



فصل اول - سیالات تراکم نپذیر

سیالات مایع II

رابطه گاز ایده آل :

$$PV = nRT \rightarrow P = \rho RT \rightarrow \rho = \frac{MW \cdot P}{R \cdot T}$$

$$C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p \quad C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v \quad \text{واحد } C_v, C_p \rightarrow \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

$$H = U + P \cdot V \rightarrow dH = du + p dv + v dp = du + R dt$$

$$H = u + RT \quad \text{برای واحد جرم}$$

$$C_p dt = C_v dt + R dt \rightarrow C_p = C_v + R$$

فریب برای: این فریب برای هر گاز معادله حالتی است که در ضمیمه پ جدول 3 کتاب استریتر وجود دارد

$$k = \frac{C_p}{C_v} \quad \text{فریب برای}$$

$$C_p = \frac{k}{k-1} \cdot R$$

$$C_v = \frac{R}{k-1}$$

قانون اول ترمودینامیک :

درست‌نویسی

$$du = Q - W$$

$$Q = du + W = du + p dv$$

این فریب را قانون دوم

$$T ds = du + p dv \rightarrow T ds = C_v dt + p dv$$

$$ds = C_v \frac{dT}{T} + p \frac{dv}{T} \rightarrow ds = \frac{C_v}{T} + \frac{R}{v} dv$$

$$\int ds = S_2 - S_1 \rightarrow S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

برای دانسته

$$S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$S_2 - S_1 = C_v \ln \left[\frac{T_2}{T_1} \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{k-1} \right]$$

$$S_2 - S_1 = C_v \ln \left[\frac{P_2}{P_1} \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^k \right]$$

$$S_2 - S_1 = C_v \ln \left[\left(\frac{T_2}{T_1} \right)^k \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1-k} \right]$$

۷

فراآیند ایزون تروویک : هرگاه فراآیند ایزون تروویک با $n = k$ و همچنین Reversible باشد رابطه به فراآیند ایزون تروویک گفته می شود

$$\frac{P_1}{\rho_1^k} = \frac{P_2}{\rho_2^k} \rightarrow \frac{P}{\rho^k} = \text{Constant} \rightarrow \Delta S = 0 \quad ds = 0$$

نکته : فراآیند پلی تروویک ، ایزون تروویک خواهد شد اگر $n = k$ باشد در فرمول $\frac{P}{\rho^n} = \text{Constant}$

مثال : استوانه ای شامل 2 kg نیتروژن در فشار مطلق 0.14 MPa و دمای 5°C قرار دارد. اگر فشار بصورت ایزون تروویک به 0.3 MPa افزایش یابد، دمای نهایی و کار انجام شده چقدر است؟

(k=1.4)

$$\frac{P_1}{\rho_1^k} = \frac{P_2}{\rho_2^k} = \left(\frac{T_2 P_1}{T_1 P_2}\right)^k \rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{k-1}$$

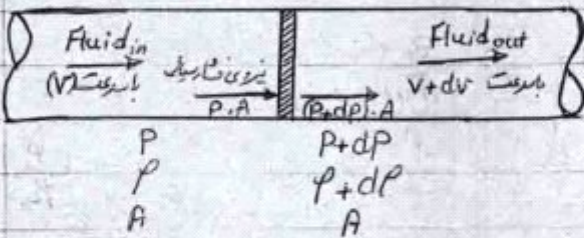
$$\rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow \frac{T_2}{273+5} = \left(\frac{0.3}{0.14}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} \rightarrow T_2 = 345.6 \text{ K}$$

$T_2 = 72.6 \text{ }^\circ\text{C}$ از طرف $du = Q - W \rightarrow W = -du = -C_v dT \rightarrow$
 $= -m C_v (T_2 - T_1) = -100.2 \text{ kJ}$

$W = +100.2 \text{ kJ}$

سرعت امواج صوت و عدد ماخ :

بطور کلی عدد ماخ را هفتض سیال است تراکم پذیر است و M نامی داده می شود که هفتضی آن سرعت صوت در سیال است
 ایجاد شود یک موج عمودی در مسیر ایجاد شده که به تدریج به موج افقی در طول مسیر تبدیل می شود



اسات عمده :
 فرمول سرعت صوت

کاره سرعت صوت $PVA = (P+dp)(v+dv) \cdot A$

$\rightarrow Pdv + vdrho = 0$ ①

کاره مشتق خطی (انرژی حرکت) $\sum F_x = PVA \cdot (v+dv) - P \cdot v \cdot A \cdot v$

$\rightarrow PA - (P+dp)A = P \cdot v \cdot A (v+dv) - P \cdot v \cdot A \cdot v$

③ $dp = -\rho v dv$ ①
 از ① و ② بر م $v^2 = \frac{dp}{d\rho}$ $\xrightarrow{\text{سرعت نه نشان دهنده تغییرات جزئی سرعت سیال}}$ $v = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} \Rightarrow c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$ $\xrightarrow{\text{سرعت صوت}}$

سرعت صوت بر حسب این رابطه می باشد:

رابطه $K = \frac{-dp}{dv/v}$ $\xrightarrow{\text{از ①}} -\frac{dv}{v} = \frac{dp}{\rho}$ $\xrightarrow{\text{لذا بر م}} K = \frac{dp}{d\rho}$

لذا $K = \frac{\rho dp}{d\rho}$ $\xrightarrow{\text{برای طیف گازها}} c = \sqrt{K/\rho}$ $\xrightarrow{\text{که ما می توانیم از آنجا استفاده کنیم}}$

2] جریان آیزوتروپیک:

با فرض تغییرات ناچیز در شرایط دما و فشار می توان تصور کرد سیستم پوست پذیر و با فرضی کوتاه بودن سیر sys اگر یا ثابت است یا بطور کلی سیستم آیزوتروپیک می باشد

رابطه:

$\frac{P}{\rho^k} = \text{Constant} \rightarrow P \cdot \rho^{-k} = \text{Constant} \rightarrow \frac{dP}{d\rho} = \frac{kP}{\rho}$ $\rho = \frac{P}{RT}$

لذا داریم $c = \sqrt{kRT}$ $\xrightarrow{\text{بطور کلی برای یک گاز ایده آل سرعت صوت تغییراتی است از دما. نسبت ظرفیت گرایی (Cp/Cv)}}$

III $c = \sqrt{kRT}$ $\xrightarrow{\text{بطور کلی: گاز ایده آل}}$

2] $c = \sqrt{\frac{kP}{\rho}}$ $\xrightarrow{\text{جریان آیزوتروپیک}}$

3] $c = \sqrt{k/\rho}$ $\xrightarrow{\text{جذب انبساطی}}$

$K = kP$ $\xrightarrow{\text{رابطه بین گاز ایده آل و جریان آیزوتروپیک}}$

علامت (M) : عبارت است از سرعت سیال در محیط به سرعت صوت در همان محیط که نشان دهنده قابلیت تراکم پذیری است (در سیالات غیر قابل تراکم $M=0$)

$M = \frac{v}{c} = \frac{\text{سرعت سیال در محیط}}{\text{سرعت صوت در همان محیط}} \Rightarrow \frac{\text{انرژی جنبشی سیال}}{\text{انرژی جرمی سیال}} = \frac{v^2}{c^2}$

ع

مثال: سرعت صوت در هوای خشک موقعی دما 20°C سانتی گراد روتی 20°C - است چه قدر است؟

$R = \frac{8314}{29} = 287$ و $K = 1.4$ هوا

حل:

$$C_1 = \sqrt{K RT} = \sqrt{(1.4)(287)(273+20)} = 343 \text{ m/s}$$

$$C_2 = \sqrt{K RT} = \sqrt{(1.4)(287)(273-20)} = 319 \text{ m/s}$$

تذکر: هرگاه System بیادگرو با محیط نراسته باشد ادیا بایک است و هرگاه System علاوه بر ادیا بایک برگشت پذیر هم باشد جریان آنرا ترو بیک خواهد بود در صنایع در و توریها - تپویر برآنه طول سیر کوتاه و هر یک آنها Reversible است استفاده شده و سیر را بدون اصطکاک در نظریه گرمی و از اثر تغییرات دما ناچیز است صرف نظری کنیم

معادله انرژی: $\rho v dv + \frac{dp}{\rho} = 0$ $\rho U A = G e$

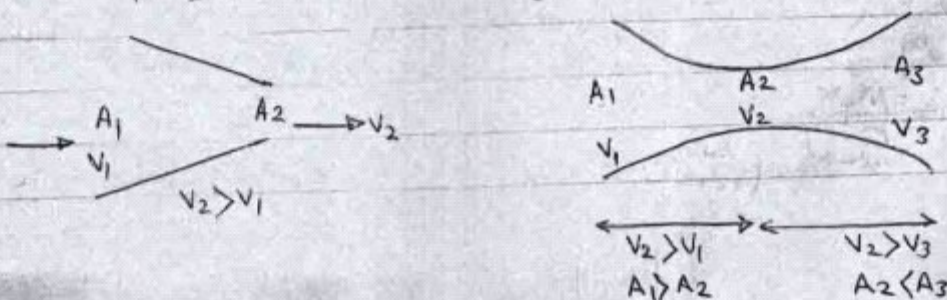
از $\rho U A = G e$ در طرفین $\rho U A$ ضرب و تقسیم کنیم $\rho U A = cte$ $\rho U dA + \rho A dU + U A dp = 0$

از طرفین $\rho U A$ تقسیم کنیم $\frac{dA}{A} + \frac{dU}{U} + \frac{dp}{\rho} = 0$ $\frac{c^2}{\rho} = \frac{dp}{d\rho}$

از $\frac{dA}{A} + \frac{dU}{U} + \frac{dp}{\rho} = 0$ و $\frac{c^2}{\rho} = \frac{dp}{d\rho}$ $v dv + \frac{c^2}{\rho} \frac{d\rho}{\rho} = 0$

فرمول تغییرات دما $\frac{dA}{dU} = \frac{A}{U} \left(\frac{v^2}{c^2} - 1 \right) = \frac{A}{U} (M^2 - 1)$ توسط معادله مایخ

$M < 1$: سرعت مادن صوت باسر: برای افزایش سرعت باید سطح مقطع را کاهش دهیم یعنی $\frac{v_2}{c} > \frac{v_1}{c}$
 $M = 1$: سرعت صوت - سرعت در حال افزایش تا در گلوگاه به سرعت صوت برسد یعنی $v_2 > v_1$
 $M > 1$: سرعت مافوق صوت است: برای کاهش سرعت باید سطح مقطع را افزایش دهیم



⑤ جز اول از نوسان

$$\frac{P_1}{\rho_1^k} = \frac{P_2}{\rho_2^k} = \frac{P_3}{\rho_3^k} \rightarrow p = \rho_1^{-k} \cdot \rho_2^k \cdot P_1 \quad \text{و} \quad v dv + \frac{dp}{\rho} = 0 \quad \text{⑥}$$

از معادله انرژی و معادله پیوستگی

$$v dv + k \frac{P_1}{\rho_1^k} \rho d\rho = 0$$

از انتگرال گیری می کنیم

$$\frac{v^2}{2} + \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_1}{\rho_1^k} \cdot \rho^{k-1} = \text{Constant}$$

* $\frac{v_1^2}{2} + \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_1}{\rho_1^k} \cdot \rho_1^{k-1} = \frac{v_2^2}{2} + \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_2}{\rho_2^k} \cdot \rho_2^{k-1}$, $P = \rho R T$

با استفاده از معادله گاز ایده آل

$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{k}{k-1} \cdot R T_1 = \frac{v_2^2}{2} + \frac{k}{k-1} R T_2$$

بر حسب دانه در * داریم

معادله تغییرات سرعت
در کانون یا شیب

معادله های تغییرات و فواید بر حسب عدم مایل در گلوله :
با توجه به شرایط اولی (سین) T_0 , P_0 , ρ_0 داریم :

$c^2 = k R T$

$$\frac{dA}{A} + \frac{dv}{v} + \frac{dp}{\rho} = 0$$

$$M^2 = \frac{v^2}{c^2} = \frac{2kR(T_0 - T)}{kRT(k-1)} \rightarrow \frac{T_0}{T} = 1 + \frac{(k-1)}{2} M^2$$

ساده می کنیم

تغییرات دما بر حسب عدم مایل

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

با توجه به جز اول از نوسان

تغییرات فشار بر حسب عدم مایل

$$\frac{P_0}{P} = \left(1 + \frac{(k-1)}{2} M^2\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

تغییرات چگالی بر حسب عدم مایل

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \left(1 + \frac{(k-1)}{2} M^2\right)^{\frac{1}{k-1}}$$

نکته : در طول راه اگر سرعت به سرعت صوت تبدیل شود آنرا $M=1$ شده و در شرایط بحرانی داریم روابط به صورت زیر تغییر می کند

$$\frac{T^*}{T_0} = \frac{2}{k+1}$$

$$\frac{P^*}{P_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$\frac{\rho^*}{\rho_0} = \frac{2}{k+1}$$

برای هوا با $K=1.4$

$$\frac{T^*}{T_0} = 0.833$$

$$\frac{P^*}{P_0} = 0.528$$

$$\frac{\rho^*}{\rho_0} = 0.634$$

(۷)

محاسبه سطح مقطع بحرانی (A^*) :

$$\dot{m} = \rho VA = \rho^* V^* A^* = \text{Constant}$$

$$\frac{A}{A^*} = \frac{\rho^* V^*}{\rho V} \rightarrow V^* = \sqrt{kRT^*}, \quad V = M\sqrt{kRT}$$

$$\frac{V^*}{V} = \frac{1}{M} \sqrt{\frac{T^*}{T}} = \frac{1}{M} \sqrt{\frac{T^*}{T_0}} \times \sqrt{\frac{T_0}{T}} = \frac{1}{M} \left(\frac{1 + \frac{(k-1)}{2} M^2}{\frac{(k+1)}{2}} \right)$$

$$\rightarrow \frac{V^*}{V} = \frac{1}{M} \left(\frac{1 + \frac{(k-1)}{2} M^2}{\frac{(k+1)}{2}} \right) \quad \leftarrow \text{تغییرات سرعت با دما}$$

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M} \left(\frac{1 + \frac{(k-1)}{2} M^2}{\frac{(k+1)}{2}} \right)^{\frac{(k+1)}{2(k-1)}} \quad \leftarrow \text{تغییرات سطح مقطع با دما}$$

نکته: نسبت $\frac{A}{A^*} > 1$ همیشه از 1 بزرگتر است

چنانچه سیال مایع باشد در این صورت زیر صاف می شود

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M} \left(\frac{5 + M^2}{6} \right)^3$$

محاسبه دبی جری ماکسیمم (\dot{m}_{\max}) بحرانی :

$$\dot{m}_{\max} = \rho^* V^* A^* = \rho_0 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{(1/k-1)}{k}} \cdot A^* \sqrt{\frac{kRT_0 \times 2}{k+1}}$$

$$\rho_0 = \frac{P_0}{RT} \rightarrow \dot{m}_{\max} = \frac{A^* P_0}{\sqrt{T_0}} \cdot \sqrt{\frac{k}{R} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{(k+1)(k-1)}{k}}}$$

if $k=1.4$

$$\dot{m}_{\max} = 0.686 \frac{A^* P_0}{\sqrt{RT_0}}$$

(V)

مسئله: برای یک تونل باز در مایع در خروجی 3 می باشد در فشار 90 kPa و دمای 25°C (T₀ = 25°C) میزان

حل:

دبی جرمی \dot{m} یک کیلوگرم بر ثانیه می باشد مطلوب است:

R = 287 J/kg.K

الف) سطح مقطع طرأه

M = 3

$$\rho_0 = \frac{P_0}{RT_0} = 1.0523 \text{ kg/m}^3$$

ب) سطح خروجی

k = 1.4

ج) سرعت - فشار - دما - چگالی خروجی

T₀ = 25°C

$$\dot{m}_{\text{max}} = 0.686 \frac{A^* P_0}{\sqrt{RT_0}} \rightarrow 1 = 0.686 \frac{A^* \cdot 90 \times 10^3}{\sqrt{287 \times (273 + 25)}}$$

$\dot{m} = 1 \text{ kg/s}$

$A^* = 0.00474 \text{ m}^2$

جذب کننده

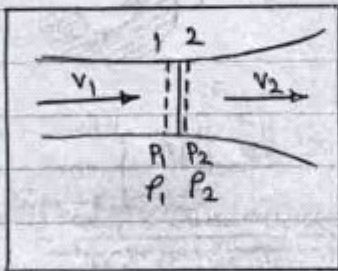
$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M} \left(\frac{5 + M^2}{6} \right)^3 = \frac{1}{3} \left(\frac{5 + 3^2}{6} \right)^3 = 4.23 \rightarrow A = 4.23 \times A^* = 0.02 \text{ m}^2$$

P/P₀ = 0.027 → P = 0.027 × 90000 = 2430 Pa

ρ/ρ₀ = 0.076 → ρ = 0.076 × 1.0523 = 0.08 kg/m³

T/T₀ = 0.357 → T = 0.357 × (25 + 273) = -166.6 °C

$\dot{m} = \rho V A \rightarrow V = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A} = \frac{1}{0.08 \times 0.02} = 625 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



موج شوک: موج شوک باعث می شود جریان در مقطع شوک که ضخامت این مقطع خیلی کوچک است که به اندازه طول پوریت آزاد مولکولی است و شرایط از دسترویک خارج می شود و جریان صاف و صوت به جریان مادی که صوت تبدیل می شود (آنتروپی در حال افزایش)

در مقطع شوک عمودی مایع و سرعت صوت کاهش می یابد و آنتروپی - فشار - دانسیته - دما افزایش می یابد

$$v_1 - v_2 = \left[\frac{C^* \cdot (k+1)}{2k v_1 v_2} + \frac{k-1}{2k} \right] (v_1 - v_2) \quad \text{میانگین در شرایط اول: } M_1$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{k+1} \left(\frac{2k P_1 v_1^2}{k P_1} - (k-1) \right) = \frac{2k M_1^2 - (k-1)}{k+1}, \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{M_1^2 (k+1)}{2 + M_1^2 (k-1)}$$

$$S_2 - S_1 = C_p \ln \left(\left[\frac{2k M_1^2 - (k+1)}{k+1} \right]^k \times \left[\frac{2 + M_1^2 (k-1)}{M_1^2 (k+1)} \right]^k \right)$$

تغییرات دما با سایر پارامترها

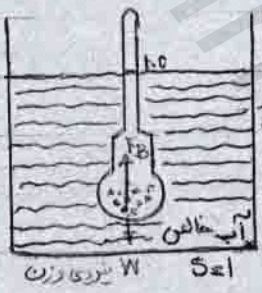
$M_1 = \sqrt{\frac{v_1}{c}}$

۸

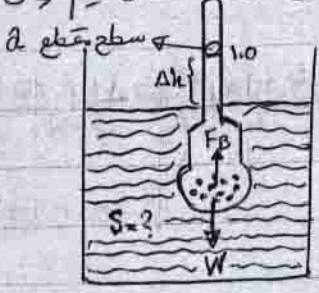
فصل دوم - اندازه گیری کمیت مربوط به سیالات

به طور کلی کمیتی که مربوط به سیال جاری باشد در نظر می آید. فشار، سرعت، جهت جریان و ویسکوزیته را می توان اندازه گیری کرد.

II اندازه گیری چگالی: ابتدا چگالی سنج را در سیال مینا (آب خالص) قرار ده و مقدار W را بدست می آوریم و h_1 چگالی سنج را تعیین می کنیم پس چگالی سنج را در سیال دیگری قرار دهیم چگالی مجهول آنرا بفهم قرار می دهیم و h_2 جدید را بدست می کنیم پس با استفاده از روابط زیر می توانیم مقدار $SPGR$ محلول مشخصی شود



$F_B = V \times \rho$
 به سیال که حجم سیال برود



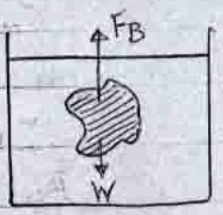
$\rho \cdot V_0 = W$

$$\begin{cases} \rho \cdot (V_0 - \Delta V) \\ S \rho \cdot (V_0 - a \Delta h) \\ \rho = \rho \cdot g \end{cases}$$

$\rightarrow S \cdot \rho \cdot (V_0 - a \Delta h) = W = \rho \cdot V_0$

$\rightarrow \Delta h = \frac{V_0 \times (S-1)}{S}$
 S حجم از سیال که برود
 سطح مقطع آب ترا می خورد

مثال: قطعه ای از سنگ معدن در هوا 1.5 N وزن دارد وقتی زیر آب قرار می گیرد وزن آن 1.1 N خواهد شد. حجم و چگالی آن را بدست آورید.



جواب: $1.5 - 1.1 = 0.4 \text{ N}$

وزن سیال برود $= \rho \cdot V = W$

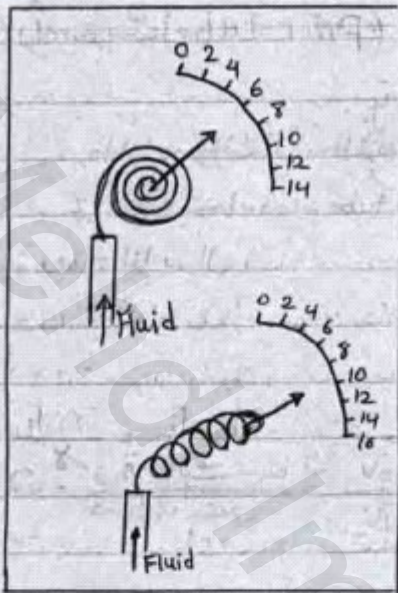
$\rho \cdot V = 0.4 \rightarrow V = \frac{0.4}{9800} = 4.08 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 40.8 \text{ cm}^3$

$\rho = \rho \cdot g = 1000 \times 9.8 = 9800$

$F_B = W$

$V \cdot S \cdot \rho = 1.5 \rightarrow S = \frac{1.5}{9800 \times 4.08 \times 10^{-5}} = 3.75$

9

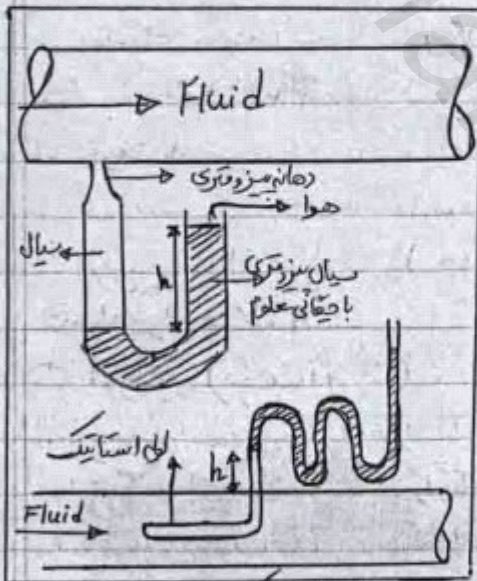


2 اندازه گیری فشار

فشارسنج بوردون: هر چه سیال با فشار بیشتری وارد شود جا بجایی عقربه گیج بیشتر خواهد بود لذا قبل از استفاده حتماً باید این فشارسنج ها را کالیبره یعنی تنظیم نمود به همین منظره فشارسنج را به یک کیول که فشار درون آن معلوم است وصل کرده سپس فشارسنج گیج را با فشار درون کیول یکی کرده (توسط گیج تنظیم) و آنرا کالیبره کرده ایم.
انواع فشارسنج بوردون:

- 1- C-type
- 2- حلزونی (Helical)
- 3- فنری (Spiral)

ب فشارسنج پیروزوتوری:



در این نوع فشارسنج طول دهانه موافق (دو برابر قطر دهانه باشد که قطر آن دهانه در حد 0.2 inch باشد) در صورتی است که باعث امنیت فشار در طول سیر سیال نمی شود هر چه قطر آن کمتر باشد استحکام آن کمتری شود

لوله استاتیو: یک لوله با قطری بسته با روغن های معلوم و در درون سیال قرار می گیرد و قسمت دیگر آن به کیوسید اندازه گیری متصل است این وسیله نسبت به عدد رینولدز و مانع کتوراز 1 حساسیت ندارد
$$\Delta h = C \frac{V^2}{2g}$$

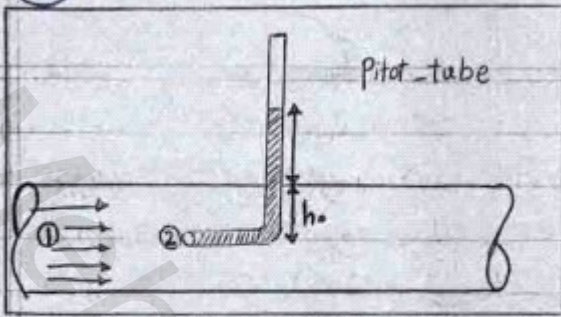
این ثابت برای هر لوله استاتیو ثابت است

3 اندازه گیری شدت جریان (دی - Flow):

هدف ما اندازه گیری سرعت سیال است چون وسیله ای نیست که مستقیماً سرعت سیال را بدست آورد لذا وسیله طراحی می کنند که Q یا دی جی را اندازه گیری کند که با داشتن سطح مقطع (الته بوسیله قطر لوله) می توان از رابطه $Q = V \cdot A$ سرعت را بدست آورد
سرعت

شدت جریان یا دی (Q) تابعی از فشار هم می باشد لذا با اندازه گیری اختلاف فشار می توان دی را حساب کرد از ΔP به دست آورد $Q = f(\Delta P)$. برای اندازه گیری جریان در لوله های بسته یا کانالهای بسته از لوله پیوت تیوب - ارفنسی - نازل - ونسوری استفاده می شود و کانالهای باز از Wier (سرریز) استفاده می شود.

10



الف) لوله پیتوت (Pitot tube):

با جابجایی بسته‌های سیال در نتیجه حرکت سیال در طول لوله و انتقال آنها از نقطه 1 به نقطه 2 این بسته‌ها به دماغه Pitot tube برخورد نموده لذا سیال شاهد کم‌بودن پیتوت است از ارتفاع اول خود (h_0) اندکی جابجا شده و به اندازه Δh بالا می‌رود با بستن این اختلاف ارتفاع در

Pitot tube می‌توان ΔP و ΔV را بر وسیله موازنه جرم از روی معادله برزی از نقطه 1 تا 2 درست آورد:

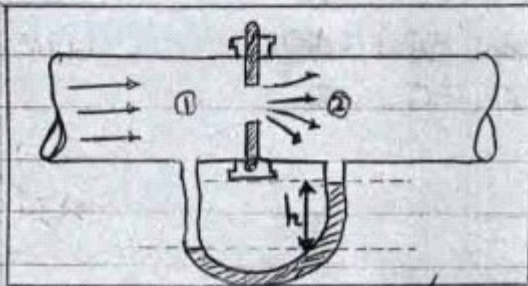
$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \rightarrow \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{\Delta h}{\gamma}$$

سرعت بدست آمده از این محاسبات تقریبی بوده و در عمل سرعت واقعی (actual velocity) کمتر از این مقدار می‌باشد چون میزان افت انرژی (h_f) در معادله برزی صفر فرض گردیده است.

$$V_{act} < V_{cal}$$

معایب Pitot tube:

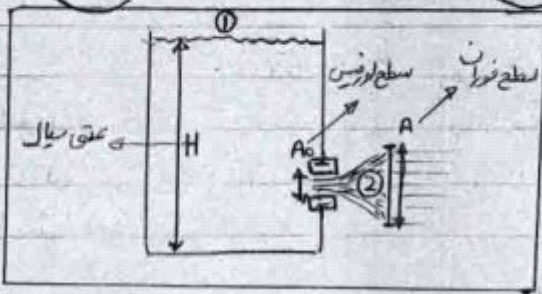
- 1- سرعت را به صورت موضعی یا آبی به مای دهد و برای افزایش دقت از چندین Pitot tube در جهت‌های مختلف لوله نصب کرده و متوسط آنها را بدست می‌آوریم
- 2- اگر جسم یا ذراتی همراه سیال حل گردد ممکن است باعث افزایش خطا در سرعت نشان داده شده باشد.



ب) اوریسین (Orifice):

اوریسین مانعی است که بر سر راه جریان قرار می‌گیرد و در دو طرف آن افت فشار بوجود می‌آید و ارتفاع برآمده شده در سیال ناظر بر توان افتد و فشار را محاسب نموده و در پی رابطه تابعی از ΔP بدست آورد.

اوریسین‌ها انواع مختلفی دارند که با توجه به کاربردشان در صنایع بکار می‌روند برخی از آنها در زیر آمده است:



اوریسین برای ذخیره:

برای بدست آوردن سرعت از طریق محاسبات معادله انرژی کافی است که معادله برزی را برای نقاط 1 تا 2 فوست تا:

$$\textcircled{II} \quad \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_f \rightarrow \frac{v_2^2}{2g} = z_1 - z_2, \quad z_1 - z_2 = H$$

از آنجایی که P_2 و P_1 هر دو فشار اتمسفر را دارند در معادله برنولی ساده و چون system را پایدار (Steady state) فرض کردیم لذا $\frac{v_1}{2g}$ را صفر فرض می‌کنیم.

مقدار سرعتی که از رابطه بالا بدست می‌آید یک سرعت تئوریک است و سرعت واقعی کمتر از این سرعت می‌باشد لذا یک ضریب برای نسبت بین سرعت واقعی و تئوریک تعریف می‌کنیم که به آن ضریب تخلیه می‌گویند و مقدار آن برای سیالات مختلف ثابت است.

$$C_v = \frac{\text{سرعت واقعی}}{\text{سرعت تئوریک}} = \frac{V_{act}}{V_{cal}} \rightarrow V_{act} = C_v \cdot V_{cal} \quad \textcircled{I}$$

از آنجایی که سیال از پائین مخزن طبق از سطح اورتیس ~~با سرعت~~ با سرعت جبهه خارج می‌شود و منطبق می‌شود و وقتی به سطح فوران می‌رسد منقبض می‌گردد لذا در محاسبه C_v از ضریب انقباض استفاده می‌شود که با C_c نمایش داده می‌شود

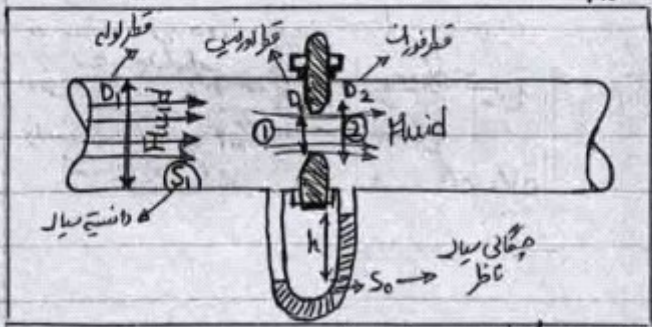
$$C_c = \frac{\text{مساحت فوران}}{\text{مساحت اورتیس}} = \frac{A}{A_0} \rightarrow A = C_c \cdot A_0 \quad \textcircled{II}$$

از طرفی C_d حاصلضرب ضریب انقباض در ضریب سرعت، پارامتری بنام ضریب تخلیه بدست می‌آید که با C_d نمایش داده می‌شود

$$C_d = C_c \times C_v \quad \textcircled{III}$$

تئوری $Q = V \cdot A$ دی واقعی با جاگذاری $Q = C_d \times A_0 \times \sqrt{2gH}$

ضریب تخلیه (C_d) بطور کلی تابعی از Re است $\frac{A_0}{A_0}$ C_c می‌باشد و می‌توان گفت $C_d = f(Re, C_c)$



اورتیس در یک لوله =
 پارامتری پارامترهای D_1 (قطر لوله)
 D_2 (قطر فوران) و D_1 (قطر اورتیس) و
 عمل معادلات برنولی و پیوستگی و اختلاف
 فشار ماونتری می‌توان سرعت واقعی سیال
 و در نهایت دی واقعی درون لوله را با استفاده از اورتیس محاسب نمود.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2, \quad C_c = \frac{A_2}{A_0}$$

$$\rightarrow \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \quad \textcircled{I}$$

با جایگذاری C_c داریم:

$$v_1 \times \frac{\pi D_1^2}{4} = v_2 \times \frac{\pi D_2^2}{4} = v_2 C_c \times \frac{\pi D_0^2}{4} \quad \textcircled{II}$$

۱۲

مابیناری
I در II

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

سرعت
تشریح

$$V_{act} \cdot V_2 = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2) / \gamma}{1 - C_c^2 (D_0 / D_1)^4}}$$

سرعت
واقعی

$$V_{act} = C_v \cdot V_{act} \Rightarrow V_{act} = C_v \cdot \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2) / \gamma}{1 - C_c^2 (D_0 / D_1)^4}} \quad *$$

افت فشار
مانومتر

$$P_1 + S_1 \gamma x + S_2 \gamma h - S_1 \gamma x - S_0 \gamma h = P_2$$

$$P_1 - P_2 = \gamma h (S_0 - S_1) \rightarrow \frac{P_1 - P_2}{\gamma_{H_2O}} = h (S_0 - S_1)$$

$$\gamma_{H_2O} = \frac{\gamma}{S_1} \rightarrow \frac{\gamma}{S_1} (P_1 - P_2) = \gamma h (S_0 - S_1) \rightarrow \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = h \left(\frac{S_0}{S_1} - 1 \right) \quad **$$

از طرفی

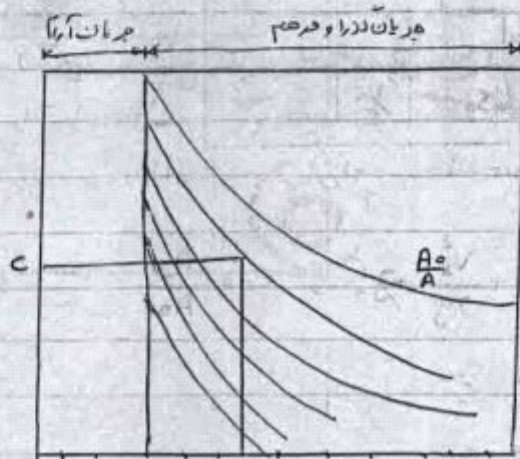
$$Q = C_d \times A_0 \times V_{act} \quad **$$

با جایگزینی III و IV
در معادله * داریم

$$Q_{act} = C_d \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2g h (S_0 / S_1 - 1)}{1 - C_c^2 (D_0 / D_1)^4}} \quad *$$

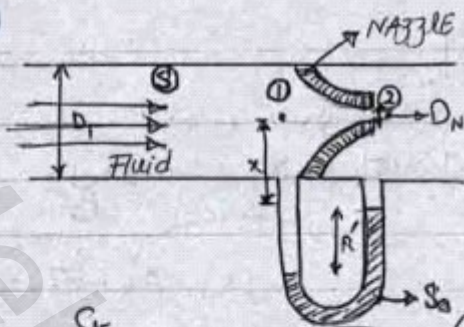
از طرفی می توان با استفاده از عدد Re و معادله آن از طریق نمودار فریب C یا فریب تخلیه را بدست آورده و در جدول مربوطه را بکار بریم یا نیز می توانیم با توجه افت فشار در دو طرفه و نسبت و دانسیته سیال Q_{act} را محاسبه نمود

$$Q_{act} = C \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}}$$



$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\mu} = \frac{u \cdot d}{\nu}$$

۱۳



© نازل (Nozzle) :

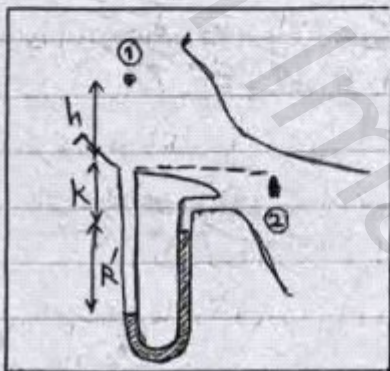
نازل برای اندازه گیری دبی در فشارهای بالا کاربرد دارد. در نازل بر خلاف اورفیس D_2 با D_1 یکی بوده یعنی قطر اورفیس با قطر نازل یکی می باشد. همان D_2 قطر نازل است.

$$C_v = \frac{C_r}{\sqrt{1 - (D_2/D_1)^4}}$$

دبی واقعی NAZZLE

$$Q = C_r \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2gR'(S_0 - 1)}{1 - (D_2/D_1)^4}}$$

$$Q = C \cdot A_2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$



d) وینچوری یا ونتوری (Ventury) :

تیف گلوگاه استوانه ای مجهز به ملق پیژومتري بوده که از یک قسمت مخروطی با آزاي توريجي به هاليتاً اندازه آن برابر قطر لوله می شود اندازه وینچوری با قطر لوله و گلوگاه مشخص می شود (مثلاً ونچوری ۱.۶x۴ یعنی است ۶ قطر لوله و قطر گلوگاه ۱.۶ می باشد)

برای ایند نتایج نسبتاً دقیق باث وینچوری متر باید حداقل طولی معادل ۱۰ برابر قطر لوله داشته باشد و ونتوری نسبت به نازل و اورفیس امت فشار کمتری ایجاد می کند و دقت آن برای محوره وسیعی از شد جریان از اورفیس و نازل بیشتر است.

رابطه برینولی

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + 0 + h_f$$

رابطه پیوستگی

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \rightarrow \left(\frac{\pi D_1^2}{4}\right) \cdot v_1 = \left(\frac{\pi D_2^2}{4}\right) \cdot v_2$$

لذا

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g(h + P_1 - P_2/\gamma)}{1 - (D_2/D_1)^4}}$$

چون می خواهیم رابطه $\frac{P_1 - P_2}{\gamma}$ را در فرمول هایندای کنیم رابطه اختلاف فشار پیژومتري را برای نقطه ۱ تا ۲ می نویسیم

$$P_1 + (h + K + R') \gamma_{H_2O} \cdot S - R' S_0 \gamma_{H_2O} - K \cdot S \gamma_{H_2O} = P_2$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma_{H_2O}} = h \cdot S + R'(S_0 - S) \rightarrow \frac{P_1 - P_2}{\gamma_{H_2O}} + h \cdot S = R'(S_0 - S) \rightarrow \frac{\Delta \text{سیال}}{\gamma_{H_2O}} = S$$

ادامه صفحه بعد ←

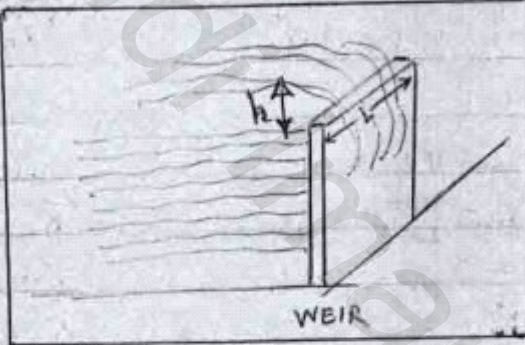
12

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

در فرمول سرعت تکوین لا مربوط به سیال است لذا برای جانمایی در معادله پیوسته می توانیم جای لا سیال از عبارت $S_0 \cdot \lambda_{H2O}$ استفاده می کنیم

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g \cdot R' \left(\frac{S_0}{S} - 1 \right)}{1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4}}$$

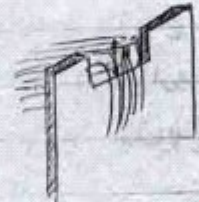
دی واقعی و منبری $Q = C_v \cdot A_2 \cdot V_2$



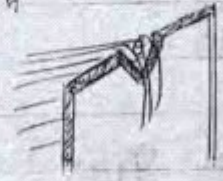
© سرریزها (Weirs) :

برای اندازه گیری سیالات در کانالهای باز از سرریز استفاده می کنند سرریز مانع است که بر سر راه کانال قرار گرفته و باعث تجمع سیال در پشت آن می شود پس سیال از روی یا وسط آن عبور می کند با اندازه گیری ارتفاع سطح مایع قبل از سرریز می توان مشخص می شود سرریزها به اشکال مختلف وجود دارند

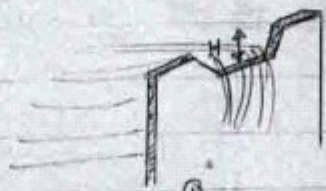
وجود دارند



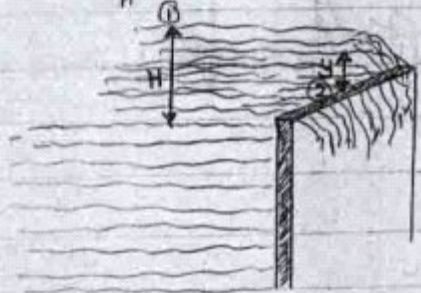
1- سرریز با شکاف مستطیلی :
به گوشه هم عرض کانال و باعث کم تر از کانال تقسیم می شوند



2- سرریز V شکل در این گروه سرریزها دارای شکاف V شکل در وسط می باشد زاویه θ در آنجا از 45° تا 90° می باشد و θ است 45° در آنجا 90° می باشد



3- سرریز با شکاف ذوزنقه :
جریان آن از سرریز عبور می کند معادله منقبض می شود و انتظاع ذوزنقه عبور می کند



اما با فرض اینکه P_1 و P_2 با هم برابر است از هر فشار در بالای نقطه 2 صرف نظر می کنیم و معادلات برنولی و پیوستگی را نوشته و سرعت تکوین در نهایت واقعی و دی واقعی را بدست می آوریم

1A

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + (H-y)$$

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + H - y \rightarrow V_{2(vel)} = \sqrt{2gy}$$

عضو ریزشی $\rightarrow dA = l \cdot dy$

$$Q_{cal} = \int V_{vel} \cdot dA = \int_0^H \sqrt{2gy} \times l \cdot dy = \sqrt{2g} \times l \int_0^H \sqrt{y} dy$$

$$Q_{cal} = \frac{2}{3} \cdot l \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

سرعت بدست تواریک درمی یابیم

دی حامل از محاسبات آن می یابیم

محاسباتی است در صورتیکه نتایج تجربی نشان می دهد در واقع 0.62 دی محاسباتی (تئوریک)

دی واقعی WEIRS سرریز ساده $Q_{act} = 0.62 Q_{cal} = 1.48 \times l \cdot H^{\frac{3}{2}}$

است لذا داریم

محاسبه دی سرریز با شگاف مستطیلی :

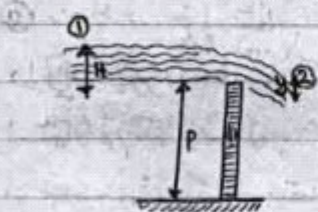
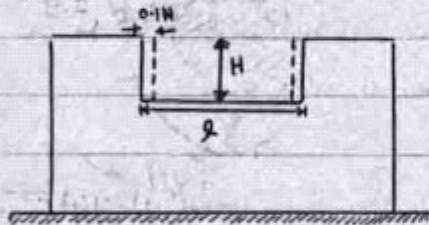
در این نوع سرریز ارتفاع جریان زیاد است لذا (طول سرریز)

واقعی می کشیم به اندازه 0.1 H از آن کم می کنند و آنرا l_c

$$l_c = l - 2 \times 0.1 H$$

اگر مقدار P در سرریز کم باشد یعنی توان انسداد WEIR در

2 مرف کمتر بود لذا پارامتر $\frac{V^2}{2g}$ به معنای دی اضافه خواهد شد



$$Q = C \cdot l_c \cdot \left[H + \alpha \cdot \frac{V^2}{2g} \right]^{\frac{3}{2}}$$

که داریم $\alpha = 1.4$ جنبش تقریباً 1.4
 ضریب تصحیح انرژی $\alpha = 1.4$
 ارتفاع سرریز $\alpha = 1.4$
 ضریب ثابت برای هر سیال $\alpha = 1.4$
 عمیق (عرض) سرریز $\alpha = 1.4$

از آنجا که مقدار V برای ما مجهول می باشد باید از روش حدس و خطا مقدار

$$V_2 = \frac{Q}{l(P+H)}$$

اولی محاسبه کرده و آنرا در معادله Q با Q قرار داده و V را بدست آورده و سپس V در معادله

قرار داده $Q_{act} = Q_{ass}$ را به دست می آوریم چنانچه $Q_{act} - Q_{ass} > 0.001$ باشد جواب صحیح خواهد بود در غیر این صورت از مرحله

محاسبه سرعت در برابر Q اصلی مراحل را تکرار می کنیم

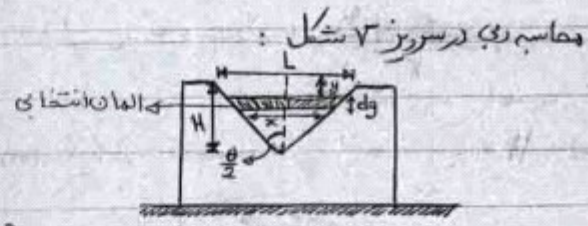
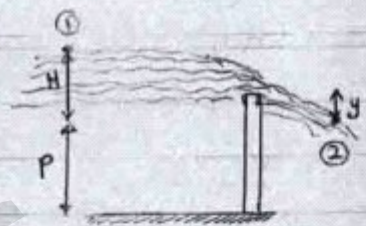
مراحل اصلی حدس خطا :

$$\text{III} \rightarrow Q_{assume} = 1.84 \cdot l \cdot H^{\frac{3}{2}} \xrightarrow{\text{II}} Q_{ass} = C \cdot l \cdot \left(H + \alpha \cdot \frac{V^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \xrightarrow{\text{I}} Q_{act} = V_2 \cdot l \cdot (H+P)$$

1- چنانچه شرط برقرار باشد $Q_{act} = Q_{ass}$ جواب نهایی است

2- چنانچه شرط برقرار نباشد از مرحله دوم مراحل را تکرار می کنیم

14



از معادله برابری انرژی $0 + 0 + H = \frac{v^2}{2g} + 0 + (H-y) \rightarrow v^2 = 2gy$

از طرفی برای آنکه از طرفی دیگر $dA = x dy$
برای محاسبه دبی می توان نوشت $Q = \int v dA = \int \sqrt{2gy} \cdot x dy$

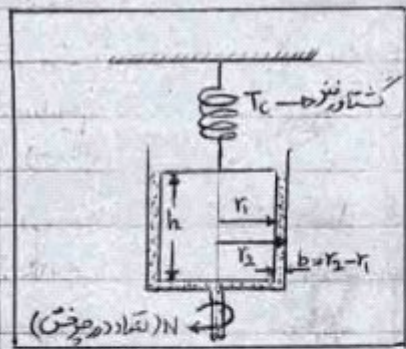
با استفاده از هندسه مثلث می توان نوشت $\frac{L}{H} = \frac{x}{H-y}$ (I), $\tan \frac{\theta}{2} = \frac{L/2}{H} \Rightarrow \frac{L}{H} = 2 \tan \frac{\theta}{2}$ (II)

از I و II $x = 2 \tan \frac{\theta}{2} \cdot (H-y)$ با جایگزینی در انتگرال با I

$Q = \int_0^H \sqrt{2g} \cdot y^{\frac{1}{2}} \cdot 2 \cdot \tan \frac{\theta}{2} \cdot (H-y) dy \rightarrow Q_{th} = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \tan \frac{\theta}{2} \cdot H^{\frac{2.5}}$

if $\theta = 90^\circ$ بر اساس تجربیات $Q_{act} = 0.42 Q_{th} \rightarrow Q_{act} = 1.38 H^{2.5}$
مقدار دبی واقعی در سرریز شکل 7 با $\theta = 90^\circ$ باشد

II انزال لایه ای ویسکوزیته سیال (Viscosity - μ):



@ لزجت مایع با استفاده از قانون نیوتن: $\mu = \frac{\tau}{du/dr}$
در این روش برای مطابقت ویسکوزیته سیال لزج و استوانه هم مرکز استفاده می کنند و سیال به ضخامت ط مابین دو استوانه قرار می گیرد. استوانه بیرونی به یک محور متصل است که چرخش آن متناسب است با اندازه و سرعت $\frac{du}{dr}$ و گشتاور مغز متناسب است با τ این بررسی که متناسب است برای لزجی تا نونا ویسکوزیته نیوی و چنانچه در روابط گشتاور و نیرو در آن صورت می گیرد.

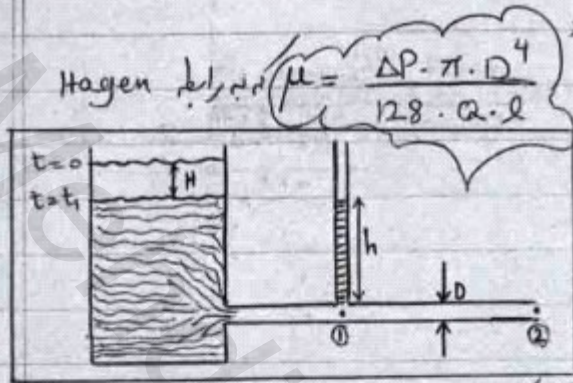
فرض می کنیم $b \ll r_1, r_2$
برای این صورت ثابت است $\frac{du}{dr} = \frac{u}{r_2 - r_1}$
زاویه چرخش $u = \gamma \cdot \omega = 2\pi \cdot \gamma = \frac{2\pi N}{60}$
از این دو رابطه $\frac{du}{dr} = \frac{2\pi N \cdot r_2}{60 \cdot b}$ (I)

از طرفی برابری تورق $T_c = F \cdot l \rightarrow F = \frac{T_c}{l} = \frac{\tau \cdot A}{l} \rightarrow \tau = \frac{T_c}{L \cdot A} = \frac{T}{2\pi r_1 \cdot r_2 \cdot h}$ (II)

از I و II $\mu = \frac{\tau}{du/dr} = \frac{15 \cdot T_c \cdot b}{\pi^2 \cdot r_1^2 \cdot r_2 \cdot N \cdot h}$

IV

ب) محاسبه ویسکوزیته (Hagen-Poiseuille):



چنانچه سیال دارای رژیم جریان Laminar باشد یعنی $Re < 2100$ باشد از رابطه مقادیر است میتوان ویسکوزیته سیال را محاسبه نمود که این رابطه در واقع همان منوسول دبی Hagen تغییر یافته $Q = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot D^4}{128 \cdot \mu \cdot l}$ می باشد اما برای محاسبه ویسکوزیته

در این روش ابتدا مقدار حجم گذر کرده از نقطه 1 به 2 را اندازه گیری کردیم (در بازه زمانی $t_2 - t_1$) و چون دبی حجمی $Q = \frac{V}{t}$ را بدست آوردیم چون مقدار $\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$ می باشد با جایگذاری در رابطه ویسکوزیته Hagen-Poiseuille میتوان ویسکوزیته سیال را بدست آورد.

ج) ویسکومتر (Say-bolt):



این دستگاه وسیله ای برای اندازه ویسکوزیته سیما سیماست در این روش زمان لازم برای تخلیه 60 cm^3 حجم از سیال از لوله موئین توسط فشار ناشی از هدر سیال (ارتفاع سیال بالای لوله موئین) اندازه گیری می کنند این زمان را (مطلقاً) عدد Say-bolt می گویند و با C نمایش می دهند در این روش فرض می شود اثر کشش سطحی میان سیال و لوله موئین ناچیز است و رژیم جریان آن Laminar است.

$$\mu = \frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot \pi \cdot D^4}{128 \cdot Q \cdot l}$$

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

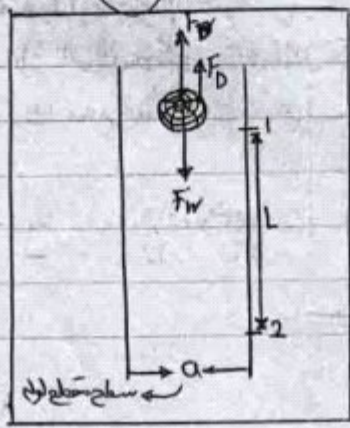
$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$$

$$\rightarrow \frac{V}{t} = \frac{\mu}{\rho \cdot t} = C_1 = \frac{g \cdot h \cdot \pi \cdot D^4}{128 \cdot V \cdot l}$$

ویسکوزیته سیما بولت (say-bolt) $v = C_1 \cdot t$

اگر نخواهیم از موارد فوقین شده در میسابت وقت نیا کنیم از فرمول تصحیح شده آن استفاده می کنند که به عبارتی $v = C_1 t + \frac{C_2}{t}$ که از ترکیب آن با رابطه استون داریم $v = 22t - \frac{1.8}{t}$

د) سقوط آزاد سیال:



در این روش فرض می شود که گلوله با سرعت ثابت در سیال سقوط می کند نیروی های وارد بر گلوله عبارتند از نیروی درآ F_D که بر اساس قانون استوکس تعریف می شود و نیروی F_B و F_W که با فرض شدن بر اینکه نیروها در راستای z می توان از رابطه بدست آورد.

18

فرضیات: سرعت حرکت کولر ناچاست.

Stoke law says:

$$F_D = 6\pi \cdot a \cdot u \cdot \mu$$

لوسنتاغ کره
لوسریت ۱۵

$$F_D = \gamma_f \times V_{\text{گلوله}} = \gamma_f \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 \quad \text{و} \quad F_w = \gamma_s \times V_{\text{گلوله}} = \gamma_s \cdot \frac{4}{3} \pi a^3$$

از شرایط تعادل
در راستای عمودی

$$\Sigma y = 0 \rightarrow \mu = \frac{\rho}{\eta} \cdot \frac{a^2}{u} \cdot (\gamma_s - \gamma_f)$$

فصل سوم: جریان کلیفوات در کانالهای بسته

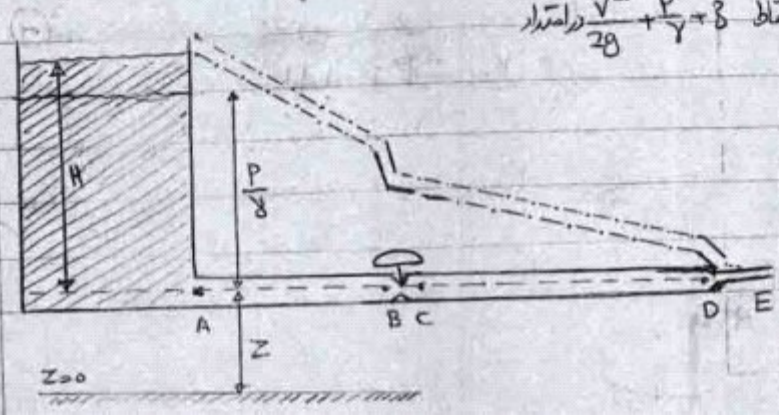
می دانیم برای محاسبه h_f (افت انرژی) در مقطع لوله ای از رابطه دارسی استفاده می کردیم اما آنر مقطع عبور جریان غیر دایره ای است باید بدون رابطه جریان بجای D از R_h (شعاع هیدرولیک) استفاده کردیم که رابطه آن با قطر دایره به قطر زیری برابر است

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2} = \frac{D}{4} \rightarrow D = 4R_h$$

گتر رابطه h_f با طول لوله، راد لوله های مستقیم در نظر بگیریم و همچنین رابطه Hagen-william برای R در رابطه با λ و C معیار داد یعنی مقادیر C و n تابع زبری لوله هستند و هر چه لوله $Smooth$ باشد مقادیر بزرگتری در

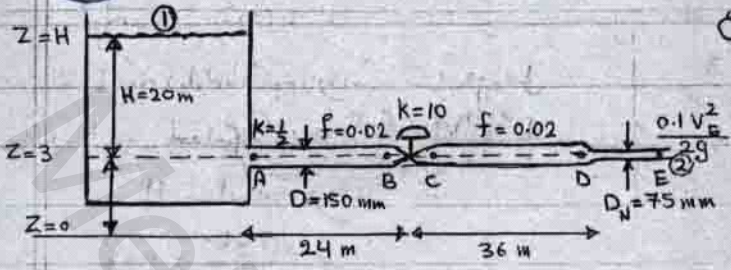
- $C = 140$ برای لوله های فوق العاده صاف
- $C = 100$ برای لوله های ششالی
- $C = 60 \sim 80$ برای لوله های فوق العاده زبر

خط تراز هیدرولیکی: مکان هندسی نقاط $\frac{P}{\gamma} + z$ در امتداد قائم در طول مسیر می باشد
خط تراز انرژی: مکان هندسی نقاط $\frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z$ در امتداد قائم در طول مسیر می باشد



خط تراز انرژی: - - -
خط تراز هیدرولیکی: - - -

19



مثال: با توجه به شکل و داده های شکل ارتفاع

خط تراز هیدروستاتی و انرژی برای نقاط A و B

و C و D و E چیست؟

$$\left(\frac{P}{\gamma} + \delta\right)_A \dots \dots \left(\frac{P}{\gamma} + \delta\right)_E = ?$$

$$\left(\frac{P}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g}\right)_A \dots \dots \left(\frac{P}{\gamma} + \delta + \frac{V^2}{2g}\right)_E = ?$$

برای A داریم:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + (20+3) = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + 3 + h_f$$

برای B: $0 + 0 + 23 = \frac{V_B^2}{2g} + 3 + 0 + \left(\frac{0.5V^2}{2g} + 0.02 \times \frac{60}{0.15} + \frac{V^2}{2g} + 10 \frac{V^2}{2g} + 0.1 \frac{V_E^2}{2g} \right)$

انت انرژی نازل، انت انرژی کنترل، معادله دایره ای برای اصطکاک، انت انرژی میچ

معادله پیوستگی بین 1 و 2: $P_1 U_1 A_1 = P_2 U_2 A_2 \rightarrow \dots \rightarrow V_E = 4V$

جابجایی در معادله انرژی: $\frac{V^2}{2g} = 0.554 \text{ m}$

خط تراز هیدروستاتی برای نقطه A داریم: $(20+3) + 0 + 0 = \frac{V^2}{2g} + \frac{P_A}{\gamma} + \delta + \frac{1}{2} \frac{V^2}{2g}$

$\rightarrow \frac{P_A}{\gamma} + \delta = 23 - 1.5 \times 0.554 = 22.17 \text{ m}$

خط تراز انرژی برای نقطه خواهد بود: $\frac{P_A}{\gamma} + \delta + \frac{V^2}{2g} = 22.17 + 0.554 = 22.72 \text{ m}$

برای بدست آوردن سایر ترازها در نقاط B به بعد کافی است معادله انرژی را به ترتیب بین نقاط (A و B) - (B و C) - (C و D) و در نهایت (D و E) نوشته و انت های مؤثر بین نقاط را در محاسبه بریزیم منظور کنیم

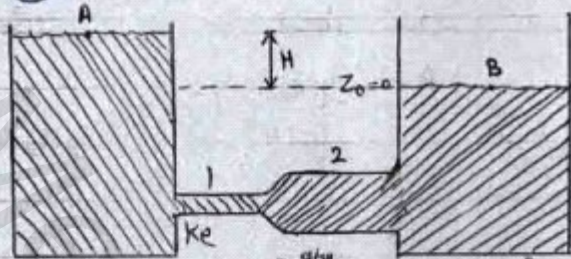
گرادیان هیدروستاتیک: سبب خط تراز هیدروستاتی که محب افقی است $d\left(\frac{P}{\gamma} + \delta\right) / dL$

گرادیان انرژی: سبب خط تراز انرژی که محب افقی است $d\left(\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + \delta\right) / dL$

تذکره: مواقعی که لوله طولی می باشد از اندف جزئی صرف نظر می شود (مانند نازل خروجی و ورودی - شیرهای مسری) و مقدار $\frac{V^2}{2g}$ نسبت به $\left(\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}\right)$ خیلی کوچک تر است در این حالت خط تراز انرژی و خط تراز هیدروستاتی بر هم منطبق می شوند و هر دو خط تراز به خط تراز هیدروستاتی ناصب می شوند نکته: جریان همیشه در جهت کاهش خط تراز انرژی است مگر اینکه در مسیر جریان پمپ قرار دهیم چون پمپ به سیستم انرژی می هد

نکته: اتومبیل انرژی جریان svs را گرفته و باعث افت شدید خط تراز انرژی می شود

۲۰



لوله های سری :

هنگامی که دو لوله با قطر و زبری متفاوت بهم وصل می شوند با معلوم بودن دبی یا مقدار H یا هر دو لوله حساب می گردد

$$\textcircled{I} \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + H = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + 0 + \left(K_e \frac{V_1^2}{2g} + f_1 \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{V_1^2}{2g} + \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{D_2} \cdot \frac{V_2^2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

از معادله پویایی داریم $\textcircled{II} P_1 = P_2 \rightarrow V_1 D_1^2 = V_2 D_2^2$

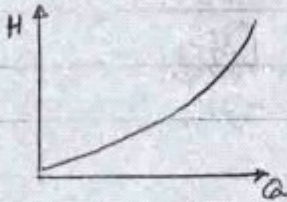
از آید II داریم ...
$$H = \frac{V_1^2}{2g} \left[K_e + \frac{f_1 L_1}{D_1} + \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right)^2 + \frac{f_2 L_2}{D_2} \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 + \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 \right]$$

از طرفی
$$H = \frac{V_1^2}{2g} (C_1 + C_2 f_1 + C_3 f_2)$$

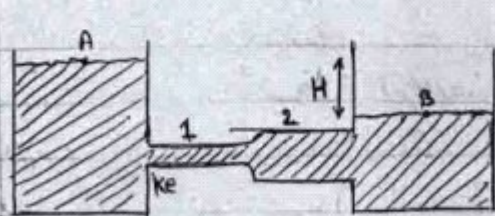
که C1 و C2 و C3 مقادیر مشخصی باشند

حالت اول: اگر دبی مشخص باشد مقدار رینولدز محاسب شده و با داشتن آن سری f بدست می آید و با جایگزینی در معادله برنولی H بدست می آید

حالت دوم: اگر H مشخص باشد مقادیر f1 و f2 و V1 نامعلومند لذا با فرض نمودن مقادیری برای f1 و f2 و محاسب کردن لوله 1 را بدست آورده و از آنجا مجدداً f1 و f2 تصحیح شده بدست می آید که متغیر به حساب V برای با تصحیح شده می باشد



حالت دوم - الف) در این روش با استفاده از نمودار یک معادله برای H در نظر می گیریم و با رابطه مقدار H را مشخص می کنیم و نمودار H/Q را رسم کرده و به جواب خواهیم رسید



مثال ۱ دو مخزن ذیل با دو لوله سری با مشخصات ذیل بهم متصل شده اند چنانچه حد سیال در A برابر 6m باشد دبی را محاسب نمایید

$\nu = 3 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$, $L_1 = 300 m$, $L_2 = 240 m$

$D_1 = 600 mm$, $D_2 = 1 m$, $\epsilon_1 = 2 mm$, $\epsilon_2 = 0.3 mm$, $K_e = 0.5$, $H = 6 m$

جواب:

$$6 = \frac{V_1^2}{2g} \left(0.5 + f_1 \frac{300}{0.6} (1 - 0.6^2)^2 + f_2 \times \frac{240}{1} \times 0.6^4 + 0.6^4 \right)$$

$$6 = \frac{V_1^2}{2g} (1.0392 + 500 f_1 + 31.1 f_2)$$

$\frac{\epsilon_1}{D_1} = 0.0033$, $\frac{\epsilon_2}{D_2} = 0.0003$ $\xrightarrow{\text{Mody diagram}}$ $\left. \begin{array}{l} f_1 = 0.026 \\ f_2 = 0.015 \end{array} \right\}$

۲۱

$$\xrightarrow{\text{جابجایی درجه برزوی}} v_1 = 2.84 \frac{m}{s} \xrightarrow{\text{از معادله پیوستگی داریم}} v_1 D_1^2 = v_2 D_2^2 \rightarrow v_2 = 1.025 \frac{m}{s}$$

$$Re_1 = \frac{v_1 D_1}{\nu} = \frac{2.84 \times 0.6}{3 \times 10^{-6}} = 569600, \frac{f_1}{D_1} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} f_1 = 0.0265 \\ f_2 = 0.0168 \end{array} \right.$$

$$Re_2 = \frac{v_2 D_2}{\nu} = \frac{1.025 \times 1}{3 \times 10^{-6}} = 341667, \frac{f_2}{D_2}$$

$$\xrightarrow{\text{جابجایی در معادله برزوی}} v_1 = 2.819 \frac{m}{s} \rightarrow Q = v_1 \frac{\pi D_1^2}{4} = 0.797 \frac{m^3}{s}$$

لوله‌های معادل:

دو سیستم لوله راه‌تکای معادل گوینده، با ازای یک آنلاف هدر سیال یکسان مقادیری برای دو سیستم برابر باشد یعنی $Q_1 = Q_2$ باشد آنلاف $h_{f1} = h_{f2}$ یعنی $f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{v_1^2}{2g} = f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{v_2^2}{2g}$ خواهد بود

$$Q \text{ بر حسب } h_{f1} = \frac{f_1 \cdot L_1 \cdot 8Q_1^2}{D_1^5 \cdot \pi^2 \cdot g}, \quad h_{f2} = \frac{f_2 \cdot L_2 \cdot 8Q_2^2}{D_2^5 \cdot \pi^2 \cdot g}$$

وقتی $Q_1 = Q_2$ و $h_{f1} = h_{f2}$ ، هر رابطه زیر برای 2 سیست برقرار است:

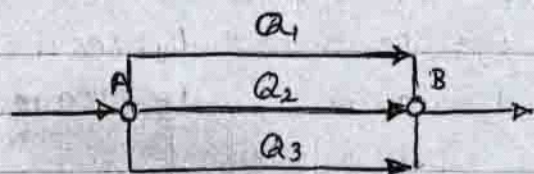
$$\left(\frac{L_2}{L_1} \right) = \left(\frac{f_1}{f_2} \right) \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5$$

مثال: چنانچه برای 300 متر لوله با قطر 250 mm لوله معادلی با قطر 150 mm استفاده شود

با فرض معادله f برای f_1 و f_2 طول لوله معادل چه قدر خواهد بود؟

$$f_1 = 0.02, \quad f_2 = 0.018, \quad L_2 = 250 \times \frac{0.02}{0.018} \times \left(\frac{150}{250} \right)^5 = 25.9 \text{ m}$$

لوله‌های موازی:



ترکیب دو یا چند لوله، زمانی موازی است که جریان بین لوله‌ها تقسیم شده و دوباره جمع گردد

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$h_{f1} = h_{f2} = h_{f3}$$

نکته: در لوله‌های موازی آنلاف هدر در تمام لوله‌ها یکسان است.
 نکته 2: در هر جریان برابر است با مجموع درجه‌تکب آنلاف هدر.
 نکته 3: افت فشار در جریان زمانی یکسان است که قطر و لزجی لوله‌ها با هم برابر باشد.

(۲۲)

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + hf \rightarrow hf = \left(\frac{P_A}{\gamma} + Z_A\right) - \left(\frac{P_B}{\gamma} + Z_B\right)$$

$$hf_1 = hf_2 = hf_3 = hf$$

محاسبات مربوط به لوله‌های موازی :
حالت اول :

Q_t (در کل) مجهول است و بار است hf سرعت را بدست می آوریم و سپس Q را بدست می آوریم

$$\left. \begin{array}{l} hf_1 \rightarrow v_1 \rightarrow Q_1 \\ hf_2 \rightarrow v_2 \rightarrow Q_2 \\ hf_3 \rightarrow v_3 \rightarrow Q_3 \end{array} \right\} \rightarrow Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

حالت دوم :

Q_t (در کل) مشخص است و بار است hf و یا راندهای مجهول v_1, v_2, v_3 هستند

$$hf_1 = hf_2 = hf_3 = hf$$

- ① مقدار Q برای لوله ۱ حدی می زنیم Q_1
- ② با فرض Q_1 مقدار hf را حساب می کنیم
- ③ بار است hf به ترتیب Q_2 و Q_3 را حساب می کنیم
- ④ بار است Q ها Q_t را حساب می کنیم

$$Q_1 = \frac{Q_1'}{Q_t} \cdot Q_t$$

$$Q_2 = \frac{Q_2'}{Q_t} \cdot Q_t$$

$$Q_3 = \frac{Q_3'}{Q_t} \cdot Q_t$$

⑤ سرعت v از Q های جدید بدست می آوریم و hf را تصحیح می کنیم

مثال : با توجه به مشخصات زیر از لوله‌های موازی $Q = 340 \frac{lit}{s}$ بار است جریان در هر لوله و فشار در نقطه B را حساب کنید

- $Z_A = 30 \text{ m}$, $P_A = 560 \text{ kpa}$, $\nu = 2.8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
 $Z_B = 24 \text{ m}$, $\rho = 1028 \text{ kg/m}^3$, $\epsilon_1 = 0.3 \text{ mm}$
 $\epsilon_2 = 0.03 \text{ mm}$, $\epsilon_3 = 0.24 \text{ mm}$, $D_1 = 300 \text{ mm}$, $L_2 = 600 \text{ m}$
 $D_2 = 200 \text{ mm}$, $D_3 = 400 \text{ mm}$, $L_1 = 900 \text{ m}$, $L_3 = 1200 \text{ m}$

$$hf = \left(\frac{P_A}{\gamma} + Z_A\right) - \left(\frac{P_B}{\gamma} + Z_B\right) = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$Q_1 = 85 \text{ lit/s}$ فرض ۱

$$v_1' = \frac{Q_1'}{A_1} = 1.2 \rightarrow \left. \begin{array}{l} Re = 129000 \\ \frac{\epsilon_1}{D} = 0.001 \end{array} \right\} \xrightarrow[\text{diagram}]{\text{Mody}} f_1' = 0.022$$

$$hf_1 = 0.022 \times \frac{900}{0.3} \times \frac{1.2^2}{2 \times 9.8} = 4.85 \text{ m} \rightarrow hf_1 = hf_2 = hf_3$$

(۲۲)

$$4.85 = f'_2 \times \frac{600}{0.2} \times \frac{V_2'^2}{2 \times 9.8}, \left[\frac{\epsilon_2}{D_2}, Re \approx \text{Turbulent} \right] \xrightarrow{\text{mody diag}} f'_2 = 0.02$$

$$Re_2 = 91400$$

$$V_2' = 1.291 \frac{m}{s} \rightarrow Q_2 = 46.6 \text{ Lit/s}$$

$$4.85 = f'_3 \times \frac{1200}{0.4} \times \frac{V_3'^2}{2 \times 9.8}, \left[\frac{\epsilon_3}{D_3}, Re \approx \text{Turb} \right] \xrightarrow{\text{mody diag}} f'_3 = \nu$$

$$\rightarrow V_3' \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} Re_3 \\ \epsilon_3 \\ D_3 \end{array} \right\} \rightarrow f'_3 \rightarrow V_3' \rightarrow Q_3 \rightarrow Q' = \nu$$

$$Q_1 = \frac{Q_1'}{Q_4} \cdot Q_4 = \frac{85 \times 340}{283.8} = 101.83 \text{ Lit/s}$$

$$\Rightarrow Q_2 = 48.64 \text{ Lit/s}, \quad Q_3 = 189.53 \text{ Lit/s}$$

$$h_f = \left(\frac{P_A}{\gamma} + Z_A \right) - \left(\frac{P_B}{\gamma} + Z_B \right) \rightarrow P_B = 552.5 \text{ kpa}$$

$$Q_1, L_1, D_1, h_f \rightarrow h_f = 6.6 \text{ m} \text{ تصفیه شده}$$

فصل چهارم

بررسی جریان سیالات در بست‌های با ذرات جامد

1] بست‌های ثابت (Fixed bed):

در بست‌های ثابت ذرات بست هیچ‌گونه حرکتی ندارند و سیال در حال گذشتن از آن است و افت فشار در آنرا می‌توان با استفاده از معادله دarcy و معادله Kozeny-Carman محاسبه کرد. در این نوع بست‌ها ذرات جامد است و افت فشار برابر است با وزن سیال جامد.

2] بست‌های سیالی (Fluidized bed):

در این نوع بست‌ها ذرات با انرژی کافی با بست ثابت برای اسیاب گازهای آلوده کننده هوا می‌توانند از بست‌های مناسب صنعتی محسوب می‌شوند و همچنین برخی خشک‌کن ذرات سیلیکاتول.



(۲۴)

$$K: \text{ ثابت بولتزمن } \frac{9r \text{ cm}^2}{s^2} \cdot 1.38 \times 10^{-16}$$

RA: شمع ماده حل شده بر حسب cm (هفت قطر کوردر)

ر: ویسکوزیته محلول بر حسب $\frac{gr}{cm \cdot s}$ می باشد

برای محلولهای خنثی رقیق و غیر الکترولیت از رابطه زیر استفاده می شود:

$$D_{AB} = \frac{(7.4 \times 10^{-8}) (\phi \cdot M_B) \cdot T}{\mu \cdot V_A^{0.6}} \quad \mu: \text{ ویسکوزیته جیب سانتی پویز } (cp) \quad (1 \text{ cp} = \frac{10^{-3} \text{ kg}}{\text{m} \cdot \text{s}})$$

T: بر حسب کلوین (K) M_B : جرم مولی محلول ϕ : ضریب تصحیح مولی حلال

V_A : جرم مولی جزء حل شونده $(\frac{\text{cm}^3}{\text{gr. mol}})$

ϕ برای آب 2.6 و برای متانول و اتانول به ترتیب 1.9 و 1.5 می باشد.

نکته مهم: اگرچه ضریب نفوذ در گازها بیشتر از ضریب نفوذ مایعات است اما غلظتی یا شار نفوذی در مایعات معنی است بیشتر از گازها باشد چون غلظت مایعات از گازها بیشتر است.

3] ضریب نفوذ مولکولی در جامدات:

ضریب نفوذ در جامدات خیلی کمتر از مایعات و گازها است و می توانی نفوذ ضعیف بیشتر از مایعات و گازها است. مثلاً ضریب نفوذ کادمیوم در 10^{15} برابر بیشتر از ضریب نفوذ آلومینیوم است.

مثال: ضریب نفوذ گاز A در B در دمای $20^\circ C$ و فشار 2 atm برابر $1.2 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ است ضریب نفوذ A در B در دمای $30^\circ C$ و 1 atm چقدر است؟

$$T_1 = 20^\circ C = 293 \text{ K}$$

$$P_1 = 2 \text{ atm} = 202650 \text{ Pa}$$

$$T_2 = 30^\circ C = 303 \text{ K}$$

$$P_2 = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$$

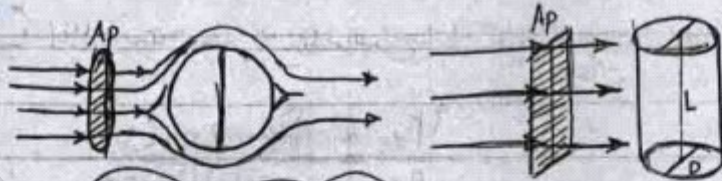
$$D_{(AB)_1} = 1.2 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$$

$$D_{(AB)_2}$$

$$\frac{D_{(AB)_1}}{D_{(AB)_2}} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{1.5} \left(\frac{P_2}{P_1}\right) \Rightarrow \frac{1.2 \times 10^{-5}}{(D_{AB})_2} = \left(\frac{293}{303}\right)^{1.5} \left(\frac{101325}{202650}\right)$$

$$\rightarrow D_{(AB)_2} = 2.44 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$$

۲۵

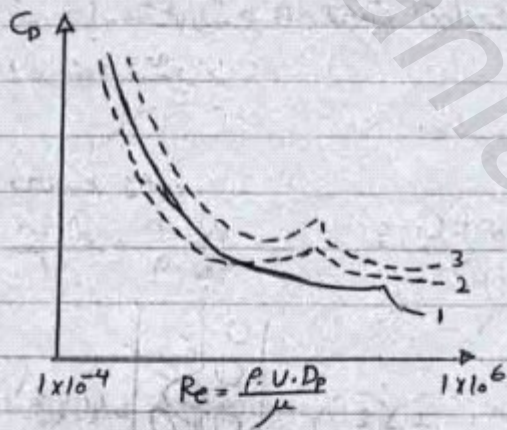


$$C_D = \frac{\tau_w}{\rho U^2 / 2g_c} = \frac{F_D / A_p}{\rho U^2 / 2g_c}$$

همچنین نیروی درآب را با استفاده از قانون استوک می توان بدست آورد. (چنانچه $Re \ll 1$ باشد):

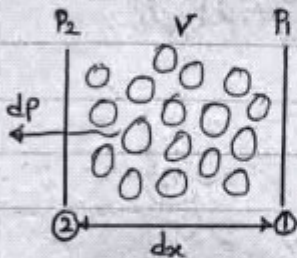
$$F_D = 3\pi \frac{\mu \cdot v \cdot D_p}{g_c}, \quad C_D = \frac{24}{Re_p}$$

همانطور که از قبل می دانیم در قانون فودران داده در محله های مختلف نیروی که از دیواره لوله ها به سیال وارد می شود باعث افت فشار می شود



- ۱ - ذرات نری
- ۲ - ذرات سلینری
- ۳ - ذرات دسسی

II بررسی رفتار سیال در سبتهای پر شده (ثابت):



$$v = \frac{-k}{\mu} \cdot \frac{dp}{dx}$$

مقاومت جریان در اثر نیروی حاصل از دیواره ها
به جریان بوجود می آید

$$F_s = F_I + F_{fr}$$

کاتال عبور جریان



نیروی چسبندگی کلی بر واحد سطح: مجموع دینامی اینرسی و ویسکوز.
در این سبتهای پراکنده ایجاب می شود که نیروی که بر سیال در این کانهها وارد می شود در سرعت سیال را کاهش دهد

(۲۷)

در نهایت کانال نیروی چسبندگی در واحد سطح بصورت زیر بدست می آید:

نیروی وiskوزیته $F_{FR} = \frac{K_1 \cdot \mu \cdot v}{g_c \cdot \gamma_H}$ ، $F_I = \frac{K_2 \cdot \rho \cdot v^2}{g_c}$

K_1 و K_2 مقادیر ثابت بهره و در آن زمان ضرایب چسبندگی می آیند در دو رابطه بالا K_1 و K_2 تابعی از غریب فشار هستند

نیروی دراز $\frac{F_D}{A_s} = \frac{F_I}{A_s} + \frac{F_{FR}}{A_s} = \frac{1}{g_c} \left(\frac{K_1 \mu v}{\gamma_H} + K_2 \rho v^2 \right)$

سرعت واقعی $V_{re} = \frac{V_o}{\epsilon} = \frac{Q}{A \cdot \epsilon}$

سرعت ظاهر V_o Superficial

نقته ۱ باید دقت داشت جای سرعت واقعی از سرعت ظاهر در روابط استفاده شود

سطح ذرات S_p مقدار ذرات

محاسبه A_s

$A_s = N_p \times S_p$ ، $N_p = \frac{S_o \cdot L \cdot (1-\epsilon)}{V_p}$

حاصل از A_s در $A_s = \frac{S_o \cdot L \cdot (1-\epsilon) \cdot S_p}{V_p}$



$\gamma_H = \frac{A}{P} = \frac{S \rightarrow \text{سطح مقطع کانال}}{L_p \rightarrow \text{محیط مرز بین دو کانال}} = \frac{\pi D^2}{\pi D} = D/4$

$\gamma_{HX} \frac{L}{L} = \frac{S_o \cdot L \cdot \epsilon}{A_s} = \frac{S_o \cdot L \cdot \epsilon}{S_o \cdot L \cdot (1-\epsilon) \frac{S_p}{V_p}} = \frac{\epsilon \cdot V_p}{(1-\epsilon) S_p} = \frac{\text{حجم کل فضای خالی}}{\text{سطح کل ذرات}}$

حاصل از A_s و γ_H در $F_D \cdot g_c = \left(\frac{S_o \cdot P \cdot L \cdot (1-\epsilon) \cdot S_p}{\epsilon^2 \cdot V_p} \right) \cdot \left(\frac{K_1 \mu \cdot V_o \cdot (1-\epsilon) \cdot S_p}{V_p \cdot \rho} + K_2 V_o^2 \right)$

$F_D = L_p \cdot S_o \cdot \epsilon$

$S_o \cdot \epsilon = S_p \cdot (\text{rot})$

$\frac{\Delta P \cdot g_c}{\rho \cdot L} = \left(\frac{1-\epsilon}{\epsilon} \cdot \frac{S_p}{V_p} \right) \left(\frac{K_1 \mu \cdot V_o \cdot (1-\epsilon) \cdot S_p}{P \cdot V_p} + K_2 V_o^2 \right)$

(۲۷)

پارامتر لروییت (Sphericity ϕ): قطر معادلی برای ذرات غیر لروییت قطر لروه ای نه هم حجم با ذره باشد تقریب می گردد

$$\phi = \frac{\text{مساحت کوره جایگزین}}{\text{مساحت سطح واقعی ذره}}$$

$$\phi = \frac{S_p}{V_p} = \frac{6}{\phi \cdot D_p}$$

سطح ذره / حجم ذره

ذره = لروییت $\rightarrow \phi = 1$ if

نکته: در سرعت های زیاد F_{II} نسبت به F_{I} غالب است و بعلت این.

* در جدول زیر ϕ ضرایب خاص دیده می شود:

- $\phi = 0.58$ ذرات حلقوی راشیند
- $\phi = 1$ ذرات لروی
- $\phi = 0.3$ حلقه های زین اسبی
- $\phi = 0.83$ شن خرد شده
- $\phi = 0.65$ شیشه خرد شده

ثابت های K_1 و K_2 توسط ارگان (Ergun) بدست آمده:

$$K_2 = 1.75/6, K_1 = 150/36$$

Ergun-Eq

$$\frac{\Delta P \cdot g_c}{L} \cdot \phi \cdot D_p \cdot \frac{\epsilon^3}{1-\epsilon} = \frac{150(1-\epsilon)}{\phi \cdot D_p \cdot \nu_0 \cdot \rho} + 1.75$$

① چنانچه $1 < Re < 1000$
 «Ergun-Equation»

نکته: معادله ارگان برای $\epsilon > 0.8$ بردهای پر شده بافتی های زیاد دقیق تر است

معادله کوزنی-کارمال

$$\frac{\Delta P \cdot g_c \cdot \phi \cdot D_p \cdot \epsilon^3}{L \cdot \nu_0 \cdot \mu (1-\epsilon)^2} = 150$$

② چنانچه $Re < 1$
 «Kouzni-Karmal»

معادله بلیک-پلومر

$$\frac{\Delta P \cdot g_c}{\rho \cdot L \cdot \nu_0^2} \cdot \frac{\phi \cdot D_p \cdot \epsilon^3}{(1-\epsilon)} = 1.75$$

③ چنانچه $Re > 1000$
 «Blake-Plumer-Eq»

معادله f_p برای معادله کوزنی-کارمال و بلیک-پلومر

$$f_p = \frac{150(1-\epsilon)}{\phi \cdot Re}$$

$$f_p = \frac{\Delta P \cdot \phi \cdot g_c \cdot D_p \cdot \epsilon^3}{(1-\epsilon) \cdot L \cdot \rho \cdot \nu_0^2}$$

معادله f_p Ergun

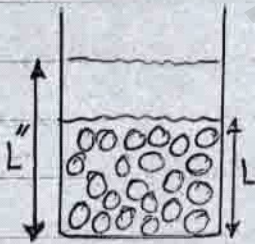
(۲۸)

چنانچه قطر ذرات بسیار زیاد باشد جابجایی D_p (قطر ذرات) قطر ذرات متوسط یعنی \bar{D}_p را جایگزین می‌کنیم

$$\bar{D}_p = \frac{\sum_{i=1}^n n_i D_{p_i}^3}{\sum_{i=1}^n n_i D_{p_i}^2} \quad , \quad \bar{D}_p = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{D_{p_i}}} \rightarrow \text{کسر جرمی}$$

۳۳) بسترهای سیالی (Fluidized bed):

افت فشاری که ایجاد می‌شود همیشه ثابت و معادل وزن بستر است. بطور کلی اندازه ذراتی نمی‌تواند بصورت سیالی درآید (کمتر از یک میکرومتر یا حدود ۶ سانتی متر است) برای ایجاد سیالیت مکنزافت سیال ذرات با اندازه‌ها ۱۵ تا ۱۵۰ میکرومتر استفاده می‌شود محدوده سرعت ظاهری گاز برای سیالی شدن بستر بین $0.15 - 6 \frac{m}{s}$ می‌باشد



* اگر سرعت سیال بزرگتر از ارتفاع بستر سیال تا به L تبدیل شود ولی هنوز در بستر جابجایی وجود نیاید آنگاه سیالیت مکنزافت یعنی Uniform Fluidized bed بوجود می‌آید

* سیالیت حبابی (Bubble Fluidized bed): چنانچه سرعت سیال از سرعت حالت مکنزافت بیشتر شود بطوریکه حباب در بستر ایجاد شود که به آن سیالیت حبابی می‌گویند

* سیالیت کخته‌ای (Slugging Fluidized bed): وقتی حباب‌های تولید شده در بستر حبابی با هم می‌زنند و کخته‌های تولید می‌کنند که به آن سیالیت کخته‌ای می‌گویند

نکات:

- 1- چون تعداد و اندازه حباب‌ها در بسترهای حبابی نامنظم است ~~بسیار~~ پس نمی‌تواند اینگونه بسترها را با هم مقایسه کرد
- 2- اگر قطر بستر خیلی کم باشد در بستر ذرات نسبتاً بزرگ پر شده باشد حباب‌ها شاید تا حد سطح بستر نرسند و نتوانند به سمت بالا حرکت کرده و تشکیل کخته‌هایی را می‌دهند که سیالیت کخته‌ای را موجب می‌شود
- 3- در بسترهای سیالی حبابی (تنبساط بستر در ارتفاع) اشغال شده توسط حباب‌های گازی باشد
- 4- دبی که مربوط به عبور سیال می‌باشد مقدار آن بر حسب سرعت سیال رقیق مربوط به سرعت حبابی می‌باشد

$$V_0 = f_b \cdot U_b + (1 - f_b) V_{mf}$$

جزئی از سرعت متوسط سیال اشغال شده است

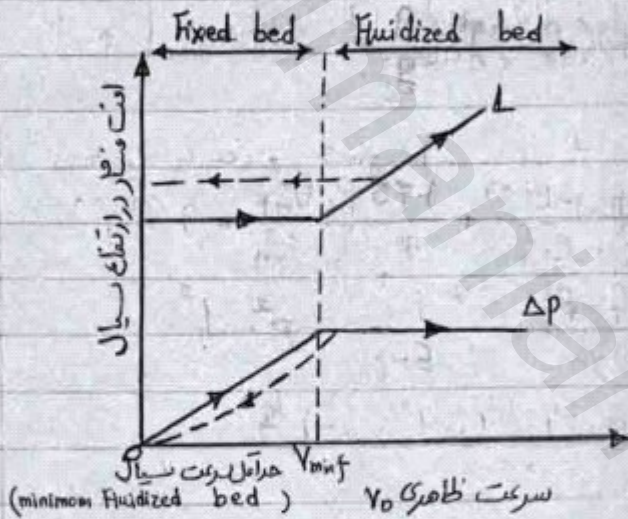
* سیالیت سریع (Fast Fluidized bed):

سرعت آن قدر زیاد است که می‌توان ذرات بستر را منتقل کرد

فرایند بسترهای سیالی:

- 1- سطح تماس زیاد زره جامد با گاز
- 2- انتقال ذرات از یک طرف به طرف دیگر
- 3- یکوفتای دمای بستر (در واکنش های ترمالیرسیتم دارای یکوفت است.)
- 4- افت فشار نسبتاً بیشتر بسترهای ثابت
- 5- فرسایشی ذرات جامد
- 6- درسیتم های سیالیت صیالی به دلیل تشکیل حباب تماس سیال و ذرات جامد کم است

* افت فشار بسترهای سیالی:



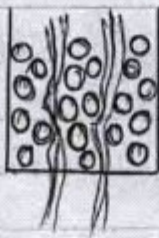
توضیح نمودار:
در بسترهای سیالی با افزایش سرعت سیال تا نقطه V_{mf} مقدار طول بستر ثابت و افت فشار به طور خطی افزایش می یابد از نقطه V_{mf} به بعد که مربوط به بسترهای سیالی است با افزایش V_0 مقدار Δp ثابت می ماند طول بستر سیالی افزایش می یابد

$$\Delta p = \frac{W_b}{A_b} = \frac{8.7}{A_b}$$

$$\Delta p = \frac{(P_p - P) \frac{g}{g_c} \cdot V_r (1 - \epsilon)}{A} \quad , \quad \frac{\Delta p}{L} = \frac{(P_p - P) g \cdot (1 - \epsilon)}{g_c}$$

کانال سازی (Channelling):

مخول موثر در کانال سازی:



- 1- رطوبت بستر: هر چه ذرات جامد مرطوبتر باشد کانال سازی بهتر و بیشتر انجام می شود چون ذرات جامد با هم چسبندگی می شوند که باعث تولید قطره های می شوند که تشکیل کانالها را آسانتر می سازد
- 2- هر چه قطر بستر بیشتر باشد Channelling در مرکز بستر اتفاق می افتد و هر چه قطر بستر کمتر باشد Channelling در نزدیکی دیواره ها اتفاق می افتد

۳۵

3- سرعت جریان سیال از بستر پر شده: هر چه سرعت بیشتر باشد اثر Channelling کمتر است

4- قطر ذرات درون بستر: هر چه اندازه ذرات کوچکتر باشد اثر Channelling بیشتر است.

مداخله سرعت سیالیت v_{mf} و مداخله فضای خالی ϵ_{mf} :
چنانچه افت فشار بستر سیالی با افت فشار بستر ثابت برابر شود رابطه ای برای مداخله
سرعت سیالیت بدست می آید:

$$\text{Fixed bed } \frac{\Delta P}{L} \cdot g_c = \frac{150 \cdot \mu \cdot v_o \cdot (1-\epsilon)^2}{\phi^2 \cdot d_p^2 \cdot \epsilon^3} + \frac{1.75 \cdot \rho \cdot v_o^2}{\phi \cdot d_p \cdot \epsilon^3} (1-\epsilon)$$

$$\text{Fluidized bed } \frac{\Delta P}{L} = (1 - \epsilon_{mf}) (\rho_p - \rho) \cdot \frac{g}{g_c}$$

$$\text{if } 1 < Re_p < 1000 \quad \frac{150 \cdot \mu \cdot v_{mf} (1 - \epsilon_{mf})}{\phi^2 \cdot d_p^2 \cdot \epsilon_{mf}^3} + \frac{1.75 \rho \cdot v_{mf}^2}{\phi \cdot d_p \cdot \epsilon_{mf}^3} = g (\rho_p - \rho)$$

$$\text{ذرات بسیار ریز } Re_p < 1 \quad v_{mf} \approx \frac{g (\rho_p - \rho)}{150 \mu} \cdot \frac{\epsilon_{mf}^3}{1 - \epsilon_{mf}} \cdot \phi^2 \cdot d_p^2$$

$$\text{ذرات بسیار درشت } Re_p > 1000 \quad v_{mf} \approx \left(\frac{\phi \cdot d_p \cdot g (\rho_p - \rho) \epsilon_{mf}^3}{1.75 \rho} \right)^{1/2}$$

در اینجا روابط تجربی:

$$Re_{mf} = (C_1 + C_2 \cdot Ar)^{1/2} - C_1 \quad \left\{ \begin{array}{l} C_1 = 27.2 \\ C_2 = 0.0408 \\ Ar = \frac{\rho \cdot g \cdot d_p^3 (\rho_p - \rho)}{\mu^2} \end{array} \right. \quad \text{رابطه فریس:}$$

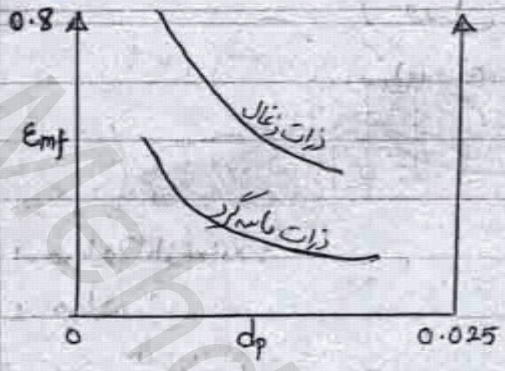
if $Re_p > 10 = \frac{\rho \cdot U_{mf} \cdot d_p}{\mu}$

رابطه لوان:

$$v_{mf} = \frac{0.005 d_p^2 \cdot g (\rho_p - \rho) \cdot \phi^2 \cdot \epsilon_{mf}^2}{\mu (1 - \epsilon_{mf})}$$

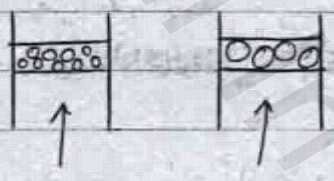
$$\epsilon_{mf} = 1 - 0.356 [\log(d_p) - 1] \quad \text{برای } d_p \rightarrow \mu\text{m}$$

۳۱



نمودار E_{mf} نسبت به d_p :

هر چه ذره قطر بیشتر داشته باشد دارای تخلخل کمتری است چون نسبت سطح به حجم ذرات $\propto \frac{1}{d_p}$ در بسترهای نوع شماره ۱ (ذرات ریز) بیشتر است نیروی چسبندگی وارده از طرف سیال بر ذرات ریز بخاطر داشتن سطح بیشتر بزرگتر از ذرات بزرگ است لذا ذرات بیشتر جابجا شده و در هر محمول افزایش می یابد



نسبت طول بستر
سیالی به طول
حداقل بستر سیالی $\rightarrow \frac{L_f}{L_{mf}} = \frac{1 - E_{mf}}{E_{mf}}$

رابطه لوابرای تخمخول $E_{mf} = 1 - \frac{W_b}{L_{mf} \cdot A (P_p - P)}$

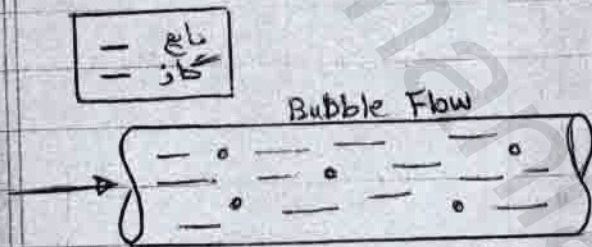
فصل پنجم

مقدمه ای بر جریان دو فاز در لوله ها

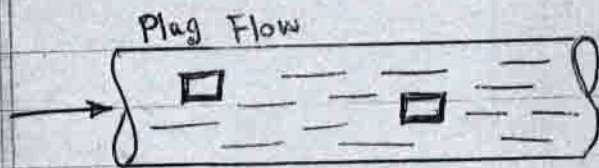
الف انواع جریان دو فاز:

- 1- جریان گاز-مایع :
- 2- جریان مایع-جامه :
- 3- جریان گاز-مایع : وقتی که در هر از چاه نفت استخراج می شود دارای تقوای گاز حل شده است که هنگام افت فشار از جریان دو فاز جدا می شود. جریان دو فاز گاز-مایع بیشتر مربوط به انتقال نفت + گاز حل شده در آن می باشد و کاربرد آن در طراحی وسایل و تجهیزات مورد نیاز این انتقال می باشد.

الگوی جریان دو فاز گاز-مایع بر اساس سرعت نسبی و خواص فیزیکی سیال به انواع زیر تقسیم می شود:



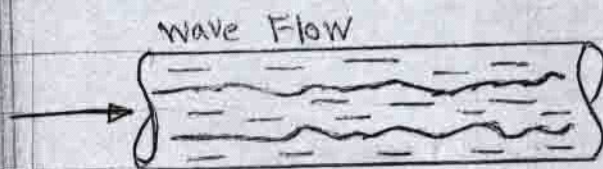
1- جریان حبابی (Bubble Flow):
در این نوع جریان سرعت گاز کم بوده و گاز کاری به صورت حبابی جایابی شود که در این نوع جریان گاز پیوسته مایع و گاز ناپیوسته گاز است.



2- جریان قلابی (Plug Flow):
چنانچه سرعت صابجای کاری در جریان جای افزایش یابد این صابجها هم متصل شده و صابجهای بزرگتری شکل می دهند و به صورت پلاکهای درمی آیند و جریان Plug Flow خوانده می شود.

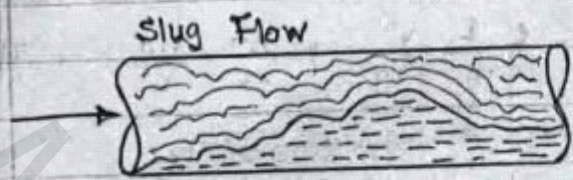


3- جریان جدا از هم (Strat Flow):
چنانچه سرعت پلاکهای کاری در جریان پلاکی افزایش یابد دو فاز مایع و گاز از هم جدا شده که به جریان، جریان Strat Flow نامیده می شود.

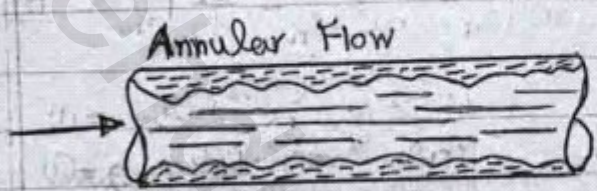


4- جریان موجی (Wave Flow):
در این نوع سرعت فاز کاری از سرعت فاز مایع بیشتر می شود و موجهای در الگوی جریان بوجود می آید.

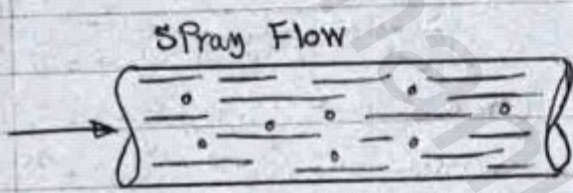
۳۳



5- جریان نخبه‌ای (Slug Flow) :
 در این نوع جریان، جریان موی گاز با توجه به سرعت
 بیشتر مایع باعث برهم زدن پوسته‌های مایع
 شده و نخبه‌هایی از مایع در فواصل گازی بوجود می‌آید



6- جریان حلقه‌ای (Annular Flow) :
 در این نوع جریان چون سرعت گاز گازی ضعیف
 به‌تر از مایع است، مایع به جدار درونی
 لوله چسبیده و حرکت آرام داشته و گاز از درون
 مایع عبور کرده و منتقل می‌شود



7- جریان افشانه‌ای (Spray Flow) :
 با بیشتر شدن سرعت گاز و نفوذ آن در مایع
 مایع به قطرات درآمده و گاز پوسته‌ای از
 مایع به گاز تغییر کرده و گاز ناپوسته تبدیل به مایع شده.
 این نوع جریان افشانه‌ای نامیده می‌شود

نکته: اگر تغییرات دبی در طول لوله درون سیال وجود داشته باشد طی انتقال جریان امت انرژی (فشار) داریم.

افت کل در یک جریان فاسی از:

$$\frac{dP}{dL}|_{fri} = \frac{\tau_w \cdot \pi \cdot d}{A}, \quad \tau_w = \frac{f \cdot \rho \cdot v^2}{8} \Rightarrow \frac{dP}{dL}|_{fri} = \frac{f \cdot \rho \cdot v^2}{2d}$$

1- افت ناشی از اصطکاک
 2- افت ناشی از افت ارتفاع.

$$\frac{dP}{dL}|_{ele} = \rho \cdot g \cdot \sin \theta$$

3- افت ناشی از شیب جاذب زمین.

$$\frac{dP}{dL}|_{acc} = \rho \cdot v \cdot \frac{dv}{dL}$$

$$\frac{dP}{dL}|_{tot} = \frac{dP}{dL}|_{fri} + \frac{dP}{dL}|_{ele} + \frac{dP}{dL}|_{acc} = \frac{f \cdot \rho \cdot v^2}{2 \cdot d} + \rho \cdot g \cdot \sin \theta + \rho \cdot v \cdot \frac{dv}{dL}$$

افت فشار کل در سیالات تنگنازی

۱۲

سکات :

۱) لبات $\frac{dP}{dL}|_{fri} = ? \rightarrow \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = h_f = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \Rightarrow \frac{\Delta P}{dL} = \frac{h_f}{L} \cdot \rho \cdot g$ ۱

$\Rightarrow \frac{dP}{dL}|_{fri} = \rho \cdot g \cdot \frac{f \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g} = \frac{f \cdot \rho \cdot v^2}{2d}$

۲) جریان در یک لوله عمودی به سمت پایین $\Rightarrow \frac{dP}{dL}|_{tot} = \frac{dP}{dL}|_{fri} - \frac{dP}{dL}|_{elev}$ ۲

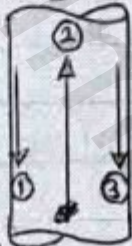


۱ = تغییرات ارتفاع (high range)

۲ = جهت جریان (Stream Current)

۳ = جهت نیرو اصطکاک (Friction)

۳) جریان در یک لوله عمودی به سمت بالا باشد $\Rightarrow \frac{dP}{dL}|_{tot} = \frac{dP}{dL}|_{fri} + \frac{dP}{dL}|_{elev}$ ۳



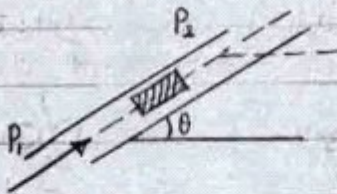
۱ = تغییرات ارتفاع (high range)

۲ = جهت جریان (Stream Current)

۳ = جهت نیرو اصطکاک (Friction)

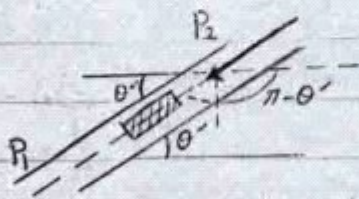
۴) اگر لوله مایل جریان مایل و زاویه θ نسبت به افق داشته باشد دو حالت بوجود می آید:

@ اگر جهت جریان به سمت بالا باشد θ مثبت است.



$\frac{dP}{dL}|_{tot} = \frac{f \cdot \rho \cdot v^2}{2d} + \rho \cdot g \cdot \sin \theta + \rho \cdot v \cdot \frac{dv}{dL}$

@ اگر جهت جریان به سمت پایین باشد θ منفی است.



$\frac{dP}{dL}|_{tot} = \frac{f \cdot \rho \cdot v^2}{2d} + \rho \cdot g \cdot \sin(-\theta) + \rho \cdot v \cdot \frac{dv}{dL}$

$\theta = \pi - \theta' = -\theta'$

۵) از آنجاییکه تغییرات سرعت در انتهای هر دو قطر تقریباً می شود $(v = cte)$ لذا انت نامسی از

کتاب معمولاً همسر در نظر گرفته می شود $(\frac{dv}{dL} = 0)$ و وقتی $Q = cte$ و $d = cte$ لوله باشد

۳۵

متغیرهای موجود در جریان دو فازی :

۱- کسر مایع (Liquid Hold up) :
کسر مایع یا H_L نسبت حجمی مایع در بخشی از لوله به حجم کل مایع در همان دو فازی در همان بخشی از لوله می باشد

$$H_L = \frac{\text{حجم مایع در بخشی از لوله}}{\text{حجم کل همان بخشی از لوله}}$$

۲- کسر حجمی گاز (gas Hold up) :
و معنی کسر مایع و گاز برابر یک است لذا کسر گاز یا H_g نسبت حجمی گاز در بخشی از لوله به حجم کل همان از لوله می باشد

$$H_g = \frac{\text{حجم گاز در بخشی از لوله}}{\text{حجم کل همان بخشی از لوله}}$$
$$H_g = 1 - H_L$$

۳- کسر مایع بدون لغزش (No-slip Liquid Holdup) :
این سر زمانی تعریف می شود که سرعت مایع و گاز در لوله با هم برابر باشد و یا λ_L نشان دهنده می شود. λ_L در مقاطع ورودی نواکه در جریان دو فازی پاره می شود مد نظر است. $(V_L = V_g)$
 $Q_L =$ دبی حجمی مایع
 $Q_g =$ دبی حجمی کل

$$\lambda_L = \frac{\text{حجم مایع در بخشی از لوله}}{\text{حجم کل همان بخشی از لوله وقتی سرعت گاز و مایع با هم برابر باشد}}$$
$$\lambda_L = \frac{Q_L}{Q_L + Q_g} \quad (V_L = V_g)$$

نکته : اگر جریان درون لوله تک فازی مایع باشد $H_L = 1$ و اگر تک فازی گاز باشد $H_L = 0$

۴- دانسیته گاز (Gas Density) :
چنانچه گاز درون جریان دو فازی حقیقی فرض کنیم دانسیته گاز از معادله روبرو بدست می آید.
 $S_g =$ چگالی گاز (Gas sp. Gr)
 $Z =$ ضریب تراکم پذیری

$$P_{gas} = 2.7 \frac{S_{gas} \cdot P}{Z \cdot T}$$

ابتدا : $P \cdot V = Z n R T$

$$P = \frac{m}{V}$$
$$P_g = \frac{M_w \cdot P}{Z \cdot R T}$$
$$S_g = \rho_g / \rho_{Air} = \frac{M_w_{gas}}{29}$$
$$M_w = S_g \cdot 29$$

$$P_g = \frac{29 S_g \cdot P}{Z \times 10^{-73} T} = 2.7 \frac{S_g \cdot P}{Z \cdot T}$$

$P =$ فشار
 $T =$ دما

۵- دانسیته نفت (Oil Density) :
دانسیته نفت در شرایط استاندارد (STBO) که

$$P_{oil} = \frac{350.4 S_o + 0.0764 S_g \cdot R_s}{5.615 B_o}$$

مخفف (Standard Barrel Oil) و یا (Stack Tank Barrel) می باشد
در سیستم آمریکایی (لانه Stack Tank Barrel) می باشد
شرایط دمایی و فشار STBO عبارتند از :
 $P = 14.7 \text{ psia}$ و $T = 60 \text{ F}^\circ$

$R_s =$ میزان گاز حل شده در نفت $(\text{ft}^3 / \text{STBO})$
 $B_o =$ فاکتور حجمی نفت $(\text{BBL} / \text{STBO})$

(۳۲)

BBL: همکار یک مخزن نفتی زمینی است و دارای دمای حدود 200 F و فشار 2500-2600 psi می باشد و هم معادل یکم نفتی بوده و مقدار حجمی آن 5.619 ft³ و 162.5 kl است.

6- دانسیته مایع مخلوط نفت با آب (Mixture oil & water):

برای محاسبه دانسیته مخلوط با لا از فرمول زیر

$$\rho_L = f_o \cdot \rho_o + f_w \cdot \rho_w$$

استفاده می شود

ρ_L = دانسیته مخلوط مایع

ρ_w = دانسیته آب

ρ_o = دانسیته نفت

$$f_o = \frac{Q_o}{Q_o + Q_w} \quad \text{و} \quad f_w = 1 - f_o$$

f_o, f_w = فاکتورهای حجمی به ترتیب آب و نفت

7- دانسیته مخلوط دو فاز (Two-Phase Density):

از آنجا که در مخلوط دو فاز دو حالت slip و n-slip داریم دانسیته های زیر برای مخلوط دو فاز تعریف می شود

Slip type two phase stream: $\rho_s = H_L \cdot \rho_L + H_g \cdot \rho_g$

N-slip type two phase stream: $\rho_n = \lambda_L \cdot \rho_L + \lambda_g \cdot \rho_g$

$$\rho_k = \frac{\rho_g \cdot \lambda_g^2}{H_g} + \frac{\rho_L \cdot \lambda_L^2}{H_L}$$

ρ_s = دانسیته برای جریان دو فاز محاسبه

نفاذیم از آن استفاده می شود.

ρ_k = دانسیته برای جریان دو فاز محاسبه نفاذیم از آن استفاده می کنیم.

8- سرعت (Velocity t-p):

بطور کلی سرعت (مخصوصاً سرعت ظاهری) عبارتست از مقدار دی جی بر سطح عبوری سیال. ولی پاراسترهای سرعت چه ظاهری و چه واقعی و چه دو فازی بصورت زیر تعریف می شود:

$$V_{sg} = \frac{Q_g}{A} \quad \text{سرعت ظاهری گاز}$$

$$V_{sl} = \frac{Q_L}{A} \quad \text{سرعت ظاهری مایع}$$

$$V_g = \frac{Q_g}{H_g \cdot A} \quad \text{سرعت واقعی گاز}$$

$$V_L = \frac{Q_L}{H_L \cdot A} \quad \text{سرعت واقعی مایع}$$

N-slip two phase velocity \Rightarrow [superficial two phase velocity]

$$V_m = V_{sl} + V_{sg}$$

slip two phase velocity \Rightarrow

$$V_{ss} = V_g = V_L$$

۳۷

$$\mu_L = f_o \cdot \mu_o + f_w \cdot \mu_w$$

۹- ویسکوزیته دو فاز (Two phase viscosity) :
تعریف‌های زیر برای ویسکوزیته مخلوط مایع (فست + آب) ویسکوزیته دو فاز slip و N-slip برقرار است.

N-slip two phase viscosity: $\mu_n = \lambda_L \cdot \mu_L + \lambda_g \cdot \mu_g$

slip two phase viscosity: $\mu_s = \mu_L^{H_L} \cdot \mu_g^{H_g}$

© چارمترهای معادله افت فشار برای جریان دو فاز:

1) افت ارتفاع (Losses of elevation):

$$\frac{dp}{dL} \Big|_{\text{elev}} = \frac{\rho_s \cdot g}{\rho_c} \cdot \sin \theta$$

اگر جهت جریان مثبت دارد و در برابر لایه باشد مثبت و در برابر لایه منفی است.

2) افت ناشی از اصطکاک (Losses of friction factor):

$$\frac{dp}{dL} \Big|_{\text{fri}} = \frac{f_{TP} \cdot \rho_c \cdot V_m^2}{2 \cdot d \cdot \rho_c}$$

برای f_{TP} (two phase friction) نیاز به جدول جریان داریم و لذا با توجه به انواع جریان زیر داریم:

$$\frac{dp}{dL} \Big|_{\text{fri}} = \frac{f_L \cdot \rho_L \cdot V_{SL}^2}{2 \cdot d \cdot \rho_c}$$

1- اگر جریان مایع باشد

$$\frac{dp}{dL} \Big|_{\text{fri}} = \frac{f_g \cdot \rho_g \cdot V_{SG}^2}{2 \cdot d \cdot \rho_c}$$

2- اگر جریان مایع باشد

3) افت ناشی از شتاب (Losses of Acceleration):

چون سرعت سیال دو فاز در محاسبات ثابت در نظر گرفته می‌شود لذا $\frac{dv}{dL} = 0$ و در نتیجه از افت فشار ناشی از شتاب می‌توان صرف نظر کرد.

$$\frac{dp}{dL} \Big|_{\text{acc}} = \rho V_m \cdot \frac{dv_m}{dL}$$

(۳۸)

مثال: برای تزریق آب در چاه نفت از لوله‌ای با مشخصات زیر استفاده می‌شود. مطلوب است اونت فشار در طول

$$L = 8000 \text{ ft} , \quad \theta = -\frac{\pi}{2} , \quad D_{\text{pipe}} = 5 \text{ inch} , \quad \epsilon = 0.00006 \text{ ft} \quad ? \text{ لوله}$$

$$Q = 6000 \frac{\text{bbl}}{\text{day}} , \quad \rho_m = 62.4 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3} , \quad \mu_w = 1 \text{ cpoise} \Rightarrow 1 \text{ bbl} = 5.619 \text{ ft}^3$$

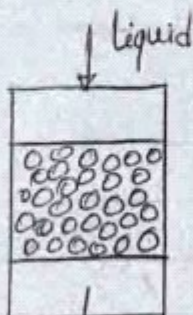
$$\frac{dP}{dL} \Big|_{\text{tot}} = ?$$

ع ۵

نکته: تمامی خواص فیزیکی که در روابط مهندسی مابین استفاده می شود در دمای فعلی بدست می آید بجز
 $T_f = \frac{T_o + T_i}{2}$ $C_{p,f} = \frac{C_{p,o} + C_{p,i}}{2}$ \rightarrow غلظت متوسط فعلی

جدول مشابه اعدادی بعد و پارامترهای معیار به همراه روابط جرم و حرارت:

نوع متغیر	انتقال جرم	انتقال حرارت
متغیر بدون بعد انتقال	$\frac{C_A - C_{A,i}}{C_{A,o} - C_{A,i}}$	$\frac{T - T_i}{T_o - T_i}$
شمار انتقال	$\dot{J}_A = N_A - x_A N_T = K(C_{A,i} - C_{A,o})$	$q/A = h(T_i - T_o)$
معرف حرکت	$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\mu}$	$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\mu}$
معرف حواله فیزیکی	$Sc = \frac{\mu}{\rho \cdot D_{AB}} = \frac{\nu}{D_{AB}}$	$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{k} = \frac{\nu}{\alpha}$
ضریب انتقال بدون بعد	$sh = \frac{k_f \cdot L}{D_{AB}}$	$Nu = \frac{h \cdot L}{k}$
معرف خواص فیزیکی - حرارتی	$Pe = Re \cdot Sc$	$Pe = Re \cdot Pr$
ترکیب متغیرها	$St = \frac{sh}{Pe}$	$St = \frac{Nu}{Pe}$
حی ناگتورها	$J_p = St \cdot Sc^{2/3}$	$J_H = St \cdot Pr^{2/3}$



5 تعیین ضریب انتقال جرم با روابط تجربی:

در مواقعی که رابطه تئوری مناسبی وجود نداشته باشد از روابط تجربی براساس داده های آزمایشگاهی روابطی بدست می آید برای مثال جریان درونی یک کره یک بستر پر شده عبارت است:

$$E = \frac{\text{حجم کل ذرات}}{\text{حجم کل بستر}} = \frac{V_p}{V}$$

(در هند فضا V_{gas} هوا)

$$E = \frac{\text{حجم یک ذره} \times \text{تعداد ذرات}}{\text{سطح مقطع در ارتفاع}} = \frac{n_t \times V_p}{A \cdot L}$$

۴۱

$$a = \frac{\text{سطح بل ذرات}}{\text{سطح درون}} = \frac{S}{V}$$

کلمه: چنانچه قطر ذرات بکار رود در بسیرک باشد از قطر متوسط ذرات در رابطه استفاده کنیم

$$D_p = \frac{\sum n_i D_{p_i}^3}{\sum n_i D_{p_i}^2}$$

$$a = \frac{6(1-\epsilon)}{D_p}$$

روابط تجربی را زمانی که برای محاسبه ضریب انتقال جرم به صورت زیر است:

$$J_D = J_H = \frac{2.06}{\epsilon} Re^{-0.575} \quad 90 < Re < 4000$$

$$Sc = 0.6$$

$$J_D = 0.95 J_H = \frac{20.4}{\epsilon} R^{-0.315} \quad 5000 < Re < 10300$$

$$Sc = 0.6$$

$$J_D = \frac{1.09}{\epsilon} Re^{-2/3} \quad 0.0016 < Re < 55$$

$$168 < Sc < 70600$$

$$J_D = \frac{0.25}{\epsilon} Re^{-0.31} \quad 5 < Re < 1500$$

$$168 < Sc < 70600$$

مثال: جریان هوا با سرعت 5 m/s در دمای 20°C در داخل لوله ای انتقالی به قطر 10 cm عبوری کند

$$\mu_{Air} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/m-sec}$$

ضریب انتقال جرم تصعیه فضایی را به کمک روابط زیر بیابید

$$\rho_{Air} = 1.2 \text{ kg/m}^3$$

$$\bar{Sh} = 0.023 Re^{0.83} Sc^{1/3}$$

$$D_{AB} = 4.24 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$$

ب) تمام محاسبات را بنویسید

$$\text{الف) } Re = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\mu} = \frac{1.2 \times 5 \times 0.1}{1.8 \times 10^{-5}} = 33333.30$$

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} = \frac{\mu}{\rho \cdot D_{AB}} = \frac{1.8 \times 10^{-5}}{1.2 \times 4.24 \times 10^{-6}} = 3.54$$

$$\bar{K}_L = 8.34 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{Sec}}$$

$$\bar{Sh} = 0.023 (33333.30)^{0.83} \times (3.54)^{1/3} = 199 \rightarrow \bar{K}_L = \frac{\bar{Sh} \cdot D_{AB}}{d} = \frac{199 (4.24 \times 10^{-6})}{0.1} = 8.34 \times 10^{-3}$$

$$\text{ب) } St \cdot Sc^{2/3} = \frac{f}{2} \rightarrow \frac{\bar{Sh} \cdot Sc^{2/3}}{Re \cdot Sc} = \frac{f}{2} \rightarrow f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{33333.30} = 1.92 \times 10^{-3}$$

$$\bar{Sh} = \frac{f}{2} Re \cdot Sc = \frac{(1.92 \times 10^{-3})}{2} (33333.30) (3.54) = 48.76$$

$$\bar{K}_L = \frac{\bar{Sh} \cdot D_{AB}}{d} = \frac{48.76 (4.24 \times 10^{-6})}{0.1} = 0.00206$$

$$\bar{K}_L = 0.00206 \frac{\text{m}^2}{\text{Sec}}$$