

Telegram : @ChemicalE

مقدمه

جزوه حاضر شامل خلاصه نکات تستی مهم از درس مکانیک سیالات در مهندسی شیمی می‌باشد که برای دانشجویان در مرحله مطالعه نهایی و یا دانشجویان مقاضی مطالعه فشرده درس طراحی شده است این جزو در ابتدا نکات درسی مهم را به صورت خلاصه شده در فصول نه‌گانه در اختیار دانشجویان قرار می‌دهد. پس از ذکر نکات مهم و کلیدی، در انتهای جزو نمونه‌هایی از سوالات مهم و پر تکرار کنکورهای مختلف شده است تا دانشجو بتواند با تکنیک‌های حل تست نیز آشنا شود.

برای دانشجویانی که به علت ضيق وقت به دنبال تمرکز بر روی یک سری فصول خاص بوده و مشتاق حذف برخی از فصول هستند. پیشنهاد می‌شود تمرکز ویژه‌ای بر روی مطالب مباحثی داشته باشند که در سال‌های اخیر بیشتر مورد سوال بوده است. به همین منظور در انتهای جزو بودجه‌بندی سوالات در پنج سال اخیر کنکور مهندسی شیمی ارائه شده است.

هر چقدر نوشتار حاضر تحت عنوان آخرین قدم نامگذاری شده است لکن شرط موفقیت آن پیمودن گام‌های قبلی به صورت جامع و مانع است. اميد است مجموعه حاضر بتواند نقش موثری را در قبولی شما ایفا نماید.

به اميد موفقیت

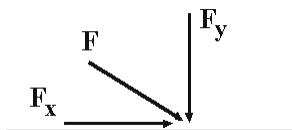
دکتر رضا طاهری

۱۳۸۹ ماه

فصل اول

خواص سیال

سیال ماده‌ای است که تحت اثر یک تنش برشی - هر چند هم که کوچک باشد - تغییر شکل می‌دهد. نیروی برشی، مؤلفه مماسی نیروی وارد به سطح است. نسبت نیروی برشی به مساحت سطح تنش برشی نامیده می‌شود و با علامت τ نشان داده می‌شود. نسبت مؤلفه 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 نیوتون

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

ویسکوزیته (لزجت مطلق یا لزجت دینامیکی)

ویسکوزیته خاصیتی از سیال است که سیال به خاطر آن خاصیت در مقابل نیروهای برشی از خود مقاومت نشان می‌دهد. ویسکوزیته با μ نمایش داده می‌شود. با افزایش دما ویسکوزیته مایعات کاهش می‌یابد ولی ویسکوزیته گازها افزایش می‌یابد. دیمانسیون لزجت برابر است با $T^{-1} M L^{-1}$

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

یادداشت:

واحد لزجت در سیستم cgs و امریکائی به ترتیب $\frac{\text{lb}_f \cdot \text{sec}}{\text{ft}^2}$, $\frac{\text{lb}_m}{\text{ft} \cdot \text{sec}}$ و $\frac{\text{gr}}{\text{cm} \cdot \text{sec}}$ = poise همچنین :

$$1 \text{ poise} = 0.1 \text{ pa.sec} , \quad C_p = \text{Centipoise} = 10^{-3} \text{ pa.sec}$$

ویسکوزیته سینماتیک

نسبت لزجت به جرم مخصوص را لزجت سینماتیک می‌گویند و با η نمایش می‌دهند. دیمانسیون ویسکوزیته سینماتیک برابر با $L^2 T^{-1}$ می‌باشد و واحدهای ویسکوزیته سینماتیک در سیستم cgs, SI و امریکائی عبارتند از:

$$\frac{\text{ft}^2}{\text{sec}}, \quad \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} = \text{stoks}, \quad \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$$

همچنین داریم :

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

تقسیم‌بندی سیالات

سیالات را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی کرد: سیالات نیوتونی و سیالات غیرنیوتونی. در سیالات نیوتونی تنش برشی (τ) برحسب نرخ تغییر شکل $\left(\frac{du}{dy} \right)$ خط راستی است که از مبدأ می‌گذرد ولی در مورد سیالات غیرنیوتونی تنش برشی (τ) برحسب نرخ تغییر شکل

$\left(\frac{du}{dy} \right)$ یا خط راستی است که از مبدأ نمی‌گذرد و یا غیرخطی است. خواص سیالات غیرنیوتونی عبارتند از:

سیال Dilatant: با افزایش تنش برشی ویسکوزیته سیال Dilatant افزایش می‌یابد.

سیال Pseudo Plastic (شبه پلاستیک): با افزایش تنش برشی ویسکوزیته سیال شبه پلاستیک کاهش می‌یابد.

سیال Bingham Plastic: این دسته از سیالات یک تنش تسلیم (yield stress) دارند. به عبارت دیگر اگر تنش وارد 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 $\left(\frac{du}{dy} \right)$ به طور خطی تغییر می‌کند.

نتیجه: رفتار رئولوژیکی سیالات فوق را می‌توان با رابطه ریاضی به شکل زیر بیان کرد:

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

n در سیالات نیوتونی = 1

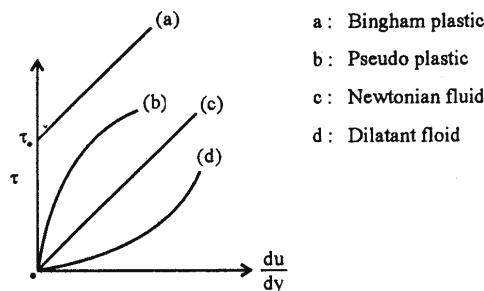
Dilatant n > 1 در سیالات

Pseudo Plastic n < 1 در سیالات شبه پلاستیک

در مورد سیالات بینگهام پلاستیک می‌توان گفت (τ_p تنش تسلیم) :

یادداشت:

.....
.....
.....
.....



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

سیال ایده‌آل: سیال تراکم‌ناپذیری است که ویسکوزیته آن صفر می‌باشد بنابراین در سیالات ایده‌آل هیچ موقع اصطکاک نداریم و هیچ‌گاه تنش برش ایجاد نمی‌شود.

مدول الاستیسیته (مدول بالک)

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

مدول بالک در حقیقت عکس ضریب تراکم‌پذیری هم دماسه و بنابراین دارای واحد فشار می‌باشد.

$$K = -\frac{dP}{\left(\frac{dV}{V}\right)}$$

مدول بالک بیان می‌کند به ازای تغییرات فشار (dP)، واحد حجم سیال به چه میزان تغییر حجم داده است. هرچه مدول بالک بیشتر باشد سیال تراکم‌ناپذیرتر است چرا که بزرگ بودن مدول بالک بدین معنا است که در اثر اعمال تغییر فشار بزرگ تغییر حجم بسیار کوچکی روی داده است. مدول بالک تابع فشار بوده و با افزایش فشار، زیاد می‌شود. می‌توان نشان داد که مدول بالک گازهای ایده‌آل از رابطه زیر پیروی می‌کند:

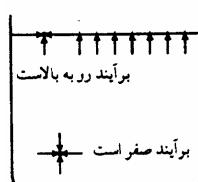
$$K = \rho R T$$

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

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

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. واحد کشش سطحی $\frac{N}{m}$ می‌باشد. با افزایش دما نیروهای بین مولکول کاهش یافته و لذا کشش سطحی کاهش می‌یابد.



یادداشت:

.....

.....

.....

.....

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

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

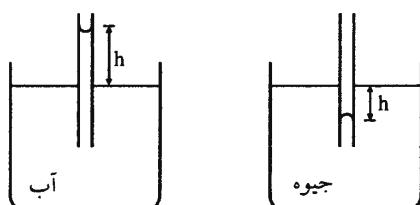
$$\Delta P = \frac{\sigma}{r}$$

برای یک قطره داریم:

برای یک حباب:

همچنین در مورد یک جت استوانه‌ای داریم:

صعود و نزول سیال در لوله موئین



اگر سیستم نمایش یافته در شکل را در نظر بگیریم دو نیروی مختلف وجود دارند که عبارتند از نیروهای چسبندگی بین مایع و شیشه، و نیروهای کشش سطحی (یا نیروهای پیوستگی بین مولکول‌های خود مایع). اگر نیروی‌های چسبندگی بیشتر از کشش سطحی باشند سیال در لوله موئین صعود می‌کند به عنوان مثال آب در لوله موئین صعود می‌کند. بالعکس اگر نیروهای کشش سطحی بیشتر از نیروهای چسبندگی باشد سیال در لوله موئین نزول می‌کند به عنوان مثال جیوه در لوله موئین نزول می‌کند.

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

در رابطه فوق: σ : کشش سطحی ، γ : وزن مخصوص سیال برابر mg و θ : زاویه تماس سیال با سطح می‌باشد.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

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:

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

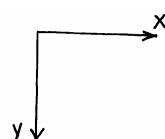
رابطه بالا بدين معنی است که در سیال ساکن در یک عمق معین فشار مقدار ثابتی است به عبارت دیگر تغییر فشار در راستای افق در یک عمق معین نداریم و فشار صرفاً با تغییر عمق تغییر می‌کند بنابراین :

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



توجه می‌شود که علامت منفی بستگی به جهت انتخابی محور y 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:

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



یادداشت:

.....
.....
.....
.....

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 ($\rho = \text{cte}$) می‌توان نوشت:

$$\int_{P_0}^P dp = - \int \rho g dy = -\rho g \int_0^y dy \rightarrow P = P_0 - \rho gy$$

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 انتگرال‌گیری داریم :

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

$$P = P_0 e^{-\frac{Mgy}{RT}} \quad \text{و اگر } y_0 = 0 \text{ در نظر گرفته شود :}$$

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

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 عبارتند از :

$$1 \text{ atm} = 14.7 \text{ psi} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 10.33 \text{ mH}_2\text{O} = 760 \text{ mmHg} = 29.92 \text{ inHg} = 33.91 \text{ ftH}_2\text{O}$$

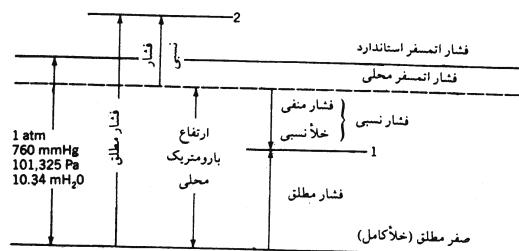
فشار نسبی و فشار مطلق :

اگر فشار نسبت به فشار اتمسفر سنجیده شود فشار نسبی است. در این حالت فشار منفی بدین معنی است که فشار در نقطه مورد نظر از فشار اتمسفر کمتر است.

یادداشت :

.....
.....
.....
.....

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



وسایل اندازه‌گیری فشار :

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



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

بارومتر جیوه‌ای

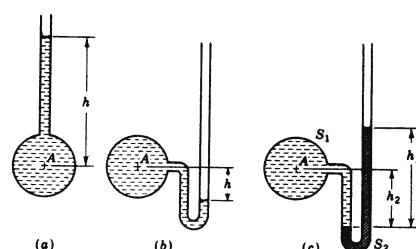
h ارتفاع مایع داخل ستون است و P_v فشار بخاری است که در انتهای ستون وارد می‌گردد.

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

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

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

مانومتر : وسیله‌ای است که با بهره‌گیری از ستون مایع اختلاف فشار را اندازه‌گیری می‌کند. ساده‌ترین نوع مانومترها پیزومترها هستند که برای اندازه‌گیری فشارهای مثبت در مایعات بکار می‌روند. روش است که پیزومتر برای اندازه‌گیری فشارهای نسبی به کار نمی‌آید، زیرا در آن صورت هوا از طریق لوله به مخزن جریان خواهد یافت. برای اندازه‌گیری فشارهای خیلی زیاد مشتب 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.



یادداشت:

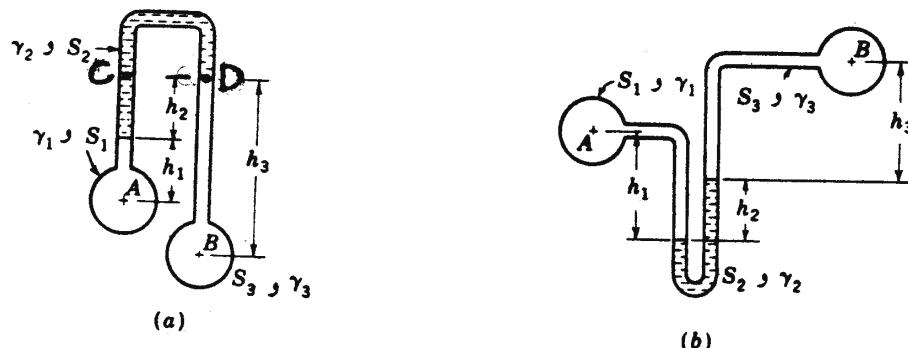
.....

.....

.....

.....

برای اندازه‌گیری فشارهای بزرگتر مطابق شکل c از مایع دیگری با چگالی بیشتر استفاده می‌کنیم. این مایع، مایع مانومتری نامیده می‌شود که می‌بایست با سیال داخل مخزن نامحلول باشد.
نحوه کار با مانومترها را در دو مثال زیر نشان می‌دهیم :



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 $\rho_1 gh_1$ است را از P_A کم کنیم سپس به اندازه ارتفاع h_2 در ستون سیال شماره ۲ بالا می‌رویم بنابراین باید $\rho_2 gh_2$ 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 $\rho_3 gh_3$ را به P_A اضافه کنیم و داریم :

$$P_A - \rho_1 gh_1 - \rho_2 gh_2 + \rho_3 gh_3 = P_B$$

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

$$P_A + \rho_1 gh_1 - \rho_2 gh_2 - \rho_3 gh_3 = P_B$$

نیروی وارد بر سطوح در سیال ساکن :

مسائل نیروی وارد بر سطوح را می‌توان به چهار دسته :

صفحات افقی ، صفحات مایل ، صفحات عمودی و سطوح انحنای تقطیعی بندی کرد که هر یک از موارد را بررسی می‌کنیم :

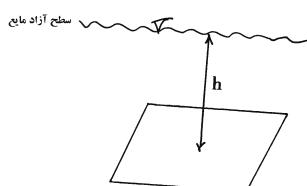
یادداشت :

صفحات افقی :

فشار وارد بر صفحات افقی از طرف سیال برابر $\rho g h$ 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 $F = \rho g h A$.

محل اثر نیروی بر آیند همان مرکز سطح می باشد.



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:

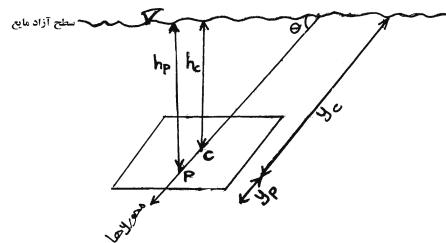
$$F = P_C A \rightarrow F = \rho g h_c A$$

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

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 قائم محل اثر نیرو تا سطح آزاد مایع برابر h_p است.

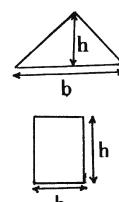
$$y_p = \frac{I_{xx} \sin \theta}{h_c \cdot A}$$



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 :

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

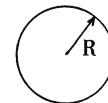


$$I_{xx} = \frac{bh^3}{12} \text{ برای مستطیل}$$

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

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



روش منشور فشار :

اگر روی یک صفحه مایل منشوری بسازیم بطوریکه ارتفاع منشور در هر نقطه برابر ارتفاع سیال از سطح آزاد مایع در آن نقطه باشد در این صورت می‌توان گفت نیروی وارد بر صفحه برابر است با وزن سیال هم حجم منشور. در این روش محل اثر نیروی برابر است با مرکز حجم منشور. (منظور این است که می‌توان 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 قائم:

حالت سوم نیروی وارد بر صفحات قائم است. این حالت دقیقاً مانند حالت سطوح مایل است و باید از همان روابط استفاده نمود با این تفاوت که θ یعنی زاویه‌ای که راستای سطح با سطح آزاد مایع می‌سازد برابر ۹۰ درجه است.

سطوح انحنادار:

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

مولفه افقی نیروی وارد بر سطوح انحنادار:

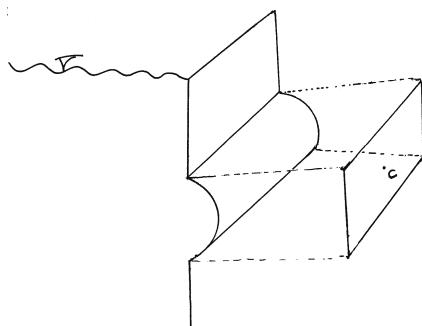
برای بدست آوردن نیروی افقی وارد بر یک سطح ابتدا تصویر سطح انحنادار را در راستای عمودی بدست می‌آوریم. حال با یک سطح عمودی سروکار داریم که نیروی وارد بر این سطح تصویر شده برابر نیروی افقی وارد بر سطح انحنادار است.

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

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.

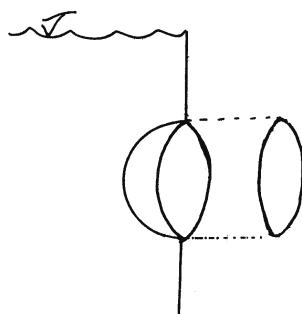


یادداشت:

-
-
-
-

همان‌طور 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 می‌باشد. حال برای بدست آوردن نیروی افقی وارد بر نیم‌استوانه می‌توان نیروی وارد بر مستطیل را از رابطه $A = \rho g h$ بدست آورد. که در آن A مساحت مستطیل تصویر شده است و h فاصله عمودی مرکز مستطیل تصویر شده تا سطح آزاد مایع است.

حال فرض کنید بجای یک نیم استوانه یک نیم کره مطابق شکل داشته باشیم. تصویر نیمکره بر راستای عمودی یک دایره خواهد بود.



حال برای بدست آوردن مؤلفه افقی نیروی وارد بر نیمکره می‌توان نیروی وارد بر دایره را بدست آورد که برابر با $A = \rho g h$ است که در آن A مساحت دایره تصویر شده و h فاصله عمودی مرکز نیم دایره تا سطح آزاد مایع است.

مولفه عمودی نیروی وارد بر سطوح انحنادار:

برای بدست آوردن مؤلفه عمودی نیروی وارد بر سطوح انحنادار باید وزن سیال بالای سطح انحنادار را بدست آورد. وزن سیال بالای سطح منحنی برابر γV می‌باشد. γ وزن مخصوص سیال است ($\gamma = \rho g$) و V حجم سیال بالای سطح انحنادار تا سطح آزاد مایع می‌باشد.

