



ما مصمم هستیم تا کلیه آموخته هایمان را در اختیار دانشجویان و دانش پژوهان برجسته کشور قرار دهیم و معتقدیم که با این

عمل، در سازندگی های آتی که توسط شما توانمندان بوجود خواهد آمد شریک خواهیم بود.

شما نیز با پکارگیری علوم تان، ایران را سرفرازتر کنید

## هیدرولیک

با سپاس و تشکر فراوان از استاد پیر گوار چناب آقای دکتر مسعودی که تلاش فراوانی برای

### انتقال اطلاعات به دانشجویان نموده است

لزجت سیال: یکی از علل پدید آمدن تلفات، لزجت سیال است. لزجت خاصیتی از سیال است که باعث ایجاد تنشهای برشی در سیال متحرک میشود و در عین حال یکی از عواملی است که برگشت ناپذیرها و افتها را بوجود می آورد. بدون وجود لزجت در یک سیال، مقاومتی مشاهده نخواهد شد.

تنشهای برشی ظاهری: در جریان درهم حرکات تصادفی ذرات سیال باعث میشود که تنشهای برشی ظاهری بوجود آیند که از تنشهای برشی لزجی بسیار مهمترند.

جریان آرام در لوله های تحت فشار: وقتی سیستم تحت فشار است (فشار بیش از یک اتمسفر) تمام پارامترهای هیدرولیکی در صورتی که نسبت به زمان متغیر باشند جریانی را میسازند که جریان موجود جریانی غیرکنواخت است.

عدد رینولدز:  $Re$ : نوع جریان یعنی آرام یا درهم بودن آن توسط عدد رینولدز مشخص میگردد و بعبارت دیگر میتوان گفت ماهیت هر جریان تراکم ناپذیر با عدد رینولدز مشخص میگردد. فرمول رینولدز  $Re = \frac{ul\rho}{\mu}$  است که در آن  $u$  یک سرعت

مشخصه،  $l$  یک طول مشخصه،  $\rho$  جرم مخصوص و  $\mu$  لزجت سیال است. حاصل فرمول فوق اگر از ۲۰۰۰ کمتر باشد معرف جریان آرام خواهد بود.

لایه مرزی: ذراتی از سیال که با مرز جامد در تماس است، ساکن می مانند در مجاورت مرز ناحیه ای بوجود می آید که در آن گرادین سرعت بزرگ است. این ناحیه لایه مرزی نامیده میشود. در روی مرز یک تنش برشی به سیال وارد میشود که سرعت آن را کاهش میدهد.

$$\tau_{xy} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), \quad \tau_{yz} = \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right), \quad \tau_{zx} = \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

هر یک از تنشهای برشی دو اندیس دارند. اندیس اول معرف صفحه ای است که تنش روی آن اثر میکند و اندیس دوم معرف امتداد تنش است.

معادله ناویه - استوکس برای سیال تراکم ناپذیر به شرح ذیل میباشد:

$$\rho \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} (p + \gamma h) + \nu \nabla^2 v \quad \text{و} \quad \rho \frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (p + \gamma h) + \nu \nabla^2 u$$

$$\rho \frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} (p + \gamma h) + \nu \nabla^2 w$$

که در آن  $\frac{dx}{dt}$  معرف تغییرات فشار در جهت محور  $x$  ها و  $\rho$  معرف جرم مخصوص و  $\nabla^2$  معرف دیفرانسیل حرکت و  $\nu$  نیز معرف لزجت سینما تیکی است.

$$\frac{d}{dt} = u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial t}$$

مشتق نسبت به حرکت است

گرادیان شیب در مسیر حرکت (لاپلاستین یا عملگر) نیز به صورت زیر تعریف میشود:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

سرعت ، فشار ، دبی ، پتانسیل ارتفاع و ... در این عملگر قرار گرفته و بیان میشود .

در صورت بهره گیری از فرمولهای فوق به معادله ای برای سیال پایدار و غیرقابل تراکم خواهیم رسید:

$$\frac{\partial}{\partial l}(p + \lambda h) = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

نیروی که در جهت جریان به المان وارد میشود برابر با  $p \delta y$  است

$$(p + \frac{\partial p}{\partial l} \delta l) \delta y$$

نیروی که مخالف حرکت المان بر آن وارد میشود

صفحه با سرعت ثابت  $u$  در حال حرکت است .

$$(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial y} \delta y) \delta l$$

تنش برشی وارده در جهت جریان بر المان برابر با

تنش برشی وارده در خلاف جهت جریان بر المان برابر با  $\tau \delta l$  است

نیروی که در گرایش بر المان وارد میشود  $\gamma \delta l \delta y$  است .

فاصله المان از سطح ثابت را با  $y$  نمایش میدهند و  $h$  نیز در امتداد قائم و به سمت بالا میباشد .

سرعت جریان ثابت و شتاب صفر است لذا

$$p \delta y - (p \delta y + \frac{\partial p}{\partial l} \delta l \delta y) - \tau \delta l + (\tau \delta l + \frac{\partial \tau}{\partial y} \delta y \delta l) + \gamma \delta l \delta y \sin \theta = 0$$

$$\sin \theta = -\frac{\partial h}{\partial l}$$

حال طرفین را بر حجم المان تقسیم نموده و بجای  $\sin \theta$  معادل آن را قرار میدهم

$$\frac{\partial r}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial l}(p + \gamma h)$$

در نتیجه خواهیم داشت :

$$\frac{d\tau}{dy} = \frac{d}{dl}(p + \lambda h) = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

با بررسی و برقراری روابط بین پارامترها خواهیم داشت

در صورت انتگرال گیری نسبت به  $y$  خواهیم داشت  $\mu \frac{du}{dy} = y \frac{d}{dl}(p + \gamma h) + A$  و با انتگرال گیری مجدد

$$\mu = \frac{1}{2\mu} \frac{d}{dl}(p + \gamma h)y^2 + \frac{A}{\mu}y + B$$

بدست می آید .

$A, B$  ثابتهای انتگرال گیری میباشد و وظیفه آنها تعیین حد و مرز محاسبات است .

شرایط مرزی را که عبارتند از  $y=0$  و  $u=0$  و  $y=a$  و  $u=U$  را در معادله قرار میدهم و خواهیم داشت :

$$\mu = \frac{Uy}{a} - \frac{1}{2\mu} \frac{d}{dl}(p + \gamma h)(ay - y^2)$$

این معادله پروفیل سرعت را برای جریان آرام بین دو صفحه موازی در حالت کلی بدست

می آورد . اگر این معادله نسبت به  $y$  انتگرال بگیریم دبی عبوری از یک مقطع بدست می آید :

$$Q = \int_0^a u dy = \frac{Ua}{2} - \frac{1}{12\mu} \frac{d}{dl}(p + \gamma h)a^3$$

جریان آرام ، غیرقابل تراکم و یکنواخت ( برای مجرای لوله ای ):

(المان مورد بحث با ضخامت  $\delta r$  در صورت دایره میباشد که یقیناً شعاع المان کمتر (شعاع)

نیروی که در جهت جریان به المان وارد میشود برابر با  $2\pi r \delta r p$  است .

تیروی که مخالف حرکت المان بر آن وارد میشود  $2\pi r \delta r (p + \frac{dp}{dl} \delta l)$  است.

تنش برشی وارده در جهت جریان بر المان برابر با  $2\pi r \delta l \tau$  است.

تنش برشی وارده در خلاف جهت جریان بر المان برابر با  $2\pi r \delta l \tau + \frac{d}{dr}(2\pi r \delta l \tau) \delta r$  است.

تیروی که در گرانش بر المان وارد میشود  $\gamma 2\pi r \delta r \delta l$  است.

تیروی موجود در مرکز لوله نیز  $\gamma 2\pi r \delta r \delta l \sin \theta$  میباشد.

فاصله المان از مرکز لوله را با  $r$  نمایش میدهند و  $h$  نیز در امتداد قائم و به سمت بالا بوده و شعاع لوله را نیز با  $a$  نمایش میدهند. شتاب المان صفر است و معادله حرکت در امتداد  $l$  بصورت زیر بیان میشود:

$$2\pi r \delta r p - (2\pi r \delta r p + 2\pi r \delta \frac{dp}{dl} \delta l) + 2\pi r \delta l \tau -$$

$$2\pi r \delta l \tau + \frac{d}{dr}(2\pi r \delta l \tau) \delta r + \gamma 2\pi r \delta r \delta l \sin \theta = 0$$

حالت طرفین را بر حجم المان یعنی  $2\pi r \delta r \delta l$  تقسیم نموده و بجای  $\sin \theta$  معادل آن را قرار

$$\frac{d}{dl}(p + \gamma h) + \frac{1}{r} \frac{d}{dr}(\tau r) = 0 \quad ; \quad \sin \theta = -\frac{dh}{dl}$$

این معادله را در  $r \delta r$  ضرب و سپس نسبت به  $r$  انتگرال میگیریم  $\frac{r^2}{2} \frac{d}{dl}(p + \gamma h) + \tau r = A$

تنش برشی از فرمول  $\tau = -\mu \frac{du}{dr}$  محاسبه میشود.  $\tau$  را جاگذاری کرده و سپس از معادله مشتق میگیریم:

$$u = \frac{r^2}{4\mu} \frac{d}{dl}(p + \gamma h) - \frac{A}{\mu} \ln r + B$$

شرایط مرزی برای لوله (در یک امتداد طولی)، سطح و آکس لوله خواهد بود. در آکس لوله  $r=0$  و  $u=U$  است لذا  $u=0$  و  $r=a$  است لذا همواره صفر خواهد بود و در حالت دوم  $r=a$  و  $u=0$  است لذا

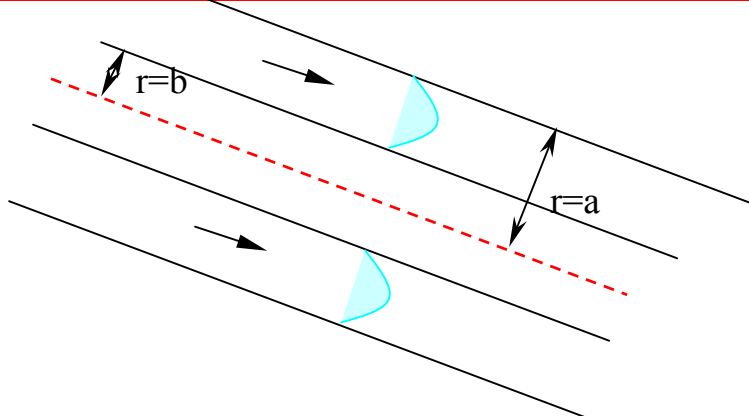
$$\frac{a^2}{4\mu} \frac{d}{dl}(p + \gamma h) + B \Rightarrow B = -\frac{a^2}{4\mu} \frac{d}{dl}(p + \gamma h) \Rightarrow$$

$$u = \frac{r^2}{4\mu} \frac{d}{dl}(p + \gamma h) - \frac{a^2}{4\mu} \frac{d}{dl}(p + \gamma h) \Rightarrow \mu = -\frac{a^2 - r^2}{4\mu} \frac{d}{dl}(p + \gamma h)$$

فرمول فوق معادله سرعت در لوله میباشد. توجه: مقدار  $r$  متغیر است لذا در هر جای از لوله که مد نظر باشد،  $r$  آن نقطه را در معادله جاگذاری میکنیم تا  $u$  آن نقطه بدست آید. همچنین دبی هر نقطه را نیز میتوان با استفاده از فرمول زیر بدست

$$Q = \int_0^a 2\pi r u dr = -\frac{4\pi a^4}{8\pi} \frac{d}{dl}(p + \gamma h)$$

آورد: شعاع لوله و همچنین لزجت دینامیکی ( $\mu$ ) از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا روی پروفیل سرعت ما تاثیرگذار است.



جریان در حلقه:

سرعت جریان در  $r=a$  و  $r=b$

برابر صفر است

با جاگذاری شرایط مرزی

$A$  و  $B$  معادله توزیع سرعت بصورت

زیر بدست می آید.

$$u = \frac{1}{4\mu} \frac{d}{dl} (p + \gamma h) \left[ a^2 - r^2 + \frac{a^2 - b^2}{\ln(a/b)} \ln \frac{a}{r} \right]$$

$$Q = \int_b^a 2\pi r u dr = \frac{\pi}{8\mu} \frac{d}{dl} (p + \gamma h) \left[ a^4 - b^4 - \frac{(a^2 - b^2)^2}{\ln(a/b)} \right]$$

لوله با سطح مقطع مدور: توزیع سرعت یک سهمی گون میباشد و حجم آن نصف استوانه محاط بر آن است لذا میتوان گفت سرعت متوسط (V) نصف سرعت حداکثر خواهد بود.

$$V = \frac{a^2}{8\mu} \frac{d}{dl} (p + \gamma h) \quad \text{و برای سرعت متوسط} \quad u = \frac{a^2}{4\mu} \frac{d}{dl} (p + \gamma h)$$

اگر لوله بصورت افقی باشد در نتیجه (p + \gamma h) نخواهیم داشت لذا سرعت متوسط  $V = \frac{a^2}{8\mu} \frac{d}{dl}$  و دبی جریان

$$Q = \frac{\Delta p \pi D^4}{128 \mu l}$$

نیز بصورت محاسبه میگردد.

$\Delta p$  تغییرات فشار است که به دلیل وجود افت بوجود می آید و این افت در طول لوله (L) وجود دارد در نتیجه بیشتر بودن L باعث بیشتر شدن افت خواهد شد.

$$\Delta p = \frac{128 \mu l Q}{\pi D^4}$$

از فرمول دبی جریان میتوان تغییرات فشار را بدست آورد که همان افت فشار میباشد.

#### Streamline flow

#### Ecoulement laminaire

جریان آرام :

جریانی که در آن هر ذره در جهت موازی با ذرات دیگر حرکت میکند و افت بار آن تقریباً متناسب با توان اول سرعت آب می باشد. خطوط جریان در تمام طول مسیر از یکدیگر متمایز بوده برای برخورد جزئی و یا اثرات اختلاط ملکولی، گاهی این نوع جریان را جریان آرام و یا جریان ازجریان گویند.

