردار سرعت را می‌دهد. برای تعيين معادله خط جريان از رابطه زیر استفاده می‌کنيم:

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{W}$$

که u, v, w به ترتيب مولفه‌های بردار سرعت در راستای x, y, z هستند ($\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$).

توجه: در جريان دایم، جهت بردار سرعت در هر نقطه تغییری نمی‌کند. پس شیب خط جريان در هر نقطه ثابت بوده و خط جريان در فضا ثابت می‌ماند. یک ذره همیشه مماس بر خط جريان حرکت می‌کند، بنابراین در جريان دایم مسیر یک ذره یک خط جريان است و می‌توان گفت در جريان دایم خط جريان، خط مسیر و خط رگه هر سه بر هم منطبق می‌باشند.

تست: در یک جريان دوبعدی مولفه‌های سرعت عبارت‌اند از:

$$w=0, v=+Ky, u=-Kx$$

که K مقدار ثابتی است. معادله خط جريان عبارت است از:

$$y = \ln cx \quad (۴)$$

$$y = ce^x \quad (۳)$$

$$y = \frac{c}{x} \quad (۲)$$

$$y = cx \quad (۱)$$

حل:

$$\frac{dx}{-Kx} = \frac{dy}{Ky} \Rightarrow -\frac{dx}{x} = \frac{dy}{y}$$

معادله فوق یک معادله دیفرانسیل تفکیک‌پذیر است که با انتگرال‌گیری از طرفین داریم:

$$-\ln x = \ln y + \ln c \Rightarrow xy = c \rightarrow y = \frac{c}{x}$$

قانون بقا در یک سیستم (قانون پيوستگی):

اگر جريان یکنواخت باشد، دبی جرمی جريان (جریانی با دانسیته ρ و با سرعت V که از سطح مقطع به مساحت A عبور می‌کند) با رابطه ρVA بیان می‌گردد. هم‌چنین دبی حجمی جريان یکنواخت با رابطه VA قابل بیان است. یادآوری می‌شود که دبی جرمی عبارت است از میزان جرم عبوری سیال در واحد زمان و دبی حجمی عبارت است از میزان حجم عبوری سیال در واحد زمان. مهندسين شیمی با رابطه منطقی زیر آشنایی کامل دارند:

$$\text{تجمع} = \text{مصرف} - \text{تولید} + \text{خروجی} - \text{ورودی}$$

که اگر واکنش شیمیایی نداشته باشیم تولید و مصرف وجود ندارد. هم‌چنین اگر سیستم هم پایدار باشد خواهیم داشت:

$$\text{خروجی} = \text{ورودی}$$

از آن‌جا که ممکن است چند ورودی و چند خروجی از سیستم داشته باشیم، مجموع جریان‌های ورودی را مساوی مجموع جریان‌های خروجی قرار می‌دهيم:

$$\sum \text{دبی جرمی جريان‌های خروجی} = \sum \text{دبی جرمی جريان‌های ورودی}$$

$$\sum \rho_i V_i A_i = \sum \rho_e V_e A_e$$

یادآوری می‌شود که رابطه فوق با فرض یکنواخت و دایم بودن جريان صادق است.

اگر جریان سیال یکنواخت و پایدار و هم‌چنین سیال تراکم‌ناپذیر باشد می‌توان نوشت :

$$\sum V_i A_i = \sum V_e A_e$$

از آن‌جا که جریان یکنواخت به دلیل وجود اصطکاک عملاً امکان‌پذیر نیست، بنابراین در قانون پیوستگی می‌بایست از مفهوم سرعت متوسط استفاده نمود:

$$\rho_i \bar{V}_i A_i = \rho_e \bar{V}_e A_e$$

که $\bar{V}$ سرعت متوسط می‌باشد. حال به نحوه محاسبه سرعت متوسط می‌پردازیم:

محاسبه سرعت متوسط

سرعت متوسط در یک جریان غیریکنواخت از رابطه $\bar{V} = \frac{1}{A} \int V dA$ محاسبه می‌شود.

مثال: سرعت در جریان آرام سیال در داخل لوله‌ای با شعاع R از رابطه $V = V_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$ پیروی می‌کند، سرعت متوسط سیال را در داخل لوله محاسبه کنید.

$$V = V_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

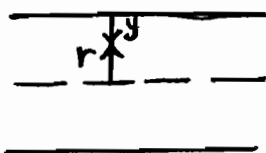
$$\bar{V} = \frac{1}{A} \int V \cdot dA \quad \text{و} \quad A = \pi R^2 \quad \text{و} \quad dA = (2\pi r) dr$$

محدوده انتگرال‌گیری محدوده تغییرات سرعت است:

$$\bar{V} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R V_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] (2\pi r) dr$$

$$\Rightarrow \bar{V} = \frac{2V_{\max}}{R^2} \left[\frac{r^2}{2} - \frac{r^4}{4R^2} \right]_0^R \rightarrow \bar{V} = \frac{1}{2} V_{\max}$$

توجه ۱: برای توزیع سرعت در جریان در هم در داخل لوله رابطه $V = V_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{1}{7}} \right]$ (و یا رابطه $V = V_{\max} \left[\frac{y}{R} \right]^{\frac{1}{7}}$) برقرار می‌باشد که در این روابط r فاصله از مرکز لوله و y فاصله از دیواره لوله می‌باشد.



سرعت متوسط در جریان درهم از رابطه $\bar{V} = \frac{49}{60} V_{\max} = 0.82 V_{\max}$ به دست می‌آید.

توجه ۲: به طور کلی اگر توزیع سرعت سیال در داخل لوله از رابطه $V = V_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^m \right]$ به دست آید، آن‌گاه می‌توان سرعت متوسط را از رابطه زیر به دست آورد:

$$\bar{V} = \frac{2}{(m+1)(m+2)} V_{\max}$$

قانون پیوستگی در حرکت سه بعدی

$$\nabla(\rho \vec{V}) = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

قانون پیوستگی در حرکت سه بعدی با رابطه زیر بیان می شود:

به عبارت دیگر داریم:

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho W)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

اگر سیال تراکم ناپذیر باشد ρ ثابت است، بنابراین داریم :

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0$$

و به عبارت دیگر:

$$\nabla \vec{V} = 0$$

اگر جریان تراکم پذیر ولی Steady باشد، (Steady بودن یعنی تغییرات با زمان نداریم، بنابراین $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ است) خواهیم داشت:

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho W)}{\partial z} = 0$$

و به عبارت دیگر:

$$\nabla(\rho \vec{V}) = 0$$

تابع جریان

تابع جریان برای جریان های دوبعدی مطرح می گردد. تابع جریان را با ψ نمایش می دهیم. تابع جریان روی هر خط جریان یک مقدار ثابت دارد ($\psi = c$ که c مقدار ثابت است). به عبارت دیگر تابع جریان به ازای هر مقدار ثابت c یک خط جریان را می دهد. برای تابع جریان در سیالات تراکم ناپذیر روابط زیر حاکم است:

$$U = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad V = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

زمانی که جریان سیال تراکم پذیر باشد از روابط زیر استفاده می کنیم:

$$\rho U = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad \rho V = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

مثال: در یک جریان دوبعدی از سیال تراکم ناپذیر تابع جریان ψ با رابطه $\psi = -\frac{A}{2} \ln(x^2 + y^2)$ داده می شود که در آن A مقدار ثابتی است. مولفه های سرعت در راستای x و y برابرند با :

$$U = +\frac{\partial \psi}{\partial y} \rightarrow U = -\frac{A}{2} \left[\frac{2y}{x^2 + y^2} \right] \Rightarrow U = -\frac{Ay}{x^2 + y^2}$$

$$V = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \rightarrow V = +\frac{A}{2} \left[\frac{2x}{x^2 + y^2} \right] \Rightarrow V = +\frac{Ax}{x^2 + y^2}$$

مثال: مولفه‌های سرعت در یک جریان دوبعدی از سیال تراکم‌ناپذیر با روابط $U=a(x^2-y^2)$, $V=-2axy$ داده می‌شوند. تابع جریان را به دست آورید.

$$U = \frac{\partial \psi}{\partial y} \rightarrow \psi = \int U dy \Rightarrow \psi = \int a(x^2 - y^2) dy$$

$$\psi = ax^2 y - a \frac{y^3}{3} + f(x)$$

توجه شود از آنجا که انتگرال‌گیری نسبت به dy گرفته می‌شود، ثابت انتگرال به صورت تابعی از x بیان می‌گردد.

$$V = \frac{-\partial \psi}{\partial x} = -2axy = \left[-2axy - \frac{df(x)}{dx} \right]$$

$$\frac{df(x)}{dx} = 0 \rightarrow f(x) = c$$

که c مقداری ثابت است. با جایگذاری $f(x)$ در رابطه ψ داریم:

$$\psi = ax^2 y - a \frac{y^3}{3} + c$$

تست‌های بخش تعاریف کلی، قانون پیوستگی و تابع جریان

۱ - کدام یک از تعاریف زیر در مورد خط جریان (Stream line) در حالت ناپایدار (unsteady - state) صادق است؟
(مهندسی شیمی، مهندسی بیوتکنولوژی و مهندسی مخازن هیدروکربوری ۷۹)

- (۱) خطی است که موقعیت آن همیشه ثابت است.
- (۲) خطی است که مسیر حرکت یک ذره را در جریان نشان می‌دهد.
- (۳) مکان هندسی نقاطی است که مماس بر آن‌ها جهت بردار سرعت را مشخص می‌نماید.
- (۴) مکان هندسی موقعیت ذراتی را نشان می‌دهد که به طور متوالی از یک نقطه گذشته باشند.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۲ - معادله پیوستگی برای یک سیال تراکم‌ناپذیر کدام است ؟ (مهندسی مخازن هیدروکربوری ۷۷)

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{V} &= 0 \quad (1) \\ \frac{1}{s} \frac{\partial s}{\partial t} &= -\nabla \cdot \mathbf{V} \quad (2) \\ \frac{\partial s}{\partial t} &= -(\nabla \cdot \mathbf{SV}) \quad (4) \\ \frac{\partial s}{\partial t} &= \nabla s \quad (3) \end{aligned}$$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۳ - کدام عبارت صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۷۶)

$$\begin{aligned} (1) \text{ در حرکت سیال تراکم‌ناپذیر همواره } \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} &= 0 \text{ است.} \\ (2) \text{ در حرکت سیال تراکم‌ناپذیر فقط در حالت پایا } \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} &= 0 \text{ است.} \\ (3) \text{ در حرکت سیال تراکم‌ناپذیر همواره } \frac{\partial(\rho V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} &= 0 \text{ است.} \\ (4) \text{ در حرکت سیال تراکم‌پذیر در حالت پایا } \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} &= 0 \text{ است.} \end{aligned}$$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۴ - در جریان سیال بردار سرعت معادل $\mathbf{V} = x\bar{i} + y\bar{j} - 2z\bar{k}$ می‌باشد. کدام یک از گزینه‌ها صحیح است؟

- (۱) جریان حتماً پایدار می‌باشد.
- (۲) سیال تراکم‌پذیر می‌باشد.
- (۳) سیال تراکم‌ناپذیر می‌باشد.
- (۴) جریان پایدار بوده و $\rho = ce^{2t}$ می‌باشد.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\begin{aligned} U &= x, \quad V = y, \quad W = -2z \\ \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} &= 1 + 1 - 2 = 0 \end{aligned}$$

۵- اگر مکان یک ذره سیال در هر زمان توسط $x=a$ و $y=bt^2$ که در آن a و b مقادیر ثابت هستند مشخص گردد، مولفه سرعت v در هر زمان t برابر کدام یک از مقادیر زیر می باشد؟ (مهندسی بیوتکنولوژی مخازن هیدروکربوری (۸۱)

- (۱) 0 (۲) bt (۳) $\frac{bt}{2}$ (۴) $2bt$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$U = \frac{\partial x}{\partial t} = 0, \quad V = \frac{\partial y}{\partial t} = 2bt$$

۶- در صورتی که داشته باشیم $u=2xi+ayj+3zk$ و بخواهیم سیال تراکم ناپذیر باشد، مقدار a کدام است؟ (مهندسی بیوتکنولوژی (۸۰)

- (۱) -1 (۲) -5 (۳) 1 (۴) 5

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

معادله پیوستگی برای سیال تراکم ناپذیر:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \rightarrow 2 + a + 3 = 0 \Rightarrow a = -5$$

۷- میدان سرعت در یک جریان دوبعدی به صورت زیر داده شده است: (مهندسی مخازن هیدروکربوری (۸۲)

$$V = 2xi - 4yj$$

معادله خط جریان کدام است؟

- (۱) $\frac{x}{y} = c$ (۲) $xy = c$ (۳) $xy^2 = c$ (۴) $x^2y = c$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\frac{dx}{U} = \frac{dy}{V}, \quad U = 2x, \quad V = -4y$$

$$\frac{dx}{2x} = \frac{dy}{-4y} \Rightarrow \frac{dy}{y} = -2 \frac{dx}{x} \Rightarrow \ln y = -2 \ln x + \ln c$$

$$y = cx^{-2} \rightarrow yx^2 = c$$

۸- در یک میدان جریان دوبعدی تراکم ناپذیر سرعت در جهت x به صورت زیر داده شده است:

(مهندسی مخازن هیدروکربوری (۸۳)

$$v_x = 10 + \frac{5x}{x^2 + y^2}$$

سرعت در جهت y در این میدان کدام است؟

$$v_y = \frac{5x}{x^2 + y^2} + c \quad (۲) \quad v_y = \frac{5y}{x^2 + y^2} + 2 \quad (۱)$$

$$v_y = \frac{-5x}{x^2 + y^2} + c \quad (۴) \quad v_y = \frac{-5y}{x^2 + y^2} + c \quad (۳)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

برای سیال تراکم‌ناپذیر معادله پیوستگی در حالت دوبعدی :

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0 \Rightarrow \frac{\partial V_y}{\partial y} = -\frac{\partial V_x}{\partial x}$$

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} = \frac{5(x^2 + y^2) - 2x(5x)}{(x^2 + y^2)^2} = \frac{5(y^2 - x^2)}{(x^2 + y^2)^2}$$

$$\frac{\partial V_y}{\partial y} = \frac{5(x^2 - y^2)}{(x^2 + y^2)^2}$$

این شرط فقط در گزینه ۱ صادق است.

۹- تابع جریان به صورت $\psi = -\frac{A}{2} \ln(x^2 + y^2)$ داده شده توزیع سرعت، مطابق با کدام گزینه است؟ (مهندسی شیمی ۸۱)

$$v_y = -\frac{Ax}{x^2 + y^2}, \quad v_x = \frac{Ay}{x^2 + y^2} \quad (2)$$

$$v_y = -\frac{Ay}{x^2 + y^2}, \quad v_x = \frac{Ax}{x^2 + y^2} \quad (4)$$

$$v_y = \frac{Ax}{x^2 + y^2}, \quad v_x = -\frac{Ay}{x^2 + y^2} \quad (1)$$

$$v_y = \frac{Ax}{x^2 + y^2}, \quad v_x = \frac{Ay}{x^2 + y^2} \quad (3)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$V_x = \frac{\partial \psi}{\partial y} = -\frac{A}{2} \times \frac{2y}{x^2 + y^2} = -\frac{Ay}{x^2 + y^2}$$

$$V_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x} = \frac{A}{2} \times \frac{2x}{x^2 + y^2} = \frac{Ax}{x^2 + y^2}$$

(مهندسی مخازن هیدروکربوری ۸۲)

$$V = \frac{5x}{y+x}i - \frac{5y}{x+y}j \quad (2)$$

$$V = \frac{10x}{x^2 + y^2}i - \frac{10y}{x^2 + y^2}j \quad (4)$$

۱۰- کدام یک از جریان‌های زیر تراکم‌ناپذیرند؟

$$V = \frac{10x}{y^2 + x^2}i + \frac{10y}{x^2 + y^2}j \quad (1)$$

$$V = \frac{5x}{x+y}i + \frac{5y}{x+y}j \quad (3)$$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\text{شرط } \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \text{ باید برقرار باشد.}$$

۱۱- برای یک جریان سه بعدی مولفه‌های سرعت به صورت زیر داده شده‌اند. میزان تغییر حجم جرم معین سیال به ازای واحد حجم در واحد زمان چقدر است؟ (مهندسی شیمی ۸۳)

$$V = ui + vj + wk$$

$$u = 2x + y, \quad v = 2x - y, \quad w = -z$$

$$(4) \text{ صفر}$$

$$(3) 3s^{-1}$$

$$(2) 1.2s^{-1}$$

$$(1) -1s^{-1}$$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 2 - 1 - 1 = 0$$

سیال تراکم‌ناپذیر بوده و تغییر حجم سیال به ازای واحد حجم در واحد زمان صفر است.

معادله اولر:

معادله اولر عبارت است از:

$$\frac{dP}{\rho} + \frac{VdV}{g_c} + \frac{g}{g_c} dz = 0$$

(۱) ویسکوزیته سیال صفر است. از تلفات لزجی صرف نظر می کنیم.

(۲) جریان دایمی می باشد. (تغییرات با زمان نداریم).

(۳) معادله اولر برای یک خط جریان نوشته شده است. به عبارت دیگر معادله اولر در طول یک خط جریان برقرار است.

در معادله اولر ترم $\frac{dP}{\rho}$ بیانگر انرژی فشاری، ترم $\frac{VdV}{g_c}$ بیانگر انرژی جنبشی و ترم $\frac{g}{g_c} dz$ بیانگر انرژی پتانسیل می باشد.

بنابراین معادله اولر بیان می دارد که مجموع انرژی جنبشی، فشاری و پتانسیل در طول یک خط جریان مقدار ثابتی است. توجه می شود که در معادله اولر افت انرژی در نظر گرفته نشده، چرا که فرض شده جریان سیال ایده آل است و اصطکاکی وجود ندارد. در فصل های بعدی اشاره خواهد شد که در جریان سیالات واقعی (غیر ایده آل) باید افت انرژی نیز در نظر گرفته شود.

معادله برنولی:

معادله برنولی با اضافه کردن فرض چهارم به فرض های معادله اولر و سپس انتگرال گیری از معادله اولر نتیجه می شود. اگر فرض کنیم که سیال تراکم ناپذیر است (یا به عبارت دیگر دانسیته سیال ثابت است) و از معادله اولر انتگرال بگیریم معادله برنولی به دست می آید:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} z = \text{cte}$$

تذکر مهم:

گاه بیان ترم های مختلف معادله برنولی در سیستم های مختلف و با واحدهای مختلف موجب سردرگمی دانشجویان می شود. در اینجا معادله برنولی در دو سیستم SI و سیستم انگلیسی و با دو واحد انرژی بر واحد جرم سیال و ارتفاع سیال بیان گردیده است.

بیان معادله برنولی در سیستم SI:

$$\begin{cases} \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{cte} & \text{انرژی بر واحد جرم سیال} \\ \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z = \text{cte} & \text{ارتفاع} \end{cases}$$

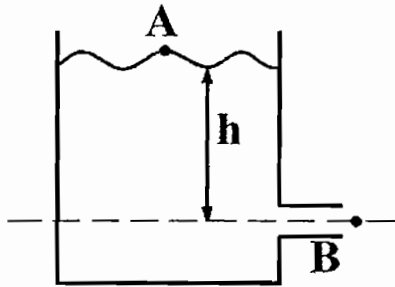
بیان معادله برنولی در سیستم انگلیسی:

$$\begin{cases} \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} z = \text{cte} & \text{انرژی بر واحد جرم سیال} \\ \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z = \text{cte} & \text{ارتفاع} \end{cases}$$

چند مثال از کاربردهای معادله برنولی:

اریفیس: اریفیس یکی از وسایل اندازه گیری دبی سیال می باشد.

برای به دست آوردن دبی سیال معادله برنولی را بین نقاط A و B می نویسیم:



$$\frac{P_A}{\rho} + \frac{g}{g_c} Z_A + \frac{V_A^2}{2g_c} = \frac{P_B}{\rho} + \frac{g}{g_c} Z_B + \frac{V_B^2}{2g_c}$$

از آن جا که هر دو نقطه A و B به اتمسفر باز است هر دو نقطه دارای فشار اتمسفر می باشند :

$$P_A = P_B = P_{atm}$$

توجه شود که سیال در نقطه A دارای سرعت می باشد. چرا که مخزن در حال تخلیه است و سطح مایع در داخل مخزن پایین می آید،

$$V_A = 0$$

ولی از آن جا که سرعت در نقطه A کم است از آن صرف نظر می کنیم بنابراین داریم :

$$\frac{g}{g_c} Z_A = \frac{g}{g_c} Z_B + \frac{V_B^2}{2g_c}$$

$$\frac{g}{g_c} (Z_A - Z_B) = \frac{V_B^2}{2g_c}$$

که $h = Z_A - Z_B$ می باشد.

$$V_B = \sqrt{2gh}$$

این رابطه چه در سیستم SI و چه در سیستم انگلیسی برقرار است.

رابطه $V = \sqrt{2gh}$ احتیاج به تصحیح دارد، چرا که همان طور که قبلاً اشاره شد در معادله برنولی اتلاف انرژی در نظر گرفته نشده و سرعت سیال در حالت واقعی از $\sqrt{2gh}$ کمتر است. بنابراین مقدار سرعت را در یک C_v ضرب می کنند:

$$V_a = C_v \sqrt{2gh}$$

که V_a سرعت واقعی سیال در خروجی اریفیس می باشد.

مطابق شکل سطح مقطع واقعی خروجی سیال (A_a) به دلیل انقباض، از سطح مقطع لوله کوچکتر است. بنابراین برای محاسبه مساحت واقعی باید مساحت اریفیس را در C_c که ضریب انقباض نام دارد، ضرب کنیم.



ضریب انقباض با رابطه زیر تعریف می شود:

$$\frac{A_a}{A} = C_c$$

$$Q = C_c C_v \sqrt{2gh} \cdot A$$

بنابراین:

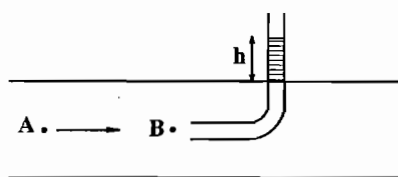
حاصل ضرب $C_c C_v$ را ضریب تخلیه نامیده و با C_d نشان می‌دهیم بنابراین:

$$Q = C_d \sqrt{2gh} \cdot A$$

لازم به ذکر است C_c, C_v, C_d هر سه از یک کوچک‌تر هستند. ($C_c, C_v, C_d < 1$)

لوله پیتوت:

یکی از وسایل اندازه‌گیری سرعت سیال است. برای به‌دست آوردن سرعت سیال از معادله برنولی بین نقاط A و B استفاده می‌کنیم. مطابق شکل داریم:



$$\frac{P_A}{\rho} + \frac{V_A^2}{2} + gZ_A = \frac{P_B}{\rho} + gZ_B + \frac{V_B^2}{2}$$

در نقطه B انرژی جنبشی سیال به انرژی فشاری تبدیل شده و بنابراین سرعت در نقطه B برابر صفر است. همچنین $Z_A = Z_B$ بنابراین:

$$\frac{V_A^2}{2} = \frac{(P_B - P_A)}{\rho}$$

اختلاف فشار دو نقطه A و B از روی ارتفاع ستون سیال به‌دست می‌آید. ($P_B - P_A = \rho gh$):

$$\frac{V_A^2}{2} = \frac{\rho gh}{\rho} = gh \rightarrow V_A = \sqrt{2gh}$$

ضریب تصحیح انرژی جنبشی:

در به‌دست آوردن معادله برنولی فرض شد که جریان یکنواخت است. می‌دانیم به‌دلیل وجود اصطکاک، جریان یکنواخت در حالت واقعی رخ نمی‌دهد. بنابراین باید این فرض را اصلاح کرد. برای این کار ترم انرژی جنبشی را در ضریب تصحیح انرژی جنبشی که آن را با α نمایش می‌دهیم ضرب می‌کنیم و به‌جای سرعت از سرعت متوسط استفاده می‌کنیم:

$$\frac{P}{\rho} + \alpha \frac{\bar{V}^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} Z = \text{مقدار ثابت}$$

ضرب تصحیح انرژی جنبشی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

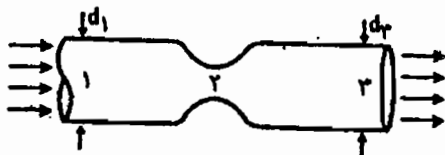
$$\alpha = \frac{1}{A} \int \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^3 dA$$

لازم به ذکر است که در جریان آرام $\alpha = 2$ و در جریان درهم $\alpha = 1$ می‌باشد.

تست های معادله اولر و برنولی و معادله پیوستگی

- ۱ - رابطه اولر بر چه فرضیاتی استوار می باشد؟
 (۱) سیال ایده آل، جریان پایدار و برای نقاط روی خطوط جریان قابل استفاده است.
 (۲) سیال غیر نیوتنی و غیر قابل تراکم باشد.
 (۳) جریان ایده آل - پایدار و غیر قابل تراکم و برای نقاط روی خطوط جریان قابل استفاده است.
 (۴) جریان پایدار و غیر قابل تراکم و سیال باید دارای ویسکوزیته بالایی باشد.
- حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

- ۲ - مطابق شکل هنگامی که از اتلاف انرژی صرف نظر شود، در مورد فشار نسبی P_3 می توان گفت :
 چنان چه باشد، آن گاه می شود.



$$(1) P_1 > P_3, d_1 \leq d_3$$

$$(2) P_1 > P_3, d_1 \geq d_3$$

$$(3) P_1 < P_3, d_1 > d_3$$

$$(4) P_1 < P_3, d_1 < d_3$$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

با نوشتن معادله برنولی :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g}$$

$$d_1 > d_3 \Rightarrow V_1 < V_3, P_1 > P_3$$

$$d_1 < d_3 \Rightarrow V_1 > V_3, P_1 < P_3$$

۳ - فرض های لازم برای این که $gz + \frac{V^2}{2} + \int \frac{dp}{\rho} = \text{const}$ صادق باشد:

- (۱) جریان پایدار - بدون اصطکاک ، غیر قابل تراکم در طول خط جریان
 (۲) جریان پایدار - با اصطکاک، غیر قابل تراکم در سطح جریان
 (۳) جریان یکسان - بدون اصطکاک ، غیر قابل تراکم در طول خط جریان
 (۴) جریان یکسان - با اصطکاک، غیر قابل تراکم در طول خط جریان

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

۴ - آب در لوله ای با سرعت $5 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$ جریان دارد. شیری در انتها ناگهان بسته می شود. ازدیاد فشار را در لوله محاسبه نمایید.

(مهندسی شیمی ۸۲)

$$\left(\rho = 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \right)$$

$$\Delta P = 24.24 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \quad (4)$$

$$\Delta P = 9.70 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \quad (3)$$

$$\Delta P = 4.85 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \quad (2)$$

$$\Delta P = 1560 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \quad (1)$$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

بین دو نقطه ۱ واقع در یک مقطع جریان و نقطه ۲ واقع در انتهای لوله (شیر بسته) معادله برنولی را می نویسیم:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad \text{و} \quad Z_1 = Z_2, \quad V_2 = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{V_1^2}{2g} \rightarrow \Delta P = \gamma \frac{V_1^2}{2g}$$

$$\Delta P = 62.4 \times \frac{5^2}{2 \times 32.2} = 24.24 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

۵ - به هنگام اندازه گیری سرعت سیال با استفاده از یک pitot - static - tube، اختلاف فشار اندازه گیری شده برابر 10cm است.

سرعت سیال چند متر بر ثانیه است؟ (مهندسی شیمی، مهندسی بیوتکنولوژی و مهندسی مخازن هیدروکربوری ۷۷)

10 (۴)

7.5 (۳)

5 (۲)

1.5 (۱)

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$V = \sqrt{2g\Delta z} = \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.1} = 1.41 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

۶ - در اندازه گیری جریان آب متوسط (pitot - tube) اختلاف ارتفاع در دو ستون معادل 7cm H₂O است. سرعت جریان آب

چند $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ است؟ (مهندسی شیمی ۷۶)

1.17 (۴)

0.5 (۳)

0.2 (۲)

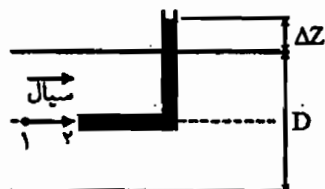
0.1 (۱)

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$V = \sqrt{2g\Delta z} = \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.07} = 1.17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

۷ - از سیستم شکل زیر جهت اندازه گیری سرعت در لوله استفاده می شود. در صورتی که قطر لوله اصلی (D) نصف گردد، در دبی

ثابت، ارتفاع ΔZ چگونه تغییر می کند؟ (مهندسی شیمی ۷۴)



(۱) 4 برابر می شود.

(۲) 16 برابر می شود.

(۳) 2 برابر می شود.

(۴) 8 برابر می شود.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\Delta Z = \frac{V^2}{2g}, \quad Q = V.A$$

$$\frac{\Delta Z_2}{\Delta Z_1} = \frac{V_2^2}{V_1^2} = \frac{\left(\frac{4Q}{\pi D_2^2} \right)^2}{\left(\frac{4Q}{\pi D_1^2} \right)^2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4$$

$$D_2 = \frac{1}{2} D_1 \rightarrow \frac{\Delta Z_2}{\Delta Z_1} = 16$$

۸- یک لوله پیتو برای تعیین سرعت هوا به کار رفته است. اگر فشارسنج متصل به این لوله عدد 2kPa را نشان دهد، سرعت هوا چقدر است؟ فشار هوا یک اتمسفر و دمای آن 20°C است. (مهندسی مخازن هیدروکربوری ۸۲)

(۱) $208 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ (۲) $533 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ (۳) $752 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ (۴) $1470 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{V^2}{2g}$$

$$\rho_{\text{air}} = \frac{P}{RT} = \frac{101325}{287 \times 293} = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{2 \times 1000}{1.2 \times 9.81} = \frac{V^2}{2 \times 9.81} \Rightarrow V = 57.74 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 208 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

۹- در یک خط لوله انتقال آب در مقطع A، فشار 98 Kpa و سرعت $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ می باشد. در مقطع B که ارتفاع آن 2m بالاتر از A

می باشد، سرعت $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ و فشار 20 Kpa است. جهت جریان از چه سمتی است؟

(۱) از B به A

(۲) از A به B

(۳) در چنین لوله ای آب نمی تواند جریان داشته باشد.

(۴) جریان به طور مساوی از دو طرف وجود خواهد داشت.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

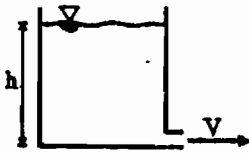
$$h_A = \frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A = \frac{98000}{9810} + \frac{1}{2 \times 9.81} + 0 = 10 \text{m}$$

$$h_B = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B = \frac{20000}{9810} + \frac{4^2}{2 \times 9.81} + 2 = 4.8 \text{m}$$

$h_A > h_B \rightarrow$ جریان از A به طرف B است.

(مهندسی شیمی ۷۵)

۱۰- در شکل مقابل سرعت خروجی سیال از تانک برابر است با:



(۲) $\sqrt{2g_c h}$

(۱) $\sqrt{2gh}$

(۴) $g_c \sqrt{2h}$

(۳) $2g_c h'$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

۱۱- از یک شیلنگ که بطور عمودی قرار گرفته، آب با سرعت 10 متر بر ثانیه خارج می شود. اگر از اصطکاک ها صرف نظر شود آب تا

(مهندسی شیمی ۷۶)

چه ارتفاعی بالا می رود؟ $\left(g = 9.8 \frac{m}{s^2}\right)$

(۴) 10.2

(۳) 5.1

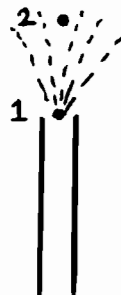
(۲) 2.55

(۱) 1.28

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

آب بالا می رود تا جایی که سرعت آن به صفر برسد. با نوشتن معادله برنولی بین دو نقطه 1 و 2 داریم :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2, \quad (P_1 = P_2 = P_{atm})$$



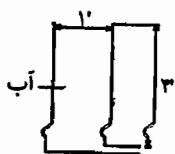
$$\frac{V_1^2}{2g} + 0 = 0 + z_2$$

$$Z_2 = \frac{V_1^2}{2g} = \frac{10^2}{2 \times 9.8} = 5.1m$$

۱۲- در شکل زیر مخزن استوانه ای به قطر 1ft توسط لوله به قطر 1 اینچ تخلیه می شود، چنانچه از افت انرژی در مخزن لوله و

اتصالات صرف نظر شود و ارتفاع آب در بالای لوله متصل شده 4 ft باشد، زمان لازم جهت تخلیه نصف آب داخل مخزن برابر است با:

(مهندسی شیمی ۷۲)



(۱) 8.2sec

(۲) 10sec

(۳) 16.4 sec

(۴) 21 sec

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

اگر قانون بقاء جرم را بنویسیم:

$$0 - u_a = \frac{dV}{dt}$$

که در این رابطه u سرعت سیال، a سطح مقطع لوله در خروجی و V بیانگر حجم می باشد.

$$0 - \sqrt{2gh} a = \frac{d(A \cdot h)}{dt}$$

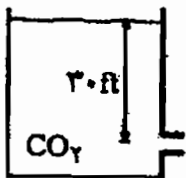
A سطح مقطع مخزن و h ارتفاع سیال در هر لحظه داخل مخزن می باشد.

$$\frac{dh}{\sqrt{2gh}} = -\frac{a}{A} dt \rightarrow \int_{h_0}^h \frac{dh}{\sqrt{2gh}} = -\frac{a}{A} \int_0^t dt$$

$$t = \sqrt{\frac{2}{g}} \frac{A}{a} (\sqrt{h_0} - \sqrt{h})$$

$$t = \sqrt{\frac{2}{32.2}} \times \frac{\frac{\pi}{4}(1)^2}{\frac{\pi}{4}\left(\frac{1}{12}\right)^2} (\sqrt{4} - \sqrt{2}) = 21.02 \text{ sec}$$

۱۳ - تانک نشان داده شده در شکل پر از گاز CO_2 (در دما و فشار محیط) می باشد و در آن باز است. در نزدیکی کف منفذی قرار دارد که قطر آن در مقایسه با قطر تانک کوچک است. سرعت جریان خروجی از این منفذ چقدر است؟ (مهندسی بیوتکنولوژی ۸۳)



(۱) 25.6 فوت بر ثانیه

(۲) 31.0 فوت بر ثانیه

(۳) 43.9 فوت بر ثانیه

(۴) 56.6 فوت بر ثانیه

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$V = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 32.2 \times 30} = 43.9 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$$

۱۴ - سرعت جریان آب رودخانه ای $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ست فشار وارد بر پایه پلی که در مسیر این رودخانه قرار دارد چقدر است؟

(مهندسی بیوتکنولوژی ۸۳)

(۴) 25 kPa

(۳) 12.5 kPa

(۲) 7.5 kPa

(۱) 5 kPa

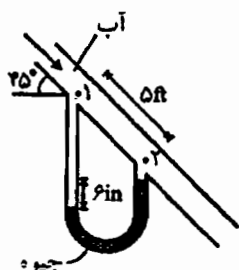
حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{V^2}{2g} \Rightarrow P = \frac{\rho V^2}{2}$$

$$P = \frac{1000 \times 5^2}{2} = 12500 \text{ Pa} = 12.5 \text{ kPa}$$

۱۵ - مطابق شکل آب در یک لوله که با افق زاویه 45 می سازد جریان دارد. اختلاف فشار بین دو نقطه 1 ، 2 ($\Delta P = P_1 - P_2$) چند

پوند بر فوت مربع می باشد؟ (وزن مخصوص آب $62.4 \frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^3}$ و وزن مخصوص جیوه $846 \frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^3}$ می باشد.)



(۱) 171

(۲) 150

(۳) 175

(۴) 165

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

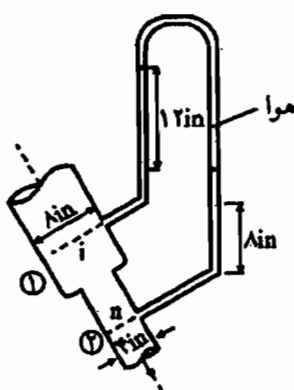
$$\Delta Z = Z_1 - Z_2 = 5 \sin 45^\circ = 3.53 \text{ ft}$$

$$P_1 + 3.53 \gamma_w + \frac{6}{12} \gamma_w - \frac{6}{12} \gamma_{Hg} = P_2$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 0.5 (\gamma_{Hg} - \gamma_w) - 3.53 \gamma_w$$

$$\Delta P = 0.5 (846 - 62.4) - 3.53 \times 62.4 = 171 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$$

۱۶ - دبی حجمی در لوله نشان داده شده در شکل در صورتی که بارومتر تفاضلی 1 ft را نشان دهد برابر است با: (با فرض این که جریان ایده آل باشد). (بدون اصطکاک) (مهندسی شیمی ۸۲)



$$q_v = 1.315 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \quad (1)$$

$$q_v = 0.129 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \quad (2)$$

$$q_v = 0.327 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \quad (3)$$

$$q_v = 0.723 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \quad (4)$$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

معادله برنولی بین نقاط 1 و 2 :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

از طرف دیگر با توجه به مانومتر داریم:

$$P_1 - \left(\frac{12}{12} \right) \gamma_w + \left(\frac{8}{12} \right) \gamma_w = P_2 \Rightarrow \frac{P_1 - P_2}{\gamma_w} = \frac{1}{3}$$

با مرتب کردن معادله برنولی بین نقاط 1 و 2 داریم:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma_w} + (Z_1 - Z_2) = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

$$\frac{1}{3} + \frac{8}{12} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \Rightarrow V_2^2 - V_1^2 = 64.4 \quad (\text{معادله I})$$

با توجه به معادله پیوستگی بین نقاط 1 و 2 داریم :

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \Rightarrow V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 V_1$$

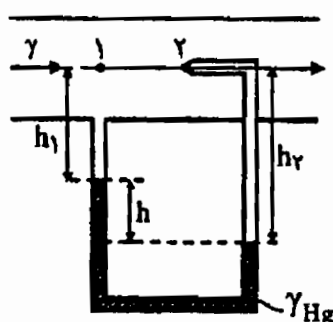
$$V_2 = \left(\frac{8}{4} \right)^2 V_1 = 4 V_1 \quad (\text{معادله II})$$

با توجه به معادلات I و II داریم:

$$V_1 = 2.07 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$$

$$Q = A_1 V_1 = \frac{\pi \times \left(\frac{8}{12}\right)^2}{4} \times 2.07 = 0.723 \frac{\text{ft}^3}{\text{sec}}$$

۱۷ - برای اندازه گیری سرعت مایع در جریان یک لوله از یک بارومتر مطابق شکل استفاده می شود. عبارت سرعت جریان تابع h خوانده شده توسط بارومتر برابر است با: (مهندسی بیوتکنولوژی و مهندسی هسته ای ۸۲)



$$V_1 = \left[3gh \left(\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma} - 1 \right) \right]^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

$$V_1 = \left[7gh \left(1 - \frac{\gamma_{Hg}}{\gamma} \right) \right]^{\frac{1}{5}} \quad (4)$$

$$V_1 = \left[2gh \left(\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma} - 1 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$V_1 = \left[5gh \left(1 - \frac{\gamma_{Hg}}{\gamma} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

با نوشتن معادله برنولی داریم :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_2 = 0 \Rightarrow V_1 = \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}}$$

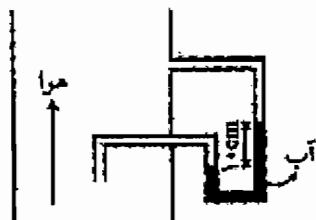
برای به دست آوردن $P_2 - P_1$ با توجه به مانومتر داریم :

$$P_2 - P_1 = (\gamma_{Hg} - \gamma)h$$

$$V = \left[\frac{2(\gamma_{Hg} - \gamma)h}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{2\gamma}{\rho} \left(\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma} - 1 \right) h \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \left[2gh \left(\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma} - 1 \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

۱۸ - در صورتی که اختلاف ارتفاع آب مانومتر در شکل مقابل ۱۰ cm باشد، سرعت هوا را در لوله حساب کنید. فشار هوا ۱ atm و دمای آن ۲۰ °C است.



- (۱) $8 \frac{m}{s}$
(۲) $26 \frac{m}{s}$
(۳) $40 \frac{m}{s}$
(۴) $1.3 \frac{m}{s}$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.
با توجه به حل تست قبل داریم :

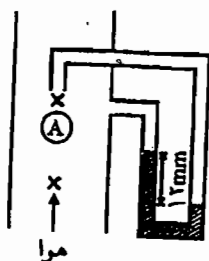
$$V = \sqrt{\frac{2(P_o - P)}{\rho}}$$

$$\rho_{air} = \frac{P}{RT} = \frac{101325}{287 \times 292.15} = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_o - P = 0.1 \gamma_w \rightarrow V = \sqrt{\frac{2(0.1 \times 10000)}{1.2}} = 40.82 \frac{m}{s}$$

(توجه می شود که $\bar{R} = \frac{R}{M}$)

۱۹ - در لوله مقابل هوا با فشار ۱ atm و ۲۰ °C جریان دارد. مانومتر مطابق شکل اختلاف فشار ۱۲ mm H₂O را نشان می دهد. عدد ماخ را برای جریان هوا در نقطه مشخص شده تعیین کنید. (سرعت صوت در این شرایط C=323 $\frac{m}{s}$ است). (مهندسی شیمی ۸۳)



- (۱) 0.028
(۲) 0.036
(۳) 0.043
(۴) 0.051

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\rho_{air} = \frac{P}{RT} = \frac{101325}{\frac{8314}{29} \times 293.15} = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

از نوشتن معادله برنولی بین دو نقطه که با ضربدر در شکل نشان داده شده، خواهیم داشت:

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{\Delta P}{\gamma_{Air}}, \quad V_1^2 = \frac{2\Delta P}{\rho_{air}}$$

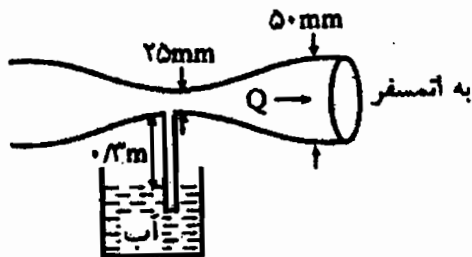
$$\Delta P = 1000 \times 9.81 \times 0.012 = 117.72 \text{ Pa}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \times 117.72}{1.2}} = 14 \frac{m}{s}$$

$$Ma = \frac{V}{C} = \frac{14}{323} = 0.043$$

۲۰- دبی هوای عبوری از شیبوره زیر را به گونه‌ای تعیین کنید که آب از مخزن به داخل شیبوره کشیده شود. از اثرات ویسکوز

(مهندسی بیوتکنولوژی ۸۳)



صرف نظر کنید. $\left(\frac{\gamma_{\text{آب}}}{\gamma_{\text{هوا}}} = 820 \right)$

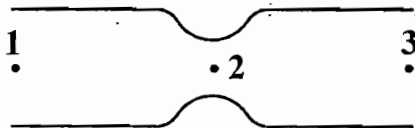
(۲) $0.04 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

(۱) $0.02 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

(۴) $0.16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

(۳) $0.08 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد. با توجه به شکل داریم:



$$P_1 - P_2 = \gamma_w h \Rightarrow 0 - P_2 = \gamma_w h \rightarrow \frac{P_2}{\gamma_{\text{air}}} = -\frac{\gamma_w}{\gamma_{\text{air}}} h$$

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_3$$

$$Z_2 = Z_3, P_3 = 0 \Rightarrow -\frac{\gamma_w}{\gamma_{\text{air}}} h = \frac{V_3^2 - V_2^2}{2g}$$

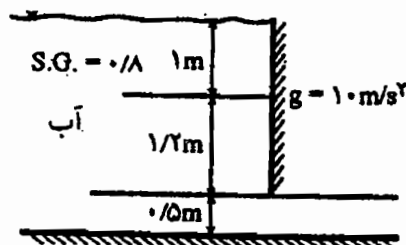
$$\begin{cases} V_3^2 - V_2^2 = -820 \times 2 \times 9.81 = -4826 \\ A_3 V_3 = A_2 V_2 \Rightarrow V_2 = \frac{A_3}{A_2} V_3 = \left(\frac{d_3}{d_2} \right)^2 V_3 \rightarrow V_2 = 4 V_3 \end{cases}$$

$$V_3 = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow Q = A_3 V_3 = \frac{\pi \times 0.05^2}{4} \times 18 = 0.04 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

۲۱- با توجه به شکل زیر جریان آب خروجی از دریچه دوبعدی بر واحد عرض دریچه چند متر مکعب بر ثانیه است؟ (با فرض

(مهندسی بیوتکنولوژی و مهندسی مخازن هیدروکربوری و مهندسی هسته‌ای (۸)

صرف نظر کردن از کلیه افت‌ها)



(۱) 3.162

(۲) 3.31

(۳) 3.53

(۴) 3.67

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

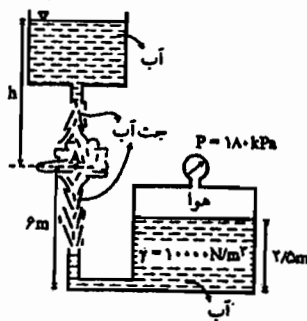
بین سطح آزاد آب (نقطه ۱) و در مقطع خروجی جریان (نقطه ۲) معادله برنولی را می‌نویسیم :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

$$0 + 0 + (0.8 + 1.2 + 0.5) = 0 + \frac{V_2^2}{2 \times 9.81} + 0.5 \rightarrow V_2 = 6.26 \frac{m}{s}$$

$$Q = AV_2 = (0.5 \times 1) \times 6.264 = 3.16 \frac{m^3}{sec}$$

۲۲- دو جریان آب از دو تانک به یکدیگر برخورد می‌کنند. اگر نقطه A نقطه سکون ($V=0$) باشد، ارتفاع h را محاسبه کنید. از اثرات ویسکوزیته صرف‌نظر کنید. (مهندسی شیمی ۸۳)



۱) 0

۲) 2.5 متر

۳) 21.5 متر

۴) 14.5 متر

حل : گزینه ۴ صحیح است.

سه نقطه: سطح آزاد آب مخزن بالا (نقطه ۱) و سطح آزاد مایع مخزن پایینی (نقطه ۲) و نقطه A (نقطه سکون) را در نظر می‌گیریم. با نوشتن برنولی بین نقاط ۱، A و نقاط ۲، A داریم :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A$$

$$P_1 = P_A = 0, V_1 = 0, Z_A = 0$$

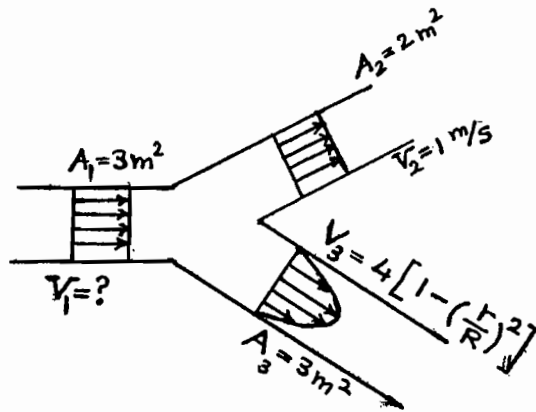
$$0 + h = 0 + \frac{V_A^2}{2g} + 0 \Rightarrow V_A = \sqrt{2gh}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 = \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A$$

$$P_A = 0, V_2 = 0, V_A = \sqrt{2gh}$$

$$\frac{180000}{10000} + 0 + 2.5 = 0 + h + 6 \Rightarrow h = 14.5m$$

۲۳ - سیال غیرقابل تراکمی در خط لوله زیر جریان دارد. منحنی تغییرات سرعت در مقاطع ۱ و ۲ یکنواخت و در مقطع ۳ به صورت تابع درجه ۲ می باشد. سرعت در مقطع ۱ چند متر بر ثانیه است؟ (مهندسی شیمی ۸۵)



(۱) $\frac{4}{3}$

(۲) $\frac{3}{2}$

(۳) $\frac{8}{3}$

(۴) 6

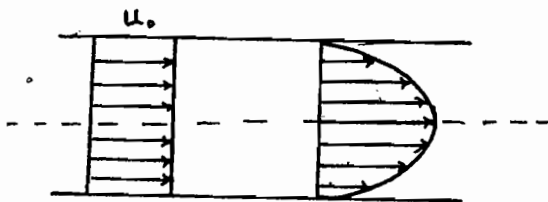
حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \xrightarrow{\rho = \text{cte}} Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$V_1 \times 3 = (1 \times 2) + \bar{V}_3 A_3 \rightarrow 3V_1 = 2 + (3 \times 2)$$

$$3V_1 = 8 \rightarrow V_1 = \frac{8}{3}$$

۲۴ - سیالی مطابق شکل با سرعت u_0 به لوله ای با قطر ۳ اینچ وارد می شود. اگر توزیع سرعت جریان در ابتدا یونیفورم و سپس سهمی شود، مقدار دبی حجمی سیال چند $\frac{\text{ft}^3}{\text{s}}$ خواهد بود؟ سرعت ماکزیمم در لوله $20 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$ است.



(۱) 1.96

(۲) 7.05

(۳) 0.49

(۴) 10

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$D = 3 \text{ inch} = \frac{3}{12} \text{ ft} = 0.25 \text{ ft}, \quad \bar{u} = \frac{u_{\max}}{2} = \frac{20}{2} = 10 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

$$Q = \bar{u} \cdot A = 10 \times \left(\frac{\pi}{4} \times 0.25^2 \right) = 0.49 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}}$$

قانون بقای مومنتوم:

اگر فرض شود که ۱ - جریان دایمی (Steady state)، ۲ - جریان یکنواخت (سرعت در سطح مقطع ثابت است) و ۳ - دبی جریان (m) ثابت باشد، آن گاه می توان قانون بقای مومنتوم را برای یک جریان یک بعدی به شکل زیر بیان کرد:

$$\sum F_x = \frac{\dot{m}}{g_c} (V_{2x} - V_{1x})$$

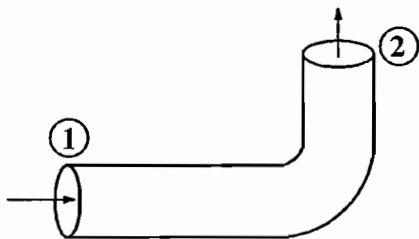
بدیهی است که در سیستم SI لازم به نوشتن g_c نیست. در حل مسایل می توانیم از رابطه کلی زیر استفاده کنیم.

$$P_1 A - P_2 A + F_W - F_g = \frac{\dot{m}}{g_c} (V_{2x} - V_{1x})$$

که در آن P_1 فشار در سطح مقطع ورودی به لوله، P_2 فشار در سطح مقطع خروجی از لوله، F_g نیروی وزن در راستای موردنظر (راستای x) و F_W نیرویی است که بدنه (دیواره لوله) به سیال وارد می کند و V_{2x} مولفه سرعت در خروجی و V_{1x} مولفه سرعت ورودی در راستای موردنظر است.

تذکره: نیروی F_W به دست آمده از رابطه فوق نیرویی است که بدنه به سیال وارد می کند و برای به دست آوردن نیروی وارده از طرف سیال به بدنه، علامت نیروی به دست آمده از F_W را تغییر می دهیم.

مثال: آب با سرعت $5 \frac{m}{s}$ و فشار 35Kpa وارد یک زانوی 90 به قطر 30cm می شود. نیروی وارده از طرف سیال بر زانو بر حسب نیوتن برابر است با (نیروی وارده در راستای x):



$$x \text{ راستای } P_1 A_1 - P_2 A_2 + F_W - F_g = \frac{\dot{m}}{g_c} (V_{2x} - V_{1x})$$

$$35000 \times \frac{\pi (0.3)^2}{4} - 0 + F_W - 0 = \frac{1000 \times 5 \times \frac{\pi}{4} (0.3)^2}{1} (0 - 0.5)$$

$$F_W = -4239 \text{ N}$$

این نیرو از طرف زانو بر سیال وارد می شود. برای به دست آوردن نیروی وارده از سیال بر زانو داریم:

$$F_W = +4239 \text{ N}$$

ضریب تصحیح اندازه حرکت:

در به دست آوردن قانون بقای مومنتوم فرض کردیم که سرعت یکنواخت است، از آن جا که جریان یکنواخت در حالت واقعی رخ نمی دهد. برای تصحیح رابطه از ضریب تصحیح اندازه حرکت استفاده می کنیم.

$$\Sigma F_x = \frac{\dot{m}}{g_c} (\beta_2 \bar{V}_{2x} - \beta_1 \bar{V}_{1x})$$

ضریب تصحیح اندازه حرکت از رابطه زیر به دست می آید:

$$\beta = \frac{1}{A} \int \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^2 dA$$

لازم به ذکر است β در جریان آرام درون لوله برابر $\frac{4}{3}$ و در جریان درهم β بین 1.03 تا 1.06 است (بسته به این که جریان درهم و یا خیلی درهم باشد).

تست های بخش معادله اندازه حرکت

- ۱ - یک جت آب با سرعت 6.3 متر بر ثانیه از دهانه یک لوله به قطر 50 میلی متر به صورت افقی خارج و به یک صفحه ساکن عمود بر آن برخورد می کند. نیروی وارد بر صفحه چند نیوتن می باشد؟
(مهندسی مخازن هیدروکربوری ۸۰)
- (۱) 0 (۲) 24.75 (۳) 77.89 (۴) 124.3

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$F = \frac{d(mV)}{dt} = V \frac{dm}{dt} = \dot{m}V = \rho AV^2$$

$$F = 1000 \times \frac{\pi \times 0.05^2}{4} \times 6.3^2 = 77.89 \text{ N}$$

- ۲ - داخل یک لوله روغن با دبی $10 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ ، با سرعت $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ در امتداد OX در صفحه افقی XOY جریان دارد. این جریان به وسیله یک زانوی 90° یک تغییر مسیر در همین صفحه می یابد. مقدار مولفه های F_x و F_y (قدر مطلق) وارد بر سیال چقدر خواهد بود ؟
(مهندسی شیمی و مهندسی مخازن هیدروکربوری ۷۷)

$$F_x = F_y = 10 \text{ N} \quad (۲)$$

$$F_x = F_y = 5 \text{ N} \quad (۱)$$

$$F_x = 5 \text{ N} , F_y = 10 \text{ N} \quad (۴)$$

$$F_x = 10 \text{ N} , F_y = 5 \text{ N} \quad (۳)$$

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$F_x = \dot{m}V_1 = 10 \times 1 = 10 \text{ N}$$

$$F_y = \dot{m}V_2 = 10 \times 1 = 10 \text{ N}$$

- ۳ - آب با سرعت 5 متر بر ثانیه و فشار 35 کیلو پاسکال وارد یک زانوی 90° درجه به قطر 30 سانتی متر می شود. نیروی وارد بر زانو در راستای حرکت آب برابر چند نیوتن خواهد بود ؟ (مهندسی شیمی مهندسی بیوتکنولوژی و مهندسی مخازن هیدروکربوری ۷۷)
- (۱) -4241 (۲) -1768 (۳) +1768 (۴) +4241

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد. در رابطه کلی داریم:

$$P_1 A_1 - P_2 A_2 + F_W - F_g = \frac{\dot{m}}{g_c} (V_{2x} - V_{1x})$$

در مورد این مساله داریم: (در راستای x) :

$$P_1 A_1 - 0 + F_W - 0 = \dot{m} (0 - V_{1x})$$

$$+F_W + 35000 \times \frac{\pi \times 0.3^2}{4} = 1000 \times 5 \times \frac{\pi \times 0.3^2}{4} (-5)$$

بر اساس توضیح داده شده در متن درس برای تعیین نیروی وارد بر زانو از طرف سیال F_W را باید در یک منفی ضرب کنیم.

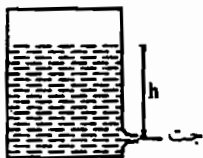
$$F_W = 4241 \text{ N}$$

۴- برای شکل زیر نیروی وارده به وسیله سیال روی ظرف، که در جهت مخالف جریان جت (jet) بر بدنه ظرف وارد می شود برابر است با:

(γ = وزن مخصوص سیال ، A = سطح مقطع جت)

(۱) $2\gamma Ah$ (۲) γAh

(۳) $\frac{1}{2}\gamma Ah$ (۴) $0.8\gamma Ah$



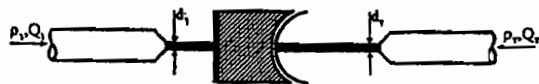
حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$V = \sqrt{2gh}$$

$$F = \dot{m}V = \rho AV^2 = \rho A(2gh) = 2\gamma Ah$$

(مهندسی شیمی ۸۰)

۵- با توجه به شکل زیر شرط تعادل جسم صلب کدام است؟ ($\rho_1 = \rho_2$)



(۱) $Q_1 = Q_2 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)$ (۲) $Q_1 = Q_2 \sqrt{2} \frac{d_1}{d_2}$

(۳) $Q_1 = Q_2 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2$ (۴) $Q_1 = Q_2 \frac{d_1}{\sqrt{2}d_2}$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد. در حالت تعادل داریم:

$$\sum F = 0$$

$$\dot{m}_1 V_1 - \dot{m}_2 V_2 = 0$$

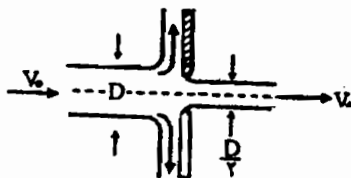
$$\rho_1 V_1 Q_1 - \rho_2 V_2 Q_2 = 0 \Rightarrow \rho_1 V_1 Q_1 = \rho_2 V_2 Q_2$$

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2}, \rho_1 = \rho_2$$

$$\Rightarrow \frac{Q_1}{d_1^2} Q_1 = \frac{Q_2}{d_2^2} Q_2 \rightarrow Q_1 = Q_2 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)$$

۶- در شکل مقابل یک جت مایع به قطر D به یک صفحه قایم سوراخ دار برخورد می کند و از سوراخ که به صورت هم محور با جت ورودی است، خارج می گردد. اگر قطر جت خروجی $\frac{D}{2}$ باشد، نیروی لازم برای ثابت نگه داشتن صفحه چقدر است؟

(مهندسی مخازن هیدروکربوری ۸۰)



(۲) $\frac{\pi}{2} \rho V^2 D^2$

(۱) $\frac{7\pi}{16} \rho V^2 D^2$

(۴) $\frac{\pi}{8} \rho V^2 D^2$

(۳) $\frac{3\pi}{16} \rho V^2 D^2$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$F = \dot{m}_1 V_{1x} - \dot{m}_2 V_{2x} = \left(\rho V_0^2 \frac{\pi D^2}{4} \right) - \left(\rho V^2 \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right) = \frac{3}{16} \pi \rho V_0^2 D^2$$

تست‌های فصل سوم: (جریان سیالات)

(مهندسی هسته‌ای ۷۷)

۱- کدام عبارت در مورد یک جریان حالت دائم صحیح‌تر است؟

(۱) اگر در هر نقطه از جریان مقدار سرعت ثابت باشد .

(۲) اگر در هر نقطه از جریان جهت سرعت ثابت باشد.

(۳) اگر جریان در امتداد خطوط جریان ثابت باشد.

(۴) اگر در هر نقطه از جریان بردار سرعت نسبت به زمان ثابت باشد.

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۲- در جریانی اگر خط جریان (Stream Line) و خط گذر (Path Line) یکی باشند در این صورت:

(مهندسی عمران آزاد ۸۱)

(۲) جریان یک بعدی است.

(۱) جریان یکنواخت است.

(۴) جریان لایه‌ای است.

(۳) جریان دائم است.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۳- در یک میدان جریان دو بعدی مولفه $U = 2x$ سرعت x و مولفه $V = 2y$ سرعت y است. در این میدان :

(مهندسی مکانیک ۶۷)

(۲) دانسیته تابعی از زمان بوده و $\rho = ce^{-3t}$ است.

(۱) جریان تراکم‌ناپذیر است.

(۴) هیچ کدام

(۳) جریان دائم است.

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

معادله پیوستگی برای سیال تراکم‌ناپذیر در جریان دوبعدی :

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0$$

چون این معادله برقرار نیست، سیال تراکم‌پذیر است.

$$2+2=4 \neq 0$$

معادله پیوستگی برای جریان تراکم‌پذیر :

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V)}{\partial y} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

$$2\rho + 2\rho = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \Rightarrow \frac{\partial \rho}{\partial t} = -4\rho \Rightarrow \frac{d\rho}{\rho} = -4dt \Rightarrow \rho = ce^{-4t}$$

به نظر می‌رسد منظور طراح گزینه ۲ می‌باشد.

(مهندسی نفت ۸۳)

۴- اگر برای یک جريان داشته باشیم $v=b+kt$, $u=a$.

(۱) جريان غيردایم است و معادله خط جريان $y=\frac{b+kt}{a}.x$ است.

(۲) جريان غيردایم است و معادله خط جريان $y=\frac{b}{a}x+kt$ است.

(۳) جريان دایم است و معادله خط جريان $y=\frac{b}{a}x+kt$ است.

(۴) جريان دایم است و معادله خط جريان $y=\frac{b+kt}{a}.x$ است.

حل : گزینه ۱ صحيح می باشد.

معادله سرعت (V) تابع زمان است. پس جريان غير دایم است. برای معادله خط جريان داریم:

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} \Rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{v}{u} = \frac{b+kt}{a} \Rightarrow y = \frac{b+kt}{a}x$$

۵- در یک جريان دوبعدی، غير قابل تراکم و يکنواخت اگر سرعت جريان در جهت x، يعنی u به صورت $u=2x^2+y^2$ باشد، در

(مهندسی شیمی آزاد ۷۹)

این صورت سرعت در جهت y يعنی v برابر خواهد بود با:

$$v = -2x^2 + y^2 \quad (۲)$$

$$v = 4xy \quad (۱)$$

$$v = -4xy \quad (۴)$$

$$v = 2x^2 - y^2 \quad (۳)$$

حل : گزینه ۴ صحيح می باشد.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \Rightarrow 4x + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \Rightarrow \frac{\partial v}{\partial y} = -4x \rightarrow v = -4xy + c$$

۶- یک میدان جريان به صورت رابطه زیر داده شده است:

$$V = axi + byj + ct k$$

(مهندسی مکانیک ۸۰)

معادله خطوط جريان در لحظه $t=0$ کدام است؟

$$y = c_1 x^{\frac{a}{b}} \quad (۲)$$

$$y = c_1 x^{-\frac{a}{b}} \quad (۱)$$

$$y = c_1 x^{\frac{b}{a}} \quad (۴)$$

$$y = c_1 x^{-\frac{b}{a}} \quad (۳)$$

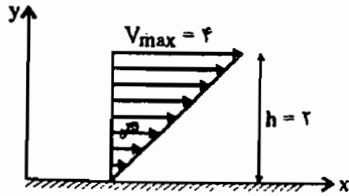
حل : گزینه ۴ صحيح می باشد.

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v}, t=0$$

$$\frac{dx}{ax} = \frac{dy}{by} \Rightarrow \frac{dy}{y} = \frac{b}{a} \frac{dx}{x}$$

$$\Rightarrow \ln y - \frac{b}{a} \ln x + c \Rightarrow \ln y = \frac{b}{a} \ln x + \ln c \Rightarrow y = C x^{\frac{b}{a}}$$

۷- برای جریان یک بعدی در جهت x با تغییرات خطی سرعت (مانند شکل روبرو)، کدام گزینه تابع جریان ψ را نشان می‌دهد؟
(مهندسی مکانیک ۷۹)



$$\begin{aligned} \psi &= y^2 + 1 \quad (۳) & \psi &= \frac{1}{2}y^2 + x \quad (۱) \\ \psi &= 2y^2 + 1 \quad (۴) & \psi &= \frac{4}{3}y^2 + 1 \quad (۳) \end{aligned}$$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$V_x = ay + b$$

$$\begin{cases} V_x|_{y=0} = 0 \\ V_x|_{y=2} = 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} a=2 \\ b=0 \end{matrix} \Rightarrow V_x = 2y$$

$$V_x = \frac{\partial \psi}{\partial y} \Rightarrow 2y = \frac{\partial \psi}{\partial y} \Rightarrow \psi = y^2 + C$$

۸- برای جریان یک سیال سرعت $V = -xi + yj$ تعریف شده است. معادله خطوط جریان عبارت است از: (مهندسی عمران آزاد ۸۰)
 $2x^2y = c \quad (۴) \quad xy^2 = c \quad (۳) \quad xy = c \quad (۲) \quad x^2y^2 = c \quad (۱)$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\frac{dx}{U} = \frac{dy}{V} \Rightarrow \frac{dx}{-x} = \frac{dy}{y} \Rightarrow \ln y = -\ln x + C \rightarrow xy = C$$

۹- برای میدان سرعت $V = axi - byj$ معادله خطوط جریان را به دست آورید. (مهندسی هسته‌ای آزاد ۸۲)

$$y = cx^{-\frac{b}{a}} \quad (۴) \quad y = cx^{ab} \quad (۳) \quad y = cx^{(a+b)} \quad (۲) \quad y = -cx^{(a-b)} \quad (۱)$$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\begin{aligned} \frac{dx}{U} = \frac{dy}{V} &\Rightarrow \frac{dx}{ax} = \frac{dy}{-by} \Rightarrow \frac{dx}{x} = -\frac{a}{b} \frac{dy}{y} \\ \ln x &= -\frac{a}{b} \ln y + c \Rightarrow -\frac{b}{a} \ln x = \ln y + c \quad y = cx^{-\frac{b}{a}} \end{aligned}$$

(مهندسی شیمی آزاد ۸۱)

۱۰- کدام یک از معادلات زیر نشان دهنده معادله پیوستگی است؟

$$\begin{aligned} (۱) \quad \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} &= 0 \quad \text{اگر } \rho \text{ ثابت باشد:} \\ (۲) \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} &= 0 \\ (۳) \quad \rho \nabla \cdot V + \frac{D\rho}{Dt} &= 0 \end{aligned}$$

(۴) هر سه معادله می‌تواند معادله پیوستگی باشد.

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۱۱ - انتهای یک شیلنگ متصل به شیر آب را فشار می دهیم به طوری که آب از سطح مقطع کوچک تری خارج شود. کدام گزینه غلط است؟

(مهندسی نفت ۸۳)

- (۱) سرعت آب داخل شیلنگ کم می شود.
(۲) فشار آب داخل شیلنگ زیاد می شود.
(۳) دبی جریان خروجی از شیلنگ زیاد می شود.
(۴) سرعت جت خروجی از شیلنگ زیاد می شود.

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.
طبق قانون پیوستگی دبی جریان ثابت است.

۱۲ - کدام یک از شروط زیر برای معادله برنولی لازم نمی باشد؟

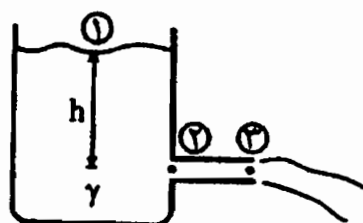
(مهندسی هوافضا آزاد ۸۰)

- (۱) جریان دایمی بوده و نقاط ۱ و ۲ بر روی یک خط جریان باشد.
(۲) جریان غیردایمی و ایده آل باشد.
(۳) جریان تراکم ناپذیر و غیرلزج باشد.
(۴) جریان دایمی و غیرچرخشی باشد.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

(مهندسی نفت و مهندسی معدن ۸۱)

۱۳ - با فرض ایده آل بودن جریان، فشار در نقطه ۲ چقدر است؟



(۱) $-\gamma h$

(۲) صفر

(۳) γh

(۴) $\frac{1}{2} \rho v_3^2$

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

بین دو نقطه ۲ و ۳ معادله برنولی را می نویسیم:

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_3$$

به دلیل قانون پیوستگی $V_2 = V_3$ و همچنین $Z_2 = Z_3$ می باشد. بنابراین:

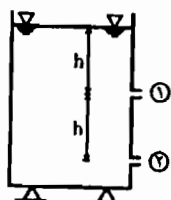
$$P_2 = P_3$$

از آن جا که P_3 دارای فشار اتمسفر یک می باشد، بنابراین فشار نسبی در نقطه ۳ برابر صفر است.

$$P_2 = P_3 = 0$$

۱۴ - در شکل مقابل با فرض جریان ایده آل و شبکه دایم اگر $A_1 = 2A_2$ باشد، نسبت Q_1 به Q_2 چقدر است؟

(مهندسی نفت و مهندسی معدن ۸۱)



(۲) $\frac{1}{2}$

(۴) $\frac{\sqrt{2}}{2}$

(۱) 1

(۳) $\sqrt{2}$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

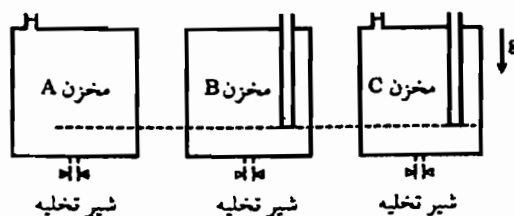
با توجه به مطالب گفته شده در متن درس داریم:

$$V = \sqrt{2gh}$$

$$V_1 = \sqrt{2gh} \quad , \quad V_2 = \sqrt{2g(2h)} = \sqrt{4gh}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{V_1}{V_2} \times \frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{2}{1} = \sqrt{2}$$

۱۵ - حجم مخزن های A و B و C برابر بوده و همگی پر از آب می باشند. اگر این مخزن ها با لوله های نشان داده شده در شکل به محیط راه داشته باشند و شیر تخلیه آن ها مشابه باشد، کدام رابطه زیر برای زمان تخلیه کامل این مخزن ها درست است؟ برای تخلیه مخزن شیر تخلیه را به طور کامل باز می کنیم.



$$t_A > t_B, t_C \quad (۴)$$

$$t_B > t_A, t_C \quad (۳)$$

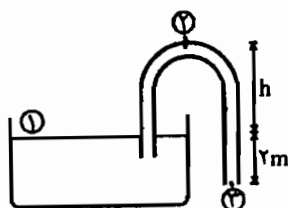
$$t_C > t_A, t_B \quad (۲)$$

$$t_A = t_B = t_C \quad (۱)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

از آن جا که مخزن B از سقف به اتمسفر راه ندارد، بنابراین در ابتدا که مخزن پر از آب است فشار اتمسفر به سیال وارد نمی گردد و سیال با تاخیر نسبت به مخازن A و C تخلیه می گردد.

۱۶ - در شکل مقابل سرعت خروجی آب در نقطه ۳ چند $\frac{m}{s}$ می باشد؟ $\left(g = 9.8 \frac{m}{s^2}\right)$ (مهندسی بیوتکنولوژی آزاد ۷۸)



$$7.26 \quad (۱)$$

$$\sqrt{2g(h+2)} \quad (۲)$$

$$\sqrt{2gh} \quad (۳)$$

$$6.28 \quad (۴)$$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

بین دو نقطه ۱ و ۳ معادله برنولی را می نویسیم:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_3$$

از آن جا که نقاط P_1 و P_3 هر دو به اتمسفر باز هستند بنابراین:

$$P_1 = P_3 = 0$$

اگر $Z_3 = 0$ در نظر بگیریم آن گاه $Z_1 = 2m$ خواهد بود.

از آن جا که مایع داخل مخزن در حال تخلیه است، در نقطه ۱ سرعت داریم، ولی به دلیل کم بودن سرعت نقطه ۱ نسبت به سرعت در نقطه ۳ از V_1 صرف نظر می کنیم و داریم:

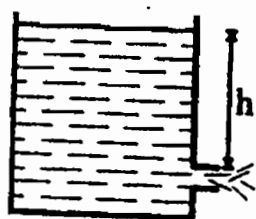
$$0 + 0 + 2 = 0 + \frac{V_3^2}{2g} + 0 \Rightarrow V_3 = \sqrt{2 \times 9.8 \times 2}$$

$$V_3 = 6.28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

توجه: با توجه به مطالب گفته شده در متن درس از ابتدا بدون نوشتن معادله برنولی می توانستیم از رابطه $V = \sqrt{2gh}$ استفاده کنیم.

۱۷ - برای تانکی به قطر زیاد که در آن مایعی به ارتفاع h بالاتر از نازل قرار گرفته است (مطابق شکل مقابل)، سرعت خروجی مایع از نازل با صرف نظر کردن از اصطکاک برابر است با:

$$\begin{array}{ll} (۱) \sqrt{2gh} & (۲) 2\sqrt{gh} \\ (۳) \frac{1}{2}\sqrt{gh} & (۴) \sqrt{gh} \end{array}$$

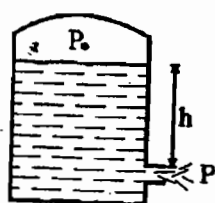


حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

(مهندسی شیمی آزاد ۸۲)

۱۸ - با توجه به شکل مقابل سرعت سیال خروجی از orifice برابر است با:

ضریب بدون بعد C ، فشار در بالای سیال P_0 ، فشار محیط بیرون P



$$U = C \sqrt{h \left[1 + \frac{P_0 - P}{\rho gh} \right]} \quad (۲)$$

$$U = C \sqrt{\frac{P_0 - P}{\rho g} \cdot h} \quad (۴)$$

$$U = C \sqrt{2g \left[h + \frac{P_0 - P}{\rho g} \right]} \quad (۱)$$

$$U = C \sqrt{h \left[1 + \frac{P_0 - P}{\rho gh} \right]} \quad (۳)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

با نوشتن معادله برنولی بین یک نقطه روی سطح مایع و یک نقطه در خروجی اریفیس خواهیم داشت:

$$\frac{P_0}{\gamma} + \frac{V_0^2}{2g} + Z_0 = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z$$

از V_0 به دلیل کوچک بودن صرف نظر می کنیم:

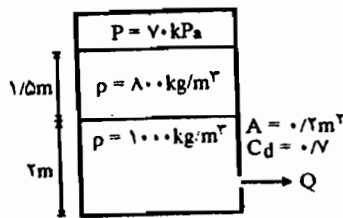
$$\frac{P_0 - P}{\gamma} + (Z_0 - Z) = \frac{V^2}{2g}, \quad Z_0 - Z = h$$

$$\Rightarrow V = \sqrt{2g \left[\frac{P_0 - P}{\gamma} + h \right]}$$

طبق مطالب گفته شده در درس به این رابطه می بایست، ضریب C را بخاطر اتلاف اضافه کرد.

(مهندسی عمران آزاد ۸۱)

۱۹ - دبی خروجی از مخزن شکل مقابل برابر چند متر مکعب بر ثانیه است؟



2.86 (۱)

2 (۲)

0.33 (۳)

0.47 (۴)

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

ارتفاع معادل آب را برای روغن به دست می آوریم:

$$\rho_w \times h_w = \rho_{oil} \times h_{oil}$$

$$h_w = \frac{\rho_{oil}}{\rho_w} \times h_{oil} = \frac{800}{1000} \times 1.5 = 1.2 \text{ m}$$

توجه می شود که چون سقف مخزن به فشار اتمسفر باز نیست، نمی توان از $V = \sqrt{2gh}$ استفاده نمود و باید معادله برنولی را بنویسیم:
(بین روی سطح روغن نقطه ۱ و نقطه خروجی سیال نقطه ۲)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

$$\frac{70}{9.8} + 0 + (2 + 1.2) = 0 + \frac{V_2^2}{2 \times 9.81} + 0$$

توجه می شود که از V_1 صرف نظر کردیم و P_2 به دلیل این که به اتمسفر باز است، بنابراین فشار نسبی برابر صفر دارد.

$$V_2 = 14.24 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ تئوری}$$

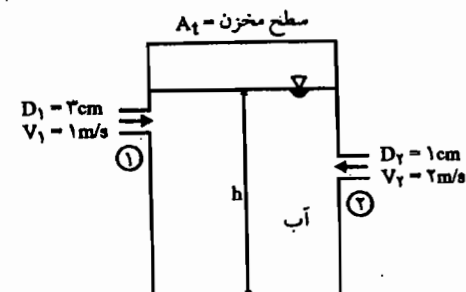
دبی تئوری برابر است با:

$$Q = AV_2 = 0.2 \times 14.24 = 2.848 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

برای محاسبه دبی واقعی، ضریب تخلیه را اعمال می کنیم:

$$Q_{\text{واقعی}} = C_d Q = 0.7 \times 2.848 = 2 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

۲۰ - چنان چه سطح مخزن $A_t = 1 \text{ m}^2$ باشد و بتوان سرعت ورودی از مقاطع یک و دو را یک بعدی فرض نمود. تغییرات h بر حسب زمان را محاسبه نمایید؟ (آب تراکم ناپذیر فرض می شود.)



$$7.07 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (۱)$$

$$9.57 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (۲)$$

$$8.64 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (۳)$$

(۴) ثابت است.

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

تجمع = خروجی - ورودی

$$(Q_1 + Q_2) - 0 = \frac{dV}{dt}$$

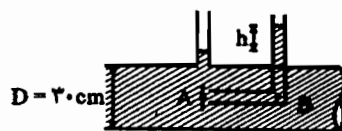
$$Q_1 + Q_2 = A \frac{dh}{dt}$$

$$\left(1 \times \pi \frac{0.03^2}{4}\right) + \left(2 \times \pi \times \frac{0.01^2}{4}\right) = 1 \times \frac{dh}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{dh}{dt} = 8.64 \times 10^{-4} \frac{m}{s}$$

۲۱ - بر روی لوله ای به قطر 30cm لوله های پیزومتر و پیتوت مطابق شکل نصب گردیده است. در صورتی که مقدار h مساوی 20cm

باشد، مقدار سرعت آب در نقطه A برابر چند $\frac{m}{s}$ است؟ (مهندسی عمران ۷۵)



۱.80 (۲)

1.62 (۱)

2.43 (۴)

1.98 (۳)

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

بین دو نقطه A و B برنولی می نویسیم:

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B$$

بنابراین $V_B = 0$ و $Z_B = Z_A$

$$\frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_B - P_A}{\gamma}, \quad P_B - P_A = \gamma h$$

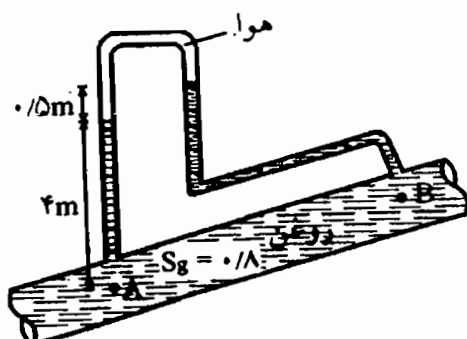
بنابراین :

$$V_A = \sqrt{2gh}$$

$$V_A = \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.2} = 1.98 \frac{m}{s}$$

۲۲ - در صورتی که ارتفاع نقاط A و B به ترتیب 10m و 12m باشند، تفاوت فشار پیزومتری دو نقطه A و B برابر است با:

(مهندسی معدن ۸۰)



۰.۵ متر روغن (۱)

۰.۵ متر آب (۲)

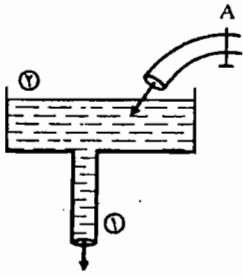
۱.۵ متر آب (۳)

۱.۵ متر روغن (۴)

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$P_A - 4\gamma_{oil} + 0.5\gamma_{oil} + 2\gamma_{oil} = P_B \rightarrow \frac{P_A - P_B}{\gamma_{oil}} = 1.5m$$

۲۳ - در شکل روبرو سطح آب داخل ظرف توسط شیر A ثابت نگه داشته می شود، از مقایسه فشار در نقاط ۱ و ۲ می توان گفت: (مهندسی مکانیک ۶۹)



(۱) $P_2 > P_1$ و با افزایش سطح مقطع در نقطه ۱، این اختلاف بیشتر می شود.

(۲) $P_2 > P_1$ و با افزایش سطح مقطع در نقطه ۱، این اختلاف کمتر می شود.

(۳) $P_2 < P_1$ و افزایش سطح مقطع در نقطه ۱، این اختلاف را کمتر می کند.

(۴) $P_2 < P_1$ و افزایش سطح مقطع در نقطه ۱، این اختلاف را تغییر نمی دهد.

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

از آن جا که آب از نقطه ۲ به سمت نقطه ۱ حرکت می کند، بنابراین $P_2 > P_1$ می باشد. اختلاف فشار برابر γh می باشد و به سطح مقطع ارتباطی ندارد.

۲۴ - در یک خط لوله انتقال آب در مقطع A فشار 98 KPa و سرعت $1 \frac{m}{s}$ می باشد. در مقطع B که ارتفاع آن 2m بالاتر از A

(مهندسی فرآوری و انتقال گاز ۸۳)

است، سرعت $40 \frac{m}{s}$ و فشار 20 KPa است. جهت جریان از چه سمتی است؟

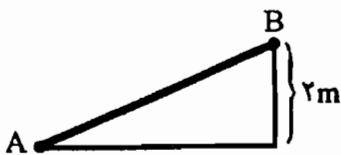
(۱) از A به B

(۲) از B به A

(۳) آب در این لوله ساکن است.

(۴) ابتدا از طرف A به طرف B و پس از چند ثانیه از B به سمت A

می باشد.



حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

اگر معادله برنولی را با واحد ارتفاع سیال بنویسیم، داریم:

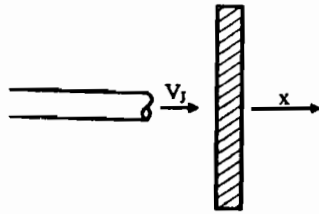
$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z$$

$$H_A = \frac{98}{9.81} + \frac{1^2}{2 \times 9.81} + 0 = 10.04m$$

$$H_B = \frac{20}{9.81} + \frac{4^2}{2 \times 9.81} + 2 = 4.85m$$

از آن جا که انرژی سیال در نقطه A بیشتر از B است، جهت جریان از نقطه A به سمت B می باشد.

۲۵- جت آزاد آب با سرعت V_J در جت افقی (x) بر پره مسطح ساکن عمود بر آن برخورد می‌کند. حال اگر پره با سرعت V_J به سمت جت حرکت کند، نیروی وارد بر پرده در جهت x نسبت به حالت قبل چه وضعیتی دارد؟ (مهندسی مکانیک ۸۲)



(۱) هشت برابر

(۲) مساوی

(۳) چهار برابر

(۴) دو برابر

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$F_1 = \dot{m}(V_J - 0)$$

در حالت پره ساکن:

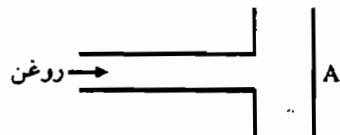
اگر پره با سرعت V_J به سمت جت حرکت کند:

$$F_2 = \dot{m}(V_J - (-V_J)) = 2\dot{m}V_J$$

بنابراین:

$$\frac{F_2}{F_1} = 2$$

۲۶- روغن با دانسیته $850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ مطابق شکل با سرعت $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ به صفحه A برخورد می‌کند. اگر قطر لوله حامل روغن 10 cm باشد، نیروی وارد شده بر صفحه A در جهت عمود بر آن چند N است؟ (مهندسی بیوتکنولوژی آزاد ۸۱)



(۱) 66.725

(۲) اطلاعات کافی نیست.

(۳) 667.25

(۴) 266

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$F = \dot{m} V = \rho A V^2$$

$$F = 850 \times \left(\frac{\pi \times 0.1^2}{4} \right) \times 10^2 = 667.25 \text{ N}$$

فصل چهارم

محاسبه تلفات انرژی در جریان سیالات

افت فشار و اتلاف انرژی:

تاکنون در نوشتن رابطه برنولی تلفات انرژی را در نظر نمی گرفتیم. برای در نظر گرفتن اتلاف انرژی می بایست ترم h_f که بیانگر تلفات انرژی می باشد را به رابطه برنولی اضافه کنیم. دو نقطه 1 و 2 را در یک لوله افقی مطابق شکل در نظر گرفته و معادله برنولی را می نویسیم:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 g = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 g + h_f$$

از آن جا که لوله افقی است $Z_1 = Z_2$ می باشد. همچنین به خاطر این که سطح مقطع لوله تغییر نکرده است، $V_1 = V_2$ می باشد. بنابراین از معادله برنولی داریم:

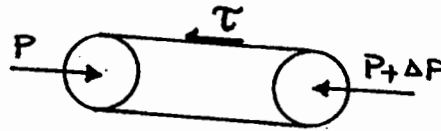
$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_2}{\rho} + h_f \Rightarrow h_f = -\frac{\Delta P}{\rho}$$

رابطه به دست آمده هم در جریان درهم و هم در جریان آرام صادق است. بدیهی است اگر h_f با واحد انرژی بر واحد جرم سیال بیان شود از رابطه $h_f = -\frac{\Delta P}{\rho}$ به دست می آید و اگر h_f با واحد ارتفاع سیال بیان گردد، از رابطه $h_f = -\frac{\Delta P}{\rho g}$ محاسبه می گردد. یادآور می شود که این رابطه در حالتی صادق است که $V_1 = V_2$ می باشد.

تذکر مهم: توجه شود که تمامی ترم های معادله برنولی که با هم جمع می شوند، باید واحد یکسان داشته باشد.

محاسبه تنش در جریان سیال:

مطابق شکل یک المان استوانه‌ای از یک لوله افقی را در نظر می‌گیریم:



از آن‌جا که سطح مقطع لوله ثابت است، بین دو نقطه دلخواه سرعت متوسط ثابت است. یعنی:

$$V_1 = V_2$$

$$\sum F_x = \frac{\dot{m}}{g_c} (V_2 - V_1) = 0$$

هم‌چنین برای موازنه نیروهای وارد بر المان استوانه‌ای باید نیروهای فشاری که به دو سطح مقطع المان استوانه‌ای وارد می‌شود و هم‌چنین تنشی که به دیواره المان استوانه‌ای وارد می‌شود در نظر گرفته شود.

مطابق شکل داریم:

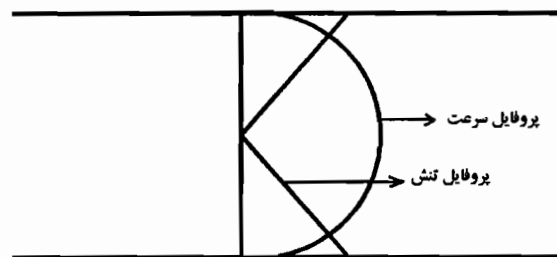
$$\sum F_x = P(\pi r^2) - (P + \Delta P)\pi r^2 - \tau(2\pi r L) = 0$$

که r شعاع المان استوانه‌ای و L طول المان استوانه‌ای می‌باشد. از رابطه فوق میزان تنش قابل محاسبه است:

$$\tau = -\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{r}{2}$$

این رابطه چه در جریان درهم و چه در جریان آرام صادق است. هم‌چنین از این رابطه نتیجه می‌گیریم که تنش با شعاع به شکل خطی تغییر می‌کند.

اگر در این رابطه $r = 0$ در نظر گرفته شود به این نتیجه می‌رسیم که تنش در مرکز لوله برابر صفر است و اگر $r = R$ فرض گردد، میزان تنش روی دیواره لوله یعنی τ_w به دست می‌آید که بیشترین میزان تنش می‌باشد. با رسم پروفایل تنش از رابطه فوق داریم:



نمایش پروفایل تنش و سرعت در جریان سیال در یک لوله

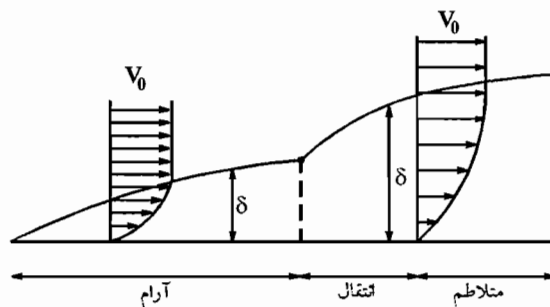
لایه مرزی

اگر فرض کنیم سیالی مطابق شکل با سرعت یکنواخت V_0 به صفحه‌ای نزدیک شود در سیالات دارای لزجت، اثر اصطکاک تنها در ناحیه نازکی از محیط که مرز سیال را تشکیل می‌دهد، قابل توجه است و در خارج از این ناحیه نازک در نزدیکی مرزهای سخت، می‌توان جریان را ایده‌آل گرفت، یعنی در این ناحیه هم‌چنان سرعت V_0 است. به‌طور کلی لایه مرزی ناحیه‌ای است در مجاورت یک جسم که سرعت سیال در آن تحت تاثیر لزجت سیال و اصطکاک با جدار، کاهش یافته است به عبارت دیگر هنگامی که سیالی در مجاورت یک جسم جامد در حال حرکت باشد، قشری از سیال به جدار این مرز می‌چسبد که این لایه را لایه مرزی گویند.

به علت این که لایه مرزی به مرز می‌چسبد، لذا سرعت سیال در قسمت‌های زیرین آن برابر صفر است. در خصوص سرعت و توزیع آن باید گفت که سرعت سیال در لایه‌های زیر لایه مرزی صفر است، ولی در امتداد عمود بر ضخامت لایه، مقدار آن به سرعت افزایش می‌یابد به طوری که، در قشرهای انتهایی لایه در جریان متلاطم، سرعت سیال تقریباً برابر سرعت آن در خارج از این لایه است و حرکت سیال را می‌توان همانند حرکت سیال ایده‌آل در نظر گرفت.

حال یک لایه مرزی را که در حال تشکیل روی صفحه است، بررسی می‌کنیم.

سیال قبل از رسیدن به نزدیکی صفحه، سرعت یکنواخت V_0 را دارا خواهد بود و سرعت سیال در نقاط تماس با صفحه به علت عدم لغزش برابر با سرعت صفحه، یعنی مساوی صفر است. بنابراین بین ناحیه آزاد جریان و لایه‌های نزدیک به صفحه، تغییرات سرعت وجود دارد، که این گرادیان سرعت $\frac{dV}{dy}$ باعث ایجاد نیروی برشی اصطکاک در صفحه خواهد شد. هنگامی که ذرات سیال با لبه صفحه برخورد می‌کنند و در اثر نیروی برشی حرکتشان کند می‌شود، به تدریج از سرعتشان کاسته می‌شود. هر چه از ابتدای صفحه دور می‌شویم ضخامت بیشتری از سیال تحت تاثیر نیروهای برشی قرار گرفته و ضخامت لایه مرزی افزایش می‌یابد.



ضخامت لایه مرزی فاصله‌ای از مرز جسم است که ناحیه گرادیان سرعت زیاد و در نتیجه اثرات لزجی غیرقابل صرف‌نظر را شامل می‌شود.

ضخامت لایه مرزی برابر فاصله‌ای از مرز (δ) است که در آن سرعت به 99 % سرعت جریان اصلی می‌رسد، یعنی $\frac{V}{V_0} = 0.99$ می‌باشد.

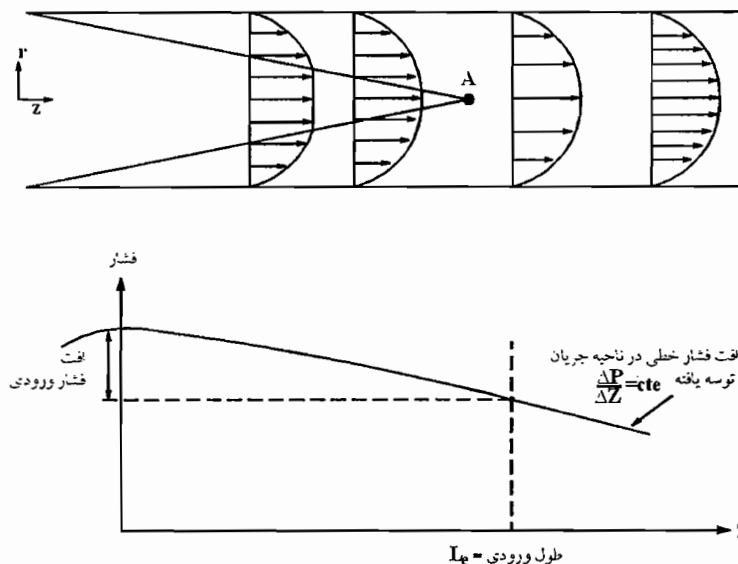
برای جریان آرام روی یک صفحه ضخامت لایه مرزی در فاصله x از ابتدای صفحه از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{\delta}{x} = \frac{5}{\sqrt{Re}} \rightarrow \frac{\delta_1}{\delta_2} = \left(\frac{x_1}{x_2} \right)^{0.5}$$

در حالی که در جریان درهم از روی صفحه ضخامت لایه مرزی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\delta}{x} = \frac{0.37}{\sqrt[5]{Re}} \rightarrow \frac{\delta_1}{\delta_2} = \left(\frac{x_1}{x_2} \right)^{0.8}$$

حال اگر جریان داخل یک لوله را در نظر بگیریم، لایه‌های مرزی در فاصله کوتاهی از روی مجرا به هم رسیده (نقطه A) و ناحیه بدون لزجت را از بین می‌برد.



از ابتدای ورودی لوله تا نقطه A، سرعت سیال تابعی از r و z می‌باشد. به این ناحیه، ناحیه ورودی لوله (Entrance zone) می‌گویند. بعد از نقطه A سرعت سیال با تغییر z تغییری نمی‌کند و سرعت فقط در این ناحیه فقط تابع شعاع می‌باشد. به ناحیه بعد از نقطه A ناحیه توسعه یافته یا (Fully developed) می‌گویند.

توجه: در ناحیه توسعه یافته فشار با تغییر z به صورت خطی تغییر می‌کند. $\left(\frac{\Delta P}{\Delta z} = cte\right)$

پروفایل سرعت در جریان آرام و درهم سیال نیوتونی در داخل لوله

همان‌طور که در قسمت‌های قبلی گفته شد، توزیع تنش در یک لوله با رابطه زیر به دست آمد:

$$\tau = -\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{r}{2}$$

اگر جریانی از سیال نیوتونی را در یک لوله در نظر بگیریم، می‌توان نوشت:

$$\tau = -\frac{\mu}{g_c} \frac{du}{dr}$$

از برابری دو رابطه خواهیم داشت:

$$-\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{r}{2} = -\mu \frac{du}{dr}$$

و با انتگرال‌گیری از این رابطه خواهیم داشت:

$$u = \frac{-g_c R^2 \Delta P}{4\mu L} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

ماکزیمم سرعت با جایگذاری $r = 0$ در رابطه فوق به دست می‌آید:

$$u_{\max} = \frac{-g_c R^2 \Delta P}{4\mu L}$$

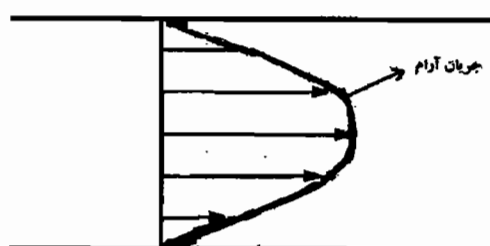
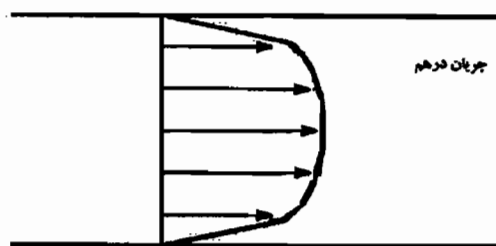
بنابراین پروفایل سرعت در جریان آرام یک سیال نیوتونی داخل لوله با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$u = u_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

برای جریان درهم سیال نیوتونی داخل لوله پروفایل سرعت به صورت زیر می باشد:

$$u = u_{\max} \left[1 - \frac{r}{R} \right]^{\frac{1}{7}}$$

توجه: شکل پروفایل سرعت در جریان آرام و درهم سیال نیوتونی در داخل لوله به شکل زیر می باشد:



محاسبه افت انرژی در جریان آرام:

برای جریان آرام رابطه زیر را به دست آوردیم:

$$u_{\max} = \frac{-g_c R^2 \Delta P}{4\mu L} = \frac{g_c D^2 \Delta P}{16\mu L}$$

از طرفی می دانیم $u_{\max} = 2\bar{u}$ و با جایگزینی در رابطه بالا می توان افت فشار را در جریان آرام به دست آورد:

$$-\Delta P = \frac{32\mu \bar{u} L}{g_c D^2} = \frac{128\mu Q L}{g_c \pi D^4}$$

این رابطه بنام رابطه هاگن - پویسله معروف است.

بدیهی است که در سیستم SI نیازی به نوشتن g_c نیست. از رابطه فوق نتیجه می شود که:

$$\left(\frac{\Delta P}{L} \right) \propto \frac{Q}{D^4} \quad \xrightarrow{\text{اگر قطر لوله ثابت باشد}} \begin{cases} \Delta P \propto Q^1 \\ \Delta P \propto V^1 \end{cases}$$

اما اگر دبی ثابت باشد داریم:

$$\left(\frac{\Delta P}{L} \right) \propto \frac{1}{D^4} \rightarrow \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4$$

مثال: در جریان آرام در داخل یک لوله اگر در دبی ثابت، قطر لوله را دو برابر کنیم افت فشار چگونه تغییر می کند؟

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 = \left(\frac{1}{2} \right)^4 = \frac{1}{16}$$

یعنی افت فشار $\frac{1}{16}$ می شود.

ضریب اصطکاک :

نسبت نیروهای برشی به نیروهای اینرسی را ضریب اصطکاک می‌گوییم. بنابراین ضریب اصطکاک از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$f = \frac{\tau_w}{\frac{\rho V^2}{2g_c}}$$

می‌توان رابطه محاسبه h_f را به طریق زیر به دست آورد:

$$\left. \begin{aligned} f &= \frac{\tau_w}{\frac{\rho V^2}{2g_c}} \\ \tau_w &= -\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{D}{4} \\ h_f &= -\frac{\Delta P}{\rho} \end{aligned} \right\} \Rightarrow h_f = 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g_c}$$

بنابراین با محاسبه ضریب اصطکاک f می‌توان از این رابطه h_f را به دست آورد.

رابطه دارسی - وایسباخ در دو سیستم SI و انگلیسی عبارت است از:

سیستم SI :

$$\left\{ \begin{aligned} h_f &= 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} & \text{واحد } \frac{J}{kg} \\ h_f &= 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} & \text{واحد m و (ارتفاع سیال)} \end{aligned} \right.$$

سیستم FPS:

$$\left\{ \begin{aligned} h_f &= 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g_c} & \text{واحد } \frac{ft \cdot lb_f}{lb_m} \\ h_f &= 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} & \text{واحد ft (ارتفاع سیال)} \end{aligned} \right.$$

همان‌طور که از روابط معین است در سیستم انگلیسی h_f با هر دو واحد از لحاظ عددی یک مقدار را به دست می‌دهد. نوشتن عدد

32.2 در مخرج در سیستم انگلیسی برای محاسبه h_f بر حسب هر دو واحد لازم است.

لازم به ذکر است که در مکانیک سیالات با دو ضریب اصطکاک فانیگ و دارسی سروکار داریم. روابط ذکر شده با ضریب اصطکاک فانیگ نوشته شده است.

بین دو ضریب اصطکاک رابطه زیر برقرار است:

$$f_{\text{darcy}} = 4f_{\text{fanning}}$$

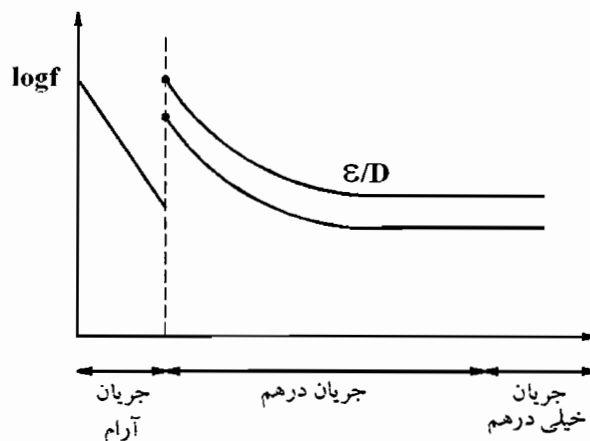
بنابراین اگر رابطه اتلاف انرژی را بر حسب f_{darcy} بنویسیم خواهیم داشت:

$$h_f = f_{\text{darcy}} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g_c}$$

رابطه اخیر به نام رابطه دارسی - وایسباخ معروف است.

دیاگرام مودی:

در دیاگرام مودی $\log f$ بر حسب $\log Re$ رسم می‌شود. ضریب اصطکاک در این دیاگرام، ضریب اصطکاک دارسی می‌باشد. در شکل زیر دیاگرام مودی به شکل شماتیک رسم شده است.



ضریب اصطکاک در جریان آرام داخل لوله:

ضریب اصطکاک در جریان آرام از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$f_{\text{fanning}} = \frac{16}{Re} \quad , \quad f_{\text{darcy}} = \frac{64}{Re}$$

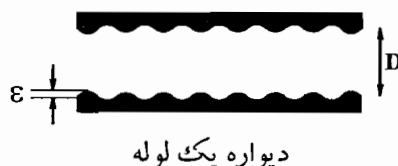
اگر از رابطه فوق لگاریتم بگیریم مطابق دیاگرام مودی در ناحیه آرام رسم $\log f$ بر حسب $\log Re$ خطی با شیب -1 می‌باشد:

$$f_{\text{darcy}} = \frac{64}{Re} \Rightarrow \log f = \log 64 - \log Re$$

توجه شود در ناحیه آرام، با افزایش عدد رینولدز ضریب اصطکاک کاهش پیدا می‌کند.

ضریب اصطکاک در جریان درهم داخل لوله:

ضریب اصطکاک در جریان درهم بر خلاف جریان آرام به زبری نسبی بستگی دارد. زبری یک لوله عبارت است از ارتفاع متوسط پستی و بلندی‌ها (یا به عبارت دیگر ناهمواری‌ها) دیواره لوله. زبری را با ϵ نمایش می‌دهیم. مفهوم ϵ در شکل زیر نمایش یافته است:



حاصل تقسیم زبری به قطر لوله یعنی $\frac{\epsilon}{D}$ را زبری نسبی می‌نامیم. همان‌طور که از ناحیه جریان درهم در دیاگرام مودی معین است،

هر نمودار برای یک $\frac{\epsilon}{D}$ معین رسم شده است.

بنابراین ضریب اصطکاک در جریان درهم به عدد Re و زبری نسبی بستگی دارد.

همان طور که از شکل معین است در رینولدزهای خیلی بالا (ناحیه جریان درهم) با افزایش عدد Re از یک ناحیه به بعد نمودار به یک خط افقی تبدیل می گردد. به عبارت دیگر در جریان خیلی درهم ضریب اصطکاک دیگر تابع عدد Re نمی باشد و فقط به $\frac{\epsilon}{D}$ بستگی دارد.

موارد مورد بحث را می توان به شکل زیر خلاصه نمود:

$$\begin{aligned} f &= f(Re) && \text{جریان آرام} \\ f &= f\left(Re, \frac{\epsilon}{D}\right) && \text{جریان درهم} \\ f &= f\left(\frac{\epsilon}{D}\right) && \text{جریان خیلی درهم} \end{aligned}$$

برای محاسبه ضریب اصطکاک در جریان درهم روابط تجربی زیادی ارائه شده است. مثلاً برای لوله صاف (منظور لوله ای که $\epsilon=0$ می باشد) در جریان درهم می توان ضریب اصطکاک را از رابطه بلازیوس محاسبه کرد:

$$f_{\text{fanning}} = \frac{0.0719}{Re^{0.5}}$$

توجه: نکته بسیار مهم که باید به آن توجه شود این است که در ناحیه جریان درهم با افزایش عدد Re ، ضریب اصطکاک کاهش می یابد ولی میزان تلفات افزایش می یابد. زیرا همان طور که از رابطه دارسی - وایسباخ معین است، تلفات انرژی (h_f) با توان دوم سرعت متناسب است. بنابراین با افزایش عدد Re ، f کاهش، h_f افزایش می یابد و از آن جا که $h_f = \frac{-\Delta P}{\rho}$ می باشد. بنابراین با افزایش h_f ، افت فشار (ΔP) نیز افزایش می یابد.

گفته شد که در جریان آرام $h_f \propto \frac{Q^1}{D^4}$ می باشد. می توان نشان داد که در جریان درهم $h_f \propto \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}}$ می باشد. بنابراین اگر قطر لوله ثابت باشد $h_f \propto Q^{1.75}$ و در دبی ثابت $h_f \propto \frac{1}{D^{4.75}}$ است. همچنین می توان نشان داد که در جریان خیلی درهم $h_f \propto \frac{Q^2}{D^5}$ می باشد.

شعاع و قطر هیدرولیکی:

در جریان های مجاری غیرممدور مانند کانال ها، جریان بین دو صفحه موازی، جریان بین دو لوله متحدالمرکز و ... مفهوم شعاع هیدرولیکی تعریف می شود که عبارت است از نسبت مساحتی که از آن جریان عبور می کند به محیطی که خیس می شود. همچنین مفهوم قطر هیدرولیکی نیز در مجاری غیر مدور تعریف می شود. چهار برابر شعاع هیدرولیکی را قطر هیدرولیکی می نامیم.

$$r_H = \frac{\text{مساحتی که جریان عبور می کند}}{\text{محیطی که خیس می شود}} \quad \text{شعاع هیدرولیکی}$$

$$D_H = 4r_H \quad \text{قطر هیدرولیکی}$$

توصیه می شود در حل مسائل همواره قطر هیدرولیکی جایگزین شود. چرا که ممکن است به اشتباه دو برابر شعاع هیدرولیکی به عنوان قطر هیدرولیکی در نظر گرفته شود. بنابراین در محاسبه عدد Re برای مجاری غیرممدور داریم:

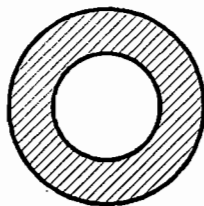
$$Re = \frac{\rho u D_H}{\mu}$$

به عنوان مثال در رابطه $\tau_w = \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{D}{4}$ قطر هیدرولیکی را جایگزین می‌کنیم، یعنی:

$$\tau_w = -\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{D_H}{4}$$

نکته دیگری که باید به آن توجه شود این است که شعاع هیدرولیکی مکانیک سیالات با شعاع هیدرولیکی انتقال حرارت تفاوت دارد که این تفاوت در مثال زیر نشان داده شده است.

مثال : مطابق شکل دو لوله متحدالمرکز را در نظر بگیرید که سیالی بین دو لوله جریان دارد. قطر هیدرولیکی حرارتی و قطر هیدرولیکی سیالاتی را محاسبه نمایید.



دو لوله متحدالمرکز

در شکل قسمت هاشورخورده بیانگر مجرائی است که سیال جریان دارد.

در این مساله باید بحث قطر هیدرولیکی حرارتی را به شکل مجزا از بحث قطر هیدرولیکی سیالاتی محاسبه کرد.

در بحث مکانیک سیالات برای محاسبه محیط خیس شونده، دو محیط خیس می‌شوند. یکی دیواره خارجی لوله کوچک‌تر و دیگری دیواره داخلی لوله بزرگ‌تر:

$$\text{محیط خیس شونده در بحث مکانیک سیالات} = \pi D_1 + \pi D_2 = \pi (D_1 + D_2)$$

مساحتی که جریان عبور می‌کند. عبارت است از مساحت لوله بزرگ‌تر منهای مساحت لوله کوچک‌تر:

$$\text{مساحتی که جریان عبور می‌کند} = \frac{\pi D_2^2}{4} - \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2)$$

بنابراین:

$$D_H = 4 \frac{\frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2)}{\pi (D_2 + D_1)} = D_2 - D_1$$

سیالاتی

اما در محاسبه قطر هیدرولیکی حرارتی باید این نکته را در نظر گرفت که حرارت بین سیال جاری بین دو لوله و سیال جاری در لوله کوچک‌تر از طریق دیواره لوله کوچک‌تر انجام می‌گیرد. بنابراین محیط خیس شونده در انتقال حرارت دیواره لوله کوچک‌تر می‌باشد، ولی مساحتی که جریان عبور می‌کند مانند حالات سیالاتی می‌باشد.

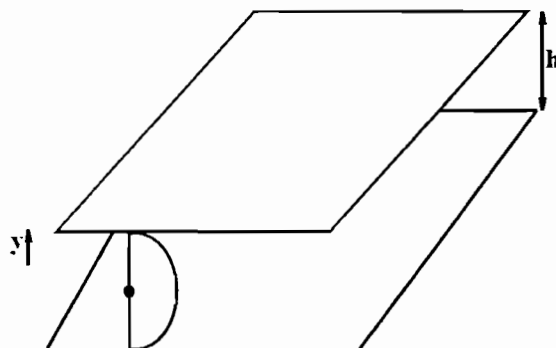
$$\text{محیط خیس شونده در بحث انتقال حرارت} = \pi D_1$$

بنابراین :

$$D_H = 4 \frac{\frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2)}{\pi D_1} = \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_1}$$

حرارتی

جریان بین دو صفحه موازی:



مطابق شکل جریان سیال بین دو صفحه موازی که فاصله از هم برابر h است را در نظر می‌گیریم. پروفایل سرعت در جریان آرام در شکل نمایش یافته که مطابق جریان سیال در لوله در جریان آرام، سهمی شکل می‌باشد. رابطه بین افت فشار و تنش در سیستم کارتزین عبارت است از:

$$\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} = 0$$

لازم به ذکر است که رابطه بین افت فشار و تنش در سیستم استوانه‌ای به شکل زیر بیان می‌گردد:

$$\frac{2\tau}{r} + \frac{\partial P}{\partial x} = 0$$

پروفایل سرعت در جریان آرام بین دو صفحه موازی عبارت است از:

$$U = U_{\max} \left[1 - \left(\frac{y}{h/2} \right)^2 \right]$$

که در رابطه فوق $U_{\max}$ از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$U_{\max} = -\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{h^2}{8\mu}$$

رابطه بین سرعت متوسط و سرعت ماکزیمم در جریان آرام بین دو صفحه عبارت است از:

$$\bar{U} = \frac{2}{3} U_{\max}$$

در محاسبه ضریب اصطکاک در جریان آرام بین دو صفحه موازی اگر عدد Re را به شکل $Re = \frac{\rho \bar{U} h}{\mu}$ محاسبه کنیم، یعنی از فاصله بین دو صفحه در محاسبه عدد Re استفاده کنیم، در این صورت ضریب اصطکاک از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$Re = \frac{\rho \bar{U} h}{\mu} \rightarrow \begin{cases} f_{\text{fanning}} = \frac{12}{Re} \\ f_{\text{darcy}} = \frac{48}{Re} \end{cases}$$

اما اگر در محاسبه عدد Re از مفهوم قطر هیدرولیکی استفاده کنیم ($D_H = 2h$) آن‌گاه داریم:

$$Re = \frac{\rho \bar{U} D_H}{\mu} \Rightarrow \begin{cases} f_{\text{fanning}} = \frac{24}{Re} \\ f_{\text{darcy}} = \frac{96}{Re} \end{cases}$$

لازم به ذکر است که تمامی موارد گفته شده در جریان درون لوله، در جریان بین دو صفحه موازی نیز صادق است مثلاً در جریان آرام در هر دو حالت تلفات با سرعت به توان یک متناسب است و ...

اتلاف انرژی در اتصالات:

برای محاسبه اتلاف انرژی در اتصالات دو روش الف) استفاده از ضریب اتلاف، ب) استفاده از طول معادل وجود دارد. در مورد یک لوله گفته شد که افت انرژی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$h_f = 4f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g}$$

در مورد اتصالات (زانویی، انقباض و انبساط و شیرها و ...) به جای $4f \frac{L}{D}$ در رابطه فوق ضریب اتلاف K را قرار می‌دهیم، بنابراین:

$$h_f = K \frac{\bar{V}^2}{2g}$$

در زیر رابطه h_f برای اتصالات در سیستم‌ها و با واحدهای مختلف بیان شده است:

در سیستم SI:

$$\left\{ \begin{array}{ll} h_f = K \frac{\bar{V}^2}{2} & \text{واحد } \frac{J}{kg} \text{ (انرژی بر واحد جرم سیال)} \\ h_f = K \frac{\bar{V}^2}{2g} & \text{واحد } m \text{ (ارتفاع سیال)} \end{array} \right.$$

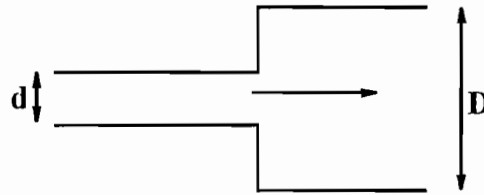
در سیستم انگلیسی:

$$\left\{ \begin{array}{ll} h_f = K \frac{\bar{V}^2}{2g_c} & \text{واحد } \frac{ft \cdot lb_f}{lb_m} \text{ (انرژی بر واحد جرم سیال)} \\ h_f = K \frac{\bar{V}^2}{2g} & \text{واحد } ft \text{ (ارتفاع سیال)} \end{array} \right.$$

بنابراین، در سیستم انگلیسی در هر دو واحد عدد 32.2 در مخرج لازم است. همان‌طور که از روابط معین است، ضریب K بی‌بعد می‌باشد.

در ادامه به بررسی ضریب اتلاف برای انبساط و انقباض ناگهانی می‌پردازیم.

انبساط ناگهانی:



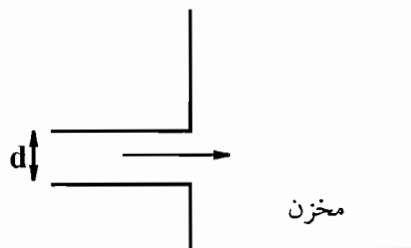
انبساط ناگهانی

منظور از انبساط ناگهانی حالتی است که قطر لوله به طور ناگهانی افزایش می یابد. اگر قطر قسمت کوچک تر را d و سطح مقطع قسمت کوچک تر را a ، قطر قسمت بزرگ تر را D و سطح مقطع قسمت بزرگ تر را A بنامیم، ضریب K از روابط زیر قابل محاسبه می باشد:

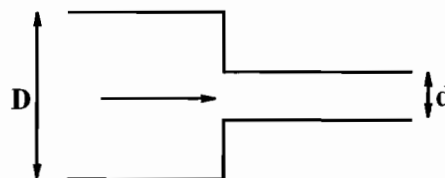
$$K = \left[1 - \frac{a}{A} \right]^2$$

$$K = \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]^2$$

مطابق شکل زیر اگر لوله ورودی به یک مخزن را در نظر بگیریم آن گاه نسبت $\frac{d}{D}$ بسیار کوچک خواهد بود. بنابراین $\frac{d}{D} \rightarrow 0$ و طبق رابطه در این حالت $K = 1$ می باشد.



انقباض ناگهانی:



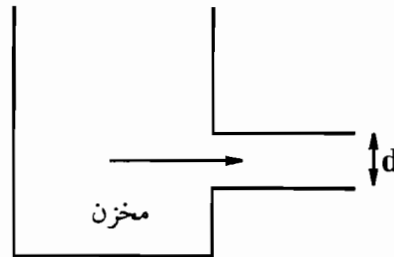
انقباض ناگهانی

منظور از انقباض ناگهانی حالتی است که به طور ناگهانی قطر لوله کاهش می یابد. اگر قطر قسمت بزرگ تر را D ، سطح مقطع قسمت بزرگ تر را A ، قطر قسمت کوچک تر را d و سطح مقطع قسمت کوچک تر را a بنامیم، K از روابط زیر قابل محاسبه می باشد:

$$K = 0.5 \left[1 - \frac{a}{A} \right]$$

$$K = 0.5 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]$$

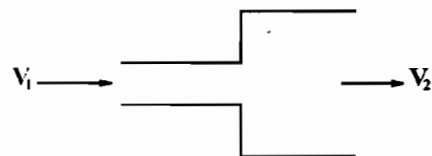
مطابق شکل اگر لوله خروجی از یک مخزن را در نظر بگیریم، آن گاه نسبت $\frac{d}{D}$ بسیار کوچک خواهد بود. بنابراین $0 \rightarrow \frac{d}{D}$ و طبق رابطه در این حالت $K = 0.5$ می باشد.



تذکر بسیار مهم: در رابطه $h_f = K \frac{\bar{V}^2}{2g}$ همواره چه در انبساط و چه در انقباض، سرعت $(\bar{V})$ در سطح مقطع کوچکتر را در رابطه قرار می دهیم.

نکته: در حالت انبساط ناگهانی اگر سرعت در سطح مقطع کوچکتر V_1 و در سطح مقطع بزرگتر V_2 باشد، می توان تلفات را از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$h_f = \frac{(\bar{V}_1 - \bar{V}_2)^2}{2g}$$



طول معادل:

می توان افت انرژی در اتصالات را با استفاده از طول معادل بیان نمود. به عبارت دیگر بیان می کنیم انرژی تلف شده در یک اتصال معادل انرژی تلف شده در چند متر از لوله می باشد. برای محاسبه طول معادل می بایست رابطه h_f برای لوله و برای اتصال را با هم مساوی قرار می دهیم. طول معادل را با L_{eq} نمایش می دهیم.

$$\left. \begin{aligned} h_f &= 4f \frac{L_{eq}}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g} \\ h_f &= K \frac{\bar{V}^2}{2g} \end{aligned} \right\} \Rightarrow L_{eq} = \frac{KD}{4f_{fanning}} = \frac{KD}{f_{darcy}}$$

تست‌های فصل چهارم (محاسبه تلفات انرژی در جریان سیالات)

۱ - در حرکت درهم (f) ضریب اصطکاکی تابعی است از.....

- (۱) فقط عدد رینولدز
(۲) فقط زبری لوله
(۳) فقط عدد ماخ
(۴) عدد رینولدز و زبری لوله

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۲ - برای یک سیال جاری در درون دو لوله موازی با طول مساوی که به یکدیگر متصل شده‌اند، کدام یک از شرایط زیر برقرار است؟

- (۱) افت فشار و دبی جرمی دو لوله یکسان است.
(۲) افت فشار و دبی جرمی کل برابر مجموعه افت فشار دو لوله و مجموع دبی جرمی لوله‌هاست.
(۳) افت فشار دو خط لوله مساوی است و دبی جرمی برابر مجموع دبی جرمی خط لوله‌هاست.
(۴) افت فشار کل برابر مجموع افت فشار دو خط لوله و دبی جرمی کل برابر دبی جرمی هر یک از لوله‌هاست.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۳ - توزیع سرعت به صورت $\frac{U}{U_{\max}} = \left(\frac{y}{R}\right)^{\frac{1}{7}}$ (R = شعاع لوله، y = فاصله از دیواره لوله) برای حالت درهم نمی‌تواند بر روی

جداره لوله به کار گرفته شود، زیرا:

- (۱) تنش برشی بی‌نهایت می‌شود.
(۲) تنش برشی صفر می‌شود.
(۳) سرعت صفر می‌شود.
(۴) سرعت بی‌نهایت می‌شود.

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

روی دیواره $r=R \Rightarrow y=0$

$$\tau_w = -\mu \frac{du}{dy} \Big|_{y=0}, \quad U = U_{\max} \left(\frac{y}{R} \right)^{\frac{1}{7}} \Rightarrow \frac{du}{dy} = U_{\max} \cdot \frac{y^{-\frac{6}{7}}}{7 R^{\frac{1}{7}}}$$

$$\Rightarrow \tau_w = \mu \cdot U_{\max} \cdot \frac{y^{-\frac{6}{7}}}{7 R^{\frac{1}{7}}} \Big|_{y=0} = \infty$$

تنش برشی در دیواره ماکزیمم می‌باشد، اما بی‌نهایت نیست.

۴ - آب به میزان 0.1π مترمکعب در ثانیه از داخل یک لوله به قطر 20 سانتی‌متر به داخل یک مخزن می‌ریزد. میزان اتلاف توان بر

حسب وات، فقط به خاطر ریزش آب به داخل مخزن برابر است با:

$$(\rho_{H_2O} = 1000 \frac{kg}{m^3})$$

(۴) 50.0

(۳) 5.0

(۲) 5000π

(۱) 500π

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$K=1, \quad h_f = K \frac{V^2}{2}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{(0.1\pi)}{\frac{\pi(0.2)^2}{4}} = 10 \frac{m}{s} \rightarrow h_f = 1 \times \frac{(10)^2}{2 \times 9.81} = 50 \frac{J}{kg}$$

$$\dot{m} = \rho Q = 1000(0.1\pi) = 100\pi$$

میزان اتلاف با واحد وات خواسته شده است:

$$\text{تلفات (بر حسب وات)} = \dot{m} h_f = 100\pi \times 50 = 5000\pi$$

۵- طول معادل از یک لوله با قطر 15 سانتی متر و ضریب اصطکاک 0.06، برای یک مجموعه از یک شیر توپی ($K=10$)، دو زانوی استاندارد ($K=0.9$) و یک شیر دروازه‌ای ($K=0.2$) بر حسب متر برابر است با:

- (۱) 72.00 (۲) 27.75 (۳) 25.00 (۴) 30.00

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\sum K = 10 + (2 \times 0.9) + 0.12 = 12$$

$$L_{eq} = \frac{D \sum K}{f} = \frac{12 \times 0.15}{0.06} = 30m$$

۶- اگر تنش در دیواره لوله‌ای به قطر 10 cm برابر 20 Pa باشد، در فاصله 2 cm از دیواره چند پاسکال خواهد شد؟

- (۱) 4 (۲) 8 (۳) 12 (۴) 50

حل: گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\tau \propto r \rightarrow \frac{\tau}{\tau_w} = \frac{r}{R} \Rightarrow \tau = \tau_w \times \frac{r}{R} = 20 \times \frac{0.03}{0.05} \rightarrow \tau = 12 Pa$$

۷- اتلاف انرژی در اثر انبساط ناگهانی در یک لوله با رابطه زیر داده می‌شود:

$$\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \quad (۴) \quad \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g} \quad (۳) \quad \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2g} \quad (۲) \quad \frac{(V_1 - V_2)}{2g} \quad (۱)$$

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۸- جریان روغن با ویسکوزیته $0.5 \frac{N.s}{m^2}$ ، دانسیته $0.8 \frac{gr}{cm^3}$ و دبی $0.6 \frac{L}{min}$ از لوله‌ای به قطر 2 mm می‌گذرد. ضریب اصطکاک

در این سیستم با فرض زبری $e=0.01mm$ چقدر می‌باشد؟

- (۱) $\frac{\pi}{6}$ (۲) $\frac{\pi}{3}$ (۳) $\frac{\pi}{2}$ (۴) $\frac{2\pi}{3}$

حل: گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

ابتدا آرام و یا در هم بودن جریان را تعیین می‌کنیم:

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu}, \quad U = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

$$Q = 0.6 \frac{\text{lit}}{\text{min}} = 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}, \quad \rho = 0.8 = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$U = \frac{10^{-5}}{\frac{\pi (0.002)^2}{4}} = \frac{10}{\pi} \rightarrow Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{32}{\pi} \rightarrow \text{جریان آرام است}$$

$$f = \frac{16}{Re} = \frac{\pi}{2}$$

۹ - فرض‌های لازم برای این که $gZ + \frac{V^2}{2} + \int \frac{dP}{\rho} = \text{const}$ صادق باشد:

- (۱) جریان پایدار - بدون اصطکاک، غیرقابل تراکم در طول خط جریان.
- (۲) جریان پایدار - با اصطکاک، غیرقابل تراکم در سطح جریان.
- (۳) جریان یکسان - بدون اصطکاک، غیرقابل تراکم در طول خط جریان.
- (۴) جریان پایدار - با اصطکاک، غیرقابل تراکم در طول خط جریان.

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۱۰ - آب درون لوله‌ای با توزیع سرعت $u = u_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$ جاری است. تنش در دیواره بر حسب سرعت متوسط برابر است با:

$$\frac{1.22 \mu \bar{u}}{R} \quad (۴) \quad \frac{-2 \mu \bar{u}}{R} \quad (۳) \quad \frac{4 \mu \bar{u}}{R} \quad (۲) \quad \frac{2 \mu \bar{u}}{R} \quad (۱)$$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr} = -\mu \cdot u_{\max} \left(\frac{-2r}{R^2} \right)$$

$$\text{تنش روی دیواره} \Rightarrow \tau_w = -\mu \cdot u_{\max} \left(\frac{-2R}{R^2} \right) \rightarrow \tau_w = \frac{2\mu \cdot u_{\max}}{R}, \quad u_{\max} = 2\bar{u}$$

$$\tau_w = \frac{4\mu \bar{u}}{R}$$

۱۱ - جریانی از هوا $\left(v = 2 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$ با سرعت $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ از داخل یک کانال با سطح مقطع مستطیل شکل به ابعاد $3\text{m} \times 2\text{m}$

جریان دارد. در این حالت عدد رینولدز برابر است با:

$$17 \times 10^5 \quad (۴) \quad 15 \times 10^5 \quad (۳) \quad 12 \times 10^5 \quad (۲) \quad 10 \times 10^5 \quad (۱)$$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$D_H = 4 \frac{\text{مساحت عبور جریان}}{\text{محیط خیس‌شونده}} = \frac{4 \times 2 \times 3}{2(2+3)} = 2.4 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{U D}{\nu} = 12 \times 10^5$$

۱۲ - افت هد (head loss) سیالی با ویسکوزیته سینماتیک $\left(\nu = 4 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$ که با سرعت $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ از لوله‌ای به قطر 10

میلی‌متر و طول یک کیلومتر عبور می‌نماید چند متر است؟

4950 (۴)

4025 (۳)

3918 (۲)

3750 (۱)

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

ابتدا رژیم جریان را تعیین می‌کنیم:

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{U D}{\nu} = \frac{3 \times 10 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-5}} = 750 \Rightarrow \text{جریان آرام است.}$$

$$f_{\text{darcy}} = \frac{64}{Re} = \frac{64}{750} = 0.085$$

$$h_f = f_{\text{darcy}} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = (0.085) \times \left(\frac{1000}{0.01} \right) \times \left(\frac{3^2}{2 \times 9.81} \right) \rightarrow h_f = 3918 \text{ m}$$

۱۳ - در صورتی که توزیع تنش در لوله $\tau = \frac{\Delta P}{2L} r$ و افت فشار معادله $\Delta P = 16 \mu L$ فرض شود، توزیع سرعت برابر است با.....

$$(R = \frac{D}{2} = \text{شعاع لوله و سیال نیوتنی است.})$$

$$D^2 - 4r^2 \quad (۴)$$

$$D^2 - 2r^2 \quad (۳)$$

$$D^2 - r^2 \quad (۲)$$

$$2D^2 - 4r^2 \quad (۱)$$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr} = \frac{\Delta P}{2L} r = \frac{16 \mu L}{L} r \rightarrow -\frac{du}{dr} = Br$$

$$\int_0^u -du = \int_R^r 8r dr \rightarrow u = 4R^2 - 4r^2 \xrightarrow{R = \frac{D}{2}} u = D^2 - 4r^2$$

۱۴ - جریان آرامی از یک سیال در لوله‌ای افقی برقرار می‌باشد. اگر تمام شرایط عملیاتی را ثابت گرفته و فقط قطر لوله را دو برابر

کنیم، نسبت افت فشار در حالت دوم به حالت اول برابر کدام است؟

1.0 (۴)

0.75 (۳)

0.5 (۲)

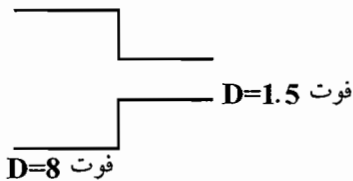
0.25 (۱)

حل : هیچ کدام از گزینه‌ها صحیح نمی‌باشد.

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 = \left(\frac{1}{2} \right)^4 = \frac{1}{16}$$

۱۵ - آب در یک لوله با قطر ۸ فوت با پروفیل سرعت ثانیه / فوت $V=9\left(1-\frac{r^2}{16}\right)$ مطابق شکل جریان دارد. اگر آب وارد لوله‌ای با

قطر ۱.۵ فوت بشود. سرعت متوسط آب در لوله مزبور (لوله با قطر کمتر) عبارت است از:



(۱) ثانیه / فوت ۸۱

(۲) ثانیه / فوت ۶۴

(۳) ثانیه / فوت ۲۵۶

(۴) ثانیه / فوت ۱۲۸

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

از روی پروفایل سرعت معین است که $V_{\max}=9$ بوده و $\bar{V}_1 = \frac{V_{\max}}{2} = \frac{9}{2}$

از قانون پیوستگی : $\bar{V}_1 A_1 = \bar{V}_2 A_2$

$$\bar{V}_2 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right) \bar{V}_1 = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \bar{V}_1 \rightarrow \bar{V}_2 = \left(\frac{8}{1.5}\right)^2 \times \left(\frac{9}{2}\right) = 128 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$$

۱۶ - توزیع سرعت یک سیال چسبنده که ویسکوزیته آن μ می‌باشد، در یک لوله با شعاع R_0 در جهت Z عبارت است از:

(V_0 = سرعت متوسط)

$$V_z = \frac{V_0}{2} \left(1 - \frac{r^2}{R_0^2}\right) \quad (۲)$$

(۴) هیچ کدام

$$V_z = V_0 \left(1 - \frac{r^2}{R_0^2}\right) \quad (۱)$$

$$V_z = 2V_0 \left(1 - \frac{r^2}{R_0^2}\right) \quad (۳)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۱۷ - کدام یک از عبارات زیر برای ضریب اصطکاک (friction factor) در یک لوله صادق می‌باشد؟

(۱) ضریب اصطکاک با عدد رینولدز نسبت عکس دارد، اگر جریان در لوله متلاطم باشد.

(۲) ضریب اصطکاک با عدد رینولدز نسبت عکس دارد، اگر جریان در لوله آرام باشد.

(۳) ضریب اصطکاک با عدد رینولدز نسبت مستقیم دارد، اگر جریان در لوله آرام باشد.

(۴) هیچ کدام

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۱۸ - برای جریان یک سیال چسبنده (ویسکوز) در یک لوله که شعاع آن r_w می‌باشد، اگر تنش برشی سیال در فاصله r از مرکز

لوله τ باشد و τ_w تنش برشی بر روی دیواره فرض گردد، کدام یک از روابط زیر صحیح می‌باشد.

(۴) هیچ کدام

$$\frac{\tau_w}{r_w} = \frac{\tau}{r} \quad (۳)$$

$$\frac{\tau_w}{\tau} = \text{ثابت} \quad (۲)$$

$$\frac{\tau_w}{\tau} = \frac{r}{r_w} \quad (۱)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۱۹ - تجربه نشان می‌دهد که جریان آب در یک لوله نسبت به زمان کاهش می‌یابد. اگر در تمام مواقع از یک پمپ با قدرت ثابت استفاده گردد، دلیل کاهش دبی آب به واسطه پدیده پیرشدگی لوله است که ناشی از خوردگی و انباشته شدن رسوبات در لوله می‌باشد. از نظر مهندسی کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

- (۱) خوردگی باعث زیاد شدن درجه زبری لوله می‌گردد و باعث زیاد شدن جریان سیال می‌گردد.
- (۲) خوردگی باعث زیاد شدن ضریب اصطکاک در لوله می‌شود.
- (۳) خوردگی باعث کم شدن ضریب اصطکاک می‌شود.
- (۴) هیچ کدام

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۲۰ - ناحیه ورودی (Entrance Region) در لوله به ناحیه زیر گفته می‌شود:

- (۱) محل اتصال بین لوله و مخزن.
- (۲) ناحیه‌ای که تغییرات سرعت به فرم سهمی است.
- (۳) ناحیه‌ای که تغییرات سرعت به فرم یکنواخت (plug) باشد.
- (۴) ناحیه‌ای که توزیع سرعت تابعی از جهت جریان باشد (لایه مرزی هنوز کاملاً توسعه نیافته).

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۲۱ - یک سیال نیوتنی در عمق ثابت از یک سطح شیب‌دار با جریان آرام به طرف پایین حرکت می‌نماید. محور Y عمود بر سطح شیب‌دار می‌باشد. کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

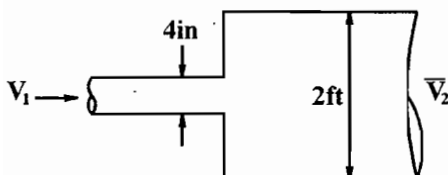
- (۱) تنش برشی در تمام نقاط سیال ثابت است.
- (۲) تنش برشی بر روی سطح شیب‌دار صفر فرض می‌شود.
- (۳) تنش برشی بر روی سطح سیال صفر است.
- (۴) سرعت سیال در تمام فواصل از سطح دیوار شیب‌دار ثابت می‌باشد.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۲۲ - هوا با درجه حرارت 1000°R فشار 500 Psia و سرعت $500 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$ از مقطع (۱) وارد شکل زیر می‌شود. هوای خروجی دارای

دمای 560°R و فشار 14.7 Psia می‌باشد. سرعت خروجی از مقطع (۲) را پیدا نمایید.

$$R = 1716 \frac{\text{ft}^2}{\text{sec} \cdot \text{R}}$$



$$\bar{V}_2 = 265 \text{ فوت بر ثانیه} \quad (۱)$$

$$\bar{V}_2 = 0 \text{ فوت بر ثانیه} \quad (۲)$$

$$\bar{V}_2 = 13.8 \text{ فوت بر ثانیه} \quad (۳)$$

$$\bar{V}_2 = 26.2 \text{ فوت بر ثانیه} \quad (۴)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

از قانون پیوستگی داریم:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \Rightarrow \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4}, \quad \rho = \frac{PM}{RT} \Rightarrow \frac{P_1 M}{RT_1} V_1 \left(\frac{\pi D_1^2}{4} \right) = \frac{P_2 M}{RT_2} V_2 \left(\frac{\pi D_2^2}{4} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{P_1}{T_1} V_1 D_1^2 = \frac{P_2}{T_2} V_2 D_2^2 \Rightarrow V_2 = 264.54 \frac{ft}{sec}$$

۲۳- برای محاسبه اتلاف اصطکاکی در یک لوله با قطر D ، دبی جریان Q ، طول l ، ویسکوزیته سیال μ ، دانسیته سیال ρ و زبری لوله E ، بایستی از کدام یک از مراحل زیر اتلاف اصطکاکی (L_v) را محاسبه نمود: f را ضریب اصطکاک در لوله می‌نامیم).

(۱) برای f مقداری فرض می‌نماییم. از دیاگرام مودی (Moody) مقدار عدد رینولدز را محاسبه می‌کنیم.
(۲) برای اتلاف اصطکاکی، L_v مقدار فرض می‌نماییم، f را محاسبه می‌نماییم و سپس عدد رینولدز را از دیاگرام مودی به دست می‌آوریم.

(۳) عدد رینولدز را محاسبه می‌کنیم، با داشتن $\frac{E}{D}$ ، مقدار f را به دست می‌آوریم و سپس اتلاف اصطکاکی (L_v) را محاسبه می‌کنیم.

(۴) هیچ کدام

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۲۴- هوای ۲۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۲۵ متر بر ثانیه در یک کانال که سطح مقطع آن مستطیلی به ابعاد ۲ و ۳ متر می‌باشد، عبور می‌نماید. اگر گرانشی سینماتیک هوا 10^{-5} متر مربع بر ثانیه باشد، عدد رینولدز را برای این جریان حساب کنید.

(۱) 1.5×10^6 (۲) 3.0×10^6 (۳) 6.0×10^6 (۴) 9.0×10^6

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$D_H = \frac{4 \times 2 \times 3}{2(2+3)} = 2.4m$$

$$Re = \frac{UD_H}{\nu} = \frac{25 \times 2.4}{10^{-5}} = 6 \times 10^6$$

۲۵- آب به میزان $5 \frac{m^3}{s}$ از داخل لوله‌ای به قطر ۲۰ سانتی‌متر عبور می‌کند. اگر قطر لوله به طور ناگهانی به ۳۰ سانتی‌متر افزایش

یابد، میزان افت (head loss) در این انبساط چند متر آب است؟
($g=9.8 \frac{m}{s^2}$, $\pi=3.14$)

(مهندسی شیمی سراسری ۷۶)

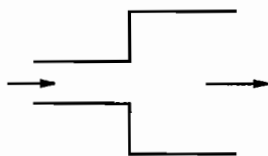
(۱) 399.28 (۲) 299.63 (۳) 199.64 (۴) 89.50

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$K = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2 \rightarrow K = \frac{25}{81}, \quad V_1 = \frac{Q}{A} = 159.23 \frac{m}{s}$$

$$h_f = K \frac{V^2}{2g} = 399.28m$$

۲۶- آب به میزان 250 لیتر بر ثانیه در داخل یک لوله (مطابق شکل) جریان دارد. سرعت آب در لوله کوچک تر 50 متر بر ثانیه و در لوله بزرگ تر 20 متر بر ثانیه می باشد. با توجه به کاهش انرژی در اثر تغییر سطح مقطع لوله، افزایش فشار در اثر این تغییر سطح مقطع چند کیلو پاسکال می باشد؟ (دانسیته آب برابر 1000 کیلوگرم بر متر مکعب می باشد.)



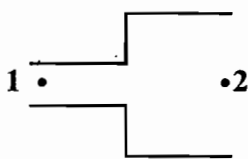
(۱) 520

(۲) 530

(۳) 150

(۴) 600

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.



بین نقاط ۱ و ۲ معادله برنولی را می نویسیم:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

$$h_f = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + h_f = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \rightarrow \Delta P = 600 \text{ Kpa}$$

۲۷- در جریان آرام درون لوله چدنی ضریب اصطکاک تابعی است از:
(۱) زبری لوله (۲) زبری لوله نیست. (۳) زبری لوله و عدد رینولدز (۴) زبری لوله و عدد فرود (مهندسی شیمی سراسری ۷۶)

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

۲۸- در حرکت آرام سیال داخل لوله اگر سرعت دو برابر گردد و سایر پارامترها ثابت باقی بماند، افت فشار مطابق کدام گزینه تغییر می کند؟ (مهندسی شیمی سراسری ۷۷)

(۱) نصف می شود. (۲) دوبرابر می شود. (۳) چهار برابر می شود. (۴) تغییر نمی کند.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\Delta P \propto V : \text{ در جریان آرام } \rightarrow \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \frac{V_2}{V_1} = 2$$

۲۹- در جریان درهم درون یک لوله، انتقال مومنوم مولکولی، نقش اساسی در کجای لوله دارد؟ (مهندسی شیمی سراسری ۷۶)
(۱) تمامی لایه مرزی (۲) مرکز (۳) نزدیکی دیواره (۴) اصلاً ندارد.

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

۳۰- در جریان آرام یک سیال نیوتنی از داخل لوله افقی در صورتی که قطر لوله نصف گردد و دبی جریان ثابت بماند، افت فشار در واحد طول چند برابر می‌شود؟ (مهندسی شیمی سراسر ۷۸)

- ۴ (۱) ۸ (۲) ۳۲ (۳) ۱۶ (۴)

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 = 2^4 = 16 : \quad \text{در جریان آرام}$$

۳۱- کدام عبارت در مورد حرکت سیال نیوتنی در داخل لوله افقی صحیح است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۷۶)

- (۱) توزیع تنش و سرعت هر دو سهمی هستند.
(۲) توزیع تنش و سرعت هر دو خطی می‌باشند.
(۳) توزیع تنش سهمی و توزیع سرعت خطی است.
(۴) توزیع تنش برشی خطی بوده و توزیع سرعت سهمی می‌باشد.

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۳۲- در حرکت آرام داخل لوله اگر دبی جریان دوبرابر شود و سایر پارامترها ثابت باقی بماند، تنش مطابق کدام یک از پاسخ‌ها تغییر می‌کند؟ (مهندسی شیمی سراسری ۷۷)

- (۱) تغییر نمی‌کند. (۲) چهار برابر می‌شود. (۳) دو برابر می‌شود. (۴) نصف می‌شود.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\tau = \frac{r}{2} \cdot \frac{\Delta P}{L} \Rightarrow \tau \sim \Delta P$$

در جریان آرام طبق رابطه هاگن - پویسله، $\Delta P \sim Q$ بوده و بنابراین:

$$\tau \sim Q \rightarrow \frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{Q_2}{Q_1} = 2$$

۳۳- توزیع تنش در یک لوله افقی برابر $\tau = \frac{\mu}{r^2}$ می‌باشد. افت فشار برای واحد طول این لوله مطابق کدام گزینه تغییر می‌کند؟ (R)

شعاع لوله می‌باشد.)

- (۱) $\frac{\mu}{R^3}$ (۲) $\frac{2\mu}{R^3}$ (۳) $\frac{\mu}{R^2}$ (۴) $\frac{2\mu}{R^2}$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\left. \begin{aligned} \tau_w &= \frac{R}{2} \cdot \frac{\Delta P}{L} \\ \tau_w &= \frac{\mu}{R^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{\Delta P}{L} = \frac{2\mu}{R^3}$$

۳۴ - افت فشار دو سر لوله آب به طول 1000 فوت برابر 431 psi می‌باشد. در صورتی که عدد رینولدز $N_{Re} = 1600$ و قطر لوله 0.02 فوت باشد، سرعت در لوله چند فوت در ثانیه است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۷۷)

- (۱) 2.33 (۲) 5.66 (۳) 10.17 (۴) 56.35

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$h_f = f_{\text{darcy}} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_f = 431 \text{ psi} \times \frac{10.34 \text{ mH}_2\text{O}}{14.7 \text{ psi}} = 303.16 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$303.16 = \left(\frac{64}{1600} \right) \times \left(\frac{1000}{0.02} \right) \times \left(\frac{V^2}{2 \times 9.8} \right) \Rightarrow V = 1.7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow V = 5.66 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$$

۳۵ - در لوله‌ای به شعاع R جریانی آرام با توزیع سرعت $V = V_{\text{max}} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$ برقرار است. نیروی وارد از طرف سیال به جداره (مهندسی شیمی سراسری ۷۷)

واحد طول لوله برابر است با:

- (۱) $\mu \pi V_{\text{max}}$ (۲) $2 \mu \pi V_{\text{max}}$ (۳) $4 \mu \pi V_{\text{max}}$ (۴) $8 \mu \pi V_{\text{max}}$

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dr} = -\mu \left(\frac{-2r V_{\text{max}}}{R^2} \right) = \frac{2\mu V_{\text{max}}}{R}$$

$$F = \tau_w \cdot A = \tau_w \cdot (2\pi RL) = \frac{2\mu V_{\text{max}}}{R} (2\pi RL)$$

$$F = 4\mu \pi V_{\text{max}} \cdot L \rightarrow \frac{F}{L} = 4\mu \pi V_{\text{max}}$$

۳۶ - طول معادل از یک لوله به قطر 15 سانتی‌متر و ضریب اصطکاک 0.06 که برابر با یک مجموعه از یک شیر توپی ($K = 10$)، دو زانوئی استاندارد ($K = 0.9$) و یک شیر دروازه‌ای ($K = 0.2$) باشد، چند متر است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۷۸)

- (۱) 72 (۲) 25.5 (۳) 30 (۴) 22.5

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

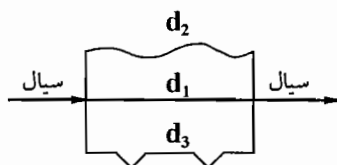
$$L_{\text{eq}} = \frac{D \Sigma K}{f_{\text{darcy}}}, \quad \Sigma K = 10 + 0.9 + 0.2 = 12$$

$$L_{\text{eq}} = \frac{12 \times 0.15}{0.06} \rightarrow L_{\text{eq}} = 30 \text{ m}$$

توجه شود، در صورت مساله قید نشده است که 0.06 ضریب اصطکاک فانیگ می‌باشد یا ضریب اصطکاک دارسی. اما اگر 0.06 را ضریب اصطکاک فانیگ در نظر بگیریم، طول معادل 7.5 متر به دست می‌آید که در گزینه‌ها نیست.

(مهندسی شیمی سراسری ۷۸)

۳۷- در شکل زیر افت فشار در کدام لوله بیشتر است؟ $d_1 > d_2 > d_3$



- (۱) افت فشار در هر سه لوله با هم برابر است.
- (۲) افت فشار در لوله با قطر d_3 از همه بیشتر است.
- (۳) افت فشار در لوله با قطر d_1 از همه بیشتر است.
- (۴) افت فشار در لوله با قطر d_2 از همه بیشتر است.

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

۳۸- شعاع هیدرولیکی برای کانالی که ۱۰۰ سانتی متر پهنا و ۱۵۰ سانتی متر عرض دارد، برابر با چند سانتی متر است؟

(مهندسی شیمی سراسری ۷۸)

۱۵ (۴)

۳۰ (۳)

۱۲۰ (۲)

۶۰ (۱)

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$r_H = \frac{\text{مساحت عبور جریان}}{\text{محیط خیس شونده}} = \frac{100 \times 150}{2(100 + 150)} = 30 \text{ cm}$$

۳۹- اگر افت فشار در لوله‌ای به قطر ۱۰ سانتی متر و طول ۱۰۰ متر برابر ۱۰۰ Kpa باشد، تنش برشی در دیواره لوله چند Pa خواهد بود؟

(مهندسی شیمی سراسری ۷۸)

۳۷.۵ (۴)

۵۰ (۳)

۱۲.۵ (۲)

۲۵ (۱)

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\tau_w = \frac{R}{2} \cdot \frac{\Delta P}{L} = \frac{0.05}{2} \cdot \frac{100000}{100} = 25 \text{ Pa}$$

۴۰- کدام یک از عبارات زیر در مورد حرکت توسعه یافته سیال نیوتنی در داخل لوله افقی صحیح است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۷۸)

- (۱) توزیع تنش و سرعت سهمی است.
- (۲) توزیع تنش و سرعت هر دو خطی است.
- (۳) توزیع تنش سهمی و توزیع سرعت خطی است.
- (۴) توزیع تنش خطی و توزیع سرعت سهمی است.

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

۴۱- آب با ویسکوزیته ۱ cp، دانسیته $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ و سرعت $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ از لوله به قطر ۲ cm عبور می کند در صورتی که زبری لوله

۰.۳ mm باشد، کدام یک از عبارات زیر در مورد f (ضریب اصطکاک) صحیح است؟ (مهندسی شیمی و اعزام سراسری ۷۸)

- (۱) $f > 0.008$
- (۲) هیچ گونه قضاوتی در مورد مقدار f نمی توان نمود.
- (۳) چون لوله زبر است، مقدار f خیلی زیادی است.
- (۴) $f < 0.008$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{1000 \times 1 \times 0.02}{0.001} = 20000$$

اگر فرض کنیم جریان آرام باشد در بیشترین مقدار Re که جریان آرام است ($Re=2000$) خواهیم داشت:

$$f = \frac{16}{Re} \rightarrow f = \frac{16}{2000} = 0.008$$

چون در این حالت جریان درهم است، یقیناً f از 0.008 کمتر خواهد بود.

۴۲ - توزیع تنش (Shear Stress) برای یک سیال غیرقابل تراکم در یک لوله با سطح مقطع دایره‌ای از کدام گزینه به دست می‌آید؟ (طول لوله L و شعاع آن r است).

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{\tau} + \frac{r}{L} &= 0 \quad (۲) & \frac{\Delta P}{2r} + \frac{2\tau}{L} &= 0 \quad (۱) \\ \frac{\Delta P}{r} + \frac{2\tau}{L} &= 0 \quad (۴) & \frac{\Delta P}{L} + \frac{2\tau}{r} &= 0 \quad (۳) \end{aligned}$$

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\tau = -\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{r}{2} \Rightarrow \frac{2\tau}{r} + \frac{\Delta P}{L} = 0$$

۴۳ - کدام یک از روابط زیر می‌تواند شکل صحیح از رابطه داری باشد؟ (مهندسی شیمی و اعزام سراسری ۷۸)

$$\begin{aligned} h_f &= \left(\frac{4fL}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (۲) & h_f &= \left(\frac{4fL}{D} \right) \frac{\rho V^2}{2g} \quad (۱) \\ h_f &= \left(\frac{4fL}{D} \right) \frac{V}{2g} \quad (۴) & h_f &= \left(\frac{4fL}{D} \right) \frac{V^2}{2\rho} \quad (۳) \end{aligned}$$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۴۴ - عدد رینولدز در حرکت سیال در داخل لوله 1000 می‌باشد، چنانچه دبی جریان چهار برابر و قطر لوله دو برابر بزرگ‌تر گردد. اتلاف انرژی به واحد طول مطابق کدام یک از گزینه‌ها تغییر می‌کند؟ (مهندسی شیمی و اعزام سراسری ۷۸)

$$(۱) \text{ اتلاف انرژی به واحد طول } \frac{1}{2} \text{ برابر می‌شود.} \quad (۲) \text{ اتلاف انرژی به واحد طول دو برابر می‌شود.}$$

$$(۳) \text{ اتلاف انرژی به واحد طول تغییر نمی‌کند.} \quad (۴) \text{ اتلاف انرژی به واحد طول } \frac{1}{4} \text{ می‌شود.}$$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$h_f \propto \frac{Q}{D^4} \rightarrow \frac{h_{f_2}}{h_{f_1}} = \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right) \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4$$

$$\frac{h_{f_2}}{h_{f_1}} = 4 \times \left(\frac{1}{2} \right)^4 = \frac{1}{4}$$

۴۵ - توزیع سرعت در سیالی تراکم‌ناپذیر و نیوتنی در یک کانال استوانه‌ای از رابطه $V_z = 6 \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$ تبعیت می‌کند. اگر

ویسکوزیته سیال 2 cp باشد، مقدار نیروی وارد شده بر دیواره کانال در واحد طول چند N می‌باشد؟

(مهندسی شیمی و اعزام سراسری ۷۸)

$$0.0 \quad (۴) \quad 48\pi \quad (۳) \quad 48\pi \times 10^{-3} \quad (۲) \quad 24 \times 10^{-3} \quad (۱)$$

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\tau = -\mu \frac{dV}{dr} \rightarrow \tau = -\mu \frac{dV}{dr} = -\mu \left[6 \left[-\frac{2r}{R^2} \right] \right] = 12\mu \frac{r}{R^2} \rightarrow \tau_w \Big|_{r=R} = \frac{12\mu}{R}$$

$$F = \tau_w \cdot A = \frac{12\mu}{R} \cdot (2\pi RL) = 24\mu\pi L \Rightarrow \frac{F}{L} = 24\mu\pi$$

$$\frac{F}{L} = 24(0.0002)\pi = 48\pi \times 10^{-3} \text{ N}$$

۴۶ - آب در لوله ای گالوانیزه ($f=0.015$) با دبی حجمی $3 \frac{ft^3}{s}$ در جریان است. در صورتی که افت فشار در هر 1000 فوت برابر 5

فوت باشد قطر لوله برابر چند فوت است؟ (f = Fanning Friction Factor) (مهندسی شیمی سراسری ۷۹)

0.09 (۴)

0.18 (۳)

0.68 (۲)

0.926 (۱)

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$h_f = 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}, \quad V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$h_f = 4f \frac{L}{D} \times \frac{16Q^2}{2\pi^2 D^4 g} \rightarrow 5 = 4 \times 0.015 \times \frac{1000}{D^5} \times \frac{16 \times 9}{2 \times (3.14)^2 \times 32.2} \rightarrow D = 1.22 \text{ ft}$$

که در هیچ کدام از گزینه ها نمی باشد. اما اگر ضریب اصطکاک را ضریب اصطکاک دارسی فرض کنیم، در این صورت قطر لوله 0.926 فوت به دست می آید. به نظر می رسد در صورت مساله به اشتباه ضریب اصطکاک از نوع فانیگ ذکر شده است.

۴۷ - در جریان درهم در داخل لوله در صورتی که $Re \gg 10^7$ (عدد رینولدز خیلی بزرگ) باشد، کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

(۱) ضریب اصطکاک فقط تابع عدد رینولدز است.

(۲) ضریب اصطکاک فقط تابع زبری نسبی لوله می باشد.

(۳) ضریب اصطکاک تابع Re و زبری نسبی می باشد.

(۴) ضریب اصطکاک تابع عدد رینولدز و زبری نسبی است.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

۴۸ - در شکل زیر آب با دانسیته $1000 \frac{kg}{m^3}$ به یک ونتوری (Venturi) وارد می شود، اگر فشار آب ورودی 3 atm و دمای آن

$100^\circ C$ باشد و با سرعت $4 \frac{m}{s}$ به اتصال وارد شود، کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟ (از افت انرژی در مسیر صرف نظر می

(مهندسی شیمی سراسری ۷۹)

شود و درجه حرارت ثابت می ماند.)

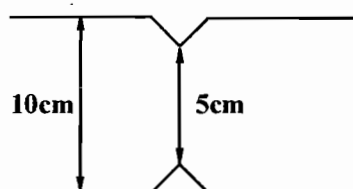
(۱) فشار در گلوگاه ونتوری بیش از 1.5 atm خواهد بود.

(۲) آب به صورت مایع از انتهای ونتوری خارج می شود.

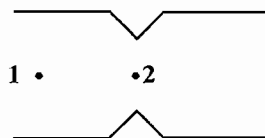
(۳) آب در گلوگاه ونتوری تبخیر شده و کاویتاسیون روی می دهد.

(۴) فشار سیال در انتهای مسیر بیشتر از فشار آن در ابتدای ونتوری

خواهد بود.



حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.



بین دو نقطه ۱ و ۲ معادله برنولی را می نویسیم:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

از معادله پیوستگی داریم:

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \rightarrow V_2 = 16 \frac{m}{s}$$

از دو معادله فوق P_2 قابل محاسبه است.

$$P_2 = 1.8 \text{ atm}$$

۴۹ - در یک لوله به شعاع یک فوت در جریان آرام و سیال نیوتنی توسعه یافته تنش در فاصله $r = 6 \text{ inch}$ از محور لوله برابر

(مهندسی شیمی سراسری ۷۹) $\tau = 0.5 \frac{lb_f}{ft^2}$ می باشد. تنش روی دیواره معادل چند $\frac{lb_f}{ft^2}$ می باشد؟

(۴) $\tau_w = 0.25$

(۳) $\tau_w = 1$

(۲) $\tau_w = 2$

(۱) $\tau_w = 10$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\frac{\tau}{\tau_w} = \frac{r}{R} \Rightarrow \tau_w = \frac{R}{r} \cdot \tau = \frac{12}{6} \times 0.5 = 1 \frac{lb_f}{ft^2}$$

۵۰ - با توجه به رابطه افت انرژی به واسطه اصطکاک در لوله ها، کدام یک از عبارت زیر صحیح است.

$$h_{fs} = 4f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g_c}$$

در جریان درهم اگر سرعت سیال افزایش یابد، ضریب اصطکاک و h_{fs} می یابد.

(مهندسی شیمی سراسری ۷۹)

(۴) افزایش - کاهش

(۳) افزایش - افزایش

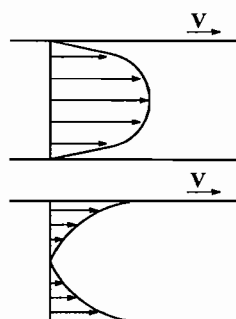
(۲) کاهش - کاهش

(۱) کاهش - افزایش

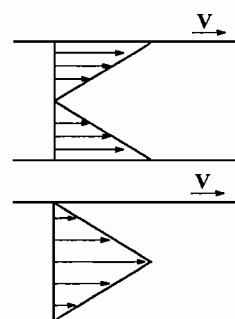
حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

۵۱ - سیال تراکم ناپذیری در یک لوله بسیار طویل قرار گرفته است. چنانچه لوله با سرعت ثابت V حرکت کند. توزیع سرعت در

لوله در حالت پایا مطابق کدام شکل خواهد بود؟ (جریان آرام فرض می شود). (مهندسی شیمی سراسری ۸۰)



(۲)



(۱)

(۴)

(۳)

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

۵۲ - هوا با ویسکوزیته سینماتیک $\nu = 1.0 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$ با سرعت $25 \frac{m}{s}$ در یک کانال کولر که سطح مقطع آن مربعی به طول

ضلع 50 سانتی متر می باشد عبور می نماید. در این حالت، عدد رینولدز کدام است؟
(۱) 312500 (۲) 1250000 (۳) 2250000 (۴) 6000000
(مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$D_H = 4 \frac{\text{مساحت عبور جریان}}{\text{محیط خیس شونده}} = \frac{4 \times 50 \times 50}{2(50+50)} = 50 \text{ cm}$$

$$Re = \frac{\rho U D_H}{\mu} = \frac{U D_H}{\nu} = \frac{25 \times 0.5}{1 \times 10^{-5}} = 1250000$$

۵۳ - کدام عبارت در مورد «ضریب اصطکاک در لوله ها» صحیح است؟
(مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

(۱) در جریان آرام درون لوله ها به زبری لوله بستگی ندارد.
(۲) در جریان درهم درون لوله ها به زبری لوله بستگی ندارد.
(۳) در جریان آرام درون لوله ها به زبری لوله بستگی دارد.
(۴) در جریان آرام درون لوله ها مقدار ثابتی است.

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

۵۴ - در جریان آرام داخل لوله، هر گاه فقط سرعت سیال نصف شود چه تغییری در افت فشار به وجود می آید؟

(مهندسی شیمی سراسری ۸۰)
(۱) یک چهارم شود (۲) نصف می شود (۳) دو برابر می شود (۴) تغییر نمی کند

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\Delta P \sim V : \quad \text{در جریان آرام} \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

۵۵ - اگر نفت با خواص $\left(\rho = 56 \frac{lb_m}{ft^3}, \quad \nu = 5 \times 10^{-4} \frac{ft^2}{sec} \right)$ با سرعت متوسط $1.2 \frac{ft}{sec}$ در داخل لوله ای با قطر داخلی $\frac{1}{2}$ اینچ و

طول 100 فوت در جریان باشد، افت فشار در طول لوله بر حسب $\frac{lb_f}{ft^2}$ چقدر است؟ از افت ها در قسمت ورودی و خروجی

صرف نظر می شود.
(مهندسی شیمی سراسری ۸۰)
(۱) 481.3 (۲) 953 (۳) 1925 (۴) 2135

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{U D}{\nu} = 100 \Rightarrow \text{جریان آرام است.} \Rightarrow f_{\text{darcy}} = \frac{64}{Re} = 0.64$$

$$h_f = f_{\text{darcy}} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \rightarrow h_f = 34.13 \text{ ft} \rightarrow h_f = \frac{\Delta P}{\gamma} \Rightarrow \Delta P = h_f \cdot \gamma = 1925 \frac{lb_f}{ft^2}$$

۵۶ - تنش برشی در جداره یک لوله افقی معادل $\tau = \frac{\mu}{R^2}$ می باشد. مقدار افت فشار بر واحد طول کدام است؟ (R شعاع لوله

(مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

می باشد.)

- (۱) $\frac{2\mu}{R}$ (۲) $2\mu R$ (۳) $\frac{2\mu}{R^3}$ (۴) $2\mu R^3$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

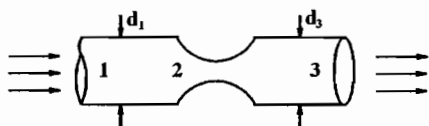
$$\tau = \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{r}{2}$$

$$\tau_w = \tau \Big|_{r=R} = \frac{R}{2} \cdot \frac{\Delta P}{L}, \quad L=1 \Rightarrow \tau_w = \frac{R}{2} \cdot \frac{\Delta P}{1} \Rightarrow \frac{\mu}{R^2} = \frac{R}{2} \cdot \Delta P \Rightarrow \Delta P = \frac{2\mu}{R^3}$$

۵۷ - مطابق شکل هنگامی که از اتلاف انرژی صرف نظر شود، در مورد فشار نسبی P_3 می توان گفت: چنان چه باشد

(بیوتکنولوژی سراسری ۸۰)

آن گاه می شود.



(۱) $P_1 > P_3$; $d_1 \leq d_3$

(۲) $P_1 < P_3$; $d_1 \geq d_3$

(۳) $P_1 < P_3$; $d_1 > d_3$

(۴) $P_1 < P_3$; $d_1 < d_3$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$d_1 > d_3 \Rightarrow V_1 < V_3 \xrightarrow{\text{بر اساس معادله برنولی}} P_1 > P_3$

$d_1 < d_3 \Rightarrow V_1 > V_3 \longrightarrow P_1 < P_3$

۵۸ - در جریان آرام سیالات نیوتنی در داخل لوله، کاهش قطر لوله به نصف موجب می شود که افت فشار برابر گردد.

(بیوتکنولوژی سراسری ۸۰)

(۴) 16

(۳) 8

(۲) 4

(۱) 2

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\Delta P \sim \frac{1}{D^4} \Rightarrow \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 = 16$$

۵۹ - در لوله ای به طول 10 m و قطر 5 cm، افت فشار 20 Kpa می باشد. اگر ضریب اصطکاک در طول مسیر $f = 0.004$ باشد،

سرعت حرکت آب چند $\frac{m}{s}$ است؟ (دانسیته $1000 \frac{kg}{m^3}$ و ویسکوزیته آن 1.2 cp می باشد.) (بیوتکنولوژی سراسری ۸۰)

(۴) 3.53

(۳) 7.06

(۲) 20.06

(۱) 35.35

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} h &= \frac{\Delta P}{\gamma} \\ h &= f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{20000}{9810} = (0.004) \left(\frac{10}{0.05} \right) \left(\frac{V^2}{2 \times 9.8} \right) \Rightarrow V = 7.06 \frac{m}{s}$$

۶۰- در ناحیه کاملاً آشفته برای یک مقدار مشخص زبری نسبی، با افزایش عدد رینولدز ضریب اصطکاک.....

(بیوتکنولوژی سراسری ۸۰)

(۲) تغییر نمی‌کند.

(۱) کاهش می‌یابد.

(۴) ابتدا کاهش می‌یابد و سپس ثابت می‌ماند.

(۳) افزایش می‌یابد.

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۶۱- طول معادله یک شیر تویی ($K = 10$) در یک خط لوله ($f = 0.025$) چند برابر قطر لوله است؟

(مهندسی شیمی سراسری ۸۱)

(۴) 800

(۳) 400

(۲) 200

(۱) 100

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$L_{eq} = \frac{KD}{f_{darcy}} \rightarrow L_{eq} = \frac{10 \times D}{0.025} = 400D$$

توجه: اگر $f = 0.025$ را ضریب اصطکاک فانیگ در نظر بگیریم، $L_{eq} = 100D$ به دست می‌آید.

۶۲- آب با سرعت $2.5 \frac{cm}{s}$ در یک لوله افقی به قطر 5 cm جریان دارد. افت فشار بر واحد طول لوله برابر چند پاسکال می‌باشد.

$$\left(\rho_{H_2O} = 1000 \frac{kg}{m^3}, \quad v_{H_2O} = 1.0 \times 10^{-6} \frac{m}{s}, \quad \pi = 3.14 \right)$$

(۴) 0.96

(۳) 0.64

(۲) 0.32

(۱) 0.16

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

ابتدا رژیم جریان را تعیین می‌کنیم:

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{U D}{\nu} = 1250 \rightarrow f_{darcy} = \frac{64}{Re} = 0.0512$$

$$h_f = \frac{\Delta P}{\gamma} = f L \frac{V^2}{2g} \rightarrow \Delta P = 0.32 Pa$$

۶۳- توان موجود در یک جریان آب که با سرعت 10 متر بر ثانیه از لوله‌ای با سطح مقطع 0.005 متر مربع خارج می‌شود، چند کیلو

(مهندسی شیمی سراسری ۸۱)

وات می‌باشد؟ (دانسیته آب $1000 \frac{kg}{m^3}$ است).

(۴) 5.0

(۳) 4.5

(۲) 3.5

(۱) 2.5

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$E_K = \frac{1}{2} \dot{m} V^2, \quad \dot{m} = \rho U A = 50 \frac{kg}{s}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \times 50 \times 10^2 = 2500 \frac{\text{J}}{\text{sec}} = 2500 \text{ watt}$$

$$E_K = 2.5 \text{ KW}$$

۶۴- آب با دبی حجمی $6 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$ از داخل لوله‌ای به قطر 30 cm جریان دارد. در صورتی که قطر لوله به طور ناگهانی به 45 cm

افزایش یابد، افت فشار معادل چند Kpa است؟ ($\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ و $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ و $\pi = 3.14$) (مخازن هیدروکربوری سراسری ۸۰)

1113 (۴)

111.3 (۳)

1.113×10^6 (۲)

1.113 (۱)

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$K = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2 \rightarrow K = 0.308$$

$$V_1 = \frac{Q}{\left(\frac{\pi D_1^2}{4} \right)} = \frac{6}{\frac{\pi \times (0.3)^2}{4}} = 84.92 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad h_f = K \frac{V^2}{2g}$$

$$h_f = \frac{0.308 \times (84.92)^2}{19.6} = 113.55 \text{ m}$$

$$h = \frac{\Delta P}{\gamma} \rightarrow \Delta P = \gamma h = 9810 \times 113.55 \rightarrow \Delta P = 1.113 \times 10^6 \text{ Pa}$$

۶۵- برای دو استوانه هم محور داخل هم که سیال از بین دو استوانه عبور می‌کند، قطر هیدرولیکی کدام است؟

(مخازن هیدروکربوری سراسری ۸۰)

$\frac{D_0 - D_i}{2}$ (۴)

$\frac{D_0 + D_i}{2}$ (۳)

$D_0 - D_i$ (۲)

$D_0 + D_i$ (۱)

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

حل این تست در متن درس آمده است.

(بیوتکنولوژی سراسری ۸۱)

۶۶- برای جریان سیال متلاطم در لوله‌ها، کدام تابع در مورد فاکتور اصطکاک صحیح است؟

$f = F\left(\frac{\epsilon}{D}\right)$ (۲)

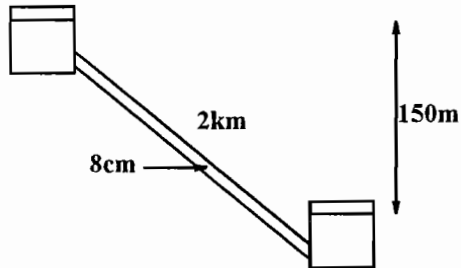
$f = F(\text{Re})$ (۱)

$f = F\left(\frac{\epsilon}{D}, \text{Re}, \frac{\Delta P}{\rho V^2}\right)$ (۴)

$f = F\left(\frac{\epsilon}{D}, \text{Re}\right)$ (۳)

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۶۷- در مخزن آب به اختلاف ارتفاع 150 m توسط لوله‌ای به قطر 8 cm و طول 2 km به هم متصل هستند. فشار روی هر دو مخزن یک اتمسفر است. شدت جریان آب از مخزن بالاتر به مخزن پایین‌تر چند لیتر بر ثانیه است؟ (ضریب اصطکاک در این جریان برابر 0.03 است.) (بیوتکنولوژی سراسری (۸))



۵ (۱)

۱۰ (۲)

۱۵ (۳)

۲۰ (۴)

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

بین سطح آزاد مایع در دو مخزن معادله برنولی می‌نویسیم:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

$$V_1 = V_2 = 0, \quad P_1 = P_2, \quad Z_1 - Z_2 = 150m \xrightarrow{\text{با جایگذاری در معادله برنولی}} h_f = 150m$$

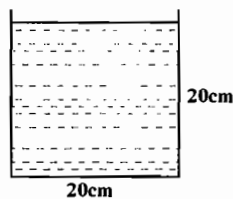
$$h_f = f_{\text{darcy}} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \rightarrow 150 = (0.03) \left(\frac{2000}{0.08} \right) \left(\frac{V^2}{2 \times 9.8} \right) \rightarrow V = 1.98 \frac{m}{s}$$

$$Q = VA = 1.98 \times \frac{\pi (0.08)^2}{4} = 9.95 \times 10^{-3} \frac{m^3}{sec}$$

$$Q = 9.95 \frac{lit}{sec}$$

۶۸- در یک کانال سرباز که مقطع آن به صورت شکل روبرو است، آب $(v = 1 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s})$ با سرعت 10 متر بر ثانیه جریان دارد.

(بیوتکنولوژی سراسری (۸))



$$0.67 \times 10^6 \quad (۱)$$

$$1.67 \times 10^6 \quad (۲)$$

$$2.67 \times 10^6 \quad (۳)$$

$$2.0 \times 10^6 \quad (۴)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$D_H = 4 \frac{\text{مساحت عبوری جریان}}{\text{محیط خیس‌شونده}} = 4 \frac{20 \times 20}{20 + 20 + 20} = 26.6 \text{ cm} \rightarrow D_H = 0.266 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\rho U D_H}{\mu} = \frac{U D_H}{\nu} = 2.66 \times 10^6$$

۶۹- در ناحیه انتقالی نمودار مودی (Transition Zone) که $f=f\left(Re, \frac{\epsilon}{D}\right)$ است. در یک زبری نسبی $\frac{\epsilon}{D}$ مشخص با افزایش

Re، ضریب اصطکاک f: (مخارن هیدروکربوری سراسری ۷۷)

(۱) کاهش و افت انرژی h_f افزایش می‌یابد.

(۲) در نتیجه h_f کاهش می‌یابد.

(۳) با کاهش Re، ضریب اصطکاک f کاهش و افت انرژی h_f نیز کاهش می‌یابد.

(۴) افزایش می‌یابد و در نتیجه h_f نیز زیاد می‌شود.

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۷۰- ضریب افت انرژی در یک زانو برابر 1.6 می‌باشد. طول معادل این زانویی در یک لوله به قطر $\frac{1}{4}$ فوت و ضریب اصطکاک

$f=0.001$ چند فوت می‌باشد؟ (مخارن هیدروکربوری سراسری ۸۰)

(۴) 100

(۳) 50

(۲) 10

(۱) 5

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$L_{eq} = \frac{KD}{f_{darcy}} = \frac{1.6 \times \frac{1}{4}}{0.001} = 100 \text{ ft}$$

۷۱- در جریان آرام داخل لوله $f=0.01$ فرض می‌شود، اگر چنانچه سرعت برابر $5 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$ باشد، تنش در دیواره کدام است؟

(مخازن هیدروکربوری سراسری ۸۰) $(\rho = 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3})$

(۴) $\tau_w = 1.0$

(۳) $\tau_w = 0.75$

(۲) $\tau_w = 0.5$

(۱) $\tau_w = 0.25$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

از تعریف ضریب اصطکاک داریم:

$$f = \frac{\tau_w}{\rho \frac{V^2}{2}} \rightarrow \tau_w = f \rho \frac{V^2}{2} = (0.01) \frac{62.4 \times 5^2}{2} \rightarrow \tau_w = 0.4875$$

۷۲- جریان آب در لوله‌ای افقی و به طول (L) آرام است. اگر سرعت آب در لوله دو برابر شود، مقدار افت فشار در آن چگونه خواهد

بود؟ (بیوتکنولوژی سراسری ۸۱)

(۴) نصف خواهد شد.

(۳) سه برابر خواهد شد.

(۲) دو برابر خواهد شد.

(۱) ثابت می‌ماند.

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۷۳- جریان هوا با سرعت $10 \frac{m}{s}$ در لوله‌ای جریان دارد. چگالی هوا $1.2 \frac{kg}{m^3}$ است. در صورتی که ضریب اصطکاک مودی برای این

جریان برابر 0.02 باشد، تنش برشی وارد بر جداره لوله چند نیوتن بر متر مربع $\left(\frac{N}{m^2}\right)$ می‌باشد؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۱)

2.4 (۴)

1.2 (۳)

0.5 (۲)

0.3 (۱)

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

از دیاگرام مودی f دارسی به دست می‌آید.

$$f_{\text{fanning}} = \frac{\tau_w}{\frac{\rho V^2}{2}}, \quad f_{\text{darcy}} = 4f_{\text{fanning}} \rightarrow f_{\text{darcy}} = \frac{\tau_w}{\frac{\rho V^2}{8}}$$

$$\rightarrow \tau_w = f_{\text{darcy}} \frac{\rho V^2}{8} = 0.02 \frac{(1.2)(10)^2}{8} \rightarrow \tau_w = 0.3 \frac{N}{m^2}$$

۷۴- در حرکت سیالی در داخل لوله تنش برشی بر روی دیواره لوله τ_w می‌باشد. اگر f ضریب اصطکاک، ρ دانسیته سیال و V سرعت متوسط سیال باشد. رابطه بین τ_w و f در جریان توربولنت به صورت زیر است:

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی ۷۹)

$$\tau_w = \left(\frac{f}{3}\right) \left(\frac{\rho V^2}{2}\right) \quad (۲) \quad \tau_w = \left(\frac{f}{2}\right) \left(\frac{\rho V^2}{2}\right) \quad (۱)$$

(۴) در جریان توربولنت نمی‌توان به فرم‌های فوق رابطه‌ای بین τ_w و f تعریف نمود.

$$\tau_w = \frac{f}{4} \frac{\rho V^2}{2} \quad (۳)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

بر اساس حل تست قبلی :

$$f_{\text{darcy}} = \frac{\tau_w}{\frac{\rho V^2}{8}} \rightarrow \tau_w = f_{\text{darcy}} \frac{\rho V^2}{8}$$

۷۵- افت انرژی آب در لوله‌ای به قطر 2 cm، به طول 50 m و با سرعت $10 \frac{m}{s}$ ، بر حسب $\frac{N.m}{kg}$ کدام یک از مقادیر زیر است؟

(ویسکوزیته سینماتیک آب $10^{-6} \frac{m^2}{s}$ می‌باشد.)

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی و صنایع غذایی ۷۹)

1000 (۴)

0.1 (۳)

0.4 (۲)

4000 (۱)

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{10 \times 2 \times 10^{-4}}{10^{-6}} = 2000 \rightarrow \text{جریان آرام است} \rightarrow f_{\text{darcy}} = \frac{64}{Re} = \frac{64}{2000} = 0.032$$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \Rightarrow h_f = 0.032 \times \frac{50}{0.02} \times \frac{10^2}{2} = 4000 \frac{N.m}{kg}$$

۷۶- در جریان لامینار روغن در داخل لوله، ضریب اصطکاک برابر 0.02 می‌باشد. اگر سرعت جریان در داخل میان لوله به $\frac{1}{2}$ مقدار اولیه کاهش یابد، در این صورت ضریب اصطکاک برابر خواهد بود با:

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی ۷۹)

- (۱) 0.01 (۲) 0.04 (۳) 0.08 (۴) 0.005

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$f_{\text{darcy}} = \frac{64}{\text{Re}}, \quad \text{Re} \sim V \Rightarrow f \propto \frac{1}{V}$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{V_2}{V_1} \rightarrow f_2 = f_1 \frac{V_1}{V_2} = 0.02 \times \frac{V_1}{\frac{1}{2}V_1} = 0.04$$

۷۷- آب با فشار 3 bar به لوله‌ای با قطر 5cm و طول 500 m وارد شده و آن را با فشار 1.5 bar ترک می‌نماید. اگر دانسیته آب $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ و ویسکوزیته آن 1 CP و ضریب اصطکاک نیز 0.0075 باشد، سرعت آب در لوله چند $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ خواهد بود؟

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی ۸۰)

- (۱) 10 (۲) 2 (۳) 1 (۴) 20

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$h_f = \frac{\Delta P}{\gamma} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \rightarrow \frac{(3-1.5)}{1000 \times 9.81} = 0.0075 \times \frac{500}{0.05} \times \frac{V^2}{2 \times 9.81} \rightarrow V = 2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

توجه: اگر ضریب اصطکاک داده شده را از نوع فانیگ در نظر می‌گرفتیم، سرعت سیال $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ به دست می‌آمد.

۷۸- ضریب اصطکاک برای حرکت سیال در داخل لوله بستگی به کدام عوامل زیر دارد؟

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی ۸۰)

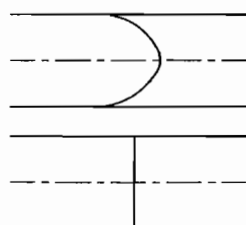
(فشار = P، دانسیته سیال = ρ ، دبی حجمی = Q، زبری لوله = ϵ ، سرعت متوسط = v، طول لوله = L، ویسکوزیته سیال = μ ، قطر لوله = d)

- (۱) v, d, ρ , μ , ϵ (۲) P, v, L, Q, d
(۳) v, d, μ , ρ , L (۴) v, d, ρ , μ , P

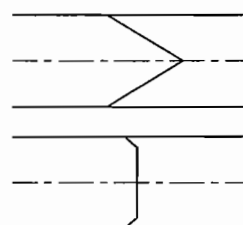
حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۷۹- پروفیل سرعت برای جریان یک سیال درون لوله وقتی که جریان آرام (Laminar) باشد کدام است؟

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - مخازن هیدروکربوری ۸۱)



(۲)



(۱)

(۴)

(۳)

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۸۰ - کدام یک از عبارات زیر در مورد ضریب اصطکاک در لوله‌ها صحیح است؟

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی و صنایع غذایی (۸۱))

- (۱) در جریان درهم در لوله‌ها ضریب اصطکاک تابعی از زبری نسبی و عدد رینولدز است.
- (۲) در جریان درهم در لوله‌ها ضریب اصطکاک تابعی از عدد رینولدز است.
- (۳) در جریان درهم در لوله‌ها ضریب اصطکاک تابعی از زبری نسبی است.
- (۴) فشار در جهت عمود بر خطوط جریان از نقطه ۱ به طرف نقطه ۲ کم می‌شود.

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۸۱ - وقتی که جریان در لوله به شرایط کاملاً توسعه یافته رسیده باشد، کدام یک از جملات زیر صحیح است؟

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی حفاری و استخراج نفت ۷۹ و دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - مخازن هیدروکربوری (۸۱))

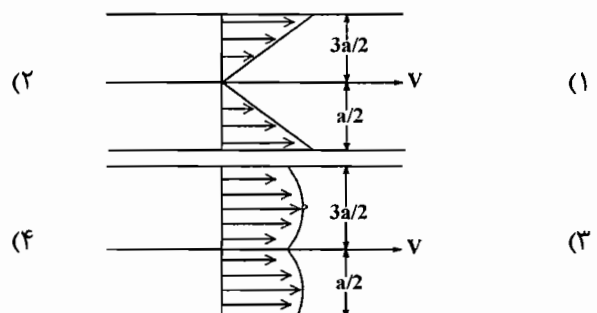
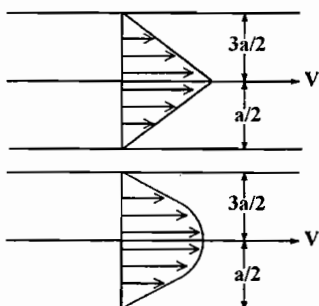
- (۱) پروفیل سرعت یکنواخت باقی می‌ماند.
- (۲) جریان به حالت مغشوش رسیده است.
- (۳) جریان به انتهای مسیر لوله رسیده است.
- (۴) هیچ کدام

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۸۲ - سیالی بین دو صفحه موازی به فاصله $2a$ قرار دارد. صفحه دیگری مطابق شکل بین دو صفحه در درون سیال با سرعت V

کشیده می‌شود. کدام یک از شکل‌های زیر توزیع سرعت سیال را در بین صفحات در حالت یکنواخت نشان می‌دهد؟

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی و صنایع غذایی (۸۱))



حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۸۳ - مایعی با شدت جریان $0.0255 \frac{\text{lit}}{\text{s}}$ و لزجت $\mu = 0.06 \text{ pa.s}$ در یک لوله افقی به قطر داخلی 3 mm جریان دارد. در صورتی که

عدد رینولدز ۱۵۰ باشد، افت فشار در هر متر لوله چقدر است؟

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - مخازن هیدروکربوری (۸۱))

- (۱) ۷.۷۱ Kpa
- (۲) ۳۶.۱۵ Kpa
- (۳) ۷۷۱ Kpa
- (۴) ۳۶۱.۱۵ Kpa

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$h_f = \frac{\Delta P}{\gamma} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}, \quad V = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} \rightarrow V = \frac{0.02555 \times 10^{-3}}{\frac{\pi \times (3 \times 10^{-3})^2}{4}} = 3.62 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \rightarrow 150 = \frac{\rho \times 3.62 \times 0.003}{0.06} \rightarrow \rho = 829 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Re < 2200 \rightarrow \text{جریان آرام} \rightarrow f_{\text{darcy}} = \frac{64}{Re} = 0.427$$

$$\Delta P = \gamma \left(f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \right) = 829 \times 9.81 \times 0.427 \times \frac{1}{0.003} \times \frac{3.62^2}{2 \times 9.81} = 773122 \text{ Pa} = 773.12 \text{ Kpa}$$

۸۴ - وقتی که جریان در لوله به شرایط کاملاً توسعه یافته (Fully developed flow) رسیده باشد، کدام یک از جملات زیر

صحیح است؟ (آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - مخازن هیدروکربوری (۸))

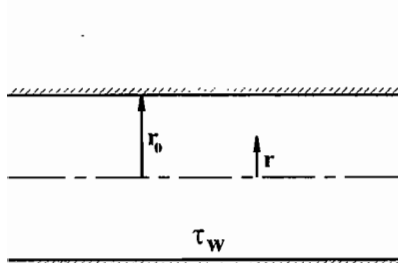
(۱) جریان به حالت کاملاً مغشوش رسیده است. (۲) پروفیل سرعت یکنواخت باقی می ماند.

(۳) جریان به انتهای مسیر لوله رسیده است. (۴) جریان در لوله متوقف می شود.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

۸۵ - توزیع تنش برشی در مقطع یک لوله که جریان در آن کاملاً توسعه یافته و یکنواخت می باشد، کدام است؟

(مهندسی مکانیک سراسری (۸))



$$\tau = \tau_w \quad (1)$$

$$\tau = \tau_w \left(1 - \frac{r}{r_0} \right) \quad (2)$$

$$\tau = \tau_w \frac{r}{r_0} \quad (3)$$

$$\tau = \tau_w \left(\frac{2r}{r_0} - 1 \right) \quad (4)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\tau = \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{r}{2} \rightarrow \tau \propto r$$

$$\frac{\tau}{\tau_w} = \frac{r}{r_0} \rightarrow \tau = \tau_w \frac{r}{r_0}$$

۸۶ - آب در لوله ای جریان دارد. پروفیل سرعت در مقطعی از لوله، طبق رابطه مقابل داده شده است $V = \frac{\alpha}{4\mu} \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right)$ که در آن

α مقداری ثابت، r فاصله شعاعی از محور لوله و r_0 شعاع داخلی لوله می باشد. تنش برشی وارده از آب به جداره کدام است؟

(مهندسی مکانیک سراسری (۸۰))

$$\frac{\alpha}{4r_0} \quad (4)$$

$$\frac{\alpha}{2r_0} \quad (3)$$

$$-\frac{\alpha}{4r_0} \quad (2)$$

$$-\frac{\alpha}{2r_0} \quad (1)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\tau = -\mu \frac{dV}{dr} = -\mu \left(\frac{\alpha}{4\mu} \right) \left(-\frac{2r}{r_0^2} \right)$$

$$\tau_w = -\mu \frac{dV}{dr} \Big|_{r=r_0} = -\mu \left(\frac{\alpha}{4\mu} \right) \left(-\frac{2r_0}{r_0^2} \right) = \frac{\alpha}{2r_0}$$

۸۷- اگر نیم رخ سرعت جریان در لوله $u = \frac{A}{\mu} (R^2 - r^2)$ باشد (A مقدار ثابت، μ ضریب چسبندگی سیال، R شعاع لوله و r

مختصات شعاعی که از مرکز لوله اندازه گیری می شود.) کاهش فشار در واحد طول لوله فوق برابر است با:

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ۷۲)

A (۴)

2 A (۳)

4 A (۲)

$\frac{A}{4}$ (۱)

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\tau_w = -\mu \frac{\partial u}{\partial r} \Big|_{r=R} = -\mu \frac{A}{\mu} (-2R) = 2AR$$

$$\tau_w = -\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{R}{2} \rightarrow 2AR = -\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{R}{2} \rightarrow \frac{-\Delta P}{L} = 4A$$

۸۸- در داخل لوله ای یک جریان توسعه یافته آرام و بار دیگر جریان توسعه یافته درهم داریم. چنانچه سرعت مرکز لوله در هر دو

حالت، یکسان باشد، کدام گزینه درست است؟

(۲) دبی جریان رژیم درهم مساوی رژیم آرام است.

(۱) دبی جریان رژیم درهم بیشتر از رژیم آرام است.

(۴) دبی جریان به عوامل دیگری بستگی دارد.

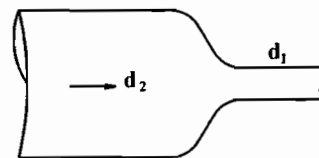
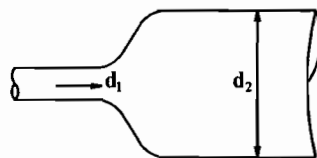
(۳) دبی جریان رژیم کمتر از رژیم آرام است.

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

۸۹- افت انرژی در اتصال دو لوله با قطر d_1 و d_2 که $d_2 = 4d_1$ می باشد، برای یک دبی ثابت (در دو حالت، یکی جریان از قطر

کوچک تر به بزرگ تر و دیگری جریان از قطر بزرگ تر به لوله با قطر کوچک تر):

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی و طراحی کاربردی ۷۹)



(۱) در جریان از لوله کوچک تر به بزرگ تر از حالت معکوس بیشتر است.

(۲) برای هر دو حالت یکسان است و مقدار آن قابل توجه می باشد.

(۳) در جریان از لوله بزرگ تر به کوچک تر با حالت معکوس کمتر است.

(۴) در هر دو حالت ناچیز است و همیشه از آن ها صرف نظر می شود.

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

۹۰ - در جریان لایه‌ای درون یک لوله با کاهش سرعت:

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی محیط زیست ۷۹)

- (۲) ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد.
(۴) ضریب اصطکاک بستگی به سرعت جریان دارد.

- (۱) ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد.
(۳) ضریب اصطکاک تغییر نمی‌کند.

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای ۷۹)

۹۱ - طول ورودی جریان آرام فاصله‌ای است که.....

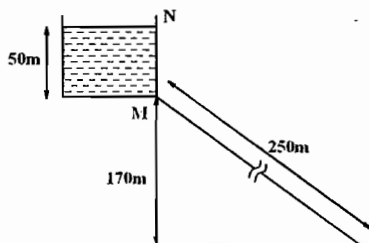
- (۲) جریان آرام به مغشوش تبدیل می‌شود.
(۴) ضریب اصطکاک به‌طور خطی تغییر می‌کند.

- (۱) افت فشار به‌طور خطی تغییر می‌کند.
(۳) جریان سیال توسعه می‌یابد.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۹۲ - مطابق شکل، آب از مخزنی به ارتفاع ۵۰ متر به لوله‌ای به قطر ۴ اینچ وارد می‌شود. اگر ضریب افت لوله ۰.۰۳ باشد و از افت‌های موضعی صرف‌نظر کنیم، شدت جریان آب در لوله چند لیتر در ثانیه خواهد بود؟

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی معدن - فرآوری معدنی ۸۰)



(۱) 19.72

(۲) 42.03

(۳) 61.58

(۴) 73.15

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

معادله برنولی را بین سطح آزاد مایع در مخزن (نقطه ۱) و خروجی لوله تخلیه (نقطه ۲) می‌نویسیم:

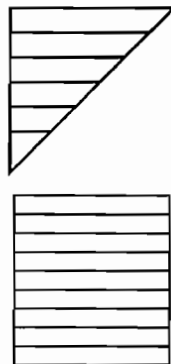
$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}, \quad P_1 = P_2 = P_{atm}, \quad V_1 = 0, \quad Z_1 - Z_2 = 50 + 170 = 220$$

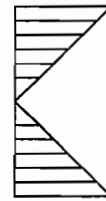
$$220 = \frac{V_2^2}{2 \times 9.81} + \left(0.03 \times \frac{250}{0.1016} \times \frac{V_2^2}{1 \times 9.81} \right) \rightarrow V_2 = 7.6 \frac{m}{s}$$

$$Q = VA = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) V \rightarrow Q = \frac{3.14 \times 0.1016^2}{4} \times 7.6 = 0.06158 \frac{m^3}{sec} = 61.58 \frac{lit}{sec}$$

۹۳- در صورتی که صفحه‌ای نازک در سطح افقی با سرعت ثابت بر روی لایه‌ای نازک از یک سیال نیوتنی حرکت نماید توزیع تنش برشی در جهت عمودی بر صفحه در لایه نازک سیال به کدام صورت است؟ (آزمون کارشناسی ارشد مهندسی معماری کشتی ۸۰)



(۲)



(۱)



(۳)

(۴)

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۹۴- برای فیلتر قرار گرفته در لوله با قطر 0.1 متر ثابت افت $K = 20$ است. اگر ضریب اصطکاک لوله $f = 0.002$ باشد، طول معادل فیلتر چند متر است؟

1000 (۴)

100 (۳)

10 (۲)

1 (۱)

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$L_e = \frac{KD}{f} = \frac{20 \times 0.1}{0.002} = 1000 \text{ m}$$

اگر f را ضریب اصطکاک فانینگ فرض کرده و از رابطه $L_e = \frac{KD}{4f}$ استفاده می‌کردیم، جواب $L_e = 250 \text{ m}$ به دست می‌آمد که در گزینه‌ها نیست.

فصل پنجم

پمپ و پمپاژ

تقسیم‌بندی پمپ‌ها:

پمپ‌ها تجهیزاتی هستند که به مایعات انرژی می‌دهند تا موجب انتقال و جریان یافتن مایعات شوند. پمپ‌ها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: پمپ‌های سانتریفوژ (پمپ‌های دوار) و پمپ‌های با جابه‌جایی مثبت (پمپ‌های رفت و برگشتی)، که به بررسی ویژگی‌های این دو گروه می‌پردازیم. از آن‌جا که پمپ‌های سانتریفوژ در صنعت کاربرد زیادتری داشته و بسیار رایج می‌باشند و در آزمون‌های ورودی کارشناسی ارشد نیز بیشتر از پمپ‌های جابه‌جایی مثبت مطرح هستند. بررسی خود را به این پمپ‌ها معطوف می‌کنیم.

پمپ‌های جابه‌جایی مثبت

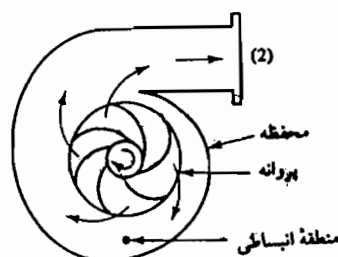
این پمپ‌ها مرز متحرک داشته و سیال را با تغییرات حجمی جابه‌جا می‌کنند، بدین‌صورت که حفره‌ای باز شده و سیال از میان دریچه ورودی مکیده می‌شود، بعد حفره بسته شده و سیال از طریق یک دریچه خروجی تخلیه می‌شود. تمام پمپ‌های جابه‌جایی مثبت، سیال را به صورت دوره‌ای یا منقطع جابه‌جا می‌کنند، زیرا پس از ورود سیال به داخل حفره، دریچه بسته شده، سیال فشرده و رانده می‌شود.

مزیت عمده این پمپ‌ها در این است که هر سیالی را با هر درجه لزجت جابه‌جا می‌کنند. ضمن این‌که پمپ‌های جابه‌جایی مثبت، جریانی تقریباً ثابت در طیف وسیعی از افزایش فشار فراهم می‌کنند.

پمپ‌های گریز از مرکز (سانتریفوژ)

شامل پروانه دواری هستند که در داخل یک محفظه جای گرفته است، سیال از طریق چشم بدنه به صورت محوری وارد پمپ شده، از لابلای پره‌ها لغزیده، به طریق مماسی و شعاعی به سمت پیرامون پروانه می‌چرخد، تمام قسمت‌های محیطی پروانه را پشت سر گذاشته و به داخل قسمت واگرای محفظه پمپ رانده می‌شود. سیال با عبور از پروانه، فشار و سرعت پیدا می‌کند. شکل حلزونی محفظه

باعث کاهش سرعت جریان و در نتیجه افزایش فشار می‌گردد. این پمپ‌ها افزایش فشار یکنواختی را در طیف گسترده‌ای از دبی به وجود می‌آورند.



شکل یک پمپ گریز از مرکز

مشخصات پمپ‌های سانتریفوژ:

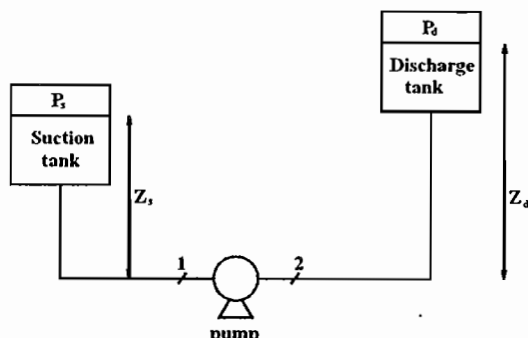
- ۱) برای سیالات با ویسکوزیته کم کاربرد دارند.
- ۲) برای دبی‌های بالا و فشارهای پایین از این نوع پمپ استفاده می‌گردد.
- ۳) برای پمپاژ سیالات شبه پلاستیک از پمپ‌های سانتریفوژ با دورهای بالا استفاده می‌کنیم تا ویسکوزیته سیال کم شود.
- ۴) برای پمپاژ سیالات دارای ذرات معلق از پمپ سانتریفوژ استفاده می‌کنیم.
- ۵) این پمپ‌ها فقط در محدوده کوچکی از دبی، راندمان بالا دارند.
- ۶) این پمپ‌ها نسبتاً ارزان هستند، فضای کمی را اشغال می‌کنند و هزینه راه‌اندازی و نصب کمی دارند.

مشخصات پمپ‌های جابه‌جایی مثبت:

- ۱) مهم‌ترین ویژگی این پمپ‌ها این است که یک دبی ثابت در خروجی می‌دهند.
- ۲) این دسته از پمپ‌ها، برای پمپاژ سیالات با ویسکوزیته بالا کاربرد دارد.
- ۳) برای جریان‌های با دبی کم و هد زیاد (یا فشار خروجی بالا) از پمپ‌های جابه‌جایی مثبت استفاده می‌شود.
- ۴) برای پمپ کردن سیالات Dilatant از این دسته از پمپ‌ها استفاده می‌شود.
- ۵) هزینه خرید، نصب و نگهداری بالاتری نسبت به پمپ‌های سانتریفوژ دارند.

روابط حاکم بر پمپ‌ها و سیستم‌های انتقال مایع:

سیستم نمایش یافته در شکل زیر را در نظر می‌گیریم:



هدف پمپاژ سیال از مخزن مکش تا مخزن تخلیه می‌باشد.

اختلاف ارتفاع مایع در مخزن مکش تا پمپ را با Z_s و اختلاف ارتفاع مخزن تخلیه تا پمپ را با Z_d نمایش می‌دهیم. در شکل نقطه 1 در ورودی پمپ و نقطه 2 در خروجی از پمپ معین شده‌اند. مطابق شکل فشار در دو نقطه 1 و 2 برابر است با:

$$P_1 = P_s + \rho g Z_s - h_{fs}$$

$$P_2 = P_d + \rho g Z_d + h_{fd}$$

در روابط فوق P_s فشار روی مخزن مکش و P_d فشار روی مخزن تخلیه می‌باشد. h_{fs} بیانگر میزان اتلاف انرژی از مخزن مکش تا پمپ و h_{fd} بیانگر میزان اتلاف انرژی از پمپ تا مخزن تخلیه می‌باشد.

اگر بخواهیم روابط فوق را با واحد ارتفاع سیال بیان کنیم، خواهیم داشت:

$$H_1 = \frac{P_1}{\rho g} = \frac{P_s}{\rho g} + Z_s - h_{fs}$$

$$H_2 = \frac{P_2}{\rho g} = \frac{P_d}{\rho g} + Z_d + h_{fd}$$

که البته در این روابط h_f باید با واحد ارتفاع سیال بیان شود. H_1 را ارتفاع (هد) مایع در قسمت مکش و H_2 را ارتفاع (هد) بخش تخلیه می‌نامیم.

هد کل سیستم (ارتفاع کل سیستم) مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$H_{\text{سیستم}} = H_2 - H_1$$

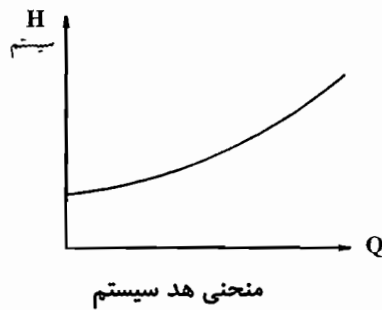
$$H_{\text{سیستم}} = \frac{P_d - P_s}{\rho g} + (Z_d - Z_s) + (h_{fd} + h_{fs})$$

در رابطه فوق P_d, P_s, Z_d, Z_s و $\frac{P_d - P_s}{\rho g}$ یک مقدار ثابت را نتیجه می‌دهد.

هم‌چنین می‌دانیم h_f با Q^2 متناسب است. بنابراین رابطه (سیستم H) را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$H = A + BQ^2$$

که A و B اعداد ثابتی هستند، بنابراین رسم (سیستم H) بر حسب دبی (Q) مطابق نمودار زیر خواهد بود که آن را منحنی هد سیستم می‌نامیم.

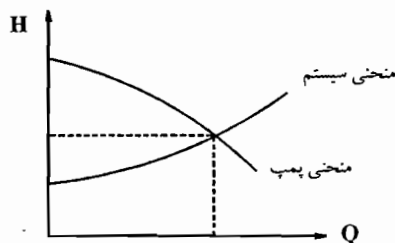


اگر پمپ سانتریفوژ را به تنهایی در نظر بگیریم، می‌توان منحنی هد پمپ بر حسب دبی را به صورت زیر نشان داد:



در پمپ‌های سانتریفوژ با افزایش دبی، هد پمپ کاهش می‌یابد. بنابراین نمودار هد پمپ، بر اساس دبی نزولی خواهد بود. نمودار هد پمپ بر حسب دبی توسط سازنده ارائه می‌شود.

اگر دو نمودار منحنی هد سیستم و منحنی هد پمپ را روی یک منحنی رسم کنیم، نقطه برخورد دو منحنی، نقطه عملکرد پمپ را نشان می‌دهد. بدین معنی که کاربرد این پمپ در این سیستم چه مقدار دبی با چه هدی را نتیجه می‌دهد.



اگر راندمان پمپ را با η نمایش دهیم و توان پمپ را با P خواهیم داشت:

$$\eta = \frac{\text{توانی که پمپ به سیال می‌دهد.}}{\text{توانی که پمپ مصرف می‌کند.}}$$

$$P = \Delta P \cdot Q = \rho g H Q$$

$$P = \frac{\rho g H Q}{\eta}$$

مطابق رابطه با کاهش راندمان پمپ، توان مصرفی پمپ افزایش می‌یابد.

حال که با روابط حاکم بر پمپ‌ها آشنا شده‌ایم، می‌توانیم رابطه برنولی را کامل‌تر کنیم. اگر دو نقطه A و B را در نظر بگیریم که جریان از نقطه A به سمت نقطه B باشد و در مسیر بین نقاط A و B یک پمپ وجود داشته باشد در سیستم SI می‌توان نوشت:

$$\frac{P_A}{\rho} + gZ_A + \frac{V_A^2}{2} + h_p = \frac{P_B}{\rho} + gZ_B + \frac{V_B^2}{2} + h_f$$

که در رابطه فوق h_p انرژی است که پمپ به واحد جرم سیال می‌دهد. و h_f شامل کلیه تلفات انرژی از نقطه A تا B می‌باشد. در رابطه فوق کلیه جملات با واحد انرژی بر واحد جرم سیال نوشته می‌شوند.

همچنین می‌توان روابط را با واحد ارتفاع سیال نوشت:

$$\frac{P_A}{\rho g} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} + h_p = \frac{P_B}{\rho g} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g} + h_f$$

که در این حالت h_p و h_f با واحد ارتفاع نوشته می‌شوند.

در سیستم انگلیسی بر حسب انرژی بر واحد جرم سیال می‌توان نوشت:

$$\frac{P_A}{\rho} + \frac{V_A^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} Z_A + h_p = \frac{P_B}{\rho} + \frac{V_B^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} Z_B + h_f$$

که h_p و h_f با واحد انرژی بر واحد جرم سیال بنویسیم، خواهیم داشت:

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A + h_p = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B + h_f$$

که h_p و h_f با واحد ارتفاع سیال نوشته می‌شوند.

اگر برای سیستم نمایش یافته در شکل ابتدای فصل رابطه برنولی را بین سطح سیال در مخزن مکش و مخزن تخلیه در سیستم SI و با واحد ارتفاع سیال بنویسیم خواهیم داشت:

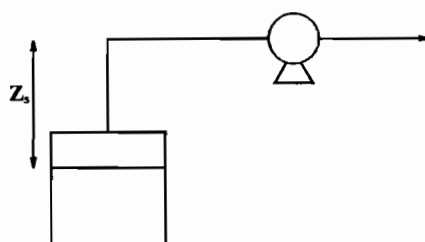
$$\frac{P_s}{\rho g} + Z_s + h_p = \frac{P_d}{\rho g} + Z_d + h_f$$

که در این جا h_f مجموع کل تلفات بین مخزن مکش و تخلیه است که برابر است با:

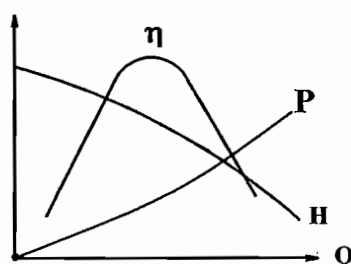
$$h_f = h_{fs} + h_{fd}$$

البته سطح سیال در مخزن مکش در حال پایین رفتن و سطح سیال در مخزن تخلیه در حال بالا رفتن است که به دلیل کم بودن سرعت، از سرعت آن‌ها صرف‌نظر شده است.

تذکر بسیار مهم: اگر در مساله‌ای مخزن مکش پایین‌تر از پمپ قرار گرفته باشد، در کلیه روابط ذکر شده، Z_s را با علامت منفی قرار می‌دهیم.



می‌توان راندمان پمپ η ، توان مصرفی پمپ P را نیز بر حسب دبی رسم کرد. در نمودار زیر توان مصرفی، راندمان و هد پمپ بر اساس دبی رسم شده‌اند.



سری و موازی بستن پمپ‌های سانتریفوژ:

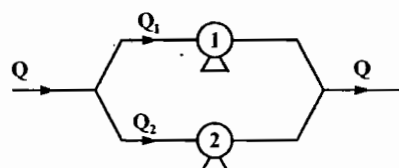
برای افزایش دبی می‌توان چند پمپ سانتریفوژ را به صورت موازی بست. هم‌چنین برای افزایش هد می‌توان چند پمپ سانتریفوژ را به شکل سری بست که به بررسی این دو حالت می‌پردازیم.

موازی بستن پمپ‌های سانتریفوژ:

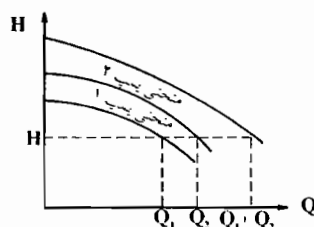
اگر دو یا چند پمپ سانتریفوژ را به صورت موازی ببندیم، تمامی پمپ‌ها دارای هد یکسان خواهند بود، ولی دبی پمپ‌ها متفاوت می‌باشد. دبی کل در این حالت مجموع دبی تک تک پمپ‌ها خواهد بود. بنابراین:

$$H = H_1 = H_2$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$



مطابق شکل برای تعیین منحنی مشخصه کل سیستم می‌توان از روی منحنی مشخصه پمپ‌ها در یک هد مشخص دبی پمپ‌ها را با هم جمع کرده و نقاط موردنظر را به‌دست آورد.

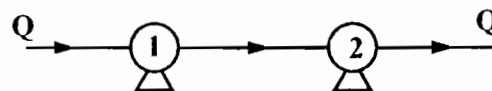


سری بستن پمپ‌های سانتریفوژ:

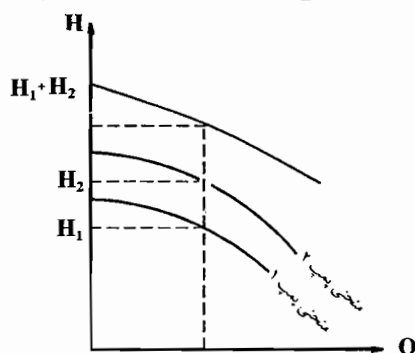
اگر دو یا چند پمپ سانتریفوژ را به صورت سری به هم ببندیم تمامی پمپ‌ها دارای دبی یکسان خواهند بود، ولی هد کلی مجموع هد تک تک پمپ‌ها می‌باشد. بنابراین:

$$Q = Q_1 = Q_2$$

$$H = H_1 + H_2$$



برای تعیین هد کلی سیستم می‌توان در یک دبی ثابت مجموع هد پمپ‌ها را حساب کرده و یک نقطه از منحنی مشخصه کلی را به‌دست آورد. طبیعی است با پیدا کردن نقاط بیشتر، منحنی مشخصه کل سیستم قابل ترسیم است.



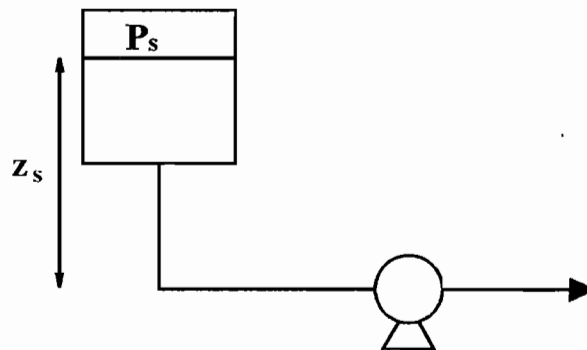
کاویتاسیون:

یکی از مشکلاتی که در پمپ‌های سانتریفوژ اتفاق می‌افتد کاویتاسیون است. اگر به هر دلیلی فشار در داخل پمپ از فشار بخار سیال کمتر شود قسمتی از مایع بخار شده و به شکل حباب در می‌آید. به این پدیده کاویتاسیون می‌گویند که مشکلات زیر را به وجود می‌آورد:

- (۱) مرکز جرم پمپ تغییر می‌کند و پمپ شروع به لرزش می‌نماید.
- (۲) با رخ دادن کاویتاسیون، هم دبی و هم هد پمپ به شدت کاهش می‌یابند.
- (۳) برخورد حباب به پمپ موجب ترکیدن حباب‌ها و در نتیجه خوردگی پمپ می‌شود که به این پدیده pitting یا حفره‌ای شدن می‌گویند.

NPSH (Net Positive Suction Head):

عبارت است از هد خالص مثبت در قسمت مکش که باید وجود داشته باشد تا پدیده کاویتاسیون رخ ندهد. با توجه به شکل NPSH را به دست می‌آوریم:



$$NPSH = \left(\frac{P_s - P_{vp}}{\rho g} \right) + Z_s - h_f$$

که در این رابطه P_{vp} فشار بخار سیال در شرایط مساله بوده و h_f کل تلفات بخش مکش می‌باشد.

تذکر: اگر مخزن مکش پایین‌تر از پمپ قرار داشته باشد، Z_s را با علامت منفی قرار می‌دهیم.

تست‌های فصل پنجم (پمپ و پمپاژ)

۱- در حالت جریان آرام Slurry های قابل ته‌نشینی:

- (۱) قابل پمپ کردن هستند.
(۲) قابل پمپ کردن نیستند.
(۳) اصلاً پمپ نمی‌شوند.
(۴) چنین سیالی وجود ندارد.
- حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۲- اگر عمل کاویتاسیون در یک پمپ صورت گیرد. در این صورت:

- (۱) دبی پمپ کم می‌شود.
(۲) هد پمپ کاهش می‌یابد.
(۳) دبی و هد هر دو کاهش می‌یابد.
(۴) بر روی هد تاثیر نمی‌گذارند.
- حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۳- پمپ‌ها وقتی به صورت سری بسته می‌شوند که هدف:

- (۱) افزایش هد و کاهش دبی باشد.
(۲) افزایش دبی و کاهش هد باشد.
(۳) افزایش دبی و افزایش هد باشد.
(۴) فقط افزایش هد منظور باشد.
- حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۴- همزن‌های با دور بالا برای مایعات:

- (۱) با ویسکوزیته بالا استفاده می‌شوند.
(۲) با ویسکوزیته پایین استفاده می‌شوند.
(۳) از نوع dilatant استفاده می‌شود.
(۴) هیچ کدام
- حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۵- Slurry عبارت است از:

- (۱) مایعی که دارای گازهای محلول در آن باشد.
(۲) مایعی که دارای ذرات جامد ریزمعلق در آن باشد.
(۳) گازی که دارای ذرات ریزمعلق در آن باشد.
(۴) مایعی که رفتارشان مانند گازها باشد.
- حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۶- در حالت Slurry قابل ته‌نشین ویسکوزیته مایع:

- (۱) تغییر می‌کند.
(۲) تغییر نمی‌کند.
(۳) افزایش می‌یابد.
(۴) صفر می‌باشد.
- حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۷- در جریان دو فازی مایع - جامد وقتی که ذرات قابل ته‌نشینی نباشند، ویسکوزیته مایع چه وضعیتی دارد؟

- (۱) کاهش می‌یابد.
(۲) تغییر می‌کند.
(۳) تابعی از افت فشار می‌شود.
(۴) تابعی از سرعت سیال می‌شود.
- حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۸ - پمپی روغنی به چگالی نسبی (S) را با راندمان 0.85 و شدت جریان $15 \frac{\text{lit}}{\text{s}}$ به ارتفاع 50 متر پمپاژ می کند. اگر توان موتور

پمپ (توان کلی) 7 KW باشد، چگالی نسبی روغن چقدر است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۷۷)

- (۱) 0.709 (۲) 0.75 (۳) 0.809 (۴) 0.825

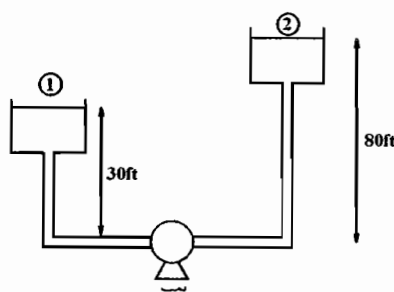
حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\gamma = S \times 9810 \quad \text{و} \quad \Delta P \cdot Q = \rho g h Q = \gamma h Q \quad \text{توان}$$

$$\text{توان} = S \times 9810 \times 50 \times 0.0015 = 73545 \text{ watt}$$

$$\eta = \frac{\text{توان مصرفی حالت ایده آل}}{\text{توان مصرفی واقعی}} \Rightarrow 0.85 = \frac{7354 \times S}{7000} \Rightarrow S = 0.809$$

۹ - آب در 100°F مطابق شکل از مخزن ۱ به مخزن ۲ پمپ می شود. اگر ارتفاع فشاری کل پمپ (Pump Head) برابر با 120 فوت باشد. مقدار کل ارتفاع اصطکاکی (Frictional Head) عبارت است از:



- (۱) 30 ft
(۲) 80 ft
(۳) 50 ft
(۴) 70 ft

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

با نوشتن معادله برنولی بین نقاط ۱ و ۲ داریم:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_p = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

$$P_1 = P_2 = P_{\text{atm}}, \quad V_1 = V_2 = 0 \rightarrow 30 + h_p = 80 + h_f$$

$$30 + 120 = 80 + h_f \rightarrow h_f = 70 \text{ ft}$$

۱۰ - آب 20°C به میزان 2 متر مکعب در دقیقه توسط پمپ در یک سیستم بسته به طور دایم جریان دورانی دارد. سیستم از 60 متر لوله صاف (Smooth) به قطر 5 سانتی متر تشکیل گردیده است. اگر راندمان پمپ 70 درصد فرض شود، قدرت پمپ چند وات می باشد؟ (گرانروی سینماتیک آب در این دما 10^{-6} مترمربع بر ثانیه فرض شود).

در مورد لوله های صاف رابطه بین عدد رینولدز و ضریب اصطکاک به صورت $f = \frac{0.316}{\text{Re}^{0.25}}$ می باشد.

- (۱) 31230.5 (۲) 43892.6 (۳) 85802.6 (۴) 94753.1

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$Q = VA \rightarrow V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = 17 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{U D}{\nu} = 849000 \quad \text{و} \quad f = \frac{0.316}{Re^{0.25}} = 0.0104$$

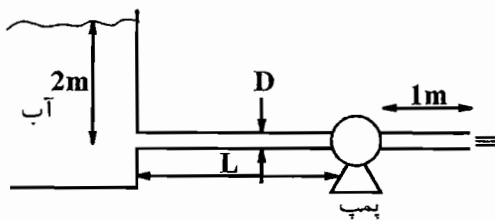
$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = (0.0104) \left(\frac{60}{0.05} \right) \left(\frac{17^2}{2 \times 9.8} \right) = 184 \text{ m}$$

$$\text{توان} = \gamma Q h \quad \text{و} \quad Q = 2 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 0.03 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

$$\text{توان} = (9810)(0.03)(184) = 59600 \text{ watt}$$

$$\eta = \frac{\text{توان ایده‌آل}}{\text{توان واقعی}} \quad \text{توان واقعی} = \frac{59600}{0.7} = 85802 \text{ watt}$$

۱۱ - در شکل مقابل $L=1000 \text{ m}$ و $D=0.1 \text{ m}$ و ضریب اصطکاک $f=0.03$ و دبی حجمی $Q=\frac{\pi}{400} \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$ است. ارتفاع (Head)



پمپ برابر است با:

(۱) 13.35 m - است.

(۲) 1.335 m است.

(۳) 13.35 m است.

(۴) از لحاظ عملی غیرممکن است.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

بین سطح آزاد مایع در مخزن (نقطه ۱) و خروجی از پمپ (نقطه ۲) برنولی می‌نویسیم:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_p = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

$$P_1 = P_2 = P_{\text{atm}}, \quad V_1 = 0$$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = (0.03) \left(\frac{1001}{0.1} \right) \left(\frac{1^2}{2 \times 9.81} \right) = 15.32 \text{ m}$$

$$V_2 = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Z_1 + h_p = \frac{V_2^2}{2g} + h_f \rightarrow 2 + h_p = \frac{1}{2 \times 9.81} + 15.32 \rightarrow h_p = 13.32 \text{ m}$$

۱۲ - سیالی با دبی Q (زمان / حجم) در لوله‌ای با قطر D حرکت می‌نماید. اگر افت فشار در لوله ΔP باشد، قدرت پمپ برای انتقال سیال عبارت‌اند از:

(۴) هیچ‌کدام

(۳) $\frac{\Delta P}{\tau_w} Q$

(۲) $Q |\Delta P|$

(۱) $\frac{Q}{|\Delta P|}$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۱۳ - هد (Head) یک پمپ بر اساس رابطه برنولی ۵ متر به دست آمده است. اگر میزان جریان آب از این پمپ ۲۰ کیلوگرم بر ثانیه

باشد، توان پمپ چند وات خواهد بود؟ $\left(g=9.81 \frac{m}{s^2}\right)$

۹۸۱۰ (۴)

۹۸۱ (۳)

۹.۸۱ (۲)

۰.۹۸۱ (۱)

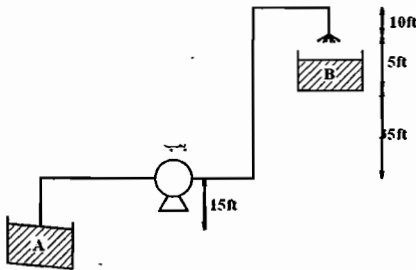
حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\text{توان} = Q \cdot \Delta P = Q \cdot \rho g h = \dot{m} g h$$

$$\text{توان} = (20)(9.81)(5) = 981 \text{ W}$$

۱۴ - بنزین در سیستم زیر از مخزن A به مخزن B توسط یک پمپ انتقال پیدا می نماید. ارتفاع استاتیک تخلیه

(Discharge Static Head) پمپ عبارت است از:



۱۵ ft (۱)

۴۰ ft (۲)

۳۵ ft (۳)

۵۰ ft (۴)

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

برای محاسبه ارتفاع استاتیک باید بالاترین نقطه را در نظر گرفت.

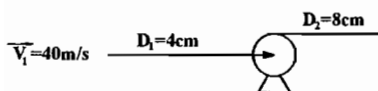
۱۵ - بازده تلمبه شکل ۷۰٪ است. اگر تلمبه فشار آب را ۸۰۰ Kpa افزایش دهد، توان مورد نیاز آن چند کیلو وات می باشد؟

۳.۵۷ (۲)

۲.۵ (۱)

۵۷.۱۴ (۴)

۴۰.۰۰ (۳)



حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$Q = V_1 A_1 = V_1 \left(\pi \frac{D_1^2}{4} \right) = 40 \left(\pi \times \frac{(0.04)^2}{4} \right) = 0.05 \frac{m^3}{sec}$$

$$\text{توان} = Q \cdot \Delta P = (0.05)(800) \text{ Kwatt} \rightarrow \text{توان} = 40 \text{ KW}$$

$$\eta = \frac{\text{توان ایده‌ال}}{\text{توان واقعی}} \rightarrow \text{توان واقعی} = \frac{40}{0.7} = 57.4 \text{ KW}$$

۱۶ - زمانی که برای سیال ورودی به پمپ، مجموع هد فشار و هد سرعت کوچک تر از هد فشار بخار مایع باشد، چه اتفاقی رخ

(بیوتکنولوژی سراسری ۸۱)

می دهد؟

(۲) راندمان پمپ بیشتر می شود.

(۱) مقدار دبی در پمپ افزایش می یابد.

(۴) پدیده کاویتاسیون اتفاق می افتد.

(۳) کاویتاسیون در پمپ اتفاق می افتد.

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

۱۷ - تکمیل جمله مقابل با کدام گزینه صحیح است؟ عامل کاویتاسیون می باشد.

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی حفاری و استخراج نفت ۷۹ و دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی مکانیک)

- تبدیل انرژی و طراحی کاربردی ۷۹ و مهندسی شیمی - مخازن هیدروکربوری (۸)

- (۱) فشار بالا (۲) سرعت بالا (۳) فشار پایین (۴) فشار پایین بارومتر

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

۱۸ - پمپی در بالای تانک آب به فاصله ۶ متر تعبیه شده است. اگر فشار بخار آب ۲ متر و تلفات بخش مکش ۵ متر باشد، حداقل

فشار بخش مکش چند متر بایستی باشد تا کاویتاسیون رخ ندهد؟

- (۱) 1 (۲) 3 (۳) 9 (۴) 13

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

از آن جا که مخزن مکش پایین پمپ قرار دارد Z_s با علامت منفی به کار می رود:

$$NPSH = \frac{P_s - P_v}{\gamma} - Z_s - h_{fs} > 0$$

$$\frac{P_s}{\gamma} - 2 - 6 - 5 > 0 \rightarrow \frac{P_s}{\gamma} > 13$$

پس حداقل فشار بخش مکش می تواند ۱۳ متر باشد.

۱۹ - یک توربین با قدرت ۶۰۰ hp می چرخد و آب با شدت حجمی $21.5 \frac{ft^3}{s}$ از آن عبور می کند. اگر راندمان توربین ۸۷٪ باشد،

چه ارتفاعی از آب (Head) بر حسب فوت بر روی توربین قرار دارد؟ (آزمون کارشناسی ارشد مهندسی شیمی ۷۵)

- (۱) 283 (۲) 238 (۳) 328 (۴) 832

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$1hp = 550 \frac{ft \cdot lb_f}{sec} \rightarrow 600hp = 33 \times 10^4 \frac{ft \cdot lb_f}{sec}$$

$$\dot{m} = \rho Q = 62.4 \times 21.5 = 1341.6 \frac{lb_m}{sec}$$

$$W = \frac{P}{\dot{m}} = \frac{33 \times 10^4}{1341.6} = 245.97 \frac{ft \cdot lb_f}{lb_m}$$

$$W = z \frac{g}{g_c} \Rightarrow Z = 245.97 ft$$

اما تمام محاسبات تا این جا بر این اساس بوده که راندمان ۱۰۰٪ باشد.

در صورت مساله قید شده که راندمان توربین ۸۷٪ است. پس ارتفاع سیال بالای توربین باید از ۲۴۵.۹۷ ft بیشتر باشد:

$$Z_{واقعی} = \frac{245.97}{0.87} = 283 ft$$

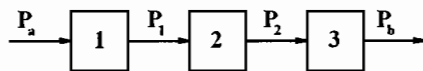
۲۰ - به وسیله یک کمپرسور چند مرحله‌ای هوا از فشار 14 psia به فشار 900 psia کمپرس می‌شود. اگر قدرت تمام کمپرسورها برابر و تعداد مراحل 3 باشد، قدرت کمپرس هر مرحله چه مقدار است؟ (بیوتکنولوژی سراسری ۸۱)

(۱) 4

(۲) 29.46

(۳) 295.3

(۴) 300



حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$P_1 = \sqrt[3]{P_a^2 \cdot P_b} \rightarrow P_1 = 56.08 \text{ Psia}$$

$$P_2 = \sqrt[3]{P_a \cdot P_b^2} \rightarrow P_2 = 224.66 \text{ Psia}$$

$$\text{قدرت کمپرس مرحله 1} = \frac{56.08}{14} = 4$$

$$\text{قدرت کمپرس مرحله 2} = \frac{224.66}{56.08} = 4$$

$$\text{قدرت کمپرس مرحله 3} = \frac{900}{224.66} = 4$$

۲۱ - مقدار $0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ در فشاری معادل 30 متر آب وارد یک پمپ می‌گردد و با فشاری معادل 60 متر آب از آن خارج می‌گردد. هر گاه راندمان پمپ 70 درصد باشد و از تغییرات سرعت و ارتفاع صرف‌نظر گردد. توان موردنیاز پمپ چه مقدار است؟ (آزمون کارشناسی ارشد مهندسی معماری کشتی ۷۹)

(۴) 84KW

(۳) 42 KW

(۲) 29.4 KW

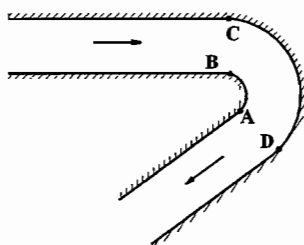
(۱) 4.3 KW

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$h_p = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} = \frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} = 60 - 30 = 30 \text{ m}$$

$$\text{توان} = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta} = \frac{Q \cdot \gamma \cdot h_p}{\eta} = \frac{0.1 \times 9.81 \times 10^3 \times 30}{0.7} = 42 \text{ KW}$$

۲۲ - آب از زانویی نشان داده شده در شکل زیر عبور می‌کند. اگر با افزایش جریان آب، پدیده کاویتاسیون در زانویی اتفاق افتد، احتمال شروع این پدیده در کدام یک از نقطه‌های نشان داده شده بیشتر است؟ (آزمون کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ۷۹)



(۱) A

(۲) B

(۳) C

(۴) D

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

در نقطه A جدایی رخ می‌دهد، بنابراین فشار سیال بسیار کاهش می‌یابد و ممکن است پدیده کاویتاسیون رخ دهد.

۲۳ - حداقل قدرت لازم برای پمپ آب با اختلاف فشار دوسر آن برابر 50 متر آب و دبی جرمی $2 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ بر حسب KW با فرض

$$g=10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

1 (۴)

10 (۳)

100 (۲)

1000 (۱)

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

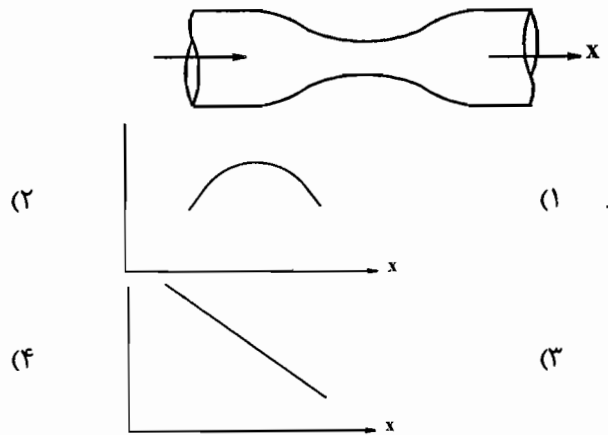
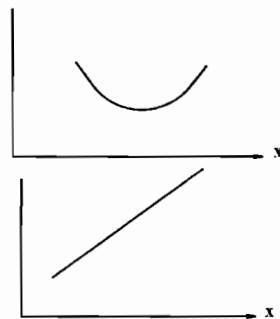
$$\text{توان} = \Delta P \cdot Q = \rho g h \cdot Q$$

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{2}{1000} = 0.002 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

$$\text{توان} = 1000 \times 9.81 \times 50 \times 0.002 = 1000 \text{ W} = 1 \text{ KW}$$

۲۴ - شکل کیفی فرضی تغییرات فشار درون وانتوری در جریان سیال غیر قابل تراکم کدام است؟

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (۸۱)

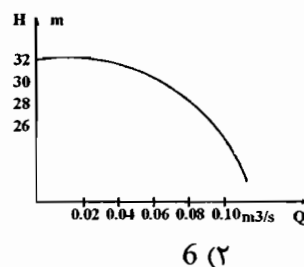
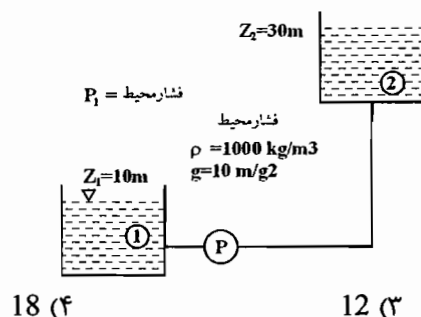


حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

۲۵ - در شکل، یک خط لوله آب را از منبع 1 به منبع 2 منتقل می کند. با توجه به مشخصات هندسی داده شده و با توجه به منحنی

عملکرد پمپ برای دبی حجمی 0.06 مترمکعب در ثانیه، اتلاف انرژی مکانیکی در خط و اتصالات چند کیلو وات است؟

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (۷۲)



18 (۴)

12 (۳)

6 (۲)

3 (۱)

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

با نوشتن معادله برنولی بین نقاط 1 و 2 داریم:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_p = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

$$P_1 = P_2 = P_{atm} \quad , \quad V_1, V_2 \approx 0$$

$$Z_1 + h_p = Z_2 + h_f$$

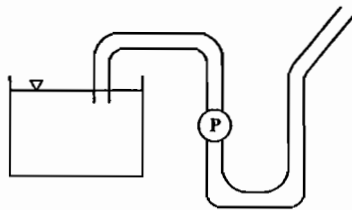
از روی نمودار برای دبی 0.06 m^3 ، $h_p = 30 \text{ m}$ به دست می آید.

$$10 + 30 = 30 + h_f \rightarrow h_f = 10 \text{ m} \quad (\text{اتلاف انرژی با واحد متر})$$

$$Q = 1000 \times 10 \times 10 \times 0.06 = 6000 \text{ watt} = 6 \text{ KW}$$

۲۶- در شکل زیر، پمپ سیال را به ارتفاع بالاتری می رساند. اگر هد پمپ 20 m ، قطر لوله 10 cm و ارتفاع خروجی از سطح آب 10 m باشد شار حجمی تخلیه را بر حسب $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ بیابید. از تلفات فرعی صرف نظر نمایید.

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی هوافضا ۸۱ و ۸۰، ۷۹، ۷۸)



(۱) صفر

(۲) 0.21

(۳) 0.11

(۴) 0.51

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

با نوشتن معادله برنولی بین سطح آزاد مایع در مخزن (نقطه ۱) و خروجی (نقطه ۲) داریم:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_p = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

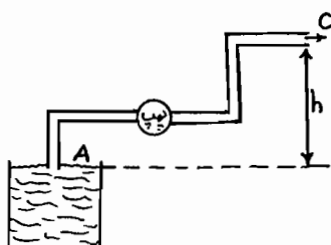
$$P_1 = P_2 = P_{atm} \quad , \quad V_1 \approx 0 \quad , \quad Z_2 - Z_1 = 10 \text{ m}$$

$$20 = \frac{V_2^2}{2 \times 9.81} + 10 \rightarrow V_2 = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = AV = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) V \rightarrow Q = \frac{\pi (0.1)^2}{4} \times 14 = 0.11 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

۲۷- پمپی آب را از مخزن A به خروجی C منتقل می نماید. اگر اصطکاک مسیر برابر $h_f = \frac{2V_C^2}{2g_c}$ ، قدرت پمپ $\eta_w = \frac{5V_C^2}{2g_c}$ و

سرعت خروجی $V_C = \frac{4 \text{ m}}{\text{sec}}$ باشد ارتفاع h را محاسبه نمایید. (مهندسی شیمی ۸۵)



(۱) $h = 1.63 \text{ m}$

(۲) $h = 3.26 \text{ m}$

(۳) $h = 1.63 \text{ m}$

(۴) $h = 2.448 \text{ m}$

حل : گزینه ۱ و ۳ صحیح می باشد.

با نوشتن رابطه برنولی بین نقاط C,A خواهیم داشت:

$$\frac{P_A}{\rho} + Z_A g + \frac{V_A^2}{2} + \eta W_p = \frac{P_C}{\rho} + Z_C g + \frac{V_C^2}{2} + h_f$$

با فرض $\begin{cases} V_A = Z_A = 0 \\ P_A = P_C = 0 \end{cases}$ و جایگذاری مقادیر معلوم خواهیم داشت:

$$0 + 0 + 0 + \frac{5V_C^2}{2} = gh + \frac{V_C^2}{2} + V_C^2 \rightarrow V_C^2 = gh$$

$$(4)^2 = 9.81h \rightarrow h = 1.63m$$

۲۸ - پمپی در مجاور یک مخزن قرار گرفته است. اگر هد فشار بر روی سیال مخزن 12m، هد تلفات بخش مکش 4m و هد فشار

بخار سیال 2m باشد، حداقل ارتفاع پمپ از مخزن چقدر باشد تا NPSH در بخش مکش پمپ 10m باشد؟

(۲) 4 متر پایین تر از مخزن نصب شود.

(۱) 4 متر بالای مخزن نصب شود.

(۴) 0.4 متر بالای مخزن نصب شود.

(۳) 0.4 متر پایین تر از مخزن نصب شود.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$NPSH = \left(\frac{P_s}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} \right) + Z_s - h_{f_s}$$

$$10 = 12 - 2 + Z_s - 4 \rightarrow Z_s = +4m$$

فصل ششم

جریان‌های خارجی

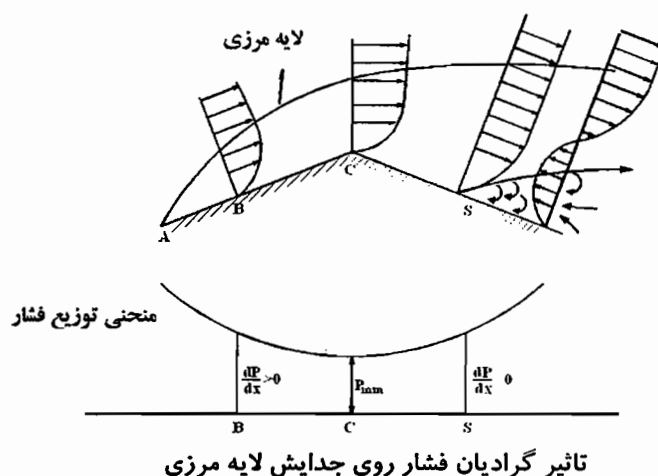
در فصل‌های گذشته سیالات را در داخل لوله‌ها، کانال‌ها، بین دو صفحه موازی و مورد بررسی قرار دادیم. در این فصل می‌خواهیم حرکت یک جسم را در داخل سیال بررسی کنیم. مانند حرکت یک هواپیما در هوا و یا حرکت یک زیر دریایی در دریا.

لایه مرزی در جریان خارجی و جدایش لایه مرزی:

وقتی یک جسم جامد در معرض حرکت سیالی قرار گیرد لایه نازکی به نام لایه مرزی در روی سطح جسم جامد تشکیل می‌شود. در لایه مرزی سرعت سیال از صفر (در سطح جسم جامد) تا سرعت جریان آزاد در خارج از لایه مرزی به طور پیوسته افزایش می‌یابد. لایه سیال مجاور جسم جامد در مقابل اصطکاک کار انجام می‌دهد. با انجام این کار سرعت سیال رو به کاهش می‌گذارد. در یک نقطه مشخص انرژی جنبشی (و در نتیجه سرعت) سیال به حدی کم می‌شود که دیگر قادر به غلبه بر نیروی مقاوم اعمال شده از سطح جسم جامد نمی‌باشد. در این شرایط لایه مرزی از سطح جسم جامد جدا می‌شود، که این پدیده را « جدایش لایه مرزی » می‌نامیم و نقطه‌ای که در آن لایه مرزی از سطح جسم جامد جدا می‌شود نقطه جدایش نام دارد.

تأثیر فشار در جدایی لایه مرزی:

تأثیر گرادیان فشار $\left(\frac{dP}{dx} \right)$ روی جدایش لایه مرزی با در نظر گرفتن جریان بر روی سطح انحنادار ABCSD در شکل قابل بررسی است. در ناحیه انحنادار ABC، سرعت سیال افزایش می‌یابد. این بدین معنی است که سیال در این ناحیه شتاب می‌گیرد. با توجه به افزایش سرعت سیال، فشار در راستای حرکت سیال کاهش یافته و بنابراین گرادیان فشار $\frac{dP}{dx}$ در این ناحیه منفی است.



در نقطه C فشار حداقل می‌باشد. در ناحیه انحنادار CSD سرعت سیال در راستای حرکت کاهش می‌یابد. به دلیل کاهش سرعت، فشار در راستای حرکت افزایش می‌یابد و بنابراین گرادیان فشار $\frac{dp}{dx}$ مثبت می‌باشد. بنابراین در ناحیه CSD، سرعت سیال در راستای حرکت کاهش یافته و فشار سیال در این ناحیه رو به افزایش می‌باشد. با کاهش سرعت سیال، انرژی جنبشی نیز کاهش یافته و مومنتوم نیز کاهش می‌یابد. لذا مومنتوم سیال دیگر قادر به غلبه بر مقاومت سطحی و لایه مرزی نبوده و جدایش از نقطه S آغاز می‌شود. در پایین دست جریان بعد از نقطه S جریان سیال معکوس شده و گرادیان سرعت منفی می‌شود.

مکان نقطه جدایش:

نقطه جدایی S با اعمال شرط زیر به دست می‌آید:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{y=0} = 0$$

برای یک پروفایل سرعت داده شده می‌توان گفت:

(a) اگر $\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{y=0} < 0$ باشد، بدین معنی است که جریان سیال جدا شده است.

(b) اگر $\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{y=0} = 0$ باشد، بدین معنی است که جریان سیال در آستانه جدایش است.

(c) اگر $\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{y=0} > 0$ باشد، بدین معنی است که جریان سیال جدا نخواهد شد.

به عنوان مثال برای پروفایل سرعت زیر می‌توان نوشت:

$$\frac{u}{U} = 2\left(\frac{y}{\delta}\right)^2 - \left(\frac{y}{\delta}\right)^3$$

$$u = 2U\left(\frac{y}{\delta}\right)^2 - U\left(\frac{y}{\delta}\right)^3$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = 2U \times 2\left(\frac{y}{\delta}\right) \times \frac{1}{\delta} - U \times 3\left(\frac{y}{\delta}\right)^2 \times \frac{1}{\delta}$$

$$y=0 \rightarrow \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{y=0} = 0$$

سیال در آستانه جدایش می‌باشد.

نیروی درگ و لیفت:

جسمی را در نظر بگیرید که در یک جریان از سیال قرار دارد. سیال نیرویی به جسم وارد می‌کند. مولفه این نیرو در امتداد جریان سیال را نیروی درگ و مولفه عمود بر جریان سیال را نیروی لیفت می‌نامیم. در این فصل به بررسی نیروی درگ می‌پردازیم.

نیروی درگ (Drag):

همان‌طور که گفته شد اگر جسمی در داخل سیالی حرکت کند و یا سیال از روی جسم حرکت کند (در هر دو حالت یک سرعت نسبی بین سیال و جسم وجود دارد)، از طرف سیال نیرویی در راستای حرکت به جسم وارد می‌شود که نیروی درگ نام دارد. به عبارت دیگر نیروی درگ به نوعی نیروی مقاوم در برابر حرکت است.

نیروی درگ خود از دو قسمت تشکیل می‌گردد نیروی درگ ناشی از شکل هندسی جسم و نیروی درگ ناشی از اصطکاک پوسته‌ای. درگ ناشی از شکل هندسی، در حقیقت ناشی از اختلاف فشاری است که به دلیل شکل هندسی در دو طرف جسم به وجود می‌آید. نیروی درگ ناشی از اصطکاک پوسته‌ای در حقیقت همان نیروی ناشی از اصطکاک بین سیال و جسم است.

برای یک حالت خاص یعنی حالتی که یک کره در جریان خزشی سیال قرار داشته باشد، (جریان خزشی حالتی است که هیچ گونه جدایی رخ ندهد و برای این منظور در مورد کره عدد Re باید کمتر از یک باشد). از روابط زیر می‌توان نیروی درگ را محاسبه کرد:

$$2\pi R\mu U = \text{نیروی درگ ناشی از شکل هندسی}$$

$$4\pi R\mu U = \text{نیروی درگ ناشی از اصطکاک پوسته‌ای}$$

بنابراین نیروی درگ کل برابر است با:

$$F_D = 2\pi R\mu U + 4\pi R\mu U = 6\pi R\mu U$$

ضریب درگ :

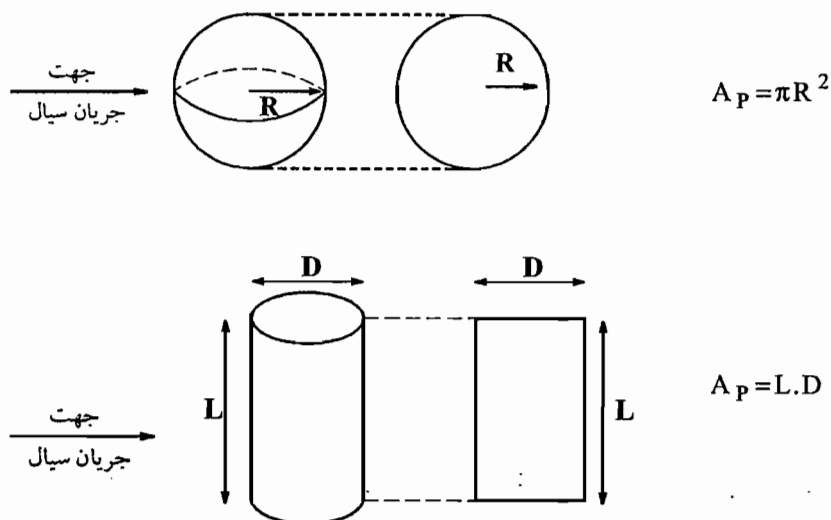
جهت شبیه‌سازی جریان‌های خارجی با جریان داخل لوله‌ها ضریب درگ (C_D) تعریف می‌شود. در جریان‌های داخلی ضریب اصطکاک تعریف شده و در جریان خارجی ضریب درگ مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$f = \frac{\tau_w}{\rho \bar{V}^2} \frac{2g_c}{\text{ضریب اصطکاک}}$$

$$C_D = \frac{F_D}{\rho \bar{V}^2} \frac{2g_c}{\text{ضریب درگ}}$$

$$F_D = C_D A_p \rho \frac{\bar{V}^2}{2}$$

$\bar{V}$ عبارت است از سرعت نسبی بین سیال و جسم، A_p عبارت است از مساحت تصویر جسم روی صفحه عمود بر جهت جریان سیال. بنابراین A_p برای یک کره به شعاع R برابر مساحت دایره‌ای به همان شعاع می‌باشد و A_p برای یک استوانه به ارتفاع L و قطر D ، برابر مساحت یک مستطیل به اضلاع D و L می‌باشد و A_p برای یک صفحه عمود بر جهت جریان برابر مساحت همان صفحه می‌باشد که این بحث‌ها در شکل زیر نمایش یافته است:

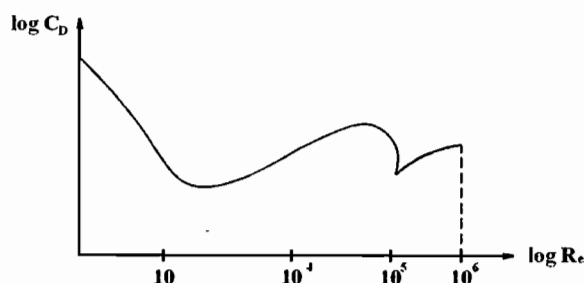


برای محاسبه F_D باید ضریب C_D را محاسبه کرد. برای حالت خاص جریان خزشی برای یک کره می توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad \text{برای کره در جریان خزشی}$$

و به طور کلی می توان گفت برای تمامی اجسام در حالت جریان خزشی C_D با $\frac{1}{Re}$ متناسب است.

اگر $\log C_D$ را بر حسب $\log Re$ برای یک کره که در جریان سیال قرار گرفته رسم کنیم خواهیم داشت:



همان طور که در نمودار معین است در جریان خزشی $\log C_D$ بر حسب $\log Re$ خطی با شیب -1 است:

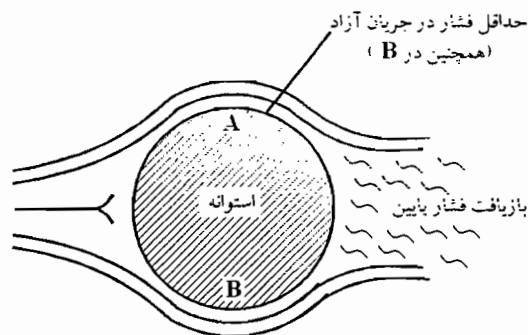
$$C_D = \frac{24}{Re} \Rightarrow \log C_D = \log 24 - \log Re$$

حال به بررسی نمودار نشان داده شده می پردازیم:

$Re < 1$: غیرمتلاطم است و نیروی دراگ را دراگ ناشی از تغییر شکل گویند.

$1 < Re < 10$: جریان خزشی است که در آن اثرات لزجی در سراسر جریان غالب بوده و دراگ کلاً اصطکاکی است. در این حالت C_D

بسیار زیاد است.



کاهش فشار در دنباله با نزدیک شدن نقطه جدایش به نقاط A , B

$Re=5 \times 10^3$: با افزایش عدد رینولدز، اثرات لزجت هر چه بیشتر به لایه مرزی محدود شده و ضریب دراگ C_D کاهش می‌یابد. در عدد رینولدز 5×10^3 شروع به افزایش می‌کند که این امر ناشی از پدیده جدایش است که به طرف بالا و پایین کره حرکت می‌کند. با وقوع جدایش فشار در ناحیه مرده کم و کمتر می‌شود و این به علت آن است که هر چه به بالا و پایین کره نزدیک‌تر شویم سرعت جریان اصلی بیشتر می‌شود و بر طبق معادله برنولی فشار جریان اصلی کم و کمتر می‌گردد. بنابراین هنگامی که آغاز جدایش به بالا و پایین کره نزدیک‌تر می‌شود، در پشت کره فشار کمتری ایجاد شده و در نتیجه دراگ بیشتر خواهد شد.

$10^5 < Re < 10^6$: در این محدوده منحنی دوباره به طور ناگهانی سقوط می‌کند.

توجه ۱: جدایش باعث افزایش نیروی دراگ می‌شود.

توجه ۲: باز زبر کردن دهانه هر جسم مثلاً یک کره، گذر از حالت آرام به متلاطم بسیار سریع رخ می‌دهد و امکان بروز جدایش فراهم نمی‌گردد. انتقال اندازه حرکت زیاد در لایه مرزی متلاطم باعث به تاخیر افتادن جدایش می‌گردد به گونه‌ای که جریان برگشتی اساساً کاهش می‌یابد و در نتیجه نیروی دراگ کل کاهش می‌یابد.

از روی نمودار معین است که بعد از ناحیه خزشی با افزایش عدد Re ، C_D کاهش می‌یابد، اما باید توجه کرد که F_D با افزایش عدد Re افزایش می‌یابد. چرا که F_D با توان دوم سرعت متناسب است، بنابراین با افزایش سرعت، عدد Re افزایش، C_D کاهش، ولی F_D افزایش می‌یابد.

کاربرد نیروی درگ: محاسبه ویسکوزیته سیال مجهول

جسمی را که در داخل سیالی سقوط می‌کند در نظر می‌گیریم. پس از مدتی جسم به یک سرعت ثابت (حرکت بدون شتاب) می‌رسد، که این سرعت را سرعت حد می‌نامند. از آن‌جا که حرکت در این حالت بدون شتاب است برآیند تمامی نیروها صفر است. نیروهایی که به جسم وارد می‌شود عبارت‌اند از نیروی وزن، نیروی دراگ و نیروی بویانسی. که نیروی وزن عامل حرکت جسم می‌باشد و نیروهای بویانسی و درگ با حرکت جسم مخالفت می‌کنند بنابراین:

$$\sum F = W - F_D - F_B = 0$$

اگر جسم کره‌ای به شعاع R ، به قطر D و به چگالی ρ_s در سیالی با ویسکوزیته μ ، چگالی ρ ، با سرعت حد u_0 در جریان خزشی در حال حرکت باشد آن‌گاه:

$$W = \rho_s V g = \rho_s \left(\frac{4}{3} \pi R^3 \right) g$$

$$F_B = \rho_{\text{سیال}} V g = \rho \left(\frac{4}{3} \pi R^3 \right) g$$

از جایگزین کردن این روابط در فرمول داریم:

$$F_D = 6 \pi \mu R u_0$$

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \rho_s g - \frac{4}{3} \pi R^3 \rho g - 6 \pi \mu R u_0 = 0$$

در این حالت اگر ویسکوزیته سیال مجهول باشد می‌توان آن‌را به‌دست آورد:

$$\mu = \frac{D^2 (\gamma_s - \gamma)}{18 u_0} \leftrightarrow u_0 = \frac{D^2 (\gamma_s - \gamma)}{18 \mu}$$

هم‌چنین نتیجه می‌شود در این حالت سرعت حد با توان دوم قطر ذره یعنی D نسبت مستقیم دارد:

$$u_0 \propto D^2$$

به‌طور کلی در مورد یک کره اگر در رابطه $W - F_B - F_D = 0$ نیروی درگ را با رابطه $F_D = C_D A_P \rho \frac{u^2}{2}$ جایگزین کنیم، خواهیم داشت:

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \rho_s g - \frac{4}{3} \pi R^3 \rho g - C_D A_P \rho \frac{u_0^2}{2} = 0$$

و در این حالت اگر سرعت حد مجهول باشد، می‌توان آن‌را به‌دست آورد:

$$u_0 = \sqrt{\frac{8 R g (\rho_s - \rho)}{3 C_D \rho}} = \sqrt{\frac{8 R (\gamma_s - \gamma)}{3 C_D \rho}} = \sqrt{\frac{4 D (\gamma_s - \gamma)}{3 C_D \rho}}$$

اگر در یک میدان خارجی (منظور میدانی خارج از کره زمین مثلاً در کره ماه یا...) که شتاب جاذبه میدان برابر a_e باشد، قرار داشته باشیم آن‌گاه:

$$W - F_D - F_B = 0$$

$$m \frac{a_e}{g_c} - C_D A_P \rho \frac{u_0^2}{2 g_c} - \frac{m}{\rho_s} \rho \frac{a_e}{g_c} = 0$$

و در این حالت می‌توان سرعت را به‌دست آورد:

$$u_0 = \sqrt{\frac{2ma_e(\rho_s - \rho)}{\rho\rho_s C_D A_P}}$$

اگر a_e را با $r\omega^2$ جایگزین کنیم (یا جسم در میدان سانتریفوژ باشد).

$$u_0 = \omega \sqrt{\frac{2m(\rho_s - \rho)}{\rho\rho_s C_D A_P}}$$

بنابراین در میدان سانتریفوژ سرعت حد با $\sqrt{r}$ متناسب است.

$$u_0 \propto \sqrt{r}$$

تست های فصل ششم (جریان های خارجی)

- ۱- ضریب دراگ (Drag) برای مایعی که بر روی جسم جامدی حرکت می کند تابعی است از: (مهندسی شیمی سراسری ۷۸)
 (۱) عدد فرود (۲) عدد وبر (۳) عدد فرود و رینولدز (۴) عدد رینولدز

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

- ۲- در سرعت حد اجسام کروی در حال سقوط کدام نیروها در حال تعادل می باشند؟ (مهندسی شیمی سراسری ۷۷)
 (۱) وزن و ویسکوزیته (۲) وزن و اینرسی (۳) اینرسی، ویسکوزیته و شناوری (بویانسی) (۴) وزن، چسبندگی (Drag) و شناوری (بویانسی)

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

- ۳- سرعت حد یک ذره کروی واقع در میدان سانتریفوژ:

- (۱) ثابت است. (۲) تابعی از شعاع دوران و مجموع جبری نیروها صفر است.
 (۳) ثابت و در این حالت قانون دوم نیوتن برقرار است. (۴) این حالت وجود ندارد و فقط تعادل نیروها برقرار است.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

- ۴- چگونگی تغییرات ضریب Drag (C_D) با Wake و عدد رینولدز (N_{Re}) مطابق کدام یک از حالات زیر است:

(مهندسی شیمی سراسری ۷۶)

- (۱) افزایش N_{Re} و کاهش Wake باعث کاهش Drag می شود.
 (۲) افزایش Wake باعث کاهش ضریب Drag می شود.
 (۳) افزایش N_{Re} باعث افزایش ضریب Drag می شود.
 (۴) افزایش N_{Re} و افزایش Wake باعث کاهش ضریب Drag می شود.

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

- ۵- در مورد سرعت حد در حرکت یک جسم در شتاب ثقل و شتاب دورانی کدام یک از گزینه های زیر صحیح می باشد؟

(مهندسی شیمی سراسری ۷۸)

- (۱) سرعت در طول حرکت ثابت و شتاب صفر می باشد.
 (۲) تعادل بین نیروهای وزن، شناوری و پسا (Drag) وجود دارد و شتاب صفر می باشد.
 (۳) نیروی وزن با نیروی پسا (Drag) برابر و شتاب صفر می باشد.
 (۴) نیروی وزن، نیروی شناوری و نیروی پسا (Drag) برابر بوده و شتاب صفر می باشد.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

۶ - پدیده جدایش (Boundary Layer Separation) جریان از جدار جامد زمانی روی می دهد که:

(مهندسی شیمی سراسری ۷۸)

- (۱) گرادیان سرعت در نقطه جدایش صفر می شود.
 (۲) سرعت در نقطه جدایش صفر می شود.
 (۳) فشار در نقطه جدایش صفر می شود.
 (۴) گرادیان فشار در نقطه جدایش صفر می شود.

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

۷ - کدام یک از تعاریف زیر در مورد لایه مرزی بر روی یک جسم صادق است؟

(مهندسی شیمی سراسری ۷۹)

- (۱) ناحیه ای است که در آن جریان آرام باشد.
 (۲) ناحیه ای است که در آن سرعت یکنواخت باشد و تغییر نکند.
 (۳) ناحیه ای است که در آن نیروی ناشی از ویسکوزیته مهم نباشد.
 (۴) ناحیه ای است که به خاطر وجود آن جسم، سرعت در آن تحت تاثیر قرار می گیرد.

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

۸ - هنگام عبور سیال از روی یک سطح جامد، جدایی لایه مرزی و ایجاد جریان برگشتی (wake) چه زمانی اتفاق می افتد؟

(مهندسی شیمی سراسری ۷۹)

- (۱) $\frac{dp}{dx} > 0$
 (۲) $\frac{dp}{dx} = 0$
 (۳) $\frac{dp}{dx} < 0$
 (۴) در هیچ یک از این حالات ایجاد نمی شود.

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

۹ - بر اساس قانون استوک سرعت سقوط آزاد یک ذره با قطر d_p متناسب است با:

(مخازن هیدروکربوری سراسری ۷۷)

- (۱) d_p^3 (۲) d_p (۳) d_p^2 (۴) $\sqrt{d_p}$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

۱۰ - بر اساس قانون استوک، سرعت سقوط یک ذره کروی با قطر d_p در داخل یک سیال با کدام گزینه متناسب است؟

- (۱) d_p (۲) d_p^2 (۳) $\frac{1}{d_p^2}$ (۴) d_p^3

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

۱۱ - در ته نشینی ذرات کدام یک از نیروها دخالت دارد؟

- (۱) نیروی وزن
 (۲) نیروی drag
 (۳) نیروی (Bouyant force) بویانسی
 (۴) نیروی فشاری

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

نیروهای بویانسی و دراگ نیروهای مقاوم در برابر حرکت هستند و نیروی وزن عامل حرکت است.

۱۲ - ضریب دراگ (Drag) مایعی که بر روی جسم جامدی حرکت می‌کند تابعی است از:

- (۱) عدد فرود (۲) عدد وبر (۳) عدد رینولدز (۴) عدد فرود و عدد رینولدز

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۱۳ - دو گلوله کرووی از یک جنس و با نسبت قطرهای $\frac{d_1}{d_2}=2$ درون هوا به آرامی سقوط می‌کنند. نسبت سرعت‌های سقوط برابر

است با:

- (۱) $\frac{u_1}{u_2}=1$ (۲) $\frac{u_1}{u_2}=2$ (۳) $\frac{u_1}{u_2}=4$ (۴) $\frac{u_2}{u_1}=1.4$

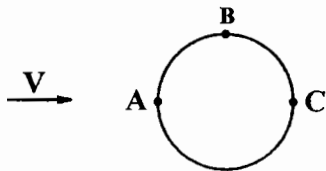
حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$u_t \propto D^2$$

$$\frac{u_{t2}}{u_{t1}} = \frac{D_2^2}{D_1^2} = \frac{1}{4} \rightarrow \frac{u_{t1}}{u_{t2}} = 4$$

(بیوتکنولوژی سراسری ۸)

۱۴ - با توجه به شکل مقابل کدام رابطه صحیح است؟



- (۱) $P_A > P_B$
(۲) $P_A = P_B$
(۳) $P_A < P_C$
(۴) $P_A = P_C$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۱۵ - در جریان معکوس (حرکت سیال در خلاف جهت جریان) کدام یک از روابط ذیل برای شیب فشار صحیح است؟

- (۱) $\frac{\partial P}{\partial x} < 0$ (۲) $\frac{\partial P}{\partial x} > 0$ (۳) $\frac{\partial P}{\partial x} = 0$ (۴) هیچ کدام

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۱۶ - اگر جریانی از سیال نیرویی معادل 100 KN به سطحی به مساحت 25 m^2 وارد سازد و ضریب دراگ 40 باشد، انرژی جنبشی

(مخازن هیدروکربوری سراسری ۸۰)

سیال چقدر خواهد بود؟

- (۱) $25 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$ (۲) $50 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$ (۳) $75 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$ (۴) $100 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$F_D = C_D \rho \frac{U^2}{2} A_P \rightarrow \rho \frac{U^2}{2} = \frac{F_D}{C_D A_P} = \frac{100 \times 10^3}{40 \times 25} = 100 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$$

۱۷ - سرعت حد ذره‌ای کروی به قطر 10 میکرون و چگالی $1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ که در هوای 20°C سقوط می‌کند چقدر است؟ (ویسکوزیته

هوا $1.8 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{sec}$) (مهندسی شیمی سراسری ۸۱)

(۴) $1.8 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

(۳) $3.6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

(۲) $1.8 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$

(۱) $3.6 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$u_o = \frac{g D^2 (\rho_s - \rho)}{18 \mu} \xrightarrow{\rho_s \gg \rho} u_o = \frac{g D^2 \rho_s}{18 \mu}$$

$$u_o = \frac{9.8 (10 \times 10^{-6})^2 (1200)}{18 (1.8 \times 10^{-5})} = 3.6 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{sec}} = 3.6 \frac{\text{mm}}{\text{sec}}$$

۱۸ - روغنی با ویسکوزیته 20 CP از روی کره جامدی به قطر 2 Cm با سرعت $1 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$ عبور می‌کند. نیروی وارد شده بر کره در

جهت حرکت سیال (حرکت افقی سیال) برابر با چند (N) است؟

(۴) 0.03768

(۳) 0.00942

(۲) 0.0942

(۱) 9.42

حل : هیچ کدام از گزینه‌ها صحیح نمی‌باشد.

چون دانسیته روغن داده نشده است، محاسبه عدد رینولدز امکان‌پذیر نیست.

۱۹ - یک ذره کروی شکل با قطر D و دانسیته ρ_s در یک سیال که دانسیته آن ρ و ویسکوزیته آن μ می‌باشد با سرعت ثابت v_t

حرکت می‌نماید. ضریب دراگ (Drag) برای ذره عبارت‌اند از:

(۲) $\frac{D^2 (\rho_s - \rho) g}{(18 v)}$

(۱) $\frac{4 D g (\rho_s - \rho)}{(3 \rho v^2)}$ (توجه : شتاب ثقل = g)

(۴) هیچ کدام

(۳) $16 Re$ (توجه : عدد رینولدز = Re)

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$u_o = \sqrt{\frac{8 R g (\rho_s - \rho)}{3 C_D \rho}} = \sqrt{\frac{4 D g (\rho_s - \rho)}{3 C_D \rho}} \rightarrow C_D = \frac{4 D g (\rho_s - \rho)}{3 \rho u_o^2}$$

۲۰ - کدام یک از جملات زیر صحیح نیست؟

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی حفاری و استخراج نفت ۷۹ و دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - مخازن هیدروکربوری ۸۱)

(۱) در Wake فشار بازیافت نمی‌شود و در نتیجه Pressure drag به وجود می‌آید.

(۲) کاستن Wake سبب کاهش Pressure drag می‌شود.

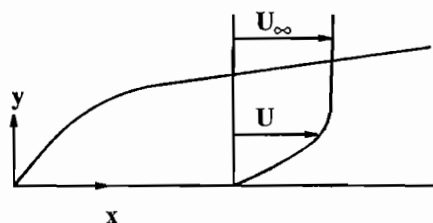
(۳) در حالت کلی drag شامل هم skin friction و هم pressure drag می‌باشد.

(۴) با حذف separation از روی جسم می‌توان skin friction را تقلیل داد.

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۲۱- اگر پروفیل سرعت در جریان لامینار بر روی یک صفحه تخت به صورت زیر ارائه شده باشد که $\eta = \frac{y}{\delta}$ است. در این صورت

تنش برشی بر روی دیواره برابر است: $\frac{u}{u_{\infty}} = 2\eta - \eta^2$ (آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی ۸۰)



$$\tau = \frac{2\mu u_{\infty}}{\delta} \quad (۲)$$

$$\tau = -2\mu u_{\infty} \quad (۴)$$

$$\tau = \frac{-2\mu u_{\infty}}{\delta} \quad (۱)$$

$$\tau = 2\mu u_{\infty} \quad (۳)$$

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\tau_w = \mu \frac{\partial U}{\partial y} = \mu U_{\infty} \frac{\partial}{\partial y} (2\eta - \eta^2) = \mu U_{\infty} \frac{\partial}{\partial y} \left(2 \frac{y}{\delta} - \frac{y^2}{\delta^2} \right) = \mu U_{\infty} \left(\frac{2}{\delta} - \frac{2y}{\delta^2} \right)$$

$$y=0 \rightarrow \tau_w = \frac{2\mu U_{\infty}}{\delta}$$

۲۲- قانون استوکس، نیروی وارده بر یک کره به شعاع R را به وسیله یک جریان که با سرعت U_0 به آن نزدیک می‌شود به صورت

$F = 6\pi R_0 \mu u_0$ ارائه می‌دهد. با توجه به تعریف ضریب اصطکاک رابطه بین f و عدد رینولدز به صورت زیر است:

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی ۸۰)

$$f = \frac{24}{Re} \quad (۴)$$

$$f = \frac{32}{Re} \quad (۳)$$

$$f = \frac{64}{Re} \quad (۲)$$

$$f = \frac{16}{Re} \quad (۱)$$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۲۳- وجود لایه مرزی در حرکت سیال بر روی یک صفحه صاف و ساکن ناشی از است.

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی ۸۰)

(۲) دانسیته سیال

(۴) توربولانس (Turbulence)

(۱) نیروی ثقل

(۳) ویسکوزیته سیال

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۲۴- ذره‌ای بدون سرعت اولیه در سطح سیال رها می‌شود. در صورتی که دانسیته سیال بزرگ‌تر از دانسیته ذره باشد، نیروی Drag

وارد بر ذره کدام است؟ (آزمون کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی ۸۰)

(۱) صفر

(۲) مجموع نیروی وزن و نیروی ارشمیدس

(۳) تفاضل نیروی وزن و نیروی ارشمیدس

(۴) تفاضل نیروی وزن و مجموع نیروهای ارشمیدس و نیروی موثر در اثر تغییرات سرعت در زمان

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۲۵- برای حرکت سیال بر روی یک صفحه تخت پروفیل سرعت به صورت زیر ارایه شده است که در آن $\eta = \frac{Y}{\delta}$ (ضخامت لایه

$$\frac{u}{u_{\infty}} = C_1 \eta + C_2 \eta^3 \text{ را به دست آورید. } C_1, C_2 \text{ های ثابت های}$$

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی ۸۰)

$$C_1 = \frac{1}{2}, \quad C_2 = \frac{1}{2} \quad (۲)$$

$$C_1 = \frac{1}{2}, \quad C_2 = \frac{3}{2} \quad (۱)$$

$$C_1 = \frac{3}{2}, \quad C_2 = \frac{3}{2} \quad (۴)$$

$$C_1 = \frac{3}{2}, \quad C_2 = -\frac{1}{2} \quad (۳)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

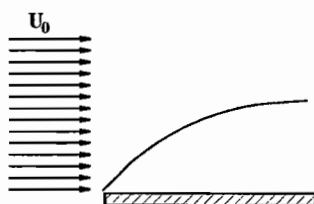
$$\text{شرایط مرزی} \begin{cases} y=\delta & u=u_{\infty} \Rightarrow 1=C_1+C_2 \\ y=\delta & \frac{\partial u}{\partial y}=0 \Rightarrow C_1+3C_2=0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_1+C_2=1 \\ C_1+3C_2=0 \end{cases} \Rightarrow C_1=\frac{3}{2}, \quad C_2=-\frac{1}{2}$$

۲۶- هوا با سرعت $7.2 \frac{ft}{s}$ در $100^{\circ}F$ روی سطح مستوی به عرض $1ft$ جریان دارد. ضخامت لایه مرزی را در فاصله $1ft$ از لبه

جلویی سطح محاسبه کنید.

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی حفاری و استخراج نفت ۷۹ و دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - مخازن هیدروکربوری ۸۱)



$$0.025 \quad (۱)$$

$$0.0025 \quad (۲)$$

$$0.25 \quad (۳)$$

$$\text{هیچ کدام} \quad (۴)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$Re = \frac{\rho U X}{\mu} = \frac{U X}{\nu}$$

$$Re = \frac{7.2 \times 1}{1.8 \times 10^{-4}} = 4 \times 10^4 < 10^5 \rightarrow \text{جریان آرام است}$$

$$\frac{\delta}{x} = \frac{5}{\sqrt{Re}} \rightarrow \delta = \frac{5}{\sqrt{4 \times 10^4}} = 0.025 ft$$

۲۷- در لایه مرزی حرکت سیال در داخل کانال کدام عبارت در مورد تغییرات فشار صحیح است؟

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - مخازن هیدروکربوری ۷۷)

(۱) هم در جهت حرکت سیال و هم عمود بر حرکت سیال ناچیز است.

(۲) هم در جهت حرکت سیال و هم عمود بر حرکت سیال قابل توجه می باشند.

(۳) در جهت حرکت سیال ناچیز است.

(۴) در جهت عمود بر حرکت سیال ناچیز است.

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

۲۸ - سرعت حد سقوط برای گلوله ای فولادی $\left(\gamma = 12000 \frac{N}{m^3} \right)$ به قطر 4 میلی متر در داخل یک روغن $\left(\gamma = 9000 \frac{N}{m^3} \right)$ ، 2.58 متر بر ثانیه گزارش شده است. گرانشی روغن در سیستم بین المللی واحدها برابر است با.....

(مهندسی شیمی سراسری ۷۶)

- (۱) 1.033×10^{-3} (۲) 1.033×10^{-6} (۳) 3.84×10^{-5} (۴) 3.84×10^{-6}

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\mu = \frac{D^2 (\gamma_s - \gamma)}{18 u_0} = \frac{(0.004)^2 (12000 - 9000)}{18 \times (2.58)} = 1.0 \times 10^{-3} \frac{N \cdot Sec}{m^2}$$

۲۹ - نیروی کشش (Drag) وارده بر یک دودکش استوانه ای به بلندی 80 m و به قطر 10 m بر حسب نیوتن کدام است؟

سرعت باد (در دمای $T = 15^\circ C$) $33.3 \frac{m}{s}$ ، $\rho_{air} = 1.226 \frac{kg}{m^3}$ ، $C_D = 0.34$ می باشند. (مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

- (۱) 18489.2 (۲) 1848.92 (۳) 92.446 (۴) 184892

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$F_D = C_D \frac{\rho U^2}{2} A_P \quad , \quad A_P = 8 \times 10 = 800$$

$$F_D = (0.34) \frac{(1.226)(33.3)^2}{2} (800) = 184892 N$$

۳۰ - هوا از روی سطحی به طول 10 m و به عرض 3 m با سرعت $3 \frac{m}{s}$ در جریان است. اگر ضریب نیرو $C_f = \frac{1.33}{\sqrt{Re}}$ ، $\rho = 1.2 \frac{kg}{m^3}$

و $v = 1.6 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$ باشد، نیروی مقاومت (Drag) چند نیوتن می باشد؟ (مهندسی شیمی سراسری ۷۷)

- (۱) 0.068 (۲) 0.086 (۳) 0.156 (۴) 0.576

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$Re = \frac{UX}{v} = 1.25 \times 10^6$$

$$C_f = \frac{1.33}{\sqrt{1.25 \times 10^6}} = 1.189 \times 10^{-3}$$

$$F_D = C_D \frac{\rho U^2}{2} A_P \Rightarrow F_D = 0.086 N$$

۳۱ - در دو آزمایش مختلف، نیروی پسا (Drag) بر روی دو صفحه به طول $L_1 = L$ و $L_2 = 2L$ اندازه گیری شده است. اگر شرایط

جریان در هر دو آزمایش یکسان و لایه ای باشد، کدام یک از عبارات زیر صحیح می باشد؟ (نیروی F_1 مربوط به صفحه با طول L_1

و نیروی F_2 مربوط به صفحه با طول L_2 می باشد.) (آزمون کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ۷۲)

- (۱) $\frac{F_1}{F_2} = 1$ (۲) $\frac{F_1}{F_2} > \frac{1}{2}$ (۳) $\frac{F_1}{F_2} < \frac{1}{2}$ (۴) $\frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{2}$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$F_D = C_D \cdot A_p \cdot \rho \frac{V^2}{2} \rightarrow F_D \propto A_p \cdot C_D$$

اگر عرض هر دو صفحه یکسان باشد و با توجه به این که $C_D \propto \frac{1}{Re}$ می توان نوشت:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{L_1 \times b}{L_2 \times b} \times \frac{\frac{1}{L_1}}{\frac{1}{L_2}} \xrightarrow{L_2 = 2L_1} \frac{F_1}{F_2} = 1$$

۳۲- چنان چه زبری سطح یک توپ را افزایش دهیم ممکن است منجر به کاهش نیروی دراگ شود، زیرا جریان لایه مرزی.....
(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ۷۵ دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی محیط زیست ۷۸ و ۷۳)

- (۱) روی توپ در نقطه ای عقب تر مغشوش شده و باعث کاهش اصطکاک می شود.
- (۲) روی توپ در نقطه ای جلوتر مغشوش شده و این باعث عقب افتادن نقطه جدایی جریان می شود.
- (۳) روی توپ در نقطه ای جلوتر مغشوش شده و این باعث جلو افتادن نقطه جدایی جریان می شود.
- (۴) سریع تر رشد کردن و افزایش ضخامت لایه مرزی باعث کاهش دراگ می شود.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

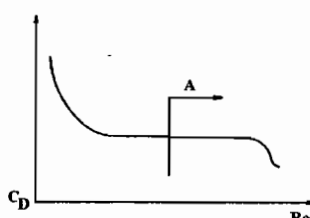
هر چه نقطه جدایی عقب تر باشد، نیروی دراگ کمتر است و زبری نیز موجب درهم شدن جریان می شود و نقطه جدایی را عقب می راند.

۳۳- کدام یک از بیان های زیر صحیح است؟ (آزمون کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ۶۹)

- (۱) شرط لازم و کافی برای جدا شدن لایه مرزی وجود گرادیان فشار در جریان است.
- (۲) شرط لازم برای جدا شدن لایه مرزی وجود گرادیان فشار در جریان است.
- (۳) شرط لازم برای جدا شدن لایه مرزی افزایش فشار در جهت جریان است.
- (۴) شرط لازم و کافی برای جدا شدن لایه مرزی افزایش فشار در جهت جریان است.

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

۳۴- در شکل تغییرات C_D (Drag Coefficient) برای جریان بر روی استوانه را ملاحظه می نمایید. علت ثابت ماندن تقریبی C_D با تغییرات عدد Re از حالت A به بعد
(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ۷۵)



- (۱) اثر ناصافی های سطح جانبی لوله است.
- (۲) جدا شدن لایه مرزی مغشوش تشکیل شده روی استوانه است.
- (۳) جدا شدن لایه مرزی آرام تشکیل شده روی استوانه است.
- (۴) مغشوش شدن لایه مرزی تشکیل شده روی استوانه است.

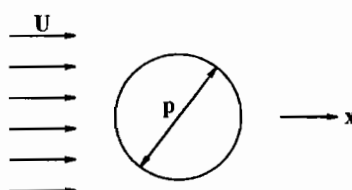
حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

۳۵- کدام عبارت در مورد افزایش زبری سطح بدنه اجسام درست است؟ (آزمون کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ۷۷)

- (۱) ضریب دراگ را افزایش می دهد.
- (۲) ضریب دراگ را کاهش می دهد.
- (۳) با توجه به شرایط دیگر می تواند منجر به کاهش و یا افزایش ضریب دراگ C_D گردد.
- (۴) اثری بر ضریب دراگ C_D ندارد.

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

۳۶- نیروی اعمال شده به سیلندری که مقطع آن در شکل نشان داده شده است و در جریان یک سیال ایده آل قرار دارد، در جهت x بر واحد طول سیلندر :



- (۱) با طول سیلندر متناسب است.
- (۲) برابر صفر است.
- (۳) با افزایش قطر سیلندر اضافه می شود.
- (۴) تابعی از سرعت جریان سیال می باشد.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

۳۷- شرایط جدایی جریان در صورتی که x ، جهت جریان و y ، عمود بر x باشد، عبارت است از:

(آزمون کارشناسی مهندسی معماری کشتی ۸۱)

$$\begin{array}{ll} \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial x} > 0 & (۲) \\ \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=\delta} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial x} > 0 & (۴) \end{array} \quad \begin{array}{ll} \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial x} < 0 & (۱) \\ \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=\delta} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial x} < 0 & (۳) \end{array}$$

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

۳۸- نیروی پسا (Drag) وارد بر یک کره با سطح زیر مساوی F_1 و با سطح صاف مساوی F_2 است، کدام گزینه درست است؟

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ۷۹)

- (۱) در تمام مقادیر عدد رینولدز F_2 از F_1 بزرگ تر است.
- (۲) در تمام مقادیر عدد رینولدز F_2 از F_1 کوچک تر است.
- (۳) در تمام مقادیر عدد رینولدز F_2 مساوی F_1 است.
- (۴) در بعضی از مقادیر عدد رینولدز F_2 از F_1 بزرگ تر است.

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

(مهندسی هسته‌ای سراسری ۷۸)

۳۹ - وقتی جدایی (Separation) اتفاق می‌افتد که:

- (۱) سرعت سیال به حداکثر ممکن افزایش می‌یابد.
- (۲) فشار سیال به می‌نیمم ممکن کاهش یابد.
- (۳) فشار سیال در امتداد جریان کاهش یابد و سرعت سیال جداره افزایش یابد.
- (۴) فشار سیال در امتداد جریان سیال افزایش یابد و سرعت سیال نزدیک جداره صفر باشد.

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

البته باید توجه شود که گرادیان سرعت نزدیک دیواره باید برابر صفر باشد تا جدایش اتفاق افتد، چرا که سرعت سیال روی دیواره همواره برابر صفر است.

فصل هفتم

آنالیز ابعادی و اعداد بی بعد

یکی از ابزارهای اساسی مکانیک سیالات مدرن استفاده از روش آنالیز ابعادی است. در مواردی که نمی توان از طریق ریاضی خصوصیات جریان یک سیال را بررسی نمود، استفاده از روش های تحلیلی تئوری و آزمایشات تجربی روشی مناسب است و استفاده از روش آنالیز ابعادی و گروه های بی بعد جهت کاهش تعداد متغیرها برای یک آزمایش، طراحی مدل جهت انجام آزمایشات بر روی آن و لرایه معادلات لازم و تبدیل یک سیستم واحد به سیستم دیگر مفید است.

به طور کلی آنالیز ابعادی تعداد متغیرهای یک مساله را کاهش می دهد. این کار در طرح مدل روش های آزمایش بر روی آن به ما کمک می کند. با استفاده از مدل های کوچک و ارزان (Model) می توان عملکرد نمونه اصلی را (Prototype) پیش بینی نمود.

آنالیز ابعادی با دو روش قابل انجام است:

۱) روش Rayleigh

۲) روش Buckingham - π

روش Rayleigh :

این روش را با یک مثال توضیح می دهیم.

مثال : سرعت خروج سیال از مخازن زیر زمینی با صرف نظر کردن از کشش سطحی و نیروهای ویسکوزیته با رابطه $V = K \Delta P^a \rho^b$ محاسبه می شود که ΔP افت فشار و ρ دانسیته سیال می باشد. کدام یک از گزینه ها سرعت خروج سیال از مخزن را نشان می دهد؟

$$K \Delta P \cdot \rho \quad (۴)$$

$$K \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (۳)$$

$$K \sqrt{\Delta P \cdot \rho} \quad (۲)$$

$$K \frac{\Delta P}{\rho} \quad (۱)$$

حل : در روش Rayleigh ابتدا بعد هر یک از کمیت های موجود در معادله را به دست می آوریم، یادآوری می شود که منظور از بعد یک کمیت ارتباط آن کمیت با کمیت های اصلی در آن سیستم اندازه گیری مورد نظر می باشد، در مورد این مثال در سیستم SI داریم:

$$[V] = LT^{-1}$$

$$[\Delta P] = ML^{-1} T^{-2}$$

$$[\rho] = ML^{-3}$$

که در روابط فوق علامت کروه بیانگر بعد کمیت و M جرم، T زمان و L بیانگر طول می‌باشد. از آن‌جا که دوطرف یک رابطه باید بعد مساوی داشته باشند، به‌جای هر کمیت بعد آن را قرار می‌دهیم:

$$V = K \Delta P^a \rho^b$$

$$LT^{-1} = (ML^{-1} T^{-2})^a (ML^{-3})^b$$

با مرتب کردن رابطه داریم:

$$LT^{-1} = M^{a+b} L^{-a-3b} T^{-2a}$$

که توان M , L , T در دو طرف رابطه باید برابر باشد:

$$-a - 3b = 1$$

$$-2a = -1$$

$$a + b = 0$$

از دستگاه فوق دو مجهول a , b به‌دست می‌آید:

$$a = \frac{1}{2}, \quad b = -\frac{1}{2}$$

بنابراین:

$$V = K \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

۲) روش Buckingham - π :

در یک پدیده فیزیکی در صورتی که تعداد کمیت‌ها برابر n و تعداد ابعاد برابر m باشد، تعداد گروه‌های بی‌بعدی که می‌توان به صورت عامل مستقل بدون بعد نوشت از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$(\text{تعداد ابعاد اصلی سیستم } m) - (\text{تعداد کمیت } n) = \text{تعداد گروه‌های بی‌بعد } P$$

تعداد ابعاد اصلی بستگی به سیستم اندازه‌گیری دارد. در سیستم MLT تعداد ابعاد اصلی برابر 3 می‌باشد (T, L, M) و در سیستم $FMLT$ تعداد ابعاد اصلی برابر 4 می‌باشد.

اگر پارامترهای سیستم A, B, C, D, E, F باشند (مثلاً کمیت A به کمیت‌های B, C, D, E, F وابسته باشد)، طبق رابطه در سیستم SI تعداد گروه‌های بی‌بعد برابر است با:

برای تشکیل گروه‌های بی‌بعد تعداد P پارامتر را انتخاب می‌کنیم که این P پارامتر در P گروه بی‌بعد تکرار می‌شوند.

مثلاً در این مورد سه پارامتر A, B, C را انتخاب می‌کنیم که در تمام گروه‌های (P در هر سه گروه بی‌بعد) بی‌بعد تکرار می‌شوند در این صورت اعداد بی‌بعد را که با π نشان می‌دهیم به صورت زیر تشکیل می‌دهیم:

$$\pi_1 = (A^a B^b C^c) \cdot D$$

$$\pi_2 = (A^{a'} B^{b'} C^{c'}) \cdot E$$

$$\pi_3 = (A^{a''} B^{b''} C^{c''}) \cdot G$$

همان طور که ملاحظه می شود هر عدد بی بعد از پارامترهای تکراری به همراه یک پارامتر غیر تکراری تشکیل شده است. بنابراین هر عدد بی بعد از $P + 1$ پارامتر تشکیل شده است.

ملاحظه می شود که سه پارامتر A, B, C در تمام اعداد بی بعد تکرار شده و در گروه های بی بعد پارامترهای تکراری به توان می رسند و توان پارامترهای غیر تکراری یک است. برای به دست آوردن گروه های بی بعد، باید توان های مجهول (در این مورد یعنی $a, a', a'', b, b', b'', c, c', c''$) را به دست آوریم.

بعد هر پارامتر را می نویسیم و از آن جا که اعداد بی بعد هستند توان هر کمیت اصلی باید برابر صفر باشد. چنین کاری از حوصله کنکور کارشناسی ارشد خارج است. بیشتر این مساله سوال می شود که تعداد گروه های بی بعد چند است. فقط اشاره می کنیم که در انتخاب پارامترهای تکراری بهتر است یکی از کمیت های تکراری یک کمیت هندسی (مانند قطر ، طول و...) ، کمیت دوم از خواص سیال (مانند دانسیته و ویسکوزیته) و سومی بهتر است یکی از خواص حرکتی سیال (مانند سرعت) را انتخاب کنیم.

مثال : اگر دبی درون یک لوله موئین به قطر لوله، ویسکوزیته و افت فشار در واحد طول لوله بستگی داشته باشد، تعداد گروه های بی بعد را به دست آورید.

پارامترها عبارت اند از: $Q, \frac{\Delta P}{L}, D$ و μ بنابراین $n = 4$ می باشد. برای تعیین تعداد ابعاد اصلی بعد هر یک از پارامترها را می نویسیم:

$$[Q] = L^3 T^{-1}$$

$$\left[\frac{\Delta P}{L} \right] = M L^{-2} T^{-2}$$

$$[D] = L$$

$$[\mu] = M L^{-1} T^{-1}$$

همان طور که معین است بعد تمامی کمیت ها از سه کمیت M, L, T تشکیل شده است، بنابراین تعداد کمیت های اصلی برابر سه می باشد. مثلاً اگر بعد تمامی کمیت ها از فقط L, T تشکیل می شد، در آن صورت تعداد کمیات اصلی برابر 2 می بود. بنابراین:

$$n = 4 - 3 = 1 \text{ تعداد گروه های بی بعد}$$

اعداد بی بعد:

اعداد بی بعد که در درس مکانیک سیالات اهمیت دارند عبارتند از:

$$Re = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{نیروی برشی (ویسکوز)}} = \frac{\rho V D}{\mu}$$

عدد رینولدز

$$Ma = \frac{\text{سرعت}}{\text{سرعت صوت}} = \frac{V}{C}$$

عدد ماخ

$$Fr = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{جاذبه}} = \frac{V^2}{Lg}$$

عدد فرود

$$Eu = \frac{\text{نیروی فشاری}}{\text{نیروی اینرسی}} = \frac{-\Delta P}{\rho V^2}$$

عدد اولر

$$We = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{کشش سطحی}} = \frac{\rho V^2 L}{\sigma}$$

عدد وبر

با کاربرد عدد رینولدز آشنا هستیم. عدد ماخ در جریان سیالات تراکم پذیر کاربرد دارد. عدد اولر در محاسبه افت فشار دارای اهمیت است. عدد فرود در حرکت در سطح آزاد و عدد وبر در مورد کشش سطحی مانند صعود سیال از لوله موئین اهمیت دارد. همچنین یادآور می شود که:

$$\text{نیروی فشاری} = \Delta P \cdot A = \Delta P \cdot L^2$$

$$\text{نیروی اینرسی} = F_I \propto \rho V^2 L^2$$

$$\text{نیروی ویسکوز (برشی)} = \tau \cdot A = \mu \frac{du}{dy} A \propto \mu L V$$

$$\text{نیروی جاذبه} = mg \propto \rho L^3 g$$

$$\text{نیروی کشش سطحی} = \sigma \cdot L$$

تشابه، مطالعه مدل ها:

به خاطر مسایل اقتصادی، همچنین کمک به طراحی از اصل تشابه استفاده می شود. برای این منظور نمونه مشابهی به صورت مدل ساخته شده و روی آن مطالعات صورت گرفته و نتایج حاصله را در مورد نمونه اصلی به کار می برند. برای این که مدل ساخته شده از هر نظر انعکاس دهنده نمونه اصلی باشد و بتوان نتایج به دست آمده را در مورد نمونه اصلی به کار برد، لازم است تشابه کاملی بین مدل و نمونه اصلی وجود داشته باشد. برای تأمین تشابه لازم است که بین مدل و نمونه اصلی تشابه هندسی، تشابه سینماتیکی و تشابه دینامیکی برقرار باشد.

(۱) **تشابه هندسی:** در این حالت نسبت های ابعاد متناظر در مدل و نمونه اصلی باید با هم برابر باشد.

$$\text{نسبت طول ها} = \frac{\text{طول مدل}}{\text{طول نمونه اصلی}} = \frac{L_m}{L_p} = L_r$$

$$\text{نسبت مساحت ها} = \frac{\text{مساحت مدل}}{\text{مساحت نمونه اصلی}} = \frac{L_m^2}{L_p^2} = L_r^2$$

$$\text{نسبت حجم ها} = \frac{\text{حجم مدل}}{\text{حجم نمونه اصلی}} = \frac{L_m^3}{L_p^3} = L_r^3$$

همچنین تمام زوایا و جهت های جریان در تشابه هندسی یکسانند و راستای مدل و نمونه اصلی باید نسبت به محیط اطراف همسان باشد.

(۲) **تشابه سینماتیکی:** اساس این تشابه داشتن نسبت طولی و زمانی یکسان است. یعنی در این حالت بین خطوط جریان مدل و نمونه اصلی تشابه هندسی برقرار است. به عبارت دیگر نسبت بین سرعت ها در قسمت های متناظر مدل و نمونه اصلی یکسان بوده، همچنین مسیرهای ذرات متحرک (خطوط جریان) در مدل و نمونه اصلی از لحاظ هندسی متشابه می باشند.

$$\text{نسبت سرعت ها} = V_r = \frac{V_m}{V_p} = \frac{\left(\frac{L_m}{T_m}\right)}{\left(\frac{L_p}{T_p}\right)} = \frac{L_r}{T_r}$$

$$\text{نسبت شتاب ها} = a_r = \frac{a_m}{a_p} = \frac{\left(\frac{L_m}{T_m^2}\right)}{\left(\frac{L_p}{T_p^2}\right)} = \frac{L_r}{T_r^2}$$

$$\text{نسبت دبی ها} = Q_r = \frac{Q_m}{Q_p} = \frac{\left(\frac{L_m^3}{T_m}\right)}{\left(\frac{L_p^3}{T_p}\right)} = \frac{L_r^3}{T_r}$$

$$T_r = \frac{T_m}{T_p} \text{ شرط برقراری تشابه سینماتیکی است که می توان آن را مقیاس (نسبت) زمانی دانست.}$$

(۳) تشابه دینامیکی: در این حالت بین نیروهای موثر بر قسمت‌های متناظر مدل و نمونه اصلی تشابه وجود داشته و یکسان می‌باشند. در صورت وجود تشابه‌های هندسی و سینماتیکی بین مدل و نمونه اصلی، این دو دارای تشابه دینامیکی نیز می‌باشند. برای تشابه دینامیکی لازم است نسبت‌های ثابتی بین نیروهای موثر بر سیال (نیروهای اینرسی، لزجت، ثقل، کشش سطحی، الاستیسیته و فشاری) بر قسمت‌های متناظر مدل و نمونه اصلی برقرار باشد. این نسبت‌ها همان اعداد بی‌بعد رینولدز، فرود، وبر، ماخ و اولر می‌باشند. بنابراین در صورت یکسان بودن این اعداد بدون بعد، در مدل و نمونه اصلی تشابه دینامیکی وجود دارد. در اغلب مسایل بیشتر این اعداد دارای اهمیت نبوده و فقط یک یا دو عدد بدون بعد دارای اهمیت می‌باشد و از بقیه صرف‌نظر می‌شود. به‌عنوان مثال:

- (۱) در جریان تراکم‌پذیر، عدد رینولدز، ماخ و نسبت گرمای ویژه مدل و نمونه اصلی باید یکسان باشند.
- (۲) برای جریان تراکم‌ناپذیر بدون سطح آزاد، اعداد رینولدز مدل و نمونه اصلی باید مساوی باشند.
- (۳) برای جریان تراکم‌ناپذیر با سطح آزاد، اعداد فرود، رینولدز (در صورت لزوم) و وبر مدل و نمونه اصلی باید مساوی باشند.

تست های فصل هفتم (آنالیز ابعادی، اعداد بی بعد و تشابه)

۱ - اندازه قطراتی که یک نازل افشان مایع ایجاد می کند، به قطر نازل (D)، سرعت جت (V) و خواص مایع (ρ, μ, σ) بستگی دارد چند عدد بی بعد از آنالیز ابعادی به دست می آید؟
(مهندسی شیمی ۷۵)

- (۱) دو (۲) سه (۳) چهار (۴) پنج

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

=6 تعداد پارامترها

=3 تعداد ابعاد اصلی

=6-3=3 تعداد گروه های بی بعد

۲ - نیروی کشش وارد بر یک جسم تابعی است از ابعاد هندسی آن، سرعت سیال، ویسکوزیته سیال و چگالی سیال. با چه تعداد عدد بدون بعد می توان به بررسی این مساله پرداخت؟
(مهندسی بیوتکنولوژی ۸۳)

- (۱) 4 (۲) 3 (۳) 2 (۴) 1

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

=5 تعداد پارامترها

=3 تعداد ابعاد اصلی

=5-3=2 تعداد گروه های بی بعد

۳ - یک کشتی دارای سرعت 20 گره دریایی و طول 20 m می باشد. مدلی با ابعاد $\frac{1}{10}$ کشتی ساخته می شود. در صورتی که مدل در آب دریا مورد آزمایش قرار گیرد، سرعت مدل چند گره دریایی باید چقدر باشد تا بتوان به طور معقولی از نتایج بر روی مدل، برای کشتی استفاده کرد؟

- (۱) 1 (۲) 2 (۳) 4 (۴) 6.3

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

عدد فرود مدل و کشتی باید برابر باشند.

کشتی $Fr = Fr$ مدل

$$\left(\frac{V^2}{gL} \right)_{\text{مدل}} = \left(\frac{V^2}{gL} \right)_{\text{کشتی}}$$

$$\frac{V^2}{g \cdot \frac{1}{10} L} = \frac{20^2}{gL} \Rightarrow V = 6.3 \text{ گره دریایی}$$

۴ - در جریان تراکم ناپذیر از روی یک استوانه با طول محدود در صورتی که سرعت جریان دو برابر می شود، طول و قطر استوانه باید چگونه تغییر کند تا جریان متشابه جریان اول باشد.
(مهندسی مکانیک ۷۸)

- (۱) طول تغییر نکند و قطر نصف شود. (۲) طول نصف شود ولی قطر ثابت بماند.

- (۳) هر دو ثابت باقی بمانند. (۴) هر دو نصف شوند.

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

از تشابه رینولدز داریم:

$$\frac{U_m D_m}{v_m} = \frac{U_p D_p}{v_p} \rightarrow \frac{U_m}{U_p} = \frac{D_p}{D_m} = \beta = 2$$

لذا طول و قطر استوانه بایستی نصف شود.

۵ - برای مشابه سازی حرکت گاز در داخل کانال، مایعی را به کار گرفته ایم که گرانشی آن ۴ برابر گاز است. اگر آزمایش را در کانالی که قطر موثر آن ۲ برابر کانال اصلی است انجام دهیم، سرعت مایع باید چند برابر سرعت گاز باشد؟

(مهندسی شیمی و مهندسی بیوتکنولوژی و مهندسی مخازن هیدروکربوری ۷۹)

(۱) نصف (۲) مساوی (۳) دو برابر (۴) هشت برابر

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

گاز: $Re = Re_{مایع}$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{V_L D_L}{v_L} = \frac{V_g D_g}{v_g} \\ D_L = 2D_g \\ v_L = 4v_g \end{array} \right\} \rightarrow \frac{V_L \times 2D_g}{4v_g} = \frac{V_g D_g}{v_g} \rightarrow V_L = 2V_g$$

۶ - می خواهیم در ساحل دریایی یک موج شکن مناسب طراحی نموده و بسازیم. برای این منظور در ابتدا مدل کوچکی از این موج شکن با مقیاس $\frac{1}{25}$ را ساخته و در تونل آب مورد آزمایش قرار می دهیم. در صورتی که زمان تناوب امواج دریا برابر با ۸ ثانیه

باشد، زمان تناوب امواج مصنوعی باید در تونل آب ایجاد شود باید چند ثانیه باشد تا تشابه وجود داشته باشد؟ (مهندسی نفت ۸۲)

(۱) ۴.۹ (۲) ۳.۵ (۳) ۲.۸ (۴) ۱.۶

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

موج شکن: $Fr_{مدل} = Fr$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{V_m^2}{L_m g} = \frac{V^2}{L g} \\ L_m = \frac{1}{25} L \end{array} \right\} \rightarrow V_m^2 = \frac{1}{25} V^2 \rightarrow V_m = \frac{1}{5} V = \frac{1}{5} \times 8 = 1.6$$

۷ - در مطالعه نیروی درگ بر روی یک قایق شناور درون آب از یک مدل آزمایشی با اشل $\frac{1}{25}$ استفاده می شود. بررسی ها نشان

می دهند که گروه های بدون بعد عبارت اند از $\frac{u^2}{gL}$ ، $\frac{uL}{v}$ و $\frac{F_D}{\rho u^2 L^2}$. وقتی که قایق با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه درون آب حرکت

می کند، مدل آزمایشی چه سرعتی دارا است؟ (بر حسب متر بر ثانیه)

(مهندسی شیمی ۷۲)

(۱) ۲ (۲) ۴ (۳) ۶.۲۵ (۴) ۲۵۰

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\frac{u_p^2}{L_p g} = \frac{u_m^2}{L_m g}, \quad L_m = \frac{1}{25} L_p, \quad u_p = 10 \frac{m}{s}$$

$$\frac{10^2}{25 L_m} = \frac{u_m^2}{L_m} \rightarrow u_m^2 = 4 \rightarrow u_m = 2 \frac{m}{s}$$

۸- مقدار دبی جرمی هوا از داخل لوله به قطر یک اینچ معادل $0.142 \frac{lb_m}{sec}$ است. بر اساس اصول تشابه، مقدار سرعت آب در

لوله‌ای به قطر ۴ اینچ چند $\frac{ft}{sec}$ خواهد بود؟ (مهندسی شیمی ۷۶)

$$\left(v_{\text{آب}} = 1.2 \times 10^{-5} \frac{ft^2}{sec}, \rho_{\text{هوا}} = 0.256 \frac{lb_m}{ft^3}, v_{\text{هوا}} = 4.825 \times 10^{-5} \frac{ft^2}{sec} \right)$$

۱۰ (۴)

۷.۵ (۳)

۶.۳۸ (۲)

۴ (۱)

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$Re_L = Re_g \rightarrow \frac{U_L \cdot D_L}{v_L} = \frac{U_g \cdot D_g}{v_g}$$

$$\dot{m} = \rho Q = \rho U A = \rho U \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$U_g = \frac{\dot{m}}{\rho \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)} = \frac{0.142}{(0.256) \left(\frac{\pi \left(\frac{1}{12} \right)^2}{4} \right)} = 101.7 \frac{ft}{sec} \rightarrow U_L = 6.38 \frac{ft}{sec}$$

۹- با صرف نظر کردن از نیروهای ویسکوز و کشش سطحی، سرعت خروج سیال از مخازن زیرزمینی به فرم زیر ارایه می‌گردد:

$$V = K (\Delta P)^a (\rho)^b$$

K مقدار ثابت، ΔP اختلاف فشار و ρ دانسیته سیال می‌باشد. کدام یک از جواب‌های زیر رابطه سرعت را نشان می‌دهد؟

(مهندسی شیمی ۷۴)

$$V = K \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}} \quad (۴)$$

$$V = K \rho \cdot \Delta P \quad (۳)$$

$$V = K \sqrt{\Delta P \cdot \rho} \quad (۲)$$

$$V = K \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (۱)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

راه اول: حل از طریق روش ریشه که در متن درس این مثال حل شده است.

راه حل دوم : از مقایسه ابعاد ترم‌های معادله برنولی معین است که گزینه ۱ صحیح است.

$$\frac{\Delta P}{\rho g} \sim \frac{V^2}{2g} \Rightarrow \left[\frac{\Delta P}{\rho g} \right] = \left[\frac{V^2}{2g} \right] \Rightarrow [V] = K \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

۱۰ - در حدود چه سرعتی، روغن با $\rho = 825 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ و $\mu = 0.2 \frac{\text{N} \cdot \text{sec}}{\text{m}^2}$ در لوله‌ای به قطر 25 میلی‌متر، جریان به صورت دینامیکی

مشابه خواهد بود؟ (با جریان آب با سرعت یک متر در ثانیه و لزجت سینماتیکی $\nu = 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$ در لوله‌ای به قطر 6 میلی‌متر).

(مهندسی مکانیک ۷۳)

(۲) 5.8 متر بر ثانیه

(۱) 0.59 متر بر ثانیه

(۴) 59 متر بر ثانیه

(۳) 11.6 متر بر ثانیه

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\text{Re}_{\text{water}} = \text{Re}_{\text{oil}}$$

$$\left(\frac{UD}{\nu} \right)_{\text{water}} = \left(\frac{\rho UD}{\mu} \right)_{\text{oil}} \Rightarrow \frac{1 \times 6}{10^{-6}} = \frac{825 \times U_{\text{oil}} \times 25}{0.2} \rightarrow U_{\text{oil}} = 58.18 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

(مهندسی مخازن هیدروکربوری آزاد ۸۲)

۱۱ - کدام یک از عبارات زیر تعریف عدد فرود را بیان می‌نماید؟

(۲) نسبت نیروی ثقلی به نیروی کشش تنش برشی

(۱) نسبت نیروی اینرشیتال به نیروی تنش برشی

(۴) نسبت نیروی اینرشیتال به نیروی تنش سطحی

(۳) نسبت نیروی اینرشیتال به نیروی ثقلی

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

(مهندسی مخازن هیدروکربوری آزاد ۸۱)

۱۲ - عدد بدون بعد رینولدز نسبت کدام دو نیرو بر یکدیگر است؟

(۲) نیروی تنش برشی به نیروی کشش سطحی

(۱) نیروی جنبشی به نیروی وزن

(۴) نیروی جنبشی به نیروی تنش برشی

(۳) نیروی تنش برشی به نیروی جنبشی

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

(مهندسی شیمی آزاد ۸۰)

۱۳ - کدام یک از گروه‌های بدون بعد زیر نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای ثقلی است؟

Weber number (۴)

Mach number (۳)

Froud number (۲)

Reynolds number (۱)

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۱۴ - از نتایج مربوط به آزمایش یک ایرفویل در تونل آب، می‌خواهیم برای ایرفویلی به همان شکل، ولی با ابعاد نصف که در جریان

هوا قرار داده شده است استفاده کنیم.

(مهندسی مکانیک ۶۹)

(۱) چون هوا تراکم‌پذیر است، ولی آب تراکم‌ناپذیر، نمی‌توان از این نتایج استفاده کرد.

(۲) چون ابعاد ایرفویل کوچک‌تر شده، نمی‌توان از این نتایج استفاده کرد.

(۳) برای استفاده از این نتایج، کافی است که سرعت هوا دو برابر سرعت آب باشد.

(۴) هیچ‌کدام

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۱۵ - در لوله فلومتری نصب شده است، چنانچه سرعت سیال به نصف کاهش یابد و دانسیته سیال تغییری نکند با کمک تشابه سازی دامنه اندازه گیری تغییرات دبی و فشار چگونه تغییر خواهد کرد؟ (مهندسی شیمی ۸۳)

- (۱) دبی اندازه گیری دو برابر می شود ولی ΔP قابل اندازه گیری تغییری نمی کند.
 (۲) دبی اندازه گیری تغییری نمی کند ولی ΔP قابل اندازه گیری تا دو برابر افزایش می یابد.
 (۳) دبی قابل اندازه گیری تا نصف و ΔP قابل اندازه گیری تا ربع کاهش می یابد.
 (۴) دبی قابل اندازه گیری تا دو برابر و ΔP قابل اندازه گیری تا چهار برابر افزایش خواهد یافت.

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$Eu_1 = Eu_2 \rightarrow \frac{\Delta P_1}{u_1^2} = \frac{\Delta P_2}{u_2^2} \rightarrow \Delta P_2 = \left(\frac{u_2}{u_1} \right)^2 \Delta P_1 \rightarrow \Delta P_2 = \frac{1}{4} \Delta P_1$$

$$Q_2 = u_2 A_2 = \frac{1}{2} u_1 A_1 = \frac{1}{2} Q_1$$

۱۶ - کدام یک از گروه های بدون بعد زیر نسبت نیروهای فشاری به نیروهای اینرسی است؟ (مهندسی شیمی آزاد ۷۹)

- (۱) عدد وبر Weber Number
 (۲) عدد فرود Froude Number
 (۳) عدد ماخ Mach Number
 (۴) عدد اولر Euler Number

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

۱۷ - ارتفاع بالا رفتن یک مایع در یک لوله موئینه h، با قطر لوله، شتاب ثقل g، دانسیته سیال ρ ، تنش سطحی σ و زاویه تماس θ تغییر می کند مقدار گروه های بدون بعدی که می تواند این پارامترها را به هم ارتباط دهد عبارت است از : (واحد σ برابر $\frac{N}{m}$)

- (مهندسی شیمی آزاد ۷۹) است.
 (۱) 1
 (۲) 2
 (۳) 3
 (۴) 4

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

6 = تعداد پارامترها

3 = تعداد ابعاد اصلی

3 = 6 - 3 = تعداد گروه های بی بعد

۱۸ - کدام یک از گروه های بدون بعد زیر عدد بدون بعد اولر (Euler) است؟ (مهندسی شیمی آزاد ۸۲)

- افت فشار ΔP = سرعت متوسط u شتاب ثقل g قطر لوله d ویسکوزیته کینماتیک ν
 (۱) $\frac{\Delta P}{\rho u^2}$ (۲) $\frac{u^2}{gd}$ (۳) $\frac{ud}{\nu}$ (۴) $\frac{gd}{u^2}$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

۱۹ - تعداد گروه های بی بعد (π) تابع $F(t, V, u, L)$ که در آن زمان t ، سرعت V ، طول L و ویسکوزیته سینماتیکی u

- می باشد چند است؟ (مخازن هیدروکربوری سراسری ۸۰)
 (۱) 1
 (۲) 2
 (۳) 3
 (۴) 4

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$2 = 4 - 2 = \text{تعداد گروه بی بعد} \rightarrow 2 = \text{تعداد ابعاد اصلی و } 4 = \text{تعداد پارامترها}$$

۲۰- مدل یک قایق که طول آن ۲۵ برابر کوچک تر از نمونه اصلی می باشد با سرعت $1 \frac{m}{s}$ آزمایش می شود. سرعت قایق (بر حسب

متر بر ثانیه) چقدر است؟

- (۱) ۵ (۲) ۲.۵ (۳) ۵۰ (۴) ۲۵

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\text{مدل } L = 25 L_{\text{قایق}} \quad \text{و} \quad \left(\frac{V^2}{Lg} \right)_{\text{مدل}} = \left(\frac{V^2}{Lg} \right)_{\text{قایق}} \quad \text{و} \quad (Fr)_{\text{مدل}} = (Fr)_{\text{قایق}}$$

$$V_{\text{مدل}} = \frac{V_{\text{قایق}}}{5} \rightarrow V_{\text{قایق}} = 5 \times V_{\text{مدل}} = 5 \frac{m}{sec}$$

۲۱- زمان فرود یک قایق هوایی بر روی آب حداکثر ممان ایجاد شده توسط آب بر روی قایق به E و g و L و δ و μ و β و α بستگی دارد. چند گروه بدون بعد مستقل برای شناخت ویژگی های این مساله وجود دارد؟

α زاویه مسیر پرواز با افق ، β زاویه ای که ارتفاع قایق را تعیین می کند، M جرم قایق، L طول فرورفتگی، δ دانسیته آب، g شتاب ثقل و R شعاع پرواز

(مهندسی شیمی و اعزام ۷۸)

- (۱) ۷ (۲) ۵ (۳) ۴ (۴) ۰

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$8 = \text{تعداد پارامترها}$$

$$3 = \text{تعداد ابعاد اصلی}$$

$$5 = 8 - 3 = \text{تعداد گروه بدون بعد}$$

۲۲- آب با لزجت سینماتیکی $1.13 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$ با سرعت $3.66 \frac{m}{s}$ در یک لوله به قطر 152.4 mm جریان دارد. برای تشابه، در

چه سرعتی روغن با لزجت سینماتیکی $2.96 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$ در لوله ای به قطر 76.2 mm باید جریان داشته باشد؟

(مهندسی مکانیک آزاد ۷۹)

- (۱) $3.66 \frac{m}{s}$ (۲) $4.382 \frac{m}{s}$ (۳) $19.2 \frac{m}{s}$ (۴) $368.6 \frac{m}{s}$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$Re_{\text{water}} = Re_{\text{oil}} \rightarrow \frac{U_w D_w}{\nu_w} = \frac{U_{\text{oil}} D_{\text{oil}}}{\nu_{\text{oil}}}$$

$$\frac{3.66 \times 0.1524}{2.96 \times 10^{-6}} = \frac{U_{\text{oil}} \times 0.0762}{2.96 \times 10^{-6}} \rightarrow U_{\text{oil}} = 19.7 \frac{m}{s}$$

(مهندسی فن آوری انتقال گاز ۸۳)

۲۳ - عدد بدون بعد رینولدز نسبت کدام نیرو بر یکدیگر است؟

- (۱) نیروی جنبشی به نیروی وزن
- (۲) نیروی جنبشی به نیروی تنش برشی
- (۳) نیروی تنش برشی به نیروی جنبشی
- (۴) نیروی تنش برشی به نیروی کشش سطحی

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

۲۴ - اگر بخواهیم کمیات F, V, g, ρ را به صورت یک پارامتر بدون بعد بنویسیم، آن پارامتر عبارت خواهد بود از:

(مهندسی فن آوری و انتقال گاز ۸۳)

$$\frac{Fg^2}{\rho V^5} \quad (۲)$$

$$\frac{F^2 g}{\rho V^5} \quad (۱)$$

$$\frac{Fg^2}{\rho V^6} \quad (۳)$$

(۴) امکان ایجاد یک پارامتر بدون بعد از میان کمیات ذکر شده وجود ندارد.

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

ابعاد نیرو (MLT^{-2}) ، شتاب جاذبه (LT^{-2}) ، سرعت (LT^{-1}) و دانسیته (ML^{-3}) می باشد.

$$\frac{Fg^2}{\rho V^6} = \frac{(MLT^{-2})(L^2 T^{-4})}{(ML^{-3})(L^6 T^{-6})} = 1$$

۲۵ - قدرت P برای به حرکت درآوردن یک پمپ جریان محوری، وابسته به این متغیرها است: قطر محور گرداننده، سرعت زاویه ای

محور، جرم مخصوص سیال، ارتفاع و دبی حجمی سیال. تعداد گروه های بدون بعد که می تواند برای ارتباط اطلاعات تجربی به کار

(مهندسی شیمی ۸۵)

رود برابر است با:

6 (۴)

4 (۳)

3 (۲)

2 (۱)

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

سرعت زاویه ای محور ω ؛ قطر محور D ؛ قدرت پمپ P ؛

دبی حجمی سیال Q ؛ ارتفاع سیال H ؛ جرم مخصوص سیال ρ ؛

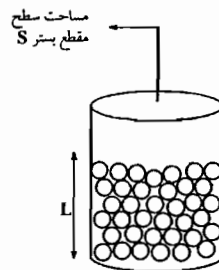
$3 =$ تعداد ابعاد اصلی و $6 =$ تعداد کمیت ها

$3 = 6 - 3 =$ تعداد گروه های بی بعد

فصل هشتم

بسترهای پر شده

یک بستر که از پرکن پر شده است را در نظر می‌گیریم:



قسمتی از فضای بستر را پرکن‌ها اشغال کرده و قسمت‌هایی بین پرکن‌ها فضای خالی وجود دارد. برای نشان دادن حجم فضای خالی بین پرکن‌ها از ضریب تخلخل (ϵ) استفاده می‌کنیم که به شکل زیر آن را تعریف می‌کنیم:

$$\epsilon = \frac{\text{حجم فضای خالی}}{\text{کل حجم بستر}}$$

اگر جریان سیالی وارد بستر شود و دبی جریان سیال برابر Q باشد، سرعت سیال را در بیرون بستر، سرعت ظاهری می‌نامیم که می‌توان به شکل زیر محاسبه کرد:

$$V = \frac{Q}{S}$$

بدیهی است که این سرعت، سرعت واقعی نیست، چرا که سیال از تمامی سطح مقطع S عبور نمی‌کند، بلکه فقط از فضاهای خالی بین پرکن‌ها عبور می‌نماید. سرعت واقعی که آن را سرعت موثر نیز می‌نامیم، از تقسیم کردن سرعت ظاهری به ضریب تخلخل به دست می‌آید. سرعت موثر را با V_{eff} نمایش می‌دهیم:

$$V_{eff} = \frac{V}{\epsilon}$$

حجم فضای خالی بستر برابر است با:

$$\text{کل حجم} \times \varepsilon = \text{حجم فضای خالی}$$

$$\text{حجم فضای خالی} = \varepsilon \times SL$$

$$\begin{aligned} \text{حجم فضای خالی} - \text{کل حجم} &= \text{حجم فضایی که توسط پرکن‌ها اشغال شده} \\ &= SL - \varepsilon \times SL = SL(1 - \varepsilon) \end{aligned}$$

هم‌چنین اگر تعداد پرکن‌ها (N_p) را در حجم هر پرکن (V_p) ضرب کنیم، حجم فضای پر بستر به دست می‌آید:

$$N_p \cdot V_p = \text{حجم فضایی که توسط پرکن‌ها اشغال شده}$$

از مساوی قرار دادن دو رابطه داریم:

$$SL(1 - \varepsilon) = N_p \cdot V_p$$

و از این رابطه می‌توان تعداد پرکن‌ها را به دست آورد:

$$N_p = \frac{SL(1 - \varepsilon)}{V_p}$$

در بسترهایی که از پرکن‌های غیرکروی پر شده‌اند، ضریب شکلی به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\phi = \frac{\left(\frac{S_p}{V_p} \right)_{\text{کروی}}}{\left(\frac{S_p}{V_p} \right)_{\text{غیر کروی}}}$$

که S_p سطح پرکن و V_p حجم پرکن می‌باشد.

می‌توان نشان داد که ضریب اصطکاک در بستر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F = \frac{150(1 - \varepsilon)}{\phi Re} + 1.75$$

اگر جریان خیلی درهم باشد، یعنی عدد Re خیلی زیاد باشد، جمله $\frac{150(1 - \varepsilon)}{\phi Re}$ مقدار کوچکی خواهد بود بنابراین:

$$F = 1.75 \text{ در جریان خیلی درهم}$$

اگر جریان آرام باشد ضریب اصطکاک برابر خواهد بود:

$$F = \frac{150(1 - \varepsilon)}{\phi Re} \text{ در جریان آرام}$$

می‌توان نشان داد که افت فشار در جریان درهم با توان دوم سرعت و در جریان آرام با توان اول سرعت متناسب است. بنابراین:

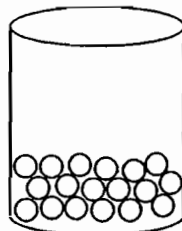
$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P \sim V^2 \text{ در جریان درهم} \\ \Delta P \sim V^1 \text{ در جریان آرام} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \log \Delta P \sim 2 \log V \text{ در جریان درهم} \\ \log \Delta P \sim \log V \text{ در جریان آرام} \end{array} \right.$$

سطح ویژه در بسترهای پر شده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

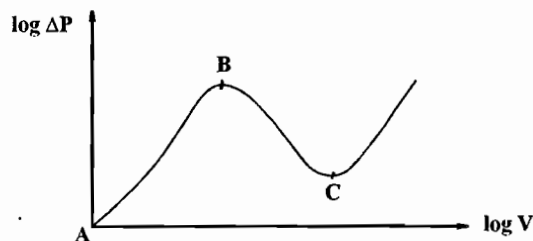
$$a_p = \frac{6(1 - \varepsilon)}{d_p} \text{ سطح ویژه}$$

بررسی سیالیت:

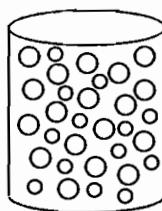
بستری را در نظر می‌گیریم که هنوز جریان سیالی وارد آن نشده است و در این حالت پرکن‌ها در کف بستر تجمع کرده‌اند.



حال جریانی از سیال از پایین وارد بستر می‌شود. در ابتدا نیرویی که سیال به پرکن‌ها وارد می‌کند، نمی‌تواند بر نیروی وزن پرکن‌ها غلبه نماید بنابراین بسترها به همان حالت قبلی باقی می‌ماند. سرعت سیال ورودی را افزایش می‌دهیم، بستر به همان حالت ساکن باقی می‌ماند و به دلیل افزایش سرعت افت فشار افزایش می‌یابد. این مساله در موارد زیر نشان داده شده است. که از نقطه A تا B بستر چنین وضعیتی دارد.

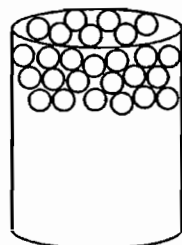


تا جایی که به نقطه B (آستانه سیالیت) می‌رسیم، در این حالت نیرویی که سیال به پرکن‌ها وارد می‌کند با وزن پرکن‌ها برابر است و بستر در آستانه سیالیت قرار می‌گیرد، در این حالت اگر سرعت سیال را افزایش دهیم پرکن‌ها از هم جدا می‌شوند و به حالت زیر در می‌آیند:



حالت سیالیت

بنابراین در این حالت با افزایش سرعت، فاصله پرکن‌ها از هم بیشتر می‌گردد و با افزایش سرعت افت فشار کاهش می‌یابد. حالتی که در نقطه C اتفاق می‌افتد در شکل زیر نشان داده شده است:



در این حالت با افزایش جریان سیال تمامی پرکن‌ها به سمت بالای بستر حرکت کرده و پرکن‌ها در بالای بستر تجمع می‌کنند. از این حالت به بعد مجدداً افزایش سرعت موجب افزایش افت فشار می‌گردد.

محاسبه افت فشار:

افت فشار در آستانه سیالیت از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{g}{g_c} (1 - \epsilon) (\rho_s - \rho)$$

که ρ_s دانسیته پرکن‌ها، ρ دانسیته سیال و $\frac{\Delta P}{L}$ افت فشار به ازای واحد طول می‌باشد. یادآوری می‌شود که g_c در سیستم SI برابر یک و در سیستم مهندسی انگلیسی $\frac{g}{g_c}$ برابر یک می‌باشد.

$$\Delta P = \frac{g}{g_c} L (1 - \epsilon) (\rho_s - \rho)$$

$(\rho_s - \rho)$ هم مقداری ثابت است. بنابراین افت فشار در حالت سیالیت مقداری ثابت دارد، ولی $\frac{\Delta P}{L}$ به میزان تخلخل وابسته است.

تغییرات تخلخل با تغییرات طول بستر:

فرض می‌کنیم در اثر تغییرات طول بستر از L_1 به L_2 میزان تخلخل از ϵ_1 به ϵ_2 تغییر کند. $SL(1 - \epsilon)$ حجمی که توسط پرکن‌ها اشغال می‌شود را بیان می‌کند. از آن‌جا که تعداد پرکن‌ها ثابت است این حجم مقدار ثابتی است بنابراین همواره:

$$SL_1 (1 - \epsilon_1) = SL_2 (1 - \epsilon_2)$$

$$L_1 (1 - \epsilon_1) = L_2 (1 - \epsilon_2) \rightarrow \frac{L_1}{L_2} = \frac{1 - \epsilon_2}{1 - \epsilon_1}$$

یعنی وقتی که طول بستر و به همراه آن تخلخل تغییر می‌کند، حاصل ضرب طول بستر در $(1 - \epsilon)$ مقدار ثابتی است.

تست‌های فصل هشتم (بسترهای پر شده)

۱ - در یک برج آکنده با دبی حجمی ثابت اگر تخلخل دو برابر گردد، سرعت ظاهری (V_s) سیال در داخل برج چگونه می‌شود؟

(مهندسی شیمی سراسری ۷۷)

- (۱) تغییر نمی‌کند. (۲) چهار برابر می‌شود. (۳) دو برابر می‌شود. (۴) نصف می‌شود.

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۲ - در خصوص تغییرات افت فشار در بسترهای ثابت (Static Bed) بر حسب سرعت ظاهری (Superficial Velocity) در

مقیاس لگاریتمی، کدام یک از گزینه‌ها پاسخ صحیح است؟ (آزمون کارشناسی ارشد مهندسی شیمی ۸۰)

- (۱) ثابت می‌ماند. (۲) بصورت خطی تغییر می‌نماید. (۳) به صورت غیر خطی تغییر می‌نماید. (۴) به صورت توان ۲ تغییر می‌نماید.

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۳ - ضریب تخلخل (ϵ , Porosity) یک بستر ثابت، ۰.۳ است. اگر سرعت گاز ورودی را افزایش داده تا بستر به حالت سیالیت

برسد، و ارتفاع آن دو برابر حالت ثابت شود، ضریب تخلخل در این حالت کدام است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

- (۱) ۰.۱۵ (۲) ۰.۴۵ (۳) ۰.۶۰ (۴) ۰.۶۵

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$L_1(1-\epsilon_1)=L_2(1-\epsilon_2) \Rightarrow L_1(1-0.3)=2L_1(1-\epsilon_2) \Rightarrow \epsilon_2=0.65$$

۴ - در یک بستر که از ذرات کروی با قطر ۲ mm و به طول ۷ m پر شده است $\epsilon=0.3$ است. اگر از این بستر هوا را با سرعت

$50 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ عبور دهیم و بستر منبسط شود، طول آن به ۱۰ m خواهد رسید. کدام یک از عبارات زیر در مورد ϵ بستر هنگامی که

هوا از آن عبور می‌کند صحیح است؟ (آزمون کارشناسی ارشد مهندسی شیمی ۷۸)

(۱) ϵ قابل محاسبه نیست و حتماً بایستی قطر بستر مشخص گردد.

(۲) $\epsilon=0.9$

(۳) ϵ افزایش می‌یابد ولی مقدار آن قابل محاسبه نیست.

(۴) $\epsilon=0.51$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$L_1(1-\epsilon_1)=L_2(1-\epsilon_2) \Rightarrow 7 \times (1-0.3)=10 \times (1-\epsilon_2) \Rightarrow \epsilon_2=0.51$$

۵ - ضریب تخلخل (ϵ) برای یک بستر ثابت ۰.۴ می‌باشد. اگر قطر بستر یک متر و دبی هوای ورودی به بستر 2π مترمکعب بر

ثانیه باشد، سرعت واقعی هوا در درون بستر چند متر بر ثانیه است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۱)

- (۱) ۱.۵ (۲) ۵ (۳) ۱۰ (۴) ۲۰

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{2\pi}{\pi(1)^2} = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

۴

$$V_{\text{eff}} = \frac{\text{سرعت ظاهری } V}{\varepsilon} = \frac{8}{0.4} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

۶- طول یک بستر کاتالیزوری قبل از حالت سیال شدن 2m می باشد. اگر جزء خالی بستر کاتالیزوری در ابتدا 0.25 و در شروع به سیال شدن 0.4 باشد، طول بستر در شروع سیال شدن چند متر می باشد؟
(مخازن هیدروکربوری ۸۰)

(۱) 2.3 (۲) 2.4 (۳) 2.5 (۴) 2.8

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$L_1(1-\varepsilon_1) = L_2(1-\varepsilon_2) \Rightarrow 2 \times (1-0.25) = L_2(1-0.4) \Rightarrow L_2 = 2.5 \text{ m}$$

۷- در یک بستر از ذرات کروی جامد با قطر 2mm که طول آن 3m می باشد $\varepsilon = 0.4$ است. اگر از این بستر هوا با سرعت $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ عبور نماید، طول بستر که انبساط یافته است به 6 m خواهد رسید. کدام گزینه در مورد ε بستر منبسط شده صحیح است؟

(۱) $\varepsilon = 0.7$

(۲) $\varepsilon = 0.8$

(۳) ε افزایش می یابد، ولی قابل محاسبه نیست.