لازم به ذکر است که در برخی از مسائل برای بدست آوردن نیروی عمودی وارد بر صفحات انحنادار می‌توان حجم فرضی سیال بالای سطح را در نظر گرفت. بطوريکه سطح آزاد سیال را امتداد می‌دهیم و سپس حجم فرضی بالای صفحه انحنادار را بدست می‌آوریم.

در این حالت نیروی عمودی وارد بر سطح برابر γV می‌باشد. که V حجم فرضی سیال بالای سطح منحنی است.

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 می‌پيونندند:

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

در این حالت از طرف سیال نیروئی در راستای قائم رو به بالا بر جسم وارد می‌شود که مقدار آن برابر وزن سیال جابجا 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 جابجا شده با وزن حجم برابر باشد :

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

یادداشت:

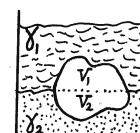
.....
.....
.....
.....

V' حجم سیال جا بجا شده است.

پس در حالت کلی بر هر جسم که در داخل سیال شناور یا غوطه ور باشد یک نیرو در راستای عمودی و به سمت بالا وارد می‌شود که آن را نیروی بیوانسی 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 بیوانسی از رابطه زیر محاسبه می‌شود :



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

تعادل اجسام غوطه ور 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 بیوانسی) است.

حالت تعادل ناپایدار زمانی است که اگر جسم را کمی منحرف کنیم به حالت قبلی خود برگردد و به عبارت دیگر جسم واژگون شود. این حالت تعادل خنثی زمانی است که مرکز حجم جسم (محل اثر نیروی بیوانسی) 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 بیوانسی) بر مرکز جرم جسم منطبق باشد.

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

برای بدست آوردن دانسیته سیال مجھول، 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 مجھول 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 مجھول است بدست آورد.

حرکت صلب‌گونه سیالات:

منظور از حرکت سیالات صلب‌گونه حالاتی است که ظرف حاوی سیال، در حرکت است ولی سیال داخل ظرف دارای هیچ‌گونه حرکتی نمی‌باشد به عبارت دیگر ذرات سیال مانند یک جسم جامد عمل می‌نماید که ذرات آن نسبت به هم بدون حرکت هستند.

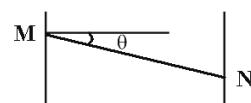
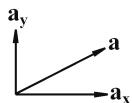
حرکت صلب‌گونه سیالات در دو حالت حرکت با شتاب خطی یکنواخت و حرکت دورانی یکنواخت قابل بررسی است.

یادداشت:

.....
.....
.....
.....
.....

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 محورهای x و y می‌باشد بنابراین داریم :



همان‌طور که در بخش استاتیک سیالات گفته شده تغییرات فشار در راستای x و y از روابط زیر بهدست می‌آید:

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

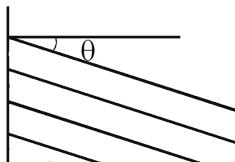
$$\frac{dP}{dy} = -\rho(a_y + g)$$

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 می‌کنیم و اگر a_y در خلاف جهت با g باشد a_y را با علامت مثبت وارد می‌کنیم (به عبارت دیگر a_y را با g جمع می‌کنیم).

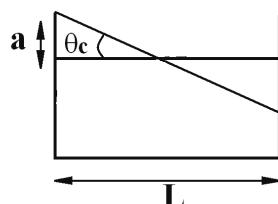
از شکل بالا مشخص است که هر نقطه روی خط MN قرار داشته باشد دارای فشار اتمسفر یک می‌باشد. بنابراین خط MN را خط هم فشار معادل فشار صفر می‌نامیم. اگر خط دیگری موازی MN ولی کمی پایین‌تر را مدنظر قرار دهیم، باز هم تمام نقاط روی آن هم فشار خواهد بود. خطوط هم فشار در شکل زیر نشان داده شده‌اند:



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

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

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 :



پادداشت:

.....
.....
.....
.....

لازم به ذکر است که سطح آزاد مایع همواره از وسط سطح آزاد اولیه مایع (یعنی سطح آزاد مایع قبل از حرکت) می‌گذرد.

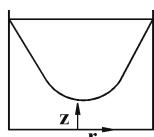
$$\tan \theta_c = \frac{a}{\frac{L}{2}}$$

شکل از رابطه زیر به دست می‌آید :

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

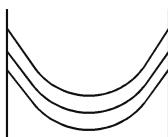
حرکت دورانی :

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 (۰ سرعت دورانی می‌باشد)



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

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



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

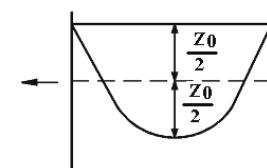
حجم سهمی بوجود آمده در اثر حرکت شتابدار دورانی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V_{cyl} = \frac{1}{2} \pi R^2 Z_0$$

برای محاسبه Z_0 داریم :

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

سطح آزاد اولیه مایع
(قبل از شروع دوران)



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

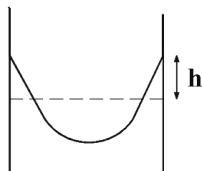
$$P = P_0 + \rho \frac{r^2 \omega^2}{2} - \rho g y$$

یادداشت :

.....
.....
.....
.....

که در این صورت P_0 فشار نقطه مرجع (که نقطه‌ای انتخابی است) می‌باشد. در حالت دورانی نیز ممکن است سیال از ظرف بیرون بریزد برای بررسی این مسئله فرض می‌کنیم مطابق شکل h اختلاف سطح آزاد اولیه (قبل از دوران) با بالای ظرف باشد $Z_0 = \frac{R^2 \omega^2}{2g}$

محاسبه می‌کنیم:



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

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

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

پادداشت:

.....

.....

.....

.....

فصل سوم

جريان سیالات

جريان آرام

جريانی است که در آن لایه‌های سیال به آرامی روی هم می‌لغزند و مسیر حرکت ذرات قابل پیش‌بینی می‌باشد. در جريان آرام انتقال مومنتوم مولکولی توسط ذرات سیال صورت می‌گيرد. در جريان آرام رابطه $\mu = \eta \frac{dv}{dy} = \tau$ برقرار است. در جريان آرام بازگشتناپذيری و اتلاف انرژی از جريان درهم کمتر است به طوری که $h_f \propto V^1$ ، $h_f \propto Q^1$ که در اين روابط h_f اتلاف انرژی، Q دبی حجمی جريان و V سرعت جريان می‌باشد.

جريان درهم

در جريان درهم مسیر حرکت ذرات قابل تشخيص نیستند. در اين حالت ذرات سیال به هم چسبیده و تولید eddy یا گردابه می‌کنند. در جريان درهم انتقال مومنتوم توسط گردابه‌ها صورت می‌گيرد. در جريان درهم $\mu = \eta \frac{du}{dy} = \tau$ صادق نیست بلکه $\eta \frac{du}{dy} = \tau$ برقرار است که در اين رابطه η لزجت گردابه‌ای است. لزجت گردابه‌ای تابعی از خواص سیال (دانسيته) و نوع حرکت سیال می‌باشد. در جريان درهم اتلاف انرژی از جريان آرام خيلي بيشتر است به طوری که $h_f \propto V^n$ و $h_f \propto Q^n$ از 1.75 تا 2 بسته به ميزان درهم بودن جريان تغيير می‌کند.

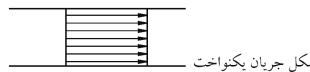
يادداشت:

جريان يکنواخت :

جريانی است که بردار سرعت در هر لحظه داده شده در تمامی نقاط از لحاظ اندازه و جهت یکسان باشد. در جريان يکنواخت داريم:

$$\frac{\partial V}{\partial s} = 0$$

در جريان يکنواخت به دليل اين که اختلاف سرعت در يك سطح مقطع نداريم تنش برشی نداريم.



شکل جريان يکنواخت

جريان دائم (Steady State)

جريانی است که در آن شرایط در هر نقطه از سیال با گذشت زمان تغییر نکند. بنابراین در جريان دائم (پایدار) بردار سرعت از لحاظ

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad , \quad \frac{\partial P}{\partial t} = 0 \quad , \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

توجه: جريان مایع درون يك لوله بلند با دبی ثابت جريان دائم يکنواخت است. جريان با دبی ثابت درون لوله‌ای با سطح مقطع افزایش يابنده در طول لوله، جريان دائم، غيريکنواخت می‌باشد درحالی که جريان درون يك لوله با سطح مقطع افزایش يابنده در طول لوله و دبی افزایش يابنده غيردائم و غيريکنواخت است.

خط مسیر (path line)

مكان هندسي نقاطی است که يك ذره سیال طی می‌کند.

خط رگه (Streak Line)

برای تعیین مسیر حرکت متوالی يك سیال، اغلب ماده رنگی را به درون سیال تزریق می‌کنند خطا اثر حاصل از رنگ را خط رگه می‌نامند.

خط جريان (Stream Line)

خط جريان، خط پیوسته‌ای است که درون سیال رسم شده، در هر نقطه دارای جهت بردار سرعت در آن نقطه می‌باشد. يعني خط جريان

خطی است که مماس بر آن در هر لحظه راستای بردار سرعت را می‌دهد. برای تعیین معادله خط جريان از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w}$$

كه u , v , w به ترتیب مولفه‌های بردار سرعت در راستای x , y و z هستند $(\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k})$

توجه: در جريان دائم، جهت بردار سرعت در هر نقطه تغییری نمی‌کند پس شبیه خط جريان در هر نقطه ثابت بوده و خط جريان در فضا ثابت می‌ماند. يك ذره همیشه مماس بر خط جريان حرکت می‌کند بنابراین در جريان دائم مسیر يك ذره يك خط جريان است و می‌توان گفت در جريان دائم خط جريان، خط مسیر و خط رگه هر سه بر هم منطبق می‌باشند.

پادداشت:

.....
.....
.....
.....

قانون بقا در یک سیستم (قانون پیوستگی):

اگر جریان یکنواخت و سیستم هم پایدار باشد و جریان را یک بعدی فرض کنیم ، قانون بقا به شکل زیر نوشته می شود:

$$\rho_i V_i A_i = \rho_e V_e A_e$$

اگر سیال تراکم‌ناپذیر باشد می‌توان نوشت :

$$V_i A_i = V_e A_e$$

از آنجا که جریان یکنواخت بهدلیل وجود اصطکاک عملأً امکان‌پذیر نیست بنابراین 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.

محاسبه سرعت متوسط

سرعت متوسط در یک جریان غیریکنواخت از رابطه $\bar{V} = \frac{1}{A} \int V dA$ محاسبه می‌شود .

نتیجه: اگر 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

$$\text{برابر است با } \frac{1}{2} V_{max}$$

توجه ۱ : در جریان درهم در داخل لوله توزیع سرعت با رابطه $V = V_{max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^7 \right]^{\frac{1}{7}}$ داده می‌شود که در این رابطه r فاصله از مرکز

$$\text{لوله و } y \text{ فاصله از دیواره لوله می‌باشد. سرعت متوسط در جریان درهم از رابطه } \bar{V} = \frac{49}{60} V_{max} = 0.82 V_{max} \text{ بدست می‌آید.}$$

توجه ۲ : بهطور کلی اگر توزیع سرعت سیال در داخل لوله از رابطه $V = V_{max} \left[1 - \frac{r}{R} \right]^m$ بدست آید آن‌گاه می‌توان سرعت متوسط را از

$$\bar{V} = \frac{2}{(m+1)(m+2)} V_{max} \text{ رابطه زیر بدست آورد:}$$

قانون پیوستگی در حرکت سه بعدی

قانون پیوستگی در حرکت سه بعدی با رابطه زیر بیان می‌شود:

به عبارت دیگر داریم:

اگر سیال تراکم‌ناپذیر باشد ρ ثابت است بنابراین داریم :

اگر جریان تراکم‌پذیر ولی Steady باشد $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ خواهیم داشت:

یادداشت:

تابع جریان

تابع جریان برای جریان‌های دوبعدی در حالت پایدار مطرح می‌گردد. برای تابع جریان در سیالات تراکم‌ناپذیر روابط زیر حاکم است:

$$V_x = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad V_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

$$\rho V_x = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad \rho V_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

زمانی که جریان سیال تراکم‌پذیر باشد از روابط زیر استفاده می‌کنیم:

معادله اولر :

معادله اولر عبارت است از:

$$\frac{dP}{\rho} + \frac{VdV}{g_c} + \frac{g}{g_c} dz = 0$$

این معادله با سه فرض زیر به دست آمده است:

۱) سیال ایده‌آل است بنابراین از اتلاف صرف‌نظر شده است.

۲) جریان دائمی می‌باشد. (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 می‌باشد.

بنابراین معادله اولر بیان می‌دارد که مجموع انرژی جنبشی، فشاری و پتانسیل در طول یک خط جریان مقدار ثابتی است.

معادله برنولی:

معادله برنولی با اضافه کردن فرض چهارم به فرض‌های معادله اولر و سپس انتگرال‌گیری از معادله اولر نتیجه می‌شود. اگر فرض کنیم که سیال تراکم‌ناپذیر است (یا به عبارت دیگر دانسیته سیال ثابت است) و از معادله اولر انتگرال بگیریم معادله برنولی به دست می‌آید:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} z = cte$$

بیان معادله برنولی در سیستم SI :

$$\begin{cases} \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = cte \\ \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z = cte \end{cases}$$

انرژی بر واحد جرم سیال
ارتفاع

بیان معادله برنولی در سیستم انگلیسی :

$$\begin{cases} \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} z = cte \\ \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z = cte \end{cases}$$

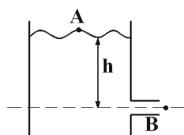
انرژی بر واحد جرم سیال
ارتفاع

یادداشت:

.....

چند مثال از کاربردهای معادله برنولی :

اریفیس : اریفیس یکی از وسایل اندازه‌گیری دبی سیال می‌باشد.

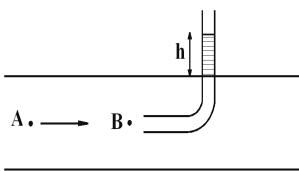


$$V_B = \sqrt{2gh}$$

این رابطه چه در سیستم SI و چه در سیستم انگلیسی برقرار است.

لوله پیتوت :

یکی از وسایل اندازه‌گیری سرعت سیال است. مطابق شکل داریم :



$$V_A = \sqrt{2gh}$$

این رابطه چه در سیستم SI و چه در سیستم انگلیسی برقرار است.

ضریب تصحیح انرژی جنبشی :

در بدست 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 به جای سرعت از سرعت متوسط استفاده می‌کنیم. ضریب تصحیح انرژی جنبشی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\alpha = \frac{1}{A} \int \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^3 dA$$

لازم به ذکر است که در جریان آرام داخل لوله $\alpha = 2$ و در جریان درهم $\alpha = 1.05$ می‌باشد.

قانون بقای مومنتوم :

اگر فرض شود که ۱ - جریان دائمی (Steady) ، ۲ - جریان یکنواخت (سرعت در سطح مقطع ثابت است) و ۳ - دبی جریان (\dot{m}) ثابت باشد، آن‌گاه می‌توان 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 مسائل می‌توانیم 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 بدن (دیواره لوله) به سیال وارد می‌کند و V_{1x} مولفه سرعت در خروجی و V_{2x} مولفه سرعت ورودی در راستای موردنظر است.

یادداشت:

.....
.....
.....
.....
.....

تذکر : نیروی F_W به دست آمده از رابطه فوق نیرویی است که بدن به سیال وارد می‌کند و برای بهدست آوردن نیروی وارد از طرف سیال به بدن، علامت نیروی به دست آمده از F_W را تغییر می‌دهیم.

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 نمی‌دهد

$\sum F_x = \frac{\dot{m}}{g_c} (\beta_2 V_{2x} - \beta_1 V_{1x})$ برای تصحیح رابطه از ضریب تصحیح اندازه حرکت استفاده می‌کنیم.

$\beta = \frac{1}{A} \int \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^2 dA$ ضریب تصحیح اندازه حرکت از رابطه زیر بدست می‌آید:

توجه ۱ : β در جریان آرام درون لوله برابر $\frac{4}{3}$ و در جریان درهم بین ۱.۰۳ تا ۱.۰۶ است (بسته به این‌که جریان درهم و یا خیلی درهم باشد).

یادداشت:

فصل چهارم

محاسبه تلفات انرژی در جریان سیالات

افت فشار و اتلاف انرژی:

تاکنون در نوشتن رابطه برنولی تلفات انرژی را در نظر نمی‌گرفتیم. برای در نظر گرفتن اتلاف انرژی می‌بایست ترم h_f که بیانگر تلفات انرژی می‌باشد 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 می‌نویسیم:

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

از آنجا که لوله افقی است $Z_1 = Z_2$ می‌باشد. همچنین به خاطر این‌که سطح مقطع لوله تغییر نکرده است، $V_1 = V_2$ می‌باشد بنابراین از معادله برنولی داریم:

$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_2}{\rho} + h_f \Rightarrow h_f = -\frac{\Delta P}{\rho}$$

رابطه به‌دست 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

$$h_f = -\frac{\Delta P}{\rho g}$$

که این رابطه در حالتی صادق است که $V_1 = V_2$ می‌باشد.

لایه مرزی

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 این‌که 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 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.

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

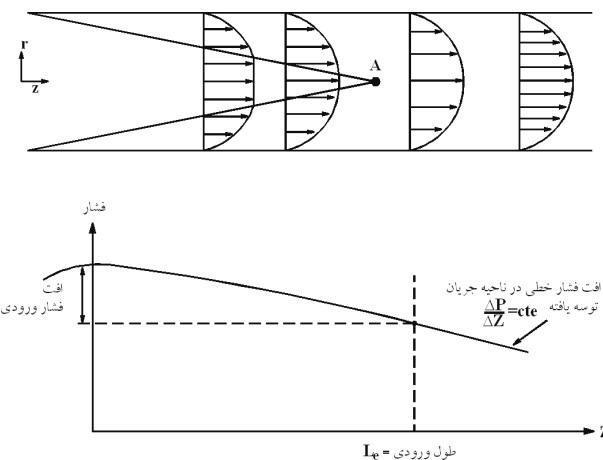
برای جریان آرام روی یک صفحه ضخامت لایه مرزی در فاصله x از ابتدای صفحه از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{\delta}{x} = \frac{5}{\sqrt{Re}} \rightarrow \frac{\delta_1}{\delta_2} = \left(\frac{x_1}{x_2} \right)^{0.5}$$

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 ماجرا به هم رسیده (نقطه A) و ناحیه بدون لزجت را از بین می‌برید.



