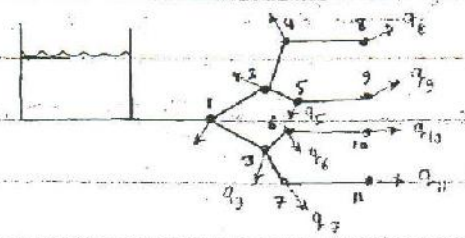
سرعت اولیه $V_0 = 1\ m/s$ ← بار سرعتی $\frac{V^2}{2g} = \frac{1^2}{2\times 9.81} = 0.05\ m$

مقدار از این مقدار بار سرعتی صرف نظر می‌شود و فرض بر این است.



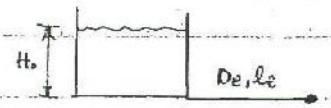
$q_{(4-8)} = q_8$

$q_{(2-5)} = q_5 + q_9$

$q_{(1-3)} = q_6 + q_7 + q_{10} + q_{11} + q_3$

مصرف‌های پایین دست را هم جمع می‌کنیم.

محاسبه فشار دبی‌ها را از پایین شروع می‌کنند.



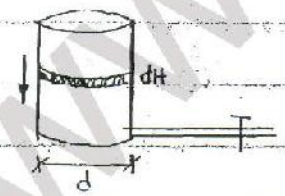
ارتفاع مخزن آب

$H_0 = H_B + h_{f_{AB}}$

حد مخزن که باید تأمین شود

رابطه انرژی: $H_0 = \left(\frac{V^2}{2g} + \frac{P_B}{\gamma} + Z_B\right) + \frac{K' le}{D_e^5} Q^2$

اگر مخزن به تدریج خالی شود:



حجم آب موجود در لوله $\frac{\pi d^2}{4} dH$

$$\Rightarrow \boxed{Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{dH}{dt}}$$

تحلیل شبکه‌های حلقوی:

معادله‌ی دبی جرم برای هر حلقه برای ما مهم است.

$n = j + l - 1$

تعداد حلقه‌ها ← تعداد لوله‌ها ← تعداد گره‌ها

www.tnar.ir

قوانین کرشف Kirchoff's laws

قانون ۱) جمع جبری دبی‌هایی که از گره خارج و یا به آن داخل می‌شوند برابر صفر است. (قانون بقای جرم)

$$\sum_{i=1}^{NJ'} Q_{ij} + C_j = 0$$

Q_{ij} ← دبی‌های مجهول

C_j ← دبی مصرف در گره j

$(j = 1, \dots NJ)$

NJ' : تعداد گره‌های مستقل به گره j

قرارداد: دبی‌هایی که از یک گره خارج می‌شوند علامت مثبت و دبی‌هایی که به یک گره وارد می‌شوند با علامت منفی منظور می‌شوند.

قانون ۲) در حلقه یا لوپ به هر جهت دلخواه، مجموع جبری افت فشارها در لوله‌های آن حلقه برابر صفر است.

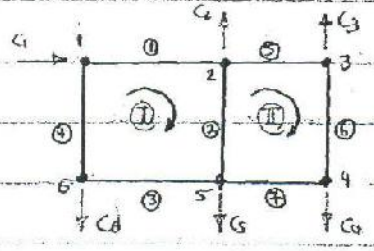
$$\sum_{k=1}^{NP} h_{Lk} = 0 \qquad (L = 1, \dots NL)$$

NL ← تعداد حلقه‌های شبکه

NP : تعداد لوله‌های موجود در حلقه L

* دبی لوله‌ها مجهول می‌باشد پس تعداد مجهولات $NL + J$ است اما در اینجا با NJ معادله داریم. برای توجیه این امر باید گفت که NL مجهول دیگر هم داریم که دبی ورودی از مخزن به شبکه می‌باشد و یا می‌توان گفت که یکی از معادلات وابسته بوده و می‌توان حذف نمود.

مثال)



افت فشار در لوله: $H_i - H_j = K_{ij} Q^2$

افت فشار در شیر: $H_i - H_j = K_{ij} Q^{1.85}$

ضریب افت فشار لوله: $K_{ij} = \dfrac{8 f_{ij} L_{ij}}{g \pi^2 D_{ij}^5}$

www.ttnar.ir

$K_{ij} = \frac{K' L_{ij}}{C_{ij}^{1.85} D_{ij}^{4.87}}$ ← معمولی ← برای لوله $K_1 = 10.7$

انطباقی $K_1 = 4.72$

$H_i - H_j = K_{ij} Q_{ij}^{n} \Rightarrow Q_{ij} = \left(\frac{H_i - H_j}{K_{ij}}\right)^{1/n}$

ماتریس اول: $\sum_{i=1}^{NJ'} Q_{ij} + C_j = 0 \quad (j = 1, \dots, NJ)$

$\Rightarrow \sum_{i=1}^{NJ'} \left(\frac{H_i - H_j}{K_{ij}}\right)^{1/n} + C_j = 0$

$Q_{ij} = \frac{H_i - H_j}{(K_{ij})^{1/n}} \left(|H_i - H_j|\right)^{\frac{1}{n}-1}$

به طوری که خود علامت جبری Q وارد معادله می‌شود.

$$\Rightarrow \boxed{\sum_{j=1}^{NJ'} \frac{H_i - H_j}{(K_{ij})^{1/n}} \left(|H_i - H_j|\right)^{\frac{1}{n}-1} + C_j = 0 \quad (j = 1, \dots, NJ)}$$

★ مجهولات H ها، یعنی در لوله‌ها مشخص می‌شوند.

← چون H لوله‌ای که به مخزن متصل است، مشخص می‌باشد. بنابراین یک معادله اضافی داریم که با رهم توضیح ذکر شده در فصل ۲ برای آن صادق است.

(یعنی که از مخزن وارد شده می‌شود مجهول نیست.)

$\sum_{j=1}^{NZ} C_j = C_1$

← جای مجهول در مخزن، این معادله را

قرار می‌دهیم تا تعداد معادلات و مجهولات برابر شود.

← حل مثال

قرارداد $K_{ij} = K_{ji}$ ، $Q_{ij} = -Q_{ji}$

گره (۱) $\rightarrow C_1 + Q_{1-2} + Q_{1-6} = 0$

گره (۲) $\rightarrow C_2 + Q_{2-1} + Q_{2-3} + Q_{2-5} = 0$

www.tiran.ir

(3) $C_3 + Q_{3-2} + Q_{3-4} = 0$

(4) $C_4 + Q_{4-3} + Q_{4-5} = 0$

(5) $C_5 + Q_{5-6} + Q_{5-2} + Q_{5-4} = 0$

(6) $C_6 + Q_{6-5} + Q_{6-1} = 0$

معادلات Q برحسب h

$$\begin{cases} K_{1-2} Q_{1-2}^m + K_{2-5} Q_{2-5}^m + K_{5-6} Q_{5-6}^m + Q_{6-1}^m K_{6-1} = 0 \quad (I) \\ K_{2-3} Q_{2-3}^m + K_{3-4} Q_{3-4}^m + K_{4-5} Q_{4-5}^m + K_{5-2} Q_{5-2}^m = 0 \quad (II) \end{cases}$$

معادلات h برحسب

$$f_1 = C_1 + \frac{(H_1 - H_2)}{(K_{1-2})^{1/m}} (|H_1 - H_2|)^{\frac{1}{m}-1} + \frac{(H_1 - H_6)}{(K_{1-6})^{1/m}} (|H_1 - H_6|)^{\frac{1}{m}-1} = 0$$

$$f_2 = C_2 + \frac{(H_2 - H_1)}{(K_{1-2})^{1/m}} (|H_2 - H_1|)^{\frac{1}{m}-1} + \frac{(H_2 - H_3)}{(K_{2-3})^{1/m}} (|H_2 - H_3|)^{\frac{1}{m}-1}$$

$$+ \frac{(H_2 - H_5)}{K_{2-5}} (|H_2 - H_5|)^{\frac{1}{m}-1} = 0$$

$$f_3 = C_3 + \frac{(H_3 - H_2)}{(K_{2-3})^{1/m}} (|H_3 - H_2|)^{\frac{1}{m}-1} + \frac{(H_3 - H_5)}{(K_{3-4})^{1/m}} (|H_3 - H_4|)^{\frac{1}{m}-1} = 0$$

$$f_4 = C_4 + \frac{(H_4 - H_3)}{(K_{3-4})^{1/m}} (|H_4 - H_3|)^{\frac{1}{m}-1} + \frac{(H_4 - H_5)}{(K_{4-5})^{1/m}} (|H_4 - H_5|)^{\frac{1}{m}-1} = 0$$

$$f_5 = C_5 + \frac{(H_5 - H_6)}{(K_{5-6})^{1/m}} (|H_5 - H_6|)^{\frac{1}{m}-1} + \frac{(H_5 - H_2)}{(K_{5-2})^{1/m}} (|H_5 - H_2|)^{\frac{1}{m}-1}$$

$$+ \frac{(H_5 - H_4)}{(K_{4-5})^{1/m}} (|H_5 - H_6|)^{\frac{1}{m}-1} = 0$$

$$f_6 = C_6 + \frac{(H_6 - H_5)}{(K_{5-6})^{1/m}} (|H_6 - H_5|)^{\frac{1}{m}-1} + \frac{(H_6 - H_1)}{(K_{1-6})^{1/m}} (|H_6 - H_1|)^{\frac{1}{m}-1} = 0$$

$H_6 > H_5 > H_4 > H_3 > H_2 > C_1$ فرض کنیم

www.tnar.ir

$$Q_{ij} = \frac{(H_i - H_j)}{(K_{ij})^{1/n}} \left(|H_i - H_j|\right)^{1/n-1}$$

* معادلات H کمتر از معادلات Q است.

جریان غیر ضلع هستند اما تعدادشان معادلات H بیشتر از معادلات Q است.

◆ معادلات ΔQ

تعداد لوله‌ها) تعداد گره‌ها (مقدار حلقه‌ها

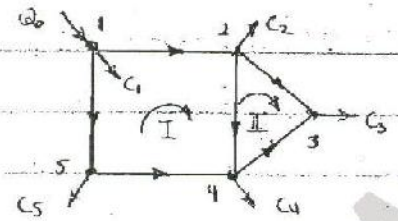
↓ ↓ ↓

معادلات ΔQ معادلات H معادلات Q

معادلات Q برای حل جریان در لوله‌ها

معادلات H برای حل ارتفاع پیزومتریک در گره‌ها

معادلات ΔQ برای حل افت انرژی در حلقه‌ها



* برای تمام لوله‌ها جهتی در نظر می‌گیریم و زمانی که علامت Q منفی شد یعنی جهت آن عکس است.

$$Q_{1-2} + Q_{24} + Q_{25} - C_2 = 0$$

$$Q_0 - Q_{12} - Q_{15} - C_1 = 0 \quad \text{(مجهولات: } Q_0 \text{ و دبی لوله‌ها)}$$

$$Q_{15} - Q_{54} - C_5 = 0$$

$$Q_{24} + Q_{43} - C_3 = 0$$

$$Q_{24} + Q_{54} - Q_{43} - C_4 = 0$$

حلقه Ⅰ : $K_{12} Q_{12}^2 + K_{24} Q_{24}^2 - K_{54} Q_{54}^2 - K_{15} Q_{15}^2 = 0$

حلقه Ⅱ : $K_{23} Q_{23}^2 - K_{34} Q_{34}^2 - K_{24} Q_{24}^2 = 0$

اصول روش معادلات ΔQ :

۱- ابتدا جهت جریان در شاخه‌ها فرض می‌شود و معادلات پیوستگی و انرژی برای کل

www.itnar.ir

جهت های فرضی نوشته می شوند. (جهات کاملاً فرضی هستند)

۲- مقادیر دبی را برای هر شاخه با توجه به ورودی از مخزن فرض می کنیم.

چون به روش سعی و خطا عمل می کنیم باید این فرضیات معقول باشند. (تعداد اصلاح بین چند فرضیات رعایت شود.)

۳- جهاتی را برای حرکت در حلقه ها فرض می کنیم. (جهات کاملاً فرضی هستند.)

۴- روابط انرژی را برای حلقه ها می نویسیم.

بعد از نوشتن روابط اگر مجموع دبی ها صفر شد یعنی فرض اولیه صحیح است ولی معمولاً این اتفاق رخ نمی دهد.

(در صورت صحیح بودن روابط، دبی های فرضی واقعی هستند.)

۵- با توجه به اینکه معمولاً این اتفاق نمی افتد، دبی های فرضی اصلاح می شوند.

برای هر حلقه یک مقدار جهت اصلاح دبی منظور می کنیم ΔQ_I ، ΔQ_{II}

(مقدار ΔQ فرضی است و به کل دبی های حلقه اضافه می شود.)

سپس به مقادیر دبی هر شاخه با توجه به رابطه بدست آمده، دبی فرضی را اصلاح می کنیم.

$$Q_{12} = Q'_{12} + \Delta Q_I$$

(Q'_{12}: دبی فرضی اولیه، ΔQ_I: دبی اصلاحی)

نکته: اگر لوله ای در هر دو حلقه قرار داشته باشد باید دبی اصلاحی هر دو حلقه را به آن لوله اضافه نمود.

(اگر شاخه ای بین دو حلقه مشترک باشد مانند شاخه ۲-۶ در شکل مثال باید اصلاح دبی فرض به دو حلقه برای آن منظور شود.)

حلقه (I) ←

$$K_{12}(Q'_{12} + \Delta Q_I)^2 + K_{24}(Q'_{24} + \Delta Q_I - \Delta Q_{II})^2 - K_{54}(Q'_{54} - \Delta Q_I)^2 - K_{15}(Q'_{15} - \Delta Q_I)^2 = 0$$

حلقه (II) ←

$$K_{23}(Q'_{23} + \Delta Q_{II})^2 - K_{34}(Q'_{34} - \Delta Q_I)^2 - K_{24}(Q'_{24} - \Delta Q_{II} + \Delta Q_I)^2 = 0$$

www.tnar.ir

$$(Q^{\circ}_{15} - \Delta Q_I) - (Q^{\circ}_{54} - \Delta Q_I) - C_5 = 0$$

از این رابطه مشخص می‌شود که رابطه بین C_5 پس از اصلاح نیز بر حسب خود ارضا می‌شود.

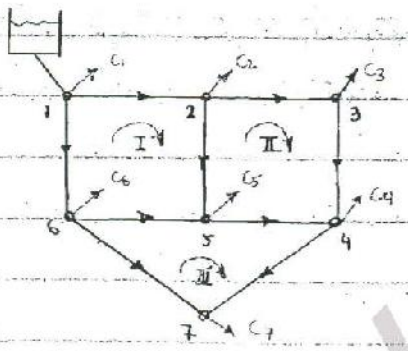
تعداد معادلات Q : 6

تعداد معادلات K : 5

تعداد معادلات ΔQ : 2

* در همه این شرایط معادلات غیرخطی هستند.

مثال) معادلات ΔQ برای شبکه زیر بنویسید



$$Q_{12} = Q^{\circ}_{12} + \Delta Q_I$$

$$Q_{25} = Q^{\circ}_{25} + \Delta Q_I - \Delta Q_{II}$$

$$Q_{65} = Q^{\circ}_{65} - \Delta Q_I + \Delta Q_{III}$$

$$Q_{16} = Q^{\circ}_{16} - \Delta Q_I$$

(حلقه I) $K_{12}(Q^{\circ}_{12} + \Delta Q_I)^2 + K_{25}(Q^{\circ}_{25} + \Delta Q_I - \Delta Q_{II})^2$

$$K_{65}(Q^{\circ}_{65} - \Delta Q_I + \Delta Q_{III})^2 - K_{16}(Q^{\circ}_{16} - \Delta Q_I)^2 = 0$$

(حلقه II) $K_{23}(Q^{\circ}_{23} + \Delta Q_{II})^2 + K_{35}(Q^{\circ}_{34} + \Delta Q_{II})^2$

$$K_{54}(Q^{\circ}_{54} + \Delta Q_{II} + \Delta Q_{III})^3 - K_{25}(Q^{\circ}_{25} - \Delta Q_{II} + \Delta Q_I)^2 = 0$$

(حلقه III) $K_{65}(Q^{\circ}_{65} + \Delta Q_{III} - \Delta Q_I)^2 + K_{54}(Q^{\circ}_{54} + \Delta Q_{III} - \Delta Q_{II})^2$

$$+ K_{47}(Q^{\circ}_{47} + \Delta Q_{III})^2 - K_{67}(Q^{\circ}_{67} - \Delta Q_{III})^2 = 0$$

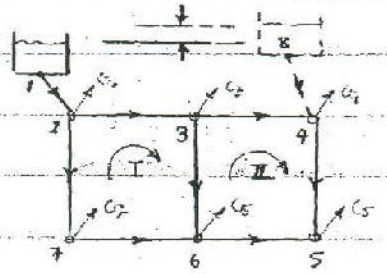
روش تداری فقط در مورد ضریب F در رابطه $h_f = KQ^F$ صحیح است و F ثابت باشد.

مسئله در همین حالت بررسی شود.

www.ttnar.ir

بررسی حالت خاص :

چندنوع حالت خاص داریم مثلا دو مخزن روشبکه داشته باشیم و یا پمپ یا شیر فشارشکن در شبکه موجود باشد.



* 7 معادله و 7 مجهول داریم

← معادلات پیوستگی در گره ها

← معادلات h در حلقه ها

* اگر یک مخزن دیگر هم در شبکه داشته باشیم تعداد لوله ها یکی از هر مخزن و لوله شبکه ای که متصل می شود بیشتر می شود پس 9 مجهول خواهیم داشت

← 6 معادله پیوستگی و 2 معادله انرژی داریم ... معادله هم را می توانیم از رابطه افت انرژی بین دو مخزن برحسب آوریم در حقیقت می توان دو مخزن را به صورت حلقه III در نظر گرفت

روش های حل معادلات :

معادلات غیرخطی هستند و سه روش برای حل آنها داریم :

۱- روش هاردی کراس ... Hardy Cross Method

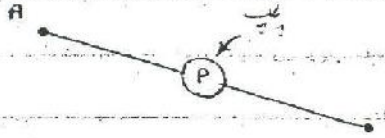
۲- روش نیوتن رافسون ... Newton Raphson "

۳- روش تئوری خطی ... Linear Theory

مثال : خطوله AB به طول 8Km و قطر 700 mm با جنس آب کار کرده است $\frac{4}{1000}$ برای تأمین دبی 800 lit/s از یک پمپ استفاده می شود در صورتی که مقدار f ثابت و برابر 0.016 باشد تعیین کنید :

الف) هد پمپ (Hp) ب) در صورتی که از پمپ استفاده نشود قطر لوله موازی چقدر باید باشد که افت یکسان برای این لوله نیز 0.016 = f فرض شود

الف) $h_f = (H_A - H_B) + H_p$



$H_A - H_B = 8000 \times \frac{4}{1000} = 32\ m$

$h_f = 32 + H_p = K_{AB} Q_{AB}^2$

$= 0.083 \times 0.016 \times \frac{8000}{(0.75)^5} \times (0.8)^2$

$K_{AB} = 63.2$

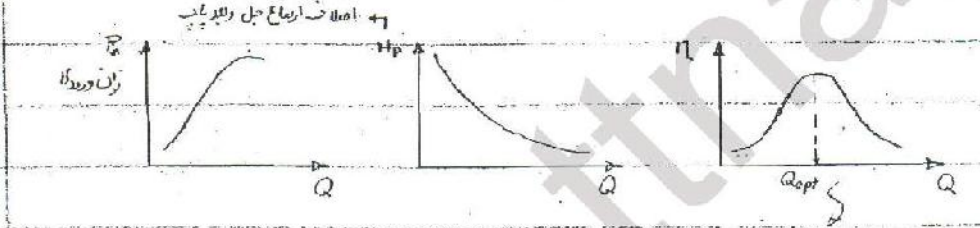
ارتفاع آب 32 بود، پمپ میبایست تامین

$\rightarrow 40.45 = 32 + H_p$

$\Rightarrow \boxed{H_p = 8.45\ m}$

توان پمپ: $P = \frac{\gamma Q H_p}{\eta}$

برای انتخاب پمپ از منحنی‌های مشخصه استفاده می‌شود:



این منحنی در صنعت بسیار مهم است.

ب) به جای استفاده از یک پمپ می‌توان از دو یا چند پمپ موازی یا متوالی استفاده کرد.

$h_f = K_{AB} Q_{AB}^2 = 63.21\ Q_{AB}^2$

$\Rightarrow Q_{AB} = 0.712\ m^3/sec$

سهم هر پمپ: $800 \quad 712 = 88\ lit/sec$

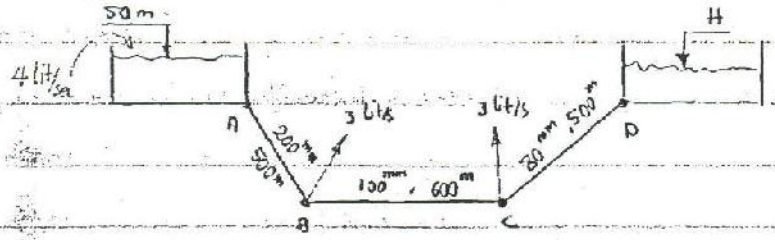
افت هد در لوله موازی همان $32\ m$ است.

$32 = K'_{AB} Q'^2_{AB} = \frac{0.083 \times 0.016 \times 8000}{D^5} \times 0.088^2$

$\Rightarrow \boxed{D = 303\ mm}$

مثال ۲) پس پس می‌شود که در مصرف برق ساعات شب نیاز به ... (در صنعت های مختلف شبکه مطابق داده‌های زیر باشد.

69



حال طوری که در شکل دیده می‌شود، لوله‌ی تزریق توسط دو منبع اصلی و متعادل کننده تغذیه می‌شود. اگر دبی که مخزن اصلی را تغذیه می‌کند 4 lit/s باشد و مخزن اصلی در این حالت پر باشد، ارتفاع منبع متعادل کننده را تعیین کنید. (ارتفاع منبع را طوری انتخاب کنید که آب از منبع اصلی خروجی نکند) و دبی جریان در هر کدام از لوله‌ها را بدست آورید.

منبع متعادل کننده در واقع همان مخزن اصلی است و وقتی آب مصرف می‌شود، وارد شبکه شده و فشار را تأمین می‌کند.

وقتی دبی 4 lit/s برای پر کردن مخزن متعادل کننده در نظر گرفته می‌شود و 6 lit/s برای تأمین مصارف، توسط مخزن اصلی برای مصارف موجود در شبکه تأمین می‌شود.

$$Q_{AB} = 10 \text{ lit/s} \quad , \quad Q_{BC} = 7 \text{ lit/s} \quad , \quad Q_{CD} = 4 \text{ lit/s}$$

$$H_A - K_{AB} Q_{AB}^2 - K_{BC} Q_{BC}^2 - K_{CD} Q_{CD}^2 = H_D$$

$$K_{AB} = 0.083 \times 0.017 \times \frac{500}{(0.05)^5} = 2204.69$$

$$K_{BC} = 84660$$

$$K_{CD} = 215301.5$$

هر چه قطر لوله بیشتر باشد، مقدار K کمتر است.

$$H_D = 50 - 2204.69\,(0.01)^2 - 84660\,(0.007)^2 - 215301.5\,(0.004)^2$$

$$\Rightarrow \boxed{H_D = 42.2 \text{ m}}$$

www.tnar.ir

روش هاردی ـ کراس برای حل معادلات شبکه‌ی هیدرولیکی

معادلات به تعداد حلقه‌ها را حل می‌کنند

تعداد لوله‌های داخل حلقه

$$\sum_{K=1}^{NP} \left[K_{ij} \cdot Q_{ij}^{n} \right]_{L,K} = 0$$

$L = 1, \ldots, NL$ ← تعداد حلقه‌ها

در روش معادلات ΔQ ابتدا با توجه به رابطه‌ی پیوستگی برای هر لوله Q° فرض شده و سپس برای آن ΔQ درنظر گرفته و با رابطه زیر آن را اصلاح می‌کنیم:

$$\sum_{K=1}^{NP} \left\{ K_{ij} \left[Q_{ij}^{\circ} + \Delta Q_{L} \right]^{n} \right\}_{L,K} = 0$$

$L = 1, \ldots, NL$

برای حل این معادلات از بسط دوجمله‌ای نیوتن استفاده می‌کنیم:

$$\sum_{K=1}^{NP} \left(K_{ij} \cdot Q_{ij}^{\circ\, n} \right)_{L,K} + \sum_{K=1}^{NP} \left[n K_{ij} \cdot Q_{ij}^{\circ\, n-1} \Delta Q_{L} \right]_{L,K}$$

$$+ \sum_{K=1}^{NP} \left[\frac{n(n-1) K_{ij} Q_{ij}^{\circ\, n-2} \Delta Q_{L}^{2}}{2!} \right]_{L,K} + \ldots = 0$$

فرض می‌کنیم ΔQ_L کوچک باشد بنابراین از جمله‌ی دوم به بعد صرف نظر می‌کنیم:

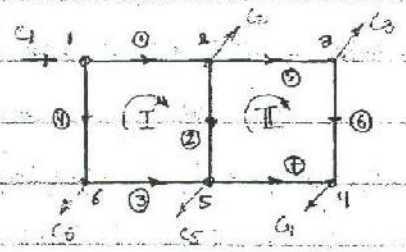
$$\Delta Q_{L} = \frac{-\sum_{K=1}^{NP} \left[K_{ij} Q_{ij}^{\circ\, n} \right]_{L,K}}{n \sum_{K=1}^{NP} \left[K_{ij} Q_{ij}^{\circ\, n-1} \right]_{L,K}}$$

می‌توان ΔQ_L را برحسب H بنویسید:

$$\Delta Q_{L} = \frac{-\sum_{K=1}^{NP} (h_{i,j})_{L,K}}{n \sum_{K=1}^{NP} \left[h_{ij} / Q_{ij}^{\circ} \right]_{L,K}}$$

$L = 1, \ldots, NL$

www.tmar.ir



$$(\text{I'}_{\text{rdo}}) \rightarrow K_{1-2}\left[Q'_{1-2}+\Delta Q_{\text{I}}\right]^n + K_{2-5}\left[Q'_{2-5}+\Delta Q_{\text{I}}-\Delta Q_{\text{II}}\right]^n - K_{5-6}\left[Q'_{5-6}-\Delta Q_{\text{I}}\right]^n - K_{6-1}\left[Q'_{6-1}-\Delta Q_{\text{I}}\right]^n = 0$$

$$(\text{II}'_{\text{rdo}}) \rightarrow K_{2-3}\left[Q'_{2-3}+\Delta Q_{\text{II}}\right]^n + K_{3-4}\left[Q'_{3-4}+\Delta Q_{\text{II}}\right]^n - K_{4-5}\left[Q'_{4-5}-\Delta Q_{\text{II}}\right]^n - K_{2-5}\left[Q'_{2-5}-\Delta Q_{\text{II}}+\Delta Q_{\text{I}}\right]^n = 0$$

$$\Delta Q_{\text{I}} = -\frac{K_{1-2}Q'^{n}_{1-2} + K_{2-5}Q'^{n}_{2-5} - K_{5-6}Q'^{n}_{5-6} - K_{6-1}Q'^{n}_{6-1}}{n\left[K_{1-2}Q'^{n-1}_{1-2} + K_{2-5}Q'^{n-1}_{2-5} - K_{5-6}Q'^{n-1}_{5-6} - K_{6-1}Q'^{n-1}_{6-1}\right]}$$

$$\Delta Q_{\text{II}} = -\frac{K_{2-3}Q'^{n}_{2-3} + K_{3-4}Q'^{n}_{3-4} - K_{4-5}Q'^{n}_{4-5} - K_{5-2}Q'^{n}_{5-2}}{n\left[K_{2-3}Q'^{n-1}_{2-3} + K_{3-4}Q'^{n-1}_{3-4} - K_{4-5}Q'^{n-1}_{4-5} - K_{5-2}Q'^{n-1}_{5-2}\right]}$$

	ضلع	قطر	F	K_{ij}	Q'_{ij}	$K_{ij}Q'^{n}_{ij}$	$K_{ij}Q'^{n-1}_{ij}$
1-2							
2-5							
5-6							
6-1							
Σ							
2-3							
3-4							
4-5							
5-2							
Σ							

www.tiran.ir

حل معادلات H به روش هاردی کراس :

معادلات H از معادلات حلقه ساده تر است لذا برای شبکه های کوچک می توان از آن استفاده نمود. (Cornish 1939 - 1940)

ابتدا از یک حدس اولیه برای H در نظر گرفته و پس از آن با توزیع بیلانس را کنترل می کنیم

سپس با آن مقدار را اصلاح می دهیم تا به H ثابت برسیم.

$$H_i - H_j = K_{ij} Q_{ij}^{n}$$

$$\rightarrow H_i - H_j - \Delta H_j = K_{ij} Q_{ij}^{n} \rightarrow Q_{ij} = \left[\frac{h_{ij} - \Delta H_j}{K_{ij}}\right]^{1/n}$$

بسط بیونی : $Q_{ij} = \left(\frac{1}{K_{ij}}\right)^{1/n} \left[h_{ij}^{1/n} - \frac{1}{n} h_{ij}^{\frac{1}{n}-1} \Delta H_j\right]$

رابطه بیلانس : $\sum_{i=1}^{NJ'} Q_{ij} + C_j = 0 \qquad (j = 1, \ldots, NJ)$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^{NJ'} \left[\left(\frac{h_{ij}}{K_{ij}}\right)^{1/n} - \frac{1}{n} \frac{h_{ij}^{\frac{1}{n}-1}}{K_{ij}^{1/n}} \Delta H_j\right] + C_j = 0$$

$$\rightarrow \boxed{\Delta H_j = \frac{n\left[\sum_{i=1}^{NJ'} Q_{ij} + C_j\right]}{\sum_{i=1}^{NJ'} Q_{ij}/h_{ij}}}$$

مقداری برای $H_{o6}, H_{o5}, H_{o4}, H_{o3}, H_{o2}$ حدس می زنیم.

روابط را برای گره 2 می نویسیم :

$$Q_{12} = \left[\frac{H_{o1} - H_{o2}}{K_{1-2}}\right]^{1/n} \quad , \quad Q_{32} = \left[\frac{H_{o3} - H_{o2}}{K_{3-2}}\right]^{1/n}$$

$$Q_{52} = \left[\frac{H_{o5} - H_{o2}}{K_{5-2}}\right]^{1/n} \quad , \quad Q_{1-2} + Q_{3-2} + Q_{5-2} - C_2 = E$$

که رابطه بیلانس گره

www.tnar.ir

$$\Delta H_2 = \frac{n E}{\frac{Q_{1-2}}{H_{o1} - H_2} + \frac{Q_{3-2}}{H_{o3} - H_2} + \frac{Q_{5-2}}{H_{o5} - H_2}}$$

$$\Rightarrow \boxed{H_2 = H_{o2} + \Delta H_2}$$

* بخواست در روابط قبلی از این H_2 اصلاح شده استفاده کنیم.

← حسابی: معادلات ΔQ و ΔH در روش هاردی کراس:

۱- تعداد تکرارها در معادلات ΔH بیشتر است.

۲- حدس اولیه برای ΔQ براساس معادلات پیوستگی است ولی در معادلات ΔH حدس اولیه فرضی است.

۳- معادلات ΔQ ... اصلاح دبی در شاخه هاست ولی معادلات ΔH ... اصلاح ارتفاع در گره هاست.

← روش نیوتن ـ رافسون ... Newton_Raphson Method

← کاربرد این روش در شبکه های آبرسانی از سال ۱۹۶۳ توسط Martin & Peters ابداع شد. سرعت همگرایی در این روش بالاست و با حداکثر ۴ تکرار تمی توان به دقت بالا رسید. به روش وسیعی امکان پذیر است.

* اگر x ریشه تقریبی معادله $f(x)=0$ باشد در $x=\theta$ ... $f(x)=0$

$$\theta = x + \delta x \quad , \quad \delta x = -\frac{f(x)}{f'(x)}$$

$$f(x+\delta x) = f(x) + f'(x)\,\delta x + f''(x)\frac{\delta x^2}{2!} + \frac{f'''(x)}{3!}\delta x^3 + \dots$$

صرف نظر می کنیم

$$\Rightarrow \delta x = -\frac{f(x)}{f'(x)}$$

www.tnar.ir

◄ برای معادلات چند مجهولی فرم کلی زیر را داریم :

$$f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0$$

$$f_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0$$

معادلات غیر خطی زیر برای حل باید معادلات را به صورت خطی در آوریم

$$\vdots$$

$$f_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0$$

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{j=1}^{N} \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \delta x_j = 0 \qquad (i = 1, \dots, N)$$

$$\begin{bmatrix} \partial f_1/\partial x_1 & \partial f_1/\partial x_2 & \dots & \partial f_1/\partial x_n \\ \partial f_2/\partial x_1 & \partial f_2/\partial x_2 & \dots & \partial f_2/\partial x_n \\ \vdots & & & \\ \partial f_N/\partial x_1 & \partial f_N/\partial x_2 & \dots & \partial f_N/\partial x_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_1 \\ \delta x_2 \\ \vdots \\ \delta x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -f_1(x_1, \dots, x_n) \\ -f_2(x_1, \dots, x_n) \\ \vdots \\ -f_N(x_1, \dots, x_n) \end{bmatrix}$$

$$[J][\delta x] = -[f(x)]$$

Jacobian

* این توابع وحتی کاربرد دارند در معادلات، مشتق پذیر باشند.

در معادلات آیرسانی این توابع هم مشتق پذیر هستند هم مشتق پیوسته

◄ محدودیت این روش از درجه ۲ است

کاربرد روش نیوتن ـ رافسون در معادلات H و ...

◄ چون در روش های کامپیوتری، حدس اولیه توسط کامپیوتر راحت تر است بنابراین از معادلات H استفاده می کنیم. در روش NR باید حدس اولیه را به این صورت باشد و سپس برنامه نویسی پیچیده تری دارد.

www.itnar.ir

$$\sum_{i=1}^{NJ'} Q_{ij} + C_j = 0 \quad \text{رابطه پیوستگی}$$

$$j = 1, \dots, NJ$$

$$H_i - H_j = K_{ij} Q_{ij}^n \quad \text{معادله انرژی در هر شاخه}$$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^{NJ'} \frac{(H_i - H_j)^{1/n}}{K_{ij}^{1/n}} + C_j = 0$$

$$j = 1, \dots, NJ$$

$$\left(\frac{1}{K_{ij}}\right)^{1/n} = R_{ij} \rightarrow \sum_{i=1}^{NJ'} R_{ij} (H_i - H_j)^{1/n} + C_j = 0$$

$$j = 1, \dots, NJ$$

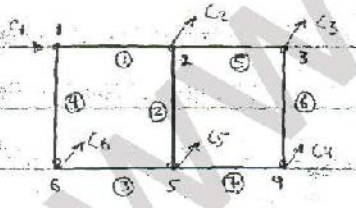
معادلات به دست آمده غیرخطی و H ها مجهولند

$$f_j(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^{NJ'} R_{ij} (H_i - H_j) (|H_i - H_j|)^{\frac{1}{n}-1} + C_j = 0$$

$$(j = 1, \dots, NJ)$$

$$\frac{\partial f_j}{\partial x_i} = \frac{\partial f_j}{\partial H_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{NJ'} R_{ij} (|H_i - H_j|)^{1/n - 1}$$

$$j = 1, \dots, NJ$$



$$f_1 = \frac{1}{(K_{1-2})^{1/n}} (H_1 - H_2) (|H_1 - H_2|)^{1/n - 1}$$

$$+ \frac{1}{(K_{1-6})^{1/n}} (H_1 - H_6) (|H_1 - H_6|)^{1/n - 1}$$

$$+ C_1 = 0$$

روش تئوری حل

معادلات به صورت حل می‌شوند و با استفاده از الگوریتم‌ها و نرم‌افزارها معادلات حل می‌شوند. معادلات شبکه آبرسانی خطی هستند

(برای خطی شدن معادلات نوع معادله را تغییر می‌دهند.)

معادلات پیوستگی $\sum Q_{ij} + C_j = 0$ (تعداد: j)

معادلات انرژی $\sum K_{ij} Q_{ij}^{n} = 0$ (تعداد: k)

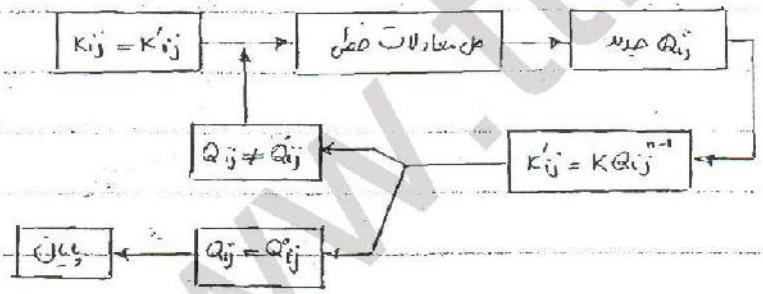
خطی کردن معادلات $\rightarrow$ $K'_{ij} = K_{ij} Q^{n-1}$ ، $h_{ij} = K'_{ij} Q_{ij}$

* در ابتدا یک دبی اولیه حدس می‌زنیم. از مزایای این روش این است که در آن هر مقداری برای دبی فرض کرد.

در آن برای خطی کردن معادلات در ابتدا فرض کرد که $Q_{ij} = 1$ است.

$Q_{ij} = 1 \Rightarrow K'_{ij} = K_{ij}$

در ابتدا فرض می‌کنیم همهٔ دبی‌ها برابر ۱ باشند.



محاسن ✓ ۱- الحاقی بودن و اضافه‌کاری روی دبی اولیه

۲- خطی بودن معادلات

۳- همگرا بودن

۴- موجود بودن روش حل معادلات خطی در منابع و کامپیوتر

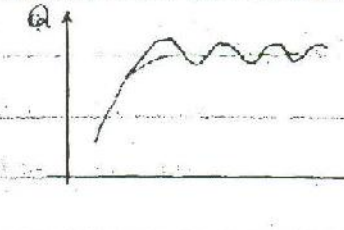
۵- انتخاب اطلاعات اولیه ساده است.

۶- حل معادلات در یک مرحله

معایب ✗ ۱- تکرار زیاد ۲- عدد برای معادلات Q کار دارد

۲- تعداد معادلات زیاد

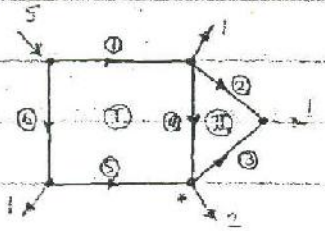
www.tmar.ir



اگر در حالتی نوسان به صورت روبه رو
بود خوب است سیاکل دوبل
قبل را به عنوان دبی جدید در نظر
بگیریم :

$$Q_{ij}^{2} = \frac{Q_{ij} + Q'_{ij}}{2}$$

مثال: شبکه روبه رو را با استفاده از تئوری مقدماتی حل کنید



$K_1 = 10$ ، $K_2 = 5$

$K_3 = 5$ ، $K_4 = 10$

$K_5 = 5$ ، $K_6 = 20$

ابتدا جهت جریان برای تمام لوله ها در نظر می گیریم :

$5 - Q_1 - Q_6 = 0$

$Q_1 - Q_2 - Q_4 - 1 = 0$

معادله پیوستگی در راس (4) حذف شده است

$Q_6 - Q_5 - 1 = 0$

$Q_2 + Q_3 - 1 = 0$

حال انتخاب تمام معادلات به دست می آید.

$Q_4 + Q_5 - Q_3 - 2 = 0$

حلقه (I) : $K_1 Q_1^2 + K_4 Q_4^2 - K_5 Q_5^2 - K_6 Q_6^2 = 0$

حلقه (II) : $-K_2 Q_2^2 - K_3 Q_3^2 - K_4 Q_4^2 = 0$

رابطه بعدی فصل مشترک معادلات است :

$K'_1 Q_1 + K'_4 Q_4 - K'_5 Q_5 - K'_6 Q_6 = 0$

$-K'_2 Q_2 - K'_3 Q_3 - K'_4 Q_4 = 0$

www.ttnar.ir

$Q_1 \to Q_6 = 5$

$Q_1 - Q_2 - Q_4 = 1$

$Q_6 - Q_5 = 1$

$Q_2 + Q_3 = 1$

+ فرض اولیه برای همه Q ها را 1 در نظر می‌گیریم:

$$\begin{cases} 10Q_1 + 10Q_4 - 5Q_5 - 20Q_6 = 0 \\ 5Q_2 - 5Q_3 - 10Q_4 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 10 & -5 & -20 \\ 0 & 5 & -5 & -10 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$Q_1 = 3.1875$

$Q_2 = 1.3438$

$Q_3 = -0.3438$

$Q_4 = 0.8438$

$Q_5 = 0.8125$

$Q_6 = 1.8125$

+ میانگین دبی ها را بدین صورت در نظر می‌گیریم:

$$Q_j = \frac{Q_{j-1} + Q_{j-2}}{2} \rightarrow$$

$Q_1 = 2.09$, $Q_4 = 0.92$

$Q_2 = 1.17$, $Q_5 = 0.81$

$Q_3 = 0.33$, $Q_6 = 1.41$

$K' = K_{ij} Q_{ij}$

K' ها همان ماتریس سختی هستند که در معادلات قرار می‌دهیم

جواب معادلات:

$Q_1 = 2.84$, $Q_4 = 0.73$

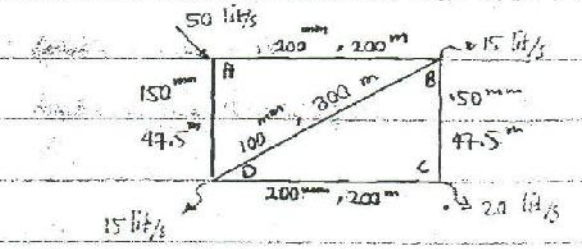
$Q_2 = 1.11$, $Q_5 = 1.16$

$Q_3 = -0.11$, $Q_6 = 2.16$

+ حال باید 6 و 5 را در گام دهم با دقت 0.01 بررسی کنیم

www.tnar.ir

مثال ۵: یک شبکه لوله به صورت زیر می باشد. این شبکه را حل کرده و دبی جاری در هر لوله را بدست آورید.



لوله BD حذف شود، دبی جاری در لوله ها چقدر می باشد؟

اگر افت در لوله AB برابر 25 m باشد و نقاط A و B اصلاح ارتفاع داشته باشند، قطر لوله AB چقدر است؟ ($f=0.012$)

$$K_{AB} = K_{DC} = \frac{0.083 \times 0.012 \times 200}{(0.25)^5} = 623$$

$$K_{BC} = K_{AD} = \frac{0.083 \times 0.012 \times 47.5}{(0.15)^5} = 623$$

چون شبکه کاملا متقارن است، دبی لوله ها یکسان است:

$$Q_{AB} = Q_{AD} = 25 \text{ lit/s}$$

$$Q_{DC} = Q_{BC} = 10 \text{ lit/s}, \quad Q_{BD} = 0$$

$$K_{BD} = \frac{0.083 \times 0.012 \times 300}{(0.1)^5} = 29880 \simeq 50\, K_{AB}$$

ملاحظه می شود که K لوله BD خیلی زیاد است پس جریانی در این لوله وجود نخواهد داشت.

$$25 = K_{AB} Q_{AB}^2 = H_B \Rightarrow H_B = 25 - 623 \times (0.025)^2$$

$$\boxed{H_B = 24.6 \text{ m}}$$

اگر لوله BD حذف شود، دبی ها همگی مانند قبل می شود. ($Q_{BD}=0$)

www.ttnar.ir

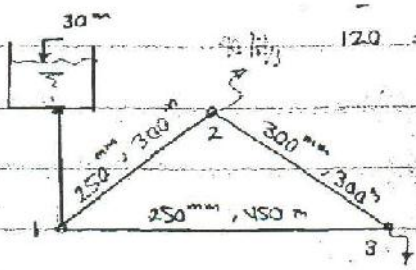
مثال 3) شکل زیر از یک شبکه ساده تشکیل شده است

ضریب هزن دیلیامز برای همه لوله‌ها = 120

جاهای خالی را از روش نیوتن رافسون

و معادلات H ارتفاع پیزومتریک H

را برای یک گره مانده بدست آورید



مرحله اول)

	l(m)	D(m)	C	K
1-2	300	0.25	120	389.8
1-3	450	0.25	120	584.7
2-3	300	0.3	120	160.4

$$K = \frac{10.67\, l}{C^{1.85} D^{4.87}}$$

مرحله دوم) گره‌ی که دارای مجهول است

مرحله سوم) حدس اولیه برای H ها

$H_2 = 28^m$, $H_3 = 27^m$

مرحله چهارم)

$$f_2 = \left(\frac{H_1 - H_2}{K_{12}}\right)^{1/1.85} + \left(\frac{H_2 - H_3}{K_{23}}\right)^{1/1.85} - 0.04 = 0$$

$$f_3 = \left(\frac{H_1 - H_3}{K_{13}}\right)^{1/1.85} + \left(\frac{H_2 - H_3}{K_{23}}\right)^{1/1.85} - 0.08 = 0$$

مقدار H_1 را در معادلات قرار می‌دهیم:

$$\left(\frac{30 - H_2}{K_{12}}\right)^{0.54} - \left(\frac{H_2 - H_3}{K_{23}}\right)^{0.54} - 0.04 = 0$$

$$\left(\frac{30 - H_3}{K_{13}}\right)^{0.54} + \left(\frac{H_2 - H_3}{K_{23}}\right)^{0.54} - 0.08 = 0$$

