

مکانیک سیالات

افت موضعی در مجاری بسته لایه مرزی

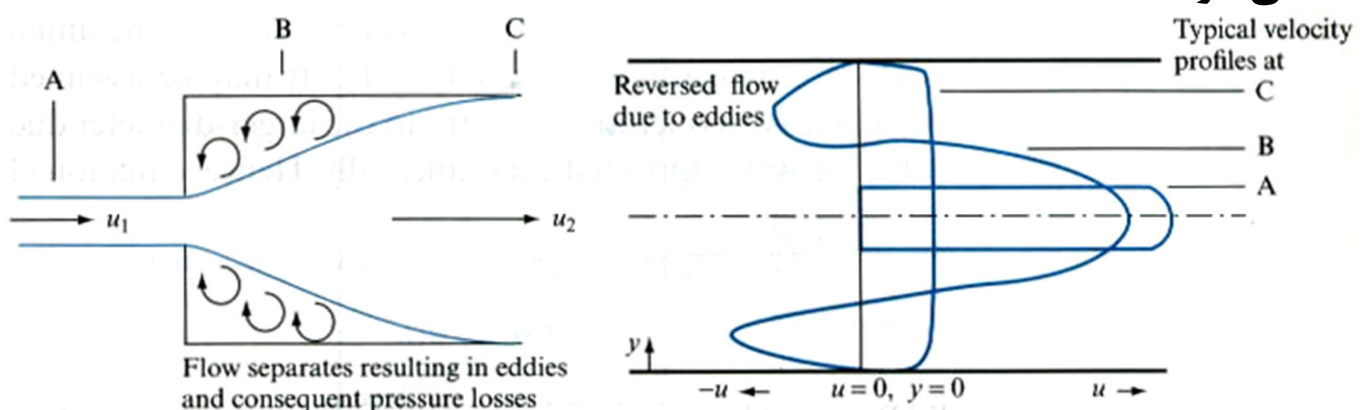
www.hadian.ir



محمدرضا هادیان
دانشگاه یزد - دانشکده مهندسی عمران

افت ناشی از جدایی جریان در لوله‌ها

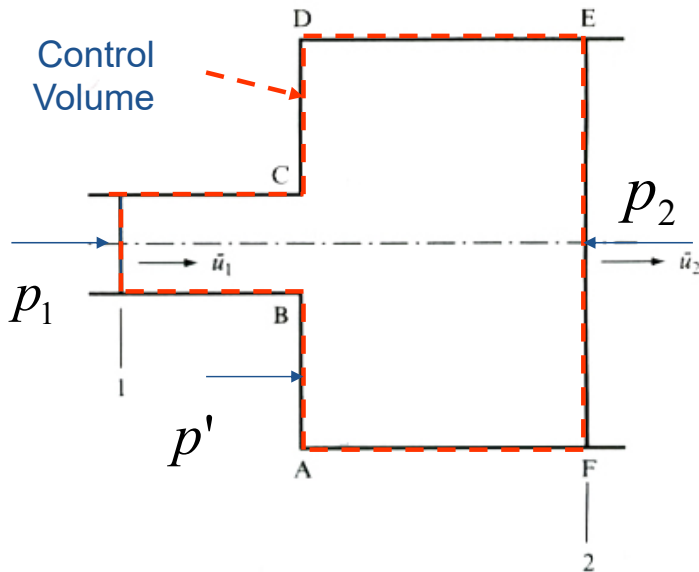
- در اثر هرگونه تغییر در سطح مقطع جریان یکنواخت، افت انرژی در آن محل بوجود می‌آید که به آن افت انرژی موضعی می‌گویند.
- افت‌های انرژی موضعی باید همانند افت اصطکاکی در محاسبات خط لوله در نظر گرفته شوند.
- گاهی مقدار افت‌های موضعی کم و قابل نظر کردن است ولی برخی از افت‌های موضعی بسیار بزرگ بوده و حتماً باید در محاسبات لحاظ شوند.
- در محل جدایی جریان از جدار لوله که در محل بازشدگی‌ها و برخی اتصالات بوجود می‌آید، گردابه‌هایی بوجود می‌آیند که باعث افت انرژی جریان می‌شوند.