از ابتدای ورودی لوله تا نقطه A، سرعت سیال تابعی از r 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 تویه یافته یا (Fully developed) می‌گویند.

توجه: در ناحیه تویه یافته فشار با تغییر z به صورت خطی تغییر می‌کند

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta z} = \text{cte} \right)$$

محاسبه تنش در جریان سیال:

میزان تنش از رابطه روبرو قابل محاسبه است:

$$\tau = - \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{r}{2}$$

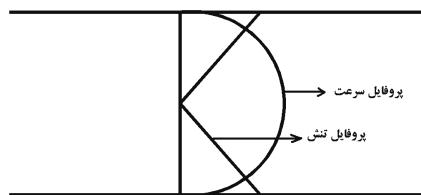
r شعاع هر نقطه و L طول می‌باشد. این رابطه چه در جریان درهم و چه در جریان آرام صادق است. همچنین اگر جریان را توسعه یافته فرض کنیم ($\frac{\Delta P}{\Delta z} = \text{cte}$) از این رابطه نتیجه می‌گیریم که تنش با شعاع به شکل خطی تغییر می‌کند.

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 w به دست می‌آید که بیشترین میزان تنش می‌باشد. با رسم پروفایل تنش از رابطه فوق داریم:

$$r = R \rightarrow \tau_{\max} = \tau_w = \frac{-\Delta P}{L} \cdot \frac{D}{4} \rightarrow V = 0$$

یادداشت:

.....
.....
.....
.....



نمایش پروفایل تنش و سرعت در جریان سیال در یک لوله

پروفایل سرعت در جریان آرام و درهم سیال نیوتونی در داخل لوله

$$\tau = -\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{r}{2}$$

$$\tau = -\frac{\mu}{g_c} \frac{du}{dr}$$

همان‌طور که در قسمت‌های قبلی گفته شد توزیع تنش در یک لوله با رابطه زیر به دست آمد:

اگر جریانی از سیال نیوتونی را در یک لوله در نظر بگیریم می‌توان نوشت:

از برابری دو رابطه، انتگرال گیری و ساده سازی آن خواهیم داشت:

$$u = \frac{-g_c R^2 \Delta P}{4\mu L} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

$$u_{max} = \frac{-g_c R^2 \Delta P}{4\mu L}$$

$$u = u_{max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

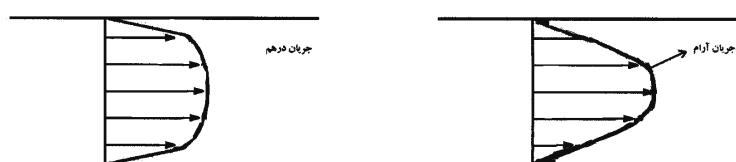
$$u = u_{max} \left[1 - \frac{r}{R} \right]^{\frac{1}{2}}$$

ماکریم سرعت با جایگذاری $r = 0$ در رابطه فوق به دست می‌آید:

بنابراین پروفایل سرعت در جریان آرام یک سیال نیوتونی داخل لوله با رابطه زیر به دست می‌آید:

برای جریان درهم سیال نیوتونی داخل لوله پروفایل سرعت به صورت زیر می‌باشد:

توجه: شکل پروفایل سرعت در جریان آرام و درهم سیال نیوتونی در داخل لوله به شکل زیر می‌باشد:



محاسبه افت انرژی در جریان آرام:

$$u_{max} = \frac{-g_c R^2 \Delta P}{4\mu L} = \frac{g_c D^2 \Delta P}{16\mu L}$$

برای جریان آرام رابطه زیر را به دست آوردهیم:

از طرفی می‌دانیم $u_{max} = 2\bar{u}$ و با جایگزینی در رابطه بالا می‌توان افت فشار را در جریان آرام داخل لوله 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.
یادداشت:

.....
.....
.....
.....
.....

بدیهی است که در سیستم SI نیازی به نوشتن g نیست. از رابطه فوق نتیجه می‌شود که:

$$\left(\frac{\Delta P}{L} \right) \propto \frac{Q}{D^4} \quad \xrightarrow{\text{اگر قطر لوله ثابت باشد}} \quad \begin{cases} \Delta P \propto Q^1 \\ \Delta P \propto V^1 \end{cases}$$

در جراین آرام

اما اگر دبی ثابت باشد داریم:

$$\left(\frac{\Delta P}{L} \right) \propto \frac{1}{D^4} \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4$$

ضریب اصطکاک :

نسبت نیروهای برشی به نیروهای اینرسی را ضریب اصطکاک می‌گوییم. بنابراین ضریب اصطکاک از رابطه زیر بهدست می‌آید:

$$f = \frac{\tau_w}{\rho V^2} \cdot \frac{2g_c}{}$$

$$h_f = 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g_c}$$

برای محاسبه h_f می‌توان از رابطه روبرو بهدست آورد:

بنابراین با محاسبه ضریب اصطکاک f می‌توان از این رابطه h_f را بهدست آورد.
رابطه دارسی - وايسپاخ در دو سیستم SI و انگلیسی عبارت است از:

: **SI سیستم**

$$\begin{cases} h_f = 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} , \frac{J}{kg} \text{ واحد} \\ h_f = 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} , \text{ واحد m و (ارتفاع سیال)} \end{cases}$$

: **FPS سیستم**

$$\begin{cases} h_f = 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g_c} , \frac{ft \cdot lb_f}{lb_m} \text{ واحد} \\ h_f = 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} , \text{ واحد ft (ارتفاع سیال)} \end{cases}$$

همانطور که از روابط معین است در سیستم انگلیسی h_f با هر دو واحد از لحاظ عددی یک مقدار را بهدست می‌دهد. نوشتند 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 فانینگ و دارسی سروکار داریم. روابط ذکر شده با ضریب اصطکاک فانینگ نوشته شده است.

پادداشت:

.....
.....
.....
.....

بین دو ضریب اصطکاک رابطه زیر برقرار است:

$$f_{\text{darcy}} = 4 f_{\text{fanning}}$$

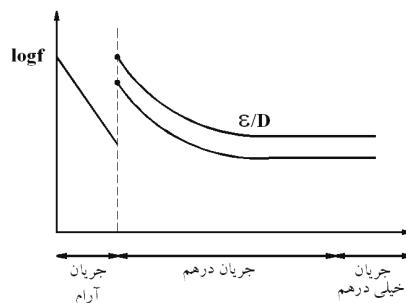
بنابراین اگر رابطه اتلاف انرژی را بر حسب f_{darcy} بنویسیم خواهیم داشت:

$$h_f = f_{\text{darcy}} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g_c}$$

رابطه اخیر به نام رابطه دارسی - وايسباخ معروف است.

دیاگرام مودی:

در دیاگرام مودی $\log f$ بر حسب $\log Re$ رسم می شود. ضریب اصطکاک در این دیاگرام، ضریب اصطکاک دارسی می باشد. 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 می باشد:

$$f_{\text{darcy}} = \frac{64}{Re} \Rightarrow \log f = \log 64 - \log Re$$

توجه شود در ناحیه آرام، با افزایش عدد رینولدز ضریب اصطکاک کاهش پیدا می کند.

ضریب اصطکاک در جریان درهم داخل لوله:

ضریب اصطکاک در جریان درهم برخلاف جریان آرام به زبری نسبی بستگی دارد. زبری یک لوله عبارت است از ارتفاع متوسط پستی و بلندی ها (یا به عبارت دیگر ناهمواری ها) دیواره لوله. زبری را با $\frac{\epsilon}{D}$ نمایش می دهیم. مفهوم $\frac{\epsilon}{D}$ در شکل زیر نمایش یافته است:



حاصل تقسیم زبری به قطر لوله یعنی $\frac{\epsilon}{D}$ را زبری نسبی می نامیم. همان طور که از ناحیه جریان درهم در دیاگرام مودی معین است هر

نمودار برای یک $\frac{\epsilon}{D}$ معین رسم شده است.

یادداشت:

.....
.....
.....
.....
.....

بنابراین ضریب اصطکاک در جریان درهم به عدد Re و زبری نسبی بستگی دارد. همان‌طور 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 می‌گردد. به عبارت دیگر در جریان خیلی درهم ضریب اصطکاک دیگر تابع عدد Re نمی‌باشد و فقط به $\frac{\epsilon}{D}$ بستگی دارد. موارد موردبحث را می‌توان به شکل زیر خلاصه نمود:

$f = f(Re)$	جریان آرام
$f = f\left(Re, \frac{\epsilon}{D}\right)$	جریان درهم
$f = f\left(\frac{\epsilon}{D}\right)$	جریان خیلی درهم

برای محاسبه ضریب اصطکاک در جریان درهم روابط تجربی زیادی ارائه شده است. مثلاً برای لوله صاف (منظور لوله‌ای که $\epsilon=0$ می‌باشد) در جریان درهم می‌توان ضریب اصطکاک را از رابطه بلازیوس محاسبه کرد:

$$f_{fanning} = \frac{0.0719}{Re^{0.5}}$$

توجه: نکته بسیار مهم که باید به آن توجه شود این است که در ناحیه جریان درهم با افزایش عدد Re ، ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد ولی میزان تلفات افزایش می‌یابد. زیرا همان‌طور که از رابطه دارسی - وايسپاخ معین است تلفات انرژی (h_f) با توان دوم سرعت منتناسب است بنابراین با افزایش عدد Re ، f کاهش، h_f افزایش می‌یابد و از آن‌جا که $h_f = \frac{-\Delta P}{\rho}$ می‌باشد بنابراین با افزایش افت فشار (ΔP) نیز افزایش می‌یابد.

گفته شد که در جریان آرام $h_f \propto \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}}$ می‌باشد. می‌توان نشان داد که در جریان درهم $h_f \propto \frac{\Delta P}{L} \propto \frac{Q^1}{D^4}$ می‌باشد. بنابراین اگر قطر لوله ثابت باشد $h_f \propto Q^{1.75}$ و در دبی ثابت $\frac{1}{D^{4.75}}$ است. همچنین می‌توان نشان داد که در جریان خیلی درهم $h_f \propto \frac{Q^2}{D^5}$ می‌باشد.

شعاع و قطر هیدرولیکی:

در جریان‌های مجاری غیرمدور مانند کانال‌ها، جریان بین دو صفحه موازی، جریان بین دو لوله متحدم‌المرکز و ... مفهوم شعاع هیدرولیکی تعریف می‌شود که عبارت است نسبت از مساحتی که از آن جریان عبور می‌کند به محیطی که خیس می‌شود. همچنین مفهوم قطر هیدرولیکی نیز در مجاری غیر مدور تعریف می‌شود. چهار برابر شعاع هیدرولیکی را قطر هیدرولیکی می‌نامیم.

$$r_H = \frac{\text{مساحتی که جریان عبور می‌کند}}{\text{محیطی که خیس می‌شود}} = \frac{r_H}{r_H + \frac{D_H}{4}}$$

$$D_H = 4r_H$$

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

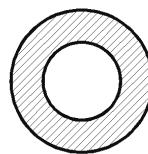
توصیه می‌شود در حل مسائل همواره قطر هیدرولیکی جایگزین شود چرا که ممکن است به اشتباه دو برابر شعاع هیدرولیکی به عنوان قطر هیدرولیکی در نظر گرفته شود. بنابراین در محاسبه عدد Re برای مجاری غیرمدور داریم:

$$Re = \frac{\rho u D_H}{\mu}$$

$$\tau_w = -\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{D_H}{4} \quad \text{به عنوان مثال در رابطه } \tau_w = \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{D}{4} \text{ قطر هیدرولیکی را جایگزین می‌کنیم یعنی:}$$

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 متعددالمرکز را در نظر بگیرید که سیالی بین دو لوله جریان دارد قطر هیدرولیکی حرارتی و قطر هیدرولیکی سیالاتی را محاسبه نمایید.



دو لوله متعددالمرکز

قسمت هاشورخورده بیانگر مجرای است که سیال جریان دارد.

در این مسئله 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:

$$\pi D_1 + \pi D_2 = \pi(D_1 + D_2) \quad \text{محیط خیس شونده در بحث مکانیک سیالات}$$

مساحتی که جریان عبور می‌کند عبارت است از مساحت لوله بزرگتر منهای مساحت لوله کوچکتر:

$$\frac{\pi D_2^2}{4} - \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{\pi}{4}(D_2^2 - D_1^2) \quad \text{مساحتی که جریان عبور می‌کند}$$

بنابراین:

$$D_H = 4 \frac{\frac{\pi}{4}(D_2^2 - D_1^2)}{\pi(D_2 + D_1)} = D_2 - D_1 \quad \text{سیالاتی}$$

اما در محاسبه قطر هیدرولیکی حرارتی باید این نکته را در نظر گرفت که حرارت 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.

$$\pi D_1 = \text{محیط خیس شونده در بحث انتقال حرارت}$$

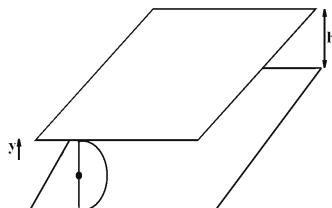
بنابراین :

$$D_H = 4 \frac{\frac{\pi}{4}(D_2^2 - D_1^2)}{\pi D_1} = \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_1} \quad \text{حرارتی}$$

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

جريان بين دو صفحه موازي:



مطابق شکل جريان سیال بین دو صفحه موازی که فاصله دو صفحه از هم برابر h است را در نظر می‌گيريم. پروفایل سرعت در جريان آرام در شکل نمایش يافته که مطابق جريان سیال در لوله در جريان 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 ذكر 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 جريان آرام بین دو صفحه موازی عبارت است از:

$$U = U_{max} \left[1 - \left(\frac{y}{h/2} \right)^2 \right]$$

كه در رابطه فوق U_{max} از رابطه زير قابل محاسبه است:

$$U_{max} = - \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{h^2}{8\mu}$$

رابطه بین سرعت متوسط و سرعت ماکزیمم در جريان آرام بین دو صفحه عبارت است از:

$$\bar{U} = \frac{2}{3} U_{max}$$

در محاسبه ضریب اصطکاک در جريان 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 زیر قابل محاسبه می‌باشد: صفحه در محاسبه عدد Re استفاده کنیم در این صورت ضریب اصطکاک از روابط

$$Re = \frac{\rho \bar{U} h}{\mu} \rightarrow \begin{cases} f_{fanning} = \frac{12}{Re} \\ f_{darcy} = \frac{48}{Re} \end{cases}$$

اما اگر در محاسبه عدد Re از مفهوم قطر هیدرولیکی استفاده کنیم ($D_H = 2h$) آن‌گاه داریم:

$$Re = \frac{\rho \bar{U} D_H}{\mu} \Rightarrow \begin{cases} f_{fanning} = \frac{24}{Re} \\ f_{darcy} = \frac{96}{Re} \end{cases}$$

يادداشت:

.....
.....
.....
.....

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 مناسب 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:

$$h_f = 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

در مورد اتصالات (زانویی، انقباض و انبساط و شیرها و ...) بهجای $4f \frac{L}{D}$ در رابطه فوق ضریب اتلاف K را قرار می‌دهیم بنابراین:

$$h_f = K \frac{V^2}{2g}$$

در زیر رابطه h_f برای اتصالات در سیستم‌ها و با واحدهای مختلف بیان شده است:

در سیستم SI :

$$\left\{ \begin{array}{l} h_f = K \frac{V^2}{2} \text{ واحد } \frac{J}{kg} \text{ (انرژی بر واحد جرم سیال)} \\ h_f = K \frac{V^2}{2g} \text{ واحد } m \text{ (ارتفاع سیال)} \end{array} \right.$$

در سیستم انگلیسی:

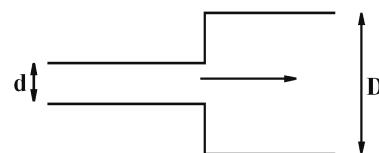
$$\left\{ \begin{array}{l} h_f = K \frac{V^2}{2g_c} \text{ واحد } \frac{ft \cdot lb_f}{lb_m} \text{ (انرژی بر واحد جرم سیال)} \\ h_f = K \frac{V^2}{2g} \text{ واحد } ft \text{ (ارتفاع سیال)} \end{array} \right.$$

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.

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

انبساط ناگهانی:

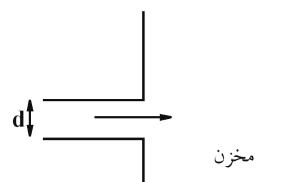


انبساط ناگهانی

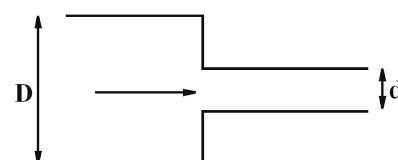
منظور از انبساط ناگهانی حالتی است که قطر لوله بطور ناگهانی افزایش می‌یابد. اگر قطر قسمت کوچکتر را d و سطح مقطع قسمت کوچکتر را a ، قطر قسمت بزرگتر را D و سطح مقطع قسمت بزرگتر را A بنامیم ضریب K از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$K = \left[1 - \frac{a}{A} \right]^2 \quad \text{و} \quad K = \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]^2$$

مطلوب شکل زیر اگر لوله ورودی به یک مخزن را در نظر بگیریم آن‌گاه نسبت $\frac{d}{D}$ بسیار کوچک خواهد بود. بنابراین رابطه در این حالت $K = 1$ می‌باشد.



انقباض ناگهانی :



انقباض ناگهانی

منظور از انقباض ناگهانی حالتی است که به طور ناگهانی قطر لوله کاهش می‌یابد. اگر قطر قسمت بزرگتر را D ، سطح مقطع قسمت بزرگتر را A ، قطر قسمت کوچکتر را d و سطح مقطع قسمت کوچکتر را a بنامیم K از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$K = 0.5 \left[1 - \frac{a}{A} \right] \quad \text{و} \quad K = 0.5 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]$$

پادداشت:

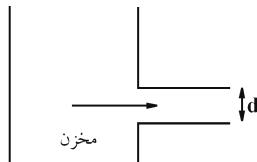
.....

.....

.....

.....

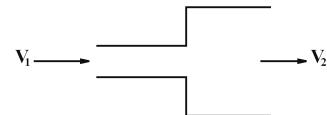
مطابق شکل اگر لوله خروجی از یک مخزن را در نظر بگیریم آن‌گاه نسبت $\frac{d}{D}$ بسیار کوچک خواهد بود. بنابراین $0 \rightarrow \frac{d}{D}$ و طبق رابطه در این حالت $K = 0.5$ می‌باشد.