جریان آرام جریانی است که در آن سیال بصورت لایه به لایه حرکت میکند، هر لایه سیال به آرامی بر روی لایه خود می لغزد و بین لایه ها فقط تبادل مومنتوم ملکولی وجود دارد.

#### Turbulent flow

#### Ecoulement turbulent

جریان مغشوش (متلاطم و یا درهم) :

نوعی جریان که در آن هر ذره در یک جهت نامعین در حرکت است و در آن افت بار متناسب با توان دوم سرعت است. گاهی این نوع جریان را، جریان موجی یا جریان مارپیچی نیز می نامند.

#### Uniform flow

#### Ecoulement uniforme

جریان یکنواخت :

جریان آب و یامایع در یک آبراه روباز وقتی یکنواخت است که عمق و سایر عناصر جریان مانند سطح مقطع، سرعت و شیب آبی برای هر سطح مقطع مساوی باشد. خط سطحی آب در این حالت موازی خط کف کانال میباشد.

#### Non-Uniform flow

#### Ecoulement Varie

جریان غیر یکنواخت (متغیر) :

جریان مایع در یک مجرای روباز وقتی غیر یکنواخت نامیده میشود که عمق و سایر عناصر جریان مانند سطح مقطع، سرعت و شیب آبی از مقطع به مقطع دیگر تغییر نماید.

#### Critical flow

#### Ecoulement Critique

جریان بحرانی :

سرعت جریانی که انرژی حرکت در آن حداقل است.

#### Sub-Critical flow

#### Ecoulement fluvial

جریان زیر بحرانی :

جریانی را گویند که سرعت آن از سرعت بحرانی کمتر است.

#### Super-Critical flow

#### Ecoulement torrentiel

جریان فوق بحرانی :

سرعت آن از سرعت بحرانی بیشتر است.

#### Steady flow

#### Ecoulement permanent

جریان پایدار (ماندگار) :

✓ جریانی که در آن بده آب در هر نقطه معین نسبت به زمان ثابت باشد.

✓ جریانی که در آن بردار سرعت نه در دامنه و نه در جهت در هیچ نقطه و مقطعی نسبت به زمان تغییر نمیکند.

جریان نا پایدار (غیرماندگار): **Unsteady flow / Ecoulement non permanent** جریانی که

عناصر آن در طول زمان تغییر می یابد.

جریان پایدار غیریکنواخت: **Steady non-uniform flow / Ecoulement varie permanent**

• جریانی که در آن بده آب در واحد زمان ثابت است ولی سرعت جریان آب در نتیجه تغییر سطح مقطع کانال در نقاط مختلف متفاوت است.

• جریانی که در آن دامنه و جهت سرعت در هر نقطه نسبت به زمان ثابت بوده ولی سرعت در نقاط مختلف بعلا موازی نبودن خطوط جریان متفاوت است.

جریان غیر پایدار یکنواخت: **Unsteady non-uniform flow / Ecoulement varie non permanent**

جریانی که سرعت با زمان و مسیر تغییر می کند. بعبارت دیگر سرعت هر ذره در یک زمان در نقاط مختلف متفاوت بوده و سرعت در یک نقطه معین هر آن تغییر می نماید.

جریان غیر پایدار با تغییر تدریجی:

**Gradually varying unsteady flow / Ecoulement graduellement varie non permanent**

جریان تدریجاً تغییر میکند اگر عمق در یک فاصله کم تغییر ننماید.

طرح سوالات × در یک جریان آرام، تنش برشی روی دیواره یک لوله برابر با  $2/63 \text{ pa}$  میباشد. اگر لزجت دینامیکی سیال برابر  $0.741 * 10^{-3} \text{ pa/s}$  و سرعت  $387 \text{ mm}$  و مقدار تغییرات فشار برابر با  $3927/28$  پاسکال بر متر باشد، شعاع لوله رابدست آورید؟

$$u = -\frac{a^2 - r^2}{4\mu} \frac{dp}{dl} \Rightarrow \frac{du}{dr} = -\frac{r}{2\mu} \frac{dp}{dl} \Rightarrow \tau = -\mu \frac{r}{2\mu} \frac{dp}{dl} \Rightarrow \tau = -\frac{r}{2} \frac{dp}{dl}$$

تنش برشی روی دیواره میباشد لذا  $r$  همان  $a$  (شعاع لوله) است.

$$\tau = -\frac{a}{2} \frac{dp}{dl} \Rightarrow -a = \frac{2\tau}{dp/dl} \Rightarrow -a = \frac{2 * 2.63}{-3927.28} \Rightarrow a = 1.34 * 10^{-3}$$

× عدد رینولدز در یک لوله آب با لزجت  $0.883 * 10^{-3} \text{ pa/s}$  و سرعت  $2/9$  متر بر ثانیه، برابر  $863$  میباشد

الف: نوع جریان را مشخص کنید.

ب: شعاع لوله را بر حسب متر بدست آورید.

پاسخ: الف: عدد رینولدز داده شده کمتر از  $2000$  میباشد لذا جریان از نوع آرام است.

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} \Rightarrow D = \frac{\text{Re}\nu}{V} \text{ و } D = 2r \Rightarrow r = \frac{\text{Re}\nu}{2V} \rightarrow r = \frac{863 * \frac{0.883}{1000}}{2 * 3.9} = 0.0977 \text{ m}$$

$F = \frac{V}{\sqrt{gy}}$  این فرمول مربوط به فرود میباشد.  $F$  نشان دهنده نوع جریان است. حاصل آن اگر برابر یک باشد بحرانی

، اگر زیر یک باشد زیر بحرانی و اگر بالای یک باشد فوق بحرانی میباشد.

در عدد فرود  $\mu$  (لزجت) تاثیر چندانی ندارد.

نوع جریان در لوله های تحت فشار از شاخص عدد رینولدز بدست می آید.

نوع جریان در کانالهای روباز از شاخص عدد فرود بدست می آید.

اقت: عامل تنش، لزجت سیال و زبری جداره میباشد. لزجت سیال در حال حرکت و همچنین برخورد سیال با جداره باعث ایجاد تنش میشود. وجود تنش در یک سیستم معرف آن است که سرعت وجود دارد سیال در حال حرکت است.

مقاومت در مقابل جریان در هم سیالات در مجاری باز و بسته (جریان کاملاً توسعه یافته)

در جریان تراکم پذیر در هم، یکنواخت و پایدار (ماندگار) در یک مجرا (هرمجریایی و با هر شکل هندسی) با سطح مقطع ثابت، تنش برشی جداره تقریباً متناسب با مربع سرعت متوسط، تغییر میکند. (سرعت متوسط نصف سرعت ماکزیمم

$$\tau_0 = \lambda \frac{\rho}{2} V^2 \quad (\text{است})$$

در فرمول بالا  $\tau_0$  معرف تنش برشی جداره،  $\lambda$  ضریب زبری و  $\rho$  جرم مخصوص می باشد. تفاوت اصطلاح افت فشار و فشار: (افت فشار در طول لوله اندازه گیری میشود و فشار در یک نقطه اندازه گیری شده و بدست می آید)

با توجه به ایجاد افت از بازه یک به بازه ۲، میتوانیم با استفاده از معادله برنولی، افت را بدست آوریم

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - h_{f(1,2)} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

چون سرعت یکسان است، از  $\frac{V^2}{2g}$  صرف نظر میگرداند لذا خواهیم داشت

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 - h_{f(1,2)} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \Rightarrow h_f = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 \quad \sum F = 0 \Rightarrow$$

$$(P_1 - P_2)A + \gamma AL \sin \tau_0 LP = 0 \quad (\text{P محیط خیس شده میباشد})$$

معادله  $h_f$  بدست آمده را معادله انرژی میانمند.

حال بجای  $L \sin \theta$  معادل آن یعنی  $Z_1 - Z_2$  را قرار داده و داریم  $(P_1 - P_2)A + \gamma A(Z_1 - Z_2) \tau_0 LP = 0$ .

معادله بدست آمده را بر  $\gamma A$  تقسیم نموده و بدین ترتیب معادله نیروها بدست می آید

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 = \frac{\tau_0 LP}{\gamma A}$$

$$h_f = \frac{\tau_0 LP}{\gamma A} \quad \text{با توجه به معادلات انرژی و نیرو خواهیم داشت}$$

$$h_f = \lambda \frac{\rho}{2} V^2 \frac{LP}{\gamma A} = \lambda \frac{L V^2}{R 2g} \Rightarrow \frac{h_f}{L} = \frac{\lambda V^2}{2g} \quad \text{لذا } \tau_0 = \lambda \frac{\rho}{2} V^2 \quad \text{میدانیم که}$$

$L$  طول مسیر مدنظر میباشد و  $R$ : شعاع هیدرولیکی  $R = \frac{A}{P}$  (  $A$  مساحت مقطع و  $P$  محیط خیس شده است)

همچنین  $\frac{h_f}{L}$  همان شیب کانال میباشد که در فرمولها با علامت  $S$  نشان میدهند  $S = \frac{h_f}{L} = \frac{\lambda V^2}{2g}$  از نتایج بالا معادله

بدست می آید.  $V = \sqrt{\frac{2g}{\lambda}} \sqrt{RS}$  را ضریب شزی نامیده و با حرف  $C$  نمایش میدهند و بیانگر زبری میباشد.

لذا فرمول شزی  $V = C \sqrt{RS}$  خواهد بود

توجه:  $V$  نشانگر سرعت متوسط بوده و برای سیستم های تحت فشار و رو باز کاربرد دارد.

برای لوله ها نیز داریم:

$$\lambda = \frac{f}{4} \quad \text{و} \quad R = \frac{1}{4} D \rightarrow h_f = \lambda \frac{L V^2}{R 2g} \Rightarrow h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{RS}$$

$f$  ضریب زبری تعیین شده توسط ما میباشد،  $D$  قطر لوله و  $V$  نیز سرعت متوسط است.

( نکته: رابطه  $h_f$  با  $\frac{1}{D^5}$  متناسب است )

جریان یکنواخت پایدار در کانالهای باز :

برای جریان پایدار در عمق ثابت درون کانال باز منشوری شکل (مقطع منظم) فرمول مانینگ صدق میکند .

$$V = C\sqrt{RS} \quad , \quad \lambda = \frac{1}{4}f \quad , \quad C = \frac{1}{n}R^{\frac{1}{6}} \Rightarrow V = \frac{1}{n}R^{\frac{1}{6}}\sqrt{RS} \Rightarrow V = \frac{1}{n}R^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = AV \Rightarrow Q = \frac{A}{n}R^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}$$

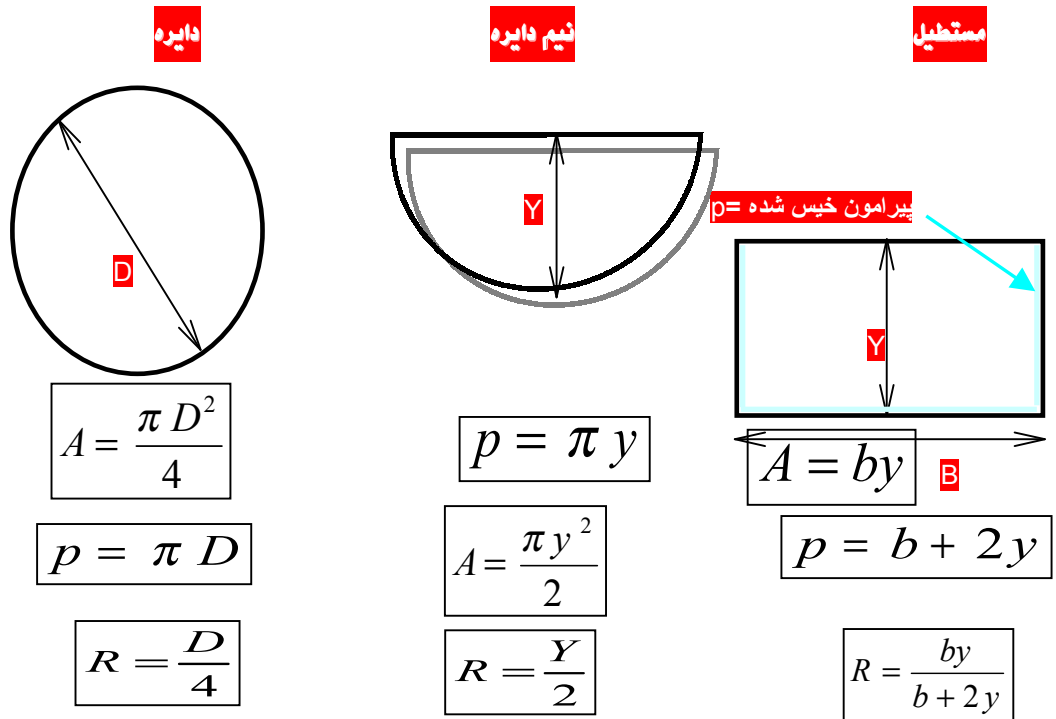
و نیز فرمول و نمودار دارد .

۰,۰۲۹	۰,۰۳۵	۰,۰۲۵	۰,۰۲۲	۰,۰۱۶	۰,۰۱۵	۰,۰۱۴	۰,۰۱۲	۰,۰۱۳	۰,۰۱۲	n
سنگ ریزه و شن	زمین با سنگ و علف	قلوه سنگ	صفحات فلزی موجدار	آجر	چدن	سیمان پرداخت نشده	سیمان پرداخت شده	چوب غیر صیقلی	چوب صیقلی	مواد

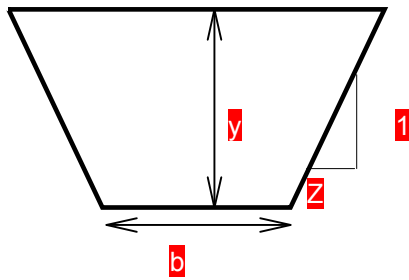
(توضیحی جامع از مانینگ) تاسیسات انتقال آب : به سازه هایی گفته میشود که برای انتقال آب و تنظیم جریان آب در شبکه مورد استفاده قرار میگیرد. یکی از مهمترین بخشهای تاسیسات انتقال آب ، مجاری انتقال آب است که شامل مجاری بسته (لوله ها) و مجاری باز (کانالها) می شوند . این مجاری دارای شکلهای مختلفی هستند .

