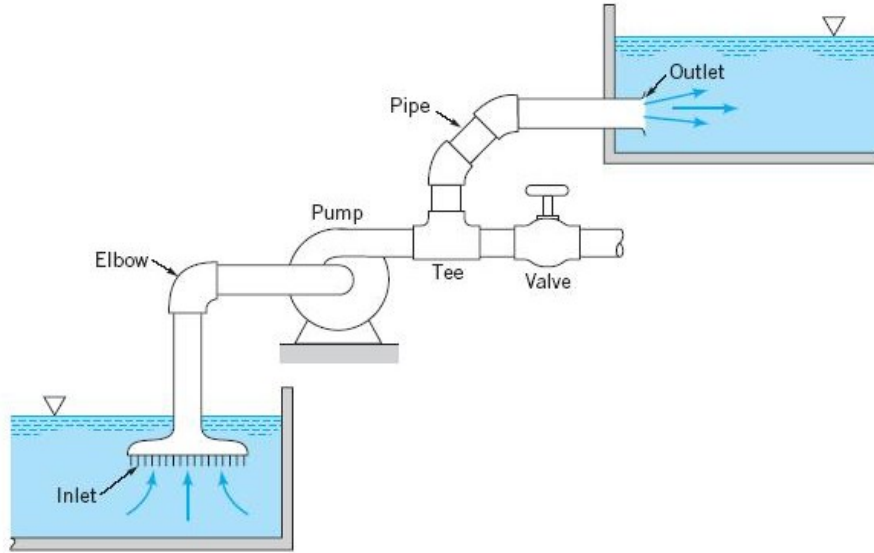


تحلیل جریان در لوله ها از نقطه نظر عملی و کاربردهای روزمره از اهمیت بسزایی برخوردار است. یک نمونه ساده از این سیستم لوله کشی در شکل زیر نمایش داده شده است:



Typical pipe system components.

توضیح پیرامون اجزای مختلف یک سیستم لوله کشی.....

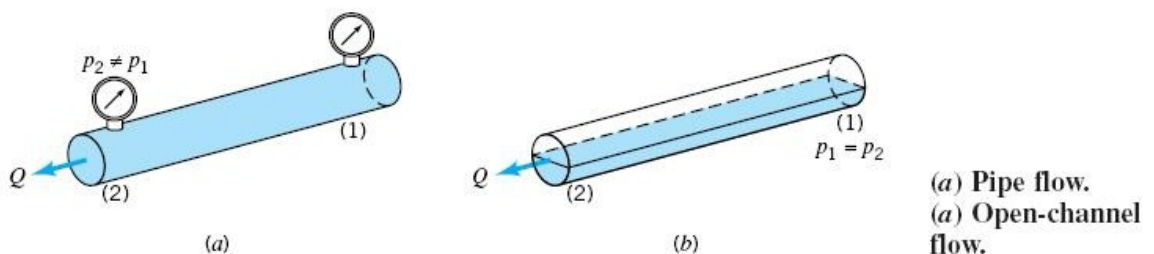
در ساده ترین حالت برای یک جریان لایه ای توسعه یافته در یک لوله می توان حل دقیق معادلات را بدست آورد ولی در سایر موارد از آنالیز ابعادی و ضرائب تجربی برای انجام محاسبات استفاده می شود.

کاربردها: محاسبه، طراحی و تحلیل شبکه های آبرسانی، نفت و گاز، کانالهای هوا و غیره

اهداف:

- یافتن دبی جریان در شرایط معلوم یک سیستم لوله کشی
- تعیین افت فشار در لوله ها تحت شرایط معین

در تحلیل مسائل جریان سیال در لوله ها، حالتی در نظر گرفته می شود که مقطع لوله کاملا پر از سیال باشد. مطابق شکل زیر:



(a) Pipe flow.
(a) Open-channel flow.

در حالتی که فقط قسمتی از سطح مقطع لوله از جریان سیال پر باشد از روابط مربوط به کانالهای باز و تحلیل مربوط به جریان با سطح آزاد استفاده می شود، که در فصلهای بعدی به آن خواهیم پرداخت.