تذکر بسیار مهم: در رابطه $h_f = K \frac{V^2}{2g}$ همواره چه در انبساط و چه در انقباض، سرعت (V) در سطح مقطع کوچکتر را در رابطه قرار می‌دهیم.

نکته: در حالات انبساط ناگهانی اگر سرعت در سطح مقطع کوچکتر V_1 و در سطح مقطع بزرگتر V_2 باشد می‌توان تلفات را از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$h_f = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$



طول معادل:

می‌توان افت انرژی در اتصالات را با استفاده از طول معادل بیان نمود. به عبارت دیگر بیان می‌کنیم انرژی تلف شده در یک اتصال معادل انرژی تلف شده در چند متر از لوله می‌باشد. برای محاسبه طول معادل می‌بایست رابطه $h_f = K \frac{V^2}{2g}$ برای لوله و برای اتصال را با هم مساوی قرار می‌دهیم. طول معادل را با L_{eq} نمایش می‌دهیم.

$$\left. \begin{aligned} h_f &= 4f \frac{L_{eq}}{D} \frac{V^2}{2g} \\ h_f &= K \frac{V^2}{2g} \end{aligned} \right\} \Rightarrow L_{eq} = \frac{KD}{4f_{fanning}} = \frac{KD}{f_{darcy}}$$

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

فصل پنجم

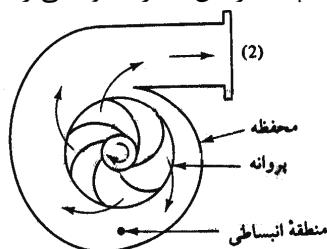
پمپ و پمپاژ

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 دور) و پمپ‌های جابجایی مشبت (پمپ‌های رفت و برگشتی)، از آن‌جا که پمپ‌های سانتریفوژ در آزمون‌های ورودی کارشناسی ارشد بیشتر از پمپ‌های جابجایی مشبت مطرح هستند بررسی خود را به این پمپ‌ها معطوف می‌کنیم.

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

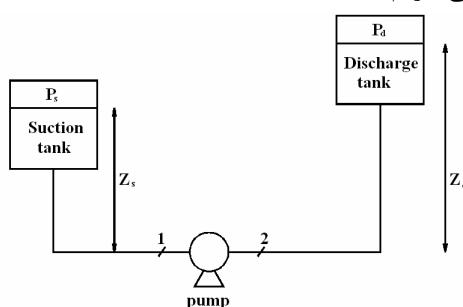
یادداشت:

مشخصات پمپ‌های سانتریفوژ:

- ۱) برای سیالات با ویسکوزیته کم کاربرد دارد.
- ۲) برای دبی‌های بالا و فشارهای پایین از این نوع پمپ استفاده می‌گردد.
- ۳) برای پمپاژ سیالات شبه پلاستیک از پمپ‌های سانتریفوژ با 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.

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:

$$P_1 = P_s + \rho g Z_s - h_{f_s} \quad , \quad P_2 = P_d + \rho g Z_d + h_{f_d}$$

در روابط فوق P_s فشار روی مخزن مکش و P_d فشار روی مخزن تخلیه می‌باشد. h_{f_s} بیانگر میزان اتلاف انرژی از مخزن

مکش تا پمپ و h_{f_d} بیانگر میزان اتلاف انرژی از پمپ تا مخزن تخلیه می‌باشد.

اگر بخواهیم روابط فوق را با واحد ارتفاع سیال بیان کنیم خواهیم داشت:

$$H_1 = \frac{P_1}{\rho g} = \frac{P_s}{\rho g} + Z_s - h_{f_s} \quad , \quad H_2 = \frac{P_2}{\rho g} = \frac{P_d}{\rho g} + Z_d + h_{f_d}$$

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:

$$H_{\text{سیستم}} = H_2 - H_1$$

$$H_{\text{سیستم}} = \frac{P_d - P_s}{\rho g} + (Z_d - Z_s) + (h_{f_d} + h_{f_s})$$

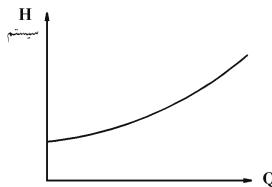
یادداشت:

.....
.....
.....
.....

در رابطه فوق P_d, Z_d, Z_s و P_s مقادیر ثابتی هستند Q^2 با H_f متناسب است بنابراین رابطه (سیستم) را می‌توان به شکل زیر نوشت:

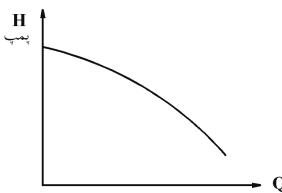
$$H = A + BQ^2$$

که A و B اعداد ثابتی هستند بنابراین رسم (سیستم) بر حسب دبی (Q) مطابق نمودار زیر خواهد بود که آنرا منحنی هد سیستم می‌نامیم.



منحنی هد سیستم

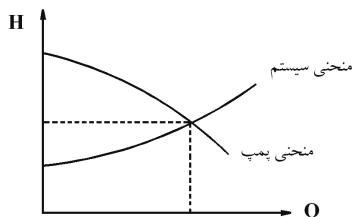
اگر پمپ سانتریفوژ را به تنها یی در نظر بگیریم می‌توان منحنی هد پمپ بر حسب دبی را به صورت زیر نشان داد:



منحنی هد پمپ

در پمپ‌های سانتریفوژ با افزایش دبی، هد پمپ کاهش می‌یابد. بنابراین نمودار هد پمپ بر اساس دبی نزولی خواهد بود.

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 هد را نتیجه می‌دهد.



اگر راندمان پمپ را با η نمایش دهیم و توان پمپ را با P خواهیم داشت:

$$\eta = \frac{\text{توانی که پمپ به سیال می‌دهد}}{\text{توانی که پمپ مصرف می‌کند}}$$

توانی که پمپ به سیال می‌دهد $P = \Delta P \cdot Q = \rho g H Q$

$$\text{توانی که پمپ مصرف می‌کند} P = \frac{\rho g H Q}{\eta}$$

مطابق رابطه با کاهش راندمان پمپ، توان مصرفی پمپ افزایش می‌یابد.

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

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:

$$\frac{P_s}{\rho g} + Z_s + h_p = \frac{P_d}{\rho g} + Z_d + h_f$$

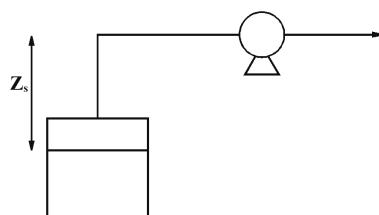
که در اینجا h_f مجموع کل تلفات بین مخزن مکش و تخلیه است که برابر است با:

$$h_f = h_{fs} + h_{fd}$$

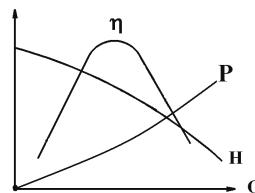
البته سطح سیال در مخزن مکش در حال پایین رفتن و سطح سیال در مخزن تخلیه در حال بالا رفتن است که بدلیل کم بودن سرعت، از سرعت از آنها صرفنظر شده است.

تذکر بسیار مهم: اگر در مسئله‌ای 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:

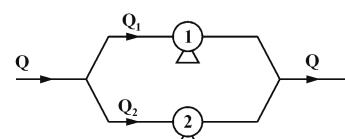
برای افزایش دبی می‌توان چند پمپ سانتریفوژ را به صورت موازی بست. همچنین برای افزایش هد می‌توان چند پمپ سانتریفوژ را به شکل سری بست که به بررسی این دو حالت می‌پردازیم.

موازی بستن پمپ‌های سانتریفوژ:

اگر دو یا چند پمپ سانتریفوژ را به صورت موازی ببنديم 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:

$$H = H_1 = H_2$$

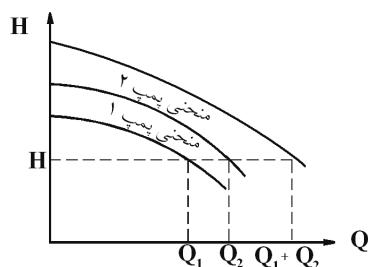
$$Q = Q_1 + Q_2$$



یادداشت:

.....
.....
.....
.....

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 به دست آورد.



سری بستن پمپ‌های سانتریفوژ:

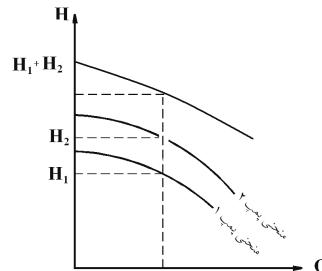
اگر دو یا چند پمپ سانتریفوژ را به صورت سری به هم بیندیم تمامی پمپ‌ها دارای دبی یکسان خواهند بود ولی هد کلی مجموع هد تک تک پمپ‌ها می‌باشد. بنابراین:

$$Q = Q_1 = Q_2$$

$$H = H_1 + H_2$$



برای تعیین هد کلی سیستم می‌توان در یک دبی ثابت مجموع هد پمپ‌ها را حساب کرده و یک نقطه از منحنی مشخصه کلی را به دست 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.

یادداشت:

.....

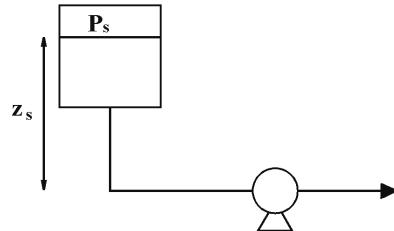
.....

.....

.....

:(Net Positive Suction Head) NPSH

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 می آوریم:



$$NPSH = \left(\frac{P_s - P_{vp}}{\rho g} \right) + Z_s - h_f$$

که در این رابطه P_{vp} فشار بخار سیال در شرایط مسئله بوده و h_f کل تلفات بخش مکش می باشد.
تذکر: اگر مخزن مکش پایین تر از پمپ قرار داشته باشد Z_s را با علامت منفی قرار می دهیم.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

فصل ششم

جريان‌های خارجی

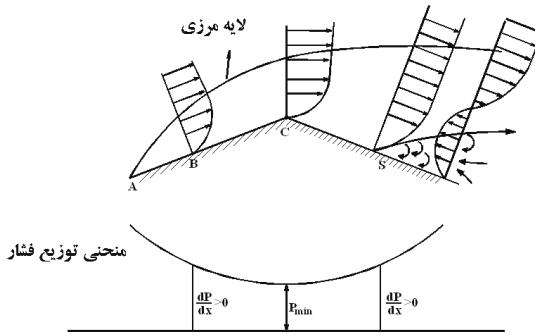
لایه مرزی در جريان خارجي و جدایش لایه مرزی:

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 جريان 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 به این پدیده «جدایش لایه مرزی» می‌نامیم و نقطه‌ای که در آن لایه مرزی از سطح جسم جامد جدا می‌شود نقطه جدایش نام دارد.

تأثیر گرادیان فشار $\left(\frac{dP}{dx}\right)$ روی جدایش لایه مرزی با در نظر گرفتن جريان بر روی سطح انحناد ABCSD در شکل قبل بررسی است.

در ناحیه انحناد 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.



تأثیر گرادیان فشار روی جدایش لایه مرزی

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

در نقطه C فشار حداقل می‌باشد. در ناحیه انحنای CSD سرعت سیال در راستای حرکت کاهش می‌بادد. به دلیل کاهش سرعت، فشار در راستای حرکت افزایش می‌بادد 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 می‌بادد. 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 جدائی 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:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0} < 0 \quad \text{(a)} \quad \text{باشد، بدین معنی است که جریان سیال جدا شده است.}$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0} = 0 \quad \text{(b)} \quad \text{باشد، بدین معنی است که جریان سیال در آستانه جدایش است.}$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0} > 0 \quad \text{(c)} \quad \text{باشد، بدین معنی است که جریان سیال جدا نخواهد شد.}$$

نیروی درگ (Drag):

اگر جسمی در داخل سیالی حرکت کند و یا سیال از روی جسم حرکت کند، 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 بوجود 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 خوشی سیال قرار داشته باشد (جریان خوشی حالتی است که هیچ گونه جدائی 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:

$$\text{نیروی درگ ناشی از شکل هندسی} = 2\pi R \mu U$$

$$\text{نیروی درگ ناشی از اصطکاک پوسته‌ای} = 4\pi R \mu U$$

$$F_D = 2\pi R \mu U + 4\pi R \mu U = 6\pi R \mu U \quad \text{بنابراین نیروی درگ کل برابر است با:}$$

ضریب درگ:

در جریان‌های داخلی ضریب اصطکاک تعریف شده و در جریان خارجی ضریب درگ مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$f = \frac{\tau_w}{\rho \bar{V}^2} \quad \text{و} \quad C_D = \frac{F_D}{\rho \bar{V}^2} \quad \text{ضریب درگ:}$$

$$2 g_c$$

$$F_D = C_D A_P \rho \frac{\bar{V}^2}{2} \quad \text{یادداشت:}$$

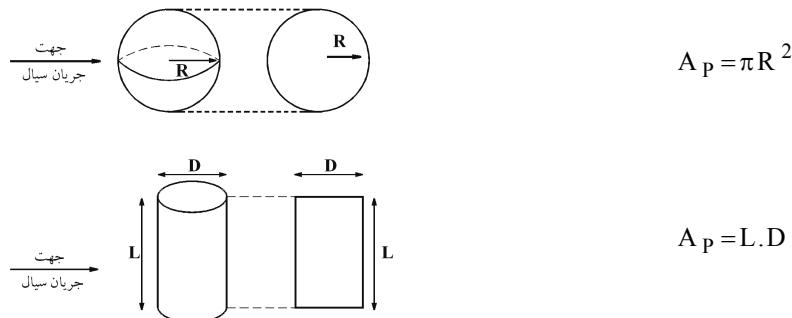
$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

\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 خوشی برای یک کره می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$C_D = \frac{24}{Re}$$

در جریان خوشی $\log C_D$ بر حسب $\log Re$ خطی با شیب -1 است:

$$C_D = \frac{24}{Re} \Rightarrow \log C_D = \log 24 - \log Re$$

توجه ۱: جدایش باعث افزایش نیروی دراگ می‌شود.

توجه ۲: بعد از ناحیه خوشی با افزایش عدد Re کاهش می‌یابد اما باید توجه کرد که F_D با افزایش عدد Re افزایش می‌یابد چرا که 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 می‌رسد که این سرعت را سرعت حد می‌نامند. در این حالت برآیند تمامی نیروها صفر است. نیروهایی که به جسم وارد می‌شود عبارتند از نیروی وزن، نیروی دراگ و نیروی بیانسی. نیروی وزن عامل حرکت جسم می‌باشد و نیروهای بیانسی 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 در سیالی با ویسکوزیته μ ، چگالی ρ ، با سرعت حد u_0 در جریان خوشی در حال حرکت باشد آن‌گاه:

$$\frac{4}{3}\pi R^3 \rho_s g - \frac{4}{3}\pi R^3 \rho g - 6\pi \mu R u_0 = 0$$

$$\mu = \frac{D^2 (\gamma_s - \gamma)}{18 u_0} \leftrightarrow u_0 = \frac{D^2 (\gamma_s - \gamma)}{18 \mu}$$

همچنین نتیجه می‌شود در این حالت سرعت حد با توان دوم قطر ذره یعنی D نسبت مستقیم دارد:

$$u_0 = \sqrt{\frac{8Rg(\rho_s - \rho)}{3C_D \rho}} = \sqrt{\frac{8R(\gamma_s - \gamma)}{3C_D \rho}} = \sqrt{\frac{4D(\gamma_s - \gamma)}{3C_D \rho}}$$

پادداشت:

.....
.....
.....
.....

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 گروههای بی بعد جهت کاهش تعداد متغیرها برای یک آزمایش، طراحی مدل جهت انجام آزمایشات بر روی آن و ارائه معادلات لازم و تبدیل یک سیستم واحد به سیستم دیگر مفید است.

به طور کلی آنالیز ابعادی تعداد متغیرهای یک مسئله 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 π – Bucking ham

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؟

$$K \Delta P \cdot \rho \quad (۱)$$

$$K \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (۲)$$

$$K \sqrt{\Delta P \cdot \rho} \quad (۳)$$

$$K \frac{\Delta P}{\rho} \quad (۴)$$

یادداشت:

حل : در روش Rayleigh ابتدا بعد هر یک از کمیت‌های موجود در معادله را به دست می‌آوریم، یادآوری می‌شود که منظور از بعد یک کمیت ارتباط آن کمیت با کمیت‌های اصلی در آن سیستم اندازه‌گیری مورد نظر می‌باشد، 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 کروشه بیانگر بعد کمیت و M جرم، T زمان و L بیانگر طول می‌باشد. از آن‌جا که دوطرف یک رابطه باید بعد مساوی داشته باشند به جای هر کمیت بعد آن را قرار می‌دهیم:

$$V = K \Delta P^a \rho^b$$

$$LT^{-1} = \left(ML^{-1} T^{-2} \right)^a \left(ML^{-3} \right)^b$$

با مرتب کردن رابطه داریم:

$$LT^{-1} = M^{a+b} L^{-a-3b} T^{-2a}$$

که توان T ، L ، M در دو طرف رابطه باید برابر باشد:

$$-a - 3b = 1$$

$$-2a = -1$$

$$a + b = 0$$

$$a = \frac{1}{2}, \quad b = -\frac{1}{2}$$

$$V = K \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

از دستگاه فوق دو مجهول a ، b به دست می‌آید:

بنابراین:

(۲) روش π – Buckingham

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 به دست می‌آید:

$$(تعداد ابعاد اصلی سیستم m) - (تعداد کمیت n) = \text{تعداد گروه‌های بی‌بعد P}$$

تعداد ابعاد اصلی بستگی به سیستم اندازه‌گیری دارد. در سیستم MLT تعداد ابعاد اصلی برابر ۳ می‌باشد (T, L, M) و در سیستم $FMLT$ تعداد ابعاد اصلی برابر ۴ می‌باشد.

مثال: اگر دبی درون یک لوله مؤین به قطر لوله، ویسکوزیته و افت فشار در واحد طول لوله بستگی داشته باشد تعداد گروه‌های بی‌بعد را به دست آورید.

پادداشت:

.....
.....
.....
.....