هر کدام از این شکلهای دارای مشخصاتی میباشد. این مشخصات عبارتند از عرض کف  $b$  عمق جریان  $y$  شاخص شیب بدنه  $z = \cotg \theta$  سطح مقطع جریان  $A$  شعاع هیدرولیکی  $R$  پیرامون خیس شده (محدوده تماس آب با جداره)  $P$

بهترین مجاری ، جهت جریان آب ، (بهترین مقطع هیدرولیکی) مقطع نیم دایره ای میباشد و علت استفاده از مقطع نوزنقه در پروژه ها ، راحتی کار میباشد. شعاع هیدرولیکی : نسبت سطح مقطع جریان به پیرامون خیس شده را گویند و واحد آن طول است . بهترین مقطع هیدرولیکی به مقطعی گفته میشود که به ازای یک سطح مقطع جریان مشخص ( $A$ ) کمترین پیرامون خیس شده را داشته باشد عبارتتی دیگر بیشترین شعاع هیدرولیکی را دارا باشد .



دوزنقه

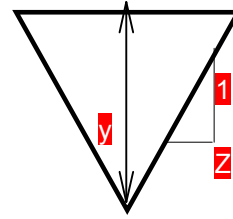


$$A = by + y^2 z$$

$$p = b + 2y\sqrt{1+z^2}$$

$$R = \frac{by + y^2 z}{b + 2y\sqrt{1+z^2}}$$

مثلثی



$$A = y^2 z$$

$$p = 2y\sqrt{1+z^2}$$

$$R = \frac{y^2 z}{2y\sqrt{1+z^2}}$$

دبی : حجم آب عبوری از یک مجرا در واحد زمان است .

مثال : دبی جریانی در یک کانال مستطیلی یک متر مکعب در ثانیه است . سرعت جریان در این کانال برابر با نیم متر در ثانیه می باشد . برای بهترین مقطع هیدرولیکی ، این کانال را طراحی کنید .

$$Q=1 \text{ m}^3/\text{s} \quad b=? \quad y=y \quad V = 0.5$$

$$Q = A V \quad 1 = A \cdot 0.5 \quad A = 1 / 0.5 = 2 \text{ m}^2$$

باید حساب شود که کدام یک از مقاطع ، کمترین پیرامون را برای خیس شدن دارد .

برای مثال برای مقطع مستطیلی محاسبات را انجام می دهیم .  $p=b+2y$  ،  $A=by$  ،  $b=A/y$  ،

حالا یک مسئله با یک متغیر داریم  $P = A/y + 2y$  نسبت به  $y$  مشتق میگیریم که مراحل آن چنین است

$dp/dy = -Ay^{-2} + 2 = 0$  بجای  $A$  همان  $by$  را قرار می دهیم  $-byy^{-2} + 2 = 0$  . در نتیجه برای تمام مقاطع هیدرولیکی

مستطیلی می توان نوشت  $b=2y$  .

حال برای حل مسئله  $by = 2 \quad 2y^2 = 2 \quad y = 1 \quad b = 2$

حالا شعاع هیدرولیکی مستطیل را بررسی میکنیم .  $R = \frac{by}{b+2y} = \frac{2y \cdot y}{2y+2y} = \frac{2y^2}{4y} \Rightarrow R = \frac{y}{2}$

این نتیجه به مجاری نیم دایره مربوط میگردد و نشان میدهد که نیم دایره بهترین مقطع برای طراحی هیدرولیکی است .

برای بهترین مقطع هیدرولیکی در مقاطع دوزنقه شکل باید این فرمول برقرار باشد  $b = 2y \tan \frac{\alpha}{2}$

معادله مانینگ : معادله ای که برای تعیین سرعت و دبی جریان در کانالها استفاده میشود رامعادله مانینگ گویند .

$$Q = \frac{A}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

در فرمول مانینگ  $Q$  = دبی برحسب متر مکعب در ثانیه  $A$  = سطح مقطع جریان

$R$  = شعاع هیدرولیکی برحسب متر  $S$  = شیب کف کانال و  $n$  = ضریب زبری

معادله مانینگ فقط در سیستم متریک قابل استفاده است و برای استفاده از آن در سیستم FPS از این فرمول استفاده میشود

$$Q = \frac{1.486A}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

سوال: ضریب شزی برای یک جریان داخل کانال مستطیلی به عرض ۲ متر، شیب کف ۰,۰۰۱۶ و عمق یک متر برابر ۷۰ است. دبی کانال را حساب کنید.

پاسخ:  $P = 2y + b = (2 * 1) + 2 = 4$  پیرامون خیس شده

$$R = \frac{A}{P} = \frac{2 * 1}{4} = 0.5$$
 شعاع هیدرولیکی

$$V = 70 \sqrt{0.5 * 0.0016} \Rightarrow V = 1.98 \quad \text{و} \quad Q = AV = 1.98 * 2 = 3.96$$

سوال: یک کانال به شکل مربع برای انتقال آب در شیبی معادل ۰,۰۰۱ در نظر گرفته شده است. بدنه کانال از سیمان با زبری ۰,۰۱۵ می باشد مقدار دبی آبی که این کانال با ابعاد ۰,۵ متر میتواند از خود انتقال دهد چقدر است؟

پاسخ:  $R = \frac{A}{P} = \frac{0.5^2}{1.5} = 0.16 \text{ m}$  ,  $Q = \frac{0.5^2}{0.015} * 0.16^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}} = 0.1 \text{ m}^3 / \text{s} = 100 \text{ lit} / \text{s}$

مثال: تعیین کنید Q یک کانال نوزنقه شکل را که دارای شرایط زیر باشد:

$$b = 1 \text{ m} \quad y = 0.8 \text{ m} \quad s = 0.001$$

$$b = 2y \tan \frac{\alpha}{2}, 1 = 2 * 0.8 \tan \frac{\alpha}{2}, \alpha = 32^\circ, \alpha = 64^\circ$$

$$\tan \alpha = 2.05, \cot \alpha = 1 / 2.05 \quad \text{در نتیجه} \quad z = 0.488$$

$$Q = \frac{1.12}{0.016} * 0.4^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}} = 1.134 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q = \frac{A}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

مقدار R از فرمول  $R = \frac{Y}{2}$  بدست می آید و در فرمول فوق جاگذاری میشود.

یادآوری:

در جریان یکنواخت و غیر یکنواخت پارامتر مکان اهمیت دارد.

در جریان پایدار و ناپایدار پارامتر زمان اهمیت دارد.

فرمول شزی از بررسی تنشها، مطرح و بوجود آمده است.

برای بدست آوردن ضریب زبری باید شرایط هیدرولیکی را در نظر بگیریم یعنی نوع جریان در سیستم تحت فشار را بدین ترتیب و سپس با توجه به مشخص شدن نوع جریان (توسط عدد رینولدز) از فرمولهای مربوطه استفاده نماییم.

ضریب اصطکاک در جریان آرام (برای لوله های صاف و زبر)

در صورتی که زبری قابل توجهی در داخل لوله موجود باشد اثر کمی بر جریان آرام خواهد داشت مگر آنکه بی نظمی های سطحی تغییر زیادی در خطوط لوله ایجاد کند.

آقای هوگن فرمول زیر را برای لوله های بدون زبری و با جریان آرام ارائه داده است:

$$V = \frac{\Delta P r^2}{8 \mu L} \quad \Delta P = \frac{32 \mu L V}{D^2} \quad hL = f \frac{L - V^2}{D 2g} = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{32 \gamma V L}{\gamma D^2}$$

$\frac{\Delta P}{\gamma}$  معرف واحد طول است). با توجه به مساوی بودن  $f \frac{L - V^2}{D 2g} = \frac{32 \gamma V L}{\gamma D^2}$  میتوان f را بدست آورد و نهایتاً

$$f = \frac{64}{R_e}$$
 خواهیم داشت

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{و} \quad R_e = \frac{VD}{v}$$
 یادآوری:

ضریب زبری در جریانهای مغشوش (متلاطم): در جریان مغشوش اثر زبری سطحی بر پروفیل سرعت توسط ارتفاع نسبی زبری و زیر لایه آرام تعیین می شود. (جریانی که دقیقاً در مجاورت لوله فعال است را جریان زیر لایه آرام

می گویند هر چند کل جریان ممکن است متلاطم باشد ولی این قانون همواره برقرار است).

اگر بی نظمی ها درون زیرلایه قرار گیرد لوله از نظر هیدرودینامیکی صاف است و اگر این زبری ها از لایه بیرون بزند، تلاطم اضافی و نیروی مقاومت فشاری ایجاد میشود و ضریب اصطکاک افزایش می یابد. در جریانهای مغشوش زبری تابعی از عدد رینولدز و ارتفاع نسبی زبری بر قطر لوله است.

$f = \phi [R_e \text{ و } \varepsilon / D]$  عبارتی تابع متناسب است با (قطر لوله / ارتفاع نسبی زبری) و عدد رینولدز.  $\varepsilon$  اندازه ذرات زبری بر حسب میلیمتر است و  $D$  قطر لوله.

برای بدست آوردن ارتفاع نسبی زبری در لوله ها آقای نیکورادز در سال ۱۹۳۳ آزمایشاتی در محیط آزمایشگاهی انجام داد و ذرات ماسه را در جداره داخلی لوله بطور مصنوعی چسباند و جریان آب را با شرایط های مختلف هیدرولیکی مورد بررسی قرار داد و نتایج حاصله از انجام آزمایش را روی یک کاغذ لگاریتمی نسبت به عدد رینولدز رسم نمود بطوری که عدد رینولدز روی محور افقی و ضریب اصطکاک روی محور عمودی قرار گرفت. با توجه به نمودار حاصله نتایج ذیل بدست آمد:

- اگر عدد رینولدز کوچکتر از ۲۱۰۰ باشد تمام داده ها صرف نظر از مقدار زبری نسبی ( $\frac{\varepsilon}{D}$ ) روی یک خط مشترک قرار میگیرند (در این حالت جریان بصورت ورقه ای میباشد)

- با کوچک شدن عدد رینولدز خطوط مربوط به زبری های نسبی مختلف به یکدیگر نزدیک می شود و سرانجام به همان خط قبلی منتهی می شود. در صورتی که عدد رینولدز بزرگتر از ۲۱۰۰ باشد، جریان آشفته و یا متلاطم است. در مورد لوله هایی که جداره بسیار صاف دارند داده ها دوباره روی یک خط قرار میگیرند. جریانهایی که در وضعیت آنها از این خط پیروی میکنند، جریانهای صاف هیدرولیکی یا صاف متلاطم نامیده میشوند. در این نوع حرکت قسمت اعظم جریان بطور آشفته می باشد ولی زبری لوله به اندازه ای کوچک است که در داخل لایه ورقه ای جدار لوله قرار می گیرد.

- برای اعداد بزرگ رینولدز یا مقادیر بزرگ زبری نسبی، ضریب زبری ( $f$ ) مستقل از اعداد رینولدز بوده و فقط تابعی از زبری نسبی است. برای این جریانهای منحنی های مربوط به هر یک از مقادیر زبری نسبی بصورت خطوط افقی در می آیند. در این شرایط جریان را زبر کامل مینامند.

نمودار مودی: لوله هایی که به وسیله نیکورادز مورد آزمایش قرار گرفت بطور مصنوعی زبر شده و زبری آنها نیز یکنواخت بوده است بنابراین نمیتوان نتایج حاصل از آن را مستقیماً برای لوله های تجارتي که جریان آشفته از آنها عبور میکند بکار برد.

آقای کلبروک در محیط آزمایشگاهی، آزمایشات را بر روی لوله تجاری انجام داد. این آزمایشات نشان داد که در لوله های تجارتي نیز اگر زبری جدار زیاد و عدد  $R_e$  هم زیاد باشد، همچنان جریان مستقل از عدد  $R_e$  است. با توجه به معادلات تجربی نیکورادز که بر روی لوله های زبر کامل بدست آمد زبری نسبی معادلی را بدست آورد این معادله برای لوله های زبر کامل بشرح زیر میباشد:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \left( \frac{\varepsilon}{D} \right) \quad \text{لوله های زبر کامل}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log (R_e \sqrt{f}) - 0.8 \quad R_e > 4000 \quad \text{لوله های صاف}$$

آقای بلاسیوس نیز برای لوله های صاف و جریان آشفته  $4000 < R_e < 10^5$   $f = \frac{0.316}{R_e^{0.25}}$  ارائه نموده است. برای منطقه انتقالی که در آن جریان بین صاف و زبر کامل قرار دارد (بینابین) معادله

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \left( \frac{\varepsilon}{D} + \frac{9.35}{R_e \sqrt{f}} \right) \quad \text{زیرپیشنهاد شده است}$$

جنس	فولادپرچ شده	بتن	چوب	چدن	آهن گالوانیزه	چدن با پوشش قیر	فولاد تجاری	P.V.C
$\varepsilon$ mm	۰٫۹۹	۰٫۳۳	۰٫۹ تا ۱٫۸	۰٫۲۵	۰٫۱۵	۰٫۱۲	۰٫۰۴۶	۰٫۰۰۱۵

آقای مودی نیز برای لوله های تجاری نموداری را بدست آورد که این نمودار مشابه نمودار نیکورادز میباشد. ( در تمامی کتابهای هیدرولیک این نمودار وجود دارد )

روش استفاده از نمودار مودی: فرض شود که عدد رینولدز ۷,۴ باشد. ابتدا به اندازه ۷,۴ روی خط افقی جدول جدا میکنیم و

یک خط عمود بر نقطه انتخاب شده از آن امتداد داده تا تمام نمودارها را قطع نماید. و فرض میکنیم عدد  $\frac{\epsilon}{D} = 0.008$  باشد

. این عدد را هم روی خط عمودی در سمت راست نمودار پیدا میکنیم و قوس ملایم نمودار که نشانگر ۰,۰۰۸ میباشد را طی

میکنیم تا به خط مربوط به عدد رینولدز برخورد نماییم.

برخلاف جهت محور xها، خطی از نقطه بدست آمده ترسیم میکنیم تا به خط عمودی f که در قسمت چپ نمودار قرار دارد

برخورد نماییم. محل برخورد این خط با f را قرائت نموده و بعنوان f مورد استفاده قرار میدهیم.