افت موضعی بازشدگی ناگهانی در لوله‌ها

● افت ناشی از بازشدگی ناگهانی در لوله را می‌توان بصورت تحلیلی محاسبه نمود.

● برای بازشدگی ناگهانی به شکل زیر و حجم کنترل منطبق بر جدار لوله، می‌توان معادله ممنتوم را بکار برد.



$$p_1 A_1 + p' (A_2 - A_1) - p_2 A_2 = \rho Q (\bar{u}_2 - \bar{u}_1)$$

$$A_1 \bar{u}_1 = A_2 \bar{u}_2$$

● بدلیل شتاب شعاعی ناچیز:

$$p_1 = p'$$

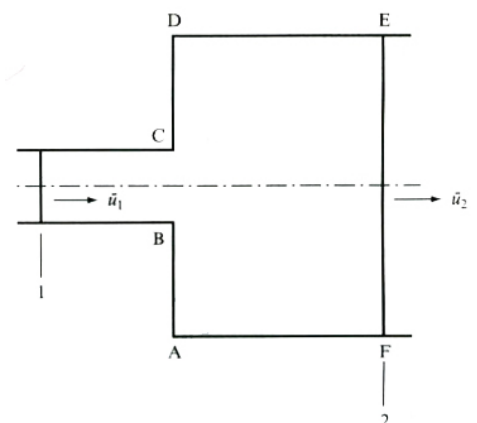
$$(p_1 - p_2) A_2 = \rho Q (\bar{u}_2 - \bar{u}_1) = \rho \bar{u}_2 A_2 (\bar{u}_2 - \bar{u}_1)$$

$$p_1 - p_2 = \rho \bar{u}_2 (\bar{u}_2 - \bar{u}_1)$$

افت موضعی بازشدگی ناگهانی در لوله‌ها

● با نوشتن معادله انرژی برای مقاطع 1 و 2 و منظور نمودن ارتفاع معادل افت موضعی:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{\bar{u}_1^2}{2g} + \cancel{z_1} = h_e + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\bar{u}_2^2}{2g} + \cancel{z_2}$$



$$\left. \begin{aligned} h_e &= \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + \frac{\bar{u}_1^2 - \bar{u}_2^2}{2g} \\ p_1 - p_2 &= \rho \bar{u}_2 (\bar{u}_2 - \bar{u}_1) \end{aligned} \right\} h_e = \frac{\rho \bar{u}_2 (\bar{u}_2 - \bar{u}_1)}{\rho g} + \frac{\bar{u}_1^2 - \bar{u}_2^2}{2g}$$

$$h_e = \frac{(\bar{u}_1 - \bar{u}_2)^2}{2g}$$

افت موضعی بازشدگی ناگهانی در لوله‌ها

$$\left. \begin{aligned} h_e &= \frac{(\bar{u}_1 - \bar{u}_2)^2}{2g} \\ \bar{u}_2 &= \bar{u}_1 \frac{A_1}{A_2} \end{aligned} \right\} h_e = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 \frac{\bar{u}_2^2}{2g} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \frac{\bar{u}_1^2}{2g}$$