پارامترها عبارتند از: Q , D , μ و n می‌باشد. برای تعیین تعداد ابعاد اصلی بعد هر یک از پارامترها را می‌نویسیم:

$$[Q] = L^3 T^{-1}$$

$$\left[\frac{\Delta P}{L} \right] = ML^{-2} T^{-2}$$

$$[D] = L$$

$$[\mu] = ML^{-1} T^{-1}$$

همان‌طور که معین است بعد تمامی کمیت‌ها از سه کمیت M , L و T تشکیل شده است بنابراین تعداد کمیت‌های اصلی برابر سه می‌باشد. مثلاً اگر بعد تمامی کمیت‌ها از فقط L , T تشکیل می‌شوند و در آن صورت تعداد کمیات اصلی برابر ۲ می‌بود. بنابراین: $n = 4 - 3 = 1$ تعداد گروه‌های بی‌بعد

اعداد بی‌بعد:

اعداد بی‌بعد که در درس مکانیک سیالات اهمیت دارند عبارتند از:

$$Re = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{نیروی برشی (ویسکوز)}} = \frac{\rho V D}{\mu} \quad \text{عدد رینولدز}$$

$$Ma = \frac{\text{سرعت}}{\text{سرعت صوت}} = \frac{V}{C} \quad \text{عدد ماخ}$$

$$Fr = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{جاذبه}} = \frac{V^2}{Lg} \quad \text{فروود}$$

$$Eu = \frac{\text{نیروی فشاری}}{\text{نیروی اینرسی}} = \frac{-\Delta P}{\rho V^2} \quad \text{اولر}$$

$$We = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{کشن سطحی}} = \frac{\rho V^2 L}{\sigma} \quad \text{وبر}$$

با کاربرد عدد رینولدز آشنا هستیم. عدد ماخ در سیالات تراکمناپذیر کاربرد دارد. عدد اولر در افت فشار دارای اهمیت است. عدد فروود در حرکت در سطح آزاد و عدد وبر در مورد کشن سطحی مانند صعود سیال از لوله مؤین اهمیت دارد. همچنین یادآور می‌شود که:

$$\Delta P \cdot A = \Delta P \cdot L^2 = \text{نیروی فشاری}$$

$$F_I \propto \rho V^2 L^2 = \text{نیروی اینرسی}$$

$$\tau \cdot A = \mu \frac{du}{dy} A \propto \mu L V = \text{نیروی ویسکوز (برشی)}$$

یادداشت:

.....
.....
.....
.....
.....

$$= mg \propto \rho L^3 g$$

$$\sigma = \text{نیروی کشش سطحی} / L$$

تشابه، مطالعه مدل‌ها:

به خاطر مسائل اقتصادی، همچنین کمک به طراحی از اصل تشابه استفاده می‌شود. برای این منظور نمونه مشابهی به صورت مدل ساخته شده و دوی آن مطالعات صورت گرفته و نتایج حاصله اد، مواد نمونه اصلی، به کار میرند.

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 تامین تشابه لازم است که بین مدل و نمونه اصلی تشابه هندسی، تشابه سینماتیک و تشابه دینامیک بقرار باشد.

۱) تشابه هندسی: در این حالت نسبت‌های ابعاد متناظر در مدل و نمونه اصلی باید با هم برابر باشد.

$$\frac{\text{طول مدل}}{\text{طول، نمونه اصلی}} = \frac{L_m}{L_p} = L_r$$

$$= \frac{\text{مساحت مدل}}{\text{مساحت نمونه اصلی}} = \frac{L_m^2}{L_n^2} = L_r^2$$

$$\frac{\text{حجم مدل}}{\text{حجم نمونه اصلی}} = \frac{L_m^3}{L_p^3} = L_r^3$$

همچنین تمام زوایا و جهت‌های جریان در تشبیه هندسی، پیکسانند 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 سرعت‌ها در قسمت‌های متناظر مدل و نمونه اصلی یکسان بوده، همچنین

$$\text{مسیرهای ذرات متحرک (خطوط جریان) در مدل و نمونه اصلی از لحاظ هندسی متشابه می‌باشند.} \\ V_r = \frac{V_m}{V_p} = \frac{\left(\frac{L_m}{T_m} \right)}{\left(\frac{L_p}{T_p} \right)} = \frac{L_r}{T_r} = \text{نسبت سرعت‌ها}$$

$$a_r = \frac{a_m}{a_p} = \frac{\frac{L_m}{T_m^2}}{\frac{L_p}{T_p^2}} = \frac{L_m}{T_m^2} \cdot \frac{T_p^2}{L_p}$$

$$\text{نسبت دبی ها} = Q_r = \frac{Q_m}{Q_p} = \frac{\left(\frac{L_m^3}{T_m} \right)}{\left(\frac{L_p^3}{T_p} \right)} = \frac{L_r^3}{T_r}$$

یادداشت:

$$T_r = \frac{T_m}{T_p}$$

شرط برقراری تشابه سینماتیکی است که می‌توان 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 مسائل بیشتر این اعداد دارای اهمیت نبوده و فقط یک یا دو عدد بدون بعد دارای اهمیت می‌باشد و از بقیه صرف نظر می‌شود. به عنوان مثال:

- ۱) در جریان تراکم‌پذیر، عدد رینولدز، ماخ و نسبت گرمای ویژه مدل و نمونه اصلی 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 مساوی باشند.

یادداشت:

.....

.....

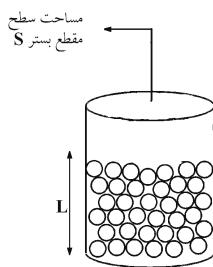
.....

.....

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:

$$\epsilon = \frac{\text{حجم فضای خالی}}{\text{كل حجم بستر}}$$

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:

$$V = \frac{Q}{S}$$

یادداشت:

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:

$$V_{\text{eff}} = \frac{V}{\epsilon}$$

حجم فضای خالی بستر برابر است با:

$$\text{کل حجم} \times \epsilon = \text{حجم فضای خالی}$$

$$\text{حجم فضای خالی} = \epsilon \times SL$$

$$\text{حجم فضای خالی} - \text{کل حجم} = \text{حجم فضایی که توسط پرکن‌ها اشغال شده}$$

$$= SL - \epsilon \times SL = SL(1 - \epsilon)$$

که S_p سطح پرکن و V_p حجم پرکن می‌باشد.

می‌توان نشان داد که افت فشار در جریان درهم با توان دوم سرعت و در جریان آرام با توان اول سرعت متناسب است. بنابراین:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P \sim V^2 \\ \text{در جریان آرام} \end{array} \right.$$

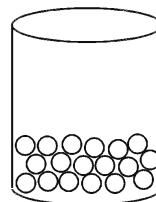
$$\left\{ \begin{array}{l} \log \Delta P \sim 2 \log V \\ \text{در جریان درهم} \\ \log \Delta P \sim \log V \\ \text{در جریان آرام} \end{array} \right.$$

سطح ویژه در بسترها پر شده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$a_p = \frac{6(1-\epsilon)}{d_p} \text{ سطح ویژه}$$

بررسی سیالیت:

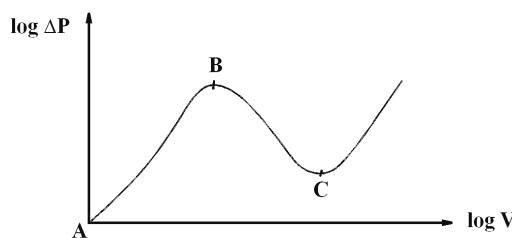
بستری را در نظر می‌گیریم که هنوز جریان سیالی وارد آن نشده است و در این حالت پرکن‌ها در کف بستر تجمع کرده‌اند.



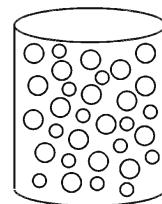
حال جریانی از سیال از پایین وارد بستر می‌شود. در ابتدا نیرویی که سیال به پرکن‌ها وارد می‌کند نمی‌تواند بر نیروی وزن پرکن‌ها غلبه نماید بنابراین بسترها به همان حالت قبلی باقی می‌ماند. سرعت سیال ورودی را افزایش می‌دهیم، بستر به همان حالت ساکن باقی می‌ماند و بهدلیل افزایش سرعت افت فشار افزایش می‌یابد این مسئله در موارد زیر نشان داده شده است. که از نقطه A تا B بستر چنین وضعیتی دارد.

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

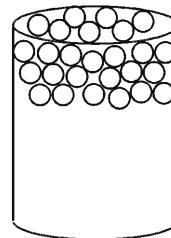


تا جایی که به نقطه B (آستانه سیالیت) می‌رسیم در این حالت نیرویی که سیال به پرکن‌ها وارد می‌کند با وزن پرکن‌ها برابر است و بستر در آستانه سیالیت قرار می‌گیرد، در این حالت اگر سرعت سیال را افزایش دهیم پرکن‌ها از هم جدا می‌شوند و به حالت زیر در می‌آیند:



حالت سیالیت

بنابراین در این حالت با افزایش سرعت، فاصله پرکن‌ها از هم بیشتر می‌گردد و با افزایش سرعت افت فشار کاهش می‌یابد.
حالی 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:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{g}{g_c} (1 - \varepsilon) (\rho_s - \rho)$$

که ρ دانسیته پرکن‌ها، ρ_s دانسیته سیال و $\frac{\Delta P}{L}$ افت فشار به ازای واحد طول می‌باشد. یادآوری می‌شود که g در سیستم SI برابر یک و

در سیستم مهندسی انگلیسی $\frac{g}{g_c}$ برابر یک می‌باشد.

$$\Delta P = \frac{g}{g_c} L (1 - \varepsilon) (\rho_s - \rho)$$

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

$\left(\rho_s - \rho \right)$ 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. $SL(\epsilon) = L(\epsilon) - L_0$ 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.

یادداشت:

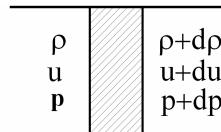
.....
.....
.....
.....

فصل نهم

جريان سیالات تراکم‌پذیر

محاسبه سرعت صوت

المانی از جریان سیال تراکم‌پذیر را مطابق شکل در نظر می‌گیریم:



اگر چگالی (ρ)، سرعت (u) و فشار (p) در دو قسمت المان موردنظر در طول جریان تغییر کند مطابق قانون بقای جرم خواهیم داشت:

$$\rho u A = (\rho + dp)(u + du) A$$

$$\rho u = \rho u + u d\rho + \rho du + d\rho du$$

از جمله $d\rho du$ کوچک بودن صرفنظر می‌کنیم:

$$u d\rho + \rho du = 0$$

این رابطه قانون بقای جرم در جریان سیال تراکم‌پذیر در یک لوله با سطح مقطع ثابت می‌باشد.

اگر قانون بقای مومنتم را برای المان موردنظر بنویسیم خواهیم داشت:

$$pA - (p + dp)A = \rho u A (u + du - u)$$

بنابراین:

$$-dp = \rho u du$$

یادداشت:

Telegram : @ChemicalE

با جایگزین کردن رابطه اخیر در قانون بقای جرم خواهیم داشت:

$$ud\rho + \rho \left(-\frac{dp}{\rho u} \right) = 0$$

$$u = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$$

که از این رابطه سرعت سیال تراکم‌پذیر محاسبه می‌شود بنابراین سرعت صوت را نیز می‌توان از رابطه مذکور به دست آورد:

$$C = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} \quad \text{سرعت صوت}$$

سرعت صوت از رابطه زیر نیز قابل محاسبه است:

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad \text{سرعت صوت}$$

که K مدول بالک سیال و ρ دانسیته سیال می‌باشد.

اگر فرآیند عبور موج صوتی از داخل لوله را آدیاباتیک و برگشت‌پذیر در نظر گرفته و سیال را گاز ایده‌آل فرض کنیم خواهیم داشت:

$$pV^\gamma = \text{cte} \rightarrow p\rho^{-\gamma} = \text{cte}$$

با دیفرانسیل‌گیری 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:

$$C = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \quad \text{سرعت صوت در گاز ایده‌آل}$$

و از آنجا که برای گاز ایده‌آل $\frac{PM}{RT} = \rho$ می‌باشد بنابراین:

$$C = \sqrt{\frac{\gamma P}{\frac{PM}{RT}}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

$$C = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad \text{سرعت صوت در گاز ایده‌آل}$$

در جریان سیالات تراکم‌پذیر عدد بی بعد ماخ به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$Ma = \frac{\text{سرعت سیال}}{\text{سرعت صوت}} = \frac{V}{C}$$

هر چه 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.

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

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:

$\left\{ \begin{array}{ll} Ma > 1 & \text{ماخ} \\ Ma < 1 & \text{ماخ} \end{array} \right.$	<table border="0"> <tr> <td style="padding-right: 20px;">سیال تراکم‌پذیر</td><td style="padding-right: 20px;">سیال تراکم‌ناپذیر</td></tr> <tr> <td style="padding-right: 20px;">ماخ (Supersonic)</td><td>ماخ (Subsonic)</td></tr> </table>	سیال تراکم‌پذیر	سیال تراکم‌ناپذیر	ماخ (Supersonic)	ماخ (Subsonic)
سیال تراکم‌پذیر	سیال تراکم‌ناپذیر				
ماخ (Supersonic)	ماخ (Subsonic)				

جریان ایزنتروپیک سیال تراکم‌پذیر در داخل نازل

جریان آدیباتیک 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:

$$udu + \frac{dp}{\rho} = 0 \quad (I)$$

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)

$$(\rho u)dA + (\rho A)du + (uA)d\rho = 0$$

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 قبل 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:

$$\boxed{\frac{dA}{A} = \frac{du}{u} \left(Ma^2 - 1 \right)}$$

از این رابطه نتیجه می‌شود که در یک نازل همگرا $\frac{dA}{A} < 0$ می‌باشد. اگر عدد Ma از یک کوچکتر باشد آن‌گاه $\frac{du}{u} > 0$ و به عبارت دیگر

$du > 0$ می‌باشد. پس در یک نازل همگرا که جریان مادون صوت است سرعت افزایش می‌یابد.



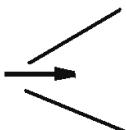
نازل همگرا

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

$$Ma < 1 \text{ و } \frac{dA}{A} < 0 \rightarrow \frac{du}{u} > 0 \rightarrow du > 0$$

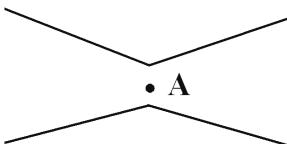
بالعکس در یک نازل و اگر $\frac{dA}{A} > 0$ می‌باشد. اگر عدد Ma از یک بزرگتر باشد آن‌گاه $du > 0$ و به عبارت دیگر $du > 0$ می‌باشد. یعنی در یک نازل و اگر که جریان مافوق صوت است سرعت افزایش می‌یابد.



نازل و اگرا

$$Ma > 1 \text{ و } \frac{dA}{A} > 0 \rightarrow \frac{du}{u} > 0 \rightarrow du > 0$$

به عبارت دیگر اگر سرعت سیال مادون صوت باشد و بخواهیم سرعت سیال را افزایش دهیم باید سیال از یک کanal همگرا عبور نماید و اگر سرعت سیال مافوق صوت باشد و بخواهیم سرعت سیال را افزایش دهیم سیال باید از یک کanal و اگرا عبور کند. بنابراین تنها روش ایجاد جریان مافوق صوت این است که سیال تراکم‌پذیر از یک کanal همگرا و بهدنیال آن از یک کanal و اگرا عبور کند. تنها جائی که امکان رسیدن به سرعت صوت وجود دارد گلوگاه کanal همگرا - و اگرا می‌باشد.



نقطه A گلوگاه مجرای همگرا - و اگرا

اگر در نقطه A سرعت، سرعت صوت باشد پس از آن به سرعت مافوق صوت می‌رسیم ولی اگر در نقطه A به سرعت صوت نرسیم امکان رسیدن به سرعت مافوق صوت پس از A وجود ندارد.

نکته: ماکریزم شدت جرمی که از یک کanal همگرا - و اگرا قابل عبور است زمانی است که سرعت سیال در گلوگاه به سرعت صوت برسد.

جریان آدیاباتیک سیال تراکم‌پذیر در داخل لوله:

در این حالت به ازای یک طول مشخصی از لوله که این طول را L^* مشخص می‌کنیم سرعت در خروجی می‌تواند به سرعت صوت برسد. حداقل 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 بوجود می‌آید.

یادداشت:

.....
.....
.....
.....
.....

در جریان آدیباتیک دمای بین دو نقطه با رابطه زیر به یکدیگر مرتبط می‌شوند:

$$\frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 = T_1 - \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2C_p} \right)}$$

طبق این رابطه اگر در جریان آدیباتیک سرعت سیال افزایش پیدا کند دمای سیال کاهش می‌باید. این رابطه به شرطی صحیح است که

- ۱) هیچ‌کاری 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 نمی‌باید بلکه جرم کمتری عبور می‌کند.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۱ - صفحه متحرکی ۱ میلی متر از صفحه‌ای دیگر که ثابت است فاصله دارد و با سرعت ۰.۲۵ متر بر ثانیه در حال حرکت است. چنانچه اندازه نیروی لازم بازه واحد سطح صفحه ۴ پاسکال باشد ویسکوزیته سیال بین دو صفحه برابر با چند نیوتون- ثانیه بر متر

$$\text{مربع} \left(\frac{\text{N.s}}{\text{m}^2} \right) \text{ می‌باشد؟}$$

۰.۰۶۴ (۴)

۰.۰۱۶ (۳)

۰.۰۳۲ (۲)

۰.۰۰۸ (۱)

۲ - دو سیال مخلوط نشدنی با خاصیت کم و برابر روی یک سطح ساکن قرار گرفته‌اند. صفحه‌ای که بر روی سیال بالایی قرار دارد با سرعت u حرکت می‌کند. در صورتی که سرعت در سطح تماس دو سیال $\frac{u}{4}$ باشد ارتباط ویسکوزیته دو سیال کدام است؟ ویسکوزیته سیال بالایی μ_1 می‌باشد.

$$\mu_1 = 2\mu_2 \quad (۴)$$

$$\mu_1 = \frac{\mu_2}{3} \quad (۳)$$

$$\mu_1 = \frac{\mu_2}{2} \quad (۲)$$

$$\mu_1 = 3\mu_2 \quad (۱)$$

۳ - رابطه بین فشار درون یک حباب توحالی و کشش سطحی مایع تشکیل‌دهنده آن چگونه است؟

$$P = \frac{4\sigma}{R} \quad (۴)$$

$$P = \frac{2\sigma}{R} \quad (۳)$$

$$P = 4\sigma R \quad (۲)$$

$$P = 2\sigma R \quad (۱)$$

۴ - با افزایش درجه حرارت گرانروی گازها و مایعات از کدامیک از مصادیق ذیل تبعیت می‌نماید:

(۱) گرانروی مایعات افزایش و گرانروی گازها کاهش می‌یابد.