مثال: در آزمایشی که با یک لوله به قطر ۳۰۰ mm و آب انجام شده است اختلاف فشار ۲۸۰ mm به وسیله مانومتر جیوه ای

که به فاصله ۱۲۰ m از یکدیگر نصب شده است، حاصل شد. دبی جریان ۰,۲۳ مترمکعب بر ثانیه میباشد ضریب اصطکاک

را بدست آورید ( $\nu = 10^{-6} m^2 / s$ )

$$Q = 230 \text{ lit/s} \quad Q = AV \Rightarrow V = 3.254 \text{ m/s}$$

$$R_e = \frac{VD}{\nu} \Rightarrow \frac{3.254 * 0.3}{10^{-6}} = 97620 \quad h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

حال باید اختلاف فشار بر حسب جیوه را به ارتفاع آب تبدیل نماییم.

$$\frac{760}{280} \frac{1}{?} \Rightarrow \frac{280}{760} = 0.37 \quad \frac{1}{.37} \frac{10.34}{?} \Rightarrow 3.83 \text{ m} \Rightarrow 3.83 = f \frac{120}{.3} \frac{3.254^2}{2 * 9.806} \Rightarrow f = 0.0177$$

$$\text{با استفاده از فرمول } f = \frac{0.316}{R_e^{0.25}} \text{ نیز به } f = 0.0179 \text{ خواهیم رسید.}$$

سوال: با بهره گیری از معادله بلاسیوس جهت تعیین ضریب اصطکاک توان لازم در هر کیلومتر جهت پمپ کردن ۸۵ لیتر

در ثانیه، مایعی با لزجت  $3.3 * 10^{-5} m^2 / s$  و وزن مخصوص ۸۶۰۰ نیوتن بر مترمکعب از طریق لوله هایی به قطر ۵۰

متر را پیدا کنید؟

پاسخ: (در سیستم SI برای توان پمپ داریم  $P = \gamma Q h_L$  و در سیستم انگلیسی  $P = \frac{\gamma Q h_L}{550}$ )

$$Q = AV \Rightarrow V = \frac{Q}{A} \quad R_e = \frac{VD}{\nu} \Rightarrow R_e = \frac{0.085 * 0.5}{\pi (0.25)^2 * 3.3 * 10^{-5}} = 6559.1$$

$$f = \frac{0.316}{R_e^{0.25}} \Rightarrow f = \frac{0.316}{6559.1^{0.25}} = 0.035$$

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \Rightarrow h_L = 0.035 \frac{1000}{0.5} \frac{(\frac{0.085}{\pi * 0.25^2})^2}{2 * 9.806} = 0.6689$$

$$P = \gamma Q h_L \Rightarrow P = 8600 * 0.085 * 0.6689 = 488.97 \text{ w}$$

سوال: نفت با دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه و لزجت ۰,۰۱۶ و وزن مخصوص ۸۵۰۰ N/m<sup>3</sup> در یک خط لوله چدنی به قطر ۳۰ cm پمپ

میگردد اگر فشار تولیدی هر پمپ ۶۰ کیلو پاسکال باشد هر پمپ باید در چه فاصله ای از پمپ دیگر نصب شود. داشته ها:

$$\Delta P = 560 \text{ Kpa} \quad \text{و} \quad \epsilon = 0.25$$

$$Q = 60 \text{ lit/s} = 0.06 m^3 / s \quad \text{و} \quad \mu = 0.016 \text{ pa.s} \quad \text{و} \quad \gamma = 8500 \text{ N/m}^3 \quad \text{و} \quad D = 0.3 \text{ m}$$

پاسخ: خ:

$$Q = AV \Rightarrow V = \frac{Q}{A} = \frac{0.06}{\frac{\pi}{4} 0.3^2} = 0.85 \text{ m/s} \text{ و } R_e = \frac{VD}{\nu} = \frac{VD}{\frac{\mu}{\rho}} = \frac{VD}{\frac{\gamma}{g}} = \frac{0.85 * 3}{\frac{0.016}{8500}} = 13814.88$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.25}{300 \text{ mm}} = 0.00083 \text{ و } f = \frac{0.316}{R_e^{0.25}} = 0.029 \text{ و } h_L = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{560 * 1000}{8500} = 65.88$$

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \Rightarrow L = \frac{h_L * D * 2g}{f * V^2} = \frac{65.88 * 0.3 * 2 * 9.806}{0.029 * 0.85^2} = 18499 \text{ m} = 18.499 \text{ Km}$$

۱- افت فشار در ۴۲۰ متر از طول یک لوله فولادی که با پرچ ساخته شده است برابر ۶/۸ متر میباشد. اگر قطر لوله ۲۸۸ میلیمتر و عدد رینولدز برابر ۴۱۶۰۰۰ باشد دبی جریان و لزجت سینماتیک سیال را محاسبه نمایید. داشته ها:

$$\epsilon = 0.99, h_L = 6.8, D = 0.288 \text{ m}, L = 420 \text{ m}$$

پاسخ: الف = ضریب زبری =  $\frac{\epsilon}{D}$  = زبری نسبی  $h_L$  = افت فشار

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.99}{288 \text{ mm}} = 0.0034, f = \frac{0.316}{416000^{0.25}} = 0.01$$

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \Rightarrow 6.8 = 0.01 \frac{420}{0.288} * \frac{V^2}{2 * 9.806} \Rightarrow V = 3.02 \text{ m/s}$$

جهت محاسبه سرعت

$$R_e = \frac{VD}{\nu} \Rightarrow \nu = \frac{VD}{R_e} = \frac{3.02 * 0.288}{416000} = 2.09 * 10^{-6}$$

جهت محاسبه لزجت سینماتیکی سیال

$$Q = AV \Rightarrow Q = \pi r^2 V = 3.14 * 0.144^2 * 3.02 \Rightarrow Q = 0.197 \text{ m}^3 / \text{s}$$

دبی برابر است

۲- لزجت سینماتیک سیالی برابر با  $\nu = 0.000001$  میباشد. لوله مورد استفاده جهت سیال از جنس چدن به قطر ۱۶۰ میلیمتر و بطول ۷۰۰ متر در نظر گرفته شده است. اگر دبی حاصله ۰.۱۷۵ مترمکعب بر ثانیه باشد

الف) سرعت سیال (ب) نوع جریان (ج) زبری نسبی (د) ضریب زبری (ه) افت ارتفاع (س) اگر افت ارتفاع را بخواهیم به  $98 \text{ mN/N}$  برسانیم باید قطر لوله چقدر باشد.

$$Q = AV \Rightarrow V = \frac{Q}{A} = \frac{0.175}{\pi 0.08^2} = 8.703 \text{ m/s}$$

پاسخ: الف

$$R_e = \frac{VD}{\nu} = \frac{8.703 * 0.16}{0.0001} = 1392480$$

ب) از آنجا که عدد بدست آمده از ۴۰۰۰ بیشتر است لذا نوع جریان

آشفته میباشد.

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.25}{0.16} = 1.5625$$

ج

$$f = \frac{0.316}{R_e^{0.25}} = \frac{0.316}{1392480^{0.25}} = 9.199 * 10^{-3}$$

د

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} = 9.199 * 10^{-3} * \frac{700}{0.16} * \frac{8.703^2}{2 * 9.806} \Rightarrow h_L = 155.43 \text{ m.N/N}$$

ه

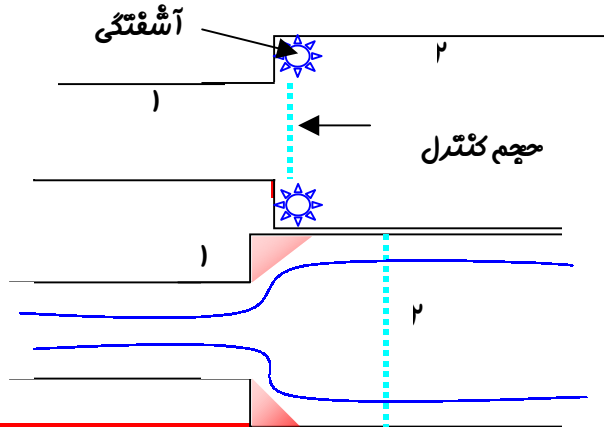
$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \Rightarrow 98 = 9.199 * 10^{-3} * \frac{700}{D} * \frac{8.703^2}{2 * 9.806} \Rightarrow D = 0.254 \text{ m}$$

س

افتهای موضعی یا فرعی (جریان تحت فشار): افتهایی که در خطوط لوله بدلیل خمیدگی - زانوها - شیرها و غیره بوجود می آید را افتهای فرعی می نامند ( این نام گذاری غلط است زیرا در بسیاری از موارد این افتها بسیار مهمتر از افتهای

هستند که در لوله ها بدلیل اصطکاک بوجود می آید). تقریباً در تمام حالات، افتهای فرعی بصورت تجربی تعریف می شود بجز در انبساط و انقباض ناگهانی در لوله ها.

حالت اول: اتلافات ناشی از انبساط ناگهانی در لوله ها: اتلافات ناشی از بزرگ شدن لوله را میتوان با استفاده از معادله انرژی و اندازه حرکت محاسبه کرد. برای جریان پایدار و درهم یک سیال تراکم ناپذیر حجم کنترل را بین مقاطع ۱ و ۲ (شکل زیر) در نظر میگیریم



میزان افتی که در این تغییر انبساط بوجو

در لوله هایی که تغییر ناگهانی

قطر وجود داشته باشد، شاهد افت

ناگهانی خواهیم بود.

میدانیم که دبی همواره ثابت است لذا

$$Q_1 = Q_2 \rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2 \Rightarrow \frac{\pi D_1^2}{4} V_1 = \frac{\pi D_2^2}{4} V_2 \Rightarrow V_2 = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 V_1$$

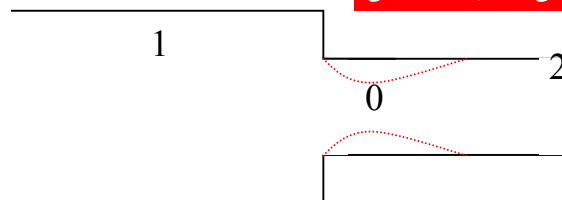
تغییرات سرعت باعث ایجاد افت و تغییرات قطر باعث ایجاد تغییر در سرعت میشود.

در مقاطع یک و دو تغییرات انرژی داریم لذا معادله برنولی در اینگونه موارد صادق است

پس از ساده کردن معادله برنولی فرمول  $hL = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$  بدست خواهد آمد به این معادله، معادله انبساط ناگهانی

میگویند.

حالت دوم: اتلافات ناشی از انقباض ناگهانی:



در مقطعی که قطر لوله از بیشتر به کمتر میرسد (مطابق شکل فوق) باید به این نکته توجه نمود که از مقطع ۱ به ۲ انقباض ناگهانی وجود دارد ولی از مقطع صفر به ۲ شاهد انبساط ناگهانی هستیم. این تغییر قطر سیال در لوله در مقطع صفر

راضرب فشردهگی میگویند که این ضریب متناسب است با  $\frac{A_2}{A_1}$ . برای بدست آوردن معادله انبساط ناگهانی داریم:

$$Q_0 = Q_2, \quad A_0 V_0 = A_2 V_2 \Rightarrow Cc A_2 V_0 = A_2 V_2 \Rightarrow V_0 = \frac{V_2}{Cc}$$

$$hL = \frac{(V_0 - V_2)^2}{2g} = \frac{\left(\frac{V_2}{Cc} - V_2\right)^2}{2g} \Rightarrow hL = \frac{\left(\frac{1}{Cc} - 1\right)^2 V_2^2}{2g} \text{ و } \left(\frac{1}{Cc} - 1\right)^2 = K \Rightarrow hL = K \frac{V_2^2}{2g}$$

این فرمول بدان معناست که افت فشار درصدی از میزان انرژی جنبشی میباشد.

(توجه: همواره برای بدست آوردن ضریب فشردهگی بایست قطر کمتر تقسیم بر قطر بیشتر شود و ضمناً هرچه قدر نسبت A2

به A1 کمتر یا بیشتر شود روی ضریب فشردهگی تاثیر دارد.)

پس از بدست آوردن نسبت دو قطر، میبایست آن را در جدول زیر قرار داد و ضریب فشردهگی مورد نیاز جهت محاسبه در

معادله را بدست آورد.

## جدول ضریب فشردگی

$A_2/A_1$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Cc	0.624	0.632	0.643	0.659	0.681	0.712	0.755	0.813	0.892	1

حالت سوم: در این حالت خروج لوله از یک مخزن بزرگ مورد بررسی قرار میگیرد و موضوع مورد بحث نحوه اتصال بین لوله با مخزن میباشد. چگونگی این ارتباط، افتهای مربوط به خود را همراه دارد.

اگر لوله با لبه تیز به جداره مخزن وصل شده باشد  $K=0.5$

اگر محل اتصال لوله به بدنه مخزن لبه گرد باشد  $K=0.01 - 0.05$

و اگر مقداری از لوله بصورت دخولی به جداره مخزن متصل باشد  $K=0.8 - 1$

## ضرایب اتصالات مختلف

اتصال	شیرتویی کاملاً باز	شیرزائویی کاملاً باز	شیریکطرفه کاملاً باز	سه راهی استاندارد	زانو استاندارد
K	۱.۰	۰.۵	۲.۵	۱.۸	۰.۹

اتصال	شیردروازه ای کاملاً باز	زانوی با خمیدگی متوسط	زانو با خمیدگی طولیل	خمیدگی با بازگشت تند
K	۰.۱۹	۰.۷۵	۰.۶	۲.۲

سوال: مقدار حداکثر دبی آب برای یک لوله با قطر ۲۰۰ میلیمتر چندلیتر بر ثانیه باشد تا جریان در آن آرام باشد. جرم مخصوص ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و لزجت  $10^{-3}$  کیلوگرم ثانیه بر مترمکعب.