۳-۱) رژیمهای جریان سیال در لوله ها

از Fluids II

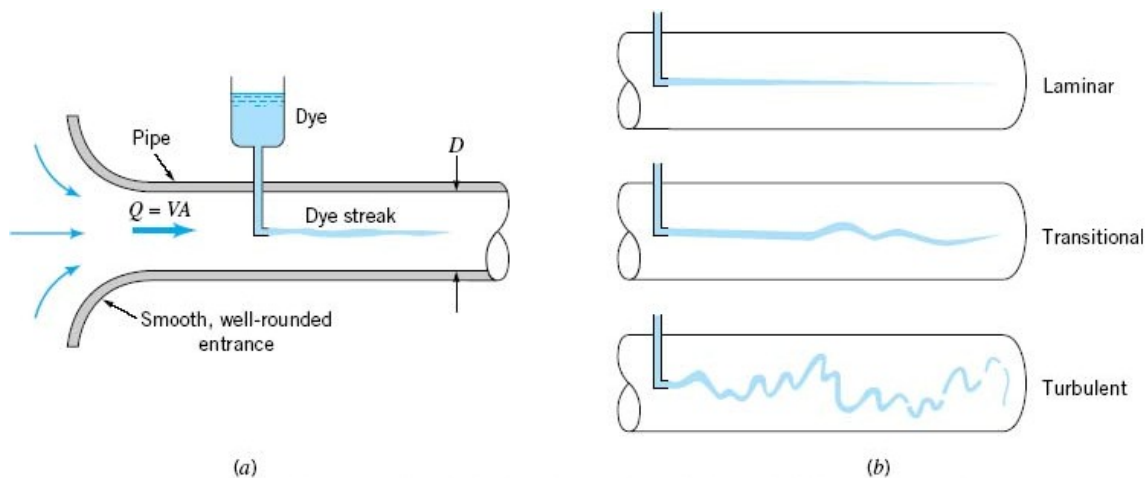
پرش به: [ناوبری](#)، [جستجو](#)

جریان سیال در لوله ها می تواند یکی از سه حالت با رژیم زیر داشته باشد:

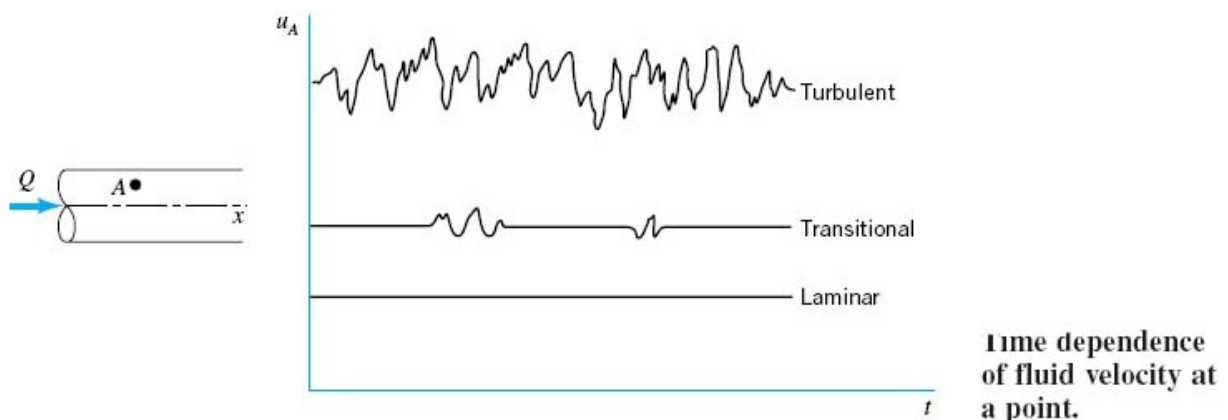
• جریان لایه ای (Laminar flow)

• جریان گذار (Transitional flow)

• جریان مغشوش (Turbulent flow)



رژیمهای جریان اولین بار توسط آزمایشات بعمل آمده توسط آزرورن رینولدز (Asborne Reynolds) معرفی شدند. شکل زیر اندازه گیریهای بعمل آمده از سرعت لحظه ای را در سه نوع جریان نشان میدهد:



رینولدز برای مشخص نمودن رژیم جریان عدد رینولدز را بصورت زیر تعریف کرد:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

که:

ρ = چگالی سیال

D = قطر لوله

V = سرعت متوسط در سطح مقطع لوله

μ = لزجت مولکولی سیال

Re = عدد رینولدز

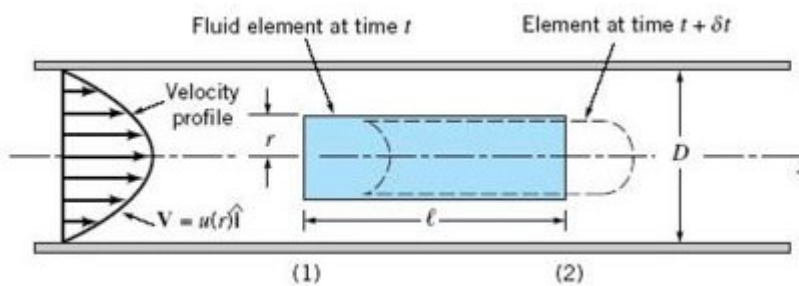
بصورت تقریبی برای $2100 < Re < 2300$ جریان لایه ای و برای $Re > 2300$ جریان در لوله ها مغشوش می باشد.