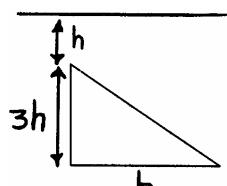
(۲)

گرانروی مایعات کاهش و گرانروی گازها افزایش می‌یابد.

(۳) گرانروی در هر دو مورد کاهش می‌یابد.

(۴) گرانروی در هر دو مورد افزایش می‌یابد.

۵ - در شکل زیر نیروی وارد بر یک طرف صفحه چقدر است؟



$$6bh^2\gamma \quad (۲)$$

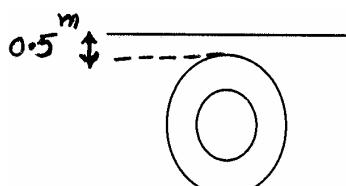
$$\frac{2}{3}bh^2\gamma \quad (۱)$$

$$9bh^2\gamma \quad (۴)$$

$$\frac{9}{2}bh^2\gamma \quad (۳)$$

۶ - پلاک زیر به طور قائم داخل آب قرار دارد نیروی وارد بر یک سمت آن بر حسب نیوتون کدام است؟ ($\gamma_{H_2O} = 10kN/m^3$)

$$(d_o = 2d_i = 2m)$$



$$11250\pi \quad (۲)$$

$$12500\pi \quad (۱)$$

$$10750\pi \quad (۴)$$

$$850\pi \quad (۳)$$

یادداشت:

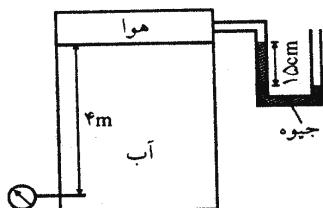
.....

.....

.....

.....

۷ - در شکل زیر فشار سنج چه فشاری را نشان می‌دهد؟ (چگالی آب 1000 kg/m^3 و چگالی جیوه 13600 kg/m^3 می‌باشد).



- (۱) ۰.۲ بار نسبی
- (۲) ۰.۲ بار مطلق
- (۳) ۰.۶ بار نسبی
- (۴) ۰.۶ بار مطلق

۸ - چه موقع در یک سیال فشار در یک نقطه در تمامی جهات یکسان خواهد بود:

- (۱) فقط زمانی که سیال بی اصطکاک است.
- (۲) فقط زمانی که سیال بی اصطکاک و غیر قابل تراکم باشد.
- (۳) فقط در حالی که سیال دارای لزجت صفر و بدون حرکت باشد.
- (۴) زمانی که هیچ لایه سیال نسبت به لایه مجاور حرکت نمی‌کند.

۹ - در ظرفی استوانه‌ای به ارتفاع کل 10 cm حدود 7 cm آب وجوددارد اگر این ظرف با سرعت زاویه‌ای ω شروع به چرخش کند در چه سرعتی (بر حسب rad/sec) آب شروع به بیرون ریختن می‌کند؟ (قطر ظرف = 4 cm)

- ۵۵ (۴) 40 (۳) 36 (۲) 65 (۱)

۱۰ - اسکله‌ای چوبی به ابعاد $1 \times 2 \times 4$ متر با چگالی 0.5 kgf/m^3 در آب شناور است عمق غوطه‌وری اسکله چوبی برابر است با:

- ۰.75 متر (۴) 0.55 متر (۳) 0.25 متر (۲) 0.15 متر (۱)

۱۱ - معادله خط جریان برای سیالی که بردار سرعت آن در نقطه $A(1,1)$ معادل $U = x\mathbf{i} + 3y\mathbf{j}$ باشد چیست؟

$$y = (x-1)\frac{1}{3} + 1 \quad (۴) \qquad y = (x-1)^3 + 1 \quad (۳) \qquad y = x\frac{1}{3} \quad (۲) \qquad y = x^3 \quad (۱)$$

۱۲ - برای یک جریان سه بعدی مولفه‌های سرعت به قرار زیرند. مولفه سرعت راستای y کدام است؟ a و b مقادیر ثابتی می‌باشند

$$\vec{V} = u \vec{i} + v \vec{j} + w \vec{k}, \quad u = ax - y, \quad v = ?, \quad w = ax - bz$$

$$(b-a)y + f(x,y,z,t) \quad (۴) \qquad (b-a)y + f(x,z,t) \quad (۳) \qquad (a-b)y + f(x,z,t) \quad (۲) \qquad (b-a)y \quad (۱)$$

۱۳ - آب با توزیع سرعت $V_s = 4 \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \frac{m}{s}$ در لوله‌ای با قطر 10 cm در جریان است اگر دانسیته آب 1000 kg/m^3 باشد، دبی جرمی آب چند $\frac{\text{kg}}{\text{hr}}$ خواهد بود؟

- 5652 (۴) 15.7 (۳) 56520 (۲) 565 (۱)

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

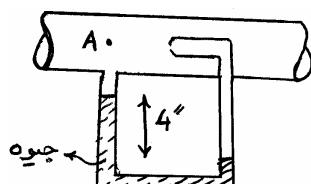
۱۴ - داخل یک لوله، روغن با دبی $s = 10 \text{ kg/s}$ در سرعت 10 m/s در امتداد $o\bar{x}$ در صفحه افقی xoy جریان دارد. این جریان بوسیله یک زانوی 135° یک تغییر مسیر در همین صفحه می‌باید. مقدار مؤلفه‌های F_x و F_y (قدر مطلق) وارد بر سیال چقدر خواهد بود؟

$$F_x = 30 \text{ N}, F_y = 70 \text{ N} \quad (۱) \quad F_x = 70 \text{ N}, F_y = 30 \text{ N} \quad (۲) \quad F_x = F_y = 70 \text{ N} \quad (۳) \quad F_x = F_y = 30 \text{ N} \quad (۴)$$

۱۵ - کدامیک از عبارات زیر در مورد ضریب تصحیح مومنتوم و ضریب تصحیح انرژی جنبشی صحیح است؟

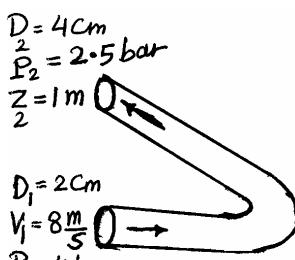
- ۱) در جریان در هم ضریب تصحیح مومنتوم $\frac{4}{3}$ و ضریب تصحیح انرژی جنبشی ۲ است زیرا توزیع سرعت مسطح است.
- ۲) در جریان در هم ضریب تصحیح مومنتوم و ضریب تصحیح انرژی جنبشی نزدیک به ۱ می‌باشد زیرا توزیع سرعت سهموی است.
- ۳) در جریان ارام ضریب تصحیح مومنتوم برابر $\frac{4}{3}$ و ضریب تصحیح انرژی جنبشی ۲ است زیرا توزیع سرعت سهموی است.
- ۴) در جریان ارام ضریب تصحیح مومنتوم برابر ۲ و ضریب تصحیح انرژی جنبشی $\frac{4}{3}$ است زیرا توزیع سرعت سهموی است.

۱۶ - یک برش نفتی در $F = 70^\circ$ از داخل یک لوله که به یک tube Pitot وصل گردیده اختلاف فشاری معادل ۴ اینچ جیوه می‌نماید سرعت در نقطه A را حساب نمایید (برای برش نفتی $\text{sp.gr} = 0.5$ و برای جیوه ۱۳.۶ است).



$$30 \text{ ft/s} \quad (۱) \quad 24 \text{ ft/s} \quad (۲) \\ 16 \text{ ft/s} \quad (۳) \quad 12 \text{ ft/s} \quad (۴)$$

۱۷ - در شکل مقابل افت انرژی در سیال گذرنده از اتصال چند J/kg است؟ اتصال افقی قرار گرفته است. دانسیته سیال $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ و فشارها نسبی می‌باشند.



$$150 \quad (۱) \quad 120 \quad (۲) \\ 190 \quad (۳) \quad 170 \quad (۴)$$

۱۸ - کدام عبارت در مورد حرکت سیال نیوتونی در داخل لوله افقی صحیح است؟

- ۱) توزیع تنفس و سرعت هر دو سهمی هستند
- ۲) توزیع تنفس و سرعت هر دو خطی هستند
- ۳) توزیع تنفس سهمی و توزیع سرعت خطی هستند
- ۴) توزیع تنفس برشی خطی بوده و توزیع سرعت سهمی است.

یادداشت:

۱۹ - توزیع تنش در یک لوله افقی برابر $\tau = 2\mu/r^2$ می باشد افت فشار برای واحد طول این لوله مطابق کدام گزینه تغییر می کند؟ (R)

شعاع لوله می باشد

$$\frac{-\Delta P}{L} = 2R^3/\mu \quad (۴)$$

$$\frac{-\Delta P}{L} = 2\mu/R \quad (۳)$$

$$\frac{-\Delta P}{L} = 4\mu/R^3 \quad (۲)$$

$$\frac{-\Delta P}{L} = 4\mu R^3 \quad (۱)$$

۲۰ - هرگاه تنش برشی در دیواره لوله ای به قطر 48inch برابر $14.4 \frac{lb_f}{ft^2}$ باشد افت فشار در طول 100 ft از این خط لوله برحسب psi برابر خواهد بود با:

40 (۴)

5 (۳)

20 (۲)

10 (۱)

۲۱ - در حرکت آرام داخل لوله اگر دبی جریان دو برابر شود و سایر پارامترها ثابت باقی بماند تنش مطابق کدام یک از پاسخها تغییر می کند؟

نصف می شود.

دو برابر می شود.

چهار برابر می شود.

تغییر نمی کند

۲۲ - آب با دبی $6 \times 10^{-3} \frac{m^3}{sec}$ در داخل یک لوله به قطر 20 میلی متر جریان دارد. اگر آب وارد مقطع بزرگتر به قطر 200 میلی متر

شود اتلاف بر حسب متر در اثر این افزایش سطح مقطع چقدر است؟ ($g=10 m/s^2$, $\pi=3$)

20 (۴)

15 (۳)

10 (۲)

5 (۱)

۲۳ - رابطه افت انرژی مکانیکی در لوله ای افقی با قطر ثابت زمانی بصورت $h_{fs} = \frac{-\Delta P}{\rho}$ در می آید که جریان (ΔP = افت فشار, ρ = دانسیته سیال)

۱) پایدار و فقط اصطکاک پوسته ای وجود داشته باشد.

۲) پایدار، یک بعدی و فقط اصطکاک پوسته ای وجود داشته باشد.

۳) ناپایدار، آرام و یک بعدی باشد.

۴) آرام و پایدار باشد

۲۴ - جریان روغن با ویسکوزیته ۰.۵ دانسیته $1 \frac{g}{min}$ از لوله ای به قطر 4 mm می گذرد ضریب اصطکاک

در این سیستم با فرض $\epsilon = 0.001 mm$ چقدر می باشد؟ ($\pi=3$)

0.8 (۴)

0.4 (۳)

0.2 (۲)

0.1 (۱)

۲۵ - برای جریان بین دو صفحه موازی با فاصله h که یکی او صفحات با سرعت V حرکت می کند توزیع سرعت با رابطه $\frac{u}{V} = \frac{y}{h}$ داده شده است. اگر $Re = \frac{\rho V h}{\mu}$ باشد ضریب اصطکاک دارسی برابر است با:

$\frac{128}{Re}$ (۴)

$\frac{32}{Re}$ (۳)

$\frac{16}{Re}$ (۲)

$\frac{8}{Re}$ (۱)

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۲۶ - لوله‌ای به قطر ۵ cm و طول ۲ km مفروض است در این لوله سیالی با سرعت $10 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ و $\mu = 5 \text{ CP}$ و $p = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ جریان دارد مقدار افت انرژی در این لوله برحسب J/kg چقدر است؟

۸ (۴)

۱۶ (۳)

۴ (۲)

۲ (۱)

۲۷ - دو مخزن بزرگ آب به اختلاف ارتفاع 20 m توسط لوله‌ای به هم متصل هستند. فشار روی مخازن یک اتمسفر است. اگر قطر لوله 4 برابر شود، در انصورت سرعت جریان چند برابر خواهد شد؟ ضریب اصطکاک را ثابت فرض کنید.

$\sqrt{2}$ (۴)

$\frac{1}{\sqrt{2}}$ (۳)

0.5 (۲)

2 (۱)

۲۸ - آب در فضای حلقوی بین دو لوله هم مرکز موازی با محور لوله‌ها در جریان است. با فرض درهم بودن جریان در صورتیکه سرعت متوسط جریان برابر 2 متر بر ثانیه باشد عدد رینولدز جریان چقدر است؟ (از $v = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$, $r_0 = 4\text{cm}$, $r_i = 2\text{cm}$)

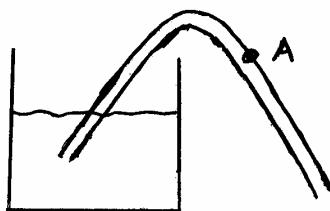
160000 (۴)

80000 (۳)

40000 (۲)

20000 (۱)

۲۹ - آب از یک مخزن توسط شیلنگ مطابق شکل سیفون می‌شود. اگر در نقطه A سوراخی ایجاد شود کدام گزینه صحیح است؟ (از اصطکاک صرفنظر کنید)



۱) هوا به داخل لوله مکیده می‌شود.

۲) آب از سوراخ به بیرون نشست می‌کند.

۳) بسته به قطر و طول لوله می‌تواند گزینه‌های ۱ و ۲ درست باشند.

۴) محل سوراخ تاثیری در این اتفاق ندارد.

۳۰ - طول معادل از یک لوله به قطر 20 سانتی‌متر و ضریب اصطکاک 0.05 که برابر با یک مجموعه از یک شیر توپی (K = 12) و وزانوئی استاندارد (1) و یک شیر دروازه‌ای (K = 1) باشد چند متر است؟

60 (۴)

30 (۳)

7.5 (۲)

120 (۱)

۳۱ - یک سیال در درون دو لوله موازی با طول و قطر مساوی (با زبری نسبی $0.001 = \frac{\varepsilon_1}{d_1}$ و $0.005 = \frac{\varepsilon_2}{d_2}$) و با عدد رینولدز $Re = 400$ جریان دارد. کدامیک از شرایط زیر برقرار است؟

۱) افت فشار و دبی جرمی دو لوله یکسان است.

۲) افت فشار و دبی جرمی کل برابر مجموع افت فشار دو لوله و مجموع دبی جرمی لوله هاست.

۳) افت فشار در لوله دوم بیشتر از لوله اول است و دبی جرمی برابر مجموع دبی جرمی خط لوله هاست.

۴) افت فشار دوخط لوله باهم برابر بوده و دبی جرمی کل برابر مجموع دبی جرمی هر یک از لوله هاست.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۳۲ - نیروی کشش (Drag) واردہ بر یک استوانه ای به بلندی 40m و به قطر 2.5m بر حسب یوتن کدام است؟ سرعت باد در دمای محیط $T = 20^{\circ}\text{C}$ برابر 33.3 m/s و $\rho_{\text{air}} = 1.2 \text{ kg/m}^3$ می باشد.

- (۱) 39920 ۳۹۹۲۰ (۲) 3992 ۳۹۹۲ (۳) 399200 ۳۹۹۲۰۰ (۴) 1996

۳۳ - چگونگی تغییرات ضریب (CD) با Wake و عدد رینولدز (N_{Re}) مطابق کدامیک از حالات زیر است:

- (۱) افزایش N_{Re} و کاهش Wake باعث کاهش Drag می شود.
- (۲) افزایش N_{Re} و کاهش 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.

۳۴ - یک کره به قطر 2 ft در آب حرکت می نماید. اگر نیروی دراگ (Drag) وارد بر کره یک پوند نیرو باشد ضریب دراگ بر حسب سرعت کره (V) به کدامیک از اعداد زیر نزدیکتر است؟

$$\frac{1}{\pi V^2} \quad (۱) \quad \frac{1}{320 \pi V^2} \quad (۲) \quad \frac{1}{25 \pi V^2} \quad (۳) \quad \frac{1}{800 \pi V^2} \quad (۴)$$

۳۵ - بستری با ارتفاع 10ft حاوی ذراتی با چگالی 3 و تخلخل 0.5 به وسیله آب سیال شده است افت فشار تقریباً چند $\frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2}$ است؟

- (۱) 312 ۳۱۲ (۲) 624 ۶۲۴ (۳) 10 ۱۰ (۴) 156 ۱۵۶

۳۶ - ضریب تخلخل یک بستر ثابت 0.4 است. اگر سرعت گاز ورودی را افزایش دهیم تا بستر به حالت سیالیت برسد و ارتفاع آن 100 درصد افزایش یابد، ضریب تخلخل در این حالت کدام است؟

- (۱) 0.6 ۰.۶ (۲) 0.7 ۰.۷ (۳) 0.8 ۰.۸ (۴) 0.9 ۰.۹

۳۷ - 12 کیلوگرم دانه های گندم در یک بستر استوانه ای سیال داده شده است. سرعت سیال $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ، دانسیته سیال $1.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ و قطر استوانه 20cm است. افت فشار بستر را تخمین بزنید. $(g = 10 \text{ m/s}^2, \pi = 3)$

- (۱) 4000 Pa ۴۰۰۰ پا (۲) 2000 Pa ۲۰۰۰ پا (۳) 8000 Pa ۸۰۰۰ پا (۴) 12000 Pa ۱۲۰۰۰ پا

۳۸ - پمپی روغنی به چگالی نسبی (S) را با راندمان 50% و شدت جريان 50 lit/s به ارتفاع 10m باشد. اگر توان موتور پمپ (توان کل) 8 Kw باشد چگالی نسبی سیال چقدر است؟

- (۱) 0.7 ۰.۷ (۲) 1.6 ۱.۶ (۳) 0.8 ۰.۸ (۴) 1.4 ۱.۴

۳۹ - پمپی در بالای تانک آب به فاصله 10 متر تعییه شده است. فشار تانک برابر 150 کیلوپاسکال می باشد. اگر فشار بخار آب 30 کیلوپاسکال، تلفات بخش مکش 20 کیلوپاسکال و سرعت سیال در ورود به پمپ 4m/s باشد مقدار NPSH بر حسب متر برابر خواهد بود با:

- (۱) صفر (۲) 20 ۲۰ (۳) 0.8 ۰.۸ (۴) 3 ۳

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۴۰ - عدد بدون بعد با ترکیب پارامترهای افت فشار ΔP ، قطر D ، چگالی ρ ، سرعت دورانی ω و دبی عبوری Q برابر است با:

$$\frac{\Delta P}{\rho \omega^2 D^2} \quad (۱)$$

$$\frac{\omega^2 \Delta P}{D^2 \rho} \quad (۲)$$

$$\frac{\rho \omega^2}{D^2 \Delta P} \quad (۳)$$

$$\frac{\rho \Delta P}{D^2 \omega^2} \quad (۴)$$

۴۱ - لوله متحرک بسیار بلندی بین دو لوله ثابت قرار گرفته است. فضای بین لوله‌ها با سیالات نیوتونی با ویسکوزیتیهای نشان داده شده