پاسخ:

$$Q = ? \quad D = 0.2m \quad R_e < 2000 \quad \rho = 1000 \text{ Kg/m}^3 \quad \mu = 10^{-3}$$

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{10^{-3}}{1000} = 1 * 10^{-5}$$

عدد رینولدز را ۲۰۰۰ در نظر میگیریم تا حد اکثر Q در جریان آرام بدست آید در نتیجه

$$R_e = 2000 = \frac{VD}{v} \Rightarrow V = \frac{2000}{0.2/1 * 10^{-5}} = 0.1$$

$$A = \pi r^2 = 3.14 * 0.1^2 = 0.031 \text{ m}^2 \quad Q = AV = 0.031 * 0.1 = 3.1 * 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$$

سوال: ۳۰۱ متر طول لوله با قطر ۳۵۰ م و با  $f=0.02$  را میخواهیم با لوله ای با قطر ۲۵۰ م و  $f=0.016$  جایگزین کنیم. طول لوله معادل حدوداً چند متر خواهد بود.

$$L_1 = 301 \quad D_1 = 0.35 \quad f = 0.02 \quad \text{و} \quad L_2 = ? \quad D_2 = 0.25 \quad f = 0.016$$

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2 \Rightarrow V_1 = \frac{A_2 V_2}{A_1}$$

با توجه به رابطه  $hf_1 = hf_2 \Rightarrow f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} = f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g}$  میتوانیم بجای  $V_1$ ، معادل آن را قرار داده و

$$f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{\left(\frac{A_2 V_2}{A_1}\right)^2}{2g} = f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{A_2^2 V_2^2}{A_1^2} = f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g}$$

خواهیم داشت

$$f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{A_2^2}{A_1^2} = f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{1}{2g}$$

با حذف  $V_2^2$  از طرفین خواهیم داشت

در معادله بدست آمده فوق، بغير از  $L_2$ ، ديگر پارامترها مشخص هستند. با جاگذاري خواهيم داشت:

$$0.02 \frac{301}{0.35} \frac{\pi * 0.125^2}{2 * 9.81} = 0.016 \frac{L_2}{0.25} \frac{1}{2 * 9.81} \Rightarrow 0.447 = 3.262 * 10^{-3} L_2$$

درنتيجه  $L_2 = 137.03 \text{ m}$

سوال: در لوله اي با قطر ۱٫۵ متر، اگر شيب هيدروليكي ۰٫۰۰۱ و لوله پر از آب باشد در صورتی که ضريب شزی ۱۱۰ در نظر گرفته شود، دبي عبوري چند متر مكعب برثانيه است.

$$D = 1.5 \text{ m} \quad S = 0.001 \quad C = 110 \quad Q = ?$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = 0.375 \quad V = C\sqrt{RS} \Rightarrow V = 110\sqrt{0.375 * 0.001} = 2.13$$

$$Q = AV = \pi r^2 * V = 3.14(0.75)^2 * 2.13 = 3.764 \text{ m}^3 / \text{s}$$

سوال: پروفيل سرعت در مقطع يك لوله با رابطه  $V = \frac{B}{4\mu} \left( \frac{D^2}{4} - r^2 \right)$  داده شده است تنش برشی در جداره لوله چقدر

است. قطر لوله =  $D$  فاصله شعاعي از مرکز لوله =  $r$  و مقدار ثابت =  $B$

پاسخ: بايك مشتق گيري ساده به پاسخ خواهيم رسيد

$$\frac{du}{dr} = \frac{-2rB}{4\mu} \quad \text{و} \quad \tau = \mu \frac{du}{dr} \Rightarrow \tau = \mu \frac{2-rB}{4\mu} \Rightarrow \tau = \frac{-rB}{2}$$

سوال: در مجرای انتقال آب با ظرفيت ۱۰۰ ليتر برثانيه از دو نوع لوله استفاده شده است و آب از لوله با قطر ۲۵ س م وارد لوله اي با قطر ۳۵ س م ميشود. افت بار حاصل از اين تغييرات چند م است.

پاسخ:

$$Q_1 = A_1 V_1 \rightarrow A_1 = \pi r^2 \Rightarrow V_1 = \frac{Q_1}{\pi r^2} = \frac{0.1}{3.14 * 0.125^2} = 2.037$$

$$Q_2 = A_2 V_2 \rightarrow A_2 = \pi r^2 \Rightarrow V_2 = \frac{Q_2}{\pi r^2} = \frac{0.1}{3.14 * 0.175^2} = 1.039$$

$$hL = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \frac{(2.037 - 1.039)^2}{2 * 9.81} = 0.051 \text{ m} = 51 \text{ mm}$$

توجه: ۱-  $\tau$  اعلام شده در تمامی معادلات،  $\tau$  متغيري است که بايد مدنظر داشته باشيم و با شعاع لوله اشتباه نشود.

۲- وقتی بيان ميشود که دو لوله معادل يکديگرند يعني داراي افت و دبي برابر هستند و همواره در اين گونه موارد اين رابطه

$$\frac{hf_1}{hf_2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{D_2^5}{D_1^5} = \frac{f_1}{f_2} \quad \text{برقرار است:}$$

کاربرد معادله دارسی جهت حل مسائل مربوط به لوله های ساده: مي دانيم جهت بدست آوردن افت مي بايست از معادله

استفاده نماييم. ما مي توانيم ۶ متغير داشته باشيم که يکی از آنها مجهول و الباقی معلوم باشند.

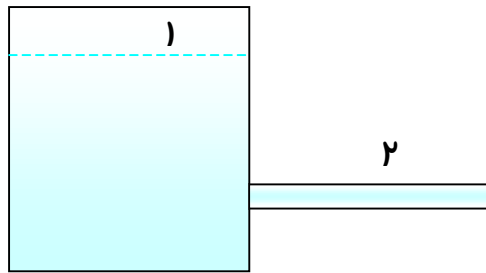
متغيرها عبارتند از:  $h_L$  و  $Q$  و  $L$  و  $D$  و  $v$  و  $\epsilon$  که بترتيب از چپ به راست عبارتند از زبری

لرزش، قطر، طول، دبي و افت.

برای لوله های ساده ممکن است ۲ حالت بوجود آيد

• در حالت اول ممکن است  $h_L$  مجهول و الباقی معلوم باشند. به مثال زیر توجه کنيد:

$$f = 0.017 \quad \text{و} \quad L = 100 \text{ m} \quad \text{و} \quad K = 0.5 \quad \text{و} \quad D = 75 \text{ mm} \quad \text{و} \quad Q = 0.0084 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{مقدار افت را محاسبه نماييد؟}$$



$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma_1} + Z_1 - hL = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma_2} + Z_2 \Rightarrow 0 + H + 0 - hL = 0 + 0 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\Rightarrow H = \frac{V_2^2}{2g} + hL \quad \text{و} \quad hL = K \frac{V_2^2}{2g} + \frac{FL}{D} \frac{V_2^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g} \left( K + \frac{FL}{D} \right)$$

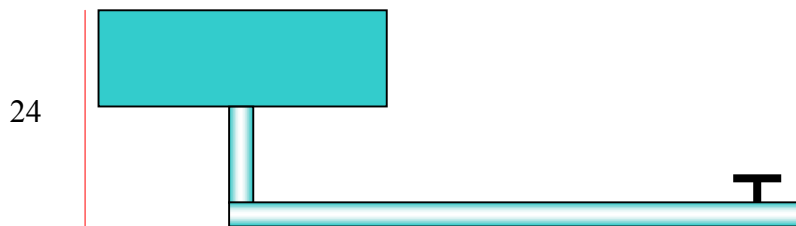
$$V = \frac{Q}{A} = 1.91 \text{ m/s} \quad , \quad R = \frac{VD}{\nu} = \frac{1.91 * 0.075}{1 * 10^{-6}} = 1.42 * 10^5$$

$$hL = \frac{(1.91)^2}{2 * 9.8} \left( 0.5 + \frac{0.017 * 100}{0.075} \right) = 4.26 \quad , \quad H = \frac{(1.91)^2}{2 * 9.8} + 4.26 = 4.45 \text{ m}$$

• در حالت دوم ممکن است Q مجهول و بقیه اجزاء معلوم باشند. (توجه: در این بحث میخواهیم چگونگی بهره

گیری از حالت سعی و خطا را بیاموزیم). به مثال زیر توجه کنید:

$$\epsilon = 0.25 \text{ mm} \quad \text{و} \quad Q = ? \quad D = 100 \text{ mm} \quad K = 0.19 \quad L = 204 \text{ m} \quad Z_1 = 24 \text{ m}$$



$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma_1} + Z_1 - h_L = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma_2} + Z_2 \Rightarrow 0 + 24 - h_L = 0 + 0 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\Rightarrow h_L = 24 - \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow h_L = K \frac{V_2^2}{2g} + \frac{FL}{D} \frac{V_2^2}{2g} = 24 - \frac{V_2^2}{2g}$$

$$F = \begin{cases} \text{Re} = \frac{VD}{\mu} \\ \frac{\epsilon}{D} = \frac{0.25}{100} = 0.0025 \end{cases}$$

با روش سعی و خطا از روی زبرنسبی عدد رینولدز را بدست آورده و روی آن کار میکنیم. ابتدا زبری بدست آمده را با

$$2 * \frac{\epsilon}{D} = 0.005 \quad \text{برابر میکنیم.}$$

در حال حاضر نسبت  $\frac{\epsilon}{D}$  را داریم، آن را روی نمودار مودی یافته ولی عدد رینولدز را نداریم لذا یک خط مستقیم تا f

ترسیم نموده و f حدسی را از نمودار مودی قرائت کرده که رقم ۰.۰۳ بدست می آید و در فرمول جاگذاری میکنیم. با f حدسی

بدست آمده سرعت را بدست می آوریم:

$$24 = \frac{V_2^2}{2g} \left( 0.03 \frac{204}{0.1} + 0.19 + 1 \right) \Rightarrow V_2 = 2.75 \text{ m/s}$$

حال با توجه به سرعت بدست آمده ، مجدداً  $f$  را برآورد کرده و معادله را تا رسیدن به یک سرعت جدید ادامه میدهیم .  
 میتوانیم آنقدر اینکار را ادامه بدهیم تا مقدار خطا به حداقل خود برسد .

$$f = \begin{cases} \text{Re} = \frac{2.75 * 0.1}{10^{-6}} = 2.75 * 10^5 \\ \frac{\epsilon}{D} = 0.005 \end{cases} \Rightarrow f = 0.031$$

$f$  بدست آمده مجدداً در معادله جاگذاری شده و

$$24 = \frac{V^2}{2g} (0.031 \frac{204}{0.1} + 0.19 + 1) \Rightarrow V = 2.7 \text{ m/s}$$

سرعت جدید بدست می آید .

هرزمان که مقدار خطا به حد اقل برسد ، آنگاه میزان دبی را محاسبه میکنیم .

با فرض قبول شدن سرعت  $2.7 \text{ m/s}$  متر برثانیه خواهیم داشت

$$Q = AV = \pi r^2 V = 3.14 \left(\frac{0.1}{2}\right)^2 * 2.7 = 0.02 \text{ m}^3 / \text{s} = 20 \text{ lit} / \text{s}$$

• در حالت سوم مجهول مسئله ، قطر لوله خواهد بود

$$Q = 250 \text{ lit} / \text{s} \quad v = 1 * 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s} \quad L = 3000 \text{ m} \quad h_L = 25 \text{ m} \quad \epsilon = 0.046 \text{ mm}$$

$$f = \begin{cases} \text{Re} = \frac{DV}{\nu} \\ \frac{\epsilon}{D} \end{cases}$$

مشخص است که جهت بدست آوردن  $f$  در این مسئله بدلیل نداشتن  $D$  ، مساحت نیز غیرقابل

محاسبه است لذا رینولدز و  $f$  بدست نمی آید . در اینگونه مسائل  $f$  اولیه را باید حدس زد . برای مثال  $f = 0.02$  حال شروع به

حل مسئله میکنیم

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad \text{و} \quad V = \left( \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} \right)^2 \Rightarrow h_L = f \frac{L}{D} \frac{4}{2g} \left( \frac{Q}{\pi D^2} \right)^2 \Rightarrow 25 = 0.02 \frac{3000}{D} \frac{4}{2 * 9.81} \left( \frac{250}{\pi D^2} \right)^2$$

از ساده کردن معادله بدست آمده عدد  $0.416$  متر برای قطر بدست می آید حال مقدار  $D$  بدست آمده را در معادله

$$f = \begin{cases} \text{Re} = \frac{DV}{\nu} \\ \frac{\epsilon}{D} \end{cases}$$

$f$  قرار داده و  $f$  جدید بدست می آید .

بیادآوری : جهت بدست آوردن  $f$  میبایست  $\text{Re}$  و  $\frac{\epsilon}{D}$  را بدست آورد و سپس اعداد بدست آمده را در نمودار مودی قرار

داده و  $f$  را استخراج نمود .

$f$  جدید در این حالت رقم  $0.196$  خواهد بود . با قرار دادن  $f$  بدست آمده در  $h_L = f \frac{L V^2}{D 2g}$  مقدار  $D$  جدید بدست می

آید که رقم  $0.413$  متر است و مشاهده میگردد که اختلاف بسیار ناچیز است .

انرژی : این بحث برای تمام جریانها ( چه روباز و چه تحت فشار ) مطرح است .

بیادآوری : در معادله برنولی  $Z$  برابر پتانسیل و  $\frac{p}{\gamma}$  انرژی فشاری و  $\frac{V^2}{2g}$  برابر انرژی جنبشی میباشد و خطوط

$$\text{پیزومتر از رابطه } \frac{p}{\gamma} + Z \quad \text{و خطوط انرژی از رابطه } \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma_1} + Z_1$$

بدست می آید .

این خطوط واحد آن برحسب طول است و با قرار دادن اعداد بدست آمده در یک نمودار یک خط پیژومتر و یک خط انرژی خواهیم داشت. زبری برروی شرایط هیدرولیکی تاثیر ندارد ولی در جریانهای مغشوش و نا آرام تاثیر دارد.

خطوط تراز هیدرولیکی و انرژی: مجموع انرژی پتانسیل و فشاری خط تراز

از بهم پیوستن  $\frac{P}{\gamma} + Z$  در تمام نقاط مورد نظر و اتصال این نقاط به یکدیگر خط تراز هیدرولیکی رسم میشود و از بهم

پیوستن  $\frac{P}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g}$  در هر نقطه و اتصال این نقاط به یکدیگر خط تراز انرژی بدست می آید.