۳-۲- استفاده از قانون دوم نیوتن

از Fluids II

پرش به: [ناوبری](#)، [جستجو](#)

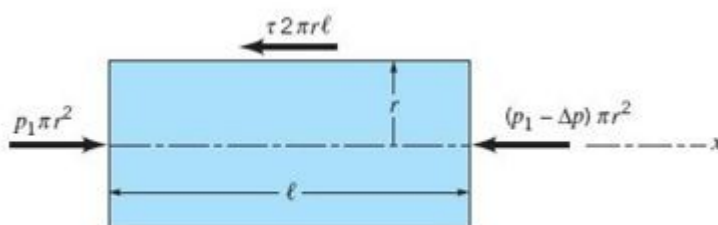
یک المان سیال را در یک لوله مطابق شکل زیر در نظر بگیرید:



Motion of a cylindrical fluid element within a pipe.



نیروهای وارد بر این المان در شکل زیر نمایش داده شده اند:



Free-body diagram of a cylinder of fluid.



با استفاده از قانون دوم نیوتن داریم:

$$P_1(\pi r^2) - (P_1 - \Delta P)\pi r^2 - \tau(2\pi r\ell) = 0$$

(3-3)

$$\rightarrow \frac{\Delta P}{\ell} = \frac{2\tau}{r}$$

با توجه به اینکه ΔP و ℓ مستقل از r می باشند، سمت راست معادله فوق نیز بایستی مستقل از r بوده و داریم:

$$\frac{\tau}{r} = c \rightarrow \tau = cr$$

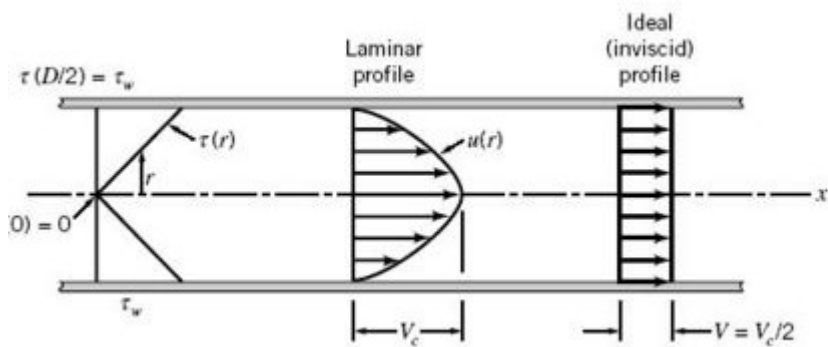
که C یک ضریب ثابت است.

اگر تنش برشی بر روی دیواره $(r = \frac{D}{2})$ را با τ_w نمایش دهیم داریم:

(4-3)

$$C = \frac{2\tau_w}{D} \rightarrow \tau = \frac{2\tau_w}{D}r$$

تغییرات تنش برشی در یک لوله در شکل زیر نشان داده شده است:



Shear stress distribution within the fluid in a pipe (laminar or turbulent flow) and typical velocity profiles.



با توجه به توزیع تنش برشی داریم:

$$\Delta P = \frac{4\ell\tau_w}{D}$$

(3-5)

بایستی توجه نمود که معادلات (3-3) تا (3-5) برای هر دو رژیم لایه ای و مغشوش معتبر می باشند. با این حال ارتباط تنش برشی τ به سرعت در این دو رژیم متفاوت بوده و برای ادامه بررسی تحلیل جریان ابتدا بایستی این وابستگی را پیدا نمود.

برای جریان لایه ای یک سیال نیوتنی در لوله داریم:

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

(3-6)

در نتیجه داریم:

$$\begin{aligned} \frac{du}{dr} &= -\left(\frac{\Delta P}{2\mu\ell}\right)r \\ \rightarrow \int du &= -\frac{\Delta P}{2\mu\ell} \int r dr \\ \rightarrow u &= -\left(\frac{\Delta P}{4\mu\ell}\right)r^2 + C_1 \end{aligned}$$

از شرط مرزی عدم لغزش بر روی دیواره لوله داریم:

$$r = \frac{D}{2} \rightarrow u = 0 \rightarrow C_1 = \left(\frac{\Delta P}{16\mu\ell}\right)D^2$$

و در نتیجه پروفیل سرعت برای جریان توسعه یافته لایه ای در یک لوله بصورت زیر می باشد:

$$u(r) = \left(\frac{\Delta P D^2}{16\mu\ell}\right) \left[1 - \left(\frac{2r}{D}\right)^2\right] = V_c \left[1 - \left(\frac{2r}{D}\right)^2\right]$$

که:

(7-3)

$$V_c = \frac{\Delta P D^2}{16\mu\ell}$$

و V_c سرعت جریان در خط مرکزی لوله است.

و یا بصورت دیگری داریم:

$$u(r) = \frac{\tau_w D}{4\mu} \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$$

و $R = \frac{D}{2}$ شعاع لوله می باشد.

برای محاسبه دبی جریان در لوله داریم:

$$Q = \int u dA = \int_0^R u(r) 2\pi r dr = 2\pi V_c \int_0^R [1 - (\frac{r}{R})^2] r dr$$

و یا

$$Q = \frac{\pi R^2 V_c}{2}$$

برای محاسبه ی سرعت متوسط داریم:

(8-3)

$$\bar{V} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi r^2}$$

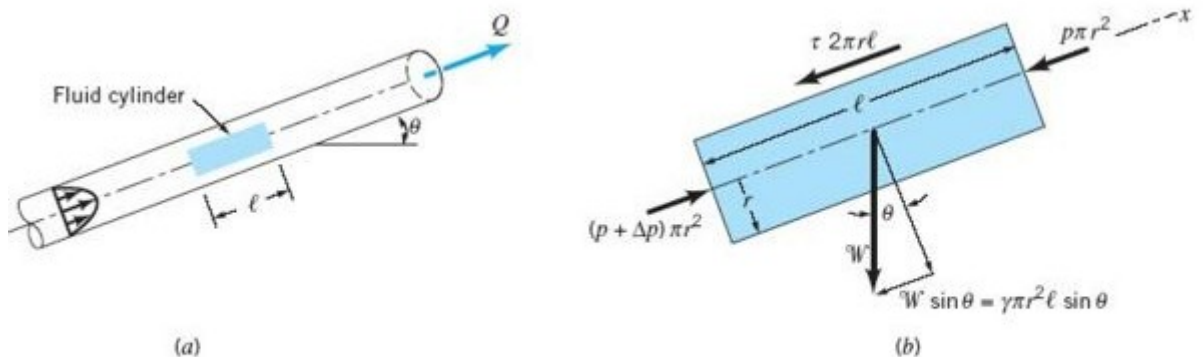
$$\rightarrow \bar{V} = \frac{\pi R^2 V_c}{2\pi R^2} = \frac{V_c}{2} = \frac{\Delta P D^2}{32\mu\ell}$$

و همچنین:

(9-3)

$$Q = \frac{\pi D^4 \Delta P}{128\mu\ell}$$

برای بررسی جریان لایه ای توسعه یافته در لوله های غیر افقی به شکل زیر توجه فرمائید:



pipe.

Free-body diagram of a fluid cylinder for flow in a nonhorizontal

در این شرایط داریم:

(3-10)

$$\frac{\Delta P - \gamma l \sin \theta}{\ell} = \frac{2\tau}{r}$$

و به راحتی می توان نشان داد که:

(3-11)

$$\bar{V} = \frac{(\Delta P - \gamma l \sin \theta) D^2}{32\mu \ell}$$

و

(3-12)

$$Q = \frac{\pi(\Delta P - \gamma l \sin \theta) D^4}{128\mu \ell}$$

۳-۲) جریان لایه ای توسعه یافته

از Fluids II

پرش به: [ناوبری](#)، [جستجو](#)

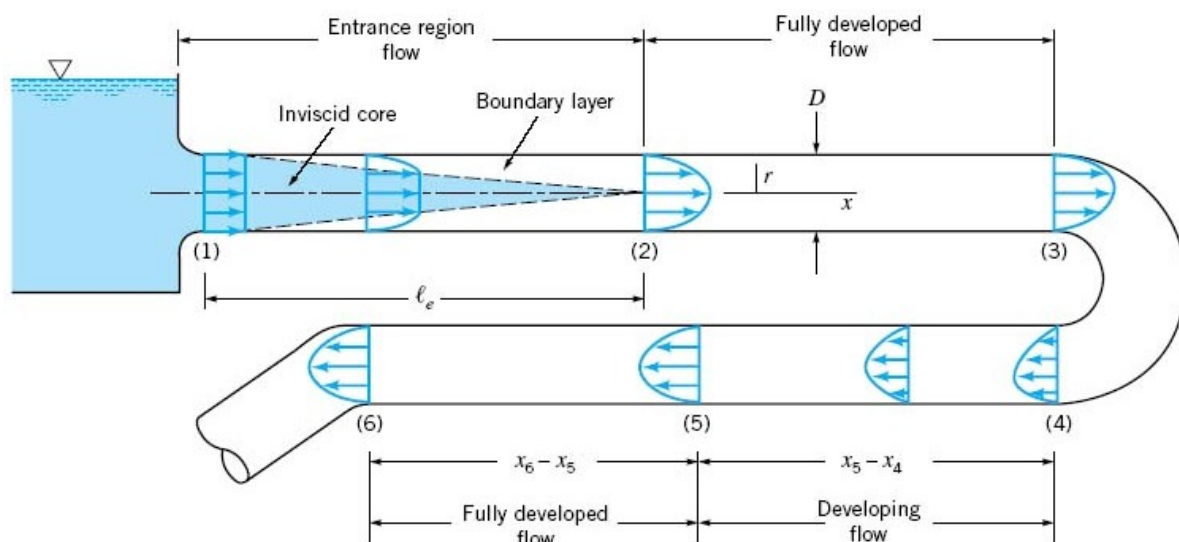
در صورتیکه طول لوله به اندازه کافی بلند بوده، جریان سیال در لوله به حالت توسعه یافته خواهد رسید. در قسمت توسعه یافته، پروفیل سرعت ثابت مانده و دیگر تغییر نمی کند. این مطلب برای هر دو رژیم لایه ای مغشوش معتبر است. با این حال جزئیات پروفیل سرعت در رژیمهای لایه ای و مغشوش کاملاً متفاوت می باشند. آگاهی از جزئیات پروفیل سرعت در یک جریان منجر به بدست آوردن اطلاعات مفید دیگری نظیر افت فشار، دبی جریان و غیره می گردد. بدین جهت در ادامه در خصوص پروفیل سرعت در جریانهای متفاوت بحث و گفتگو خواهد شد. هر چند که اکثر جریانهای واقعی مغشوش بوده، با این حال بررسی پروفیل سرعت در جریان لایه ای از دو نظر حائز اهمیت میباشد.

1) پروفیل سرعت جریان توسعه یافته بایه ای بصورت حل دقیق معادلات حاکم قابل بدست آوردن بوده و از این جهت پایه ای برای حل دقیق معادله ناویراستوکس در یک شرایط خاص می باشد.

2) برخی از جریانهای واقعی که از نظر عملیاتی و کاربردی اهمیت دارند، جریان لایه توسعه یافته می باشند

۳-۱-۲) ناحیه ورودی و جریان توسعه یافته

جریان داخل یک لوله بایستی از یک نقطه وارد لوله شده باشد. ناحیه ی نزدیک به محل ورود جریان به لوله را **ناحیه ورودی** می نامند. در این ناحیه لایه های مرزی تشکیل شده در جداره های لوله رشد نموده تا نهایتا در مرکز لوله بهم برسند. جریان توسعه یافته شده و پروفیل سرعت در لوله ثابت باقی مانده و تغییر نمیکنند. لازم به ذکر است که جریان در عبور از هر اتصالی (مانند زانویی، شیر آلات، تبدیل ها وغیره) مجددا از حالت توسعه یافتگی خارج شده و دوباره نیاز به یک طولی داشته تا بتواند به حالت توسعه یافتگی برسد.



Entrance region, developing flow, and fully developed flow in a pipe

system.

طول ناحیه ورودی به l_e همانند شکل پروفیل سرعت به رژیم جریان بستگی دارد و داریم:

$$\frac{l_e}{D} \approx 0.06 Re \quad \text{برای جریان لایه ای}$$

$$\frac{l_e}{D} = 4.4(Re)^{1/6} \quad \text{برای جریان مغشوش}$$

بعنوان مثال:

$$Re = 10 \rightarrow l_e = 0.6D$$

$$Re = 2000 \rightarrow l_e = 120D$$

$$10^4 < Re < 10^5 \rightarrow 20D < l_e < 30D$$

۱-۳-۳) فشار و تنش برشی در جریان درون لوله ها

از Fluids II

پرش به: [ناوبری](#)، [جستجو](#)

جریان سیال در لوله ها عمدتاً ناشی از دو عامل می باشد:

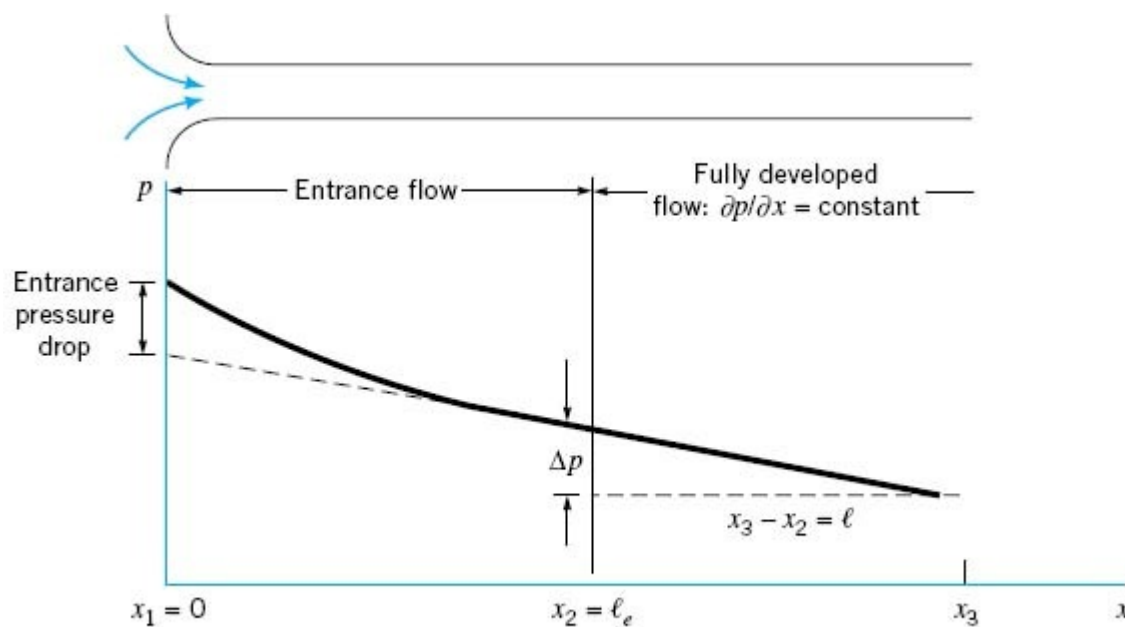
۱- اختلاف فشار

۲- جاذبه زمین

در لوله های افقی جاذبه زمین نقشی در حرکت سیال در درون لوله نداشته و صرفاً اثر ناچیزی در ایجاد اختلاف فشار هیدروستاتیکی در مقطع لوله دارد.

در جریان توسعه یافته در لوله های افقی یک تعادل بین اختلاف فشار و نیروهای لزجت (برشی) وجود دارد. در حالیکه در ناحیه ورودی در لوله های افقی که سیال دارای شتاب می باشد، تعادل بین اختلاف فشار، نیروی لزجت و اینرسی سیال می باشد.

تغییرات فشار در راستای لوله در شکل زیر نشان داده شده است. مشاهده می شود که افت فشار در ناحیه ورودی بیشتر از افت فشار در ناحیه توسعه یافته می باشد. ضمناً افت فشار در ناحیه توسعه یافته ثابت می باشد.



Pressure distribution along a horizontal pipe.

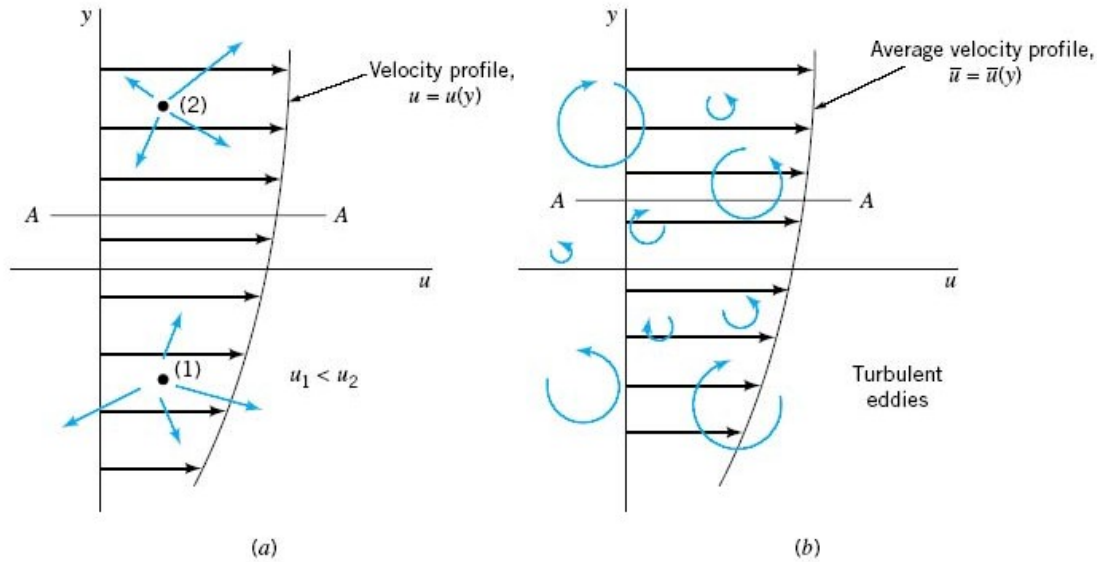
از دیدگاه نیرویی، نیروی فشار برای غلبه بر نیروی لزجت و چسبندگی سیال در درون لوله مورد نیاز است.

از دیدگاه انرژی، کار انجام شده توسط نیروی فشار برای جبران افت انرژی جریان در اثر کار نیروهای اصطکاکی لازم می باشد.

در لوله های غیر افقی بخشی از تغییرات فشار ناشی از نیروی جاذبه (وزن سیال) می باشد.

طبیعت جریان در لوله ها به شدت متاثر از رژیم جریان (لایه ای یا مغشوش) در لوله میباشد. این امر خود متاثر از تفاوت عمده در ماهیت و طبیعت تنشهای برشی لایه ای و مغشوش میباشد.

در جریان لایه ای تنش برشی ناشی از تبادل مومنتوم در سطح مولکولی بین لایه های جریان بوده در حالیکه در جریان مغشوش، تنش برشی ناشی از تبادل مومنتوم بین ساختارهای ماکروسکوپی جریان میباشد.



(a) Laminar flow shear stress caused by random motion of molecules.
 (b) Turbulent flow as a series of random, three-dimensional eddies.

• ۳- جریان سیال لزج در لوله ها

- ۳-۱-۲ ناحیه ورودی و جریان توسعه یافته
- ۳-۲-۲ جریان لایه ای توسعه یافته

جریان در لوله ها و مجراها

هدف: بررسی افت فشار در جریان تراکم ناپذیر در لوله ها در اثر اصطکاک

- در جریان غیر لزج معادله برنولی رابطه $\Delta\rho$ را با ΔV^2 و Δz بدست میدهد.
- در مسائل عملی قست عمده افت در لوله ها در قسمت هایی با سطح مقطع ثابت رخ میدهد.

افت اصلی magor losses

افت در شیرآلات و اتصالات و... که تغییر سرعت نیز رخ میدهد را تحت عنوان "افت فرعی" (minor losses) محاسبه می کنیم.

توزیع تنش برشی در جریان کاملاً فراگیر در لوله

رابطه تنش برشی با افت در لوله های افقی

فرضیات: پایا، فراگیر، تراکم ناپذیر

معادله مومنوم در جهت X

$$F_{s_x} + F_{B_x} = \frac{\partial}{\partial t} \int_V u \rho dV + \int_A u \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

$$\rightarrow \sum F_{s_x} = 0 \rightarrow \tau_{rn} = \frac{r}{2} \frac{\partial p}{\partial x}$$

تنش دیواره:

$$\tau_w = -(\tau_{rn})_{r=R} = -\frac{R}{2} \frac{\partial p}{\partial x}$$

این معادله برای هر دو جریان لایه ای و متلاطم معتبر است چه اینکه هیچ فرضی در مورد ارتباط T با میدان سرعت نشده است.

برای جریان متلاطم کاملاً فراگیر تنش برشی کلی برابر است با:

$$Re_{D_{cr}} = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \approx 2300$$

$$\tau = \mu \frac{d\bar{u}}{dy} - \rho \overline{u'v'}$$

$$\rightarrow -\rho \overline{u'v'} \text{ تنش ظاهری}$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \text{ (friction vel.)}$$

بر اساس داده های تجربی تعییرات تنش برشی کل در مقطع یک لوله بصورت خطی تغییر می کند.

$$\tau_{total} = 0 \quad r = 0$$

$$\tau = \tau_w = \mu \left. \frac{d\bar{u}}{dy} \right|_{y=0} \frac{\bar{u}}{u^2} \quad r = R$$

$$\frac{-\overline{u'v'}}{u_*^2}$$

در توضیح تنش های لایه ای و متلاطم در مقطع لوله بحث شود.

پروفیل سرعت جریان متلاطم کاملاً فراگیر

پروفیل سرعت در جریان متلاطم مبتنی بر داده های تجربی است.

$$u^+ = \frac{\bar{u}}{u_*}$$

$$y^+ = \frac{yu_*}{\nu}$$

در نزدیکی دیواره

$$u^+ = y^+$$

$$0 \leq y^+ \leq 5$$

در ناحیه ای که هر دو تنش چسبیده و متلاطم وجود دارند.

$$u^+ = 2.5 \ln y^+ + 5$$

در ناحیه مرکزی که تنش متلاطم نافذ است:

$$\leftarrow \frac{u - \bar{u}}{u_*} = 2.5 \ln \left(\frac{R}{y} \right)$$

سرعت در خط مرکزی

معمولاً پروفیل سرعت را در جریان متلاطم با استفاده از قانون تجربی نمائی بیان می کنند: power law

$$\frac{\bar{u}}{U} = \left(\frac{r}{R} \right)^{1/n} = \left(1 - \frac{r}{R} \right)^{1/n}$$

که n تابعی از Re می باشد ولی غالباً از n=7 استفاده می شود.

پروفیل نمائی جریان برای $\frac{y}{R} < 0.04$ اعتبار ندارد (شیب بینهایت در دیواره میدهد)

$$\frac{du}{dy} = \left(\frac{1}{R} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot \frac{1}{n} y^{\frac{1-n}{n}} = \frac{1}{n} \sqrt[n]{\frac{1}{Ry^{n-1}}}$$

معادله انرژی در جریان لوله ها

$$\dot{Q} - \dot{w} = \frac{dE}{dt} \Big|_{system} \quad \text{قانون اول ترمودینامیک (بخش 8 از فصل 4 کتاب)}$$

که \dot{Q} ← انتقال حرارت

که \dot{w} ← کار انجام شده

$$\leftarrow E = \int_{M_{system}} = \int_{\forall} e \rho dV \quad \text{و انرژی کل}$$

$$e = u + \frac{v^2}{2} + g\zeta$$

که انرژی داخلی که $\frac{V^2}{2}$ ← انرژی جنبشی

$$\dot{Q} - \dot{w}_{shear} - \dot{w}_{other} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{\forall} e \rho dV + \int_{c.s.} (e + \frac{P}{\rho}) \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

برای یک حجم معیار:

$$\leftarrow \frac{P}{\rho}$$

کار تنش های نرمال بر حجم معیار

بحث پیرامون تفسیر مختلف.

معادله انرژی برای جریان در لوله:

یک حجم معیار بین دو مقطع دلخواه 1 و 2 در لوله در نظر می گیریم:

فرضیات: جریان پایا تراکم ناپذیر انرژی داخلی و فشار یکنواخت در مقاطع 1 و 2

$$\dot{w}_{other} = \dot{w}_s = 0$$

دقت شود که $\dot{w}_{shear} = 0$ (اگر چه تنش برشی در دیواره ها غیر صفر است ولی سرعت صفر بوده کار نیروی اصطکاکی صفر می باشد).

$$\dot{Q} - \dot{w}_s - \dot{w}_{shear} - \dot{w}_0 = \frac{\partial}{\partial t} \int_{\forall} e \rho dV + \int_A (e + \frac{p}{\rho}) \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}(u_2 - u_1) + \dot{m}(\frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho}) + \dot{m}g(z_2 - z_1)$$

$$+ \int_{A_2} \frac{v_2^2}{2} \rho v_2 dA_2 - \int_{A_1} \frac{v_1^2}{2} \rho v_1 dA_1$$

دو انتگرال آخر بدلیل تغییرات سرعت در مقاطع 1 و 2 به همین صورت نگه داشته شده اند (فرض سرعت یکنواخت نشده است)

برای محاسبه این انتگرالها ضریب انرژی جنبشی را تعریف می کنیم.

$$\int \frac{v^2}{2} \rho v dA = \alpha \int \frac{\bar{V}}{2} \rho v dA = \alpha \dot{m} \frac{\bar{V}^2}{2} \rightarrow \alpha = \frac{\int \rho v^3 dA}{\dot{m} \bar{v}^2}$$

که \bar{V} سرعت متوسط در مقطع مورد نظر می باشد.

محاسبه افت فشار

با در نظر گرفتن ضریب انرژی جنبشی α معادله انرژی به صورت زیر در می آید.

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{m}(u_2 - u_1) + \dot{m}\left(\frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho}\right) + \dot{m}g(z_2 - z_1) + \dot{m}\left(\frac{\alpha_2 \bar{V}_2^2}{2} - \frac{\alpha_1 \bar{V}_1^2}{2}\right) \\ &\rightarrow \left(\frac{P_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2} + gz_1\right) - \left(\frac{P_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{\bar{V}_2^2}{2} + gz_2\right) = u_2 - u_1 - \frac{\delta Q}{dm} \end{aligned}$$

اتلاف انرژی ناشی از انتقال گرما

اختلاف و یا افت انرژی مکانیکی را افت هر کلی می نامند. total Head loss

$$\left(\frac{P_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2} + gz_1\right) - \left(\frac{P_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{\bar{V}_2^2}{2} + gz_2\right) = h_{lt}$$

در معادله برنولی $h_{lt} = 0$ (جریان غیر لزج)

برای محاسبه افت هر کلی داریم:

$$h_{lt} = h_l + h_{lm}$$

که h_{lm} می شود (minor losses)

که h_l می شود (major losses)

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.