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

(مهندسی بیوتکنولوژی)

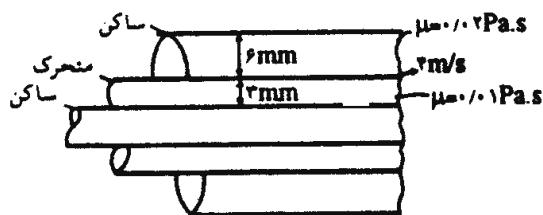
بزرگ و کوچک به ترتیب عبارت‌اند از:

13.34 Pa , 13.34 Pa (۱)

6.67 Pa , 6.67 Pa (۲)

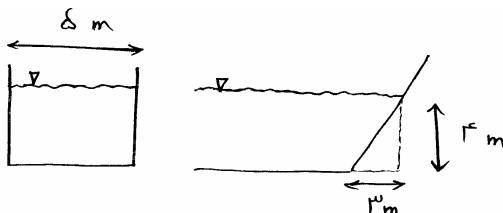
6.67 Pa , 13.34 Pa (۳)

13.34 Pa , 6.67 Pa (۴)



۴۲ - در شکل مقابله دو نمای یک مخزن محتوی آب ترسیم شده است. کل نیروی هیدرواستاتیکی وارد بر دیواره شیبدار مخزن بر حسب KN چقدر است؟ $\left(\gamma = 10 \frac{kN}{m^3} \right)$

شیبدار مخزن بر حسب KN چقدر است؟



300 (۱)

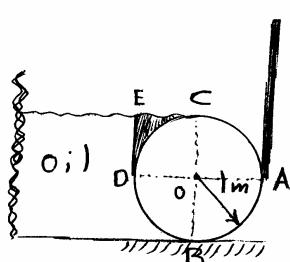
400 (۲)

500 (۳)

600 (۴)

۴۳ - سیلندری به قطر 2 متر و به وزن 20 کیلونیوتن و طول 1.5 متر به عنوان دریچه در شکل مقابله به کار رفته است، نیروی

عکس‌العمل در نقطه A را محاسبه کنید. (g را معادل $10 \frac{m}{s^2}$ در نظر بگیرید، چگالی ویژه سیال 0.8 است)



$3 \times 10^4 N$ (۱)

$2.4 \times 10^4 N$ (۲)

$2 \times 10^4 N$ (۳)

$1.6 \times 10^4 N$ (۴)

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۴۴ - 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،

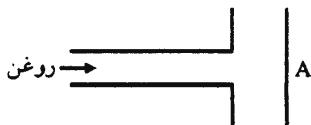
نیروی وارد شده بر صفحه A در جهت عمود بر آن چند N است؟ (مهندسی بیوتکنولوژی آزاد)

(۲) اطلاعات کافی نیست.

66.725 (۱)

266 (۴)

667.25 (۳)



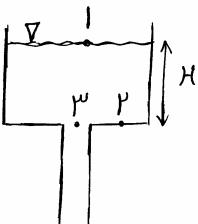
۴۵ - در شکل زیر با صرف نظر کردن از تلفات، اختلاف فشار $P_2 - P_3$ برابر است با:

$$0 \quad (۲)$$

$$-\frac{1}{2}\rho V_3^2 \quad (۱)$$

$$\gamma H + \frac{1}{2}\rho V_3^2 \quad (۴)$$

$$+\frac{1}{2}\rho V_3^2 \quad (۳)$$



۴۶ - اگر مطابق شکل سرعت هوا در محور لوله برابر با $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ۲۰ باشد، ارتفاع h در مانومتر متصل به لوله چند mm است؟

(مهندسی بیوتکنولوژی)

γ_w وزن مخصوص مایع و γ_a وزن مخصوص هواست و $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ می‌باشد)

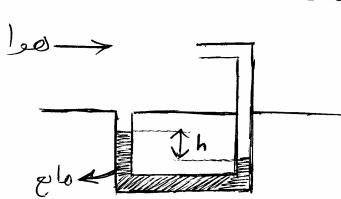
$$\frac{\gamma_w}{\gamma_a} = 100$$

30 (۲)

20 (۱)

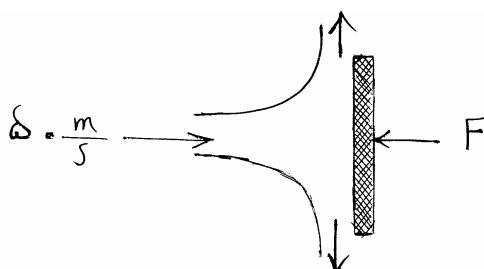
100 (۴)

50 (۳)



۴۷ - جت آب با سطح مقطع $50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ مطابق شکل بر صفحه قائمی برخورد می‌کند. نیروی

لازم برای نگهداشتن صفحه چقدر است؟



6000 N (۱)

3000 N (۲)

1500 N (۳)

600 N (۴)

یادداشت:

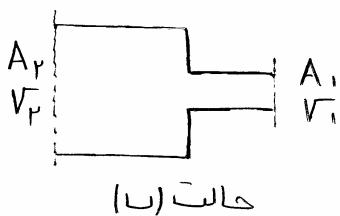
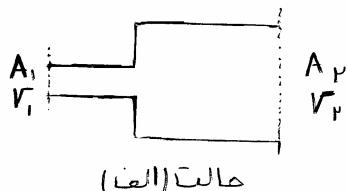
.....

.....

.....

.....

۴۸ - جریان عبوری از داخل دو مجرای یکسان و با جهات مختلف سرعت را در نظر بگیرید. مقدار افت فشار در کدام یک و به چه علت بیشتر است؟



- ۱) حالت (الف)، به دلیل کاهش فشار از ناحیه ۱ به ناحیه ۲
- ۲) حالت (الف)، به دلیل افزایش فشار از ناحیه ۱ به ناحیه ۲
- ۳) حالت (ب)، به دلیل کاهش فشار از ناحیه ۱ به ناحیه ۲
- ۴) حالت (ب)، به دلیل افزایش فشار از ناحیه ۲ به ناحیه ۱

۴۹ - دو لوله با طول L و ضریب اصطکاک f یکسان با هم موازی شده‌اند و در آن‌ها سیالی یکسان جریان دارد، نسبت عدد رینولدز

$$\left(\frac{Re_1}{Re_2} \right) \text{ در دو لوله برابر است با:}$$

$$\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^4 \quad (۴)$$

$$\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^3 \quad (۳)$$

$$\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \quad (۲)$$

$$\frac{V_1}{V_2} \quad (۱)$$

۵۰ - در صورتی که پروفایل سرعت جریان فشاری بین دو صفحه موازی $V_x = \frac{1}{2\mu} \left(\frac{\Delta P}{L} \right) (b^2 - y^2)$ باشد (b فاصله بین دو صفحه) است، مقدار سرعت متوسط را به دست آورید.

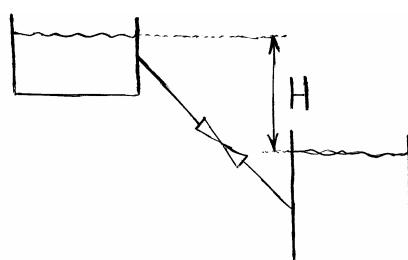
$$V_{avg} = \frac{b^2}{4\mu} \left(\frac{\Delta P}{L} \right) \quad (۴)$$

$$V_{avg} = \frac{b^2}{2\mu} \left(\frac{\Delta P}{L} \right) \quad (۳)$$

$$V_{avg} = \frac{3b^2}{4\mu} \left(\frac{\Delta P}{L} \right) \quad (۲)$$

$$V_{avg} = \frac{b^2}{3\mu} \left(\frac{\Delta P}{L} \right) \quad (۱)$$

۵۱ - در شکل زیر پس از نصب در لوله دبی به نصف مقدار اولیه خود می‌رسد. افت موضعی در شیر چقدر است؟ ضریب اصطکاک ثابت می‌ماند.



$$\frac{1}{2}H \quad (۲)$$

$$\frac{1}{4}H \quad (۱)$$

$$H \quad (۴)$$

$$\frac{3}{4}H \quad (۳)$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۵۲ - آب با سرعت $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ داخل لوله‌ای به قطر 0.05 m جریان دارد. ضریب اصطکاک جریان داخل لوله 0.005 است. افت فشار در یک

(مهندسی شیمی)

متر لوله چقدر است؟

- ۱) 200 پاسکال ۲) 800 پاسکال ۳) 1200 پاسکال ۴) 3200 پاسکال

۵۳ - پمپی در مجاور یک مخزن قرار گرفته است. اگر هد فشار بر روی سیال مخزن 12 m ، هد تلفات بخش مکش 4 m و هد فشار بخار سیال 2 m باشد، حداقل ارتفاع پمپ از مخزن چقدر باشد تا NPSH در بخش مکش پمپ 10 m باشد؟

(مهندسی بیوتکنولوژی)

- ۱) 4 متر بالای مخزن نصب شود.
۲) 0.4 متر بالای مخزن نصب شود.
۳) 0.4 متر پایین‌تر از مخزن نصب شود.

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

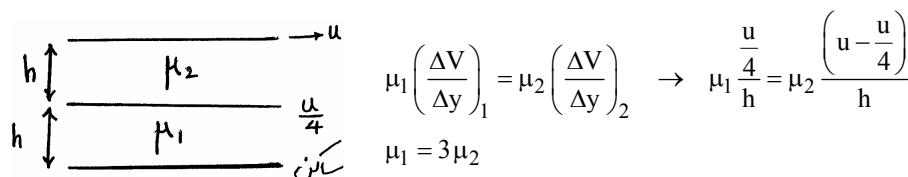
حل سوالات مکانیک سیالات مهندسی شیمی

۱ - گزینه ۳ درست است.

$$\tau = \mu \frac{\Delta V}{\Delta y} \rightarrow \frac{F}{A} = \mu \frac{\Delta V}{\Delta y} \rightarrow 4 = \mu \frac{0.25}{10^{-3}}$$

$$\mu = \frac{4 \times 10^{-3}}{0.25} = 0.016 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$$

۲ - گزینه ۱ درست است.



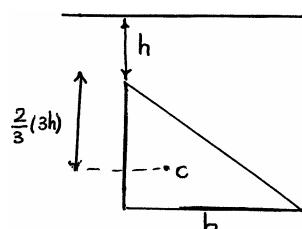
۳ - گزینه ۴ درست است.

$$p = \frac{4\sigma}{R} : \text{برای حباب}$$

$$p = \frac{2\sigma}{R} : \text{برای قطره}$$

۴ - گزینه ۲ درست است.

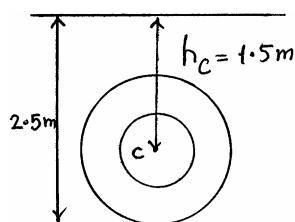
۵ - گزینه ۳ درست است.



$$P = \gamma h_c A$$

$$P = \gamma \left(h + \frac{2}{3} \times 3h \right) \left(\frac{1}{2} \times 3h \times b \right) = \gamma (3h) \left(\frac{3}{2} bh \right) = \frac{9}{2} \gamma b h^2$$

۶ - گزینه ۲ درست است.



$$F = \gamma h_c A = \gamma (1.5) \frac{\pi (2^2 - 1^2)}{4} = \frac{4.5\pi\gamma}{4} = 11250 \pi$$

یادداشت:

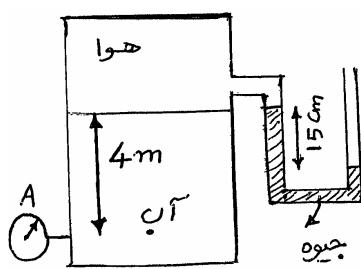
.....

.....

.....

.....

۷ - گزینه ۱ درست است.



$$P_A - (1000 \times 10 \times 4) + (13600 \times 10 \times 0.15) = P_B$$

$$P_A - \frac{40000}{100000} + \left(\frac{136000 \times 0.15}{100000} \right) = P_B$$

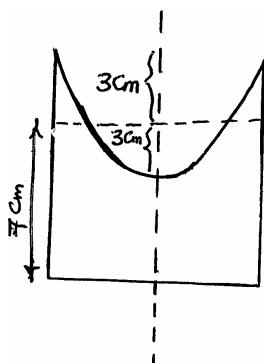
$$P_A - 0.4 + 0.2 = P_B$$

$$P_A = P_B + 0.2$$

$$\begin{cases} P_B = 0 \text{ barg} & \rightarrow P_A = 0.2 \text{ barg} \\ P_B = 1 \text{ bara} & \rightarrow P_A = 1.2 \text{ bara} \end{cases}$$

۸ - گزینه ۴ درست است.

۹ - گزینه ۴ درست است.



وقتی سیال در آستانه ریزش قرار گیرد باید عمق سهمی $(2 \times 3 = 6 \text{ cm})$

باشد. پس:

$$Z_0 = \frac{R^2 \omega^2}{2g} \Rightarrow 6 \times 10^{-2} = \frac{(2 \times 10^{-2})^2 \omega^2}{20}$$

$$\rightarrow \omega^2 = \frac{2 \times 6 \times 10^{-1}}{4 \times 10^{-4}} = 3 \times 10^3 \rightarrow \omega = 55 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

۱۰ - گزینه ۳ درست است.

اگر موازن نیروها را بنویسیم، خواهیم داشت:

$$(400 \times 10) + W = F_B$$

$$4000 + (4 \times 2 \times 1 \times 500 \times 10) = (10000 \times 4 \times 2 \times x) \rightarrow x = 0.55 \text{ m}$$

۱۱ - گزینه ۱ درست است.

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} \rightarrow \frac{dx}{x} = \frac{dy}{3y}$$

$$\ln x = \frac{1}{3} \ln y + \ln C_1 \rightarrow \ln x^3 = \ln y + \ln C$$

$$x = 1, y = 1 \rightarrow 1 = C \times 1 \rightarrow C = 1 \rightarrow y = x^3$$

۱۲ - گزینه ۳ درست است.

چون سیال تراکم ناپذیر است پس:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

$$a + \frac{\partial v}{\partial y} + (-b) = 0 \rightarrow dv = (b - a)dy \rightarrow v = (b - a)y + f(x, z, t)$$

توجه: چون رابطه (۱) هم در جریان پایدار و هم در جریان ناپایدار برای سیال تراکم ناپذیر درست می‌باشد و در صورت مسئله تراکم‌پذیر بودن یا نبودن قید نشده است پس تابعیت زمان نیز در نظر گرفته شده است.

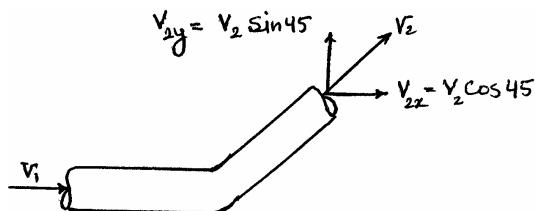
۱۲ – گزینه ۲ درست است.

$$\dot{m} = \rho \bar{V} A \quad , \quad \bar{V} = \frac{1}{2} V_{max} = \frac{4}{2} = 2 \frac{m}{s}$$

$$\dot{m} = 1000 \times 2 \times \frac{\pi}{4} (0.1)^2 = 5\pi = 15.7 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m} = 3600 \times 15.7 = 56520 \frac{kg}{hr}$$

۱۴ – گزینه ۴ درست است.



$$\sum f_x = \dot{m}(V_{2x} - V_{1x}) \quad , \quad \sin 45 = \cos 45 = 0.707$$

$$\sum f_y = \dot{m}(V_{2y} - V_{1y}) \quad , \quad V_{2y} = V_2 \sin 45$$

$$\sum f_x = 10(7 - 10) = -30 \rightarrow |\sum f_x| = 30 N$$

$$\sum f_y = \dot{m}(V_{2y} - V_{1y}) = 10(V_2 \sin 45 - 0)$$

$$\sum f_y = 10(10 \times 0.7) \rightarrow \sum f_y = 70 N$$

۱۵ – گزینه ۳ درست است.

$$\beta = \frac{4}{3} \quad , \quad \alpha = 2$$

$$\beta \approx 1 \quad , \quad \alpha \approx 1$$

۱۶ – گزینه ۱ درست است.

$$V = \sqrt{2Rg \left(\frac{\rho'}{\rho} - 1 \right)}$$

$$V = \sqrt{2 \times \frac{4}{12} \times 32.2 \left(\frac{13.6}{0.5} - 1 \right)} = 23.7 \frac{ft}{s}$$

یادداشت:

.....

.....

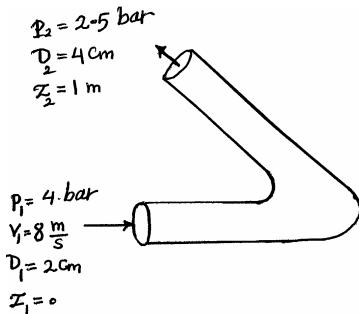
.....

.....

۱۷ - گزینه ۳ درست است.

برای پیدا کردن اتلاف قانون برنولی رابین مقطع ورودی و خروجی می‌نویسیم:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 + h_f$$



$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \rightarrow 8 \times (2)^2 = V_2 \times (4)^2 \rightarrow V_2 = 2 \frac{m}{s}$$

حال در معادله برنولی قرار می‌دهیم:

$$\frac{400000}{1000} + \frac{64}{2} + 0 = \frac{250000}{1000} + \frac{4}{2} + 10 + h_f$$

$$400 + 32 = 250 + 12 + h_f \rightarrow h_f = 170 \frac{J}{kg}$$

۱۸ - گزینه ۴ درست است.

۱۹ - گزینه ۲ درست است.

$$\tau_w = \frac{-\Delta P}{L} \cdot \frac{R}{2} \rightarrow \frac{2\mu}{R^2} = \frac{-\Delta P}{L} \cdot \frac{R}{2}$$

$$\frac{-\Delta P}{L} = \frac{4\mu}{R^3}$$

۲۰ - گزینه ۱ درست است.

$$\tau_w = \frac{-\Delta P}{L} \cdot \frac{D}{4}$$

$$14.4 \cdot \frac{1lb_f}{ft^2} \times 1 \frac{ft^2}{144in^2} = \frac{(-\Delta P)}{100} \times \frac{\left(\frac{48}{12}\right)}{4} \rightarrow -\Delta P = 10 \text{ Psi}$$

۲۱ - گزینه ۳ درست است.