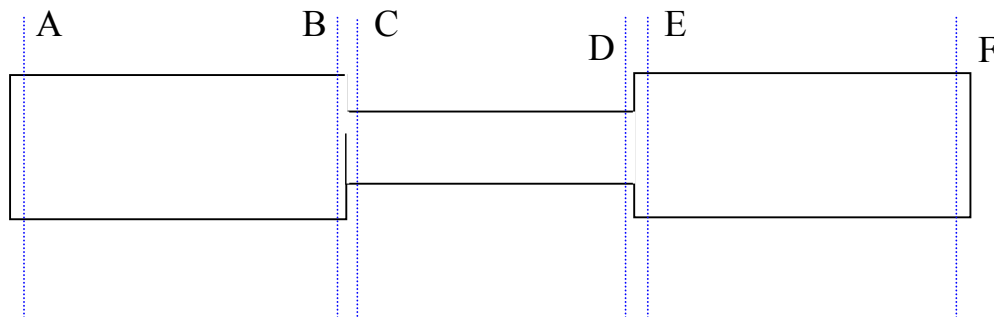
با حل مسئله زیر مفهوم خطوط تراز هیدرولیکی و انرژی درک می شود.

سوال: خطوط تراز هیدرولیکی و انرژی را برای لوله تحت فشار به مشخصات زیر با رسم جدول ترسیم نمایید.

برای قسمت A تا B داریم:  $V=2.446 \text{ m/s}$      $L=61 \text{ m}$      $D=305 \text{ mm}$      $F=0.002$

برای قسمت C تا D داریم:  $L=30 \text{ cm}$      $D=153 \text{ mm}$      $F=0.015$

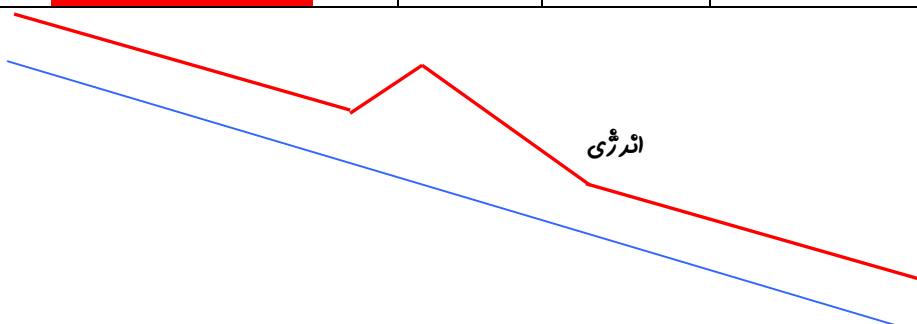
برای قسمت E تا F داریم:  $L=30 \text{ cm}$      $D=305 \text{ mm}$      $F=0.02$



نقاط	رابطه محاسباتی	ارتفاع خط انرژی	$\frac{V^2}{2g}$	ارتفاع خط هیدرولیک $\frac{P}{\gamma} + Z$
A		۲۰،۳۰۵	۰،۳۰۵	۲۰
A-B	$hL = F \frac{LV^2}{D2g} = 1.22$	۱۹۹،۰۹	۰،۳۰۵	۲۰،۰-۱،۲۲=۱۹۸،۷۸
B-C	$hL = \frac{KV^2}{2g} (K = 0.22) = 1.07$	۲۰،۲۰۹	۴،۸۸	۱۹۷،۷۱
C-D	$hL = F \frac{LV^2}{D2g} = 14.59$	۱۸۸	۴،۸۸	۱۸۳،۲
D-E	$\frac{(V1-V2)^2}{2g} = hL = 2.75$	۱۸۰،۶۷۵	۰،۳۰۵	۱۸۰،۳۷
E-F	$hL = F \frac{LV^2}{D2g} = 0.61$	۱۸۰،۰۷	۰،۳۰۵	۱۷۹،۷۶

هیدرولیکی

انرژی



از نمودار بدست آمده نتیجه میشود که خط هیدرولیکی همواره رو به کاهش است مگر آنکه نیرویی همانند پمپ در مسیر جریان قرار گیرد ولی خطوط انرژی با توجه به تغییر قطر و در نتیجه تغییر سرعت، کاهش و افزایش مییابد و همچنین نتیجه میشود که خط انرژی همواره از خط هیدرولیکی بیشتر است.

به زبان علمی تر میتوان گفت نحوه اتصال لوله ها به یکدیگر باعث تغییر سیستم هیدرولیکی نمیشود.

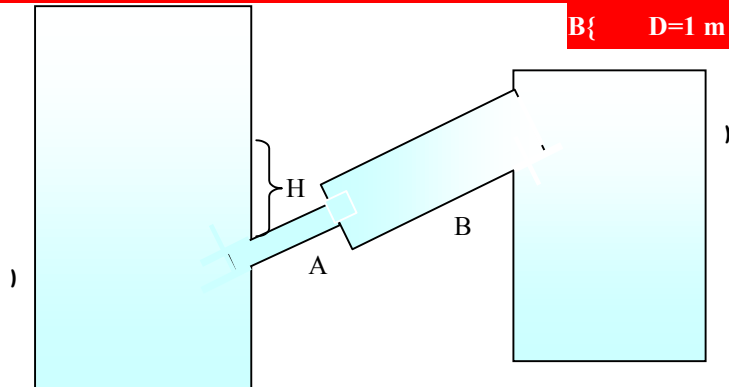
لوله های سری: اگر دو یا چند لوله با طولها، قطرهای و جنس های متفاوت و پشت سرهم متصل شده باشند آن لوله ها بصورت سری میباشند. در لوله های سری افت کل برابر مجموع افتهای لوله ها میباشد  $hL = hL_1 + hL_2 + \dots + hL_n$

در لوله های سری دبی در تمام لوله ها باهم برابرند  $Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$

برای حل مسائل سری درحالتی که مقدار اختلاف ارتفاع در دو مخزن معلوم باشد و مقدار دبی مجهول، بصورت زیر عمل

میشود. مثال:  $A \{ \quad D=600 \text{ mm} \quad L=300 \text{ mm} \quad \epsilon = 2 \text{ mm} \quad \mu = 3 * 10^{-6} \quad H=6 \text{ m} \quad \}$

$B \{ \quad D=1 \text{ m} \quad L=240 \text{ m} \quad \epsilon = 0.3 \text{ mm} \quad \}$



با استفاده از رابطه برنولی بین مخازن ۱ و ۲، رابطه زیر

بدست می آید. توجه:  $K$  در زمانی مطرح است که تغییر قطر داشته باشیم و این تغییر قطر از سمت افزایش به کاهش مطرح میباشود در زمانی که از قطر کم به قطر زیاد تغییر شکل داشته باشیم مقدار  $K$  عدد یک خواهد بود. در نتیجه مقدار  $K$  در محل اتصال لوله A به مخزن برابر ۰.۵ و در محل های اتصال A به B و B به A مقدار  $K$  عدد یک خواهد بود. سطح مقایسه را در پایین انتخاب کرده و رابطه برنولی را مینویسیم

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma_1} + Z_1 - hL = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma_2} + Z_2 \Rightarrow 0 + 0 + H - hL = 0 + 0 + 0$$

$$H = \left( K \frac{V_1^2}{2g} + f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} + \frac{(V_1 + V_2)^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g} + \frac{(V_2 + 0)^2}{2g} \right) \Rightarrow V_2 = V_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

$$6 = \frac{V_1^2}{2g} \left[ K + \frac{f_A L_A}{D_A} + \left\{ 1 - \left( \frac{D_A}{D_B} \right)^2 \right\}^2 + \frac{f_B L_B}{D_B} * \left( \frac{D_A}{D_B} \right)^4 + \left( \frac{D_A}{D_B} \right)^4 \right]$$

$$6 = \frac{V_1^2}{2g} \left[ 0.5 + \frac{f_A 300}{0.6} + \left\{ 1 - \left( \frac{0.06}{1} \right)^2 \right\}^2 + \frac{f_B 240}{1} * \left( \frac{0.6}{1} \right)^4 + \left( \frac{0.6}{1} \right)^4 \right]$$

$$6 = \frac{V_1^2}{2g} [1.039 + 500 f_A + 31.104 f_B] \quad \text{بدست آوردن } f_B \text{ و } f_A \text{ اولیه}$$

$$f_A = \left[ \frac{\epsilon}{D} = \frac{2}{600} = 0.0033 \right] \Rightarrow f_A = 0.026, \quad f_B = \left[ \frac{\epsilon}{D} = \frac{0.03}{1000} \right] \Rightarrow f_B = 0.015$$

$$6 = \frac{V_1^2}{2g} [1.039 + 500(0.026) + 31.104(0.015)] \Rightarrow V_1 = 2.848 \text{ m/s}, \quad V_2 = 1.025 \text{ m/s}$$

حال با  $V_1$  و  $V_2$  میتوان  $f_2$  و  $f_1$  را بدست آورد.

$$f_A = \begin{cases} \frac{\epsilon}{D} = 0.0033 \\ \frac{VD}{\nu} = Re = 569600 \end{cases} \Rightarrow f_1 = 0.0265, \quad f_B = \begin{cases} \frac{\epsilon}{D} = 0.0003 \\ Re = 341.667 \end{cases} \Rightarrow f_2 = 0.0168$$

با استفاده از  $f_1$  و  $f_2$  میتوان  $V_1$  و  $V_2$  را بدست آورد.  $V_1=2.819 \text{ m/s}$  و  $V_2=1.014$ .

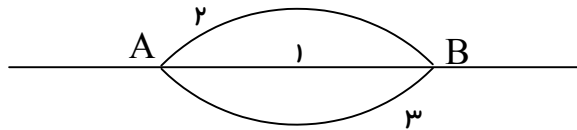
$$Q_1 = A_1 * V_1 = \frac{\pi D^2}{4} * 2.819 = 0.797 \text{ m}^3 / \text{S}$$

انواع شبکه های اتصال لوله ها :

سری - انشعابی - حلقوی - موازی

لوله های موازی در لوله های موازی:  $QA = Q_1 + Q_2 + Q_3$  درنتیجه

$$\sum hL = \sum hL_1 = \sum hL_2 = \sum hL_3$$



در حالت اساسی برای حل مسائل مربوط به لوله های موازی وجود دارد، یا دبی هر شاخه مجهول است که از فرمول

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

استفاده میشود و در حالت دوم افت فشار مجهول است که مطابق مثال زیر با استفاده از روش سعی

و خطا قابل حل میباشند.

مسئله:  $Q$  واقعی برابر  $340$  می باشد

اگر  $F_1=0.021$ ,  $D_1=300\text{mm}$ ,  $L_1=900\text{m}$

و اگر  $L_2=600\text{m}$ ,  $D_2=200\text{mm}$ ,  $F_2=0.019$

و اگر  $L_3=1200\text{m}$ ,  $D_3=400\text{mm}$ ,  $F_3=0.019$

با در نظر گرفتن یک دبی فرضی جهت شاخه یک شروع می کنیم

$$Q_1 = 85 \text{ lit} / \text{S} \Rightarrow V_1 = \frac{Q_1}{A_1} = 1.2 \text{ m/s} \Rightarrow hL_1 = 0.021 * \frac{900}{0.3} * \frac{(1.2)^2}{2g} = 4.62 \text{ m}$$

با استفاده از افت بدست آمده، دبی های دیگر شاخه ها بدست می آید.

$$hL_2 = 4.62 = 0.019 * \frac{600}{0.2} * \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow V_2 = 1.26 \Rightarrow Q_2 = 40.11 \text{ lit} / \text{S}$$

$$hL_3 = 4.62 = 0.019 * \frac{200}{0.4} * \frac{V_3^2}{2g} \Rightarrow V_3 = 1.259 \Rightarrow Q_3 = 158.2 \text{ lit} / \text{S}$$

$$Q = 85 + 40 + 158.2 = 283.31 \text{ lit} / \text{S} \quad \text{کل فرضی بدست می آید}$$

با توجه به اینکه مجموع دبی های بدست آمده با دبی واقعی برابر نیست لذا از تناسب دبی های هر شاخه را مجددا حساب

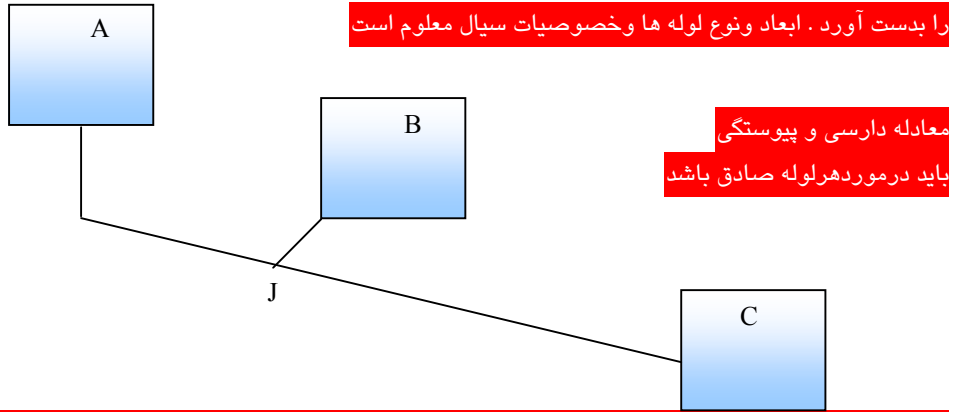
$$\Rightarrow Q_1 = 102 \quad \text{میکنیم.} \quad \frac{340}{85} = \frac{283.31}{?} \quad \text{به همین ترتیب } Q_2=48.31, Q_3=189.8$$

$$Q_1 = A_1 * V_1 \Rightarrow V_1 = \frac{Q_1}{A} = 1.443 \text{ m/s} \quad \text{و} \quad Q_1 = 102 \Rightarrow hL = \frac{FL V^2}{D 2g} \Rightarrow hL =$$

$$hL_1 = 0.021 * \frac{90}{0.3} * \frac{(1.443)^2}{2 * 9.8} = 6.69, \quad hL_2 = 6.69$$

لوله های انشعابی:

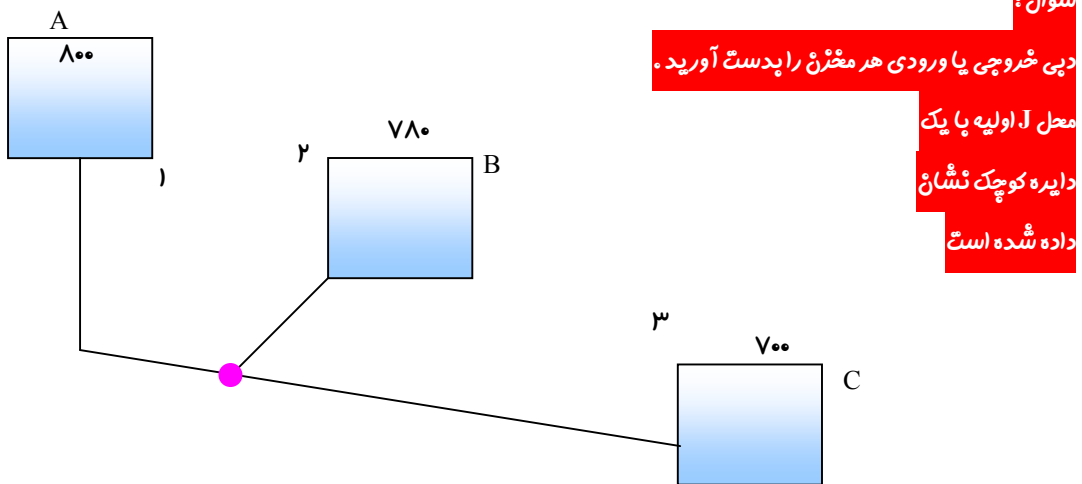
در این سیستم ارتفاع (الویشن) منابع مشخص است و باید جریان هر لوله



جریان میبایست از بالاترین منبع خارج و وارد پایین ترین منبع گردد همچنین جریان وارد شده به نقطه تقاطع J باید دقیقاً برابر با جریان خروجی از تقاطع باشد . معادله پیوستگی با توجه به محل نقطه J به یکی از دو صورت زیر خواهد بود .

J بین A و B  $Q_A = Q_B + Q_C$  و J بین B و C  $Q_A + Q_B = Q_C$

روش حل مسائل : ابتدا ارتفاع نقطه J را بصورت فرضی در نظر میگیریم از این ارتفاع مقادیر QA و QB و QC را محاسبه میکنیم و آنها را در معادله پیوستگی قرار میدهیم . اگر جریان ورودی به تقاطع خیلی زیاد باشد باید ارتفاع نقطه J را زیادتیر در نظر بگیریم و اگر خیلی کم باشد کمتر .



Pei	L Km	D mm	ε mm
۱	۵	۳۰۰	۰.۳
۲	۲	۱۵۰	۰.۳
۳	۴	۳۵۰	۰.۳

برای چنین جریانی که مطابق شکل فوق باشد  $Q_3 = Q_1 + Q_2$  . برای بدست آوردن دبی هر شاخه نیاز به سرعت است و با استفاده از معادله داریسی آن را بدست میآوریم . جهت بدست آوردن افت فشار باید الویشن ۱ را از الویشن نقطه کسر نمود و چون الویشن نقطه اتصال را هم نداریم لذا برای آن یک الویشن معقول را حدس میزنیم . فرض اولیه  $h_J = 750$

$hL_1 = 800 - 750 = 50m$       $hL_2 = 780 - 750 = 30m$       $hL_3 = 700 - 750 = -50m$

$H = f \frac{L V^2}{D 2g}$       $f = \left[ \begin{matrix} \epsilon / D = 0.0001 \\ Re = ? \end{matrix} \right] \Rightarrow f = 0.012 \Rightarrow V_1 = 2.1 \Rightarrow Q_1 = 140$

به روش فوق  $Q_2 = 30$  و  $Q_3 = 250$  خواهد شد  $Q_1 + Q_2 = Q_3$  در نتیجه  $170 = 50 + 140$  که این رقم از ۲۵۰ بدست آمده برای  $Q_3$  کمتر است لذا فرض دوم برای  $h_J = 740$  را در نظر می گیریم .

$$\begin{aligned}
 hL_1 &= 60 & Q_1 &= 160 \\
 hL_2 &= 40 & \Rightarrow Q_2 &= 35 \rightarrow 160 + 35 = 210 \\
 hL_3 &= -40 & Q_3 &= 310
 \end{aligned}$$

رقم ۲۱۰ نیز هنوز با  $Q_3$  بدست آمده (۲۱۰) برابریست

لذا فرض سوم را در نظر میگیریم  $hJ=735$

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= 165 \\
 Q_2 &= 37 \Rightarrow 165 + 37 = 200 \\
 Q_3 &= 200
 \end{aligned}$$

حالا رقم ۲۰۰ برابر  $Q_3$  محاسبه شده میباشد.

شبکه های حلقوی: مجموعه ای از لوله ها که به یکدیگر متصل باشند و جریان خروجی از چندین مسیر مختلف وارد و یا خارج گردند را شبکه حلقوی گویند. شرایط زیر برای شبکه لوله های حلقوی همواره برقرار است:

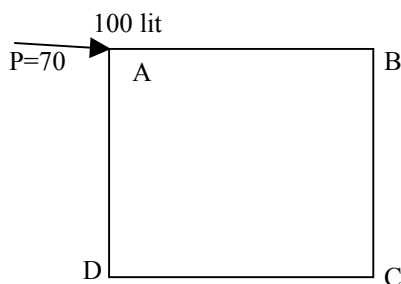
- ✓ جمع جبری افت فشار در اطراف هر مقدار (هر شاخه) باید صفر باشد.
- ✓ جریان ورودی به هر تقاطع یا اتصال باید برابر با جریان خروجی از آن باشد.
- ✓ معادله دارسی یا فرمول نهایی اصطکاک باید برای هر لوله صادق باشد یعنی رابطه صحیح بین هد اتلافی و دبی هر لوله وجود داشته باشد.

مراحل حل مسائل مربوطه:

- ♦ با توجه به دبی کل برای هر شاخه دبی حدس زده میشود.
- ♦ برای هر لوله مقدار افت را محاسبه میکنیم.
- ♦ جمع جبری افت ها و جمع جبری  $\frac{hL}{Q}$  کل شبکه را بدست می آوریم.
- ♦ با استفاده از رابطه  $\Delta Q = \frac{\sum hL}{2 \sum \frac{hL}{Q}}$  تفاوت بین دبی واقعی و دبی فرضی بدست می آید.
- ♦ عدد بدست آمده را از دبی های فرضی کم میکنیم.
- ♦ با استفاده از دبی های جدید مقادیر  $hL$  و  $\sum hL$  و  $\sum \frac{hL}{Q}$  را بدست آورده و مجددا مقدار تفاوت را محاسبه

میکنیم.

- ♦ با داشتن افت فشار در هر شاخه و فشار در گره اول مقدار فشار در شاخه های بعدی را آوریم.



سوال:

$$l=1 \text{ Km} \quad D=300 \text{ mm} \quad P_A=70 \text{ m}$$

$$\Delta Q = \frac{\sum hL}{2 \sum \frac{hL}{Q}} \quad \text{و} \quad \epsilon = 0.03 \text{ mm}$$

لوله	Q (lit/S)	hL	$\frac{hL}{Q}$
AB	۶۰	۲	۰,۰۳۳۳
BC	۴۰	۰,۹۳	۰,۰۲۳۳
CD	۰	۰	۰
DA	۴۰-	۰,۹۳-	۰,۰۲۳۳-
$\Sigma$		۲	۰,۰۷۹۹

$$\Delta Q = \frac{\sum hL}{2 \sum \frac{hL}{Q}} \Rightarrow -\frac{2}{2 * 0.0799} = -12.5$$

حال عدد ۱۲.۵ را از دبی فرضی کم میکنیم

$$60 - 12.5 = 47.5, \quad 40 - 12.5 = 27.5, \quad 0 - 12.5 = -12.5, \quad -40 - 12.5 = -52.5$$

لوله	Q (lit/S)	hL	$\frac{hL}{Q}$
AB	۴۷.۵	۱.۳۲	۰.۰۲۷۴
BC	۲۷.۵	۰.۴۸	۰.۰۱۷۵
CD	۱۲.۵	۰.۱۲	۰.۰۰۹۵
DA	۵۲.۵	۱.۵۸	۰.۰۳۰۱
$\Sigma$		۰.۰۸	۰.۰۸۴۶

$$\Delta Q = \frac{\sum hL}{2 \sum \frac{hL}{Q}} \Rightarrow -\frac{0.08}{2 * 0.0846} = -0.5 \text{ lit/S}$$

در نتیجه

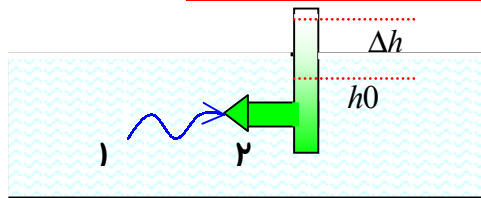
$$h_A = 70 \text{m}, \quad h_B = 70 - 1.3 = 68.7, \quad h_C = 68.7 - 0.48 = 68.22$$

اندازه گیری پارامترهای هیدرولیک (کمیت‌های مربوط به سیالات):

کمیت‌هایی که بیشتر با آن سروکار داریم عبارتند از: فشار - سرعت - دبی - امواج ضربه ای - چگالی - لزجت و غیره  
برای اندازه گیری فشار میتوان از وسایلی مانند پیزومترها - مانومترها - مانومترهای تفاضلی - دستگاه بودن و میکرو  
مانومترها استفاده نمود.

اندازه گیری سرعت: با تعیین سرعت در تعدادی از نقاط سطح مقطع می توان دبی سیال را تعیین نمود. اندازه گیری سرعت  
از مهمترین عوامل اندازه گیری میباشد.

یکی از وسایل اندازه گیری سرعت پیتوت میباشد (هم تحت فشار و هم مجاری آزاد)



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

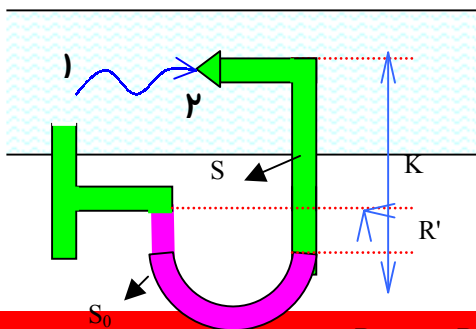
پس از

$$h_0 + \frac{V_1^2}{2g} = (h_0 + \Delta h) + 0$$

در نتیجه  $V = \sqrt{2g\Delta h}$  لذا برای سرعت خواهیم داشت

لوله پیتوت در لوله های تحت فشار:

جهت بدست آوردن سرعت علاوه بر لوله پیتوت از یک مانومتر نیز استفاده میشود.



$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

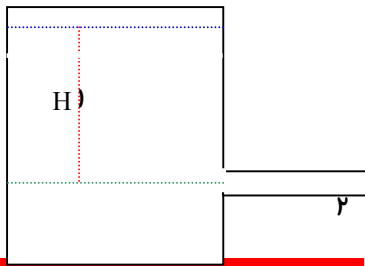
$$\frac{P_1}{\gamma} S + KS + R'S_0 - (R'+K)S = \frac{P_2}{\gamma} S \Rightarrow \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = R' \left( \frac{S_0}{S} - 1 \right) \Rightarrow V_1 = \sqrt{2gR' \left( \frac{S_0}{S} - 1 \right)}$$

باید توجه داشته باشیم که اگر فاصله بین نقطه ۱ و ۲ زیاد باشد آنگاه میبایست افت فشار را نیز محاسبه نماییم.

ادویفیس یا دبی سنج :

وسیله ای است که بطور کلی با یک اندازه گیری منفرد کمیت مثل وزن و یا حجم سیال عبوری از سطح مقطع خاصی در واحد زمان تعیین می گردد. از جمله دبی سنجها میتوان ادویفیس - نازل - ونتوری متر - رونامتر و سرریز را نام برد.

ادویفیس در یک مخزن :



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

دبی واقعی  $Q_a$  خروجی از ادویفیس حاصل ضرب سرعت واقعی در سطح انقباض کامل و سطح فوران میباشد. نسبت سطح فوران  $A_2$  در محل انقباض کامل به مساحت ادویفیس  $A_0$  را با ضریب دیگری مشخص می کنند که ضریب انقباض  $C_c$  نامیده میشود.

$$V_a = C_v \sqrt{2gh} \quad \text{که} \quad CV = \frac{V_a}{V_t} \quad \text{همان ضریب فشردگی میباشد}$$

دبی واقعی  $Q_a$  خروجی از ادویفیس حاصل ضرب سرعت واقعی در سطح انقباض کامل و سطح فوران میباشد. نسبت سطح فوران  $A_2$  در محل انقباض کامل به مساحت ادویفیس  $A_0$  را با ضریب دیگری مشخص می کنند که ضریب انقباض  $C_c$  نامیده میشود.

$$Cd = C_v C_c \Rightarrow Q_a = Cd A_0 \sqrt{2gh} \quad \text{و} \quad Cc = \frac{A_2}{A_0} \Rightarrow Q_a = C_v C_c A_0 \sqrt{2gh} \quad \text{ضریب} \quad Cd$$

تخلیه میباشد.