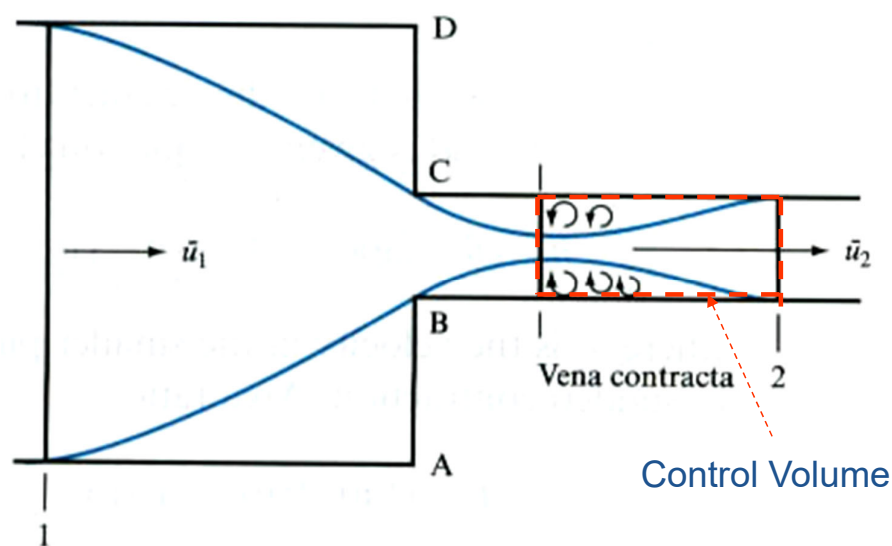
$$h_e = K \frac{\bar{u}_2^2}{2g} \quad K = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 = \left(\left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 - 1 \right)^2$$

$$h_e = K \frac{\bar{u}_1^2}{2g} \quad K = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left(1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right)^2$$

$$A_2 \rightarrow \infty \quad \bar{u}_2 \rightarrow 0 \quad h_e \rightarrow \frac{\bar{u}_1^2}{2g}$$

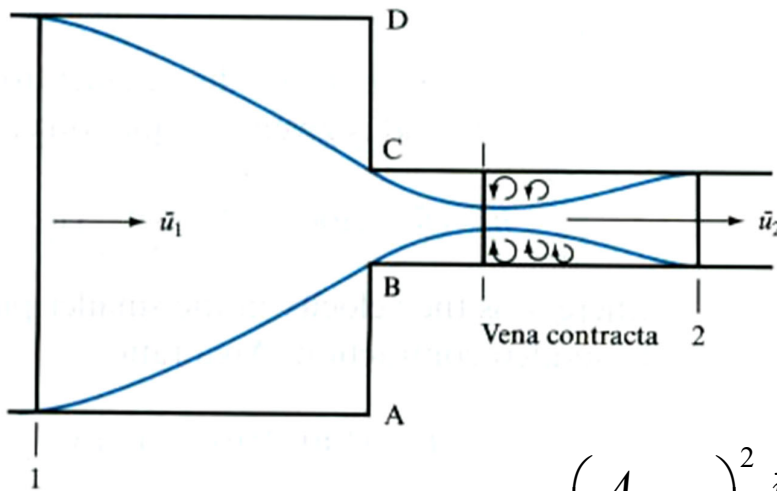
افت موضعی تنگ شدگی ناگهانی در لوله‌ها

● برای تنگ شدگی ناگهانی لوله نیز می‌توان از رابطه ممنتوم استفاده کرد.



● بدلیل مشخص نبودن فشار روی سطح ABCD نمی‌توان معادله ممنتوم را بین مقاطع 1 و 2 نوشت.

افت موضعی تنگ شدگی ناگهانی در لوله‌ها

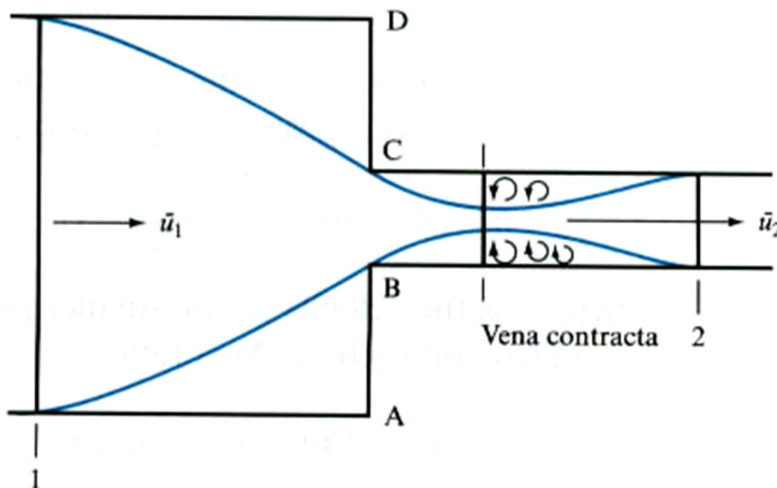


- آزمایش‌ها نشان داده‌اند که بیشترین مقدار افت انرژی بین مقطع Vena contraction و مقطع 2 اتفاق می‌افتد.
- بین این دو مقطع می‌توان رابطه بازشدگی ناگهانی را نوشت.

$$h_c \cong \left(\frac{A_2}{A_c} - 1 \right)^2 \frac{\bar{u}_2^2}{2g} = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \frac{\bar{u}_2^2}{2g}$$

$$h_c = K \frac{\bar{u}_2^2}{2g} \quad K = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2$$

افت موضعی تنگ شدگی ناگهانی در لوله‌ها



$$h_c = K \frac{\bar{u}_2^2}{2g}$$

$$K = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2$$

A_2/A_1	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0
C_c	0.61	0.632	0.673	0.73	1.0
K	0.41	0.34	0.24	0.14	0

مثال

در یک خط لوله، لوله به قطر 140 mm به لوله دیگری به قطر 250 mm متصل شده است. برای یک دبی مشخص وقتی جهت جریان عوض شود، اختلاف افت موضعی دو حالت 0.6 m است. دبی جریان چقدر است؟

برای بازشدگی، با فرض لوله ۱ به عنوان لوله با قطر کمتر:

$$h_e = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{\bar{u}_1^2}{2g} = \left(1 - \left(\frac{140}{250}\right)^2\right)^2 \frac{\bar{u}_1^2}{2g} = (1 - 0.314)^2 \frac{\bar{u}_1^2}{2g} = 0.47 \frac{\bar{u}_1^2}{2g}$$

برای تنگ‌شدگی برای نسبت مساحت 0.314، با توجه به جدول:

$$\begin{aligned} K &= 0.33 & h_c &= 0.33 \frac{\bar{u}_1^2}{2g} \\ h_e - h_c &= 0.6 & (0.47 - 0.33) \frac{\bar{u}_1^2}{2g} &= 0.6 & \bar{u}_1 &= 9.17 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ & & Q &= \bar{u}_1 A_1 = 14.12 \frac{\text{lit}}{\text{s}} \end{aligned}$$

افت موضعی در لوله‌ها

● افت در لوله‌ها معمولاً با رابطه‌ای بصورت زیر بیان می‌شود:

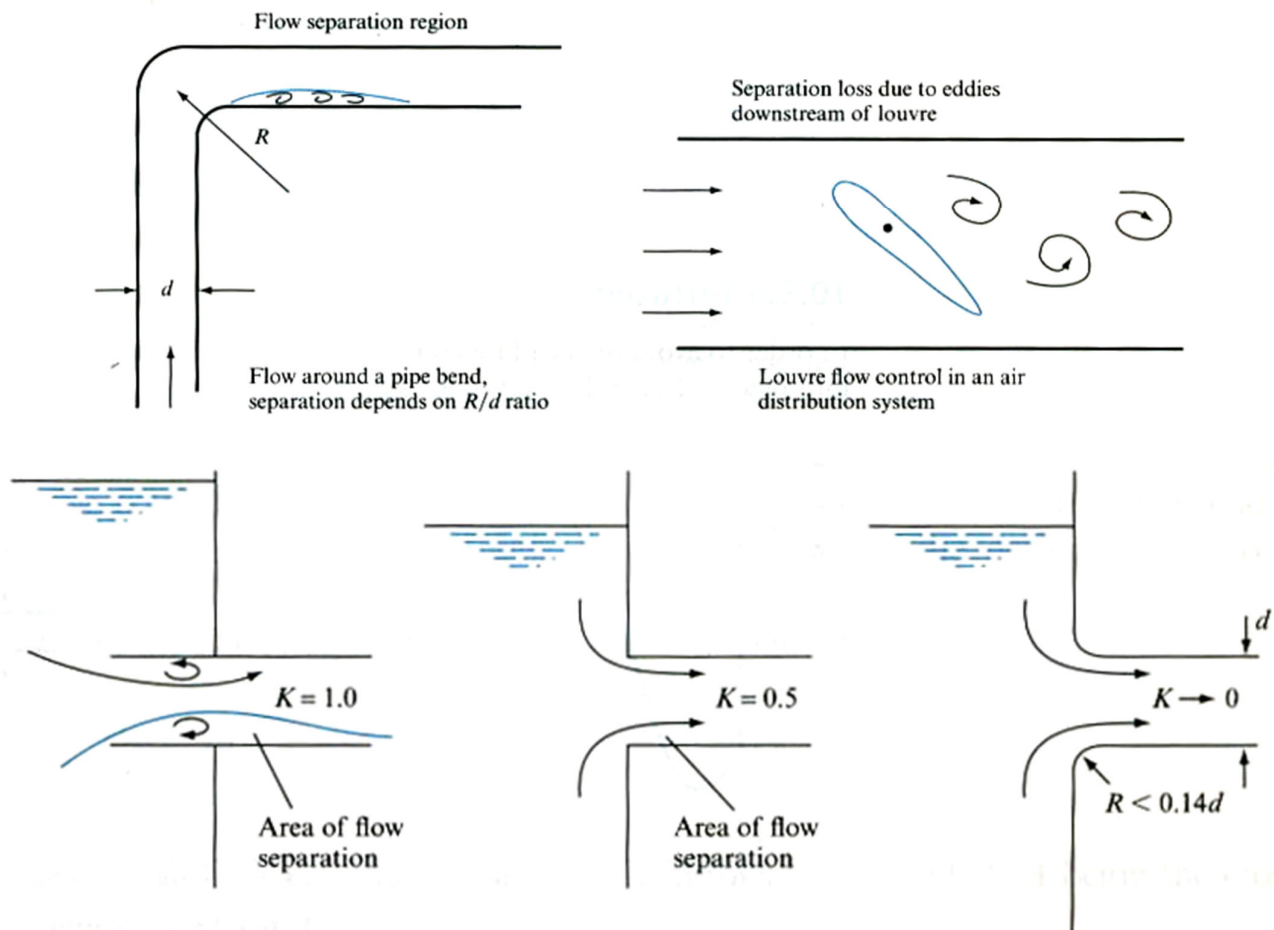
$$h_f = K \frac{\bar{v}^2}{2g}$$

● K ضریب بدون بعدی است که برای هر اتصال از آزمایش به دست می‌آید و به عنوان ضریب افت موضعی شناخته می‌شود.

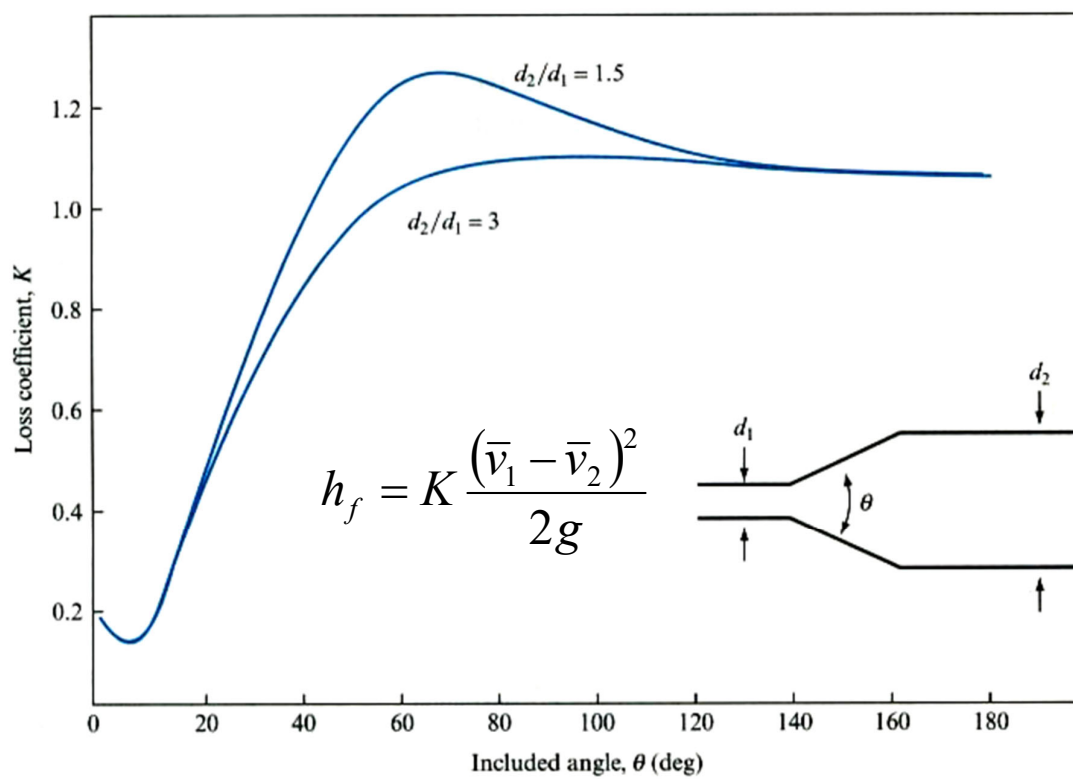
● برای اتصالات مختلف این ضریب بصورت جدول در کتب طراحی ارائه شده است.

● در مورد خم‌ها هرچقدر نسبت شعاع خم به قطر لوله بیشتر باشد، ضریب افت کمتر است و هرچقدر زاویه خم کوچکتر باشد، ضریب افت افزایش می‌یابد.

افت موضعی در لوله‌ها



افت موضعی در لوله‌ها



- می‌توان افت موضعی در لوله را بصورت افت اصطکاکی معادل با طول مشخصی از لوله بیان نمود.

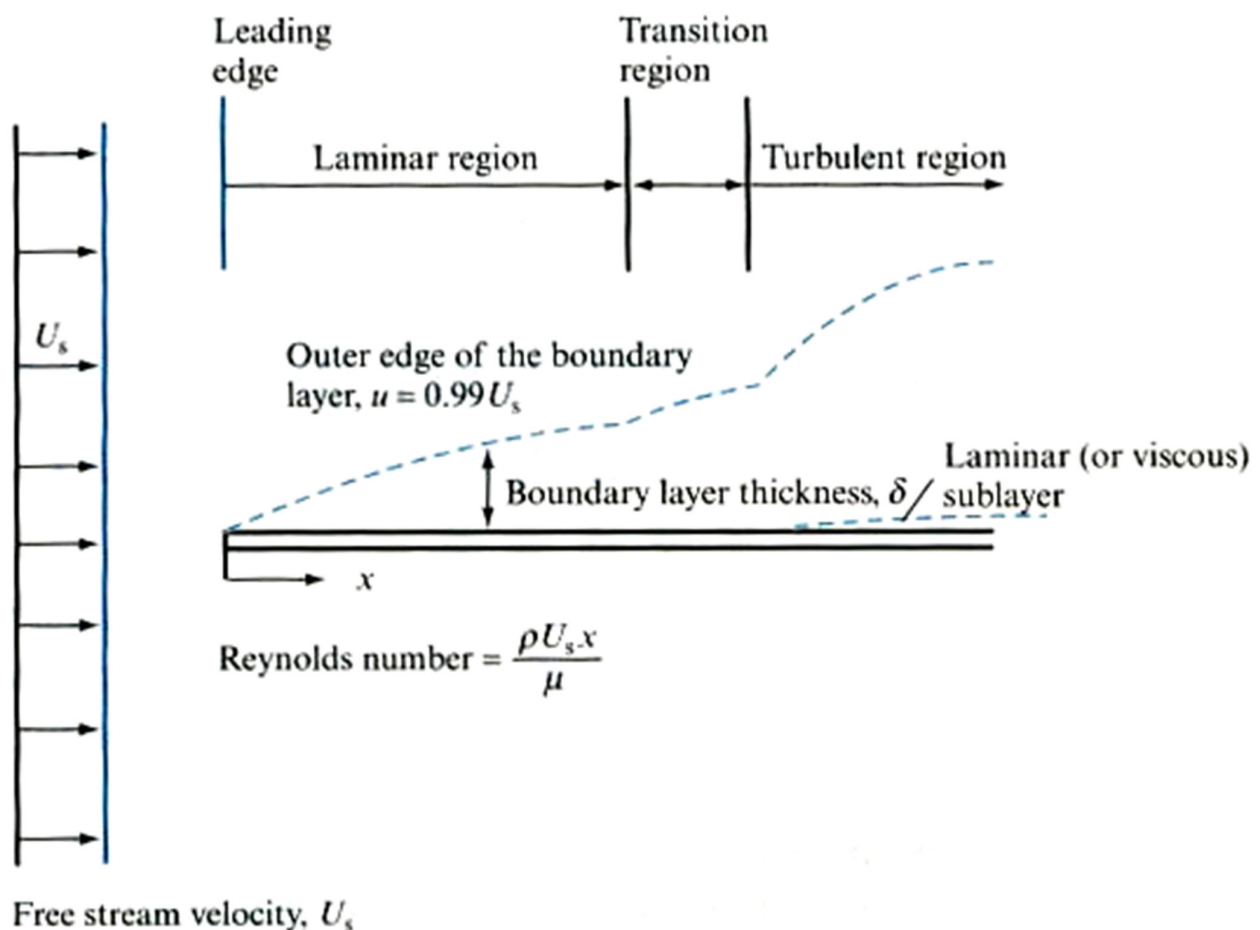
$$\left. \begin{aligned} h_f &= f \frac{l_e}{d} \frac{\bar{v}^2}{2g} \\ h_f &= K \frac{\bar{v}^2}{2g} \end{aligned} \right\} l_e = K \frac{d}{f}$$

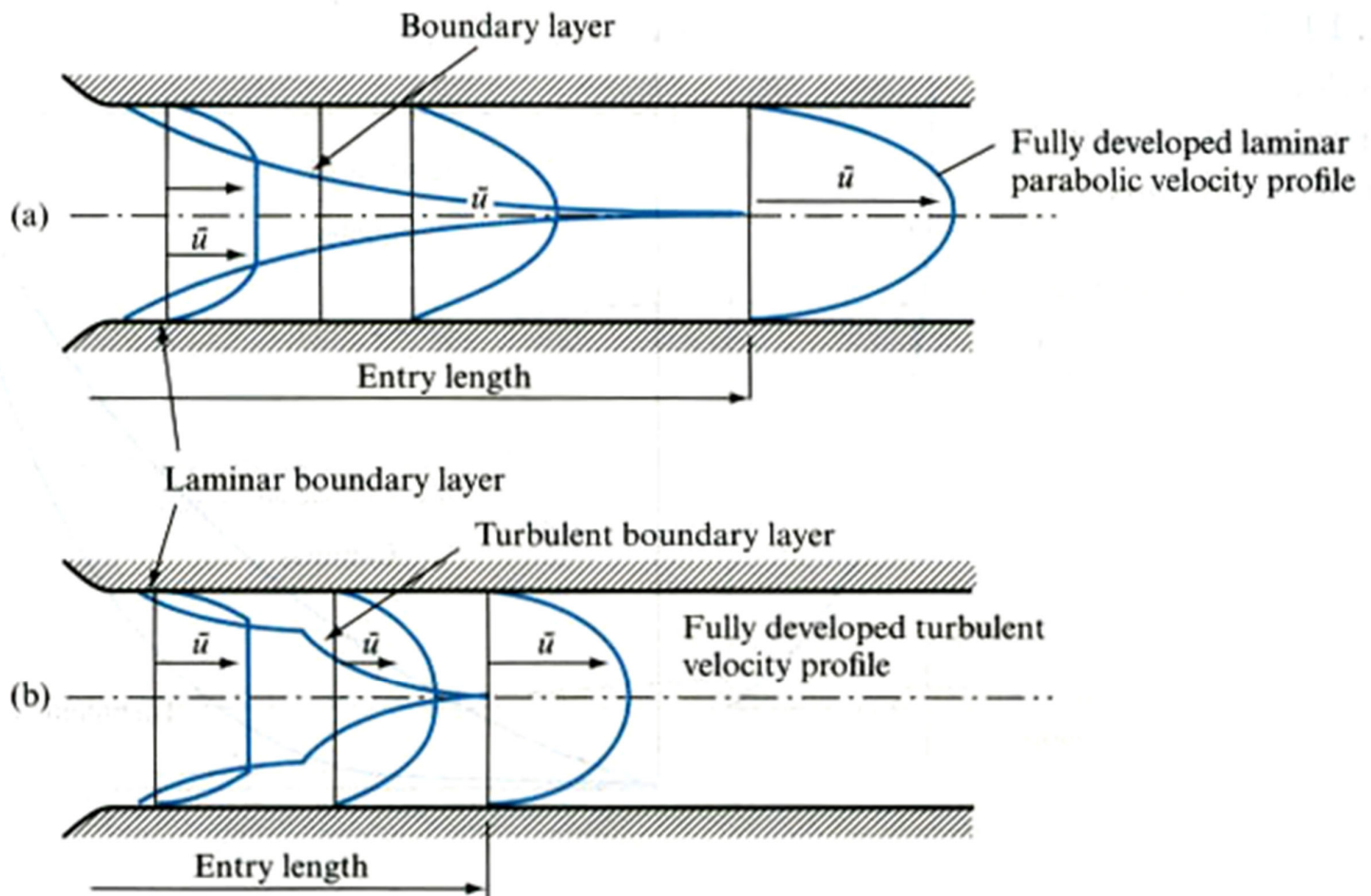
- در مورد اتصال لوله‌های با قطرهای متفاوت باید دقت شود که طول معادل بر اساس کدام قطر لوله بدست آمده است.

- بنابراین افت کلی در یک خط لوله از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$h_f = f \frac{l_e}{d} \frac{\bar{v}^2}{2g} \quad l_e = l + \sum \left(K \frac{d}{f} \right)$$

لایه مرزی





توزیع سرعت در لایه مرزی

$$Re^* = \frac{yu_*}{\nu}$$

$$Re^* < 8$$

$$\frac{u}{u_*} = Re^*$$

$$Re^* > 30$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{u}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln(9 Re^*) \\ \frac{u}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln\left(30 \frac{y}{\varepsilon}\right) \end{array} \right.$$

$$\kappa = 0.4$$

$$\frac{u_* \varepsilon}{\nu} < 5 \Rightarrow \text{Smooth}$$

$$\frac{u_* \varepsilon}{\nu} > 70 \Rightarrow \text{Rough}$$

مثال

$Q = 0.573 \text{ ft}^3 / \text{s}$ calculate total loss

$$l = 50 \text{ ft}$$

$$\varepsilon = 0.003 \text{ ft}$$

$$d = 4 \text{ in}$$

$$V = \frac{Q}{A} = 6.561 \text{ ft/s}$$

$$h_f = \frac{f l V^2}{d 2g}$$

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu} = \frac{6.51 \times \frac{4}{12}}{1.9 \times 10^{-5}} = 1.15 \times 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = 0.009$$

Moody diagram



$$f = 0.037$$

$$\frac{f l V^2}{d 2g} = \frac{0.037 \times 500}{4/12} \frac{6.561^2}{2 \times 32.2} = 36.76'$$

$$\text{local losses} = (0.5 + 9.98 + 2 \times 0.9 + 1) \frac{V^2}{2g} = 8.88'$$