در جریان آرام، چنانچه با ثابت ماندن سایر پارامترها دبی را دو برابر کنیم افت فشار نیز دو برابر خواهد شد. لذا خواهیم داشت:

$$\tau = \frac{-\Delta P}{L} \cdot \frac{r}{2} \rightarrow \tau \propto \frac{-\Delta P}{L} \rightarrow \text{تنش نیز دو برابر خواهد شد.}$$

۲۲ - گزینه ۴ درست است.

$$Q = VA \rightarrow 6 \times 10^{-3} = V \times \pi (0.01)^2 \rightarrow 6 \times 10^{-3} = 3 \times 10^{-4} V$$

$$V = 20 \frac{m}{s} \quad (\text{سرعت در سطح مقطع کوچک‌تر})$$

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

$$h_f = k \frac{V^2}{2g} = 1 \times \frac{20^2}{20} = 20 \text{ m}$$

۲۲ - گزینه ۲ درست است.

۲۴ - گزینه ۴ درست است.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{\rho \left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right) D}{\mu} = \frac{4\rho Q}{\pi D \mu}$$

$$Re = \frac{4 \times 10^3 \times \frac{1.8 \times 10^{-3}}{60}}{3 \times (4 \times 10^{-3}) \times (0.5)} = 20 \rightarrow \text{جریان آرام}$$

$$f = \frac{16}{Re} = \frac{16}{20} = \frac{4}{5} = 0.8$$

۲۵ - گزینه ۳ درست است.

$$\frac{u}{V} = \frac{y}{B} \rightarrow \tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} = \mu \frac{V}{B}$$

$$f = \frac{\tau_w}{\left(\frac{\rho \bar{V}^2}{2} \right)} = \frac{\mu \frac{V}{B}}{\left(\frac{V}{2} \right)^2} = \frac{\mu \frac{V}{B}}{P \frac{V^2}{8}} = \frac{8\mu}{\rho V B} = \frac{8}{Re}$$

عدد به دست آمده ضریب اصطکاک فانینگ می باشد. پس:

$$f_{darcy} = \frac{32}{Re}$$

۲۶ - گزینه ۳ درست است.

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{(8 \times 10^2) \times (10 \times 10^{-2}) \times (5 \times 10^{-2})}{(5 \times 10^{-2}) \times 10^{-1}} = 800$$

$$f = \frac{16}{Re} = \frac{16}{8 \times 10^2} = 0.02$$

$$h_f = 4f \frac{L}{D} \frac{u^2}{2} = 4 \times 2 \times 10^{-2} \times \frac{2 \times 10^3}{5 \times 10^{-2}} \times \frac{10^{-2}}{2} = 16 \frac{J}{kg}$$

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

۲۷ - گزینه ۱ درست است.

اگر رابطه برنولی را بین نقاط ۱ و ۲ واقع در سطح آزاد سیال در مخازن ۱ و ۲ بنویسیم خواهیم داشت:

$$V_1 = V_2 = 0, \quad P_1 = P_2 = 0$$

$$\Delta z = h_f = 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

چون h_f ، L ثابت می باشند $V \propto \sqrt{D}$ است یعنی با ۴ برابر قطر لوله سرعت ۲ برابر خواهد شد.

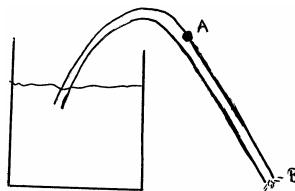
۲۸ - گزینه ۳ درست است.

$$D_o = 2r_o = 8\text{ cm}, \quad D_i = 2r_i = 4\text{ cm}$$

$$D_H = D_o - D_i = 8 - 4 = 4\text{ cm}$$

$$Re = \frac{\rho u D_H}{\mu} = \frac{u D_H}{v} = \frac{2 \times 4 \times 10^{-2}}{10^{-6}} = 8 \times 10^4 = 80000$$

۲۹ - گزینه ۱ درست است.



اگر بین A و B برنولی بنویسیم، خواهیم داشت:

$$\frac{P_A}{\rho} + \frac{V_A^2}{2} + gZ_A = \frac{P_B}{\rho} + \frac{V_B^2}{2} + gZ_B$$

$$P_B = 0, \quad Z_B = 0, \quad V_A = V_B \rightarrow \frac{P_A}{\rho} + gZ_A = 0 \rightarrow P_A = -\rho g Z_A$$

یعنی در نقطه A فشار منفی بوده و هوا به داخل مکیده می شود.

۳۰ - گزینه ۴ درست است.

$$\sum k = 12 + (2 \times 1) + 1 = 15$$

$$L_e = \frac{\sum k \cdot D}{4f} = \frac{15 \times 0.2}{4 \times 0.05} = 15\text{ m}$$

که در گزینه ها نمی باشد. لذا ضریب اصطکاک داده شده f_{darcy} بوده و خواهیم داشت:

$$L_e = \frac{\sum k \cdot D}{f_{darcy}} = \frac{15 \times 0.2}{0.05} = 60\text{ m}$$

۳۱ - گزینه ۴ درست است.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۳۲ – گزینه ۱ درست است.

$$F_D = C_D A_P \frac{\rho u^2}{2} = 0.6 \times (40 \times 2.5) \times \frac{1.2 \times (33.3)^2}{2}$$

$$F_D = 39920 \text{ N}$$

۳۳ – گزینه ۴ درست است.

۳۴ – گزینه ۴ درست است.

$$F_D = C_D A_P \frac{\rho V^2}{2 g_C} \rightarrow C_D = \frac{2 F_D g_C}{A_P \rho V^2}$$

$$C_D = \frac{2 \times 1 \times 32.2}{\pi (1)^2 \times 62.4 \times V^2} \rightarrow C_D = \frac{64.4}{62.4} \frac{1}{\pi V^2}$$

اگر نسبت $\frac{64.4}{62.4}$ را تقریباً یک فرض کنیم، خواهیم داشت:

$$C_D = \frac{1}{\pi V^2}$$

۳۵ – گزینه ۲ درست است.

$$-\Delta P = \frac{g}{g_c} L (\rho_s - \rho) (1 - \varepsilon)$$

$$-\Delta P = 1 \times 10 \times (3 - 1) \times 62.4 \times 0.5 \rightarrow -\Delta P = 624 \frac{1 b_f}{ft^2}$$

۳۶ – گزینه ۲ درست است.

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{1 - \varepsilon_1}{1 - \varepsilon_2} \rightarrow 2 = \frac{1 - 0.4}{1 - \varepsilon_2}$$

$$2 - 2\varepsilon = 0.6 \rightarrow 2\varepsilon = 1.4 \rightarrow \varepsilon = 0.7$$

۳۷ – گزینه ۱ درست است.

$$\Delta P = \frac{F}{A} = \frac{W}{A} = \frac{mg}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} = \frac{12 \times 10}{\pi \times \frac{(0.2)^2}{4}} = 4000 \text{ Pa}$$

۳۸ – گزینه ۳ درست است.

$$\tau_{\text{توان کلی}} = \frac{\rho g H Q}{\eta} \rightarrow 8000 = \frac{\rho \times 10 \times 50 \times (10^{-2})}{0.5}$$

$$\rightarrow \rho = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \rightarrow S = 0.8$$

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

۳۹ - گزینه ۳ درست است.

$$NPSHA = \left(\frac{P - P_v}{\rho g} \right) - z - h_f + \frac{V^2}{zg}$$

$$NPSHA = \left[\frac{(150 - 30) \times 10^3}{1000 \times 10} \right] - 10 - \frac{20000}{1000 \times 10} + \frac{16}{20}$$

$$NPSH = 12 - 10 - 2 + 0.8 = 0.8 \text{ m}$$

۴۰ - گزینه ۴ درست است.

$$\rho : \text{ML}^{-3}, \quad \omega : \text{T}^{-1}, \quad D : \text{L}, \quad \Delta P : \text{ML}^{-1} \text{T}^{-2}$$

$$\left[\frac{\rho \Delta P}{D^2 \omega^2} \right] = \text{M}^2 \text{ L}^{-6}$$

$$\left[\frac{\rho \omega^2}{\Delta P D^2} \right] = \text{L}^{-4}$$

$$\left[\frac{\Delta P \omega^2}{\rho D^2} \right] = \text{T}^{-4}$$

$$\left[\frac{\Delta P}{\rho \omega^2 D^2} \right] = \text{بی بعد}$$

۴۱ - گزینه ۱ درست است.

قانون لزجت نیوتون را یکبار برای لوله بزرگ و یکبار برای لوله کوچک می‌نویسیم، داریم:

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

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

۴۲ - گزینه ۳ درست است.

نیروی هیدرولاستاتیکی وارد بر سطح مورب برابر است با:

$$F = \gamma h_c A = 10 \times \frac{4+0}{2} \times 5 \times 5 = 500 \text{ kN}$$

۴۳ - گزینه ۲ درست است.

نیروی عکس‌العمل در نقطه A در حقیقت عکس‌العمل نیروی افقی وارد بر این نقطه است، برای محاسبه نیروی افقی وارد بر این نقطه باید تصویر این سیلندر را در راستای عمودی بیابیم که یک مستطیل است، داریم:

$$F_x = \gamma h_c A = (0.8 \times 10^3 \times 10) \times (1) \times (2 \times 1.5) = 24000 \text{ N} = 2.4 \times 10^4 \text{ N}$$

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

۴۴ - گزینه ۳ درست است.

با توجه به قانون بقای مومنتوم داریم:

$$\sum F_x = \dot{m} (V_{2x} - V_{1x}) , \quad V_{2x} = 0$$

$$\Rightarrow F_w = -\dot{m} V_{1x} = -\rho A V_{1x}^2 = -850 \times \left(\frac{\pi \times 0.1^2}{4} \right) \times 10^2 = -667.25 N$$

پس نیرویی که روغن بر صفحه وارد می‌کند برابر است با $667.25 N$.

۴۵ - گزینه ۳ درست است.

ابتدا بین نقاط ۲ و ۳ که در شکل نمایان است معادله برونولی می‌نویسیم، داریم:

$$\frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_3}{\gamma} + Z_3 + \frac{V_3^2}{2g}$$

با توجه به اینکه $V_2 = 0$ و $Z_2 = Z_3$ می‌باشد، داریم:

$$\frac{P_2 - P_3}{\gamma} = \frac{V_3^2}{2g}$$

$$\Rightarrow P_2 - P_3 = \frac{1}{2} \rho V_3^2$$

۴۶ - گزینه ۱ درست است.

با توجه به توضیحات گفته شده درباره پیتوت تیوب مرکب در تست ۴۵ داریم:

$$V = \sqrt{\frac{2(P_0 - P)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(\gamma_{water} - \gamma_{air})h}{\rho_{air}}} = \sqrt{\frac{2 \times 1000 \gamma_{air} \times h}{\rho_{air}}} = \sqrt{2 \times 1000 \times 10 \times h} = \sqrt{20000 h} = 20$$

$$\Rightarrow h = 0.02 m = 20 mm$$

۴۷ - گزینه ۲ درست است.

نیروی لازم برای نگهداشتن صفحه درحقیقت همان نیرویی است که سیال بر صفحه وارد می‌کند، طبق قانون بقای مومنتوم داریم:

$$\sum F_x = \dot{m}_2 V_{2x} - \dot{m}_1 V_x , \quad V_{2x} = 0$$

$$\Rightarrow F_w = -\dot{m}_1 V_{1x} = -\rho A V_{1x}^2 = -1000 \times (1200 \times 10^{-6}) \times 50^2 = -3000 N$$

۴۸ - گزینه ۱ درست است.

طبق توضیحات متن درس می‌توانیم بگوییم در شرایط یکسان اتلاف انرژی و درنتیجه افت فشار در انبساط ناگهانی از انقباض ناگهانی

بیشتر است چون ضریب افت انرژی در انبساط ناگهانی از انقباض ناگهانی بیشتر است، با توجه به این توضیحات می‌توان گفت $P_1 > P_2$

می‌باشد، لذا گزینه ۱ درست است.

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

۴۹ - گزینه ۳ درست است.

با توجه به توضیحاتی که در جواب سؤال ۲ دادیم، داریم:

$$\begin{aligned} h_{f_1} &= h_{f_2} \\ \Rightarrow 4f \times \frac{L}{D_1} \times \frac{V_1^2}{2g} &= 4f \times \frac{L}{D_2} \times \frac{V_2^2}{2g} \\ \Rightarrow \frac{D_2}{D_1} &= \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \end{aligned}$$

حال با توجه به تعریف عدد رینولدز داریم:

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\rho V D}{\mu} \\ \Rightarrow \frac{Re_1}{Re_2} &= \frac{V_1}{V_2} \times \frac{D_1}{D_2}, \quad \frac{D_2}{D_1} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \\ \Rightarrow \frac{Re_1}{Re_2} &= \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^3 \end{aligned}$$

۵۰ - گزینه ۱ درست است.

با توجه به توضیحات متن درس در جریان سیال بین دو صفحه موازی داریم:

$$\begin{aligned} V_{max} &= \frac{3}{2} \bar{V} \\ \text{حال کافی است } V_{max} &= 0 \text{ در پروفایل سرعت داده شده می‌توان } y \text{ را یافت، داریم:} \\ V_{max} &= \frac{b^2}{2\mu} \frac{\Delta P}{L} \rightarrow \frac{3}{2} \bar{V} = \frac{b^2}{3\mu} \frac{\Delta P}{L} \\ \Rightarrow \bar{V} &= \frac{b^2}{3\mu} \frac{\Delta P}{L} \end{aligned}$$

۵۱ - گزینه ۳ درست است.

$$\begin{aligned} h_f &= 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \rightarrow h_f \propto V^2 \\ \text{و ضمناً داریم:} \quad Q &= VA \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow Q &\propto V \\ \Rightarrow \frac{Q_2}{Q_1} &= \frac{V_2}{V_1} \end{aligned}$$

یادداشت:

.....
.....
.....
.....

$$\Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow V_2 = 2V_1$$

حال با توجه به تناسب $h_f \propto V^2$ که ابتدا اثبات نمودیم، داریم:

$$\frac{h_{f_2}}{h_{f_1}} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 = \left(\frac{2V_1}{V_1} \right)^2 = 4$$

$$\Rightarrow h_{f_2} = \frac{1}{4} h_{f_1}$$

و با توجه به این $h_{f_1} = H$ می‌باشد درنتیجه داریم:

$$h_{f_2} = \frac{1}{4} H$$

بنابراین افت موضعی در شیر برابر است با:

$$h_{f_1} - h_{f_2} = H - \frac{1}{4} H = \frac{3}{4} H$$

۵۲ - گزینه‌های ۱ و ۴ درست هستند.

با استفاده از رابطه دارسی - ویسباخ و رابطه $h_f = \frac{\Delta P}{\gamma}$ داریم:

$$h_f = \frac{\Delta P}{\gamma} = f_{Darcy} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$\Rightarrow \Delta P = f_{Darcy} \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2} = 0.005 \times \frac{1}{0.05} \times \frac{1000 \times 4^2}{2} = 800 \text{ Pa}$$

اگر ضریب اصطکاک از نوع فانینگ در نظر گرفته شود و آنگاه از رابطه $h_f = 4f_{Fanning} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$ استفاده شود، ΔP برابر 3200 پاسکال

به دست خواهد آمد که در این صورت گزینه ۴، گزینه درست است.

۵۳ - گزینه ۲ درست است.

$$NPSH = \left(\frac{P_s}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} \right) + Z_s - h_{f_s}$$

$$10 = 12 - 2 + Z_s - 4 \rightarrow Z_s = +4 \text{ m}$$

چون Z_s مثبت شد، بنابراین پمپ باید از مخزن پایین‌تر نصب شود.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

بودجه‌بندی سوالات کنکور در سال‌های اخیر

درصد سال	مجموع سوالات در ۵ سال						سر فصل
		۱۳۸۹	۱۳۸۸	۱۳۸۷	۱۳۸۶	۱۳۸۵	
	تعداد تست	تعداد تست	تعداد تست	تعداد تست	تعداد تست	تعداد تست	
%۹	۸	۲	۲	۱	۲	۱	خواص سیالات
%۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	استاتیک سیالات - مقدمات
%۴	۳	۱	۰	۱	۰	۱	استاتیک سیالات - اندازه گیری فشار
%۵	۴	۰	۰	۲	۱	۱	استاتیک سیالات - نیروی وارد بر سطوح مسطح
%۴	۳	۰	۰	۰	۲	۱	استاتیک سیالات - نیروی وارد بر سطوح منحنی
%۵	۴	۱	۰	۰	۲	۱	استاتیک سیالات - نیروی شناوری
%۲	۲	۱	۱	۰	۰	۰	استاتیک سیالات - حرکت صلب گونه سیالات
%۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	جريان سیالات - تعاريف
%۵	۴	۰	۲	۱	۰	۱	جريان سیالات - معادله پیوستگی و قانون بقای جرم
%۵	۴	۱	۱	۰	۱	۱	جريان سیالات - قانون بقای مومنتوم
%۵	۴	۰	۱	۰	۲	۱	جريان سیالات - معادله اولر و برنولی
%۶	۵	۱	۲	۰	۱	۱	جريان سیالات - کاربرد معادله برنولی
%۴	۳	۰	۱	۱	۱	۰	جريان سیالات - خط انرژی
%۲	۲	۰	۰	۱	۰	۱	جريان سیالات -تابع جريان
%۴	۳	۱	۱	۰	۰	۱	جريان سیالات - جريان بين دو صفحه مواري
%۱۳	۱۱	۳	۲	۰	۴	۲	جريان سیالات - جريان درون لوله ها
%۱۱	۹	۱	۱	۲	۲	۳	محاسبه تلفات انرژی در جريان سیالات
%۴	۳	۰	۰	۲	۰	۱	نیروهای برشی و فشاری
%۲	۲	۰	۱	۱	۰	۰	آنالیز ابعادی و تشابه
%۶	۵	۲	۰	۱	۱	۱	پمپ و پمپاز
%۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	جريان سیالات تراکم پذير
%۵	۴	۰	۰	۲	۱	۱	جريان در بسترهاي پرشده
%۱۰۰	۸۵	۱۵	۱۵	۱۵	۲۰	۲۰	جمع تعداد تست در مباحث
%۱۰۰	۸۵	۱۵	۱۵	۱۵	۲۰	۲۰	جمع تعداد تست در کنکور

پادداشت: