بسمه تعالی

جزوه

سیستم های انتقال آب

دانشگاه

تهران

استاد

دکتر ریاسی

www.jozve.org

«دکتر ریاحی»

افت هد در لوله ها:

فرمول داریسی - ویسباخ:

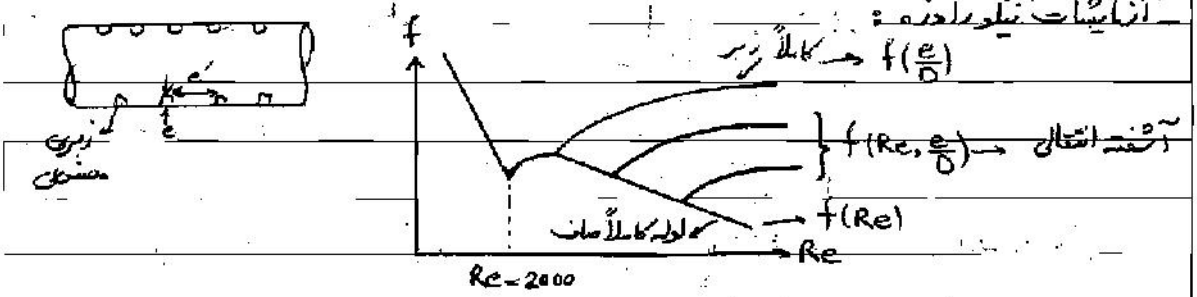
$$h_f = \frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} f\left(\frac{\rho V D}{\mu}, \frac{e}{D}, \cancel{\frac{\varepsilon}{D}, m}\right)$$

(ماهیت زبری، اندازه زبری، شکل زبری)

$$\rightarrow h_{f(m)} = \frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} f\left(Re, \frac{e}{D}\right) = f\frac{L_{(m)}}{D_{(m)}}\frac{V^2_{(m/s)}}{2g_{(m/s^2)}} \overset{\text{لوله دایروی}}{=} \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5}$$

شعاع هیدرولیکی $R_H = \frac{A}{WD}$ (A: سطح مقطع ترشده، WD: محیط ترشده (محیط سطح مقطع ترشده)) $\Rightarrow D_H = 4R_H$ مثال دایره $R_H = \frac{\pi R^2}{2\pi R} = \frac{R}{2}$

آزمایشات نیکورادزه:



* اگر $Re < 2000$ ← جریان آرام ← $f = \frac{64}{Re}$
* " $2000 < Re < 4000$ ← جریان گذرا ← $f \simeq 0.03 \sim 0.08$
* " $Re > 4000$ ← جریان آشفته

مودی مفهوم زبری معادل را تعریف کرد:

* آشفته صاف ← $4000 < Re < 10^5$ ←
  - $f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$ ← بلازیوس
  - $\frac{1}{\sqrt{f}} = 2\log Re\sqrt{f} - 0.8$ ← پرانتل - کارمن
* آشفته انتقالی ← $\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2\log\left(\frac{9.35}{Re\sqrt{f}} + \frac{e}{D}\right)$ ← کلبروک - وایت
* آشفته زبر ← $\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2\log\frac{e}{D}$ ← کارمن - پرانتل

www.jozve.org

فرمول‌های تجربی :

از نظر ابعادی ممکن است همگن نباشد.

- هیزن - ویلیامز : $V = 0.849\, C_{HW}\, R_H^{0.63}\, S^{0.54}$, $S = \frac{h_f}{L}$

R_H : $[m]$ ، S : شیب خط انرژی ، C_{HW} : به جنس و قطر بستگی دارد (جدول 2-3 ص 43) ، $100 \sim 150$

برای لوله‌های دایروی :

$$Q = 0.2784\, C_{HW}\, D^{2.63}\, S^{0.54} \quad [m^3/s] \quad [m]$$

$$V = 0.3545\, C_{HW}\, D^{0.63}\, S^{0.54}$$

$$h_f = \frac{10.68\, L\, Q^{1.852}}{C_{HW}^{1.852} \cdot D^{4.87}}$$

* شرایط استفاده از این رابطه : $C_{HW} \not< 100$ ، $V \not> 0.9$ ، $V \not< 0.9$

- رابطه تجربی مانینگ :

$$V = \frac{1}{n} R_H^{2/3} S^{1/2}$$

$$V = \frac{0.397}{n} D_H^{2/3} S^{1/2}$$ ، n = ضریب مانینگ $(0.008 < n < 0.017)$

$$Q = \frac{0.312}{n} D_H^{8/3} S^{1/2}$$

$$h_f = \frac{10.29\, n^2 L\, Q^2}{D_H^{16/3}}$$

* این روابط برای لوله‌های زبر و کانال‌های روباز قابل استفاده‌اند. $(n > 0.015)$

اثر عمر بر ظرفیت هیدرولیکی :

- به مرور زمان به علت رسوبات
  - کاهش قطر لوله
  - افزایش زبری
  - ← کاهش ظرفیت هیدرولیکی

- آهنگ رشد سالیانه زبری برحسب mm ← α ← $f(PH)$

- تأثیر این عوامل در جداول 2-7 و 2-8 (ص 51) برای لوله‌های چدنی پوشش دار آمده است.

* نکته : عدد رینولدز در لوله‌های دایروی : $Re = \frac{4Q}{\pi D \nu} = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu}$

www.jozve.org

	$h_f = R^* Q^n$	n
دارسی-ویسباخ	$\frac{fL}{12.1 D^5}$	2
هیزن-ویلیامز	$\frac{10.68 L}{C_{HW}^{1.852} D^{4.87}}$	1.852
مانینگ	$\frac{10.29 n^2 L}{D^{16/3}}$	2

تلفات
- طولی ← h_f
- جزیی ← $h_f = K \frac{V^2}{2g}$

لوله های معادل:

- جریان دائم

الف) سری:

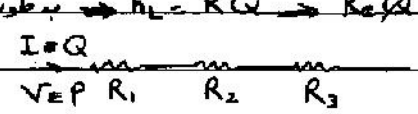
D_1, L_1, $\left(\frac{e}{D}\right)_1$, h_{f_1} — D_2, L_2, $\left(\frac{e}{D}\right)_2$, h_{f_2} — D_3, L_3, $\left(\frac{e}{D}\right)_3$, h_{f_3} — L_{eq}, D_{eq}

$$\left.\begin{array}{l} Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_{eq} \\ h_{f_{eq}} = h_{f_1} + h_{f_2} + h_{f_3} \end{array}\right\} \xrightarrow{\text{دارسی}} \frac{f_e L_e}{D_e^5} = \sum \frac{f_x L_x}{D_x^5}$$

$$\xrightarrow{\text{هیزن-ویلیامز}} \frac{L_e}{C_{HW_e}^{1.852} D_e^{4.87}} = \sum_x \frac{L_x}{C_{HW_x}^{1.852} D_x^{4.87}}$$

$$\xrightarrow{\text{مانینگ}} \frac{n_e^2 L_e^2}{D_e^{16/3}} = \sum \frac{n_x^2 L_x^2}{D_x^{16/3}}$$

به طور کلی $\Rightarrow h_L = R Q^n \Rightarrow R_e Q^n = R_1 Q_1^n + R_2 Q_2^n + R_3 Q_3^n \Rightarrow R_e = \sum_x R_x$



انواع مسائل
- I) دبی معلوم، h_f و مشخصات لوله معادل مجهول
- II) h_f کل معلوم، دبی و مشخصات لوله معادل مجهول

www.jozve.org

* حالت II) مثال:

$$\begin{cases} L_1 = 200\,m \,,\ D_1 = 300\,mm \\ L_2 = 100\,m \,,\ D_2 = 150\,mm \end{cases} \,,\ h_{f_t} = 10\,m$$

جنس: چدن نو $\longrightarrow e = 0.26\,mm \,,\ \nu = 1.004 \times 10^{-6}$

الف) دبی؟ ، ب) طول لوله معادل به قطر 200mm و جنس چدن نو = ؟ ، ج) قطر لوله معادل به طول 300m و جنس چدن نو = ؟ (برای تمام لوله‌ها $C_{HW}=130$ فرض شود)

الف)

$$\left.\frac{e}{D}\right)_1 = 0.000867 \,,\quad \left.\frac{e}{D}\right)_2 = 0.001733$$

$$h_{f_t} = h_{f_1} + h_{f_2} = 10\,m \xrightarrow{\text{دارسی}} \frac{f_1 \times 200\,Q^2}{12.1\,(0.3)^5} + \frac{f_2 \times 100\,Q^2}{12.1\,(0.15)^5} = 10\,m$$

حدس اولیه $\xrightarrow{\text{معمولاً}} f_1 = f_2 = 0.02 \Rightarrow Q = 0.06576 \Rightarrow Re_1 = 277980 \,,\ Re_2 = 555960$

خطای کمتر از 3% $\Rightarrow f_1 = 0.02011 \,,\ f_2 = 0.02292 \Rightarrow Q = 0.06165 \quad \left.\frac{e}{D}\right)_1 \checkmark \quad \left.\frac{e}{D}\right)_2 \checkmark$

$\Rightarrow Re_1 = 260610 \,,\ Re_2 = 521220 \Rightarrow f_1 = 0.02018 \,,\ f_2 = 0.02294 \Rightarrow Q = 0.06162\ m^3/s$

ب)

$$\left.\begin{array}{l} \left.\frac{e}{D}\right)_{eq} = 0.0013 \\ Re = 390720 \end{array}\right\} \xrightarrow[h_L = 10\,m]{} L_{eq} = 472.5\,m$$

ج)

$$\left.\begin{array}{l} h_L = 10\,m \Rightarrow D_e = 0.3933\, f_e^{0.2} \\ Re = \frac{78144}{D_e} \end{array}\right\} \Rightarrow f = 0.02 \Rightarrow \left.\begin{array}{l} \left.\frac{e}{D}\right)_{eq} = 0.0001446 \\ D_e = 0.1799 \\ Re = 434370 \end{array}\right\} \Rightarrow f_{eq} = 0.02205$$

$\Rightarrow D_e = 0.1834 \Rightarrow D_e = 0.1833$

روش دوم: هیزن - ویلیامز: ($C_{HW} = 130$ برای تمام لوله‌ها فرض می‌شود)

الف) $h_{f_1} + h_{f_2} = 10 \Rightarrow 10 = \frac{10.68 \times 200 \times Q^{1.852}}{130^{1.852} \times 0.3^{4.87}} + \frac{10.68 \times 100 \times Q^{1.852}}{130^{1.852} \times 0.15^{4.87}} \Rightarrow Q = 0.06864$

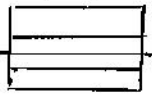
ب) $10 = \frac{10.68 \times L_{eq} \times 0.06864^{1.852}}{130^{1.852} \times 0.2^{4.87}} \Rightarrow L_{eq} = 433.6\,m$

* ظرفیت هیدرولیکی برابر در لوله‌های سری، به معنای h_L برابر می‌باشد.

ج) $10 = \frac{10.68 \times 300 \times 0.06864^{1.852}}{130^{1.852} \times D_{eq}^{4.87}} \Rightarrow D_{eq} = 0.1854\,m$

www.jozve.org

ب) موازی: ΔP برابر



$= D_{eq}, L_{eq}$

$h_{fe} = h_{f_1} = h_{f_2} = h_{f_3} = \dots$

$Q_{eq} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$

دارسی $\rightarrow \left(\frac{D_e^5}{f_e L_e}\right)^{0.5} = \sum_x \left(\frac{D_x^5}{f_x L_x}\right)^{0.5}$

هیزن-ویلیامز $\rightarrow \frac{C_{HWe} D_e^{2.63}}{L_e^{0.54}} = \sum_x \frac{C_{HWx} D_x^{2.63}}{L_x^{0.54}}$

مانینگ $\rightarrow \frac{D_e^{8/3}}{n_e L_e^{1/2}} = \sum \frac{D_x^{8/3}}{n_x L_x^{1/2}}$

$\rightarrow h_L = RQ^n \rightarrow Q = \left(\frac{h_L}{R}\right)^{\frac{1}{n}}$

$\rightarrow \left(\frac{1}{R_{eq}}\right)^{1/n} = \sum_x \left(\frac{1}{R_x}\right)^{1/n}$

* در حالت unsteady باید از معادله برنولی غیر دائم استفاده کرد.

انواع مسائل:

I) افت مدکل معلوم، h_f مجهولات: دبی هر لوله و مشخصات لوله معادل

II) دبی کل معلوم، مجهولات: Q_x ، h_f ، مشخصات لوله معادل

مثال: حالت I

P_1	P_2	P_3
300m	250m	400m
200mm	300mm	250mm
$e_1 = 0.3mm$	$e_1 = 0.2mm$	$e_3 = 0.4mm$
$C_{HW} = 120$	$C_{HW} = 130$	$C_{HW} = 110$

، $h_f = 10m$

الف) برای هر لوله به طور جداگانه دبی را محاسبه می‌کنیم.

$\left.\frac{e}{D}\right)_1 = 0.0015 \xrightarrow[f=0.02]{\text{حدس}} Q_1 = 0.08033 \rightarrow Re = 511400 \xrightarrow{\left.\frac{e}{D}\right)_1} f_1 = 0.02217 \rightarrow Q_1 = 0.07630$

$\rightarrow Re_{new}, f_{new} \rightarrow Q_{new} = 0.07626$

به همین ترتیب $\rightarrow Q_2 = 0.2541$ ، $Q_3 = 0.1147 \rightarrow Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0.4451$

ب) اگر $D_{eq} = 300mm$ ، $e = 0.2^{mm}$ ، $L_{eq} = ?$ ، $C_{HW} = 130$

$\left.\begin{array}{l} \left.\frac{e}{D}\right)_{eq} = 0.0015 \\ Q_t, Re \end{array}\right\} \rightarrow f_{eq} \rightarrow L_{eq} = 82.18m$

روش دوم: هیزن-ویلیامز

الف) $h_f = 10m = \frac{10.68 \times 300 \times Q_1^{1.852}}{120^{1.852} \times 0.2^{4.87}} \rightarrow Q_1 = 0.07731 \xrightarrow[\text{ترتیب}]{\text{به همین}} Q_2 = 0.2684$ ، $Q_3 = 0.1039$

$\rightarrow Q_t = \sum Q$

ب) $10 = \frac{10.68 \times L_{eq} \times 0.4548^{1.852}}{130^{1.852} \times 0.3^{4.87}} \rightarrow L_{eq} = 94.13m$

www.jozve.org

مثال: حالت II، Q_t معلوم، L_{eq} = ؟، D_{eq} = ؟، Q_n = ؟

① $f_1 = f_2 = f_3 = \dots = 0.02$

② $h_{f_1} = h_{f_2} = h_{f_3} \Rightarrow Q_2 = f(Q_1)$ ، $Q_3 = f(Q_1)$

③ $\Sigma Q = Q_t \Rightarrow Q_1 \checkmark \Rightarrow Q_2, Q_3$

④ $Re, \frac{\varepsilon}{D}) \Rightarrow f_1 \checkmark, f_2 \checkmark, f_3 \checkmark$

تکرار

$Q_1 \checkmark$ ، $Q_2 \checkmark$ ، $Q_3 \checkmark \Rightarrow h_f \checkmark$

اتصالات:

$$h_f = K_m \frac{V^2}{2g} = f \frac{\Delta L}{D} \frac{V^2}{2g} \Rightarrow \Delta L = \frac{K_m D}{f}$$

← طول لوله ها اضافه می‌شود. بعد معادل گیری می‌شود.

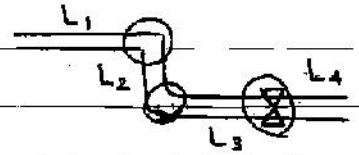
$$\frac{\Delta L}{D} = \text{[illegible]}$$

$$\Delta L = \frac{K_m C_{hw}^{1.852} D^{0.87} Q^{0.148}}{129.3}$$ ← هیزن ویلیامز

$$\Delta L = \frac{K_m D^{4/3}}{124.5 n^2}$$ ← مانینگ

در نهایت به مجموع ΔL ها، 5% تا 10% مجموع ← $\Delta L = 35 K_m D$ ← رابطه تجربی ΔL ها اضافه می‌شود.

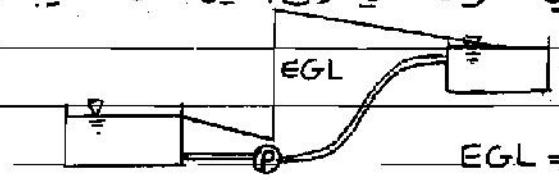
* برای هگزا و داگزا ← قطر کوچکتر



$L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + (\Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3) \times 1.1$

www.jozve.org

پمپ یک توربوماشین توانگیر: تراکم ناپذیر، انرژی از طریق چرخ به سیال منتقل و در نتیجه انرژی سیال افزایش می‌یابد.

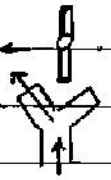


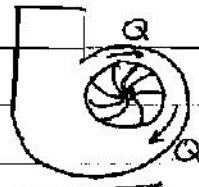
$$EGL = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z$$

پمپ سانتریفوژ: سیال موازی محور وارد و عمود بر آن خارج می‌شود ← هد بالا و دبی متوسط

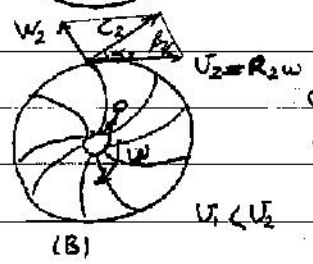
" محوری: " " " " " موازی محور " " ← هد پایین و دبی بالا

" مختلط: " " " " " و با زاویه خارج می‌شود ← هد و دبی متوسط

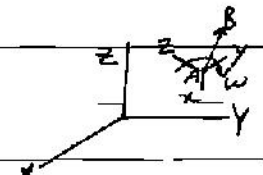




$A\uparrow$, $Q\uparrow \Rightarrow V = cte$, $P = cte$



$$\left.\begin{array}{l} C_2 = \\ W_2 = \end{array}\right\} \Rightarrow \vec{C} = \vec{W} + \vec{U}$$



$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_B\big|_{R-yE} + \vec{r}_{AB} \times \vec{\omega}$$

$\angle(C, U) = \alpha$, $\angle(W, U) = \beta$

$C_{u_2} = C_2 \cos\alpha_2$, $C_{m_2} = C_2 \sin\beta_2$

$C_{u_1} = C_1 \cos\alpha_1$, $C_{m_1} = C_1 \sin\beta_1$

$Q = C_{m_2} \times 2\pi R_2 b_2 = C_{m_1} \times 2\pi R_1 b_1$

* معمولاً $\alpha_1 = 90^\circ$

$\beta_2 < 90^\circ$ (B-W) $\qquad \beta_2 = 90^\circ$ (Radial) $\qquad \beta_2 > 90^\circ$ (F-W)

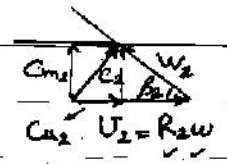
$$\Sigma T = \int_{C.S.} \vec{r} \times \vec{C} \rho \vec{C} \cdot d\vec{A} = \dot{m}(r_2 C_{u_2} - r_1 C_{u_1}) \Rightarrow H = \frac{1}{g}(U_2 \underbrace{C_{u_2}}_{C_2 \cos\alpha_2} - U_1 \underbrace{C_{u_1}}_{C_1 \cos\alpha_1})$$

$$\left.\begin{array}{l} P = T\omega = \dot{m}(U_2 C_{u_2} - U_1 C_{u_1}) \\ P = \underbrace{\Delta P}_{\text{فشار}} Q = \underbrace{\rho g H Q}_{\dot{m}} = \dot{m}(U_2 C_{u_2} - U_1 C_{u_1}) \end{array}\right\} \Rightarrow H = \frac{P}{\rho g Q} = \frac{P}{\dot{m} g} =$$

www.jozve.org

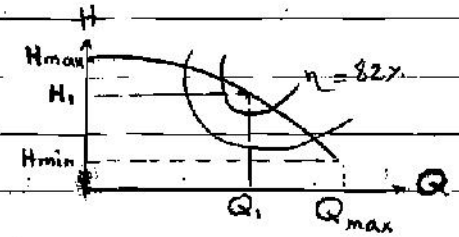
$$H_p = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{C_2^2}{2g} + Z_2\right) - \left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{C_1^2}{2g} + Z_1\right)$$

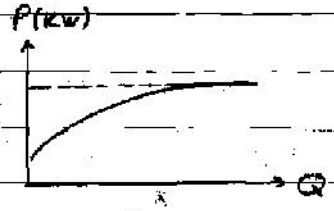
برای مشخص کردن هد پمپ از روی هندسه برای یک دبی مشخص:

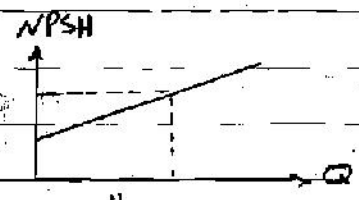


β_2 ، $C_{m_2} = \dfrac{Q}{2\pi R_2 b_2}$

منحنی مشخصه پمپ:



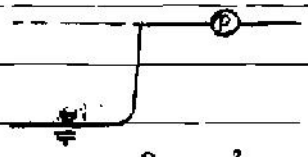




پمپ: 100 − 200

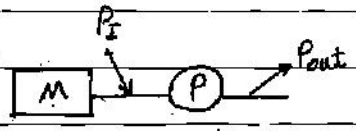
قطر نامی چرخ ← قطر پروانه ← قطر لوله خروجی

برحسب mm ← برحسب mm

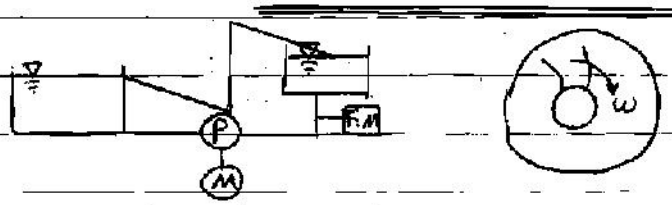


$$0 - 10 + 0 = P_i + \frac{C_i^2}{2g} + 0$$

$$\Rightarrow P_i = -10 - \frac{C_i^2}{2g} = -10$$



$$\Rightarrow \eta = \frac{P_{out}}{P_{in\,(pump)}}$$



$$H'' = \frac{1}{g}(U_2 C_{u_2} - U_1 C_{u_1}) \quad , \quad H_{net} = \left(\frac{P}{\gamma} + \frac{C^2}{2g} + Z\right)_2 - \left(\frac{P}{\gamma} + \frac{C^2}{2g} + Z\right)_1$$

$$H'' = H_n + h_L$$

www.jozve.org

تشابه:
- هندسی ← مقیاس طولی
- کینماتیکی ← مقیاس زمانی $V=\frac{L}{t}$
- دینامیکی ← مقیاس جرمی

* تشابه هندسی و کینماتیکی شرط لازم و نه کافی برای تشابه دینامیکی است.
* اگر هندسه، تشابه هندسی داشته باشد و گروه های بی بعد به جز یک گروه باهم برابر باشند، تشابه دینامیکی برقرار است.

$$\left.\begin{array}{l} * \quad gH = f_1(Q, N, D, \rho, \mu) \\ * \quad \eta = f_2(Q, N, D, \rho, \mu) \\ * \quad P_e = f_3(Q, N, D, \rho, \mu) \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} \Psi = \frac{gH}{N^2 D^2} \\ \phi = \frac{Q}{ND^3} \\ \hat{P} = \frac{P_e}{\rho N^3 D^5} \end{array}\right.$$

$P_e \rightarrow$ توان

بنابراین:

$$Re = \frac{\rho V D^2}{\mu}$$

$$\Psi = f_1(\phi, \cancel{Re}) \quad , \quad \eta = f_2(\phi, \cancel{Re}) \quad , \quad \hat{P} = f_3(\phi, \cancel{Re})$$

* نمی توان گروه بی بعد رینولدز را برابر قرار داد.
* تلفات در مدل کمی بیشتر از مقدار به دست آمده از نسبت تشابه است، بنابراین همیشه راندمان مدل کمی کمتر از راندمان مدل واقعی است.

$$\eta = \frac{\gamma Q H_n}{P} \Rightarrow \hat{P} = \frac{\phi \Psi}{\eta} \quad \text{یا} \quad \eta = \frac{\phi \Psi}{\hat{P}}$$

فقط در نقطه راندمان بیشینه تعریف می شود N_s سرعت مخصوص $= \frac{\phi^{\frac{1}{2}}}{\Psi^{3/4}} = \frac{N Q^{\frac{1}{2}}}{(gH)^{3/4}}$

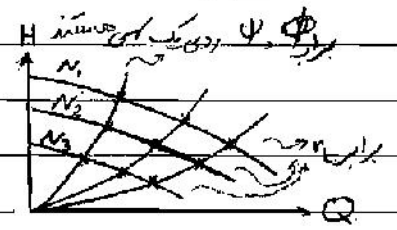
$$N_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{0.75}}$$

N: rpm ، Q: m^3/s ، H: m

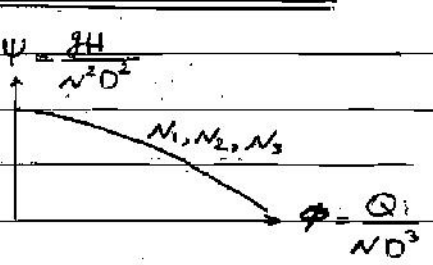
مورد استفاده در صنعت

$Q\uparrow \; H\downarrow \rightarrow N_s\uparrow$ محوری

$Q\downarrow \; H\uparrow \rightarrow N_s\downarrow$ سانتریفیوژ



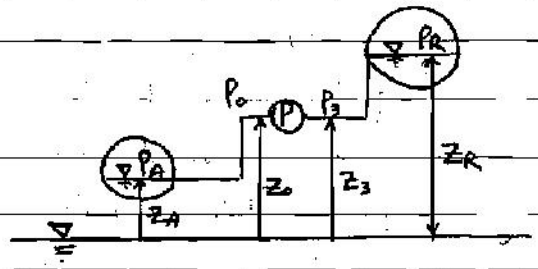
$N_3 < N_2 < N_1$



* در یک خانواده متشابه از پمپ ها، راندمان ها و سرعت مخصوص ها برابرند

www.jozve.org

پمپ و مدار:

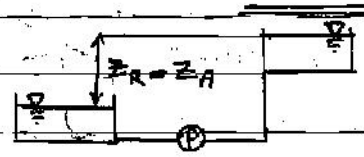


$$\begin{cases} \dfrac{P_A}{\gamma} + \dfrac{V_A^2}{2g} + Z_A = \dfrac{P_0}{\gamma} + \dfrac{V_0^2}{2g} + Z_0 + h_{L\,A-0} \\[2ex] \dfrac{P_3}{\gamma} + \dfrac{V_3^2}{2g} + Z_3 = \dfrac{P_R}{\gamma} + \dfrac{V_R^2}{2g} + Z_R + h_{L\,3-R} \end{cases}$$

$$\Longrightarrow \frac{P_3-P_0}{\gamma} + \frac{V_3^2-V_0^2}{2g} + (Z_3-Z_0) = \frac{P_R-P_A}{\gamma} + (Z_R-Z_A) + \frac{V_R^2-V_A^2}{2g} + H_L$$

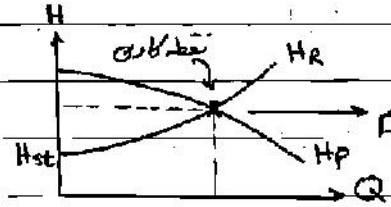
$$\Longrightarrow H_p = H_R \begin{cases} H_{dyn} = \dfrac{V_R^2-V_A^2}{2g} + H_L = KQ^2 \\[2ex] H_{st} = \dfrac{P_R-P_A}{\gamma} + Z_R - Z_A \end{cases}$$

مثال:

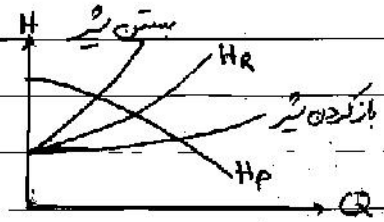


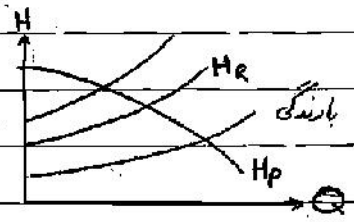
$H_{dyn} = KQ^2$

$H_{st} = Z_R - Z_A$

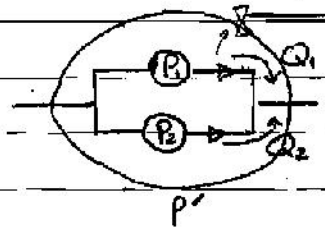


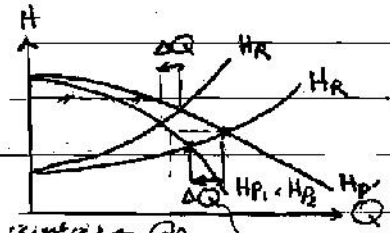
نقطه ای که در بیشتر زمان سال با آن مواجهیم





اتصال موازی:





در حد یکسان، دبی ها جمع می شوند

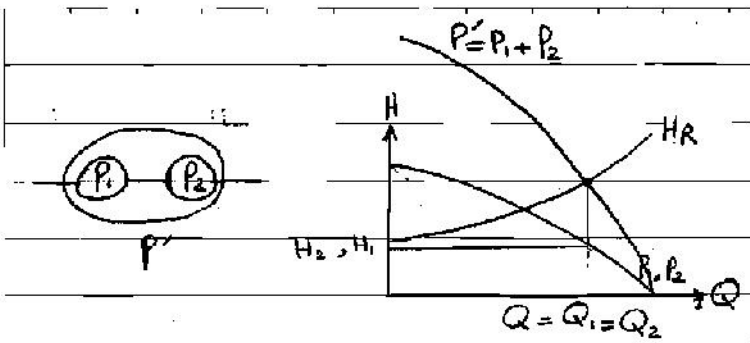
Q_{P_1} ← دبی عبوری از P_1

Q_{P_2} ← دبی عبوری از P_2

برای کاهش ΔQ باید H_R زیاد شود پس باید قطر لوله کم شود.

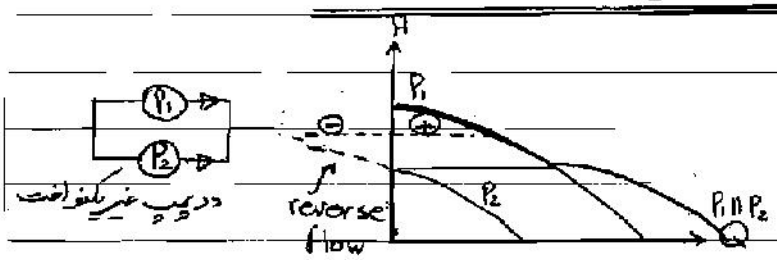
www.jozve.org

اتصال سری و موازی پمپ ها:

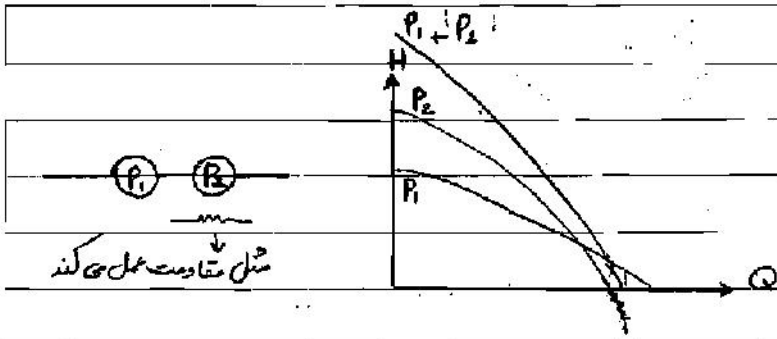


اگر پمپ ها غیر یکنواخت باشند:

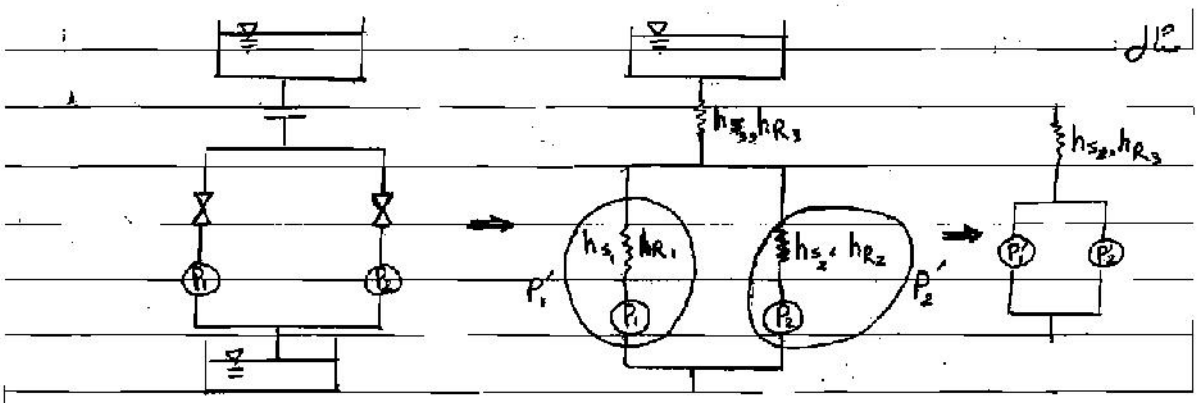
الف) موازی:

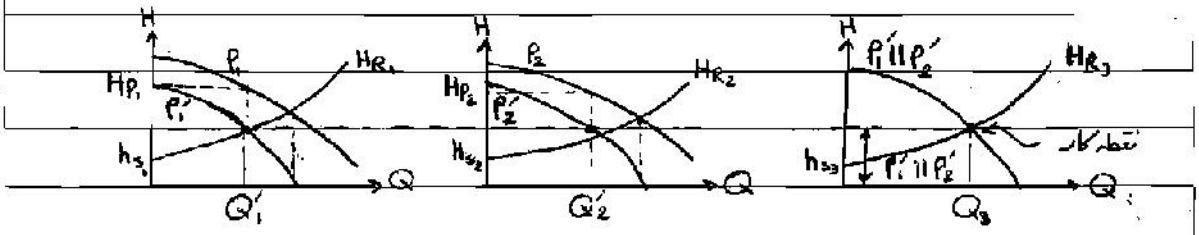


ب) سری:



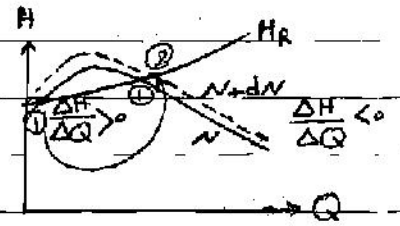
مثال:





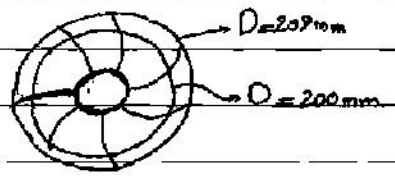
www.jozve.org

پایداری:



ناپایدار $\frac{\Delta H}{\Delta Q}>0$ ، پایدار $\frac{\Delta H}{\Delta Q}<0$

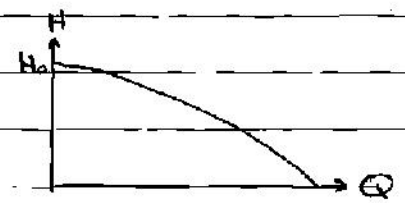
تراش پروانه:



* تشابه هندسی وجود ندارد

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^n \quad , \quad \frac{H_1}{H_2}=\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^n \qquad 2<n<3$$

روابط هد و دبی:



$$h_p=AQ_p^2+BQ_p+H_0$$

برای هگرایی بیشتر:

* تغییر متغیر $\longrightarrow G_p=Q_p+\frac{B}{2A} \longrightarrow h_p=AG_p^2+\left(H_0-\frac{B^2}{4A}\right)$

* $h_p=H_p-R_pQ_p^n \longrightarrow n=2$ ، $n=1.852$ $\longrightarrow$ H_p و R_p با استفاده از دو نقطه مضی به دست می‌آیند.

$n=2$: نزدیک شدن به دارسی و مانینگ

$n=1.852$: نزدیک شدن به هیزن ویلیامز

روابط برای دبی نیز به صورت زیر هستند:

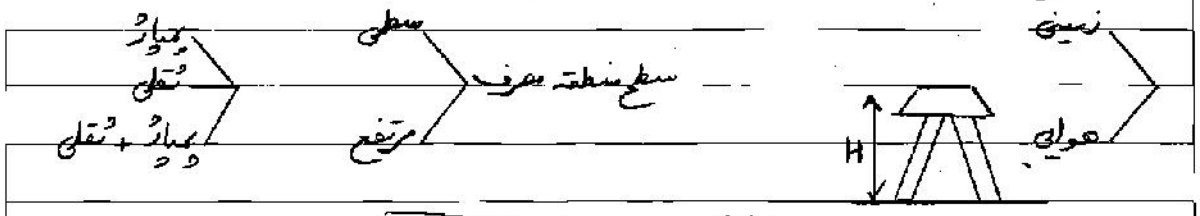
$$Q_p=A+Bh_p+Ch_p^2+Dh_p^3+Eh_p^4$$

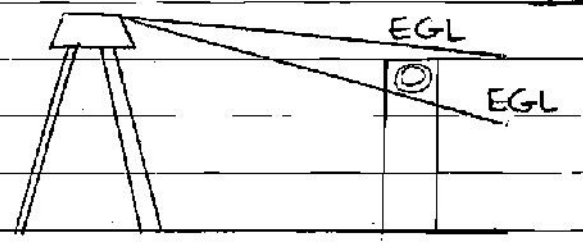
$$Q_p=Q_0-ah_p^b$$

$$Q_p=Q_0-ah_p^{\frac{1}{n}}$$

www.jozve.org

مخازن توزیع: به منظور ذخیره‌سازی، متعادل‌سازی جریان و فشار از مخازن استفاده می‌شود.



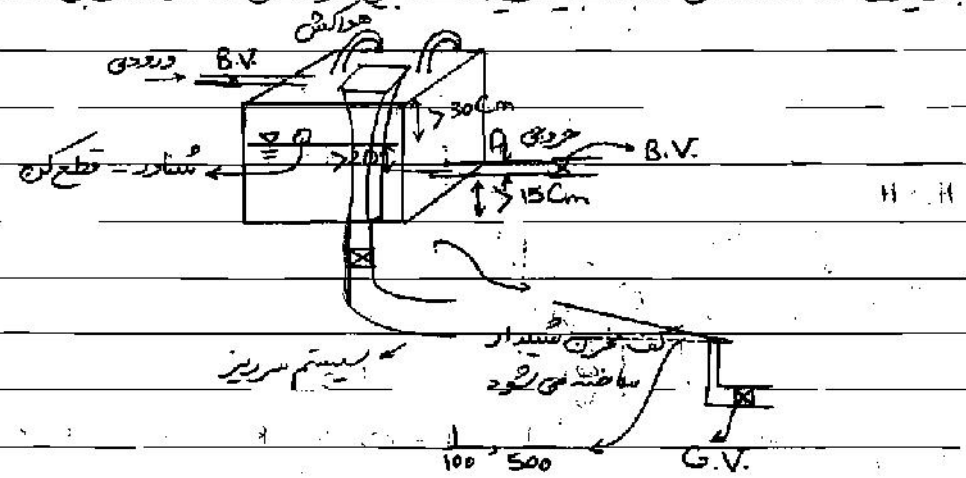


* برای افزایش ضریب اطمینان توزیع آب، یک حجم مخزن تقسیم به دو حجم مخزن خواهد شد.

$$6000\,m^3 = 3000\,m^3 + 3000\,m^3$$

اهداف مخزن: ① مصرف آتش‌نشانی ② اضطراری (10% حجم روزانه مصرف شهر)
③ متعادل‌سازی فشار و جریان

* برای جلوگیری از راکد شدن آب، بیشترین فاصله بین لوله‌های ورودی و خروجی در نظر گرفته می‌شود.

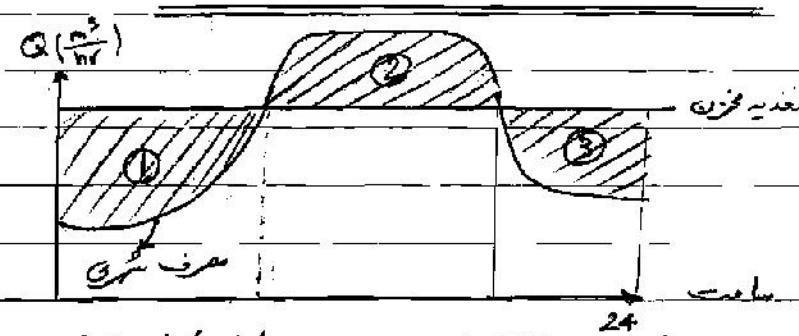


* زهکشی ← برای سیستم‌های زمینی

www.jozve.org

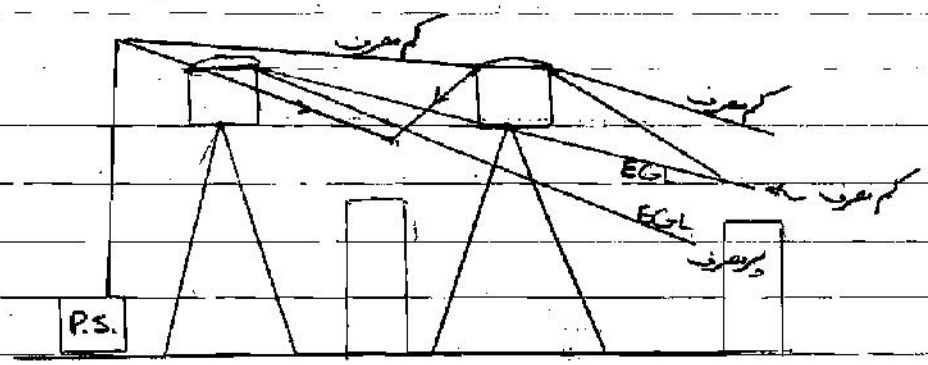
$\forall (m^3)$	D_{In} (mm)	تعداد لوله ورودی	سرریز	هواکش (100mm)
1000	250	1	250 mm	1
30000	600	2	800 mm	8

→ جدول

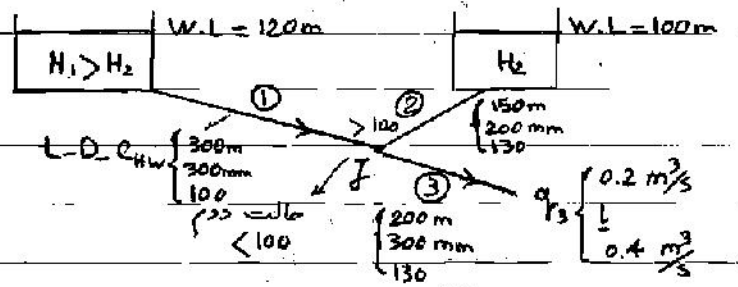


$\forall_2 = \forall_1 + \forall_3$ ، حداقل حجم مخزن $= \forall_2$

* برای یکسان کردن توزیع آب ، مخزن آب را در وسط شهر قرار می‌دهیم.



مثال:



اگر $H_J = 100m$ ، $Q_2 = 0$ ، $h_L = RQ^{1.852}$ → $R_1 = 222.91$ ، $R_2 = 493.1$ ، $R_3 = 148.61$

$$\rightarrow Q_1 = \left[\frac{120-100}{222.91}\right]^{1/1.852} = 0.272\ m^3/s$$

→ $Q_3 < 0.272$ → مخزن تغذیه می‌شود → $Q_1 = Q_2 + Q_3$

→ $Q_3 > 0.272$ → مخزن 2 به سیستم آب می‌دهد → $Q_1 + Q_2 = Q_3$

* $Q_1 = Q$

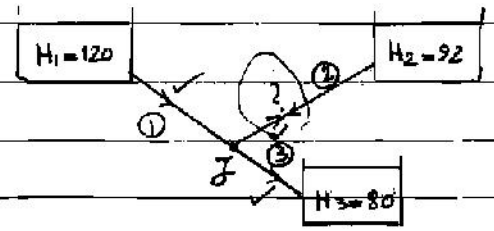
www.jozve.org

در حالت $Q_3 = 0.2$:

$$\left.\begin{array}{l} p(1): 120 - H_J = 222.98\, Q_1^{1.852} \\ p(2): H_J - 100 = 493.1\,(Q_1 - 0.2)^{1.852} \end{array}\right\} \Rightarrow Q_1 = 0.2548 \,،\, Q_2 = 0.0548 \,،\, Q_3 = 0.2$$

$$H_J = 102.28\,m$$

مثال: ۳ مخزن



$H_1 > H_2 > H_3$

$H_J = H_2 \rightarrow Q_1 = Q_3 \,،\, Q_2 = 0 \rightarrow Q_1 = 0.3262 \,،\, Q_3 = 0.257 \Rightarrow H_J > H_2$

$H_J > H_2 \rightarrow Q_1 = Q_2 + Q_3$ $\qquad \Downarrow \checkmark Q_1 = Q_2 + Q_3$

$H_J < H_2 \rightarrow Q_1 + Q_2 = Q_3$

$Q_3 = Q \,،\, Q_2 = mQ \,،\, Q_1 = (1+m)Q$

$[1\text{-}J\text{-}2]: 120 - 92 = R_1\left[(1+m)Q\right]^{1.852} + R_2 (mQ)^{1.852}$

$[1\text{-}J\text{-}3]: 120 - 80 = R_1\left[(1+m)Q\right]^{1.852} + R_3 Q^{1.852}$

$\Longrightarrow m = 0.1585 \,،\, Q = 0.27356 \,،\, H_J = 93.47\,m$

* جهت جریان همیشه از مخزن بزرگتر به مخزن کوچکتر است.

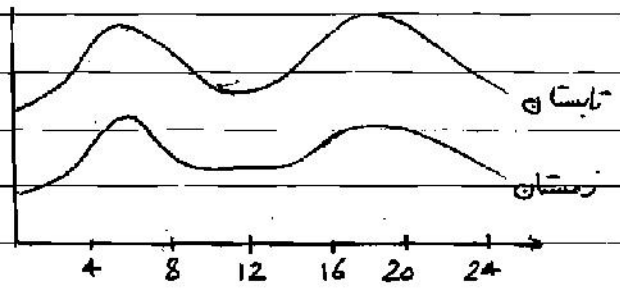
عوامل موثر بر مصرف آب شهری:

① شرایط اقلیمی ② وضعیت فرهنگی و اقتصادی ③ نوع جامعه - مسکونی - صنعتی - تجاری
④ فشار آب ⑤ قیمت آب ⑥ مرغوبی ⑦ مدیریت سیستم آب

مصرف سرانه آب: میانگین روزانه مصرف کل در طول یک سال به ازای هر نفر

- خانگی
  - آشامیدنی ← 2.5 لیتر/نفر
  - وقت دیزی ← 5-10 "
  - استحمام ← 25-50 "
- عمومی ← 10-20 لیتر/نفر
- شهر ← 500-1000 لیتر/نفر
- تجاری و صنعتی ← 20-65 لیتر/نفر
- تلفات ← 15٪ به صورت تلفات در نظر گرفته می‌شود ← 20-75 لیتر/نفر
- فضای سبز ← 8-12 لیتر/m^2day (گرم و خشک)

www.jozve.org



* ضریب حداکثر روزانه = $\frac{\text{حداکثر مصرف روزانه}}{\text{متوسط مصرف روزانه در سال}}$ = 1.2 ~ 1.8

* ضریب حداکثر ساعتی در روز = $\frac{\text{حداکثر مصرف ساعتی}}{\text{متوسط مصرف ساعتی در روز}}$

* ضریب حداکثر ساعتی در سال = $\frac{\text{حداکثر مصرف ساعتی}}{\text{متوسط مصرف ساعتی در سال}}$

مثال: برای شهری با جمعیت 200,000 ، مصرف سرانه 550 lit/day ، میزان حجم آب مصرفی؟

$$Q^d_{ave} = 550 \times 200000 = 1.1 \times 10^5 \ m^3/day$$

برای شهرهای کوچک ← $C = 1.8 \times t^{-0.1}$ ← ضریب حداکثر t روزه ← رابطه تجربی

$$\Rightarrow Q^d_{max} = 1.8 \times Q^d_{ave} = 1.98 \times 10^5 \ m^3/day$$

$$Q^h_{max} = 1.5 \times Q^d_{max} = 2.9 \times 10^5 \ m^3/day \div 24 = 1.24 \times 10^4 \ m^3/hr$$ ← جدول کتاب

دوره طرح: از شروع بهره برداری از طرح آغاز می‌شود. (مربوط به طراحی اولیه)

مثال: تصفیه خانه: سال 10~15 + حداکثر مصرف روزانه

مخازن: سال 20~25 + : " : + آتش نشانی + ذخیره اضطراری

* تخمین جمعیت: ← روش حسابی: $K_a = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \rightarrow P_t = P_0 + K_a t$

www.jozve.org

شبکه انتقال آب :

① لوله : قطر و دبی آن ثابت بوده و هیچ شاخه‌ای از آن منشعب نمی‌شود.

② گره : نقطه برخورد چند لوله و یا نقطه شروع و پایان آن.

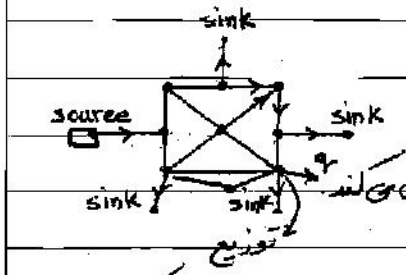
③ لوله جریان رسان : جریان را به گره وارد می‌کند

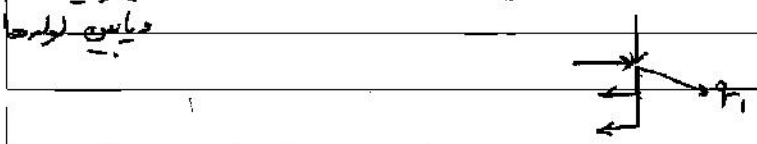
④ لوله توزیع : جریان را از گره خارج می‌کند.

⑤ گره چشمه : جریان را از منبع خارجی دریافت و به شبکه منتقل می‌کند

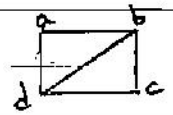
⑥ گره چاه : تمام جریان را به خارج از شبکه منتقل می‌کند.

⑦ گره توزیع : گره‌ای که جریان را از یک و یا چند لوله جریان رسان دریافت و به خارج شبکه توزیع می‌کند.



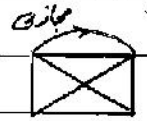


⑧ حلقه (Loop) : مسیر بسته‌ای که اگر یک قطره آب از یک گره شروع به حرکت کند، از تمام گره‌ها و لوله‌ها فقط یکبار عبور کرده و به نقطه شروع برگردد.



abd : مستقل ، abcd : فراگیر

⑨ حلقه مجازی : از یک لوله مجازی تشکیل می‌شود. (بعد از تکمیل یک لوله)

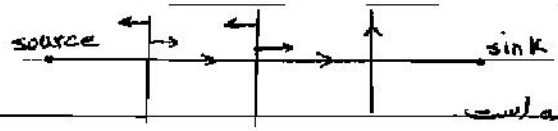


⑩ شبکه لوله : شامل لوله، حلقه، مخزن، پمپ، شیرآلات، ...

انواع شبکه‌ها :

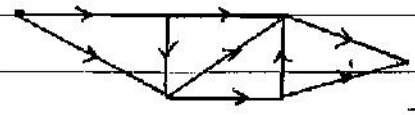
① شبکه سریال :

② شبکه شاخه‌ای :



از تعدادی شبکه سریال تشکیل شده است.

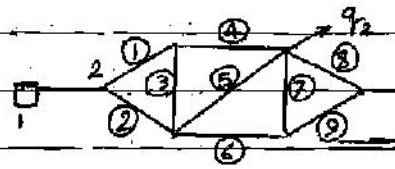
③ شبکه حلقوی :



از حلقه‌ها تشکیل شده است.

④ شبکه مرکب : ترکیبی از شبکه‌های فوق.

www.jozve.org



$Q_1, \dots, Q_9 = ?$

$H_2, \dots, H_N = ?$

معیارهای طراحی:

① سرعت: سرعت زیاد باعث تلفات زیاد و بروز پدیده چکش آبی خواهد شد.

$\Delta H = \frac{a \Delta V}{g} = \frac{1000 \times 3}{10} = 300\,m = 30\,bar$ (چکش آبی)

حداکثر سرعت: $2\,m/s$ — در معارف آتش نشانی $3.5\,m/s$

② سرعت کم: رسوب ← حداقل سرعت: $0.3\,m/s$

← برای لوله های تا قطر 20" ← $0.8 \sim 1\,m/s$

← " " با قطر بیشتر از 20" ← $1.2\,m/s$

③ فشار آب: در اوج مصرف و حداکثر تلفات، آب مورد نیاز نقاط مرتفع تأمین شود.

در مواقع حداقل مصرف، باعث ترکیدگی در نقاط گود شبکه نشود.

← فشار باید همیشه حداقل مقدار مقرر را داشته باشد.

← در ایران: حداکثر فشار مجاز: 5atm ، حداقل مصرف یک ساختمان یک طبقه 1.4atm و برای هر طبقه اضافه 0.4atm در نظر گرفته شود. حداقل فشار در نقاط برداشت باید 0.3atm باشد.

④ دبی طراحی: حداکثر مصرف لحظه ای + حداکثر مصرف آتش نشانی: $10\,l/s \sim 20\,l/s$

چون این دو پدیده اکثراً همزمان اتفاق نمی افتند:

حداکثر مصرف لحظه ای

حداکثر مصرف روزانه + حداکثر مصرف آتش نشانی ← فشار را چک می کند.

⑤ قطر لوله ها: حداقل قطر لوله ها:

- شبکه طبقه: 6"
- شبکه شاخه ای: 8"
- توسعه یافته: 8"
- خیابان اصلی: 12"

www.jozve.org

فرمول بندی معادلات برای شبکه های هیدرولیکی:

۱- استاتیک (steady state)

نرمالات در حالت دینامیک بررسی می شوند.

$$X = J + C - 1$$

X: تعداد لوله ها — J: گره چشمه M + گره مصرف N — C: حلقه ها مستقل

$J = M + N$

مثال: H_i H_j — $7 = 6 + 2 - 1$

* افت هد در لوله: $h_{Lx} = H_i - H_j = R_x Q_x^n$

← برای منظور کردن جهت جریان:

$$h_{Lx} = H_i - H_j = \underbrace{R_x |Q_x|^{n-1}}_{R'_x} Q_x$$

$$h_{Lx} = R'_x Q_x$$

* اگر مجهولات H_i ها باشند: $Q_x = \left(\frac{H_i - H_j}{R_x}\right)^{\frac{1}{n}}$

← برای منظور کردن جهت جریان:

$$Q_x = \frac{H_i - H_j}{R_x^{1/n} |H_i - H_j|^{(1-\frac{1}{n})}}$$

$$Q_x = C_x (H_i - H_j)$$

پیوستگی در گره: $\sum Q_x + \underbrace{q_j}_{\text{برداشت}} = 0$

مثال: I, II — 1, 2, 3 — q

$\rightarrow Q_1 + Q_2 - Q_3 - q = 0$

اگر مجهولات H_j ها باشند: $\sum C'_x (H_i - H_j) + q_j = 0$

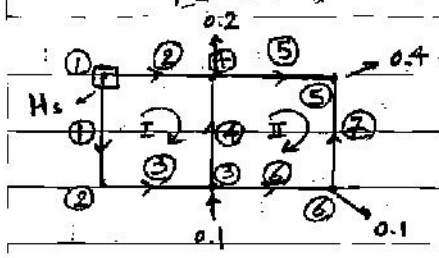
افت هد در حلقه: $\sum h_{Lx} = \sum R_x Q_x^n = 0$

$\hookrightarrow$ I, II, III

www.jozve.org

در Node چشمه نمی نویسیم .

- حالت یک چشمه :



Node 2: $Q_1 - Q_3 - 0.3 = 0$

Node 3: $Q_3 - Q_4 - Q_6 + 0.1 = 0$

Node 4: $Q_2 + Q_4 - Q_5 - 0.2 = 0$

Node 5: $Q_5 + Q_7 - 0.4 = 0$

Node 6: $Q_6 - Q_7 - 0.1 = 0$

Loop I: $R_2 Q_2^n - R_4 Q_4^n - R_3 Q_3^n - R_1 Q_1^n = 0$

Loop II: $R_5 Q_5^n - R_7 Q_7^n - R_6 Q_6^n + R_4 Q_4^n = 0$

* همیشه هد گره چشمه مشخص است.

$$\text{Node 2}: \left(\frac{H_3 - H_4}{R_4}\right)^{1/n} + \left(\frac{H_5 - H_4}{R_2}\right)^{1/n} - \left(\frac{H_4 - H_5}{R_5}\right)^{1/n} = 0$$

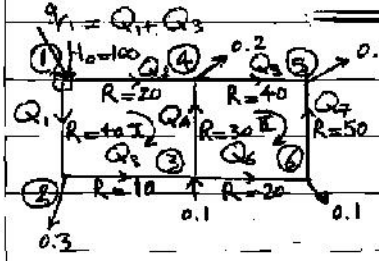
$$\text{Node 3}: \left(\frac{H_2 - H_3}{R_3}\right)^{1/n} + 0.1 - \left(\frac{H_3 - H_4}{R_4}\right)^{1/n} - \left(\frac{H_3 - H_6}{R_6}\right)^{1/n} = 0$$

$$\text{Node 4}: \left(\frac{H_1 - H_2}{R_1}\right)^{1/n} + \left(\frac{H_5 - H_4}{R_4}\right)^{1/n} - \left(\frac{H_4 - H_5}{R_5}\right)^{1/n} - 0.2 = 0$$

$$\text{Node 5}: \left(\frac{H_4 - H_5}{R_5}\right)^{1/n} + \left(\frac{H_6 - H_5}{R_7}\right)^{1/n} - 0.4 = 0$$

$$\text{Node 6}: \left(\frac{H_3 - H_6}{R_6}\right)^{1/n} - \left(\frac{H_6 - H_5}{R_7}\right)^{1/n} - 0.1 = 0$$

مثال :



$M = 1$

$N = 5$

$C = 2$

$X = 7$

$\longrightarrow X = M + N + C - 1 = 7 + C - 1$

معادلات برحسب $Q_1, Q_2, \ldots, Q_6$ و Q

$N2: Q_1 - Q_3 - 0.3 = 0$

$N3: Q_3 - Q_4 - Q_6 + 0.1 = 0$

$N4: Q_2 + Q_4 - Q_5 - 0.2 = 0$

$N5: Q_5 + Q_7 - 0.4 = 0$

$N6: Q_6 - Q_7 + 0.1 = 0$

$\text{I}: 20 Q_2^n - 30 Q_4^n - 40 Q_3^n - 40 Q_1^n = 0$

$\text{II}: 40 Q_5^n - 50 Q_7^n - 20 Q_6^n + 30 Q_4^n = 0$

www.jozve.org

معادلات برحسب H_2 ، H_3 ، H_4 ، H_5 ، H_6 :

$$H_2: \left(\frac{100-H_2}{40}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{H_2-H_3}{10}\right)^{\frac{1}{n}} - 0.3 = 0$$

$\vdots$

$$H_6: \left(\frac{H_5-H_6}{20}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{H_6-H_5}{50}\right)^{\frac{1}{n}} - 0.1 = 0$$

شبکه تک حلقه:

۱- روش ΔQ: دبی و جهت جریان در لوله‌ها به گونه‌ای فرض می‌شوند که رابطه پیوستگی در گره‌ها ارضا شود. با توجه به اینکه رابطه افت هد در حلقه‌ها ارضا نمی‌شود، تصحیحات ΔQ_I ، ΔQ_{II} بر روی حلقه‌ها صورت می‌گیرد. $\sum R_{0\chi}\left(Q_{(1)\chi} + \sum_{\chi} \Delta Q_c\right)^n = 0$

تکرار اول

* برای هر حلقه ΔQ در نظر می‌گیریم.

$Q_{(1)1} = 0.4$

$Q_{(1)2} = 0.5$ (ΔQ_I) (ΔQ_{II})

$Q_{(1)3} = 0.1$ $\rightarrow$ $F_1 = 20(\underbrace{0.5}_{Q_{(1)2}} + \Delta Q_I)^n - 30(0.05 - \Delta Q_I + \Delta Q_{II})^n - 10(0.1 - \Delta Q_I)^n - 40(0.4 - \Delta Q_I)^n = 0$

$Q_{(1)4} = 0.05$

$Q_{(1)5} = 0.35$

$Q_{(1)6} = 0.15$ $\quad F_2 = 40(0.35 + \Delta Q_I)^n - 50(0.05 - \Delta Q_{II})^n - 20(0.15 - \Delta Q_{II})^n + 30(0.05 - \Delta Q_I + \Delta Q_{II})^n = 0$

$Q_{(1)7} = 0.05$

۲- روش ΔH: با توجه به جهت جریان، هد اولیه گره‌ها فرض شده و سپس معادلات برای ارضای قانون پیوستگی در گره‌ها با توجه به اصلاح ΔH نوشته می‌شوند.

$$\sum_{ij} \left(\frac{(H_{(1)i} + \Delta H_i) - (H_{(1)j} + \Delta H_j)}{R_{0\chi}}\right)^{\frac{1}{n}} + q_{0j} = 0$$

$H_1 = 100\,m$ ، $H_{(1)2} = 97\,m$ ، $H_{(1)3} = 95\,m$ ، $H_{(1)4} = 94\,m$ ، $H_{(1)5} = 90\,m$

$H_{(1)6} = 92\,m$

$$N2: \left(\frac{100-(97+\Delta H_2)}{40}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{(97+\Delta H_2)-(95+\Delta H_3)}{10}\right)^{\frac{1}{n}} - 0.3 = 0$$

$$N_3: \left(\frac{(97+\Delta H_2)-(95+\Delta H_3)}{10}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{(95+\Delta H_3)-(94+\Delta H_4)}{30}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{(95+\Delta H_3)-(92+\Delta H_6)}{20}\right)^{\frac{1}{n}} + 0.1 = 0$$

* به همین ترتیب برای گره‌های 4، 5 و 6.

www.jozve.org

شبکه های چند چشمه:

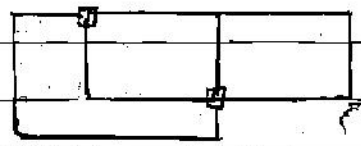
$M: [q_1, q_2, \dots, q_M]$

$X: [Q_1, Q_2, \dots, Q_X]$ → تعداد مجهولات : $M+X$

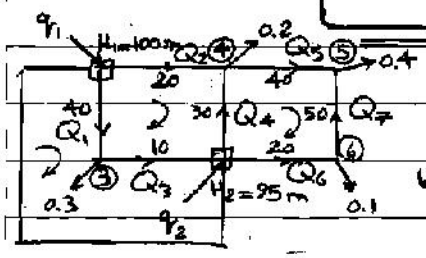
* با اضافه کردن M چشمه، M-1 مجهول اضافه می شود. (M-1 حلقه مجازی اضافه می کنیم.)

* یک حلقه مجازی از به هم وصل کردن دو چشمه به وجود می آید.

تعداد مجهولات : $\underbrace{(M+N)}_{\text{پیوستگی}} + \underbrace{(C+\overset{\text{مجازی}}{(M-1)})}_{\text{انرژی}} = \underbrace{(J+C-1)}_{X} + M = X + M =$



یک لوله با مقاومت خیلی زیاد که دو چشمه به هم آن متصل است



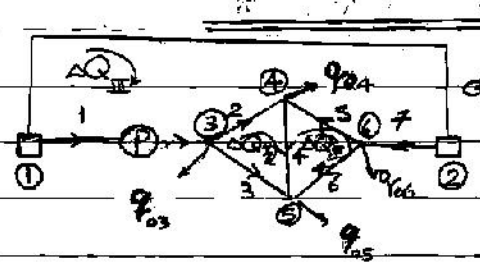
مثال: مجهولات: $\{\underbrace{Q_1, Q_2, \dots, Q_7, q_1, q_2}_{M=2}\} = 9$

چشمه ها:
$$\begin{cases} ①: q_1 - Q_2 - Q_1 = 0 \\ ②: q_2 + Q_3 - Q_4 - Q_6 = 0 \end{cases}$$

گره های توزیع:
$$\begin{cases} F_3: Q_1 - Q_3 - 0.3 = 0 \quad (N=3) \\ F_4: Q_2 + Q_4 - Q_5 - 0.2 = 0 \quad (N=4) \\ F_5: Q_5 + Q_7 - 0.4 = 0 \quad (N=5) \\ F_6: Q_6 - Q_7 - 0.1 = 0 \quad (N=6) \end{cases}$$

مستقل:
$$\begin{cases} F_7: 20Q_2^n - 30Q_4^n - 10Q_3^n - 40Q_1^n = 0 \\ F_8: 40Q_5^n - 50Q_7^n - 20Q_6^n + 30Q_4^n = 0 \end{cases}$$

مجازی: $F_9: 40Q_1^n + 10Q_3^n + (95-100) = 0$



تقویت فشار آب
پمپ آب از منبع خارجی
شیر یکطرفه
شیر فشارشکن
شرط های مرزی

* پمپ:

① Q $[Q_1, \dots, Q_7]$ $\quad h_p = f(Q_1) = AQ_1^2 + BQ_1 + C$

پیوستگی برای گره های 3, 4, 5, 6 → $Q_1 - Q_2 - Q_3 - q_{03} = 0$

دو معادله حلقه های اصلی → $F_7: R_{01}Q_1^n - h_p + R_{02}Q_2^n - R_{03}Q_3^n - R_{07}Q_7^n + H_{02} - H_{01} = 0$

یک معادله حلقه مجازی

www.jozve.org

② H $[h_p, H_3, H_4, H_5, H_6]$

معادله H برای گره های 4, 5, 6 $\rightarrow$ $\left(\frac{H_3-H_4}{R_{02}}\right)^{\frac{1}{n}} + \left(\frac{H_6-H_4}{R_{05}}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{H_4-H_5}{R_4}\right)^{\frac{1}{n}} - q_{04} = 0 \rightarrow$ گره 4

$$H_{01} + h_p - H_3 = R_{01} Q_1^n \rightarrow Q_1 = \left(\frac{H_{01}+h_p-H_3}{R_{01}}\right)^{\frac{1}{n}}$$

$$F_4 : \left(\frac{H_{01}+h_p-H_3}{R_{01}}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{H_3-H_4}{R_{02}}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{H_3-H_5}{R_{03}}\right)^{\frac{1}{n}} - q_{03} = 0$$

$$F_5 : \left(\frac{H_{01}+h_p-H_3}{R_{01}}\right)^{\frac{1}{n}} = Q_1 = Q_p = \left(\frac{h_p-(H_0-\frac{B^2}{4A})}{A}\right)^{0.5} - \frac{B}{2A}$$

---

③ ΔQ : [افت فشار حلقه شماره I ، II
حلقه مجازی III]

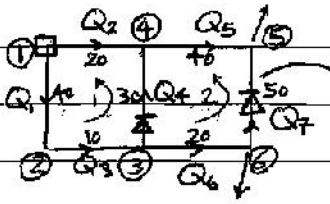
$$F_3 : R_{07}(Q_{(1)7} + \Delta Q_{III})^n + R_{05}(Q_{(1)5} + \Delta Q_{III} - \Delta Q_{II})^n - R_{02}(Q_{(1)2} - \Delta Q_{III} + \Delta Q_I)^n + h_p - R_{01}(Q_{(1)1} - \Delta Q_{III})^n + H_{01} - H_{02} = 0$$

④ ΔH : مانند معادلات H . در این حالت باید hp حذف نمی شود $h_p = f(Q_{(1)1} - \Delta Q_{III})$

---

* شرط مرزی شیر یکطرفه :

۱- پیرامونی :



شیر یکطرفه پیرامونی

① Q $[Q_1, \dots, Q_4, Q_7]$: if : $Q_7 < 0 \xrightarrow{set} Q_7 = 0$ ادامه تکرار

② H $[H_1, \dots, H_5, H_6]$: if : $H_6 < H_5 \xrightarrow{set} H_6 = H_5 = 0$ ادامه تکرار

مثل اینکه لوله را پاک کنیم.

← معادلات گره 5 و 6 اصلاح می شوند

③ ΔQ : $\begin{cases} F_1 \\ F_2 \end{cases} \rightarrow Q_{(1)7} + \Delta Q_{(1)II} < 0$

مثال عددی $Q_{(1)7} = 0.05 \rightarrow Q_{(2)7} = 0.05 - 0.06 = -0.01 \rightarrow \Delta Q_{(1)II} > 0.05$

$\xrightarrow{Set} \Delta Q_{(1)II} = 0.05 \rightarrow Q_{2(7)} = 0$

④ ΔH : $A = (H_{(1)6} + \Delta H_{(1)6}) < (H_{(1)5} + \Delta H_{(1)5}) \xrightarrow{set} A = 0$

www.jozve.org

۲- شیر در لوله درونی

$Q: [Q_1, Q_2, \ldots, Q_7]$

در این حالت شیر را در حلقه‌ها به گونه‌ای در نظر می‌گیریم که یک شیر پیرامونی به حساب آید.

* به جای دو حلقه (1-2-3-4) و (4-5-7-6) از دو حلقه (1-2-5-7-6-3) و (1-2-4-3) استفاده می‌شوند. با این روش شیر یکطرفه بیرون می‌شود. برحسب Q_4

H: مانند حالت قبل

ΔQ: $Q_{(t)4} = \Delta Q_{(t)I} + \Delta Q_{(t)II}$

$Q_4 = 0.05,\ \Delta Q_I = -0.1,\ \Delta Q_{II} = 0.1$ ✓

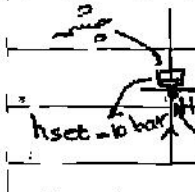
$Q_4 = 0.05,\ \Delta Q_I = -0.1,\ \Delta Q_{II} = -0.2 \xrightarrow{set} \Delta Q_{II} = -0.15$

$Q_4 = 0.05,\ \Delta Q_I = +0.2,\ \Delta Q_{II} = 0.1 \xrightarrow{set} \Delta Q_{II} = +0.15$

$Q_4 = 0.05,\ \Delta Q_I = +0.1,\ \Delta Q_{II} = +0.1 \xrightarrow{set} \Delta Q_I, \Delta Q_2$ ✓

اگر دو لوله ← باز. پیرامونی می‌کنیم

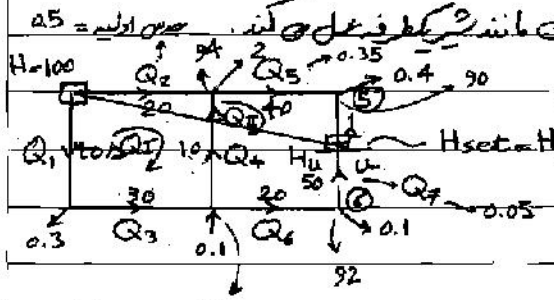
شرط شیر فشارشکن:



① فشار خط کمتر از فشار تنظیمی ← شیر در حال کار نیست ← افت فشار موضعی

② " بیشتر " ← شیر در حال کار می‌باشد. (*) گسسته می‌شود

③ مسیر مکش شود ← شیر فشارشکن مانند شیر یکطرفه عمل می‌کند.



اگر $P_7 > P_{set} \Rightarrow \begin{cases} Q_{67} = Q_{d5} \\ H_u = \text{مجهول} \end{cases}$ ، $H_{set} = H_d$

حال برای حالت $P_7 > P_{set}$

حالت اول: شیر در لوله پیرامونی

$Q: Q_1, \ldots, Q_7$

- پیوستگی در گره‌های 1، 2، ...

افت فشار در حلقه شماره (II)

$$F_7 = 20Q_2^n + 10Q_5^n - R_{0-15}Q_7^n + H_{set} - 100 = 0$$

www.jozve.org

* معادلات H : $H_2, \dots, H_6$

پیوستگی برای گره‌های 2 تا 4:

گره 5 – F_4 : $\left(\frac{H_4 - H_5}{40}\right)^{\frac{1}{n}} + \left(\frac{H_{set} - H_5}{R_{o,d5}}\right)^{\frac{1}{n}} - 0.4 = 0$

گره 6 – F_5 : $\left(\frac{H_3 - H_6}{20}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{H_{set} - H_5}{R_{o,d5}}\right)^{\frac{1}{n}} - 0.1 = 0$

چون Q ها برابرند

* معادلات ΔQ : $\Delta Q_1, \Delta Q_2$

$F_1 : 20(0.5 + \Delta Q_I + \Delta Q_{II})^n - 10(0.1 - \Delta Q_I)^n = 0$

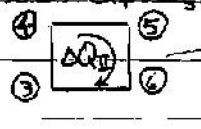
$F_2 : 20(0.5 + \Delta Q_I + \Delta Q_{II})^n + 40(0.35 + \Delta Q_{II})^n$

باید ΔQ_{II} به حلقه 4 اعمال شود

$- R_{o,d5}(0.05 - \Delta Q_{II})^n + H_{set} - 100 = 0$

← ΔQ_{II} برای ارضای پیوستگی باید به لوله‌های Q_4, Q_5, Q_6, Q_7 اضافه شود.

روی لوله 2 فقط ΔQ_{II} برای تصحیح اعمال می‌شود



فقط به این 4 تا اعمال می‌کنیم.

ΔQ_I فقط به حلقه چپ اعمال می‌شود

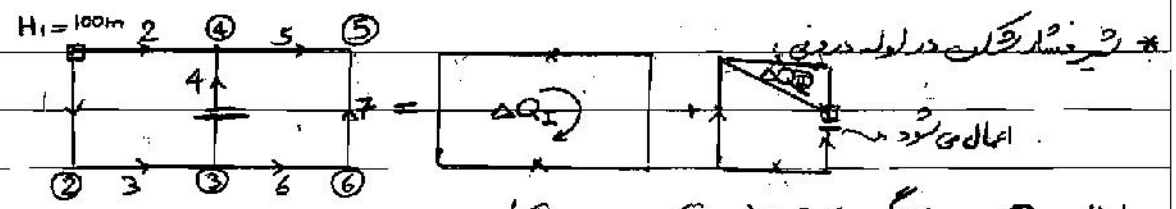
* معادلات ΔH : $\Delta H_2, \Delta H_3, \dots, \Delta H_6$

پیوستگی 2 تا 4 مانند حالت قبل

گره 5 F_4 : $\left(\frac{(94 + \Delta H_4) - (90 + \Delta H_5)}{40}\right)^{\frac{1}{n}} + \left(\frac{H_{set} - (90 + \Delta H_5)}{R_{o,d5}}\right)^{\frac{1}{n}} - 0.4 = 0$

گره 6 F_5 : $\left(\frac{(95 + \Delta H_3) - (92 + \Delta H_5)}{20}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{H_{set} - (90 + \Delta H_5)}{R_{o,d5}}\right)^{\frac{1}{n}} - 0.1 = 0$

* شرح شکل در لوله درونی



معادلات Q : پیوستگی 6 ، 2 : ($Q_2, \dots, Q_7$)

$F_6 : 20Q_2^n + 40Q_5^n - 50Q_7^n - 20Q_6^n - 10Q_3^n - 40Q_1^n = 0$

$F_7 : 20Q_2^n - R_{o,4d}Q_4^n + H_{set} - 100 = 0$

معادلات H : ($H_2, H_3, \dots, H_6$)

پیوستگی برای گره‌های 2 ، 5 ، 6 (مانند حالت قبل)

گره 3 F_4 : $\left(\frac{H_2 - H_3}{10}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{H_3 - H_6}{20}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{H_{set} - H_4}{R_{o,4d}}\right)^{\frac{1}{n}} + 0.1 = 0$

گره 4 F_5 : $\left(\frac{100 - H_4}{20}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{H_4 - H_5}{40}\right)^{\frac{1}{n}} + \left(\frac{H_{set} - H_4}{R_{o,4d}}\right)^{\frac{1}{n}} - 0.2 = 0$

www.jozve.org

معادلات ΔQ : ΔQ_I , ΔQ_{II}

$$F_1 : 20(0.5+\Delta Q_I+\Delta Q_{II})^n + 40(0.35+\Delta Q_I)^n - 50(0.05-\Delta Q_I)^n - 20(0.15-\Delta Q_I)^n - 10(0.1-\Delta Q_I)^n - 40(0.4-\Delta Q_I)^n = 0$$

$$F_2 : 20(0.5+\Delta Q_I+\Delta Q_{II})^n - R_{o,4d}(0.05-\Delta Q_{II})^n + H_{set} - 100 = 0$$

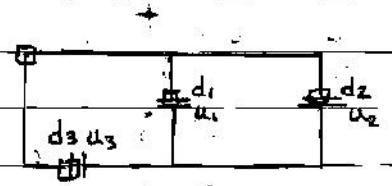
معادلات ΔH : پیوستگی (2, 5, 6)

3 گره F_4 :

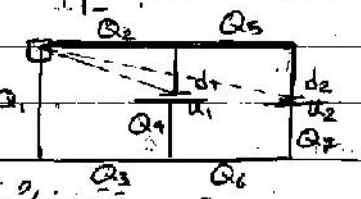
$$\left(\frac{(97+\Delta H_2)-(95+\Delta H_3)}{10}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{(95+\Delta H_3)-(92+\Delta H_6)}{20}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{H_{set}-(94+\Delta H_4)}{R_{o,d4}}\right)^{\frac{1}{n}} + 0.1 = 0$$

4 گره F_5 : ✓

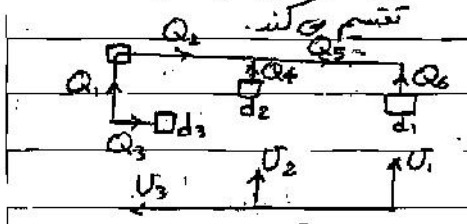
نکته: اگر دو شیر فشارشکن داشته باشیم:

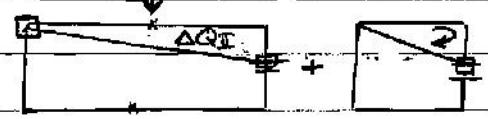


شیر فشارشکن شکل را به دو قسمت تقسیم می کند.



به دو قسمت تقسیم نمی شود.





مجهولات: $Q_1, \dots, Q_6$

پیوستگی (2, 3, 4) ، 3 حلقه چشمه

پس دبی ها را به پایین می دهیم و حل می کنیم

* حلقه های در نظر گرفته شده:

① $Q_2 Q_5 Q_{7d_1}$ ② $Q_2 Q_{4d_1}$

www.jozve.org

روش هاردی کراس : (ΔQ)

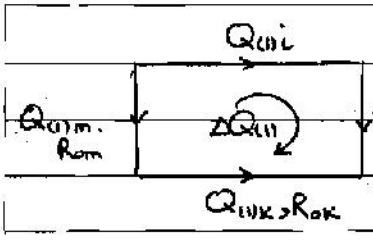
متعادل کردن گره ها

فرضیات :

۱) در هر زمان فقط یک از معادلات ΔQ بررسی می‌شود

۲) از اثر حلقه‌های مجاور صرفنظر می‌شود و در هر معادله فقط یک مجهول ΔQ مجهول است. به جز در تصحیح حلقه‌ها

۳) از بسط تیلور استفاده و ترم‌های با توان بالا صرفنظر می‌شود



$$F = R_{oi}(Q_{(1)i} + \Delta Q_{(1)})^n + R_{oj}(Q_{(1)j} + \Delta Q_{(1)})^n - R_{ok}(Q_{(1)k} - \Delta Q_{(1)})^n - R_{om}(Q_{(1)m} - \Delta Q_{(1)})^n = 0$$

بسط تیلور
$$\begin{cases} f(x) = f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0) + \dfrac{f''(x_0)}{2!}(x - x_0)^2 + \dots \\ x_0 = 0 \end{cases}$$

$$(Q_{(1)i} + \Delta Q_{(1)})^n = Q_{(1)i}^n + n Q_{(1)i}^{n-1} \Delta Q_{(1)} + \frac{n(n-1)}{2!} Q_{(1)i}^{n-2} \Delta Q_{(1)}^2 + \dots$$

$\Delta Q = 0$ مجهول

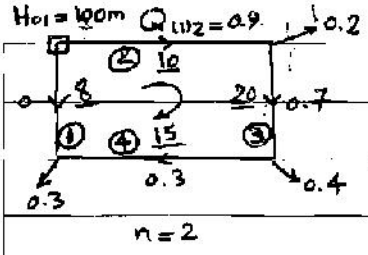
با جایگذاری در F داریم :

$$R_{oi}(Q_{(1)i}^n + n Q_{(1)i}^{n-1} \Delta Q_{(1)}) + R_{oj}(Q_{(1)j} + n Q_{(1)j}^{n-1} \Delta Q_{(1)}) - R_{ok}(Q_{(1)k}^n - n Q_{(1)k}^{n-1} \Delta Q_{(1)}) - R_{om}(Q_{(1)m}^n - n Q_{(1)m}^{n-1} \Delta Q_{(1)}) = 0$$

$$\Rightarrow \Delta Q_{(1)} = -\frac{R_{oi} Q_{(1)i}^n + R_{oj} Q_{(1)j}^n - R_{ok} Q_{(1)k}^n - R_{om} Q_{(1)m}^n}{R_{oi}\, n\, Q_{(1)i}^{n-1} + R_{oj}\, n\, Q_{(1)j}^{n-1} + R_{ok}\, n\, Q_{(1)k}^{n-1} + R_{om}\, n\, Q_{(1)m}^{n-1}}$$

$$\Rightarrow \Delta Q_{(t)c} = -\frac{\sum R_{ox} Q_{(t)x}^n}{\sum n R_{ox} |Q_{(t)x}|^{n-1}}$$

مثال :



لوله	R_{ox}	$Q_{(t)}$	$R_o Q_{(t)x}^2$	$2 R_{ox} \lvert Q_{(t)x} \rvert$
1	8	$-0.35/0.35$	-0.98	0/56
2	10	$0.9/0.55$	$8.1/3.025$	18/11
3	20	$0.7/0.35$	$9.8/2.45$	28/14
4	15	$0.3/0.05$	$1.35/0.0375$	9/1.5
		$\Sigma = 19.25/4.4575$	$\Sigma = 57/32.1$	

$$\Delta Q = -\frac{19.25}{55} = -0.35 \qquad \Delta Q = -\frac{4.4575}{32.1} = -0.1389$$

www.jozve.org

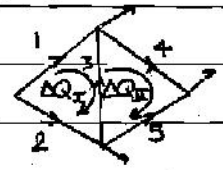
$n = 2$ ، 1.825 بسته به لوله اضافه شده

نکته: در صورت وجود دو حلقه مجاور، از تاثیر آن در معادله ΔQ صرفنظر می‌کنیم به گونه‌ای که تنها یک ΔQ در معادلات وجود داشته باشد.

روند حل این گونه است که ابتدا تمامی حلقه‌ها به صورت جداگانه حل می‌شوند و سپس در انتهای هر تکرار تصحیح روی لوله‌های مشترک انجام می‌گیرد.

مثال: ص 305 کتاب

$$\Delta Q_{(1)} = -\frac{\sum R_{ox} Q_{(1)x}^{n}}{\sum n R_{ox} |Q_{(1)x}|^{n-1}}$$



$Q_1 =$ ، $Q_2 =$ ، $Q_3 =$

$Q_4 =$ ، $Q_5 =$

در تکرار اول: $\Delta Q_I = -0.102$ ، $\Delta Q_{II} = -0.426$

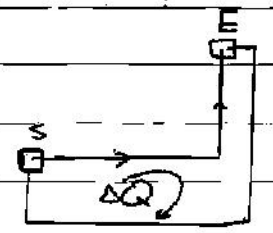
① $1.8 - 0.102 = 1.698$

Ⓘ ③ $-0.1 - 0.102 - (-0.426) = 0.224$

Ⓘ ③ $0.1 - 0.426 + 0.102 = -0.224$

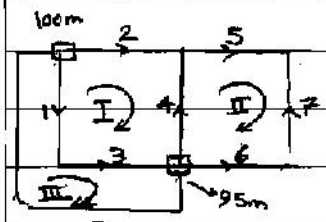
---

* دو چشمه:



$$\Delta Q = -\frac{(H_E - H_S) + \sum R Q_{(1)x}^{n}}{\sum n R_{ox} |Q_{(1)x}|^{n-1}}$$

مثال:



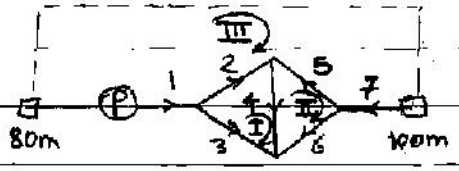
I : ① $\rightarrow -0.35 + 0.024 + 0.024 = -0.302$

II : ④ $\rightarrow 0.05 - 0.051 - 0.024 = -0.05$

(−) بدلیل حلقه مجاور

---

* پمپ: ص 308



$h_p = AQ^2 + BQ + C$ $\xrightarrow{\text{مثال}}$ $\begin{cases} h_p = 12.05 - 38.2\, G_p^2 \\ G_p = Q_p - 0.0353 \end{cases}$

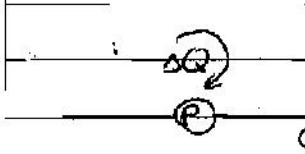
$$\text{III}: R_7(Q_{(1)7} + \Delta Q_{(1)III})^n + R_5(Q_{(1)5} + \Delta Q_{(1)III})^n - R_2(Q_{(1)2} - \Delta Q_{(1)III})^n$$

$$- R_1(Q_{(1)1} - \Delta Q_{(1)III})^n + (12.05 - \underbrace{38.2(G_p - \Delta G_p)^2}_{38.2 \times 2 \times G_p(-\Delta G_p)}) - 20 = 0$$

$$-\Delta Q_{(1)III}$$

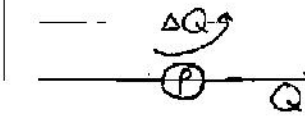
www.jozve.org

* در محاسبه G_p ، Q_p بدون علامت در نظر گرفته می‌شود.



پمپ:
$$\begin{cases} h_p = \overset{R'}{A}G^2 + B \\ G = Q + C \quad , \quad \Delta G = \Delta Q \end{cases}$$

$$-RQ^n + h_p = 0 \rightarrow -R(Q-\Delta Q)^n + A(G-\Delta Q)^2 + B = 0$$
$$\rightarrow -RQ^n + RnQ^{n-1}\Delta Q + AG^2 - 2AG\Delta Q + B = 0$$
$$\rightarrow \Delta Q(RnQ^{n-1} - 2AG) = -(-RQ^n + h_p) \rightarrow \Delta Q = \frac{-RQ^n + h_p}{RnQ^{n-1} - 2AG}$$



$$RQ^n - h_p = 0 \rightarrow R(Q+\Delta Q)^2 - (A(G+\Delta G)^2 + B) = 0$$

$$\rightarrow \Delta Q = \frac{RQ^n - h_p}{RnQ^{n-1} - 2AG} \quad , \quad A = R'$$

* مثال 5-11 :

$$h_L = K\frac{V^2}{2g} = \frac{K_1 Q^2}{2A^2 g} = \underbrace{\left(\frac{8K}{\pi^2 D^4 g}\right)}_{R} Q^2 \rightarrow \text{PRV مقاومت}$$

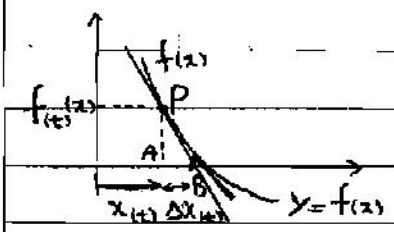
* شیر فشارشکن تنها تابعی از فشار پایین دست است.

* برای به دست آوردن حدس اولیه مناسب، شبکه حلقوی را به یک شبکه شاخه‌ای تبدیل می‌کنیم و دبی لوله‌های دیگر را صفر در نظر می‌گیریم. در هر مرحله لوله با کمترین مقاومت را انتخاب می‌کنیم.

روش نیوتن - رافسون :

اساس این روش، بسط تیلور است.

$$f(x+\Delta x) = f(x) + f'(x)\Delta x + \underbrace{f''(x)\frac{\Delta x^2}{2!} + \dots}_{O(\Delta x^2)}$$



* همگرایی روش نیوتن رافسون از مرتبه 2 می‌باشد.

$$\text{if } f_{(t)}(x) \neq 0 \rightarrow f_{(t)}(x+\Delta x) = 0$$
$$\text{if } f_{(t)}(x+\Delta x) = f_{(t)}(x) + f'_{(t)}(x)\Delta x_{(t)} + O(\Delta x^2) = 0$$
$$\Rightarrow \Delta x_{(t)} = -\frac{f_{(t)}(x)}{f'_{(t)}(x)} \rightarrow x_{(t+1)} = x_{(t)} + \Delta x_{(t)}$$

www.jozve.org

$$f'_{(t)}(x) = -\frac{PA}{AB} = -\frac{f_{(t)}(x)}{\Delta x_{(t)}} \Rightarrow \Delta x_{(t)} = -\frac{f_{(t)}(x)}{f'_{(t)}(x)}$$

* اگر یک دستگاه چند معادله چند مجهول داشته باشیم:

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2) = 0 \Rightarrow f_{(t)1}(x_1, x_2) \neq 0 \Rightarrow f_{(t)}(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2) = 0 \\ f_2(x_1, x_2) = 0 \rightarrow f_{(t)2}(x_1, x_2) \neq 0 \Rightarrow f_{(t)}(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2) = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)_{(t)} \Delta x_{(t)1} + \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_2}\right)_{(t)} \Delta x_{(t)2} + f_{(t)1}(x_1, x_2) = 0 \\ \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\right)_{(t)} \Delta x_{(t)1} + \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2}\right)_{(t)} \Delta x_{(t)2} + f_{(t)2}(x_1, x_2) = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{pmatrix}_{(t)} \begin{pmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \end{pmatrix}_{(t)} = \begin{pmatrix} -f_1(x_1, x_2) \\ -f_2(x_1, x_2) \end{pmatrix}_{(t)} \rightarrow \Delta x_{(t)1}, \Delta x_{(t)2}$$

$$\Rightarrow x_{(t+1)1} = x_{(t)1} + \Delta x_{(t)1} \quad , \quad x_{(t+1)2} = x_{(t)2} + \Delta x_{(t)2}$$

* اگر تعداد معادلات بیشتر باشد:

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ \vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ & & & \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{(t)} \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_n \end{bmatrix}_{(t)} = -\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix}_{(t)}$$

$h_L = rQ^n = (\overbrace{R|Q|^{n-1}}^{R'})Q$ روش دیگر

* این روش برای تمامی انواع معادلات ($H, Q, \Delta H, \Delta Q$) قابل استفاده است.

* ماتریس ژاکوبین متقارن است.

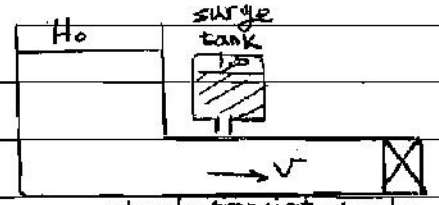
* اگر یک گره به گره دیگر مرتبط نباشد، $\frac{\partial}{\partial}$ برابر صفر است.

* مثال ۱-۱۲ بررسی شود.

www.jozve.org

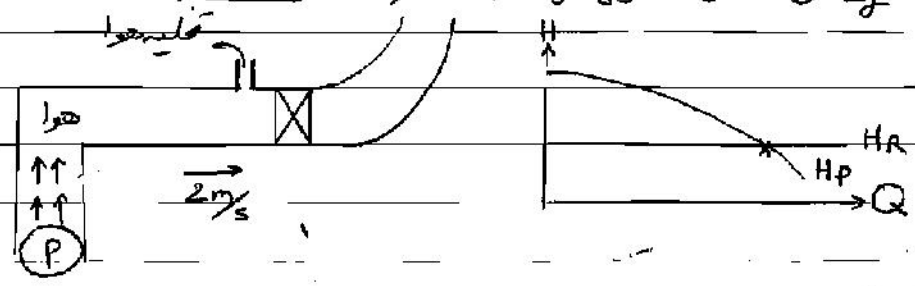
جریان های گذرا (Transient flow) در خطوط انتقال

- باز و بسته کردن ناگهانی شیرآلات ← از کار افتادن پمپ
- هوا گیری لوله ها ← شکستن لوله ها



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

$$-\frac{1}{\gamma}\frac{\partial P}{\partial s} - \frac{\partial z}{\partial s} - \frac{f}{D}\frac{V^2}{2g} = \frac{1}{g}\frac{dV}{dt}$$



تئوری جریان گذرا:

- غیر الاستیک
  - سیال ← تراکم ناپذیر
  - جداره لوله صلب
- الاستیک
  - سیال تراکم پذیر
  - جداره لوله الاستیک

← روشی که نرم افزارها استفاده می کنند

مدول بالک سیال ← $K = \rho\frac{\partial P}{\partial \rho} \rightarrow \partial P = K\frac{\partial \rho}{\rho}$ ($K \to 2\times10^9$)

$$\sigma = E\,\varepsilon$$

باز شدن ناگهانی شیر

$V_0 \to V_0$, t

$$-\frac{1}{\gamma}\frac{\partial P}{\partial s} - \frac{\partial z}{\partial s} - \frac{f}{D}\frac{V^2}{2g} = \frac{1}{g}\frac{dV}{dt} \xrightarrow{\times \partial s} \frac{P_1-P_2}{\gamma} + z_1 - z_2 - \frac{f}{2gD}\int_1^2 V^2 ds = \frac{1}{g}\int_1^2 \frac{dV}{dt} ds$$

$(V_1^2 - V_2^2)/2g$

$$\Rightarrow \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{f}{2gD}\int_1^2 V^2 ds + \frac{1}{g}\int_1^2 \frac{dV}{dt} ds \quad (I)$$

* از آنجایی که سرعت انتشار امواج در طول لوله در حدود $1000 m/s$ است، پس در هر زمان کل لوله دارای سرعت یکسانی هستند. $\left(\frac{\partial V}{\partial t} \neq 0 \,,\ \frac{\partial V}{\partial s} = 0\right)$

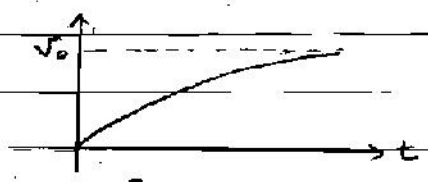
www.jozve.org

$$\xrightarrow{S.S.} \frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+z_1=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+z_2+f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$$

* بنابراین از معادله (I) خواهیم داشت:

$$H_0-\frac{fL}{2gD}V^2=\frac{L}{g}\frac{dV}{dt} \rightarrow \int_0^t dt=\int_{V_0}^{V}\frac{dV}{H_0-\frac{fLV^2}{2gD}} \rightarrow t=\frac{LV_0}{2gH_0}\ln\left[\frac{V_0+V}{V_0-V}\right]$$

در حالت S.S. $\rightarrow H_0-\frac{fL}{2gD}V^2=0 \Rightarrow \begin{cases} V_0=\sqrt{\frac{2gDH_0}{fL}} \\ V=0.99V_0 \rightarrow t_{99\%}=2.65\frac{LV_0}{gH_0}\end{cases}$



افزایش هد (ΔH) — بستن شیر — (تغییر سرعت) افزایش سرعت

$$\begin{cases} h_{max}=\frac{K_1}{2}\oplus\sqrt{K_1+\frac{K_1^2}{2}}, \quad K_1=\left(\frac{LV'}{gH_0T}\right)^2 \\ T>\frac{L}{1000}\end{cases}$$

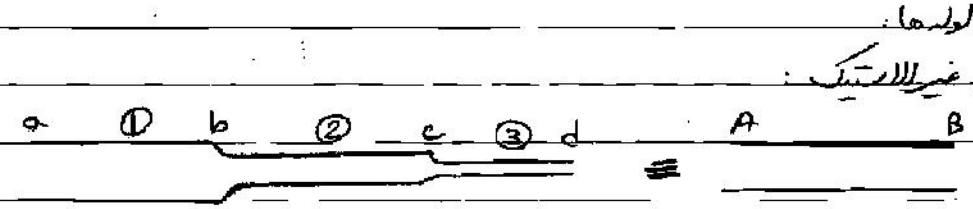
h_{max}: هد (ارتفاع) پشت شیر

$\oplus$: باز کردن شیر

غیر الاستیک ← (رابطه پارکیان)

معادل سازی لوله‌ها:

← تئوری غیر الاستیک:



$$h_{eq}=h_{L_1}+h_{L_2}+h_{L_3} \rightarrow Q_{eq}=Q_1=Q_2=Q_3$$

استاتیک $\rightarrow \left[\frac{fL}{D^5}\right]_{eq}=\sum_{i=1}^{N}\frac{f_iL_i}{Q_i^5}$

Transient $\rightarrow -\frac{1}{\gamma}\frac{\partial P}{\partial s}-\frac{\partial z}{\partial s}-\frac{f}{D}\frac{V^2}{2g}=\frac{1}{g}\frac{dV}{dt}$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{P_a}{\gamma}-\frac{P_b}{\gamma}-h_{f_1}=\frac{L_1}{g}\frac{dV_1}{dt}=\frac{L_1}{gA_1}\frac{dQ_1}{dt} \\ \frac{P_b}{\gamma}-\frac{P_c}{\gamma}-h_{f_2}=\frac{L_2}{g}\frac{dV_2}{dt}=\frac{L_2}{gA_2}\frac{dQ_2}{dt} \\ \frac{P_c}{\gamma}-\frac{P_d}{\gamma}-h_{f_3}=\frac{L_3}{g}\frac{dV_3}{dt}=\frac{L_3}{gA_3}\frac{dQ_3}{dt}\end{cases}$$

www.jozve.org

با جمع این ۳ رابطه داریم

$$\frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_d}{\gamma} - \sum h_f = \left(\frac{L_1}{gA_1} + \frac{L_2}{gA_2} + \frac{L_3}{gA_3}\right)\frac{dQ}{dt} \quad ①$$

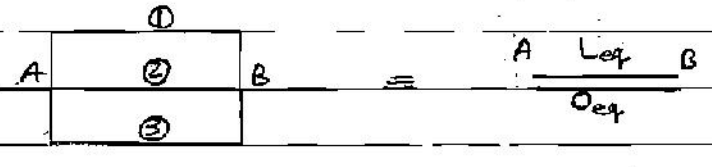
از طرفی برای لوله معادل داریم

$$\frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_d}{\gamma} - h_{Leq} = \frac{L_{eq}}{gA_{eq}}\frac{dQ}{dt} \quad ②$$

$$①, ② \Rightarrow \boxed{\frac{L_{eq}}{A_{eq}} = \frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} + \frac{L_3}{A_3}} \quad , \quad \left[\frac{L}{D^2}\right]_e = \sum_{i=1}^{N}\left[\frac{L_i}{D_i^2}\right]$$

* معمولاً f ها را برابر فرض می کنند.

* لوله های موازی



$$h_{L_1} = h_{L_2} = h_{L_3} = h_{Leq} \quad , \quad Q_{eq} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$* \; h_{L_1} = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} = f\frac{L}{DA^2}\frac{Q^2}{2g} \xrightarrow{\text{استاتیک}} \left[\frac{D^5}{fL}\right]_e^{0.5} = \sum_{i=1}^{N}\left[\frac{D_i^5}{f_i L_i}\right]^{0.5}$$

$$① \quad \frac{P_A}{\gamma} - \frac{P_B}{\gamma} - h_{f_1} = \frac{L_1}{g}\frac{dV_1}{dt} = \frac{L_1}{gA_1}\frac{dQ_1}{dt}$$

$$② \quad \frac{P_A}{\gamma} - \frac{P_B}{\gamma} - h_{f_2} = \frac{L_2}{gA_2}\frac{dQ_2}{dt}$$

$$③ \quad \frac{P_A}{\gamma} - \frac{P_B}{\gamma} - h_{f_3} = \frac{L_3}{gA_3}\frac{dQ_3}{dt}$$

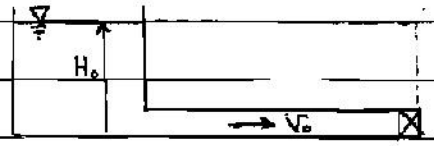
$$④ \quad \frac{P_A}{\gamma} - \frac{P_B}{\gamma} - h_{f_{eq}} = \frac{L_{eq}}{gA_{eq}}\frac{dQ_e}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{dQ_{eq}}{dt} = \frac{dQ_1}{dt} + \frac{dQ_2}{dt} + \frac{dQ_3}{dt}$$

$$\Rightarrow \boxed{\left(\frac{D^2}{L}\right)_e = \sum_{i=1}^{N}\left(\frac{D_i^2}{L_i}\right)}$$

جریان گذرا:

الاستیک (Water Hammer): $\left(T > \frac{L}{1000}\right)$



اگر شرایط مرزی مانند سرعت و یا فشار به صورت ناگهانی تغییر کند، یک موج مثبت و یا منفی در مجموعه سیال و لوله منتشر می شود. به این پدیده water Hammer می گویند.

a : سرعت انتشار امواج آکوستیک

* در این حالت آب تراکم پذیر می شود.

www.jozve.org

معادل مالک بارا تراکم ناپذیر

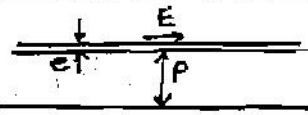
$a = f(E, k, \rho, e, D)$

$\sigma = E\epsilon \rightarrow k = \rho \left.\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_T \Rightarrow \partial P = K \frac{\partial \rho}{\rho}$ $\begin{cases} \rightarrow K_w = 2\times10^9\ Pa, \rightarrow \text{آب} \\ \rightarrow E_s = 2\times10^{11}\ Pa \rightarrow \text{فولاد} \end{cases}$

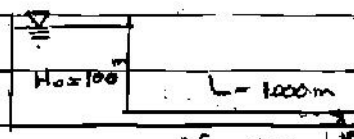
$\Rightarrow a = \sqrt{\dfrac{\frac{K_f}{\rho}}{1+\frac{K_f}{e}\frac{D}{E}}} = \sqrt{\dfrac{1}{\frac{\rho}{K_f}+\frac{\rho D}{eE}}} \Rightarrow \overset{1300\,m/s}{a_{steal}} > \overset{400\,m/s}{a_{Poly\ Etilen}}$

اگر لوله کاملاً rigid $\Rightarrow E \rightarrow \infty : a = \sqrt{\frac{K_f}{\rho}} = \sqrt{\frac{2\times10^9}{10^3}} = \sqrt{2}\times10^3 = 1440\ m/s$

$\begin{cases} K_f \rightarrow \infty \\ E \rightarrow \infty \end{cases} : a \rightarrow \infty :$ در یک لحظه تمام لوله متوجه می‌شوند



تئوری الاستیک :



$\Delta H = \frac{a\Delta V}{g}$ (رابطه ژوکفسکی) $(t_c \leq \frac{2L}{a})$

$\Rightarrow \frac{V^2}{2g} = \frac{4}{20} = 0.2m$ (غیر الاستیک) بستن

$V_0 = 2m/s$

$a = 1000$

$K_{\text{آب}} = 2\times10^9\ Pa$

$E = 2\times10^{11}\ Pa$

آب + فولاد : $a = 1000 \sim 1300\ m/s$

آب + P.E : $a = 300 \sim 500\ m/s$

* در تمام حالات می‌توان از Allieri's Chart استفاده کرد

* $0 < t_c \leq \frac{2L}{a} : \Delta H_{(m)} = \frac{a\Delta V}{g}$

* $t_c > \frac{2L}{a}$: Allieri's Chart : $\Delta H < \frac{a\Delta V}{g}$

مثال : $T_c = 2s \rightarrow K = \frac{aV_0}{2gh_0} = \frac{1000\times2}{20\times100} = 1$ ، $N = \frac{a\overset{\text{زمان بسته شدن}}{T}}{2L} = \frac{1000\times2}{2\times1000} = 1$

نمودار $\Rightarrow Z^2 = \frac{h_0+h}{h_0} = 3 \Rightarrow 3 = \frac{100+h}{100} \Rightarrow h = 200m\ H_2O$

$T_{cr} = \frac{2L}{a} = 2s \Rightarrow$ ژوکفسکی : $\Delta H = \frac{a\Delta V}{g} = \frac{1000\times2}{10} = 200m\ H_2O$

مثال : $T_c = 4s \rightarrow K = 1 , N = 2 \rightarrow Z^2 = 1.8 \rightarrow h = \Delta H = 80m\ H_2O$

www.jozve.org

معادلات W.H (فشار پیزومتریک $H=\frac{P}{\gamma}+z$)

معادله پیوستگی برای سیال ← Continuity

$$L_1 = g\frac{\partial H}{\partial t} + a^2\frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

$$\left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho V}{\partial x} = 0\right]$$

تراکم پذیر یک بعدی در داخل لوله الاستیک

$$L_2 = \frac{\partial V}{\partial t} + g\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{f}{2D}V|V| = 0 \quad \text{Momentum}$$

$$\rho\frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla}P + \rho g + \mu\nabla^2\vec{V}$$

$$\frac{\rho\left(\frac{\partial V}{\partial t} + V\frac{\partial V}{\partial x}\right)}{1000\,m/s} \simeq 1$$

* معادلات مشتقات جزئی + شبه خطی هایپربولیک

* مجهولات ← $H(x,t)$, $V(x,t)$

روش MOC:

* یک ترکیب خطی از معادلات را ایجاد می‌کنیم:

$$\lambda L_2 + L_1 = 0 \Rightarrow g\frac{\partial H}{\partial t} + a^2\frac{\partial V}{\partial x} + L\frac{\partial V}{\partial t} + \lambda g\frac{\partial H}{\partial x} + \lambda\frac{f}{2D}V|V| = 0$$

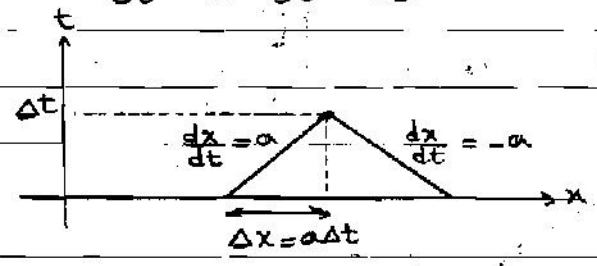
$$\Rightarrow \left(g\frac{\partial H}{\partial t} + \lambda g\frac{\partial H}{\partial x}\right) + \left(\lambda\frac{\partial V}{\partial t} + a^2\frac{\partial V}{\partial x}\right) + \lambda\frac{f}{2D}V|V| = 0$$

$$\Rightarrow g\underbrace{\left(\frac{\partial H}{\partial t} + \lambda\frac{\partial H}{\partial x}\right)}_{\frac{\partial H}{\partial t} + V\frac{\partial H}{\partial x}} + \lambda\underbrace{\left(\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{a^2}{\lambda}\frac{\partial V}{\partial x}\right)}_{\frac{\partial V}{\partial t} + V\frac{\partial V}{\partial x}} + \lambda\frac{f}{2D}V|V| = 0$$

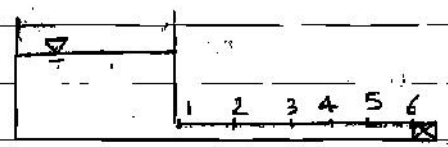
$$\Rightarrow \begin{cases}\lambda = V\\ \lambda = \frac{a^2}{V}\end{cases} \Rightarrow \lambda^2 = a^2 \Rightarrow \begin{cases}\lambda = +a\\ \lambda = V = \frac{dx}{dt}\end{cases} \Rightarrow \begin{cases}\frac{dx}{dt} = a\\ \frac{dx}{dt} = -a\end{cases}$$

اگر $\lambda = +a \Rightarrow \frac{DV}{Dt} + \frac{g}{a}\frac{DH}{Dt} + \frac{f}{2D}V|V| = 0$

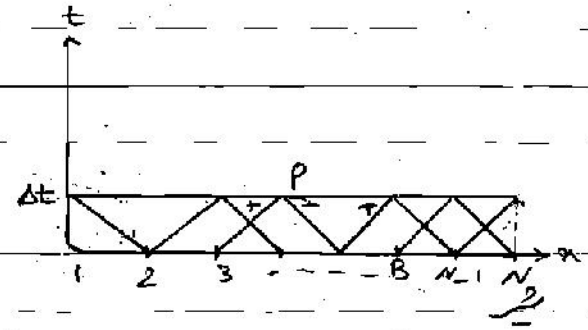
اگر $\lambda = -a \Rightarrow \frac{DV}{Dt} - \frac{g}{a}\frac{DH}{Dt} + \frac{f}{2D}V|V| = 0$



www.jozve.org



$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = a \rightarrow \underbrace{\Delta x}_{10} = a \underbrace{\Delta t}_{0.01}$$



$$\lambda = +a \rightarrow \frac{V_P - V_A}{\Delta t} + \frac{g}{a}\frac{H_P - H_A}{\Delta t} + \frac{f}{2D} V_A |V_A| = 0$$

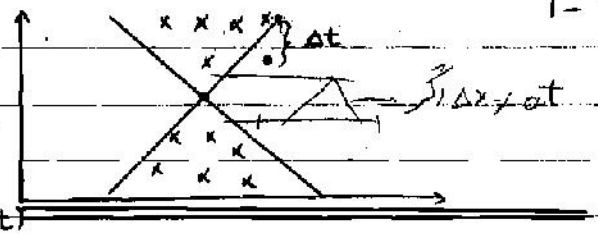
$$\lambda = -a \rightarrow \frac{V_P - V_B}{\Delta t} - \frac{g}{a}\frac{H_P - H_B}{\Delta t} + \frac{f}{2D} V_B |V_B| = 0$$

$$\rightarrow \begin{cases} + \; V_P = C_P - C_a H_P \\ - \; V_P = C_n + C_a H_P \end{cases} \qquad \begin{cases} C_P = V_A + \frac{g}{a} H_A - \frac{f \Delta t}{2D} V_A |V_A| \\ C_n = V_B - \frac{g}{a} H_B - \frac{f \Delta t}{2D} V_B |V_B| \end{cases}$$

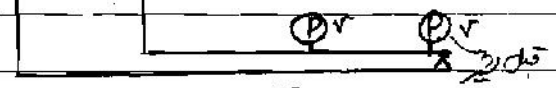
$$V_P = \frac{C_P + C_n}{2} \qquad C_a = \frac{g}{a}$$

* برای سمت مخزن از مشخصه منفی (هد مشخصه) و برای سمت شیر از مشخصه مثبت (سرعت مشخصه) استفاده می‌کنیم.

$V = f(H)$

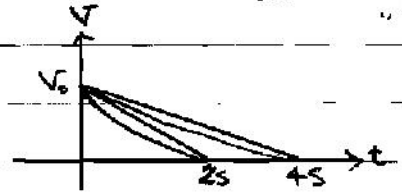


$$\begin{cases} H_0 = 100 + \sin(\omega t) \\ H_0 = 100\,m \end{cases}$$



مسأله: برای بسته شدن خطی و سریع شیر

$$\begin{cases} V_0 = 2\,m/s \\ f = 0.01 \\ L = 1000\,m \\ D = 3\,cm \\ a = 1000\,m/s \end{cases}$$



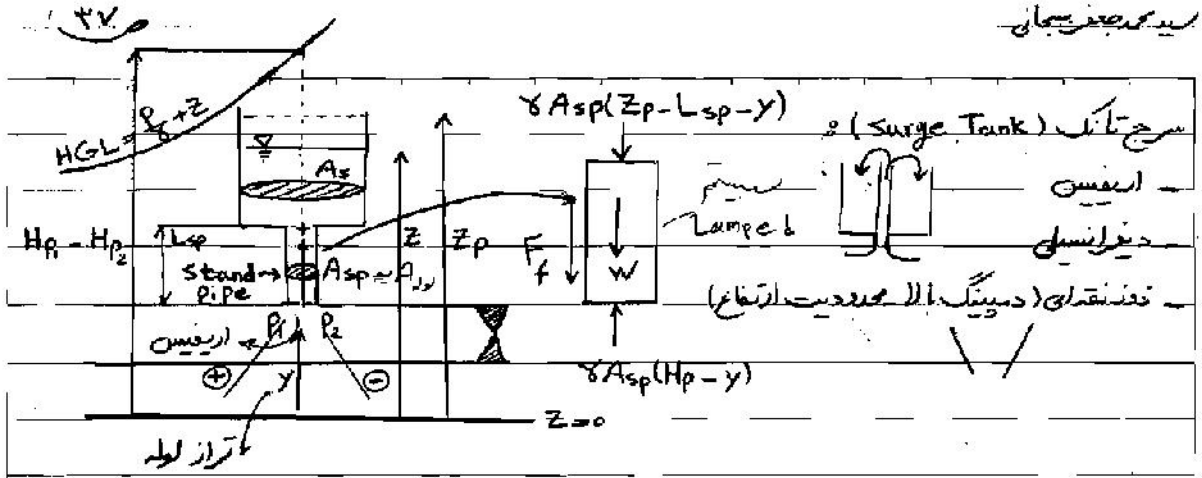
$\Delta x = 1\,m$

$N = 1001$

$\Delta t = \frac{\Delta x}{a} = 0.001$

www.jozve.org

سید محمد جعفر سبحانی



سرج تانک (Surge Tank):
- اریفیس
- دیفرانسیل
- نوع نقدی (دمپینگ بالا محدودیت ارتفاع)

مجهولات: Q_{P_1} ، Q_{P_2} ، H_{P_1} ، H_{P_2} ، $Q_{P_{sp}}$ ، Z_p ← زمان بعدی ($P = n+1$)

بنابراین به ۷ معادله نیاز داریم:

۱) مشخصه مثبت (C^+) برای نقطه P_1: $Q_{P_1} = C_{P_1} - C_{a_1} H_{P_1}$

۲) مشخصه منفی (C^-) برای نقطه P_2: $Q_{P_2} = C_{n_2} + C_{a_2} H_{P_2}$

۳) پیوستگی: $Q_{P_1} = Q_{P_2} + Q_{P_{sp}}$

۴) با صرفنظر از تلفات در فاصله P_1 تا P_2: $H_{P_1} = H_{P_2}$

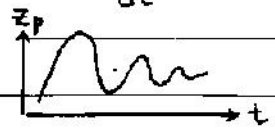
۵) قانون دوم نیوتن $\Sigma F = ma$:

$$\gamma A_{sp}(H_{P_1} - Z_p + L_{sp}) - W - F_f = \gamma A_{sp} \frac{L_{sp}}{g A_{sp}} \frac{dQ_{sp}}{dt}$$

که در این رابطه:

$$W = \gamma A_{sp} L_{sp} \quad , \quad F_f = \gamma A_{sp}\left(\frac{f L_{sp}}{D_{sp}} \frac{Q_{P_{sp}}|Q_{P_{sp}}|}{2g A_{sp}^2}\right) \underset{\Delta t \to 0}{\approx} \gamma A_{sp}\left(\frac{f L_{sp}}{D_{sp}} \frac{Q_{sp}|Q_{sp}|}{2g A_{sp}^2}\right)$$

$$\frac{dQ_{sp}}{dt} = \frac{Q_{P_{sp}}^{n+1} - Q_{sp}^{n}}{\Delta t}$$



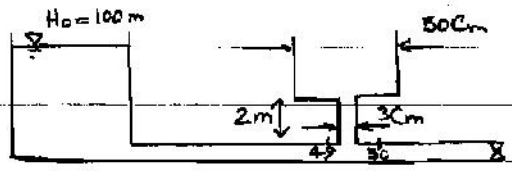
۶)
$$Z_p^{(n+1)} = Z^{(n)} + \frac{0.5\,\Delta t}{A_s}\left(Q_{P_{sp}}^{(n+1)} + Q_{sp}^{(n)}\right)$$

← با ساده سازی معادله (۵):

$$Q_{P_{sp}}^{n+1} = \frac{g\,\Delta t\, A_{sp}}{L_{sp}}\left(H_{P_1}^{n+1} - Z_p^{n+1} - K_{sp}\right) + Q_{sp}$$

$$K_{sp} = f L_{sp} Q_{sp}|Q_{sp}| / (2g A_{sp}^2 D_{sp})$$

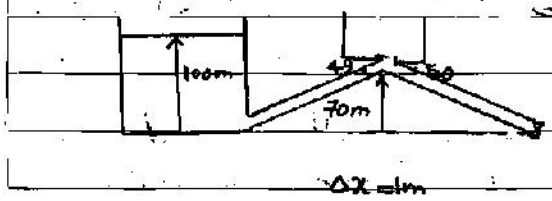
تمرین ۱:

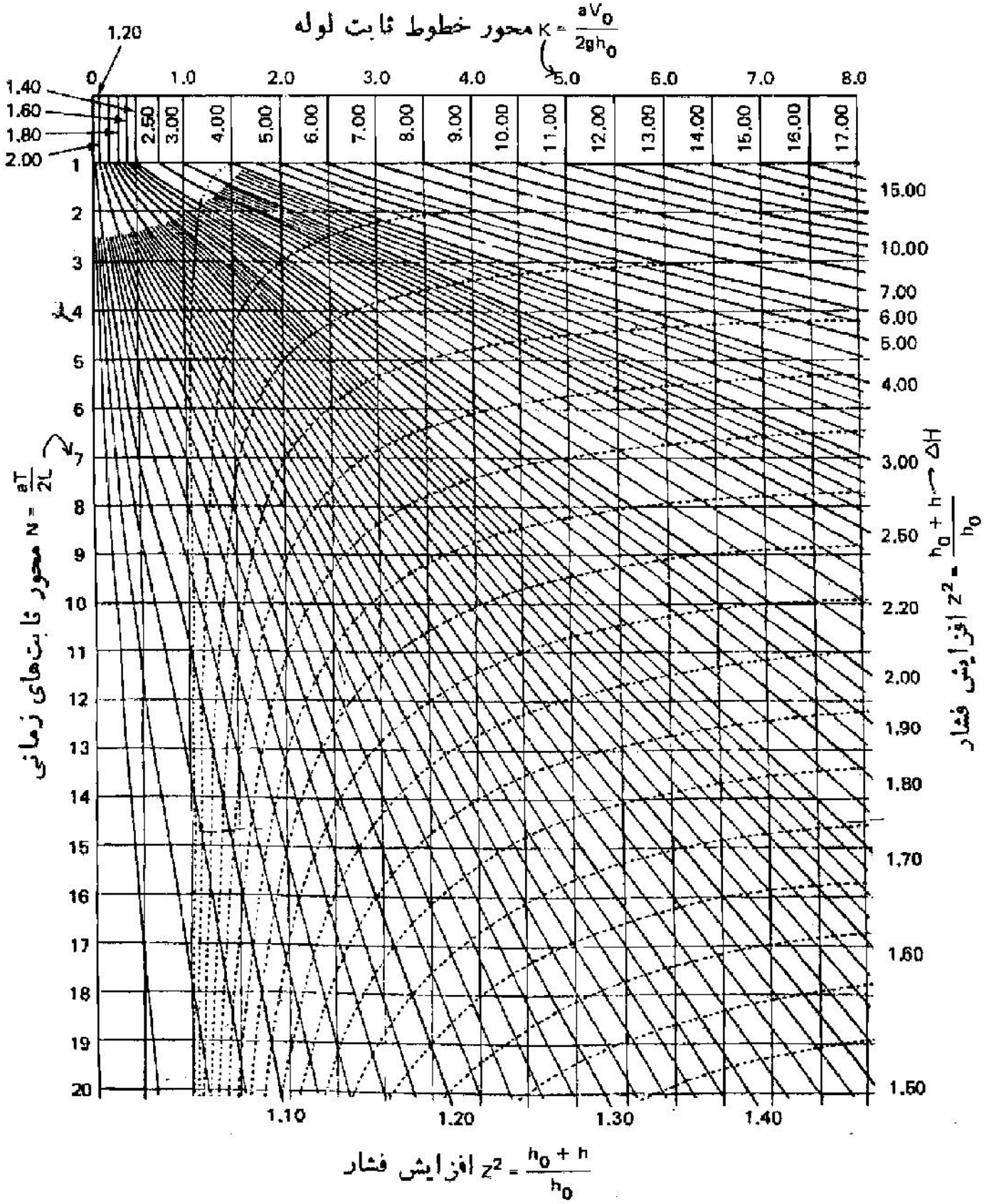


$\Delta z = 1$m

www.jozve.org

تمرین ۲: معادلات تغییر مکان افقی موقع و کم اطلاعات ارتفاع هر نقطه از آن کم می‌شود



www.jozve.org

Water Hammer/Allievi's Chart