مرحله پنجم) محاسبه ماتریس ژاکوبین

www.ttnar.ir

$$\frac{\partial F_2}{\partial H_2} = -\frac{0.54}{K_{12}}\left(\frac{30-H_2}{K_{12}}\right)^{-0.46} - \frac{0.54}{K_{23}}\left(\frac{H_2-H_3}{K_{23}}\right)^{-0.46}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial H_3} = +\frac{0.54}{K_{23}}\left(\frac{H_2-H_3}{K_{23}}\right)^{-0.46}$$

$$\frac{\partial F_3}{\partial H_2} = \frac{0.54}{K_{23}}\left(\frac{H_2-H_3}{K_{23}}\right)^{-0.46}$$

$$\frac{\partial F_3}{\partial H_3} = \frac{0.54}{K_{13}}\left(\frac{30-H_3}{K_{13}}\right)^{-0.46} - \frac{0.54}{K_{23}}\left(\frac{H_2-H_3}{K_{23}}\right)^{-0.46}$$

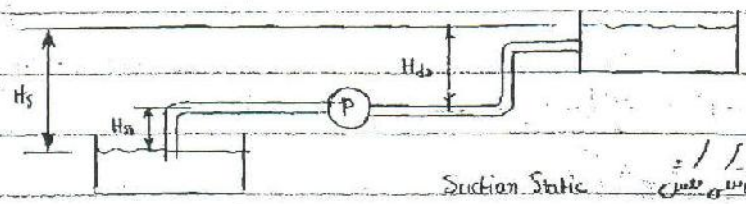
حدس اولیه مقادیر مجهولات با فرض H_2 و H_3 بدست می‌آید

$$F = \begin{bmatrix} -0.046 \\ 0.042 \end{bmatrix} \qquad \frac{\partial F_2}{\partial H_2} = 0.050 \;,\; \frac{\partial F_2}{\partial H_3} = 0.035$$
$$\frac{\partial F_3}{\partial H_2} = 0.035 \;,\; \frac{\partial F_3}{\partial H_3} = -0.045$$

$$\begin{bmatrix} 0.05 & 0.035 \\ 0.035 & -0.045 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta H_1 \\ \Delta H_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.046 \\ -0.042 \end{bmatrix}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \Delta H_3 = -1.07 \text{ m} \\ \Delta H_2 = 1.67 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} H_3 = 27 - 1.07 = 25.93 \text{ m} \\ H_2 = 28 + 1.67 = 29.67 \text{ m} \end{cases}$$

تلفات هد و پمپ‌های دستگاه در شبکه‌های آبرسانی



Suction Static ارتفاع استاتیکی مکش h_{ss}

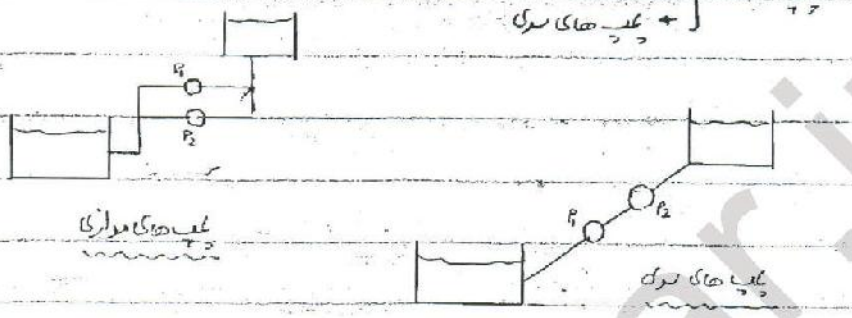
Driving ارتفاع استاتیکی رانش h_{ds}

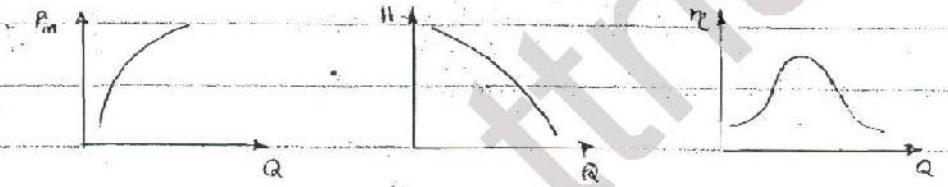
www.ttnar.ir

+ قبل از نصب پمپ، مقدار فشار ورودی است که از آن با اکاویتاسیون شروع می‌شود.

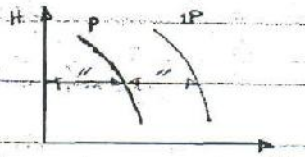
$$H_s = H_{ss} + H_{ds}$$

پمپ‌ها
+ پمپ‌های موازی
+ پمپ‌های سری





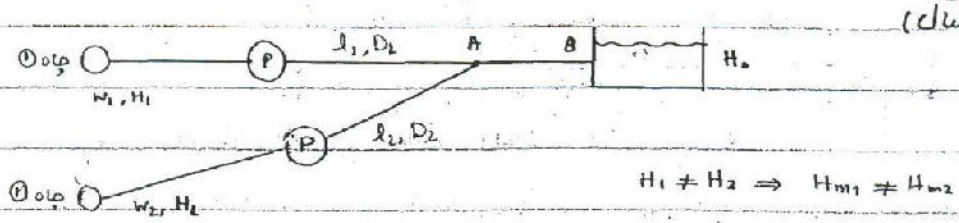
با جمع این دو مقدار، دبی مقابل برای یک H مشخص به دست می‌آید.



در دو پمپ موازی تقریباً با هم

منحنی معادل موازی منحنی پمپ‌هاست. و به اندازه Q در هر نقطه به سمت راست shift پیدا می‌کند.

مثال)



$H_1 \neq H_2 \Rightarrow H_{m1} \neq H_{m2}$

www.ttnar.ir

$H_0 = H_1 + h_{ls} + h_{lf} + h_{lAB} + H_{m_1}$ (ارتفاع مخزن)

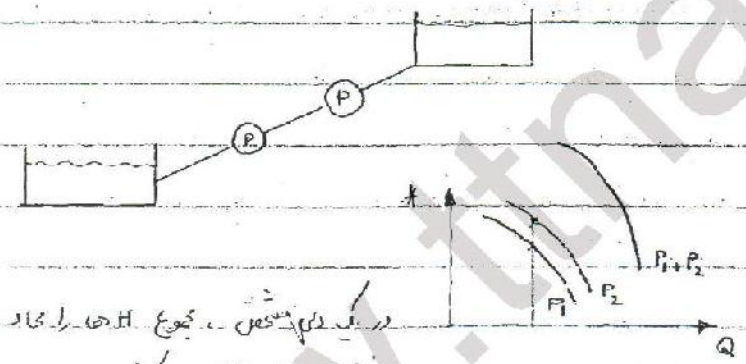
$$\begin{cases} H_0 - H_1 = H_s \\ H_{m_1} = H_2 + \sum h_f \end{cases}$$

$Q_{AB} = Q_1 + Q_2$

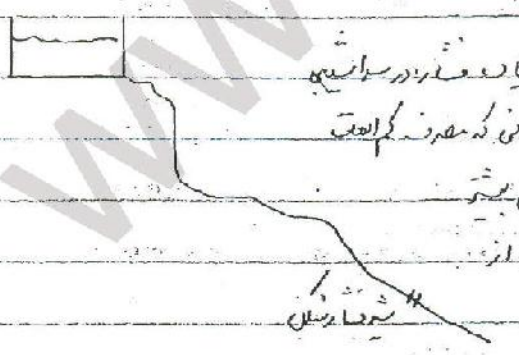
$H_{m_1} = H_{s_1} + K_s Q_1^2 + K_1 Q_1^2 + K_{AB}(Q_1+Q_2)^2 = f(Q_1)$

$H_{m_2} = H_{s_2} + K_{s_2} Q_2^2 + K_2 Q_2^2 + K_{AB}(Q_1+Q_2)^2 = f(Q_2)$

+ دوره‌ی h_f تابعی از دبی در آن سیر می‌باشد.



در یک دبی مشخص، مجموع H ها را محاسبه نموده و منحنی معادل را رسم می‌کنیم.



+ علت است در خطوط مصرف زیاد فشار در سرانشعاب به مقدار مورد نیاز بوده اما زمانی که مصرف کم است افت هد کم بوده و هد استاتیکی تغییر نموده و ممکن است فشار از حد مجاز تجاوز کند. پس از شیر فشارشکن برای کاهش هد استفاده می‌شود.

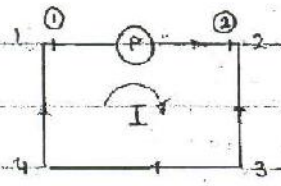
$H_p - H_m = f(Q$ ، نوع پمپ ، دور موتور)

www.itnar.ir

$H_p = H_m = f(Q)$

$$H_p = AQ^2 + BQ + C$$

در شبکه‌های شامل پمپ بهتر است از معادلات Q استفاده شود چون علاوه بر آن در شاخه‌ها جاری باشد.



معادلات گره‌ای: $\sum_{i=1}^{ND} Q_i + C_j = 0$

معادلات حلقه‌ای: $\sum K_i Q_i^2 = 0$

• معادلات بدون پمپ

$Q_{41} - Q_{12} = 0$ ، $Q_{12} - Q_{23} = 0$

$Q_{23} - Q_{34} = 0$

$K_{12} Q_{12}^2 + K_{23} Q_{23}^2 + K_{34} Q_{34}^2 + K_{41} Q_{41}^2 = 0$

• معادلات با پمپ

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

H_1 H_2

$\rightarrow H_1 - H_2 = h_f - H_p$

$Q_{41} - Q_{12} = 0$ ، $Q_{12} - Q_{23} = 0$ ، $Q_{23} - Q_{34} = 0$

$K_{12} Q_{12}^2 + K_{23} Q_{23}^2 + K_{34} Q_{34}^2 + K_{41} Q_{41}^2 - H_p = 0$

در معادلات انرژی، هر پمپ با علامت منفی تأثیر داده می‌شود.

$H_p = AQ^2 + BQ + C$

$\rightarrow (K_{12} - A) Q_{12}^2 + K_{23} Q_{23}^2 + K_{34} Q_{34}^2 + K_{41} Q_{41}^2$

$- B Q_{12} - C = 0$

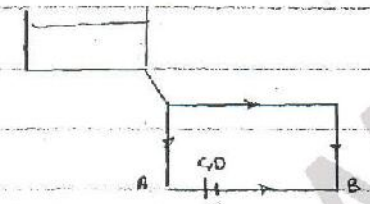
www.ttnar.ir

$$\Delta Q = \frac{-\sum K Q^n}{n \sum K Q^{n-1}} \qquad \frac{-h_f}{n \sum \frac{h_f}{Q_i}}$$

شماره حلقه‌ها	Q^0	K	KQ^n	nKQ^{n-1}
1	Q_1^0	K_1	$K_1 Q_1^n$	$n K_1 Q_1^{n-1}$
2	Q_2^0	K_2	$K_2 Q_2^n$	$n K_2 Q_2^{n-1}$
3	Q_3^0	K_3	$K_3 Q_3^n$	$n K_3 Q_3^{n-1}$
4	Q_4^0	K_4	$K_4 Q_4^n$	$n K_4 Q_4^{n-1}$
			$-H_p$	$-2AQ_1 - B$

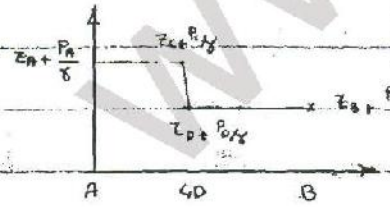
شبکه‌های فشار شکن:

اگر جهت جریان در شبکه فشار شکن با علامت تعیین شده جریان صفر خواهد شد.



مقاومت یعنی مقاومت کاهش یافته

* بر حسب اینکه فشار از 70 متر بیشتر باشد یا شیر فشار شکن فشار را تا 70 متر کاهش می‌دهد.

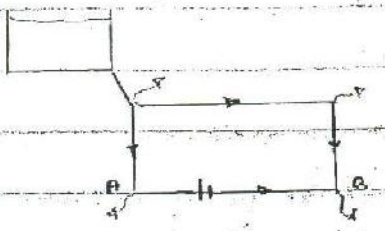


شیر فشار شکن تابع دبی نیست بلکه مانعی از فشار می‌باشد.

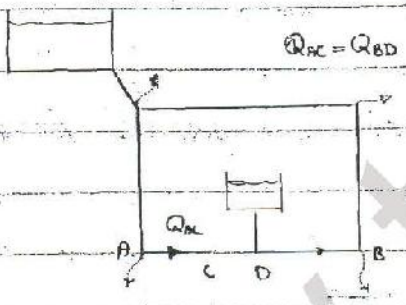
اگر فشار در این نقطه بیشتر از فشار در طرف دیگر شود باید دبی را برابر صفر در نظر گرفت.

www.ttnar.ir

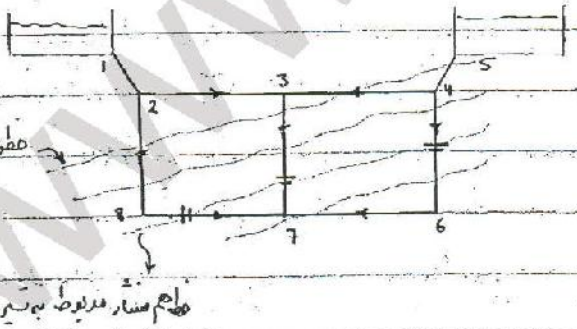
یک روش حل برای شبکه در این حالت
این است که شیر فشارشکن را
حذف می کنیم و شبکه را تحلیل
می کنیم تا فشار در نقطه مورد نظر



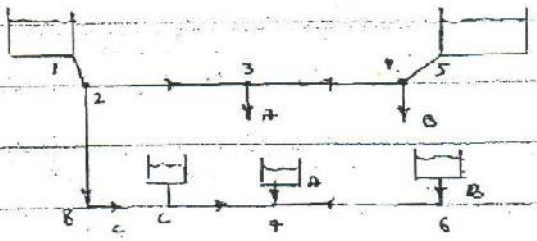
از فشار طراحی شیر فشارشکن بیشتر شود، آن را در معادلات تاثیر می دهیم در غیر این
صورت فرض می کنیم شیر فشارشکن تاثیری ندارد و فقط باید اطمینان حاصل کنیم که
داشتن شیر در شبکه را ایجاد نکند.



در صورتی که شیر فشارشکن عمل کند
یک مخزن به ارتفاع شیر فشارشکن
در شبکه اضافه می کنیم.



به صورت دستی هم فشارها را تحلیل می کنیم.



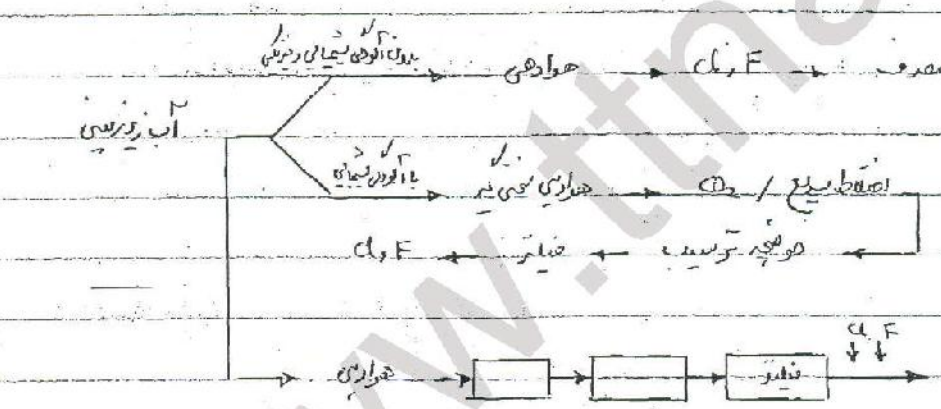
www.tnar.ir

تصفیه آب

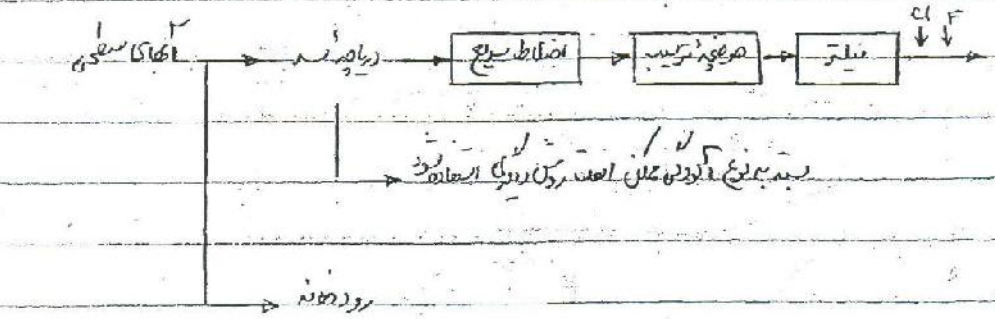
به طور کلی آب را از هر منبعی دریافت کنیم، باید برای تصفیه آب را تصفیه کنیم.
اگر آب زیرزمینی باشد به طور طبیعی تصفیه شده است و اگر آلودگی شیمیایی داشته باشد، هزینه بالایی برای تصفیه آن نیاز است.
موادی مانند آهک و منیزیم در خاک است که در آب حل شده و موجب سختی آب‌های زیرزمینی می‌شوند.

$$CO_2 + H_2O + CO_3Ca \rightleftharpoons Ca(CO_3H)_2$$

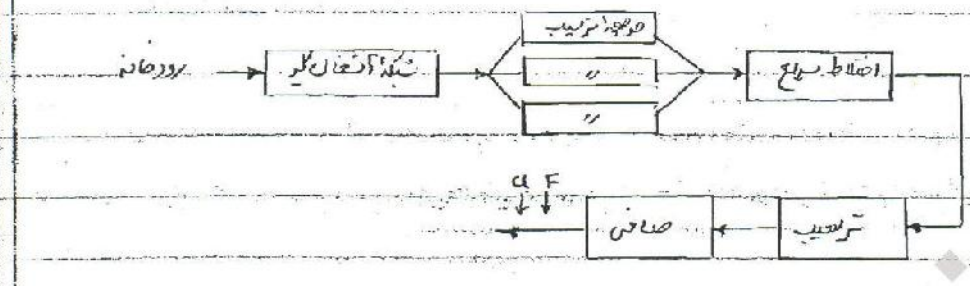
$$CO_2 + H_2O + MgCO_3 \rightleftharpoons Mg(CO_3H)_2$$



* در روش هوادهی، آب را از هوا استفاده می‌کند.
روش‌های هوادهی می‌توانند به صورت روش هیدرولیکی، جوی، آبشار (پله‌ای) و ... باشد.



www.ttnar.ir

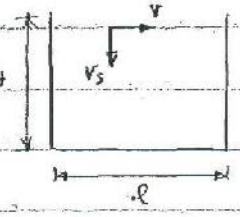


در روش اختلاط سریع با افزودن مواد شیمیایی ذرات ها را به توده های بزرگتر تبدیل می کنند تا سریع تر ته نشین شود.

حوضچه ترکیب:

حوضچه باید هم طول مناسب داشته باشد و هم ارتفاع مناسب.

ذره باید با طی کردن این طول ته نشین شود.

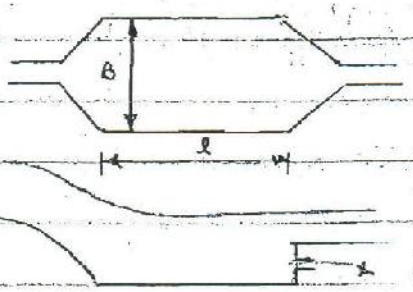


$$\frac{V}{V_s} = \frac{l/t}{H/t} \rightarrow V_s = V \frac{H}{l} \cdot \frac{B}{B} \qquad (B: \text{عرض حوضچه})$$

$$\rightarrow V_s = \frac{Q}{A}$$

$P = \frac{Q}{A}$ که بار سطحی حوضچه

★ سرعت ته نشینی ذره به بار سطحی حوضچه بستگی دارد. (به عمق بستگی ندارد)



www.itmar.ir

V_s : سرعت ته‌نشینی ذره

u : سرعت ته‌نشینی ذرات ریز

$$\frac{u}{V_s} = \frac{h}{l}$$

$$\boxed{\frac{u}{V_s} = \frac{h}{H}}$$

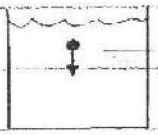
$$\frac{V_s}{V} = \frac{H}{l}$$

مثال) اگر سرعت سقوط ذره $V_s = 0.2\ m/min$ باشد و $u = 0.15\ m/min$ باشد درصد ته‌نشینی را به دست آورید.

$$\%\text{ته‌نشینی} = \frac{0.15}{0.2} = 75\%$$

← چون سرعت سقوط این ذرات کم است پس از خط ورودی به ته‌نشین شدن ذرات ریز می‌باید و سرعت ته‌نشینی کاهش می‌یابد پس باید از فرمول استوکس استفاده کرد.

اصول ته‌نشینی یک ذره منفرد:



$$F_{\text{ثقل}} = g\forall(\rho_s - \rho)$$

$$F_d = \frac{1}{2} C_d A_c \rho W_s^2$$

W_s یا V_s : سرعت ذره

C_d : تابعی از عدد رینولدز $f(Re)$

A_c : بیشترین سطح برخورد آب با جسم (ذره)

$$\Rightarrow g\forall(\rho_s - \rho) = \frac{1}{2} C_d A_c \rho W_s^2$$

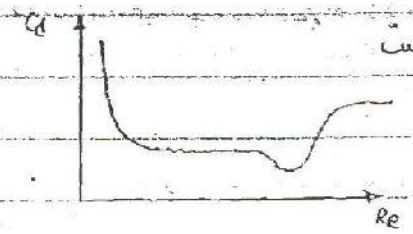
$$\Rightarrow \boxed{W_s = \sqrt{\frac{2g\forall(\rho_s - \rho)}{C_d A_c \rho}}}$$

$$C_d = f(Re) = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{R'}} + 0.34 \qquad (Re < 10^4)$$

www.tfnar.ir

برای ذرات کروی به قطر d ⟸ $w_s = \sqrt{\frac{4g(\rho_s-\rho)d}{3C_d\rho}} = \left[\frac{4(s-1)gd}{3C_d}\right]^{0.5}$

$Re<1$ ⟹ رابطه استوکس : $C_d = \frac{24}{Re}$ ⟸ $w_s = \frac{(s-1)g d^2}{18\nu}$



ذرات غیرکروی ⟸ $w_s = \frac{(s-1)gd^2}{18\nu}$ $(1<d<100\ \mu m)$

$w_s = \frac{10\nu}{d}\left[\left(1+\frac{0.01(s-1)gd^3}{\nu^2}\right)^{0.5}-1\right]$ $(100<d<1000\ \mu m)$

$w_s = 1.1\left[(s-1)gd\right]^{0.5}$ ⟸ $(d>1000\ \mu m)$

- روابط حاصل از نتایج آزمایشگاهی

$w_s = 0.0554\frac{\gamma_1-\gamma}{\mu}d^2$; $Re<1$

γ_1: وزن مخصوص ذرات معلق (gr/cm^3) ; d: میانگین قطر ذرات (cm)

γ: وزن مخصوص آب (gr/cm^3) ; w_s: سرعت ته نشینی (cm/s)

μ: ضریب لزجت دینامیکی آب $(gr/cm.s)$

صافی ها

← آب هایی که از صافی ها عبور می کنند، عاری از کدورت نیستند ولی به طور طبیعی تصفیه می شوند.

www.itnar.ir

- دو نوع صافی داریم: ۱- صافی تند ۲- صافی کند

چون احتیاج به مصرف زیاد آب از این صافی استفاده می شود.

- سرعت عبور آب از صافی های کند کم است و حجم بیشتری برای آن لازم داریم

۱) صافی کند $V = 0.1 \text{ تا } 0.4 \text{ m/hr}$

دبی واحد سطح $Q = 0.1 \text{ تا } 0.4 \text{ m}^3/\text{hr}$ در واحد سطح

(مثال) جمعیت = 100 نفر ، مصرف روزانه = 200 lit/day

$Q_{max}^{d} = 200 \text{ lit/day} \Rightarrow V = 20 \text{ m}^3/\text{day}$

- در متوسط عبوری از صافی را 0.2 m/h فرض می کنیم.

$0.2 \times 24 = 5 \text{ m}^3/\text{day}$

$\Rightarrow$ مساحت صافی $= 4 \text{ m}^2$

- استفاده از شن برای تثبیت ماسه و جلوگیری از روان شدن آن می باشد.
- برای تصفیه بهتر می توان از زغال هم استفاده کرد.

- مشخصات صافی کند:

$V = 0.1 \text{ تا } 0.4 \text{ m/hr}$

دبی واحد سطح $Q = 0.1 \text{ تا } 0.4 \text{ m}^3/\text{hr}$

عمق ماسه $= 1 \text{ تا } 1.5 \text{ m}$ ، ضریب یکنواختی ماسه $= \frac{D_{60}}{D_{10}} = 2 \text{ تا } 5$

ارتفاع آب روی ماسه $= 0.9 \text{ تا } 1.9 \text{ m}$ ، $D_{10} = 0.25 \text{ تا } 0.35 \mu m$

- مشخصات صافی تند:

$V = 4 \text{ تا } 5 \text{ m/hr}$

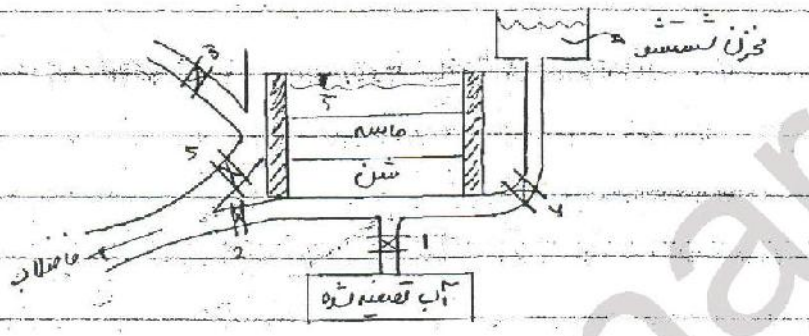
دبی واحد سطح $Q = 4 \text{ تا } 5 \text{ m}^3/\text{hr}$

www.tmar.ir

عمق ماله = 0.6 تا 0.8 m ، $\frac{D_{60}}{D_{10}}$ = 1.2 تا 1.7

ارتفاع آب روی ماله = 0.6 تا 0.7 m ، D_{10} = 0.45 - 0.55 mm

← کیفیت آب در صافی های کند بهتر از صافی های تندی باشد



مرحله اول ← شیرهای باز : 1، 3 ، شیرهای بسته : 2، 4، 5

مرحله دوم - نشست ← شیرهای بسته : 1، 2، 3
شیرهای باز : 4، 5

مرحله سوم - تصفیه آبگرد
بسته : 1، 4، 5 ، باز : 2، 3

← برعکس آب نشست را باید طوری عبور داد که ذرات ماله بوجود نیاید و ذرات ماله به صورت معلق در نیایند

لایه بالا (نرم)		لایه پائین (درشت)	
d (mm)	ضخامت (cm)	d (mm)	ضخامت (cm)
2 - 7	3 - 5	2.5 - 2	6 - 8
8 - 15	5 - 10	5 - 10	6 - 8
15 - 30	10 - 15	10 - 20	8 - 12
30 - 100	10	20 - 40	8 - 12

www.itnar.ir

ارتفاع آبخوان 5-10 40-60 12-30

Σ 30 تا 50 cm Σ 40 تا 60 cm

شبکه های جمع آوری فاضلاب

- زهکش های جمع آوری فاضلاب یا به صورت چاه است یا به صورت شبکه جمع آوری.
از جهت بهداشتی بهتر است ابتدا فاضلاب تصفیه شود و بعد وارد چشمه طبیعت شود.
اگر از چاه استفاده کنیم تصفیه به طور طبیعی انجام می گیرد.
اهمیت جمع آوری و تصفیه فاضلاب از جهت عبور و بودن آب برای افزایش جمعیت می باشد.

* دو روش دفع فاضلاب عبارتند از: ۱- چاه
۲- شبکه فاضلاب

* محدودیت های چاه:
۱- بستی زمین (از لحاظ پایداری دیواره چاه اهمیت دارد)
۲- محدودیت فضا (فاصله چاه ها باید 10-15 m باشد بنابراین کاربرد کم، محدودیت فضا داشته باشیم نمی توانیم تعداد چاه جذبی زیاد کنیم)
۳- آلوده شدن آب زیرزمینی
۴- بالا آمدن آب زیرزمینی
۵- ایجاد آلودگی در آب های زیرزمینی

- مشکل دیگر بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در اثر نفوذ چاه ها است.

۶- مشکل بالا آمدن سطح آب زیرزمینی

* روش دفع فاضلاب در شبکه جمع آوری داریم: ۱- فاضلاب های صنعتی، کشاورزی، خانگی و

www.ttnar.ir

۲- ناحیه‌ی ناشی از رواناب های سطحی

* بنابراین بر حسب دو نوع ناحیه‌ی ناب، دو نوع سیستم دفع ناحیه‌ی ناب داریم.

۱- سیستم مجزا (در شهرهای بزرگ)

۲- سیستم درهم (در مناطق کوچک)

- در سیستم مجزا برای انتقال ناحیه‌ی خانگی از لوله استفاده می‌شود و برای دفع رواناب سطحی از جوی و کانال‌های باز

- معایب و مزایا:

شبکه‌های درهم	شبکه‌های مجزا
۱- شبکه بهداشتی دارد. (ناحیه‌ی ناب با آب باران مخلوط می‌شود)	۱- شبکه بهداشتی ندارد
۲- تصفیه‌خانه بزرگ	۲- تصفیه‌خانه کوچک
۳- تأسیسات هیدرولیک	۳- تأسیسات هیدرولیک کمتر
۴- در طول مواقع تصفیه‌ی آن را رها می‌کنند	

- در تصمیم‌گیری انتخاب نوع سیستم، اولین شبکه اقتصادی بودن است.

ضوابط انتخاب شبکه مجزا:

۱- شیب زمین

در شیب‌های تند بهتر است از شبکه مجزا استفاده شود.

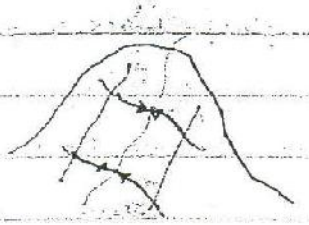
* در شیب‌های کم بهتر است از شبکه درهم استفاده کنیم چون باران باعث شستشو می‌شود.

www.tinar.ir

۲- بارش‌های شدید و نادر

$Q_{طرح} = Q_{بارندگی} + Q_{ذوب}$

۳- وجود مسیل، دریاچه، رودخانه در نزدیکی



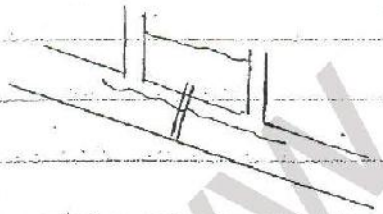
مقدار فاضلاب:

← عوامل مؤثر در تولید فاضلاب تأثیر دارند عبارتند از:

دانشها ۱- مصرف آب و استفاده برای آبیاری فضای سبز

داخلی ۲- نشت آب زیرزمینی به داخل لوله‌ها

رطوبت‌گیری غیرقابل کنترل آب باران با فاضلاب صنعتی در شبکه‌های جدا



* هر SO^{m} ویلا در محل تقاطع لوله‌هایی به قطر ۲۰ cm رد قرار می‌دهند که با فضای بیرون ارتباط دارند

دوره طرح:

برای شبکه فاضلاب ۴۰ - ۲۵ سال

برای تصفیه‌خانه ۲۰ - ۱۵ سال

نسبت تبدیل آب به فاضلاب:

۱۲ تا ۱۷ درصد ← تغییر در کولرها و وسایل بهداشتی یا آبیاری فضای سبز

۸ تا ۱۳ درصد ← در جاهایی که آب زیرزمینی بالاست و نشت آب زیرزمینی به داخل لوله‌ها

۵۰ تا ۷۰ درصد ← تبدیل به فاضلاب

www.tinar.ir

* این مقادیر برای شبکه‌های مجزا ذکر شده. چون طراحی برای آب باران جداگانه صورت می‌گیرد.

آب باران در شبکه‌های درهم:

500 تا 5000 متر مکعب در هر Km^2 در هر شبانه‌روز

(100 - 115)٪ = دبی طرح در شبکه درهم

* در شهرهای بزرگ و پر جمعیت مقدار تبدیل به فاضلاب بیشتر از مناطق کوچک یا نادر و ساحلی است.

* انواع فاضلابی که برای تصفیه می‌روند:

1- فاضلاب خانگی 2- فاضلاب صنعتی

* تفاوت‌های اساسی فاضلاب‌های صنعتی متفاوت است. این فاضلاب‌ها اسیدی است و عمل اسید خوردگی لوله‌ها را پیش می‌آید.

در فاضلاب‌های صنعتی باکتری وجود ندارد. وجود دارد ولی در فاضلاب‌های خانگی وجود دارد.

* 10 تا 15 دقیقه اول بارش، آب باران دارای آلودگی است. بنابراین سرآب‌های سطحی نیز آلوده هستند. پس از این زمان تا 80٪ آلودگی کاهش می‌یابد.

BOD: میزان اکسیژن لازم برای اکسیداسیون مواد آلی موجود در یک لیتر فاضلاب روزهای 20° توسط باکتری‌ها.

نوع	BOD	نوع	BOD
آب فاضلاب یا آشامیدنی	0	آب نسبتاً تمیز	3
آب کاملاً تمیز	1	آب رودخانه‌ای تمیز	1 - 3

www.ttnar.ir

نوع	BOD	نوع	BOD
آب رودخانه ای متوسط	3-5	فاضلاب خانگی رقیق	200
" " کثیف	5-8	" " متوسط	300
آب نیمه کثیف	8	" " غلیظ	400
آب خیلی کثیف	20	فاضلاب صنعتی	2000-5000

محدودیت های شبکه فاضلاب :

محدودیت قطر

$D_{min} = 200$ mm مجاز

در سرعت زیاد باید دقت داشت فشارات لوله کم باشد

می توان از قطر 150 mm نیز استفاده نمود

لوله های آب باران در شبکه مجزا : $D = 250$ mm

محدودیت سرعت :

محدودیت سرعت از لحاظ تنش برداشتی می باشد. این امر به سرعت و تنش برشی دیواره بستگی دارد

تنش برشی دیواره آب قدرت عامل

$\tau = \gamma_w R S$ تنش دیواره شیب

برای لایه برداشته ها بستگی دارد ضریع هیدرولیکی وزن مخصوص آب

تنش برشی باید 0.25 تا 4.3 kg/m^2 باشد

$$\frac{h_f}{L} = \frac{f}{D}\frac{V^2}{2g} \quad , \quad D = 4R$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{\gamma_0 f V^2}{8g}$$

سرعت بستر : سرعتی که ذرات رسوب شروع به حرکت کنند

γ_0 : وزن مخصوص ذره γ : جرم

www.ttnar.ir

A : سطح

d_s : قطر ذره $\tau = (\gamma_s - \gamma_w)\frac{V}{A}$: تنش برشی لازم

ذرات ریز : $\frac{V}{A} = k.d_s$ ذرات درشت : $\frac{V}{A} = \frac{d_s}{6}$

ذرات ماسه‌لای $K = 0.04 \sim 0.8$

$$V = \sqrt{\frac{59(\gamma_s - \gamma_w)Kd_s}{\gamma_w f}}$$

γ_s : کیلوگرم بر مترمکعب d : میلی‌متر

V : میلی‌متر بر ثانیه

← حداقل سرعت برای ماسه‌لای با مواد آلی $V = 0.3$ m/s

← " " " رسوبات رودخانه $V = 0.6 \sim 0.75$ m/s

نکات طراحی : (در مورد حداقل سرعت)

۱ـ حداقل سرعت در شروع بهره‌برداری باید حتماً تأمین شود.