(۴) ε قابل محاسبه نیست و حتماً بایستی قطر بستر مشخص شود.

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$L_1(1-\varepsilon_1) = L_2(1-\varepsilon_2)$$

$$3 \times (1-0.4) = 6 \times (1-\varepsilon_2) \Rightarrow \varepsilon_2 = 0.7$$

۸- ذراتی جامد با دانسیته $2600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ به وسیله آب با دانسیته $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ وارد سیالی می شوند. اگر در این حالت طول بستر سیال 1.5 متر و ضریب تخلخل آن 0.6 باشد و از اتلاف انرژی صرف نظر شود، افت فشار در دو سربستر چند کیلو پاسکال می باشد؟

(مهندسی شیمی سراسری ۷۹) $(g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$

(۱) 96 (۲) 9.6 (۳) 0.96 (۴) 0.096

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\Delta P = \frac{g}{g_c} L (1-\varepsilon) (\rho_s - \rho)$$

$$\Delta P = \frac{9.8}{1} \times 1.5 \times (1-0.6) (2600 - 1000) = 9600 \text{ Pa} = 9.6 \text{ Kpa}$$

۹- وزن بستری از ذرات جامد 800 kg و طول آن 2 m است. اگر دانسیته ذرات $1.6 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ و سطح مقطع برج (بستر) 0.5 m^2 باشد، چنانچه طول بستر 50% افزایش یابد، تخلخل بستر (ε) چند درصد افزایش خواهد یافت؟ (مهندسی شیمی سراسری ۷۶)

(۱) 16.6 (۲) 33.3 (۳) 40 (۴) 50

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} \text{حجمی که پرکن ها اشغال کرده اند.} &= S \times L_1 \times (1 - \varepsilon_1) = 0.5 \times 2 \times (1 - \varepsilon_1) \\ \text{حجمی که پرکن ها اشغال کرده اند.} &= \frac{m}{\rho} = \frac{800 \text{ kg}}{1600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.5 \text{ m}^3 \end{aligned} \right\} \rightarrow 0.5 = 0.5 \times 2 \times (1 - \varepsilon_1) \Rightarrow \varepsilon_1 = 0.5$$

$$\left. \begin{aligned} L_1(1 - \varepsilon_1) &= L_2(1 - \varepsilon_2) \\ L_2 &= 1.5 L_1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow 1 - \varepsilon_1 = 1.5(1 - \varepsilon_2) \Rightarrow 0.5 = 1.5(1 - \varepsilon_2) \Rightarrow \varepsilon_2 = \frac{2}{3}$$

$$\frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1} = \frac{\frac{2}{3} - 0.5}{0.5} = 0.333$$

۱۰ - بستر سیالی با تخلخل $\varepsilon = 0.5$ و ارتفاع $h = 3 \text{ ft}$ می باشد. با تغییر سرعت سیال ارتفاع سیال ۱.۵ برابر می شود. تغییرات

(۱) فشار تابعی از تخلخل است. (۲) فشار ۱.۵ برابر می شود.

(۳) فشار صفر می شود. (۴) فشار تابعی از تخلخل و ارتفاع است، اما تغییر نمی کند.

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

همان طور که در متن درس اشاره شد ΔP تغییر نمی کند.

$$\Delta P = \frac{g}{g_c} L (1 - \varepsilon) (\rho_s - \rho)$$

در این رابطه $(1 - \varepsilon)$ ، $(\rho_s - \rho)$ ثابت هستند. بنابراین ΔP مقداری ثابت دارد.

۱۱ - ۵ متر مکعب بر ثانیه هوا از داخل یک برج آکنده (Packed Bed) به قطر داخلی ۱.۵ متر و جزء داخلی

(Void fraction) ۰.۴ عبور می کند. سرعت ظاهری هوا در درون برج بر حسب متر بر ثانیه برابر است با: ($\pi = 3.14$)

(۱) ۷.۱ (۲) ۲.۸۳ (۳) ۳.۸ (۴) ۱.۷

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{5}{\frac{\pi (1.5)^2}{4}} = 2.83 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

۱۲ - افت فشار به ازای واحد طول یک بستر کاتالیستی در حالت سیال شده، با تخلخل ۰.۵ برابر با چند $\frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2}$ است؟

(چگالی نسبی ذرات کاتالیست = ۳ و چگالی سیال = ۱ است).

(۱) ۶۲.۴ (۲) ۳۲.۲ (۳) ۱ (۴) ۳۸۹۳.۷۶

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{g}{g_c} (1 - \varepsilon) (\rho_s - \rho) = 1 \times (1 - 0.5) (3 \times 62.4 - 62.4) \rightarrow \frac{\Delta P}{L} = 62.4 \frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2}$$

۱۳ - 5 متر مکعب بر ثانیه هوا از داخل یک برج آکنده (Packed Bed) به قطر داخلی 1.5 متر و جز خالی (Void fraction) 0.4 عبور می نماید. سرعت واقعی هوا در درون برج بر حسب متر بر ثانیه برابر است با: ($\pi=3.13$)

- (۱) 3.83 (۲) 10.25 (۳) 7.10 (۴) 2.83

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{5}{\frac{\pi(1.5)^2}{4}} = 2.83 \frac{m}{s} \rightarrow V_{eff} = \frac{V}{\epsilon} = \frac{2.83}{0.4} = 7.07 \frac{m}{s}$$

۱۴ - بستری با ارتفاع 5 ft حاوی ذراتی با چگالی 2.6 و تخلخل 0.6 به وسیله آب سیال شده است. افت فشار تقریباً برابر با چند

$$\frac{lb_f}{ft^2} \text{ می باشد؟}$$

- (۱) 199.7 (۲) 1598 (۳) 60 (۴) 40

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\Delta P = \frac{g}{g_c} L (1-\epsilon) (\rho_s - \rho) \rightarrow \Delta P = 1 \times 5 \times (1-0.6) (2.6 \times 62.4 - 62.4) = 199.68 \frac{lb}{ft^2}$$

۱۵ - آب با دانسیته $1000 \frac{kg}{m^3}$ به یک بستر از ذرات جامد با جز فضای خالی 0.5 وارد می شود. آب با فشار 2 bar به بستر وارد و با

فشار 1.2 bar آن را ترک می کند. چنانچه طول بستر 2 متر و دانسیته ذرات جامد $8000 \frac{kg}{m^3}$ باشد، کدام یک از عبارات زیر

صحیح است؟ ($g=10 \frac{m}{s^2}$) (آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی ۸۰)

(۱) بستر در حالت سکون است.

(۲) بستر در حالت سیالیت است (Fluidized).

(۳) در مورد حرکت یا سکون بستر نمی توان اظهار نظر کرد.

(۴) ذرات جامد همراه آب خارج می شوند.

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

اگر افت فشار آستانه سیالیت را محاسبه کنیم خواهیم داشت:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{g}{g_c} (1-\epsilon) (\rho_s - \rho)$$

$$\frac{\Delta P}{L} = (1-0.5) (8000-1000) \times \frac{10}{1} \Rightarrow \frac{\Delta P}{L} = 35000 \text{ Pa} \rightarrow \Delta P = 70 \text{ Kpa} = 0.7 \text{ bar}$$

از آنجا که ΔP ذکر شده در مساله از ΔP آستانه سیالیت بیشتر است، پس بستر در حالت سیالیت است.

۱۶ - ارتفاع یک بستر از ذرات شن در حالت حداقل سیالیت ($\epsilon_{mf}=0.4$) برابر 50 cm می باشد. اگر سرعت سیال زیاد شود

به طوری که جزء خالی (Void fraction) بستر برابر 0.6 گردد. در این حالت ارتفاع بستر چند سانتی متر می شود؟

- (۱) 150 (۲) 95 (۳) 75 (۴) 85

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$L_1 (1-\epsilon_1) = L_2 (1-\epsilon_2) \rightarrow 0.5 (1-0.4) = L_2 (1-0.6) = 0.75 \text{ m} = 75 \text{ cm}$$

۱۷ - در یک برج حاوی ذرات جامد که در آن هوا از پایین وارد می‌شود و ذرات به حال سیال درآمده‌اند. (Fluidized) کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟ (آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی و صنایع غذایی (۸)

(۱) مجموع نیروهای بویانسی، وزن بستر و دراگ برابر با صفر است.

(۲) مجموع نیروهای وزن و بویانسی برابر با نیروی دراگ است.

(۳) مجموع نیروهای دراگ و بویانسی برابر با وزن بستر است.

(۴) مجموع نیروهای وزن و دراگ با نیروی بویانسی برابر است.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۱۸ - آب با دانسیته $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ از بستری از ذرات کروی با دانسیته $3500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ عبور می‌کند. اگر افت فشار در طول بستر که 4m

است برابر با 40 Kpa باشد، درصد فضای خالی بستر کدام یک از مقادیر زیر است؟ ($g=10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی و صنایع غذایی (۷۹)

(۴) 60 %

(۳) 20 %

(۲) 40 %

(۱) 50 %

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{g}{g_c} (1-\epsilon) (\rho_s - \rho)$$

$$\frac{40000}{4} = \frac{9.8}{1} (1-\epsilon) (3500-1000) \Rightarrow \epsilon = 0.6$$

۱۹ - در یک بستر کاتالیستی که به‌صورت سیال درآمده است افت فشار $7500 \frac{\text{pa}}{\text{m}}$ می‌باشد. در صورتی که $\rho_p = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$g=10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ و $\rho_r = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ فرض شود ϵ بستر کدام یک از مقادیر زیر خواهد بود؟

(۴) 0.6

(۳) 0.5

(۲) 0.4

(۱) 0.3

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{g}{g_c} (1-\epsilon) (\rho_s - \rho) \rightarrow \frac{7500}{1} = \frac{10}{1} \times (1-\epsilon) (2500-1000) \rightarrow \epsilon = 0.5$$

۲۰ - پنج کیلوگرم دانه‌های گندم در یک بستر استوانه‌ای سیال داده شده است. سرعت سیال $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ، دانسیته سیال $1.12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

(مهندسی شیمی (۸۵)

قطر استوانه 10 cm است. افت فشار بستر را تخمین بزنید.

(۱) 3120 Pa

(۲) 6000 Pa

(۳) 6245 Pa

(۴) 12500 Pa

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\Delta P = \frac{g}{g_c} L (\rho_s - \rho) (1-\epsilon)$$

(۱)

از p در مقایسه با p_s صرف نظر می کنیم:

$$\Delta P \approx \frac{g}{g_c} L (\rho_s) (1 - \varepsilon) \quad (2)$$

از طرف دیگر می توان نوشت:

$$\frac{\pi}{4} D^2 L \rho_s (1 - \varepsilon) = m \quad (3)$$

بنابراین:

$$\rho_s L (1 - \varepsilon) = \frac{5 \times 4}{\pi D^2} = 636.94$$

با جایگذاری در (۲) می توان نوشت:

$$\Delta P \approx 9.8 \times 636.94 = 6242 \text{ Pa}$$

۲۱- بستر ساکن با تخلخل $\varepsilon = 0.3$ در اثر افزایش سرعت گاز ورودی سیالی می شود. اگر ارتفاع بستر هفتاد و پنج درصد افزایش یابد، کسر حجمی ذرات جامد در بستر چقدر خواهد شد؟

۰.۷ (۴)

۰.۶ (۳)

۰.۴ (۲)

۰.۳ (۱)

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{1 - \varepsilon_1}{1 - \varepsilon_2} \rightarrow 1.75 = \frac{1 - 0.3}{1 - \varepsilon_2} \rightarrow \varepsilon_2 = 0.6$$

فصل نهم

جریان سیالات تراکم پذیر

محاسبه سرعت صوت

المانی از جریان سیال تراکم پذیر را مطابق شکل در نظر می گیریم:

ρ		$\rho + d\rho$
u		$u + du$
p		$p + dp$

اگر چگالی (ρ)، سرعت (u) و فشار (p) در دو قسمت المان موردنظر در طول جریان تغییر کند، مطابق قانون بقای جرم خواهیم داشت:

$$\rho u A = (\rho + d\rho)(u + du)A$$

$$\rho u = \rho u + u d\rho + \rho du + dp du$$

از جمله $dp du$ به دلیل کوچک بودن صرف نظر می کنیم:

$$\boxed{u d\rho + \rho du = 0}$$

این رابطه قانون بقای جرم در جریان سیال تراکم پذیر در یک لوله با سطح مقطع ثابت می باشد.

اگر قانون بقای مومنتم را برای المان موردنظر بنویسیم خواهیم داشت:

$$pA - (p + dp)A = \rho u A (u + du - u)$$

بنابراین:

$$-dp = \rho u du$$

با جایگزین کردن رابطه اخیر در قانون بقای جرم خواهیم داشت:

$$u d\rho + \rho \left(-\frac{dp}{\rho u} \right) = 0$$

$$u = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$$

که از این رابطه سرعت سیال تراکم پذیر محاسبه می شود، بنابراین سرعت صوت را نیز می توان از رابطه مذکور به دست آورد:

$$C = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} \quad \text{سرعت صوت}$$

یادآور می شود که مدول بالک از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$K = -\frac{dp}{\left(\frac{dV}{V}\right)} \quad \text{مدول بالک}$$

اگر به جای $\frac{dV}{V}$ رابطه زیر را جایگزین کنیم:

$$\frac{dV}{V} = -\frac{d\left(\frac{1}{\rho}\right)}{\frac{1}{\rho}} = -\frac{d\rho}{\rho}$$

بنابراین مدول بالک با رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$K = \frac{dP}{\frac{d\rho}{\rho}}$$

بنابراین:

$$\frac{K}{\rho} = \frac{dP}{d\rho}$$

از مقایسه رابطه اخیر با معادله $C = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$ نتیجه می شود:

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad \text{سرعت صوت}$$

اگر فرآیند عبور موج صوتی از داخل لوله را آدیاباتیک و برگشت پذیر در نظر گرفته و سیال را گاز ایده آل فرض کنیم، خواهیم داشت:

$$pV^\gamma = \text{cte} \rightarrow \rho p^{-\gamma} = \text{cte}$$

با دیفرانسیل گیری داریم:

$$\rho^{-\gamma} dp - \gamma \rho^{-\gamma-1} p d\rho = 0 \rightarrow dp - \frac{\gamma}{\rho} p d\rho = 0$$

$$\frac{dp}{d\rho} = \frac{\gamma p}{\rho}$$

و با جایگذاری رابطه اخیر در معادله $C = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$ خواهیم داشت:

$$C = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \quad \text{سرعت صوت در گاز ایده آل}$$

و از آن جا که برای گاز ایده آل $\rho = \frac{PM}{RT}$ می باشد، بنابراین:

$$C = \sqrt{\frac{\gamma P}{\frac{PM}{RT}}}$$

$$C = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

سرعت صوت در گاز ایده‌آل

در جریان سیالات تراکم‌پذیر عدد بی‌بعد ماخ به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$Ma = \frac{\text{سرعت سیال}}{\text{سرعت صوت}} = \frac{V}{C}$$

هر چه ماخ عدد کوچکی شود، سیال به حالت تراکم‌ناپذیرتر نزدیک می‌شود، به عبارت دیگر اگر عدد ماخ از 0.3 بزرگ‌تر باشد. سیال تراکم‌پذیر و اگر عدد ماخ از 0.3 کوچک‌تر باشد سیال تراکم‌ناپذیر است.

هم‌چنین اگر عدد ماخ از یک بزرگ‌تر باشد، جریان را مافوق صوت (Supersonic) و اگر عدد ماخ از یک کوچک‌تر باشد. جریان را مادون صوت (Subsonic) می‌نامیم:

$$\left\{ \begin{array}{ll} Ma > 0.3 & \text{سیال تراکم‌پذیر} \\ Ma < 0.3 & \text{سیال تراکم‌ناپذیر} \\ Ma > 1 & \text{مافوق صوت (Supersonic)} \\ Ma < 1 & \text{مادون صوت (Subsonic)} \end{array} \right.$$

جریان ایزنتروپیک سیال تراکم‌پذیر در داخل نازل

جریان آدیاباتیک و بدون اصطکاک (ایزنتروپیک) یک جریان ایده‌آل است که در جریان گازهای حقیقی نمی‌توان به آن دست یافت. برای جریان یک بعدی یک گاز ایده‌آل اگر معادله اولر را بنویسیم خواهیم داشت:

$$u du + \frac{dp}{\rho} = 0 \quad (I)$$

هم‌چنین قانون پیوستگی بیان می‌کند که:

$$\rho u A = \text{مقدار ثابت}$$

با دیفرانسیل‌گیری از این رابطه داریم (و توجه شود که در این حالت A ثابت نیست).

$$(\rho u) dA + (\rho A) du + (u A) d\rho = 0$$

از تقسیم این رابطه بر $\rho u A$ خواهیم داشت:

$$\frac{dA}{A} + \frac{du}{u} + \frac{d\rho}{\rho} = 0 \quad (II)$$

هم‌چنین گفته شد سرعت صوت از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$C = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} \quad (III)$$

و بر اساس تعریف عدد ماخ داریم:

$$Ma = \frac{u}{C} \quad (IV)$$

از چهار معادله ذکر شده می‌توان رابطه زیر را به دست آورد:

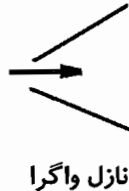
$$\frac{dA}{A} = \frac{du}{u} (Ma^2 - 1)$$

در یک نازل همگرا $\frac{dA}{A} < 0$ می باشد. اگر عدد Ma کوچک تر از یک باشد، آن گاه $\frac{du}{u} > 0$ و به عبارت دیگر $du > 0$ می باشد. پس در یک نازل همگرا که جریان مادون صوت است، سرعت افزایش می یابد.



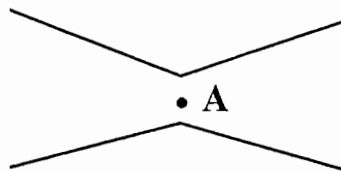
$$Ma < 1 \text{ و } \frac{dA}{A} < 0 \rightarrow \frac{du}{u} > 0 \rightarrow du > 0$$

بالعکس در یک نازل واگرا $\frac{dA}{A} > 0$ می باشد. اگر عدد Ma از یک بزرگ تر باشد، آن گاه $\frac{du}{u} > 0$ و به عبارت دیگر $du > 0$ می باشد. یعنی در یک نازل واگرا که جریان مافوق صوت است سرعت افزایش می یابد.



$$Ma > 1 \text{ و } \frac{dA}{A} > 0 \rightarrow \frac{du}{u} > 0 \rightarrow du > 0$$

به عبارت دیگر اگر سرعت سیال مادون صوت باشد و بخواهیم سرعت سیال را افزایش دهیم باید سیال از یک کانال همگرا عبور نماید. و اگر سرعت سیال مافوق صوت باشد و بخواهیم سرعت سیال را افزایش دهیم باید از یک کانال واگرا عبور کند. بنابراین تنها روش ایجاد جریان مافوق صوت این است که سیال تراکم پذیر از یک کانال همگرا و به دنبال آن از یک کانال واگرا عبور کند. تنها جایی که امکان رسیدن به سرعت صوت وجود دارد، گلوگاه کانال همگرا - واگرا می باشد.



نقطه A گلوگاه مجرای همگرا - واگرا

اگر در نقطه A سرعت، سرعت صوت باشد، پس از آن به سرعت مافوق صوت می رسیم، ولی اگر در نقطه A به سرعت صوت نرسیم امکان رسیدن به سرعت مافوق صوت پس از A وجود ندارد.

نکته : ماکزیمم شدت جرمی که از یک کانال همگرا - واگرا قابل عبور است زمانی است که سرعت سیال در گلوگاه به سرعت صوت برسد.

جریان آدیاباتیکی سیال تراکم‌پذیر در داخل لوله:

در این حالت به ازای یک طول مشخصی از لوله که این طول را با L^* مشخص می‌کنیم، سرعت در خروجی می‌تواند به سرعت صوت برسد. حداکثر سرعت در یک لوله سرعت صوت است.

اگر طول لوله کمتر از L^* باشد ($L < L^*$) سیال به سرعت صوت نمی‌رسد و سرعت مادون صوت است. اگر طول لوله بیشتر از L^* باشد ($L > L^*$) دو حالت اتفاق می‌افتد. اگر جریان مافوق صوت باشد، امواج شوک (و احتمالاً خفگی) و اگر جریان مادون صوت باشد خفگی به وجود می‌آید.

در جریان آدیاباتیکی دمای بین دو نقطه با رابطه زیر به یکدیگر مرتبط می‌شوند:

$$\frac{1 \cdot \quad \quad \quad \cdot 2}{T_2 = T_1 - \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2C_p} \right)}$$

طبق این رابطه اگر در جریان آدیاباتیکی سرعت سیال افزایش پیدا کند، دمای سیال کاهش می‌یابد. این رابطه به شرطی صحیح است که

(۱) هیچ کاری روی سیال انجام نشود.

(۲) تبادل حرارت وجود نداشته باشد.

(۳) لوله افقی باشد.

خفگی chocking: حالتی است که جرم مشخصی که باید جاری گردد، جریان نمی‌یابد بلکه جرم کمتری عبور می‌کند.

تست های فصل نهم (جریان سیالات تراکم پذیر)

۱ - درجه حرارت یک گاز جاری درون لوله افقی در حالت آدیاباتیک با افزایش سرعت:

- (۱) افزایش می یابد. (۲) تغییر نمی کند. (۳) کاهش می یابد. (۴) با سرعت نسبی ندارد.

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

۲ - اگر حرکت یک سیال در قسمت واگرای نازل بیشتر از سرعت صوت باشد، (Super sonic) عدد ماخ در گلوگاه چگونه است؟

(مهندسی شیمی سراسری ۷۶)

- (۱) همیشه بیشتر از یک (۲) مساوی ۱ (۳) همیشه کمتر از یک (۴) هم می تواند بیشتر و هم می تواند کمتر از یک باشد.

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

۳ - رفتار سیال تراکم پذیر را درون یک لوله به حالت ایزوترمال وقتی می توان به عنوان سیال تراکم ناپذیر در نظر گرفت که:

- (۱) سرعت آن مافوق صوت باشد. (۲) عدد ماخ آن برابر یک باشد. (۳) اختلاف فشار به فشار ورودی درون لوله کمتر از ۰.۱ باشد. (۴) عدد ماخ آن ۲ باشد.

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$\rho = \frac{PM}{RT}$ ، در حالت ایزوترمال T ثابت است، همچنین M , R نیز ثابت هستند، بنابراین اگر P ثابت (یا ΔP ناچیز باشد) می توان سیال را تراکم ناپذیر در نظر گرفت.

۴ - با توجه به منحنی تغییرات آنتالپی و انتروپی در حرکت آدیاباتیک سیالات تراکم پذیر در لوله ها، کدام مورد باعث ایجاد پدیده

Chocking می شود؟ (مهندسی شیمی سراسری ۷۷)

- (۱) حداکثر سرعت در لوله سرعت صوت است و افزایش دبی باعث این پدیده می شود. (۲) در سیالات تراکم پذیر Chocking اتفاق می افتد و این پدیده مربوط به نازل ها می شود. (۳) سرعت در خروجی لوله به زیر سرعت صوت می رسد. (۴) سرعت در خروجی لوله به مافوق سرعت صوت می رسد.

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

۵ - گرفتگی (چوک = Chock) در لوله در سیالات تراکم‌پذیر یعنی:

- (۱) مقدار جریان تعیین شده از لوله نمی‌تواند عبور کند.
- (۲) موج ضربه‌ای در لوله به‌وجود آید.
- (۳) شیر در مسیر بسته شود.
- (۴) محدودیت در سطح مقطع به‌وجود می‌آید.

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۶ - در جریان ایزوترم یک گاز ایده‌آل در یک لوله با طول ماکزیمم، عدد Mach خروجی از لوله مطابق با کدام گزینه است؟

(مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

(۱) یک

(۲) همواره بزرگ‌تر از یک است.

(۳) همواره کوچک‌تر از یک است.

(۴) بستگی به این دارد که جریان در لوله مادون صوت و یا فوق صوت باشد.

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۷ - کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

(۱) در جریان سیال تراکم‌پذیر در نازل همگرا - واگرا به هر میزان که بخواهیم می‌توانیم با کاهش فشار در انتهای نازل جریان سیال را افزایش دهیم.

(۲) در جریان سیال تراکم‌پذیر در نازل همگرا - واگرا بعد از این که سرعت سیال در گلوگاه به سرعت صوت رسید همواره می‌تواند با سرعت مافوق سرعت صوت از انتهای نازل خارج شود.

(۳) در جریان سیال تراکم‌پذیر در نازل همگرا - واگرا در حالت ایزنتروپیک ماکزیمم جریان موقعی خواهد بود که سرعت سیال در گلوگاه برابر با سرعت صوت در گلوگاه باشد.

(۴) در جریان سیال تراکم‌پذیر در نازل همگرا - واگرا همواره در گلوگاه سرعت سیال برابر با سرعت صوت است.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۸ - سیال تراکم‌پذیری که گاز ایده‌آل فرض شود در مسیری حرکت می‌کند. چنانچه در نقطه‌ای از مسیر درجه حرارت مطلق گاز ۲ برابر شود و سرعت آن نصف گردد. عدد ماخ چند برابر خواهد شد؟

(مهندسی شیمی و اعزام سراسری ۷۸)

(۴) 0.5

(۳) 2

(۲) $2\sqrt{2}$

(۱) $\frac{\sqrt{2}}{4}$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$Ma = \frac{V}{C} = \frac{V}{\sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}} \rightarrow M \propto \frac{V}{\sqrt{T}}$$

$$\frac{Ma_2}{Ma_1} = \frac{V_2}{V_1} \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{\sqrt{2}}{4}$$

۹- در حرکت ایزوترم اصطکاکی سیال تراکم‌پذیر در لوله کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی و صنایع غذایی ۷۹)

(۱) در حرکت مادون صوت، سرعت در طول لوله افزایش و فشار کاهش می‌یابد.

(۲) در حرکت مادون صوت، سرعت در طول لوله افزایش و فشار نیز افزایش می‌یابد.

(۳) در حرکت مافوق صوت، سرعت در طول لوله افزایش و فشار کاهش می‌یابد.

(۴) در حرکت مافوق صوت، سرعت در طول کاهش و فشار نیز کاهش می‌یابد.

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۱۰- گاز ایده‌آلی با فشار 1 atm و دمای 500 K به یک لوله وارد می‌شود. اگر فشار گاز هنگام خروج از لوله به 4 atm و دمای آن به

200 K رسیده باشد، در مورد دبی حجمی گاز خروجی کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی و صنایع غذایی ۷۹)

(۱) تغییر نکرده است و با مقدار ورودی برابر است. (۲) 0.1 مقدار ورودی است.

(۳) 10 برابر مقدار ورودی شده است. (۴) 0.25 مقدار ورودی است.

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \quad , \quad A_1 = A_2 \quad , \quad \rho = \frac{PM}{RT}$$

$$\frac{P_1 M}{RT_1} V_1 = \frac{P_2 M}{RT_2} V_2 \rightarrow \frac{1}{500} V_1 = \frac{4}{200} V_2 \rightarrow V_2 = 0.1 V_1 \rightarrow Q_2 = 0.1 Q_1$$

۱۱- سیال تراکم‌پذیری از انتهای یک نازل به صورت سوپرانیک و ایزنتروپیک خارج می‌شود. کدام یک از عبارات زیر در خصوص

این پروسس صحیح است؟ (آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی و صنایع غذایی ۷۹)

(۱) عدد ماخ در گلوگاه نازل برابر با یک است.

(۲) سرعت در گلوگاه نازل بیشترین مقدار را در نازل دارا است.

(۳) فشار از ابتدای نازل تا گلوگاه کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

(۴) فشار از ابتدای نازل تا گلوگاه افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۱۲ - هوا با دمای مطلق T_1 به یک اتصال وارد شده و با دمای مطلق $2T_1$ آن را ترک می‌کند. اگر طی عبور هوا از مسیر فشار تغییر نکند و در عوض قطر مجرا به نصف کاهش یابد. در حالت steady - state نسبت سرعت هوای ورودی به سرعت هوای خروجی چقدر است؟ هوا را گاز ایده‌آل فرض کنید.
(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی حفاری و استخراج نفت ۸۰)

(۱) 8 (۲) 2 (۳) $\frac{1}{8}$ (۴) $\frac{1}{2}$

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

$$\frac{P_1 M}{RT_1} \times V_1 \times \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{P_2 M}{RT_2} \times V_2 \times \frac{\pi D_2^2}{4}$$

$$D_2 = \frac{1}{4} D_1, \quad P_1 = P_2, \quad T_2 = 2T_1$$

$$\frac{1}{T_1} \times V_1 \times D_1^2 = \frac{1}{2T_1} \times V_2 \times \left(\frac{1}{4} D_1 \right)^2 \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{8}$$

۱۳ - در جریان ایزوترم اصطکاکی سیال تراکم‌پذیر در مجاری با سطح مقطع ثابت، کدام یک از روابط زیر صحیح است؟

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی و صنایع غذایی ۸۱)

$$\frac{-d\rho}{\rho} = \frac{d\rho}{p} = \frac{du}{u} \quad (۲)$$

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{dp}{p} = \frac{-du}{u} \quad (۱)$$

$$\frac{d\rho}{\rho} + \frac{du}{u} + \frac{dp}{p} = 0 \quad (۴)$$

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{du}{u} = \frac{dp}{p} \quad (۳)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

A ثابت

$$\rho UA = cte \rightarrow \rho u = cte \rightarrow \rho du + u d\rho = 0 \rightarrow \frac{du}{u} + \frac{d\rho}{\rho} = 0$$

مشتق‌گیری

$$\rho = \frac{pM}{RT} \Rightarrow \frac{p}{\rho} = \frac{RT}{M} = cte \rightarrow \frac{dp}{\rho} - \frac{p d\rho}{\rho^2} = 0 \rightarrow \frac{dp}{p} = \frac{d\rho}{\rho}$$

۱۴ - در یک مقطع از یک نازل ایزنتروپیک، عدد ماخ حرکت سیال تراکم‌پذیر برابر با ۱.۵ است. اگر در مقطع دیگری از نازل سرعت

سیال ۴ برابر و درجه حرارت $\frac{1}{4}$ شده باشد، عدد ماخ در این مقطع چند است؟

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی بیوتکنولوژی و صنایع غذایی)

(۱) 12 (۲) 3 (۳) 6 (۴) 1.5

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

سوالات مکانیک سیالات مهندسی شیمی - سال ۱۳۸۵

۱ - یک صفحه دایره‌ای به قطر ۲ متر به صورت مورب در زیر سطح آب قرار داده شده به طوری که فاصله لبه بالایی آن از سطح آزاد مایع یک متر و فاصله لبه پائینی آن از سطح آزاد مایع سه متر است. نیروی وارد به یک طرف این صفحه چند نیوتن است؟ (وزن مخصوص آب γ)

(۴) $\frac{3\pi\gamma}{2}$

(۳) $\frac{\pi\gamma}{2}$

(۲) $2\pi\gamma$

(۱) 2γ

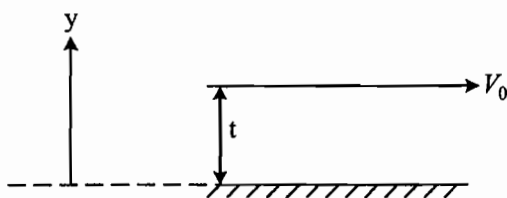
۲ - در شکل زیر منحنی تغییرات سرعت بین دو صفحه به صورت $v = \frac{v_0}{t} y$ می‌باشد. نیروی لازم جهت کشیدن صفحه بالایی متناسب است با:

(۲) $\frac{8\mu}{v_0}$

(۱) $\frac{v_0 t}{3}$

(۴) $\frac{v_0 \mu}{t}$

(۳) $\frac{v_0}{3t}$



۳ - افت فشار در یک خط لوله به قطر ۶۰ سانتی‌متر و طول ۱۵ متر برابر ۷۰ کیلوپاسکال می‌باشد. تنش برشی (Shear Stress) در بدنه لوله چند پاسکال است؟

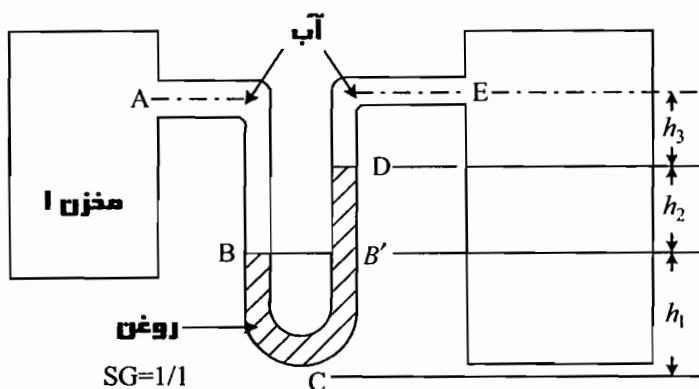
(۴) ۷۰۰.۰

(۳) ۴۲۰.۰

(۲) ۷۰.۰

(۱) ۴۲.۰

۴ - مطلوب است محاسبه اختلاف فشار بین دو مخزن ۱ و ۲، اگر $h_1 = 30 \text{ mm}$ ، $h_2 = 300 \text{ mm}$ و $h_3 = 300 \text{ mm}$ (جرم مخصوص آب را $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ در نظر بگیرید).



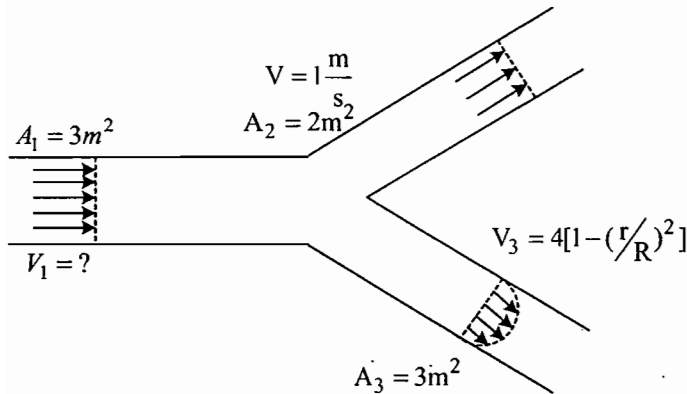
(۲) ۳۲۳.۷ Pa

(۱) ۲۹۴.۳ Pa

(۴) ۳۲۳۷ Pa

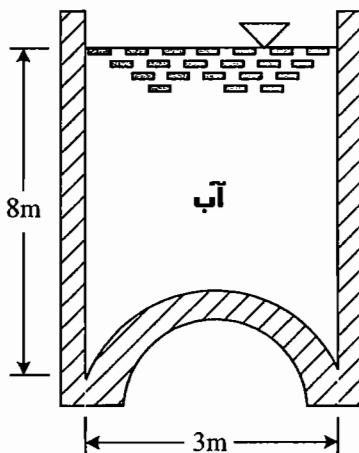
(۳) ۲۹۴۳ Pa

۵ - سیال غیرقابل تراکمی در خط لوله زیر جریان دارد. منحنی تغییرات سرعت در مقاطع ۱ و ۲ یکنواخت و در مقطع ۳ به صورت تابع درجه ۲ می باشد. سرعت در مقطع ۱ چند متر بر ثانیه است؟



- (۱) $\frac{4}{3}$
(۲) $\frac{3}{2}$
(۳) $\frac{8}{3}$
(۴) 6.0

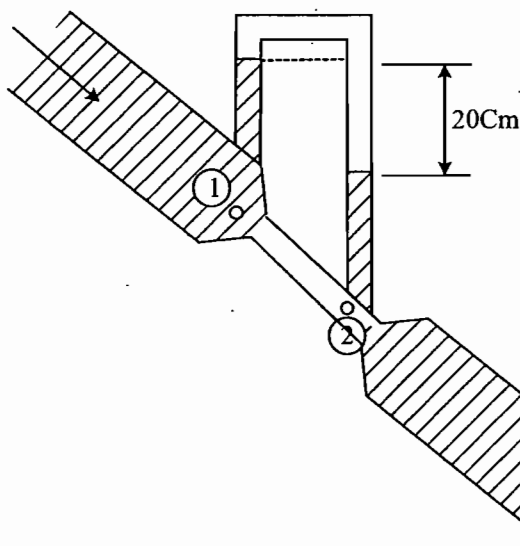
۶ - یک مخزن استوانه با قطر ۳ متر که در آن آب قرار دارد دارای قسمت پایینی نیم کره ای است. مقدار نیروی عمودی وارده از طرف آب به قسمت خمیده پایین را محاسبه کنید.



- (۱) 48.5 N
(۲) 48.5 kN
(۳) 485 N
(۴) 485 kN

۷ - اگر از اتلاف انرژی در خط لوله شکل صرف نظر شود. دبی آب جاری در خط لوله چند لیتر بر ثانیه است؟

($D_1 = 30 \text{ cm}$, $D_2 = 20 \text{ cm}$)



- (۱) 0.694
(۲) 6.94
(۳) 69.4
(۴) 694.0

$$\frac{Ma_2}{Ma_1} = \frac{V_2}{V_1} \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \rightarrow \frac{Ma_2}{1.5} = \frac{4V_1}{V_1} \sqrt{\frac{4T_2}{T_2}} \rightarrow Ma_2 = 12$$

مطابق فرمول تست شماره ۸

۱۵ - در جریان ایزنتروپیک سیال تراکم پذیر در داخل نازل ها، کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی حفاری و استخراج نفت ۸۰)

$$\frac{dp}{p} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{dp}{T} \quad (۲)$$

$$\frac{dp}{p} = \frac{dT}{T} - \frac{dp}{\rho} \quad (۱)$$

$$\frac{dp}{p} = \gamma \frac{dp}{\rho} \quad (۴)$$

$$\frac{dp}{p} = \frac{dT}{T} \quad (۳)$$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

۱۶ - سیالی ایده آل و تراکم پذیر با دمای 350 K و فشار 6 bar به لوله ای با قطر 10 cm وارد می شود. این گاز لوله را با فشار 3 bar و دمای 280K ترک می نماید. نسبت سرعت خروجی به ورودی چقدر است؟

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی ۸۰)

2.5 (۴)

1 (۳)

1.6 (۲)

0.4 (۱)

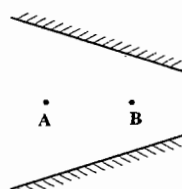
حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \rightarrow \frac{P_1}{RT_1} V_1 A_1 = \frac{P_2}{RT_2} V_2 A_2$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \rightarrow \frac{6 \times V_1}{350} = \frac{3 V_2}{280} \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = 1.6$$

۱۷ - در یک جریان مافوق صوت اگر حرکت از A به B طبق شکل زیر باشد، سرعت در حال است.

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی هوافضا ۷۸)



(۲) کاهش قابل صرف نظر کردن است.

(۱) افزایش است.

(۴) نمی توان جواب داد.

(۳) کاهش است.

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

۱۸ - در جریان آدیاباتیک اصطکاکی سیال تراکم‌پذیر در حالت یکنواخت در لوله‌ها کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

(آزمون کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی ۸۰)

- (۱) درجه حرارت سیال ثابت است.
- (۲) سرعت صوت در طول مسیر ثابت است.
- (۳) انتروپی گاز تغییر نمی‌کند.
- (۴) درجه حرارت سکون گاز در طول مسیر ثابت است.

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۱۹ - در جریان آدیاباتیک برگشت‌پذیر کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

(آزمون کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - مخازن هیدروکربوری ۷۹)

- (۱) در نازل واگرا سرعت همیشه کاهش یابد.
- (۲) در جریان مافوق صوت، برای افزایش سرعت باید سطح مقطع کاهش یابد.
- (۳) سرعت در گلویی نازل همگرا - واگرا، همواره برابر با سرعت صوت می‌باشد.
- (۴) در گلویی نازل همگرا - واگرا، سرعت جریان نمی‌تواند از سرعت صوت بیشتر باشد.

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۲۰ - با توجه به منحنی تغییرات آنتالپی در حرکت آدیاباتیک سیالات تراکم‌پذیر در لوله‌ها، کدام مورد باعث ایجاد پدیده

Choking می‌شود؟ (آزمون کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - مخازن هیدروکربوری ۷۷)

- (۱) حداکثر سرعت در لوله‌ها سرعت صوت است و افزایش دبی باعث این پدیده می‌شود.
- (۲) در سیالات تراکم‌پذیر Chocking اتفاق می‌افتد و این پدیده مربوط به نازل‌ها می‌شود.
- (۳) سرعت در خروجی لوله به زیر سرعت صوت می‌رسد.
- (۴) سرعت در خروجی لوله به مافوق سرعت صوت می‌رسد.

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۱۷- برای جاری شدن دسته‌ای از سیالات، می‌بایست مقدار تنش اعمال شده روی سیال از یک مقدار مشخص (T_y) بیشتر باشد. چنانچه این سیال از لوله‌ای عبور کند، کدام یک از گزینه‌های زیر می‌تواند نشان‌دهنده پروفایل سرعت این سیال در لوله در جریان آرام باشد؟



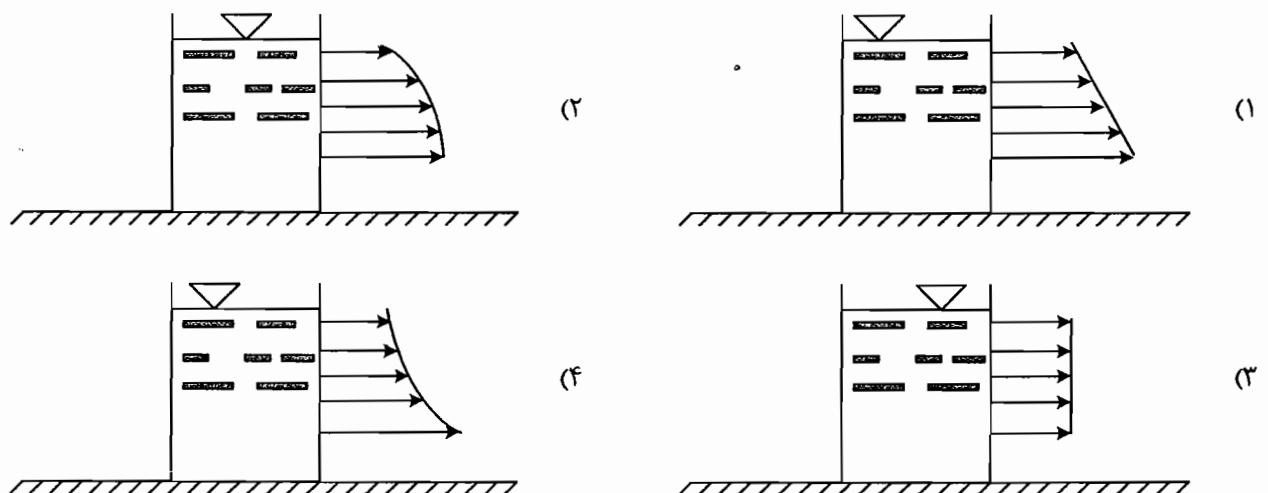
۱۸- خط جریان عبارت است از:

- (۱) خطی که کل انرژی جریان را نشان می‌دهد.
- (۲) خطی که جریان مقطع عرضی (سطح مقطع) را نشان می‌دهد.
- (۳) خطی که در هر نقطه از مقطع زمانی معلوم، بردار سرعت مماس بر آن است.
- (۴) خطی که در هر نقطه از مقطع زمانی معلوم، بردار سرعت ترسیمی عمود بر آن است.

۱۹- اگر سیالی که ویسکوزیته آن با افزایش نرخ برش کاهش می‌یابد در لوله‌ای جریان یابد مقدار افت فشار آن در مقایسه با سیالی که ویسکوزیته آن ثابت است؟

- (۱) کمتر است.
- (۲) بیشتر است.
- (۳) تفاوتی نمی‌کند.
- (۴) هیچ کدام

۲۰- سوراخ‌های متعددی در دیواره ظرف استوانه‌ای حاوی آب ایجاد شده است. کدام شکل تغییرات سرعت آب خروجی از سوراخ‌ها را صحیح نشان می‌دهد؟



سوالات مکانیک سیالات شیمی - سال ۱۳۸۶

۱ - آب با سرعت 5 متر بر ثانیه از لوله‌ای به سطح مقطع 0.5 مترمربع خارج می‌شود. اگر دانسیته آب 1000 کیلوگرم بر مترمکعب

باشد توان موجود در این جت آب چند کیلووات است؟ $\left(g = 10 \frac{m}{s^2}\right)$

- (۱) 15.62 (۲) 31.25 (۳) 310.15 (۴) 620.30

۲ - پمپی با راندمان η آب را در یک مدار بسته به گردش درمی‌آورد. اگر کل افت انرژی در این مدار H_f باشد، مقدار انرژی مصرف شده توسط پمپ برابر کدام است؟

- (۱) $\frac{H_f}{\eta}$ (۲) H_f (۳) $\frac{H_f \eta}{3}$ (۴) $H_f \eta$

۳ - جریانی از نفت خام در یک لوله به طول 15 کیلومتر و قطر 75 سانتی‌متر برقرار می‌باشد. اگر تنش مماسی (shear stress) وارد بر دیواره لوله 100 پاسکال باشد، افت فشار در این خط چند مگاپاسکال خواهد بود؟

- (۱) 2.0 (۲) 4.0 (۳) 8.0 (۴) 16.0

۴ - بستر ساکن با تخلخل $\varepsilon = 0.3$ در اثر افزایش سرعت گاز ورودی سیالی می‌شود. اگر ارتفاع بستر هفتاد و پنج درصد افزایش یابد، کسر حجمی ذرات جامد در بستر چقدر خواهد بود؟

- (۱) 0.3 (۲) 0.4 (۳) 0.6 (۴) 0.7

۵ - فشار سکون در مرکز یک لوله 14500 Pa و فشار استاتیک 10000 Pa است. سرعت سیال چند $\frac{m}{s}$ است؟ $\left(\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}\right)$

- (۱) 9 (۲) 4.5 (۳) 3.42 (۴) 3

۶ - جسم جامدی با دانسیته $650 \frac{kg}{m^3}$ در آب با دانسیته $1000 \frac{kg}{m^3}$ در حال حرکت است. کدامیک از عبارات زیر در مورد نیروهای اعمال شده به جسم صحیح است؟ نیروی ثقل در جهت پایین، نیروی شناوری در جهت:

- (۱) پایین، نیروی کشش در جهت بالا
(۲) بالا، نیروی کشش در جهت پایین
(۳) بالا، نیروی کشش در جهت بالا
(۴) بالا، نیروی کشش در جهت پایین

۷ - آب با دانسیته $1000 \frac{kg}{m^3}$ از یک شلنگ که به‌طور عمودی قرار گرفته است با سرعت $20 \frac{m}{s}$ خارج می‌شود. چنانچه آب تا ارتفاع

15m بالا رود. افت انرژی در مسیر چند $\frac{J}{kg}$ است؟ $\left(g = 10 \frac{m}{s^2}\right)$

- (۱) 0.0 (۲) 5 (۳) 50 (۴) 185

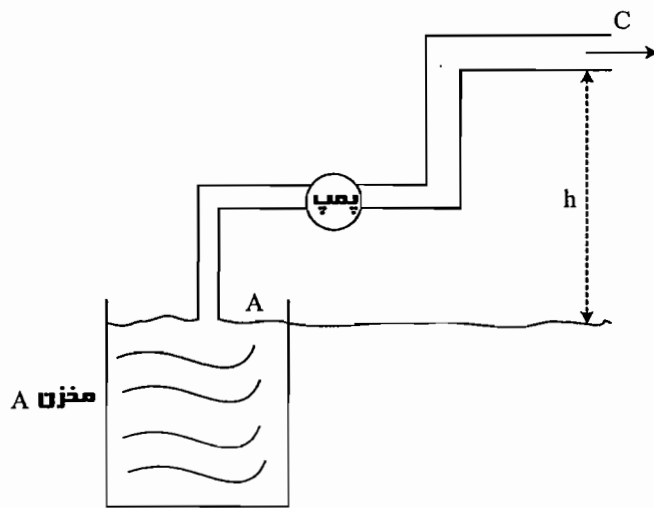
۸ - قدرت P برای به حرکت درآوردن یک پمپ جریان محوری، وابسته به این متغیرها است: قطر محور گردانده، سرعت زاویه‌ای محور، جرم مخصوص سیال، ارتفاع و دبی حجمی سیال است. تعداد گروه‌های بدون بعد را که می‌توان برای ارتباط اطلاعات تجربی به کار روند، برابر است با:

- (۱) 2 (۲) 3 (۳) 4 (۴) 6

۹ - پمپی آب را از مخزن A به خروجی C منتقل می‌نماید. اگر اصطکاک مسیر برابر $h_f = \frac{2v_C^2}{2g_C}$ ، قدرت پمپ $\eta w_p = \frac{5v_C^2}{2g_C}$ و سرعت

خروجی $V_C = \frac{4m}{sec}$ باشد ارتفاع h را محاسبه نمایید.

- (۱) $h = 1.63 m$ (۲) $h = 3.26 m$
(۳) $h = 1.63 m$ (۴) $h = 2.448 m$



۱۰ - پنج کیلوگرم دانه‌های گندم در یک بستر استوانه‌ای سیالی شده است. سرعت سیال $15 \frac{m}{s}$ و دانسیته سیال $1.12 \frac{kg}{m^3}$ و قطر

استوانه 10 cm است. افت فشار بستر را تخمین بزنید.

- (۱) 3120 Pa (۲) 6000 Pa (۳) 6245 Pa (۴) 12500 Pa

۱۱ - آب با سرعت $4 \frac{m}{s}$ داخل لوله‌ای به قطر 0.05 m جریان دارد. ضریب اصطکاک جریان داخل لوله 0.005 است. افت فشار در یک

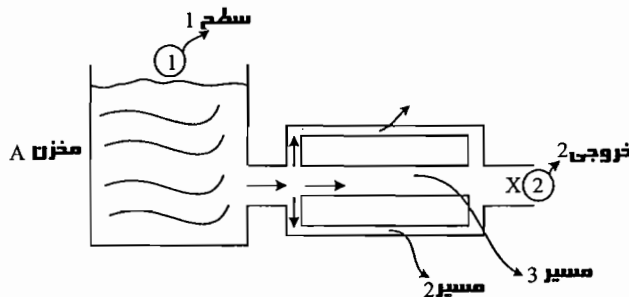
متر لوله چقدر است؟

- (۱) 200 پاسکال (۲) 800 پاسکال (۳) 1200 پاسکال (۴) 3200 پاسکال

۱۲ - یک کره توخالی به شعاع R و ضخامت t در ظرف آب به طور کاملاً غوطه‌ور قرار دارد. اگر چگالی ماده پوسته کره 8 باشد مقدار t به R برابر است با:

- (۱) 0.01 (۲) 0.02 (۳) 0.03 (۴) 0.04

۱۳- از سطح ۱ به خروجی ۲ رابطه بین افت انرژی اصطکاکی چگونه است؟ فرض: قطر لوله‌های مسیر (۱، ۲ و ۳) برابر و در ضمن طول لوله‌های مسیرهای (۱، ۲ و ۳) برابر است؟



$$h_f = 2h_{f_3} \quad (۱)$$

$$h_f = h_{f_1} + h_{f_2} \quad (۲)$$

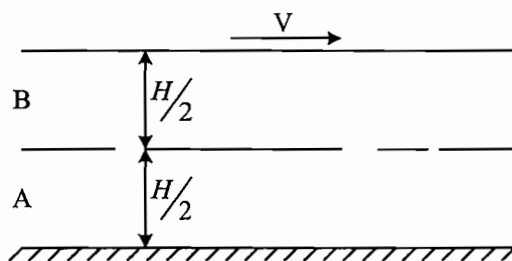
$$h_f = h_{f_1} + h_{f_2} + h_{f_3} \quad (۳)$$

$$h_f = h_{f_1} = h_{f_2} = h_{f_3} \quad (۴)$$

۱۴- پدیده جدایش (separation) روی سطح به چه دلیل اتفاق می‌افتد؟

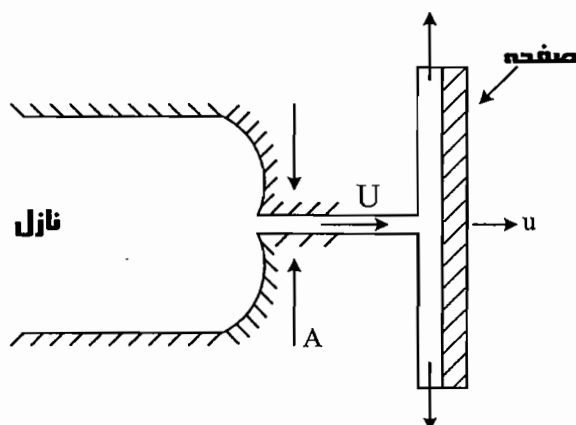
- (۱) یک اختلاف فشار معکوس
- (۲) کاهش افت فشار به صفر
- (۳) کاهش فشار به فشار بخار
- (۴) کاهش ضخامت لایه مرزی به صفر

۱۵- دو مایع غیرقابل امتزاج A و B بین دو صفحه موازی مطابق شکل قرار گرفته‌اند. اگر صفحه توخالی با سرعت ثابت V حرکت کند و صفحه پایینی ثابت باشد و اگر $\mu_B > \mu_A$ باشد کدامیک از گزینه‌های زیر درست است؟



- (۱) گرادیان سرعت در هر دو لایه خطی و شیب در دو لایه یکسان است.
- (۲) توزیع سرعت در هر دو لایه خطی و گرادیان سرعت در لایه B کوچکتر است.
- (۳) توزیع سرعت در هر دو لایه خطی و گرادیان سرعت در لایه A کوچکتر است.
- (۴) گرادیان در لایه‌های A و B ارتباطی به مقدار ویسکوزیته دو سیال ندارد.