ادویفیس در لوله های تحت فشار :

چون تغییرات سرعت و تغییرات فشار وجود دارد لذا میتوان از قانون برنولی استفاده کرد.

$$\text{معادله انرژی} \quad \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{چون} \quad Z_1 = Z_2 \quad \text{در نتیجه}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma}, \quad Q_1 = Q_2 \Rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$\Rightarrow V_1 = V_2 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2, \quad \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \Rightarrow \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{((V_2 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2)^2)}{2g}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} [1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4] \Rightarrow V_2^2 = \frac{\left( \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right) 2g}{1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4}$$

$D_2$  را با اعمال ضریب بر  $D_1$  بدست آوریم.

$$C_c = \frac{A_2}{A_0} \Rightarrow A_2 = C_c A_0 \Rightarrow \frac{\pi D_2^2}{4} = C_c \frac{D_0^2}{4} \Rightarrow D_2^2 = C_c D_0^2 \Rightarrow V_2 = \sqrt{\frac{2g \left( \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right)}{1 - C_c^2 \left( \frac{D_0}{D_1} \right)^4}}$$

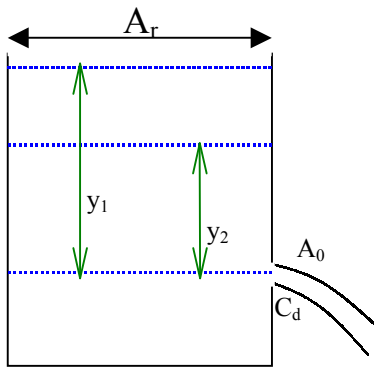
توجه داشته باشیم که سرعت بدست آمده یک سرعت محاسبه شده و تئوری است ولی در واقعیت باید فرمول بدست آمده در ضریب سرعت ضرب گردد تا سرعت واقعی بدست آید.

$$V_2 = C_v \sqrt{\frac{2g \left( \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right)}{1 - C_c^2 \left( \frac{D_0}{D_1} \right)^4}}$$

در این فرمول  $D_0$  برابر قطر ادویفیس و  $D_1$  برابر قطر لوله است. حال باید  $P_1 - P_2$  را از مانومتر بدست آوریم

$$\frac{P_1}{\gamma} S_1 + K S_1 + R_1' - R' S_0 + K S_1 = \frac{P_2}{\gamma} S_1 \Rightarrow \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = R' \left( \frac{S_0}{S_1} - 1 \right)$$

$$Q_a = C_d A_0 \sqrt{\frac{2g R' \left( \frac{S_0}{S} - 1 \right)}{1 - C_c^2 \left( \frac{D_0}{D_1} \right)^4}}$$



ادویفیس در مخازن ( جریان ناپایدار)

حجم آب در مخزن =  $A_r dy$

حجم آب خارج شده از ادویفیس  $Q dt$

$$A_r dy = C_d A_0 \sqrt{2g y l} * dt \leftarrow A_r dy = Q dt$$

در معادله فوق از سمت چپ نسبت به زمان و از سمت راست نسبت به  $y$  انتگرال می گیریم.

$$dt = \frac{A_r dy}{C_d A_0 \sqrt{2g y}} \Rightarrow t = \frac{A_r}{C_d A_0 \sqrt{2g}} \int_{y_1}^{y_2} \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} dy \Rightarrow t = \frac{2 A_r}{C_d A_0 \sqrt{2g}} (\sqrt{y_1} - \sqrt{y_2})$$

ونتوری متر جهت اندازه گیری دبی در لوله ها کاربرد دارد و دارای قسمتهای زیر است:

(۱) بخش بالا دست جریان که قطر آن برابر قطر لوله است و دارای یک آستر برنزی و یک حلقه پیزومتری برای تعیین فشار استاتیک است.

(۲) یک قسمت مخروطی همگرا.

(۳) یک گلوگاه استوانه ای با آستر برنزی و مجهز به حلقه پیزومتری.

(۴) یک قسمت مخروطی با واگرایی تدریجی که نهایتاً اندازه آن برابر قطر لوله میشود ضمناً یک مانومتر دیفرانسیلی به حلقه های پیزومتری متصل است. توجه: اندازه ونتوری متر با قطر لوله و گلوگاه آن مشخص میشود. بعنوان مثال ونتومتر ۶ در ۴ یعنی قطر لوله ۶ Cm و قطر گلوگاه ۴ Cm است. برای دقت بیشتر باید طول ونتومتر حداقل ۱۰ برابر قطر لوله باشد.

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

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h = \frac{P_2}{\gamma} + 0 + \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow V_1 = V_2 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2 \rightarrow \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + h = \frac{V_2^2}{2g} \left( 1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right)$$

$$V_t = \sqrt{\frac{2g \left( \frac{P_1 - P_2}{\gamma} - h \right)}{1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4}}$$

در نتیجه سرعت تئوری برابر است با

$$Va = C_v \sqrt{\frac{2g \left( \frac{P_1 - P_2}{\gamma} - h \right)}{1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4}}$$

و سرعت واقعی نیز از رابطه بدست می آید.

$$Q = Va * A_2 = C_v A_2 V_1 \Rightarrow Q = A_2 C_v \sqrt{\frac{2g \left( h + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right)}{1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4}}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} S + (h + K + R') S - R' S_0 - K S = \frac{P_2}{\gamma} S \Rightarrow \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + h = R' \left( \frac{S_0}{S} - 1 \right)$$

$$\Rightarrow Q = C_v A_2 \sqrt{\frac{2g R' \left( \frac{S_0}{S} - 1 \right)}{1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4}}$$

سوال : یک اودیفیس با قطر ۱۰۲ mm تحت ارتفاع ۶٫۱ m قرار دارد . دبی را در صورتی که ضریب تخلیه ۰٫۵۹۴ باشد را حساب کنید .

$$Q = Cd A_0 \sqrt{2gh} , \quad Q = 0.594 * A * \sqrt{2gh} = 0.053$$

سوال : سطح مقطع یک مخزن برابر ۲ متر مربع و برای اودیفیس به قطر ۱۰۰ mm و  $Cd=0.65$  است . زمان لازم برای آنکه سطح مایع درون مخزن را از ۲٫۵ به ۱ متر بالاتر از اودیفیس برسد را حساب کنید .

$$t = \frac{2 * 2}{\frac{0.65 * \pi * 0.12}{4} \sqrt{2 * 9.8}} (\sqrt{2.5} - \sqrt{1}) \Rightarrow t = 102.65 \text{ S}$$

سوال : جریان آب به سمت بالا از درون یک ونتوری متر با ابعاد ۱۵۰×۳۰۰ mm که ضریب آن ۹۸ درصد است مانومتر دیفرانسیلی که حاوی یک سیال با چگالی ۱٫۲۵ اختلاف ارتفاع ۱٫۱۸ را نشان می دهد .

$$\begin{matrix} S=1 & S_0=1.25 & CV=0.98 \\ D_2=150 & D_1=300 & R'=1.18 \end{matrix}$$

$$Q = CV A_2 \sqrt{\frac{2g R' \left( \frac{S_0}{S} - 1 \right)}{1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4}} \Rightarrow \frac{0.98 * \pi * (0.15)^2}{4} * \sqrt{\frac{2 * 9.8 * 1.18 \left( \frac{1.25}{1} - 1 \right)}{1 - \left( \frac{0.15}{0.3} \right)^4}} = 0.04$$

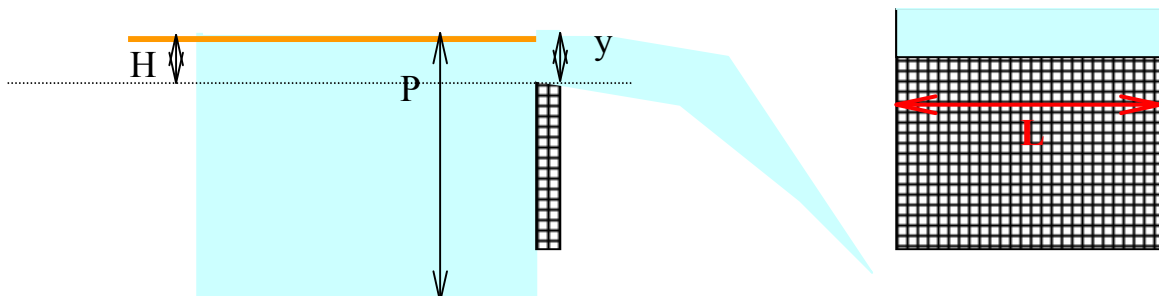
سرریزها :

وسایلی هستند جهت اندازه گیری دبی در کانالهای روباز و دو دسته هستند:

۱- سرریزها      ۲- یادشال فلوم

سرریزها به دو صورت لبه تیز و لبه پهن قابل بهره گیری است .

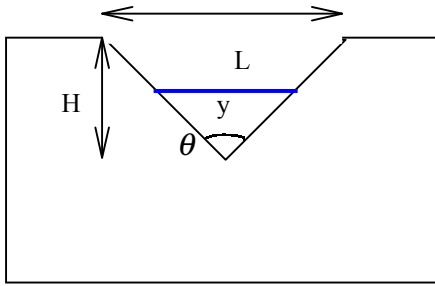
سرریز مربع شکل با تاج تیز دارای تاج افقی : ( بدون فشردگی)



$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \rightarrow 0 + 0 + H = 0 + H - y + \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow V_2 = \sqrt{2gy}$$

نتیجه فوق مربوط به سرعت تئوری می‌باشد. با توجه به نتیجه حاصله، دبی تئوری نیز بدست می‌آید.  $Qt = \int VdA = \int_0^H \sqrt{2gy}Ldy = \sqrt{2g}L \int_0^H y^{1/2} dy \Rightarrow Qt = 2/3 \sqrt{2g}LH^{3/2}$ .  $L$  برابر عرض سرریز و  $H$  معرف ارتفاع آب اولیه سرریز می‌باشد. با ضرب  $Qt$  در ضریب تخلیه  $Cd$ ، دبی واقعی بدست می‌آید.

تجربه نشان داده است که توان  $H$  صحیح است ولی ضریب آن بسیار بزرگ می‌باشد. انقباض ها و افت‌های موجود موجب کاهش دبی واقعی تا حد ۶۲ درصد مقدار تئوری می‌شود.



$$Q = \begin{cases} 3.33LH^{3/2} & USC \\ 1.84LH^{3/2} & SI \end{cases}$$

سرریز مثلثی شکل: ( شکل V ):

در شکل روپرو  $y$  معرف ارتفاع آب بالای سرریز و  $\theta$  زاویه مثلث سرریز و  $L$  عرض سرریز است.

$$Qt = \int_0^H VdA = \int_0^H Vx dy \Rightarrow Qt = \int_0^H \sqrt{2gy} * \frac{1}{H}(H-y)dy$$

با توجه به تشابه مثلث داریم  $\frac{x}{H-y} = \frac{L}{H}$

$$Qt = \sqrt{2g} \int_0^H \sqrt{g} * \left(\frac{1}{H}(H-y)\right) dy \Rightarrow Qt = 2g \frac{1}{H} \int_0^H \sqrt{y}(H-y) dy = \frac{4}{15} \sqrt{2g} \frac{L}{H} H^{5/2}$$

$$\Rightarrow \tan \theta / 2 = \frac{1/2}{H} \Rightarrow \frac{L}{2H} = \tan \theta / 2 \rightarrow Qt = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \theta / 2 H^{5/2}$$

$$Qa = Cd \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \theta / 2 H^{5/2} \Rightarrow Q = \begin{cases} 2.5 H^{2.5} & USC \\ 1.38 H^{2.5} & SI \end{cases}$$

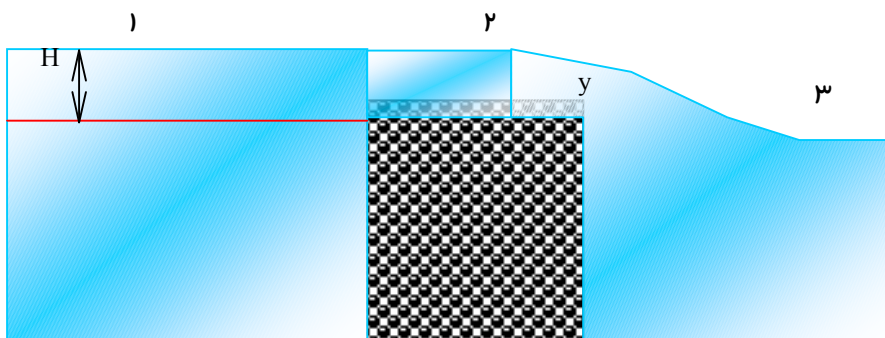
توان موجود در معادله تقریباً صحیح است اما ضریب آن باید تا حدود ۴۲٪ کم گردد زیرا از انقباضات صرف نظر شده است

یک معادله تقریبی برای سرریز V شکل ۹۰ درجه بصورت فوق است

سرریز ذوزنقه شکل:

$$Q = 2/3 Cd \sqrt{2g}LH^{3/2} + \frac{8}{15} Cd \sqrt{2g} \tan \theta / 2 H^{5/2}$$

سرریز لبه پهن مستطیلی شکل:



معادله برنولی:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \rightarrow H = (y-H) + H + \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow V_2 = \sqrt{2gy(H-y)}$$

$$Q = AV \Rightarrow Q = V Ly \Rightarrow Q = \sqrt{2g(H-y)} Ly$$

L طول سرریز است که برابر عرض کانال میباشد.

سوال:

در یک کانال مستطیلی سرریز لبه تیزی به طول ۲٫۵ متر و ارتفاع آب روی سرریز ۰٫۵ متر می باشد. با توجه به اینکه ضریب تخلیه ۰٫۶۵۱ باشد مقدار دبی عبوری برحسب متر مکعب برثانیه را بدست آورید.

$$Q = 2/3 Cd \sqrt{2g} LH^{3/2} \Rightarrow Q = \frac{2}{3} * 0.651 * \sqrt{2g} * 2.5 * 0.5^{3/2} = 0.4 m^3 / S = 400lit$$

سوال:

در یک آزمایشی که با یک لوله به قطر ۳۰۰ میلی متر و آب انجام شد. اختلاف فشار ۲۸۰ میلی متر بوسیله مانومتر GLE به فاصله ۱۲۰ متر از هم نصب شده است. پس از محاسبه، دبی جریان ۰٫۲۳ مترمکعب برثانیه بدست آمد.

پاسخ:



$$h_1 = F \frac{L V^2}{D 2g}, Q = AV \Rightarrow V = \frac{Q}{A} \Rightarrow V = 3.25 m^3 / s$$

$$\frac{760mmHg}{280} \frac{1atm}{x} \Rightarrow x = hL = 3.81, F = \frac{hL * D * 2g}{L * V^2} = \frac{3.81 * 0.3 * 2 * 9.8}{120 * (3.25)^2} = 0.0176$$

$$P = 8600 - 0.085 * 0.67 = 490w$$

در صورتی که تمایل دارید تا مطالب و مقالات علمیتان در این سایت قرارگیرد با مدیریت سایت تماس بگیرید.

موفق باشید

فرزین نجفی پور