۲ـ ضریب بهره‌برداری باید منظور شود.

(طراحی برای یک جمعیت در انتهای بهره‌برداری صورت می‌گیرد. با این ضریب بهره‌برداری مطابق استفاده از مشکل باید در نظر گرفته شود.)

۳ـ برای کنترل سرعت در شستشو، اگر لوله در بالای آب زیرزمینی باشد از شستشو با آب تصفیه شده صرف نظر می‌کنیم.

۴ـ اگر لوله در زیر آب زیرزمینی باشد باید 50٪ آب تصفیه شده را در سرعت شستشو منظور می‌کنیم.

* حداکثر سرعت : (مقاومت در برابر فرسایش)

لوله‌های فلزی معمولی لعاب‌دار 10 m/s

لوله‌های بتنی یا بتنی فولادی ... 6 ـ 12 m/s

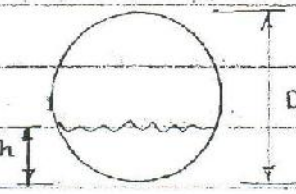
لوله‌های آزبست سیمان ... 6 m/s

لوله‌های پی وی سی و پلی اتیلن ... 5 m/s

سرعت زیاد باعث ایجاد اصطکاک و خوردگی لوله می‌شود

- حداقل قطر: به ملاحظات کار در داخل لوله‌ها و نیاز به تمیز کردن لوله‌ها بستگی دارد و برای لوله‌های بتنی برحسب قطر داخلی لوله می‌باشد. (حدود 162 میلیمتر)

- محدودیت ارتفاع آب: برای جلوگیری از ورود هوا به داخل لوله و ایجاد اختلال در جریان آب و ایجاد صدا و ارتعاش



$h > 0.1D$

$h > 2 \sim 3$ cm

- محدودیت حداکثر سرعت

۱ـ جریان با سطح آزاد

۲ـ تبدیل نوع جریان: باید دانست که با تغییر مشخصه‌ها از حالت فوق بحرانی به زیر بحرانی (سرعت بحرانی) کم می‌شود عدد فرود لازم است

طراحی شبکه آب باران:

- حداکثر دبی سطحی

روناب (lit/s)

$Q_p = 2.78\ C\ I\ A$

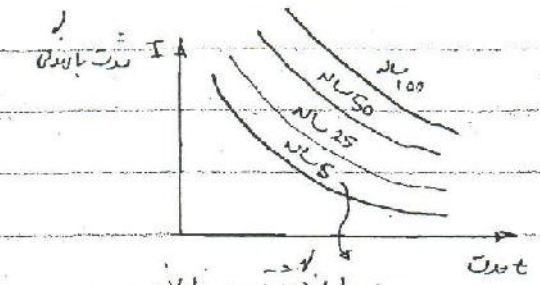
ضریب روناب — شدت بارندگی — مساحت حوزه برحسب هکتار

* ضریب روناب تابعی از بافت منطقه، شیب و پوشش گیاهی است.

www.tinar.ir

$0.1 < C < 0.95$

+ منحنی شدت ـ مدت ـ فراوانی :



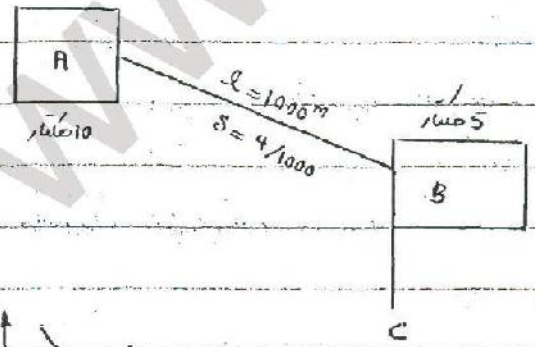
هرچه مدت زمان بارش بیشتر باشد شدت بارندگی کمتر است.

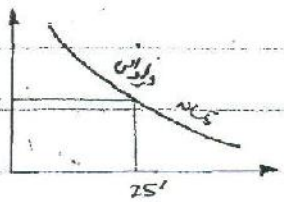
* دوره بازگشت برای کانال های اصلی 25 ساله و برای کانال های فرعی و جزئی 5 ـ 2 سال در نظر گرفته می شود.

* زمان تمرکز مدت زمانی است که آب از دورترین نقطه حوزه به کانال اصلی می رسد. زمان تمرکز را با استفاده از جداول و منحنی ها به دست می آوریم. با معلوم بودن سرعت آب در کانال هم می توان زمان رسیدن آب به یک نقطه خاص از کانال را به دست آورد. بنابراین با استفاده از این دو مدت زمان می توان شدت بارندگی را تعیین نمود. (زمان تمرکز + مدت زمان بارندگی)

مثال :

$t = 25'$ ، $C = 0.9$





$Q_{AB} = 2.78 \times 0.9 \times 15 \times 10$

$= 167$ lit/s

دبی کانال

$V = 2\ m/s \rightarrow t_{na} = \frac{1000}{2} = 500\ sec = 8'\ 20''$

$A_{\text{بعد از ۱۰}}$ { $25' + 8', 20''$ شروع جریان

$B_{\text{بعد از ۱۰}}$: $20''$

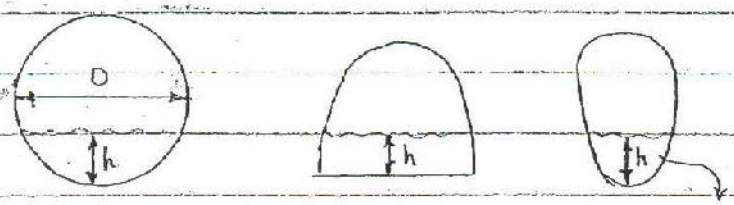
برای طراحی کانال انتقال آب به C باید
هرکدام از مواردی که در پیش می دهد را
مد نظر قرار دهیم
(در صفحه 168 و صفحه 169 کتاب راهنمایی این مورد ذکر شده است)

- اجرای خط با لوله پلی اتیلن
- عدم دسترسی مستقیم به آب از طریق
کانال و متصل شدن مصرف ها
- زمان تمرکز را در نظر گرفته است و در
واقع این مقدار را اضافه می کنیم
- مقدار ثابتی برای زمان تمرکز در نظر گرفته شده است

- طراحی کانال بهتر است از مقاطع بهینه استفاده شود

معیار رولیک ناصلاب روها:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S_0^{1/2}$$



h از روی منحنی تمایل محاسبه شده است

$$Q_{\text{پر}} = \frac{1}{n} \frac{\pi D^2}{4} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} S^{1/2}$$

$$Q_{\text{پر}} = \frac{1}{n} A \left(\frac{A}{P}\right)^{2/3} S^{1/2}$$

www.ttnar.ir

رابطه شزی $V = C\sqrt{RS}$

$$RS = \frac{V^2}{C^2} \quad , \quad \tau = \gamma \frac{V^2}{C^2}$$

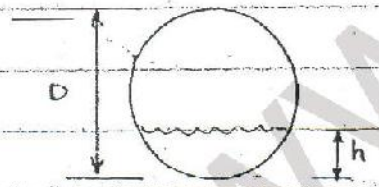
$$V_{پر} = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$
$$V_{نیمه‌پر} = \frac{1}{n} r^{2/3} S^{1/2} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_{پر}}{V_{نیمه‌پر}} = \left(\frac{R}{r}\right)^{2/3} \left(\frac{S}{s}\right)^{1/2}$$

$$\tau = \gamma R S = \gamma r s \quad \rightarrow \quad \frac{S}{s} = \frac{r}{R}$$

$$\frac{V_{پر}}{V_{نیمه‌پر}} = \left(\frac{R}{r}\right)^{2/3} \left(\frac{r}{R}\right)^{1/2} = \left(\frac{R}{r}\right)^{1/6}$$

$$\boxed{\frac{Q}{q} = \left(\frac{R}{r}\right)^{1/6} \left(\frac{A}{a}\right)}$$

مثال) مطلوب است محاسبه سرعت و دبی در حالت نیمه پر لوله‌ای بتنی که عمق آب در حالت پر آن را ایجاد کند.



$$\frac{h}{D} = 30\% \quad , \quad D = 200 \text{ mm}$$
$$n = 0.005 \quad , \quad V_{پر} = 0.75 \text{ m/s}$$

$$\begin{cases} D = 200 \text{ mm} \\ V = 0.75 \text{ m/s} \end{cases} \Rightarrow V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \rightarrow S = 0.005$$

$$\frac{h}{D} = 0.3 \quad , \quad R_{h_{پر}} = \frac{D}{4} = 50 \text{ mm}$$

R : شعاع هیدرولیکی در حالت پر

r : شعاع هیدرولیکی در حالت نیمه پر

$$R_{H_{پر}} = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2} \rightarrow r = 2R_{H_{پر}}$$

$$\frac{\text{در حالت نیمه پر } R_h}{\text{در حالت پر } R_h} = 0.68 \quad \text{از روی جدول}$$

www.tnar.ir

R_h نیمرخ $0.68 \times 50 = 34$ mm

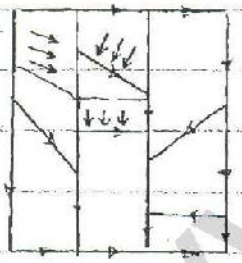
$$\frac{V_{S_2}}{V_{\text{نیمرخ}}} = \left(\frac{R_{h\,S_2}}{R_{h\,\text{نیمرخ}}}\right)^{1/6} = \left(\frac{50}{34}\right)^{1/6} = 1.07$$

$$V_{\text{نیمرخ}} = \frac{V_{S_2}}{1.07} = \frac{0.75}{1.07} = 0.72 \text{ m/s}$$

$$\frac{S}{S} = \frac{R}{r} \rightarrow S = S \cdot \frac{r}{R} = 0.008$$

← سرعت برای رسوب به تنش برشی بحرانی کم است اما شیب تند می‌باشد.

* بر حسب شیب منطقه تقسیم بندی انجام می‌دهیم تا آب به‌طور ثقلی وارد لوله‌ها شوند.



بر حسب این بازه‌های جهت جریان آب مشخص می‌شود.

← هرچه پیش می‌رویم، قطر افزایش می‌یابد (به دلیل افزایش دبی)

نکته‌ای که باید در نظر بگیریم، محدودیت‌های در نظر گرفته است. و هم چنین می‌بایست عدد فرود

← اگر سرعت به سرعت تنشی نرسد باید با کاهش قطر و افزایش شیب به این سرعت برسیم. و یا این صورت باید فکر شود که لوله در ابتدای بهره‌برداری نیاز به تنشوار دارد.

www.tnar.ir