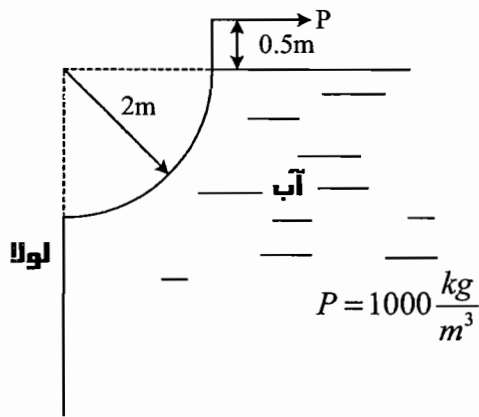
۱۶- جت افقی با سرعت U از نازل خارج می‌شود. سطح خروجی جت آب برابر A می‌باشد. اگر این جت به صفحه قائمی که با سرعت u حرکت می‌کند، برخورد کند، نیروی وارد بر صفحه برابر است با:



$$\rho A U (U - u) \quad (۲) \quad \rho A (U - u)^2 \quad (۱)$$

$$\rho A U (U - u) \quad (۴) \quad \rho A (u - U)^2 \quad (۳)$$

۸- با صرف نظر از وزن دریچه، نیروی P برای نگهداشتن دریچه چند kN است؟ طول دریچه 4 m می باشد. $\left(g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$



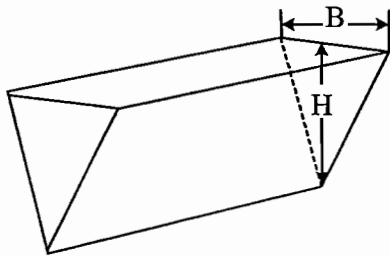
(۱) 32

(۲) 64

(۳) 100

(۴) 200

۹- یک تانک با سطح انتهایی مثلث شکل از سیالی با وزن مخصوص γ پر شده است. نیروی فشاری وارد بر لبه سطح تانک را به دست آورید.



(۲) $\rho g B \frac{H^2}{6}$

(۱) $\rho g B \frac{H}{6}$

(۴) $\rho g B \frac{H^2}{3}$

(۳) $\rho g B \frac{H}{3}$

۱۰- روغنی با دانسیته $800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ در لوله ای افقی و صاف با قطر 10 cm و عدد رینولدز 800 و با افت فشار به ازاء واحد طول لوله

$2000 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$ در جریان است. سرعت روغن در لوله چند $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ است؟

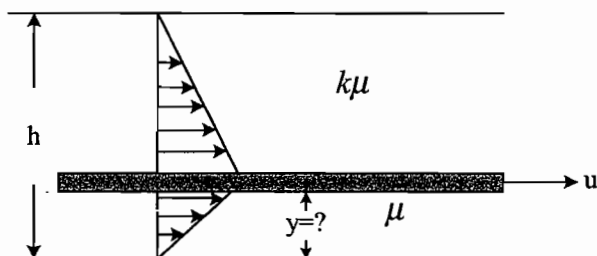
(۴) $2.5\sqrt{10}$

(۳) 2.5

(۲) 1.25

(۱) 0.25

۱۱- صفحه مستطیل شکل نازکی با سرعت ثابت u در میان دو صفحه که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند کشیده می شود. اگر ویسکوزیته سیالاتی که در طرفین صفحه قرار دارند μ و $k\mu$ باشد، مکان صفحه میانی را طوری تعیین کنید که نیروی درگ بر روی صفحه حداقل شود.



(۲) $\frac{h}{\sqrt{1+k}}$

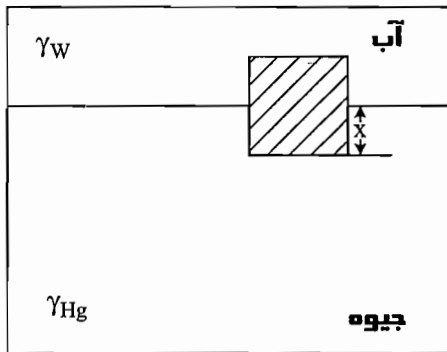
(۱) $\frac{h}{1+\sqrt{k}}$

(۴) $\frac{\sqrt{1+k}}{h}$

(۳) $\frac{1+\sqrt{k}}{h}$

۱۲- مکعبی به وزن ۴۴۵ نیوتن داخل مخزنی حاوی یک لایه آب روی لایه‌ای از جیوه فرو برده می‌شود. موقعیت مکعب (x) را در

حال تعادل مشخص کنید. هر ضلع مکعب ۰.۳ متر است. $\left(\gamma_w = 9806 \frac{N}{m^3}, \gamma_{Hg} = 133400 \frac{N}{m^3} \right)$



(۱) ۰.۰۱۶۲ متر

(۲) ۰.۰۲۶۱ متر

(۳) ۰.۰۰۸۱ متر

(۴) ۰.۰۲۸۱ متر

۱۳- در معادله $\frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z = cte$ جملات مختلف دارای چه واحدی هستند؟

(۱) ژول بر مترمکعب (۲) ژول بر ثانیه (۳) ژول بر کیلوگرم (۴) ژول بر نیوتن

۱۴- اگر سرعت متوسط را با $\bar{u}$ و سرعت ماکزیمم در مرکز لوله را با u_{max} نشان دهیم کدام یک از گزینه‌های زیر درست می‌باشد؟

(۱) در جریان‌های آرام و درهم $\bar{u} = 0.5 u_{max}$ می‌باشد.

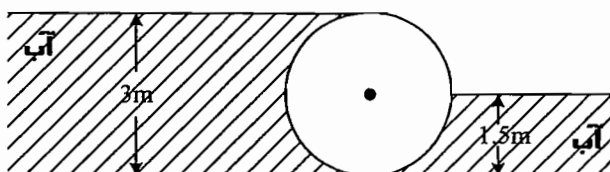
(۲) در جریان‌های آرام و درهم $\bar{u} = 0.82 u_{max}$ می‌باشد.

(۳) در جریان آرام $\bar{u} = 0.82 u_{max}$ و در جریان درهم $\bar{u} = 0.5 u_{max}$ می‌باشد.

(۴) در جریان آرام $\bar{u} = 0.5 u_{max}$ و در جریان درهم $\bar{u} = 0.82 u_{max}$ می‌باشد.

۱۵- سد استوانه‌ای شکل زیر را در نظر بگیرید که از دو طرف آب بر آن اثر می‌کند. قطر و طول این سد به ترتیب ۳ و ۶ متر است.

مقدار نیروی برآیند که از طرف سیال بر این سد در جهت افق وارد می‌شود چند kN است؟ $\left(\gamma_w = 9806 \frac{N}{m^3} \right)$



(۲) ۱۹۸

(۱) ۶۶.۲

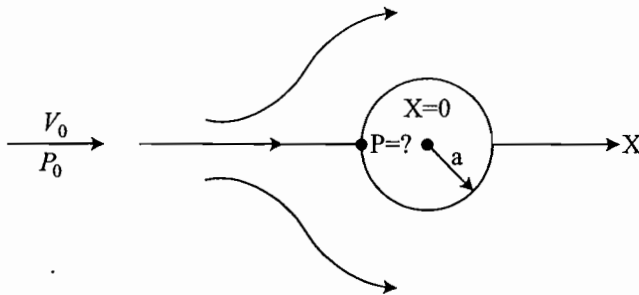
(۴) ۳۵۶

(۳) ۲۶۵

مکانیک سیالات مهندسی شیمی - سال ۱۳۸۲

۱- سیال تراکم‌ناپذیری به صورت پایا از روی یک استوانه عبور می‌کند. سرعت سیال روی خط جریان نشان داده شده در شکل

است، که $V = V_0 \left(1 - \frac{a^2}{x^2}\right)$ شعاع استوانه و V_0 سرعت بالادست است. اگر فشار در بالادست جریان باشد، فشار روی استوانه چقدر است؟



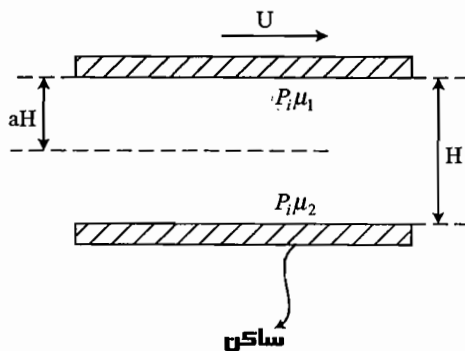
(۲) $P_0 + \rho V_0^2$

(۱) $P_0 + \frac{1}{2} \rho V_0^2$

(۴) $P_0 - \rho V_0^2$

(۳) $P_0 - \frac{1}{2} \rho V_0^2$

۲- دو مایع غیرقابل اختلاط با دانسیته یکسان و ویسکوزیته‌های متفاوت فضای بین دو صفحه تخت افقی را پر کرده‌اند و صفحه بالایی با سرعت ثابت U حرکت می‌کند. اگر فاصله دو صفحه H ، ضخامت مایع اول aH و ضخامت مایع دوم $(1-a)H$ باشد، سرعت سطح تماس دو مایع را محاسبه کنید. در جهت حرکت مایع فشار ثابت است.



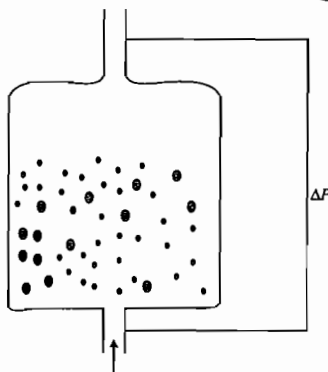
(۲) $U \cdot \frac{(1-a)}{a + (1-a) \frac{\mu_1}{\mu_2}}$

(۱) $U \cdot \frac{\frac{\mu_1}{\mu_2}(1-a)}{(1-a) + a \frac{\mu_1}{\mu_2}}$

(۴) $U \cdot \frac{a \frac{\mu_1}{\mu_2}}{a + (1-a) \frac{\mu_1}{\mu_2}}$

(۳) $U \cdot \frac{\frac{\mu_1}{\mu_2}(1-a)}{a + (1-a) \frac{\mu_1}{\mu_2}}$

۳- در یک بستر سیال، سرعت سیال ورودی ۲۰٪ افزایش می‌یابد. کدامیک از گزینه‌های زیر صحیح است؟



(۱) افت فشار افزایش یافته و تخلخل افزایش می‌یابد.

(۲) افت فشار ثابت باقی مانده و تخلخل تغییری نمی‌کند.

(۳) افت فشار ثابت باقی مانده و تخلخل افزایش می‌یابد.

(۴) افت فشار ثابت باقی مانده و تخلخل کاهش می‌یابد.

۴- در دو لوله با قطر یکسان و زبری‌های متفاوت، جریان سیال ویسکوز با $Re=453$ برقرار است. کدامیک از گزینه‌های زیر در

مورد افت فشار در واحد طول صحیح است؟

(۱) افت فشار در واحد طول برای لوله زبرتر کمتر است.

(۲) افت فشار در واحد طول برای هر دو لوله برابر است.

(۳) افت فشار در واحد طول برای لوله زبرتر بیشتر است.

(۴) افت فشار در واحد طول برای لوله زبرتر ممکن است بیشتر یا کمتر باشد.

۵- روغن با دانسیته $800 \frac{kg}{m^3}$ و ویسکوزیته $5 Cp$ از بستری از ذرات کروی با دانسیته $3000 \frac{kg}{m^3}$ عبور می‌کند. اگر حداقل کسر

حجمی برای سیال شدن بستر $\varepsilon=0.5$ باشد، حداقل افت فشار برای بستر با عمق $150 cm$ چند Kpa است؟ $\left(g = 10 \frac{m}{s^2}\right)$

1800 (۴)

18 (۳)

1.8 (۲)

12 (۱)

۶- یک صفحه مثلثی شکل با قاعده $3m$ و ارتفاع $4.5m$ مطابق شکل زیر آب با دانسیته $1000 \frac{kg}{m^3}$ قرار گرفته است. نیروی وارد

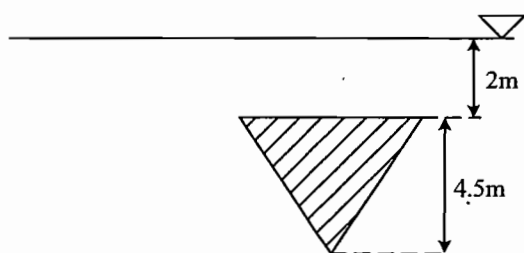
شده به یک طرف صفحه چند kN است؟ $\left(g = 10 \frac{m}{s^2}\right)$

0.0 (۱)

23.625 (۲)

135 (۳)

236.25 (۴)



۷- آب با فشار $0.05 bar$ و سرعت $10 \frac{m}{s}$ به یک پمپ وارد می‌شود. اگر فشار بخار آب در دمای آن $5000 Pa$ و دانسیته آن

$1000 \frac{kg}{m^3}$ باشد کدام یک از عبارت زیر صحیح است؟

(۲) در پمپ کاویتاسیون رخ نمی‌دهد.

NPSH=0 (۱)

(۴) در پمپ کاویتاسیون رخ می‌دهد.

NPSH=50 (۳)

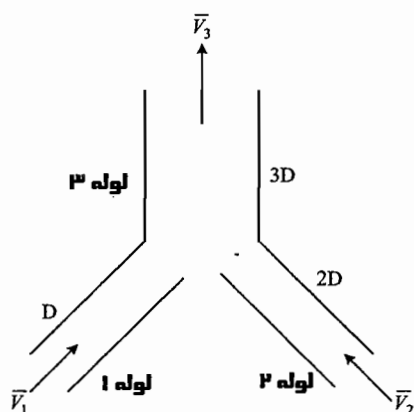
۸- در شکل زیر کدام یک از روابط در خصوص سرعت متوسط سیال خروجی از لوله $(\bar{v}_3)$ صحیح است؟

$$\bar{v}_3 = \frac{1}{9}(\bar{v}_1 + 4\bar{v}_2) \quad (۱)$$

$$\bar{v}_3 = \bar{v}_1 + \bar{v}_2 \quad (۲)$$

$$\bar{v}_3 = \frac{1}{9}(\bar{v}_1 + 2\bar{v}_2) \quad (۳)$$

$$\bar{v}_3 = \frac{1}{3}(\bar{v}_1 + 2\bar{v}_2) \quad (۴)$$



۹- آب $\left(\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}, \mu = 10^{-3} Pa \cdot s\right)$ با سرعت 2.5 سانتی‌متر بر ثانیه در یک لوله افقی به قطر 5 سانتی‌متر جریان دارد. اگر

افت فشار دو سر خط لوله 3200 پاسکال گزارش شده باشد، طول خط لوله چند کیلومتر است؟

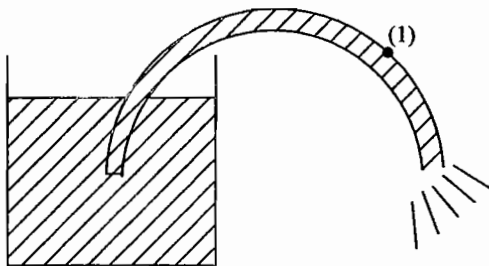
14.0 (۴)

12.7 (۳)

10.0 (۲)

5.0 (۱)

- ✓ ۱۰- آب از یک مخزن توسط یک شیلنگ مطابق شکل سیفون می‌شود. اگر در نقطه (۱) سوراخی ایجاد شود، کدام یک از موارد زیر صادق است؟ (از افت انرژی به خاطر اصطکاک صرف نظر شود).



- (۱) بستگی به اندازه قطر و طول لوله دارد.
 (۲) آب از لوله به بیرون نشت می‌کند.
 (۳) بستگی به موقعیت سوراخ ندارد.
 (۴) هوا به داخل لوله مکیده می‌شود.

- ۱۱- افت فشار داخل یک افشانک (Diffuser) به دبی سیال گذرنده Q ، قطرهای ورودی و خروجی D_1 و D_2 ، طول افشانک l ، دانسیته سیال ρ و ویسکوزیته سیال μ بستگی دارد. از آنالیز ابعادی کدام گزینه به دست نمی‌آید؟

(۱) $\frac{\Delta p D_1^3}{Q \mu}$ (۲) $\frac{\Delta p D_1^4}{Q^2 \rho}$ (۳) $\frac{Q \rho}{D_1 \mu}$ (۴) $\frac{D_2}{D_1}$

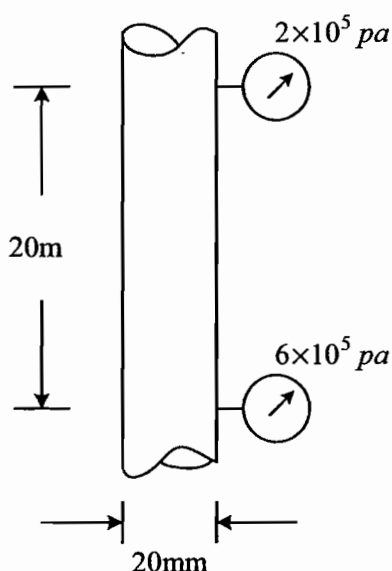
- ۱۲- گلوله‌ای به قطر ۸ mm فلزی با جرم حجمی $7000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ در روغنی با جرم حجمی $800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ سقوط می‌کند و به سرعت حدی

۴ $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$ می‌رسد، ویسکوزیته روغن را بر حسب $\text{Pa} \cdot \text{s}$ محاسبه کنید. $\left(\pi=3, g=10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$

(۱) $\frac{32}{45}$ (۲) $\frac{312}{45}$ (۳) $\frac{248}{45}$ (۴) $\frac{280}{45}$

- ۱۳- سیالی $\left(\mu=0.2 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}, \rho=1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$ در لوله نشان داده شده به قطر ۲۰ mm با رژیم آرام در جریان است. جهت جریان و

سرعت جریان در لوله را مشخص کنید. $\left(g=10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$



- (۱) از پایین به بالا، دبی $\frac{5 \text{ m}}{4 \text{ s}}$ (۲) از بالا به پایین، دبی $\frac{5 \text{ m}}{8 \text{ s}}$
 (۳) از بالا به پایین، دبی $\frac{5 \text{ m}}{4 \text{ s}}$ (۴) از پایین به بالا، دبی $\frac{5 \text{ m}}{8 \text{ s}}$

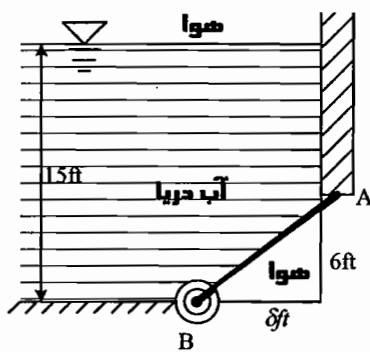
۱۴- اگر برای یک جریان داشته باشیم $u = 5 \frac{m}{s}$ و $v = 2 - t$ آنگاه:

(۱) جریان دائم است و معادله خط جریان $y = \frac{2}{5}x - t$ است. (۲) جریان دائم است و معادله خط جریان $y = \frac{2-t}{5}x$ است.

(۳) جریان غیردائم است و معادله خط جریان $y = \frac{2}{5}x - t$ است. (۴) جریان غیردائم است و معادله خط جریان $y = \frac{2-t}{5}x$ است.

۱۵- مطابق شکل دریچه AB به شکل مستطیل و عرض 5 ft در نقطه B لولا شده است. با توجه به اطلاعات روی شکل، نیرویی که از

طرف آب به دریچه اعمال می شود بر حسب lb_f چقدر است؟ $\left(\gamma_w = 64 \frac{lb_f}{ft^3} \right)$



(۲) 38400

(۱) 48500

(۴) 84500

(۳) 53800

سوالات سال ۸۸ سیالات مهندسی شیمی

۱- مقدار تنش برشی که سیال به دیواره‌های اطراف خود اعمال می‌کند..... می‌باشد.

(۱) برای سیالات نیوتنی متناسب با توان دو سرعت سیال

(۲) برای هر سیال متناسب با اختلاف سرعت سیال و دیواره

(۳) برای هر سیال متناسب با توان دو اختلاف سرعت سیال و دیواره

(۴) برای سیالات نیوتنی متناسب با توان دو اختلاف سرعت سیال و دیواره

۲- آب در یک لوله با قطر 50 میلی‌متر با دبی حجمی $0.015 \frac{m^3}{s}$ جریان دارد. اگر افت فشار در این لوله $1200 \frac{Pa}{m}$ باشد، ضریب

اصطکاک در این لوله چقدر است؟ $\left(\pi = 3.14, \rho_w = 1000 \frac{kg}{m^3} \right)$

(۴) $\frac{3}{64}$

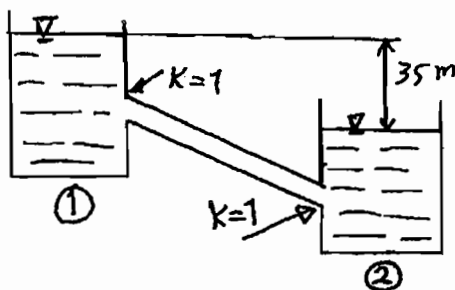
(۴) $\frac{5}{640}$

(۲) $\frac{3}{640}$

(۱) $\frac{1.5}{640}$

۳- مطابق شکل آب از مخزن 1 به 2 جریان دارد که لوله بین دو مخزن به طول 50 متر و قطر 50mm می‌باشد. اگر ضریب

اصطکاک در لوله 0.005 باشد، سرعت در لوله چند متر بر ثانیه است؟ $g = 10 \frac{m}{s^2}$



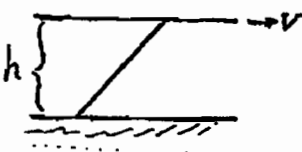
(۱) 10

(۲) 20

(۳) 35

(۴) 100

۴- ضریب تصحیح انرژی جنبشی برای پروفایل سرعت بین دو صفحه موازی در شرایط پایا چقدر است؟



(۲) 1

(۱) 0

(۴) 2

(۳) $\frac{3}{4}$

۵- برای بدست آوردن معادله $\left(\sum F_x = \rho Q (V_{xout} - V_{xin}) \right)$ از بین چهار فرض ذکر شده دو فرض ساده کننده که نیاز

می‌باشد کدام می‌باشند؟ (۱- سرعت روی سطح مقطع ثابت است. ۲- جریان پایا. ۳- سیال تراکم‌پذیر. ۴- جریان بدون

اصطکاک سیال ایده‌آل.)

(۴) 3, 2

(۳) 2, 4

(۲) 1, 4

(۱) 1, 2

۶- تانک استوانه‌ای روی سطح شیب‌دار بدون اصطکاک که با افق زاویه θ می‌سازد می‌لغزد. زاویه سطح مایع تانک با سطح

شیب‌دار چقدر است؟

(۴) 2θ

(۳) θ

(۲) $\frac{1}{2}\theta$

(۱) 0

۷- از یک لوله به شکل نازل (nozzle) که به صورت عمودی قرار دارد، آب یا شدت جریان $6.28 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ از آن خارج شده و به سمت

بالا پرتاب می‌گردد. اگر قطر نازل در قست خروجی آب 2cm باشد، آب تا ارتفاع چند متری پرتاب می‌شود؟ ($g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$) جرم



مخصوص آب $(\rho = 1 \frac{\text{kg}}{\text{lit}})$

- (۱) 15 (۲) 20 (۳) 25 (۴) 30

۸- اگر تغییرات سرعت در داخل کانالی به ارتفاع H و به عرض W از رابطه $u_x = \frac{U}{H}y$ پیروی کند در آن صورت سرعت متوسط در داخل کانال برابر کدام خواهد بود؟

- (۱) U (۲) 2U (۳) $\frac{UW}{H}$ (۴) $\frac{U}{2}$

۹- برای یک سیال تراکم‌ناپذیر دو مولفه سرعت در شرایط پایا داده شده، مولفه سوم سرعت کدام می‌باشد؟ ($U_y = 2y^2$, $U_z = 2xyz$)

- (۱) $-2y^2x - x^2yz + f(y, z)$ (۲) $-4xy - x^2y^2 + f(y, z)$ (۳) $-2y^2x - x^2y + f(y, z)$ (۴) $-4xy - x^2y + f(y, z)$

۱۰- کدام یک برای اندازه‌گیری سرعت نقطه‌ای در جریان مورد استفاده قرار می‌گیرد؟

- (۱) اریفیس‌متر (۲) ونتوری‌متر (۳) لوله پیتوت (۴) لوله بردن

۱۱- شرط برقراری رابطه پیوستگی برای یک سیال تراکم‌ناپذیر در شرایط پایا در جریانی که میدان سرعت آن $\vec{V} = ax^2\hat{i} + bxy\hat{j}$ است کدام می‌باشد؟

- (۱) $b = 2a$ (۲) $a = 2b$ (۳) $a = -2b$ (۴) $b = -2a$

۱۲- معادله جریان حجمی یک سیال (حجم عبوری در واحد زمان) که از لوله‌ای به قطر D عبور می‌کند، به صورت $Q = k \times \rho^a \times D^b \times (\Delta P)^c$ بر حسب افت فشار (ΔP) و جرم مخصوص سیال (ρ) و قطر لوله (D) تعریف شده است. اگر k یک ثابت بدون بعد باشد، مقادیر a، b و c کدام می‌باشند؟

- (۱) $a = 0.5$, $b = 2$, $c = -0.5$ (۲) $a = 0.5$, $b = -2$, $c = -0.5$ (۳) $a = -0.5$, $b = 2$, $c = 0.5$ (۴) $a = -0.5$, $b = -2$, $c = 0.5$

۱۳- در یک لوله افقی به طول یک متر و قطر 0.5 متر آب جریان دارد که عدد رینولدز برای آن 1600 می‌باشد. اگر افت فشار در

- این لوله 10 پاسکال باشد، سرعت آب در لوله چند متر بر ثانیه خواهد بود؟ ($g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, $\rho_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) (۱) 0.25 (۲) 0.5 (۳) 1.5 (۴) 2.5

۱۴- کدام عبارت درست است؟

- (۱) جریان در لوله از نقطه‌ای که انرژی بیشتری دارد، به نقطه با انرژی کمتر برقرار می‌شود.
(۲) جریان در لوله از نقطه‌ای که فشار بیشتری دارد، به نقطه‌ای که فشار کمتری برقرار می‌شود.
(۳) جریان در لوله از نقطه‌ای که ارتفاع بیشتری دارد به نقطه‌ای که ارتفاع کمتری دارد برقرار می‌شود.
(۴) موارد ۲ و ۳ صحیح می‌باشد.

۱۵- صفحه‌ای به ابعاد $4\text{m} \times 4\text{m}$ در داخل آب با سرعت $V = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ و با نیروی کشیده F کشیده می‌شود. اگر ضخامت آب در دو طرف

صفحه 2cm و 4cm باشد، نیروی F را بر حسب N پیدا کنید. (گرانروی آب $\mu = 0.01 \frac{\text{gf}}{\text{cm.s}}$ می‌باشد).

- (۱) 10 (۲) 12 (۳) 14 (۴) 16

پاسخ مکانیک سیالات مهندسی شیمی - سال ۱۳۸۵

۱- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$F = P_C A = \gamma h_C A = \gamma \times 2 \times \pi \times 1^2 = 2\gamma\pi$$

۲- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} F &= \tau \cdot A \\ \tau &= \mu \frac{\partial V}{\partial y} = \frac{\mu V_0}{t} \end{aligned} \right\} \rightarrow F \propto \frac{\mu V_0}{t}$$

۳- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\tau = -\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{r}{2} \Rightarrow \tau = \frac{70 \times 10^3}{15} \times \frac{0.3}{2} = 700$$

۴- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$P_A + 0.6\gamma_w - 0.3 \times 1.1\gamma_w - 0.3\gamma_w = P_E$$

$$\Rightarrow P_A - P_E = 0.3 \times 0.1 \times \gamma_w = 0.3 \times 0.1 \times 1000 \times 9.8 = 294.3 \text{ Pa}$$

۵- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$$

$$\rho V_1 A_1 = \rho V_2 A_2 + \rho V_3 A_3 \Rightarrow V_1 \times 3 = 1 \times 2 + \frac{4}{2} \times 3 \Rightarrow V_1 = \frac{8}{3}$$

↓
سرعت متوسط

۶- گزینه ۴ صحیح می باشد.

نیروی عمودی وارد بر سطوح خمیده برابر است با نیروی وزن سیال بالا سطوح

$$F_y = \gamma V = \gamma \left[\frac{\pi 3^2}{4} \times 8 - \frac{2}{3} \pi (1.5)^3 \right] = 10000 \left[18\pi - \frac{2}{3} \pi \times (1.5)^3 \right] = 485 \text{ kN}$$

۷- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\text{معادله برنولی بین نقاط (۱) و (۲)} \Rightarrow \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + z_1 g = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + z_2 g$$

$$z_1 = z_2 \Rightarrow V_2^2 - V_1^2 = 2 \frac{(P_1 - P_2)}{\rho} = 2 \times 9.8 \times 0.2$$

$$\text{با نوشتن معادله پیوستگی} \Rightarrow \dot{m}_1 = \dot{m}_2 \Rightarrow \rho V_1 A_1 = \rho V_2 A_2$$

$$\Rightarrow V_1 A_1 = V_2 A_2 \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = \left(\frac{3}{2} \right)^2 = \frac{9}{4} \Rightarrow V_2 = \frac{9}{4} V_1$$

$$\Rightarrow \left(\frac{9}{4} V_1 \right)^2 - (V_1)^2 = \frac{81}{16} V_1^2 - \frac{16}{16} V_1^2 = \frac{65}{16} V_1^2 = 2 \times 9.8 \times 0.2 \Rightarrow V_1 = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow Q = VA \Rightarrow 1 \times \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{3}{10} \right)^2 = 0.0706 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \Rightarrow 0.0706 \times 1000 = 70.6 \frac{\text{lit}}{\text{s}}$$

۸- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$6-3=3 \Rightarrow \text{تعداد ابعاد اصلی سیستم} - \text{تعداد کمیت} = \text{تعداد گروه های بی بعد}$$

۹- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\begin{aligned} \text{رابطه برنولی A و C} \quad \frac{P_A}{\rho} + \frac{V_A^2}{2} + z_A g + \eta w_p &= \frac{P_C}{\rho} + \frac{V_C^2}{2} + z_C g + h_f \\ \Rightarrow \eta w_p &= \frac{V_C^2}{2} + gh + h_f \Rightarrow 2.5 V_C^2 = \frac{V_C^2}{2} + gh + V_C^2 \Rightarrow gh = V_C^2 \Rightarrow h = \frac{16}{9.8} = 1.63 \text{ m} \end{aligned}$$

۱۰- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\begin{aligned} \Delta P &= (\rho_s - \rho) g L (1 - \varepsilon) \\ \rho_s \gg \rho &\Rightarrow \Delta P = \rho_s g L (1 - \varepsilon) \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V \Rightarrow m_s = \rho_s \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L (1 - \varepsilon) \\ \Rightarrow \Delta P &= \rho_s L (1 - \varepsilon) g = \frac{4 m_s}{\pi D^2} \times g = \frac{4 \times 5}{3.14 \times 0.1^2} \times 9.8 = 6242 \text{ Pa} \end{aligned}$$

۱۱- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} = \frac{5}{1000} \times \frac{1}{5} \times \frac{4 \times 4}{2 \times 10} = \frac{8}{100} \Rightarrow \Delta P = \gamma \times h = 10000 \times \frac{8}{100} = 800 \text{ pa}$$

۱۲- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\begin{aligned} \text{نیروی وزن} = \text{نیروی غوطه وری} &\Rightarrow \frac{4}{3} \pi (R+t)^3 \gamma_w = \frac{4}{3} \pi ((R+t)^3 - R^3) \gamma_s \Rightarrow (R+t)^3 - R^3 = (R+t)^3 \frac{\gamma_w}{8 \gamma_s} \\ \Rightarrow \frac{(R+t)^3 - R^3}{(R+t)^3} &= \frac{1}{8} \Rightarrow \left(\frac{R}{R+t} \right)^3 = \frac{7}{8} \Rightarrow \frac{R}{R+t} = 0.95 \Rightarrow \frac{t}{R} = 0.04 \end{aligned}$$

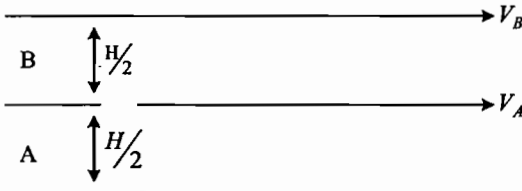
۱۳- گزینه ۴ صحیح می باشد.

افت فشار لوله های موازی با هم برابر می باشد.

۱۴- گزینه ۱ صحیح می باشد.

در ناحیه قبل از نقطه جدایی، سرعت سیال افزایش می یابد و فشار در راستای حرکت کاهش می یابد.

۱۵- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{V}_B}{\partial y} &= \frac{V_B - V_A}{\frac{H}{2}} \\ \frac{\partial \bar{V}_A}{\partial y} &= \frac{V_A - 0}{\frac{H}{2}} \end{aligned}$$


$$F_A = F_B \Rightarrow \tau_A \times A = \tau_B \cdot A \Rightarrow \tau_A = \tau_B \Rightarrow \mu_A \left(\frac{\partial \bar{V}_A}{\partial y} \right) = \mu_B \left(\frac{\partial \bar{V}_B}{\partial y} \right)$$

$$\mu_A < \mu_B \Rightarrow \frac{\partial V_A}{\partial y} > \frac{\partial V_B}{\partial y}$$

۱۶- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{array}{l} F = \dot{m}V = \rho AV^2 \\ V = U - u \end{array} \right\} \rightarrow F = \rho A(U - u)^2$$

۱۷- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\tau = \tau_p + \mu \frac{du}{dy} \Rightarrow \tau - \tau_p = \mu \frac{du}{dy}$$

۱۸- گزینه ۳ صحیح می باشد.

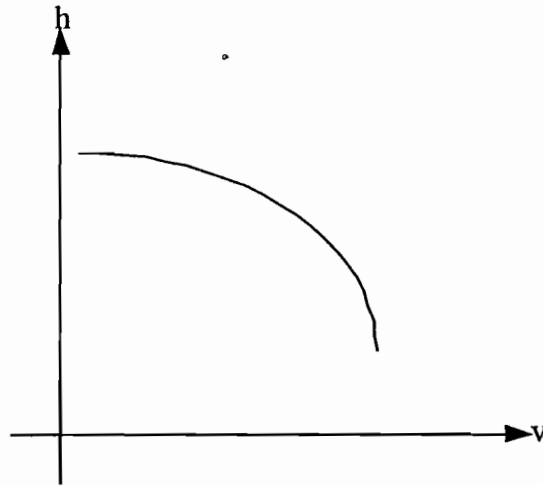
گزینه سوم تعریف خط جریان می باشد.

۱۹- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{array}{l} -\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{r}{2} = -\mu \frac{du}{dr} \\ \frac{du}{dr} \uparrow \Rightarrow \mu \downarrow \end{array} \right\} \rightarrow \Delta P \downarrow$$

۲۰- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$V^2 = 2gh \Rightarrow V = \sqrt{2gh}$$



پاسخ سوالات مکانیک سیالات مهندسی شیمی - سال ۱۳۸۶

۱- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\frac{1}{2} \dot{m} V^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 5 \times 1000 \times \frac{1}{2} = \frac{125 \times 10^3}{4} \text{ w} \Rightarrow \frac{125}{4} \text{ kw} = 31.25 \text{ kw}$$

۲- گزینه ۱ صحیح می باشد.

وظیفه پمپ تأمین اتلاف مسیر می باشد.

$$\eta = \frac{\text{کار انجام شده}}{\text{انرژی مصرف شده}} \Rightarrow \text{انرژی مصرف شده} = \frac{\text{کار انجام شده}}{\eta} = \frac{H_f}{\eta}$$

۳- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\tau = -\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{r}{2} \Rightarrow -\Delta P = \frac{\tau \cdot 2L}{r} = \frac{100 \times 2 \times 15 \times 1000}{75} = 8 \times 10^6 \text{ pa} = 8 \text{ Mpa}$$

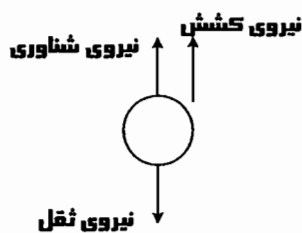
۴- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} (1-\epsilon_1)L_1 &= (1-\epsilon_2)L_2 \\ L_2 &= \frac{7}{4}L_1 \end{aligned} \right\} \rightarrow 0.7 \times L_1 = \frac{7}{4}L_1(1-\epsilon_2) \rightarrow (1-\epsilon_2) = 0.4$$

۵- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$V^2 = \frac{2\Delta P}{\rho} = \frac{2 \times 4500}{1000} = 9 \Rightarrow V = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

۶- گزینه ۲ و ۴ صحیح می باشد.



$$\rho_s = 650 < \rho_w = 1000$$

(Handwritten mark)

۷- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\frac{1}{2} \dot{m} V^2 = \dot{m}gh + h_f \Rightarrow h_f = \frac{1}{2} \dot{m} V^2 - \dot{m}gh \Rightarrow h_f = \dot{m} \left(\frac{1}{2} V^2 - gh \right) = \dot{m} \left(\frac{1}{2} \times 20 \times 20 - 15 \times 10 \right) = 50 \dot{m}$$

$$50 \dot{m} \frac{\text{j}}{\text{s}} \Rightarrow h_f = 50 \frac{\text{j}}{\text{kg}}$$

۸- گزینه ۱ صحیح می باشد.

۹- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$F = \rho g \frac{H}{3} \times \frac{BH}{2} = \rho g B \frac{H^2}{6}$$

۱۰- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} h_f &= f \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \\ f &= \frac{64}{Re} = \frac{64}{800} = \frac{8}{100} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{h_f}{L} = \frac{2000}{800 \times 10} = \frac{8}{100} \times \frac{1}{0.1} \times \frac{V^2}{2 \times 10} \Rightarrow V^2 = \frac{100}{16} \Rightarrow V = \frac{10}{4} = 2.5$$

۱۱- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\tau = \mu \frac{u}{y} + k \mu \frac{u}{h-y} = \mu u \left(\frac{1}{y} + \frac{k}{h-y} \right)$$

$$F = \tau A \Rightarrow \min F = \min \tau \Rightarrow \frac{\partial \tau}{\partial y} = 0 \Rightarrow \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{y} + \frac{k}{h-y} \right) = 0 \Rightarrow -\frac{1}{y^2} + \frac{k}{(h-y)^2} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{y^2} = \frac{k}{(h-y)^2} \Rightarrow (h-y)^2 = ky^2 \Rightarrow h-y = \sqrt{k}y \Rightarrow h = (1+\sqrt{k})y \Rightarrow y = \frac{h}{1+\sqrt{k}}$$

۱۲- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$445 = \frac{9}{100} \times x \times 133400 + \frac{9}{100} \times (0.3-x) \times 9806 \Rightarrow 445 = 9 \times 1334x + 9 \times 98.06(0.3-x) \Rightarrow x = 0.01619$$

۱۳- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z = \text{cte} \rightarrow [z] = m = \frac{j}{N}$$

۱۴- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$u = u_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \rightarrow \text{جریان آرام}$$

$$u = u_{\max} \left[1 - \frac{r}{R} \right]^{\frac{1}{7}} \rightarrow \text{جریان درهم}$$

۱۵- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$F = 9806 \times \frac{3}{2} \times 3 \times 6 - 9806 \times \frac{3}{4} \times \frac{3}{2} \times 6 = 9806 \left(27 - \frac{27}{4} \right) = \frac{3 \times 27}{4} \times 9806 = 198571 \text{ N} = 198.571 \text{ kN}$$

پاسخ سوالات مکانیک سیالات مهندسی شیمی - سال ۱۳۸۷

۱ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$V = V_0 \left(1 - \frac{a^2}{x^2} \right) \Rightarrow V_1 = V_0 \left(1 - \frac{a^2}{x^2} \right) = 0$$

$$\text{برنولی} \Rightarrow \left. \begin{aligned} P_0 + \frac{\rho V_0^2}{2} + \rho g z_0 &= P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho g z_1 \\ z_0 &= z_1 \end{aligned} \right\} \rightarrow P_1 = P_0 + \frac{\rho V_0^2}{2}$$

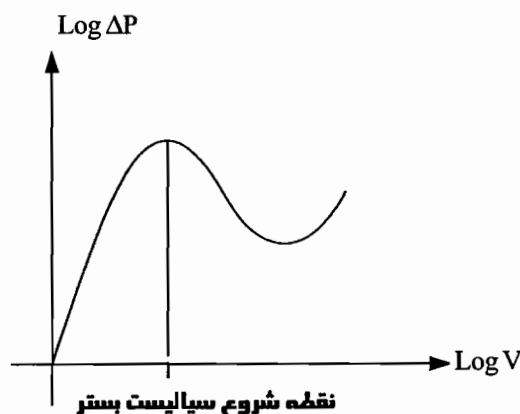
۲ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} \tau_1 &= \mu_1 \frac{u_0 - u_1}{\alpha H} \\ \tau_2 &= \mu_2 \frac{u_1}{(1-\alpha)H} \end{aligned} \right\} \rightarrow \tau_1 = \tau_2 \Rightarrow \mu_1 \frac{u_0 - u_1}{\alpha H} = \mu_2 \frac{u_1}{(1-\alpha)H} \Rightarrow \left(\frac{\mu_2}{(1-\alpha)H} + \frac{\mu_1}{\alpha H} \right) u_1 = \frac{\mu_1 u_0}{\alpha H}$$

$$\Rightarrow u_1 = u_0 \left(\frac{\frac{\mu_1}{\alpha H}}{\frac{\mu_2 \alpha H + \mu_1 H - \mu_1 \alpha H}{(\alpha H)(1-\alpha)H}} \right) = u_0 \left(\frac{(1-\alpha)\mu_1}{\mu_2 \alpha + \mu_1 (1-\alpha)} \right) \Rightarrow u_1 = u_0 \frac{(1-\alpha) \frac{\mu_1}{\mu_2}}{\alpha + \frac{\mu_1}{\mu_2} (1-\alpha)}$$

۳ - هیچ کدام از گزینه ها صحیح نمی باشد.

نمودار تغییرات افت فشار و سرعت سیال به صورت زیر می باشد:



پس از سیالیت بستر، با افزایش سرعت، افت فشار به دلیل افزایش تخلخل کاهش می یابد.

۴ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$Re = 453 < 2200 \Rightarrow \text{جریان آرام} \Rightarrow f = \frac{64}{Re} \Rightarrow f_1 = f_2 \Rightarrow \frac{\Delta P_1}{L} = \frac{\Delta P_2}{L}$$

۵ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\Delta P = gL(1-\epsilon)(\rho_s - \rho) = 10 \times 1.5 \times 0.5 \times (3000 - 800) = 16.5$$

به گزینه سوم نزدیکتر است.

۶- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$f = PA = (\rho gh_C) A = 1000 \times 10 \times \left(2 + \frac{4.5}{3}\right) \times \left(\frac{4.5 \times 3}{2}\right) = 236250 \text{ N} = 236.25 \text{ kN}$$

۷- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$NPSH = \left(\frac{P_s + \frac{\rho V_s^2}{2} - P_{VP}}{\rho g} \right) - z_s - h_f \Rightarrow NPSH = \frac{0.05 \times 10^5 + 1000 \times 50 - 5000}{1000 \times 10} = 5$$

پس کاویتاسیون رخ نمی دهد $NPSH > 0$

۸- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \Rightarrow \rho \bar{V}_1 A_1 + \rho \bar{V}_2 A_2 = \rho \bar{V}_3 A_3$$

$$\bar{V}_1 \times D^2 + \bar{V}_2 \times 4D^2 = \bar{V}_3 \times 9D^2 \Rightarrow \bar{V}_1 + 4\bar{V}_2 = 9\bar{V}_3 \Rightarrow \bar{V}_3 = \frac{1}{9}(\bar{V}_1 + 4\bar{V}_2)$$

۹- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$-\Delta P = \frac{32\mu \bar{U} L}{D^2} \Rightarrow 3200 = \frac{32 \times 10^{-3} \times 2.5 \times 10^{-2} \times L}{(5 \times 10^{-2})^2} \Rightarrow L = 10000 \text{ m} = 10 \text{ km}$$

۱۰- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\text{برنولی بین نقطه یک و خروجی آب} \Rightarrow \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

$$\left. \begin{array}{l} z_2 = 0 \\ P_2 = 0 \\ V_1 = V_2 \end{array} \right\} \rightarrow \frac{P_1}{\rho g} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} - z_1 = -z_1 \Rightarrow P_1 < 0$$

پس هوا به درون سوراخ مکیده می شود.

۱۱- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$[\Delta P] = \frac{N}{m^2} = \frac{\frac{kg \cdot m}{s^2}}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

$$[D_1] = [D_2] = m$$

$$[Q] = \frac{m^3}{s}$$

$$[\mu] = \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\Rightarrow \left[\frac{\Delta P D_i^3}{Q \mu} \right] = \frac{\frac{kg}{m \cdot s^2} \times m^3}{\frac{m^3}{s} \times \frac{kg}{m \cdot s}} = 1 \Rightarrow \left[\frac{\Delta P D_1^4}{Q^2 \rho} \right] = \frac{\frac{kg}{m \cdot s^2} \times m^4}{\frac{m^4}{s^2} \times \frac{kg}{m^3}} = m^2 \Rightarrow \left[\frac{Q \rho}{D_1 \mu} \right] = \frac{\frac{m^3}{s} \times \frac{kg}{m^3}}{\frac{m \cdot kg}{m \cdot s}} = 1 \Rightarrow \left[\frac{D_2}{D_1} \right] = \frac{m}{m} = 1$$

۱۲- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\mu = \frac{D^2 g (\rho_s - \rho)}{18 u_0} = \frac{(8 \times 10^{-3})^2 \times 10 \times (7000 - 800)}{18 \times 4 \times 10^{-2}} = \frac{64 \times 10^{-6} \times 10 \times 6200}{18 \times 4 \times 10^{-2}} = \frac{64 \times 62}{18 \times 40} = \frac{8 \times 31}{9 \times 5} = \frac{248}{45}$$

۱۳- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$EGL_{\text{بالا}} = \frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A = \frac{2 \times 10^5}{1000 \times 10} + \frac{V_A^2}{20} + 20 = 40 + \frac{V_A^2}{20}$$

$$EGL_{\text{پایین}} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + z_B = \frac{6 \times 10^5}{1000 \times 10} + \frac{V_B^2}{20} + 0 = 60 + \frac{V_B^2}{20}$$

$$V_A = V_B \Rightarrow EGL_{\text{پایین}} > EGL_{\text{بالا}}$$

پس جریان از پایین به سمت بالا می باشد.

$$\Delta P = z_A \rho g + \frac{32 \mu_u L}{D^2} \Rightarrow 4 \times 10^5 = 20 \times 1000 \times 10 + \frac{32 \times 0.2 \times 20 \times 7}{(20 \times 10^{-3})^2} \Rightarrow V = \frac{5}{8}$$

۱۴- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\text{جریان دائم} \Rightarrow \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial p}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -1 \text{ پس جریان غیردائم می باشد}$$

$$\text{خط جریان} \Rightarrow \frac{dx}{u} = \frac{dy}{V} \Rightarrow \frac{dx}{5} = \frac{dy}{2-t} \Rightarrow y = \frac{2-t}{5} x$$

۱۵- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$F_y = \gamma V = 64 \times \left(9 + \frac{6}{2} \right) \times 8 \times 5 = 30720$$

$$F_x = P \times A = \gamma h_c \times A = 64 \times 12 \times 6 \times 5 = 23040$$

$$F = \sqrt{F_u^2 + F_x^2} = 38400$$

پاسخ سوالات مکانیک سیالات سال ۱۳۸۸

۱ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

۲ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta P}{\gamma} = h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} &\Rightarrow \frac{\Delta P}{L} = \frac{f}{D} \rho \frac{V^2}{2} \\ Q = VA = V \times \frac{\pi}{4} D^2 &\Rightarrow V = \frac{4Q}{\pi D^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{\Delta P}{L} = \frac{f}{D} \times \frac{\rho}{2} \times \frac{16Q^2}{\pi^2 D^4} \Rightarrow 12000 = f \times \frac{1000}{2} \times \frac{16 \times (0.015)^2}{(3)^2 \times (0.05)^5}$$

$$\Rightarrow f = \frac{3}{640}$$

۳ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

روی سطح مخزن شماره ۱ را a و روی مخزن شماره ۲ را b در نظر می گیریم. (نقطه b را مبدأ مختصات در نظر می گیریم).

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} + Z_a = \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} + Z_b + h_f \Rightarrow 35 = f \frac{Le}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \text{رابطه (I)}$$

$$Le = \frac{kL}{D} = \frac{(1+1) \times 50}{0.05} = 2000$$

$$\text{رابطه (I)} \Rightarrow 35 = 0.005 \times \frac{2000}{0.05} \times \frac{V^2}{20} \Rightarrow V^2 = 100 \Rightarrow V = 10 \frac{m}{s}$$

۴ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

پروفایل سرعت به صورت خطی است، پس جریان آرام و یکنواخت است. ضریب تصحیح انرژی جنبشی در جریان آرام ($\alpha = 2$) است.

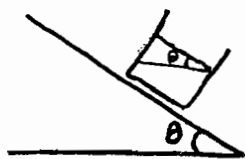
۵ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

در رابطه فوق با فرض جریان پایا و سرعت روی سطح مقطع ثابت است، می توان معادله را ساده نمود.

$$Q_1 = Q_2$$

۶ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

زاویه سطح مایع با سطح شیب دار صفر درجه است.



۷ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\dot{m} = \rho VA = \rho \times V \times \frac{\pi}{4} D^4 \Rightarrow 6.28 = 1000 \times V \times \frac{\pi}{4} \times (0.02)^2 \Rightarrow V = 20 \frac{m}{s}$$

$$V = \sqrt{2gh} \Rightarrow h = \frac{V^2}{2g} \Rightarrow h = \frac{20 \times 20}{2 \times 10} = 20m$$

۸ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

توزیع سرعت به صورت خطی است، پس جریان آرام و یکنواخت است، پس:

$$\left(\bar{u} = \frac{u}{2} \right)$$

۹ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\frac{du}{dx} + \frac{du}{dy} + \frac{du}{dz} = 0 \Rightarrow u_x + 2y^2 + 2xyz = 0 \Rightarrow u_x = -2y^2 - 2xyz \Rightarrow u = -2xy^2 - x^2yz + f(y, z)$$

۱۰ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

۱۱ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\frac{du}{dx} + \frac{du}{dy} + \frac{du}{dz} = 0 \Rightarrow 2ax + bx = 0 \Rightarrow b = -2a$$

۱۲ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$Q = k \times p^a \times D^b \times (\Delta p)^c \Rightarrow \frac{m^3}{s} = \left(\frac{kg}{m^3} \right)^a \times (m)^b \times \left(\frac{kg}{s^2} \right)^c$$

$$\Rightarrow \frac{m^3}{s} = (kg)^{a+c} \times (m)^{b-3a} \times s^{-2c} \Rightarrow \begin{cases} -2c = -1 \Rightarrow c = \frac{1}{2} \\ a + c = 0 \Rightarrow a = -c \Rightarrow \boxed{a = -\frac{1}{2}} \\ b - 3a = 3 \Rightarrow b = 3 + 3 \times -\frac{1}{2} \Rightarrow \boxed{b = 2} \end{cases}$$

۱۳ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} h_f &= \frac{\Delta P}{\gamma} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \\ f &= \frac{64}{Re} = \frac{64}{1600} = 0.04 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{10}{1000 \times 10} = 0.04 \times \frac{1}{0.5} \times \frac{V^2}{2 \times 10} \Rightarrow V^2 = 0.25 \Rightarrow \boxed{V = 0.5 \frac{m}{s}}$$

۱۴ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

۱۵ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

A series of horizontal dotted lines for writing.

A series of horizontal dotted lines for writing.